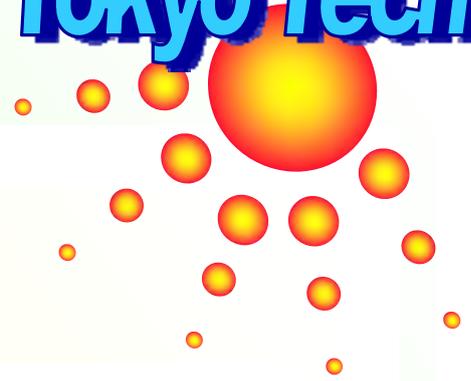


The 14th PVST
PHOTOVOLTAIC SYSTEM THINK-IN

Tokyo Tech



第14回
AES太陽光発電システム研究発表会
論文集

2012年3月17日（土）

東京工業大学 ソリューション研究機構
先進エネルギー国際研究センター

黒川 浩助

e-mail: kurochan@ssr.titech.ac.jp

<http://www.kurochans.net/>

国立大学法人 東京工業大学

ソリューション研究機構 先進エネルギー国際研究センター

〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1

TEL: 03-5734-3754 FAX: 03-5734-3754

第14回

AES 太陽光発電システム研究発表会

予稿集

開催日時

2012年3月17日(土) 13時30分～17時30分

開催場所

東京工業大学 大岡山キャンパス

蔵前会館くらまえホール

第 14 回 AES 太陽光発電システム研究発表会 プログラム

平成 24 年 3 月 17 日 (土) 13 時 30 分～17 時 30 分
東京工業大学 大岡山キャンパス 蔵前会館くらまえホール

☀ 研究発表会

| | | |
|-----------------|--|---------------|
| 13 : 30～13 : 35 | あいさつ | 黒川 浩助 |
| 13 : 35～14 : 25 | 太陽光発電システムの品質向上に向けて (安全志向のためのケーススタディと認知科学的アプローチ) | 吉富電気 吉富 政宣 |
| 14 : 25～15 : 05 | 分散型電力制御ネットワークとその試作 | 東工大 阪口 啓 |
| 休憩 | | |
| 15 : 15～15 : 40 | 各種太陽電池モジュールの 発電特性の測定と評価 | 産総研 津野 裕紀 |
| 15 : 40～16 : 05 | 太陽光発電出力把握技術の開発 ～地域内の日射強度推定手法～ | 電中研 川崎 憲広 |
| 16 : 05～16 : 30 | リモートセンシングによる 砂漠地域の太陽光ポテンシャル評価 | 東工大 伊藤 雅一 |
| 16 : 30～17 : 30 | 「太陽光発電あれこれ」 | 黒川 浩助 |

☀ 懇親会

研究発表会終了後、同会場ロイヤルブルーホールにて懇親会を行います。(参加費 3000 円)

目次

第一編：研究発表会予稿

| | |
|---|----|
| 黒川 浩助 東京工業大学 太陽光発電「ミリオン・ルーフ」時代の到来！ | 1 |
| 吉富 政宣 有限会社 吉富電気 太陽光発電システムの品質向上に向けて (安全志向のためのケーススタディと認知科学的アプローチ) | 19 |
| 阪口 啓 東京工業大学 分散型電力制御ネットワークとその試作 | 27 |
| 津野 裕紀 産業技術総合研究所 各種太陽電池モジュールの発電特性の測定と評価 | 31 |
| 川崎 憲広 電力中央研究所 太陽光発電出力把握技術の開発 ～地域内の日射強度推定手法～ | 35 |
| 伊藤 雅一 東京工業大学 リモートセンシングによる砂漠地域の太陽光ポテンシャル評価 | 39 |

第二編：論文

| | |
|---------------------|-----|
| 論文リスト [2000年～2012年] | 43 |
| 原著論文 [2011年～2012年] | 69 |
| 国際学会 [2011年～2012年] | 95 |
| 国内学会 [2011年～2012年] | 123 |
| 著書・解説 [2011年～2012年] | 133 |
| 報道 [2011年～2012年] | 153 |
| 招待講演 [2011年～2012年] | 163 |

研究発表会予稿

太陽光発電「ミリオン・ルーフ」時代の到来！

東京工業大学ソリューション研究機構

特任教授 黒川 浩助

昨年3月11日午後、東日本大震災が勃発し、各地に地震被害、未曾有の津波被害をもたらし、多くの尊い人命を失った。さらには福島原発被災を引き起した。このことにより、被災からの復旧・復興など非常に多くの課題が日本社会の焦眉の急務となっていることは、日々の報道の伝えるところである。その中で、原発被災によって今も引き続いて、「日本のエネルギーシステム」をこれからどうしていくのかという基本的な命題がわき起こっている。

太陽光発電は身近にありながら、その潜在量は莫大な「再生可能エネルギー」として期待される「分散型エネルギー」である。従来からの議論でも、わが国のエネルギー戦略の中で、分散型エネルギー源の代表格として位置づけられてきた。このような流れの中で、現状の太陽光発電は、とくに住宅用太陽光発電の関門である第一次グリッドパリティ達成にあと一息という状況にある。

ところで、このところビジネス界では持ちきりの、全種全量買取制度が大きな関心を呼んでいる。太陽光発電や、風力、水力、地熱、バイオマスの再生可能エネルギーを、電力系統側が買い取る義務を法律で定めた「全量買取制度」の閣議決定は、奇しくも大震災当日昨年3月11日の午前中であった。さらに菅内閣がその名誉ある終焉をかけて国会を通過させたのは8月26日であった。その施行日は本年7月1日となっている。

この立法案は、「再生可能エネルギーについて、ある程度利潤を期待できる価格で、系統側に全量買い取ってもらう」とされているが、審議過程でいくつかの付則が付いた。買い取り価格の決定が未だにされていないことにより、施行と同時に事業展開を計画しようとしている事業者は戸惑いを見せているが現状である。

この問題に関する世間の関心は非常に高いと思われるが、本稿ではとくに触れない。むしろ、今後どの程度の導入が期待できるのか、ある程度のリアリティのあるポテンシャル分野はどのようなものがあるか、復習を交えながら、いくつかケーススタディしてみたい。

第1章 反転のきざし

2010年度の太陽光発電国内市場は100万kWに達した。また、2011年度の第3四半期までの動向から推察して、140万kWに到達するものと推察される。これらの数値を、IEA PVPSから公表される累積導入量に継ぎ足してみると、**図1**のように2011年度末には、500万kWをわずかに超えそうである。

この500万kWというラインは、1994年に閣議で決められた「新エネルギー導入大綱」の太陽光発電の2010年度導入目標数値であった。この目標は悲しいことに以後のエネルギー需給見通しの改訂に際し、482万kWという中途半端なレベルに切り下げられてしまった経緯もある。図を見ると2006年度までは、2010年度達成の望みもわずかにあったのだが、残念なことに、2005年度上期で補助金が打ち切られた。2008年度までの3年間の国内市場停滞期は業界にとって大変厳しいことになった。好調だった輸出市場も、シリコン原料の長期手当失敗という二重苦にぶつかり、世界シェア50%以上だったわが国は、あっという間に10%のラインも死守できていない。

こうした中で、結果的にはわずか1年遅れの2011年度に482万kWを超えて、500万kWに達するとは、「よく、やった！」と大いに褒めてやりたい。そして同時に、やればできるじゃないと、関係筋に感謝申し上げる。

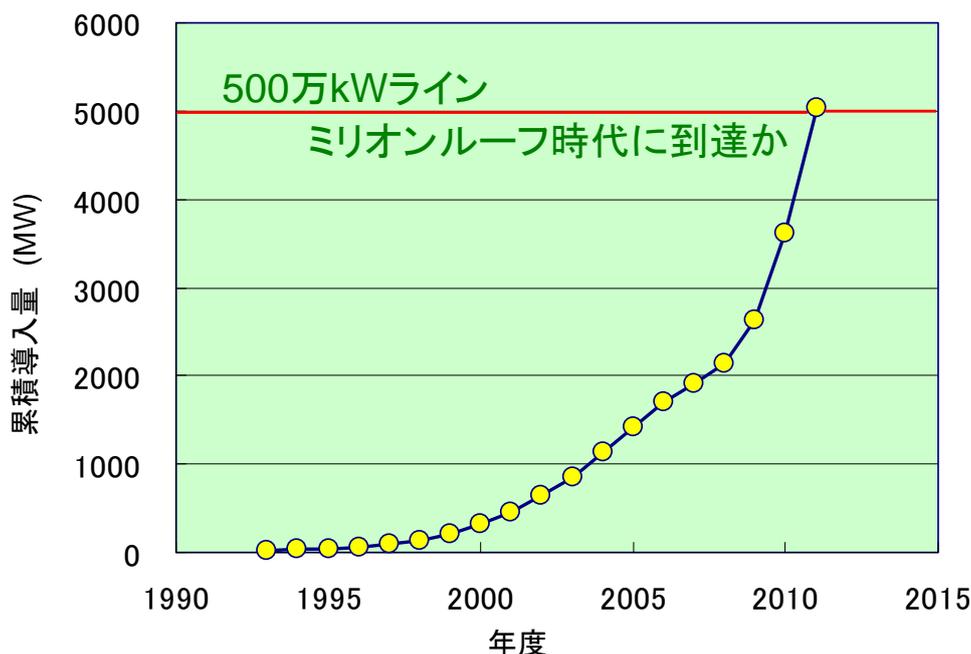


図1 日本国内累積導入量

出典：IEA PVPS データに 2010 年度までのデータに 2011 年度推定値（著者）を合体

現在実施されている上限価格付きの補助金制度は、今のところ住宅用太陽光発電システム価格の提言に効果ありという印象を持つ。つい最近までは、3kW で新車価格と同じくらいに止まっていたが、昨今、販売価格は低下してきた。もちろん輸入品の販売戦略の波もかぶっていると見られるが、太陽光発電は使われて「なんぼ？」の世界なので、そのために国家支援を受けていることを考慮すれば、ある線までのコスト低下は目標とすべき避けて通れない命題である。

ところで、この3月に入って、某量販店の新聞全面広告が掲載された⁽¹⁾。太陽光発電では国内中堅クラスの太陽光発電システムメーカー製品に対して、2.5kW 弱から 4.5kW 弱まで3種類の出力容量に対して、平均で 38 万円/kW を提示している（筆者換算）。もちろん、これから国の補助金額を 4.8 万円/kW を差し引けば、平均購入価格は 33.2 万円/kW となる。

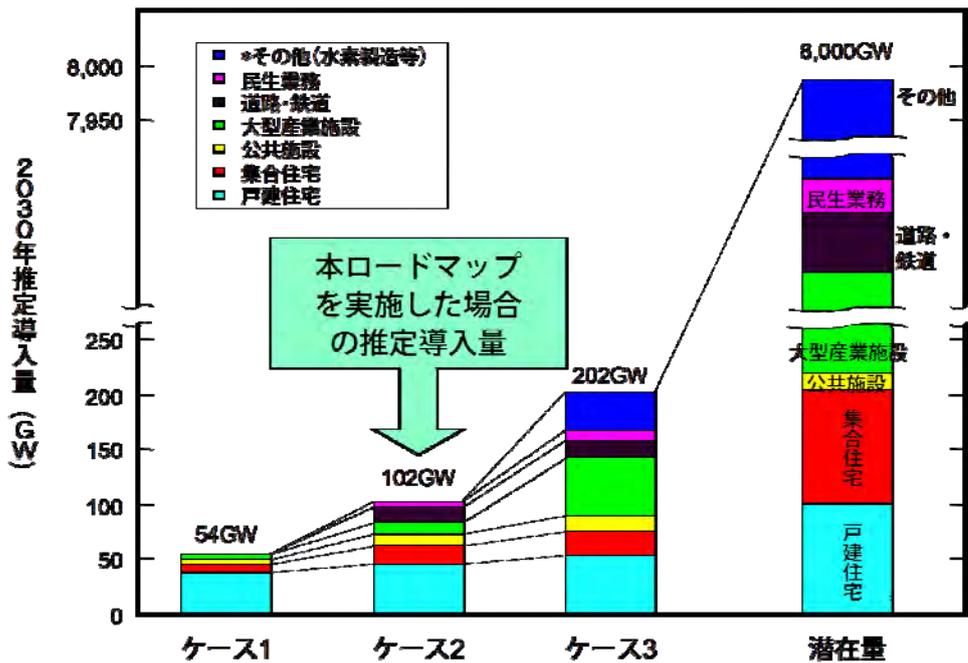
いわゆるグリッド・パリティを住宅用として考えると、通常電力量価格 24 円/kWh に対して、20 年で回収するとすれば、かつ初期投資資金コストを考えなければ、48 万円/kW が目安である（20 年間 1000 kWh/kW/年の発電量を想定）。この広告で提示している価格設定では充分クリアでき、13.8 年でブレークイーブンに達する。

第2章 太陽光発電導入可能量（復習）

図2は、「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ（PV2030）」に掲げられた、物理的に設置可能な可能な太陽光発電国内導入量（ポテンシャル）を示している。また、NEDO 技術開発が 2030 年頃までに、同ロードマップ従って進行した場合に想定される国内導入量（標準ケース）ならびに、加速的なケース3が、導入目標として示された。

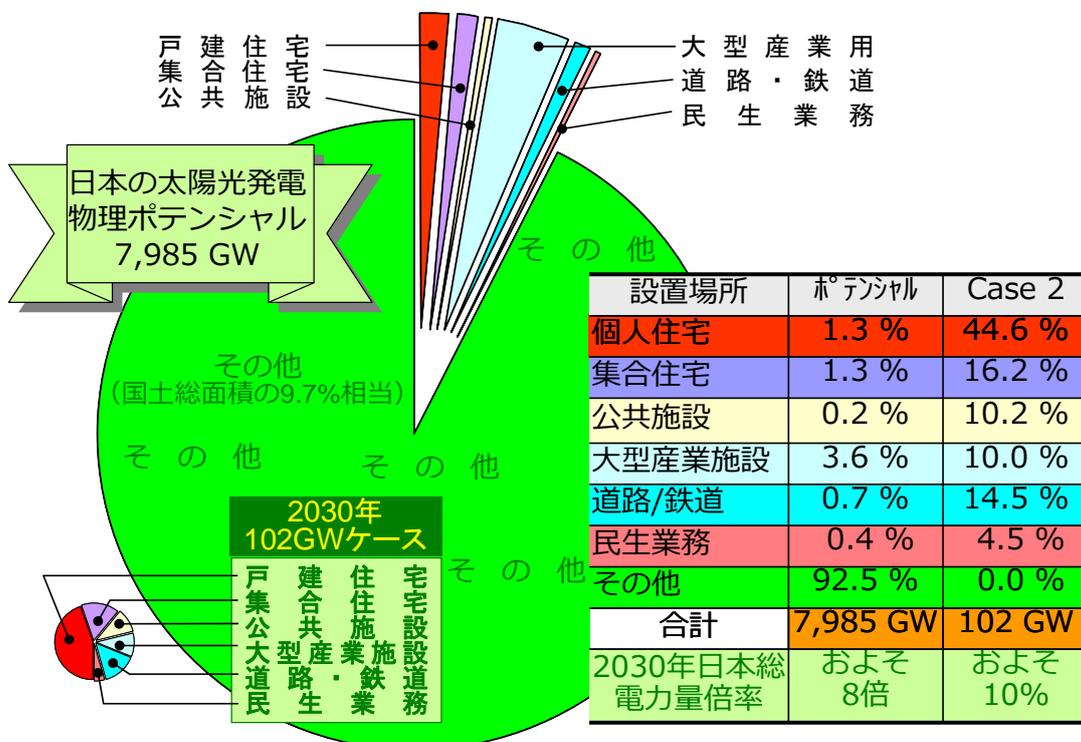
なお、この数字は、政府で示されている導入目標とは異なるが、政府目標そのものは、時の政治情勢等によって、たびたび変更されていて、リードタイムの長い太陽電池研究開発上の目標としてふさわしいとは思われなかった。研究サイドからの強い希望により、技術的に可能な目標として、欧米にはよく知られたロードマップである。

昨今の買取制度導入制度を間近に控えていて、「太陽光発電の実力」に対する、右から左へ幅の広い議論がわき起こっているように感じている。



ケース1: 技術開発が産業界に任せられた場合
 ケース2: 技術開発とその実用化が2030年頃まで本ロードマップにより実施された場合(標準ケース)
 ケース3: 技術開発が前倒し完成して、2030年頃には大規模発電の実用化も大規模に実現している場合
 潜在量: 戸建住宅や集合住宅、公共施設、未利用地等々の設置場所で、物理的に設置可能な導入量

図2 2030年までの技術発展を想定した国内推定導入量⁽²⁾
 出典: PV2030 ロードマップ, NEDO, 2004.6.



引用データ: NEDO「PV2030+」ロードマップ報告書, p.115-116, 2009.6.

図3 「PV2030」で示された太陽光発電導入ポテンシャルのパイチャート表示

ここでは、先ず「PV2030」および「PV2030+」（2009年度改訂版）で想定した導入可能量について、復習してみたい。

図2の物理的潜在量はおよそ8,000GWあり、ケース2の100GWに対して80倍違うことから、縦軸が連続していないことにまず留意しなければならない。そこで、その大きさの違いを見て取れる図3のパイチャートに書き換えてみた。各セクターの可能量数値は、「PV2030」および「PV2030+」のフルバージョン巻末参考資料に記載している⁽³⁾。

同図では、中央部の円形部分に太陽光発電物理ポテンシャルを各セクターごとのパイチャートで示した。また左下部に同じスケールで、102GWケースを、面積比80分の1で描いた。

これから、PV2030あるいはPV2030+で想定している100GWは、物理的に可能なポテンシャルの非常にわずかな面積であることが、少なくともビジュアルに理解できるはずである。また、この積み上げは、商用電力価格の高い、住宅から優先的に導入することになっていること、また、量的には期待できる大型産業用は、競合電力コストの点から遅れて導入されるシナリオ想定になっていること、さらには、電気事業の取引価格という厳しい目標である、いわゆるメガソーラーやスーパーメガPVは十分なコストダウンが進んでから導入されるという想定になっているため、国土総面積の9.7%相当のポテンシャルを有する「その他」の未利用地を2030年までは、その導入を見込まなかった。

これらの想定条件は、世界の太陽光発電市場構造の変化につれて再考するとともに、ポテンシャルそのものの掘り起こしや再精査が必要な時代が迫ってきていると強く感じている。

第3章 「故・中村 宏 氏」を偲ぶ：住宅用太陽光発電構想の第一歩

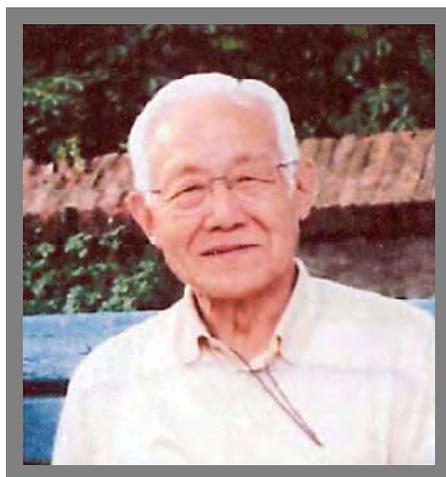


図4 故・中村 宏 氏の遺影

電力中央研究所元理事である中村 宏 氏が昨年12月18日に逝去された。若輩であった筆者は、大先輩である同氏とともに、最初の足跡を記すことになった、住宅用太陽光発電草創期の「秘話」を謹んで捧げたい。

日本の太陽光発電が住宅用を中心に進んできたことは諸氏の知るところである。初期の形態は欧米に比べて特徴的である。ソーラー電卓などのコンシューマーユースによる早期ニッチマーケットや交通標識などを経て、ソーラーエアコン、そして、住宅用太陽光大量普及期へとつながって来た。

ドイツでは1992～1995年「1000ルーフ計画」という研究プロジェクトが実施され、実際には合計で2,250件、総設置容量5.3MWのシステムが設置された。日本の住宅補助システムの開始は1994年であるから似た時期の、類似プロジェクトともいえる。しかし、このとき、ドイツは4年間のプロジェクトで終わったので、その後の日本の住宅用補助金の伸びは際だった。

日本は今や100万ルーフを達成しつつある。日本の住宅補助金制度が発足した1995年代には、何故か欧米から「日本のミリオン・ルーフ・プロジェクト」ともてはやされた（出元は不明！）。政府補助

金は不公正であると、機会がある度に非難もいただいたが…。

最近お隣の韓国では、国内メガソーラーが FIT から RPS 制度に切り替わり、急速に国内マーケットがしぼんでいるという。個人住宅用市場というバッファーがない市場構造も災いしているのかも知れない。

1973 年オイルショック後の 1974 年にサンシャイン計画が始まった。筆者は通産省サンシャイン本部出向中に、以降のわが国の太陽光発電システム技術を「住宅用連係システム」に向けて舵を切ることになった。1979 年度概算要求の案の初稿から大蔵提出案までの作成を担当することとなったのである。

筆者は、旧・電気試験所（→電子技術総合研究所→産業技術総合研究所へと変遷）で直流送電を専門領域としていた。電力系統やパワエレの基礎知識があったこと、その縁から電力中央研究所との頻繁な交流があった。そして「故・中村宏氏」は、元々は電気試験所で超高圧送電線の高周波特性や環境特性を専門とされ、筆者が研究者になった頃には既に電力中央研究所（設立 1951 年）に移籍されていた大先輩である。同氏は、電気試験所時代からバドミントンをも愛好し、このスポーツを電中研に伝えた方でもある。筆者もバド愛好者の端くれだったので、電中研との対抗戦も定期的にあった。

そのような環境にあるときに、サンシャイン計画に巻き込まれ、太陽熱発電とともに太陽光発電をも担当することになった。諸外国では、太陽光発電（「太陽電池発電」ではなく「太陽光発電」としたのは筆者の提案）は、むしろ「無電化地域のもの」という固定観念が強かった。独立電源としての意味しか認められていなかった時代である。しかし、日本のように電力システムがほぼ全土をカバーしている地域では、むしろ最初から系統の存在を前提にせざるを得ないという見極めを優先させることにした。土地代も高い日本では、つまり、「大量の個人住宅の屋根に太陽電池を設置する」計画とした。住宅の件数や屋根面積を調べ、平均的には 3kW が設置可能と設定したのもこのときである。

この新しい考え方を先輩である中村氏に相談したのは、多分バドの後の懇親会が最初だったと記憶している。

「多数の太陽光発電を高压配電系統全体を通して運用する」というアイデアに、氏は非常に前向きに反応していただいた。このような発想は当時の欧米にも全くなく、この提案はこれを打ち破るものであった。

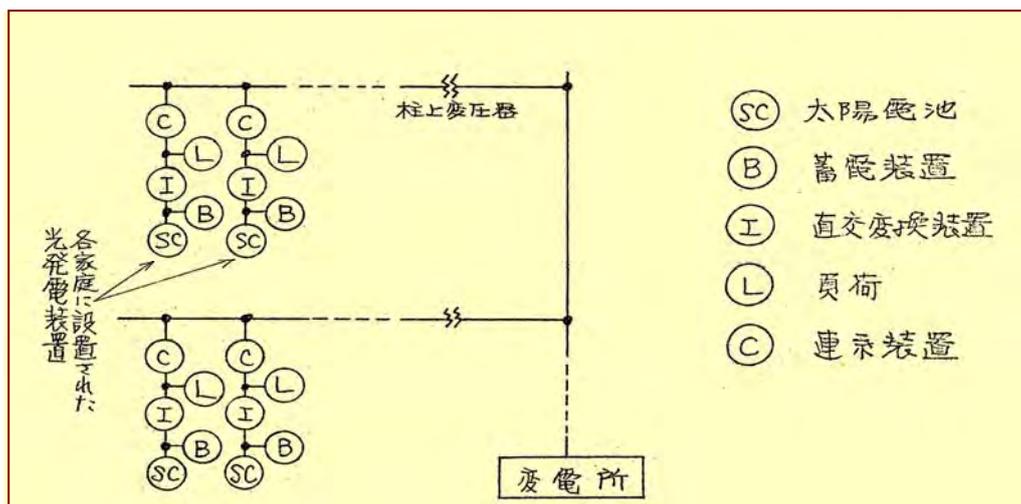


図 5 配電系統を通して連系運用される住宅用太陽光発電システム群概念

図 5 はその頃に筆者が描いた提案図である。各家の屋根には全て太陽電池が載っており、構成要素として蓄電池も描かれている。配電系統を縦横に電力が流れ、相互に融通し合うとした。つまり、スマートコミュニティの概念そのものであった。筆者はこのような骨子の 1979 年度概算要求提案書の作成を考え始めていた。

氏は、すぐ、赤城山に「電力の鬼」松永安左エ門氏が残した素晴らしい場所があると言って、さっ

そく現地に案内いただいた。100万ボルトの超々高圧試験送電線が設置された「赤城試験センター」である。

提案書には、第一フェーズとして、逆潮流をも可能にする「基本連系システム構成」を決める実験室レベルでの基礎研究を提案した。さらに、その発展形として、実規模の配電線で系統運用などの研究に発展する。赤城試験センターでの第二フェーズをも展望した。

このプロジェクトは、当時の厳しい予算状況にもかかわらず、1979年度新規案件として認められた。これに伴い、当時理事であった中村氏の笑みあふれる粘り強い調整努力の下に、電力中央研究所がその担当研究機関として参加という、日本の太陽光発電技術にとって価値ある快挙をもたらしたのである。

もしこの一事がなければ、住宅用太陽光発電システムが、現在の形のように双方向潮流連系が認められる時代が、まだまだ先になったかも知れないと思う。1980年にはNEDOの設立に伴い、赤城試験センターでの実験にも着手できた。さらに、関西電力をもチームに巻き込み、「六甲アイランド実証試験プロジェクト」にも円滑につながった。この段階を踏んだ技術開発・実証が、1994年度に開始された「住宅用太陽光発電システム設置補助事業」への大きな技術ジャンプ台になった。

日本において、電力会社の介在した形での太陽光発電系統連系技術の成長がなければ、欧米での同種システムへの技術移転もさらに遅れたに違いない。初期の「太陽光発電系統連系技術」は我が国の際だつ成果のひとつであり、国際エネルギー機関IEAの国際技術協力活動（IEA PVPS Task5 運営責任者：電中研）を経て、欧米へ伝搬波及していったのである。

いまや、住宅用太陽光発電システムはまさに「100万ルーフ」状態に到達した。ここでは1軒当たり4kWを超える太陽光発電システムにより、70～80%の住宅電気がまかなわれている。そして、これは紛れもない「おらがエネルギー」であり、しかも国産エネルギーである。今後の効率向上を見込めば、住宅セクターでは100%国産・自給が可能であることを示している。

このような大きなうねりの礎となった、大先輩・中村宏氏との、すばらしい出会いを得たことは、身に余る光栄である。ここに謹んでこの記録を捧げ、ご冥福をお祈り申し上げる。

第4章 ソーラータウンのケーススタディ

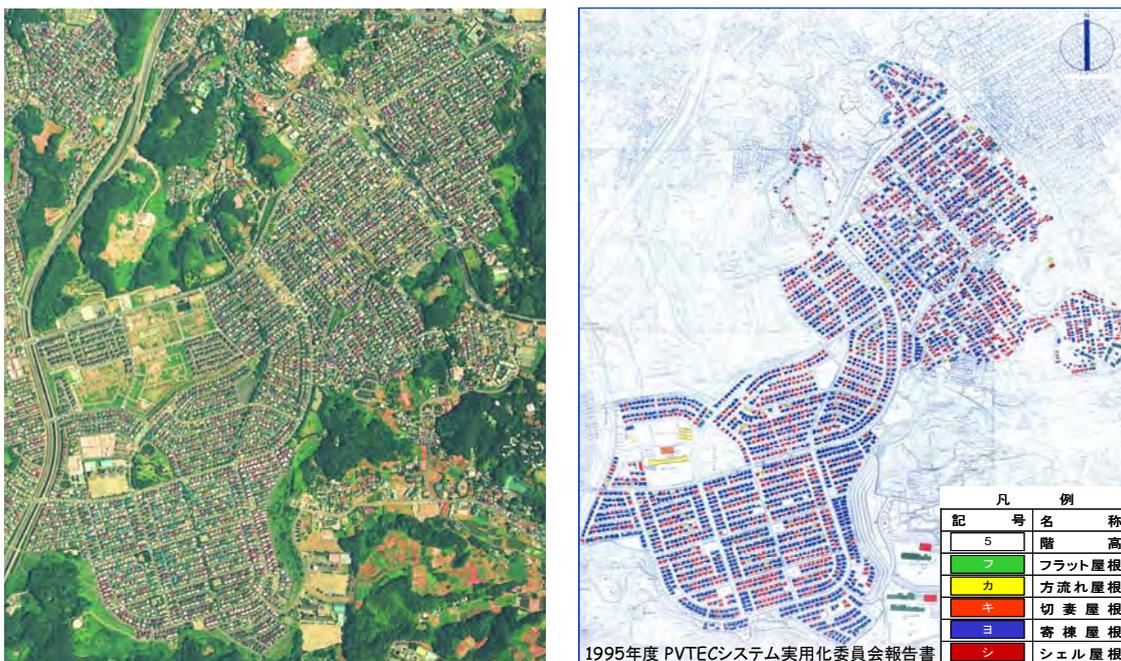


図6 多摩ニュータウン西武北野台住宅団地(八王子市)におけるケーススタディ⁽⁴⁾

図6は、多摩ニュータウンにおいて、丘陵上に開発され典型的な戸建分譲住宅団地である「西武北野台住宅団地」(八王子市)の航空写真である。1976年に入居開始。開発面積86.0ha, 計画戸数2,013戸。中央部を縦貫する幹線道路に沿って2カ所の商店街, 大公園, 小学校があり, 12の公園, 公園式遊歩道などを配置する。団地の全域が北野台1~4丁目となった。都市計画規模としては, 1住区に相当し, 2小学校と1中学校からなる大きさのコミュニティである。

この住宅コミュニティの開発状況を参考にしながら, 同図の右側は, 1200戸の80m²/戸の標準住宅を設定し, 仮想的に同地域の全家屋に, 可能な限り太陽光発電を設置した場合の, 設置可能量と地域への発電供給量について1995年に実施されたケーススタディ例⁽⁴⁾である。本例を参考にしながら, 今回再度, 設置部位や太陽電池変換効率をより現実的に見直してみた。

図7は地域内のケーススタディ結果例で, 発電電力量と消費電力量を対比している。同図右表内①は, 当時のケーススタディ・ベースケースで, 太陽電池モジュール変換効率13%とし, 南向き屋根と北向き屋根の各々全面に設置, さらに南北壁面部分(垂直)に設置するものとした。また, 南北窓ガラス面には, 変換効率シースルー太陽電池を用いることとした。しかし, 東西面には隣家からの日陰を配慮して太陽電池は設置しないとしている。

この結果, 全住宅において発電される月別全発電電力量は同図右図の最上部の破線プロットで示され, 年発電電力量は8,805MWh/年と試算された。また, 1993年頃の標準的な260kWh/月/戸電力消費量を参考にして, プロットしたものが同図最下部実線で, 年間消費電力は地域総計で3,744MWh/年となるため, 地域の自給率は, 8,805MWh/年÷3,744MWh/年=2.35倍となった。

今回の見直し試算では, 太陽電池設置部位をより現実的に, 南傾斜屋根面に絞ることと, 変換効率を最近の動向に合わせた15%および, 将来の改善を見込んだ18%の2ケースを設定した。効率15%の発電プロットは最下部の破線, 18%は中央部破線となり, 各々の自給率は, 同図右表の③と②に相当し, 1.26倍および1.42倍と示されるので, 戸建住宅コミュニティでは, 現実的にはほぼ100%自給できることが見込まれることが示された。これは, 旧NEF補助金時代の実績からも全国的には各家庭使用電力量の70~80%が自給できているという現実認識からも大きな乖離はないと感じる。

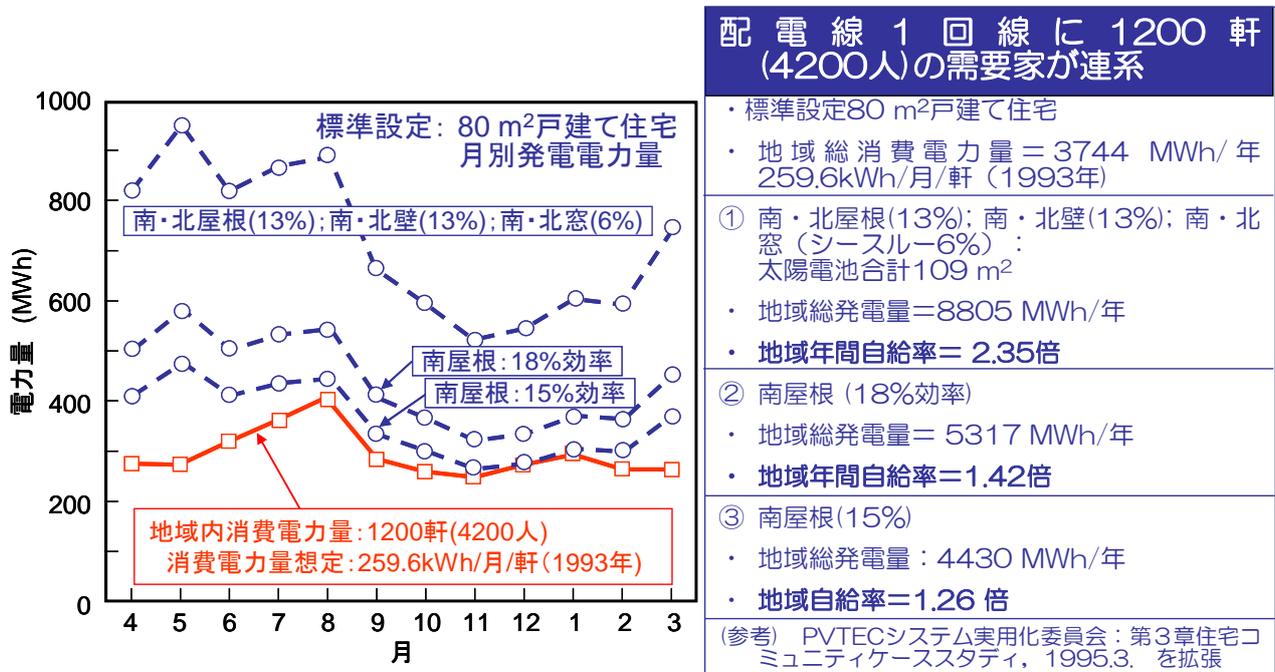


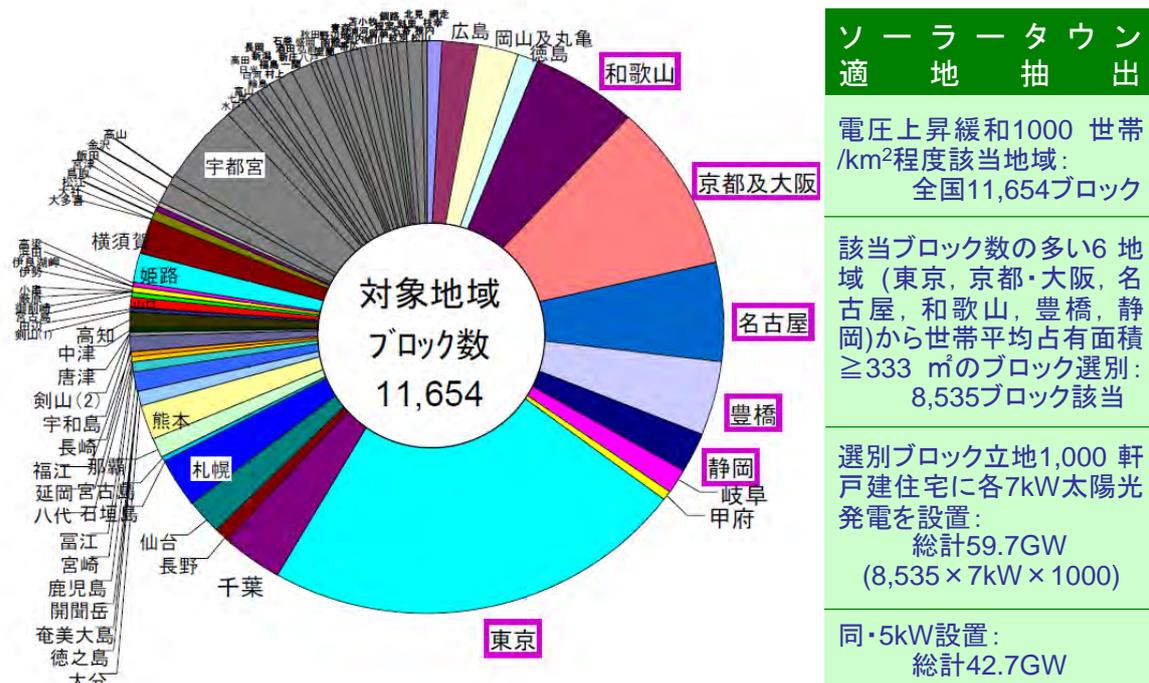
図7 西武北野台住宅団地における太陽光発電ポテンシャルのケーススタディ⁽⁴⁾

また今回のケーススタディの結果からは, 年間の電力消費動向の季節変動と発電電力量推移についてもある相似性が見えるので, 地域によっては期待できる可能性があることを示唆している。さらに, 地

域発電特性と負荷特性について検討を進めてみたいものである。

上記は、特定の1箇所ケーススタディしたものであるが、次の調査例では、1000戸程度の所帯数を持つ戸建住宅コミュニティの分布を抽出したものである⁽⁵⁾。これは、全国を1km²のメッシュに区切った各ブロックの属性統計を利用したものである。

まず、逆潮流時の電圧上昇問題が顕著にならない程度を目安として、過密地域を避け、1km²当たり1000世帯程度を満たす地域ブロックを抽出したところ、**図8**に示すように、全国で11,654メッシュが存在した。このうち、効率的な調査のために、該当メッシュ数が多い、上位6地域として、東京、京都・大阪、名古屋、和歌山、豊橋、静岡に調査対象を絞った。



(出典) NEDO/PVTEC 自律度向上型太陽光発電システムのフィージビリティスタディ, 2005.3, 総合版報告書 p.415.

図8 ソーラータウン適地選別: 1km²メッシュに1000世帯以上がある地域数選別例⁽⁵⁾

また、戸建て住宅コミュニティを想定し、敷地にゆとりがある、世帯平均占有面積が333m²以上のブロックに絞ったところ、8,535ブロックが該当した。

これらの1,000軒の戸建住が立地したブロックに対して、本調査では、各戸7kWの太陽光発電システムを設置すると想定した。なお、これは、2030年代にほぼオール電化相当の100%自給を目指した目標数値で、変換効率の向上を見込んだものである。この場合には、抽出した地域では、総計約60GWとなることが試算される。

また参考数値として、変換効率を条例よりも少し下げ、5kW/戸に変更してみると、同様に総計43GWと試算された。これらの地点は、粗く切り出した地点のみでの限られた地点数の試算であるから、控えめな数値といえよう。太陽光発電を住宅用電力供給の主体としたソーラータウンの実現性は極めて高いということが本試算でも示せたと筆者は考えている。

また、最近では各地で住宅を中心にしたスマートコミュニティ提案が多く見られるが、ここでの試算が示したように、太陽光発電を活かすことによって、より高い地域エネルギー自給率の実現につながることを示唆している。もちろんその実現のためには、地域特性に応じたエネルギー・ミックスと、いくらかのエネルギー貯蔵機能の導入が必要であり、地域ネットワークインフラとしての緻密なCEMS

(Community Energy Manage System) の実現が必要なことは言を待たない。なお、ここで紹介した参考文献(5)では、このような課題を、「自律度向上型太陽光発電」という統合概念として提唱していて、これはまさに「スマートコミュニティ」同義の先行提案であった。

第7章 工業用太陽光発電ケーススタディ（復習）

前章までは住宅用をベースに再考してみたが、これ以降はもう少しスケールの大きい分野についても考察しておきたい。

表1はPV2030において想定された工業施設における物理的潜在量と2030年目標としておいた102GW(ケース2)での見積もりで、およそ20GWを想定した。ここで用いられている、想定単位導入規模が、0.2 kW/m²と効率向上を見込んで高めであるため、現状では占積率を0.5として0.1kW/m²を用い、ケース2の()内に必要面積を補正しておいた。なお、現実的にはモジュール変換効率を15%として占積率0.7程度に考えれば補正面積は両者の中間値が妥当かも知れない。

表1 PV2030において、工業用施設に見込んだ太陽光発電の導入期待量：20GW

元データ：NEDO「PV2030+」ロードマップ報告書，p.115，<http://www.nedo.go.jp/content/1001162421.pdf>

| | | 物理的潜在量 | 想定 単位導入規模 | 導入可能量 |
|------------|-------------|---|--|-----------------------------|
| 物理的 潜在量 | 事業所 建築面積 | 385 km ² | 0.2 kW/m ² | 77,071 MW |
| | 非建築用地 | 1,068 km ² | 0.2 kW/m ² | 213,651 MW |
| | 工業施設 小計 | | | 290,722 MW (100%) |
| ケース 2 | 事業所 建築面積 | 34.7 km ² (69.4 km ² *) | 0.2 kW/m ² (0.1 kW/m ² *) | 6,936 MW |
| | 非建築用地 | 16.4 km ² (32.7 km ² *) | 0.2 kW/m ² (0.1 kW/m ² *) | 3,271 MW |
| | 工業施設 小計 | 51.1 km ² (102.1 km ² *) | | 10,207 MW (3.5% ~ 7.0%*) |

(*筆者注：占積率=0.5を見込んだ現実的な修正値)

前章において住宅用は、流通コストが高めと記したが、システム規模が大きくなると、グロス取引により、コスト上のメリットが出るのが期待される。たとえば、住宅用の買電単価は24円/kWhであるが、工場用電力の14円/kWhは約60%ダウンの水準にある。このコスト差は買い方により埋めることができるのではないかと。住宅用が、近々グリッドパリティに達するのであれば、工場用の太陽光発電システムにも場合によってはグリッドパリティに近づいていく期待感が出てきた。

工場用の太陽光発電は一般的には、工場建物で使用されている折板葺きの屋根に極めて簡易な構造で、強度を十分に保ちながら太陽電池モジュールの取り付け可能である。この点からも設置コストのコストダウンを期待したい。図10はその典型的な施工例を示している。

図11は工業団地に太陽光発電を導入した場合に、その地域で消費する電力量と比較して、太陽光発電で得られる電力量にどの程度の価値が見いだされるかケーススタディしたものである。この検討^⑥そのものは1995年頃で古いが、復習しておく価値はありそうである。

検討対象地域は、成田空港に近い佐倉第3工業団地で、当時全国の3000の工業団地の中で、平均2倍強の面積を有する規模の大きなものである。同団地の業種構成は、電気電子、機械、化学、運輸、金

属，食品など，中くらいで，エネルギー他消費産業というほどのものは含まれていない。想定した太陽光発電の設置場所は，実際の団地内の現地調査を行い，工場内建物の屋根・外壁・駐車場，および主要道路の街灯である。



図 10 折板葺きの工場建屋の太陽光発電アレイの典型的な施工方法



図 11 工業団地に太陽光発電を導入した場合のケーススタディ⁽⁷⁾

その結果，屋根面積の70%に21MW，壁面積の60%に6MW，駐車場の70%に9MWが設置可能であり，その面積は団地面積の37%に相当し，太陽光発電総設置容量は36MWとなった。年間に36,000MWhの発電電力量が見込まれたそれに対し，地域内消費電力量は，調査方法によって，50,000～90,000

MWh の範囲と見積もられた。自給率は、40～70%程度と推算されるが、低めに見積もっても、地域の1/3の消費電力量を燃料無しで自給できることになる。工業用途としての、この価値は非常に大きいといえよう。

この検討で指摘された課題は、週末の土・日の余剰電力対策であるが、当時の検討ではこの点を深掘りするところまでは行かなかった。昨今のスマート化での魅力的な検討課題であると指摘しておきたい。

表2 工業団地ケーススタディ（佐倉第3工業団地）⁽⁷⁾

| | |
|-----------|---|
| 設定ケースの特徴 | 全国 3000 の工業団地の中の平均 2 倍強の面積。業種は電気電子、機械、化学、運輸、金属、食品など。 |
| 太陽光発電設置場所 | 実際の建物の屋根・外壁・駐車場・主要道路の街灯。 |
| 太陽光発電供給率 | 屋根面積の70%に21MW、壁面積の60%に6MW、駐車場の70%に9MWが設置可能(団地面積の37%)。地域発電量は消費量の約40%～70%(推定方法で異なる) |
| 潜在導入可能量 | 全国工業団地の約60%を想定すると約2,600万kWが可能(年間24,000GWh相当) |
| 備 考 | 広い導入可能面積、低階層中心のため日照条件良好、高い地域供給率、変電所バンクとの協調必要、直流負荷の可能性、工場設置型モジュール；FT産業用 |

なお、この結果を全国の工業団地に展開していった場合の、ラフな評価もされていて、全国工業団地の約60%を想定すると、約26,000MWの導入ポテンシャルがあり、年間24,000GWhに相当すると結んでいる。(PV2030の標準ケースで見込んだ工業用想定約10GWの2.5倍ほどに相当)

第8章 その他未利用地などについて

表3 PV2030におけるその他分野の見積もり⁽³⁾

| 分 野 | 物理的潜在量 | 想定 単位導入規模 | 導入可能量 (MW) | |
|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-----------|
| 農業施設 | ビニルハウス・ガラス温室 | 468 km ² | 0.2 kW/m ² * | 93,684 |
| | 農業用機械 | 2,186,828箇所 | 1 kW/箇所 | 2,187 |
| | 小 計 | | | 95,871 |
| 未 利 用 空 間 | 農 耕 地 | 15,002 km ² | 0.2 kW/m ² * | 3,000,432 |
| | 林 野 地 | 6,711 km ² | 0.2 kW/m ² * | 1,342,228 |
| | 河 川 | 172 km ² | 0.2 kW/m ² * | 34,464 |
| | ダ ム | 2 km ² | 0.2 kW/m ² * | 394 |
| | 自然公園 | 11,547 km ² | 0.2 kW/m ² * | 2,309,370 |
| | 海 岸 | 139 km ² | 0.2 kW/m ² * | 27,897 |
| | 湖 沼 | 2,878 km ² | 0.2 kW/m ² * | 575,598 |
| 小 計 | 36,451 km ² | | 7,290,434 | |
| その他(総計) | | | 7,386,125 MW | |
| ケース 2 | — | — | 0 MW | |

(筆者注*: 占積率=0.5を見込むと、0.1 kW/m²が現実的)

第3章で触れたように、PV2030では太陽光発電ポテンシャルが、わが国電力量需要の8倍相当あると見積もっていた。その90%以上は、その他(未利用地など)と整理されているが、表3がその内訳を

表している。この面積は、国土総面積の9.7%に相当するが、農業施設、農耕地、林野地、河川、ダム、自然公園、海岸、湖沼を列挙し、その他・未利用空間と総称している。これらの根拠は、太陽光発電評価に関する調査研究（太陽光発電技術研究組合）などのかかなり以前の調査研究の積み上げに因っていると思われるが、現状では不明確である。この点についての、詳細な評価を再度実施すべき時点に達しているように思われる。

今回は、別の切り口で、未利用分野の探索を試みた。以下に順を追って紹介したい。まずは、工業団地や公共開発などのために開発用の土地を先行手配する開発公社制度に触れる。

表4に示すように、全国地域の開発公社が保有している土地が、最近ではなかなか有効利用できない現状があるようである。長期保有いわゆる「塩漬け状態」になっていることが社会問題になっている⁽⁷⁾。

表4 土地開発公社の長期保有土地の面積

| H22年度 | | 前提条件 |
|----------------|-----------------------|--------------------------|
| 10年以上保有土地面積 | 96.81 km ² | 下記注 |
| 太陽光発電換算容量 | 7,260 MW | 占積率=0.5 モジュール変換効率=15% |
| 太陽光発電換算年間発電電力量 | 7,260 GWh/年 | 年等価稼働時間=1000時間 |

(注) 総務省：平成22年度土地開発公社事業実績調査結果概要，2011.12.22，
http://www.soumu.go.jp/main_content/000140091.pdf

この保有状況は総務省から毎年統計数値が報告されている。表4はそのうち10年以上保有が続いているものを記した。もしこれらの土地に太陽光発電を設置したと仮定して、変換効率15%の太陽電池モジュールを占積率50%で設置してみると、7GW以上の太陽光発電システムが設置可能であることが分かる。また、年間の発電電力量は7000GWh以上が期待できることがいえる。

総務省のデータでは金額ベースで2兆円が塩漬け資産になっている。もし、上記発電電力量を30円/kWh台で換算すると、2100億円/年～に相当するが考慮に値するであろうか。上記のPDFには具体的な場所も明記もされている。

表5 耕作放棄地全体調査に基づく太陽光発電ポテンシャル推定⁽⁹⁾

| | 緑 | 黄 | 赤 (判断未了) | 赤 (非農地) |
|---|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| 農用地 | 470 km ² | 360 km ² | 340 km ² | 110 km ² |
| | | | 450 km ² | |
| 非農用地 | 350 km ² | 310 km ² | 640 km ² | 260 km ² |
| | | | 900 km ² | |
| 合計 | 820 km ² | 670 km ² | 980 km ² | 370 km ² |
| | | | 1,350 km ² | |
| 太陽光発電導入可能量 占積率=50%; 0.1 kW/m ² | 82,000 MW | 67,000 MW | 135,000 MW | |
| | | | 202,000 MW | |
| | 284,000 MW | | | |

(注) 本調査は現地調査により市町村毎の地図化が目的。
「緑」 人力・農業用機械で草刈り・耕起・抜根・整地を行うことにより耕作することが可能
「黄」 草刈り・耕起・抜根・整地では耕作不適、基盤整備実施で農業利用すべき土地
「赤」 森林化・原野化している等、農地に復元不可能な土地(著しく困難な場合等)
・平成20年度耕作放棄地全体調査(耕作放棄地に関する現地調査)の結果について
<http://www.maiff.go.jp/j/press/nousin/nouti/090407.html>
 ・太陽光発電導入可能量は、黒川の試算

表5は耕作放棄地である。原データは農林水産省から発表されている文献⁹⁾によった。ここでは、現状耕作放棄されている、農用地および非農用地について耕作復帰が可能かどうかの視点で現地調査により地図化したものという。

現在確認された、耕作放棄地全面積 2,840 km²を、通常の耕作方法で復元できるもの【緑】、大規模な基盤整備事業により復元可能と判定されたものを【黄】としている。これらに加えて、森林化・原野化したものを【赤】と判定するが、判定が済んでいないものを【赤（判断未了）】、判定完了したものを【赤（非農地）】と非常に慎重な分類を実施している。

しかし、最近の農業の実態を考えると、【黄】を農地に復元していくことはたやすいことではないと思われる。むしろ最悪の原野化が進まないうちに少なくとも、いわゆるメガソーラー級の太陽光発電を、原野化防止のためにも導入することが次善の策であり、長期的な国土の保全という観点に即したものと信ずる。太陽電池アレイの構造は軽量化が可能であり、10～20年程度の機関を限定した導入も現実的に可能である。

また、農業は意外とエネルギー消費は大きいと言われているが、農耕地において自前の電力を入手でき、施設農業の電源や水処理電源、またいわゆる野菜向上型の先進的農業など、きわめて容易に利用できる時代になっている。また、このような目的のために、農業法人によるメガソーラー級の導入を推進するための優遇策の提案も、農業界と自然エネルギー界のウィンウィンの関係構築のために大いに有効と考える。

少なくとも前掲表5の【黄】・【赤】の耕作放棄地を太陽光発電用地として利用するならば、わが国総電力量の20%程度を発電できる200GW太陽光発電ポテンシャルがあることを強調したい。

なお、ここでは敢えて取り上げないが、休耕田の面積は耕作放棄地の3倍程度あることも注記しておきたい。いずれにしても、農用地における太陽光発電ポテンシャルは、農業を営む人々の今後の持続的ビジネス展開を支えいくキーコンポーネントとして、そろそろ真剣に提案して行きたい。

従来公害・鉱害などで利用できない工業用地や農地においても、太陽光発電導入が、土地の利用価値を復活させた事例について、2～3の事例を紹介したい。

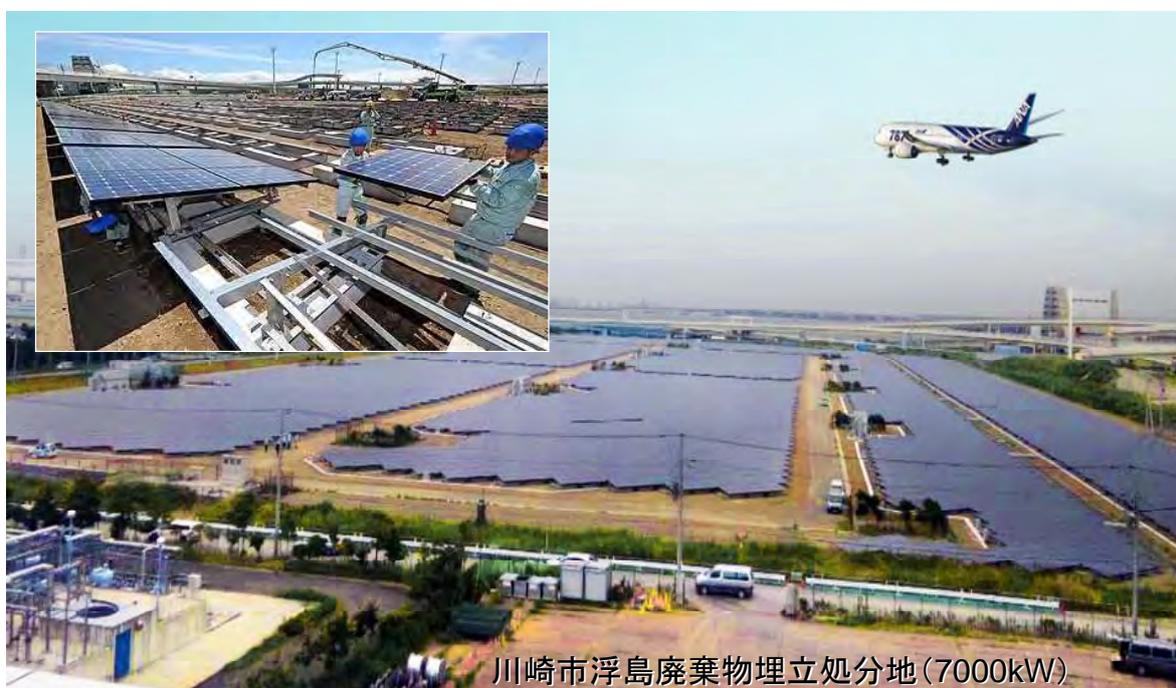


図12 ゴミ最終処分場への設置事例

図 12 は高知県須崎市に建設された須崎最終処分場で 200 kW 規模である。ここは、ゴミの最終処分場が満杯になった後、土壌還元を目的として、最終覆土により埋立終了・閉鎖したものであるが、地下水汚染などのモニタリングが実施されているところも多い。このような最終処分場跡地でも、最終覆土を掘削せずに置き基礎等で安定に設置できる場合には太陽光発電システムの建設が許可になっている実施例が増えつつある。

同様に、図 13 は川崎市の浮島廃棄物埋め立て処分地に建設された 7 MW 太陽光発電システムである。ここでは、地下水の汚染モニタリングが常時行われているサイトであるが、掘削や杭打ちを避けた、置き基礎（図の左上部参照）構造により、問題なく工事が認可された。このような土地では、これ以外の利用方法は難しいと考えられるところから、有望な立地場所のように考えられる。

これらの例は、公営害関連の用地規制問題で同様の可能性を想起させる。環境省所管による土壌汚染対策法規制下にあるブラウンフィールド問題解決は同法施行以前はまだ規制範囲外で、今後このような眠った用地の有効利用促進のためのひとつの突破口になっていく可能性を秘めている。なお、環境省・農水省共管による農用地土壌汚染対策法⁹⁾指定地域も同種のものであろう。



川崎市浮島廃棄物埋立処分地(7000kW)
図 13 7000 kW 川崎市浮島メガソーラー（東京電力）施工例
左上部は、浅い傾斜角と置き基礎を採用した土壌汚染地域での環境保全工法

第 9 章 コスタリカからのメッセージ「再生可能エネルギー 100%を目指す」

昨年 12 月に幕張で開催された、PV Japan と再生可能エネルギー協議会との合同展示会「再生可能エネルギー世界フェア」に、来日中のコスタリカの女性大統領であるチンチージャ大統領を先頭に閣僚を主メンバーとする 20 名ほどの調査団が同フェア最終日である 12 月 7 日に来訪された。同大統領は、12 月 8 日には天皇・皇后両陛下と会見・午餐された。また、同日夕には、野田総理大臣とも会見したが、一行の公式日程の初日に「再生可能エネルギーフェア」ご来訪のお申し出をいただいた。

図 13～図 15 に当日の様態を示した。図 14 に示したように、わが国再生可能エネルギー関係者が出席している産総研主催のシンポジウムに立ち寄られ、本世界フェアに素晴らしいメッセージを残された。



図 13 チンチージャ大統領のご案内
(大統領の左はクルツ科学技術大臣，右端は南川環境省事務次官)



図 14 チンチージャ大統領のスピーチ（産総研シンポジウム会場内）

ー以下はチンチージャ大統領のメッセージー

「再生可能エネルギーというテーマに関しまして、私の国の経験をお話しさせていただきます。人類の発展のためにエネルギーの活用法を考えるということは疑う余地はございません。将来はエネルギーの消費は増大することでしょう。IEAは2030年には石油が主なエネルギー源であり、毎日3億バレルを消費するだろうと予測しております。従来の再生可能エネルギーはその増加にも関わらず、需要の2%にも満たないであります。」



図 15 再生可能エネルギー分野の両国政府・学術関係者によるランチミーティング
(左上は大統領署名入りのコスタリカ紹介写真集)

「同時に現在の油田の埋蔵量とその発見を考えても、その生産量は 40 年間の需要を満たすことはできないでしょう。このことは世界中に石油価格の騰貴をもたらし、危機を迎えることとなります。電力需要と CO2 排出の増加を見通して、世界的な合意が得られれば解決できるかも知れません。それには温暖化ガス排出と気候変動に関する協議が必要です。これに対し、私の国コスタリカは再生可能エネルギーの利用方法を強化していく提案をしています。」

「現在コスタリカは世界の中でも緑地帯が多い国です。ラテン・アメリカ諸国の中では 1 番、そして世界でも 5 番目に最も環境を保護している国です。しかし、1960 年代はそうではありませんでした。森林が激減しました。その状況からわが国は劇的に回復させました。40 年前の、まだ世界が地球温暖化の問題に直面する以前から、コスタリカは、全土の 25% を国立公園に指定し、森林の保護に努めてまいりました。その時から 30 年間、この政策は引き継がれ、1km² に対して世界で最も緑の面積が多い国になりました。これを契機に世界中で最も真剣に CO2 排出に対して取り組んできた国でございます。」

「この政策の枠組みの中でエネルギー源確保は重要な点なのです。わが国は小規模エネルギー利用のために有効な自然資源が多くあります。これらは未だ開発されていない状態なので、利用可能です。わが国には石油や天然ガスはありません。炭化水素の埋蔵の可能性はありますが、環境保護のために、これらを採掘しない政策をとっております。現在のコスタリカは 90% の電力を再生可能エネルギーでまかっています。雨季には 100% に達する水力発電をしています。」

「コスタリカは、主な電力の 75% が水力発電、15% が地熱発電です。風力とバイオ燃料はほとんど未開発です。この状況は我々にエネルギーの自力供給をさせてくれています。これはわが国にとって目に見える大きな点です。これは、50 年以上にわたる設備投資の結果です。国のエネルギー市場においては、国営企業が多いのですが、民間企業の参加も進めています。そして国営の全体の供給量の一部を民間企業がまかっています。コスタリカの価値は、生産や経営するすべての企業に安全で再生可能なクリーンエネルギーを供給できることです。この問題に挑戦することは、我々の将来にとって緊急で重要な課題です。」

「新しいグリーンエネルギーの市場をもっと誘致するためには、コスタリカはエネルギーの供給を保証しなければなりません。このためには、国際的な革新となる技術と、投資が可能な新しい産業枠組みが必要です。コスタリカには再生可能エネルギーを供給できる機会はたくさんあります。水力発電は我々の主たるエネルギーとして、気候変動に左右されない状態にしなければなりません。また、地熱、太陽エネルギー、バイオエネルギー、海洋エネルギーなどは、科学的に検討すべき新技術の候補となり

ます。主にバイオエネルギーとバイオディーゼルの生産を進めることは、コスタリカにとって重要な選択肢です。また、わが国にはエタノールの原料となる農産物があります。コスタリカにおいては世界的なリーダーとなり得る研究が発足しています（注：一部不明）。」

「ここにおられる皆様、私は、日本がその未来と、新しい再生可能エネルギーの開発の重要性と緊急性を認識していると確信して参りました。この国は、直面しているエネルギーと環境問題の解決の立役者となることでしょう。私は、わが国の大きな目標達成のために、日本からたくさん学ばなければならないことがあると考えております。私の強い希望は、日本とコスタリカの間に情報のチャンネルを確立し、再生可能エネルギーの研究開発革新の総合力のために、お互いの国の自然の力やその特質を分かち合うこととでございます。また、同じ信念を共有する両国は世界の手本となることでしょう。」

注：上記は会場内日本語通訳からの主要部分の聞き取りであり、参考的な記録である。

第9章 むすび

わが国の太陽光発電産業は、これまで、国内の個人住宅分野と欧州向けメガソーラの2つの市場向けに成長してきた。その結果、国内では100万軒太陽光発電住宅「ミリオンルーフ時代」に突入した。ここでは、平均70～80%の家庭用電力が自給できているので、これからの太陽電池の効率向上を見込んでいくと、近い将来には、住宅部門で100%国産エネルギー供給が当たり前になる時代が来るという予感がする。

住宅部門や建築部門でのエネルギー消費の増加が著しいことも指摘されている。さらに、徹底した省エネルギー・省電力技術に支えられた、住宅構造・家電とともに、太陽光発電の導入が合わさっていけば、ゼロ・エネルギー・ハウス（ZEH）、プラス・エネルギー・ハウス（PEH）、ゼロ・エネルギー建物（ZEB）、プラス・エネルギー建物（PEB）、ライフサイクル・カーボン・マイナス（LCCM）建築などの、さらに次元の高い領域のリアリティが高まって来るであろう。

このような時代には、住宅部門、建築部門での、いわゆるスマート・システムのような、デマンドサイドでの統合システム化がコア技術になってくるようにも思われる。単に、太陽光発電要素技術だけでなく、パワコンの高い制御性を利用した統合化の方向追求の必要性が高まって来るであろう。

もう一つの方向性としては、国内でのメガソーラー市場も含めた分野で、固定価格買取制度の施行が近づいているので、太陽光発電システムの生涯発電量への関心が非常に高まると考えられる。自己陰の少ない屋根デザインへの関心が高まろう。また、日照障害による発電量減少は金銭価値に換算可能になる。太陽エネルギー導入が面的な拡がりを持ってくると、日照障害の少ない、地域日照を最大にし、風通しのよい街路計画や都市計画への注文も強くなるに違いない。

メガソーラー級の投資に対しては、発電電力量保証の要求が高まり、補償額の客観的な算定や保険額の決定に対して、技術的に明快な評価方式も求められる。

本考察で述べたように、わが国においても、その他・未利用地などのポテンシャルも非常に高く、こういった地域でのエネルギー自立計画へ向けた、大規模な展開も将来課題となるであろう。高いCO2排出抑制効果を考えれば、太陽光発電システムであれば、全量買取にあっても、環境価値インセンティブをさらに高めるために、たとえば、工場立地法で見なし緑地とすることを提案したい。

地域最適化の動きは、住宅コミュニティのみならず、産業団地や農業利用などでもニーズが高まっていく違いない。施設農業でのエネルギー自立や農業用水の確保や処理など、ここでもシステム統合化の大きな可能性が予見できる。

本稿が、わが国のエネルギー供給の将来へ向けて、何らかの議論を呼ぶきっかけとなれば、望外の喜びである。

[参考文献]

- (1) コジマ：太陽光発電セールス広告，2012.3.3 日経
- (2) PV2030 ロードマップ，NEDO，2004.6, p.13.
- (3) PV2030+ロードマップ，NEDO，2009.6, P.115-116.
- (4) PVTEC システム実用化委員会：第3章住宅コミュニティケーススタディ，1995.3.
- (5) NEDO/PVTEC 自律度向上型太陽光発電システムのフィージビリティスタディ，2005.3, 総合版報告書 p.415.
- (6) 東京新聞：民家の屋根借り太陽光発電事業 電力買い取り新制度，2012.2.8
<http://www.tokyo-np.co.jp/s/article/2012020890070605.html#print>
- (7) PVTEC システム実用化委員会，1995.3.
- (8) 塩漬け土地解消進まず，2011.12.24、日経
- (9) 平成20年度耕作放棄地全体調査（耕作放棄地に関する現地調査）の結果について
<http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/nouti/090407.html>
- (10) 環境省：土壌・地下水汚染，2009.5
<http://yukyunoyakata.holy.jp/omoukoto/kankyou-dozyouosen1.htm>

太陽光発電システムの品質向上に向けて

(安全志向のためのケーススタディと認知科学的アプローチ)

吉富 政宣 (有限会社吉富電気)

1. サマリ

太陽光発電システム (PV システム) をめぐるトラブルは、マスコミの仕掛けもあり、稼働後の雨漏りや発電量不足が重大視されてきた。事実、極性逆接続によるインバータ故障や端子ネジのトルク不足による端子台焼損なども起きている。これらはしばしば施工不良と呼ばれる。

一方、火災や激突、感電につながる PV システムの事故は公知となっていない。そこでこれまで高頻度で発生した事故パターンを3例挙げ、技術的背景を解説する。次に、事故に対しての人々の責任転嫁や無関心の理由を認知科学的に探る。何故ならば、人々の態度こそが事故が繰り返される原因のひとつと考えられるからである。ここまですべてが記述的アプローチである。

次に規範的アプローチとして、PV 価値を振り返る。この際、本論では安全を主要価値とする。

最後に、対処的アプローチとして、事故防止と寿命延伸による経済性能強化、それによって生じる初期費用増大のジレンマを解く方略を提案する。なお、スコープは住宅である。住宅用太陽光発電は産業用のそれと異なり、消費者側に監査スキルが無い。このことが事故の未然防止を難しくしているからである。

2. 散見される事故

まず事故事例を3例、若干の解説を交えながら紹介する。

＜セルのホットスポット＞

ホットスポットヒーティングには、バスバーとインターコネクタ間の半田緩みによる当該部分の温度上昇 (等価回路としては、ストリング全体に対する直列抵抗増大であり、ストリングに R_s を追加したストリング IV として観測される)、セル内の部分的シャント抵抗低下の現れとしてのセル内の部分的温度上昇 (等価回路としては、 V_{oc} 寄り動作時の当該セルシャント電流増大)、など様々な危険状態がある。

このほか、加藤和彦氏と筆者を筆頭とする PVResQ! が学会外に公知化してきた現象であって、今後も継続注意喚起したいものに fig.1 がある。

本例の原因だが、同様の激しい焼損事例を観察してきた結果、いずれの場合にもバイパスダイオード (BPD) の開放モード故障が見られることから、BPD 開放を間接的契機とするアバランシェブレイクダウンなのだ和我々 PVResQ! チームは帰

納している。アバランシェは、当該セルの I_{ph} をアクセプトダンスとすると、これより高いシステム電流 I_{op} が当該セルの R_{sh} に分流することで当該セルの電圧極性が反転し、その逆電圧がセルの許容逆バイアス電圧を超過することを直接的契機とする。なお、BPD 開放に至るまでのプロセスには複数パターンがあり、幾つかの要因がからみあって結果を引き起こしている。ただし、BPD が逆バイアスからセル群を保護するための最終的安全装置であり、それがモジュールに具備されるべきものであることを鑑みると、この焼損はモジュール設計不良が原因であるといえる。

このタイプのホットスポットヒーティングは、その終局状態で大きな焦げ、ガラス割れなど大きな外観変化を伴うことから、(屋根にアプローチする機会があり、かつ、アレイを注意深く見さえすれば) ユーザーや業者が事故結果を容易に認知できることを特徴としている。

以後、本例を“アバランシェのケース”と呼ぶ。

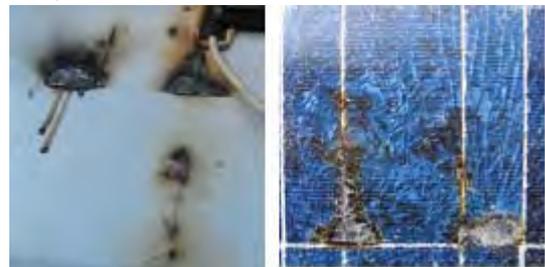


fig.1 BPD 開放後、アバランシェブレイクダウン

＜雪圧によるモジュール破壊＞

GWSK (固定荷重, 風荷重, 雪荷重, 地震荷重) の外力のうち、S=雪氷が引き起こす現象はわが国では、経験的に良く知られている。台風や地震と異なり、積雪は毎年のことだからだろう。豪雪地では、屋根からの落雪が自宅一階の窓を割ったり、隣家に飛び込んだりして他人に迷惑を掛けた経験をする者が少なくない。室内の熱伝導によって凍結融解を繰り返した屋根上の残雪が雪止め等障害物に隣接して雪氷ダムを作ること、雪氷ダムよりも上部にある雪の融雪水や降雨水が雪氷ダムと屋根材の隙間を通じて室内への雨漏りとなる(すがもれ)ことも、昔から良く知られている。

すがもれはまた、PV システム設置後の屋根にも発生する。モジュールは瓦や板金と比して表面平滑な面積が広いうえ動摩擦係数が小さいため、落雪飛距離が長い。また、昨今の電力用大型モジ

ジュールは過大な雪圧に弱い。これらの理由から、積雪地では雪下ろしを前提としてアレイの最下段に雪止めを設置することがある。ところが雪止めを設置したことが仇となってすがもれが起こることがある。元々、雪止めは、すがもれとのトレードオフなのだ。

また、積雪によるアレイへの正圧(以後“雪圧”)は、架台とモジュールとに機械的ダメージを与える。架台では、モジュールを留めつける斜材の塑性化、陸屋根架台においては、サポートレッグ(後脚)のバックリング(座屈)などをもたらす。モジュールレベルでは、ガラス割れ、その結果としての架台への地絡などがある。

雪圧は、日本のみならず Minimum Design Loads として各国のビルディングコードの中で面圧力として予見されており、PV においても IEC61215, JISC8955 などがそれを反映したものとなっている。これらのレギュレーションは、傾斜面において、 $F \cdot \cos \theta$ 荷重として想定積雪荷重を軽減している (fig.2)。

ところが、これらのレギュレーションは傾斜面の流れ方向に対する突起部が受ける負荷を想定していないため、同じ失敗が繰り返されている。結果の一例を fig.3 に示す。モジュールには、面外にフレームがある。これが、氷化した雪によって水下方向に引っ張られるのである。したがって、アレイ荷重を想定する際には、荷重マトリクス (GWSK) 中に $F \cdot \sin \theta$ 負荷を予め見込んでおくとともに、モジュールのフレームの耐性を実機確認しておく必要がある。

以後、本例を“ $F \cdot \sin \theta$ のケース”と呼ぶ。

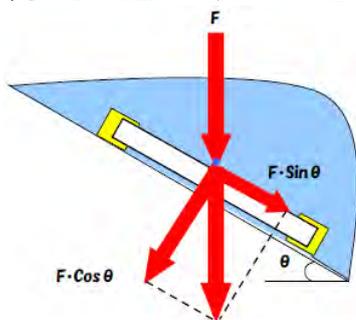


fig.2 積雪荷重のベクトル



fig.3 タワミ δ 超過後、ガラス破損

<風圧力による構造物崩壊>

構造的崩壊は、人や交通機関(鉄道・自動車)への激突といった深刻な外部不経済をもたらす恐れを理由として、最も警戒されなければならない。これまで報告された事例を現象別に主要なものを挙げると、陸屋根架台転倒、モジュールフレームの架台フレームからの離脱、発電面のモジュールフレームからの離脱、などがある。いずれの場合も、飛散物が引き起こす激突事故に加えて地絡を伴うことが多い。

fig.3 の事例は、質量基礎による抵抗モーメントが風によるアレイ転倒モーメントを上回った結果、基礎の屋根面への接触抵抗が減少し、アレイが屋根から滑落したものである。

なお、本例は既存法令に安全検証の方法が明示されていることから、根本原因は構造設計ミス(あるいは無設計)と断定できる点に特徴がある。また、類似事故は(裏側で)多数報告されていることからここに取り上げた。

以後、本例を“転倒のケース”と呼ぶ。



fig.4 転倒モーメント超過後、滑落

続けて、これらの事例を用いてケーススタディを進めてゆく。

3. 工事屋が悪い?

これらの重大事故事例について、人々の抱く印象は「工事屋が悪い」二番目は「天災」である。中でも転倒ケースについては、工事屋責任論が圧倒的多数である。だが、実際には工事屋は設計費用を貰っていないばかりか、設計義務も負っていない。法を確認しよう。

1. 設計責任者について(電気事業法、電気工事士法、電気工事業法、電技令などの技術法令)

強度計算によって住宅用太陽光発電アレイ用支持物に要求される強度は、電技令の行政手続法、即ち電技解釈 46 条において明確にされている。電技令に違反した際は、電気事業法 120 条の罰則規定により、行政命令に従わない占有者・使用者には罰金が課される。

しかし、これらの技術法令は後付電気設備の設計義務を負う”人”を明確にしていない。そのた

め、工事屋に設計責任を負わせることはできない。

2. 故意・過失について（民法）

こちらは事故が起きた後の話である。裁判所が民法 719 条の共同不法行為と認定すれば、主訴にある限り、仕事に関わった全員（メーカー、販売者、工事屋のすべて）が悪いとなる。

なお、筆者らの事故調査（N<100）によると、工事が根本原因となっているケースは見当たらない。モジュールが火を噴き、アレイが転倒するのは、製品設計やシステム設計が原因なのである。つまり、現実には人々の抱く印象と正反対である。人々の誤解は、工事の直近性、事故と工事との無関係な共変関係を“関係あり”と誤認するヒューリスティックが背景にあると考えられる。少なくとも工事屋は、「誤った設計のまま正しく施工している」のである。

4. 安全安心のモノサシ

ここまでは記述的アプローチであった。事故が起きていること、それが工事屋に責任転嫁されている状況を説明した。

しかし、重要なことは、いずれのケースも工学的な解決（技術的解決）が可能であるにも関わらず、それが実施されないということである。加えて、責任者探しにも益が無い。むしろ、対策の観点からすると、設計がコスト化されていないために不安全が見過ごされていること、それによって事故の未然防止が難しくなっていることに注意が払われるべきである。

<安全安心のモノサシ>

現実を変えてゆくには、規範的アプローチが要る。ここでは安全と安心の考え方を物差しとして提案する。fig.5 の X 軸は安全か危険かを表し、Y 軸は不安か安心かを表すものとする。中心は参照点である。現在と言い換えても良い。人心は参照点からの変化に感応する。現在の状態から安全になると人々は安心を得る（安全安心象限）。また、これとは逆に現在の状態よりも危険になると不安になる（危険不安象限）。安全とは現実の状態であり、（その結果として生じる）安心とは心の状態であるといえよう。

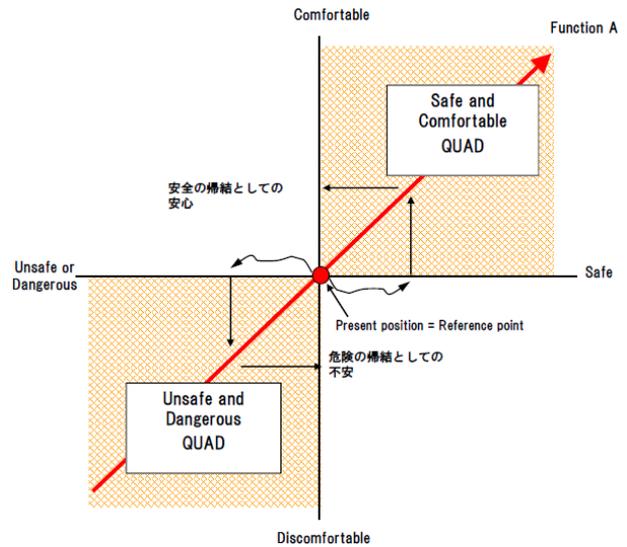


fig. 5 安全安心のモノサシ

<PV システムの要求性能>

PV システムに期待される性能は、発電性能である。その目的は、生涯発電量から得られる経済性である。したがって、変換効率や耐久性は、経済性能に属する。雨漏りしないことも、経済性能に属する。なぜならば、これらのダメージは、修理や工事を伴う。これは、最終的には出費の形を取る。だから、経済性能なのだ。つまりお金だけの話である。一方、安全性能とは、防火性能であり、構造性能であり、電気絶縁性能である。これらに欠陥があるときのダメージは、感電や火災である。その最終形は人の死である。だから、安全性能なのである。出費と死亡という二つの最終形を、エンドポイントと言う。エンドポイントを基準にとり、PV への要求性能を導くと仕事の優先順位に迷うところはない。

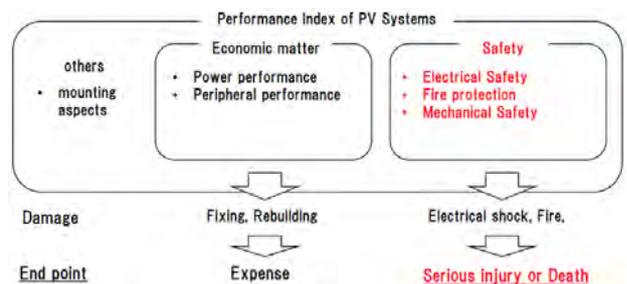


fig. 6 PV への要求仕様とその優先順位決定

<油断象限の存在>

しかし、これだけの説明ではなかなか安全に投資してもらえない。「安全は大事だが」と言いよどみつつ、市場競争で勝ち抜くこと、利益を出すことにメーカーや小売の経営者達は、汲々としている。筆者にとって衝撃的であったのは、人々がその事故と自分は関係が無いと考えていることである。工事屋に責任転嫁することもその現れであろう。時には、最初から法定性能に達していな

かった物件の事故を天災に帰属させようとする事例すら見受けられる。

“アバランシェのケース”では、その発見時に筆者は、100人余のPVプレーヤーに連絡を取り、この危険なモジュールの販売停止を促した。屋根葺き材は不燃物といえども、その上には鳥の巣など可燃物があり、モジュールがアークを起こせば、建物火災となる恐れがあるからである。にもかかわらず、彼らは販売を続けたのである。

筆者が彼らの煮え切らない態度を見て気づいたのが、fig.7である。彼らは“危険なのに安心”しているのである（油断象限）。そして人々から見た筆者は、右下の過敏象限にあるのだらうと推測した。

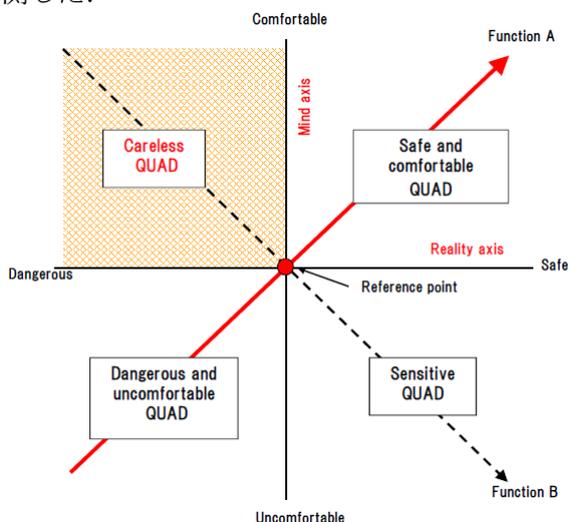


fig.7 完成した安全安心のモノサシ

しかし、責任者探しに躍起になったり、商人のインモラルを責めたりしたところで安全性が向上するわけではない。人間はエラーをする存在である。幾ら訓練を積んだところでエラーがなくなるのは、スポーツの世界を見ても分かることである。したがって、ヒューマンエラーとの表現で人間の資質に事故の原因を求めること自体に間違いがある。むしろ“油断”を背景にエラーの背後要因追及を怠り思考停止することが、“ヒューマンエラーと呼ばれるもの”を生んでいるといえる。

5. 分業という曲者

システムとしてのPVが稼動するまでには、あらゆるパーツが無数の事業セクションを通過する。いわゆる分業である。この分業こそが油断の背景であると考えられる。

分業の産物は、コンポーネントレベルで見て、モジュール、架台、屋根と架台の締結具、ケーブル、接続箱、インバータ、連系用ELBなどがある。これがコンポーネントの元となるパーツレベル

となると、その通過セクション数は膨大になる。しかもどのセクションも、システム全体への影響度が高い。パーツがシステムに大きな影響をもたらす例として、某社のインバータ背板をfig.8に挙げる。図の斜線部は、配線穴である。背板が壁にネジ止めされるのは、配線が天井裏から降りてきて配線穴を通じて取り出された後になる。この際には、配線が、配線穴上方にある3点のネジによって貫通されやすい。結果、地絡となる。なお、背板を吊った後に壁からの配線を引き出す手順は、無い。背板を先に留めつけると、背板の厚さと壁内のネジが邪魔をして配線が取り回しにくくなるからだ。

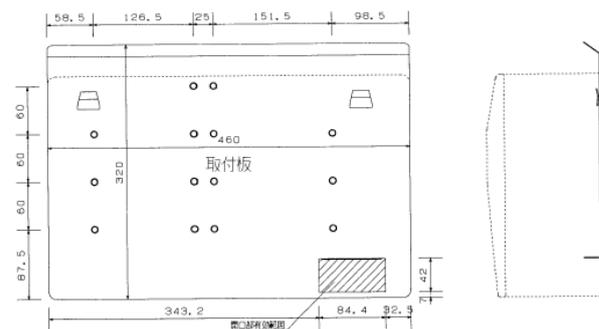


fig.8 インバータ背板 設計失敗例

このようにパーツの設計には、実務者で無ければ気づきにくい問題がある。にもかかわらず、これまでどのセクションでも、単独あるいはごく一部の人間が孤独な意思決定をし、事故が起こるといつもヒューマンエラーに帰属してきた。同様のものとして、コンポーネントレベルでは“アバランシェのケース”における無責任感覚、レギュレーション不在を背景とした“F・Sinθのケース”が繰り返されてきた事実が参考にならう。システム設計についても“転倒のケース”で見たとおりである。このように、システムの安全保護において少数の担当者を当てにするのは難しい。

6. 分業と情報処理負荷

分業の必然と分業による油断もまた、ヒトの認知メカニズムとの関係で整理することが出来る。社会心理学や行動経済学の成果によると、人の情報処理過程には、二つのルートがあるとされる（二重過程理論）。

<中心ルートと周辺ルート>

ひとつはシステムティックなもの（中心ルート）で、判断のための思考量が多く、情報処理負荷が高い過程であり、理性的分析的性質を持つ。中心ルートでは、情報の送り手の意見や情報の内容が吟味され、提示された根拠が熟考される。

もうひとつはヒューリスティックなもの（周辺ルート）で、判断のための思考量が少なく、情報

処理負荷が低い過程であり、感情的直観的性質を持つ。周辺ルートでは、情報の送り手の信頼性や魅力の高さなど周辺の手がかりで判断され、内容は十分に吟味されない。

<中心ルートの二条件>

与えられた問題に正しく対処するためには、二重過程理論における、中心ルートを取る必要がある。中心ルートによる処理が実行されるためには、以下の二条件が満たされなければならない。

1. 実際に対象を処理する“能力”があること。
2. 対象への高い“動機付け”（モチベーション）を持っていること。

<周辺ルートの支配>

ところで PV システムは、パーツとコンポーネントの組み合わせから成り、設計と工事を経てはじめて稼動する建設プロダクトである。この点、PV システムは家電のような、工場で自己完結したエンドプロダクトとは、導入時の扱いが決定的に異なる。よって、システム納入に関わる全関係者はカタログ引きでの簡便な意思決定が出来ない。彼らがもしもシステムの安全化や高品質化を努力するならば、システム完成までの間、彼らはネジ一本といった小さなパーツすらも複雑な全体との関係を考慮しながら意思決定を繰り返すことになる。この PV システムの一品受注生産的属性は、全ての関係者の情報処理負荷を高くする。

消費者は損失リスクを回避する性向から、合見積もりを取り、システム概要とともに補助金や電力会社の手続、金融、保証体系などの情報を業者から入手する。この際に、ひとつひとつ立ち上がったこと、例えば、先述のセルネットワークと BPD の関係や電圧上昇抑制や単独運転リスクまで理解するのは能力的・動機的に難しい。消費者の目的は発電であって、理論を学ぶことではないからだ。このとき、消費者はセールスマンへの信頼だけを頼みにする。これが周辺ルート処理である。

<分業によって取り残されたものを拾う>

実は、販売業者と工事業者についても消費者と同様である。彼らは、ビジネスにとって最小限必要な知識吸収や戦略立て、日々の作業、例えば、補助金情報掌握、省施工法の開発や労働安全衛生への配慮、屋根への机上配列検討作業でエネルギーを使いきっている。したがって、危険回避に必要な設計的努力、例えば、光起電力や電気的法則、外力や力学まで理解し応用するのは、動機的に難しい。本業に必須な事柄以外に取り組むことは、負荷も高い。

PV メーカーもまた、彼らと変わらない。彼らは、電気工事材料を除き、架台を含む資材一式を提供する。しかし、PV メーカーの本業は太陽電

池の設計製造である。架台やケーブルなどの周辺部材は外注頼みであり、自らは適切な構造計算などシステム設計の適性化にまで配慮が及んでいない。販売業者にせよ、工業者にせよ、メーカーにせよ、こうした（社会的・市場的）報酬なし・興味なしの分野には、周辺ルート処理による他人頼み、天任せの現状がある。

したがって課題解決を図るには、先に述べた中心ルート二条件の満足させること、即ち、能力向上のための技術教育に加えて、内容の良否判断をする動機を人々に与えることが必要になる。

7. スイスチーズモデルの発展的展開

まず、能力向上について述べる。二番目の課題である動機付けについては、次項で述べる。

スイスチーズモデルは、既に準備された複数の防護壁をかいぐって危険源（Hazard）が事故（Accident）となってしまうという、防御失敗に関する捉え方である。“アバランシェのケース”は、セルやモジュールに原因があった。後工程の人々がそれぞれ自分の前工程を盲信する限り、危険源が食い止められること無く事故となって発現してしまう。これが結果としてのスイスチーズモデルである(fig.9)。

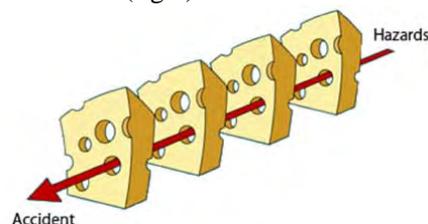


fig. 9 防御失敗

一方、チーズ片をモノのフローの順列に従って配列し、そこを通過するパーツやコンポーネントを、安全不安全の観点から2値判定させるとすると、分業に多重防護機能をもたせることができる可能性が示唆される。ここでは、チーズの穴ではなく壁の部分に着目する。このように群としての壁を強化することを考えると、発展的な展開を見ることが出来る(fig.10)。この防護壁は例えば、日本語版教科書の製作、教育活動の充実によって一人ひとりの PV プレーヤの内部に作られるべきと考える。

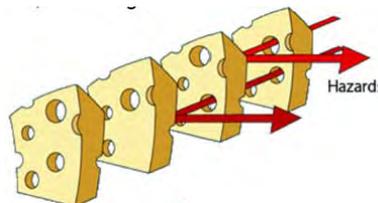


fig. 10 防御成功

ただし、こうした能力向上を追加的に強制するのでは、PV プレーヤ達の負荷を高めるばかりで

ある。設計と分業チェックを彼らの新しい正式な仕事とするとともに、費用を支払うことで、彼らを動機付け、取り組んでもらう必要がある。

8. 総費用最小化原理

次に、PV プレーヤ達を動機付けるための基本的アイデアとして、総費用最小化原理を挙げる。この原理活用の目的は、まず設計をコスト化することである。次に、コスト化の価値を正しく消費者に伝えることである。さもなくば、無設計・不安全の現在を参照点として、単なる値上げと消費者から誤認される可能性がある。

fig.11 において、点線は初期費用。一点鎖線は事故や補修など後日の出費であり、期待損失費である。実線で表した PV システムの総費用は、初期費用と期待損失費との合計である。グラフの通り、初期費用を低下させることは、必ずしも得策ではない。したがって、目指すターゲットは総費用の低減であり、ゴールは経済性能の最大化である。これは、現在の低コスト化戦略と決して矛盾しない。以下、若干説明をしよう。

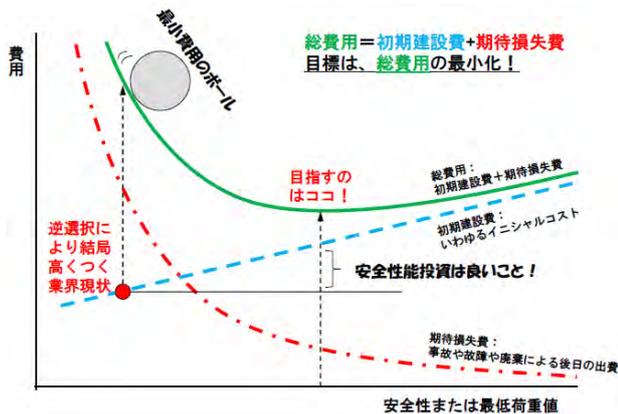


fig. 11 総費用最小化原理

<初期費用>

インシヤルコストのことである。初期費用は材料費と労務費からなる。ここでは、初期費用の下方硬直性に注意が払われなければならない。下方硬直性の存在には、二つの背景がある。ひとつは労務費自体に下方硬直性があることである。もうひとつは現場依存性の高い準備的費用である。PV システムは現場毎に仕事内容が異なるため、事前に生じる追加的費用が、PV 設置準備費用の形で変化する。現場毎に異なる仕事内容は3点ある。

