

7. 最終処分場の埋立跡地を活用した 太陽電池設置技術の開発

福嶋 研一^{1*}・寺島 和秀²・茶家 勝良³・綿崎 勇治⁴

¹大成建設株式会社 環境本部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)

²大成建設株式会社 土木営業本部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)

³三重中央開発株式会社 三重事業所 (〒518-1152 三重県伊賀市予野字鉢屋4713番地)

⁴大栄環境株式会社 (〒658-0031 兵庫県神戸市東灘区向洋町東2丁目2-4)

* E-mail: ken1@ce.aisei.co.jp

太陽光発電は二酸化炭素の排出削減技術として、またエネルギー安全保障問題の対応策として我が国に最も適した方法の一つであり、今後の導入拡大が期待されている。大幅に太陽光発電を普及させるためには、海外に比べて導入が進んでいない公共産業分野や発電事業分野などの、非住宅分野における大規模な太陽光発電システムの普及拡大を進めることが重要である。

このような適用分野においてメガソーラー事業を展開させるためには、広大な土地の確保が必要不可欠となる。その調達方法の一例として、有効に活用されていない最終処分場埋立跡地の上部を利用した導入が考えられる。この場合、処分場跡地特有の立地条件を考慮した太陽電池アレイの設置方法などの技術開発を行うことで、太陽光発電の普及を図ることが求められる。

そこで、風洞実験による太陽電池アレイに作用する風圧荷重などの測定を行うことで、建設コストを低減させるための設計・施工手法を開発したり、実際の最終処分場跡地で長期間にわたる太陽光発電を行い、基礎の不等沈下量などを計測するとともに、太陽電池モジュールやパワーコンディショナの運転状況についてもデータの収集と分析を行った。

これらの結果より、最終処分場跡地で太陽光発電を導入するための設置技術の開発や、維持管理に必要な知見が蓄積できたので、以下にこれを報告する。

Key Words : photovoltaic power generation, global warming countermeasure, final landfill site, soft ground, ultimate land use

1. はじめに

太陽光発電は地球温暖化対策技術のひとつとして注目されているが、この発電方法は太陽光を太陽電池セルに当て、半導体内に発生する電荷を集めて電力とする技術であり、発電出力を大きくするには受光面積を広くする必要がある。言い換えれば、大規模な発電施設を建設するためには広大な用地が必要となる。

近年の技術開発により太陽電池セルの発電効率は飛躍的に向上しているが、一般的な多結晶シリコン太陽電池では変換効率が0.14kW/m²程度であり、メガソーラーを導入するためにはそれ相応の設置面積が必要となる。このため、用地取得が事業主体にとっての障壁となる可能性がある。

そこで、最終処分場の埋立跡地について着目をする、一般に最終処分場跡地は長期にわたって地盤沈下が生じるため、構造物を建設するには不向きな地盤であることや、埋立ガスが発生するなどの理由によって、埋立終了後も積極的に活用されにくい状況にある。

このような観点から、有効に利用されていない最終処分場跡地を活用して太陽光発電施設を設置することは、遊休地有効利用のための方策として位置付けることが可能であると同時に、地球温暖化対策としても有効な手段である。また、最終処分場の管理者にとっても発電事業を行うことで得られる収入を維持管理費に充当できるなどのメリットが考えられる。

本報告書は、太陽電池アレイをビルの屋上や壁面などに設置する替りに、最終処分場という特殊な環境下でも

発電設備としての機能を維持しながら安価に地上へ設置するための方法を検討し、その実証を行った結果を報告するものである。

2. 太陽電池アレイの設計

(1) 風洞実験による風力係数の設定

メガソーラーの普及を図るためには、安価に太陽電池アレイを設置することが求められる。なお、太陽電池アレイの設置に際してもっとも影響の大きな荷重は風荷重である。この設計荷重に対する考え方としては、「太陽電池アレイ用支持物設計標準：JIS C 8955」が参考となる¹⁾。この図書には、モジュールや支持物などに作用する風圧荷重の設定方法が示されており、モジュール面の風力係数は風洞実験によって定めるか、近似式によって算定することとされている。

