

## E-0903 再生可能エネルギーの大規模導入を可能とする自律協調エネルギーマネジメントシステム

## (1) 再生可能エネルギー供給量の変動予測に関する研究

(独) 産業技術総合研究所

太陽光発電研究センター 評価システムチーム 主任研究員 高島 工  
太陽光発電研究センター 評価システムチーム 研究員 大谷謙仁

&lt;研究協力者&gt;

(独) 産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 評価システムチーム 研究員 大関崇

(独) 産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 評価システムチーム

産総研特別研究員 Joao Gari da Silva FONSECA Jr.

平成21～22年度累計予算額：12,802千円（うち、平成22年度予算額：7,231千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 本プロジェクトで扱った再生可能エネルギーの大規模導入を実現する自律協調エネルギーマネジメントシステムでは、広域における変動の平滑化効果（ならし効果）を考慮して予測される再生可能エネルギー供給量と、快適な空間の維持向上に必要なエネルギーサービス量を境界条件として、需要側建物の分散エネルギーマネジメントが自律・協調的に運用される。本研究では、エネルギーマネジメント等に必要再生可能エネルギー供給量の変動予測に関する研究として、広域における「ならし効果」を考慮した太陽光発電の発電量予測技術開発を目的とした。

まず、天気予報および数値予報データを利用し、自己回帰およびサポートベクターマシンを利用した予測手法の開発を行った。全国約50箇所の日射量のデータを利用して予測誤差の検証を行い、2乗平均平方根誤差は0.10～0.20kW/m<sup>2</sup>となった。また、発電量予測として直接予測と間接予測について比較検討を行い、2乗平均平方根誤差の差は0.01kWh/kW以下であり、極端な偏差がないことを示し基礎的な知見を得た。広域の発電量予測技術については、アップスケーリングについて基礎検討を行った。

ケーススタディとして、単地点の気象庁データを利用した場合と、全箇所を利用した場合の比較検討および方位角／傾斜角の設備情報の有無の検討を行い、全情報を利用した場合では、単地点データ利用と比較して約30%予測誤差が小さいことを確認できた。さらに、広域エリアによる誤差低減の可能性については、2地点間の無相関性の確認を行い、日量にて単地点の約4割程度誤差を低減できる可能性を示した。本研究を通じて、今後の技術開発課題の抽出を行うとともに、発電量予測誤差の誤差範囲が把握できたと考える。これら知見は、太陽光発電の大量導入を見据えた場合のエネルギーマネジメントや社会システムを考えるうえで、シミュレーション等の条件設定等に利用可能であり、環境政策への貢献が出来ると考えられる。

[キーワード] 太陽光発電、発電量予測、日射量予測、出力変動、エネルギーマネジメント

## 1. はじめに

地球環境問題、資源・エネルギー問題の顕在化のもと、持続的なエネルギーシステムの構築に向けて、原子力、石炭ガス化発電、再生可能エネルギーなどの研究開発が進められている。このうち大規模電源はその技術特性から、再生可能エネルギーである風力発電や太陽光発電（以下、PV）はその天候による出力の変動特性から、毎時の電力需給バランス調整機能を低下させる要因となることが懸念されている。これに対し、分散電源、ヒートポンプ給湯機、プラグインハイブリッド自動車／電気自動車の導入に伴い、需要側に貯湯槽やバッテリーなどの蓄熱／蓄電技術が近い将来に普及することが予想され、新しい需要側の調整力として期待されている。2009年10月には経済産業省資源エネルギー庁が「低炭素電力供給システムに関する研究会」を立ち上げ、PV等の再生可能エネルギーや原子力などのゼロ・エミッション電源の比率を50%以上とする低炭素社会の構築に向けた電力供給面での対策の検討を開始するなど、既に新しい電力システムの在り方の模索が始まっている。

また、エネルギー利用の本来の目的はエネルギーの消費ではなく、得られる効用の増加であり、人間の享受できる快適性、生産性の維持向上である。従って、多様な利用形態を持つ家庭や業務の分野において、住空間・働空間の快適性などの必要とされる本来のサービスの質と量を把握し、必要最小限のエネルギー利用により、環境負荷の大幅な低減をはかるべきである。しかし、現実には省エネルギー（以下、省エネ）促進策としては機器効率の向上に主眼が置かれ、効用そのものについて議論される機会は少ない。