- 1 点目はアレイに掛かる外力計算および屋根と架台とを締結する部分の構造設計・工事である。
- 2 点目は PV 新設にともなう新設配線と既存配線との関係調整に伴う電気設計・工事である。
- 3 点目は地域や環境ごとに異なる行政、電力会社との協議・手続である。

住宅 PV において、相場単価を大幅に上回る場面があるのは、これらの追加的費用が寄与してい

る。大きく二つに分けた下方硬直性のうち、労務費を、鉄道やバスの初乗り運賃のようなものと考え、現場毎に異なる準備的費用を、駅やバス停まで至るのに要するタクシー料金と考えるとわかりやすい。つまり、いずれも削ることが出来ない。

<期待損失費>

点検・修理・交換・撤去など後日の出費の総和を指す。このうち修理・交換の発生は導入時の設計（新設設計）への依存性が高い。期待損失費の新設設計依存性を分かりやすく示してくれるものとして建築基準法の確率表現がある。

$$p_n = 1 - (1 - p_a)^n \quad \dots (1)$$

Where

| | |
|-------|---------------|
| p_n | 供用期間内の設計値超過確率 |
| p_a | 毎年の設計値超過確率 |
| n | 供用年数 |

法では P_a の最小値を 2%、 n を 50 としている。この場合、20 年の供用期間内には 33% の確率で外力が設計値を超過する。一方、システムにリダンダンシーを持たせるなどして P_a 値を下げると供用期間内の設計値超過確率が下がり、かつ、期待損失費も下がる。

<架台強度増強による総費用低減>

ここでは、架台を例に取り、設計をコスト化しつつ総費用の低減を図る案を示す。

アレイの外力に対する強度は、架台材料が支配する。架台材料費は全費用のうち 5~20% と大きくはない。それゆえ架台に設計余裕をもたせることは、投資効果が高い。現在、リコールや寿命によるモジュール交換時には、架台交換が伴うことが多い。この際の撤去工事、新設架台材料と再工事は損失費を押し上げ、結果として総費用を押し上げている。このような既存架台交換は運用期間中の変形や腐食による肉厚の低下、モジュールのフランジ形状の変更が背景にある。

また、架台は、設置工程のうち最初にある。太陽電池の後に架台を工事するわけではない。架台が先あって、太陽電池がその上に載るのである。したがって架台は、太陽電池よりも常に長寿命である必要がある。“転倒のケース”を想起して欲しい。時に両者の重み付けが逆転するから損失費が増え、結果として、総費用が増大するのである。

一方、架台に法定の設計を行うのはもちろんのこと、さらにリダンダンシーを持たせて多世代利用することを狙えば、総費用/供用期間の値は従来よりも大幅圧縮されるため、このときの初期費用増分は問題にならない。

架台の多世代利用の条件としては、梁せい伸長

と金具点数の増加によってたわみ量 δ と曲げモーメント M を減らす、アルミ材料や溶融亜鉛めっき鉄材の採用によって腐食への耐久性を向上させる、などがある。

このようにモジュールに比して架台の寿命延伸は、それほど難しくない。着目点は、PV システム信頼性にとっての架台が、直列系のサブシステムであること、PV システムの保全性にとっての架台が、シーケンシャルな工程の最初に位置することの二点である。

重要なことは、これまで初期費用の低減に注意が向けられていたばかりに、業界が、総費用の観点を見失っていたことである。住宅の供用期間が100年から200年へと引き上げられようとしているときに、システムの寿命がこれを大幅に下回るようでは困るのである。

一方、これをポジティブフレームで捉えると、軽微な努力でシステム品質が大幅向上するといえる。この努力枠を費用化することでPVプレーヤを動機付けし正当に評価したらどうか。この際には信頼性向上→高コスト化 ⇔ 低コスト化→不安全という図式、つまり初期費用に拘泥することによって生じていたトレードオフが精緻に書き換えられ、無矛盾化し、安全性・信頼性向上→総費用低下の形でアウフヘーベン（止揚）される。

<情報の受け手のことを考える>

ただしこれを実施する際には、異時点間選択における消費者の近視眼的心理に配慮する必要がある。ヒトは現在を過度に高く評価し、将来の便益を過小評価する傾向がある。これを遅延割引と言い、ヒトの経済不合理性を説明する経済学的心理学的定説となっている。

fig.12においてPVの寿命延伸価値と追加的投資費用価値を置く。PVの寿命延伸価値は追加的投資費用よりも高い。これは客観的価値といえる。しかし、人間の主観的価値は、自らの立脚点から見た、対象物への仰角の大きさによって対象を“自動的に”判定する。したがってfig.12のように、 t_2 に比して t_1 が著しく小さい場合は、選好が逆転し、手元資金のほうを価値が高いと看做す。

選好の逆転が生じるかどうかは、 t_1 と t_2 の比によって決定付けられる。両者の比は、ひとつには、投資者がどの時点を満足基準点とするかが決める（決定効用）。

例えば、寿命延伸＝運転期間の延長によって得られる追加的売電利益と、寿命延伸のために行う追加的投資額とを比較した結果、追加的売電利益が上回ることを満足条件とするならば、fig.13の投資時点においてすらも、B時点はA時点のすぐ傍にあると評価され、両者の価値が正しく比較される可能性が高い（自己制御性選択）。この場合、

先に狙った総費用の考え方が生きる。

しかし、投資額と同じ金額を売電によって回収し終わる遠い先をB時点とするならば、追加投資を行わなかった他者との比較で相対的に t_2 が長く感じられ、消費者は近視眼的選択をする可能性が高い（衝動性選択）。

つまり、寿命延伸によって得られる利得額が現在利得として認識される場合と、仮想した待機時間が損失として認識される場合とで行動に差が生じるのである（フレーム効果）。

しかも、遅延割引率は、所得・富・性差・年齢・学歴などによって大幅に異なる。その結果、経済合理性からの一律な説得的コミュニケーションは失敗となりやすい。

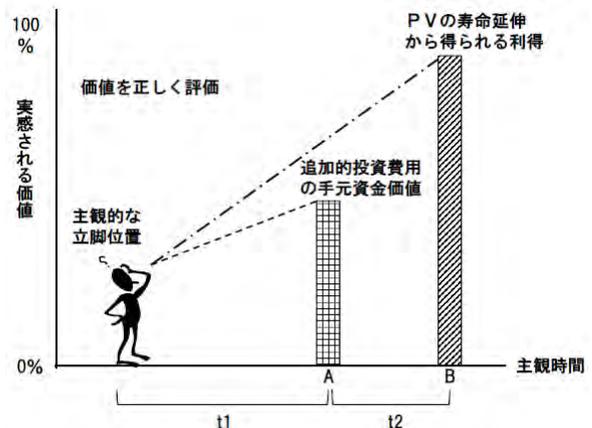


fig. 12 離れていると冷静に両者比較

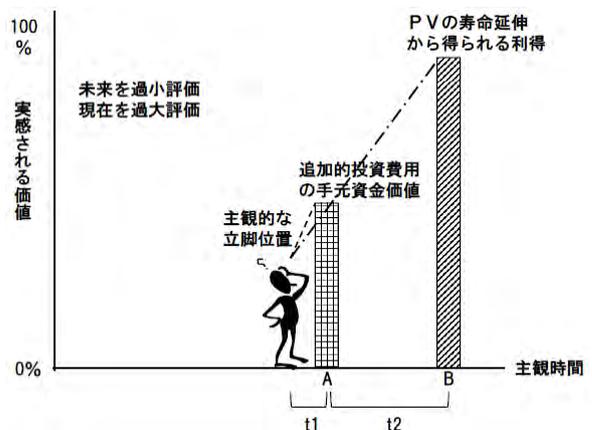


fig. 13 近くでは确实・至近を重視（選好逆転）

消費者に自己制御性選択をしてもらうためには、情報の送り手側に工夫が求められる。この工夫の方向性を示すものとして、相手は子供であるが、米国での興味深い実験がある。実験者は子供の見えるところにプレッツェルを置き、数分待てば3つのプレッツェルを貰える、待ちきれないとその1つだけ貰えて終わってしまうという選択場面を与える。待っている間にプレッツェルの塩味、カリカリした食感など、どれだけおいしいか

(Hot thought) を考えるように言われた子供は待ちきれずに食べてしまいやすいが、プレッセルは丸太のようだなどと抽象的なこと (Cool thought) を考えるように言われた子供は最後まで待つ自己制御性が示された。

これを PV システムに応用すると、情報の送り手であるメーカーや販売者は、消費者をして、初期費用の安さ (Hot thought) よりも、運用全期間を通じての総費用低減と経済性能強化 (Cool thought) に目を向けてもらう唱導をすると良い。

9. まとめ

本論では、まず実例の技術報告を通じて記述的アプローチをした。次に、安全安心の観点から規範的アプローチをした。最後に、教育活動による PV プレーヤ達的能力向上、設計コスト化による PV プレーヤ達の動機付け、総費用最小化唱導による消費者理解の訴求という 3 点セットの対処的アプローチを提案した。

ボディでは分業の問題を重視した。分業はシステムにとって、エラーの原因でもありながらも、危険回避については品質向上の切り札に化ける可能性を秘めていた。ただし理想形を示しただけでは人は動かない。人々に正しく動いてもらうためには、能力向上の手助けと動機付けとの 2 条件を満たす必要があった。

まず、能力向上のためには、日本語教科書の充実が望まれる。現在、PV システム学習者にとって、道標となるのは、英語やドイツ語、しかも論文ばかりであり、インテリ以外には敷居が高いからである。そんなことはない、というむきもあろう。確かにこれまでバンド理論や、ダイオード方程式など発電デバイス開発に関する日本語書籍はあった。また、メーカーが用意したお仕着せキットの組み立てをイメージした建設的教本も多数あった。

しかし、今やシステム大普及の時代であり、顧客の要望は多岐にわたっている。また、既に示したように、安全軽視を放置するわけには行かない。この状況では、お仕着せシステムへの受動的対応ではなく、一定以上の安全性を持った、創造的なシステム開発が求められる。そのためには幅広く理論的基礎知識を持った人材 (設計者) 育成と、これを支える教材開発が欠かせない。

元来、システムは多くのヴァリエーションを持つ。ヴァリエーションは、自在性でもある。誰もがそのことを気づいているのだろう、東北震災後、筆者の会社に独立型システムの構成について問い合わせが相次いだ。既存プレーヤの殆どが、基本的なシステム設計作業を出来ないようなのである。このような、常に更新される環境に適應するためにも、セルネットワーク解析 (Spice) や風・地震・雪氷工学、構造計算 (FEM) 、パワーエレ

クトロニクス、シーケンス制御、計装、蓄電池、法学といった、PV システムの実務に近い分野を PV との関連で詳述した教科書作りを提案する。

次に、動機付けである。市場規範の中では、人はタダでは動かない。それゆえ予算不在であるシステム設計は省略され続けてきた。その結果としての不安全がある。先に架台の例で示したとおり、総費用最小化によるアウフヘーベンから着手すると良い。

最後に、アクションの際、初期費用増大が生じることについて、消費者の理解を求め、システム安全、長寿命化、経済性向上のための支払意思を引き出す必要があることを指摘した。初期費用主義の衝動性選択の元でシステムを導入するのではなく、自己制御の下、総費用を睨んだシステムを導入してもらえば、必ず良い結果を生む。メーカーや販売者が、消費者にそう伝えてゆく必要がある。

なお、これはパターンリズムではない。PV システムは不動産と同様、一旦建設されてしまえば、公共性を持つ。たとえ山の中の一軒家といえども、それが所有者の死後、建物に付随したまま商取引される可能性があるという意味で、PV システムは、外部との関わりを断つことはできない。

また、PV システムには公共財的性質もある。これは、火災を出せば外部不経済になり、長期に安全運転すれば電源価値として外部正経済になるといった点からも説明される。

これまで普及の号令の下、PV プレーヤ達は、販売や施工といった“簡単なこと”に群がった。高速普及の際には、時間が掛かるシステム設計、特に構造計算は、お荷物とされた。しかし、安全の鍵を握るのは、PV プレーヤ達のシステム設計への志向・他人の専門分野へのあくなき探究心を置いてほかにない。国が主体となって推し進めてきた補助金政策も、本来は PV の外部正経済化にあるはずであり、度を越した低コスト化によって設計がオミットされ、システムの安全が損なわれることなど願っていないはずである。皆様の再考を (ただし、陽気に!) 促したい。

PV システム最高学府、黒川研発表会に寄稿
2012 年春

吉富政宣

Yoshidomi Electric co.,ltd
Masanobu Yoshidomi
1-114,Yashirodai,Meito,Nagoya,Aichi,Japan
mail : ZVU06411@nifty.com
tel/fax : 052-760-2573
mobile : 0904-161-7171

分散型電力制御ネットワークとその試作

阪口 啓 (東京工業大学)
sakaguchi@mobile.ee.titech.ac.jp

1. はじめに

現在，日本では 2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災に起因する福島第一原子力発電所の事故の影響により大幅な電力供給量不足が発生している。この社会的危機を乗り越えるための節電対策として，再生可能エネルギー関連機器の促進，休日曜日の変更などによる輪番節電，ビルなどにおけるエネルギー管理システムなどの導入が進められてきたが，最悪の場合には大規模停電を避けるために計画停電を実施せざるを得ず，我々の日常生活や企業の生産性に大きな影響を与えている。

これらの問題を回避するために，本研究では分散型電力制御ネットワークを構築する。分散型電力制御ネットワークとは，近年スマートグリッドという名前で注目されている ICT 技術を活用した電力制御システムの実現形態の 1 つであり，電力の需給バランスを制御しかつピーク電力を抑圧することを目的としている。分散型電力制御ネットワークは，分電盤単位などで設置されるスマートメータ，スマートメータの読取り値を制御クラスタ単位で収集するローカルな無線ネットワーク，収集したデータを処理しスマートタップの制御および上位レイヤとの通信を司る分散型電力制御装置，および階層的な通信制御ネットワークから構成される。通信ネットワークを階層化し，制御を各階層で分散的に行うことでリアルタイムな応答と全体最適化の双方を同時に実現するものである。

本研究では，分散型電力制御ネットワークに必要なネットワークトポロジおよびネットワーク制御理論の確立を目指し，研究室という小さい単位でスケールモデルを構築する。本スケールモデルを拡張することで，計画停電を回避するための分散型電力制御ネットワークのシステム構成が明らかとなり，社会に大きく貢献できるものと考えている。

2. 分散型電力制御ネットワーク

はじめに電力制御のためのネットワークトポロジから考える。代表的な制御のためのネットワークトポロジとしては，集中型（スター型）と分散型（階層型）が考えられる。集中型は，スマートメータからのフィードバック情報を集約し一括で処理するため制御の最適化が容易であるが，情報が集中するため通信による遅延が大きくまた計算量が膨大となりリアルタイムな制御には不向きである。そこで本研究では図 1 に示す階層型のネットワークトポロジを採用する。最下位レイヤーには消費電力の観測を行うスマートメータと消費電力の制御を行うスマートタップなどがある。提案するネットワークでは，まずこれらのセンサー・アクチュエータを制御のリアルタイム性を考慮してクラスタ化する。クラスタの単位としては，例えば家庭，オフィス，工場などが考えられる。各クラスタには 1 つの集約局（分散型電力制御装置）が存在し，これがフィードバック情報の収集とスマートタップの制御を行う。各クラスタで処理された情報は全体最適化を行うために，ビルや街などの中間レイヤーを経て，市区町村などの最上位レイヤーに集約される。最

上位レイヤーでは、電力系統全体の需給バランスを目的関数として下位レイヤーを制御する。このような階層型ネットワークでは、一括処理を行っていないため制御の最適化は複雑となるものの、情報が分散化されるため通信による遅延は短くまた計算量も小さくなり、リアルタイム制御が可能となる。

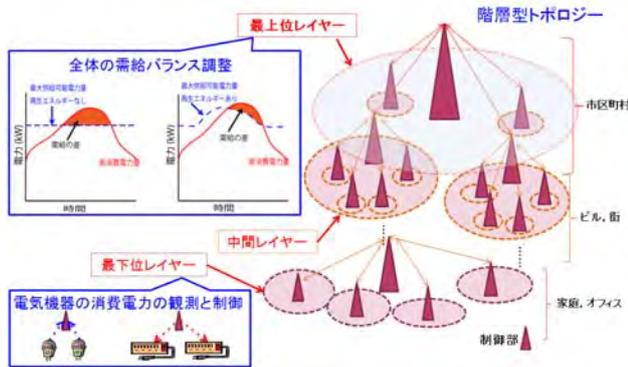


図1 階層型電力制御ネットワーク

次に階層型ネットワークを用いて電力制御を行う原理を簡単に説明する。はじめに、 $P_s(t)$ を時刻 t における最上位レイヤーの総供給電力、 $P_c(t)$ を最上位レイヤー以下の総需要（消費）電力とする。最上位レイヤーでは総消費電力が総供給電力を超えなければ良いので以下の不等式が目的関数となる。

$$P_c(t) \leq P_s(t)$$

この不等式は最上位レイヤーの下に2つの下位層クラスタがあるとすると以下の不等式に変形できる。ここで $P_{s1}(t)$ および $P_{s2}(t)$ は、最上位レイヤーが2つのクラスタに分配できる供給電力であり、 $P_{s1}(t) + P_{s2}(t) = P_s(t)$ を満たす様に上位レイヤーが決定し下位レイヤーに命令する。一方、 $P_{c1}(t)$ および $P_{c2}(t)$ は、2つのクラスタの消費電力であり最下位レイヤーの場合は直接制御可能な値である。

$$P_{c1}(t) + P_{c2}(t) \leq P_{s1}(t) + P_{s2}(t)$$

この不等式はクラスタ毎に以下の2つの不等式に分離することが可能であり、電力制御を階層的に行うことが可能であることを示している。またこの2つの不等式は上位レイヤーの目的関数の十分条件となってお

り各クラスタ毎の目的関数が満足されれば上位レイヤーの目的関数も自動的に満足される。

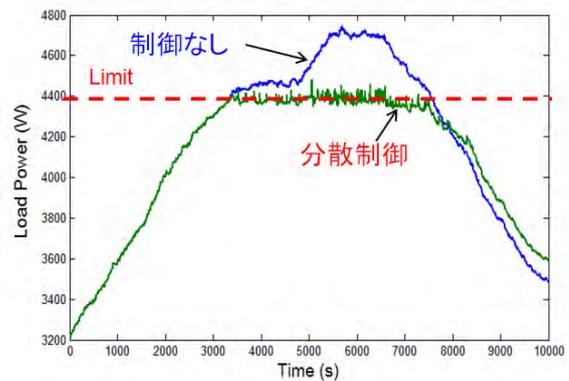
$$P_{c1}(t) \leq P_{s1}(t) \cap P_{c2}(t) \leq P_{s2}(t)$$

一方で、供給電力 $P_{s1}(t)$ および $P_{s2}(t)$ は、上位レイヤーが下記の目的関数を用いて決定するものである。これは供給電力と需要電力の差を最小化するものであり電力の需給バランスを制御するものである。

$$\{P_{s1}(t'), P_{s2}(t')\} = \arg \min_{P_{s1}, P_{s2}} \{ |P_{s1}(t) - P_{c1}(t')|^2 + |P_{s2}(t) - P_{c2}(t')|^2 \}$$

図2はあるオフィスを仮定し、オフィス内のスマートメータの数を16、スマートタップの数も16とし、それぞれを4つのクラスタに分割して上記制御を行った場合の特性を示している。図より、分散制御の性能は集中制御を上回っており、大規模ネットワークに有効であることが分かる。分散制御の性能が集中制御の性能を超える理由は、通信ネットワークの遅延にあることに注意されたい。

需給バランスとピーク電力抑圧効果



需要が供給を超える時間

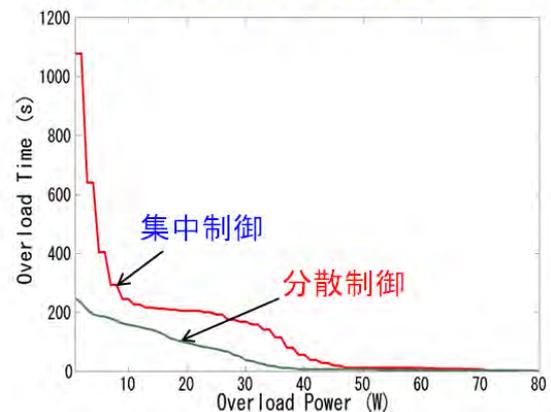


図2 シミュレーション結果

3. 試作システム

次に、提案する分散型電力制御ネットワークの試作システムを研究室という小さい単位で構築した。図3に試作した制御ネットワークの構成図を示す。試作システムは、主として太陽光発電システム、スマートメータネットワーク、電力制御ネットワークから構成される。試作システムは、研究室で実際に使用しているエアコンやパソコンおよび実験機器の消費電力をスマートメータを用いて観測し、その消費電力の総量が太陽光発電を考慮した総供給電力を超えないようにスマートタップを制御するフィードバック制御システムである。スマートタップには優先順位があり、消費電力の制御を行う際には優先度の低い電気機器より順に電源をオフする。

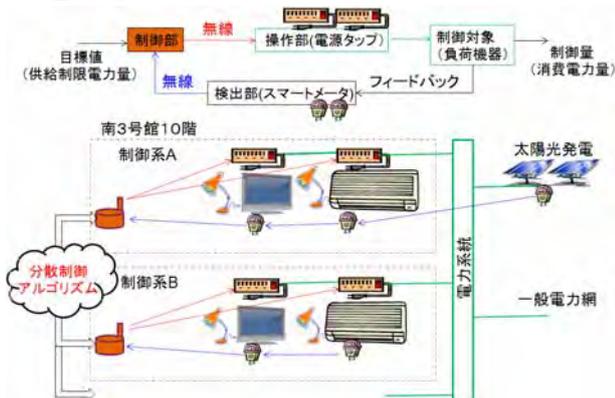


図3 分散型電力制御システムの試作

図4に購入した太陽光発電システムを示す。太陽電池パネルは小長井研究室の協力を得て、南3号館屋上に設置されており、すべての架台を合わせると10kWの発電容量を持っている。これらはパワーコンディショナーを経て南3号館10階の共用分電盤で系統連携されている。図5は購入および開発したスマートメータネットワークである。各メータはクランプセンサーにより10Wのステップで5秒間隔に消費電力を計測し、IEEE802.15.4の通信プロトコルに準拠した無線マルチホップネットワークによりサーバに観測データを送信する。図6は購入および開発した電力制御ネットワークである。研究室内の電気機器はIEEE802.11bの通信プロトコルに準拠した無線LANにより制御可能なスマートタップに接続され

ており、上記で説明した分散型電力制御アルゴリズムに応じてその状態をオンオフ制御可能となっている。



図4 太陽光発電システム

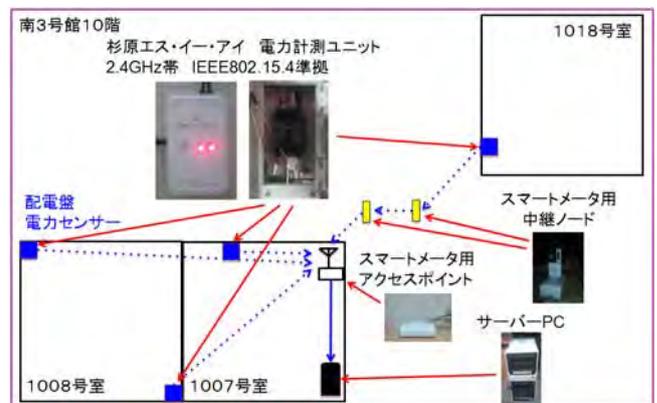


図5 スマートメータ

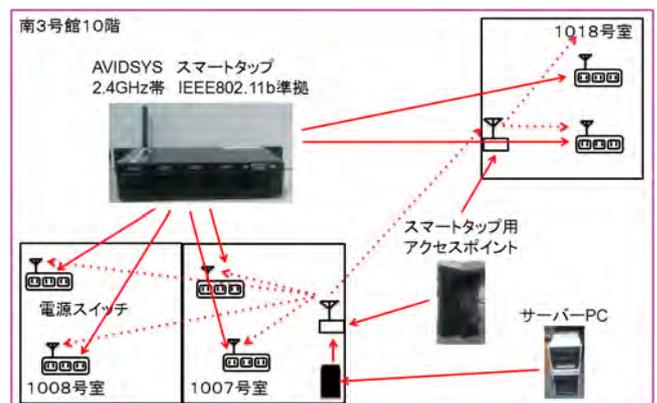


図6 電力制御ネットワーク

図7は試作システムを用いて学生居である1018号室の消費電力を測定した結果を示している。図5から分かるように、1018号室はアクセスポイントのある1007号室から比較的距離が離れているため、スマートメータの観測データは2つの中継ノードを介してサーバに収集されている。図7

は1018号室の消費電力を1週間に渡って観測したデータを横軸を時刻として表示している。図より（不本意ではあるが）学生は昼の12時頃に登校し夜の10時頃に帰宅する傾向があることが消費電力の観測により判明した。また日曜日の消費電力は最も低くプリンター等の待機電力に一致しているものと思われる。

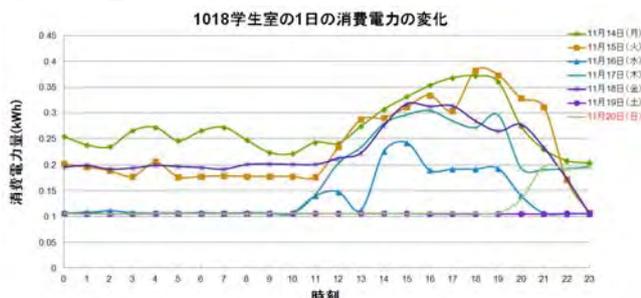


図7 消費電力の統計（時間変化）

最後に電力制御の効果を図8に示す。ここでは総供給電力、すなわち制御のしきい値を人為的に5kWと設定した。図8には総消費電力とエアコンのみの消費電力を分けて表示している。図より研究室の消費電力はエアコンの消費電力に大きく依存していることが分かる。図中に消費電力の3つの変化の山があるが、左2つは電力制御を作動させた場合、右1つは電力制御を停止した場合を示している。これらと比較することにより電力制御の効果を実環境で確認することが出来た。

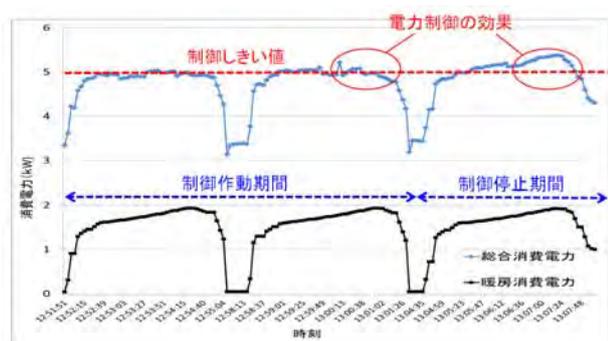


図8 電力制御の効果

これらにより小規模ではあるものの、再生可能エネルギーの導入と、ICT技術を活用したリアルタイムな電力の需給バランスの制御を可能とした。今後は年というオーダーで、消費電力および制御特性の統計解析を行う予定である。また解析結果をもとに制御アルゴリズムの改良も行う。

4. まとめ

本研究では、分散型電力制御ネットワークに必要なネットワークトポロジと分散制御アルゴリズムを提案し、研究室という小さい単位でスケールモデルを構築した。今後は、オンオフのバイナリではない高度な電力制御を行うとともに、無線と有線が融合したヘテロジニアスな通信ネットワークを導入していきたい。またより一般的にネットワーク制御の理論体系を構築するとともにスマートグリッドの実用化に貢献したい。

【参考文献】

1. グェン, 阪口, 荒木, “ピーク消費電力を調整する分散型電力制御ネットワーク,” 電子情報通信学会技術報告, RRRC2011-13, 2011年11月.

各種太陽電池モジュールの発電特性の測定と評価

津野 裕紀 (独立行政法人 産業技術総合研究所)

1. はじめに

近年、太陽電池市場の急速な拡大と共に、現在主流である結晶 Si 太陽電池だけでなく、アモルファス Si、化合物系、集光型太陽電池など様々な材料・構造からなる太陽電池が市場に投入されており、多種多様な太陽電池が普及している。

このような現状の下、市販の太陽電池モジュールの性能指標は、基準状態(Standard Test Conditions; STC)での最大電力で表すことが国際的に定められている。この指標は太陽電池の国際的整合性を持って評価するのに必要不可欠である。一方、太陽電池が実際に稼働する屋外では、様々な気象条件の下で動作し、太陽電池の性能はこれらの条件によって変化する。従って太陽電池の性能は、STC での性能に加えて、様々な気象条件下での特性を把握することが重要であり、近年は各種太陽電池モジュールの出力係数の比較、長期的な屋外暴露による出力の劣化に関する研究が活発である。また、Photon誌では、屋外に各メーカーの太陽電池モジュールを設置し、出力係数や稼働時間等のランキングを掲載しており、実際の発電量の把握に対する関心の高さが伺える。

国際電気標準会議 IEC/TC82/WG2 などにおいても気象条件を考慮したエネルギー定格に関する議論が進んでおり、昨年エネルギー定格に関する 61853 シリーズのうち、パワーレーティングに関する 61853-1 が発行され、分光感度特性や角度特性等に関する 61853-2 は今年発行の見込みである。

本稿では、パワーレーティングのための I-V 特性の測定・補正法について述べ、また、これを利用した屋外特性の評価法とその結果について述べる。

2. 61853-1 について

IEC61853-1 では、Power Rating conditions として、STC の他に NOCT, LIC (Low irradiance condition), HTC (High temperature), LTC (Low temperature condition) の 5 つの条件での出力測定を、また、温度特性や照度特性を決定するための条件として、温度や照度を変化させた 23 条件 (Performance matrix) を規定している。温度・照度の条件を変えて測定するために、屋外で追尾架台を用いた場合、用いない場合、屋内で測定する

場合の測定手順が記されている。実際に屋外で測定した例としては、文献¹⁾等があり、屋内では文献²⁾などがある。ソーラシミュレータを用いて測定する場合は、モジュールをチャンバに入れ温度調整し、メッシュフィルタを用いるなどして光量を調整する必要がある。

3. I-V 特性の補正法の比較

2章で述べた Performance matrix の全ての条件を実測することは屋内測定でも屋外測定でも非常に煩雑である。そこで、少ない測定点から Performance matrix を作成することを目的として、IEC 60891 ed2.0 で規定された 3 つの補正式を用いて、その補正精度を比較した。

図 1 は前述の IEC 61853 で規定される測定条件と今回の実験の測定条件である。測定は屋内で行い、照度の調整はメッシュフィルタを、温度の調整はモジュールを加熱チャンバに入れて行った。実験に使用したモジュールは単結晶 Si と CIGS である。

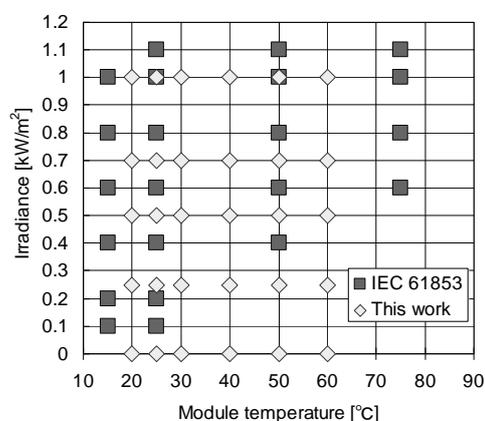


図 1 実験に使用した測定条件と IEC61853 で規定された測定条件

各補正式は以下の通りである。Procedure 1 は IEC 60891 ed1 でも記載されていたもので、該当の JIS 規格にも採用されている。また、Procedure 2 は欧米から提案されたもので、Procedure 1 を改良したものである。Procedure 3 は日本から提案されたもので、上記 2 つの補正法と異なり、補正パラメータを用いない補正法である。各補正法の詳細や算出法については IEC 60891 ed2.0 を参照されたい。

[Procedure 1]

$$I_2 = I_1 + I_{sc} \left(\frac{E_2}{E_1} - 1 \right) + \alpha (T_2 - T_1)$$

$$V_2 = V_1 + \beta (T_2 - T_1) - R_s (I_2 - I_1) - K I_2 (T_2 - T_1)$$

[Procedure 2]

$$I_2 = I_1 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (T_2 - T_1) \right] \cdot \frac{E_2}{E_1}$$

$$V_2 = V_1 + V_{oc1} \cdot \left[\beta \cdot (T_2 - T_1) + a \cdot \ln \left(\frac{E_2}{E_1} \right) \right]$$

$$- R_s \cdot (I_2 - I_1) - \delta \cdot I_2 \cdot (T_2 - T_1)$$

[Procedure 3]

$$I_3 = I_1 + a \cdot (I_2 - I_1)$$

$$V_3 = V_1 + a \cdot (V_2 - V_1)$$

$$a = \frac{T_3 - T_1}{T_2 - T_1}$$

$$a = \frac{G_3 - G_1}{G_2 - G_1}$$

各補正式での補正精度を検証した結果を表1に示す。表中の数字の下線は補正に用いたI-V特性を、Procedure1 および2の太文字の箇所はパラメータを算出するために用いたI-V特性である。表中の色が白から水色、黄色、赤になるにつれて測定値との差が大きくなることを示している。

結果、Procedure1の単結晶Siモジュールの結果からは、0.5SUN付近から測定値との差が2%以上となり、低照度になるにつれて差が大きくなっていることがわかる。CIGSモジュールでは±2%以内であった。Procedure2では、どちらのモジュールでも低照度・高温の時にのみ±1%以上の差がみられた。Procedure3は、すべて±1%以内で算出できていることがわかる。特に低照度において差が大きくなる原因を調べるために、25℃での各照度でのI-V特性の短絡電流が0[A]になるように並行移動したものを図2に示す。通常、ある2つの照度におけるI-V特性を図2のように比較した場合、電圧の減少量は(1)式のようになる。

$$V_{2(shifted)} - V_{1(shifted)} = R_s (I_{sc1} - I_{sc2}) \quad (1)$$

表1 各補正式での最大電力の測定値と算出値の比較

| | | Procedure 1 | | | | Procedure 2 | | | | Procedure 3 | | | | | | | |
|--------------|------------|------------------|-------|-------|-------|------------------|------|------|-------|------------------|-------|-----|-------|-------|-------|------|---|
| | | Irradiance [SUN] | | | | Irradiance [SUN] | | | | Irradiance [SUN] | | | | | | | |
| | | 1 | 0.75 | 0.5 | 0.25 | 1 | 0.75 | 0.5 | 0.25 | 1 | 0.75 | 0.5 | 0.25 | 0 | | | |
| sc-Si module | Temp. [°C] | 20 | -0.1% | -1.2% | -3.0% | -8.3% | 20 | 0.0% | -0.4% | -0.6% | 0.9% | 20 | -0.1% | -0.2% | -0.6% | 0.4% | |
| | | 25 | 0.0% | -1.3% | -2.8% | -8.3% | 25 | 0.0% | -0.5% | -0.6% | 0.7% | 25 | 0.0% | -0.3% | -0.6% | 0.1% | — |
| | | 30 | 0.1% | -1.2% | -2.4% | -8.5% | 30 | 0.1% | -0.3% | -0.2% | 0.7% | 30 | 0.0% | -0.2% | -0.2% | 0.0% | |
| | | 40 | 0.1% | -1.2% | -2.3% | -8.0% | 40 | 0.1% | -0.4% | -0.1% | 1.2% | 40 | 0.0% | -0.4% | -0.4% | 0.2% | |
| | | 50 | 0.1% | -0.8% | -1.9% | -7.7% | 50 | 0.1% | 0.0% | 0.2% | 1.4% | 50 | 0.1% | -0.2% | -0.3% | 0.1% | |
| | | 60 | 0.0% | -0.5% | -1.8% | -7.4% | 60 | 0.0% | 0.2% | 0.3% | 1.7% | 60 | 0.0% | -0.1% | -0.3% | 0.1% | — |
| CIGS module | Temp. [°C] | 20 | 0.3% | 0.3% | -0.1% | -1.7% | 20 | 0.4% | -0.1% | -0.6% | -0.8% | 20 | 0.4% | 0.5% | 0.4% | 0.0% | |
| | | 25 | 0.0% | 0.3% | 0.2% | -1.2% | 25 | 0.0% | -0.1% | -0.2% | -0.4% | 25 | 0.0% | 0.5% | 0.5% | 0.2% | — |
| | | 30 | 0.1% | 0.2% | 0.0% | -0.9% | 30 | 0.1% | -0.2% | -0.4% | -0.1% | 30 | 0.1% | 0.3% | 0.2% | 0.3% | |
| | | 40 | 0.0% | 0.5% | 0.5% | -0.9% | 40 | 0.0% | 0.0% | 0.0% | -0.2% | 40 | 0.0% | 0.3% | 0.3% | 0.2% | |
| | | 50 | 0.1% | 0.5% | 0.7% | 0.8% | 50 | 0.0% | 0.0% | 0.1% | 1.4% | 50 | 0.0% | 0.2% | 0.2% | 0.3% | |
| | | 60 | 0.1% | 0.8% | 0.9% | 0.9% | 60 | 0.0% | 0.2% | 0.3% | 1.4% | 60 | 0.0% | 0.1% | -0.1% | 0.1% | — |

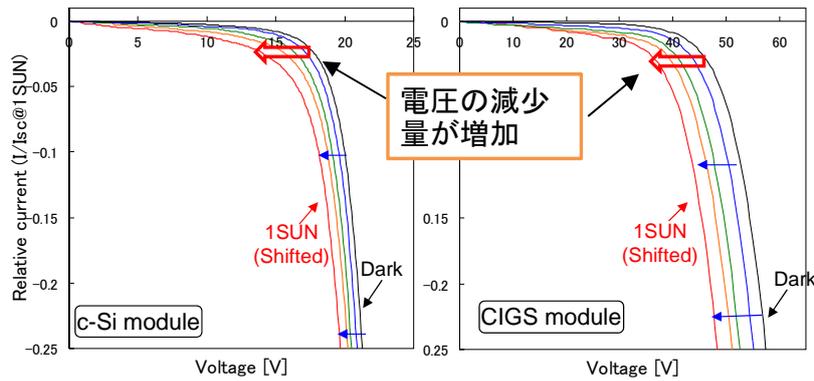


図2 各照度での電圧変化量の比較

(1)式から、電圧の減少量は直列抵抗 R_s と短絡電流（照度）の一定値で決まるため、電圧の減少量は電流値に依存しないが図2では、開放電圧付近と P_{max} 付近(図では0[A]付近)では電圧の減少量が異なり、結果並列抵抗があたかも変化したかのように見える。この現象は“Apparent shunting”と呼ばれ、セル内の直列抵抗にムラがある場合等であることが報告されている³⁾。特に Procedure1 は太陽電池の等価回路を簡略化したものであるため、この影響を補正することができない。従って補正に用いた I-V 特性の照度条件から遠くなるほど測定値との差が大きくなるものと思われる。

この差が発電量にどの程度影響を与えるか、屋外での発電量（出力係数）を各月で計算した結果を図3に示す。計算は表1の単結晶 Si モジュールの補正結果を用いた。日射強度、モジュール温度はある地域の実測値（約4万点）を代用した。

比較の結果、Procedure2 と3はほとんど差がないが、Procedure1 は約1%~3%低めとなった。当然ながら、月単位ではなく日単位や瞬時値で計算しようとするこの差はより大きくなるため、補正法の選択には注意が必要である。

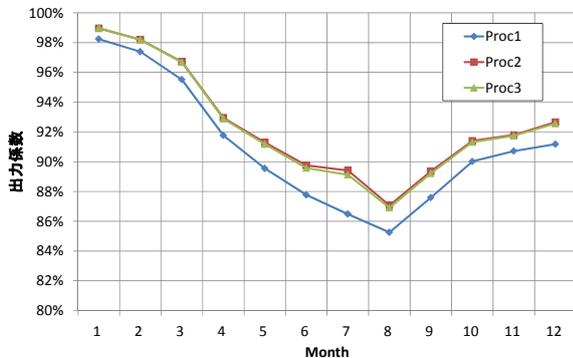


図3 各月の発電量を計算したときの出力係数の比較

4. 損失割合と発電量の推測

筆者らは各種太陽電池モジュールの性能評価法として、STC 特性、モジュール分光感度、上記の Procedure3 を用いた温度照度特性等の屋内精密測定結果を合わせて解析し、発電性能と損失の内訳を明らかにする手法を提案した⁴⁾。この解析法の利点は年間、月間などのある期間において、発電電力を減少させる要因を数値で表すことができる点である。図4に損失割合の計算手法の概要を示す。

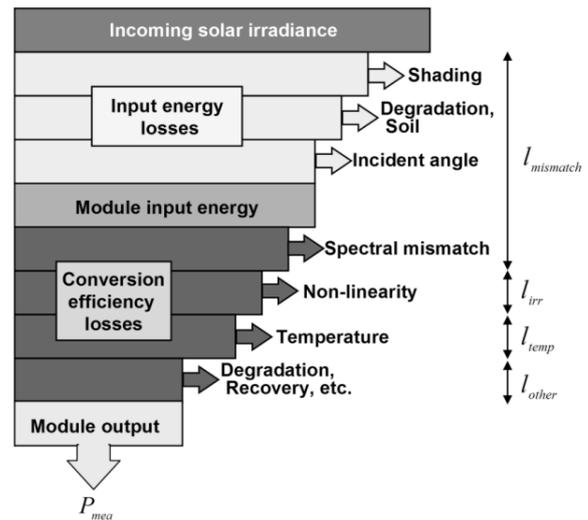


図4 損失割合の計算手法の概要

解析の一例として、山梨県北杜市に設置された9種類の太陽電池モジュールの解析結果を図5に示す。出力係数の高い順(損失量が少ない順)に並べた。どの結果も太陽電池の温度特性による損失が最も大きく、次いで照度特性による損失となった。温度による損失割合はc-Si1を除いて5%から6.5%とほぼ変わらないが、照度特性による損失割合は0~2.7%と比較的モジュールによるばらつきが大きい結果となった。

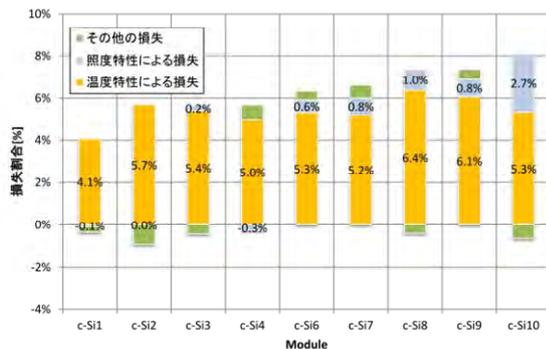


図5 各モジュールの損失割合

図5の結果をもとに温度特性と照度特性の両方を考慮した場合と、温度特性のみを考慮した場合とで発電電力量を計算し、出力係数を実測値と比較した結果を図6に示す。

結果から、照度特性、温度特性の両方を考慮して計算した場合、ほぼすべてのモジュールで実測の出力係数と1%程度の差で計算できた。逆に温度特性のみを考慮して出力係数を計算した場合、特にc-Si6~c-Si10で実測との差が大きくなる。また、図5で照度特性による損失が少ないc-Si1~c-Si4ではどちらの場合も出力係数の計算値はほとんど変わらない。従って、このような計算の場合、c-Si1~c-Si4では照度特性を考慮する必要がなく、温度特性による影響のみを考慮すればよいことがわかる。

このように、Performance matrixをあらかじめ把握していれば、発電量の評価や推測だけでなく、モジュールによっては計算に必要な要因を削減することも可能である。

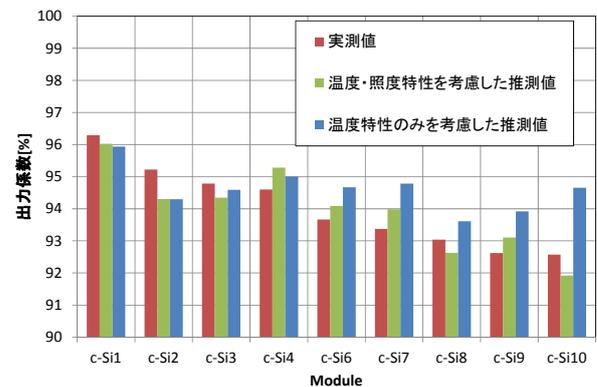


図6 結晶Siモジュールの出力係数の実測値と推測値の比較

5. まとめ

本稿では、パワーレーティングのためのI-V特性の測定・補正法について述べ、また、これを利用した屋外特性の評価法とその結果について述べた。また、各モジュールでSTCとともにPerformance matrixを表記（もしくはI-V特性から補正）することにより、性能評価や発電量の評価に役立つことを示した。

実際の太陽光発電市場の中でどの機関がIEC 61853の規格に関する測定を行うのか、実用化されるのか不明確ではあるが、本稿が今後の技術開発の参考になれば幸いである。

謝辞

本研究の一部は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から委託され実施したものであり、関係各位に感謝する。

Reference

- 1)G. TamizhMani, et. Al.,: Solar ABCs Study report, 2011.
- 2)U. Jahn, et. Al., : WCPEC5, 2010, pp3769-3773.
- 3) A. Sugianto, et. Al.,: to be published in Prog. Photovolt: Res. Appl.
- 4)Y. Tsuno, et. Al.,: WCPEC5, 2010, pp3785-3789.

太陽光発電出力把握技術の開発 ～地域内の日射強度推定手法～

川崎 憲広, 宇佐美 章 ((財)電力中央研究所)

1. はじめに

将来に予測される太陽光発電(PV)の電力系統への大量連系時には、電力系統の安定運用のためにPVの発電出力を正確に把握する必要がある。実用上、より少ない観測地点で且つ、観測が容易な日射・気象データから広域のPVシステムの出力を正確に推定する技術が求められている。そこで我々は、空間補間法を用いた地域内の日射推定手法の開発を行っている⁽¹⁾。また、日射に対応した手法に改良するためには日射の特性を考慮する必要がある。本研究では、日射の変動特性に注目して観測地点間の相関を分析し、変動周期毎にモデル化する手法を提案した。

2. 空間補間法

ある地域内のPV出力を把握する場合、前述のように、実用上できるだけ少ない観測地点から全体の日射を把握することが求められる。そのため、限られた地点の日射データを補間する方法として、我々は地球統計学で用いられている空間補間法の一つであるクリギング⁽²⁾を応用して日射強度の面的分布を推定する手法を検討する。

クリギング(Kriging)とは、推定誤差の分散を最小にするような重みを求め、推定値はその重みを使って移動平均で算出される⁽³⁾。任意の地点を P_0 とすると、地点 P_0 の日射強度 z_{P_0} は以下の式で算出できる。

$$z_{P_0} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot z_{P_i} \quad (1)$$

z_{P_i} : 観測地点 P_i ($i=1 \sim n$)の日射強度(観測値)

w_i : 重み係数, n : 観測地点数

空間補間法では重みの決定法が重要となる。ここでは、最良の重み係数を求める規準として、前述のように推定誤差分散をできるだけ小さくすることを考える。具体的には、束縛条件下で最適化を行うラグランジュ法から、式(2)が得られる。

$$\begin{pmatrix} \gamma(h_{11}) & \cdots & \gamma(h_{1n}) & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & 1 \\ \gamma(h_{m1}) & \cdots & \gamma(h_{mn}) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma(h_{01}) \\ \vdots \\ \gamma(h_{0n}) \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$\gamma(h_{ij})$: バリオグラム, λ : ラグランジュ係数,
 h_{ij} : 地点間距離(地点 P_i と P_j の間の距離)

ここで、バリオグラムとは2地点の値の非類似度を表す指標であり、2地点間の観測値の関係から地点間距離 h の関数としてモデル化しておく必要がある。また、このモデルはクリギングによる未観測地点の値の推定に大きく影響するため、日射を補間するのであれば、日射の特徴を考慮した適切なモデルを与えることが重要となる。

3. 観測サイト

本手法の検討には、多地点で計測された日射強度が不可欠である。そこで、**図1**に示すような位置関係にある山梨県北杜市内の7つの市役所総合支所($P_2 \sim P_8$), 4つの保育園($P_9 \sim P_{12}$), NEDO技術開発機構の委託事業「北杜サイトにおける大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証研究」の実証試験サイト(P_1)の合計12地点で計測された日射データを利用した。このデータの計測期間は2009年4月から2011年7月までである。また、計測システムにはシリコン受光式の日射計を使用しており、1秒周期で水平面全天日射強度を計測していた。また、多地点同時計測で重要となる時刻同期はインターネットを介して行っていた。

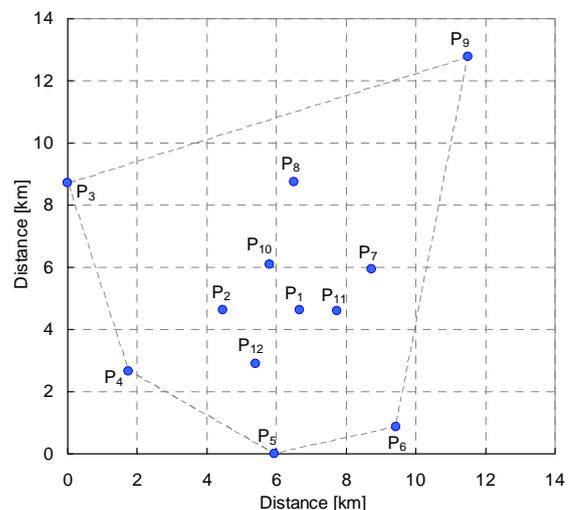


図1 日射観測地点の位置

4. 地点間の日射の相関分析

クリギングでは、未観測地点のデータが観測地点のデータと確率的相互関係を持つことが大前提とされている⁽⁴⁾。そのため、観測地点間の日射に確率的相互関係が見いだせなければ、未観測地点の日射を推定することはできない。ここでいう確率的相互関係とは、バリオグラムに相当し、空間補間の際に必要な重み係数の決定に大きく影響するので、このバリオグラムのモデル化が重要となる。また、式(3)に示すように正規化したバリオグラム関数 $\gamma(h)$ は相関関数 $\rho(h)$ から導出できることから、ここでは $\rho(h)$ をモデル化することを目的に観測地点間の相関分析を行った。

$$\gamma(h) = 1 - \rho(h) \quad (3)$$

h : 観測地点間距離

観測サイト全 12 地点における 2 地点の組合せ (66 通り) 毎の地点間距離は表 1 に示すとおりであり、0.867~14.04 km の範囲内の検討が可能である。また、日射の変動は雲による短周期変動から太陽の動きによる長周期変動まで含まれ、それらは空間的な特徴が異なると考えられる。そこで、表 2 に示す変動周期の範囲毎に分析を行うこととした。

表 1 観測地点間の距離: h [km]

| | P ₁ | P ₂ | P ₃ | P ₄ | P ₅ | P ₆ | P ₇ | P ₈ | P ₉ | P ₁₀ | P ₁₁ | P ₁₂ |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| P ₁ | | 2.59 | 8.34 | 5.46 | 4.29 | 4.08 | 2.49 | 4.61 | 9.72 | 2.27 | 0.87 | 2.03 |
| P ₂ | 2.59 | | 6.03 | 3.34 | 4.86 | 6.23 | 4.49 | 4.60 | 10.77 | 2.00 | 3.29 | 1.99 |
| P ₃ | 8.34 | 6.03 | | 6.28 | 10.54 | 12.25 | 9.17 | 6.50 | 12.19 | 6.37 | 8.76 | 7.95 |
| P ₄ | 5.46 | 3.34 | 6.28 | | 4.98 | 7.88 | 7.72 | 7.72 | 14.04 | 5.32 | 6.30 | 3.67 |
| P ₅ | 4.29 | 4.86 | 10.54 | 4.98 | | 3.59 | 6.55 | 8.76 | 13.92 | 6.10 | 4.94 | 2.93 |
| P ₆ | 4.08 | 6.23 | 12.25 | 7.88 | 3.59 | | 5.09 | 8.39 | 12.07 | 6.34 | 4.08 | 4.48 |
| P ₇ | 2.49 | 4.49 | 9.17 | 7.72 | 6.55 | 5.09 | | 3.59 | 7.38 | 2.94 | 1.86 | 4.51 |
| P ₈ | 4.61 | 4.60 | 6.50 | 7.72 | 8.76 | 8.39 | 3.59 | | 6.41 | 2.74 | 4.32 | 5.96 |
| P ₉ | 9.72 | 10.77 | 12.19 | 14.04 | 13.92 | 12.07 | 7.38 | 6.41 | | 8.77 | 8.99 | 11.61 |
| P ₁₀ | 2.27 | 2.00 | 6.37 | 5.32 | 6.10 | 6.34 | 2.94 | 2.74 | 8.77 | | 2.44 | 3.24 |
| P ₁₁ | 0.87 | 3.29 | 8.76 | 6.30 | 4.94 | 4.08 | 1.66 | 4.32 | 8.99 | 2.44 | | 2.89 |
| P ₁₂ | 2.03 | 1.99 | 7.95 | 3.67 | 2.93 | 4.48 | 4.51 | 5.96 | 11.61 | 3.24 | 2.89 | |

表 2 変動周期の範囲

| j | 変動周期範囲の 最小値 [sec] | 変動周期範囲 |
|----|----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 2秒 ~ 4秒 |
| 2 | 4 | 4秒 ~ 8秒 |
| 3 | 8 | 8秒 ~ 16秒 |
| 4 | 16 | 16秒 ~ 32秒 |
| 5 | 32 | 32秒 ~ 1分04秒 |
| 6 | 64 | 1分04秒 ~ 2分08秒 |
| 7 | 128 | 2分08秒 ~ 4分16秒 |
| 8 | 256 | 4分16秒 ~ 8分32秒 |
| 9 | 512 | 8分32秒 ~ 17分04秒 |
| 10 | 1024 | 17分04秒 ~ 34分08秒 |
| 11 | 2048 | 34分08秒 ~ 1時間08分16秒 |
| 12 | 4096 | 1時間08分16秒 ~ 2時間16分32秒 |
| 13 | 8192 | 2時間16分32秒 ~ 4時間33分04秒 |
| 14 | 16384 | 4時間33分04秒 以上 |

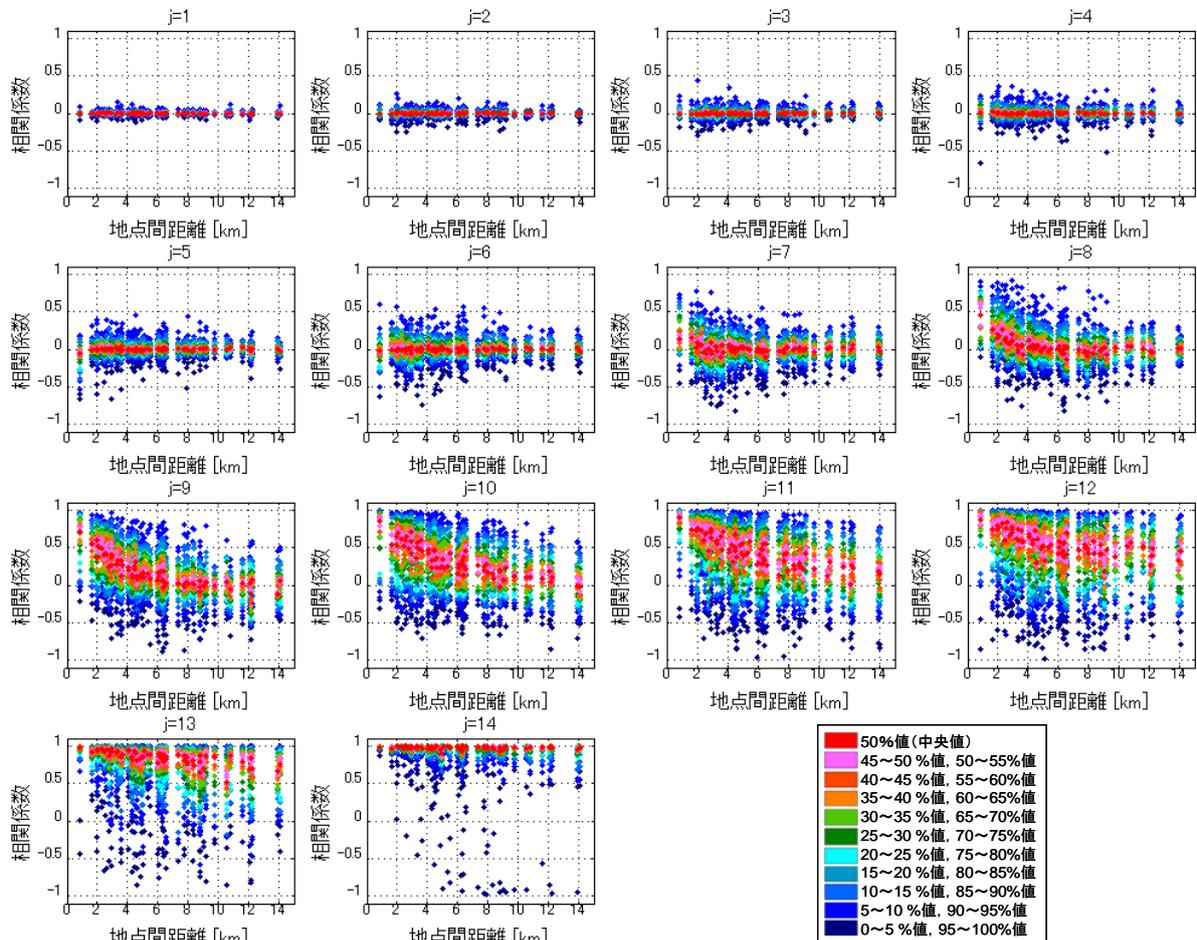


図 2 観測地点間の日射相関分析の結果

観測地点間の相関分析は、任意の2地点の日射において9~15時の時間帯に対して行った。また、分析対象期間は、全観測地点のデータに欠測がない2010年1月17日から2010年3月7日のうちの35日分である。図2には、観測地点間の日射の相関係数を変動周期別に算出した結果を示す。ここで、1日1組合せで1点がプロットされるので、1組合せ(ある地点間距離)では35点の結果がプロットされている。これらの結果に対して全データ数(35点)を100%とし、5%刻みで色分けをした。赤のプロットは中央値を示している。また、変動周期別には2310点の結果がプロットされている。

上記の結果、短周期成分(j=1~6)では地点間距離によらず、ほぼ無相関であった。j=7以降の成分では、地点間距離が短い範囲で相関係数が高くなる傾向が見られた。そして、周期が長くなるほどに地点間距離が長くても相関係数が高くなった。また、2時間以上の長周期(j=13~14)では、地点間距離によらず、相関係数が1に近かった。これらの傾向は、中央値に近づくほどに顕著に表れている。

5. バリオグラム関数のモデル化

前章の分析結果から観測地点間の日射に確率的相互関係を見いだすことができ、クリギングの大前提を満たした。そこで、バリオグラム関数 $\gamma(h)$ の導出につなげるため、相関係数の分析結果から相関関数 $\rho(h)$ のモデル化を行う。相関関数のモデルには式(4)を提案し、分析期間のうち中間的な特徴を示している分析結果の中央値を用いて、最小二乗法によりフィッティングパラメータA, B, Cを変動周期毎に決定した。

$$\rho(h) = A \cdot e^{-B \cdot h} + e^{-C \cdot h} - A \cdot e^{-C \cdot h} \quad (4)$$

図3には変動周期毎にモデル化した相関関数を示す。

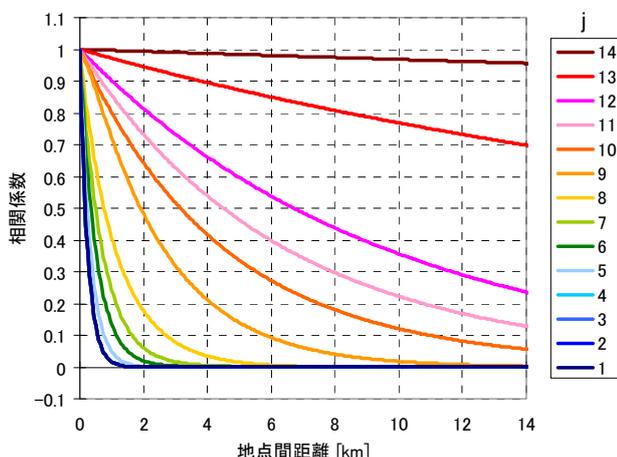


図3 相関関数 $\rho(h)$

次に、式(3)から導出したバリオグラム関数を図4に示す。これを日射の特性を考慮したモデルとして提案し、地域内の日射推定に用いる。

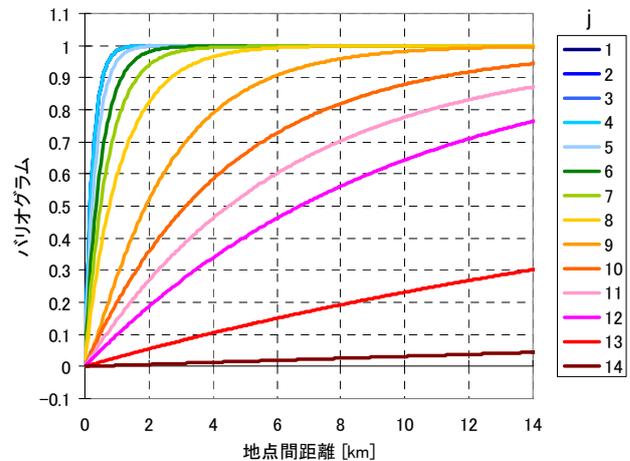


図4 バリオグラム関数 $\gamma(h)$

未観測地点の日射の推定には、上記のバリオグラム関数を式(2)に適用して未観測地点との重み係数 w_i を求める。そして、式(1)に代入することで任意の地点の日射を推定することができる。図5には、地域内の日射を推定した一例を示す。

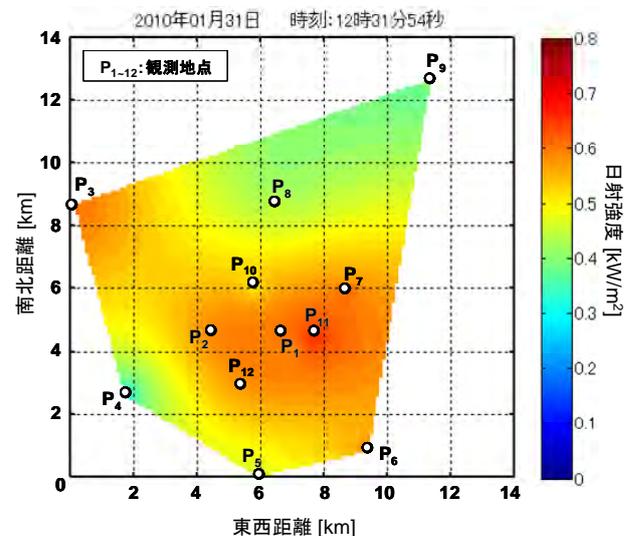


図5 地域内の日射推定の一例 (2010/1/31)

6. 開発モデルの精度検証

開発したバリオグラム関数のモデルを用いたクリギングによる日射推定は、どの程度の精度であるかを把握しておく必要がある。そこで、交差検定により開発モデルによる日射推定精度を検証した。交差検定とは、モデルの妥当性を検証する方法で、サンプル(地点)がn個ある場合、n-1個で推定し、残りの1個で検証を行う方法であり、これを全てのサンプル(地点)に対して行う。ここでは、12地点中11地点を用いてある任意の1地点の日射強度を推定し、その推定値と実測値から平均平方誤差(RMSE)を算出して評価する。

しかし、これは1地点毎の評価のため、実測値には短周期のランダム変動が含まれ、一方で、推定値は開発手法により短周期変動の影響が小さくなる。そのため、誤差が大きくなることが予想されるが、これは局所的な推定精度を評価するに過ぎない。本研究の目的は地域内の日射推定であることから、変動平滑化効果(ならし効果)により変動の影響が小さくなる領域は除外することを考える。そこで、日射変動を評価するための指標である図6に示す最大変動幅⁽⁵⁾の解析結果からその領域を判定する。ここで、点日射は1地点の日射であり、面平均日射は12地点の日射の平均値である。これらの最大変動幅を比較すると、変動周期約17分(j=9)以下で最大値、中央値ともに半分以上に低減している。そのため、変動周期約17分以上の領域に関して交差検定を行うこととした。

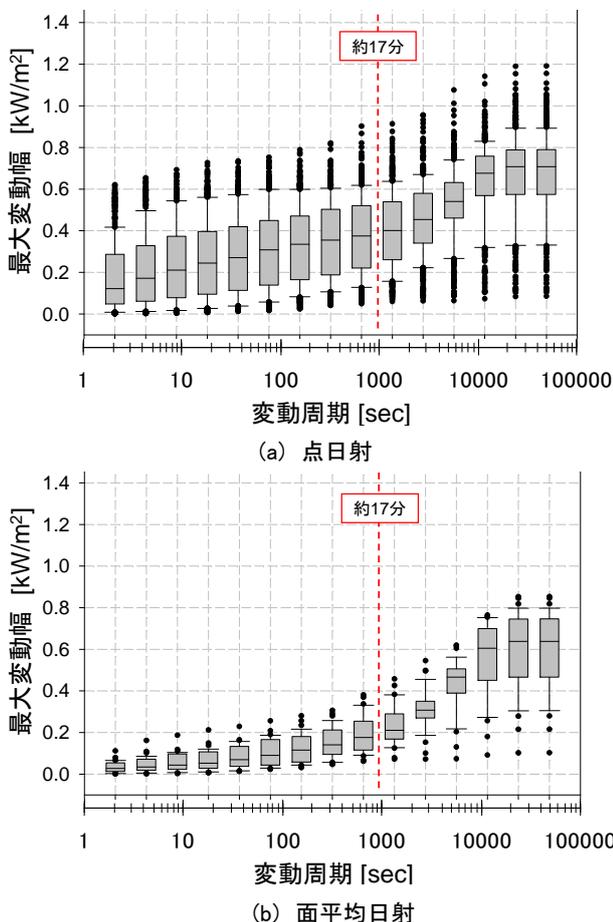


図6 点日射と面平均日射の最大変動幅

このグラフは、データの分布を統計的に示す「箱ひげ図」である。長方形で示す箱の下端は全データの25%値、その上端は75%値、箱内の線は中央値に相当し、箱内には全データの50%が収まる。また、上下にでている「ひげ」と呼ばれる線は下端が10%値、上端が90%値で、その他のデータは外れ値として点でプロットされる。この箱ひげ図は変動周期毎に作成しており、それぞれの領域毎のデータの分布が把握しやすくなる。

図7には、変動周期約17分以上の日射における観測地点全12地点の交差検定結果を示す。推定値と実測値のRMSEは、中央値に関しては0.05 kW/m²以内、75%値でもおおよそ0.05 kW/m²程度に収まっている。一方で、地点P₉に関しては全体的にRMSEの値が大きいが、これはこの地点の検証が補外になってしまうことと、ほかの地点との距離が離れていることが原因として考えられる。

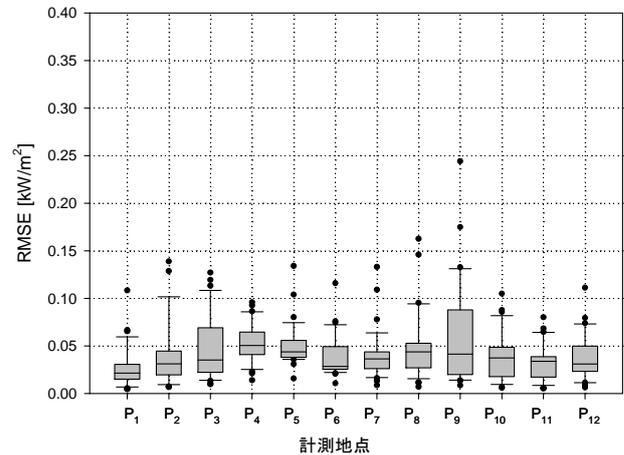


図7 変動周期約17分以上の日射における交差検定結果

7. まとめ

本稿では、地域内の日射を推定するため、空間補間法の一つであるクリギングを用いて、日射の特性を考慮したバリオグラム関数のモデルを導く方法、開発したモデル、そして、そのモデルによる日射の推定精度について述べた。本研究の大きな特長は、日射の変動特性に着目して、変動周期毎にモデルを構築したところにある。これは今後、地域内の日射推定にならし効果を考慮するためにも重要であると考えられる。

謝辞

北杜市内の多地点の日射データをご提供頂いた(株)NTTファシリティーズの関係各位、並びに新エネルギー・産業技術総合開発機構、「北杜サイトにおける大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究」の関係各位に心から感謝の意を表す。

参考文献

- (1) 川崎, 宇佐美, 西岡, 島陰, 山根, 角田, 黒川: 「太陽光発電大量連系に向けた太陽光発電出力把握技術の開発—日射の面的分布の推定に適した空間補間法の検討—」, 電気学会電力・エネルギー部門大会 (2011)
- (2) 青木 他: 「地球統計学」, 森北出版 (2003)
- (3) 高阪: 「クリギングとその応用」, 日大文理学部自然科学研究所研究紀要, No.34, pp.27-35 (1999)
- (4) 間瀬: 「地球統計学とクリギング法 R と geoR によるデータ解析」, オーム社 (2010)
- (5) 川崎, 宇佐美, 西岡, 山根: 「十数 km 四方での日射変動平滑化効果の分析」, 電力中央研究所研究報告 Q10036 (2011)

リモートセンシングによる砂漠地域の太陽光ポテンシャル評価

伊藤 雅一（東京工業大学）

1. 現在までの研究状況

1.1 これまでの研究概要

持続可能な地球を目指して砂漠での大規模太陽光発電システムの可能性について研究を進めている。現在までに「LCA手法によるエネルギー収支、CO₂原単位の評価」により乾燥地域でエネルギー・CO₂を削減できることを明らかにし、「衛星画像を用いたリモートセンシングによる適地判別手法の開発」により砂丘や山岳地帯を除いた適地を抽出し、その面積は非常に大きな発電ポテンシャルがあることが明らかとなった。

1.2 本研究の背景

持続可能な地球が望ましいが、現在は持続可能ではないとレポートが出されている。WWF（世界自然保護基金）によるレポート「Ecological Footprint Atlas 2010」によれば、人類が消費している地球の資源は地球の回復量の1.5倍（2007年）と算出され、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の第4次評価報告書によれば、CO₂の自然吸収量が31億炭素トンに対し、人為排出量は72億炭素トンと2倍以上も排出されている。CO₂濃度の安定化には57%の削減が必要であり、濃度を下げるためにはこれ以上の削減が必要となる。

一方、COP15で示された削減目標は、1990年比で米国は3%削減、日本は25%削減、EUでも20%～30%削減とIPCCの数字には届かない。英国政府気候変動・開発経済担当政府特別顧問のニコラス・スターン卿によるスターンレビュー（2007年）によれば、温暖化の対策をした場合のコストはCDPの1%、対策しない場合のコストはGDPの5%と評価しており、経済的にも対策を講じることが望ましい。

1.3 砂漠のポテンシャル

大幅な温暖化ガス削減のため、本研究では広大で太陽の強い砂漠と、CO₂排出量の少ない太陽光発電の組み合わせ「砂漠太陽光発電」に着目した。砂漠というと美しい砂丘に代表されるが、実際には岩砂漠、礫砂漠、土漠など様々である。特に、砂利や土などで構成される礫砂漠は地盤が固く平坦であり、砂丘とは異なる。また、砂漠は晴天率が高いため日射量が多い。例えば、東京は年間1,268kWh/m²であるが、赤道付近のサハラ砂漠は2,685kWh/m²と東京の2倍にもなる。システム効率10%の太陽光発電システムをゴビ砂漠へ設置（面積率50%）すると約380EJの発電量となり、現在の世界の1次エネルギー消費量とほぼ等しい。さらに、砂漠と電力系統図を同じ地図上に重ねれば、砂漠と送電線が重なる部分もある。つまり、

太陽光発電システムに適した砂漠は、非常に遠い場所ではなく、需要地の近くにもあるということが分かる。

1.4 「砂漠太陽光発電」の研究枠組み

砂漠太陽光発電の実現可能性を評価するため、1998年からIEA（国際エネルギー機関）のPVPS（太陽光発電調査研究プログラム）にて黒川浩助教授がTask8国際ワーキンググループを発足させた。LCA（ライフサイクル評価）や、衛星画像を用いた砂漠地域の適地判別について研究協力を行っている。その他、太陽光発電システムを利用した灌漑、集光システム、社会経済分析などの研究成果をTask8で集約し、報告書として書籍「Energy from the Desert I～III」を出版した。

1.5 砂漠における大規模太陽光発電システムの可能性評価のためのライフサイクル評価（LCA）

大規模太陽光発電システムを砂漠地域に設置した場合に、経済性、環境性の視点からメリットが出るかどうかをLCA手法を用いて評価した。この手法は、原料の採掘から建設、利用・消費、そして廃棄・リサイクルまでを対象とした手法であり、システム全体の投入エネルギー、排出物を定量的に評価ができる。本研究では、経済的な視点から発電コスト、環境的な視点からEPT（エネルギーペイバックタイム）とCO₂排出原単位の3つの指標を用い、実際の設置を想定したシミュレーション評価を行った。LCA評価を実施する際にはデータの収集が最も難しい部分である。特に太陽光発電システムの評価には日射量のデータが不可欠であるが砂漠を対象とした詳しいデータがないため、1日の日射量の1時間値への分解や、太陽光の直達成分と散乱成分への分解をして傾斜面日射量を推定した。また、送電線と所内ケーブルの損失の算出は不可欠であるが、日中と月日で日射は変化するため単純には計算できない。これを解決するため、一日の日射変化による電流変化の損失に加え、年間の日射変化にも対応した送電損失計算手法を開発した。

以上の問題を解決し、日本から最も近いゴビ砂漠を想定してLCA評価を実施した。コストは6.6 UScent/kWhであった。EPTは1.8年であることから1.8年の発電で投入されたエネルギーを回収でき、化石燃料発電と比較して数十分の一となった。CO₂排出源単位12g-C/kWhからCO₂を大幅に削減できることが分かった。太陽電池のLCA研究はブルックヘブン国立大学Fthenakis氏やユトレヒト大学Alsema氏の研究が有名であるが、本研究は太陽電池だけでなくシステムを含めた評

価ある点が新しい。その他、砂漠地域に適した太陽電池を調べるため6種の太陽電池モジュールを用いた比較評価や、NEDO/NTT ファシリティーズの協力の元で約20種類の太陽電池アレイの比較調査も実施した。

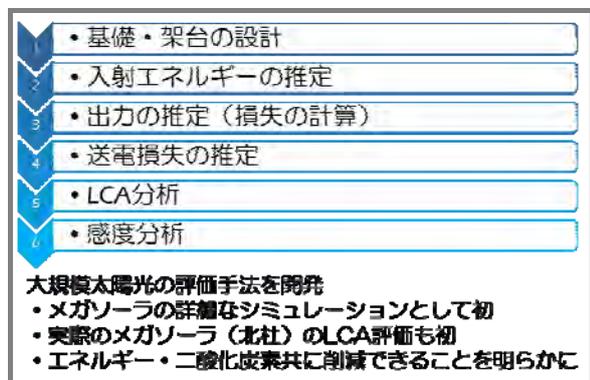


図1 大規模太陽光発電システムのLCAの概要と流れ

1.6 リモートセンシングによる大規模太陽光発電向け適地判別手法の開発

砂漠地域は砂丘や山岳地帯など太陽光発電には向かない場所がある。そこで、以下の目的のため、衛星画像を用いたリモートセンシングにより設置に適した礫砂漠を抽出する手法を開発した。

- ・実際に設置場所が分かる地図作成
- ・砂漠地域の太陽光発電ポテンシャルの算出

衛星 Landsat が取得したデータを用いた 1)画像の最尤法による分類と 2)エッジ抽出による山岳地帯の抽出、衛星 NOAA のデータを用いた 3)植生指標 NDVI による地表面分類を組み合わせる手法を開発した。リモートセンシングの土地被覆分類では千葉大学の環境リモートセンシング研究センターが有名であるが、砂漠をさらに分類する手法は行われてない。特に、Landsat は高解像度(解像度 15m)であり、これをサハラ砂漠のような面積に適用した例は少ない。また、太陽光発電の GIS では EC/JRC (欧州委員会/共同研究センター) の PVGIS や Q セルズ社 Christian Breyer 氏による発電ポテンシャル評価があるが、これらは地形情報を用いていない。

また、本研究の精度確認のために現地と比較するグラントゥルースを実施した。結果、8割を超える適中率が得られた。日射量データベースを用いてポテンシャル評価を行った結果、ここで評価した6つの砂漠では年間752PWhと算出され、これはIEAによる2010年の世界のエネルギー需要の約5倍と算出された。

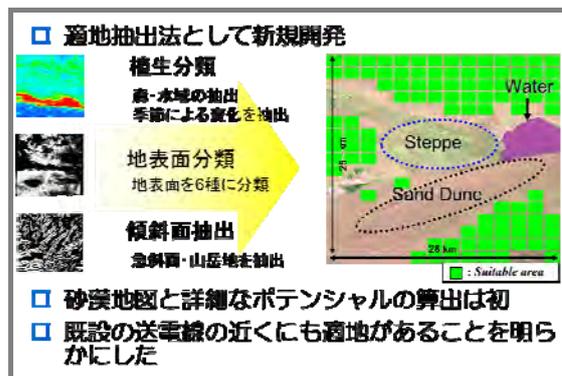


図2 リモートセンシングによる適地抽出手法概要

2. これまでの研究経過及び得られた結果

2.1 砂漠地域における大規模太陽光発電システムのライフサイクル評価

最初のアプローチでは中国ゴビ砂漠を想定し、予備的なシミュレーションを実施した。一般的な多結晶太陽電池モジュールを想定した架台構成をパラメータとして3種類設計し、コストとEPT、CO₂排出源単位を算出した。結果、発電コストは6.6 UScent/kWh、EPTは1.8年、CO₂排出源単位は12g-C/kWhと算出され、火力発電と比較して大幅に低いことが明らかとなった。

その後、よりデータを詳細まで収集し、検討方法に改良を加えて精度を上げ、送電設備の追加、送電損失の算出、6種類の太陽電池モジュールの比較検討を実施した。太陽電池モジュールそれぞれに対して架台などの設計が全て変わるため、それぞれの太陽電池モジュールに対して電圧降下などの最適設計を行っている。結果、普及が進んでいる多結晶モジュールのパフォーマンスが良く、高効率の多結晶太陽光発電モジュールでは100kmの送電設備と送電損失を含めてもEPTは1.5年、CO₂排出源単位は9.4g-C/kWhと算出された。

2.2 リモートセンシングによる大規模太陽光発電システム向け適地判別手法の開発

砂漠と言えば遠隔地と砂のコンディションがイメージされ、太陽電池の価格も高価であったため反対意見が多かった。これに対する科学的な理由付けのため、衛星画像によるリモートセンシングを提案した(黒川教授)。このアイデアを実現させたのが当時の学生と申請者である。作業は主に学生が実施した。最初は画像単価の安い日本の衛星JERS-1を使用し、分析手法の開発を進めた。この時から最尤法による分類、エッジの抽出、植生による分類の3種類を組み合わせる手法を行っている。しかし、撮影期間が短く、雲などによりゴビ砂漠全体の画像を確保できない。しばらくすると、米国メリーランド大学がLandsat画像の無

料公開を始め、これを利用することで問題が解決した。解析手法を Landsat による画像に適用し、また植生分類手法に利用する画像を NOAA に変更し、季節変化を考慮した分析とすることでそれまでとは大きく結果が改善された。また、計算結果を現地と比較するグランドトゥールース実施のため、砂漠地域で開催される学会のカンファレンスツアー（ゴビ砂漠、タール砂漠）や現地のガイドに依頼（サハラ砂漠）してグランドトゥールース作業を実施し、精度の確認を行った。

3. 今後の研究計画

3. 1 研究目的・内容

(1) 研究概要

LCA 評価から CO₂ の大幅な削減の可能性があることがわかり、リモートセンシング研究により砂漠の適地判別手法を開発した。これらの成果を元に、適地判別 GIS（地理情報システム）を開発してより簡単に、より良い適地が分かるようにし、電力事業者間の競争を促して大規模太陽光発電システムの早期普及をアシストすることがねらいである。そのための研究として、1) LCA 評価手法のサハラ砂漠への適用と蓄電オプションの検討、2) 季節変動を考慮したグランドトゥールースの実施、3) GIS 用データセットの作成、4) GIS 用適地判別アルゴリズムの開発を行う。



図3 適地判別 GIS イメージ

(2) 研究目的：GIS を用いた太陽光発電システムの大規模利用を推進するための研究開発

現在までに行った LCA 評価により、砂漠地域における大規模太陽光発電システムは 100km の送電を含めても投入エネルギーは2年で回収でき、CO₂ も火力発電の数十分の一であることが分かった。また、リモートセンシング研究により、衛星画像を用いた適地判別手法を開発し、適地のマッピングと面積を算出し、太陽光発電のポテンシャルは非常に大きいことが分かった。これらの研究成果を太陽光発電の普及へとつなげるため、利用しやすい形に再構成する必要がある。リモートセ

ンシングの評価は季節変化を考慮しているがサハラ砂漠のグランドトゥールースは1度（秋）しか行われていない。また、現在のアウトプットは未だ画像データのままであり、社会に還元できる形にはなっていない。特に、現在の結果は砂漠の中心でもポテンシャルが高いという結果になっており、実際の条件と乖離がある。

まずは現在の LCA 評価手法をサハラ砂漠に適用する。北アフリカと連携の強いフランスを拠点とし、LCA 情報の収集を行う。また、蓄電システムを検討項目として加える（研究目的 1）。送電線はピーク時を基準に設計しているが日射のピーク時間は短く、送電容量は電流の二乗に比例することから小容量でも蓄電システムを導入することで送電コストを減らせる可能性がある。コスト・CO₂ 両面からサハラ砂漠のケーススタディを行う。

次に、適地判別手法に季節変化を考慮したグランドトゥールースを実施し、精度向上を目指す（研究目的 2）。また、GIS を用いた誰でも利用しやすい形に再構成し、LCA 評価手法や日射データ、電力系統などの情報を追加し、データセットを作成する（研究目的 3）。発電量やコスト、CO₂ などの指標から「大規模太陽光発電設置適地マップ」を作成する手法を開発し、適地の提案を行う（研究目的 4）。提案には電力系統や需要に近い場所を選択でき、より設置に適した候補地を知ることが可能となる。今までよく分かっていなかった乾燥地域の利用可能性を明確にして電力事業者間の競争を促し、大規模太陽光発電システムの早期導入を目指す。また、太陽光発電の導入が加速することで CO₂ を早い段階で抑制し、温暖化の進行を遅らせる。

(3) 研究方法・計画

(1 年目)：GIS へ導入するデータセットは、① LCA データ、②砂漠土地被覆情報、③電力系統図、④電力需要情報、⑤基礎情報（人口等）、⑥日射量情報とする。このうち①LCA データについては、ゴビ砂漠の情報を中国・モンゴルでの収集と同様に、今回は INES の研究者ネットワークを利用し、サハラ砂漠を中心としたデータ収集を行う。その後 LCA を実施し、GIS 用データセットを作成する。

リモートセンシング研究は現在までに行ってきた土地被覆情報の整理を行い、GIS 用のデータセットを作成する。同時に1年目に4回程度、異なった季節にサハラ砂漠に行き、季節変化を考慮したグランドトゥールースを実施して精度の向上を目指す。解析する土地被覆情報は、MSAVI 値で判別する植生、エッジ検出による起伏、並びに最尤法を用いた土地被覆分類（砂漠、水域、山脈、森林、ステップ）の3種類のセットであり、これらを②土地被覆情報としてデータセットを作成する。③電力系統図については、「海外諸国の電

気事業、海外電力調査会」に情報がまとまっている。しかし、先進国の情報は整備されているがアフリカ諸国では整備されていないことが多い。ここでは INES のネットワークを利用してデータ収集を行う。④、⑤、⑥は市販または公開されているデータベースを利用し GIS 用データセットを構築する。GIS 用データセットはラスター形式（画像形式）で作成し、ESRI 社製 ArcGIS で加工する。作成した後は MapInfo Interchange Format : MIF/MID 形式や Arc/Info Export format : E00 形式などの汎用フォーマットでの公開や、Google Earth などの一般の方が利用しやすい方法を検討する。

(2 年目) : 1 年目で行っているデータセットの作成を引き続き行う。データセットの作成の後、適地を解析するアルゴリズムを開発する。アルゴリズムの開発には ArcGIS Spatial Analyst を利用し、それぞれのデータの空間的関係の分析を行う。このアルゴリズムを評価対象地に適用させて結果を得るが、CO₂を基準としてどの程度適しているかの適地レベルを表示する。発電量や電力システムまでの距離、電力需要などにより算出するため、必ずしも日射量が多い場所が適地とはならず、サハラ砂漠の中心のような需要から離れた場所は CO₂ 排出量が多くなり、平坦な礫砂漠だとしても適地レベルは低く算出させる。これにより現在までに作成した適地判別の問題点を解決できる。また、サハラ砂漠全体のより精度の高いポテンシャルを再度算出する。

また、1 年目で検討した公開方法にもとづき公開用データセットを作成して公開を行うと共に、学会、学術雑誌で発表する。

3. 2 研究の特色・独創的な点

本研究と似た研究としては欧州委員会共同研究センター (JRC) による PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) がある。この研究は申請者が提案している研究と同じ太陽光発電に適する場所を探すツールであり、すでに Google Earth と連携するなど利用しやすい形に開発されている。PVGIS は目標点を選択し、太陽電池の容量や角度、設置方位などを入力すると内蔵されているデータベースから発電量を予測するというツールである。太陽電池種類による損失や、追尾架台も選択できるなど、機能は充実している。一方、本研究で提案している手法では地表面のデータや、需要や送電線を考慮した「適地」を算出ことができ、CO₂ 排出量も算出できる。発電量だけを考慮して太陽光発電システムを設置すると長距離の送電や設置条件悪さにより環境負荷が大きくなり、太陽光発電システムのメリットを引き出せないが、本研究ではこれらの土地被覆条件、電力需要・送電線、発電量を総合的に判断した結果を算出できるため、より現実に則した情

報を提供することができる。その他、本研究成果は天文台の設置場所の検討や、砂漠の進行具合の調査にも利用できる。

WBGU (ドイツ連邦政府地球気候変動諮問委員会) は、2100 年に現在の 2 倍以上の一次エネルギーを太陽光発電で供給すると予測するなど、国内外の多くの機関で将来は現在よりも遙かに多い太陽光発電システムが導入されると考えられている。その頃には大規模太陽光発電システムも数多く導入されると考えられる。本研究で実施する研究成果はより実際の調査に近くなり、一度に広範囲を比較することができる。その結果、より良い設置場所を簡単に選択できるようになり、実際に設置する候補地の調査にかかるコストを削減でき、太陽光発電システムのコスト低減に寄与できる。また、より良い候補地には競争が起き、太陽光発電システムのコスト低減・導入促進が期待できる。

野依理化学研究所理事長は、「人類生存のための研究」に取り組み、エネルギーや食料、環境など人類共通の課題に世界の先頭に立って挑むべきと述べている (日経新聞 2011 年 4 月 17 日朝刊 1 面)。また、東京大学とシャープはサウジアラビアで 100 万 kW 以上の太陽光発電システムの実証実験を検討している。本研究はまさにこれらの提案・研究に合致しており、「持続可能な地球」のためにも必要であると考えられる。

関連報告

- 1) Masakazu Ito, Keiichi Komoto, Kosuke Kurokawa, Life Cycle Analysis of Very-Large Scale PV Systems using Six Types of PV Modules, Current Applied Physics - Special Issue, Elsevier, Volume 10, Issue 2, Supplement 1, pp S271-S273, 2010
- 2) Masakazu Ito, Kosuke Kurokawa, Solar Resource Potentials of Very Large Scale PV Systems in Sahara desert, Journal of Arid Land Studies, Vol 19, No.1 pp 105-108, 2009
- 3) Keiichi Komoto, Masakazu Ito, Peter van der Vleuten, David Faiman and Kosuke Kurokawa, Energy from the Desert -Very Large Scale Photovoltaic Systems: Socio-economic, Financial, Technical and Environmental Aspects-, Earthscan Pubns Ltd, 978-1844077946, 2009, 31 October 2009
- 4) Masakazu Ito, Kazuhiko Kato, Keiichi Komoto, Tetsuo Kichimi, Kosuke Kurokawa, A Comparative Study on Cost and Life-Cycle Analysis for 100 MW Very Large-Scale PV (VLS-PV) Systems in Deserts Using m-Si, a-Si, CdTe and CIS modules, Progress in Photovoltaics: Research and Application, Wiley, Vol.16, Issue 1, pp 17-30, 2008
- 5) K. Sakakibara, M. Ito, K. Kurokawa, A Resource Analysis on Solar Photovoltaic Generation System on the Gobi Desert by a Remote Sensing Approach, Journal of Arid Land Studies, Journal of Arid Land Studies, Vol.14S, p.235-238, 2004

東京工業大学 ソリューション研究機構
先進エネルギー国際研究センター

黒川浩助 研究室

論文リスト[2000年～2012年]

東京工業大学 ソリューション研究機構 先進エネルギー国際研究センター
黒川浩助 研究室 論文リスト[2000年～2012年]

<2000年>

- (1) 黒川：太陽光発電の現状と展望，計測と制御，Vol.39, No.1, pp.8-13, 2000.
- (2) 黒川：太陽光発電の課題と将来展望，エネルギー変換懇話会，日本科学技術振興財団，2000.1.31.
- (3) 黒川：太陽光発電システムの動向，日本電気工業会第27回新エネルギー講演会，2000.2.10.
- (4) 大谷，作田，加藤，杉浦，内田，山口，黒川：住宅用太陽光発電システムの運転特性評価，電気学会新エネルギー環境研究会「再生可能エネルギー」2000.3.15.
- (5) 野崎，秋山，川口，黒川：EDLC併用型独立型太陽光発電システムに用いるコンバータの設計方法と効率特性，電気学会全国大会，東工大，2000.3.
- (6) 川口，黒川，野崎：独立型太陽光発電システムの出力係数に関する検討，電気学会全国大会，東工大，2000.3.
- (7) 登守，大谷，作田，黒川：写真測量による日陰推定誤差の検討，電気学会全国大会，東工大，2000.3.
- (8) 石川，黒川，岡田，滝川：太陽光発電システム複数連系時における運転特性－電圧上昇抑制特性のモデル化，電気学会全国大会，東工大，2000.3.
- (9) 山口，内田，黒川：S V法による太陽光発電システムの損失因子の詳細化，電気学会全国大会，東工大，2000.3.
- (10) 黒川：エネルギー創出時代，住まいの文化誌別巻「地球環境」，ミサワホーム総合研究所刊（著書），2000
- (11) 黒川：太陽光発電システム技術動向，シーエムシー，（著書）
- (12) 黒川：太陽光発電地域発電特性に関する基礎的問題の解明，第12回太陽光発電連絡会，虎ノ門，2000.4.17（口頭発表）
- (13) K. Kurokawa: PV systems in urban environment, Solar Energy Materials and Solar Cells, 2000. ?.
- (14) K. Kurokawa, O. Ikki: The Japanese experiences with national PV system Programme, Solar Energy, Topical Issue on Grid Connected Photovoltaics, 2000. ?.
- (15) K. Kurokawa, D. Uchida, A. Yamaguchi: Intensive introduction of residential PV systems and their monitoring by citizen-oriented efforts in Japan, 16th EU-PVSEC, Glasgow, May 1-5 2000.
- (16) K. Kurokawa, P. Menna, F. Paletta, K. Kato, K. Komoto, T. Kichimi, S. Yamamoto, J. Song, W. Rijssenbeek, P. Van der Vleuten, J. Garcia Martin, A de Julian Palero, G. Andersson, R. Minder, M. Sami Zannoun, M. Aly Helal: A preliminary analysis of very large scale photovoltaic power generation (VLS-PV) systems, 16th EU-PVSEC, Glasgow, May 1-5 2000.
- (17) H. Nagayoshi, K. Kurokawa, T. Ohashi, H. Nishita, T. Deguchi: Feasibility study of peak-power reduction system using 100kW PV and battery combined system at Shonan Institute of Technology, 16th EU-PSEC, Glasgow, May 1-5 2000.
- (18) K. Kurokawa : Realistic PV Performance Values Obtained by a Number Grid-Connected Systems in Japan, World Renewable Energy Congress, Brighton, July 1-7, 2000（国際会議）
- (19) 黒川：太陽光発電システムの開発動向，第17回太陽光発電システムシンポジウム，発明会館，2000.6.14-16（口頭発表）
- (20) 黒川：太陽光発電の課題と将来展望，第8回高効率太陽電池および太陽光発電システムワークショップ，福井フェニックスプラザ，2000.7.20-21（招待講演）
- (21) 桜井，黒川：太陽電池アレイ分布定数回路シミュレーション～アレイ等価回路の提案～，電気学会電力・エネルギー部門大会，北海道大学，2000.8.2-4
- (22) 川口，黒川，野崎：電気二重層キャパシタを組み込んだ独立型太陽光発電システム，電気学会電力・エネルギー部門大会，北海道大学，2000.8.2-4
- (23) 輿石，黒川：太陽光発電における最大電力点追従制御システムの評価，電気学会電力・エネルギー部門大会，北海道大学，2000.8.2-4
- (24) 石川，黒川，岡田，滝川：太陽光発電システムの複数台連系時における運転特性評価，電気学会電力・エネルギー部門大会，北海道大学，2000.8.2-4
- (25) 山口，黒川，都筑，大谷：太陽光発電システムの評価に関する検討～アメダスデータ等を用いた日射量の推定方法～，電気学会電力・エネルギー部門大会，北海道大学，2000.8.2-4
- (26) 谷口，大谷，黒川：衛星雲画像を利用した雲アルベドの動的分析，電気学会電力・エネルギー部門大会，北海道大学，2000.8.2-4
- (27) H.Taniguchi,K.Otani,K.Kurokawa: The motional analysis of cloud albedo patterns by using GMS images,28th IEEE PVSC, Alaska September 15-22 2000
- (28) T.Tomori, K.Otani, K.Sakuta, K.Kurokawai: On-site BIPV array shading evaluation tool using stereo-fisheye photographs,28th IEEE PVSC, Alaska September 15-22 2000
- (29) H.Matsukawa,M.Shioya,K.Kurokawa: Study on simple assessment of BIPV power generation for architects,28th IEEE PVSC, Alaska September 15-22 2000
- (30) 黒川：エネルギー・環境問題と太陽光発電システムへの期待，NEDOフォーラム2000，東京ビッグサイト，2000.9.26-28（講演）
- (31) 松川，塩谷，黒川，杉浦：太陽光発電システムの建築的利用に関する研究（その1）部分日陰が発電特性に及ぼす影響評価，日本建築学会，日本大学，2000.9

- (32) 塩谷, 松川, 黒川: 太陽光発電システムの建築的利用に関する研究 (その2) 異傾斜角・異方位角の混在が発電特性に及ぼす影響評価, 日本建築学会, 日本大学, 2000.9
- (33) 塩谷, 伊藤, 松川, 黒川, 杉浦: 建物条件の不均一が太陽光発電システムの発電特性に及ぼす影響評価, 日本建築学会, 日本大学, 2000.9
- (34) K. Kurokawa: Solar RD&D in Japan, IEA0CERT Expert Workshop, Paris, France, Oct. 27, 2000 (口頭発表)
- (35) 石川, 黒川, 岡田, 滝川: 太陽光発電システム複数台連系時における運転特性評価—電圧上昇抑制機能の検討—, 日本太陽エネルギー学会, No.12, 金沢工業大学, 2000.11.8-9
- (36) 大関, 井澤, 山口, 大谷, 黒川: 太陽光発電システムの経年特性, 日本太陽エネルギー学会, No.14, 金沢工業大学, 2000.11.8-9
- (37) 加藤, 大谷, 作田, 杉浦, 黒川: 導入地域の広がりを考慮した太陽光発電システムのkW 価値の検討, 日本太陽エネルギー学会, No.15, 金沢工業大学, 2000.11.8-9
- (38) 山下, 黒川: PVインバータのデジタル制御〜ワンチップマイコンによる制御技術〜, 日本太陽エネルギー学会, No.22, 金沢工業大学, 2000.11.8-9
- (39) 輿石, 黒川: 太陽光発電システムにおける最大電力点追従制御の評価, 日本太陽エネルギー学会, No.25, 金沢工業大学, 2000.11.8-9
- (40) 高宮, 黒川: 台形公式によるPVインバータの動作解析-PVインバータの適正な入力容量のための解析-, 日本太陽エネルギー学会, No.26, 金沢工業大学, 2000.11.8-9
- (41) 大谷, 加藤, 作田, 杉浦, 黒川: パラメータ分析法を基にした太陽光発電システム・シミュレーションの住宅用システムによる検証, 日本太陽エネルギー学会, No.31, 金沢工業大学, 2000.11.8-9
- (42) 桜井, 黒川: 太陽光発電アレイ分布定数回路シミュレーション〜シミュレーション手法の検討〜, 日本太陽エネルギー学会, No.81, 金沢工業大学, 2000.11.8-9
- (43) 山田, 梅谷, 中村, 杉浦, 大谷, 作田, 黒川: モジュール直並列合成IVカーブを利用した日陰損失シミュレーション技術の開発, 日本太陽エネルギー学会, No.92, 金沢工業大学, 2000.11.8-9
- (44) 田村, 黒川, 大谷: 観測日射量の瞬時直散分離に関する研究, 日本太陽エネルギー学会, No.126, 金沢工業大学, 2000.11.8-9
- (45) 川口, 黒川, 野崎, 谷内: EDLCを組み込んだ独立型太陽光発電システムのシミュレーション, 電子通信エネルギー研究会, 機械振興会館, 2000.11.17
- (46) 黒川: 太陽光発電の課題と将来展望, 政策総合研究所, エネルギーの有効利用と環境保全, 2000.12.10. (執筆原稿)

<2001年>

- (1) 黒川: 21世紀に羽ばたく太陽光発電, 太陽光発電協会「太陽光発電」誌寄稿, 2001.1
- (2) 谷口, 大谷, 黒川: 衛星雲画像を用いた雲アルベドの動的分析, 電気学会論文誌B, Vol.121-B, No.2, 2001.2
- (3) 石川, 黒川, 岡田, 滝川: 太陽光発電システム複数台連系時における運転特性評価, 電気学会新エネルギー・環境研究会, FTE-01-4, 2001.2.21
- (4) 井澤, 大関, 大谷, 都筑, 黒川: , 電気学会全国大会, 名古屋大学, 2001.3.21-23
- (5) 高宮, 黒川: PVインバータの適正な入力容量の決定方法に関する研究, 電気学会全国大会, 名古屋大学, 2001.3.21-23
- (6) 輿石, 黒川, 濱田, 劉: 太陽電池模擬電源による最大電力追従制御の評価, 電気学会全国大会, 名古屋大学, 2001.3.21-23
- (7) Kosuke Kurokawa: PV systems in urban environment, Solar Energy Materials & Solar Cells Vol.67 (2001), Nos.1-4, March 2001,
- (8) T.Doi, I.Tsuda, H.Unagida, A.Murata, K.Sakuta, K.Kurokawa: Experimental study on PV module recycling with organic solvent method, Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol.67 (2001), Nos.1-4, March 2001
- (9) H.Unozawa, K.Otani, K.Kurokawa: A simplified estimating method for in-plane irradiation using minute horizontal irradiation, Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol.67 (2001), Nos.1-4, March 2001
- (10) H.Taniguchi, K.Otani, K.Kurokawa: Hourly forecast of global irradiation using GMS staellite images, Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol.67 (2001), Nos.1-4, March 2001
- (11) D.Uchida, K.Otani, K.Kurokawa: Evaluation of effective shading factor by fitting a clear-day pattern obtained from hourly maximum irradiance data, Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol.67 (2001), Nos.1-4, March 2001
- (12) M.Kusakawa, H.Nagayoshi, K.kamisako, K.Kurokawa: Further improvement of a transformerless, voltage-boosting inverter for AC modules, Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol.67 (2001), Nos.1-4, March 2001
- (13) 黒川: 明日の世界を支える太陽光発電エネルギー, 春期応用物理学関係連合講演会シンポジウム「太陽光発電-現在から未来へ-」, 明治大学, 2001.3.28-31
- (14) 黒川: 都市地域における太陽光発電地域特性に関する基礎的問題の解明, H12年度NEDO委託業務成果報告書, 2001.3.
- (15) 黒川: 太陽光発電用分散型パワーコンディショナの研究開発, NEDO地域コンソーシアム研究開発委託業務成果報告書, 2001.3.