ところが、この資料に記載されている地上設置の場合を対象とした近似式の適用範囲は、アレイ面の傾斜角度が15度以上45度以下に限定されており、風荷重を低減させることを目的にアレイの設置角度を小さくしようとする場合はこの近似式を適用することが出来ない。

このため、15度以下の設置角度における風力係数を求めるために、今回の実証実験で用いるアレイに関する風洞実験を行った²⁾³⁾⁴⁾。その結果、アレイの傾斜角度を小さくすることで作用する風荷重が緩和されることを確認でき、基礎の軽量化に資することが示された。

また、JISの記述では架台が複数配置される場合には周囲端部は近似式の値を適用するが、中央部は近似式の値の1/2を使用してもよいとしている。この記述に関しても、アレイを低い角度で据え付ける場合への適用性について検証をするため風洞実験を行い、アレイの配置領域と風力係数の関係について検討を行った。

その結果、メガソーラー発電所のように多数のアレイを設置する場合は、風力係数をより具体的な配置領域別に設定することが可能であると示唆された。

(2) 多結晶系太陽電池アレイ基礎の設計

実証実験では、太陽電池の主流である多結晶系太陽電池モジュールを使用した。モジュールの外形寸法は1,290mm×990mm×36mmで、最大出力は178.6Wである。これを横置き使いで配置し、4段7列でひとつのアレイとした。すなわち、アレイ1基の大きさは幅9m×奥行4mとなり、5kWの出力が得られる仕様となる。

このアレイについて基礎の設計を行う際、設置場所として最終処分場の埋立跡地を利用することを前提に検討を行った。このような地盤は埋立材料の安定化に伴い長

表-1 太陽電池アレイの基礎形式

記号	基礎形式	概 要
F-1	布基礎	ロの字型にコンクリート基礎を構築。1アレイ1基礎。
F-2	独立基礎	架台を8点の現場打ちコンクリート基礎で支持する構造。
F-3	U字溝基礎	コンクリート2次製品を使用し、連続した基礎を構築。
F-4	フェンス基礎	コンクリート2次製品を独立基礎（10支点）として使用。
F-5	H鋼（弱軸使い）	2本のH鋼を平行に並べて設置し、基礎として使用。
F-6	H鋼（強軸使い）	2本のH鋼を平行に並べて設置し、基礎として使用。
F-7	単管パイプ基礎	単管パイプをクランプで組み合わせて地面に設置。
F-8	べた基礎	ワイヤーメッシュを配置した土間コンに架台を設置。
F-9	中古枕木基礎	廃材である鉄道用枕木を組み合わせて基礎として再利用。
F-10	基礎なし	碎石マウンドに架台を置くだけの構造。ずれ止め有り。

期にわたって地盤の不等沈下が発生することが懸念されるため、各基礎の沈下量が等しくなくても構造的に問題がないようにすることや、浸出水漏出防止のために埋設されている遮水シート等を破損させないように、覆土以深へ杭を打設したり掘削作業を伴うような大きな基礎としないようにするなどの配慮をした。

以上のような観点に基づき、表-1に示した10種類の基礎形式を選定し、これらの基礎を用いてアレイを実証サイトに設置した。

(3) アモルファス系太陽電池アレイの設計

最終処分場上部には、雨水浸透量を調節して浸出水発生量の削減を図るためや微粉体の飛散を防止する目的で地表面に各種シートが設置されている。既埋立地には最終覆土の上部に敷設する雨水浸透防止用のキャッピングシートや、未埋立地には法面に敷設された遮水シートが存在するが、このような場所も有効に活用することを目的として、これらのシートに太陽電池を設置する方法を検討した。

シートに太陽電池モジュールを取り付けるには、シー

トと同様に太陽電池も柔軟性を有していることが望ましいので、薄膜シリコン型のアモルファス系太陽電池を使用することとした。このような太陽電池を屋外で使用するため、遮水シートなどにアモルファス系太陽電池を貼付する方法として、図-1に示す取り付け方法を開発し、これによって遮水シートに貼付した太陽電池を実証サイトの法面へ設置した。

このような設置方法については経験的にも未知なことが多いので、実証実験を行うことにより、1) 強風によるシート剥れやフラッターリングによる断線、2) 止水性能劣化、冠水による漏電、表面汚れによる発電への影響、3) 電池およびシートの耐久性、4) 鳥獣・害虫による破損、などの項目について評価を行った。

3. 実証実験の概要

実証サイトとして、三重中央開発株式会社の三重総合リサイクルセンターを選定した。このリサイクルセンターの一面には管理型最終処分場があり、リサイクルの過程で発生する残渣物や再生不可能な廃棄物の処分が行われている。この最終処分場において、既に埋立が終了している一部の跡地を利用して実際に太陽電池アレイを設置し、平成20年10月から平成23年3月の期間で実証実験を行った。

当該地盤は層厚が約20mの焼却灰を主体とした廃棄物で構成されているが、埋立作業が終了した平成15年に覆土工事が行われている。この地盤で平板載荷試験を実施したところ、極限支持力が200kN/m²以上あることを確認できたため、小規模構造物の基礎としては必要な耐力を有していると考えられる。

このような実証サイトにおいて、多結晶系太陽電池アレイを全部で10基設置した。基礎の種類は表-1に示したように、すべて異なる構造形式とした。また、アモルファス系太陽電池アレイは実証サイトに隣接する斜面に設置した。それぞれの太陽電池の設置状況を写真-1および写真-2に示す。

4. 基礎および地盤の沈下計測

(1) 基礎の沈下状況

最終処分場跡地では埋立廃棄物の安定化に伴って地盤沈下が発生し、これによって上部に設置した太陽電池アレイが沈下することが予想される。その際、アレイ全体が均等に沈下するのであれば架台や太陽電池モジュールに外力が加わらないため施設の運用には支障をきたさな