- (16) 黒川：太陽光発電と分散電源，名古屋大学大学院集中講義，2001.05.17.
- (17) K.Kurokawa, O.Ikki: The Japanese experiences with national PV system Programmes, Solar Energy, Vol.70, No.6 (Topical Issue on Grid Connected Photovoltaics), June 2001
- (18) 黒川：太陽光発電システムの開発動向，18回太陽光発電システムシンポジウム，イイノホール，2001.6.5-7.
- (19) Kosuke Kurokawa: TOWARD LARGE-SCALE PV POWER GENERATION, 12th PVSEC, JEJU, June 11-15 2001
- (20) M.Ito, K.Kato, H.Sugihara, T.Kichimi, J.Song, K.Kurokawa: A Preliminary Study on Potential for Very Large-Scale Photovoltaic Power Generation (VLS-PV) System on the Gobi Desert from Economic and Environmental Viewpoints, 12th PVSEC, JEJU, June 11-15 2001
- (21) P.Menna, U.Ciorba, F.Pauli, K.Komoto, K.Kato, J.Song, K.Kurokawa: Analysis of the Impacts of Transferring a Photovoltaic Module Manufacturing Facility, 12th PVSEC, JEJU, June 11-15 2001
- (22) T.Ishikawa, K.Kurokawa, N.Okada, K.Takigawa: EVALUATION OF OPERATION CHARACTERISTICS IN MULTIPLE INTERCONNECTION OF PV SYSTEMS, 12th PVSEC, JEJU, June 11-15 2001
- (23) H.Matsukawa, K.Koshiishi, H.Koizumi, K.Kurokawa, M.Hamada, L.Bo: Dynamic Evaluation of Maximum Power Point Tracking Operation with PV array Simulator, 12th PVSEC, JEJU, June 11-15 2001
- (24) J.Tamura, K.Kurokawa, K.Otani: A study of measuring estimating for in-plane irradiation using minute horizontal Global Irradiation, 12th PVSEC, JEJU, June 11-15 2001
- (25) A.Yamaguchi, K.Kurokawa, T.Uno, M.Takahashi: Reflection and Absorption Characteristics of Electromagnetic Waves for PV Modules, 12th PVSEC, JEJU, June 11-15 2001
- (26) K.Otani, K.Sakuta, T.Tomori, K.Kurokawa: Shading loss analysis of PV systems in urban area, 12th PVSEC, JEJU, June 11-15 2001
- (27) T.Oozeki, T.Izawa, K.Otani, K.Kurokawa: The Evaluation Method of PV Systems, 12th PVSEC, JEJU, June 11-15 2001
- (28) T.Sugiura, T.Yamada, H.Nakamura, M.Umeya, K.Sakuta, K.Kurokawa: Measurements, Analysis and Evaluation of Residential PV Systems by Japanese Monitoring Program, 12th PVSEC, JEJU, June 11-15 2001
- (29) J.Song, K.Kurokawa, P.Menna, K.Kato, N.Enebish, D.Collier, S.C.Shin: International Symposium on "Potential of Very Large Scale Power Generation System on Desert, 12th PVSEC, JEJU, June 11-15 2001
- (30) Y.Nozaiki, K.Akiyama, T.Yachi, H.Kawaguchi, K.Kurokawa: Operating characteristics of an EDLC-battery hybrid stand-alone photovoltaic system, IECE Tans Communications, E84B (7), July 2001
- (31) K.Kurokawa: The state-of-the-art in Photovoltaic, 1st MOPVC, Ulaanbaatar, September 5-7 2001
- (32) K.Otani: Solar Energy Mapping for Eastern Asia by Satellite Images, 1st MOPVC, Ulaanbaatar, September 5-7 2001
- (33) M.Ito, Kazuhiko Kato, Hiroyuki Sugihara, Tetsuo Kichimi, Jinsoo Song, Kosuke Kurokawa: A life-cycle analysis of Very Large Scale Photovoltaic (VLS-PV) System in the Gobi desert, 1st MOPVC, Ulaanbaatar, September 5-7 2001
- (34) A.Amarbayar, K.Kurokawa: Performance analysis of Portable photovoltaic power generation systems based on measured data in Mongolia, 1st MOPVC, Ulaanbaatar, September 5-7 2001
- (35) 黒川：日本における太陽光発電の現状と今後の動向，関電工太陽光発電国際シンポジウム「太陽光発電は地球を救えるか」，品川コクヨホール，2001.9.18
- (36) 黒川：太陽光発電にかける夢，NEDO フォーラム-パネル太陽技術分科会，ホテルニューオータニ，2001.9.20
- (37) K.Otani, K.Sakuta, T.Sugiura, K.Kurokawa: Performance analysis and simulation on 100 Japanese residential grid-connected PV systems based on four years' experience, 17th EU-PVSEC, Munich, October 22-26 2001
- (38) M.Ito, K.Kato, H.Sugihara, T.Kichimi, J.Song, K.Kurokawa: A Preliminary Study on Potential for Very Large-Scale Photovoltaic Power Generation System (VLS-PV) on the World Desert, 17th EU-PVSEC, Munich, October 22-26 2001
- (39) J.Tamura, K.Kurokawa, K.Otani: Measuring and estimating for In-plane Irradiation, 17th EU-PVSEC, Munich, October 22-26 2001
- (40) A.Yamaguchi, K.Kurokawa, T.Uno, M.Takahashi: A New Added Value of Photovoltaic Module ~Absorption Characteristics of Electromagnetic wave~, 17th EU-PVSEC, Munich, October 22-26 2001
- (41) H.Koizumi, T.Kaito, Y.Noda, K.Kurokawa, M.Hamada, L.Bo: Dynamic Response of Maximum Power Point Tracking Function for Irradiance and Temperature Fluctuation in Commercial PV Inverters, 17th EU-PVSEC, Munich, October 22-26 2001
- (42) 黒川：最近の太陽光発電研究・成果と今後の動向，田友会，学士会館，2001.11.09
- (43) 野田，水野，小泉，黒川：太陽光発電が連系した配電システムのシミュレータの開発，日本太陽エネルギー学会，徳島文理大学，2001.11.8-9
- (44) 山下，小泉，黒川，名島，川崎：PV インバータのデジタル制御，日本太陽エネルギー学会，徳島文理大学，2001.11.8-9
- (45) 登守，大谷，作田，大野，飯田，黒川：都市環境における太陽光発電システムの日陰評価法，日本太陽エネルギー学会，徳島文理大学，2001.11.8-9
- (46) 中村，杉浦，高橋，黒川：複数面設置された住宅用太陽光発電システムの発電量推定について，日本太陽エネルギー学会，徳島文理大学，2001.11.8-9
- (47) アマルバヤル，黒川：モンゴルにおける携帯型発電システム実証研究のデータ解析・システム評価，日本太陽エネルギー学会，徳島文理大学，2001.11.8-9
- (48) 井澤，大関，大谷，都築，黒川：太陽光発電システム計測データの品質診断法，日本太陽エネルギー学会，徳島文理大学，2001.11.8-9
- (49) 大関，井澤，大谷，黒川：太陽光発電システムの計測データを用いた評価方法，日本太陽エネルギー学会，徳島文理大学，2001.11.8-9
- (50) 竹内，金井，黒川：太陽電池単セルによる充電回路，電子情報通信学会電子通信エネルギー技術研究会，信学技報 EE 2001-33(2001-11)

- (51) 黒川：太陽光発電の課題と将来展望，新政策（政策総合研究所），2001.11
- (52) 黒川：太陽光発電技術の現状と将来動向，横浜市工業技術支援センター，2001.12.11

<2002 年>

- (1) 黒川：太陽光発電システムの新展開，光協会成果報告書，2002.3
- (2) 黒川：21世紀世界の主役「太陽光発電」，JPEA 誌「光発電」，2002.2
- (3) 黒川：私の学生時代，グリーンキャンパス，2002.3
- (4) 黒川：世界へ向けた長期的な産業戦略が望まれる，PVTEC ニュース，2002.3
- (5) 竹内，金井，黒川：太陽電池単セル昇圧回路への MPPT 制御の適用，日本機械学会情報・知能・精密機械部門，東京工業大学，2002.3.26
- (6) 高橋，谷口，大谷，黒川：衛星雲画像の空間周波数を用いた日射量予測法の研究，電気学会全国大会，工学院大学，2002.3.26-29
- (7) 大関，井澤，大谷，中村，高橋，杉浦，黒川：電圧上昇抑制運転状態の実例と SV 法解析結果との比較検討，電気学会全国大会，工学院大学，2002.3.26-29
- (8) Paulo Sergio Pimentel, H. Matsukawa, T. Oozeki, T. Tomori, K. Kurokawa: PV System Integrated Evaluation Software, 29th IEEE PVSC, New Orleans, May 19-26 2002
- (9) A. Amarbayar, K. Kurokawa: PERFORMANCE ANALYSIS OF PORTABLE PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION SYSTEMS BASED ON MEASURED DATA IN MONGOLIA, 29th IEEE PVSC, New Orleans, May 19-26 2002
- (10) Y. Noda, T. Mizuno, H. Koizumi, K. Nagasaka, K. Kurokawa: THE DEVELOPMENT OF A SCALED-DOWN SIMULATOR FOR DISTRIBUTION GRIDS AND ITS APPLICATION FOR VERIFYING INTERFERENCE BEHAVIOR AMONG A NUMBER OF MODULE INTEGRATED CONVERTERS (MIC), 29th IEEE PVSC, New Orleans, May 19-26 2002
- (11) K. Kurokawa, K. Kato, M. Ito, K. Komoto, T. Kichimi, H. Sugihara: A COST ANALYSIS OF VERY LARGE SCALE PV (VLS-PV) SYSTEM ON THE WORLD DESERTS, 29th IEEE PVSC, New Orleans, May 19-26 2002
- (12) A. Amarbayar, K. Kurokawa: PERFORMANCE ANALYSIS OF PORTABLE PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION SYSTEMS BASED ON MEASURED DATA IN MONGOLIA, WREC-7, Warszawa, June 29 – July 5 2002
- (13) 水野，野田，小泉，黒川：商用 PV インバータの単独運転検出要因の推定，電気学会部門大会，福井大学，2002.8.7-9
- (14) 皆藤，五島，川崎，小泉，黒川：デジタルインバータにおける MPPT 制御の検討，電気学会部門大会，福井大学，2002.8.7-9
- (15) 谷口，高橋，大谷，黒川：AC モデルを用いた衛星雲画像による日射量予測の検討，電気学会部門大会，福井大学，2002.8.7-9
- (16) H. Koizumi, K. Nagasaka, K. Kurokawa, N. Goshima, M. Kawasaki, Y. Yamashita, A. Hashimoto: DEVELOPMENT OF INTERCONNECTING MICRO CONTROLLER FOR PV SYSTEMS IN JAPAN, PV in Europe Conference and Exhibition From PV Technology to Energy Solutions, Rome, October 6-11 2002
- (17) T. Mizuno, T. Ishikawa, Y. Noda, H. Koizumi, K. Kurokawa, Y. Arai, N. Goshima, M. Kawasaki, H. Kobayashi: THE ISLANDING DETECTION ALGORITHM OF A NEW AC MODULE FOR THE GRID CONNECTION IN JAPAN, PV in Europe Conference and Exhibition From PV Technology to Energy Solutions, Rome, October 6-11 2002
- (18) 井澤，大関，黒川，大谷，都筑：太陽光発電システムの簡易評価，日本太陽エネルギー学会，仙台国際センター，2002.11.7-8
- (19) 田村，大谷，黒川：多傾斜面日射量の測定と評価に関する研究，日本太陽エネルギー学会，仙台国際センター，2002.11.7-8
- (20) 伊藤，加藤，河本，杉原，吉見，黒川：ゴビ砂漠における大規模太陽光発電システムのライフサイクル評価，日本太陽エネルギー学会，仙台国際センター，2002.11.7-8

<2003 年>

- (1) 伊藤，加藤，河本，杉原，吉見，黒川：世界の砂漠における 100MW 大規模太陽光発電システム(VLS-PV)のライフサイクル評価，第 19 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス，虎ノ門パストラル，2003.1.30-31
- (2) パウロ，松川，大関，黒川：太陽光発電システム発電特性の統合評価ソフトウェア(PVI)の住宅用システムによる検証，電気学会全国大会，東北学院大学，2003.3.17-19
- (3) 高橋，谷口，黒川，大谷：衛星雲画像の空間周波数分析を用いた日射予測，電気学会全国大会，東北学院大学，2003.3.17-19
- (4) 皆藤，小泉，黒川，五島，川崎：太陽光発電用インバータ向けデジタル MPPT 法の開発，電気学会全国大会，東北学院大学，2003.3.17-19
- (5) 公楽，黒川：LED ソーラーシミュレータによる太陽電池新測定法，電気学会全国大会，東北学院大学，2003.3.17-19
- (6) 岡田，小林，石川，滝川，黒川：ループコントローラによる系統故障時の区間自立運転のための潮流制御の検討，電気学会全国大会，東北学院大学，2003.3.17-19

- (7) 黒川：アジアにおける PV 技術開発／導入普及の現状と今後の課題，第 2 回 アジアに於ける PV 技術開発／導入普及の現状と将来展望，東京国際交流館，PVTEC/JEMA，2003.2.14
- (8) 黒川：太陽光発電のトピックス～WCPEC-3 へ向けて，2003 年春季 50 回応物学会，神奈川大 2003.3.27-30
- (9) 黒川：わが家の エネルギー・太陽光発電，国立科学博物館，2003.3.29
- (10) 黒川：太陽光発電システムの新展開，光協会成果報告書，2003.3.
- (11) K. Kurokawa, editor.: Energy from the Desert, James & James Ltd., May, 2003(単行本)
- (12) M. Ito, K. Kato, K. Komoto, T. Kichimi, K. Kurokawa: An analysis of variation of very large-scale PV (VLS-PV) systems in the world deserts, WCPEC-3, Osaka, May 11-18
- (13) T. OOZEKI, T. IZAWA, H. KOIZUMI, K. OTANI, K. KUROKAWA: An evaluation result of PV system field test program for industry use by means of the SV method, WCPEC-3, Osaka, May 11-18, 2003
- (14) H. Matsukawa, Paulo Sergio Pimentel, T. Izawa, S. Ike, H. Koizumi, K. Kurokawa: An Integrated design software for photovoltaic systems, WCPEC-3, Osaka, May 11-18
- (15) S. Kohraku, K. Kurokawa: New methods for solar cell measurement by LED solar simulator, WCPEC-3, Osaka, May 11-18
- (16) H. Koizumi, K. Nagasaka, K. Kurokawa, N. Goshima, M. Kawasaki, Y. Yamashita, A. Hashimoto: Interconnecting micro controller for PV systems in Japan, WCPEC-3, Osaka, May 11-18
- (17) K. Takeuchi, H. Koizumi, K. Kurokawa: A new type of scaled-down network simulator composed of power electronics, WCPEC-3, Osaka, May 11-18
- (18) T. Mizuno, Y. Noda, H. Koizumi, K. Nagasaka, K. Kurokawa, H. Kobayashi: The experimental results of islanding detection method for Japanese AC modules, WCPEC-3, Osaka, May 11-18
- (19) Batsukh, D. Ochirvaani, Ch. Lkhagvajav, N. Enebish, Ts. Baatarchuluun, K. Otani, Koichi Sakuta, A. Amarbayar, K. Kurokawa: Evaluation of solar energy potentials in Gobi desert area of Mongolia, WCPEC-3, Osaka, May 11-18
- (20) Junsetu Tamura, Hiroyuki Nakamura, Yoshinori Inoue, Kenji Otani, Kosuke Kurokawa: A new method of calculating in-plane irradiation by one-minute local solar irradiance, WCPEC-3, Osaka, May 11-18
- (21) A. Adiyabat, K. Kurokawa: An Optimal design and use of solar home system in Mongolia, WCPEC-3, Osaka, May 11-18
- (22) N. Okada, H. Kobayashi, K. Takigawa, M. Ichikawa, K. Kurokawa: Loop power flow control and voltage characteristics of distribution system for distributed generation including PV system, WCPEC-3, Osaka, May 11-18
- (23) N. Okada, T. Nanahara, K. Kurokawa: Estimation of distribution system load characteristics with time series data of PV system output, WCPEC-3, Osaka, May 11-18
- (24) Namjil Enebish, M. Battushig, M. Altanbagana, K. Otani, K. Sakuta, A. Adiyabat, K. Kurokawa: Performance monitoring of PV modules for VLS-PV systems in Gobi desert of Mongolia, WCPEC-3, Osaka, May 11-18
- (25) K. Sakakibara M. Ito, K. Kurokawa: A resource analysis on solar photovoltaic generation by a remote sensing approach., WCPEC-3, Osaka, May 11-18
- (26) 黒川：太陽光発電システムの普及とその可能性，太陽光発電所ネットワーク設立記念シンポジウム，国連大学会議場，2003.5.24
- (27) 黒川：シンポジウム 20 年の歩み，第 20 回太陽光発電システムシンポジウム，2003.7.1-3
- (28) 黒川：太陽光発電システムの研究開発の方向性，第 20 回太陽光発電システムシンポジウム，2003.7.1-3
- (29) 松川，山田，塩谷，黒川：多面アレイ構造太陽光発電システムに対応したシミュレーション・ツールの開発，電気学会電力・エネルギー部門大会，東京電機大学，2003.8.6-8
- (30) 嶋田，黒川，吉岡：蓄電池あり系統連系太陽光発電システム，電気学会電力・エネルギー部門大会，東京電機大学，2003.8.6-8
- (31) 市川，岡田，黒川：系統故障時における BTB 式ループコントローラの特長解析，電気学会電力・エネルギー部門大会，東京電機大学，2003.8.6-8
- (32) 井上，黒川，三宅，中村，加藤：デュアルセンサ型日射計の開発，電気学会電力・エネルギー部門大会，東京電機大学，2003.8.6-8
- (33) M. Ito, K. Kato, K. Komoto, T. Kichimi, H. Sugihara, K. Kurokawa: An analysis of very Large-scale tracking PV (VLS-PV) systems in the world deserts, 2nd Mogolian PV Conf., Ulaanbaatar, 2003.9.4-6
- (34) A. Adiyabat, K. Kurokawa: An optimal design and use of solar home system in Mongolia, 2nd Mogolian PV Conf., Ulaanbaatar, 2003.9.4-6
- (35) K. Kurokawa: The State-of-art in Photovoltaic Research and Development, 2nd Mogolian PV Conf., Ulaanbaatar, 2003.9.4-6
- (36) K. Komoto, K. Kato, K. Kurokawa: Scenario Study on Very Large Scale Photovoltaic (VLS-PV) Power Generation System for the Sustainable Growth, 2nd Mogolian PV Conf., Ulaanbaatar, 2003.9.4-6
- (37) K. Kato, K. Otani, K. Komoto, M. Ito, K. Kurokawa, J. Song, D. Faiman, Peter van der Fleuten, L. Verhoef, D. Collier and N. Enebish: Study on Very Large-Scale Photovoltaic Power Generation System on Deserts Extended Activity of IEA/PVPS Task 8 from 2003 to 2005 -, 2nd Mogolian PV Conf., Ulaanbaatar, 2003.9.4-6
- (38) K. Kato, K. Otani, K. Komoto, M. Ito and K. Kurokawa: Cost estimation of Very Large-Scale Photovoltaic Power Generation System on World Deserts, 2nd Mogolian PV Conf., Ulaanbaatar, 2003.9.4-6
- (39) M. Battushig, N. Enebish, M. Altanbagana, Ch. Lkhagvajav, K. Otani, K. Sakuta, K. Kurokawa, A. Amarbayar: Performance monitoring of PV modules for VLS-PV systems in Gobi desert of Mongolia, 2nd Mogolian PV Conf., Ulaanbaatar, 2003.9.4-6
- (40) A. Adiyabat, K. Kurokawa: Techno-economics analysis of PV /Wind/ Diesel Hybrid systems in Villages of Mongolia, 2nd Mogolian PV Conf., Ulaanbaatar, 2003.9.4-6

- (41) K. Kurokawa: Very Large-Scale PV (VLS-PV) System: Its background and concept, 2nd Mogolian PV Conf., Ulaanbaatar, 2003.9.4-6
- (42) T. Shimada, K. Kurokawa, T. Yoshioka : Grid-connected Photovoltaic System with Battery, STORE, Aix en Provence, 2003.10.20-21
- (43) M. Ito, T. Nishimura, K. Kurokawa: A Preliminary Study on Utilization of Desert with Agricultural Development and Photovoltaic Technology - Potential of Very Large-scale Photovoltaic Power Generation (VLS-PV) systems -,Desert Technology 7, 2003.11.9-14
- (44) K. Kato, K. Otani, K. Komoto, M. Ito, K. Kurokawa, J. Song, D. Faiman, Peter van der Fleuten, L. Verhoef, P.Menna, D. Collier, N. Enebish: 'Energy from the Desert' - Feasibility Study on Very Large-Scale Photovoltaic Power Generation System on Desert Areas -, Desert Technology 7, 2003.11.9-14
- (45) K. Sakakibara, M. Ito, K. Kurokawa: A Resource Analysis on Solar Photovoltaic Generation System on the Gobi Desert by a Remote Sensing Approach, Desert Technology 7, 2003.11.9-14
- (46) K. Kurokawa: Considerations on technological standardization in solar photovoltaics, 1st Renewable Energy Forum in North-East Asia, Nov. 10-11, 2003
- (47) 大関, 小泉, 黒川, 大谷 : 蓄電池付き太陽光発電システムの評価方法の開発, 日本太陽エネルギー学会, 足利工業大学, 2003.11.6-7.
- (48) 公楽, 黒川 : 離散光波長型LEDソーラーシミュレータの原理実験, 日本太陽エネルギー学会, 足利工業大学, 2003.11.6-7.
- (49) 竹内, 小泉, 黒川 : 超縮小規模配電システムを用いたPVインバータ試験装置の基本原理, 日本太陽エネルギー学会, 足利工業大学, 2003.11.6-7.
- (50) 黒川 : 市民のエネルギー・太陽光発電システム, 小金井市民講座, 2003.11.15.
- (51) 黒川 : 100年先から見てみよう-新エネルギー・物質代謝と生存科学の構築, 産総研 LCA 研究センター : 地域施策へのLCAの新たな展開, 2003.11.21.
- (52) 黒川 : 21世紀を担うエネルギー・太陽光発電, 月刊オプトロニクス 2004年1月号, 2004.1

<2004年>

- (1) 黒川 : 21世紀を担うエネルギー・太陽光発電, 月刊オプトロニクス 2004年1月号, 2004.1
- (2) M. Ito, K. Kato, K. Komoto, T. Kichimi, H. Sugihara, K. Kurokawa: An Analysis of Very Large-Scale PV (VLS-PV) Systems Using Amorphous Silicon Solar Cells in the Gobi Desert, PVSEC-14, Bangkok, 2004.1.26-30
- (3) K. Sakakibara, M. Ito, K. Kurokawa: A Resource Analysis on Solar Photovoltaic Generation System in the Gobi Desert by a Remote Sensing Approach, PVSEC-14, Bangkok, 2004.1.26-30
- (4) T. Oozeki, T. Izawa, H. Koizumi, K. Otani, K. Tsuzuku, T. Koike, K. Kurokawa: A Performance Evaluation by Only One Monitoring Data Item for Citizens' PV House Project, PVSEC-14, Bangkok, 2004.1.26-30
- (5) K. Takeuchi, T. Kaito, T. Mizuno, T. Oozeki, H. Koizumi and K. Kurokawa: Development of Ultra-Small-Scaled-Down Network Simulator for Testing PV Inverter Functions, PVSEC-14, Bangkok, 2004.1.26-30
- (6) H. Tada, K. Kurokawa, T. Uno, M. Takahashi, S. Yatabe: Reflection and Absorption Characteristics of Electromagnetic Waves by PV Modules, PVSEC-14, Bangkok, 2004.1.26-30
- (7) S. Kohraku, K. Kurokawa: A fundamental experiment for discrete-wavelength LED solar simulator, PVSEC-14, Bangkok, 2004.1.26-30
- (8) N. Okada, M. Ichikawa, K. Kurokawa: Experiment and Evaluation of Loop Power Flow Control for Distribution System Adaptable to a Large Number of Distributed PV Systems, PVSEC-14, Bangkok, 2004.1.26-30
- (9) N. Kawasaki, T. Oozeki, K. Otani, K. Kurokawa: An Evaluation Method of the Fluctuation Characteristics of Photovoltaic Systems by Using Frequency Analysis, PVSEC-14, Bangkok, 2004.1.26-30
- (10) A. Adiyabat, K. Kurokawa: Photovoltaic Systems for Village Electrification in Mongolia: Techno-Economic Analysis of Hybrid System in Rural Community Centers, PVSEC-14, Bangkok, 2004.1.26-30
- (11) T. Kaito, H. Koizumi, N. Goshima, M. Kawasaki, K. Kurokawa: Development of MPPT Algorithm for a Digital Controlled PV Inverter, PVSEC-14, Bangkok, 2004.1.26-30
- (12) H. Matsukawa, H. Koizumi, K. Kurokawa: A Thermal Analysis for Photovoltaic Systems at Short Time Interval, PVSEC-14, Bangkok, 2004.1.26-30
- (13) K. Kurokawa: Recent Advances in Solar PV System Engineering, PVSEC-14, Bangkok, 2004.1.26-30
- (14) G. Yu, K. S. Lee, Y.S. Jung, J. So, J.H. Choi, K. Kim, K. Kurokawa: PVSEC-14, Bangkok, 2004.1.26-30
- (15) K. Kurokawa: The state-of-art of photovoltaics in Asia, 3rd PVTEC Asia Seminar, Kasumigaseki Bldg. Feb. 9, 2004.
- (16) 黒川 : PV開発の方向性, JPEA 誌「光発電」, No.27, 2004.3.
- (17) 池, 黒川 : 写真測量法による太陽光発電システムの日射障害物の推定, 電気学会全国大会, 青山学院大学, 2004.3.17-3.19
- (18) 井上, 黒川, 三宅, 中村, 加藤 : デュアルセンサ型日射計の開発, 電気学会全国大会, 青山学院大学, 2004.3.17-3.19
- (19) 黒川 : 太陽光発電システムの新展開, 光協会成果報告書, 2004.2.修正
- (20) 松川, 山田, 塩谷, 黒川 : 多面アレイ構造太陽光発電システムに対応したシミュレーション・ツールの開発, 電気学会 B 部門誌, Vol.124, No.3, pp.447-454, 2004.3
- (21) K. Kurokawa: The state-of-art of photovoltaics in Asia, 3rd PVTEC Asia Seminar, Kasumigaseki Bldg. Feb. 9, 2004
- (22) 黒川 : PV開発の方向性, JPEA 誌「光発電」, No.27, 2004.3, p.26-35
- (23) 黒川 : 市民のエネルギー・太陽光発電システム, シロウマサイエンス・セミナー, 黒部, 2004.4.23.

- (24) K. Kurokawa: State-of-art in PV research and development, INRS Seminar, Borji Cedria, Tunis, 4 May 2004.
- (25) K. Kurokawa: Future target and recent advances in solar PV system engineering, 1st AIST RC-PV Workshop, 12 May 2004.
- (26) K. Kurokawa: Future target and recent advances in solar PV system engineering, 三菱重工諫早工場セミナー, 14 May 2004.
- (27) H. Koizumi, K. Kurokawa, S. Mori: Analysis of Class D inverter with irregular driving patterns, IEEE International Symposium on Circuits and Systems 2004 (ISCAS 2004), Vancouver, Canada, 2004.5
- (28) K. Kurokawa: PV in Tunisian Sahara, IEA PVPS Task 8 expert meeting, Paris, 6 June 2004
- (29) K. Kurokawa, F. Aratani: Perceived technical issues accompanying large PV development and Japanese "PV2030" 19th EU-PVSEC, Paris, 2004.6.7-11
- (30) T. Oozeki, H. Koizumi, K. Otani, and K. Kurokawa: IDENTIFYING OPERATION STATUSES OF GRID CONNECTED PV SYSTEMS WITH BATTERIES UNDER LIMITED DATA ITEMS - APPLYING THE SV METHOD TO EVALUATE GRID CONNECTED PV SYSTEMS WITH BATTERIES", 19th EU-PVSEC, Paris, 2004.6.7-11
- (31) M. Ito, K. Kato, K. Komoto, T. Kichimi, H. Sugihara, K. Kurokawa : COMPARATIVE STUDY OF FIXED AND TRACKING SYSTEM OF VERY LARGE-SCALE PV (VLS-PV) SYSTEMS IN THE WORLD DESERTS, 19th EU-PVSEC, Paris, France, 2004.6.7-11
- (32) 黒川：サンシャイン計画から30年 技術開発と今後の見通し, 第21回太陽光発電システムシンポジウム, 朝日ホール, 2004.6.16~18
- (33) K. Kurokawa: PV in Tunisian Sahara, JBIC-Tunisia Seminar, Tokyo, 14 July 2004.
- (34) 黒川：太陽光発電システム — 今後の方向性, 新日本石油本社セミナー, 2004.7.29.
- (35) H. Koizumi, K. Kurokawa: Analysis of Class DE inverter with thinned-out driving patterns, 35th IEEE Power Electronics Specialists Conference 2004 (PESC 2004), Aachen, Germany, 2004.6
- (36) 岡田, 市川, 黒川：BTB 式ループコントローラと需給バランスの検討, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 名古屋大学, 2004.8.5-7
- (37) 五十嵐, 末永：太陽電池からの電磁雑音, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 名古屋大学, 2004.8.5-7
- (38) 五十嵐, 末永：太陽光発電システム用パワーコンディショナの電磁環境性, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 名古屋大学, 2004.8.5-7
- (39) 大関, 井澤, 都筑, 大谷, 黒川：太陽光発電システムの評価に関する日射量の推定方法, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 名古屋大学, 2004.8.5-7
- (40) 植田, 大関, 黒川, 伊藤, 北村, 宮本, 横田, 杉原：集中連系型太陽光発電システム実証研究におけるシステム運転性能の測定評価手法, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 名古屋大学, 2004.8.5-7
- (41) 市川, 岡田, 黒川：BTB 式ループコントローラと過渡的な需給バランスのシミュレーション, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 名古屋大学, 2004.8.5-7
- (42) 多田, 黒川, 宇野, 高橋, 谷田部：太陽電池の電磁波反射・吸収特性に関する研究, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 名古屋大学, 2004.8.5-7
- (43) 中田, 大関, 黒川, 小池：住宅用太陽光発電システムの長期運転特性の評価に関する研究, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 名古屋大学, 2004.8.5-7
- (44) 川崎, 大関, 大谷, 黒川：太陽光発電システム変動特性の評価, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 名古屋大学, 2004.8.5-7
- (45) K. Kurokawa: 100 year sustainability scenario in solar photovoltaic, Workshop on Sustainability and Survival Paths over 100 years, Denver, Aug. 29, 2004
- (46) K. Kurokawa: Energy from the Desert, WREC-8. Denver, PV064, Aug. 30-Sept. 3, 2004
- (47) A. Adiyabat, K. Kurokawa, K. Otani, N. Enebish, G. Batsukh, M. Battushig, D. Ochirvaani, B. Ganbat: EVALUATION OF SOLAR ENERGY POTENTIAL AND PV MODULE PERFORMANCE IN THE GOBI DESERT OF MONGOLIA, 8th WREC, Denver, 2004.8.26-9.3
- (48) M. Ito, K. Kato, T. Kichimi, H. Sugihara, K. Kurokawa : Comparative Study on Potential of Very Large-Scale PV Systems (VLS-PV) in the Gobi and Sahara Desert, 8th WREC, Denver, 2004.8.26-9.3
- (49) 津野, 菱川, 黒川：多接合太陽電池における各要素セルの I-V 特性の分離法の検討, 応用物理学会, 2004.09.01-04
- (50) 黒川：Future target and recent advances in solar PV system engineering, 富士電機アドバンステクノロジー・セミナー, 2004.9.10
- (51) 畠山, 高橋, 宇野, 有馬, 黒川：太陽電池モジュールによる地上デジタル放送波の反射損失, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-B, No.9, 2004.9
- (52) 黒川：21世紀人類のための太陽光発電, 第3回英弘シンポジウム「太陽光発電への期待」, 学士会館, 2004.10.12
- (53) M. Ito, T. Nishimura, K. Kurokawa: A preliminary study on utilization of desert with agricultural development and photovoltaic technology potential of very large -scale photovoltaic power generation (VLS-PV) systems, Journal of Arid Land Studies (日本沙漠学会誌「沙漠研究」), Vol.14S, October 2004
- (54) 松川, 黒川：太陽電池モジュールの短時間間隔における温度特性解析, 日本太陽エネルギー学会, 北九州研究学園都市, 2004.11
- (55) 筒井, 佐々木, 黒川：新型太陽光発電モジュールのシステム特性検証研究, 日本太陽エネルギー学会, 北九州研究学園都市, 2004.11
- (56) 植田, 大関, 黒川, 伊藤, 北村, 宮本, 横田, 杉原：太陽光発電システムにおけるアレイ面方位角の推定手法, 日本太陽エネルギー学会, 北九州研究学園都市, 2004.11

- (57) 池, 黒川: 写真測量法による太陽光発電システムの日影予測, 日本太陽エネルギー学会, 北九州研究学園都市, 2004.11
- (58) 津野, 菱川, 黒川: 多接合太陽電池における各要素セルの I-V 特性分離法の検討, 日本太陽エネルギー学会, 北九州研究学園都市, 2004.11
- (59) 川崎, 大関, 大谷, 北村, 杉原, 西川, 黒川: 太陽光発電システム変動特性評価法の研究, 日本太陽エネルギー学会, 北九州研究学園都市, 2004.11
- (60) H. Koizumi, K. Kurokawa: Analysis of Class E inverter with switch-voltage elimination, The 30th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2004), Busan, Korea, 2004.11
- (61) 大関, 井澤, 都筑, 大谷, 黒川: 太陽光発電における計測データの品質診断方法, 太陽エネルギー, Vol.30, No.6, pp47-55, 2004.11

<2005 年>

- (1) 大関, 井澤, 都筑, 大谷, 黒川, 「太陽光発電システムの評価に関する日射量の推定方法」, 電気学会部門誌 B, pp118-126, 125 巻 1 号, 2005.1
- (2) K. Kurokawa: PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY DIRECTION - JAPANESE "PV2030", 31st IEEE PVSC, Orland, Florida, 2005.1.3-7
- (3) H. Matsukawa, K. Kurokawa: Temperature Fluctuation Analysis of Photovoltaic Modules at Short Time Interval, 31st IEEE PVSC, Orland, Florida, 2005.1.3-7
- (4) T. Oozeki, K. Otani, and K. Kurokawa, "Accuracy of estimated shading loss ratio by means of the SV method ~ An extraction algorithm of maximum pattern ~, 31st IEEE PVSC, Orland, Florida, 2005.1.3-7
- (5) M. Ito, K. Kato, K. Komoto, T. Kichimi, K. Kurokawa: Analysis of transmission losses of Very Large-Scale Photovoltaic power generation systems (VLS-PV) in world desert, 31st IEEE PVSC, Orland, Florida, 2005.1.3-7
- (6) H. Igarashi, S. Suenaga: Electromagnetic Noise from Solar Cells, 31st IEEE PVSC, Orland, Florida, 2005.1.3-7
- (7) Y. Ueda, T. Oozeki, K. Kurokawa, T. Itou, K. Kitamura, Y. Miyamoto, M. Yokota, H. Sugihara, S. Nishikawa: ANALYTICAL RESULTS OF OUTPUT RESTRICTION DUE TO THE VOLTAGE INCREASING OF POWER DISTRIBUTION LINE IN GRID-CONNECTED CLUSTERED PV SYSTEMS, 31st IEEE PVSC, Orland, Florida, 2005.1.3-7
- (8) S. Ike, K. Kurokawa: Photogrammetric Estimation of Shading Impacts on Photovoltaic Systems, 31st IEEE PVSC, Orland, Florida, 2005.1.3-7
- (9) K. Sakakibara, M. Ito, K. Kurokawa: RESULTS OF PV RESOURCE SURVEY FOR WORLD 6 DESERTS BY A MODIFIED REMOTE SENSING APPROACH, 31st IEEE PVSC, Orland, Florida, 2005.1.3-7
- (10) H. TADA, K. KUROKAWA, T. UNO, M. TAKAHASHI, Satoru YATABE, T. ARIMA: DEVELOPMENT OF TV WAVE ABSORBING PV MODULE BY REARRANGING SOLAR CELLS, 31st IEEE PVSC, Orland, Florida, 2005.1.3-7
- (11) Y. Tsuno, Y. Hishikawa, K. Kurokawa: SEPARATION OF THE I-V CURVE OF EACH COMPONENT CELL OF MULTI-JUNCTION SOLAR CELLS, 31st IEEE PVSC, Orland, Florida, 2005.1.3-7
- (12) K. Kurokawa: PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY DIRECTION TOWARD JAPANESE "PV2030", 1st JSPS Workshop on the Future Direction of Photovoltaics, Aogaku-Kaikan, Tokyo, 3-4 March 2005
- (13) 五十嵐: 単独運転防止試験時の回転機負荷影響について, 電気学会全国大会, 徳島大学, 2005.3.17-19
- (14) 市川, 岡田, 黒川: BTB 式 LPC が連系する区間の特性と簡易推定法の検討, 電気学会全国大会, 徳島大学, 2005.3.17-19
- (15) 嶋田, 黒川, 吉岡: 蓄電池特性の高精度シミュレーションモデル, 電気学会全国大会, 徳島大学, 2005.3.17-19
- (16) 中田, 大関, 黒川, 小池: 簡易評価手法を用いた温度損失評価, 電気学会全国大会, 徳島大学, 2005.3.17-19
- (17) N. Okada, H. Kobayashi, T. Ishikawa, K. Takigawa, K. Kurokawa: Simulation of isolated operation in fault condition by loop power flow controller, Control Engineering Practice, pp1537-1543, Vol.13, 2005.3
- (18) 岡田, 黒川: 自端情報によるループコントローラの制御と係数の決定法, 電気学会論文誌 B, pp381-389, Vol.125, No4, 2005.4
- (19) 岡田, 黒川: 6.6kV-100kVA BTB 式ループコントローラの制御試験, 電気学会論文誌 B, pp390-398, Vol.125, No4, 2005.4
- (20) 黒川: 太陽光発電の普及状況と将来像, 「太陽エネルギーを市民の手に」シンポジウム, 愛知万博地球市民村, 2005.5.4
- (21) H. Koizumi, K. Kurokawa, S. Mori: Thinned-out controlled Class D inverter with delta-sigma modulated 1-bit driving pulses, IEEE International Symposium on Circuits and Systems 2005 (ISCAS 2005), pp. 1322-1325, Kobe, Japan, 2005.5.23-26
- (22) 黒川: 自律度向上型太陽光発電システム先導研究開発, 自律度向上型太陽光発電システム先導研究開発公開ワークショップ, 高輪プリンスホテル, 2005.5.25
- (23) K. Kurokawa, S. Wakao, Y. Hayashi, I. Ishii, K. Otani, M. Yamaguchi, T. Ishii, Y. Ono: CONCEPTUAL STUDY ON AUTONOMY-ENHANCED PV CLUSTERS FOR URBAN COMMUNITY TO MEET THE JAPANESE PV2030 REQUIREMENTS, 20th EU-PVSEC, Barcelona, 2005.6.6-10
- (24) T. Oozeki, K. Otani, K. Kurokawa: AN ACCURACY OF THE SV METHOD FOR EVALUATED SHADING LOSSES ~ COMPARED WITH RESULTS USING THE FISH-EYE-PHOTOGRAM METHOD ~, 20th EU-PVSEC, Barcelona, 2005.6.6-10
- (25) M. Ito, K. Kato, K. Komoto, T. Kichimi, K. Kurokawa: COMPARATIVE STUDY OF M-SI, A-SI AND CDTE SYSTEM OF VERY LARGE-SCALE PV (VLS-PV) SYSTEMS IN DESERT, 20th EU-PVSEC, Barcelona, 2005.6.6-10

- (26) H. Igarashi, S. Suenaga, K. Kurokawa : CHARACTERISTICS OF THE ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENTS OF POWER CONDITIONERS FOR PV GENERATING SYSTEMS, 20th EU-PVSEC, Barcelona, 2005.6.6-10
- (27) J. Tsutsui, K. Kurokawa : The Comparison of System Performance Measuring Multiple Modules, 20th EU-PVSEC, Barcelona, 2005.6.6-10
- (28) Y.Ueda, T.Oozeki, K.Kurokawa, T.Itou, K.Kitamura, Y.Miyamoto, M.Yokota, H.Sugihara, S.Nishikawa: DETAILED PERFORMANCE ANALYSE RESULTS OF GRID-CONNECTED CLUSTERED PV SYSTEMS IN JAPAN -FIRST 200 SYSTEMS RESULTS OF DEMONSTRATIVE RESEARCH ON CLUSTERED PV SYSTEMS, 20th EU-PVSEC, Barcelona, 2005.6.6-10
- (29) N. Kawasaki, T. Oozeki, K. Otani, K. Kitamura, H. Sugihara, S. Nishikawa, K.Kurokawa: IMPACT STATEMENT OF DISTRIBUTION NETWORK BY FLUCTUATION OF PV SYSTEM OUTPUT BY USING FREQUENCY ANALYSIS, 20th EU-PVSEC, Barcelona, 2005.6.6-10
- (30) S. Taguchi, K. Kurokawa: PV Resource Survey for Urban Areas by means of Aerial Photographs, 20th EU-PVSEC, Barcelona, 2005.6.6-10
- (31) K. Hayashi, T. Shimada, H. Koizumi, Y. Ohashi, K. Kurokawa : A Novel Cascaded PV Inverter by Utilizing Ready-Made ICs for Digital Audio Amplifier, 20th EU-PVSEC, Barcelona, 2005.6.6-10
- (32) Y. Nakamura, H. Koizumi, K. Kurokawa: Performance Assessment with Different Inductance Model in the Ultra Scaled-Down Distribution Grid Simulator, 20th EU-PVSEC, Barcelona, 2005.6.6-10
- (33) A.Amarbayar, 黒川浩助 : ゴビ砂漠地域開発の分析モデルの構築～エネルギー資源フローの調査分析～, 第 24 回エネルギー・資源学会研究発表会, 虎ノ門パストラル, 2005.6.9～10
- (34) A.Amarbayar, 黒川浩助 : ゴビ砂漠地域開発の分析モデル構築 : 現地調査による地域システムの分析, 第 6 回 国際開発学会春季大会, 文教大学湘南キャンパス, 2005.6.11
- (35) H. Koizumi, K. Kurokawa: A novel maximum power point tracking method for PV module integrated converter, 36th IEEE Power Electronics Specialists Conference 2005 (PESC 2005), pp. 2081-2086, Recife, Brasil, 2005.6.12-16
- (36) 黒川 : 太陽光発電システム研究開発の方向性, 第 22 回太陽光発電システムシンポジウム, 朝日ホール, p.2-21~37, 2005.6.15-17
- (37) アマルバヤル, 黒川 : モンゴルにおける独立小型太陽光発電システム実証研究のデータ解析・システム評価, 太陽エネルギー学会, pp83-88, vol.31, No4, 2005.7
- (38) 大関, 井澤, 大谷, 都筑, 小池, 黒川 : システム出力電力量のみの計測における太陽光発電システムの評価方法に関する研究, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 大阪大学, 2005.8.10-12
- (39) 五十嵐, 末長, 佐藤, 黒川 : 回転機負荷の違いによる単独運転防止装置への影響について, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 大阪大学, 2005.8.10-12
- (40) 植田, 大関, 黒川, 伊藤, 北村, 宮本, 横田, 杉原 : 系統連系型太陽光発電システムにおける出力抑制による発電量損失の定量化手法, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 大阪大学, 2005.8.10-12
- (41) 川崎, 大関, 大谷, 北村, 杉原, 西川, 黒川 : 面的広がりを考慮した太陽光発電変動特性の分析, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 大阪大学, 2005.8.10-12
- (42) K. Kurokawa : Mass Production Scale of PV Modules and Components in 2030s and beyond, 15th PVSEC, Shanghai, China, 2005.10.10-15
- (43) A. Adiyabat, K. Kurokawa, K. Otani, N.Enebish, G.Batsukh, M. Battushig, D.Ochirvaani, B.Ganbat, D.Otgonbayar : PV Module Performance in the Ulaanbaatar of Mongolia, 15th PVSEC, Shanghai, China, 2005.10.10-15
- (44) H. Igarashi, S. Suenaga, T. Sato, K. Kurokawa : About the Influence on the Islanding Detection Device by the Difference in the Motor Load, 15th PVSEC, Shanghai, China, 2005.10.10-15
- (45) Y. Ueda, T. Oozeki, K. Kurokawa, T. Itou, K. Kitamura, Y. Miyamoto, M. Yokota, H. Sugihara, S. Nishikawa : Advanced analysis of shading effect using minutely based measured data for PV systems, 15th PVSEC, Shanghai, China, 2005.10.10-15
- (46) K. Lee, K. Kurokawa : Study on D-UPFC in the clustered PV System with Grid, 15th PVSEC, Shanghai, China, 2005.10.10-15
- (47) N. Kawasaki, T. Oozeki, K. Otani, K. Kitamura, H. Sugihara, S. Nishikawa, K. Kurokawa : An Evaluation Method of Area-dependency Equalization of Output Fluctuation from Distributed PV System by Using Frequency Analysis, 15th PVSEC, Shanghai, China, 2005.10.10-15
- (48) Y. Tsuno, Y. Hishikawa, K. Kurokawa: Temperature and Irradiance Dependence of the I-V Curves of Various kinds of Solar Cells, 15th PVSEC, Shanghai, China, 2005.10.10-15
- (49) K. Hayashi, T. Shimada, H. Koizumi, Y. Ohashi, K. Kurokawa : A New Grid-Connected Inverter by Utilizing Ready-Made PWM ICs for Audio Power Amplifier, 15th PVSEC, Shanghai, China, 2005.10.10-15
- (50) J. Yokkaichi, T. Oozeki, K. Kurokawa : Irradiation Monitoring from Sunshine Hours given by Japanese Meteorological Observation Network, 15th PVSEC, Shanghai, China, 2005.10.10-15
- (51) K. Hirata, K. Kurokawa, Y. Miyake, T. Kato, K. Nakamura : Development of a Reliable, Long Life Pyranometer Composed of Multiple photo sensors, 15th PVSEC, Shanghai, China, 2005.10.10-15
- (52) 植田, 大関, 黒川 : 太陽電池モジュール入射角特性の屋外測定と解析, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 諏訪東京理科大学, 2005.10.20-21
- (53) 川崎, 大関, 大谷, 北村, 杉原, 西川, 黒川 : 太陽光発電システム変動特性の評価 ～導入面積・導入数の検討～, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 諏訪東京理科大学, 2005.10.20-21

- (54) 李, 黒川 : A Proposal of D-UPFC as a Voltage Controller in the Distribution System, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 諏訪東京理科大学, 2005.10.20-21
- (55) 田口, 黒川: 空中写真を用いた太陽光発電システム導入可能量の推定(住宅屋根の認識と日野市における事例), 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 諏訪東京理科大学, 2005.10.20-21
- (56) 津野, 菱川, 黒川 : 内挿補間を用いた各種太陽電池 I-V 特性の温度・照度補正法, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 諏訪東京理科大学, 2005.10.20-21
- (57) 四日市, 大関, 黒川 : 地域性を考慮した日射量推定法の補正方法, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 諏訪東京理科大学, 2005.10.20-21
- (58) H. Koizumi, K. Kurokawa : A novel maximum power point tracking method for PV module integrated converter using square root functions, 31th IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2005), NC, USA, pp2511-2516, 2005.11.6-11
- (59) 黒川 : 太陽光発電のこれから, 電気学会東北支部電力技術懇談会講演会, 山形大学, 2005.11.10
- (60) 黒川 : 21 世紀の太陽光発電の可能性, 太陽光発電コラボレーション事業総括報告会, 2005.11.22
- (61) 大関, 井澤, 大谷, 黒川 : システム出力電力量のみの計測における太陽光発電システムの評価方法に関する研究, 電気学会論文誌 B, pp1299-1307, Vol.125, No12, 2005.12
- (62) 植田, 大関, 伊藤, 北村, 宮本, 横田, 杉原, 黒川 : 系統連系型太陽光発電システムにおける出力抑制による発電量損失の定量化手法, 電気学会論文誌 B, pp1317-1326, Vol.125, No12, 2005.12

<2006 年>

- (1) 植田, 黒川, 北村, 赤沼, 横田, 杉原 : 太陽光発電システム評価における傾斜面日射量算出精度の検証と誤差の評価, 太陽エネルギー, p.45-53, Vol.32, No.5, Jan. 2006
- (2) 黒川 : 太陽光発電システム研究開発の方向性と再生可能エネルギー2006 国際会議, 第 23 回太陽光発電システムシンポジウム, 朝日ホール, 14-16, Jun, 2006
- (3) アマル, 中島, 大谷, 黒川 : 独立小型太陽光発電システムの利用実態と課題—モンゴルの遊牧民を事例として—, 農業情報研究, p.139-154, 第 15 巻 2 号, Feb. 2006
- (4) H. Koizumi, K. Kurokawa, S. Mori : Analysis of class D inverter with irregular driving patterns, IEEE Trans. Circuits & Systems, p.677-687, Vol.53, No.3, Mar. 2006
- (5) K. Kurokawa : Photovoltaic technology direction - Japanese "PV2030", KIER-TUAT Joint Seminar, Taejon, KOREA, 8. Mar. 2006
- (6) K. Kurokawa, S Wakao, Y Hayashi, H Yamaguchi, K Otani, M Yamaguchi, T Ishii and Y Ono : Autonomy-Enhanced PV Cluster Concept for Solar Cities to Meet the Japanese PV2030 Roadmap, 2nd International Solar Cities Congress, Oxford UK, 7E.2, 3-6. Apr. 2006
- (7) K. Kurokawa : A conceptual study on solar pv cities for 21st century, WCPEC-4, Hawaii, p.2283-2288, 7-12. May. 2006
- (8) M Ito, K. Kato, K. Komoto, T. Kichimi, K. Kurokawa : A SENSITIVITY ANALYSIS OF VERY LARGE-SCALE PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION(VLS-PV) SYSTEMS IN DESERTS, WCPEC-4, Hawaii, p.2387-2390, 7-12. May. 2006
- (9) K Lee, H Koizumi, K Kurokawa : Voltage sag/swell controller by means of D-UPFC in the distribution system, WCPEC-4, Hawaii, p.2427-2430, 7-12. May. 2006
- (10) J Tsutsui, Y Sato, K Kurokawa : Modeling the performance of several photovoltaic modules, WCPEC-4, Hawaii, p.2258-2261, 7-12. May. 2006
- (11) Y Ueda1, K Kurokawa, T Itou, K Kitamura, Y Miyamoto, M Yokota, H Sugihara : Performance ratio and yield analysis of grid connected clustered pv systems in Japan, WCPEC-4, Hawaii, p.2296-2299, 7-12. May. 2006
- (12) Y Tsuno, Y Hishikawa, K Kurokawa : Translation equations for temperature and irradiance of the I-V curves of various PV cells and modules, WCPEC-4, Hawaii, p.2246-2249, 7-12. May. 2006
- (13) H. Igarashi, T. Sato, H. Kobayashi, I. Tuda, K. Kurokawa : RESULT OF REVIEW BY ELECTRIC ENERGY AMOUNT COMPARISON WITH RESONANCE LOAD TURNED TO MOTOR LOAD STANDARDIZATION, WCPEC-4, Hawaii, p.2415-2418, 7-12. May. 2006
- (14) K Otani, T Takashima, K Kurokawa : Performance and reliability of 1MW photovoltaic power facilities in AIST - The first year's results, WCPEC-4, Hawaii, p.2046-2049, 7-12. May. 2006
- (15) H. Koizumi, K. Kurokawa, S. Mori : A comparison of output envelope waveforms of the delta-sigma modulated Class D series resonant inverter, Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems 2006 (ISCAS 2006), pp. 253-256, 21-24. May. 2006
- (16) K Lee, H Koizumi, K Kurokawa : Voltage Control of D-UPFC between a Clustered PV System and Distribution System, PESC06, Jeju, p.1367-1371, 18-22. Jun. 2006
- (17) K Hayashi, H Koizumi, Y Ohashi, and K Kurokawa : A single-phase grid-connected inverter by utilizing ready-made PWM power IC, Proc. IEEE International Symposium on Industrial Electronics 2006 (ISIE 2006), pp. 1138-1142, 9-13. Jul. 2006
- (18) H Koizumi, K. Kurokawa : Plane division maximum power point tracking method for PV module integrated converter, Proc. IEEE International Symposium on Industrial Electronics 2006 (ISIE 2006), pp. 1265-1270, 9-13. Jul. 2006

- (19) A Adiyabat., K. Otani, K. Kurokawa, N. Enebish, G. Batsukh, M. Battushig, D. Ochrvani, B. Ganbat : Evaluation of solar energy potential and PV module performance in the Gobi Desert of Mongolia, Progress in Photovoltaics, in press, p.553-566, Vol.14, issue 6, Sep. 2006
- (20) K Kurokawa, K Komoto, P Vleuten, D Faiman : A NEW KNOWLEDGE HOW TO MAKE THE VERY LARGE SCALE PVS HAPPEN ON THE DESERT!, 21th EU-PVSEC, Dresden, p.2590-2596, 3-10. Sep. 2006
- (21) Y Ueda, K Kurokawa, T Itou, K Kitamura, Y Miyamoto, M Yokota, H Sugihara : Performance Analyses of Battery Integrated Grid-connected Residential PV Systems, 21th EU-PVSEC, Dresden, p.2580-2584, 3-10. Sep. 2006
- (22) 五十嵐, 佐藤, 小林, 津田, 黒川 : 単独運転試験方法の共振負荷及び回転機負荷の違いによる単独運転検出装置へ与える影響について, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 琉球大学, p.25-11~20, 13-15. Sep. 2006
- (23) 五十嵐, 佐藤, 黒川 : 共振負荷による回転機負荷の代替検討について, 電気学会電力・エネルギー部門大会, 琉球大学, No.159, p.7-25~26, 13-15. Sep. 2006
- (24) 植田, 黒川, 伊藤, 北村, 赤沼, 横田, 杉原, 森本 : 系統連系型太陽光発電システム運転特性の高度解析と蓄電池導入効果の検証, 電気学会電力・エネルギー部門大会, No.9, p.11-1~11, 13-15. Sep. 2006
- (25) 川崎, 植田, 北村, 杉原, 西川, 黒川 : 太陽光発電システム出力変動の検出時間別発生確率分布を用いた変動特性定量化手法, 電気学会 B 部門大会, No.188, p.11-13~14, 13-15. Sep. 2006
- (26) 平田, 黒川, 三宅, 中村 : 二種類のフォトセンサを持つ新型日射計におけるスペクトル誤差の解析手法の開発, 電気学会 B 部門大会, No.183, p.10-5~6, 13-15. Sep. 2006
- (27) 中村, 小泉, 黒川 : 超縮小模擬配電システムを用いた P V インバータ試験装置の開発, 電気学会 B 部門大会, No.182, p.10-3~4, 13-15. Sep. 2006
- (28) 鎌倉, 林, 黒川 : マトリックスコンバータを用いた系統連系用ルータ機器の開発, 電気学会 B 部門大会, No.185, p.10-9~10, 13-15. Sep. 2006
- (29) 瀬尾, 黒川 : F P G A を用いた P V インバータ用デジタルコントローラの開発, 電気学会 B 部門大会, No.197, p.11-31~32, 13-15. Sep. 2006
- (30) 小柳, 黒川 : LED ソーラーシミュレータを用いた I V 特性測定の改良基礎実験, 電気学会 B 部門大会, No.184, p.10-7~8, 13-15. Sep. 2006
- (31) H Igarashi, A. Tasai, K. Kurokawa : The Status Report of the PV System Ream Inter-Connected Guideline in 5 Countries of Asia, RENEWABLE ENERGY 2006, P-Ot-5, 10-13. Oct. 2006
- (32) H Igarashi, T. Sato, K. Kurokawa : About the Examination of an Alternative Technique of the Motor Load According to the Resonance Load, RENEWABLE ENERGY 2006, P-Pv-17, 10-13. Oct. 2006
- (33) K.Otani, T. Takashima, K. Kurokawa : Comparison of Performance and Energy Yield of PV Modules by Using Two-Axis Tracking Array, RENEWABLE ENERGY 2006, O-Pv-6-6, 10-13. Oct. 2006
- (34) Y.Ueda, K. Kurokawa, T. Itou, K. Kitamura, K. Akanuma, M. Yokota, H. Sugihara : Analysis Results of Maximum Power Point Mismatch on Grid-Connected PV Systems, RENEWABLE ENERGY 2006, O-Pv-3-7, 10-13. Oct. 2006
- (35) M.Ito, K. Kato, K. Komoto, T. Kichimi, K. Kurokawa : Suitable Very Large-Scale Photovoltaic Power Generation Systems (VLS-PV) for Desert Regions from Four Types of Case Studies by Using Life-Cycle Analysis Method, RENEWABLE ENERGY 2006, O-Pv-6-4, 10-13. Oct. 2006
- (36) A. Adiyabat, M. Nakajima, K. Otani, E. Namjil, K. Kurokawa : A Study on the Evaluation of Solar Home System Viewed by Users: -A case of Nomadic Families in Mongolia-, RENEWABLE ENERGY 2006, P-Pv-25, 10-13. Oct. 2006
- (37) N.Kawasaki, K. Kurokawa, K. Kitamura, H. Sugihara, S. Nishikawa : An Evaluation of Area-Dependency Equalization of Fluctuation Characteristics from Distributed PV Systems, RENEWABLE ENERGY 2006, P-Pv-90, 10-13. Oct. 2006
- (38) K Lee, K.yamaguchi, H.Koizumi, K.Kurokawa : D-UPFC as a Voltage Regulator in the Distribution System , RENEWABLE ENERGY 2006, P-N-5, 10-13. Oct. 2006
- (39) Y.Tsuno, Y.Hishikawa, K.Kurokawa : TRANSLATION EQUATIONS FOR TEMPERATURE AND IRRADIANCE OF THE I-V CURVES OF Various PV Cells and Modules by Linear Interpolation, RENEWABLE ENERGY 2006, O-Pv-5-4, 10-13. Oct. 2006
- (40) T.Shimada, K.Kurokawa : HIGH PRECISION SIMULATION MODEL OF BATTERY CHARACTERISTICS, RENEWABLE ENERGY 2006, P-Pv-1, 10-13. Oct. 2006
- (41) T.Shimada, K.Kurokawa : GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS WITH BATTERY STORAGES CONTROL BASED ON INSOLATION FORECASTING USING WEATHER FORECAST, RENEWABLE ENERGY 2006, O-Pv-6-1, 10-13. Oct. 2006
- (42) T.Kamakura, K.Hayashi, Y.Ohashi, K.Kurokawa : CONSIDERATIONS ON POWER LINE ROUTER BY USING MATRIX CONVERTER, RENEWABLE ENERGY 2006, P-Pv-7, 10-13. Oct. 2006
- (43) Y.Nakamura, H.Koizumi, K.Kurokawa : A new type of scaled-down network simulator for testing PV inverters, RENEWABLE ENERGY 2006, P-Pv-11, 10-13. Oct. 2006
- (44) J.Koyanagi, K.Kurokawa : A Fundamental Experiment of Solar Cell' s I-V Characteristics Measurement Using LED Solar Simulator, RENEWABLE ENERGY 2006, P-Pv-9, 10-13. Oct. 2006
- (45) Y.Seo, K. Hayashi, K. Kurokawa : Development of FPGA-based Digital Controller for PV Inverter, RENEWABLE ENERGY 2006, P-Pv-6, 10-13. Oct. 2006

- (46) K.Hirata, K.Nakamura, T.Kato, K.Kurokawa : Spectral Error Analyses of Pyranometers Composed of Multiple Photodiodes, RENEWABLE ENERGY 2006, O-Pv-3-4, 10-13. Oct. 2006
- (47) N. Kawasaki, T. Oozeki, K. Otani, K. Kurokawa : An Evaluation Method of the Fluctuation Characteristics of Photovoltaic Systems by Using Frequency Analysis, Solar Energy Materials & Solar Cells, p.3356-3363, Volume 90, Issues 18-19, 23. Nov. 2006
- (48) S. Kohraku, K. Kurokawa : A fundamental experiment for discrete-wavelength LED solar simulator, Solar Energy Materials & Solar Cells, p.3364-3370, Volume 90, Issues 18-19, 23. Nov. 2006
- (49) H. Koizumi, T. Mizuno, T. Kaito, Y. Noda, N. Goshima, M. Kawasaki, K.Nagasaka, and K. Kurokawa : A novel micro controller for grid-connected photovoltaic systems, IEEE Trans. Industrial Electronics, pp. 1889-1897, vol. 53, no. 6, Dec. 2006
- (50) 黒川 : New Trends Shaping IEC Standards

<2007 年>

- (1) 植田, 黒川, 伊藤, 北村, 赤沼, 横田, 杉原, 森本 : 系統連系型太陽光発電システム運転特性の高度解析と蓄電池導入効果の検証, 電気学会論文誌 B, p.247-258, Vol.127, No.1, Jan. 2007
- (2) 五十嵐, 佐藤, 小林, 津田, 黒川 : 共振負荷と回転機負荷の相違と単独運転試験への影響について, 電気学会論文誌 B, p.192~199, Vol.127, No.1, Jan. 2007
- (3) Y. Ueda, T. Oozeki, K. Kurokawa, T. Itou, K. Kitamura, Y. Miyamoto, M. Yokota, H. Sugihara : Quantitative Analysis of Output Loss due to Restriction for Grid-connected PV Systems, Electrical Engineering in Japan, pp9-19, Vol. 158, No. 2, 30. Jan. 2007
- (4) K. Lee, K. Yamaguchi, K. Kurokawa: Proposed Distribution Voltage Control Method for Connected Clustered PV System, The Journal of Power Electronics, p.286 – 293, Oct. 2007
- (5) 嶋田尊衛, 黒川 : 天気予報と天気変化パターンを用いた日射予測, 電気学会論文誌 B, Vol.127, No.11, pp.1219-1225, 2007.Nov. 1
- (6) K. Lee, K. Yamaguchi, K. Kurokawa: D-UPFC Voltage Control in the Bi-directional Power Flow Condition, 太陽エネルギー, Vol.33, No.6, p.35 – 40, 2007
- (7) K. Kurokawa: International Symposium on Energy from the Desert, Task 8 Symposium, 22nd EU-PVSEC, FIERA-Milano, 6 Sep. 2007.
- (8) K. Kurokawa: Further considerations on solar PV community concept consisting of massive roof-top pvs and domestic loads, 22nd EU-PVSEC, FIERA-Milano, Milan, pp.2889-2894, Plenary 5BP.2.5, 3-7 Sep. 2007
- (9) H. Igarashi, K. Tanaka, T. Sato, T. Watanabe, H. Sugihara, Y. Miyamoto, N. Fukuoka, K. Kurokawa: Study of islanding Test Method using Multiple interconnected Photovoltaic Inverters - Examination by Difference in Motor Load installation Conditions, 22nd EU-PVSEC, FIERA-Milano, Milan, pp.2992-2994, 5BV.1.2, 4 Sep. 2007
- (10) Y. Ueda, K. Kurokawa, T. Tanabe, K. Kitamura, K. Akanuma, M. Yokota, H. Sugihara: STUDY ON THE OVER VOLTAGE PROBLEM AND BATTERY OPERATION FOR GRID-CONNECTED RESIDENTIAL PV SYSTEMS, 22nd EU-PVSEC, FIERA-Milano, Milan, pp.3094-3097, 5BV.1.32, 4 Sep. 2007
- (11) T. Tohoda, K. Kurokawa: THE SIMULATED POWER CONDITIONER FOR PV SYSTEMS BY ELECTRONIC DEVICES FOR THE ULTRA SCALED-DOWN NETWORK SIMULATOR, 22nd EU-PVSEC, FIERA-Milano, Milan, pp.3123-3126, 5BV.1.40, 4 Sep. 2007
- (12) K. Miyamoto, H. Igarashi, K. Kurokawa: A STUDY ON THE INFLUENCE OF AN INDUCTION MOTOR FOR ISLANDING-DETECTION POWER CONDITIONING SYSTEMS, 22nd EU-PVSEC, FIERA-Milano, Milan, pp.3180-3183, 5BV.3.4, 4 Sep. 2007
- (13) Y. Hamano, M. Ito, K. Kurokawa: Desert PV resource analysis by detecting seasonal changes among satellite images, 22nd EU-PVSEC, FIERA-Milano, Milan, pp.3567-3570, 6DV.4.50, 6 Sep. 2007
- (14) M. Suzuki, M. Ito, K. Kurokawa: AN ANALYSIS ON PV RESOURCE IN RESIDENTIAL AREAS BY MEANS OF AERIAL PHOTO IMAGES, 22nd EU-PVSEC, FIERA-Milano, Milan, pp.3571-3574, 6DV.4.52, 6 Sep. 2007
- (15) K. Komoto, K. Kurokawa, M. Ito, J. S. MacDonald, C. Beneking, E. Cunow, M. Ermer, D. Faiman, F. Paletta, A. Sarno, J. Song, R. Knol, P. van der Vleuten, T. Hansen, H. Hayden, N. Enebish: IEA-PVPS TASK8: VERY LARGE SCALE PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION (VLS-PV) SYSTEMS ON THE DESERT, 22nd EU-PVSEC, FIERA-Milano, Milan, 6 Sep. 2007
- (16) Y. Hishikawa, Y. Tsuno, K. Kurokawa: Spectral Response Measurements of PV Modules and Multi-Junction Devices, 22nd EU-PVSEC, FIERA-Milano, Milan, 4BV.2.10, 6 Sep. 2007
- (17) K. Lee, K. Yamaguchi, K. Kurokawa: Case study of distribution-unified power flow controller (D-UPFC) in the clustered PV system, The 7th International Conference on Power Electronics, EXCO, Daegu, pp.832-840, 22 Oct. 2007
- (18) K. Yamaguchi, K. Lee, K. Kurokawa: Study on voltage regulation method in the power distribution system, The 7th International Conference on Power Electronics, EXCO, Daegu, pp.488-492, 22 Oct. 2007
- (19) Y. Hamano, M. Ito, K. Kurokawa: PV resources analysis in world six deserts with detecting seasonal differences among satellite images, PVSEC-17, Fukuoka, pp.886-887, 3-7 Dec. 2007
- (20) H. Igarashi, K. Miyamoto, K. Kurokawa: Verification of changing into state of asynchronous induction generator of induction motors, PVSEC-17, Fukuoka, pp.1013-1014, 3-7 Dec. 2007
- (21) K. Megherbi, M. Ito, F. D. Ferretti, K. Komoto, K. Kurokawa: Financing very large scale PV systems in Gobi Desert, PVSEC-17, Fukuoka, pp.911-912, 3-7 Dec. 2007
- (22) N. Kawasaki, K. Kitamura, H. Sugihawa, S. Nishikawa, K. Kurokawa: Analysis of fluctuation characteristics of PV system according to the array configuration, PVSEC-17, Fukuoka, pp.655-656, 3-7 Dec. 2007

- (23) R. Andoulsi, A. El kazen, A. Boutouta, A. Ounalli, B. Bessais, K. Kurokawa: A recent status and future prospects of photovoltaics in Tunisia, PVSEC-17, Fukuoka, pp.905-906, 3-7 Dec. 2007
- (24) Y. Watanabe, K. Kurokawa: Research on three-dimensional coordinates acquisition for shadow estimation in photovoltaic system, PVSEC-17, Fukuoka, pp.653-654, 3-7 Dec. 2007
- (25) N. Yamashita, M. Ito, K. Komoto, K. Kurokawa: An environmental potential of pv systems in japan by utilizing the ecological footprint, PVSEC-17, Fukuoka, pp.518-519, 3-7 Dec. 2007
- (26) Y. Tsuno, Y. Hishikawa, K. Kurokawa: Modeling I-V curves of pv modules using linear interpolation /extrapolation, PVSEC-17, Fukuoka, pp.449-450, 3-7 Dec. 2007
- (27) T. Shimada, K. Kurokawa: Online correction for insolation forecasting using weather forecast, PVSEC-17, Fukuoka, pp.639-640, 3-7 Dec. 2007
- (28) K. Komoto, M. Ito, N. Yamashita, K. Kurokawa: Environmental potential of very large scale photovoltaic power generation (VLS-PV) systems on deserts, PVSEC-17, Fukuoka, pp.520-521, 3-7 Dec. 2007
- (29) M. Ito, M. Kudo, K. Kurokawa: A preliminary life-cycle analysis of a mega-solar system in Japan, PVSEC-17, Fukuoka, pp.508-511, 3-7 Dec. 2007
- (30) K. Kurokawa: Future direction of PV system technologies around 2030 and beyond, PVSEC-17, Fukuoka, pp.60-63, 3-7 Dec. 2007
- (31) Y. Ueda, K. Kurokawa, K. Kitamura, M. Yokota, K. Akanuma, H. Sugihara: PERFORMANCE ANALYSIS OF VARIOUS SYSTEM CONFIGURATIONS ON GRID-CONNECTED RESIDENTIAL PV SYSTEMS, PVSEC-17, Fukuoka, pp.383-384, 3-7 Dec. 2007
- (32) R. Andoulsi, B. Khiari, A. Sellami, A.Mami, G.Dauphin-Tanguy: NON LINEAR CONTROL OF A PHOTOVOLTAIC PUMPING SYSTEM, PVSEC-17, Fukuoka, pp.665-667, 3-7 Dec. 2007
- (33) M. Ito, Y. Tsuno, K. Kurokawa: A COST ANALYSIS OF CO2 REDUCTION BY UTILIZING LARGE-SCALE PV SYSTEMS IN JAPAN, PVSEC-17, Fukuoka, pp.898-899, 3-7 Dec. 2007
- (34) Y. Hishikawa, Y. Tsuno, K. Kurokawa: SPECTRAL RESPONSE MEASUREMENTS OF PV MODULES, PVSEC-17, Fukuoka, pp.1003-1004, 3-7 Dec. 2007
- (35) 五十嵐, 田中, 佐藤, 渡邊, 杉原, 宮本, 福岡, 黒川: 複数台連系時の単独運転試験方法検討について-回転機負荷設置条件の違いによる検討結果-, 平成 19 年電気学会全国大会, Vol. 6, pp. 370-371. 2007.3.15
- (36) 渡邊, 黒川: 写真測量法による影の定量評価システムの提案, 平成 19 年電気学会全国大会, Vol. 3, pp. 152-153. 2007.3.16
- (37) 植田, 黒川, 田邊, 北村, 赤沼, 横田, 杉原: 単相三線式配電線負荷電流不平衡による片相電圧上昇の太陽光発電システム出力抑制への影響, 平成 19 年電気学会全国大会, Vol. 7, pp. 73-74, 2007.3.17
- (38) 五十嵐, 宮本, 黒川, 飯田, 高江洲, 石井, 水野, 前田, 浅井, 長畑: 多数台連系用パワーコンディショナの開発について, 平成 19 年電気学会 B 部門大会, pp. 51-25 - 51-26, 2007.9.12
- (39) 植田, 川崎, 黒川, 田邊, 北村, 中島, 宮本, 杉原: 集中連係型太陽光発電システムにおける出力抑制回避技術の開発(1)-実証試験地区における出力抑制発生状況の調査-, 平成 19 年電気学会 B 部門大会, pp. 52-1 - 52-2, 2007.9.13
- (40) 川崎, 植田, 北村, 杉原, 西川, 黒川: 集中連係型太陽光発電システムの変動特性の評価, 平成 19 年電気学会 B 部門大会, No.426, pp. 53-5 - 53-6, 2007.9.14
- (41) 五十嵐, 佐藤, 末永, 杉原, 宮本, 福岡, 黒川: 太陽光発電システムの能動的単独運転検出信号の干渉による影響について, 平成 19 年電気学会 B 部門大会, pp. 55-1 - 55-2, 2007.9.14
- (42) 宮本, 五十嵐, 黒川: PV 用パワーコンディショナの単独運転検出機能に与える誘導電動機回生エネルギーの影響に関する一考察, 平成 19 年電気学会 B 部門大会, pp. 55-3 - 55-4, 2007.9.14
- (43) 五十嵐, 佐藤, 宮本, 黒川: 誘導機負荷の発電確認と単独運転検出装置への影響について, 平成 19 年電気学会 B 部門大会, pp. 55-5 - 55-11, 2007.9.14
- (44) 高橋, 津野, 黒川: 熱電対による太陽電池モジュールの温度測定方法, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 札幌コンベンションセンター, pp.67-70, 2007.10.25-26
- (45) 山中, 黒川: 太陽電池日射障害における半影の影響, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 札幌コンベンションセンター, pp.83-86, 2007.10.25-26
- (46) 津野, 菱川, 黒川: 部分照射による太陽電池モジュールの分光感度測定原理の検討, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 札幌コンベンションセンター, pp.373-376, 2007.10.25-26
- (47) 植田, 黒川: 太陽光発電システム発電効率向上に向けた損失要因の影響分析, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 札幌コンベンションセンター, pp.449-452, 2007.10.25-26
- (48) 大谷: 世界のトップを走る太陽光発電, 精密工学会誌 Vol.73, No.1, p48-51, Jan, 2007
- (49) 黒川: 再生可能エネルギー2006 国際会議開催報告書, 2007.2.
- (50) 黒川: 寄稿: 太陽光発電の節目, 太陽光発電協会機関誌「太陽光発電」, p.35-42, 2007.3
- (51) 黒川: 太陽光発電システムの地球規模導入を目指して, JEMA 新エネルギー講演会, 6. Mar. 2007
- (52) K. Kurokawa: A new knowledge how to make the very large scale PVs happen on the desert!, IEA PVPS Task 2 Expert Meeting, Tokyo, 14 March 2007.
- (53) K. Kurokawa: Solar Photovoltaic Systems - Present Status & Future Directions, Seminar for Tunisian visitor Dr. Manef Abderrabba, 16 Mar. 2007.
- (54) 黒川: 高効率太陽光発電技術の開発の現状と課題, 54 応物 2007 春連合講演会, エネ・環境研究会「これからのエネ技術を考える」 29p-ZK-5, p.0-127, 2007.3.29
- (55) K. Kurokawa: Conceptual Considerations on the Aggregated Network consisting of Massive Roof-top PVs and Domestic Loads in Urban Residential Area, Nagoya 2007 Symposium on Microgrids, Mielparque-Nagoya Hotel, 6 April 2007

- (56) K. Kurokawa: International Symposium on Energy from the Desert, Task8 Symposium_PV-Med_EPIA, 21-22 April 2007
- (57) 黒川：太陽光発電技術のこれからの方向性，GS ユアサ技報法，4巻1号，p.1-8，2007.6
- (58) 黒川：太陽光発電の恵みー人類生存のためのアプローチ，東京電機大学大学院理工学研究科セミナー，2007.6.1
- (59) 黒川：太陽光発電の新しい面展開：概念的考察，学振175委員会第4回【次世代の太陽光発電システムシンポジウム】東北大学さくらホール，2007.6.28-29
- (60) 黒川：自律度向上型太陽光発電システムおよびパワールータに関する考察ー 未来型太陽光発電における蓄電機能の役割ー，第11回電力貯蔵技術研究会，2007.10.3
- (61) 黒川：世界の太陽電池開発動向ならびにPVリサイクルの動向とグリーン電力証書の課題，JPEAセミナー，太陽光発電の最新開発動向とリユースリサイクル・グリーン電力セミナー，2007.10.12
- (62) 黒川：日本の最北端で考える太陽光発電のこれから，稚内新エネルギーセミナー，2007.11.6
- (63) K. Kurokawa: Solar Photovoltaic Energy A Solution for our Sustainability, International Symposium on Global Sustainability- Social Systems and Technological Strategies -, November 26 & 27, 2007
- (64) K. Kurokawa, K. Komoto, Peter van der Vleuten, David Faiman (editors): Energy from the Desert - Practical proposals for Very Large Scale Photovoltaic Systems, Earthscan, 201 pages, Jan. 2007

<2008年>

原著論文

- (1) M. Ito, K. Kato, K. Komoto, T. Kichimi, K. Kurokawa: A Comparative Study on Cost and Life-Cycle Analysis for 100 MW Very Large-Scale PV (VLS-PV) Systems in Deserts Using m-Si, a-Si, CdTe and CIS modules, Progress in Photovoltaics, Vol.16, Issue 1, pp 17-30, Jan. 2008
- (2) J Tsutsui, K Kurokawa: INVESTIGATION TO ESTIMATE THE SHORT CIRCUIT CURRENT BY APPLYING THE SOLAR SPECTRUM, Progress in Photovoltaics, 2008
- (3) Yuzuru Ueda, Kosuke Kurokawa, Takayuki Tanabe, Kiyoyuki Kitamura, Hiroyuki Sugihara: Analysis Results of Output Power Loss due to the Grid Voltage Rise in Grid-Connected Photovoltaic Power Generation Systems, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Volume 55, Issue 7, pp2744-2751, Jul. 2008
- (4) 津野裕紀，上迫浩一，黒川浩助：I-V特性の直線補間/補外法を用いた太陽電池モジュールの発電電力量損失定量手法，太陽エネルギー，pp81-86，2008
- (5) 嶋田尊衛，黒川浩助：階段状電流を用いた鉛蓄電池シミュレーションモデリング手法，電気学会論文誌B（電力・エネルギー部門誌），Vol. 128，No.8，pp.1027-1034，2008
- (6) 五十嵐広宣，佐藤孝則，宮本和典，黒川浩助：誘導電動機の発電確認と単独運転検出装置への影響について，電気学会論文誌B（電力・エネルギー部門誌），Vol. 128，No.7，pp.967-975，2008
- (7) Y. Tsuno, Y. Hishikawa and K. Kurokawa: MODELING I-V CURVES OF PV MODULES USING LINEAR INTERPOLATION /EXTRAPOLATION, Solar Energy Materials and Solar Cells, online

国際学会

- (8) Yuki Tsuno, Koichi Kaimisako and Kosuke Kurokawa: New Generation of PV Module Rating by LED Solar Simulator, IEEE PVSC 33rd, San Diego, 11-18 May 2008
- (9) Takae Shimada, Yuzuru Ueda and Kosuke Kurokawa: LOOK-AHEAD EQUALIZING CHARGE PLANNING FOR GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS WITH BATTERY STORAGE, IEEE PVSC 33rd, San Diego, 11-18 May 2008
- (10) Naoko Yamashita, Masakazu Ito, Keiichi Komoto, Yuzuru Ueda, Ken Nagasaka, Kosuke Kurokawa: An Environmental Potential of PV systems and Greening by Utilizing the Ecological Footprint, World Renewable Energy Congress X, 19-25 Jul. 2008
- (11) Masakazu Ito, Takuya Oda, Kosuke Kurokawa: A questionnaire survey about an interest and a price for a residential PV system, World Renewable Energy Congress X, 19-25 Jul. 2008
- (12) Yuzuru Ueda, Tsurugi Sakurai, Shinya Tatebe, Akihiro Itoh, Kosuke Kurokawa: PERFORMANCE ANALYSIS OF PV SYSTEMS ON THE WATER, EUPVSEC23, Valencia, 1-5 Sep. 2008
- (13) Yuki Tsuno, Yoshihiro Hishikawa, Kosuke Kurokawa: A METHOD FOR SPECTRAL RESPONSE MEASUREMENTS OF VARIOUS PV MODULES, EUPVSEC23, Valencia, 1-5 Sep. 2008
- (14) Toshiaki Tohoda, Ken Nagasaka, Kosuke Kurokawa: PV-PCS SIMULATOR FOR SIMULATING PLURAL PV SYSTEM WITH SMALL SCALE, Renewable Energy 2008, Busan, 13-17 Oct. 2008
- (15) Mami Suzuki, Masakazu Ito, Ken Nagasaka, Kosuke Kurokawa: AN IMPROVED ANALYSIS ON RESIDENTIAL PV RESOURCES BY AERIAL PHOTOGRAPHS, Renewable Energy 2008, Busan, 13-17 Oct. 2008
- (16) Kenichiro Yamaguchi, Ken Nagasaka, Kosuke Kurokawa: DEVELOPMENT OF VOLTAGE CONTROLLER FOR THE DISTRIBUTION SYSTEM CONNECTED WITH CLUSTERED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS, Renewable Energy 2008, Busan, 13-17 Oct. 2008
- (17) Yuzuru Ueda: Analysis Result of Voltage Rise and Network Behavior Simulations with Large Scale DER Deployment, 3rd International Conference on Integration of Renewable and Distributed Energy, Dec. 2008

国内学会

- (18) 植田謙，黒川浩助，田邊隆之，北村清之，中島栄一，宮本裕介，杉原裕征：配電系統に集中連系された太陽光発電システムにおける電圧上昇の解析，平成20年電気学会全国大会講演論文集，Vol. 7，pp.48-49，2008.3

- (19) 山下直子, 伊藤雅一, 河本桂一, 植田謙, 長坂研, 黒川浩助: NPP を用いた日本とゴビ砂漠における太陽光発電システムのエコロジカルフットプリント, エネルギー資源学会, 2008.6.5-6
- (20) 川崎憲広, 伊藤雅一, 有田佳那子, 黒川浩助: 小型ソーラーカーの開発, 平成 20 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, pp 165-168, 2008.11.6
- (21) 川崎憲広, 北村清之, 杉原裕征, 西川省吾, 黒川浩助: 太陽光発電システム変動特性評価手法の開発 ~有効性および精度検証~, 平成 20 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, pp 293-296, 2008.11.7
- (22) 植田謙, 津野裕紀, 工藤満, 小西博雄, 黒川浩助: 北杜メガソーラプロジェクトにおける各種太陽電池モジュール評価, 平成 20 年度 日本太陽エネルギー学会/日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 公演論文集, pp. 69-70, 2008.11

招待講演・その他解説・展望

- (23) 黒川浩助: 太陽光発電に関する最近の状況と展望, 電気学会 B 部門誌解説, 2008 年 7 月号
- (24) 黒川浩助: 太陽光発電 - 希望と責務 -, JPEA 25th 太陽光発電システムシンポジウム
- (25) 黒川浩助: 太陽光発電をめぐる急展開, 第 2 回 A E S 総会 特別講演
- (26) 黒川浩助: 再生可能エネルギー世界フェア 2008 主催者挨拶, 再生可能エネルギー世界フェア 2008

<2009 年>

原著論文

- (1) 津野裕紀, 菱川善博, 上迫浩一, 黒川浩助: 部分照射による各種太陽電池モジュールの分光感度測定方法, 太陽エネルギー, pp73-81, 2009
- (2) 川崎憲広, 北村清之, 杉原裕征, 西川省吾, 長坂研, 黒川浩助: 集中連系型太陽光発電システムにおける変動特性評価法に関する研究, 太陽エネルギー, Vol.35 No.1, pp 83-92, 2009
- (3) 嶋田尊衛, 川崎憲広, 植田謙, 杉原裕征, 黒川浩助: 集中連系型太陽光発電システムにおける翌日連系点電力の計画・制御を可能とする蓄電池容量の検討, 電気学会論文誌 B, 129 巻 5 号, p.p.696-704, 2009 年 5 月
- (4) Akira Nishimura, Y. Hayashi, K. Tanaka, M. Hirota, S. Kato, M. Ito, K. Araki, E.J. Hu, Life cycle assessment and evaluation of energy payback time on high-concentration photovoltaic power generation system, Applied Energy, 5 Sep 2009 (online)
- (5) 小田 拓也, 宮崎 隆彦, 伊藤 雅一, 柏木 孝夫, 再生可能エネルギーと需要の双方の変動を考慮した電力貯蔵容量の基礎的解析, 電気学会論文誌 B, 129 巻 5 号, pp 682-688, 2009 年
- (6) Masakazu Ito, Kosuke Kurokawa, Solar Resource Potentials of Very Large Scale PV Systems in Sahara desert, Journal of Arid Land Studies (日本沙漠学会誌「沙漠研究」), Vol.19, No.1, pp 105-108, Jun-09
- (7) Yuzuru Ueda, Kosuke Kurokawa, Kiyoyuki Kitamura, Masaharu Yokota, Katsumi Akanuma, Hiroyuki Sugihara: Performance analysis of various system configurations on grid-connected residential PV systems, Solar Energy Materials and Solar Cells, 93, 6-7, p.p.945-949, 2009.6
- (8) 筒井淳, 上迫浩一, 黒川浩助: 太陽電池モジュールの屋外出力推定法及びそれを用いた耐久性評価, 太陽エネルギー, Vol.35, No.6, pp.59-64, 2009

国際学会

- (9) Kosuke Kurokawa: The particularity of the power network incorporating with the aggregation of distributed PV systems, REGIS Workshop, Hawaii, USA 2009.1-12-15
- (10) Kosuke Kurokawa: Study on Very Large Scale Photovoltaic Power Generation System, IEA PVPS Workshop, PVSEC-18, Kolkata, India, 2009.1.19-23
- (11) Kosuke Kurokawa: Solar Photovoltaic Technology - its Prosperity as Global Major Energy throughout 21st Century PVSEC-18, Kolkata, 2009.1.19-23
- (12) Masakazu Ito, Takuya Oda, Yasuhiro Nakai, Kosuke Kurokawa, Preliminary Analysis on Potentials of CO2 reduction for Electric Vehicle with Renewable Energy, WREC 2009 Asia, Bangkok, 18-23 May 2009
- (13) Kosuke Kurokawa, Norihiro Kawasaki, Masakazu Ito: Particularity of PV Aggregations incorporating with the Power Grids - Development of a Power Router, 34th PVSC_Philadelphia, USA, 2009.06.08
- (14) Kosuke Kurokawa: Accelerated and Expanded Japanese PV Technology Roadmap "PV2030+", 34th PVSC_Philadelphia, USA, 2009.6.7-12
- (15) Masakazu Ito, Keiichi Komoto, Kosuke Kurokawa, A Comparative LCA Study on Potential of Very-Large Scale PV Systems in Gobi Desert, 34th IEEE PVSC, Philadelphia, 7-12 June 2009
- (16) Y. Ueda: EVALUATION OF VARIOUS PV TECHNOLOGIES IN HOKUTO MEGA-SOLAR PROJECT, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2009.9
- (17) Masakazu Ito, Mitsuru Kudo, Masashi Nagura, Kosuke Kurokawa: A Life-Cycle Analysis of A Mega-Solar System in Japan, 24th EU-PVSEC, Hamburg, 5BV.2.51, 21-25 Sep 2009
- (18) K. Komoto, K. Kurokawa, M. Ito, D. Faiman, P. van der Vleuten: FUTURE PV DIRECTIONS: VLS-PV ROADMAP TOWARD 2100, 24th EU-PVSEC, Hamburg, 6DV.2.27, 21-25 Sep 2009
- (19) Kosuke Kurokawa, Keiichi Komoto, Masakazu Ito, David Faiman, Peter van der Vleuten, Realistic: Sustainable Energy Solutions from the Desert for World Energy throughout the Century, 24th EU-PVSEC, Hamburg, 6DV.2.28, 21-25 Sep 2009
- (20) Masakazu Ito, Kosuke Kurokawa: Solar Energy Potentials in Gobi Desert by Remote Sensing Approach, ISES 2009, Johannesburg, 11-14 Oct 2009

- (21) Y. Ueda: Evaluation of Different PV Modules and Systems in HOKUTO Mega-Solar Project, PVSEC-19, 2009.11

国内学会

- (22) 植田 譲, 岩船 由美子, 荻本 和彦: PV 導入への配電電圧昇圧の効果の予備的検討, 平成 21 年電気学会全国大会, 7-168, 2009.3
- (23) 植田 譲, 黒川 浩助, 田邊 隆之, 北村 清之, 宮本 裕介, 杉原 裕征: 蓄電池の太陽光発電出力抑制対策への応用, 平成 21 年電気学会全国大会, 6-S7-3, 2009.3
- (24) 一色 拓人, 小田 拓也, 伊藤 雅一, 柏木 孝夫, エネルギーの地域融通を考慮した最適エネルギーシステム～大学キャンパスの実データを基にした解析事例～, 電気学会全国大会, 北海道, pp 134-135, 17-19 Mar 2009
- (25) 植田 譲, 岩船 由美子, 荻本 和彦: 水面設置型太陽光発電システムの発電特性と水冷効果, 平成 21 年電気学会 電力・エネルギー部門大会, 2009.8
- (26) 工藤 満, 高木 晋也, 小西 博雄, 田中 良, 植田 譲, 伊藤 雅一, 津野 裕紀, 黒川 浩助: 各種太陽光発電システムの評価, 電気学会全国大会, 北海道, pp 23-26, 17-19 Mar 2009
- (27) 小宮山陽平, 長坂研: 太陽光発電量推定のための ANN を用いた日射予測, 第 28 回エネルギー・資源学会研究発表会, 10-2, 2009.6.10
- (28) 伊藤 雅一, 川崎 憲広, 前田 征児, 石井 隆文, 山口 雅英, 横山 昌央, 高野 知宏, 大森 一憲, 木村 誠, 黒川 浩助: 自律度向上型太陽光発電システム研究における情報線を必要としないスマートグリッド実証試験, 平成 21 年度 日本太陽エネルギー学会/日本風力エネルギー協会合同研究発表会, pp 321-324, 2009.11.5-6
- (29) 植田 譲, 伊藤 雅一, 黒川 浩助, 工藤 満, 小西 博雄: アモルファス太陽電池アレイの計測データを用いた故障検出と故障箇所特定手法, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会, pp 77-80, 2009.11.5-6
- (30) 石崎雄介, 長坂研: 多数の LED を光源としたソーラシミュレータの開発, 平成 21 年度日本太陽エネルギー学会/日本風力エネルギー協会合同研究発表会, p387～p388, 2009.11.6
- (31) 川崎 憲広, 西岡 宏二郎, 島陰 豊成, 山根 宏, 角田 二郎, 黒川 浩助, “空間補間法を用いた日射強度推定法の検討”, 平成 21 年度 日本太陽エネルギー学会/日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 講演論文集, pp. 73-76, 長崎, 2009 年 11 月
- (32) 津野 菱川, 工藤, 小西, 植田, 黒川: 各種太陽電池モジュールの屋外における利得・損失量の定量解析, 太陽/風力エネルギー講演論文集 301-304, 2009.11

著書・解説など

- (33) 黒川浩助: 2.6.3 注目すべき最近の動向, 光産業振興協会 H20 産業動向調査報告書, 2009.2.
- (34) 黒川浩助: 太陽光発電普及の動向・大きな変化をめざして, 太陽光発電協会機関誌「太陽光発電」
- (35) 黒川浩助: 太陽光発電の意義とその将来像 (上) (下), 会誌「科学機器」<科学の峰々>, 2009.2.6
- (36) Masakazu Ito, Kosuke Kurokawa, RE-EV: Renewable Energy for Electric Vehicles Project, New Breeze, pp 20-21, Spring 2009
- (37) 黒川浩助: 明るい太陽光発電の未来を目指して, ENEOS, Technical Review Vol.51 No.2, p.09-13, 2009.05
- (38) 横山 晋也, 山口 雅英, 伊藤 雅一, 黒川 浩助, 中井 康博, 野口 浩行, 再生可能エネルギーを利用した電気自動車向けインフラシステム, GS Yuasa Technical Report, 第 6 巻第 1 号, pp32-36, 2009 年 6 月
- (39) 黒川浩助, 中井康博: 再生可能エネルギーを利用した電気自動車向けインフラシステムの研究 (RE-EV プロジェクト), 原子力 eye Vol.55, No.8, 2009.8
- (40) 黒川浩助, 前田征児: 太陽光発電大量導入時代を見据えた自律度向上太陽光発電システムの実証研究ーコミュニティにおける電力融通効果の検証ー, 原子力 eye Vol.55, No.8, 2009.8
- (41) Keiichi Komoto, Masakazu Ito, Peter van der Vleuten, David Faiman and Kosuke Kurokawa, Energy from the Desert -Very Large Scale Photovoltaic Systems: Socio-economic, Financial, Technical and Environmental Aspects-, earthscan, September 2009

招待講演

- (42) 黒川浩助: エネルギーネットワークと太陽光発電システム, 第 3 回日本エレクトロニクスフォーラム, 2009.2.26
- (43) 黒川浩助: 21 世紀を担う太陽光発電エネルギー, ドイツ NRW 州再生可能エネルギーセミナー、東京ベイ有明ワシントンホテル, 2009.2.27
- (44) 黒川浩助: PV2030plus and Its Background International Sinpojium on Innovative Solar Cells 2009, 2009.3.2
- (45) 黒川浩助: 太陽光発電は地球を救えるか, 国際セラミックス総合展セミナー「地球環境・新エネルギー」、東京ビッグサイト, 2009.4.10
- (46) 伊藤 雅一, 再生可能エネルギーを利用した電気自動車向け充電システムの研究, 日本水素エネルギー産業会議, 13 May 2009
- (47) 黒川浩助: 太陽光発電の真の価値, 太陽光発電拡大のために (パネルディスカッション基調講演), 東工大百年記念館, 2009.6.18
- (48) Kosuke Kurokawa: Progress of AE-PVC and RE-EV, Meeting on PVGIS, 2009.6.23
- (49) 黒川浩助: 大規模太陽光発電とサンベルト構想のインテグレーション, JCRE フォーラム: 太陽エネルギー, 熱と光の最先端技術セミナー, 幕張メッセ, 2009.6.25
- (50) 黒川浩助: IEA-PVPS プログラム “Energy from the Desert”, 日本学術会議シンポ「サハラソーラーブリーダー計画」, 日本学術会議講堂, 2009.6.30

- (51) 黒川浩助：明るい太陽光発電の未来を目指して，第6回学振175委員会「太陽光発電システム」，朱鷺メッセ，新潟，2009.7.2-3
- (52) 黒川浩助：太陽光発電の現状と将来，地球環境研究会，航空会館会議室，2009.7.6
- (53) 黒川浩助：永遠のエネルギー太陽光発電を目指して，平成21年度第1回（第7回）水素エネルギー利用開発研究会講演会，広島大学，2009.7.09
- (54) 黒川浩助：21世紀を担う太陽光発電エネルギー，日独ソーラー技術セミナー，ホテルニューオータニ，東京，2009.7.22
- (55) 黒川浩助：太陽光発電は地球を救えるか，建築研究開発コンソーシアム，晴海トリトンスクエア，東京，2009.7.23
- (56) Kosuke Kurokawa: Intrinsic Value of PV System and its Long-Term Vision PIDA, 太陽光発電の本質的な価値及び超長期的展望セミナー，台北，台湾，2009.08.21
- (57) Kosuke Kurokawa: Solar Photovoltaic Systems, ISC 55 Student Seminar, 国立オリンピック記念青少年総合センター，2009.9.1
- (58) 伊藤 雅一，再生可能エネルギーを利用したEV用インフラシステムの開発，電気自動車&充電システム徹底解説，電子ジャーナル，20 Oct 2009
- (59) Kosuke Kurokawa: Eternity - The Nature of Renewable Energy, 再生可能エネルギー長城フォーラム，上海，中国，2009.10.23
- (60) 黒川浩助：太陽光発電の真の価値，第8回英弘シンポジウム，如水会館，2009.10.27
- (61) 黒川浩助：21世紀基幹エネルギーを目指す太陽光発電，石油精製講演会，代々木青少年センター，2009.10.30
- (62) 黒川浩助：太陽光発電の真の価値，第23回サイテックサロン，駒場ファカルティハウス，2009.10.31
- (63) 黒川浩助：21世紀世界基幹エネルギーを目指す太陽光発電，新エネルギー勉強会，太陽電池編，株式会社テクノバ本社，2009.11.02
- (64) 黒川浩助：低炭素社会実現に向けての太陽光発電の考え方，第26回太陽光発電システムシンポジウム，2009.11.19
- (65) 黒川浩助：太陽光発電システム - 21世紀の選択，電気通信大学研究開発セミナー，2009.12.03
- (66) 黒川浩助：太陽エネルギーの新たな展望について，太陽エネルギー利用者集会 in 東京，明治大学アカデミーコモン，2009.12.13
- (67) 黒川浩助：太陽光発電システム - 21世紀の選択，「新エネ百選」記念セミナー in 川越，川越東武ホテル，2009.12.24

<2010年>

原著論文

- (1) 五十嵐 広宣，川崎 憲広，涌井 伸二，黒川 浩助：太陽光発電システムの単独運転特性解析用回生負荷モデルの開発，太陽エネルギー，Vol.36, No.1, pp.41-50, 2010
- (2) Masakazu Ito, Keiichi Komoto, Kosuke Kurokawa: Life Cycle Analysis of Very-Large Scale PV Systems using Six Types of PV Modules, Current Applied Physics, Volume 10, Issue 2, Supplement 1, March 2010, Pages S271-S273
- (3) Masakazu Ito, Mitsuru Kudo, Masashi Nagura, Kosuke Kurokawa: A COMPARATIVE STUDY ON LIFE-CYCLE ANALYSIS OF 20 DIFFERENT PV MODULES INSTALLED AT A HOKUTO MEGA-SOLAR PLANT Progress in Photovoltaics: Research and Application, Wiley, Article first published online: 5 JAN 2011
- (4) 小田 拓也，宮崎 隆彦，植田 謙，伊藤 雅一，川崎 憲広，柏木 孝夫：既築建物等に対する空調用電力消費量の推定手法 - 大学建物における検証 -，日本冷凍空調学会論文集，Trans. Of the JSRAE, Vol.27, No.2(2010) pp.95-102
- (5) 伊藤 雅一，川崎 憲広，小田 拓也，黒川 浩助，横山 晋也，山口 雅英，中井 康博，原 岳広，野口 浩行：再生可能エネルギーを利用した電気自動車向けインフラシステム，日本パワーエレクトロニクス学会，JIPE-36-17, Vol.36, 2011.3

国際学会

- (6) Y. Tsuno, Y. Ueda, Y. Hishikawa, M. Kudo, H. Konish, K. Kurokawa: Evaluation of Different PV Modules in HOKUTO Mega-Solar Project, 25th EUPVSEC, Feria Valencia Convention & Exhibition Centre, Valencia, Spain, 4BO.10.5, 2010.9.6-10
- (7) M. Ito, M. Kudo, M. Nagura, K. Kurokawa: A Comparative Study on Life-Cycle Analysis of 20 Different PV Modules Installed at a Hokuto Mega-Solar Plant, 25th EUPVSEC, Feria Valencia Convention & Exhibition Centre, Valencia, Spain, 4DO.10.2, 2010.9.6-10
- (8) Y. Ueda, Y. Tsuno, M. Kudo, H. Konishi, K. Kurokawa: Comparison between the I-V Measurement and the System Performance in Various Kinds of PV Technologies, 25th EUPVSEC, Feria Valencia Convention & Exhibition Centre, Valencia, Spain, 4EP.1.5, 2010.9.6-10
- (9) K. Kurokawa: Technological prospects of potovoltaic vs CSP, RENEWABLE ENERGY 2010, Yokohama, OP-8-2, 2010.6.27-7.2
- (10) H. Koinuma, H. Fujioka, Y. Yoshii, M. Sumiya, Y. Furuya, K. Kurokawa, S. Yamaguchi: Concept and key-technologies of desert solar breeder plan directed towards global energy system innovation, RENEWABLE ENERGY 2010, Yokohama, O-Pv-10-2, 2010.6.27-7.2

国内学会

- (11) 小宮山陽平，長坂研：日射予測のためのファジィ推論を用いた天候情報の数値化，第26回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス，22-4，2010.1.27

- (12) 石崎雄介, 長坂研: 6 種類の LED を搭載した新型ソーラシミュレータの開発, 第 26 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 22-5, 2010.1.27
- (13) 川崎憲広, 西岡宏二郎, 島陰豊成, 山根 宏, 角田二郎, 黒川浩助: 空間補間法を用いた日射変動平滑化効果の評価, 平成 22 年電気学会 電力・エネルギー部門大会, No.135, pp.07-33~07-34, 2010.9.1-3
- (14) 川崎憲広, 宇佐美章: 太陽光発電システムのリアルタイム発電出力の把握に向けた有効日射強度の推定, 平成 22 年度 日本太陽エネルギー学会/日本風力エネルギー協会合同研究発表会, 講演論文集, No.123, pp. 497-500, 郡山, 2010.11.4-5

著書・解説

- (15) 黒川浩助, 川崎憲広, 伊藤雅一, 植田譲, 前田征児, 山口雅英: 分散型太陽光発電地域運転特性および統合制御運用, 太陽エネルギー, Vol.36, No.1, pp.35-40, 2010.1
- (16) 黒川浩助: 太陽光発電普及ー大きな変化を期待してー, 太陽光発電協会誌「太陽光発電」, p.16-21, 2010.02
- (17) 黒川浩助: 「時報 PV+」深層を聞くー太陽光発電、2030 年 1 億 kW を目標に, 時報 PV+, 創刊準備 1 号, 2010.6.15
- (18) 黒川浩助: 「時報 PV+」に期待するー厳しい指摘と問題提起を!, 時報 PV+, 創刊号, 2010.10.1
- (19) 黒川浩助: 太陽光発電ー30 余年を経てさらに, 太陽エネルギー 200 号, Vol.36 No.6, 2010.12.06
- (20) 黒川浩助: 家庭エネルギー 100% の時代へー20 年までに効率 20% を目指すー, 燦, 12 月号, 2010.12.10

報道・表彰

- (21) 黒川浩助: 功労賞, 日本太陽エネルギー学会, 2010.5.21
- (22) 黒川浩助: 創立 30 周年記念功労者 感謝状, 財団法人 光産業技術振興協会, 2010.12.7
- (23) 東工大: サハラ砂から太陽電池材料, 日本経済新聞 (夕刊), 2010.12.16
- (24) 黒川浩助: 国際太陽エネルギー学会 理事 感謝状, 国際太陽エネルギー学会, 2010.12.31

招待講演

- (25) 黒川浩助: ~世界基幹エネルギーへ向けて~太陽光発電システムー21 世紀の選択, 再生可能エネルギー由来水素エネルギーシステム研究会 第 1 回研究会, 2010.01.13
- (26) Masakazu Ito: Case study on the Gobi desert , including Environmental aspects of VLS-PV, IEA PVPS Task8 International Symposium at Renewable Energy 2010 International 'ENERGY FROM THE DESERT' - Potential of Very Large Scale PV Systems (VLS-PV) -, 27 Jun 2010
- (27) Kosuke Kurokawa: Photovoltaics - Solution for 21st Century, World PV Future, 2010.02.02
- (28) 黒川浩助: 太陽光発電の革新的技術開発に向けた取組み, 地球温暖化対策シンポジウムシリーズ第 4 弾 世界一の太陽光発電立国を目指して, 大阪国際会議場, 2010.02.04
- (29) 黒川浩助: 地球生態系と太陽光発電の新世紀, フォーラム「緑のアジア大陸の再生を目指して」, JICA 横浜国際センターかもめ, 2010.02.13
- (30) 黒川浩助: Report from IEA PVPS Task8: Study on Very Large Scale PV Power Generation Systems, SSB Int'l Mini-Workshop, 物質・材料研究機構, 次世代太陽電池センター, 2010.03.25
- (31) 黒川浩助: 自立度向上型太陽光発電および RE-EV プロジェクト(研究成果), AES 総会, Tokyo Tech., 2010.04.
- (32) 黒川浩助: 分散型太陽光発電地域運転特性および統合制御運用日本太陽エネルギー学会, 太陽光発電部門 第 2 回講演会「太陽光発電システム系統連系」, 2010.04.16
- (33) Kosuke Kurokawa: Photovoltaics - Solution for 21st Century, Tokyo Tech PV (Trony), 2010.05.16
- (34) 黒川浩助: 太陽光発電あれこれ, シーズとニーズの会, 東京電力 電気の資料館, 2010.05.18
- (35) 黒川浩助: 太陽エネルギーの真の価値, 国会議員のための院内集会「太陽光発電・再生可能エネルギー世界の状況から見る日本の実情」, 衆議院第 2 議員会館第 4 会議室, 2010.06.02
- (36) 黒川浩助: 太陽光発電の真の価値, 日本科学技術ジャーナリスト会議 6 月例会, 日本プレスセンター 10F ホール B, 2010.06.15
- (37) 黒川浩助: True Value of Photovoltaics 再生可能エネルギーが開くアジアの未来, METI-NEDO Joint Forum, RE2010, Yokohama, 2010.06.29
- (38) 黒川浩助: 太陽光発電の真の価値, NTT ファシリティーズ「太陽光発電セミナー」, ウェスティンホテル大阪, 2010.07.14
- (39) 黒川浩助: NEDO 設立から 30 年、そして (太陽光発電システム), 新エネルギー技術開発成果報告会, 東京国際フォーラム, 2010.07.27
- (40) Kosuke Kurokawa: The Value of Solar Photovoltaics throughout 21st Century and Beyond, JST-JAICA-Tunisia Workshop on PV Technology, Tunis, 2010.8.6
- (41) 黒川浩助: 低炭素社会実現に向けての太陽光発電の考え方, 「分析展 2010」・「科学機器展 2010」合同展示会, 特別セミナー, 幕張メッセ, 2010.09.02
- (42) 黒川浩助: 太陽光発電最新動向ー自然エネルギー学校 in 京都, 京エコロジーセンター, 2010.09.25
- (43) 黒川浩助: 太陽光発電分野の最新動向, 光産業動向セミナー, インターオプト 2010, パシフィコ横浜, 2010.09.30
- (44) 黒川浩助: 太陽光発電の恵み, 新エネルギーセミナー in 秋田, 明徳館ビルカレッジプラザ, 2010.10.08
- (45) 黒川浩助: The Value of Solar Energy Technologies, 第 25 回石油学会, 青少年総合センター, 2010.10.26
- (46) 黒川浩助: 低炭素社会実現に向けての太陽光発電の考え方, 第 27 回太陽光発電システムシンポジウム, KFC ホール, 墨田区, 2010.11.18

- (47) 黒川浩助：太陽光発電 30年の大きな歩み，第30回光産業技術シンポジウム，リーガロイヤルホテル東京，2010.12.7
- (48) 黒川浩助：太陽光発電-21世紀の選択，国際粉体工業展東京2010最新情報フォーラム《クリーンエネルギー》、東京ビッグサイト東ホール，2010.12.02
- (49) Kosuke Kurokawa: Comparative Review of Technologies for "Energy from the Desert", Sahara Solar Breeder Foundation, Workshop, Hotel Barcelo Chartage Tharasso, Tunis, 2010.12.10
- (50) Kosuke Kurokawa: Study on Very Large Scale Photovoltaic Power Generation System, Japan-Arab economy forum WS, Tunis, 2010.12.13

<2011年>

原著論文

- (1) ○伊藤 雅一，川崎 憲広，小田 拓也，黒川 浩助，横山 晋也，山口 雅英，中井 康博，原 岳広，野口 浩行：再生可能エネルギーを利用した電気自動車向けインフラシステム，日本パワーエレクトロニクス学会，JIPE-36-17, Vol.36, 2011.5
- (2) ○Masakazu Ito, Mitsuru Kudo, Masashi Nagura, Kosuke Kurokawa: A Comparative Study on Life-Cycle Analysis of 20 Different PV Modules Installed at a Hokuto Mega-Solar Plant, Progress in Photovoltaics: Research and Application, Volume 19, Issue 7, pp 878-886, 2011.11
- (3) ○小田 拓也，伊藤 雅一，川崎 憲広，宮崎 隆彦，柏木 孝夫：交通センサ観測結果等を用いた乗用車のEV充電負荷曲線と充電ポテンシャルの推定，Potential Estimation of Hourly Blank Storage Space and Charge Loads of Evs using Road Traffic Census and Vehicles Status，電気学会論文誌B，Vol.131 No.12, pp 920-926, 2011.12

国際学会

- (4) Yuzuru Ueda, Kosuke Kurokawa, Mitsuru Kudo, Hiroo Konishi: Comparison between Outdoor Performances and Manufacturers' Flash Test Results of Crystalline Si PV Modules, Photovoltaic Module Reliability Workshop 2011, Golden Colorado, USA, 2011.02.16-17
- (5) M. Ito, T. Nishimura, A. Amarbayar, K. Kurokawa: Conceptual Study on Desert Region Community Development, 1st Asia-Arab Sustainable Energy Forum, Nagoya, 23-26 August 2011
- (6) ○Y. Ueda, K. Kurokawa, Y. Tsuno, M. Kudo & H. Konishi: Performance Degradation Analyses of Different Kinds of PV Technologies in Hokuto Mega Solar Project, 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference Proceedings, pp.3075-3079 (September 2011), Hamburg Germany
- (7) ○Kosuke Kurokawa: Quake, Tsunami and PV systems, PVSEC21, ヒルトン福岡シーホーク, 2011.11.28
- (8) ○Masakazu Ito, Norihiro Kawasaki, Takuya Oda, Takanori Isobe, Masahide Yamaguchi, Shinya Yokoyama, Yasuhiro Nakai, Takehiro Hara, Hiroyuki Noguchi, Kosuke Kurokawa: DEVELOPMENT OF THE ELECTRIC VEHICLE'S INFRASTRUCTURE SYSTEM FOR RENEWABLE ENERGY MAXIMIZATION AND LIFE CYCLE ASSESSMENT, PVSEC-21, Fukuoka, 2011.11.28-12.2
- (9) Norihiro Kawasaki, Akira Usami, Kojiro Nishioka, Toyonari Shimakage, Jiro Sumita, Hiroshi Yamane, Kosuke Kurokawa: A SPATIAL INTERPOLATION METHOD OF THE SOLAR IRRADIANCE FOR PREDICTION OF AREAL DISTRIBUTION OF THE IRRADIANCE, PVSEC-21, Fukuoka, 2011.11.28-12.2

国内学会

- (10) 川崎憲広，西岡宏二郎，島陰豊成，山根 宏，角田二郎：北杜市における日射変動平滑化効果の評価と空間補間法を用いた日射強度推定手法の検討，メタポリズム社会・環境システム研究会～テーマ「再生可能エネルギーの出力変動特性の評価と予測」～，MES-11-5, pp. 25-30, 東京大学，2011.1.27
- (11) 川崎，宇佐美，西岡，島陰，山根，角田，黒川：太陽光発電大量連系に向けた太陽光発電出力把握技術の開発―日射の面的分布の推定に適した空間補間法の検討―，平成23年電気学会B部門大会，福井大学，2011.8.30-9.1
- (12) ○伊藤 雅一，工藤 満，名倉 将司，黒川 浩助：北杜メガソーラのライフサイクル評価，日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会，A3-16, 稚内，2011年9月
- (13) 伊藤 雅一：自律度向上型太陽光発電システムとスマートグリッド，電気自動車(HEV/EV)充電技術★徹底解説，電子ジャーナル，東京，2011年9月
- (14) ○伊藤 雅一，河本 桂一，黒川 浩助：LCA手法による6種の太陽電池を用いた砂漠地域における大規模太陽光発電システムの環境影響評価，新エネルギー・環境/メタポリズム社会・環境システム合同研究会，北海道大学，2011年11月
- (15) 伊藤 雅一：太陽光発電システムのライフサイクル評価，太陽光発電システムの最近の技術，東京理科大，2012年2月

著書・解説

- (16) 黒川浩助：30余年を経て さらに進むその行く手，JPEA会報誌『光発電』，No.34, 2011.03.15
- (17) 黒川浩助：これからの太陽光発電技術―さまざまな研究開発とその実現可能性―，エネルギーいんぷおめいしょん10月号, Vol.35, No10, 2011.10.10
- (18) Kosuke Kurokawa: Kurokawa's Geheimnis, Photon Mai, p.30, 2011.05
- (19) 黒川浩助：太陽光発電-21世紀世界エネルギー供給に貢献-，学術の動向5月号, p.30-33, 2011.05
- (20) 黒川浩助：エネルギーの新潮流，2011.05

- (21) 黒川浩助：広域電力連系と分散型電源のベストミックスが基本, 時報PV+, 第14号, p.5-6, 2011.05
- (22) Kosuke Kurokawa: Just like Starting over, Photon International July 2011, p.40-47, 2011.07
- (23) ○Kosuke Kurokawa: Kurokawa's secret, Photon USA July 2011, p.20-29, 2011.07
- (24) Masakazu Ito: Life Cycle Assessment of PV systems, Crystalline Silicon - Properties and Uses, Sukumar Basu (Ed.), Intech, 978-953-307-587-7, 2011

報道

- (25) 黒川浩助：砂漠の砂からシリコン 欧州大陸に売電も可能, 東工大 AES センター連続インタビュー, 分散型エネルギー新聞 第298号, 2011.02.25
- (26) ○黒川浩助：ドービル・サミット識者に聞く① 「再生」強化 共通項に, 毎日新聞 5/25 総合 4面, 2011.05.25
- (27) ○黒川浩助：技術革新でコスト削減, 毎日新聞 7/15(朝) 識者に聞く どうするエネルギー④, 2011.07.15

招待講演

- (28) 黒川浩助：スーパーメガソーラーの持続的開発シナリオ, 「高温超伝導技術を中心とするスマートグリッドの可能性」研究会, 第3回 高温超伝導グリッドシステムの技術の波及効果, ウィンクあいち, 2011.02.21
- (29) 黒川浩助：太陽光発電技術の現状と今後の展開, シンポジウム「スマートコミュニティで目指すエコアイランド宮古島」, パネルディスカッション, ホテルアトールエメラルド宮古島 漲水の間, 2011.02.28
- (30) 黒川浩助：21世紀の太陽光発電—希望と責務, 日本化学会 第91春季年会(2011), アドバンスト・テクノロジー・プログラム (A T P), 神奈川大学 横浜キャンパス, 2011.03.29
- (31) 黒川浩助：太陽光発電システムの現状と課題そして未来, 第100回ひびきのサロン, 2011.04.19
- (32) 黒川浩助：太陽光発電 - 今、この時に, AES 研究推進委員会, 2011.04.27
- (33) 黒川浩助：太陽光発電 - 今、この時に, 地産地消の太陽エネルギーを基にしたエネルギーシフトの実現〜大震災を乗り越え、今、わたしたちにできること〜, PV-NET, 明治大学リパティータワー113 教室, 2011.04.28
- (34) 黒川浩助：21世紀を担う太陽光発電, 東工大オムニバス, 2011.05.19
- (35) 黒川浩助：Emergency Report Quake on 311/2011, PVTEC 緊急パネル、ホテルメトロポリタンエドモント, 2011.05.20
- (36) 黒川浩助：明日のコミュニティ・インフラ そして今できること, 第17回日本設計環境セミナー, 2011.05.23
- (37) 黒川浩助：震災と太陽光発電・・・これからのこと・・・, 130周年レクチャー, 2011.06.04
- (38) 黒川浩助：これからの太陽光発電技術・・・システム分野を中心として, 学振175 第1回信頼性・システム技術研究会、東工大蔵前会館, 2011.06.06
- (39) 黒川浩助：明日の太陽光発電・・・そして今できること, 東日本大震災, 連続まちづくり懇話会, 社団法人都市計画学会, N S R I ホール, 2011.06.13
- (40) 黒川浩助：第22回AES研究推進委員会, 2011.06.28
- (41) 黒川浩助：太陽エネルギー利用の可能性について, 「エネルギー問題研究班」勉強会, 日本経済新聞社本社, 2011.07.06
- (42) ○黒川浩助：これからの太陽光発電システムを考える, 経済同友会講演会, 日本工業倶楽部, 2011.07.07
- (43) 黒川浩助：防災復興へ向けた再生可能エネルギーアプローチ (補足), P V - N E T 通常総会、明治大学, 2011.07.30
- (44) 黒川浩助：これからの太陽光発電技術, エネルギーを考える会勉強会、日本記者クラブ賞会議室、プレスセンター9F, 2011.08.15
- (45) 黒川浩助：第1回アジア・アラブ サステナブルエネルギーフォーラム (AASEF), ウィンクあいち, 2011.08.24
- (46) Kosuke Kurokawa: Case of Solar Photovoltaics: Small Scale to Large Scale, IN-JP Global Partnership Summit 2011, The Inevitability of a Low Carbon Economy: What can India and Japan Bring to Each Other, The Prince Park Tower Tokyo, 2011.09.07
- (47) ○黒川浩助：21世紀の太陽光発電技術, 内閣府主催パネルディスカッション、東京国際フォーラム, 2011.09.22
- (48) Kosuke Kurokawa: Solar Breeder Scenario Drive by Energy from the Desert, Global Photovoltaic conference, Grand Hotel, Busan, 2011.09.29
- (49) Kosuke Kurokawa: Quake, Tsunami and PVs, The 6th Korea-China-Japan Int'l Symposium on PV, Grand Hotel, Busan, 2011.09.29
- (50) 黒川浩助：期待が高まる再生可能エネルギー -太陽光発電を中心として-, グリーンイノベーション技術習得講座、西武信用金庫八王子支店, 2011.10.24
- (51) 黒川浩助：これからの太陽光発電技術, 太陽光発電システムの先端と事業化の実際、新社会システム総合研究所セミナー、明治記念館, 2011.10.25
- (52) Kosuke Kurokawa: Real meaning and Possibilities of Solar Photovoltaic Technology for the 21st Century, Grobal Energy Innovator Forum 2011, Jeju, Korea, 2011.11.14
- (53) Kosuke Kurokawa: Quake, Nuke and PV on new wave in Japan, 1st Asia Pasific Forum, Grand Hotel, Busan, Korea, 2011.11.16-19
- (54) Kosuke Kurokawa: New International Activities Relating to Standardization in PV technologies, 1st Asia Pasific Forum, Grand Hotel, Busan, Korea, 2011.11.16-19
- (55) 黒川浩助：21世紀の太陽光発電技術, Forum in 関西、ウェスティンホテル大阪, 2011.11.25
- (56) 黒川浩助：Meaning of Innovative Paths for the Future Photovoltaics, Workshop on CPV, ホテルメリージェ、宮崎, 2011.12.01
- (57) 黒川浩助：「太陽光発電システムあちらこちら」、第24回AES研究推進委員会, 2011.12.08

- (58) 黒川浩助: 21世紀の世界のエネルギー戦略, シンポジウム『立命館が考える2020年のエネルギー地産地消』、立命館大学びわこ草津キャンパス、ローム記念館5階大会議室, 2011.12.14
- (59) Kosuke Kurokawa: Exploiting All of the Possibilities of PV Power Generation, From Post-Disaster Reconstruction to the Creation of Resilient Societies, 慶応大学三田キャンパス, 2011.12.16-17

<2012年>

著書・解説

- (1) ○伊藤 雅一: 太陽光発電システムのライフサイクル評価, 太陽エネルギー, 日本太陽エネルギー学会, Vol.38, No.1, pp33-39, 2012.1

招待講演

- (2) 黒川浩助: 「太陽エネルギーの価値を考える」-21世紀のエネルギー選択への提言-, PV-NETフォーラム、横浜開港記念館, 2012.01.21
- (3) Kosuke Kurokawa: Energy from the desert Extended to SSB Scenario, Pr. Kurokawa the meeting with the African Diplomatic Corps' Science and Technology Committee, チュニジア大使館, 2012.01.30
- (4) 黒川浩助: 21世紀の太陽光発電技術, 第341回サロン・ド・エナ, 2012.02.15
- (5) 黒川浩助: 21世紀の太陽光発電技術, 市町村アカデミー公開講座, 2012.02.17
- (6) 黒川浩助: これからの太陽光発電技術, 太陽光発電関連産業育成セミナー, 白兔会館・飛翔の間, 2012.03.08
- (7) 黒川浩助: 太陽光発電の戦略的アプローチ - 地球規模エネルギーへ-, 日本科学会第92回春季年会, 2012.03.24

○: 主要論文別刷りに掲載

○印のついていない論文も黒川研究室ホームページの「黒川研データベース」からダウンロードできます。

URL: <http://www.kurochans.net/database/index.htm>

東京工業大学 ソリューション研究機構
先進エネルギー国際研究センター

黒川浩助 研究室

主要論文別刷り[2011年～2012年]

※ 本論文集の取り扱いに関する注意

本論文集は研究目的かつ個人的な利用を目的として収録しています。掲載されている論文の著作権は各学会にあります。複写、転載等は各学会の著作権規定に従ってください。上記目的以外の使用において生じた損害についての責任は利用者本人にあります。

(IEEE 関連の論文に対する注意)

Personal use of this material is permitted. However, permission to reprint/republish this material for advertising or promotional purposes or for creating new collective works for resale or redistribution to servers or lists or to reuse any copyrighted component of this work in other works must be obtained from the IEEE.

原著論文

[2011 年～2012 年]

再生可能エネルギーを利用した電気自動車向けインフラシステム

伊藤 雅一^{*}, 川崎 憲広^{*}, 小田 拓也^{*}, 黒川 浩助^{*},
横山 晋也^{**}, 山口 雅英^{**}, 中井 康博^{***}, 原 岳広^{***}, 野口 浩行^{****}

Development of the Electric Vehicle's Infrastructure System for Renewable Energy Maximization

Masakazu Ito^{*}, Norihiro Kawasaki^{*}, Takuya Oda^{*}, Kosuke Kurokawa^{*}
Shinya Yokoyama^{**}, Masahide Yamaguchi^{**}, Yasuhiro Nakai^{***}, Takehiro Hara^{***}, Hiroyuki Noguchi^{****}

Abstract - The Electric Vehicle (EV) is clean and environmental friendly vehicle. However, its power source, electricity still contains fossils. To reduce the fossil utilization, the authors established the Renewable Energy for Electric Vehicle (RE-EV) project. In this paper, two research topics are studied. One is a study of actual operation data to obtain the potential of the EV with PV electricity. An EV (i-MiEV) manufactured by Mitsubishi Motors Corporation was operated for 1 year. In this project, a charging station consisting of a 2.6 kW Photovoltaic power generation (PV) system with a 9 kWh battery system and measuring equipment was installed in Ookayama campus in Tokyo Institute of Technology. This system maximizes the PV electricity and minimizes grid electricity while charging the EV. Second is a statistical study to estimate CO₂ emissions for various kinds of driving patterns. In this paper, 6 driving patterns from statistical data and 1 actual data were studied by Life-Cycle Assessment (LCA) approach to estimate CO₂ emissions. As a result, 80% of charging electricity is from PV from actual operation data. Regarding the LCA, CO₂ emissions of EV with PV electricity are same with utility electricity at short distance driving pattern and much better at long distance driving patterns, even when the system uses lead acid battery. And CO₂ emissions of all EV driving patterns are smaller than those of a gasoline vehicle.

キーワード : 電気自動車, 再生可能エネルギー, 太陽光発電システム, バッテリー, CO₂

Keywords : Electric Vehicle, Renewable Energy, Photovoltaic system, Battery, CO₂

1. はじめに

地球温暖化対策, エネルギー資源制約から電気自動車の普及が進められている。電気自動車は走行時に CO₂などを排出しないクリーンな乗り物であり, 持続可能な社会の実現には不可欠な運輸部門の排出量を大幅に減らす可能性を持っている。しかしながら, 実際には石炭やガス, 石油を使って発電される電力が含まれているため, 完全に CO₂フ

リーとは言えない。

本研究は, 三菱商事(株), (株)GSユアサ, (株)トステム住宅研究所と共同で, 太陽光や風力などの再生可能エネルギーを有効に活用した環境負荷の少ない電気自動車の充電システムの実証試験 (RE-EV プロジェクト) を行っている。この実証試験は, 太陽光を電源とするシステムで系統からの電力をなるべく使わずに, どこまで CO₂の排出を減らして電気自動車を走行させることが可能かを実証しようとするものである。



図1 実験用試験車 (i-MiEV)

Fig. 1. Test car for the experiment (i-MiEV)

^{*} 東京工業大学 ソリューション研究機構
〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1
Solutions Research Organization, Tokyo Institute of Technology
2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8550
^{**} 株式会社 GS ユアサ 電源システム生産本部
〒601-8520 京都市南区吉祥院西ノ庄猪之馬場町 1
Power Supply System Production Division, GS Yuasa International Ltd.
1, Inobanba-cho, Nishinosho, Kisshoin, Minami-ku, Kyoto 601-8520
^{***} 三菱商事株式会社 地球環境事業開発部門
〒100-8686 東京都千代田区丸の内 2-3-1
Global Environment Business Development Group, Mitsubishi Corporation
2-3-1 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo, 100-8686
^{****} 株式会社トステム住宅研究所 アイフルホームカンパニー
〒136-0071 東京都江東区亀戸 1-5-7 日鐵 ND タワー 4 階
Eyeful Home Company, Tostem Housing Research Corporation
Nittetu ND tower 4F, 1-5-7 Kameido, Koto-ku, Tokyo, 136-0071

2. 背景

CO₂排出量の増加は地球温暖化を進め、生態系を変え、台風・疫病の増加をもたらすと言われている[1]。これを緩和するためのシナリオは様々な機関から発表されているが、WBGUによるシナリオ[2]は興味深い。持続可能な社会にするためのシナリオが描かれており、2100年には世界のエネルギー需要の3分の2は太陽光・熱によって供給され、これは現在の世界のエネルギー需要の2倍以上である。

しかし、そのエネルギーミックスを現在の電力システムに入れることは難しい。図2は日本の真夏の電力負荷[3]を示している。日中の電力負荷を太陽光発電によって供給するとした場合、100GWまでであれば供給の可能性はあるが、

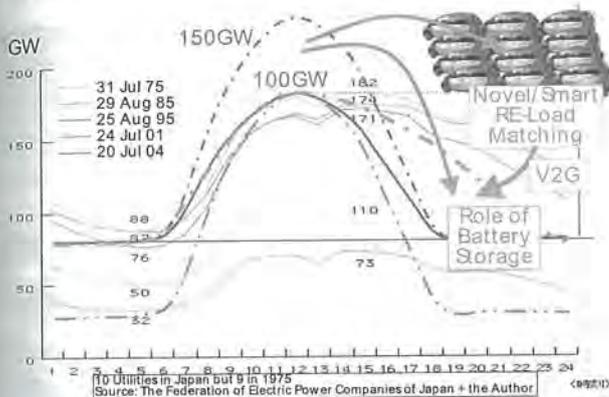


図2 日本の電力負荷と太陽光発電システムの出力
Fig. 2. Japan's electricity load and PV output

150GWとなると原子力発電などのベース電源の供給量を減らす必要があり、二酸化炭素削減の観点から見るとこれは望ましくない。一方、日本の自動車保有台数は5800万台あり[4]、仮に全てが電気自動車として3kWの出力があるとする、単純に計算して174百万kWとなり、これは日本の設備能力が276百万kW、うち水力発電が47百万kW[5]であることを考えると莫大なポテンシャルがあることがわかる。これを図2のように時間をシフトできれば再生可能エネルギーの導入可能量を大幅に増やすことができる。本研究ではその可能性を実際の電気自動車を用いて調査する。

3. 二酸化炭素排出量の推定

本実証研究によるCO₂排出量を算出する前に、統計データによる排出量の推定を試みた。電力会社の電気による充電を、太陽光発電システムに置き換えることによる違いを推定することから、今回は走行時のライフサイクル評価を原料製造から廃棄まで実施した。また、参考としてi-MiEVと同型のガソリン自動車のアイ（グレードS：燃費19.2km[6]）についても算出した。i-MiEVの電費はカタログ値（10 km/kWh）を利用した。算出に当たり、自動車の利用方法は様々であるから、いくつかの利用パターンに分けなくてはならない。これは、日本自動車工業会が発行している調査報告書[7,8]を利用し、走行パターンとした。

2007年度日本自動車工業会資料によれば、主使用用途は、仕事・商用：15%、通勤・通学：33%、レジャー：14%、買い物・用足し：37%であり、月間走行距離は平均430kmで

表1 走行パターンとシステム構成

Table 1 Driving patterns and system configuration

| 走行パターン | 走行距離 | 週あたり 利用日数 | 年間走行 距離 | 充電可能時刻 | 平日 | | 休日 | |
|---|------|--------------|------------|------------------|----------|----------|----|-------------|
| | | | | | 日中 | 夜間 | 日中 | 夜間 |
| パターン1：短距離A (A-1, A-4) 1日10~15km程度 通勤・通学・田畑への往復。太陽電池は自宅。 | 12.5 | 5 | 3,250 | 平日：夜間 休日：全日 | × | バッテリから充電 | ○ | ○ |
| パターン2：短距離B (A-2) 1日10~15km程度 買い物・用足し。太陽電池は自宅 | 8.4 | 6.6 | 2,883 | 全日 (買い物時除く) | 太陽電池から充電 | ○ | ○ | ○ |
| パターン3：短距離C (B-1) 1日10~15km程度 通勤・通学、太陽電池は会社または学校 | 12.5 | 5 | 3,250 | 平日：日中 休日：全日 | 太陽電池から充電 | ○ | ○ | ○ |
| パターン4：中距離 (B-3) 1日30km程度 営業車、太陽電池は会社に設置 | 40 | 5 | 10,400 | 平日：朝・夜間 休日：全日 | × | バッテリから充電 | ○ | ○ |
| パターン5：中長距離 (B-2, B-4) 1日70km程度 配達・連絡便、太陽電池は会社に設置 | 70 | 5 | 18,200 | 平日：朝・夜間 休日：全日 | × | バッテリから充電 | ○ | ○ |
| パターン6：長距離 (A-3) 1日200km程度 レジャー、太陽電池は自宅に設置 | 200 | 1 | 10,400 | 平日：全日 休日：なし | ○ | ○ | △ | バッテリ+系統から充電 |

○印：利用可能だが、ここでは充電しない

あった。また、一週間あたり稼働日数は5.0日であった。これを元に週あたりの利用日数・走行距離を決め、通勤・通学では太陽光発電システムが自宅のケースと勤務場所の2つのパターンを想定し、仕事・商用では2つの距離を想定した。合計6つのパターンを表1に示す。二酸化炭素排出原単位について、太陽光発電システムのデータはNEDO技術開発機構による報告書[9]より58.6 g-CO₂/kWhとした。外付けバッテリーなどの機器はLCAデータベース[10]を利用し、ソフトウェア(JEMAI-LCA[11])を用いて計算した。バッテリーは基礎やキャビネットを含めて1.27 t-CO₂、系統電力は446 g-CO₂/kWh[12]とした。また、外付けバッテリー(鉛バッテリー)の充放電効率は0.8とし、外付けバッテリーから電気自動車に充電する場合は充放電効率を考慮した。長距離利用では全ての充電量の半分を急速充電器から充電すると想定し、半分を太陽光発電システムから、半分を系統からとした。

結果、図3に示すようにパターン1~3の短距離利用では、年間の走行距離が3000 km程度と短いにもかかわらず系統電力のCO₂排出量と外付けバッテリーを加えた太陽光発電システムのCO₂排出量は同程度と算出された。パターン4, 5の中距離(10,000~18,000 km)では、系統電力と比較して半分以下のCO₂排出量となるなど太陽光発電のメリットが大きく表れ、パターン6の自宅の太陽光発電を十分に利用できないレジャー利用でも、太陽光発電を利用した方がCO₂排出量が少ないという結果となった。

また、どのパターンでもガソリン車との比較では3~9分の1となり、電気自動車は低炭素社会の実現に有用であると言える。

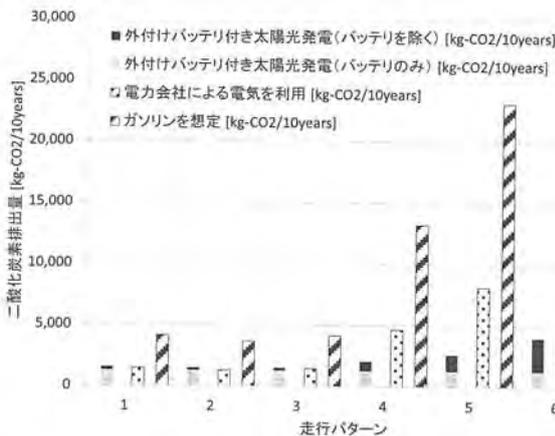


図3 電気自動車の走行時(自動車本体は含まない)のLCA評価結果。大型の鉛バッテリーを使用したとしてもメリットがある。

Fig. 3 CO₂ emissions of driving stage of the electric vehicle. The results does not include car itself. The result of EV is better than others, even when the EV uses additional battery.

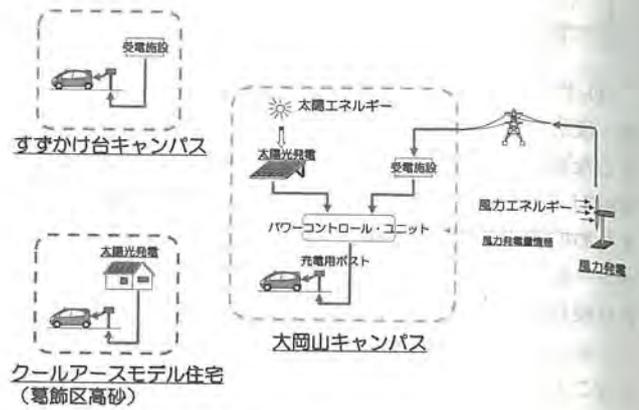


図4 実証試験システムの概要図
Fig. 4 Overview of the experiment



図5 東工大大岡山キャンパスに設置された2.59 kW 実証試験用太陽光発電システム

Fig. 5 2.59 kW Photovoltaic Power Generation System installed in Ookayama Campus of Tokyo Institute of Technology



図6 パワーコンディショナと計測機器が設置されたキュービクル(右)と8.96 kWhの鉛蓄電池(左)

Fig. 6 The cubicle for power conditioner and measuring equipment (right) and 8.96 kWh lead acid battery (left)

その他、電気自動車のCO₂排出量の評価は工藤ら[13]、中野ら[14]が行っている。工藤らの評価ではモータ、二次電池などを模擬可能な自動車走行シミュレーションモデルで算出し、走行時のCO₂排出量は平均旅行速度に応じておおよそ50~100 g-CO₂/kmと算出した。本研究のi-MiEVをカタログ値で計算した場合には約45 g-CO₂/kmとなるが、ここでは1500ccクラスの乗用車である。また、中野らはELICAのLCAを行い、走行時のタイヤなども含めた評価を実施し、40~100 g-CO₂/kmと算出している。

4. 実証試験用システムの概要

第3章では電気自動車の走行時の二酸化炭素排出量をシミュレーションでパターン分析したが、ここでは実際に走行したデータを用いて分析する。

本プロジェクトにおいて実証実験したシステムの概要を図4に示す。本システムは東京工業大学大岡山キャンパス内に設置された充電ステーションを中心に構成され、電気自動車を使用して同大学すずかけ台キャンパスとの連絡便への利用、および葛飾区のコンセプト住宅[15]を往来することを目的としている。充電ステーションには図5に示す太陽電池と、図6に示す蓄電池、パワーコンディショナ等が

設置されており、太陽電池で発電した電力をそのまま、あるいは一旦蓄電池に蓄えて電気自動車の充電に使用する。パワーコンディショナはGSユアサ製パワーソーラーシステム[16]をベースに製作した。

風力発電のシステムについては、風力発電の発電電力と同じパターンで電気自動車を充電することにより出力の変動を吸収する。これにより電力系統の負荷を軽減できる。

5. 充電ステーションの構成と動作

充電ステーションは、2.59 kWの太陽電池と4.5 kWのパワーコンディショナ、8.96 kWhの鉛蓄電池、受電電力検出ユニットおよび計測システムにて構成されている。本システムでは、電気自動車の充電をできるかぎり、太陽光発電で賄うことをコンセプトとしている。充電方法について、図7を用いて説明する。

(1) EV充電モード（太陽電池のみ）

日中、太陽光の発電が行なわれている状況で、電気自動車がステーションにあれば直接、電気自動車に充電が行われる。電気自動車が満充電になると外付けバッテリーに充電を行い、それも満充電になると系統へ逆潮流を行う。

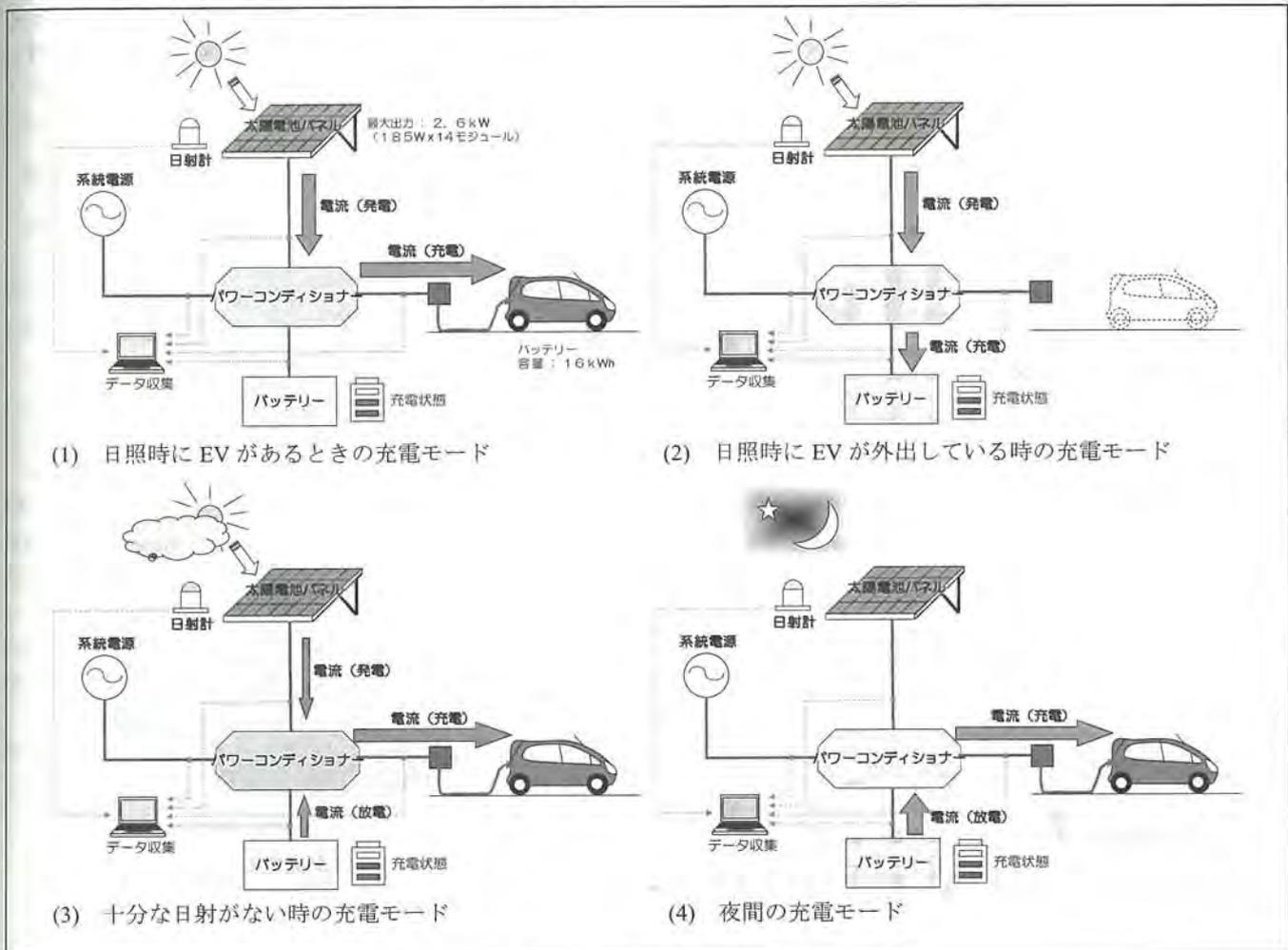


図7 電気自動車への充電モード

Fig. 7 The charging modes of Electric Vehicle

(2) 蓄電池充電モード

太陽光発電時に電気自動車がない場合は、太陽電池から充電ステーション内の蓄電池を充電する。満充電になると系統へ逆潮流する。

(3) EV 充電モード (太陽電池+バッテリー)

太陽電池の発電電力にて電気自動車を充電するが、発電電力が不足している場合は、不足分を充電ステーションの蓄電池にて賄う。

(4) 夜間充電モード

夜間、全く太陽電池による発電が行なわれない場合には、充電ステーションの蓄電池にて充電が行われる。充電ステーションの電力が不足している場合には、系統からの電力を追加して賄う。

6. 走行実績

本研究で用いた電気自動車は2008年10月から2010年2月までに約8000km走行した。うち、2009年3月から2010年2月までの1年間のデータをまとめた。主な利用用途は、2009年4月から2009年1月までの東工大内の学内便としての大岡山キャンパスとすずかけ台キャンパスの往復50km(週4日)であり、2月は学内便以外で運用を行って走行距離を確保した。他に見学の対応やデータ取得のための走行なども含まれる。

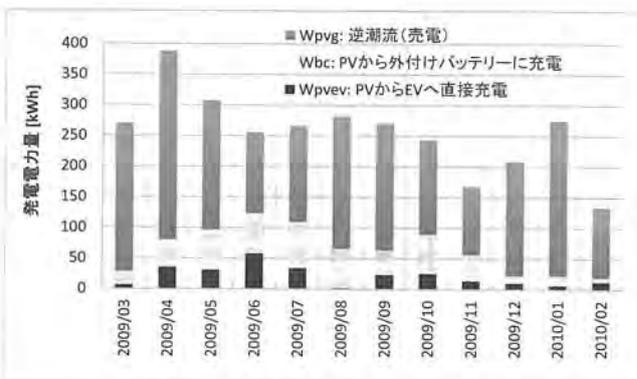


図8 太陽光発電システムが発電した電力の使われ方
Fig. 8 How power generated by PV is used

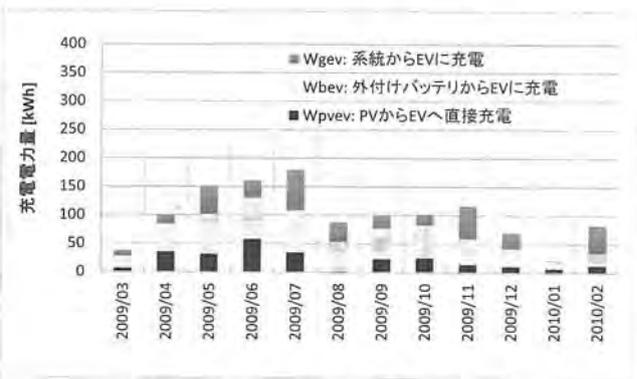


図9 電気自動車が充電する電力の電源
Fig. 9 Source of power that charges EV

図8・図9は実測データにおける太陽光電力の使われ方と電気自動車に充電された電力の由来を示している。ただし、11月、2月など設備の変更や関連する別の実験のため除外している期間がある。

学内便として利用されたのが4月からであるので4月から電気自動車への充電量が増えている。年末からは配達する荷物の量が増えたためi-MiEVに乗り切らず、別の自動車を使用したためi-MiEVの利用量が減った。これは年度末まで続くと見られたため2月は学内便への利用を取りやめ、その他の方法で走行距離を伸ばした。学内便は、朝に大岡山キャンパスを出発してすずかけキャンパスで荷物の積み卸しを行い、昼頃に大岡山キャンパスへ戻る。よって日中の午後に電気自動車へ充電することができ、太陽光発電システムから直接の充電が可能であった。しかし、その他の利用を行った2月は日中に利用し、夕方または夜から充電することが多いため、バッテリーからの充電と系統からの充電が増えた。

本研究で設置された太陽光発電システムは2.6kWと住宅へ設置される平均的な容量(3~4kW)より小さいが、それぞれの月で5~9割は系統へ逆潮流されている。また、電気自動車が充電する電力を見てみると、系統から充電される電力は1~4割であり、充電システムを活用できていると考えられる。これを1年分まとめた物を図10、図11に示す。

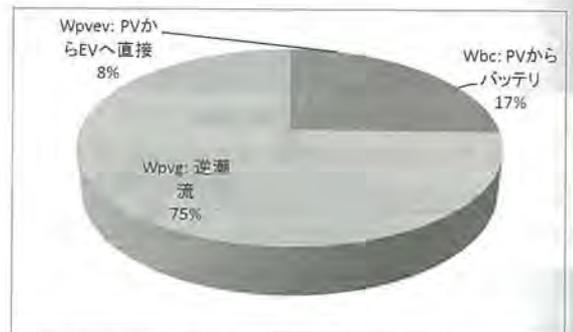


図10 太陽光発電で発電した電力の利用割合
Fig. 10 Percentage of the PV electricity usage

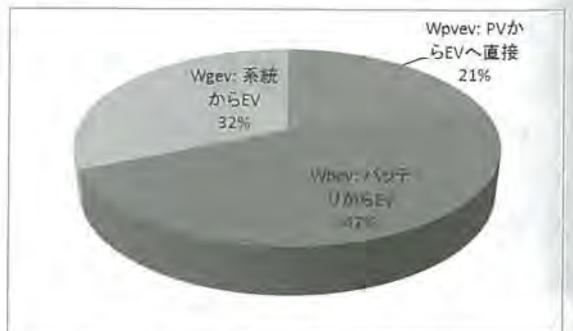


図11 電気自動車が充電した電力の割合
Fig. 11 Percentage of electricity charged to the EV

文 献

- [1] 気候変動枠組条約 (IPCC) 第4次報告書, 2007年
- [2] World in Transition "Towards Sustainable Energy Systems" German Advisory Council on Global Change (WBGU), 2003年
- [3] 「原子力・エネルギー」図面集 2010年版, 電気事業連合会
- [4] 日本自動車工業会ホームページ, 2010年10月閲覧
http://www.jama.or.jp/industry/four_wheeled/four_wheeled_3g1.html
- [5] EDMC/エネルギー・経済統計要覧, 2008年
- [6] 三菱自動車工業 3SXPA2A08D カタログ pp17, 2008年12月版
- [7] 2007年度乗用車市場動向調査 (2008年3月, 社団法人日本自動車工業会)
- [8] 2007年度の軽自動車の使用実態調査報告書 (2008年3月, 社団法人日本自動車工業会)
- [9] 新エネルギー技術開発 太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 太陽光発電のライフサイクル評価に関する調査研究 平成19年度分中間年報, p.79, 2008年3月, NEDO 技術開発機構
- [10] JLCA-LCA データベース 2009年度1版
- [11] JEMAI-LCA Pro ver.2.1.2による計算
- [12] JEMAI-LCA Pro ver.2.1.2 電力データ, 国内10電力会社平均値
- [13] 工藤祐輝, 南斉規介, 近藤実則, 田原聖隆, 実使用を考慮した FCEV, BEV, GV のライフサイクル CO2 排出量, EVS フォーラム 2008, 2008年2月5-7日
- [14] 中野諭, 平湯直子, 鈴木将之, 電気自動車 ELIICA の LCA, KEO Discussion Paper 2008; No.112
- [15] コンセプトホーム, クールアースモデル住宅, アイフルホーム
<http://www.eyefulhome.jp/homebuild/concepthome/> (2010年12月閲覧)
- [16] 横山晋也, 清水雄一, 佐井真也, 詫間隆史, 山城裕史, 上田芳久, 山口雅英, 蓄電池併用型太陽光発電システム「パワーソーラーシステム」の開発, GS News Technical Report, 第62巻第1号, 2003年

図10は太陽光発電システムで発電した電力の利用割合を示している。この図から、発電した電力の75%は逆流を行い、残りの25%が電気自動車に充電されていることが分かる。また、そのうち8%が太陽光発電システムから電気自動車に直接充電されているが、17%は外付けのバッテリーを通して充電されており、かなりの割合が外付けバッテリーを経由していることが分かる。

図11は電気自動車に充電された電力の由来の割合を示している。21%は太陽光発電システムから電気自動車に直接充電されている。また、47%と約半分は外付けバッテリーから電気自動車へ充電されている。

7. 実測値による走行時のCO₂排出量の計算

本実証試験で得られたデータを用い、3章と同様に二酸化炭素排出量を算出した。図11の電気自動車が充電した電力の割合から、平均の二酸化炭素排出原単位は189 g-CO₂/kWhであった。これを用いて評価すると、10年間での走行時の二酸化炭素排出量は3.6 t-CO₂となった。年間走行距離は約7000 kmであるので、パターン4に近いが二酸化炭素排出量が多い結果となった。これは、単純な学内便による往復の他、実験などにより自動車の電力の消費量が増え、電力会社からの充電量が増えたためと考えられる。また、電力会社から直接充電すると5.4 t-CO₂、ガソリン車では9.0 t-CO₂となり、本実証試験においてもメリットが得られることが分かった。

8. まとめ

本研究では太陽光発電システムを用いたインフラシステムのコンセプトを作成し、実際に設備を構築し、大学総務部と協力して走行データの収集を行い、その実際のデータを用いて評価を行った。

パターン分析による評価では、電気自動車へ充電する電力を太陽光発電に置き換えることにより、CO₂排出量を減らすことができると定量的に示すことができた。

単純計算で1 kWの太陽光発電システムを設置すれば1000 kWhの電力が得られるので、i-MiEVには十分な電力を発電できる。しかし、実際の自動車利用パターンは様々であるから、統計の利用パターンだけでなく実際の走行も行って分析評価を行い、二酸化炭素を削減できると、どの程度電気自動車が太陽光発電による電力で走行しているかを明らかにした。

また、電気自動車を持っている蓄電池は大容量であり、今後必要とされるスマートグリッドに不可欠である。これに関する研究も進めていきたい。

最後に、関係者各位に感謝の意を表す。

(2010年10月29日発表)

伊藤 雅一 1978年12月1日生。2003年3月東京農工大学大学院工学研究科修士課程修了。2006年3月同博士後期課程修了。在学中日本学術振興会特別研究員DC1。同年4月東京工業大学統合研究院特任助教、現在に至る。博士(工学)。太陽光発電システム研究、メガソーラー研究、ライフサイクル評価研究に従事。日本太陽エネルギー学会、電気学会、LCA学会など会員。



川崎 憲広 1981年生。2005年3月、東京農工大学大学院工学教育部博士前期課程修了。同年4月東京農工大学大学院工学府博士後期課程入学。2009年3月卒業。同年4月、東京工業大学統合研究院 研究員、2010年4月、電力中央研究所材料科学研究所 特別契約研究員、現在に至る。主に太陽光発電システムの研究に従事。博士(工学)。日本太陽エネルギー学会、電気学会会員。



小田 拓也 1972年生。1997年3月九州大学大学院総合理工学研究科修士課程修了。同年4月日立造船(株)に入社。2004年9月東京農工大学大学院生物システム応用科学研究所博士課程修了。2007年4月東京工業大学統合研究院特任准教授、現在に至る。博士(工学)。主としてエネルギーシステムの評価に関する研究に従事。



黒川 浩 助



1965年3月早稲田大学第一理工学部電気工学科卒業。同年4月通商産業省工業技術院電気試験所入所後、高電圧直流送電の研究に従事。1974年よりサンシャイン計画などで太陽エネルギー・太陽光発電の研究。1996年5月東京農工大学教授に転任。2008年4月より東京工業大学統合研究院特任教授および東京農工大学特任教授。早稲田大学工学博士。東京農工大学名誉教授。再生可能エネルギー協議会代表、国際太陽エネルギー学会理事。IEEEなど会員。

横山 晋也



1974年生。1998年3月熊本工業大学大学院電気電子工学科修士課程修了。同4月、日本電池(株)入社。主として太陽光発電用パワーコンディショナの研究開発に従事。(株)GSユアサ 産業電池電源事業部 電源システム生産本部 開発部 研究開発グループリーダー。

山口 雅 英



1983年3月、立命館大学理工学部電気工学科卒業。同年4月、日本電池(株)入社。2003年3月、徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻博士課程修了。主として無停電電源装置、通信用電源装置、太陽光発電用パワーコンディショナ等の研究開発に従事。(株)GSユアサ 産業電池電源事業部 電源システム生産本部 開発部部長。博士(工学)。日本太陽エネルギー学会、電気学会、パワーエレクトロニクス学会会員。

中井 康 博



1960年1月1日生まれ。1983年3月、東京工業大学工学部土木工学科卒業。同年4月に清水建設(株)入社。2007年4月、三菱商事(株)入社。地球環境事業開発部門 CEO オフィス R&Dユニット 産学官連携チームリーダー、次長。専門分野は土木工学(海洋分野)。現在は主に蓄電複合システム化技術開発の研究に従事。東京工業大学統合研究院特任准教授。

原 岳 広



1970年8月21日生まれ。1996年3月立教大学大学院理学研究科原子物理学専攻博士課程前期課程修了、2005年ボストン大学 International Marketing Diploma、Project Management Diploma取得。1997年通商産業省産業政策局入省。家電リサイクル法、ナノテクノロジー関連に従事。2007年10月三菱商事(株)入社。現在は蓄電複合システム化技術開発、の有機太陽電池の実用化研究、新海洋資源(海底熱水鉱床、メタンハイドレート)の研究開発に従事。

野 口 浩 行



1968年生まれ。1993年3月芝浦工業大学大学院修了。1996年アイフルホームテクノロジー(現 トステム住宅研究所)入社。開発部、購買部などを経て2008年4月より開発部グループリーダー及びキッズデザイン研究所首席技術研究員。

【質 疑】

シャープ(株)・江口氏

【質問1】 表1の走行パターンにおいて、休日の日中にPVから直接充電を行わないのはなぜか。

【回答1】 ここではパターンをシンプルに作成して計算したため、平日に利用した電気は平日のうちに充電が完了する。実際には電気自動車の利用方法は様々であるから、休日の日中も充電すると考えられる。

【質問2】 LCAの評価の単位はkg-CO₂/10yearとなっているが、鉛バッテリーの寿命は10年あるという前提か。

【回答2】 鉛バッテリーの寿命は10年と想定した。実際に蓄電池付防災型太陽光発電システムとして販売されており、この蓄電池の寿命も10年である。

【質問3】 試験期間中に、日中でも系統から充電しなくてはならない場合もありましたか？

【回答3】 雨が続いた場合など、外付けバッテリーに十分に充電されていない時は日中でも系統から電気自動車に充電した。

【質問4】 PV大量導入時の余剰電力の対策としてEVのバッテリーは、どの程度効果があると考えられますか？

【回答4】 乗用車がすべてEVに変わったとすれば現在の水力発電に匹敵する相当な出力となり、かなりの効果が期待できる。ただし、全ての出力・量が使えるわけではないため、ここは今後議論が必要である。

大阪電気通信大学・伊与田氏

【質問1】 i-MiEVのモニター結果のエネルギー使用内訳について特筆すべき点は何か。

【回答1】 詳細検討はこれからだが、暖房・冷房負荷が大きく、冬場の暖房にはかなり電気を使うようである。

【質問2】 A/Cとは何か。

【回答2】 エアコンのことを示している。

大阪工業大学・森實氏

【質問1】 今回の結果では逆潮流される電力が大きい。この場合、太陽光発電システムの容量過多と感じられる。それぞれの家庭に入れる太陽光発電システムの容量最適化、地域での導入最適化などについてコメントを頂きたい。

【回答1】 現在はその研究も進めている。何に対して最適化したらよいか、どういった条件があるのか、検討を進めている。

PAPER PRESENTED AT 25TH EU PVSEC WCPEC-5, VALENCIA, SPAIN, 2010

A comparative study on life cycle analysis of 20 different PV modules installed at the Hokuto mega-solar plant

Masakazu Ito^{1*}, Mitsuru Kudo², Masashi Nagura² and Kosuke Kurokawa¹

¹ International Research Center of Advanced Energy Systems for Sustainability, Solutions Research Laboratory, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8550, Japan

² NTT Facilities, Inc., Grandparktower, 3-4-1 Shibaura, Minato-ku, Tokyo 108-0023, Japan

ABSTRACT

The purpose of this study was to identify a suitable type of mega-solar system from an environmental viewpoint. The authors evaluated six types of 20 different PV modules by life cycle analysis (LCA) with actual equipment data and output. The types were single crystal silicon (sc-Si), amorphous silicon (a-Si)/sc-Si, multicrystalline silicon (mc-Si), a-Si, microcrystalline silicon (μ c-Si)/a-Si and CIS. The boundaries of LCA were from the mining stage to that of waste management. Mining, manufacturing and waste management information was taken from an LCA database, while data on transport, construction and amounts of equipment were obtained from actual systems. Since the irradiation figures and electricity output were also actual data, we could avoid the difficulties of making assumptions for values such as the actual output power of thin films. In addition, installation at a single plant provided suitable conditions for comparing PV systems.

The results showed an energy requirement ranging from 19 to 48 GJ/kW and an energy payback time of between 1.4 and 3.8 years. CO₂ emissions were from 1.3 to 2.7 t-CO₂/kW, and CO₂ emission rates ranged from 31 to 67 g-CO₂/kWh. The multicrystalline (mc-Si) and CIS types showed good results because mc-Si and CIS PV modules have high efficiency and a lower energy requirement. In particular, the CIS module generated more electricity than expected with catalogue efficiency. The single crystal silicon PV module did not produce good results because, considering their energy requirement, installed sc-Si PV modules do not have high efficiency. However, the operation data used covered only 1 year; data from a longer period should be collected to obtain long-term irradiation figures and clarify degradation. Copyright © 2011 John Wiley & Sons, Ltd.

KEYWORDS

CO₂ emission rate; energy payback time; LCA; LS-PV; mega-solar system

***Correspondence**

Masakazu Ito, International Research Center of Advanced Energy Systems for Sustainability, Solutions Research Laboratory, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8550, Japan.

E-mail: ito@ssr.titech.ac.jp

Received 26 May 2010; Revised 18 September 2010

1. INTRODUCTION

The New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) started a 5-year project called “Verification of Grid Stabilization with Large-Scale PV Power Generation Systems” in 2006. The project focuses on generating high-quality electricity, which does not affect grid voltage, frequency, and waveform. Our group, consisting of Hokuto City in Yamanashi Prefecture, NTT Facilities Inc., the Tokyo Institute of Technology (Tokyo Tech), the National Institute of Advanced Industrial

Science and Technology (AIST) and Hitachi, Ltd. constructed a 2 MW PV system in the Japanese city of Hokuto in Yamanashi Prefecture, as shown in Figures 1 and 2. The installation site is well known as a sunny area of the country.

The aims of the group are:

- (1) To develop a large-capacity PV power conditioner considering grid stability.
- (2) To find suitable PV modules for the large-scale PV system, including advanced PV modules.



Figure 1. The mega-solar system installed in Hokuto, Yamanashi, Japan. About 30 types of PV systems have been installed.

(3) To research system design, materials, and construction methods from economic and environmental viewpoints

For the purposes of (2) and (3), 600kW PV systems were installed to allow research. A 10kW array was assumed to be a single array unit using one type of PV module, and 60 array units consist of 20 PV modules with

different tilt angles, tracking systems, and concentrating systems. This project will be concluded in March 2011.

The study reported in this paper is from (3) above, and its main topics involve comparing the energy requirements and CO₂ emissions of PV systems using the LCA approach. Although papers on LCA are found in literature (for example, Mason *et al.* [1], Fthenakis *et al.* [2] and others [3–7]), it is difficult to find LCA studies comparing



Figure 2. An aerial photo of the mega-solar system installed in Hokuto City in Yamanashi Prefecture.

this many PV system types at a single site. In addition, we can avoid the difficulties of making assumptions for values such as the actual output power of thin films by using actual outputs.

2. METHODOLOGY

2.1. Indexes

To evaluate the systems, we applied the life cycle analysis (LCA) methodology. This is an appropriate measure for evaluating the potential of systems in detail because its purpose is to evaluate input and output from initial production to final disposal. In this study, the energy payback time (EPT) and the CO₂ emission rate of the systems were calculated using this method. These indices are defined by the equations outlined below.

$$\text{EPT (year)} = \frac{\text{Total primary energy requirement of the PV system throughout its life-cycle [GJ]}}{\text{Annual primary energy reduction by using PV system [GJ/year]}} \quad (1)$$

The EPT represents the number of years taken to recover primary energy consumption throughout the system's life cycle by its own energy production. Both the total primary energy requirement of the PV system and the annual power generation concern primary energy.

$$\text{CO}_2 \text{ emission rate (g-CO}_2\text{/kWh)} = \frac{\text{Total CO}_2 \text{ emissions throughout the system's life-cycle (g-CO}_2\text{)}}{\text{Annual power generation [kWh/year]} \times \text{Lifetime [years]}} \quad (2)$$

The CO₂ emission rate is a useful index for assessing a PV system's effectiveness in relation to global warming.

2.2. Boundaries

The boundaries of the LCA here run from mining to waste management, as shown in Figure 3. Mining, manufacturing, and waste management information was taken from an

LCA database [8–10]. A summary of the NEDO database [10] was also presented by Komoto [11] at the 23rd EU PVSEC held in Valencia. The PV modules described in the paper were assumed to have been produced in Japan, and Japan's electricity mix was used. Data on transport, construction and amounts of equipment were obtained from actual systems. As this project is for research purposes, it is difficult to correct data on operation and maintenance. However, these data are usually negligible.

The equipment evaluated in this study ranged from PV modules to transformers to inverters. Accordingly, transmission lines were not included in the scope of the study. As there are many PV system types in the 600 kW research field, it is difficult to create the same conditions for each system. For instance, their cable lengths are different. To resolve this problem, each PV module type was assumed to be installed at 600 kW for LCA. Actual cable lengths, types, and areas were used for evaluation.

2.3. Estimation

LCA calculation for the equipment was performed using JEMAI-LCA software [9]. As it is difficult to open each PV module's inventory data, NEDO introduced a project to build a PV module LCI database [10], to which secondary data are written. After calculating the LCI of each piece of equipment, the authors summarized the values in Microsoft Excel.

3. SYSTEM DESIGN

3.1. PV modules

About 30 PV module types were installed at the site. The single crystal silicon PV modules were from seven companies, the multicrystalline silicon ones were from eight companies, the a-Si ones were from three companies, and the CIS ones were from two companies. The units were mounted in frames, and 10 kW PV modules made up one array unit. There were various array unit sizes, as seen in the research field shown in Figure 2. Large array units

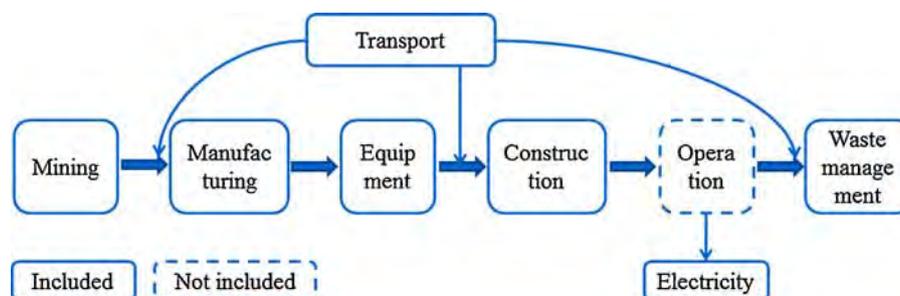


Figure 3. PV system life cycle flow.

mean lower efficiency, and small ones mean higher efficiency.

3.2. Array design

The array support structures were assumed to have simple compositions by an architect from NTT Facilities, as seen in Figures 4 and 5, and concrete was not used because the steel pile foundation shown in Figure 6 is superior to concrete foundation from an environmental viewpoint. This was reported by authors at PVSEC-17 held in Fukuoka in 2007 [12]. The array support structures followed Japanese regulations. Wind velocity was assumed to be 30 m/s, which is the value stipulated by building standards in the region. Figure 5 shows design drawings of the standard array structure with earth screws. The array unit is usually about 20–30 m in width and 2.5 m in height for the 10 kW system depending on efficiency. The weights of the array and earth screws for the 10 kW array unit are 0.87 t and 1.1 t for a 3 m depth. This depth differs from place to place, but 3 m is the average at this site.

3.3. Inverters and wiring

For each 10 kW array, 10 kW inverters were installed at the back of the array structure, and the outputs of the inverters were collected at a transformer substation.

4. PARAMETERS FOR THE LCA STUDY

4.1. PV system yields

The yields of the PV systems were measured from April 2008 until March 2009. The annual irradiation was 1725 kWh/m² at a 30-degree tilt angle during the period. To understand irradiation, the authors checked the database of the Japan Metrological Agency. The duration of sunshine in Nirasaki City close to the Hokuto site was 2069 h/year in 2008. As the 10-year average is 1999 h/year, the period can be considered average.

To consider a system's lifetime yield, a degradation ratio of 0.5%/year was used for the LCA study. However, this number may be smaller for thin-film PV systems. Osterwald *et al.* concluded in 2006 [13] that a figure of 0.5%/year for a crystalline module is reasonable as a rule of thumb, while many thin-film modules have a ratio of higher than 1%/year. Sensitivity analysis of the degradation ratio was therefore performed.

An average lifetime of 30 years was also calculated. The annual yields of the PV systems for this LCA study are shown in Table I. The kW values in Table II are from flash tests by PV manufacturers rather than catalogue nominal outputs. The kW values for thin films are those after initial degradation.

4.2. Lifetime

A 30-year lifetime was assumed for all equipment except the inverters. The LCA guidelines [14] stipulate that the



Figure 4. Simplified array structures installed in Hokuto City.

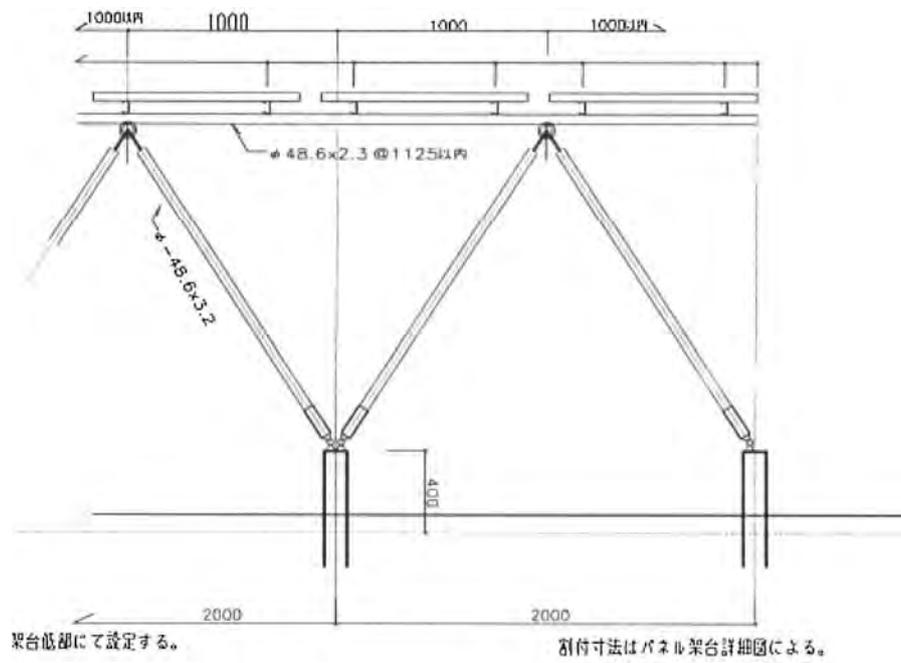


Figure 5. Front view of the basic array structure with earth screws.

lifetime of inverters for large PV power plants is 30 years with 10% renewal every 10 years. However, the capacity of the inverters installed at this 600kW site was 10kW. Accordingly, a 15-year lifetime (the value for small plants) was applied in this study.

transported by truck and ship. Other components were assumed to be transported over a distance of 100 km considering the location of their factories. Transport for waste management was assumed in two parts – site to intermediate site and then on to landfill. The distances involved were assumed to be 100 km for each one.

4.3. Transport

Information relating to the transport of the PV modules and inverters from the factory to the installation site was obtained from actual data. The modules made in Japan were transported by truck, while imported ones were

4.4. Waste management

At the end of its lifetime, equipment will be treated and disposed of as landfill. All items are assumed to be industrial waste. No recycle stage is included at this time.



Figure 6. The ends of earth screws used in the mega-solar plant.

Table I. Measured annual yield (AC) of each PV system.

| Type | Yield [kWh/kW] |
|---------------|----------------|
| A1:sc-Si | 1412 |
| A2:a-Si/sc-Si | 1397 |
| A3:sc-Si | 1487 |
| A4:sc-Si | 1319 |
| A5:sc-Si | 1420 |
| A6:sc-Si | 1428 |
| A7:sc-Si | 1383 |
| B1:mc-Si | 1338 |
| B2:mc-Si | 1426 |
| B4:mc-Si | 1419 |
| B5:mc-Si | 1500 |
| B6:mc-Si | 1451 |
| B7:mc-Si | 1404 |
| B8:mc-Si | 1440 |
| C1:a-Si | 1295 |
| C2:c-Si/a-Si | 1337 |
| C3:a-Si | 1333 |
| D1:CIS | 1538 |
| D2:CIS | 1494 |

4.5. LCI data used for the LCA study

Table III shows the assumptions made regarding LCI data for equipment. The data for PV modules and inverters were referred to from a 2009 NEDO report [10], which assumed that the PV modules are produced in Japan and have aluminum frames. However, since the report did not consider a-Si, LCI data for a-Si was referred to from a 2001 NEDO report [6]. These reports provide one result for each

type of PV module. The authors therefore assumed that the energy requirements and CO₂ emissions of the same types of PV module per area were identical, and that the same energy requirements and CO₂ emissions per area applied to the same types of module. On the other hand, inverters were considered as a one-time replacement item. Calculation for other equipment was performed by analyzing the relevant materials using JEMAI-LCA software [9] (Table IV).