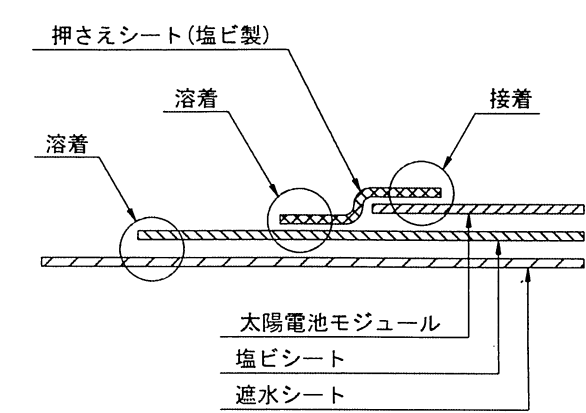


図-1 アモルファス系太陽電池の取り付け方法

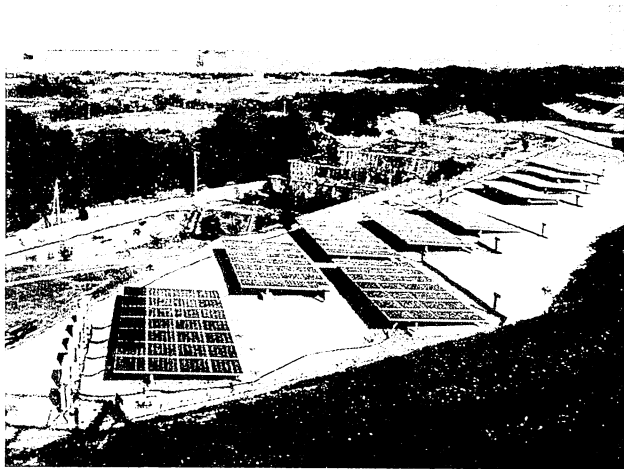


写真-1 多結晶系太陽電池アレイの設置状況

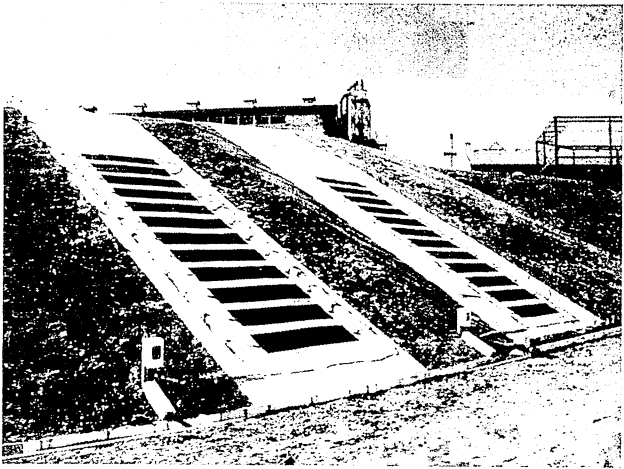


写真-2 アモルファス系太陽電池アレイの設置状況

いが、局所的に沈下量が等しくない場合はこれらの設備に外力が加わり破損する可能性もあるため、このような現象を考慮した架台や基礎の設計を行う必要がある。

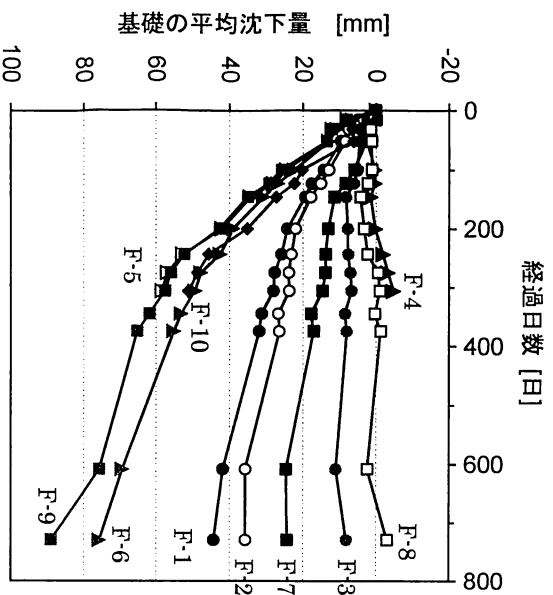


図2 基礎の平均沈下量の経時変化

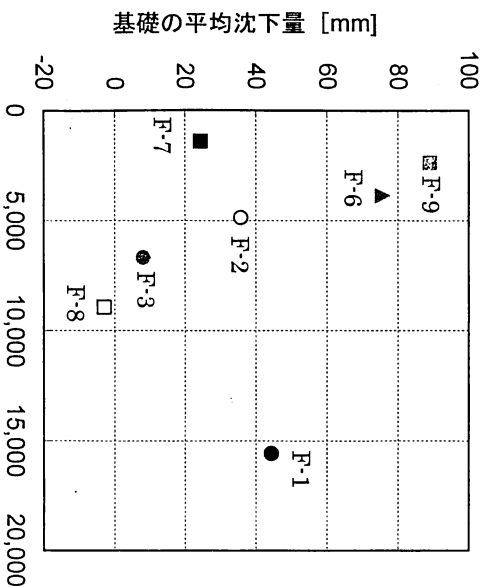


図3 アレイ総重量と基礎平均沈下量の関係

表2 各基礎の平均沈下量と不等沈下量

記号	各基礎の平均沈下量	基礎毎の不等沈下量
F-1	44 mm	15 mm
F-2	36 mm	19 mm
F-3	8 mm	29 mm
F-6	76 mm	11 mm
F-7	24 mm	19 mm
F-8	-3 mm	22 mm
F-9	89 mm	11 mm

(「マイナスの値は隆起したことを意味する。)

「結晶系太陽電池モジュールの環境試験方法及び耐久性試験方法：JIS C 8917」には太陽電池モジュールの機械的耐久性として、ねじれ量に関する記述がなされている⁹⁾。実証実験では不等沈下によって多結晶系太陽電池モジュールに発生するねじれ量がこの規格で想定する大きさを上回らないことを確認する目的で、アレイ基礎およびその周辺地盤の沈下量を継続的に測量した。

それぞれの太陽電池アレイの基礎について、四隅で測定した沈下量の平均値の経時変化を図-2に示す。基礎ごとに沈下の度合いにはばらつきが生じており、殆ど沈下していない基礎もあれば、一方では89mm沈下している基礎もある。なお、10種類の基礎のうち、3つの基礎 (F-4, F-5, F-10) については実証期間中に撤去したため、途中で沈下計測を中断した。