5. EVALUATION RESULTS

The six types of 20 PV systems with 20 different PV modules were evaluated in terms of actual kWp and yield. These types were sc-Si, a-Si/sc-Si, mc-Si, a-Si, μ c-Si/a-Si, and CIS. Figure 7 shows the results for energy requirement and EPT. The energy requirement ranged from 19 to 48 GJ/kW, and the EPT was from 1.4 to 3.8 years. The first group with a larger energy requirement was A1 to A7, which were the sc-Si type. The values were between 37 and 48 GJ/kW. The second group consisted of A2, B1 to B8, and C1 to C3. These were the a-Si/sc-Si, mc-Si, a-Si and μ c-Si/a-Si types, and their values were between 25 and 32 GJ/kW. The lowest energy requirement was for CIS PV modules, which were the D1 and D2 types, with values of 19 and 23 GJ/kW. The transportation distances of A6 and A7 were much longer than those of the others because the two modules were imported from Europe, while the others were brought in from Asia and Japan. The shortest EPT was 1.4 years, which was obtained by the D2:CIS PV module because it has a high efficiency level of 11.2%, even though it has a lower energy requirement. The EPT increases to 1.5 or 1.8 years if the degradation ratio is 1%. On the other hand, the

Table II. PV modules evaluated in this study.

| Type | Nominal power [W] | Module efficiency [%] | Capacity [kW] |
|---------------------|-------------------|-----------------------|---------------|
| A1:sc-Si | 84 | 13.2 | 30 |
| A2:a-Si/sc-Si | 186 | 15.9 | 30 |
| A3:sc-Si | 160 | 12.6 | 10 |
| A4:sc-Si | 160 | 12.6 | 10 |
| A5:sc-Si | 150 | 11.8 | 10 |
| A6:sc-Si | 200 | 12.0 | 30 |
| A7:sc-Si | 173 | 12.0 | 30 |
| B1:mc-Si | 167 | 12.6 | 30 |
| B2:mc-Si | 179 | 14.0 | 100 |
| B4:mc-Si | 167 | 13.2 | 30 |
| B5:mc-Si | 180 | 12.3 | 10 |
| B6:mc-Si | 190 | 13.0 | 10 |
| B7:mc-Si | 240 | 12.4 | 30 |
| B8:mc-Si | 170 | 13.5 | 10 |
| C1:a-Si | 60 | 6.1 | 30 |
| C2: μ c-Si/a-Si | 110 | 8.8 | 10 |
| C3: μ c-Si/a-Si | 130 | 8.3 | 10 |
| D1:CIS | 70 | 8.8 | 30 |
| D2:CIS | 125 | 11.2 | 3 |

Table III. Assumptions regarding system equipment LCA data.

| | Module efficiency in reference | Energy requirement | CO ₂ emissions |
|------------------------------|--------------------------------|------------------------|--|
| PV module [10] | | | |
| sc-Si | 14.3% | 3986 MJ/m ² | 193.5 kg-CO ₂ /m ² |
| a-Si/sc-Si | 16.6% | 3679 MJ/m ² | 178.0 kg-CO ₂ /m ² |
| mc-Si | 13.9% | 2737 MJ/m ² | 135.2 kg-CO ₂ /m ² |
| a-Si (in 2000 [15]) | — | 1202 MJ/m ² | 54.3 kg-CO ₂ /m ² |
| a-Si/μc-Si | 8.6% | 1210 MJ/m ² | 67.8 kg-CO ₂ /m ² |
| CIS | 10.1% | 1105 MJ/m ² | 67.5 kg-CO ₂ /m ² |
| 10 kW inverter [10] | | 0.57 GJ/kW | 43 kg-CO ₂ /kW |
| Cable, conduit [9] | | 1068 GJ/600 kW | 62.0 t-CO ₂ /600 kW |
| Array (galvanized steel) [9] | | 22.5 GJ/t | 1.91 t-CO ₂ /t |

Table IV. References for LCA of the 20 PV system types.

| | PV module | Other components |
|------------------|--------------------|--------------------|
| Mining | NEDO database [10] | LCA database [8,9] |
| Manufacturing | NEDO database [10] | LCA database [8,9] |
| Transport | Actual data | LCA database [8,9] |
| Construction | Actual data | |
| Waste management | LCA database [8,9] | LCA database [8,9] |

longest EPT was 3.8 years for A6:sc-Si due to the large energy requirement of sc-Si and the long transport distance. The average value was 2.6 years.

The results for CO₂ emissions shown in Figure 8 are almost the same as those for the energy requirement. Large CO₂ emissions were seen with A1 to A7 except A2. The second group consisted of A2, B1 to B8, C1 to C3, and D1. D2 had the lowest CO₂ emissions in the same way as the energy requirement. However, B8:mc-Si also showed good

results compared to those for energy. The lowest CO₂ emission rate was found with the D2:CIS PV module, and the highest was for A6:sc-Si. However, A2:a-Si/sc-Si was competitive with the other PV modules because its efficiency was higher. Other sc-Si modules did not produce such good results because the installed sc-Si PV module did not offer high efficiency compared to the reference. The CO₂ emissions ranged from 1.2 to 2.7 t-CO₂/kW, and the CO₂ emission rates were from 31 to 67 g-CO₂/kWh. If the degradation ratio is 1%, the CO₂ emission rate will increase by about 5%.

For the energy requirement and CO₂ emissions, the PV module occupied more than half of the total, followed by the array support, the foundation and transport. Even for the lowest energy requirement and CO₂ emissions of CIS, the share of the PV module was half.

Fthenakis *et al.* [2] obtained values of 30 to 35 g-CO₂eq/kWh for ribbon, mc-Si and sc-Si PV modules for a ground-mounted system in southern Europe. de Wild-Scholten *et al.* [5] also reported values of 33 to 41 g-CO₂eq/kWh for roof- and ground-mounted structures in southern Europe.

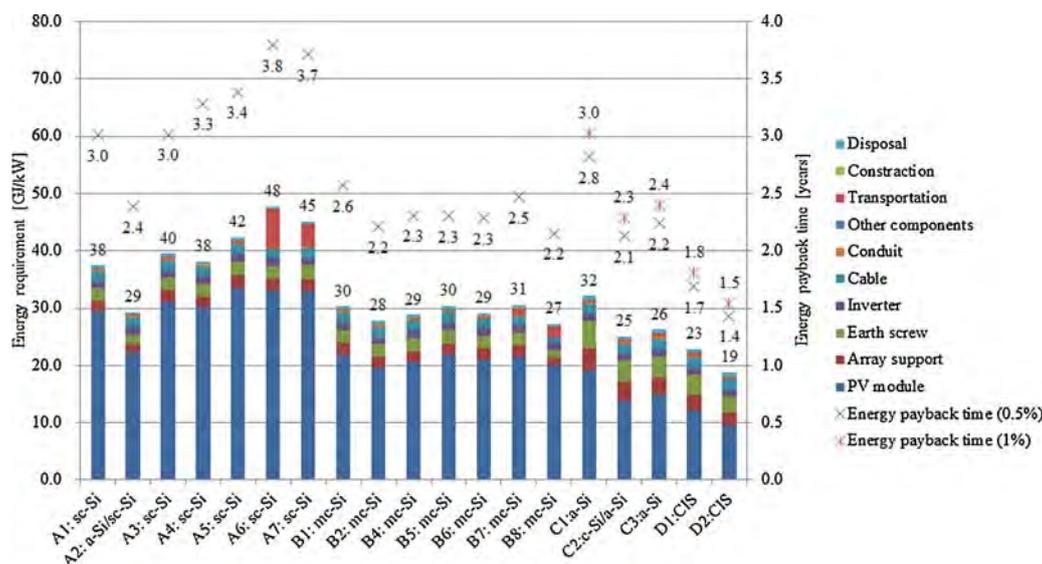


Figure 7. The energy requirement and EPT of the Mega-solar system. Energy payback time is with 0.5 and 1% degradation ratio.

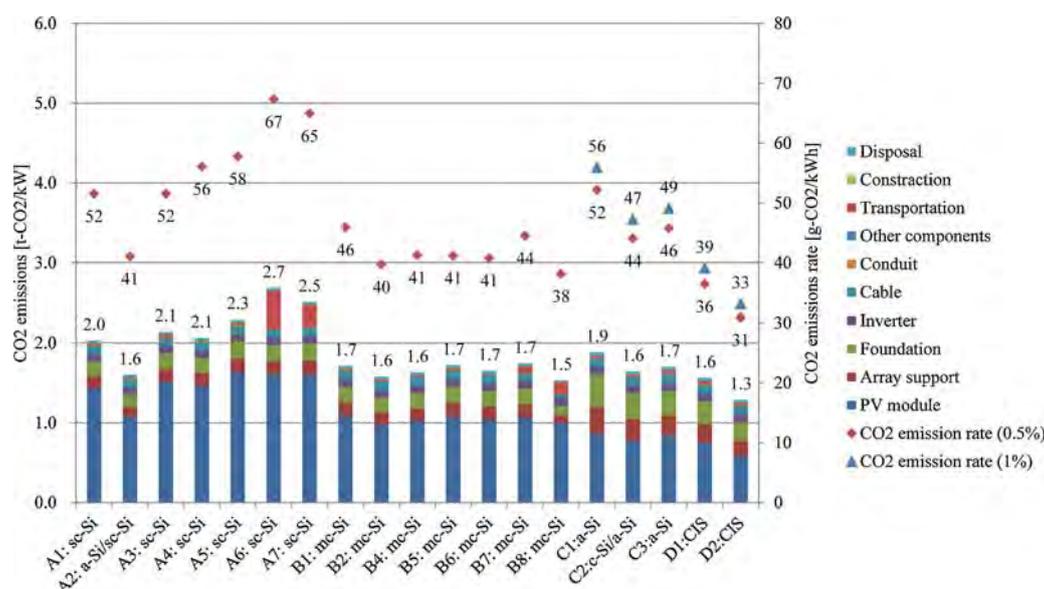


Figure 8. The CO₂ emissions and CO₂ emission rate of the mega-solar system. The emission rate is that with a 0.5% degradation ratio and a 1% degradation ratio.

The numbers here are smaller than those in this report, and the authors attribute this to the efficiency of the PV modules. The level of insolation at 30 degrees at the Hokuto site is about 1725 kWh/m²/year, which is almost the same as the assumption of the reports. However, the reference efficiency of sc-Si is 14.3%, which is higher than the values for the other sc-Si PV modules installed at the Hokuto site (from 11.8 to 13.2%). However, if a PV recycling system is developed, silicon PV module production can provide reduced energy consumption [10]. The material toxicity of thin-film PV modules should also be discussed.

6. CONCLUSIONS

This study evaluated the mega-solar system with 20 different PV modules using the LCA approach. Actual equipment data were used, and 1-year output data were taken to calculate the EPT and CO₂ emission rate. Multicrystalline (mc-Si) and CIS types produced favorable results because mc-Si and CIS PV modules have high efficiency and a lower energy requirement. In particular, the CIS module generated more electricity than expected with catalogue efficiency. The single crystal silicon PV module did not produce good results because the efficiency of the installed PV modules was much lower than the reference values. However, these results are based on only 1 year of operation data. For fuller discussion of the EPT and CO₂ emission rate, operation data covering a longer period, especially degradation data for thin-films, should be included.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank NEDO (the New Energy and Industrial Development Organization) for its support of this project.

REFERENCES

- Mason JE, Fthenakis VM, Hansen T, Kim HC. Energy payback and life-cycle CO₂ emissions of the BOS in an optimized 3.5 MW PV installation. *Progress in Photovoltaics* 2006; **14**(2): 179–190.
- Fthenakis VM, Kim HC, Alsema E. Emissions from photovoltaic life cycles. *Environmental Science & Technology* 2008; **42**(6): 2168–2174.
- Fthenakis VM, Kim HC. CdTe photovoltaics: Life cycle environmental profile and comparisons. *Thin Solid Films* 2007; **515**(15): 5961–5963.
- Jungbluth N. Life cycle assessment of crystalline photovoltaics in the swiss ecoinvent database. *Progress in Photovoltaics* 2005; **13**(5): 429–446.
- de Wild-Scholten MJ, Alsema EA, ter Horst EW, Bächler M, Fthenakis VM. A cost and environmental impact comparison of grid-connected rooftop and ground-based PV systems. *EUPVSEC-21* 2006; 3167–3173; *EUPVSEC-21 (pp. 3167–3173).Dresden*.
- Kato K, Murata A, Sakuta K. Energy pay-back time and life-cycle CO₂ emission of residential PV power system with silicon PV module. *Progress in Photovoltaics* 1998; **6**(2): 105–115.
- Ito M, Kato K, Sugihara H, Kichimi T, Song J, Kurokawa K. A preliminary study on potential for

- very large-scale photovoltaic power generation (VLS-PV) system in the Gobi desert from economic and environmental viewpoints. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 2003; **75**: 507–517 pp.
8. JLCA-LCA database 2009 Fy 1st Edition
 9. JEMAI LCA Pro, Japan Environmental Management Association for Industry.
 10. NEDO, Research and development of fabrication technologies for Life-Cycle Assessment of PV systems (2009).
 11. Komoto K, Uchida H, Ito M, Kurokawa K, Inaba A. Estimation of energy payback time and CO₂ emissions of various kind of PV systems. *Proceedings of 23rd EUPVSEC* 2008; 3833–3835.
 12. Ito M, Kudo M, Kurokawa K. A preliminary life-cycle analysis of a mega-solar system in Japan. *Proceedings of PVSEC-17* 2007; 508–511.
 13. Osterwald CR, Adelstein J, del Cueto JA, Kroposki B, Trudell D, Moriarty T. Comparison of degradation rates of individual modules held at maximum power. *Proceedings of 4th WCPEC* 2006; 2085–2088.
 14. Alsema E, Fraile D, Frischknecht R, Fthenakis V, Held M, Kim HC, Pölz W, Raugei M, de Wild Scholten M. 2009; Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, Subtask 20 “LCA”, IEA PVPS Task 12.
 15. *Development of Technology Commercializing Photovoltaic Power Generation System, Research and Development of Photovoltaic Power Generation Application System and Peripheral Technologies, Survey and Research on the Evaluation of Photovoltaic Power Generation*. 2001. NEDO. 45 pp. (In Japanese, summary in English is available).

交通センサス観測結果等を用いた乗用車のEV充電負荷曲線 と充電ポテンシャルの推定

正員 小田 拓也* 正員 伊藤 雅一* 正員 川崎 憲広**
正員 宮崎 隆彦*** 非会員 柏木 孝夫*

Potential Estimation of Hourly Blank Storage Space and Charge Loads of EVs using Road Traffic Census and Vehicles Status

Takuya Oda*, Member, Masakazu Ito*, Member, Norihiro Kawasaki**, Member,
Takahiko Miyazaki***, Member, Takao Kashiwagi*, Non-member

(2010年12月8日受付, 2011年9月9日再受付)

If both EVs (Electric Vehicles, includes plug-in hybrid electric vehicles) and renewable energies spread in large quantities, it is possible to control the supply fluctuation of renewable energies using the storage battery of EVs. This research tried to show the charge load potential of EVs based on the state of the Japanese passenger car using traffic census results etc. Furthermore, it tried to show trend of the storage battery capacity according to time. From the estimated result; (1) the charge electricity of low and middle distance gets a majority of the total charge demand, (2) charge load changes according to time several times, and the minimum load is the number of GWh at early morning, (3) if night charge is assumed, the standby charge demand of noon will reach tens GWh, it may have sufficient scale for supply fluctuation control of PVs. Although the present EV is not suitable for long-distance running, these are expected to be 30 or less percent of the total charge demand. The estimated storage capacity potential in this research will not change numbers of times.

キーワード: 電気自動車, プラグインハイブリッド自動車, 充電負荷, 道路交通センサス, 再生可能エネルギー, 供給変動
Keywords: electric vehicle, plug-in hybrid vehicle, charge load, road traffic census, renewable energy, supply fluctuation

1. 背景および目的

交通部門におけるエネルギー消費の削減や脱石油化を推進するため, 電気自動車 (EV) やプラグインハイブリッド自動車 (PHEV) 等の普及が期待されている⁽¹⁾。普及が進めば, EV や PHEV を充電するための電力需要は, 日本の10電力会社の2008年度の販売電力量約890TWh⁽²⁾の数%に

相当すると言われる⁽³⁾⁽⁴⁾。

一方, 低炭素社会の実現のためには, 再生可能エネルギーを普及させる必要がある。その際, 例えば太陽光発電 (PV) が大規模に普及すれば, 電力系統の安定化のために蓄電池が必要になるとする試算もある⁽⁵⁾。そこで, EV や PHEV の蓄電池の充電タイミングを制御するなどして, 電力系統の安定化を図ることなどが研究されてきた⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾。この場合, 再生可能エネルギーの発電出力に応じて充電がなされるため, 充電時間は非制御の場合と比較して長くなる。

CO₂削減の視点に立てば, PHEV は予め充電された電力を用いるEVモードで走行することが望まれる。そのため, PHEV の走行終了後は直ちに充電し, 電力を補充して次の走行に備える必要がある。また車両価格が高くなりがちなEVは, カーシェアリング等を用いながら未走行状態のEVをできる限り少なくすることで, EVの利用率を高め, 費用対効果の観点からEVの車両価格を相対的に引き下げることが, 普及に寄与する。つまりEVも, PHEVと同様に随時充電補充することが好ましいと考える。

* 東京工業大学 ソリューション研究機構
〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1-I6-25
Solutions Research Lab., Tokyo Institute of Technology

** (財) 電力中央研究所
〒201-8511 狛江市岩戸北 2-11-1
Central Research Institute of Electric Power Industry
2-11-1, Iwado Kita, Komae 201-8511, Japan
(2010年3月まで東京工業大学)

*** 九州大学
〒816-8580 春日市春日公園 6-1
Kyushu University
6-1, Kasuga-koen, Kasuga 816-8580, Japan

EVやPHEVの普及予測に関する従来研究の多くで、車両は深夜電力を用いて充電することが前提とされている⁽³⁾⁽⁴⁾。EVやPHEVの充電能力を再生可能エネルギーの平滑化に用いるためには、これらの車両が、いつどのようなタイミングで充電されるのかを明らかにする必要があると考えられる。こうした検討は、充電だけでなく放電も扱うV2G (Vehicle to grid) の有効性を明らかにする一助にもなる。

本研究では、EVやPHEVが普及した際の充電電力需要の日負荷曲線 (以下、充電負荷曲線) を、乗用車の利用面から明らかにすることを目的とする。その上で乗用車の充電を可制御なものとして、どの程度の電力貯蔵ポテンシャルを持つのかを明らかにする。

2. 乗用車の利用実態の把握

本研究ではポテンシャルを評価するため、乗用車が全てEVに代替されることを想定する。実際にはEVだけでなくPHEVやガソリン車やディーゼル車なども導入されるが、これらの仮定に対する影響については、考察において触れる。

本章では、日本の乗用車の登録台数や車両数、乗用車の利用状況などを示し、充電需要の導出に用いる数値の根拠を整理する。

また、本研究では、EVの起点を車庫と呼ぶ。車庫から目的地までの走行をトリップ [Trip] と呼び、目的地での待機を駐車と呼ぶ。最終的にEVは車庫へ戻り、ここで充電されることを想定する。つまり、充電は車庫でのみ行う。車庫に戻った時点のEV蓄電池の空き容量を充電需要と呼び、これを充電する場合の電力消費を充電負荷と呼ぶ。充電負荷は、充電需要に対してEVの充電速度を考慮する点が異なる。

〈2・1〉 車両総数と年間走行距離 日本の自動車の登録台数は、貨物等を含めて約7900万台ある。そのうち、乗用車は、普通車、小型車、軽自動車を含めて、約5800万台が登録されている⁽⁹⁾。一方、文献(10)から、乗用車の平均走行距離は430km/月とされ、乗用車5800万台の年間の延べ走行距離は2993億km/年と推算される (表1)。

〈2・2〉 交通量の時間分布 国土交通省の交通センサス⁽¹¹⁾では、都道府県下の2.4万区間で毎時の交通量が観測された。この乗用車の観測台数を元にして、交通量の時間分布を作成する。観測は平日と休日、24時間観測と12時間観測の4区分に大別される。本研究では、平日と休日の双方で24時間観測を行った全3969区間のデータを用いる。

この全3969区間の通行車両データについて、乗用車の毎時の通過車両数を積算し、図1に示した。ある時刻に走行している車両は、複数の観測区間で観測される。観測車両数を時刻別に比較すれば、図1は、各時刻に走行している車両の増減を表していると考えられる。3章では、図1の最大値を1として時刻別の比を求め、車両の走行台数分布の推定に与えた。

また、平日と休日の各々1日の延べ観測台数は、それぞ

表1 設定パラメーター一覧

Table 1. Parameter list for estimation.

| Item | Data |
|--|-------------------------------------|
| Average trip distance | 5160 [km/car/year] |
| Total trip distance | 2993 [10 ⁸ km/year] |
| Surveyed car numbers per day (Weekday/Holiday) | 66.3/78.7 [10 ⁶ car/day] |
| Total trip distance per day (weekday/holiday) | 7.72/9.17 [10 ⁸ km/day] |
| Average trip speed | 35.3 [km/h] |
| EV charging speed | 3 [kWh/h] |
| EV electricity consumption | 8 [km/kWh] |

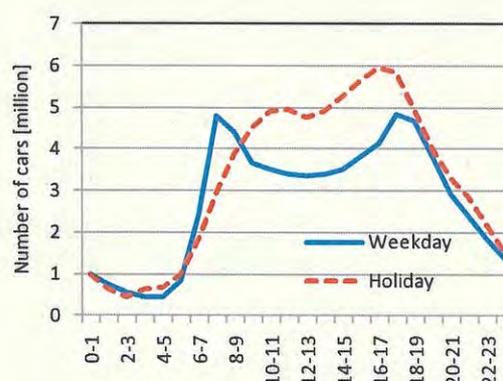


図1 乗用車走行台数の時刻推移

Fig. 1. Hourly change of driving passenger car.

れ66.3百万台と78.7百万台だった。日本全国の年間の延べ走行距離2993億kmと上記の総観測台数との比から、1日の延べ走行距離は、平日7.72億kmと休日9.17億kmと推定される (表1)。尚、1年間が平日245日と休日120日であり、かつ、1日の走行距離が平日と休日変わらないことを前提とした。この延べ走行距離を、3章の充電需要の推定に与えた。

交通センサスには12時間観測と24時間観測がある。予め両者を比較した結果、両者が重なる8~20時の観測結果は似たような変化を示した。24時間の観測結果を代表値としても、推定結果に大きな影響は与えないと考えられる。

〈2・3〉 走行距離と走行速度 EVの充電量は走行距離に応じて変化するため、乗用車の1Tripの走行距離分布を考慮する。平成17年度道路交通センサス⁽¹¹⁾を元にした文献(3)の値を与える (図2)。走行速度は、交通センサス⁽¹²⁾を元にした平均走行速度35.3km/hを与える (表1)。実際の走行速度は道路の混雑度によって異なるが、これを一定とした。

〈2・4〉 駐車時間分布 乗用車の駐車時間は、移動目的に応じてそれぞれ異なる。駐車時間に関する既存調査は駐車場整備に関するものはある^{(13)~(15)}が、日本全体を総括的に把握できる資料は少ない。文献(15)は、交通流シミュレー

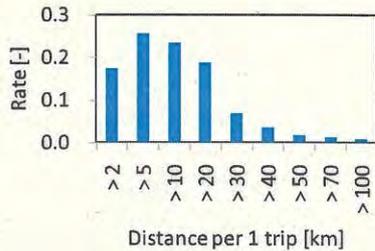


図2 乗用車の走行距離分布。

Fig. 2. Trip distance distribution of passenger car.

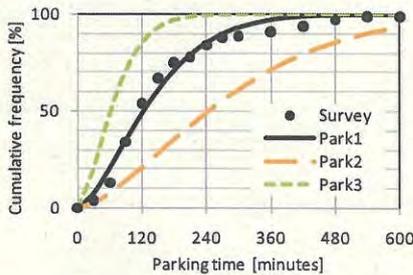


図3 乗用車の駐車時間分布。

Fig. 3. Parking time distribution of passenger car.

タ構築のための調査から、駐車時間をワイブル分布で示した(図3)。本研究では、この値を基準(Park1)とする。尚、駐車時間に関する包括的な統計資料を得られなかったことから、Park1に対して駐車時間が2倍のPark2と、駐車時間が半分のPark3も併せて考慮し、影響を確認する。

〈2・5〉 トリップ回数 乗用車の利用形態として、車庫への退入庫の合間に、複数箇所の目的地を経由することが考えられる。文献(16)は、市街地における回遊行動を調査する際の、トリップ数を報告した。この結果では、全体の約7割が2 Tripで占められ、平均トリップ数は2.57であった。本研究では単純のため、全トリップを2 Trip、すなわち往復移動のみすることを想定した。

〈2・6〉 復路走行距離と日走行距離 〈2・5〉節でトリップ数を2と設定したことから、車両は目的終了後に車庫へ入庫する。復路走行は、往路走行と同じ距離を走るものとする。以後、走行距離の区分は、特に指定の無い限り日走行距離(2 Trip分)を基準に示す。

〈2・7〉 充電需要と充電時間 乗用車の走行距離から、消費した電力量を求めて充電需要を求めることができる。EVは空調などの要否に応じて電費[km/kWh]が3割程度異なる。市販されたEVのカタログ値(10km/kWh)を参考に、8km/kWhの一定値とした(表1)。充電速度は、市販のEV(18kWhを7hで充電)や、公表されたPHEV(5.2kWhを100分で充電)の情報を元に、3kWh/hとした(表1)。

3. 充電需要の推定モデル

〈3・1〉 充電需要推定モデル ある時刻に出庫した乗用車は、2回のトリップと1回の駐車を経て車庫に入庫す

る。時刻Tに出庫した複数車両が全トリップを終えて入庫する時間は、前章で与えた走行距離と駐車時間の各分布に従うばらつきを持つ。両分布が時刻によって変化しないことを仮定すれば、時刻Tの出庫台数を想定することによって、その後の時刻の走行中の車両台数が明らかになる。つまり、1時間毎の出庫台数を変化させることで、1日24時間の交通量の増減を示すことができる。

本推定モデルでは、充電負荷を推定するため、時刻別の充電需要を明らかにする。はじめに、車両の毎時の出庫台数を推定する。この際、図1で示した交通量の通行車両数の分布を用いる。推定は最小二乗法で行い、目的関数を与える。ここで、通過車両数分布(図1)の比R、通過車両数分布の推定値の比r、時刻t、走行中車両数 n_t とした。

$$z = \sum_i (R_i - r_i)^2 \rightarrow \min. \dots \dots \dots (1)$$

$$r_i = \frac{n_i}{\sum_t n_t} \dots \dots \dots (2)$$

n_t は、平均走行速度 \bar{v} と、走行距離d、駐車時間pの最大値をmaxを用いて示せば、k時間前($k = \{0, 1, 2, \dots, 2d_{\max}/\bar{v} + p_{\max}\}$)の出庫車両数 x_t の影響を受ける。この x_t を決定変数とした((3)式)。F(d, p)は走行距離と駐車時間に関する分布確率である。(3)式右辺の第一項と第二項の積算範囲は、それぞれ往路と復路の走行中車両数 n_t を意味している。

$$n_t = \sum_{d,p} \left\{ \sum_{0 \leq k \leq d/\bar{v}} [x_{t-k} F(d, p)] + \sum_{(d/\bar{v})+p \leq k \leq (2d/\bar{v})+p} [x_{t-k} F(d, p)] \right\} \dots \dots \dots (3)$$

制約条件として、延べ走行距離を考慮する((4)式)。推定された走行距離は、平日および休日の1日の延べ走行距離(表1)に一致することを示している。ここで、1日の延べ走行距離D、日種i($i \in \text{weekday, holiday}$)である。

$$D_i = \sum_{t,d} (d \cdot x_t) \dots \dots \dots (4)$$

〈3・2〉 充電制御シナリオ 本研究では、EVの充電速度を3kWの一定値とした。基準ケース(Case0)として、EVが入庫直後に充電を開始することを想定する。また、夜間充電を考慮し、夜22時から充電を開始するCase1と、充電需要を元に逆算して朝6時までには充電を完了するCase2を想定する。更にCase0を元にして、2倍あるいは4倍の充電時間を許容するCase3とCase4を想定した。Case3および4は、充電速度を0.75kW(1/4倍)または1.5kW(1/2倍)から選択することによって、再生可能エネルギーの供給変動に併せて充電を行うことを想定した。

4. 充電負荷曲線の推定結果および可制御量

本章では充電需要の推定結果を示し、それを元にした充電負荷を例示する。更に、充電時間を誘導できるものとし

て、充電負荷の可制御量を示す。可制御量の増加は、再生可能エネルギー等の変動を伴う発電出力を、その出力に連動して EV の充電負荷を制御できることを想定している。

〈4・1〉 充電需要推定結果と一日の走行車両数 3章で示したモデルによって毎時の新規走行車両数を推定し、その結果得られる毎時の走行台数分布は、図1で示した交通量の時間分布を十分な精度で再現できる。両者の相関係数はほぼ1となる。図4には、平日の毎時の走行台数分布(図1から抜粋して再掲)と推定結果を併記すると共に、毎時の出庫車両数を示した。乗用車は7時に車庫を出る車両が最も多く、その後17時に再びピークを持つことがわかる。ま

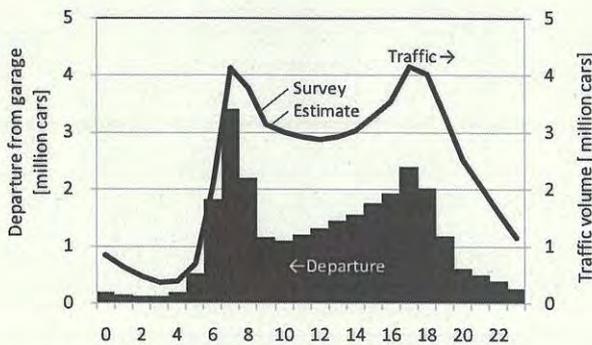


図4 新規走行開始車両台数の時刻推移(平日)

Fig. 4. Hourly curve of the number of vehicles which started the run newly(Weekday).

た深夜帯に出庫する車両は少なく、深夜交通量の殆どを前時刻までにに出庫した車両が占めることがわかる。

推定した新規走行車両数の総和は、一日に走行する車両の数を意味する。推定結果から、一日の走行車両数は2745万台(平日)であり、乗用車総数5800万台の47%が走行することが分かる。本推定では車両1台のトリップ数を2Tripと仮定したが、文献(14)では平均2.57Tripであり、実際は上記47%より少ない比率になると考えられる。乗用車の半数以上は、終日車庫に駐車していることがわかる。

〈4・2〉 充電需要量の毎時変化 充電需要は、車両が走行を終えて入庫する時刻と、消費した電力量(充電需要量)、車両台数によって表される。表2に、駐車場到達時刻における走行距離別の延べ車両数を示す。本表は、毎時の車両数の多い順に、上位50%を黒(白文字)で示した。平日を例にすれば、11時頃と20時頃の2つのピークがあることがわかる。尚、夜間に出庫する車両(図4)の一部は24時以降に入庫する。表2では、24時以降に入庫する車両数(一日の総充電需要の9%に相当)を、翌朝0時以降に加算した。後述する充電需要も同様に取り扱う。すなわち、連続する2日間の2日目の車両数や充電需要を意味している。

この表を明らかにすることによって、EVの充電速度等を考慮した充電負荷曲線を推定することが可能になる。

図5には、表2を元に、充電需要の内訳(平日)を示した。平日一日の充電需要の内、日走行距離20-40kmの区

表2 駐車場到達時刻における走行距離別の延べ車両数

Table 2. Number of vehicles according to trip distance and time which arrived at parking.

Unit: 10,000 cars/day

| Day | Weekday | | | | | | | | | Holiday | | | | | | | | | |
|------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|-----|---------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| | 4 | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 140 | 200 | 4 | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 140 | 200 | |
| Charge [kWh/car] | 0.5 | 1.25 | 2.5 | 5 | 7.5 | 10 | 12.5 | 17.5 | 25 | 0.5 | 1.25 | 2.5 | 5 | 7.5 | 10 | 12.5 | 17.5 | 25 | |
| Time [hour] | 0 | 7.4 | 10.8 | 13.9 | 11.2 | 5.7 | 3.0 | 2.1 | 2.1 | 1.8 | 8.3 | 12.2 | 16.7 | 13.4 | 6.6 | 3.5 | 2.2 | 2.1 | 2.1 |
| | 1 | 5.3 | 7.8 | 9.9 | 7.9 | 4.1 | 2.2 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 5.0 | 7.3 | 11.1 | 9.0 | 4.9 | 2.6 | 1.8 | 1.7 | 1.8 |
| | 2 | 3.9 | 5.8 | 7.1 | 5.7 | 2.9 | 1.5 | 1.1 | 1.1 | 1.4 | 2.9 | 4.3 | 6.7 | 5.4 | 3.3 | 1.7 | 1.3 | 1.3 | 1.4 |
| | 3 | 3.0 | 4.5 | 5.3 | 4.2 | 2.1 | 1.1 | 0.8 | 0.8 | 1.0 | 2.8 | 4.1 | 3.9 | 3.1 | 2.0 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 1.1 |
| | 4 | 2.8 | 4.1 | 4.1 | 3.3 | 1.5 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.8 | 3.7 | 5.5 | 3.8 | 3.0 | 1.1 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | 0.9 |
| | 5 | 4.1 | 6.0 | 3.7 | 3.0 | 1.2 | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 5.6 | 8.2 | 5.0 | 4.0 | 1.1 | 0.6 | 0.3 | 0.4 | 0.7 |
| | 6 | 10.6 | 15.6 | 5.5 | 4.4 | 1.1 | 0.6 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 9.7 | 14.4 | 7.5 | 6.0 | 1.5 | 0.8 | 0.3 | 0.2 | 0.4 |
| | 7 | 24.1 | 35.6 | 14.2 | 11.4 | 1.6 | 0.9 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 16.7 | 24.6 | 13.1 | 10.5 | 2.2 | 1.2 | 0.4 | 0.2 | 0.3 |
| | 8 | 33.3 | 49.0 | 32.4 | 26.0 | 4.2 | 2.2 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 24.7 | 36.4 | 22.4 | 18.0 | 3.8 | 2.1 | 0.6 | 0.3 | 0.2 |
| | 9 | 33.4 | 49.2 | 44.6 | 35.9 | 9.5 | 5.1 | 1.1 | 0.3 | 0.2 | 31.3 | 46.2 | 33.1 | 26.6 | 6.6 | 3.5 | 1.0 | 0.4 | 0.1 |
| | 10 | 29.4 | 43.3 | 44.8 | 36.0 | 13.1 | 7.0 | 2.5 | 0.8 | 0.1 | 35.8 | 52.7 | 42.1 | 33.8 | 9.7 | 5.2 | 1.8 | 0.8 | 0.2 |
| | 11 | 25.7 | 37.9 | 39.5 | 31.7 | 13.2 | 7.0 | 3.5 | 1.9 | 0.2 | 37.4 | 55.2 | 48.0 | 38.6 | 12.4 | 6.6 | 2.6 | 1.3 | 0.3 |
| | 12 | 23.7 | 34.9 | 34.5 | 27.7 | 11.6 | 6.2 | 3.5 | 2.6 | 0.6 | 36.7 | 54.0 | 50.2 | 40.4 | 14.1 | 7.5 | 3.3 | 1.9 | 0.5 |
| | 13 | 23.4 | 34.5 | 31.8 | 25.6 | 10.2 | 5.4 | 3.1 | 2.6 | 1.3 | 35.8 | 52.8 | 49.2 | 39.6 | 14.8 | 7.9 | 3.8 | 2.5 | 0.9 |
| | 14 | 24.2 | 35.7 | 31.4 | 25.2 | 9.4 | 5.0 | 2.7 | 2.3 | 1.8 | 36.5 | 53.8 | 48.1 | 38.6 | 14.5 | 7.7 | 3.9 | 2.8 | 1.3 |
| | 15 | 26.0 | 38.3 | 32.5 | 26.1 | 9.2 | 4.9 | 2.5 | 2.0 | 1.8 | 38.7 | 57.1 | 49.0 | 39.4 | 14.1 | 7.5 | 3.9 | 3.0 | 1.6 |
| | 16 | 28.4 | 41.8 | 34.9 | 28.0 | 9.6 | 5.1 | 2.5 | 1.9 | 1.5 | 41.6 | 61.4 | 52.0 | 41.8 | 14.4 | 7.7 | 3.8 | 2.9 | 1.9 |
| | 17 | 32.2 | 47.4 | 38.1 | 30.6 | 10.3 | 5.5 | 2.5 | 1.8 | 1.4 | 43.1 | 63.5 | 55.9 | 44.9 | 15.3 | 8.2 | 3.8 | 2.8 | 2.0 |
| | 18 | 34.5 | 50.8 | 43.2 | 34.7 | 11.2 | 6.0 | 2.7 | 1.9 | 1.2 | 40.4 | 59.5 | 57.8 | 46.5 | 16.4 | 8.8 | 4.1 | 2.9 | 1.9 |
| | 19 | 32.3 | 47.6 | 46.3 | 37.2 | 12.7 | 6.8 | 3.0 | 2.1 | 1.2 | 34.0 | 50.1 | 54.2 | 43.6 | 17.0 | 9.1 | 4.4 | 3.1 | 1.9 |
| | 20 | 26.3 | 38.7 | 43.3 | 34.8 | 13.6 | 7.3 | 3.4 | 2.2 | 1.3 | 27.0 | 39.7 | 45.6 | 36.7 | 15.9 | 8.5 | 4.5 | 3.3 | 1.9 |
| | 21 | 19.8 | 29.2 | 35.3 | 28.4 | 12.7 | 6.8 | 3.6 | 2.5 | 1.4 | 21.3 | 31.5 | 36.2 | 29.1 | 13.4 | 7.2 | 4.3 | 3.4 | 2.0 |
| | 22 | 14.5 | 21.3 | 26.6 | 21.4 | 10.4 | 5.5 | 3.4 | 2.7 | 1.5 | 16.8 | 24.7 | 28.7 | 23.0 | 10.6 | 5.7 | 3.6 | 3.2 | 2.2 |
| 23 | 10.3 | 15.2 | 19.4 | 15.6 | 7.8 | 4.2 | 2.8 | 2.5 | 1.7 | 12.4 | 18.3 | 22.5 | 18.1 | 8.4 | 4.5 | 2.8 | 2.7 | 2.3 | |



図5 日走行距離別の充電需要 (平日)

Fig. 5. Charge demand according to mileage (weekday).

分が27%と最大で、次いで10-20, 40-60 kmの区分となる。この3区分で全体の約6割を占める。更に、日走行距離が60 km以上の区分は、全体の3割に過ぎないことがわかる。

〈4・3〉 基準ケースの充電負荷曲線 表2に示した時刻別・走行距離別(つまり充電需要量別)の車両台数から、EVの充電速度(表1)を考慮して、基準ケース(Case0)の充電負荷曲線を求めて図6に示す。図6(a)から、平日の充電負荷は、19時に最大7GW弱の充電需要ピークを持ち、朝5時に最低値を取ることがわかる。図6(b)は、休日の充電負荷を示している。平日と異なり、ピークは1回のみ18時に発生すること、全体として休日の方が充電需要の多いことが分かる。平日と休日を比較すれば、最大負荷は休日が高く、最低負荷は平日と休日ではほぼ同じ値を示した。これらの相違を把握した上で、以下の評価では平日の充電負荷について検討した結果を示す。

本研究では乗用車の全てがEVに代替されることを想定した。図5から乗用車は、走行距離が40km以下の車両が過半数(約55%)を占めることがわかる。仮にEVでなくPHEVに代替されるとしても、PHEVの蓄電池容量を5kWh(40km相当)とすれば、一日の走行需要の半分程度をEV走行モードで賄うことができる。また、平日の日走行距離60~200kmの区分(図6(a))の毎時の充電負荷をみると、最低負荷(6時)と最大負荷(19時)はそれぞれ0.5GWhと1.8GWhで、充電負荷の変動は時刻の影響が少ない。EVは走行時間より充電時間が長いので、走行需要と充電需要の日負荷曲線を比較すると、充電需要の昼夜変動が小さくなる。充電需要の日負荷曲線は、主に中短距離を走行する車両によって決定されると言える。

〈4・4〉 駐車時間分布の影響 駐車時間を総括的に扱う資料が得られなかったことから、駐車時間分布の相違が与える影響を明らかにする。図3に示した駐車時間分布の3ケース(Park1~3)について、平日の充電負荷曲線(図6(a))と同様に解析した。乗用車走行台数の時刻推移(図1)と走行距離分布(図2)は一定としたため、車両の運用時間(走行時間と駐車時間の和)が増減することになる。結果として充電需要量は変化せず、新規走行開始台数の時間分布が

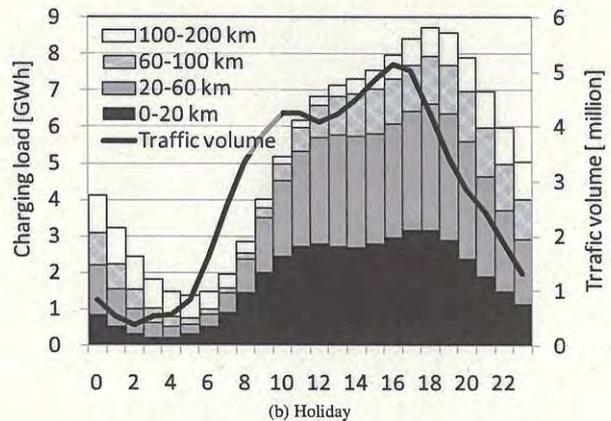
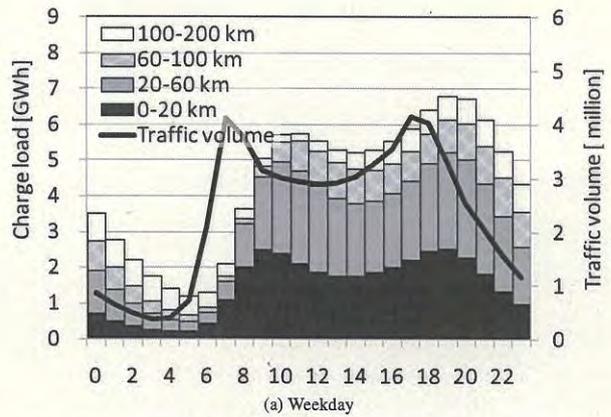


図6 充電負荷曲線の推定結果 (Case0)

Fig. 6. Estimated results of the charge load curve (Case0).

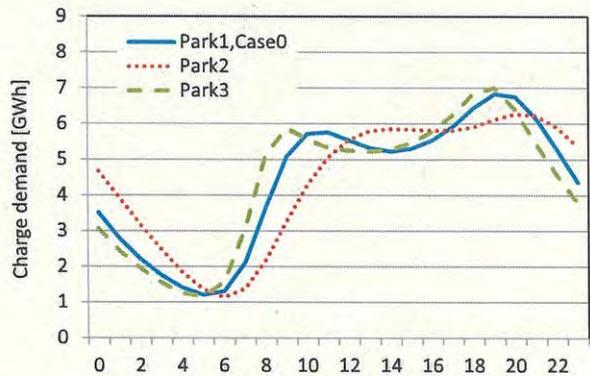


図7 駐車時間分布の影響

Fig. 7. Parking time distribution influence.

変化した。この結果を図7に示す。本図から、駐車時間分布は充電負荷曲線に影響を与えるが、充電負荷が昼夜で大きく異なる点は変わらないことがわかる。この結果を参考にして、以下の検討では駐車時間分布にはPark1(基準ケース)のみを対象として解析する。

〈4・5〉 夜間充電時の充電待機需要量 Case0では、走行直後に充電を開始するため充電の待機はない。一方、夜間充電を想定する場合、走行終了後にタイマーをセットす

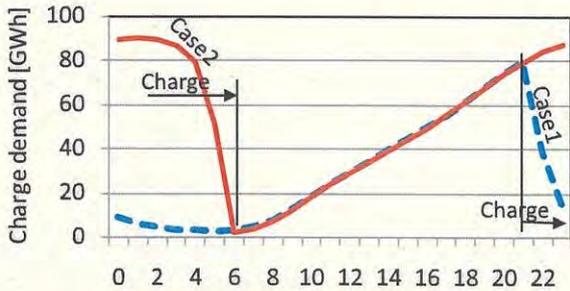


図8 夜間充電時の充電待機需要量の時間推移
Fig. 8. Estimated charge demand in the case of night charge.

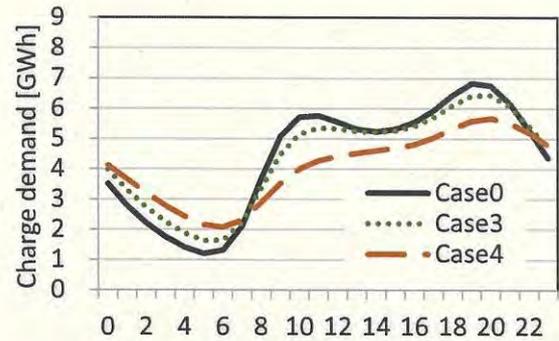


図9 充電時間延長時の日負荷曲線
Fig. 9. Estimated charge load curves according to charge speeds.

るなどして、指定された時刻から充電を開始することになる。本報告では、Case1として夜22時から一斉に充電を行う場合を、Case2として朝6時までに充電を完了する場合を想定した。この時、走行終了から充電完了までの合間に、車庫で充電を待つEVが生じる。これら待機中のEVの充電需要量を、充電待機需要量と呼ぶ。

図8から、Case1と2の充電待機需要量は最大で80~90 GWhに達し、指定した時刻の前後(Case1の場合、21時台に需要量が最大となり、22時台に急減)で急変することがわかる。実際には電力契約に従って充電時間帯が誘導され、ある程度分散すると考えられるが、電力需要量としては相対的に大きく、電力系統に与える影響は無視し得ない。一方、走行距離が長く深夜に帰着する車両があるため、最小値は0にならず、2~3 GWh程度になった。

〈4・6〉 充電時間延長による影響 EVを用いた再生可能エネルギーの供給変動の平滑化とは、変動する発電出力に併せてEVの充電速度を増減させることを意味する。即ち、EVの充電時間が増減することになる。表1に示す通り、充電速度の最大値は3 kW/台とした。最小値は、EVの利用者が許容する範囲で決定される。ここでは2倍の充電時間を許容するCase3と、同4倍のCase4を想定した。

この場合の充電負荷曲線を図9に示した。図9には図6のCase0を併記した。Case0を基準として、Case3およびCase4が示すような充電負荷曲線に変化する。充電時間の延長によって、昼間の負荷が減り、負荷が平準化される。また、Case0の充電負荷曲線との差が制御可能な充電容量を意味するが、充電時間を4倍にすることを許容(Case4)しても、最大で1.7 GWh程度に留まることがわかる。

〈4・7〉 本章のまとめ 本章では、EVの充電需要を平日と休日について時刻別に明らかにした。更に平日について、様々な条件設定を元に充電負荷曲線を示した。

走行距離区分で見れば、日走行距離60 km以下の車両が、充電需要の約7割を占めた。これは蓄電池容量からみて、一般的なEVの走行可能距離に収まる。EVでなくPHEVに代替されたとしても、蓄電池の充電負荷曲線は、走行距離の短い車両に対する充電需要が支配的となる。一方、日走行距離60 km以上を走行する車両は、総充電需要に占める

割合が小さいことに加えて、元々の充電時間が長い。充電速度を遅くすると翌日の車両利用に支障が出る。実運用の面から、充電速度や充電開始時刻を制御することは困難だと考えられる。即ち、EVやPHEVの蓄電池の充電タイミングを制御して系統安定化に貢献させる場合、日走行距離が数十 km以下の車両を対象にするのが合理的だと言える。

しかし、充電需要は時刻毎に大きく変動する。発電出力が時刻に依存しない風力発電などの供給変動を平滑化するためには、充電可能な蓄電池容量が、常に一定量確保できることが望ましい。車両の利用直後に充電する基準ケース(図9, Case0)の充電負荷の最低値は1 GWh程度であり、充電速度を1/4に減速しても2 GWh程度である(Case4)。供給変動の平滑化にEV充電需要を用いるためには、充電時間帯を積極的に制御する必要があると言える。

一方、PVは、出力の最大値は正午に発生する。つまり、EVの充電需要が正午に最大値を取ることが望ましい。EVの夜間充電を想定(図8)すると、正午の充電待機電力量は29 GWhまで増加した。これは2030年に必要な蓄電池容量230 GWh⁽¹⁷⁾の13%に相当する。

5. まとめ

本研究では、既存調査結果を用いて日本における乗用車の走行パターンを推定し、その結果を元にEVの充電負荷の日負荷曲線を推定した。但し、簡便のため、車両の全てがEVに代替されることを想定した。推定の結果からは、

(1) EVやPHEVの充電需要は、低・中距離(日走行距離が60 km程度)の充電需要が、総充電需要の過半数を占める。

(2) 道路の車両走行データを元にして、充電需要の日負荷曲線を明らかにした。この推定結果にEVの充電ルールを与えることで、EV等の充電負荷曲線を示した。

(3) 充電時間帯を可制御だとしても、ある一つのルールに従うとすれば、充電の最低負荷は数 GWh程度となり、将来の再生可能エネルギーの供給変動平滑化ポテンシャルとして充分でない。但し深夜充電を行う場合、正午に数十 GWhの充電需要が発生するため、PVの出力変動抑制には

貢献できる可能性がある。

これらの結果は、多数の推定資料を基礎とした。特に、乗用車が全て EV に代替されるとみなしたことや、走行距離・走行時刻・駐車時間の各分布が一定であると見なしたことに注意する必要がある。

近年、EV の充放電能力を用いて電力系統の信頼性向上に役立たせることが期待されている。これを評価するには、再生可能エネルギーが大量導入される都市や地域の、EV 利用形態と充電負荷を具体的に推定する必要がある。今後は、行動調査などのアンケート結果をも考慮して、より具体的に、特定の地域の充電需要を推定していきたい。

文 献

- (1) 経済産業省：次世代自動車用電池の将来に向けた提言について (2006)
- (2) 電気事業連合会：<http://www.fepec.or.jp/index.html> (アクセス日：2009年11月27日)
- (3) Y. Shinoda, K. Yabe, H. Tanaka, and A. Akisawa: "Evaluation of the Plug-in Hybrid Electric Vehicle Considering Power Generation Best Mix", *IEEE Trans. PE*, Vol.128, No.6, pp.827-835 (2008-6) (in Japanese)
篠田幸男・田中秀雄・秋澤 淳・柏木孝夫：「系統電源構成を考慮したプラグインハイブリッド自動車の導入評価」, *電学論 B*, Vol.128, No.6, pp.827-835 (2008-6)
- (4) 日渡良爾・岡野邦彦・山本博巳・高崎昌洋・藤井康正：「プラグインハイブリッド車導入が日本の電力需要へ及ぼす影響」, *電中研報告*, L05008 (2006)
- (5) 資源エネルギー庁：新エネルギーの大量導入に伴う影響とその対応策について (2008)
- (6) T. Masaaki, Y. Hiromi, Y. Kenji, K. Okano, H. Ryouji, and I. Tomohiko: "Load Frequency Control Method by Charge Control for Plug-in Hybrid Electric Vehicles with LFC Signal", *IEEE Trans. PE*, Vol.129, No.11, pp.1342-1348 (2009-11) (in Japanese)
高木雅昭・山本博巳・山地憲治・岡野邦彦・日渡良爾・池谷知彦：「LFC 信号を用いたプラグインハイブリッド車の充電制御による負荷周波数制御手法」, *電学論 B*, Vol.129, No.11, pp.1342-1348 (2009-11)
- (7) 高木雅昭・岩船由美子・山本博巳・山地憲治・岡野邦彦・日渡良爾・池谷知彦：「プラグインハイブリッド車の負荷持続曲線に基づいた充電時間の最適制御」, 第 26 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 4-3 (2010)
- (8) 高木雅昭・岩船由美子・山本博巳・山地憲治・岡野邦彦・日渡良爾・池谷知彦：「バッテリー交換ステーションの蓄電池を用いた太陽光余剰電力対策」, 第 26 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス, 17-3 (2010)
- (9) 自動車検査登録情報協会：<http://www.airia.or.jp/> (アクセス日：2009年11月27日)
- (10) 日本自動車工業会：乗用車市場動向調査, p.40 (2009)
- (11) 交通工学研究会：平成 17 年度道路交通センサ (CD-ROM 版), 丸善 (2007)
- (12) 国土交通省道路局：https://www.mlit.go.jp/road/tr/tr-data/data_shu.html (アクセス日：2009年11月27日)
- (13) 中村英樹・鈴木一史・桜井淳史：「駐車施策評価のための交通流シミュレータの開発と適用事例」, *土木計画学研究・講演集*, Vol.27, No.8, p.193 (2003)
- (14) T. Miwa, T. Yamamoto, and T. Morikawa: "Analysis on Parking Pricing Policy with Discrete-Continuous Choice Model of Parking Location and Duration", 43-1, pp.34-41 (2008) (in Japanese)
三輪富生・山本俊行・森川高行：「駐車場所-駐車時間選択行動への離散-連続選択モデルの適用と駐車料金施策分析」, *都市計画論文集*, 43-1, pp.34-41 (2008)
- (15) E. Dougaki, M. Saitoh, and H. Igarashi: "Study of Estimated Number of Prowl Trips Generated and Effects of Legal Restrictions and Unofficial Instructions Regarding On-Street Parking", *J. Jpn Soc. Civil Engineers*, Vol.500, pp.21-30 (1994) (in Japanese)
堂柿英輔・M. Saitoh・五十嵐日出夫：「都心部街路における駐車待ち交通量の推定と駐車規制及び指路の効果に関する研究」, *土木学論*, Vol.500, pp.21-30 (1994)
- (16) Y. Kimura, M. Hatoko, and N. Tukamoto: "A Questionnaire Survey of Stroll Activity in Central City before Development of Light Rail Transit", *Proc. of*

Infrastructure Planning Management, 33 (2006) (in Japanese)

木村祥法・波床正敏・塚本直幸：「LRT 整備前の中心市街地における回遊行動調査」, *土木計画学研究講演集*, 33 (2006)

- (17) 経済産業省：今後の新エネルギーの大量導入に伴って必要となる系統安定化対策及びコスト負担の在り方について (2009)

小田 拓也 (正員) 1972 年生。1997 年 3 月九州大学大学院総合理工学研究科修士課程修了。同年 4 月日立造船 (株) に入社。2004 年 9 月東京農工大学大学院生物システム応用科学研究所博士課程修了。2007 年 4 月東京工業大学ソリューション研究機構特任准教授, 現在に至る。博士 (工学)。主としてエネルギーシステムの評価に関する研究に従事。



伊藤 雅一 (正員) 1978 年 12 月 1 日生。2003 年 3 月東京農工大学大学院工学研究科電子情報工学専攻修士課程修了。2006 年 3 月同博士後期課程修了。在学中日本学術振興会特別研究員 DC1。同年 4 月東京工業大学ソリューション研究機構特任助教, 現在に至る。太陽光発電システム研究, メガソーラ研究, ライフサイクル評価研究に従事。



川崎 憲広 (正員) 1981 年 8 月 7 日生。2005 年 3 月, 東京農工大学大学院工学教育部博士前期課程修了。同年 4 月同博士後期課程入学, 2009 年 3 月卒業。同年 4 月東京工業大学統合研究院研究員。2010 年 4 月 (財) 電力中央研究所材料科学研究所エネルギー変換・貯蔵材料領域特別契約研究員。主に太陽光発電システムの研究に従事。博士 (工学)。日本太陽エネルギー学会会員。



宮崎 隆彦 (正員) 1973 年 1 月 28 日生。1995 年 10 月東京農工大学技官着任。2003 年 9 月英国ノッティンガム大学 MSc in Renewable Energy and Architecture 修了。2005 年 3 月東京農工大学において博士 (工学) の学位取得。同大学助手, 助教を経て, 2011 年 4 月九州大学准教授, 現在に至る。主として, 再生可能エネルギー及び排熱利用システムの研究に従事。



柏木 孝夫 (非会員) 1946 年生。1972 年東京工業大学大学院修士課程修了。1975 年東京工業大学博士課程進学。同大助教授を経て, 1988 年東京農工大学工学部教授。2000 年同大学大学院生物システム応用科学研究所教授。2007 年東京工業大学統合研究院教授, 現在に至る。工学博士。主として環境・エネルギーシステム工学, 冷凍空調調和, 応用熱工学に関する研究に従事。



国際学会

[2011年～2012年]

PERFORMANCE DEGRADATION ANALYSES OF DIFFERENT KINDS OF PV TECHNOLOGIES IN HOKUTO MEGA SOLAR PROJECT

Yuzuru UEDA¹, Yuki TSUNO², Mitsuru KUDO³, Hiroo KONISHI³ and Kosuke KUROKAWA¹

1. Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8552, Japan

2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Research Center for Photovoltaics, Central 2, 1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-8568, Japan

3. NTT FACILITIES, INC., Granparktower, 3-4-1 Shibaura, Minato-ku, Tokyo, 108-0023, Japan

ABSTRACT: “HOKUTO Mega-Solar Project” had been conducted by NEDO in Hokuto city, Japan from 2006 to 2011. Twenty four different kinds of PV modules are installed in the first phase of the demonstration. After the three years outdoor exposure, most modules and systems showed degradation of the performance. Annual degradation rates of the crystalline silicon technologies were around -1.2 [%/year] in average in the systems and around -1.0 [%/year] in the modules. Other thin film technologies showed larger degradation rate with the seasonal change of the peak powers.

Keywords: Degradation, System Performance, I-V measurement, c-Si, a-Si, CIGS

1 INTRODUCTION

The life-time energy yield is an essential for the PV power plant operation. Life time of PV systems usually assumed as more than twenty years. However, most of the latest PV technologies have not demonstrated its actual life-time in the field. Not only the energy production but also degradation rate of PV system is depending on the climate condition and thus the appropriate choice of the PV technology is an essential for the design of the PV power plant.

This paper describes the performance degradation analysis results of twenty four different PV technologies which were installed in the Hokuto testing site of the Japanese mega-solar project.

2 SYSTEM CONFIGURATIONS AND MEASUREMENTS

2.1 HOKUTO Mega-Solar Project

“HOKUTO Mega-Solar Project” had been conducted by NEDO in Hokuto city, Japan from 2006 to 2011. The main objectives of the project were the evaluation of the advanced PV technologies and development and demonstration of the grid stabilization technology for large scale PV systems. Approximately 2 MW of PV power plant was constructed in this project.

2.2 PV modules

Twenty four different kinds of PV modules are installed in the first phase of the demonstration. Single crystalline silicon (sc-Si) PV cells / modules, multi crystalline silicon (mc-Si) PV cells / modules, amorphous silicon (a-Si) PV modules, compound thin-film PV modules and spherical solar cells were selected from all over the world. The imported cells were encapsulated in Japan. Figure 1 shows the photo of the testing site and Table I summarizes the types and manufacturers of the installed PV modules.

2.3 10kW PV systems and I-V curve measurement

The typical array capacity and the inverter capacity of the systems are 10kW. Output of the system is measured every minute at both DC and AC side. Module temperatures are measured at the back side of the

modules using thermocouple sensor. The orientation is due south and the tilt angle is 30 degrees.

Each one module from the twenty four different types is also mounted on the outdoor I-V test bench. I-V curves of each module are measured for every 5 minutes.

Meteorological data such as irradiance and spectral distribution and the module temperature are measured every one minute.

2.4 Indoor STC measurement

The standard test condition (STC) outputs of each one sample for all the different PV modules are measured before and after the 26 months outdoor exposure by using solar simulator.

Initial measurements are performed before October 2008. Second measurements are conducted after two months of the outdoor exposure in December 2008 for sc-Si, a-Si and CIS1. The last measurements in January 2011 confirmed degradation rate of the modules. Four hours light soaking are performed before the measurement for CIS 1. No pre-conditioning is performed for other crystalline and thin film technologies.

3 EVALUATION METHODS

3.1 Performance ratio

Overall performance is evaluated using performance ratio (P.R). P.R is calculated by using equation (1).



Figure 1: Photo of the testing site

Table I: List of the installed modules (1st phase)

| Type | Manufacturer | Capacity [kW] | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|----|
| Single-crystalline silicon, sc-Si(HJ) | SHARP | 30 | |
| | SANYO | 30 | |
| | MOTECH (cell) | 10 | |
| | KPE (cell) | 10 | |
| | E-TON (cell) | 10 | |
| | Isofoton | 30 | |
| | GE | 30 | |
| | Sun Power | 50 | |
| Multi-crystalline silicon | SHARP | 30 | |
| | KYOCERA | 100 | |
| | Mitsubishi electric | 30 | |
| | Q-Cells (cell) | 10 | |
| | ErSol (cell) | 10 | |
| | Suntech | 30 | |
| | BP Solar | 10 | |
| | Day4Energy | 30 | |
| Spherical | SST | 20 | |
| | Amorphous silicon (single or tandem) | KANEKA (single) | 30 |
| | | KANEKA (tandem) | 10 |
| Mitsubishi Heavy Industries | | 10 | |
| Compound thin-film | Fuji Electric Systems | 10 | |
| | Showa Shell Solar | 30 | |
| | Honda Soltec | 3 | |

$$P.R = \frac{\sum P_{PV}}{P_{nom}} \cdot \frac{G_S}{\sum G_{Ag}} = \frac{E_{PV}}{P_{nom}} \cdot \frac{G_S}{H_{Ag}} \quad (1)$$

where P_{PV} [kW] is a measured AC output power, P_{nom} [kW] is a nominal power on the nameplate, G_S [kW/m²] is the STC sunlight, G_{Ag} [kW/m²] is a measured global irradiance at the PV modules' plane, E_{PV} [kWh] is an AC output energy during the evaluation period and H_{Ag} [kWh/m²] is a total global irradiation at the PV modules' plane. Sum of the nominal powers on the nameplates of the PV modules are used as the system rated power.

3.2 Loss analysis model of PV systems

PV cells and modules are rated under the STC, the light intensity of 1 [kW/m²] with an A.M 1.5G spectral distribution and 25 degrees Celsius of the cells/module temperature. However, the solar irradiance and the temperature are not always the same as this condition in the outdoor. Those are always changing and STC is rarely observed in most of the climate conditions. Thus the performance losses or gains occur due to the difference of the irradiance level, spectral distribution and temperature. Soil accumulation, degradation and efficiency drop or gain also occur in the real systems.

Figure 2 shows the photovoltaic energy conversion loss analysis model of PV systems in the outdoor. Performance losses or gains of the systems are quantitatively calculated using Sophisticated Verification (SV) method [1, 2]. The latest version of the SV method can separate the system performance loss into 13 loss factors which are;

1. Shading (s)
2. Effective array peak power (AP)

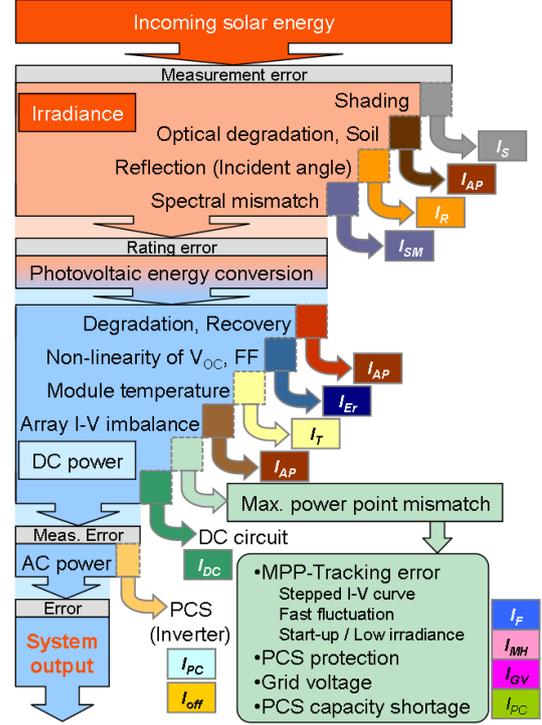


Figure 2: Photovoltaic energy conversion loss analysis model of PV systems

3. Reflection (R)
4. Spectral mismatch (SM)
5. Module temperature (T)
6. PCS capacity shortage (PS)
7. Grid voltage (GV)
8. Operating point mismatch (high voltage) (MH)
9. Fluctuation (F)
10. DC circuit (DC)
11. PCS (Inverter) (PC)
12. PCS Off / PCS Standby (off)
13. Miscellaneous loss and error (Er).

The impacts of the each loss factors can be described by using loss factors k_X . k_X are the ratio of the energy after the loss factor to the energy before the loss factor during the energy conversion. For example, if the input energy is 1.0 [kW/m²] and it becomes 0.9 [kW/m²] after the shading, shading loss factor k_S is 0.9. This means 10% of the energy is lost due to the shading so that the shading loss I_S is 0.1 [kW/m²] in this case.

P.R can be described as a multiplication of the loss factors (k_X) as shown in equation (2).

$$P.R = k_S \cdot k_{AP} \cdot k_R \cdot k_{SM} \cdot k_T \cdot k_{PS} \cdot k_{GV} \cdot k_{MH} \cdot k_F \cdot k_{Er} \cdot k_{DC} \cdot k_{PC} \cdot k_{PO} \quad (2)$$

3.3 Effective array peak power of PV systems

Effective array peak power is one of the unique loss factors in this analysis method. It is defined as the modal value of the ratio of the PV output per kW capacity to the irradiance which appeared most frequently in the clear and stable data-set during the evaluation period. The effects of rating error, degradation and recovery, I-V imbalance between the modules are included in this factor. All other effect from the other loss factors such as shading, temperature, PCS are excluded before the calculation of the effective array peak power.

4 RESULTS AND DISCUSSIONS

4.1 Performance ratios

Monthly performance ratios of the seven different PV systems from April 2008 to March 2011 are summarized in Figure 3. In general, annual performance ratios of the crystalline silicon technologies are around 84% but other thin film technologies varied. The CIS 1 showed best performance ratio among the systems whereas the CIS 2 showed similar performance ratio to the crystalline silicones. We have observed efficiency improvement aft

their products without any pre-conditioning. This gain has lasted for three years evaluation period but we saw some degradation too. It should be noted that these CIS 1 modules are not the mass product but the pilot product.

Performance ratios of the mc-Si, the sc-Si, the sc-Si(HJ) and the CIS 1 and 2 were higher in winter seasons and lower in summer seasons. Since the monthly average ambient temperature in the testing site during the winter is around 5 degC and that of the summer is around 30 degC, this seasonal change of the performance ratios is mainly due to the temperature effect.

The a-Si and the a-Si/ μ c-Si tandem showed reverse

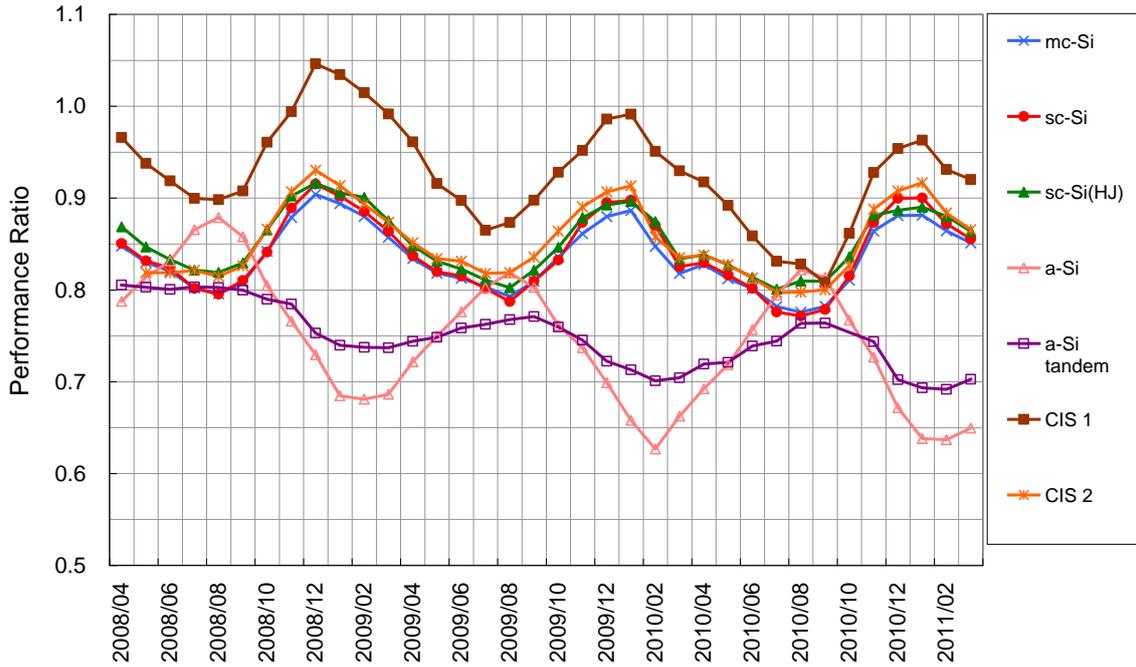


Figure 3: Performance ratios of seven different PV systems

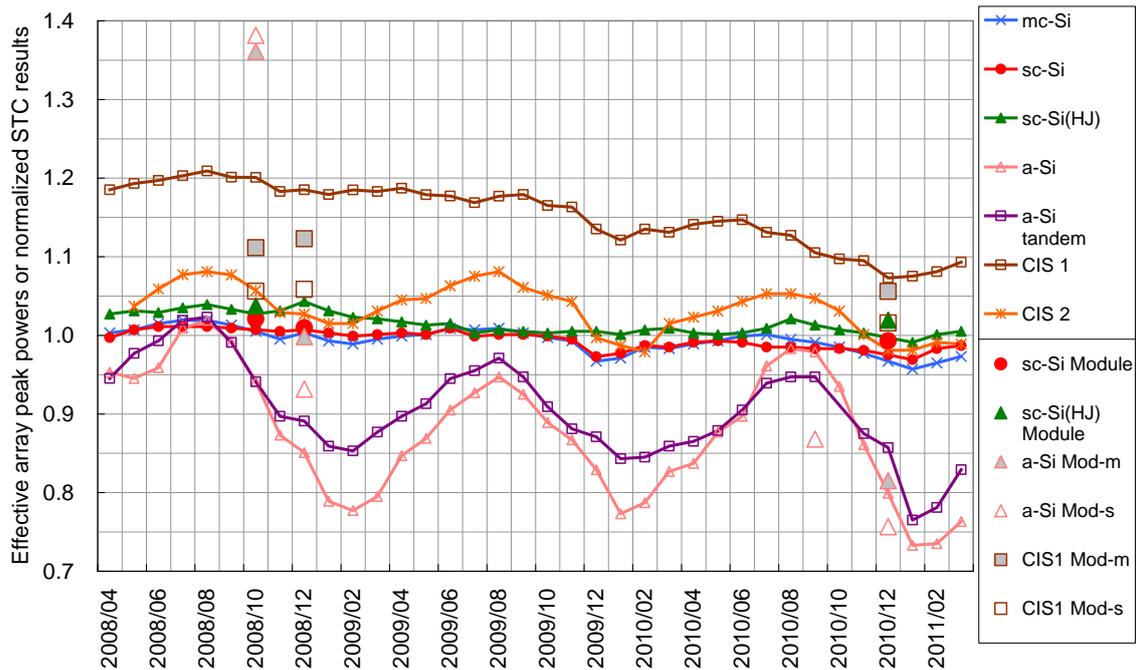


Figure 4: Monthly effective array peak powers (lines) of the seven different systems and normalized indoor STC measurement results (symbols) of the four different types of PV modules

degradation and annealing effect. As it is expected from the device structure, the seasonal change of the tandem was smaller than the single's. Due to the cold ambient temperature during winters in the testing site, performance ratios of the a-Si and the a-Si/ μ c-Si tandem relatively lower than the others.

4.2 Degradation rates

In addition to the seasonal changes of the performance ratios, degradations were also observed through the three years evaluation period. A drop in performance ratio was relatively larger in the a-Si, the a-Si/ μ c-Si tandem and the CIS 1 systems.

Figure 4 summarizes calculation results of the monthly effective array peak powers (lines) of the seven different systems and normalized indoor STC measurement results (symbols) of the four different types of modules. Two modules each were measured in a-Si and CIS 1. The Module-m are used for outdoor I-V measurement and the Module-s are installed within the 10kW systems.

All modules within the systems are installed before March 2008, thus most of the modules in the systems are already exposed to the sunlight for a few months. On the other hand, modules for outdoor I-V measurement are installed in October 2008 without pre-conditioning. As a result, more than 1.3 of the normalized STC outputs are measured in the a-Si and these dropped to less than 1.0 after two months of the outdoor exposure in December 2008. In contrast, the CIS 1 showed improvement of the efficiency after the two months from the beginning of the outdoor exposure. After the twenty-six months, all the modules showed degradation of the STC output without any visible damage.

Monthly effective array peak powers of the mc-Si, the sc-Si and the sc-Si(HJ) are relatively stable than the others. Values are fluctuated between 0.95 and 1.05 through the evaluation period. This means peak power of the crystalline silicon technologies are stable after excluding the effect of the other loss factors such as temperature, reflection and shading. Unlike this, all other thin film technologies showed seasonal changes of the effective array peak powers with relatively larger degradation rates. The a-Si and the a-Si/ μ c-Si tandem showed higher peaks during summer seasons, this is because of the annealing effects as mentioned before. The CIS 2 showed similar seasonal change whereas the CIS 1 showed smaller seasonal change with relatively larger degradation rate.

Annual degradation rate of each PV systems and those of single modules are summarized in Table II. Annual degradation rate of the systems are calculated using linear regression of the monthly effective array

Table II: Annual degradation rate

| Type | System [%/year] | Module [%/year] |
|-------------|-----------------|-----------------|
| mc-Si | -1.34 | |
| sc-Si | -1.15 | -1.26 |
| sc-Si(HJ) | -1.25 | -0.81 |
| a-Si | -3.99 | -9.39* |
| a-Si tandem | -4.27 | |
| CIS 1 | -4.30 | -1.77* |
| CIS 2 | -2.05 | |

*Final measurements performed in winter

peak powers. Those of the modules are calculated using the initial STC measurement results and the final STC measurement results except the a-Si and the a-Si/ μ c-Si tandem. These used the second measurement results as the initial data in order to exclude the initial degradation. It should be noted that the final STC measurements are performed in the winter thus the efficiency of the thin film technologies were lower at the time.

4.3 System inspection results

Annual degradation rates of effective array peak powers of 48 crystalline silicon PV systems are summarized in Figure 5. The mc-Si manufacturer X's two 10kW systems resulted -2.1 [%/year] and -1.6 [%/year] in the system A and B respectively. These systems have 9 series connected modules in the string and 5 strings in the array.

I-V curves of every string are measured in order to investigate the root cause of the larger degradation rates. Some combinations of the strings are also measured along with the single module's I-V curve which is mounted on the I-V test bench. Fill factors of the I-V curve measurement results are summarized in Table III. Strings 2, 3 and 4 in the system A and those of 1 and 2 in the system B have relatively lower fill factors. Infrared thermal images of the modules and arrays are taken in order to find out the hot spots or other malfunction. As a result, all strings mentioned here have module with hot spot within the string. Figure 6 shows an example of the hot spot. Highest temperature was more than 100 degC and cell was broken within the module.

Infrared thermal images of other systems are also taken in other day. Some of the modules have hot spots with relatively lower temperature (around 50 degC) than

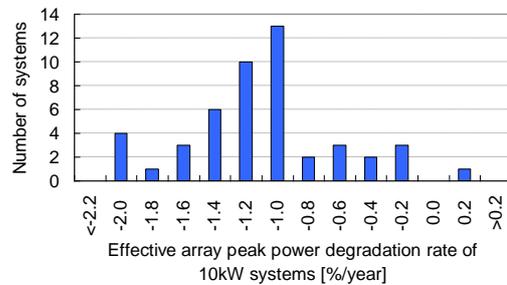


Figure 5: Summary of the annual degradation rate of effective array peak powers of 48 crystalline silicon PV systems

Table III: Summary of fill factors

| String # | SystemA | SystemB | Module |
|----------|---------|---------|--------|
| 1 | 0.690 | 0.659 | |
| 2 | 0.665 | 0.669 | |
| 3 | 0.658 | 0.685 | |
| 4 | 0.664 | 0.684 | |
| 5 | 0.691 | 0.686 | |
| 1,2 | 0.677 | | |
| 1,3 | 0.678 | | |
| 1,4 | 0.679 | | |
| 1,5 | 0.687 | | |
| 2,3 | 0.666 | | |
| 2,4 | 0.666 | | |
| 3,4 | 0.668 | 0.692 | |
| 2,3,4 | 0.668 | | |
| 3,4,5 | | 0.693 | |
| All | | | 0.707 |

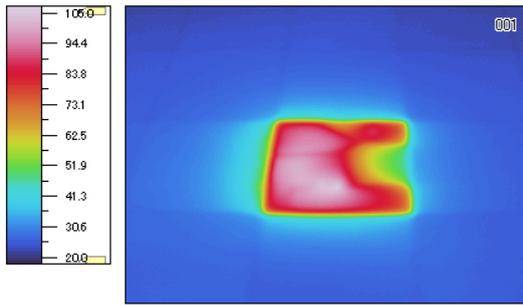


Figure 6: An Infrared thermal image and photo of the broken cell in the module

the module in Figure 6. No strong relationship between the number of the hot spots and the degradation rates of the systems are found.

5 CONCLUSION

Twenty four different kinds of PV modules were tested in this demonstration research project. After the three years outdoor exposure, most modules and systems showed degradation of the performance. Annual degradation rates of the crystalline silicon technologies were around -1.2 [%/year] in average in the systems and around -1.0 [%/year] in the modules. Other thin film technologies showed larger degradation rate with the seasonal change of the peak powers.

Hot spots were observed in some modules so that this is one of the reasons of the higher degradation rate of the systems. Further investigations are planned in order to maximize the lifetime energy yield of the PV systems.

ACKNOWLEDGMENTS:

This research is conducted under the financial support of the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO). Authors would like to acknowledge their support and cooperative discussions with the project members.

References:

- [1] Y Ueda, T Oozeki, K Kurokawa, T Itou, K Kitamura, Y Miyamoto, M Yokota, H Sugihara, "Quantitative Analysis Method of Output Loss due to Restriction for Grid-connected PV Systems" Electrical Engineering in Japan, Vol. 158, No. 2, pp9-19, 30 January 2007

- [2] Y Ueda, K Kurokawa, T Itou, K Kitamura, K Akanuma, M Yokota, H Sugihara, A Morimoto, "Advanced Analysis of Grid-connected PV system's Performance and Effect of Battery" Electrical Engineering in Japan, Vol. 164, No. 1, pp21-33, 15 July 2008



Fukuoka, 28 Nov– 2 Dec 2011

The 21st Photovoltaic Science and Engineering Conference

Quake, Tsunami and PV Systems



Prof. KOSUKE KUROKAWA

TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY

(AES International Research Center)

Chairperson, Japan Council for Renewable Energy



Huge TSUNAMI! *alas ...*



East Japan Earth Quake 9/11, Magnitude: 9.0



Fukushima Nuke's **DISASTER!** alas ...



Height of Tsunami: 15 m approx. and then



TSUNAMI destroyed NUKE!



The Most Severe Case on PV

Ogatsu Community Hall, Ishinomaki, Miyagi



(株)荏原電産殿提供



28 NOV - 3 DEC 2011

The Most Severe Case on PV

Ogatsu Community Hall, Ishinomaki, Miyagi



(株)荏原電産殿提供



The Most Severe Case on PV

Ogatsu Community Hall, Ishinomaki, Miyagi



SHARP 太陽電池モジュール
 型名: ND-S0L7H
 最大システム電圧: 600V、区分H
 別風圧性: 等級2.1.7
 公称質量: 17.0kg
 アレイの組立形式: 区分A
 モジュール適用等級: A
 製造番号: 107115801

公称最大出力 (P_m): 180.00W
 公称開放電圧 (V_{oc}): 29.50V
 公称短絡電流 (I_{sc}): 5.10A
 公称最大出力動作電圧 (V_{pm}): 24.20V
 公称最大出力動作電流 (I_{pm}): 7.44A
 過電流保護定値: 15A
 ※0V以上のアレイに絡込み使用可
 上記の電気的性質は基準状態での値を示す
 基準状態: 放射照度1000W/m²
 分光分布AM1.5、モジュール温度25℃

▲ 注意 ▲ 再生可能エネルギーマーク ▲ JET

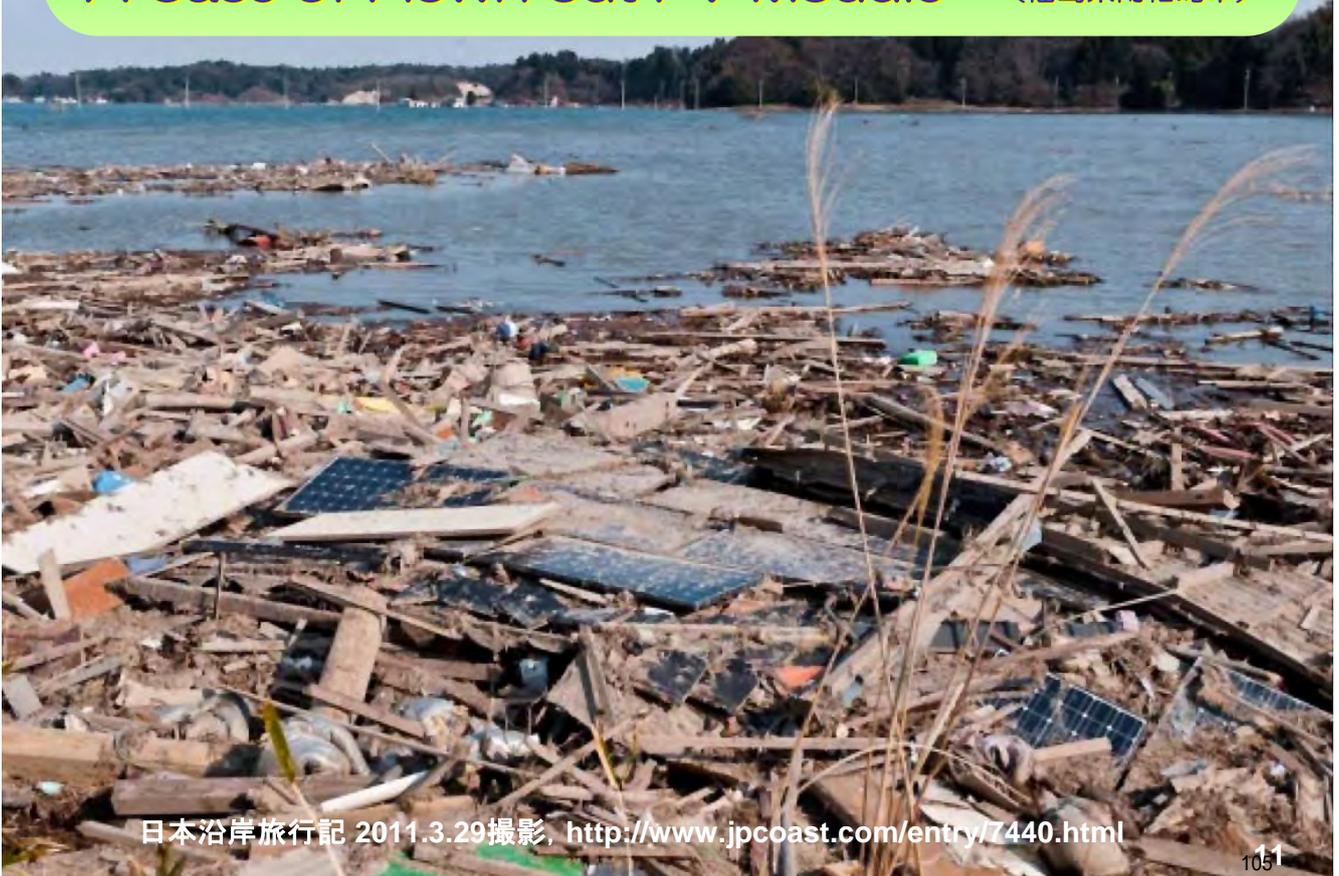
製造者名: シャープ株式会社



(株)荏原電産殿提供



A Case of Flown out PV Module (福島県南相馬市)



日本沿岸旅行記 2011.3.29撮影, <http://www.jpcoast.com/entry/7440.html>



TSUNAMI destroyed all but PV !?



Kadowaki, Ishinomaki, Miyagi Pref., 28 Mar 2011
Copyright (C) 2011Ibu-Jiji All Rights Reserved.



<http://ameblo.jp/ibuibu1684/entry-10843469850.html>



TSUNAMI destroyed all but PV !?



(セキスイハイム)

Kadowaki, Ishinomaki, Miyagi Pref., 28 Mar 2011
Copyright (C) 2011Ibu-Jiji All Rights Reserved.



<http://ameblo.jp/ibuibu1684/entry-10843469850.html> 石巻市門脇町周辺 2011.03.28



TSUNAMI destroyed all but PV !?



(セキスイハイム)

くの字に折れ曲がったJR仙石線の車両(宮城県東松島市) 2011.3.19

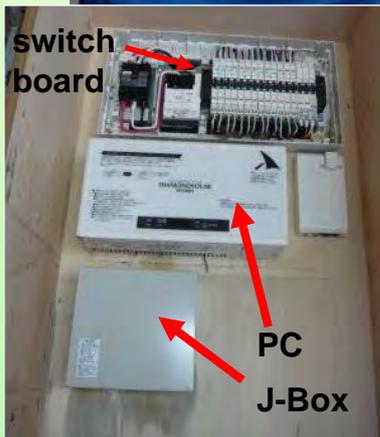
朝日新聞 <http://www.asahi.com/photonews/gallery/110317eq-1/11031904b.html>

Higasi-Matuyama, Miyagi, 19 Mar. 2011



Iwaki City, Fukushima Pref.

(Collaboration with PV-net)



switch board

PC J-Box

It looks all right, but ...



Carbonized inside of J-Box





Rikuzen-Takada and Miyako (Collaboration with PV-net)

“Pine Tree for Hope”



A house flown out with tough PV roof array!
(Courtesy by Associate Prof. Abe, Tokyo Tech)



1st floor damaged , but Rooftop PV array all right



Rikuzen-Takada, Iwate Pref.

Miyako, Iwate Pref.

16

kurochans-net



Ishinomaki and Kesen-numa, Miyagi Pref. (Collaboration with PV-net)



17

kurochans-net



Shinkansen damaged seriously!



Shinkansen damaged seriously!



ケンプラッツ, 2011.3.18

⊕ クリックで拡大

ラーメン高架橋柱の上部が破壊した東北新幹線の第1中曽根高架橋の端部橋柱。曲げせん断破壊とみられる (写真：高橋良和・京都大学防災研究所准教授)





Shinkansen damaged seriously *but PV!*



ケンプラッツ, 2011.3.18

第3岡島高架橋は耐震補強されていないが、躯体に損傷がなかった(写真:高橋良和・京都大学防災研究所准教授) 原典:ケンプラッツ, 2011.3.18



Iwaki City, Fukushima Pref. (PV-net)

Broken Roof Tiles!

No damage on PV array!

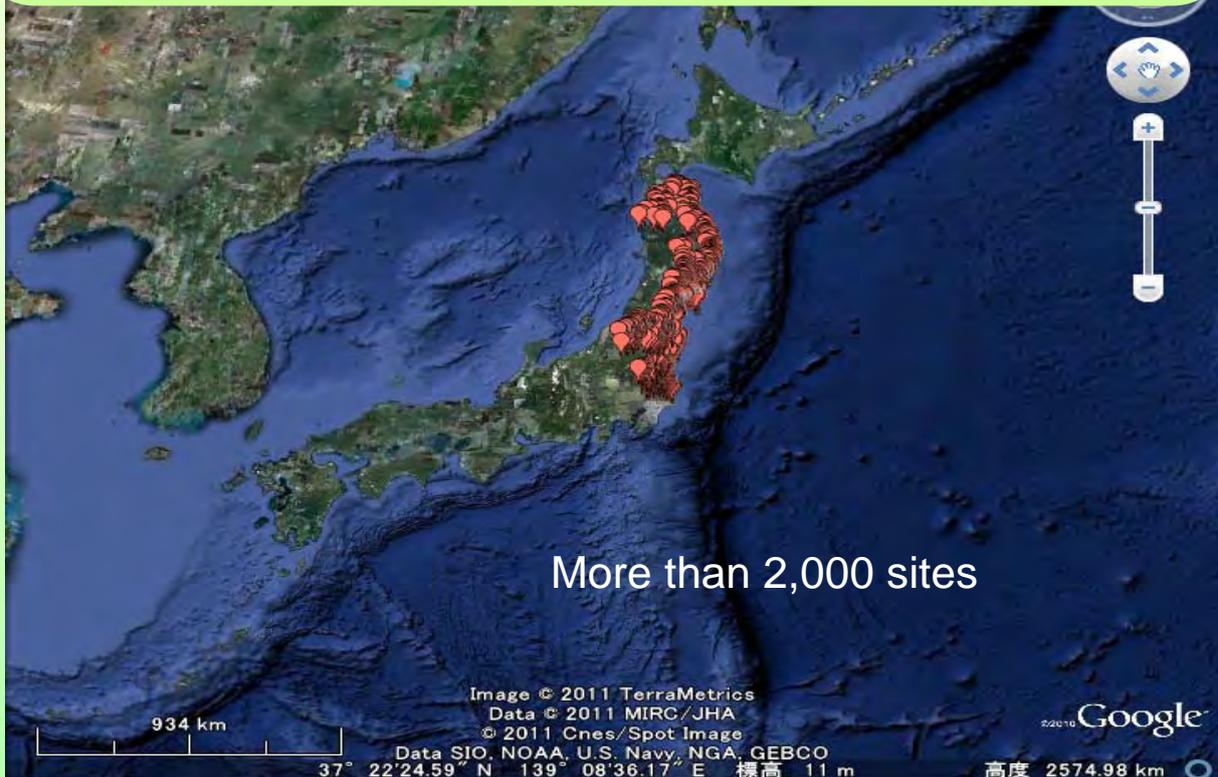


PV売電電力メーター
(東北電力のメーター
は取り外し済み)





Location of Evacuation Shelters



More than 2,000 sites

Image © 2011 TerraMetrics
Data © 2011 MIRC/JHA
© 2011 Cnes/Spot Image
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
37° 22'24.59" N 139° 08'36.17" E 標高 11 m

高度 2574.98 km
22°
kurochans-net



Useful "Emergency PV"

大船渡市の基石コミュニティセンターへ太陽光発電



<http://www.kahoku.co.jp/news/2011/04/20110405t35044.htm>



<http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20110405-00000008-maip-soci.view-000>

可搬式「リチウムイオン蓄電システム+太陽光発電」



<http://www.47news.jp/CN/201105/CN2011050301000487.html>



無償提供する移動型太陽光発電機を前に「自社技術が役立てば」と話す宮内会長(左)＝春日井市で

エムエムシー他
中日2011.4.7



23
kurochans-net



Useful "Emergency PV"

<http://www.asahi.com/shimbun/nie/kiji/kiji/20110425.html>



発電パネルを設置する東北大の土屋教授(左)ら。シートは丸めて運べる=3月28日、宮城県石巻市北上町、中山写す



避難所に設置された太陽光発電を使った浄水器=1日、宮城県南三陸町歌津の歌津中学校、橋本弦撮影

アフリカ仕様の太陽光発電浄水装置
造水能力：**500L/hour**
(エスイーバイオマステクノ社)



1kWフレキシブル太陽電池：
南極観測の経験を活かして

岩手県宮古市田老地区
Taro, Miyako, Iwate Pref.



津波注意!
Tsunami attention

津波浸水
想定区域



Evacuation Route Sign against Tsunami
Powered by PV module!



Case of Taro Town !

岩手県宮古市田老地区
Taro, Miyako, Iwate Pref.

Here, too!



(セキスイハイム)

<http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/const/news/20110331/546733/?SS=imgview&FD=1154182637>



Case of Taro Town - Reconstruction Plan

湾口都市モデル：田老地区の復興都市モデル全体計画図-1

伊澤委員長(日大):復興都市モデル研究グループ
<http://www.trpt.cst.nihon-u.ac.jp/DESIGN/cts/report0601.pdf>

- 防災機能の強化
 - 造成レベルに合わせた土地利用誘導
 - 避難安全レベルと防災ブリッジによる防災コリドール
 - 防災コリドールからアクセスする住宅
 - 避難拠点とコリドールをつなぐ防災ブリッジ
- 太陽光利用促進
 - 津波浸水区域に太陽光発電プラント
 - 太陽熱発電プラントモデル
 - 津波避難ビルや住宅のZEB化
- 地域の歴史の継承
 - 集落構造の継承(山の上の神社に向けた集落の軸線)
- 産業・観光による活性化
 - 防災ブリッジに連続する水産業・観光業の促進
 - 町と港をつなぐ観光拠点(シンボルタワーと丘)



岩手県宮古市田老地区
Taro, Miyako, Iwate Pref.



Case of Taro Town - Reconstruction Plan



Case of Watari Town, Miyagi Fishery Cooperative 2011.7.13



Case of Watari Town, Miyagi 2011.3.16



亶理町荒浜中野180付近

<http://shi.na.cocan.jp/tohokukantodaijisin-1.html>

Case of Watari Town, Miyagi

Watari Spa “Tori-no-umi” (2011.3.16)
All houses were flown out in this area, but PV!



<http://shi.na.cocan.jp/tohokukantodaijisin-1.html>

Case of Watari Town, Miyagi

Watari Spa "Tori-no-Umi" 30kW PV (2011.3.16)

大津波15m：宮城県亶理町荒浜の「わたり温泉鳥の海」内部・温泉原泉と30kW太陽光発電が被災； <http://www.youtube.com/watch?v=hj30gezCFI8> (合成：黒川)

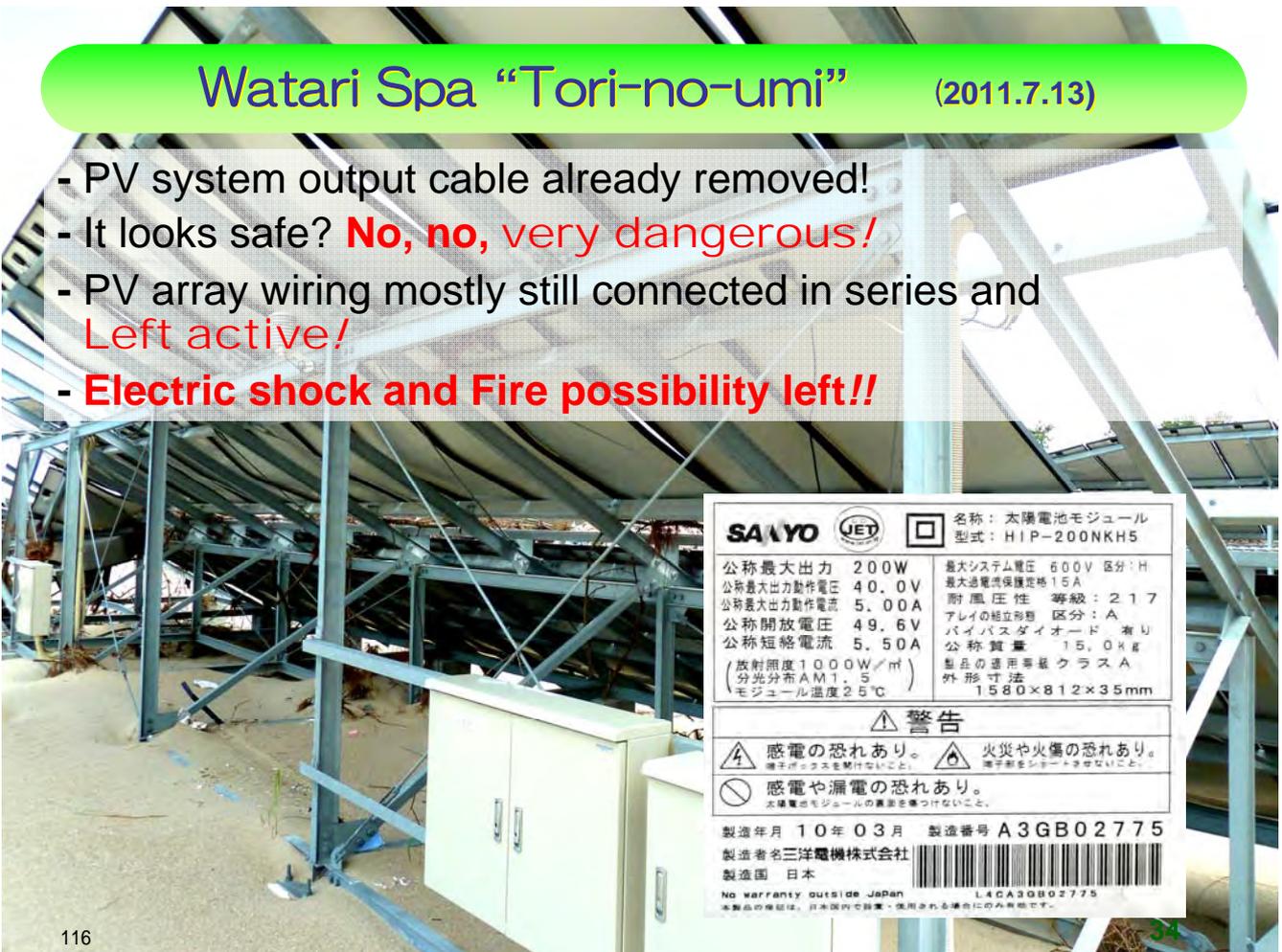


Do Not Touch!
Danger from
Electrical Shock and Fire

33

Watari Spa "Tori-no-umi" (2011.7.13)

- PV system output cable already removed!
- It looks safe? **No, no, very dangerous!**
- PV array wiring mostly still connected in series and **Left active!**
- **Electric shock and Fire possibility left!!**



| | |
|--|--------------------|
| SANYO (JET) <input type="checkbox"/> 名称：太陽電池モジュール 型式：HIP-200NKH5 | |
| 公称最大出力 200W | 最大システム電圧 600V 区分：H |
| 公称最大出力動作電圧 40.0V | 最大過電流保護定格 15A |
| 公称最大出力動作電流 5.00A | 耐風圧性 等級：217 |
| 公称開放電圧 49.6V | アレイの結立形態 区分：A |
| 公称短絡電流 5.50A | バイパスダイオード 有り |
| (放射照度 1000W/m ²) | 公称質量 15.0kg |
| (分光分布 AM1.5) | 接点の適用等価クラス A |
| モジュール温度 25°C | 外形寸法 1580×812×35mm |
| 警告 | |
| ⚠ 感電の恐れあり。 ⚠ 火災や火傷の恐れあり。 <small>端子ボックスを触らないこと。 端子箱をショートさせないこと。</small> | |
| ⚠ 感電や漏電の恐れあり。 <small>太陽電池モジュールの裏面を触つけないこと。</small> | |
| 製造年月 10年03月 製造番号 A3GB02775 製造者名 三洋電機株式会社 製造国 日本 | |
| No warranty outside Japan L4CA3GB02775 <small>本製品の保証は、日本国内で設置・使用される場合にのみ有効です。</small> | |

116

34

Case of Watari Town, Miyagi Fishery Cooperative 2011.7.13

A PV system: Useful
Emergency Power Supply



N: 38° 2'21.369 999 999 995 3
E140° 54'57.760 000 000 009 2

35

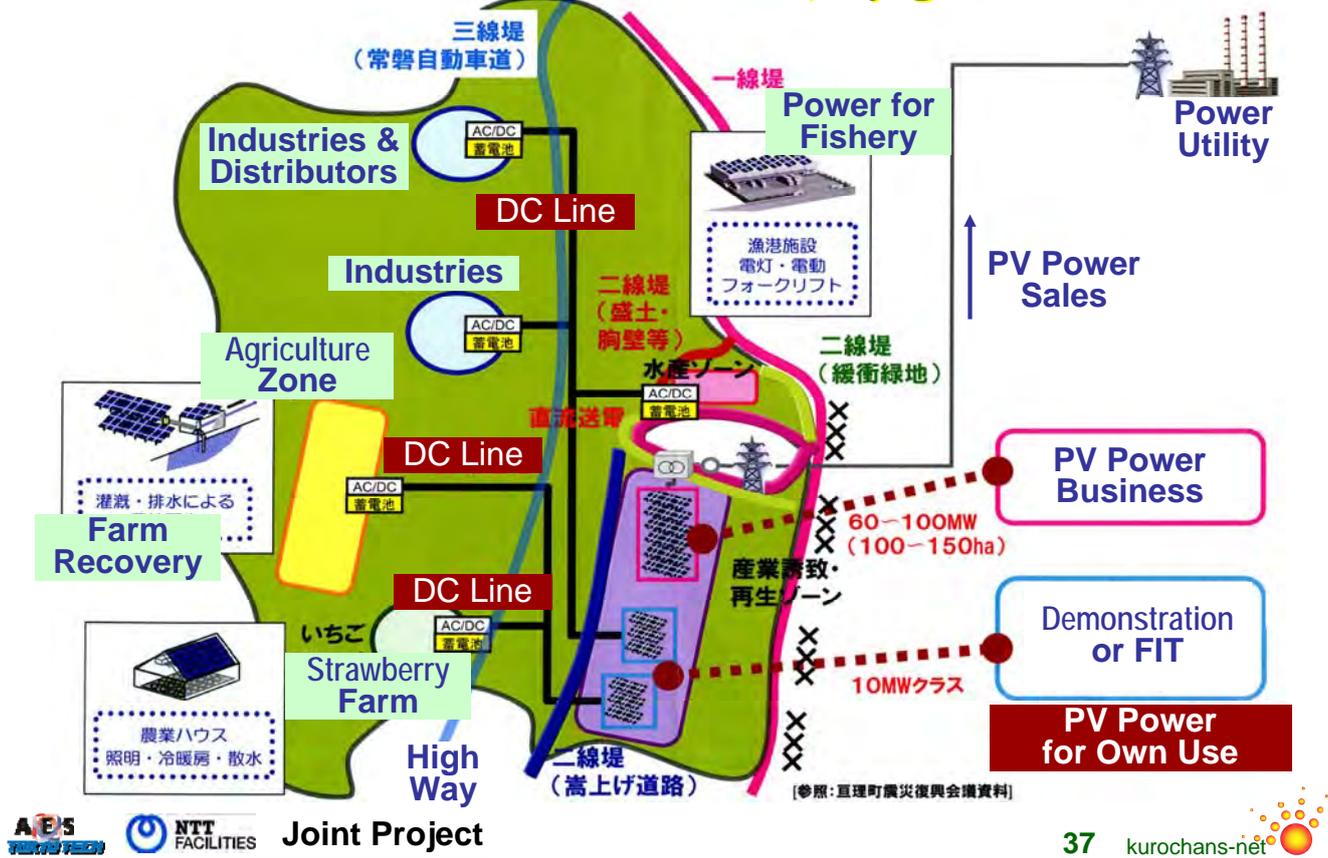
Case of Watari Town, Miyagi (2011.7.13)



36

An Example of Reconstruction Plan

Case of Watari-Town, Miyagi

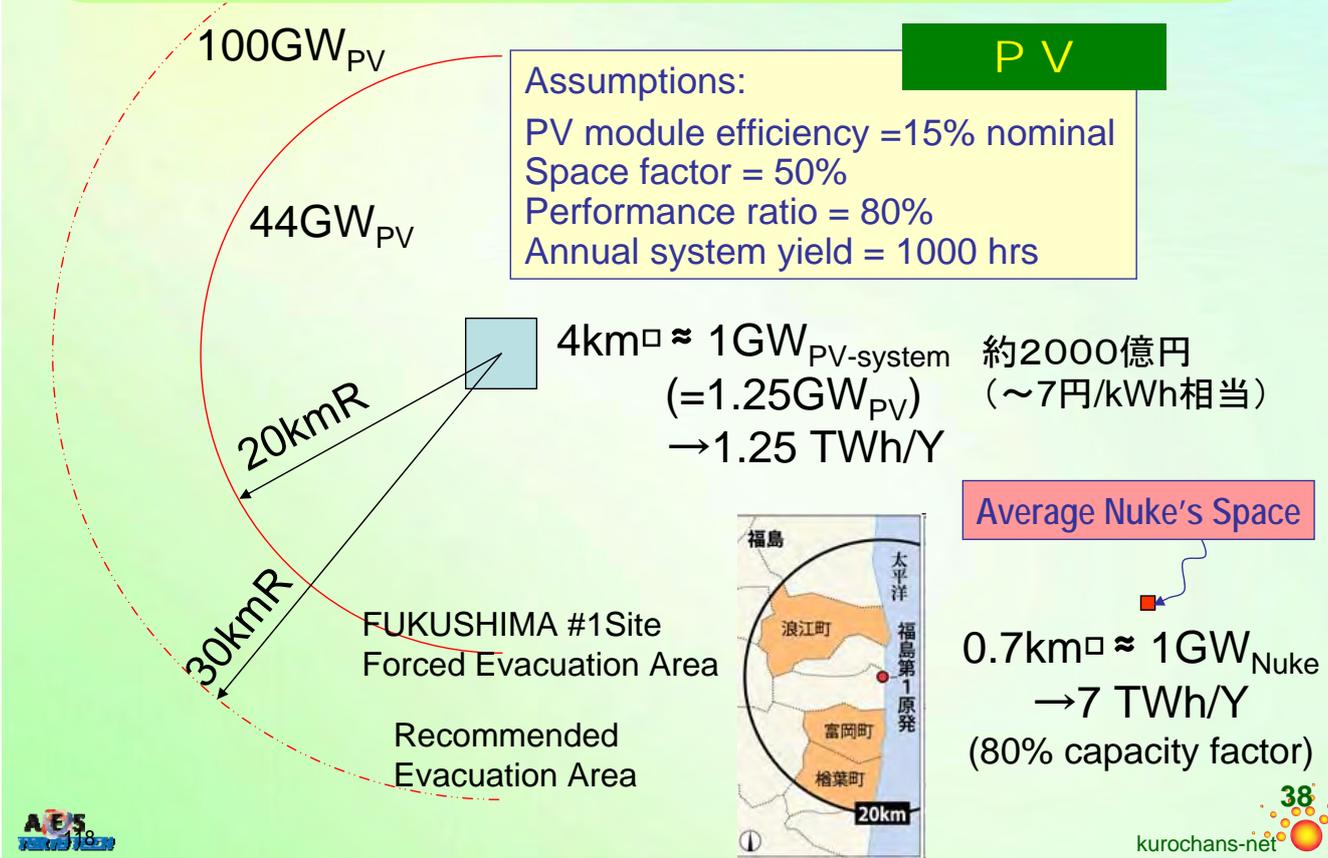


Joint Project

37 kurochans-net

28 NOV - 3 DEC 2011

Case Studies presented at IEC TC82 Shanghai, May 2011



38

kurochans-net



My Messages

PV for RECOVERY and RECONSTRUCTION

- 1 **Study on PV module and system durability against disaster: Rooftop PV Array is remarkably tough!**
- 2 **PV systems useful for disaster:** Stand-alone mode; PV system standard for potential disaster-shelters (emergency PV power source, battery for night operation, water purifier with PV, Disaster depot with PV panels); School PV standard with disaster functions.
- 3 **PV Introduction into Community Reconstruction Planning:** Close contacts **ongoing** with local government and community Planning specialist.
- 4 **Anti-Fire Prevention for PV Systems:** Firing limit study to know safety factor; tracking (electrical treeing) in JB or connector; DC arcing (blocking diode, fuse, switch, wiring, etc.), hot spot (module firing, bypass diode), **Fire Control Issues urgent for fire brigade.**

+ New FIT Law expected to make Mega-Solar realistic!!



Hokuto F Solar Research Park Project expecting for New FIT



↑ 北杜サイト
太陽光発電所



DEVELOPMENT OF THE ELECTRIC VEHICLE'S INFRASTRUCTURE SYSTEM FOR RENEWABLE ENERGY MAXIMIZATION AND LIFE CYCLE ASSESSMENT

Masakazu Ito¹, Norihiro Kawasaki², Takuya Oda¹, Takanori Isobe¹, Masahide Yamaguchi³, Shinya Yokoyama³, Yasuhiro Nakai⁴, Takehiro Hara⁴, Hiroyuki Noguchi⁵, Kosuke Kurokawa¹

1. Tokyo Institute of Technology, 2-12-1, Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, Japan
2. Central Research Institute of Electric Power Industry, Japan
3. GS Yuasa International Ltd., Japan, 4. Mitsubishi Corporation, Japan
5. LIXIL Housing Research Institute Ltd., Japan

ABSTRACT

An Electric Vehicle (EV) is clean and environmental friendly vehicle. However, its power source, electricity still contains CO₂ emissions from fossil fuel power plants. To reduce the fossil utilization, the authors established the Renewable Energy for Electric Vehicle (RE-EV) project. In this paper, two research topics are studied. One is a study of actual operation data to obtain the potential of the EV with PV electricity. Second is a statistical study to estimate CO₂ emissions for various kinds of driving patterns. In this paper, 6 driving patterns from statistical data and 1 actual data were studied by using Life-Cycle Assessment (LCA) approach to estimate CO₂ emissions. From the 1 year operation data, 70% of charging electricity was by PV from actual operation data. And the LCA analysis shows the PV charging station can reduce CO₂ emissions, especially long distance drive.

1. INTRODUCTION

The world is going toward a renewable energy (RE) society. However, if we cannot find a solution of RE's fluctuation, we will see a limit of RE capacity. One of the solutions is a battery. It can normalize RE's fluctuation, but, it is expensive. However, if the Electric Vehicle (EV) becomes popular, battery's price will decrease by mass production. And we may possible to use EV's batteries for stabilizing the fluctuation. Therefore, the EV is a key item for the renewable energy society.

2. THE RE-EV PROJECT

The Electric Vehicle (EV) is attracting people's attention, because it does not use gasoline or diesel, and does not emit exhaust gas. Therefore, the vehicle is actually a clean vehicle, and it is possible to reduce CO₂ emissions. However, it still uses non-sustainable energies. Therefore, we developed a project to make a solution of the global warming. Our project named RE-EV project was started in July 2008. Project members

are Mitsubishi Corporation, LIXIL Housing Research Institute, GS Yuasa International, and Tokyo Institute of Technology.

2.1 System configuration

System components of the project are a 2.6 kW photovoltaic system (PV), a 9 kWh battery, and a charging controller in Ookayama campus; and a model house with photovoltaic system in Katsushika. When the EV is charging in the Ookayama campus, electricity is from the PV. If their output is not enough, the battery supplies electricity. When the EV goes outside, the battery charges electricity from the PV. The model house can charge the EV by PV electricity too.



Figure 1 The RE-EV project's Electric Vehicle, i-MiEV, manufactured by Mitsubishi Motors Corporation

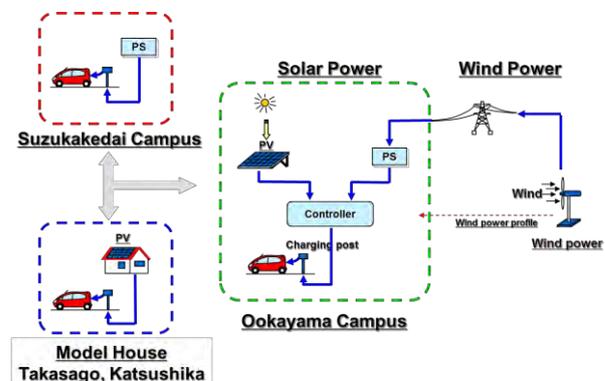


Figure 2 The equipment and installation places of the project

2.2 Measuring equipment

The EV has many measuring equipment, for example, GPS, speed, temperature, revolution, battery level, etc. We can use these data through a web site. In addition, we installed measuring equipment to correct irradiation, PV output, battery input-output, and EV input-output.

3. RESEARCH TOPICS

Research topics of the RE-EV project are (1) optimized charging, (2) a life-cycle analysis of RE-EV, (3) offset charging of renewable energy. (1) is a study on an optimization of charging depending on running pattern and equipment. (2) is a study to obtain how much the RE-EV system can reduce the CO₂ emission. (3) is a way to reduce the RE's fluctuation. In this paper, research topic of (2) is discussed.

4. OPERATION RESULT

The EV has been operated about 8000 km between October 2008 and February 2010. One year data from March 2009 to February 2010 was summarized. The installed 2.6kW PV system is smaller than average PV house. However, 75% electricity was not used by the EV but the electricity went to electric power company. And only 25% electricity is charged by EV. Figure 3 and 4 shows one year summary. From the figure 3, 75 % electricity went to grid, and others were charged. And from the figure 4, 21 % electricity charged by EV was from PV directly, and 47 % was through the external battery. 32 % was from grid.

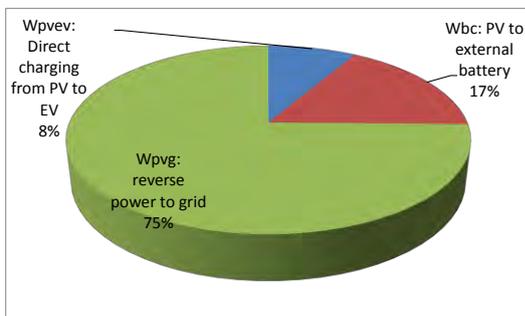


Figure 3 Percentage of the PV electricity usage

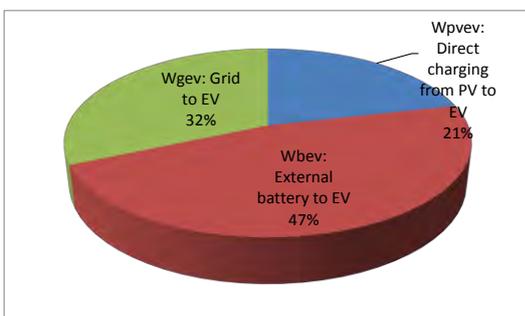


Figure 4 Percentage of electricity charged by EV

5. RESULT OF CO₂ EMISSIONS

By the LCA analysis, CO₂ emissions were estimated. Because there are many variety of driving pattern, we made 6 driving patterns, Pattern 1, 2, and 3 show short distances. Differences are place of PV (home or office) and charging timing (day or night). And pattern 4 and 5 show mid distances, 40 km and 70 km. Pattern 6 shows long distance, 200 km. This is not only by PV but also grid.

Figure 5 shows result of CO₂ emission. Red and green bar graphs show CO₂ emissions of EV powered by PV system with external battery. Red part is external battery and green part shows PV system. Purple bar graph shows EV powered by grid electricity. Blue bar graph shows CO₂ emissions of gasoline-powered vehicle. In the short distance group (1, 2, and 3), PV with battery and grid electricity were smaller than blue, but almost same. But in long distance PV with battery is smaller than grid. And both were much smaller than gas-powered vehicle.

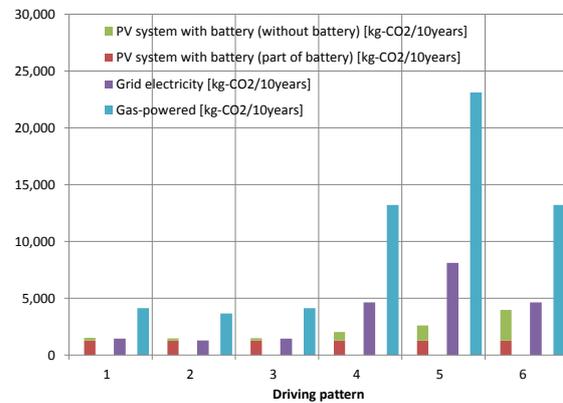


Figure 5 CO₂ emissions of the electric vehicle while operation. The results does not include car itself. The result of EV is better than others, even when the EV uses external battery.

6. SUMMARY

2.6 kW PV system with an external battery were installed to obtain how much CO₂ emissions can be reduced. By one year actual driving and charging experiments, 70% of charging electricity was by PV from actual operation data. And the CO₂ analysis shows the PV charging station can reduce CO₂ emissions, especially long distance drive. In addition, even if PV capacity is small, the EV could charge PV electricity a lot.

REFERENCES

- [1] Masakazu Ito, et.al., Development infrastructure system for Electric Vehicle with Renewable Energy, Journal of the Japan Institute of Power Electronics, The Japan Institute of Power Electronics, JIPE-36-17, Vol.36, May 2011 (Japanese)

国内学会

[2011年~2012年]

16

北杜メガソーラのライフサイクル評価

会員 ○ 伊藤雅一（東京工業大学）
 名倉将司（NTT ファシリティーズ）

工藤 満（NTT ファシリティーズ）
 会員 黒川浩助（東京工業大学）

Life Cycle Assessment of a Hokuto Mega-Solar System

Masakazu ITO*, Mitsuru KUDO**, Masashi NAGURA**, Kosuke KUROKAWA*

* Tokyo Institute of Technology
 2-12-1-I6-25, Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, Japan,
 Fax: +81-3-5734-3559, E-mail: ito@ssr.titech.ac.jp
 ** NTT Facilities, Inc.

ABSTRACT

A 2 MW mega-solar system has been installed in Hokuto, Yamanashi prefecture by NTT Facilities and Hokuto city funded by NEDO. To investigate environmental potentials of energy pay-back time and CO₂ emissions rate, the system was evaluated by using Life-cycle assessment (LCA). Boundary of the LCA is from mining till waste management. And system boundary is from PV module till transformer. The calculation was using actual AC output. Therefore, it is possible to avoid difficulties to calculate generation especially thin-films. As a result, 2.4 year of energy pay-back time and 45 g-CO₂/kWh were obtained.

キーワード：LCA, メガソーラ, エネルギーペイバックタイム, CO₂

Keyword: LCA, Mega-solar system, Energy pay-back time, CO₂

1. はじめに

本研究は、2006年から5年間にわたり実施された「大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究、北杜サイトにおける大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究」において「大規模PVシステムの環境貢献度（LCA）の評価」を担当し、大規模PVシステム建設が本当に環境問題解決につながるのか、また、どの程度なのかを明らかにするため、LCA（ライフサイクルアナリシス）手法による地球環境への影響を評価した。下に示すように、架台や太陽電池の比較、インバータの評価などを行ってきたが、今回はシステム全体を対象として評価したので報告する。

- 1) コンクリート架台と新型架台のLCA評価による比較（PVSEC-17にて報告¹⁾）
- 2) 400kWインバータのLCA評価
- 3) 第1期19種の太陽電池モジュールを用いたシステムのLCA評価（Progress in Photovoltaicsにて報告²⁾）

- 4) 第1期システム、第2期システムを合わせた全体のLCA評価（本報告）

2. LCA概要

2.1 ライフサイクルアセスメント

ライフサイクルアセスメントとは、製品のライフサイクル、すなわち、資源の採取、製造、使用、廃棄のすべての段階に渡って環境に与える影響を分析し、評価する手法である。Fig.1のようにLCAは5つの段階で構成されている。

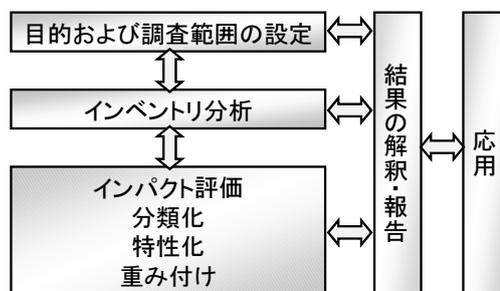


Fig.1 Scheme of LCA

2.2 目的及び範囲の設定

LCAは対象とする製品の直接的な影響だけでなく、間接的な影響までを含めて評価しようという思想の元に行っており、システム分析法の一つといえる。目的及び範囲の設定は、LCAの枠組みを決める基本となる段階である。範囲の設定においてそのライフサイクルが定義され、間接的な影響をどこまで追跡するかが決定される。この設定のためには目的がはっきりしていることが重要である。



Fig.2 A photo of the Hokuto Mega-Solar System

2.3 インベントリ分析

インベントリ分析は LCA の重要な過程である。ライフサイクルに渡って、どのような環境影響物質がどれだけ排出されているかを明らかにする。ライフサイクル中のプロセスを解明し、その関係を定量的に捉えるためのデータを収集する。これらをつつ追跡し、各プロセスにおける排出量を明らかにすれば、ライフサイクル全体の排出量を求めることが出来る。しかし、すべてに置いてのデータを収集することは困難であり、一部のプロセスを簡略化、若しくは省略することがある。したがって、分析に用いたデータの精度や、前提条件を把握した上で結果を解釈することが重要である。

2.4 インパクト評価

インパクト評価は分類化、特性化、重み付けの3段階に分けられる。分類化では各環境影響物質を環境負荷のカテゴリに振り分けられる。例えば、地球温暖化というカテゴリには CO₂ やメタンが振り分けられる。特性化では同じカテゴリ間に属する物質を統合する。重み付けでは異なるカテゴリを重み付けすることで統合化が試みられる。しかし、環境負荷を定量的に把握することは難しく、結果の解釈には注意が必要である。

3. 本研究の評価範囲と前提条件

3.1 本研究における評価範囲と手法

本 LCA 評価では、Fig.2 に示すように、原料の採掘から廃棄まで評価した。輸送も評価項目に加えている。

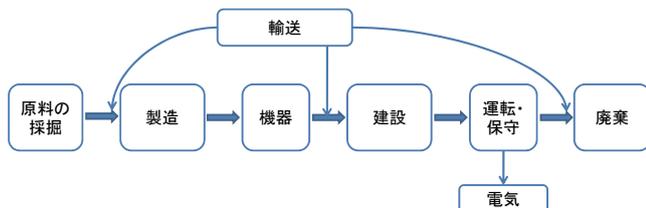


Fig.2 LCA boundary

また、本評価ではエネルギーと CO₂ に関する検討を行い、他の電源と比較できるように、エネルギーペイバックタイム (EPT) と二酸化炭素排出原単位を評価指標として利用する。

- エネルギーペイバックタイム(EPT : Energy Payback Time)

太陽光発電システムの LCA では、エネルギー採算性の指標として、エネルギーペイバックタイムを算出する。エネルギーペイバックタイムとは、太陽光発電システムのライフサイクルに投入されたエネルギー量をその発電電力で回収するに要する年数のことである。

エネルギーペイバックタイム(Year)

$$= \frac{\text{ライフサイクルにおける全エネルギー投入量 [kWh]}}{\text{年間回避可能一次エネルギー量 [kWh/year]}}$$

- 二酸化炭素排出原単位 (CO₂ 排出原単位)

CO₂ 排出原単位とは、太陽光発電システムの生涯発電電力単位量(kWh)あたりのライフサイクルにおける CO₂ 排出量のことを言う。この指標を用いて、様々な発電所が発電する際にどの程度 CO₂ を排出されるのかが分かる。

電力生産は、発電だけでなく燃料採掘、輸送、廃棄物処理、送配電などの一連の活動から成立しており、発電技術の環境負荷を評価する際には、発電時だけでなく電力生産に関わるライフサイクルに渡って評価することが適切である。

太陽光発電システムを構成するすべての物の製造による CO₂ 排出量を生涯発電電力で割り、kWh 当たりの CO₂ の排出量を求める。

CO₂ 排出原単位 (g - C/kWh)

$$= \frac{\text{ライフサイクルにおける全CO}_2\text{排出原単位 (g - C)}}{\text{年間発電電力 [kWh/year]} \times \text{耐用年数 [year]}}$$

3.2 発電量

本研究では Table 1 に示す実際の発電量を用いて評価を実施した。2008 年 4 月から 2009 年 3 月までのデータを対象とし、この時傾斜角 30 度の日射量は 1725 kWh/m² であった。寿命は 30 年を想定し、IEA/PVPS Task12 の LCA ガイドライン³⁾ に沿い、寿命後の発電量を 80%と想定してその平均を用いて計算した。

Table 1 AC output of each PV modules

| | 年間発電量 [kWh/kW] |
|---------------|----------------|
| A1:sc-Si | 1,412 |
| A2:a-Si/sc-Si | 1,397 |
| A3:sc-Si | 1,487 |
| A4:sc-Si | 1,319 |
| A5:sc-Si | 1,420 |
| A6:sc-Si | 1,428 |
| A7:sc-Si | 1,383 |
| B1:mc-Si | 1,338 |
| B2:mc-Si | 1,426 |
| B4:mc-Si | 1,419 |
| B5:mc-Si | 1,500 |
| B6:mc-Si | 1,451 |
| B7:mc-Si | 1,404 |
| B8:mc-Si | 1,440 |
| C1:a-Si | 1,295 |
| C2:c-Si/a-Si | 1,337 |
| C3:a-Si | 1,333 |
| D1:CIS | 1,538 |
| D2:CIS | 1,494 |

3.3 構成機器と LCA データ

Table 2 に本 LCA 評価で用いた機器と LCA データを示す。当初は発電データがまとまっていなかったため全国日射量平均値データマップ⁴⁾ を使用していた

が、現在までに 1 年分のデータを取得したので本報告では実際の発電量を用いて評価を行う。太陽電池モジュールの LCA データは NEDO 技術開発機構による成果報告書^{5, 6)}より引用し、同種の異なった太陽電池モジュールは面積あたりのエネルギー投入量、二酸化炭素排出原単位は同一とみて評価した。表 2 に示す太陽電池モジュールのうち、アモルファスシリコン型（単層）については 2008 年度の調査では実施されなかったため、2000 年に行われた資料⁶⁾のデータを用いた。また、インバータについては、第 1 期においては 3-10kW のインバータで設置されることから、3.5kW インバータの LCA データ⁷⁾を引用した。また、インバータは寿命を 15 年とし、1 回の交換を考慮した。その他の機器についてはそれぞれの素材重量から評価を行った。ただし、計測器については考慮していない。第 2 期については実際のケーブルの長さが考慮されている。

Table 2 Assumptions of LCA data

| | 文献上の効率 | エネルギー投入量 | CO ₂ 排出量 |
|----------------------------|--------|-------------------------|--|
| 太陽電池モジュール ⁵⁾ | | | |
| sc-Si | 14.3% | 3,986 MJ/m ² | 193.5 kg-CO ₂ /m ² |
| a-Si/sc-Si | 16.6% | 3,679 MJ/m ² | 178.0 kg-CO ₂ /m ² |
| mc-Si | 13.9% | 2,737 MJ/m ² | 135.2 kg-CO ₂ /m ² |
| a-Si ⁶⁾ (2000年) | - | 1,202 MJ/m ² | 54.3 kg-CO ₂ /m ² |
| a-Si/μc-Si | 8.6% | 1,210 MJ/m ² | 67.8 kg-CO ₂ /m ² |
| CIS | 10.1% | 1,105 MJ/m ² | 67.5 kg-CO ₂ /m ² |
| 10 kW インバータ ⁷⁾ | | 1.1 GJ/kW | 87 kg-CO ₂ /kW |
| ケーブル等 ⁸⁾ | | 1,310 GJ/600 kW | 78 t-CO ₂ /600 kW |
| 架台 ⁸⁾ | | 22.5 GJ/t | 1.91 t-CO ₂ /t |
| コンクリート基礎 ⁸⁾ | | 1.38 GJ/t | 205 kg-C/t |

3.4 廃棄

基礎は杭基礎を使用。廃棄の前提条件は、解体と輸送には建設と同じだけ労力がある物とする。中間処理で細かく碎き、最終処分場へ輸送。中間処理場まで 100km, 最終処分場まで 100km と想定。輸送は、太陽電池モジュール、インバータはトラック輸送で、地図で距離を算出。その他は輸送距離を 100km と想定。積載率は 50% とした。

廃棄に関連するデータベースは社団法人 産業環境管理協会, JEMAI-LCA Pro 用オプションデータパッ

ク 手引きと解説⁹⁾, 輸送に関するデータベース, J LCA-LCA データベース 2008 年度 4 版⁸⁾を参照した。

4. 評価結果

第 1 期, 第 2 期に設置されたシステムの評価を実施した。第 2 期の発電量は計測データがまとまっていないことから同じメーカーの第 1 期の結果を利用した。第 2 期の PCS の容量は 400kW であるが, 200kW の CIS には, 400kW PCS の半分のデータを利用した。評価は第 1 期システム 19 種+2 期システム (多結晶, HIT, CIS) を合わせた 1,453kW について評価した。また, 実際のデータからケーブル長も算出して計算に含めている。

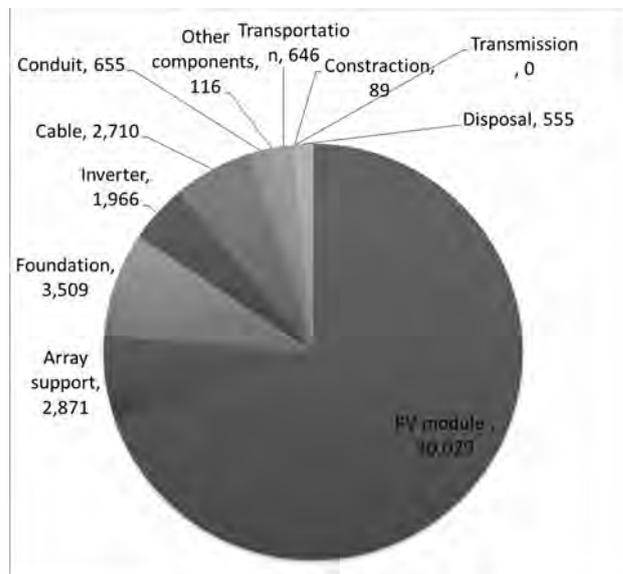


Fig.3 Energy consumption of 1st and 2nd PV system (GJ)

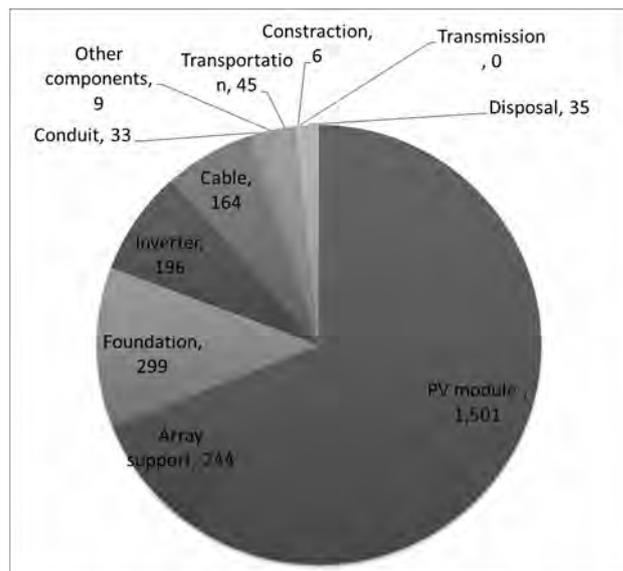


Fig.4 CO₂ emissions of 1st and 2nd system (t-CO₂)

エネルギー, CO₂ どちらも太陽電池モジュールが最も多い結果となり, 次いで杭基礎, 架台となった。発電量, 寿命を考慮すると, エネルギーペイバックタイムは 2.4 年, CO₂ 排出原単位は 45 g-CO₂/kWh と算出

された。寿命を 20 年とした場合は 68 g-CO₂/kWh となる。

また、Fig.5 では電力中央研究所¹⁰⁾により算出された二酸化炭素排出原単位と本研究の比較である。本研究で得られた二酸化炭素排出原単位は既存の火力発電と比較して大きく小さく、環境負荷低減の効果があると言える。

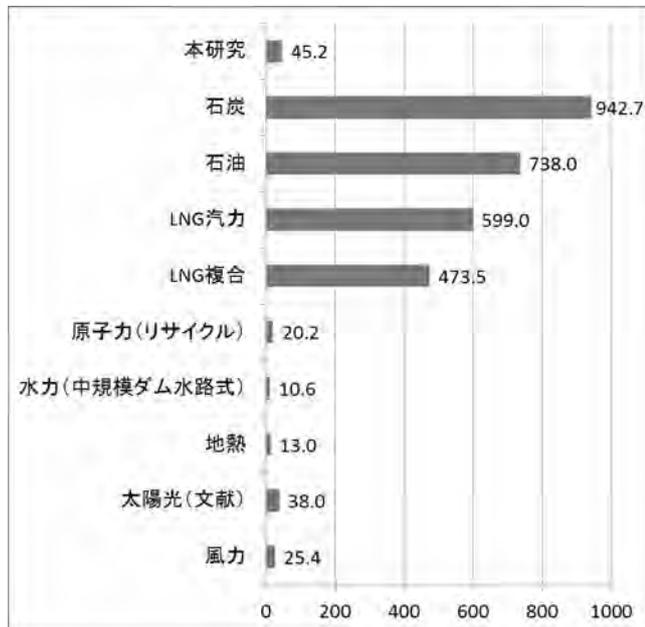


Fig.5 CO₂ emissions rate of power generation systems. This study and reference¹⁰⁾

5. まとめ

山梨県北杜市に設置された太陽光発電システムに対して LCA 評価を実施した。評価にはデータが揃う 1,453kW について評価しエネルギーと二酸化炭素の両面から評価を実施した。また、発電量は第 1 期システムの実測値を使用した。

結果、二酸化炭素排出原単位は 45 g-CO₂/kWh, エネルギーペイバックタイムは 2.4 年と算出され、環境負荷低減の効果があることが明らかとなった。

謝辞

本実証研究は NEDO 技術開発機構より多大なるサポートを受けた。心より謝辞の意を表す。

参考文献

- 1) M. Ito, M. Kudo, K. Kurokawa, A Preliminary Life-Cycle Analysis of A Mega-solar System in Japan, PVSEC-17, 6O-C9-01, Fukuoka, 12 月・2007 年
- 2) Masakazu Ito, Mitsuru Kudo, Masashi Nagura, Kosuke Kurokawa, A Comparative Study on Life-Cycle Analysis of 20 Different PV Modules Installed at a Hokuto Mega-Solar Plant, Progress in Photovoltaics: Research and Application, Wiley, Article first published online: 5 JAN 2011
- 3) Alsema E., Fraile D., Frischknecht R., Fthenakis V., Held M., Kim H.C., Pölz W., Rauei M., de Wild - Scholten M., 2009, Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, Subtask 20 "LCA", IEA-PVPS Task 12
- 4) 全国日射量平均値データマップ (MONSOLA05(801)), NEDO 技術開発機構ホームページより, <http://www.nedo.go.jp/library/index.html>
- 5) 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 新エネルギー技術開発 太陽光発電システム共通基盤技術研究開発, 太陽光発電のライフサイクル評価に関する調査研究, 平成 20 年度
- 6) 新エネルギー・産業技術総合開発機構, (ニューサンシャイン計画) 平成 12 年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書 太陽光発電システム実用化技術開発, 太陽光発電利用システム・周辺技術の開発, 「太陽光発電評価の調査研究」 ページ 40-44, (バーコード: 010019372) 年産規模 100MW を使用
- 7) 山田興一・小宮山宏, 太陽光発電工学, 2002.10.7, pp.174
- 8) J L C A - L C A データベース 2008 年度 4 版
- 9) 社団法人 産業環境管理協会, JEMAI-LCA Pro 用オプションデータパック 手引きと解説, 輸送に関するデータベース
- 10) 電力中央研究所, 日本の発電技術のライフサイクル CO₂ 排出量評価-2009 年に得られたデータを用いた再推計-, 平成 22 年 7 月

LCA 手法による 6 種の太陽電池を用いた 砂漠地域における大規模太陽光発電システムの環境影響評価

伊藤 雅一* 黒川 浩助 (東京工業大学)
河本 桂一 (みずほ情報総研)

LCA study on Very Large Scale PV systems (VLS-PV) with 6 types of PV modules for desert regions
Masakazu Ito*, Kosuke Kurokawa (Tokyo Institute of Technology)
Keiichi Komoto, (Mizuho Information & Research Institute)

VLS-PV Systems were assumed to be installed in desert region, and energy pay-back time and CO₂ emissions rate were calculated by LCA approach. As a result, less than 3 years operation will generate more energy than all consumed energy while its life-cycle. And CO₂ emissions rate was just 7 to 15% of other conventional fired power plants.

キーワード：太陽光発電システム, LCA 評価, 砂漠, 環境影響評価
(Photovoltaic system, LCA, Desert, Environmental Assessment)

1. はじめに

IEA/PVPS (国際エネルギー機関/太陽光発電システム研究協力実施協定) における Task8 (大規模太陽光発電に関する調査研究) では、砂漠地域における太陽光発電システムの利用可能性について議論を深めている。1999 年に発足した Task8 は 3 冊の成果報告書⁽¹⁾⁻⁽³⁾を James & James 社, Earthscan 社から商業出版し、普及活動に努めている。

Task8 の研究は多岐にわたり、ここで述べる環境影響評価のほか、コストは金融の専門家、設計は構造の専門家、脱塩や緑化、水利用についてもそれぞれの分野の専門家が集まり、知識を集約してその可能性について議論している。

本論文では大規模太陽光発電システムを砂漠地域へ設置した際の可能性を環境影響の面から、LCA 手法を用いて評価する。現在までに基礎的な調査⁽⁴⁾、4 種のモジュールを用いた比較検討⁽⁵⁾、6 種のモジュールを用いた比較検討⁽⁶⁾などを実施してきた。ここでは、CdTe 太陽電池の新しいデータが得られたのでこれを含めて報告する。

2. 評価手法

評価手法には LCA (ライフサイクルアナリシス) による積み上げ法を用いる。この手法ではシステムを構成する機器に対して原料の採掘から廃棄までのライフサイクルを通して使用された素材や原料、また排出物を算出し、環境への影響を評価する手法である。ここでは温暖化の指標とな

る CO₂ 排出原単位のほか、エネルギーについても評価してエネルギー収支 (EPT: Energy Pay-back Time) を算出する。それぞれ、次の式を用いて算出した。

$$EPT(\text{Year}) = \frac{\text{ライフサイクルにおける全エネルギー投入量 [kWh]} \dots \dots \dots (2)}{\text{年間発電電力量 [kWh/year]}}$$

$$CO_2 \text{ 排出原単位 (g-CO}_2\text{/kWh)} = \frac{\text{ライフサイクルにおけるCO}_2\text{排出量 [g-CO}_2\text{]} \dots \dots \dots (3)}{\text{年間発電電力量 [kWh/year]} \times \text{耐用年数 [year]}}$$

3. 前提条件

100km の送電などを考慮し、システムの効果的な規模として本研究では 1GW の大規模太陽光発電システムを想定した。また、設置場所には日本から最も近いゴビ砂漠 (中国側) への設置を想定した。架台や基礎は中国で調達し、太陽電池モジュールやインバータ、ケーブルについては LCA データ収集の問題もあることから日本で製造して輸送と想定した。また、ここでは IEA/PVPS Task12 (太陽光発電の環境性と安全性に関する調査研究) でまとめている LCA ガイドライン⁽⁷⁾に沿って評価を行う。また、砂漠地域は日射量が多いことがメリットであるから、データベース⁽⁸⁾による日射量も用いて評価を行う。

〈3・1〉 LCA ガイドライン概要 Task12 で進められている太陽光発電向け LCA ガイドラインの概要を下に示す。これは、様々な LCA の結果が発表される中、条件を揃

えて比較できるよう、作成された。

(1) 寿命：モジュールは30年。インバータは住宅用15年、大規模向けは10年に一度10%のパーツの交換を行い、寿命は30年。ケーブルは30年。

(2) 架台：屋根置き・ファサードは30年、地上設置金属架台は30年～60年。感度分析があると良い。

(3) 日射量：地域と方位によって異なる。実際のデータがある場合はそれを使う。ない場合は近い場所の商用利用の平均と最大値を利用。

(4) パフォーマンスレシオ (PR)：屋根置きは0.75、地上設置は0.80。既に設置されている場合はその値を利用する。

(5) 劣化：30年後を初期値の80%とし、線形で劣化するとする。集光についても追加予定。Photon Internationalのデータベースに記載されているモジュール出力保証値も参考になる。

以上を踏まえ、本評価でも同様の条件を用いた。インバータの寿命は大規模向けの数字を用いた。パフォーマンスレシオについてはモジュール別の特性を出すために温度特性を考慮して算出した。ゴビ砂漠のケースでは平均気温が低いためほぼ同じ数字となり、0.74である。LCAの評価範囲は図1に示すように原料の採掘から廃棄までを考慮した。

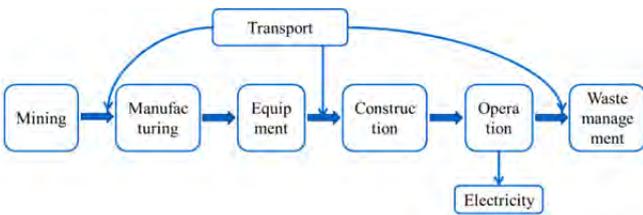


図1 LCAの評価範囲
Fig.1 Boundary of LCA

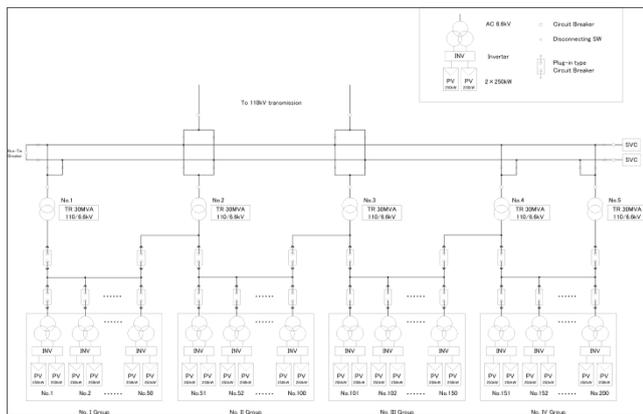


図2 想定回路図 (100MW)
Fig. 2 Thematic circuit diagram of 100 MW VLS-PV

〈3・2〉 設置想定場所 ゴビ砂漠で日射データなどのある中国フフホト市を設置場所に想定した。平均気温は5.8℃、水平面日射量は1702kWh/年であり、これから傾斜

角30度での2017kWh/年を算出し、これを利用する。

〈3・3〉 システム構成 システムは図2に示すように250kWユニットを二つで500kWユニットとする。また、500kWユニットが50セットで25MWユニットとし、それを4セット構成することで100MWの大規模太陽光発電システムとする。500kW毎にインバータキュービクルを設置、25MW毎に6.6kV GIS、110kV/6.6kV変圧器、110kV GISを設置する。このシステムを10基設置して1GWとする。

〈3・4〉 輸送 モジュール、インバータ、ケーブル、その他共通機器は日本から海上輸送にて中国へ輸送し(1000km)、アレイ架台、基礎、送電鉄塔、トラフは中国で生産を行い、合わせて陸上輸送にて現地へ運び(600km)、建設を行い、運営・保守へと移る。

〈3・5〉 運営・保守 100MW当たり9人の整備士を配備し、3シフト制で運営・保守を行う。

〈3・6〉 廃棄 ここでは現状技術をベースとしてリサイクルは想定せず、中間処理を行った後に埋立として評価する。このとき中間処理場まで300km、埋め立て地まで300kmの輸送距離を想定した。

4. LCA データ

表1は太陽電池モジュールのモジュール面積当たりのLCAデータである。単結晶シリコン、ヘテロ結合型、多結晶、タンデム型シリコン、CISはNEDO技術開発機構による報告書⁽⁹⁾から引用した。それぞれ、日本での生産を想定したデータである。CdTeについてはスイスのデータベースEcoinvent v2.2⁽¹⁰⁾を引用してIPCC2007 (GWP100年)により特性化を行って算出した。このデータは米国とドイツの生産割合を考慮して作成されたデータベースが元になる。実際には米国、またはドイツからの輸送が必要となるが、ここでは比較のため同データを用いて日本からの輸送を想定した。

表1. 太陽電池モジュールのLCAデータ

Table 1. Assumptions regarding PV module LCA data

| | Module efficiency in reference | Energy requirement [MJ/m ²] | CO ₂ emissions [kg-CO ₂ -eq/m ²] |
|---------------------------|--------------------------------|---|--|
| sc-Si ⁽⁹⁾ | 14.3% | 3,986 | 193.5 |
| a-Si/sc-Si ⁽⁹⁾ | 16.6% | 3,679 | 178.0 |
| mc-Si ⁽⁹⁾ | 13.9% | 2,737 | 135.2 |
| a-Si/μc-Si ⁽⁹⁾ | 8.6% | 1,210 | 67.8 |
| CIS ⁽⁹⁾ | 10.1% | 1,105 | 67.5 |
| CdTe ⁽¹⁰⁾ | 10.9% | 1083 | 60 |

表2は共通機器のLCAデータである。中国で生産する亜鉛めっき鋼、コンクリートはいずれもNEDO技術開発機構による新エネルギー海外情報⁽¹¹⁾に記載されたエネルギー消費量を用い、日本のエネルギー消費量とCO₂排出量の比からCO₂排出量を算出した。アルミニウムほかは富士総研によるLCA共通データ集⁽¹²⁾を利用してデータを作成した。500kWインバータはその構成部材からこれらのデータを用

いて算出し、ケーブルはその素材構成を求めた後に算出した。

表 2. 共通機器の LCA データ

Table 2. Assumptions regarding equipment LCA data

| | Energy requirement | CO ₂ emissions |
|--------------------------------------|-----------------------|--|
| Galvanized steel ⁽¹¹⁾ | 53 GJ/t | 4.8 t-CO ₂ /t |
| Ready-mixed concrete ⁽¹¹⁾ | 1.8 GJ/m ³ | 342 kg-CO ₂ /m ² |
| Aluminium ⁽¹²⁾ | 227 GJ/t | 7.81 t-CO ₂ /t |
| Copper ⁽¹²⁾ | 46.5 GJ/t | 2.83 t-CO ₂ /t |
| HDPE ⁽¹²⁾ | 15.8 GJ/t | 0.97 t-CO ₂ /t |
| PVC ⁽¹²⁾ | 29.4 GJ/t | 1.37 t-CO ₂ /t |
| Epoxy resin ⁽¹²⁾ | 40.5 GJ/t | 2.76 t-CO ₂ /t |
| FRP ⁽¹²⁾ | 81.6 GJ/t | 10.05 t-CO ₂ /t |
| Ceramics ⁽¹²⁾ | 0.8 GJ/t | 0.07 t-CO ₂ /t |
| 500 kW inverter | 0.57 GJ/kW | 43 kg-CO ₂ /kW |

亜鉛めっき鋼, 生コンは中国での生産を想定したデータ。ほかは日本を想定。

5. システム設計

上述の条件から大規模太陽光発電システムの設計を行った。

〈5・1〉 架台・基礎の設計 架台は日本建築学会鋼構造設計基準に準じ、亜鉛メッキ鋼(SS400)を用い、風速 42m/s に耐えるよう設計された。また、北側に設置されたモジュールに影がかからないよう、適切な間隔をおく。傾斜角は 30 度とした。

基礎は電気学会 電気規格調査会標準規格の送電用支持物設計基準に準拠し、強度 240kg/cm² コンクリートとなるよう設計し、同様に風速 42m/s に耐える直方体を設計した。

〈5・2〉 ケーブル ケーブルは配線ミスが起きないようにシンプルかつ最小経路を通るように配線した。また、ケーブルの線種は電圧降下が 4%以内(日本工業規格)となるように選択した。

〈5・3〉 送電 送電設備は 100km、6 回線、110kV 送電、標準経間は 300m とし、送電塔は架台同様 42m/s の風速に耐えるよう設計を行った。また、太陽光発電システムの特徴である日中のピーク、季節のピークを考慮した送電損失を含めている⁽¹³⁾。

6. 評価結果

上述の条件から大規模太陽光発電システムの設計を行い、LCA 評価を実施した。

図 3、図 4 にライフサイクルにおけるエネルギー投入量、二酸化炭素排出量を示す。どちらも 1MW あたりで記載している。結果、エネルギー投入量では CdTe モジュールが最も少なく、二酸化炭素排出量では多結晶シリコンモジュールが最も少なくなった。また、図 5 に示すエネルギーペイバックタイムでは CdTe モジュールが 2.0 年と最も少なく、

次いで CIS、多結晶モジュールであった。二酸化炭素排出原単位では、多結晶シリコンモジュールが最も少なく、次いでヘテロ結合モジュール、CdTe モジュールであった。いずれも、電力中央研究所による報告⁽¹⁴⁾によれば、化石燃料による発電では石炭火力で 943、石油火力で 738、LNG 火力で 599 または 474g-CO₂/kWh であるから、大きく少ないことが分かる。

一方、薄膜系は架台に必要とするエネルギー、二酸化炭素排出量が多いが、日本の LCA ソフトウェアである MiLCA に搭載されたデータベース⁽¹⁵⁾では約半分であることから、導入する部材を選ぶことにより投入エネルギー、二酸化炭素排出量を減らせる可能性はある。

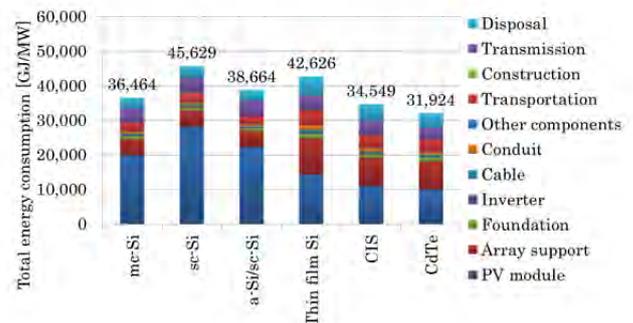


図 3 ライフサイクルにおけるエネルギー投入量

Fig.3 Total energy consumption throughout its life-cycle

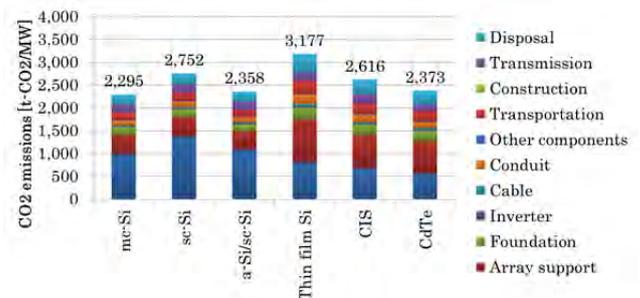


図 4 ライフサイクルにおける二酸化炭素排出量

Fig.4 Total CO₂ emissions throughout its life-cycle

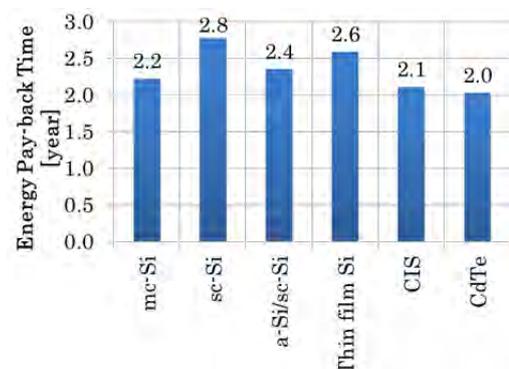


図 5 エネルギーペイバックタイム

Fig.5 Energy pay-back time

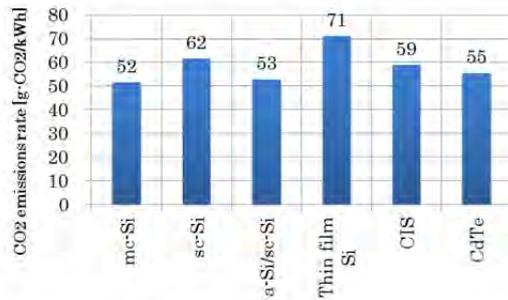


図 6 二酸化炭素排出原単位

Fig.6 CO₂ emissions rate

寿命 30 年, 日射量 2017kWh/年, PR0.74 (劣化考慮)

7. まとめ

砂漠地域へ大規模太陽光発電システムの設置を想定し、LCA 評価を実施してエネルギー収支、二酸化炭素排出量を算出した。ここでは 6 種の太陽電池を想定して評価を行った。CdTe 太陽電池のデータについては最新のデータに更新した。結果、全ての太陽電池で 3 年以下の発電により全ての投入エネルギーを回収でき、二酸化排出原単位は 70 g-CO₂/kWh 以下と算出された。これは既存の火力発電と比較して 15~7%の排出量である。

文 献

- (1) K.Kurokawa: Energy from the Desert: Feasibility of Very Large Scale Power Generation (VLS-PV) Systems, James and James (2003)
- (2) Kosuke Kurokawa, Keiichi Komoto, Peter van der Vleuten, David Faiman: Energy from the Desert: Practical Proposals for Very Large Scale Photovoltaic Systems, Earthscan (2006)
- (3) Keiichi Komoto, Masakazu Ito, Peter Van Der Vleuten, David

- Faiman, Kosuke Kurokawa: Energy from the Desert: Very Large Scale Photovoltaic Systems: Socio-economic, Financial, Technical and Environmental Aspects, Earthscan (2009)
- (4) M. Ito, K. Kato, H. Sugihara, T. Kichimi, J. Song, K.Kurokawa: "A preliminary study on potential for very large-scale photovoltaic power generation (VLS-PV) system in the Gobi desert from economic and environmental viewpoints", Solar Energy Materials & Solar Cells 75, 507-517 pp (2003)
- (5) Masakazu Ito, Kazuhiko Kato, Keiichi Komoto, Tetsuo Kichimi, Kosuke Kurokawa: "A Comparative Study on Cost and Life-Cycle Analysis for 100 MW Very Large-Scale PV (VLS-PV) Systems in Deserts Using m-Si, a-Si, CdTe and CIS modules", Progress in Photovoltaics: Research and Application Wiley, Vol.16, Issue 1 pp 17-30 (2008)
- (6) Masakazu Ito, Keiichi Komoto, Kosuke Kurokawa: "Life Cycle Analysis of Very-Large Scale PV Systems using Six Types of PV Modules", Current Applied Physics - Special Issue, Elsevier Volume 10, Issue 2, Supplement 1, pp S271-S273 (2010)
- (7) Alsema E., Fraile D., Frischknecht R., Fthenakis V., Held M., Kim H.C., Pözl W., Raugel M., de Wild Scholten M., 2009, Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, Subtask 20 "LCA", IEA PVPS Task 12
- (8) 日本気象協会：太陽光発電システムの研究開発利用システムに関する調査研究、平成 3 年度 NEDO 成果報告書
- (9) NEDO, Research and development of fabrication technologies for Life-Cycle Assessment of PV systems (2009)
新エネルギー技術開発機構：「新エネルギー技術研究開発 太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 太陽光発電のライフサイクル評価に関する調査研究」(2009)
- (10) Swiss Center for Life Cycle Inventories: Ecoinvent ver2.2 データベース
- (11) NEDO 技術開発機構：「NEDO 海外レポート、中国における新エネルギー等実態調査」(2005)
- (12) 富士総研：即効的・革新的エネルギー環境技術開発 -LCA 共通データ集 (2000)
- (13) M. Ito, K. Kato, K. Komoto, T. Kichimi, K. Kurokawa: "Analysis of transmission losses of Very Large-Scale Photovoltaic power generation systems (VLS-PV) in world desert", Proceedings of 31st IEEE PVSC, 1706-1709 pp (2005)
- (14) 電力中央研究所：日本の発電技術のライフサイクル CO₂ 排出量評価—2009 年に得られたデータを用いた再推計— (2010)
- (15) 産業環境管理協会：MiLCA によるデータベース v1.04

著書・解説

[2011年～2012年]

Photon

The Photovoltaic Magazine



YOUR BEST PV SYSTEM

How not to be like this guy

PENNSYLVANIA: A victim of its own success

STRUGGLING EMPIRE: New York misses its second chance at a solar boom

AFTER THE QUAKE: Japan looks past the nuclear age and ahead to a solar renaissance





Kurokawa's secret

Or: why soda water is needed to feed more than 10 kW of solar energy into Japan's public grid

Big ideas and little secret: Kosuke Kurokawa, a retired professor from the Tokyo Institute of Technology, counts among the early thinkers in the solar energy field in Japan.

buildings (in Fukushima workers try that is not at the Tokyo looking fo one of the zines in hi At last K two aerial I credible de of the wat trains juml penetrable in red ink he finds re apparently »I'm sure tl he says. A an importi campaign conductin

Fantastic ti

Still sufi oil crisis a at that tir on oil imj and a yea shine Proj the develo sources, n (PV). Kuro who worki high-volta already cle humans wt they succer requiremei passion for Three rese: later, the i ated the N a target th: »Another after shock» he says cheer-



Kurokawa's secret

Or: why soda water is needed to feed more than 10 kW of solar energy into Japan's public grid

The Japanese were the first to think about solar electricity in terms of gigawatts. But then the country relied more and more heavily on nuclear power. After the severe earthquake in March, the devastating tsunami and the seemingly endless nuclear emergency, a rebirth of renewable energy – most notably solar power – seems inevitable. For this renaissance to really gather momentum, however, the government must withdraw the protective hand it holds over the domestic energy industry and permit competition.

Suns cover the gray office wall in Tokyo – countless suns. With long beams, with colored faces, made of wood, clay, plastic, from all corners of the Earth. Suddenly they begin to shake in unison. Kosuke Kurokawa looks up briefly and emits a childlike giggle – which somehow does not accord with his distinguished silver hair and the deep wrinkles around his eyes.



**Big ideas
and little secret:**
Kosuke Kurokawa, a retired
professor from the Tokyo Institute
of Technology, counts among the
early thinkers in the solar
energy field in Japan.

buildings of the nuclear power station in Fukushima. Double-page photos of workers trying to prevent the worst. But that is not what the emeritus professor at the Tokyo Institute of Technology is looking for. He rummages in another one of the numerous stacks of magazines in his office.

At last Kurokawa finds it: he extracts two aerial photos that document the incredible destruction caused by the force of the water. Houses, boats, cars and trains jumbled together in a single, impenetrable chaos. Kurokawa has circled in red ink things in these pictures that he finds remarkable: intact roofs with apparently undamaged solar modules. »I'm sure they still produce electricity,« he says. And for this reason they are an important piece of the puzzle for a campaign that the engineer has been conducting since 1974.

Fantastic targets

Still suffering from the effects of the oil crisis a year earlier, Japan decided at that time to reduce its dependency on oil imports as quickly as possible and a year later launched the Sunshine Project, a research program for the development of renewable energy sources, most notably photovoltaics (PV). Kurokawa was a young engineer who worked on the development of high-voltage DC transmission. It was already clear to him at the time that humans would only survive on Earth if they succeeded in meeting their energy requirements in a sustainable way. His passion for solar power was awakened. Three research programs and 20 years later, the government in Tokyo initiated the New Sunshine Project and set a target that, at the time, took the specialists' breath away: 4.6 GW of solar capacity by 2010. That was 75 times the annual production worldwide in 1994. Kurokawa was one of those who had formulated the growth scenario and convinced the economics ministry of its viability. With the program, Japan rose to become the largest solar market worldwide, and if the country had not

fallen into a deflationary spiral in the 1990s and the promotion of solar energy from 2005 to 2008 had not been completely canceled, Japan would no doubt have exceeded its expansion targets. The economics ministry assumes that the old target of 4.6 GW of solar capacity will perhaps be reached this year or in 2012 at the latest. The share of PV in the energy mix would then be around 0.5 percent – far too little for someone like Kurokawa, who, only a few weeks after the first bad news from Fukushima, submitted new plans for an expansion of the solar capacity in his country to 100 GW by 2030. He wrote this figure into the »Roadmap 2030+« of the Japanese Photovoltaic Energy Association (JPEA), the country's largest solar industry group, when the plan was revised after the latest earthquake. »Many people are now calling for the same things that I've been pushing,« says the retired professor, adding almost apologetically, »Normally I'm not such a busy bee. I'm a very quiet man.«

Lonely protest

When Kiyoshi Tanaka raises his voice, he sends it through a large gray megaphone that lies on the ground near him. Only in this way can he be sure that his message penetrates the noise of the metropolis and is not drowned out by the cars passing by on the street in front of him, or by the suburban railway that traces a circle around the Tokyo city center, whose trains roar over a bridge here at 1-minute intervals. Tanaka has positioned himself at an appropriate distance from the headquarters of the Tokyo Electric Power Company Inc. (Tepco), the fourth-largest energy provider worldwide and the operator of the nuclear reactors in Fukushima. The driveway to the entrance is closed off for cars. Not far away, four broadcasting vans from Japanese TV stations stand at the roadside.

Half a dozen policemen with blue uniforms and white gloves watch over the scene. There is not much traffic to regulate. Three of them keep a close eye on Tanaka in particular, who does



Lone demonstrator: In front of the Tokyo Electric Power Company headquarters, Kiyoshi Tanaka is closely watched by police but hardly noticed by passersby.

nothing but sit there and deliver long monologues. They do not sound particularly aggressive and he does not shout slogans, but he is unrelenting. Next to him are two bottles, one filled with water and the other with green tea. He has inscribed his chest and back with slogans, and pamphlets titled «Continuous Protest» are wedged under the megaphone. Tanaka calls for mass demonstrations against Tepco and demands the abolition of all nuclear power stations. Nowhere is an English word to be found. This man has not come here to create an international sensation. The people who pass by on this cool spring afternoon hardly slacken their pace.

Life with tremors

It would be wrong to conclude that after the nuclear accident most people in Japan carried on their daily business unmoved, and that they put the earthquake and its consequences behind them. At the end of April the newspapers carry the story as front-page news

every day and publish large diagrams with current radiation values, although they fail to adequately explain what these actually mean for human health. In the subway the escalators no longer run, and in the railway stations schoolchildren conduct collections for the tsunami victims and their next of kin – 15,000 dead and 9,000 still missing. In public buildings the corridors are sparsely illuminated and an electricity shortage is possible, since half the nuclear power capacity, which normally makes up 30 percent of the electricity production, ceased to be available. The parks remain dark, and instead of meeting like every spring in the magical cherry blossom time under the trees in the evening and drinking sake, people stay at home.

Before the gate of the imperial palace in the heart of Tokyo, the guards are just changing over – a popular photo subject, but no one is taking pictures. On the large forecourt covered with gray gravel before the guard houses there are

exactly two tourists in the late afternoon. The people jogging by on their fitness tour and the few men in suits taking a shortcut through the park do not turn their heads. «Aren't you afraid of the radiation at all?» an old man asks a young one, who obviously does not come from Japan. «The wind is blowing from the west,» he answers. «There's no danger at the moment.» The old man replies in rather fragmented but carefully stressed English, «you are very well informed and very brave. Normally this place is full of tourists, especially from China and Korea. But after the reactor accident in Fukushima nobody dares to come here.»

Conferences are postponed, if not canceled, and foreign business people send their families out of the country. Supervisors instruct their female employees to bring flat shoes to work in a bag, along with other things they may need in the event of a catastrophe. When the quake struck on March 11, thousands of trains were canceled in



Rush hour: In Tokyo's subways, the escalators no longer run, and in public buildings the lights are turned down in the corridors. After the nuclear accident at Fukushima, energy consumption has been cut back by 25 percent.

nuclear energy, which is quite remarkable because, thanks to abundant tax receipts, those prefectures where the 54 reactors are located have decidedly supported the operators up to now. The governor of the Kanagawa prefecture, southwest of Tokyo, has made one of the strongest declarations in favor of solar energy; in the midst of the election campaign, he held a solar module before the cameras and promised to have 2 million households equipped with solar power plants during his legislative period. He won the election and in doing so garnered twice as many votes as his closest competitor. Others are imitating him. Heita Kawakatsu – governor of the Shizuoka prefecture, for which nuclear contributes 80 percent of the energy mix – wants to dramatically reduce this dependence through the rapid expansion of solar power. Japan's prime minister, Naoto Kan, finally followed suit at the beginning of May, when he announced that the country had canceled its plans to build 14 new nuclear reactors. Instead, he declared, it is necessary to rethink the country's energy policy and »start anew.« There is much to be done.

The thing about the soda water

Before a large house with a striking round tower, reinforced windows and a perfectly straight, south-facing roof comes into view beside an arterial road in Aioi, the settlement becomes noticeably thin. Farmers plant vegetables and rice along the roadside. This is not, one would think, a place to draw brown soda water or green tea from a dispenser. Nevertheless, in front of the building where Koji Katayama purposefully steers his white Nissan into the parking lot, there stand two blue-drink dispensers at the corners of the building. They are visibly the pride of the building contractor: »I had to employ a tremendous amount of persuasive power to get the local network operator to finally allow me to install them.« Now they stand there as an eye-catching symbol of a resourceful businessman and everything that is wrong with Japanese energy policy.

In October, Katayama, who operates his company House Japan in nearby Okayama, which is located 2 hours west of Osaka by train, installed a 25.6 kW solar power plant on the roof of the house, a dentist's residence and a place



Campaign season: Here in the Tokyo suburbs, the future of nuclear power was a leading issue in the communal elections.

Tokyo and many people arrived home only after walking several kilometers – a feat that is impossible with high heels. In the subway stations of the capital, electronic information boards report on traffic disruptions. An almost daily cause of disruptions: earthquakes.



Better homes and power plants: For many house builders, a rooftop PV system is now standard equipment, says Izumi Kaizuka, analyst at the RTS Corporation in Tokyo.

On April 21 at around 10:30 pm, the 16th floor of the Hotel Metropolitan in Tokyo begins to sway. The movement resembles that of a cruise ship rolling in a long ground-swell, combined with that of a jumbo jet in turbulence – only without the hard jolts. The building groans and creaks softly, and things hanging from the ceiling start to swing. The movement begins too slowly for one to be frightened, but with every second the wish for it to stop becomes stronger. When everything has actually become calm again, the loudspeaker in the corridor reports: »This is the security service. You have just experienced an earthquake. There is no reason to worry – for the moment there does not appear to be any damage. We will keep you informed of any new developments.«

The next day the newspapers report that the earthquake measured 6.1 on the Richter scale and was far away and too deep to cause damage in Tokyo. And with perfect punctuality, the high-speed Shinkansen train from Tokyo to Osaka leaves the station. A train runs every 3 minutes, freshly cleaned by cleaners in pink overalls, who, a few



Japan's electricity network, with one zone at 50 Hz and another at 60 Hz, cries out for modernization.

minutes after the train reaches the terminus, enter the carriage at the double, turn the seats around 180°, clean the backrests and the floor, change the protective paper on the headrests and then leave the carriage with a deep bow. In times of uncertainty, such routine is reassuring. And at the moment anyone who asks too brashly how life is to go on after the tsunami and Fukushima may come to learn the term »Kizuna.« The word means something like »bond« or »cohesion.« It is still a time of empathizing with the victims, not of criticism and reorganization.

Rediscovering solar power

Anyone traveling in rural Japan will find people at crossroads who wear strange uniforms, carry colorful flags and bow deeply before each passing car. Not infrequently a truck drives through even the most isolated districts and fills the surroundings with incessant sound. In Japan, campaigning for the communal elections has begun. In these elections the future of nuclear power is a central issue. At the moment, not a single local politician advocates the expansion of



A little less romantic: Normally an evening cup of sake is part of the cherry blossom festival, but in the wake of Fukushima, this park in Osaka goes dark after sundown.

for performing surgery. However, the current promotion of solar power has been limited by the Japanese government to a maximum of 10 kW for rooftop systems on residential buildings. After subtracting on-site consumption, the local electricity provider must pay ¥42 (51.7¢) per kWh for what flows into the grid during a period of 10 years. In addition, the state subsidizes solar power plants with a grant of ¥48,000 (\$590) per kW. Katayama devised a trick with the drink dispensers so his customer could make full use of his roof and benefit from the subsidies just the same. He divided the solar power plant into three generators working independently of one another. He connected one with an output of 7.6 kW to the house and the two others, each with 9 kW of output, to the drink dispensers as independent consumers – imitation households, as it were. For this it was even worthwhile to build two wooden huts such that each hold two inverters for the 9 kW systems.

Normally, says Katayama, rooftop systems with a maximum of 5 kW of output – that is to say exactly 20 Heterojunction with Intrinsic Thin Layer (HIT)

modules from Sanyo with 250 W each – fit onto the roof of a typical Japanese single-family house. He has been in the solar business for 8 years and in this time the number of houses he equipped with solar power plants has risen from 40 to 70 per month – at quite hefty prices. After subtracting the government supplement of ¥48,000 (\$590) per kW, the dentist had to pay ¥8.8 million (\$108,000) for his power plant. Or viewed the other way around, House Japan charged – before subsidies – the equivalent of \$4.24 per W for the system and its installation. This amount is for Canadian Solar modules, it should be noted – not the considerably more expensive and higher efficiency Sanyo HIT modules. Small systems cost more, accordingly – up to \$7.25 per W by recent figures. However, for this price, Katayama not only installs systems to resist earthquakes and typhoons but also provides a 15-year product guarantee.

Uneasy conditions for renewables

Slightly less than 90 percent of all solar power plants in Japan are rooftop systems mounted on private houses. Here the vendors of prefabricated houses play an



PV generators on traditional Japanese houses can have an output of 5 kW at most.

important role. In the case of the market leader, Sekisui Chemical Co. Ltd., around 70 percent of the 60,000 single-family houses it produces annually are sold with solar power plants, says Izumi Kaizuka, analyst at the RTS Corporation in Tokyo: «For many people, that has now become standard equipment.» The economics ministry estimates that in 2010, Japan added between 800 MW and 1 GW of solar capacity. This means total solar capacity reached 3 GW by the end of last year. A little less than 10 percent of the Japanese electricity supply currently comes from renewable sources; here hydropower plays the largest role with a share of around 8 percent. Wind power, PV and geothermal energy produce the rest.

The extent to which renewable energies can be increased within the coming 20 years, even under optimal political conditions, is hotly debated among scientists. Although 10 percent of all volcanic activity on Earth occurs in Japan, most scientists assume the potential of geothermal energy is severely limited – not least because the most favorable locations lie in conservation areas. Wind power struggles with varying wind directions, typhoons and, of



A jumbo home: Only with the help of a wily installer could a dentist in Aioi install a 25.6 kW PV system atop his house.



With his company House Japan, building contractor Koji Katayama installs around 70 PV systems per month.

course, earthquakes. In addition, there is strong competition for land area with agriculture and settlements. In many places, the coast of the Japanese islands falls away too steeply into the sea for offshore installations to be built there. Tetsunari Iida, CEO of the Institute for Sustainable Energy Policies (ISEP) in Tokyo, believes a renewable energies share of 30 percent by 2020 is feasible. Here PV and wind would each contribute around 7 to 8 percent, and the rest would come from hydro. Iida's institute once sounded more optimistic. In 1993, together with the Institute for Sustainable Solutions and Innovations (ISUSI) in Aachen, Germany, ISEP submitted a study with the promising title, »Energy-Rich Japan,« on behalf of Greenpeace eV. It was supposed to show that, even in a country that is not greatly favored with natural resources, a future with renewable energies is imaginable. However, at that time the researchers used two tricks: they took as a basis a significant decline in the Japanese population, and, at the same time, diminishing electricity consumption owing to dramatic increases in efficiency. But until now, both of these things have not

occurred – the population and electricity consumption have remained more or less constant.

Confusion in the ministry

The men who are supposed to unleash a new burst of PV in Japan are rather young, nervous and apparently

overtaxed. Since the head of the renewable energies department at the Japanese economics ministry was removed from his position and assigned to the Fukushima crisis management group, Yoichi Matsui has taken the reins. Together with two assistants in a meeting room, he bends forward interestedly



Thirsty for energy: A 9 kW power plant produces the electricity for a drink dispenser, and the system owner earns money from surplus power fed into the grid.

laboration with the association of PV system owners, how many solar power stations in the disaster zone still deliver electricity and how this energy can best be used. In phase two, Kurokawa would like to introduce new standards to ensure that, in the event of future earthquakes or floods, the power plants provide their owners with electricity on a self-sustaining basis. In addition, he would prefer to see a government decree that prescribes the installation of PV power plants, combined with storage solutions and water treatment plants, at all schools and gymnasiums that are used as emergency shelters. And, of course, at that time he already championed the expansion target of 100 GW of solar electricity in Japan by 2030, a goal that also now appears in the JPEA plan. Kurokawa finds it a little strange that the economics ministry sees significantly smaller growth rates of 20 GW by 2020 and 53 GW up to 2030: »Then we would even have to slow down the pace of expansion.« By now, other visions are floating around in his head – for instance, storage solutions for municipalities with around 1,000 inhabitants, such as those commonly found in Japan. And a new electrical backbone for the country, in



Rebuilding, one yen at a time: The disaster of March 11 is still present in the daily lives of the Japanese.

the form of two high-voltage DC lines along the West and East Coasts. This would alleviate difficulties arising from a national network that, for historical reasons, is divided between a 50 Hz frequency and a 60 Hz frequency. Above all, he surreptitiously inserted a figure into the JPEA roadmap that apparently no one has noticed yet.