全体的な沈下の様子として、設置直後の沈下速度に比べると時間が経過するにつれて沈下速度が徐々に小さくなる傾向が現れている。

また、図-3に太陽電池モジュールや基礎の重量を含めたアレイ総重量と基礎の沈下量の関係を示す。このグラフから両者の間には相関が表れておらず、各基礎の沈下量のばらつきはアレイ設置に伴う局所的な載荷荷重の増加とは関係がないと考えられる。表-2に各基礎の平均沈下量と基礎毎の不等沈下量を示す。

(2) 周辺地盤の沈下状況

基礎および実証サイトの全体的な地盤の沈下の状況について整理した結果を図-4に示す。平面図には太陽電池アレイの配置と地表面に設置した沈下測量点の配置を記している。また、アレイごとに不等沈下の傾斜の向きを矢印で示している。基礎の四隅のなかで、最も沈下が少なかった場所から最も大きかった場所に向けて、その方向を矢印で図示したものである。10箇所の基礎の矢印の向きを全体的に見ると、全ての矢印の向きが基礎F-6とF-9の境目付近に向いている。

平面図に記したA-A測線における断面図には、地盤の断面形状と太陽電池アレイの重心位置を示している。さらには、この断面方向における沈下量の分布を整理した結果を示した。このグラフによると、アレイ基礎F-6及びF-9付近の沈下量が最も大きく、そこから離れるにしたがって沈下量が減少する傾向にある。このグラフと平面図に記した不等沈下の向きを示す矢印を対比すると、地盤全体の沈下の様子とアレイ基礎の不等沈下の傾向が整合しているため、基礎の不等沈下は地盤全体の沈下モードと関連していることが分かる。また、沈下量分布図に沈下の全体傾向を示す線を破線で描いているが、各基礎の配置されている場所での曲線の勾配と表-2に示した不等沈下量の大きさにも比例関係が表れている。

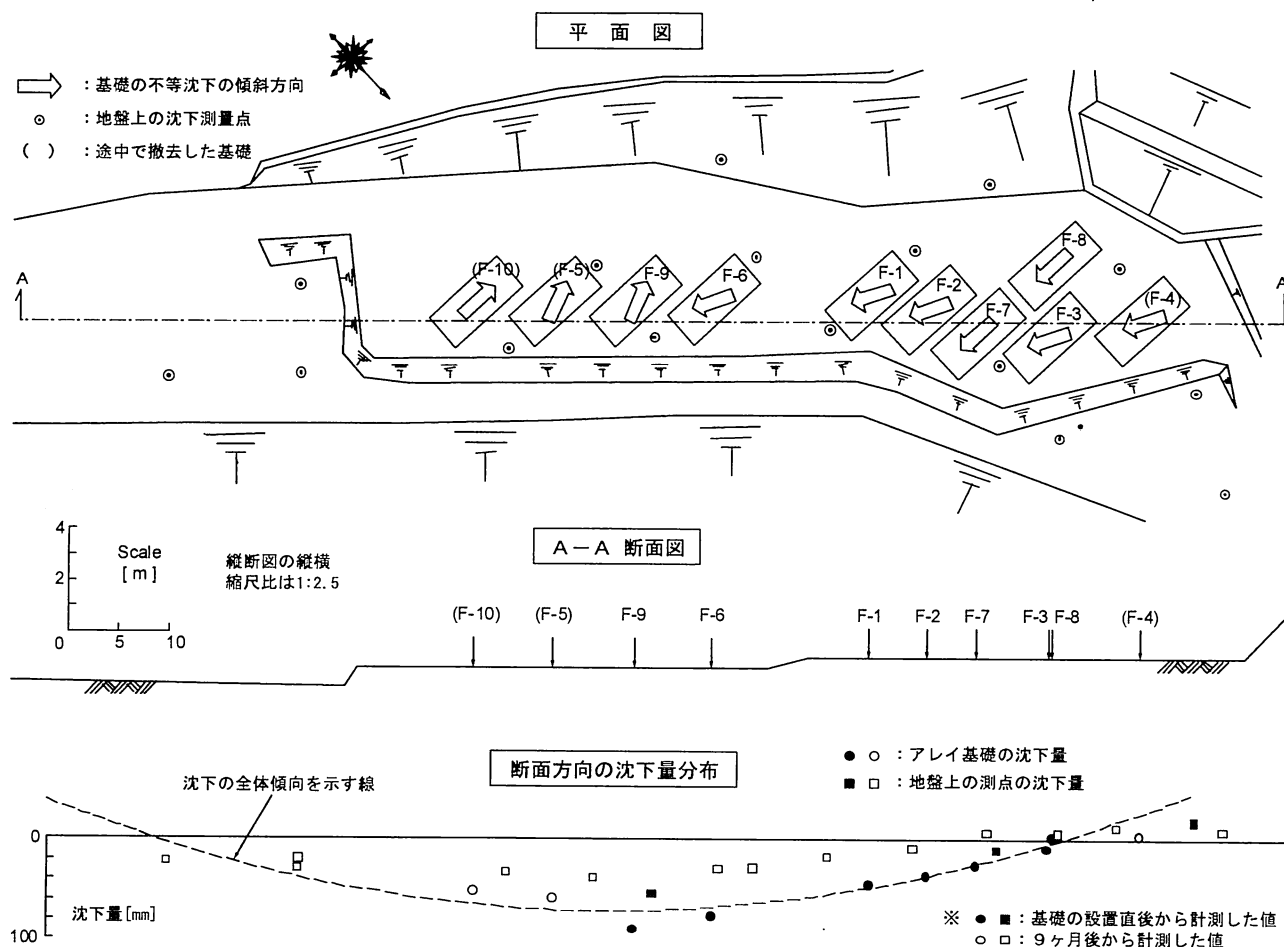


図4 太陽電池基礎および実証サイトの全体的な地盤沈下の傾向

この結果から、基礎の不等沈下は局所的な挙動ではなく、広域的な埋立廃棄物の安定化等に起因する地盤の全体的な沈下に伴う現象であると考えられる。

5. 発電設備の運転状況

(1) 多結晶系太陽電池

多結晶系の太陽電池アレイは、2基分の直流出力を1台のパワーコンディショナ（以下PCSと表記）に接続した。これによって得られる電力はリサイクルセンター内の設備の動力として使用するとともに、発電量や発電効率などを計測した。実証サイト内の10基のアレイに対して5台のPCSを使用しているが、そのうちの1台は途中でシステムの組み換え等を行っているため、以下の検討ではこのPCSで得られたデータを除外している。

発電運転を行った期間において、PCSの月ごとに集計した平均発電効率を図-5に示す。年月の経過に伴う発電効率の変化を調べるため、毎年2月の発電効率に着目して比較すると、平成21年2月における各PCSの発電効率

は12.3～12.5%であったのに対して、平成22年2月では11.3～11.7%と発電効率が0.9%程度低下している。さらに平成23年2月になると、8.8～10.8%と運転開始直後の平成21年2月と比べて発電効率が約2.6%も低下している。

発電効率には日射強度、PCS負荷率、電池モジュール温度等が影響するため、計測期間中の3回の2月平均発電効率は同一の条件で得られたデータではないので単純に比較することは出来ないが、グラフ全体の傾向として発電効率が徐々に低下している。また、時間の経過とともにPCS間の発電効率の差が拡大する傾向にある。

このような現象が生じる原因は明らかではないが、機器の経年劣化に個別差があることや、大気中の砂や埃などの飛散物が風向きの影響を受けて堆積・付着しやすい箇所があるなどの原因が考えられる。

そこで、太陽電池アレイ表面の汚れと発電効率の低下の関係を確認する目的で、PCS-1に接続されている2基の太陽電池アレイのガラス表面を洗浄し、発電効率の回復を試行した。洗浄作業としては、ガラス表面に散水をしながら人力によりモップで汚れを洗い流す方法により