Kurokawa imagines that solar power plants totaling no fewer than 500 GW of capacity will deliver clean electricity in Japan by 2050. »But shhh!« he says conspiratorially, and begins to laugh like a child again. »That's our true target, 500 GW by 2050 or thereabouts. But we have hidden it. Don't tell anyone, it's a big secret.« Matthias B. Krause

太陽光発電システムのライフサイクル評価

Life Cycle Assessment of PV Systems

伊藤 雅一*

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル (IPCC)¹²⁾ によれば温暖化により地球に様々な影響が表れ、最高気温の更新や降水量の増加による洪水、乾燥地域の拡大と水不足、より強い台風が発生すると言われており、よってCO₂、CH₄、N₂Oなどの温室効果ガス (Greenhouse gas : GHG) を減らすことが必要である。しかし、これらの気体がどの程度発生したのか、どの程度削減できたのかを定量的に把握することは簡単ではない。

ライフサイクル評価手法はこのような事象を、材料の採掘から廃棄・リサイクルまでにそれぞれの段階で何が投入されて何が排出されたかを定量的に算出することで、対象とする影響を把握することができる。本稿では太陽光発電システムのライフサイクル評価手法とリサイクルについて述べたい。

2. 太陽光発電システムのライフサイクル評価

太陽光発電システムのライフサイクル評価 (LCA, LCA 評価) によって、どの程度の二酸化炭素排出量を削減できるか、エネルギーを節約できるか定量的に算出することができる。例えば、新しい省エネルギーや高効率住宅を設計する際に、太陽光発電システムが同時に設置された場合の評価をすることでどの程度メリットがあるかを推定できる。また、メガソーラを設置する際にも環境への影響についてライフサイクル評価を用いることもでき、二酸化炭素排出量の最適化を行うことも可能である。そのほか、太陽光発電システムやその他の発電システムの導入を検討する際の比較は単純ではないが、ライフサイクル評価を用いることで定量的に比較することができる。

2.1 ライフサイクルアセスメント概要

LCA (ライフサイクルアセスメント) とは、環境マネジメント手法の一つであり、ある製品の環境影響を定量的に求めるための手法である。製造、輸送、使用、廃棄など製品にかかわる活動の全ての過程において、必要としたエネルギーや発生させた温室効果ガス排出量などを調査して集計することにより、環境影響の定量化を目指したものである。しかし、ライフサイクル全体の範囲は多岐にわたり複雑であることから、正確に把握することは難しい。よって、実施者はまず目的を明確に設定することが重要であり、この目的に適合するよう調査をすすめ、得られた結果を解釈する。また、結果の利用者もどのような目的で算出された結果なのか、把握してから利用する必要がある。

LCA の手法は、図1のように、「1. 目的及び調査範囲の設定」、「2. 評価範囲内の対象に対するインベントリ分析」、「3. インベントリ分析により定量化されたデータを用いたインパクト評価」、「4. 結果の解釈・報告」という4つの調査・分析段階により構成されている。

なお、LCA については、ISO14040、ISO14044 において基本原則を規格化しているため、詳細や基本

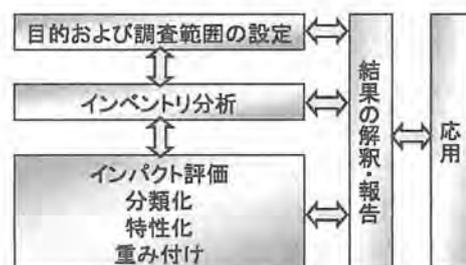


図1 ライフサイクル評価の構成

*東京工業大学 ソリューション研究機構 特任助教

原則等はこちらを参考としていただきたい。

2.2 太陽光発電システムのライフサイクル評価の流れ

(1) 評価指標

ライフサイクル評価を実施する際に利用される評価指標は様々であるが、太陽光発電システムの評価にはエネルギーペイバックタイム（EPTまたはEPBT）と二酸化炭素排出原単位が利用されることが多い。

エネルギーペイバックタイムとは、太陽光発電システムのライフサイクルに投入されたエネルギー量をその発電電力で回収するに要する年数のことである。

エネルギーペイバックタイム (Year)

$$= \frac{\text{ライフサイクルにおける全エネルギー投入量 [J]}}{\text{年間発電電力量 (一次エネルギー換算) [J/year]}}$$

ここで、投入エネルギーの評価には一次エネルギーベースで評価を行う。発電した電力についても一次エネルギー換算を行った量を用いる。太陽光発電システムのライフサイクル評価を実施する際、通常の製品の評価と異なる点は発電するという点であり、また、評価結果に与える影響も大きいことから慎重に分析する必要がある。

二酸化炭素排出原単位とは、太陽光発電システムの単位電力量あたりのライフサイクルにおける二酸化炭素排出量のことを言う。この指標を用いて、様々な発電所の環境負荷を比較することができる。

CO₂ 排出原単位 (g-CO₂/kWh)

$$= \frac{\text{ライフサイクルにおける全二酸化炭素排出量 (g-CO}_2\text{)}}{\text{年間発電電力量 [kWh/year] \times 耐用年数 [year]}}$$

また、CO₂ ペイバックタイムという考え方もあり、これは太陽光発電システムと既存の電力ネットワークの二酸化炭素排出原単位の差分を二酸化炭素の削減量とし、何年で回収できるかという指標である。本稿では二酸化炭素排出原単位を紹介する。

(2) 目的及び範囲の設定

LCA は対象とする製品の直接的な影響だけでなく、間接的な影響までを含めて評価しようという思想の元に行っており、システム分析法の一つといえる。目的及び範囲の設定は、LCA の枠組みを決める基本となる段階である。範囲の設定においてそのライフサイクルが定義され、間接的な影響をどこまで追跡するかが決定される。この設定のためには目的がはっきりしていることが重要である。

また、異なる評価範囲となれば当然結果は異なる

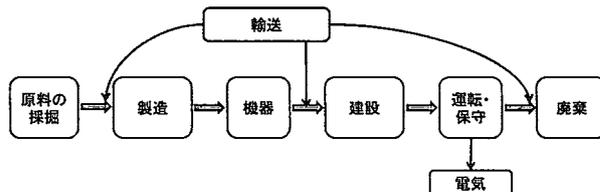


図2 太陽光発電システムのライフサイクルの評価範囲の概要

ため、評価範囲は詳細に説明する必要がある。詳細な情報がない場合は利用者は正しく利用できない。図2は評価範囲の概要であり、これらの他にどのような入出力があるか示す必要がある。

(3) インベントリ分析

インベントリ分析はLCAの重要な過程である。ライフサイクルに渡って、どのような環境影響物質がどれだけ排出されているかを明らかにする。ライフサイクル中のプロセスを解明し、その関係を定量的に捉えるためのデータを収集する。これらを一つずつ追跡し、各プロセスにおける排出量を明らかにすれば、ライフサイクル全体の排出量を求めることが出来る。しかし、すべてのデータを収集することは困難であり、一部のプロセスを簡略化、若しくは省略することがある。したがって、分析に用いたデータの精度や、前提条件を把握した上で結果を解釈することが重要である。

太陽光発電システムの二酸化炭素排出原単位を評価する場合には各プロセスにおける温暖化ガス排出量を収集する。

(4) インパクト評価

インパクト評価は分類化、特性化、重み付けの3段階に分けられる。分類化では各環境影響物質を環境負荷のカテゴリに振り分けられる。例えば、地球温暖化というカテゴリにはCO₂やメタンが振り分けられる。特性化では同じカテゴリ間に属する物質を統合する。重み付けでは異なるカテゴリを重み付けすることで統合化が試みられる。しかし、環境負荷を定量的に把握することは難しく、結果の解釈には注意が必要である。

特性化において、太陽光発電システムの場合にはCO₂で評価するケースとその他のメタンや亜酸化窒素などを含めたケースがあり、後者の場合はIPCCが定めている地球温暖化係数（GWP）を用いて算出する。

(5) 結果の解釈・報告

ライフサイクル評価により算出された結果は評価範囲やインベントリ分析の評価手順によって結果が

変わってくる可能性があることから、評価を行った作業者は評価結果についてどのような結果であるかを示す必要がある。特に、太陽光発電システムの場合には国によって製造時に使用した電力の排出原単位が異なったり、設置場所によって発電条件が異なることから良く理解する必要がある。

2.3 太陽光発電システム向け LCA ガイドライン

太陽光発電システムのライフサイクル評価は条件により結果が大きく異なることから、国際エネルギー機関／太陽光発電システム研究協力実施協定 (IEA/PVPS) 内に Task12/Subtask20 としてガイドラインを提案している。ガイドラインは“Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity³⁾”として Task12 のホームページからダウンロードできる。

ガイドラインには想定すべき寿命や日射量、システム出力係数、劣化などについて記述されている。これに沿った計算をすることで同条件の比較ができる。

(1) 寿命

多くの太陽光発電システムが近年設置されたということや、技術の進歩が早い過去に設置されたシステムと現在販売しているシステムでは異なることから寿命を定義することは難しい。しかし、多くの研究者が寿命に関する研究報告を行っていることからそのレビューを行い、ガイドラインを作成している。表1はその概要となる。

(2) 日射量

日射量データは設置場所や傾斜角によって異なる。実際のデータがある場合はそれを使う。ない場合は近い場所の商用利用の平均と最大値を利用する。

(3) システム出力係数 (PR)

システム出力係数は設置方法や設置する場所の温度に左右されるため単純に決定することはできないが、その地域で適した設置方法を行った場合、屋根

表1 Task12ガイドラインによる寿命

| | |
|-------|--|
| 太陽電池 | 30年 (成熟した技術の製品) |
| PCS | 小型発電所または住宅用 : 15年 大型の発電所 : 30年で、10年毎に10%のパーツを交換 |
| 架台・基礎 | 屋根置きまたはファサード設置 : 30年 地上設置 (金属架台) : 30~60年 (感度分析が必要) |
| ケーブル | 30年 |

置きは75%、地上設置は80%と Task12 では設定した。また、既に設置されている場合はその値を利用する。

(4) 劣化

劣化についてはまだ多くの研究者が研究しており、特に薄膜系はまだよく分かっていない。しかし、結晶系では0.5%/年が一般的な結論であることから、Task12では30年後を初期値の80%とし、線形で劣化するとした。

2.4 LCA データの収集

LCA データは通常、フォアグラウンドデータとバックグラウンドデータに分けられる。フォアグラウンドデータは製品に使用されるデータであり、例えば太陽光発電システムでは架台に用いられる亜鉛めっき鋼や基礎に使われるコンクリート、ケーブルなど製造者から情報を収集できる。これに対してバックグラウンドデータは素材のデータであり、亜鉛めっき鋼に用いられる亜鉛や鉄、コンクリートに使用されるセメント、ケーブルなどの銅に関するデータである。これらは通常、自ら作成することは非常に手間がかかるためデータベースから引用される。データベースにはこれら様々な材料についての入出力データがまとめてあり、これらを用いてライフサイクル評価を行う。例えば、架台に用いられる亜鉛めっき鋼であれば、LCA データベースを参照すると1kg製造するのに必要な入出力データがまとめてあり、石炭、石灰石、鉄鉱石、天然ガス、重油などの重量が入力データとして記述されており、出力データとしてCO₂やNO_x、SO_xや廃棄物の重量が記載されている。これらのデータはLCA データベースやLCA ソフトウェアから入手することができる。

LCA データベースではEcoinvent (スイス) やJLCA (日本) が有名である。Ecoinventは4000以上のデータがあり、研究機関や企業の環境レポートから作成し、データベースとしてまとめている。JLCAはNEDO技術開発機構によって実施されたプロジェクトで作成され、作成されたデータとしては280程度であるが、300以上のデータが企業の協力によって加えられている。どちらもデータの充実化を進めている。

規模の小さなライフサイクル評価の場合には表計算ソフトを利用した手作業による評価も可能であるが、規模が大きくなるにつれてその評価は難しくなる。LCA ソフトウェアは通常LCA データベースも搭載されており、作業者はそれぞれの素材の入出力

データを自分で入力することなく計算が可能である。SimaPro (PRé Consultants) や GaBi (PE International), MiLCA などが有名であり, MiLCA は産業環境管理協会が管理している。

しかし, 太陽光発電システムのライフサイクル評価の場合には日射量データが必要となり, 通常, これらのソフトウェアや LCA データベースには搭載されていない。日射量データは Meteotest 社 (スイス) による METEONORM が有名であり, 傾斜面日射量などの算出機能も持っている。そのほか, 米国 NREL による System Advisor Model (SAM) も発電量の複雑な計算ができる。国内の日射量データでは NEDO 技術開発機構による METPV や MONSOLA が利用可能である。

2.5 太陽光発電システムの LCA 評価事例

太陽光発電システムのライフサイクル評価事例については, 山田・小宮山による太陽光発電工学⁴⁾ や富士総合研究所によるデータ集⁵⁾, NEDO 技術開発機構による太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査研究^{6, 7)} や電力中央研究所による他電源との比較^{8, 9)}, IEA/PVPS Task8 による書籍^{10~12)} があるが, ここでは論文をベースに太陽電池モジュールに関する評価, BOS に関する評価, システム全体の評価を紹介する。

(1) 太陽光発電システムモジュールのライフサイクル評価

Fthenakis による論文¹³⁾ は温室効果ガスだけでなく NOx, SOx, そしてカドミウムなどの重金属についても評価している。このように温室効果ガスだけでなくその他様々な事柄について評価できることもライフサイクル評価の特徴である。

前提条件や結果を表 2 に示す。結果の算出には 3 つのケースを想定している。現在のシリコン製造に用いられている電力構成を想定したケース 1, 欧州の電力構成 Union of the Co-ordination of Transmission of Electricity (UCTE) を想定したケース 2, 米国電力構成を想定したケース 3 である。それぞれの電力構成によって排出される二酸化炭素量が異なるが, 表 3 に示すようにシリコンを用いた屋根置き太陽電池では 30-45g-CO₂eq/kWh, EPT は 1.7~2.7 年である。CdTe 太陽電池による地上設置では 24g-CO₂eq/kWh, 1.1 年と算出されている。また, 表 4 に示すように, カドミウムの排出量はライフサイクルの実施を想定して, 石油火力による大気放出が 43.3g/GWh に対して 0.3g/GWh であり, CdTe 太陽

表 2 論文概要

| | |
|----------------------|--|
| Paper title | Emissions from photovoltaic life cycles ¹³⁾ |
| Author(s) | Fthenakis, V.M. Kim, H.C. and Alsema, E. |
| Journal | Environmental Science & Technology 2008; 42 (6): 2168 – 2174 |
| Irradiation | 1700 kWh/m ² /year, 1800 kWh/m ² /year |
| PV type | ribbon-Si, multi-Si, mono-Si, CdTe |
| System configuration | 0.75 – 0.8 performance ratio, rooftop- and ground-mounted |
| Lifetime | 30 years |
| Results | 20 – 55 g CO ₂ eq/kWh, 40 – 190 mg NOx/kWh, 60 – 380 mg SOx/kWh (reading from figure) |
| Year | 2006 |

表 3 二酸化炭素排出原単位と EPT

| PV type | Assumption | GHG emissions | EPT |
|------------|--|----------------------------------|-----------------|
| Si modules | Rooftop-mounted, 0.75 PR, 1700 kWh/m ² /yr | 30 – 45 g CO ₂ eq/kWh | 1.7 – 2.7 years |
| CdTe | Ground-mounted, 0.8 PR, 1800 kWh/m ² /yr 30-year lifetime | 24 g CO ₂ eq/kWh | 1.1 years |

表 4 カドミウムの大気放出量

| PV type and fuel type | Atmospheric Cd emissions |
|-----------------------|--------------------------|
| Ribbon-Si | 0.8 g/GWh |
| mc-Si | 0.9 g/GWh |
| Mono-Si | 0.9 g/GWh |
| CdTe | 0.3 g/GWh |
| Hard coal | 3.1 g/GWh |
| Lignite | 6.2 g/GWh |
| Natural gas | 0.2 g/GWh |
| Oil | 43.3 g/GWh |
| Nuclear | 0.5 g/GWh |
| Hydro | 0.03 g/GWh |
| UCTE average | 4.1 g/GWh |

電池によるカドミウムの放出量は少ないと結論づけている。

(2) BOS 機器のライフサイクル評価

2006 年の Mason らによる論文¹⁴⁾ では実際の 3.5MW のメガソーラについてライフサイクル評価を実施しており, おそらくこの論文が実際のメガソーラの BOS についてライフサイクル評価を行っ

表5 論文概要

| | |
|----------------------|--|
| Paper title | Energy payback and life-cycle CO ₂ emissions of the BOS in an optimized 3.5 MW PV installation ¹⁴⁾ |
| Author(s) | Mason, J. E. Fthenakis, V. M. Hansen, T. and Kim, H.C. |
| Journal | Progress in Photovoltaics, 2006. 14 (2): 179 – 190 |
| Location/country | Springerville, AZ/USA |
| Irradiation | 1725 kWh/kW (actual performance data used for LCA), approx. 2100 kWh/m ² /yr (average) |
| PV capacity/PV type | 3.5 MW/mc-Si |
| System configuration | Ground-mounted fixed flat-plate system |
| Lifetime | PV metal support structure: 60 years; inverters and transformers: 30 years (parts: 10 years) |
| Results | BOS: 542 MJ/m ² , 29 kg CO ₂ eq/m ² , 0.21 years of EPT, \$940 US/kW |
| Year | 2006 |

たおそらく初めての論文である。

システムには杭基礎を用いた固定架台で、多結晶シリコン太陽電池を使用。米国アリゾナに設置されており、年間日射量は約 2100 kWh/m²/年、発電量は年間 1725kWh/kW である。また、設計風速は 160km/h (44.4m/s) である。コストや重量についても記載されているが、環境面の結果では BOS は 542MJ/m² と算出され、米国の電力変換効率 33% を考慮するとエネルギーペイバックタイムは 0.21 年、米国の平均日射量 1800kWh/m²/年に換算すると 0.37 年である。また、二酸化炭素排出量は 29kg-CO₂/m² と算出されている。

(3) 北杜メガソーラのライフサイクル評価

本論文¹⁵⁾は NEDO 技術開発機構により NTT ファシリティーズ、北杜市へ委託された事業内で行われたライフサイクル評価である。約 20 種の太陽電池を想定し、実際のデータを用いて評価している。

それぞれの架台は 10kW で設計され、60 基集めた 600kW で研究が進められている。ライフサイクル評価ではそれぞれの種類の太陽電池を 600kW と想定して評価している。実際の設備データや発電量のデータを利用し、太陽電池モジュールから BOS まで含めた評価結果は、エネルギー投入量はモジュールの種類によって異なるが 19～48GJ/kW であり、エネルギーペイバックタイムは 1.4～3.8

表6 論文概要

| | |
|----------------------|---|
| Paper title | A comparative study on life cycle analysis of 20 different PV modules installed at the Hokuto mega-solar plant ¹⁵⁾ |
| Author(s) | Ito, M. Kudo, M. Nagura, M. and Kurokawa, K. |
| Journal | Progress in Photovoltaics, Volume 19, Issue 3 |
| Location/country | Hokuto City, Japan |
| Irradiation | 1725 kWh/m ² /year at a 30-degree tilt angle |
| PV capacity/PV type | 600 kW/mc-Si, sc-Si, a-Si/sc-Si, thin-film Si, CIS, μc-Si/a-Si |
| System configuration | Ground-mounted fixed flat-plate system |
| Lifetime | 30 years; inverters: 15 years |
| Year | 2011 |

年と算出された。また、二酸化炭素排出量は 1.3～2.7 t-CO₂/kW、二酸化炭素排出原単位は 31～67 g-CO₂/kWh と算出された。多結晶シリコンと CIS が良い結果を示した。

3. 太陽光発電システムのリサイクル動向

太陽光発電システムのリサイクル技術は各国で研究が進められ開発途上であるが技術、枠組み共に進歩しつつある。

欧州で太陽電池関連メーカーによって設立された PV Cycle は 2011 年 12 月現在、210 社のフルメンバーと 26 社の協力メンバーで構成¹⁶⁾され、これは欧州市場の 90% になる。太陽電池モジュールのリサイクルで問題となる点はモジュールの回収であるが、PV Cycle では収集ポイントを各地点に置き、効率的な収集を目指している。現在はドイツを中心とした欧州各国 185 地点に収集拠点が設置されている。2010 年 6 月に運営を開始し、現在までに 1505 トン回収した。

ファーストソーラー社ではリサイクルにかかる費用を基金化し、ファーストソーラー社とは別に財団を設立してリサイクルを行うと述べている^{17,18)}。

太陽電池モジュールのリサイクル工場では Sunicon 社が実際に運転しているリサイクル工場のパイロットプラントがある¹⁹⁾。設備容量は 2MW/年のパイロットプラントであり、ほとんどが手作業で作業を実施している。現在自動化されたプラントを建設中である (2010 年時点)。太陽電池モジュ

ルはドイツ全土から集めており、Solar World 社だけでなくその他のメーカーの結晶系モジュールも集めている。リサイクルされるモジュールは発電所の閉鎖だけでなく、住宅の火事や輸送中の破損、仕様の違いなど様々である。輸送コストはその時に応じて負担者は異なる。

再生のプロセスは熱処理、分別、化学処理、セル分離、インゴット製造、ウェハー製造の5つの行程である。熱処理では高温の炉にモジュールを入れ、充填剤であるEVAを燃焼させる。1回の処理に8時間かかり、3シフトの24時間運転を行っている。1m×1.5m程度のモジュールを16枚投入できる。燃焼の際に排出したガスは2-3回の処理を行って環境に問題ないレベルにしてから排出している。熱処理で分解されたモジュールは手作業でガラスやアルミ、銀、セルに分別し、化学処理でリボン電極、反射防止膜などを取り除く。破損せずに取り出されたセルはそのまま再利用可能である。例えば、1983年にベルギーで使用されたモジュールのリサイクルでは、ガラスは96.96%、セルは84.62%、銅は77.78%、アルミニウムは100%リサイクルされ、トータルでは84.57%が再生された。リサイクルする上で重要となるライフサイクル評価では新しいモジュールを作るよりもエネルギー投入量を減らすことができ、環境への影響を減らすことができる。

また、国内でもリサイクル技術の開発が進められ、NEDO 技術開発機構から北九州産業学術推進機構 (FAIS) に委託され、「広域対象のPVシステム汎用リサイクル処理方法に関する研究開発研究」として進められている。結晶系、薄膜系両方の太陽電池について対応できる自動化プラント技術で、処理量20MWで10円/W、200MWで5円/Wを目指している。

その他、Sunicon 社同様、SolarWorld 社がPVリサイクル会社 Solar Cycle を立ち上げた²⁰⁾。

太陽電池リサイクル関連は太陽電池同様動きが速く、今後も注視していきたい。

参考文献

- 1) Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, Solomon, S. et al, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- 2) Summary for Policymakers, Climate Change 2001: Synthesis Report, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001, Robert T. Watson, et al.
- 3) Alsema E. et al, 2009, Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, Subtask 20 "LCA", IEA PVPS Task 12
- 4) 山田興一・小宮山宏, 太陽光発電工学, 2002.10.7
- 5) 富士総合研究所, 即効的・革新的エネルギー環境技術開発-LCA 共通データ集-, 2000.3
- 6) 平成12年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書 太陽光発電システム実用化技術開発, 太陽光発電利用システム・周辺技術の開発, 「太陽光発電評価の調査研究」
- 7) 平成19~20年度NEDO技術開発機構委託業務成果報告書, 太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 太陽光発電のライフサイクル評価に関する調査研究, 2009年, みずほ情報総研株式会社
- 8) 電力中央研究所, ライフサイクルCO₂排出量による発電技術の評価-最新データによる再推計と前提条件の違いによる影響-, 2000年
- 9) 電力中央研究所, 日本の発電技術のライフサイクルCO₂排出量評価-2009年に得られたデータを用いた再推計-, 平成22年7月
- 10) K.Kurokawa: Energy from the Desert: Feasibility of Very Large Scale Power Generation (VLS-PV) Systems, James and James (2003)
- 11) Kosuke Kurokawa, Keiichi Komoto, Peter van der Vleuten, David Faiman: Energy from the Desert: Practical Proposals for Very Large Scale Photovoltaic Systems, Earthscan (2006)
- 12) Keiichi Komoto, Masakazu Ito, Peter Van Der Vleuten, David Faiman, Kosuke Kurokawa: Energy from the Desert: Very Large Scale Photovoltaic Systems: Socio-economic, Financial, Technical and Environmental Aspects, Earthscan (2009)
- 13) Fthenakis, VM. Kim, HC. Alsema, E. (2008). Emissions from photovoltaic life cycles. *Environmental Science & Technology*, 42 (6) : 2,168 - 2,174
- 14) Mason, J.E. Fthenakis, V.M. Hansen, T. Kim, H.C. (2006). Energy payback and life-cycle CO₂ emissions of the BOS in an optimized 35 MW

- PV installation. *Progress in Photovoltaics*; 14 (2) : 179 - 190
- 15) Ito, M. et.al, (2011) . A comparative study on life cycle analysis of 20 different PV modules installed at the Hokuto mega-solar plant. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, Volume 19, Issue 7
- 16) PV Cycle Web サ イ ト, <http://www.pvcycle.org/>
- 17) Lisa Krueger, An overview of First Solar's "Collection and Recycling Program" , PV モジュールリサイクル国際会議, 2010
- 18) FirstSolar Web サ イ ト <http://www.firstsolar.com/>
- 19) Karsten Wambach , Silicon-based PV modules - Recycling technology status, 第2回太陽電池モジュールリサイクル国際会議, 2011
- 20) K. Wambach, PV Module Take Back and Recycling System in Europe, PVSEC-21, 2011



著者略歴

伊藤 雅一

1978年生。2003年3月東京農工大学大学院工学研究科修士課程修了。2006年3月同博士後期課程修了。在学中日本学術振興会特別研究員DC1。同年4月東京工業大学統合研究院特任助教。現在に至る。博士(工学)。太陽光発電システム研究、メガソーラ研究、ライフサイクル評価研究に従事。日本太陽エネルギー学会、電気学会、LCA学会など会員。

報道

[2011 年～2012 年]

再生可能エネルギー協議会代表 黒川 浩助氏

—福島第1原発事故を受け、再生可能エネルギーが注目されそうです。

「再生」強化 共通項に

◆国連の「気候変動に

の強化は共通項になり得る。G8(主要8カ国首脳会議)で打ち出されれば大きな成果だ。他のエネルギーとは本質的に違

条件だ。

◆国連の「気候変動に

の強化は共通項になり得る。G8(主要8カ国首脳会議)で打ち出されれば大きな成果だ。他のエネルギーとは本質的に違

条件だ。

◆国連の「気候変動に

の強化は共通項になり得る。G8(主要8カ国首脳会議)で打ち出されれば大きな成果だ。他のエネルギーとは本質的に違

条件だ。

◆国連の「気候変動に

の強化は共通項になり得る。G8(主要8カ国首脳会議)で打ち出されれば大きな成果だ。他のエネルギーとは本質的に違

◆国連の「気候変動に

の強化は共通項になり得る。G8(主要8カ国首脳会議)で打ち出されれば大きな成果だ。他のエネルギーとは本質的に違

条件だ。

◆国連の「気候変動に

の強化は共通項になり得る。G8(主要8カ国首脳会議)で打ち出されれば大きな成果だ。他のエネルギーとは本質的に違

ドービル・サミット 識者に聞く



梅村直承撮影

くろかわ・こうすけ 65年早大卒、通商産業省工業技術院電気試験所(現産業技術総合研究所)研究員。東京農工大教授などを経て、07年から現職。太陽光発電システムなどを研究。東京工業大統合研究院特任教授兼任。68歳。

◆先進国の技術協力、新興国も採用できますか。

—電力供給が不安定との指摘もあります。

—原発はなくなると思いませんか。

【聞き手・野原大輔】

技術革新でコスト削減

政策がころころ変わる。最大の難点は発電コストの不安がある。でも、再生可能エネルギー固定価格買い取り法案はぜひ成立させてほしい。家庭の太陽光発電の余剰分を買い取る現行制度に、事業用の太陽光や太陽光以外の再生可能エネルギーによる発電分の全量を一定期間、採算性を考慮した価格で買い取る新制度が加われば、再生可能エネルギーの普及が後押しされると考えているからだ。

最大の難点は発電コストの高さ。コストを下げるには技術革新と量の拡大がカギになる。買い取り制度で発電量を増やし、市場規模を大きくすれば、それだけコスト低下を促すことになる。特に太陽光発電は、今までのデータから分析すると、市場が2倍になれば20〜25%のコスト低下が見込まれる。国内市場に加え、太陽光パネルの海外輸出を拡大させれば、技術向上と量産効果により、2030年まで

識者に聞く
どうする
エネルギー

④



塩入正夫撮影

黒川 浩助 再生可能エネルギー協会代表

にコストを約6分の1に普及させたり、蓄電機と、日本卸電力取引所での現在の電力の市場価格（1キワ時7円程度）と同水準に下げられるとの試算もある。

また、再生可能エネルギーの多くは天候や季節によって発電出力が大きく変わる。そのため、他のエネルギー源と組み合わせられるようスマートグリッド（次世代送電網）

早稲田大学大学院技術総合研究所 電気試験所（現産業技術総合研究所）研究員。東京農工大学教授などを経て07年から現職。68歳。

エネルギーに代替させるのは量、コストの両面で現実的でない。原発など既存の電力施設を利用しながら、徐々に再生可能エネルギーを増やしていくのが望ましい。分散型発電が進めば、エネルギーを使う人自身が、その地域にあった再生可能エネルギーに、電力危機への対応力に集中立地する原発のよ

再生可能エネルギー

石油や石炭などの化石燃料と違って、長期間にわたって枯渇する心配のないエネルギー源のことをいう。再生可能エネルギーによる発電は、09年度実績で日本の総発電量の9%を占めたが、その多くがダムを中心とした水力。太陽光や風力、地熱などの新エネルギーは計約1%に過ぎず、約6割を火力、約3割を原子力に頼っている。

日本の発電割合は9%

電の割合は主要8カ国（G8）のうち6位。最も高いのは豊富な水力資源に恵まれているカナダの61%で、2位のイタリア（20%）、3位のロシア（16%）も水力が中心だ。イタリアは原発が1基もなく、火力が全体の約8割を占める。ドイツは原子力の割合が23%、再生可能エネルギーは14%でそのうち4割以上が風力。米国は原子力19%、火力71%、英国は原子力14%、火力80%と、日本同様、火力・原子力依存となっている。

金頼み電源立地見直せ

日本社会を根幹から揺るがせた東京電力福島第一原発事故。収束のめどが立たない中、エネルギー政策をどう見直していくべきなのか。識者に聞いた。

識者に聞く どうする エネルギー

東海村の核燃料加工工場の原子力界の空気が安全社JCOで起きた臨界事 神話を作ってきた。故(99年)という教訓があ 日本エネルギー政策 ったにもかかわらず、政 の中心にあくまで原発を 府、電力会社は福島第一 置き、原発の危険性や問 題点に真向から向き合 った。事故当時、原発関係者 おうとしなかったこれら は「周辺の小さな会社が の体質が今回の事故を招 起した事故」と総括し、 いたのではないか。

村上達也 茨城県東海村長



一橋大 社会学部卒、1966年常陽銀行 入行。ひたちなか支店長など を経て97年9月から現職(4 期目)。東海村出身。68歳。

上でエネルギー政策を考 った。だが、国のエネル ィー政策の中心に据え、 自然災害を科学技術で抑 えられると過信せず、被 災時のダメージが小さく なるエネルギー源を模索 しなければならぬ。そ れは究極的には自然エネ ルギーなんだろう。 これまで、反原発との 射性廃棄物も心配の種 だ。福島第一原発の4号 機では、使用済み核燃料 決めつけから、政府は自 然エネルギーに十分な財 源的な支援をしてこなか 素爆発した。使用済み核

原発の立地自治体には、電源 3法(電源開発促進税法、特別 会計法、発電用施設周辺地域整 備法)に基づく交付金のほか、 施設にかかる固定資産税など、 巨額の交付金、税収が落ちる。 交付金は、電力消費地が電力 生産地に支払う「迷惑料」とし て、家庭の電気料金とともに徴 収される電源開発促進税収(11 年度予算での見込み額3460 億円)が財源だ。11年度の国の 予算は、公共施設の整備などに 使われる電源立地対策費約16

自治体に巨額の「迷惑料」

60億円を計上。原子力を中心 に火力、水力などの発電所立地、 周辺自治体に配分される。政府 試算では、出力135万キロワットの 原発を新設する場合、交付金総 額は運転開始までの10年間で約 450億円、その後35年間で約 800億円に達する。 ただし、交付金には適用期限 があり、固定資産税も毎年の減 価償却とともに減少する。その ため、原発マネーに依存してい た自治体が、財政再建のため、原 発増設を求めるケースもある。

燃料を長期間保存するリ ースクを国民は実感したと 思う。本場に核燃料サイ クルができ、村から使用 済み核燃料などが出てい くのだろうか。高速増殖 炉はもちろん、再処理工 場もうまく稼働しない。 再処理できたとしても、 プルトニウムを日本にた くさんためて、どうする のだろうか。まさに八方 燃料を長期間保存するリ ースクを国民は実感したと 思う。本場に核燃料サイ クルができ、村から使用 済み核燃料などが出てい くのだろうか。高速増殖 炉はもちろん、再処理工 場もうまく稼働しない。 再処理できたとしても、 プルトニウムを日本にた くさんためて、どうする のだろうか。まさに八方

「直ちに脱原発」無責任

原子力発電所などのインフラ輸出を推進するのは、日本の電力会社を国際競争にさらして、新しい技術や、高いレベルに押し上げるためだ。そういう新成長戦略の大きな方向性は変わらないと思

う。ただ、原発事故を想定して訓練したり、安全対策にもう少し軸足を置くことは、抜かっていた

必要がある。エネルギー政策を超短期、中期、中期に分けて考

識者に聞く
どうする
エネルギー

②

前田 匡史 内閣官房参与



まえだ・ただし 東大法卒。82年日本輸出入銀行(現国際協力銀行、略称JBIC)入行。09年から同行の国際経営企画部長。昨年6月から内閣官房参与を兼務。53歳。

ドイツやイタリアは脱原発だが、フランスは違

エネルギー安全保障政策

石油など、自然界から取り出した「一次エネルギー」の日本の自給率は00年代以降、約4%にとどまっている。さらに輸入エネルギーの約4割が石油で、そのうちの9割近くを中東からの輸入に依存。中東情勢の不安定化や、中国など新興国の需要の急拡大に伴う原油価格高騰の影響を受けやすい構造だ。

抜本的な見直し必要

の安定確保を目指す「エネルギー安全保障政策」に取り組み、脱石油の切り札として原発を推進してきた。昨年まとめたエネルギー基本計画で政府は「30年までに全発電量中の原子力の割合を現在の約30%から53%に高める」方針を打ち出した。

むしろ原発の新規導入し、議論をリードして国はこれからますます増く必要がある。問題は新規導入国にいかにか高い安全基準を順守してもらうかは、東京電力の上場維持が前提だが、短期的な上場維持だけでなく、中長期的にもいこの安全監視機関として強化していく方向になるとかかという議論は法案成立後もしっている。将来的には賠償は国と東電で分担し、賠償責任からある程度

【聞き手・佐藤千矢子】

安全確保し原発維持を

福島第1原子力発電所 1源の分散の観点から、事故の被害状況が明らかになるにつれ、日本国内での原発の位置づけは、「安泰」から「不安定」の方に動いた。原発の利点は「安さ」と言われていたが、事故対応にかかるコストのみならず、正常に動いている場合でも、使用済み核燃料の処理にかかるコストが膨大になることから疑問の声が増えている。原発の「安全神話」(1)にも「安い神話」が根幹から揺らいだ。

ただ、それでも私は地球温暖化対策やエネルギー

福島の分散の観点から、原発は必要だと考えている。そのために最優先で取り組まねばならないのが、安全性の確保だ。経済産業省の中にある、原子力の推進と規制の機能を分離すべきだということを、私は事故前から提言していた。世界の72カ国・機関が加盟する原子力安全条約は、締約国における安全規制と推進との分離を求めている。分離はすでに世界の常識になっている。

さらに、規制関係の部門の人材に厚みがないと

識者に聞く
どうする
エネルギー

③

住田 健二 大阪大名譽教授



竹内紀臣撮影

大阪大 理 98 年 4 月～00 年 3 月、原子力安全委員長代理。JCO 臨 界 事 故 時 は 現 地 で 収 束 の 指 揮 を 行 っ た。大阪府出身。80 歳。

いけない。内閣府の原子力安全委員会は100人ぐらい。保安院の原子力担当は350人ぐらいいるが、いずれも電力会社を監視できていない。すべての規制機関を一元化し、米原子力規制委員会のような技術者の層の厚い組織を作るのが望ましい。

いけな。内閣府の原子力安全委員会は100人ぐらい。保安院の原子力担当は350人ぐらいいるが、いずれも電力会社を監視できていない。すべての規制機関を一元化し、米原子力規制委員会のような技術者の層の厚い組織を作るのが望ましい。

原子力規制体制

日本の原子力規制体制は当初、1956年に発足した旧総理府の原子力委員会が、推進と安全確保の両方を監督し、原発などへの直接の監視を、旧通産省と旧科学技術庁が担う仕組みだった。しかし、原子力船「むつ」の放射線漏れ事故(74年)で原子力行政への不信が高まったため、78年、原子力委員会から安全確保の機能を分離し、原子力安全委員会を新設した。99年のJCO臨界事故後は、

推進省に設置へ疑問の声

規制体制を強化する必要があるとして、00年4月に安全委事務局を科技厅から総理府に移し、事務局員を20人から約100人に増強。さらに、01年の中央省庁再編時には、通産省と科技厅に分かれていた直接監視する機能を、新設の原子力安全・保安院に一元化した。原子力の安全規制を担当する職員は140人から260人に増えた。だが、原発を推進する経済産業省内に保安院を置いたことから、発足時から「厳正に規制できるのか」との疑問の声が上がっていた。

回の事故では公表が遅れ、一部住民が放射能の流れる方向に避難する事態になった。炉心溶融(メルトダウン)も政府、東電は5月になってようやく認めたが、原子力の専門家は早い段階で溶融を指摘していた。最初は「な」と言っていた事実が、後から後から出てくる現

【聞き手・塚田健太】

「縮原発」で比率下げる

資源がなく、2回の石 島第1原発の事故を防げ
油危機を経験した日本 なたった反省は、自民党
が、安定的に電力を供給 内では共有している。
していくため、エネルギー 私が委員長代理を務め
1源多様化の一環とし る党の「総合エネルギー
て、原子力を選んだのは 政策特命委員会」は、今月
正しい選択だったと今で 未をめどに再生可能エネ
も思う。

しかし津波対策など重 法案への対応について方
大事故への備えが決定的 向性を出し、原発をどう
に足りなかった。民主党 考えるかの議論に移る。
政権も今年2月、運転開 これまでの自民党のエネ
始から40年たち、設計上 ルギー政策についてもし
の寿命を迎えた福島第1 っかり検証し、反省する。
原第1号機の10年間の運 太陽光発電など新エネ
転延長を認めた。お互い ルギーの研究開発の予算
責任があると思うが、福 を絞りながら、原発立地

識者に聞く
どうする
エネルギー

⑤



塩入正夫撮影

にしむら・やすとし 東京 東
大法卒、通産省（現経済産業 経産省）を経て03年衆院選で初
選し、現在3期目。福田、麻 当選し、現在3期目。福田、麻
生両内閣で外務政務官。党経 生両内閣で外務政務官。党経
産部会長。兵庫県出身。48歳。

西村 康稔

自治体に巨額の交付金を 最低限の原発は必要と考
落としてきたのは問題だ えている。同時に、ライフ
と考えている。長期的な ワークとして自然エネル
国家戦略より、目先のパ ギー推進に取り組んでき
ラマキを重視する古い自 た。河野さんも今すぐに
民党の体質がエネルギー 原発を止められないとい
毎日 分野でも残っていた。 う点では同じ考えだ。

党の「エネルギー政策 新規立地が難しい中、
議員連盟では、河野太郎 古い炉を廃炉にすれば徐
衆院議員と共同代表に就 々に「縮原発」の方向に
いたので、私が「脱原発」 進み、30年ごろには国内
に宗旨替えしたと驚いた 総発電量に占める原発の
人もいたようだが、私は 比率は10%台まで下がる

だろう。そこまでの道筋 「おれの顔を見たくない 迎えるから、「50年に原
は河野さんと大きな差は なら再生エネルギー法案 発ゼロ」との議論はでき
ない。その先どうするか を通せ」といったパフォ なくはないが、次期衆院
は今すぐ決めなくてもい ーマンズ的な発言を繰り 選で40年先のことは争点
いのではないか。 返している。日本のエネ にならない。脱原発を争
菅直人首相が脱原発色 ルギーの将来像を見据え 点にした衆院解散はない
を強めているが、どうい ているとは思わない。 と思う。
うエネルギー政策を自指 最新鋭の原発でも20 点にした衆院解散はない
すのかを示さないまま、 50年には寿命の40年を と思う。
【聞き手・中田卓二】
11月27日

自民のエネルギー政策

自民党は1955年の結党以 来、原発推進をエネルギー政策
の柱に据えてきた。74年には「電
源3法」を制定し、原発の立地
自治体を巨額の交付金や税收で
優遇する仕組みを構築。電力業
界は資金と選挙を通じて自民党
長期政権を支える図式だった。
09年の野党転落後も党の方針は
変わらず、10年参院選の選挙公
約では、原発増設を含む原子力
政策の推進や、「原子力発電電
設等立地地域振興特別措置法」
の拡充・延長を打ち出した。

「ゼロベースで検証」強調

しかし、福島第1原発事故を 契機に、自民党も政策転換を余
儀なくされている。今月5日に
設置された総合エネルギー政策
特命委員会は近く、与党時代の
政策の検証に着手する方針だ。
委員長の山本一太参院政審会長
は「あらゆる政策をゼロベー
スで見直す」と強調する。
原発推進派から慎重派まで党
内の見解はさまざま、特命委
がどこまで切り込めるかは未知
数だが、「新規立地は難しく、
再生可能エネルギーの拡大が必
要」との認識は次第に広がって
いる。

多様な組み合わせ重要

菅直人首相が言った脱原発依存は、前から言ってきたことで歓迎している。経済の観点から言えば、脱原発が推進かという軸だけで考えるのは危険。資源小国の日本は、エネルギーポートフォリオ（多様なエネルギーの組み合わせ）を持つことが極めて重要だ。

ただ、再生可能エネルギーにすぐ代替できるわけではなく、一時的には火力に頼る必要がある。コスト負担が高まるのはやむを得ないだろう。

電力需給が本当に逼迫するかどうかは、きちんと計算すべきだ。経済産業省の数字には、供給電力に揚水発電が入っていないので、自家発電、いわゆる埋蔵電力も計算外だ。それらの10%を使えば、需給はバランスさせられる。また、何時間かのピーク時の供給が足りないのだから、需給管理をし、経済活動を停滞させない知恵を持つ必要がある。

その上で、脱原発依存、代替エネルギー普及を進めていくことが大切だ。

識者に聞く
どうする
エネルギー

6

馬淵 澄夫 前首相補佐官



津村豊和撮影

今は原発の新規立地などできないが、落ち着いた時には、原発事故でかかるとも想定し、それでも国民が受け入れると、事故の原因は津波だといふのであれば、安全確立を前提に、原発を持ち続けることも選択肢としてある。ゼロか否かを、決める必要はない。将来の国民とリーダーが判断すればいい。だが、危なくともいいから原子力発電をやれと言う気はない。安全基準を見直し、しっかりとした安全対策をとる必要がある。

電をやらせと言う気はない。安全基準を見直し、しっかりとした安全対策をとる必要がある。

事故の原因は津波だといふのであれば、安全確立を前提に、原発を持ち続けることも選択肢としてある。ゼロか否かを、決める必要はない。将来の国民とリーダーが判断すればいい。だが、危なくともいいから原子力発電をやれと言う気はない。安全基準を見直し、しっかりとした安全対策をとる必要がある。

まぶち・すみお 横浜大衆
工卒、会社役員を経て03年
院選で初当選、現在3期目。
菅内閣で国土交通相。原発事
故対応担当の首相補佐官を
務めた。奈良市出身。50歳。

の反省に立ち、耐震性の法の安全は確認され、余裕度を確かめるだけ。ら含めてすべての安全基準の見直し抜きには、準を見直さねばならぬ。緊急安全対策にはならぬ。経産省がそれをやらは防潮対策と電源などないことに大きな怒りを感している。多重化の二つしかなく、基準は変えずに安全だと菅さんの問題は、安全言うのはおかしい。話から抜け出せていないことだ。経産省は今してもらうのが目的で、

民主の原発政策

党内に脱原発派と推進派を抱え、野党時代の民主党は確固たる原子力政策を打ち出してこなかった。菅直人代表時代の03年マニフェストは原子力を「過渡的エネルギー」とし、「原子力行政の厳格な監視をすすめることとした。05年の政策集も「慎重に推進」と書き方はあいまいだ。

ところが、政権交代後の09年政策集では「エネルギーの安定供給の観点もふまえ、国民の理解と信頼を得ながら着実に取り

「推進」から「脱」へ 共感広がる

菅首相が10年6月に行った所信表明演説では、鉄道、道路、電力など社会資本の輸出を促進する姿勢を鮮明にし、原発輸出にも積極的に関与してきた。福島第一原発事故後、首相は自然エネルギーへの比重を高めていく姿勢に変化。今月13日の記者会見では脱原発を進めると表明したが、後に「個人的な見解」と釈明した。政府・民主党のエネルギー政策は迷走を続けているが、中間的な脱原発依存への共感が広がっている。

招待講演

[2011年～2012年]

経済同友会 講演会
Japan Association of Corporate Executives

これからの
太陽光発電システムを考える

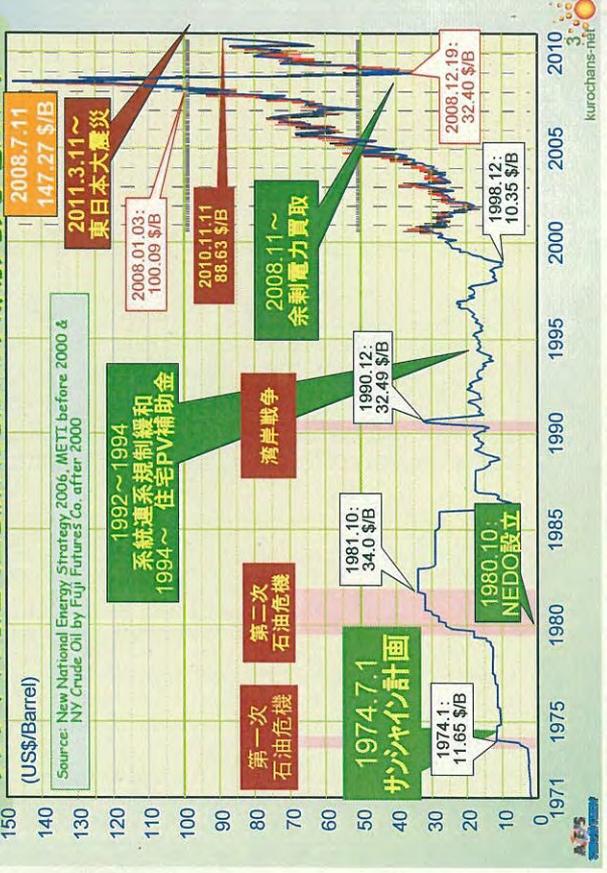
黒川 浩助

東京工業大学ソリューション研究機構
AES研究センター 特任教授
再生可能エネルギー協議会 代表
東京農工大学 名誉教授

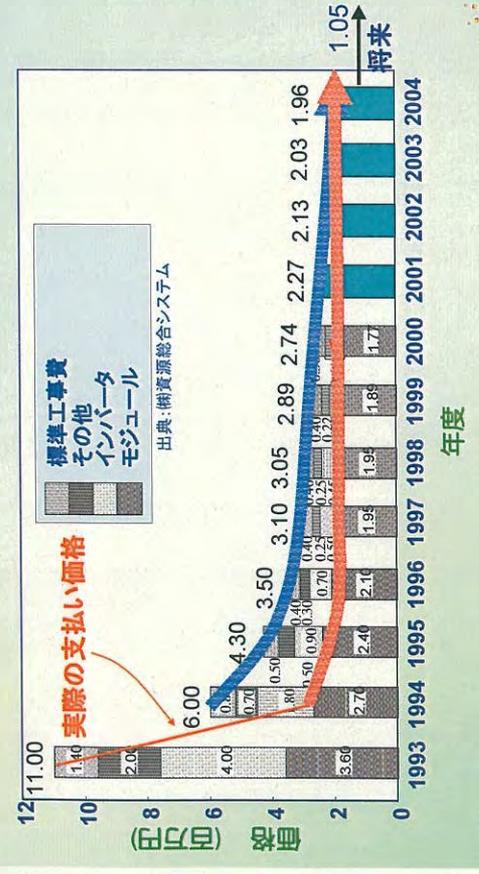


New Library @ Tokyo Tech
CIS module: 12 kW on louver (Solar Frontier)
Crystalline Si module: 24 kW on roof-top (Mitsubishi Elec.)

サンシャイン計画で生き残ってきたのは太陽光発電だけ!



住宅用太陽光発電システム価格動向 (3kW当たり)



住宅用太陽光発電補助金等推移

| 年度 | 上限価格 (円/kW) | 補助金 (円/kW) | 10年間買取保証価格 (円/kWh) |
|------|-------------|------------|--------------------|
| 2009 | 700000 | 70000 | 48 |
| 2010 | 650000 | 70000 | 48 |
| 2011 | 600000 | 48000 | 42 |

- 制約条件
- ・10kW未満
 - ・10kW未満低圧連系・逆潮流あり
 - ・太陽電池モジュール性能・品質の確保

7 July 2011

講演会

公益社団法人 経済同友会
Legal Association of Corporate Executives

これからの 太陽光発電システムを考える

0. 被災地寸描
1. 太陽光発電: 今日から明日へ
2. 住宅用太陽光発電分野
3. メガソーラー, スーパー・メガ
4. 分散発電化, スマート化,
ゼロエネルギーコミュニティ
5. メッセージ



7 July 2011

TSUNAMI destroyed all but PV !?



Copyright (C) 2011 bu-jiji All Rights Reserved.

<http://ameblo.jp/ibuibu/1684/entry-10843469850.html>

8 kurochans-net

7 July 2011

TSUNAMI destroyed all but PV !?



(セキスイハイム)

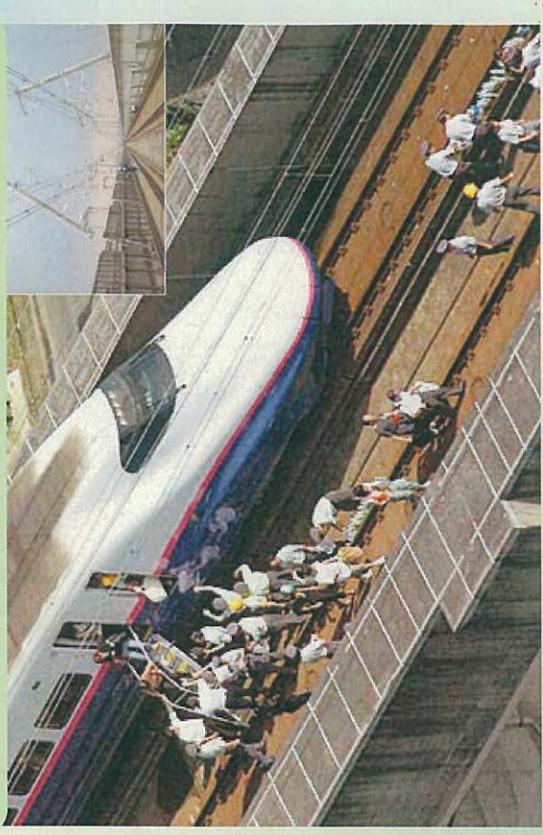
Copyright (C) 2011 bu-jiji All Rights Reserved.

<http://ameblo.jp/ibuibu/1684/entry-10843469850.html>

7 kurochans-net

7 July 2011

Shinkansen damaged seriously!?



9 kurochans-net

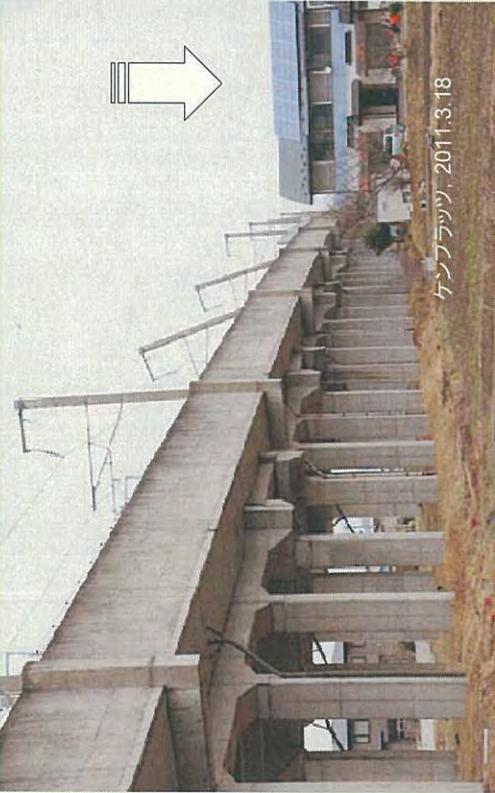
Shinkansen damaged seriously!/?



ケンブリッジ 2011.3.18

ラーメン高架橋柱の上部が破壊した東北新幹線の第1中層根高架橋の端部支柱。曲げせん断破壊とみられる (写真：高橋良和・京都大学防災研究所准教授)

Shinkansen damaged seriously but PV!/?



ケンブリッジ 2011.3.18

第3岡山高架橋は耐震補強されて以内が、躯体に損傷がなかった(写真：高橋良和・京都大学防災研究所准教授) 原典：ケンブリッジ, 2011.3.18

A Quake destroyed Roof but PV!/?



駿河湾地震での事例
ECO JAPAN, 2009年8月26日

Mitsubishiの小屋と太陽光発電。同じ敷地にある物置小屋の屋根が崩壊した。部屋は無事だった。Mitsubishiの太陽光発電。(左)と、物置小屋(右)

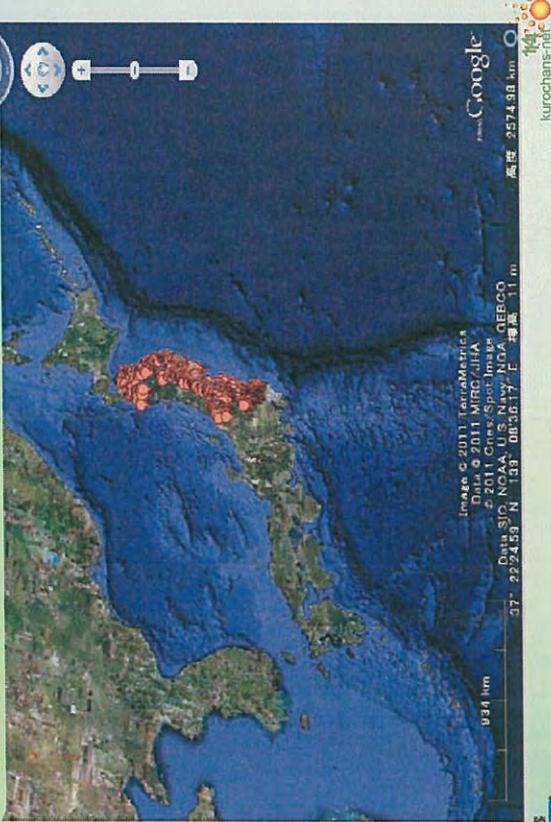
Useful "stand-alone-mode" during power interruption

朝日 2011.4.1 「声」

家の太陽光発電、停電時に活躍

高校教員 藤野 か みてると電球の明かりがと
 (茨城県常陸大宮市 41) もり感動。さらにテレビや
 今回の震災で、我が家も 冷蔵庫が使えるようになる
 5日間は停電になった。 と、気持ちよくなった。
 しかし、昼間はテレビを見 したが夜間は発電できな
 て、洗濯機を回し、携帯電話 いのが悩み。いつか家庭用
 の充電もする。普段通り 蓄電機能が開発されれば、停
 の生活。太陽光の自家発電 電も怖くなくなるだろう。
 をしていたからだ。 東電も政府も今回の原発
 一昨年、太陽光パネルを 事故を反省し、膨大な費用
 約370万円(うち補助金 がかかる原発開発をやめ、
 約70万円)かけて屋根に設 太陽光発電の利用拡大を図
 置し、屋根は電力を東京電 るべきだ。各地の行政機関
 力に売ってきた。今回の震 や企業、家庭などの屋根に
 災で、停電でも自家発電し 太陽光パネルがさらに設
 ますという業者の言葉を 置かれたら、どんな社会に
 思い出し、専用機器を使っ なるだろうか。

Location of Quake Shelters



Useful "Emergency PV"



<http://www.kapoku.co.jp/news/2011042011041010405183044.htm>
 大船渡市の若石コミュニティセンターに設置された太陽光発電機

<http://www.47news.jp/CN/2011/05/CN2011050301000487.html>



<http://readlines.yahoo.co.jp/?p=20110605-00000008-map-social-view-000>

無償提供する移動型太陽光発電機を前に「自社技術が
 設立でばと話を室内会議(左)＝春日井で
 エムエムシー他
 中日2011.4.7
 15 kurochans-net

Useful "Emergency PV"

<http://www.asahi.com/shimbun/me/kiji/kjij/20110425.html>

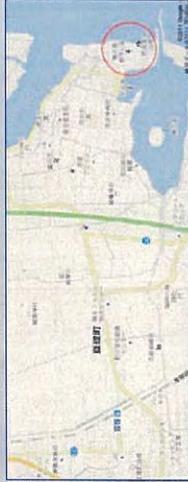


発電パネルを設置する東北大学の工藤教授(左15)。シートは求めて運べる＝8月28日、宮城県石巻市北上町、中山亨す
1kWフレキシブル太陽電池：南極観測の経路を活かして



避難所に設置された太陽光発電を使った浄水器＝1日、宮城県南三陸町歌津の歌津中学校、橋本弦撮影
**アフリカ仕様の太陽光発電浄水装置
 過水能力：500L/時
 (エスイーハイオマステム社)**

わたり温泉鳥の海 (健在時)



Case Studies

PV

Assumptions:

- PV module efficiency = 15% nominal
- Space factor = 50%
- Performance ratio = 80%
- Annual system yield = 1000 hrs

100GW_{PV}

44GW_{PV}

20km²

30km²

約2000億円
(~7円/kWh相当)

4km² ≈ 1GW_{PV-system}

(=1.25GW_{PV})

→ 1.25 TWh/Y

≈ 3km²R半円

Average Nuke's Space

0.7km² ≈ 1GW_{Nuke}
→ 7 TWh/Y
(80% capacity factor)

FUKUSHIMA #1 Site

Proposed Evacuation Area

Recommended Evacuation Area

試算例：100万kW原発との比較

Ver.4: 2011.4.27

訂正版

100万kWの原子力

- 最大電力 = 100万kW
- 年間発電電力量 = 100万kW × (8760h × 0.8) = 70億kWh/年
(年間稼働率 = 80%を仮定)
- 敷地面積: 真電原子力(福島1, 福島2, 柏崎刈羽)の100万kW当たり平均面積を計算

福島1敷地 = 350万m²

福島2敷地 = 150万m²

柏崎刈羽敷地 = 420万m²

全平均 = 920万m² / 17.3百万kW = 53万m² / 100万kW

福島1総出力 = 469.6万kW

福島2総出力 = 440万kW

柏崎刈羽総出力 = 821.2万kW

全平均 = 920万m² / 17.3百万kW = 53万m² / 100万kW

100万kWの原子力と比較した太陽光発電システム

- 公称出力 = 100万kW (日射強度1kW/m², モジュール温度25°C)
- 100万kW / 1kW/m² × 0.15(効率) / 0.5(占積率) = 1333万m² ≈ 3.7km²
- 年間発電電力量 = 100万kW × 1000h/年 ≈ 10億kWh/年(原子力1/7)
- 最大電力 = 100万kW ÷ 0.8 = 125万kW(太陽電池公称出力)
- 125万kW / 1kW/m² × 0.15(効率) / 0.5(占積率) = 1666万m² ≈ 4km²
- 年間発電電力量 = 125万kW × 1000h/年 ≈ 12.5億kWh/年(原子力1/5.6)
- (全国平均の年稼働時間 = 1000h/年を仮定)

ギンソーラー・グリーンサン・ハーベスト計画(農水省系プロジェクト)

追加した検討課題(考察3)

3) 太陽光発電システムコスト試算例

2011.4.13

■大規模太陽光における構築価格

| 容量 (MW) | 50 | 100 | 1,000 |
|----------------|-----|-----|-------|
| 構築費用 (億円) | 200 | 300 | 2,000 |
| システム価格 (万円/kW) | 40 | 30 | 20 |

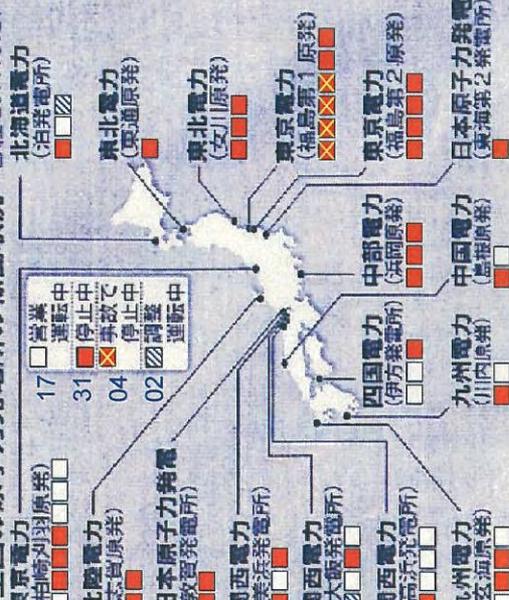
(~7円/kWh相当)

単位: 円/W

| 費用構成 | 50 | 100 | 1,000 |
|------------|-----|-----|-------|
| 太陽電池モジュール | 150 | 120 | 80 |
| パワーコンディショナ | 50 | 35 | 20 |
| 架台 | 30 | 20 | 10 |
| 工事費 | 170 | 125 | 90 |

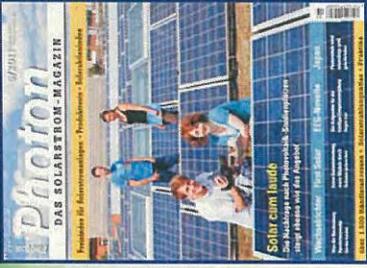
原発の稼働状況

全国の原子力発電所の稼働状況 日経 2011.6.27



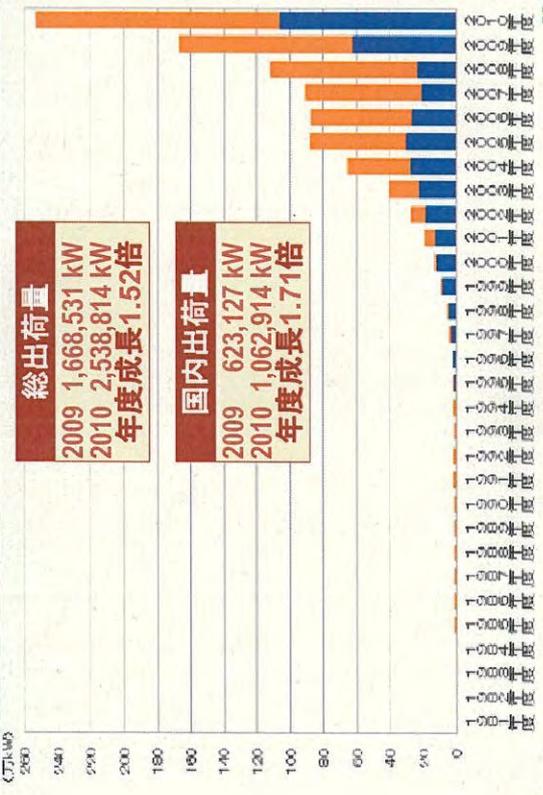
これからの太陽光発電システムを考える

0. 被災地寸描
1. 太陽光発電: 今日から明日へ
2. 住宅用太陽光発電分野
- 3.メガソーラー, スーパー・メガ
4. 分散発電化, スマート化, ゼロエネルギーコミュニティ
5. メッセージ

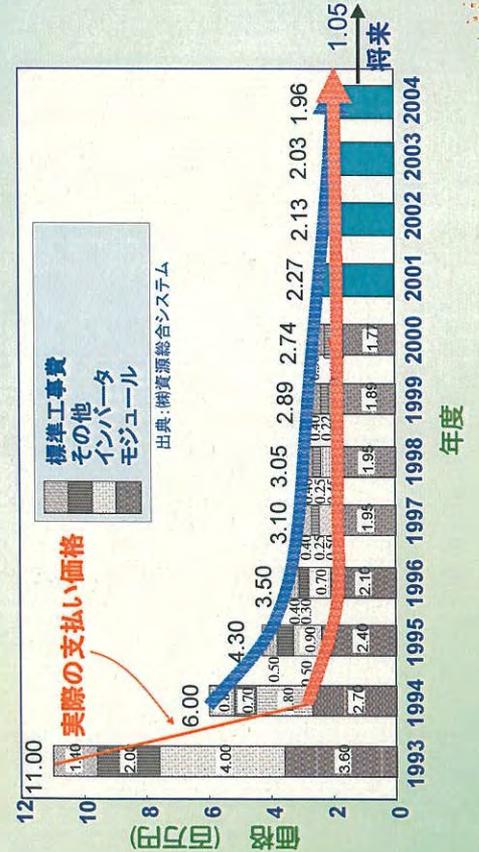


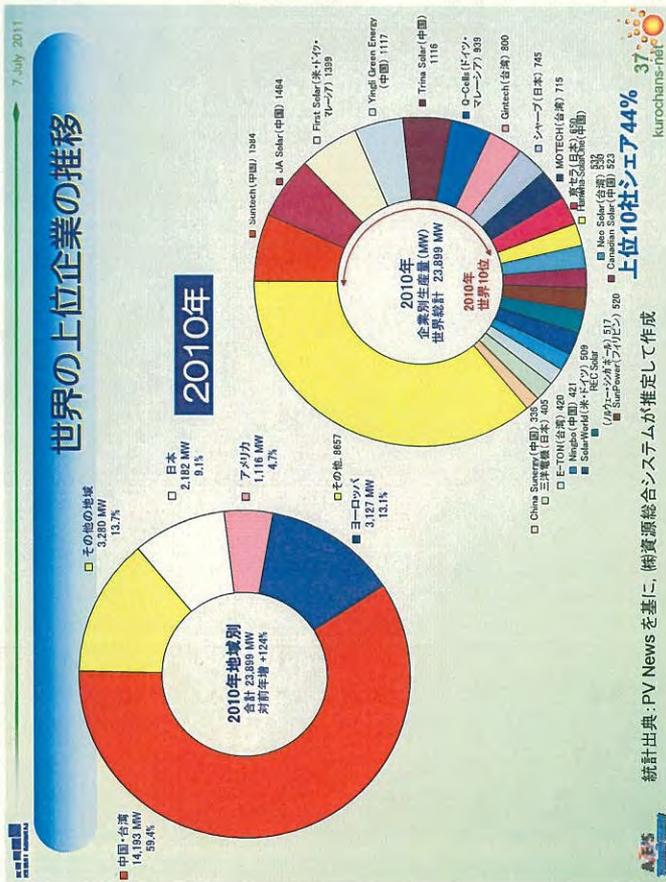
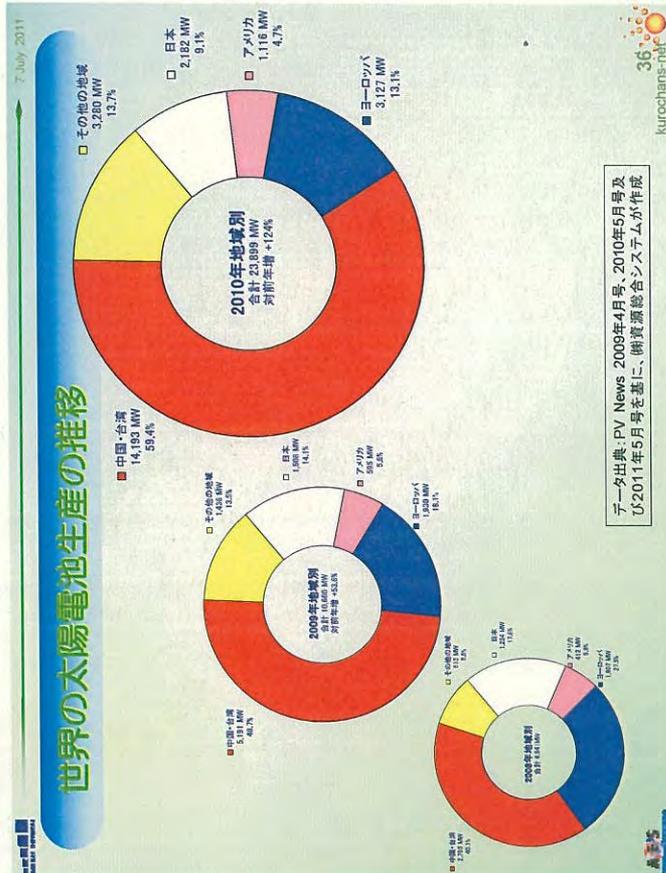
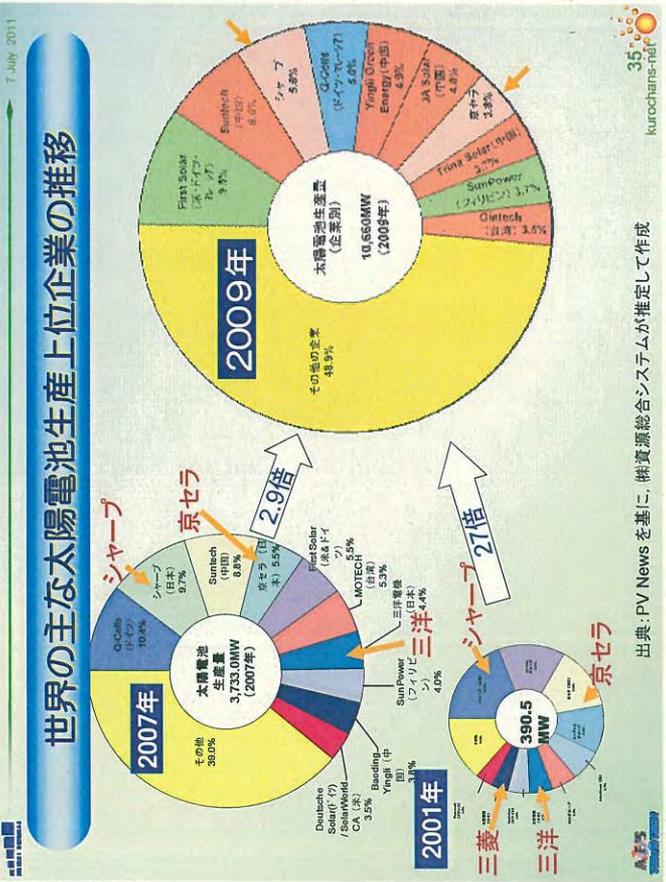
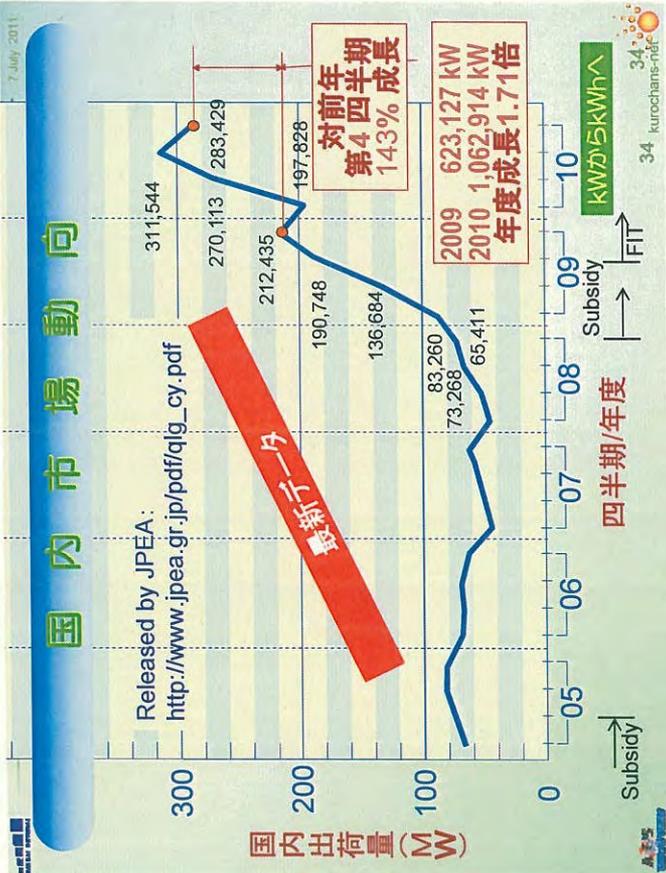
Photon (ドイツ語版)

日本出荷動向

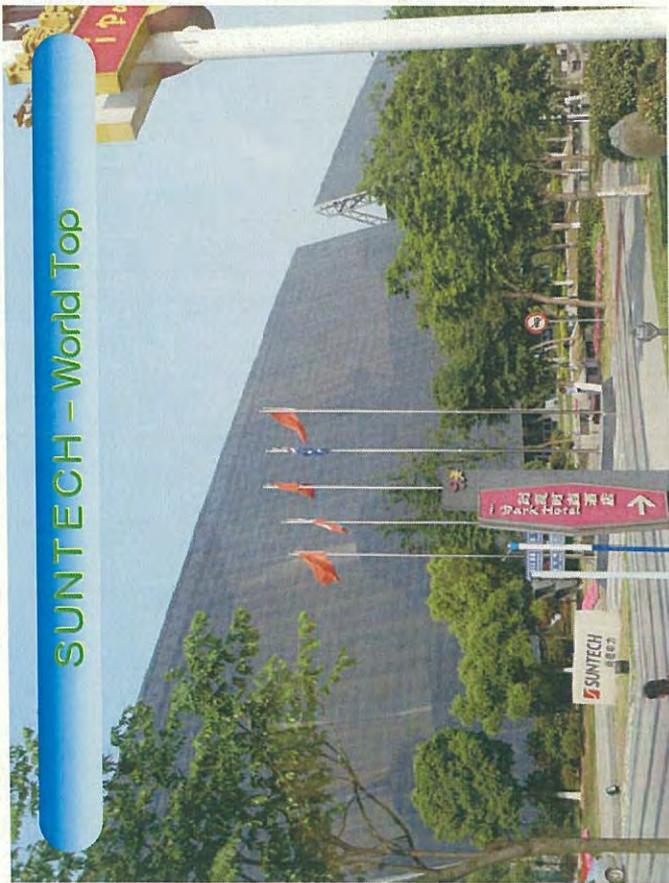


住宅用太陽光発電システム価格動向 (3kW当たり)

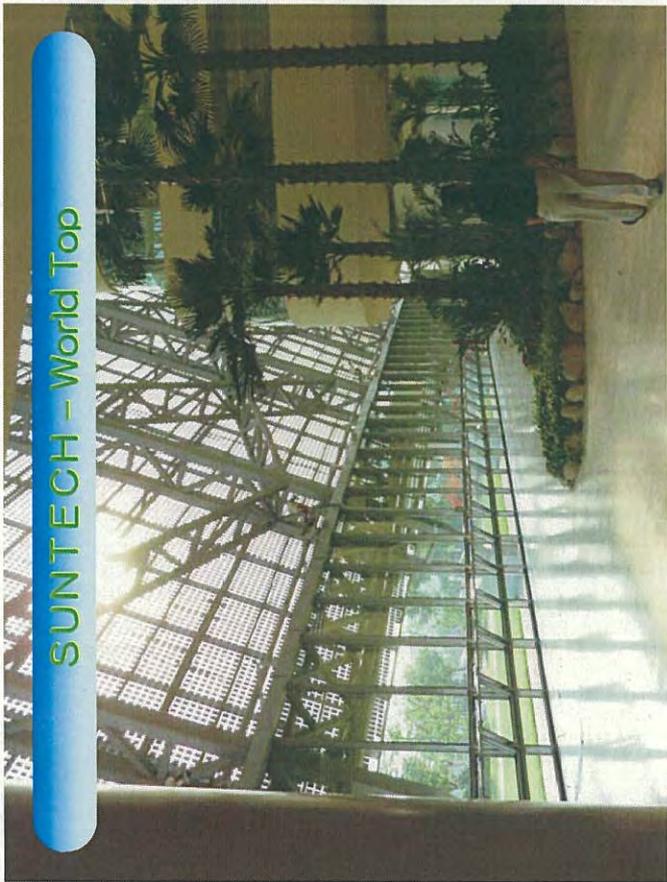




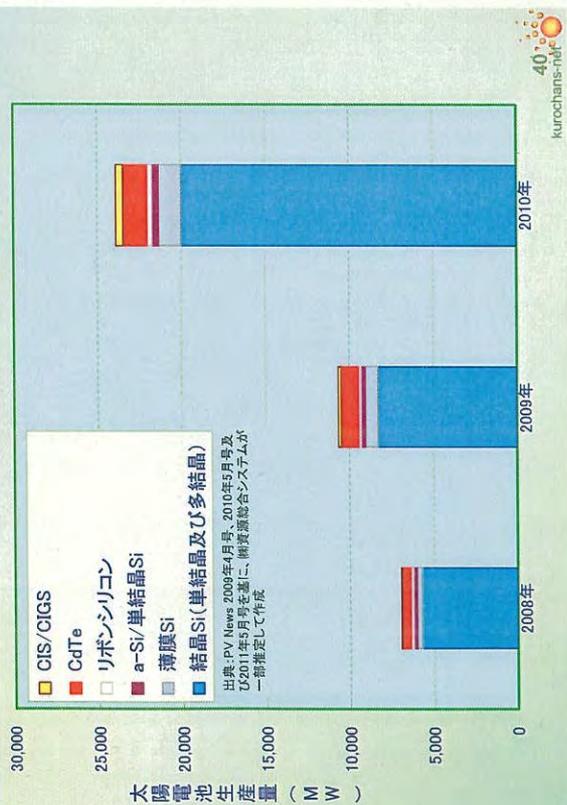
SUNTECH - World Top



SUNTECH - World Top

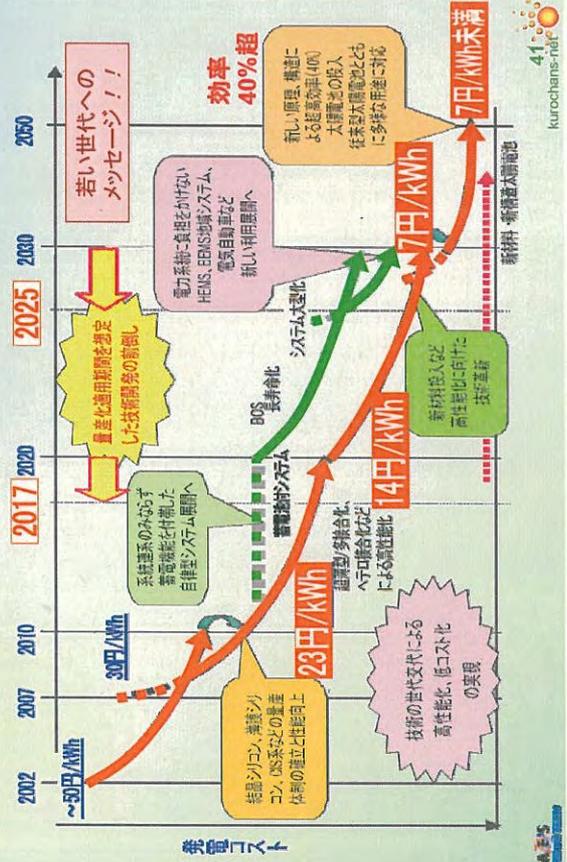


世界の太陽電池生産の推移



7 July 2011

拡張加速化された“PV2030+”



7 July 2011

太陽電池コストダウン・アプローチ

太陽電池の「技術開発」では、少なくとも次のようなアプローチを考える。

- ① 材料、デバイス構造、プロセスを工夫して太陽電池変換効率上昇→面積当たりの発電能力(W)が増える。
- ② 太陽電池を薄くし、材料の必要量を下げる。(集光型では面積も小さく)
- ③ 原材料の種類・工程を工夫して、単価を下げる。
- ④ 製造プロセスの面積当たりのタクト時間スピードアップ、歩留まり改善→製造ライン投資を抑え製造能力向上

製造能力の高い製造プラントでも、実際に稼働・販売できなければイニシャル投資コスト回収できない。→産業自立までの「初期市場立ち上げ」が早期のコストダウン・普及には不可欠。

太陽光発電「世界一」奪還へ

次世代技術開発プロジェクト (2010~2014)

【目的】2020年国内導入量を20倍、世界市場における競争力強化

オール・ジャパン体制

【開発目標】発電コスト14円/kWhのため、モジュールコスト75円/W、変換効率20%に目標を

実用化コスト競争力強化

結晶シリコン太陽電池
→低コストシリコンプロセス、効率向上

薄膜シリコン太陽電池
→All-Japanでのプロセス開発

CIS・化合物太陽電池
→CIS薄膜の低コスト化、集光型PV

有機系太陽電池
→効率・寿命向上、低コスト化、シス化

評価技術国際標準、材料・構造革新等

共通基盤(評価・リサイクル等)

共通基盤(共通材料・部材・機器システム等)

革新的太陽電池

・3研究グループ(2008~2014)
・日欧共同公募(2010~2014)

40%超太陽電池(2030→2050)

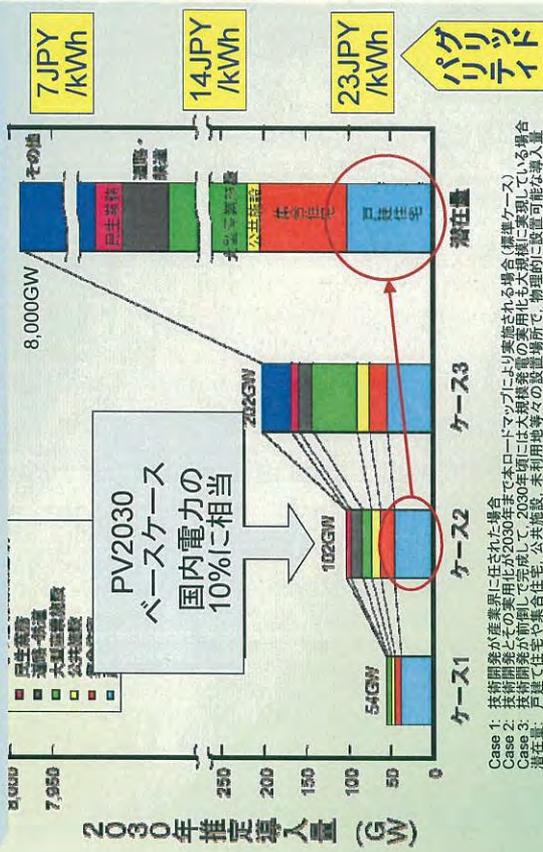
これから太陽光発電システムを考える

0. 被災地寸苗

1. 太陽光発電: 今日から明日へ
2. 住宅用太陽光発電分野
3. メガソーラー, スーパー・メガ
4. 分散発電化, スマート化, ゼロエネルギーコミュニティ
5. メッセージ



“PV2030” 導入想定量: ポテンシャルは充分!



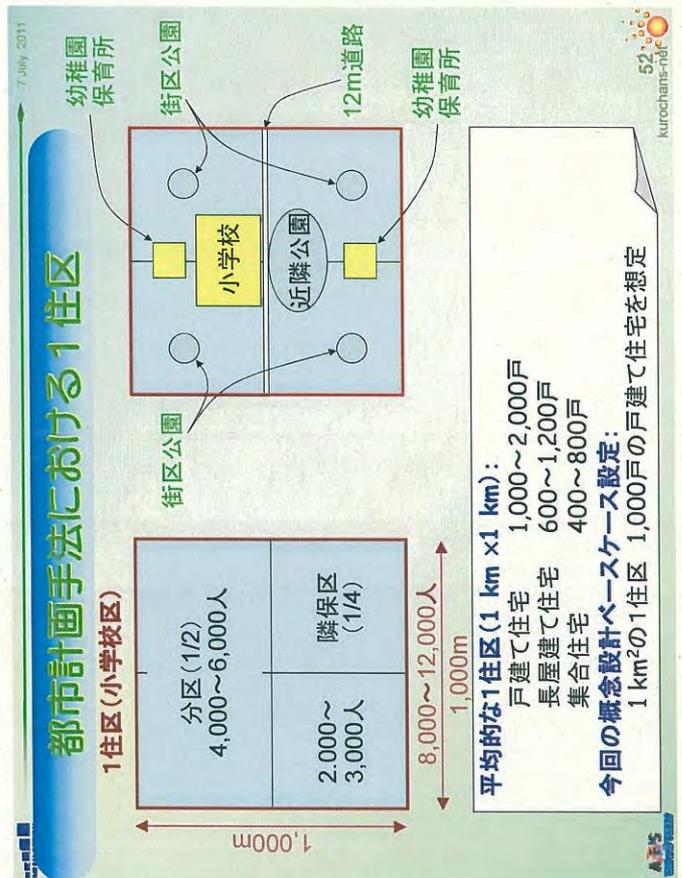


住宅用太陽光発電システムの実力

- 3-4kW/軒 → 70-80% 家庭用電力供給
- 償却年数 およそ10年!
- 将来はオール電化住宅100%供給も可能に
- すでに約80万軒: 集合が重要・これが必要・これがエネ!
- 真の持続性; セキュリティ (おらがエネ)

NEDO/群馬県太田市集中連系プロジェクト

51



7 July 2011

都市計画手法における1住区

1995年度 PVTECシステム実用化委員会報告書

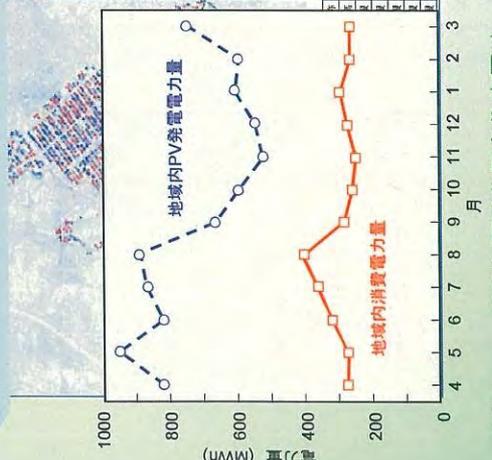
多摩ニュータウン西武北野台住宅団地
2住区に相当 (2小学校, 1中学校)

(出典) PVTECシステム実用化委員会: 第3章住宅コミュニティケーススタディ, 1995.3, kurochane-hf

53 kurochane-hf

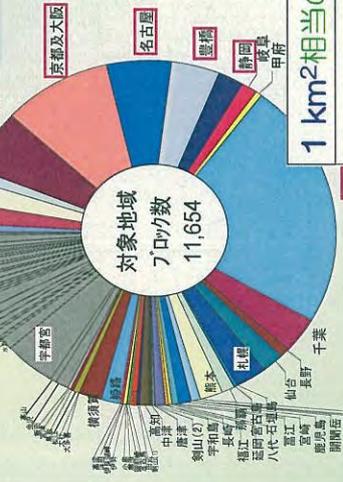
ソーラーPVシティの可能性

配電線1回線に1200軒(4200人の需要家が連系)
 標準設定80 m²戸建て住宅の南・北屋根・南・北窓(シーソー6%)に太陽電池を合計109 m²設定(13%効率)
 地域総消費電力=3744 MWh/年
 地域総発電電力=8805 MWh/年
 地域年間自給率= 2.35倍
 南屋根・地域総発電電力(13%効率)= 3840 MWh/年
 (地域自給率=1.03倍)
 南屋根・地域総発電電力(18%効率)= 5317 MWh/年
 (地域自給率=1.42倍)



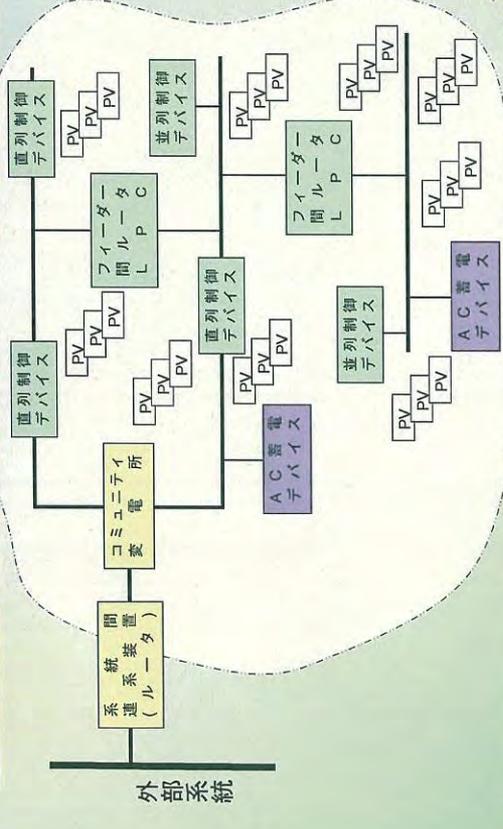
多摩ニュータウン西武北野台住宅団地2住区に相当(2小学校, 1中学校)

典型的な住宅地 - 統計

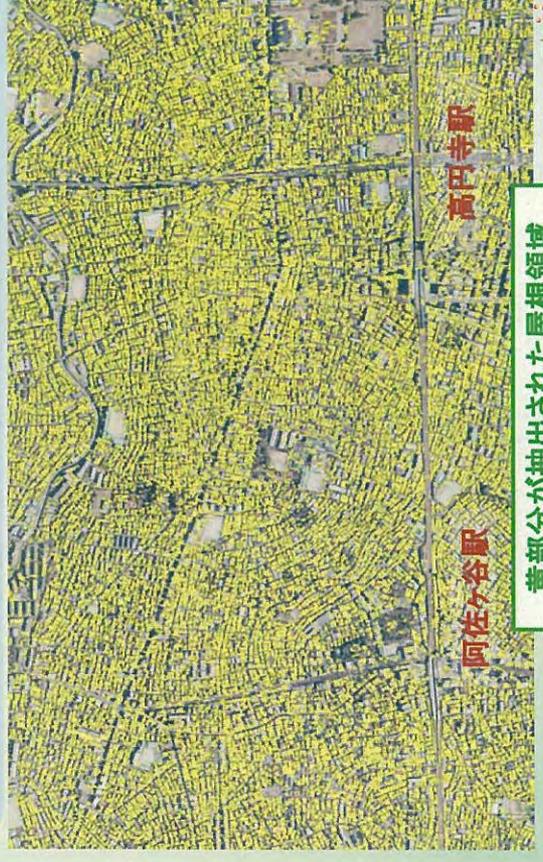


| | |
|------------------------------------|--------------|
| 1 km ² 相当の住区 | 該当数 = 11,654 |
| 1000世帯以上の住区 | |
| 屋根上PV 設置可能地域 | 8,536 |
| ポテンシャル: 5 kW-PV x 1000軒 x 8,536 住区 | 42.7 GW |

自律度向上型・ソーラーPVシティ概念 (コミュニティベース+アクティブネットワーク制御)



東京都23区 PV導入可能地域

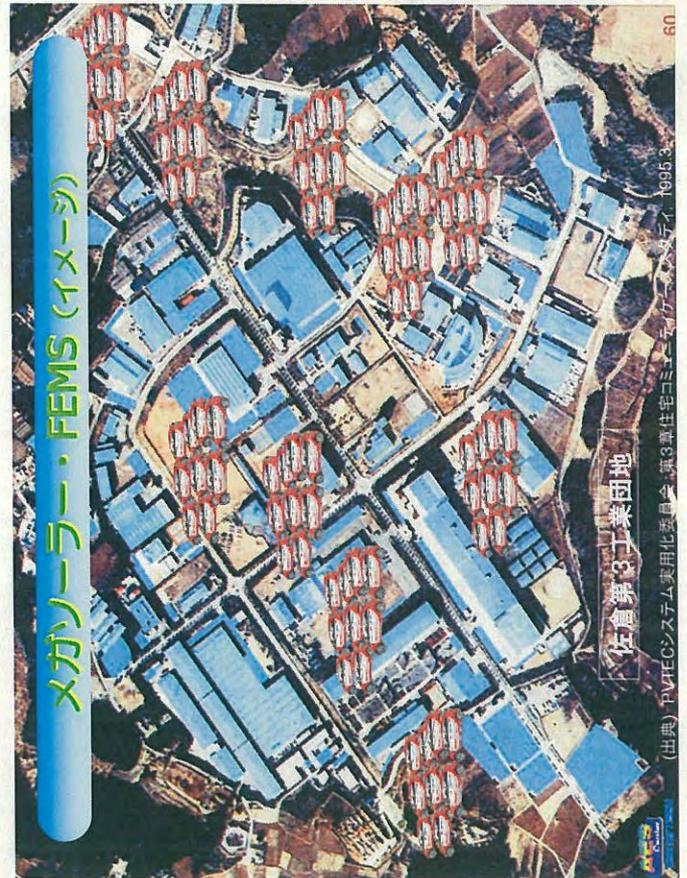


これからの 太陽光発電システムを考える

0. 被災地寸描
1. 太陽光発電; 今日から明日へ
2. 住宅用太陽光発電分野
3. メガソーラー, スーパー・メガ
4. 分散発電化, スマート化, ゼロエネルギーコミュニティ
5. メッセージ



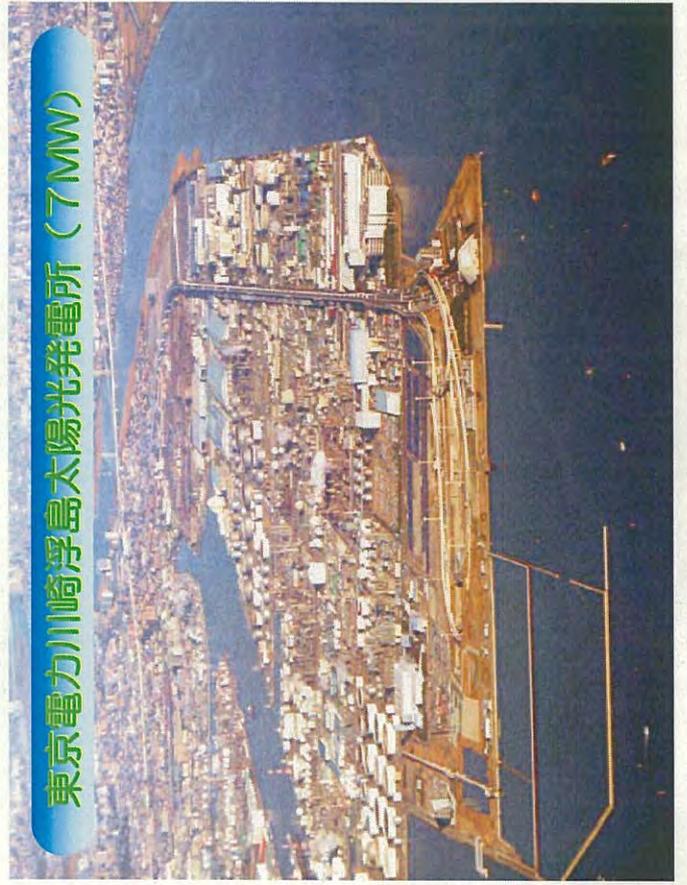
東京都23区 PV導入可能地域



メガソーラー・FEMS (イメージ)

佐倉第3工業団地

(出典) PVPECシステム実用化委員会 第3章住宅用PVシステム導入事例, 1995.3.