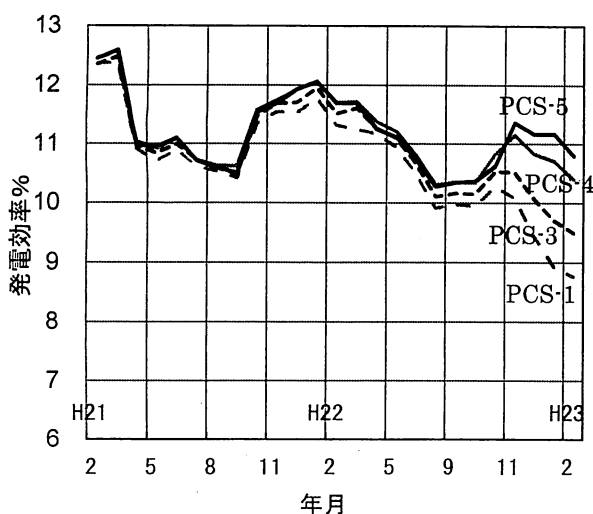


図-5 平均発電効率の経年推移

表-3 発電効率の経年変化（2年間の変化）

	運転開始直後	洗浄後	変化量
直流変換効率	13.1 %	12.7 %	-0.4 %
PCS 変換効率	91.3 %	88.3 %	-3.0 %
発電効率	12.0 %	11.2 %	-0.8 %

清掃を行った。

洗浄作業による発電効率の回復度合いを確認するためにPCS-1の洗浄前後の日発電効率を比較した結果、洗浄する直前が8.2%であったのに対して洗浄直後は11.2%にまで回復し、発電効率が3%向上している。このため、ガラス面を定期的に洗浄することは発電効率を回復させるために有効な手段であると考えられる。

また、洗浄直後と運転開始直後のデータについて日値を比較した結果を表-3に示しているが、2年間で直流発電効率は0.4%、PCS変換効率は3.0%低下しているために、最終的な出力としての発電効率は0.8%の低下となっている。この数値は極力条件を揃えるために同じ2月のデータを用いているものの、日値で比較した結果であることや天候等の影響を受けているために多少のばらつきがあると考えられるが、このような経年変化は事業性の検討を行う際には考慮すべき項目である。

(2) アモルファス系太陽電池

アモルファス系の太陽電池に関しては、発電電力量等の計測は行っていなかったが、先に掲げた評価項目については問題となる現象は表れなかった。

アモルファス系太陽電池は、現状では発電効率も低くて高価格であるが、このような新しい技術による太陽光発電についても、今後の技術開発により様々な分野での活用が期待できる。

6. まとめ

この実証実験では、最終処分場跡地に太陽電池アレイを設置することで、軟弱地盤で太陽光発電を行うことの技術的な課題について検討を行ってきた。その結果、不等沈下などの問題については対処することが可能であり、このような土地を活用して太陽光発電の導入拡大を図ることは技術的に可能であることを示すことが出来た。

しかし、現実的にこれを実践するためには、技術的な課題のみならず、経済性の問題や法規制などの制約など、解決すべき事項が少なくない。

二酸化炭素の排出削減技術として、またエネルギー安全保障問題と併せた対応策として太陽光発電を積極的に推進するためには、発電単価の低減に資するような新たな技術開発や機器のコストダウンを行うとともに、発電電力の買取制度や設備導入のための助成制度など、法律や政策による仕組みの創設も重要である。

謝辞：本技術開発は環境省の地球温暖化対策技術開発事業（埋立終了後の最終処分場上部を活用した太陽光発電システム実用化に関する技術開発）委託業務として、平成20年度から平成22年度までの3か年にわたり実施したものです。この事業の委託に際しては福岡大学教授・押方利郎先生ならびに三重大大学教授・畑中重光先生と三重大大学教授・酒井俊典先生から多岐にわたるご助言を頂きました。

参考文献

- 1) 日本規格協会：太陽電池アレイ用支持物設計標準，JIS C 8955, 2004.
- 2) 中村良平，相原知子：傾斜角度の小さい地上設置型太陽電池アレイに作用する風力特性（その1）単独の場合，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-1, pp.173-174, 2010.
- 3) 相原知子，中村良平：傾斜角度の小さい地上設置型太陽電池アレイに作用する風力特性（その2）複数配置の場合，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-1, pp.175-176, 2010.
- 4) 相原知子，寺崎浩，中村良平：傾斜角度の小さい地上設置型太陽電池アレイに作用する風力特性，風工学シンポジウム論文集，pp.339-344, 2010.
- 5) 日本規格協会：結晶系太陽電池モジュールの環境試験方法及び耐久性試験方法，JIS C 8917, 1998.