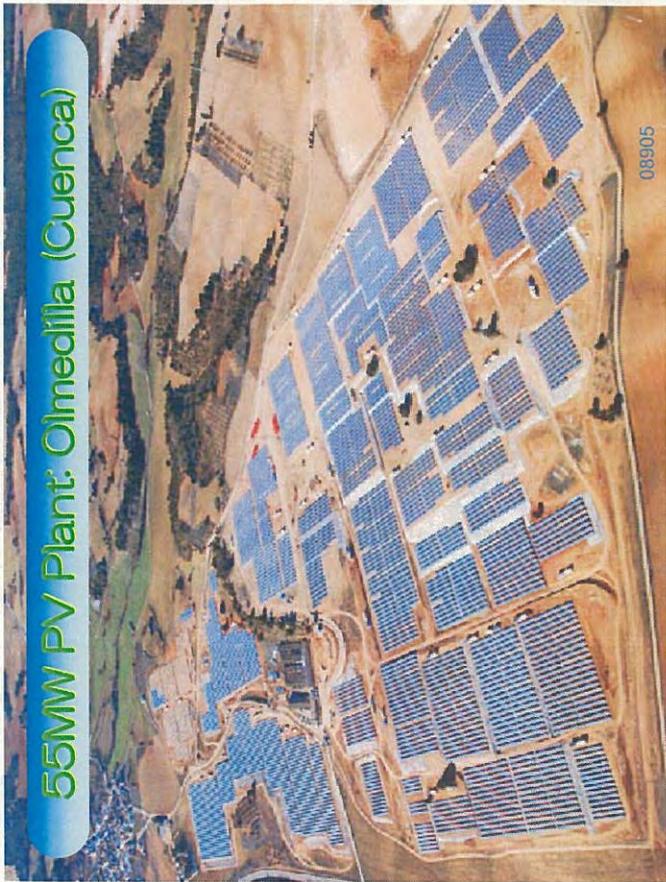


東京電力川崎浮島太陽光発電所 (7MW)

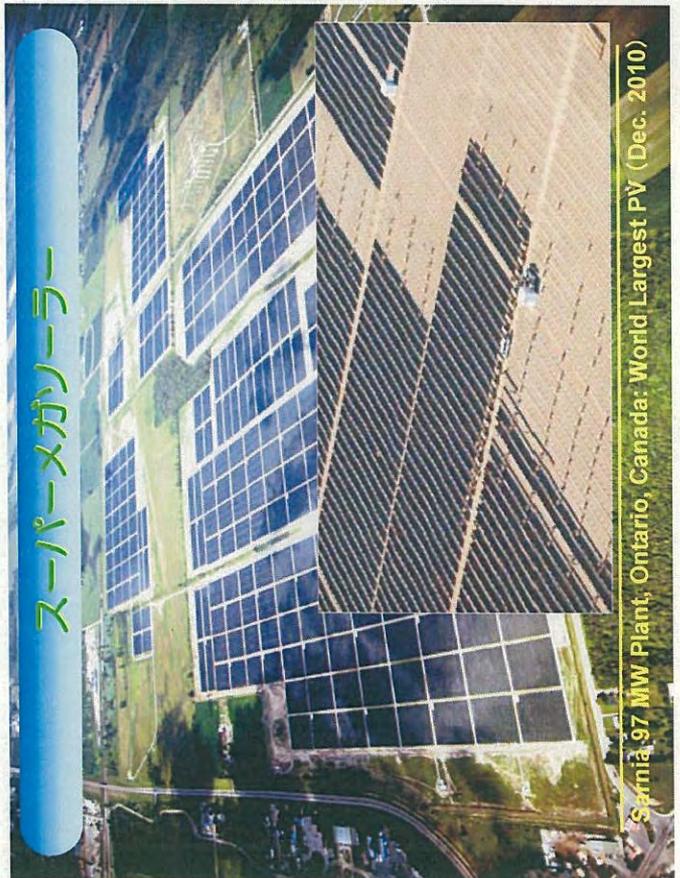
東京電力川崎浮島太陽光発電所 (7MW)



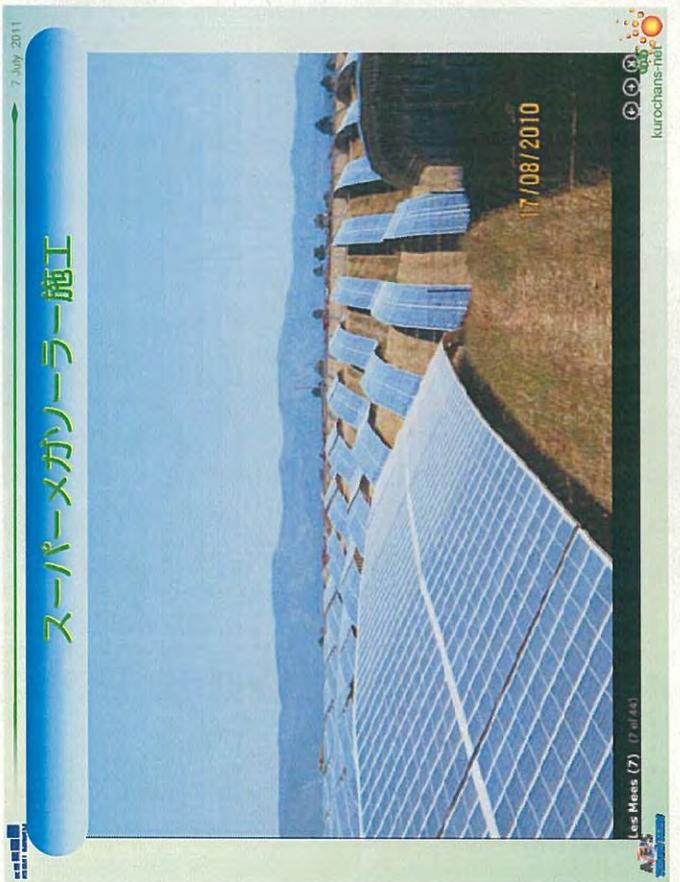
55MW PV Plant: Olmedilla (Cuenca)



スーパーメガソーラー



スーパーメガソーラー施工



メガソーラーの向こうにあるもの (イメージ) PV

Assumptions:

- PV module efficiency = 15% nominal
- Space factor = 50%
- Performance ratio = 80%
- Annual system yield = 1000 hrs

100GW_{PV}

44GW_{PV}

20km^R

30km^R

約2000億円
(~7円/kWh相当)

4km[□] ≈ 1GW_{PV-system}
(=1.25GW_{PV})

→1.25 TWh/Y

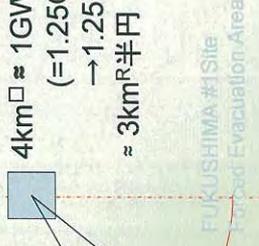
≈ 3km^R半円

Average Nuke's Space

0.7km[□] ≈ 1GW_{Nuke}

→7 TWh/Y

(80% capacity factor)



これから太陽光発電システムを考える

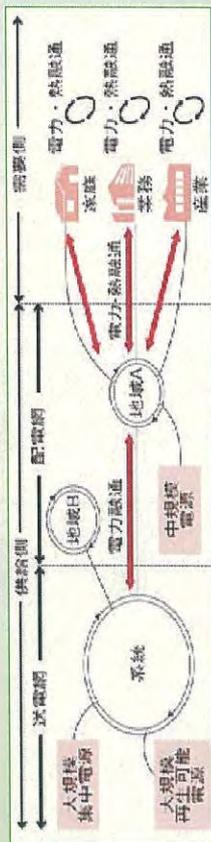
0. 被災地寸苗

1. 太陽光発電; 今日から明日へ
2. 住宅用太陽光発電分野
3. メガソーラー, スーパー・メガ
4. 分散発電化, スマート化, ゼロエネルギーコミュニティ
5. メッセージ



スマートグリッドとは?

- 呼び名: 「スマートグリッド」, 「スマートネットワーク」あるいは「次世代エネルギーシステム」
- 目的: エネルギー利用効率向上, コスト低減, 信頼性の向上
- 機能: 電力や他のエネルギーの利用状態や流れを, 供給側・需要側双方において, 「監視 (見える化)」・「伝送」し, 全体最適化を目指した意志決定「制御」する「統合システム機能」
- (注) 現在, 具体的な定義は曖昧な状況。その対象範囲や, 求める「スマートさ=かじこさ」は, 大きな幅を持っている。



スマートメーターがスマート化の第一歩

電子化した電力量計
見える化
負荷側のEMSなど
電気事業の需給調整など

双方向通信機能
負荷側と供給側の相互通信
上流側のEMSなど



1 顧客向けのサービスとして, 家庭・個人用・小規模工事内の電力利用状況情報の提供や事業等の機器の運用操作, 宅内監視などを提供

2 スマートメーターにより, 短い期間 (例: 15分間隔) で統計主要なデータを収集し, 通信ネットワークを通じて送信する。

3 コンセントレター (データ無効機器) は複数のメーターから集めたデータを集約し, 通信ネットワークを通じて送信する。

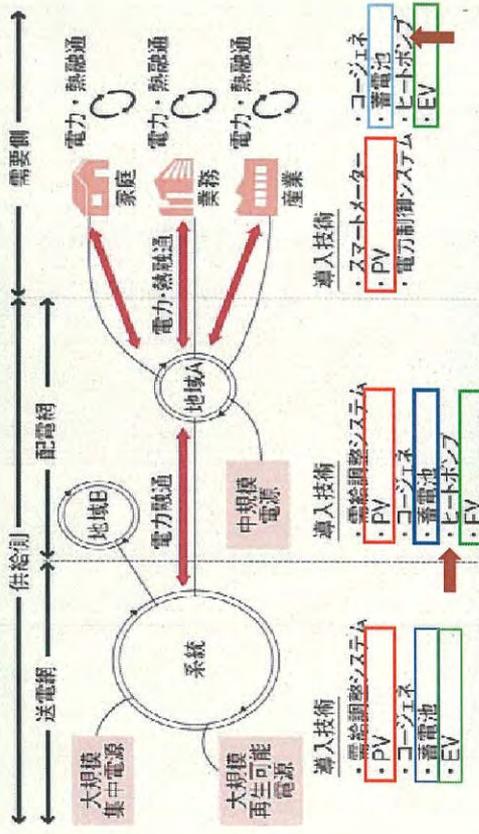
4 集められたデータは運用システムで活用される。同時に, メーター・データウェアハウスやクラウド・分析センター, カスタマーポータル・センターなどは, 顧客に対する供給計画などの処理を行う。また, 体電情報は体電管理システムにインポートされ, より詳細な体電状態を把握可能になる。

徳田: スマートグリッドに関する国内外の動向, 第2回ASIFスキルアップセミナー, 2010.6.30.

スマートグリッドの利点

- スマートグリッドの利点は：
 1. ピークシフトによる電力設備有効利用
 2. 需要側の需給整合化による外部依存割合の低下 (需要シフト、EMS・蓄電制御)
 3. 再生可能エネルギー (分散電源) 導入促進
 4. PHV, EV導入インフラ整備
 5. システムインテリジェント化による停電確率減少
 6. 社会コストミニマムによるエネルギーインフラの全体最適化

スマートコミュニティと太陽光発電・蓄電・EV



EMS, IT, パワエレも横断的に重要

http://www.jfrc.or.jp/shoshaeye/contribute/contrib2010_07e.pdf

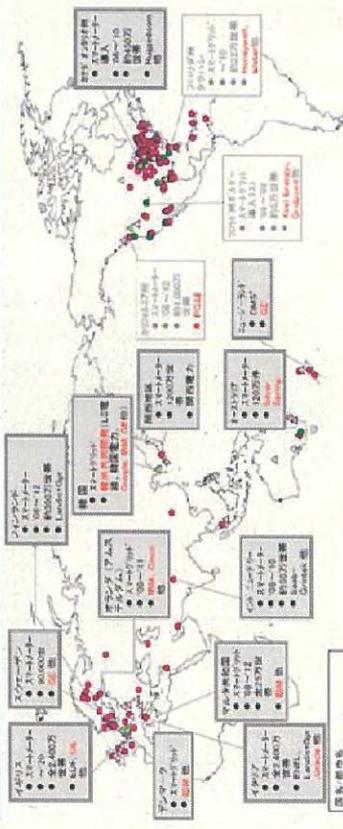
EV, PHV, V2G, V2H, EMSなど

- 東工大RE-EVプロジェクト
- V2H: Vehicle to Home 概念 → スマートホーム: HEMS
- V2G: Vehicle to Grid 概念 → HEMS → 系統連系
- V2F: Vehicle to Factory 概念 → FEMS (NEDO/AES-三菱G)
- スマート・ビル: BEMS
- スマートコミュニティ: CEMS

(注) EMS: Energy Management System

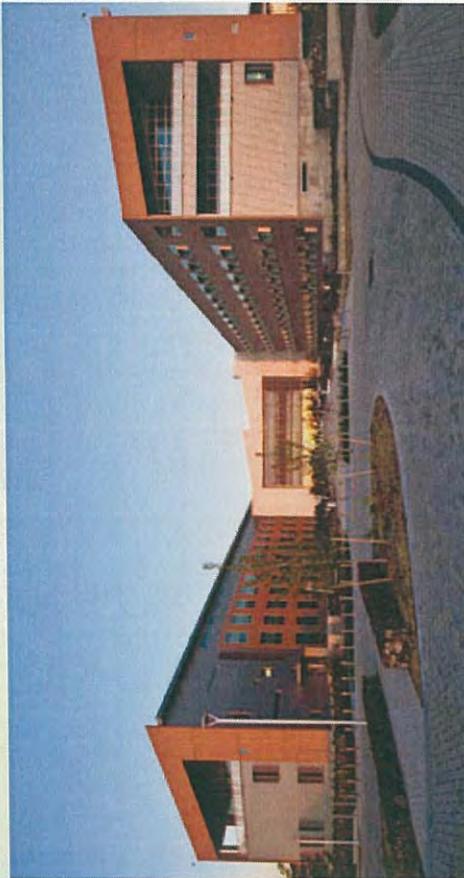
各国・地域の取り組み状況

○ BRICSをはじめとした新興国の経済成長を背景に、電力、水道、鉄道、道路といったインフラ需要が旺盛。都市開発とセットのところも多い。
 ○ 海外では、スマートグリッドや関連するインフラ整備を含めたプロジェクトが多数進行中。
 ○ 米国では、国内実証とともに海外展開を積極的に推進。



注: ● 電力・水道・ガス・熱供給事業者によるスマートメーター導入事業
 ● 電力・水道・ガス・熱供給事業者によるスマートメーター導入事業
 ● 電力・水道・ガス・熱供給事業者によるスマートメーター導入事業
 ● 電力・水道・ガス・熱供給事業者によるスマートメーター導入事業
 ● 電力・水道・ガス・熱供給事業者によるスマートメーター導入事業

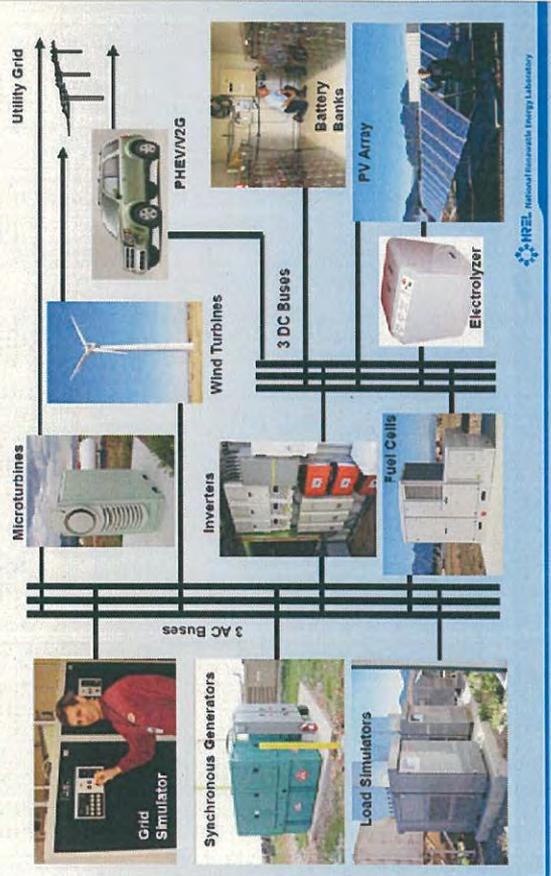
米国DOE-NRELのアクティビティ



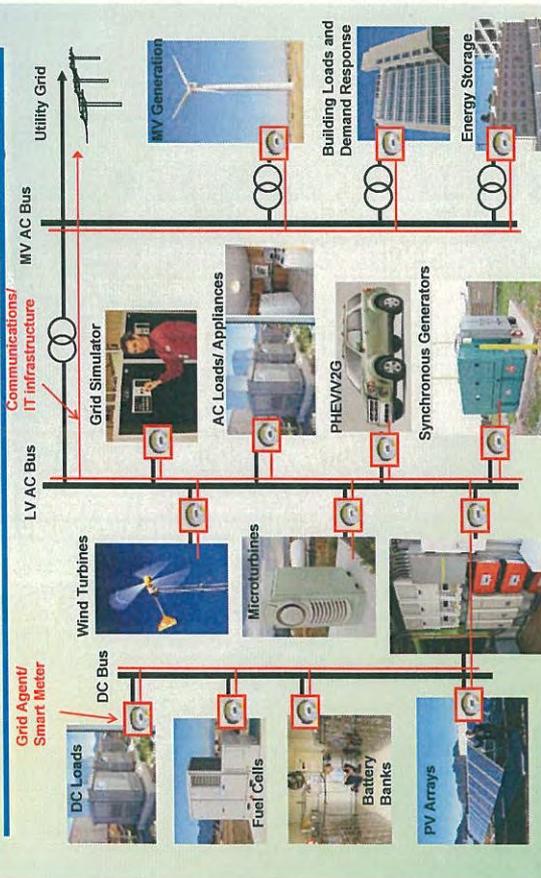
ゼロエネルギービルディング (NREL, Golden, Colorado)



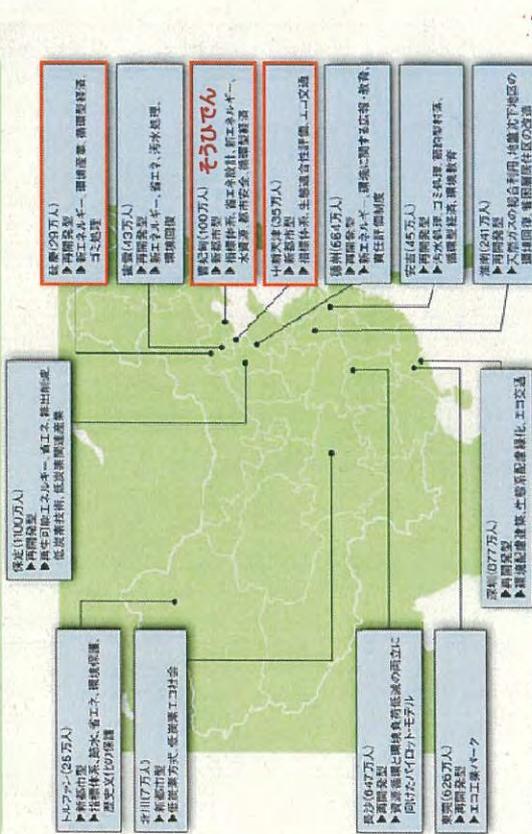
DE Interconnection System Testing



NREL Smart Grid Testing



中国エコシティ 13モデル都市



出典: NikkeiBP社



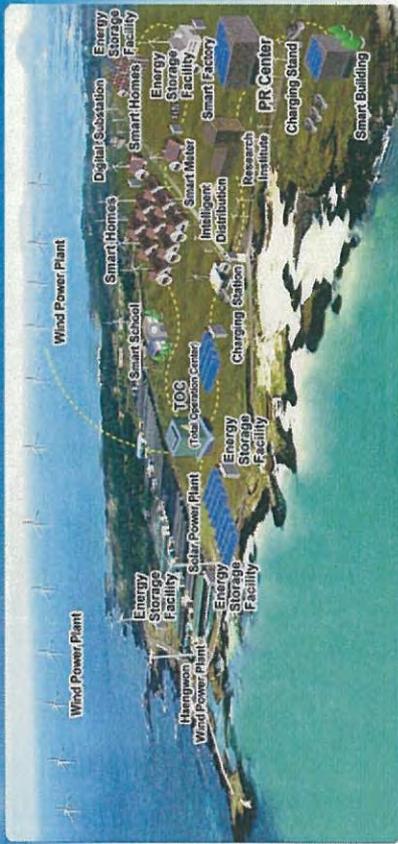
天津エコシティ (中国天津市)



天津エコシティ: 2020年に35万人が暮らす
環境配慮型次世代都市を目指す

出典: 2010/7/12 7:00 日本経済新聞 電子版 82
kurochans-net

2-2. Jeju Smart Grid Test Bed



Features:

- Integrated test bed
- Close collaboration between public and private sectors
- Verification of different power market models
- Participants: Korea Electric Power Corporation (KEPCO) plus automakers, telecommunications companies and home appliance manufacturers
 - Includes major companies such as LG, SKT, KT and Samsung
- Open to foreign companies

マスタードール・シティ計画 (アブダビ)

100% Renewable Energy

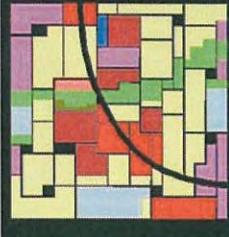


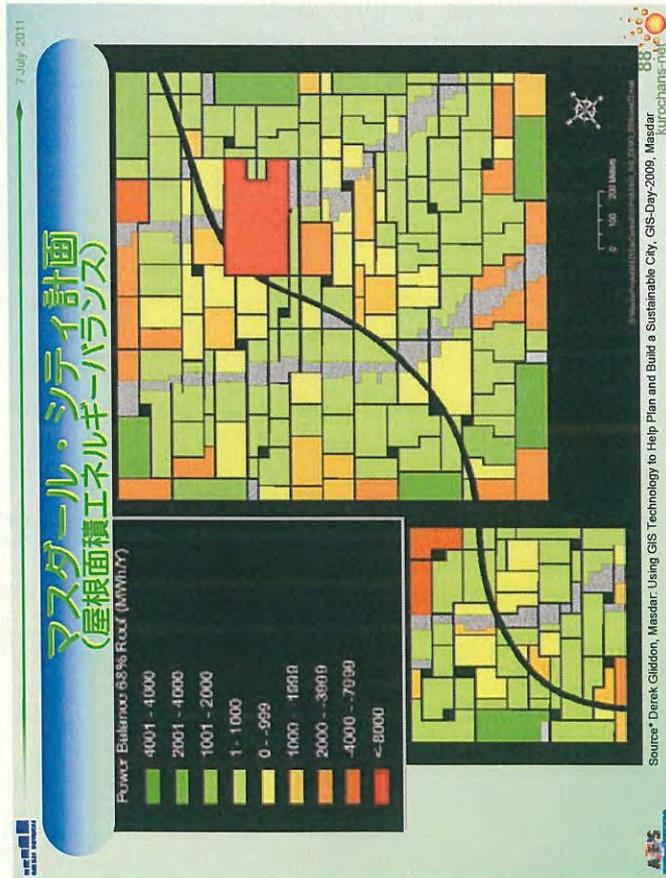
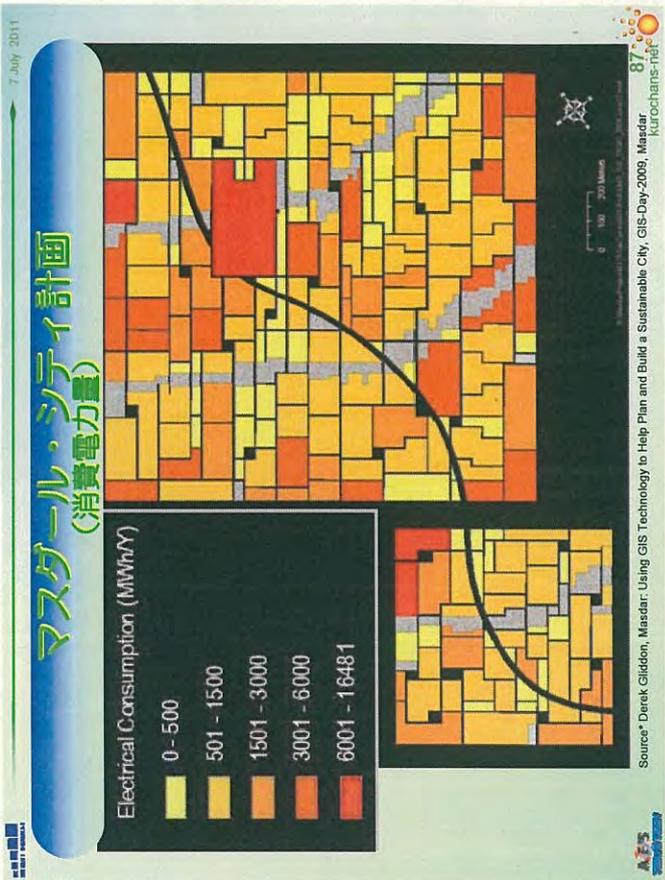
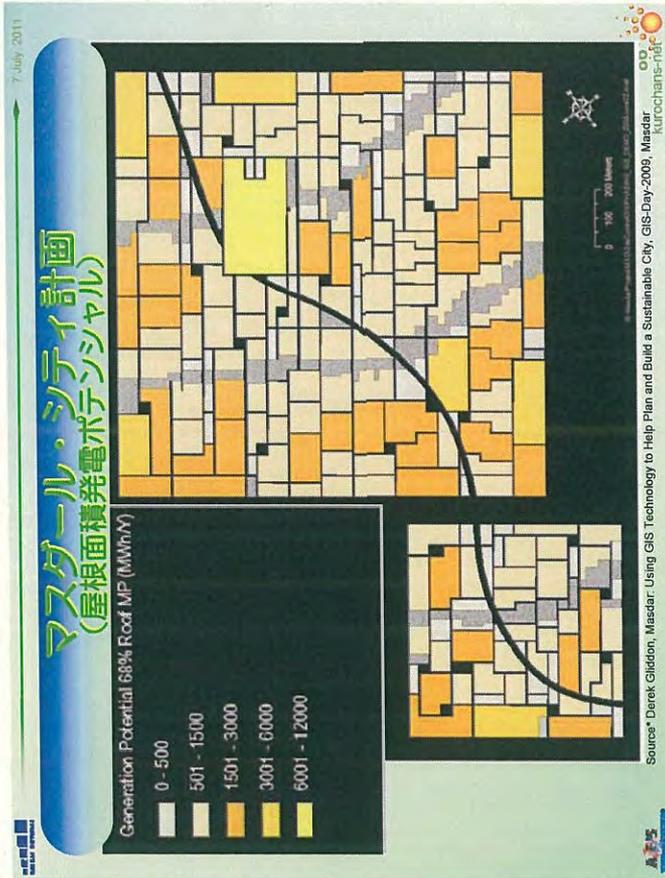
総面積6.5平方キロ、開発費は220億ドル(約2兆円)太陽エネルギー等、再生可能エネルギーで都市全体をまかなう「マスタードール」はアラビア語で「源泉」
2015年の完成予定

マスタードール・シティ計画 (アブダビ)

Land Use

| | |
|--------------------|---------------------|
| ADPEC Headquarters | SEZ Office |
| Residential | SEZ Local Centre |
| Hotel | SEZ Technology Park |
| Catering | Health Centre |
| Commercial | Science Centre |
| Retail | School |
| Public Green Space | University |
| Sport Hall | Railway Station |
| Open Space | Car park - Depot |





7 July 2011

次世代エネルギー・社会システム実証地域

けいはんな

(京都市、国際電力、大阪ガス、(財)関西化学研究所、京市産業機構、京都大学など)

- 電力制御機能を付加したスマートメーターを各家庭に割り付け、消費を可視化。エネルギーの供給状況に応じてスマートメーターコントロールを意味。
- 電力の低炭素化により電力の需給を調整、多様なエネルギー需要の組み合わせを実現。

北九州市

(北九州電力、富士エネルギーシステム、GE、日本四国、新日鐵など)

- 2014年までにCO2▲25% (0.5倍)
- 70企業、200箇所を対象とした、スマートメーターによるリアルタイムマネジメントの実施。
- HEMSによるエネルギー制御、BEMS、デマンドサイドマネジメントを統合したエネルギーマネジメントシステムを実現、構築、入札制取所を基幹系統と連立して、系統との連携を実現。

横浜市

(横浜市、東芝、パナソニック、朝倉、日産、アサヒ、ソニーなど)

- 2014年までにCO2▲24% (0.5倍)
- みどりみらい、HEMS、BEMS、EV充電の統合された地域エネルギーマネジメントシステムを技術実証。
- 2万7千kwの太陽光導入、熱・水利用システムでの利用。
- みどりみらい地区、海軍ニュータウン、愛宕地区に続いて、400箇所スマートメーター、1000台のEV普及。

豊田市

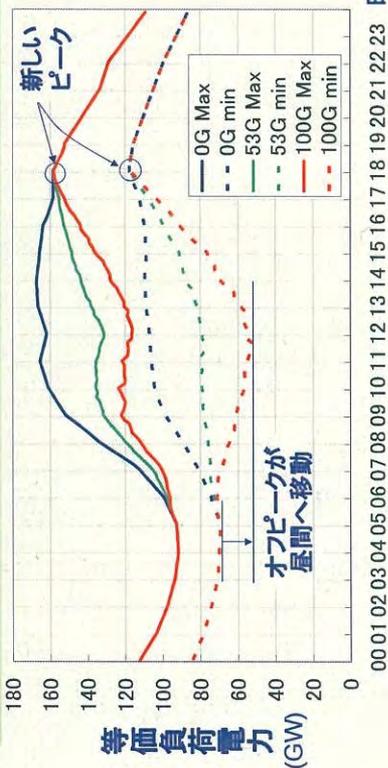
(豊田市、3台の自動車、中絶電力、東研ガス、東芝、三菱重工、パナソニック、シャープ、富士通、ドリームインキュベータなど)

- 2014年までにCO2▲30% (0.5倍)
- 電気と熱による地域のエネルギーマネジメントシステムの構築。
- 700以上の家庭でスマートメーターシステムを構築。
- 3100台の次世代自動車普及、V2H(家庭への充電)やV2B(ビジネス)を通じてV2G(自動車蓄電池)から系統へ電力供給を実現。

出典: NEDO: 再生可能エネルギー白書、2010

89. kurochans-nie.com

太陽光発電大量導入時の等価負荷電力試算例



[評価期間] 日射強度: 2005年8月8日から9月22日の全国58地点平均から時間別最大・最小値を抽出 (関東地域) から時間別最大・最小値を抽出したのち、全国電力相当へ換算

黒川他・分散型太陽光発電地域運転特性および統合制御運用, 太陽エネルギー学会誌, Vol.36, No.11, 2010.

目指すところ: 階層化スマートネットワーク



スマートコミュニティ実証実験

(NEDO/沖電: 宮古島メガソーラー)



Photo & composite by Kurochans, Mar. 2011

スマートコミュニティ (宮古島メガソーラー)

| | | | |
|------|-----------|---------|----------|
| 系統規模 | 約50,000kW | 既設内燃力設備 | 76,500kW |
|------|-----------|---------|----------|

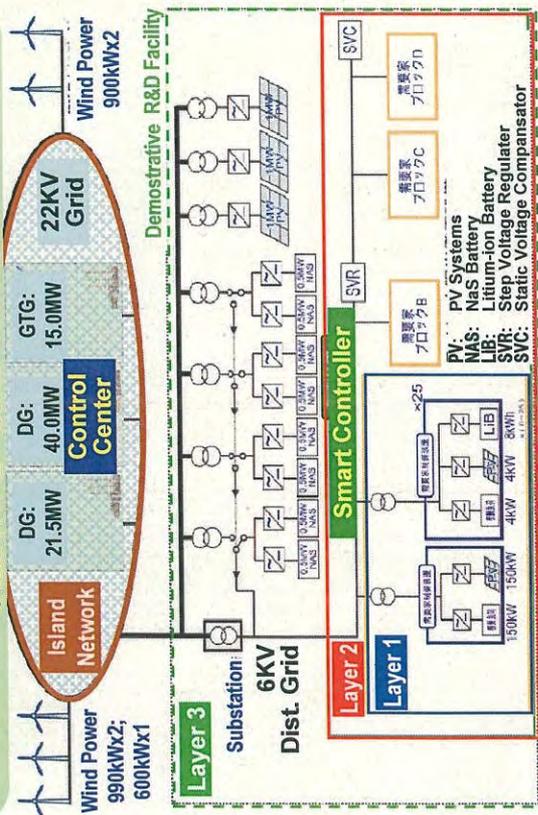
| | |
|--------|------------------------------|
| 新設蓄電装置 | 4,000kW (NAS) 200kWh(LiB) |
|--------|------------------------------|



| | |
|---------------------|--------------|
| 太陽光発電導入比率 | 8% |
| 新設太陽光発電設備 | 4,000kW |
| 新太陽光発電設備 推定CO2排出削減量 | 約4,000t/年 |
| 既設新工ネ設備 | 風力発電 4,200kW |

出典: NEDO沖電電力「次世代エネルギー...」社会システム実証

スマートコミュニケーションティ実証実験 (NEDO/沖電：宮古島メガソーラー)



Source: NEDO/Okinawa Electric Power C. "Next Generation System Proj."

情報システムへの注文 (2)

- ブロック分割化・階層構造化が必要
ブロックごと・階層ごとのエンド・ツー・エンドのセキュリティを確保
- 階層上位へ向かう情報量を集約化・マクロ化
プライバシー確保、トラフィック負荷軽減のため
- 地域で自律運用も可能
広域に拡大するリスク抑制のために、限定された地域内で、必要な電源が得られる時には、階層ごと・ブロックごとに自律運用を可能にするシステム設計が必要
- 自律分散型EMSアルゴリズムを構築
階層ごと・ブロックごとで、上位からのEMS指令の解釈と、受け持ち地域の状態把握から、地域指令の具体化・細分化を行う
- ブロック間・階層間にゲートウェイ設置
必要な認証手続きを実施

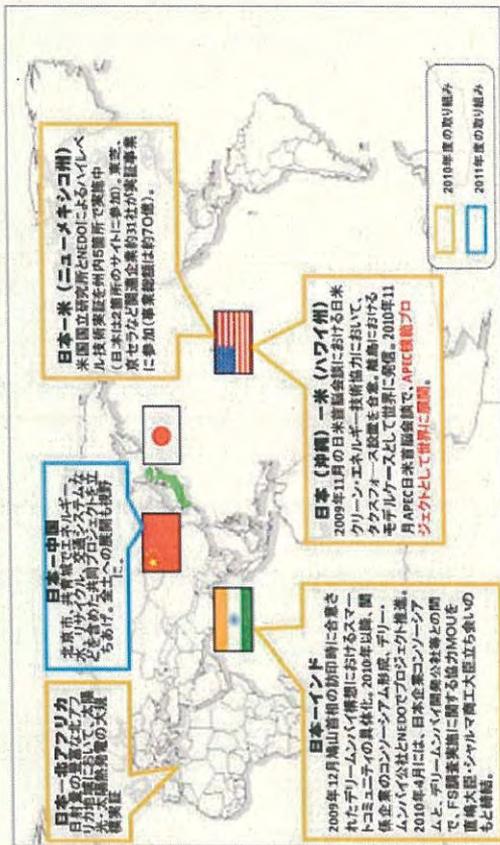
十 情報システムへの注文 (1)

- 電力品質
 1. 逆潮流による電圧上昇 (配電系改良)
 2. 出力変動：一斉解列による瞬時電圧・周波数変動
- 系統運用
 1. 潮流管理が複雑化
 2. 需給調整容量・分散電源超過 (→蓄電機能・スマート化)
- 保護・保安
 1. 短絡容量増大停電リスク (→パワールータ)
 2. 単独運転の確実な防止 (→系統階層化)
- 情報系の保安・セキュリティ
 1. 情報系巨大化・複雑化による運用保守コスト増大
 2. 情報系巨大化・複雑化による運用リスクの増大
 3. プライバシーの侵害
 4. 電力の窃盗
 5. 社会セキュリティの脆弱化・サイバーテロ危機

NEDOの海外協力事業



NEDOの海外協力事業

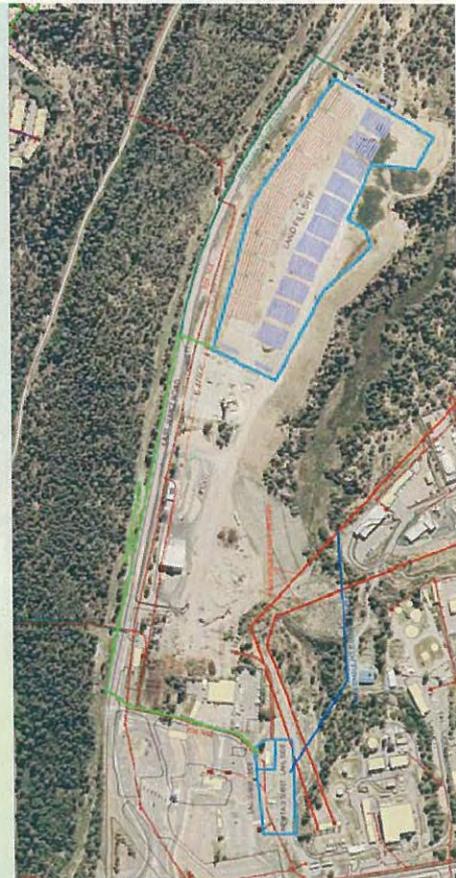


出典：経済産業省

NM州日米スマートグリッド実証



ロスアラモス・サイト

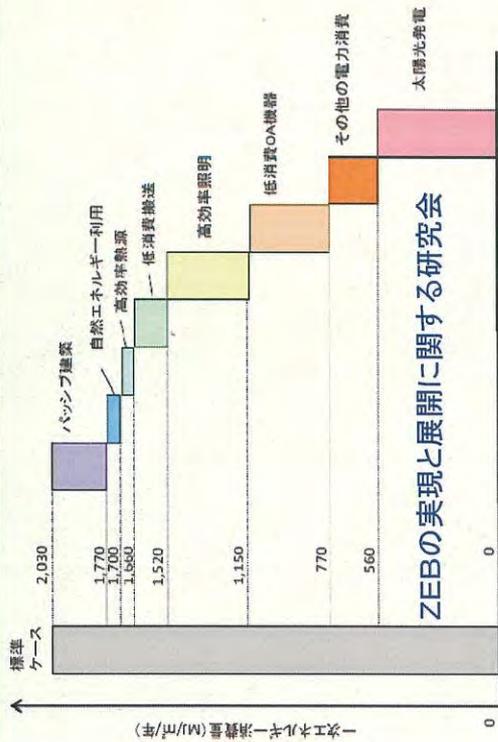


リヨン市のスマートコミュニティ計画(INES)

So far, a campus with 6 buildings

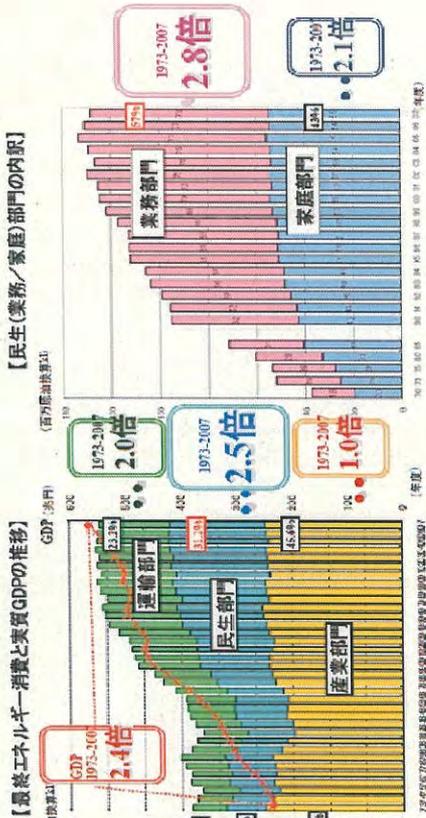


ZEBに至る道筋！



ZEBの実現と展開に関する研究会, Nov. 2009
<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g91124d01j.pdf>

民生部門のエネルギー消費増大が著しい！



ZEBの実現と展開に関する研究会, Nov. 2009
<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g91124d01j.pdf>

スマートBEMS！

物質・材料研究機構 総合研究棟 (環境・WPI棟)



商用電力と太陽光発電パネル(約86kW), 蓄電池(326kWh), 非常用発電機(400kVA), シミズ・スマートBEMSで統合制御
 夜間電力, 太陽光発電+蓄電池, 変動吸収, 停電時無断電力供給, ピーク電力70~80kW(全体の約5%), 電気料金を年間120~130万円削減見込。

http://www.shimz.co.jp/news_release/2011/827.html

ZEBの実現可能性！(PV積極利用ケース-2025年)

| 太陽光発電設置場所 | 将来 | 初期投資額 | 費用削減額 |
|---|---|-----------------------|---|
| A 都心立地型 ・建物階数: 高さ: 20F, 約3000m ² ・容積対象床面積: 20,000m ² ・建築面積: 40m x 25m: 1,000m ² ・敷地面積: 1,950m ² ・H=約80m | 発生CO2: 400 t-CO2/年 寄与率 91% 365 t-CO2/年 発電効率向上 ▲75%省エネ | 13.4 億円 太陽電池+省エネ投資 | 費用削減 ▲1.7億円/20年 省エネ+発電利用 11.7億円/20年 |
| B 都市周辺立地型 ・建物階数: 高さ: 10F, 約1000m ² ・容積対象床面積: 10,000m ² ・建築面積: 40m x 25m: 1,000m ² ・敷地面積: 1,650m ² ・H=約40m | 発生CO2: 200 t-CO2/年 寄与率 119% 238 t-CO2/年 | 7.0 億円 太陽電池+省エネ投資 | 費用削減 ▲0.7億円/20年 省エネ+発電利用+発電売却 6.3 億円/20年 |
| C 郊外立地型 ・建物階数: 高さ: 3F, 約300m ² ・容積対象床面積: 3,000m ² ・建築面積: 40m x 25m: 1,000m ² ・敷地面積: 1,300m ² ・H=約13m | 発生CO2: 60 t-CO2/年 寄与率 287% 172 t-CO2/年 | 2.6 億円 太陽電池+省エネ投資 | 費用削減 0.1億円/20年 省エネ+発電利用+発電売却 2.7 億円/20年 |

* 2025年太陽光発電コスト: 面上・地上: 20万円/kWh, 屋上: 15万円/kWh, 電力単価: 15円/kWhとそれぞれ想定。出所: 日本委員ブレイン・センター資料より整理作成。
 ZEBの実現と展開に関する研究会
<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g91124d01j.pdf>, Nov. 2009

スマートタウンへ：ZET



- 3-4kW/軒
- 70-80% 家庭用電力供給
- 従来の100%供給も可能に

NEDO/群馬県太田市集中連系プロジェクト

アムスフールト ニューランド

テラスハウス



1999.12

@TUMAI

7 JULY 2011

オランダ・アムスフールトPVタウン



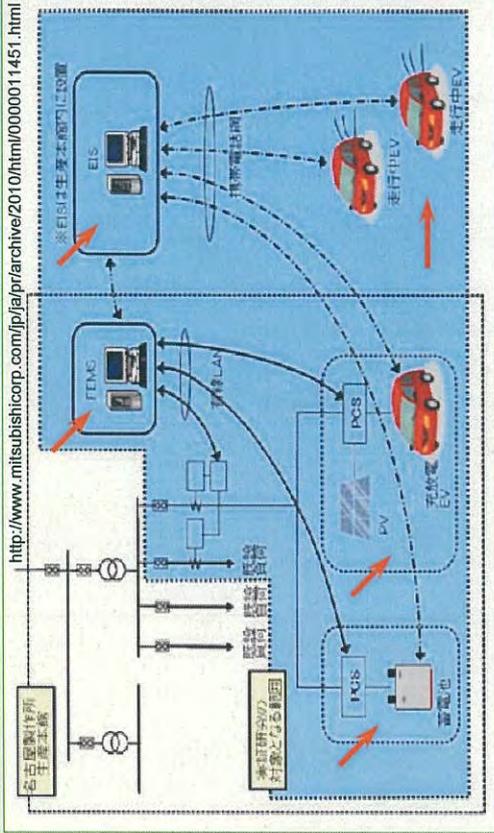
111

kurochans-naf

AES

7 JULY 2011

AES/三菱グループ：V2Xプロジェクト



NEDO 蓄電複合システムプロジェクト：三菱商事、三菱自動車、三菱電機、三菱総研、東工大指導（H23よりMETIプロジェクトへ）

AES

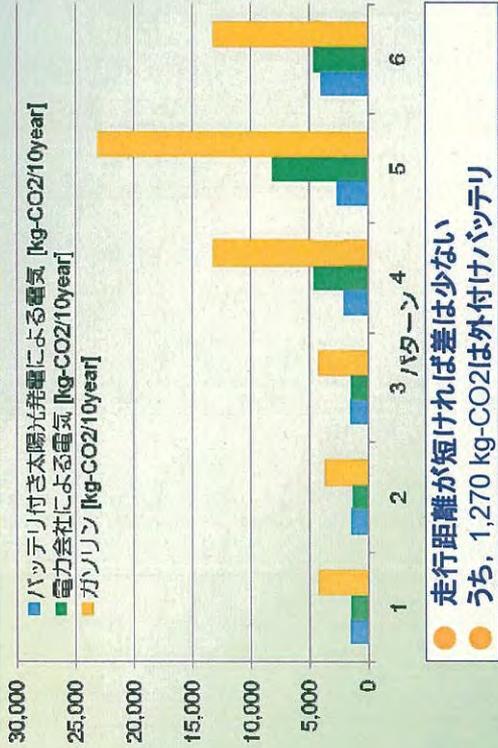
119

kurochans-naf

Tokyo Tech's RE-EV Project

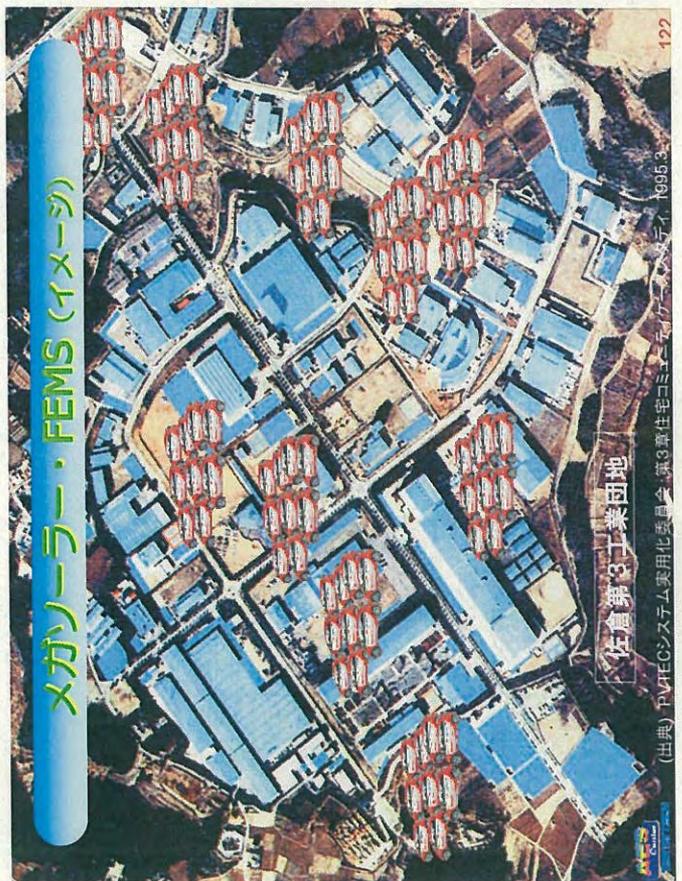


10年間走行時の 二酸化炭素排出量の比較



● 走行距離が短ければ差は少ない
● うち、1,270 kg-CO2は外付けバッテリー

黒川地:分散型太陽光発電地域運転特性および統合制御運用, 太陽工学学会誌, Vol.36, No.1, 2010年7月
kurochans-net



(出典) PVPECシステム実用化委員会「第3章住宅用PVPECシステム」1995.3

7 July 2011
講演会
経済同友会
北海道知人
ES&EI (SPP&N)
Japan Association of Corporate Electrics

これからの 太陽光発電システムを考える

0. 被災地寸指
1. 太陽光発電: 今日から明日へ
2. 住宅用太陽光発電分野
3. メガソーラー, スーパー・メガ
4. 分散発電化, スマート化, ゼロエネルギーコミュニティ
5. メッセージ



この試験への基本的考え方

2度の体験からの示唆 (黒川研からのメッセージ V.8, 5/20)

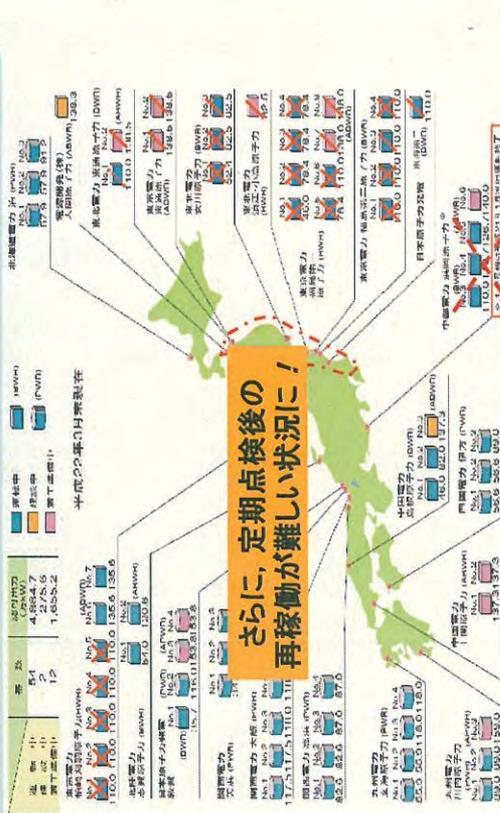
メガパワーがあまりに一極集中立地であった!

巨大な国家規模被災のリスクを評価できていなかった!
(3E→4Eへ: Environment, Energy, Economy → +Emergency)

1. 集中立地から分散立地へ
2. リスクを見込んだ冗長性が必要 (→社会コスト・ミニマムの道は?)
3. 各電力ごとの最適化ではなく、広域・国家レベルでのセキュリティ確保(リスク評価)
4. 地域ごとの自律性の向上 → フェールセーフな分散型電源・再生可能エネルギーの併用
5. 復旧・復興へ: 短期 → 中期 → 長期

124 kurochans-net

Highly Dense Nuke Location, too much!



2 years until reinforced against TSUNAMI 125 kurochans-net

集中電源と自律分散電源 再生可能エネルギー

2度の体験からの示唆 (黒川研からのメッセージ V.8, 5/20)

メガパワーがあまりに一極集中立地であった!

巨大な国家規模被災のリスクを評価できていなかった!
(3E→4Eへ: Environment, Energy, Economy → +Emergency)

1. 集中立地から分散立地へ
2. リスクを見込んだ冗長性が必要 (→社会コスト・ミニマムの道は?)
3. 各電力ごとの最適化ではなく、広域・国家レベルでのセキュリティ確保(リスク評価)
4. 地域ごとの自律性の向上 → フェールセーフな分散型電源・再生可能エネルギーの併用
5. 復旧・復興へ: 短期 → 中期 → 長期

124 kurochans-net

再生可能エネルギー

| 集中電源 | 分散電源 (再生可能エネルギー) |
|---|---|
| <p>国家規模・広域・電気事業者のニーズに基づいた計画(エネルギー基本計画・各社ごとの事業計画)</p> <p>規模のメリット追求 (運転効率・経済性); ますます大きく、集中化</p> <p>供給側と需要側の距離が拡大し、全体システムは偏重化</p> <p>需給関係が変化すると、送電設備などの中間インフラも追加投資必要</p> <p>無電化地域の電化には新しい送電線や燃料輸送ルートが必要</p> <p>局地的な需要増大のために全系統に及ぶ変更の可能性(潮流・短絡容量増大→直流放電で対策可能!)</p> <p>10~20年の計画・建設期間・投資負担は大; 見えない外部的コスト*(立地対策, 廃棄物, 災害復旧・保険)</p> | <p>各地域のニーズに基づく計画(地域ニーズに密着し、地域の身近な再生可能エネルギー源を選択)</p> <p>個人, コミュニティ, 自治体の需要に応じて持続可能な最適化が可能 (PV住宅で現状70~80%目標可能→効率が100%へ)</p> <p>地域の需要変化にフレキシブルに細やかに迅速に対応しやす</p> <p>上位系統増強しなくとも弱小系統を強化できる; 災害時には自立発電が可能</p> <p>既存系統がない地域でも、送電線建設や燃料輸送せずに利用可能</p> <p>配電系統の運転特性を需要側制御を使って改良できる可能性(蓄電・パワーリダー等による潮流制御)</p> <p>一般に工期が短く、資金の回収が早まり、投下資金の地域還元, 地域産業の育成も容易</p> |

2度の体験からの示唆: 冗長度のある自律分散システムをもっと使うべき

125 kurochans-net

2010.4.28(夕)日経全面広告

AES 国際研究センターからのメッセージ!

先進工ネルギー研究を推進 東工大を軸に産官学連携

127 kurochans-net

復興・短期視点

（黒川研からのメッセージ V.4, 4/27）

- 復興：短期視点
- 先ずは復興・量の確保
- 必死の省エネルギー
- 住宅用PV（停電対応）、防災型スクールPV（避難所対応）導入促進

中期視点

- 現状東西連系限界100万kW；周波数変換（BTB: Back-to-Back）増設を
メガソーラー用パワコンのBTBへの転用可能性は？
- 北海道風力：北本連系線へ（現状最大60万kW）
- メガソーラー→ビジネス導入促進（分散自律化の目玉！FIT早期実施不可欠）
- 防災計画PVバージョン and スマートコミュニティ化（蓄エネ機能）

長期：スマート化2030年目標の前倒し・AESの目指すところへ

- エネルギー基本計画の見直しは必須
- 「分散自律システムと基幹電源ベストミックス」を基本設計とする
- ナショナル・リソース・アクセスメントに基づいた冗長性を確保・増大
- 過度なメガ電源集中中立地を回避し分散立地へ
- 直流送電を挿入した、中央基幹線（一部2ルート）による「国全体でカバーする広域融通体制」確立（リスク分散に必要な50・60異周波連系容量を確保）... National Backbone Inter-tie

AES国際研究センターからのメッセージ！

2010.4.28(夕)日経全面広告掲載

東京電力大東電力調査室「日本のエネルギーの未来」



今後10年以上、国民に原発新設が受け入れられるとは考えにくい。エネルギー基本計画の原発増分20%を他の手段へ代替必要！

原子力や火力をベースに、高効率分散電源と再生可能エネの利用拡大・ハーマニーを！

先進エネルギーシステムは「分散型ネットワーク」と「スマート化」で、既存インフラに再生可能エネを最大限に取り込む！

太陽光発電、風力発電、燃料電池、リアルタイムプライシング、EV蓄電池利用、...

集中リスクを分散型ネットワークで軽減、東西を貫いた基幹送電線を整備、冗長性を持たせ自然災害に強いインフラを！

震災からの復興を日本のエネシステム革新の契機に、次世代エネシステムづくり加速化を！

防災型スクールPV・公共施設

（黒川研からのメッセージ V.4, 3/30）

- 災害対策としての太陽光発電を考える！
- 緊急復興：防災型学校PV（自律型・避難施設）・公共施設
- 防災倉庫に太陽電池は常備？（ソーラーランタン、充電器etc.、蓄電池）
- 太陽光発電電利点を活かした復興計画立案・スマート化（+蓄電）

防災型スクールPV・公共施設PV（避難所としての追加仕様）

- 自立運転機能装備PVシステム（例：20kW程度/1箇所）
- 避難場所になる体育館などに予め、防災用の配線・器具を設置
- 蓄電池装備（自己放電のない耐久性に優れたもの：メンテナンス容易な）
- 防災井戸・ポンプ・PVDライブ浄水設備
- 防災通信施設-防災拡声器・携帯充電サービス
- 防災LEDランプ
- 防災医療薬品ストックカー（冷蔵庫）
- 標準仕様・装備を制定し、学校施設・公共施設に標準採用を？

緊急調査提案：復興に際して、PVの現況は？

（黒川研からのメッセージ V.4, 3/30）

- 住宅用太陽光発電がどれだけ健在か？（現地調査必要）
- 地震・津波でのPV被害状況（程度と数）
- 災害時のPVの役立て方
- 自立コンセントを使用したか？役立ったか？標準化は？
- 強度補強効果はあるのか？（+、0、-）
- 電気火災の原因は？
- 感電事故は？（注）自立コンセント使用方：http://www.env.go.jp/earth/info/pv_pamph/full.pdf

エコスクール・産業用PVの現況は？（現地調査必要）

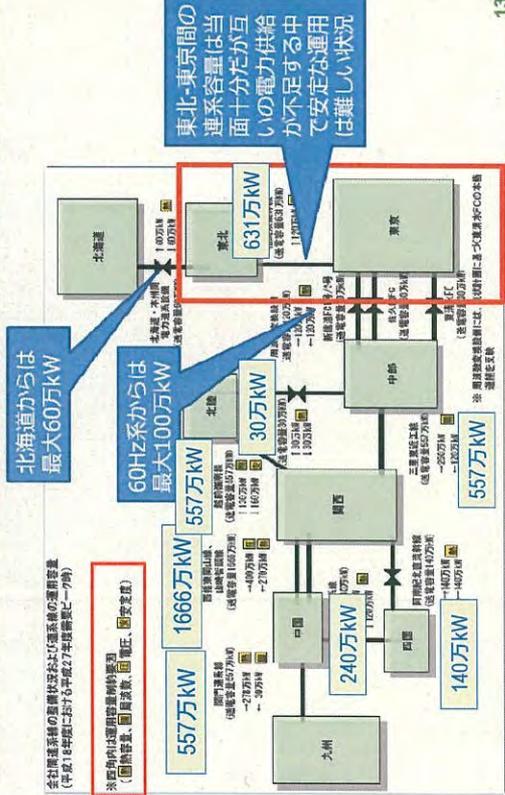
- 地震・津波でのPV被害状況（程度と数）
- 健在なPV
- 強度補強効果はあるのか？（+、0、-）
- 避難所での運用は？役立ったか？

災害対策としての太陽光発電を考える！（詳述あり）

- 緊急復興：防災型学校PV（自律型・避難施設）・公共施設
- 防災倉庫に太陽電池は常備？（ソーラーランタン、充電器etc.）
- 太陽光発電電利点を活かした復興計画立案、地域産業振興

2. 既に何が行われているか？ 連系線の活用

http://www.ogimotoab.iis.u-tokyo.ac.jp/Energy_integration_lessons_from_the_earthquake.pdf



実は誰も分かっていない原発のコスト (参考引用)



大島 堅一 立命館大学教授

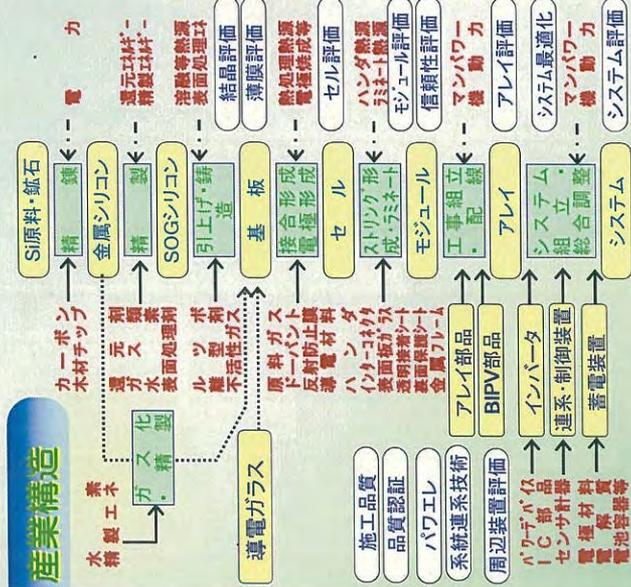
表1 電源別の発電単価 (実績)

| | 原子力 | 火力 | 水力 | 一般水力 | 揚水 | 原子力+揚水 |
|-----------|-------|-------|------|------|-------|--------|
| 1970年代 | 8.85 | 7.11 | 3.56 | 2.72 | 40.83 | 11.55 |
| 1980年代 | 10.98 | 13.67 | 7.80 | 4.42 | 81.57 | 12.90 |
| 1990年代 | 8.61 | 9.39 | 9.32 | 4.77 | 50.02 | 10.07 |
| 2000年代 | 7.29 | 8.90 | 7.31 | 3.47 | 41.81 | 8.44 |
| 1970-2007 | 8.64 | 9.80 | 7.08 | 3.88 | 51.87 | 10.13 |

注: 電力各社の『有価証券報告書総覧』を基礎に算定。

単位: 円/kWh

復興のために PVによる 地域活性化



Proposed National Backbone Grids (tentative)

- 東西で1時間の時差(太陽時)
- 地域で季節差! 気温など違う!

自由市場を通ず電力融通形態へ

ネットワーク全体の真のスマート化には不可欠



Kurokawa's Proposal: National Backbone Grids (tentative)

実は誰も分かっていない原発のコスト (参考引用)

この他にバックエンド(燃料再処理)費用、増殖炉開発費用、最終処分費用などを見なければならぬ

●表2 財政支出を含めた電源別総合単価

| | 原子力 | 火力 | 水力 | 一般水力 | 揚水 | 原子力+ |
|-----------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| 1970年代 | 13.57 | 7.14 | 3.58 | 2.74 | 41.20 | 16.40 |
| 1980年代 | 13.61 | 13.76 | 7.99 | 4.53 | 83.44 | 15.60 |
| 1990年代 | 10.48 | 9.51 | 9.61 | 4.93 | 51.47 | 12.01 |
| 2000年代 | 8.93 | 9.02 | 7.52 | 3.59 | 42.79 | 10.11 |
| 1970-2007 | 10.68 | 9.90 | 7.26 | 3.98 | 53.14 | 12.23 |

2007年 ※事故の場合の被害額、被害補償額は上記の表には含まれない。

2006年からバックエンド・サーチャージを電気料金で徴収開始。1世帯1ヵ月当たり06年で275円、07年で240円(『有価証券報告書総覧』記載から計算)消費者はあまり気づいていない!



大島堅一 立命館大学教授

http://eco.nikkeibp.co.jp/article/report/20110608/106639/ST=print

137 kurochans-net

194

太陽光発電サーチャージ

地域ごとの利用状況が異なります

電気使用量のお知らせ

ご使用場所: 23年6月分 5月19日-6月15日 (28日間) 5月19日-6月15日 (28日間) 従量電灯B

ご使用量: 277kWh

請求予定金額: 6,517円

請求内容 (うち消費税等相当額): 310円

基本料金: 1,092円00銭

電力料金: 2,144円40銭

燃料費: 3,589円02銭

燃料費調整額: -315円78銭

内訳: 基本料金、電力料金、燃料費、燃料費調整額

ご請求月(6月)の平均使用量は28日間の平均使用量(約277kWh)です。6月の平均使用量は7月の平均使用量より、5%ほど少ないです。7月の平均使用量は8月の平均使用量より、5%ほど多いです。

太陽光発電サーチャージ

2006年から原価バックエンド・サーチャージを電気料金で徴収開始。1世帯1ヵ月当たり06年で275円、07年で240円(『有価証券報告書総覧』記載から計算)消費者はあまり気づいていない!

http://eco.nikkeibp.co.jp/article/report/20110608/106639/ST=print

138 kurochans-net

これからのシステム課題 (復習)

1. 復興対策として

- 災害への太陽光発電耐久性
- 防災型太陽光発電システム: 自立運転モード, 防災機器とのシステム化(避難所としての運用前提, 夜間運用蓄電, 水浄化装置電源, 内閣府災害対策基本法防災倉庫指定品目化), 学校に対する標準システム制定・標準化
- コミュニティ復興計画への導入: 各地域自治体・都市計画専門家グループとの緊密な連携, 例: 太陽エネルギーデザイン研究会
- 太陽光発電システムの防火対策(復興・一般): 発火限界をつかむことが基本(→適正な安全率); トラッキング(接続箱, コネクタ, etc), アーキング(ブロッキングダイオード, フェーズ, スイッチ, 配線, etc), ホットスポット(モジュール発火, バイパスダイオード), 消火方法

7 July 2011

138 kurochans-net

これからのシステム課題 (復習)

2. kWから, kWhへ

- 生涯発電量の確保が最重要
- 実質稼働率の向上: モジュール信頼性, パソコン信頼性, 施工信頼性, システム信頼性, モニタリング, ユーザーに対する「見える化」サービス制度化, 発電量保証・検定・認証制度, 各種標準化(JIS・IEC国内体制強化)
- ライフサイクルkWh: システム寿命延長, モジュール寿命延長, パソコン寿命延長・モジュール寿命との一致, リユース・リサイクル・廃棄

3. 住宅・ビルのゼロ・エネルギー活動への主体的組み込み

- ゼロ・エネルギー住宅 ZEH: PVIは主役!
- ゼロ・エネルギー・ビル ZEB: ここでもPVが主役
- ゼロ・エネルギー・タウン ZETへ発展?!:
- 街並みから, 都市計画専門家との連携重要
- マスター・バナンソニック1000戸タウン

7 July 2011

139 kurochans-net

これからのシステム課題（復習）

4. **メガソーラーからスーパーメガへ**
 - 未利用地は膨大に存在、スマコミへの組み込みニーズ大
 - 低コスト・短工期のアレイフイールド建設工法、軽量・高信頼性・高強度モジュール構造、低CO2...
 - 地域産業への拡がり、被災地復興にも一役
 - 世界市場への進出：SIの養成
 - 太陽光発電は世界の基幹エネルギーへ

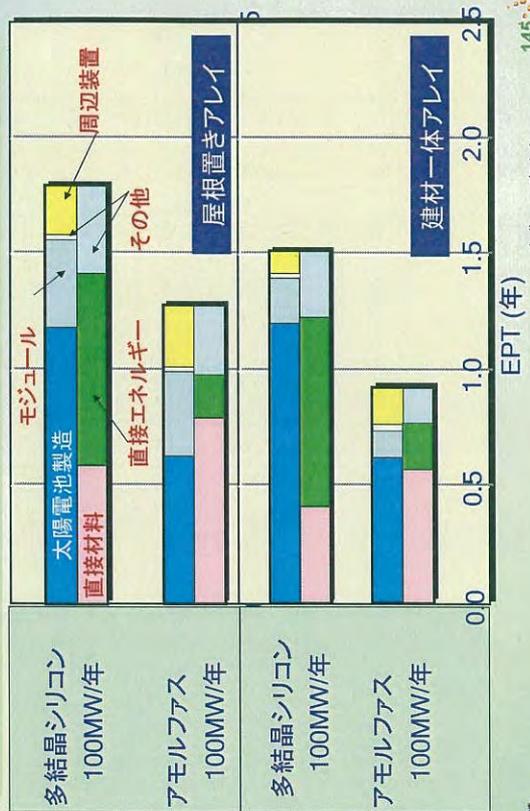
これからのシステム課題（復習）

5. **次世代スマグリ化への拡がりは時代の趨勢**
 - 太陽光発電は主要な共通要素（家庭、ビル、コミュニティ、ソーラシティ、広域連系へ発展、サンベルト地帯、多国間世界連系）
 - スマグリ技術動向の見極め：PV導入に役立つスマグリ
 - スマグリ標準化：PVサイドの早期の組織的参加、PVパワコンサイドからの提案（HEMS・BEMS・CEMS・負荷能動化との調和機能・IF）、パワコンへの要求仕様（IECでも動き）
 - 電変動（定時変化＋不規則変動）調和機能をインフラ化・地域系統構成改良1：蓄電スターション、日射量・発電量予報（地域・広域）、地域・広域ならし効果（「負荷－太陽光発電電力」と系統電力の差が重要）
 - 地域系統構成改良2「配電線の双方向潮流電圧問題」：アクティブ電圧制御、SiCパワエレ導入（参考：NEDO）
 - 地域開発と一体化へ：都市計画、地域開発、植物工場、産業団地、太陽光発電コンビナート、ソーラーブリーダー

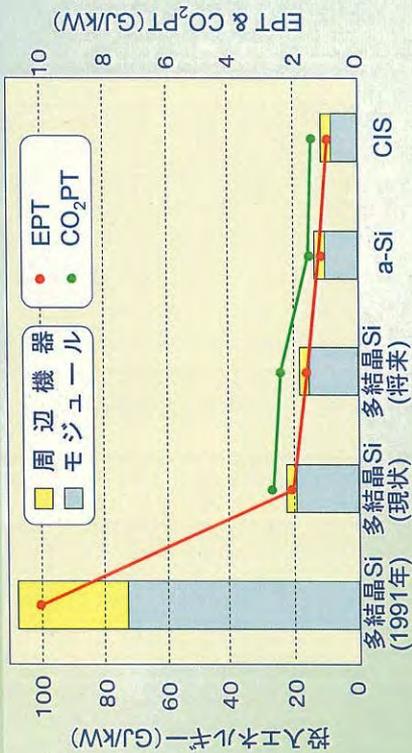
これからのシステム課題（復習）

6. **太陽光発電は世界の基幹エネルギーへ**
 - 多国間相互連系系統（例：北欧、中欧、環地中海）：再生可能エネルギー導入に貢献
 - VLS-PV, SSB（シリコン・ソーラー・ブリーダー概念）
7. **元氣な次世代の専門家の育成が重要**
 - 長期・超長期の変わらないビジョンが大切
 - PV2030, PV2030+, JPEA PV Outlook 2030, IPCC特別報告、に続くもの

エネルギーパイプタイム EPT



エネルギーパイプライン EPT



※算出条件
 多結晶Si(1991年)/地上設置1MW、生産規模=不明、運用エネルギー=1%
 多結晶Si(1991年)/地上設置1MW、生産規模=100MW/年、運用エネルギー=省略
 その他/住宅用3kWシステム、生産規模=100MW/年、運用エネルギー=省略
 ※多結晶Si(現状)の値は、NEDO試算を元にAISTにて再計算を行ったもの。

http://unit.aist.go.jp/rcpv/ci/about_pv/supplement/supplement_1.html

1m² PV = 66 kg-CO₂/m²Y 排出削減

100倍

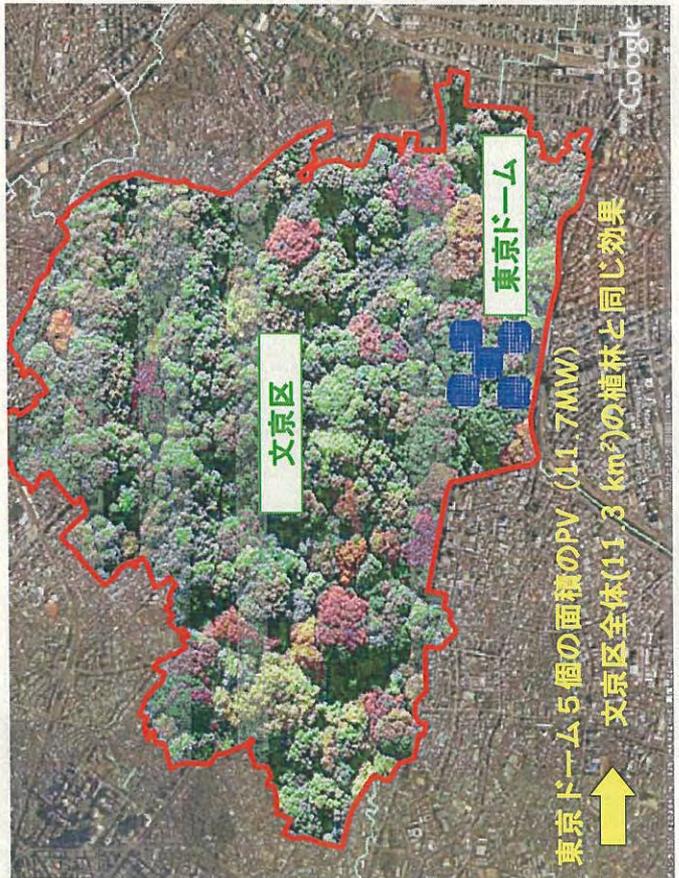
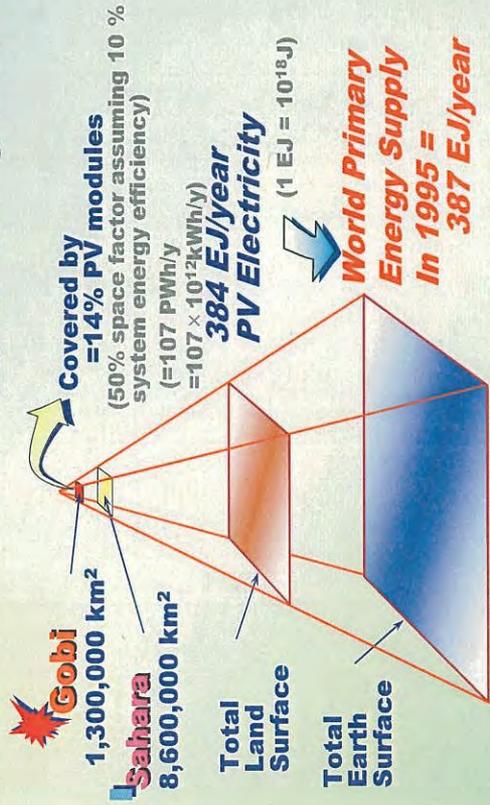
1m² 人工林 = 0.649 kg-CO₂/m²Y 吸収



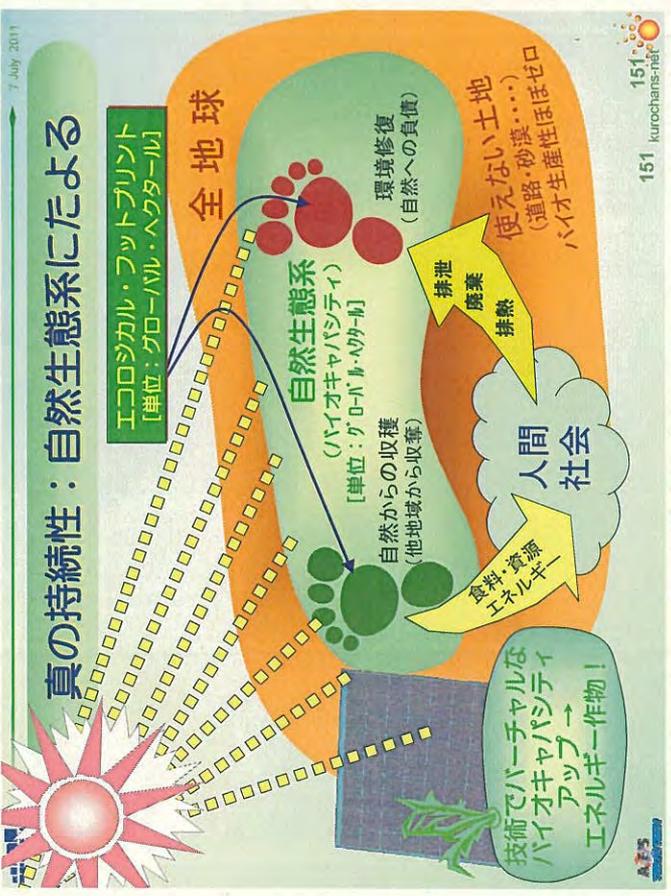
40坪の宅地に 3 kW-PV (20000 m²) ↑ テニスコート6面 (3000 m²) の森林相当
 1000 kWプラント (20000 m²) ↑ 100万 m²森林相当
 東京ドーム5個の面積のPV (11.7MW) ↑ 文京区全体(11.3 km²)の植林と同じ効果

2004年6月16~18日, 朝日ホール

PV for 21st Century Solar Pyramid



東京ドーム5個の面積のPV (11.7MW)
 文京区全体(11.3 km²)の植林と同じ効果



サンライズ計画へ！

日経 2011.5.22 太陽光パネル

全ての新築ビル・住宅に 30年まで首相サミットで表明へ

政府は、新築ビル・住宅の施工費を削減し、後の省エネコストを抑制する。また、太陽光パネルの設置を義務付ける。首相は、政府が太陽光パネルの設置を義務付ける方針を表明した。首相は、太陽光パネルの設置を義務付ける方針を表明した。首相は、太陽光パネルの設置を義務付ける方針を表明した。

政府は、新築ビル・住宅の施工費を削減し、後の省エネコストを抑制する。また、太陽光パネルの設置を義務付ける。首相は、政府が太陽光パネルの設置を義務付ける方針を表明した。首相は、太陽光パネルの設置を義務付ける方針を表明した。首相は、太陽光パネルの設置を義務付ける方針を表明した。

150 kurochans-net



Special Report Renewable Energy Sources (SRREN)

says that

**77% of the world energy demand
will be supplied by
RENEWABLE ENERGY SOURCES
in 2050.**

This Summary for Policymakers was formally approved
at the 11th Session of Working Group III of the IPCC,
Abu Dhabi, United Arab Emirates. 5-8 May 2011.



21世紀の太陽光発電技術

黒川 浩 助

東京工業大学ソリューション研究機構
AES国際研究センター 特任教授
再生可能エネルギー協議会 代表
東京農工大学 名誉教授



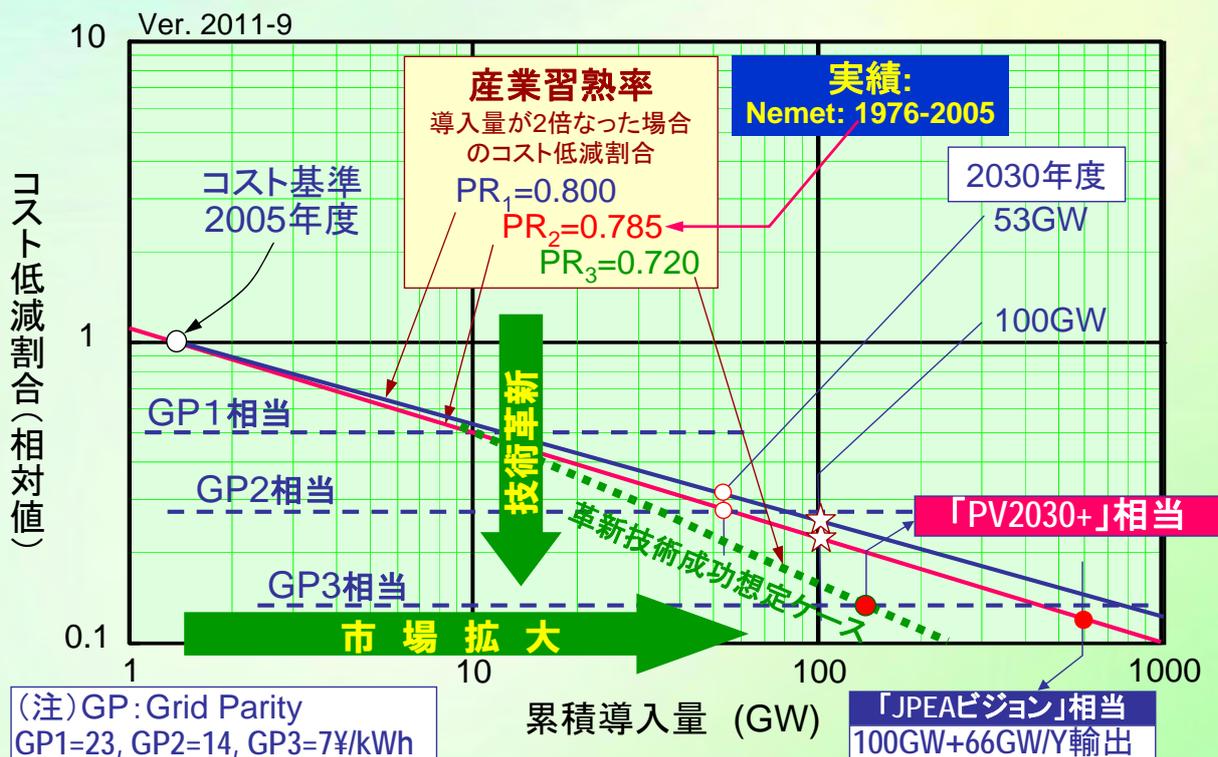
住宅用太陽光発電システムの実力

- 3-4kW/軒：70-80% 家庭用電力自給・純国産E
- 2010年度106万キロ国内設置！（輸出も入れて254万kW；2010年世界市場は2390万kW；累積3500万kW）
- 国内累積363万kW導入；すでに約80万軒戸建て
- グリッドパリティは2～3年で到達！
- 集合住宅・メガが重要に！
- 将来はオール電化住宅100%供給も可能に
- 真の持続性；分散電源としてリスク分散！



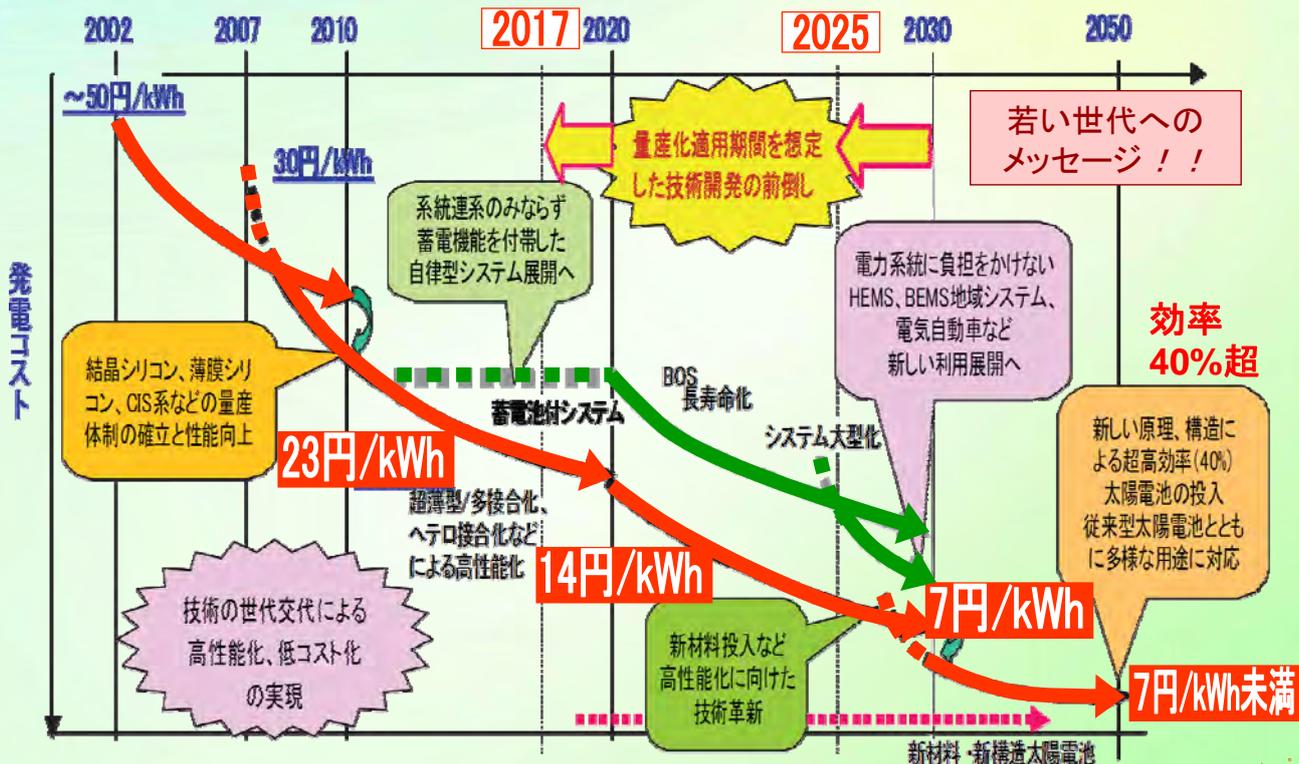
NEDO/群馬県太田市集中連系プロジェクト

革新&輸出シナリオ（価格低減可能性）



黒川 : 太陽光発電協会機関誌「光発電」2011年, No.34

拡張加速化された“PV2030+”



東京都23区 PV導入可能地域

黄色部分が抽出された屋根領域

山手線

Tokyo Tech

約20%が住宅屋根

屋根面積の半分にPV設置

PV面積=65.0 km²

PV総容量=9.7 GW
(変換効率15%)

総発電量=10.8 TWh/Y

3kW/戸→3000kWh/年/戸
320万戸 & 効率15%・建ぺい率80%
→敷地65m²/戸程度
320万戸で70%程度の電力自立が可能

きわめて
現実味ある
解なのだ!!



ポテンシャル合計
7,985 GW

国内電気の8倍程度

設置可能な太陽光発電(GW)

| 設置場所 | ポテンシャル | Case 2 | |
|---------|----------|--------|-------------------|
| 個人住宅 | 1.3 % | 44.6 % | 23JP Y /kWh |
| 集合住宅 | 1.3 % | 16.2 % | |
| 公共用 | 0.2 % | 10.2 % | 14JP Y /kWh |
| 産業用 | 3.6 % | 10.0 % | |
| 道路/鉄道用地 | 0.7 % | 14.5 % | 7JPY /kWh |
| 事業用 | 0.4 % | 4.5 % | |
| 未利用地 | 92.5 % | 0.0 % | |
| 合計 | 7,985 GW | 102 GW | |

PV2030 目標
102 GW

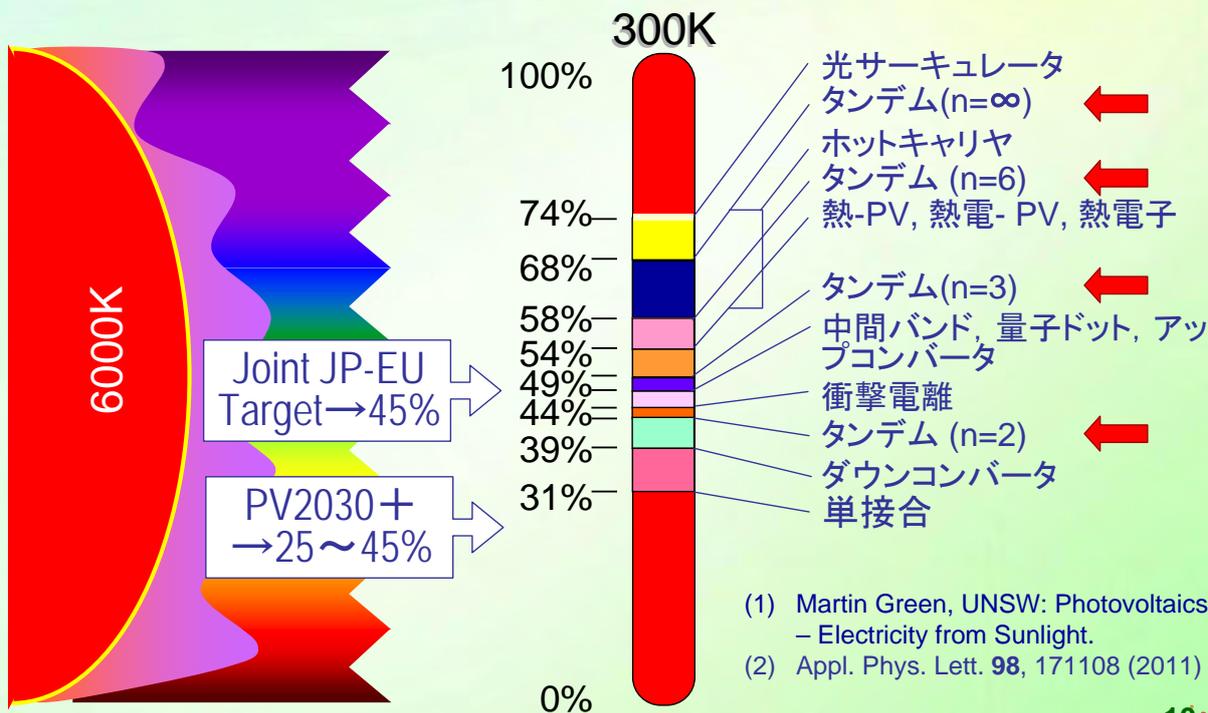
1/80

PV2030 Base Case ≡ 国内電気の需要のおよそ10% (~ 2兆円/年 市場)



第3世代太陽電池概念 by Prof. Martin Green (豪) (1)

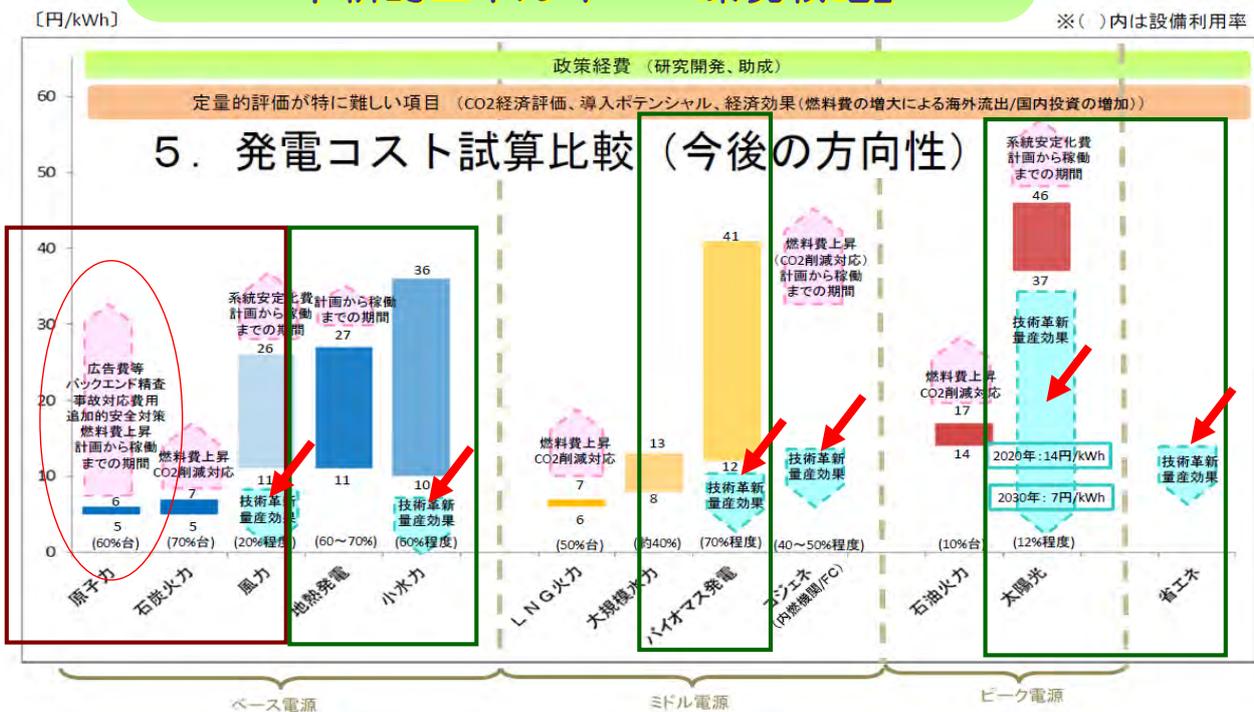
$$\eta_{QD(4IB)} \leq 74.6\% \text{ by Nozawa \& Arakawa (2)}$$



(1) Martin Green, UNSW: Photovoltaics - Electricity from Sunlight.
 (2) Appl. Phys. Lett. **98**, 171108 (2011)



「革新的エネルギー・環境戦略」



出典: 「革新的エネルギー・環境戦略」策定に向けた中間的な整理(案), エネルギー・環境会議, 資料2-2, 2011.7.29, 国家戦略室
http://www.npu.go.jp/policy/policy09/pdf/20110729/siryo2_2.pdf
http://www.npu.go.jp/policy/policy09/pdf/20110729/siryo2_2.pdf (page 23)



21世紀の選択 — おらがエネルギー

明るい未来へ

- 分散型発電・オンサイト発電：
 - 送電線新設や燃料輸送が不要・辺地の電化可能
 - 既存系統の上位系統増設せずに負荷増設可能
 - 地元で純国産エネルギー供給！（住宅では70-80%）
- 地域の発展に合わせたフレキシブルな施設計画・設置場所；工期も短いので投資効率がよい
- 太陽光発電は分散型・再生可能エネルギーオプションの中でも特に有望
- 市場規模に合った量産技術の選択により，段階的・長期的な産業発展・コストダウンが見込める
- 国家エネ確保，地域産業振興・雇用創造効果が大（地域密着したサプライチェーン）
- ギガ電源に比べてリスクが分散・極小
- 地球環境問題，短いEnergy Payback Time
- 顕著なカーボンFP削減：地球社会生存ソリューション！

21世紀の太陽光発電

明るい未来へ

- しっかりした長期展望を持ち続ける：
 - サンシャイン計画の理想；NEDOの創設；PV2030；PV2030+；CE50（日欧共同革新プロジェクト）
 - 若い優秀な人材の確保・育成
 - 産業政策；雇用政策
- 技術選択の冗長性：
 - 時代・市場のニーズにより選択技術は変化する
 - 技術ソサイエティの維持；予算の重み付け
 - ニッチマーケットからスタート・市場が段階的に成長（太陽光発電は幸運）
- これからは，エネルギーとしてマスが重要に！
 - 分散型・再生可能エネルギーを受け入れやすいシステムインフラの構築・社会的コンセンサスが不可欠！
 - 長期的には，再生可能エネルギー選択が地球環境問題の解決が地球社会の持続・生存にとって不可欠に