これらの状況において、我々が提案する自律協調エネルギーマネジメントは、生活の質の維持、省エネに加え従来の大規模供給側が行ってきた需給調整機能を需要側で分担することで、再生可能エネルギーの導入拡大、エネルギーシステムとの協調による全体の品質向上という、エネルギー問題と環境問題の解決への新たな道を拓く可能性が高い。また、将来的にこれらの生活に密着した需要側のエネルギー技術を、海外を含め地域の条件に合わせて適用することは、エネルギー問題と環境問題の広範な解決に貢献するものと期待される。

## 2. 研究目的

家庭、業務などの民生部門におけるエネルギーサービス水準を維持・向上しつつ再生可能エネルギーの大規模導入を実現する自律協調エネルギーマネジメントシステムの構築を目的とした。提案システムにおいては、気象予測に基づき広域における「ならし効果」を考慮して予測される再生可能エネルギーの供給量と、空間の質の維持向上に必要なエネルギーサービス量を境界条件として、需要側の建物の分散エネルギーマネジメントシステムが自律・協調的に運用される。

本サブテーマでは、再生可能エネルギー供給量の変動予測として、PVシステムの発電量予測技術の開発を目的としている。従来の研究では、ある単地点のPVシステムの発電量予測（または日射量予測）が主流であった。PVシステムの場合、単地点の発電量は、天候によりきわめて不確定である。しかし、電力系統など実際のエネルギーシステムが確保すべき需給バランスに着目すると、一定の広がりをもった地域（例えば関東地方）の合計日射量、ひいてはPVシステムの合計出力が重要であり、これをより高い確度で予測することが重要である。そこで、本研究では広域における「ならし効果」を考慮したPVシステムの発電量予測技術開発を行うことを目的とした。

### 3. 研究方法

広域エリアでの発電量予測技術の開発のために、単地点および広域エリアにおける日射量・発電量予測手法の開発を行い、予測誤差の評価を行った。予測に利用するデータとしては、従来の研究において大きく3つがある。ひとつは一般的に広く普及している天気予報データである<sup>1),2)</sup>。天気予報データも気象庁が発表するものと民間企業が独自に利用するものがある。他には、数値予報 (Grid Point Value : 以下、GPV) と呼ばれる天気予報の元になる数値予報データが存在する。これまでもGPVを利用した発電量予測も一部検討されているが、実運用においてはGPVのデータが有償であることなどから、汎用性が天気予報に比べて低い<sup>3),4)</sup>。その他に、数値気象シミュレーションから日射量を直接予測する手法<sup>5),6)</sup>も検討されているが、ハードおよびソフトの面で一般には利用が困難である。本研究では、広域エリアでの予測精度向上の可能性を確認することを主目的としているため、データの入手しやすさ等から天気予報文字データおよびGPVを利用した手法の検討を行った。

まず単地点の予測誤差の確認のために、天気予報の文字データおよびGPVを利用した日射量予測手法の開発を行い、予測誤差の評価を行った。天気予報データに関しては、実際の予報データの収集が十分でないため、実績の天気データを利用して検討を行った。また、天気実績にランダム誤差を与えることで天気予報を模擬し、天気予報のはずれ率を与える影響などを検討できるようにした。GPVについては、過去の予測されたデータのアーカイブを利用した。単地点の日射量予測手法に関しては、大気外日射量で実測の全天日射量を除す晴天指数を予測するモデルとした。これは、季節・時間によって絶対値が変化する全天日射量を、快晴日に近い値が1.0となるように規格化することで、モデルのパラメータ同定に必要なデータ数を増加させるためである。天気予報利用モデルでは、民間の天気予報で利用可能な天気、気温、湿度等から有効なデータを選択し、単純多重回帰モデルについて検討した。さらにその拡張として前後時間の天気データ入力、周囲天気データ入力についても検討し比較を行った。GPVを利用する手法については、入力パラメータが多変量になるにことに伴い、学習モデルを用いた。従来の研究では、ニューラルネットワークを利用した手法が報告されているが、より認識性能が優れている手法であるサポートベクターマシン (Support Vector Machine : 以下、SVM) を利用した。SVMは、ニューラルネットワークと異なり、入出力関係をラグランジュ乗数で表現できることから、最適化問題として解くことができる利点がある。予測誤差評価には、全国の地域差等の把握のため全国の気象庁地上気象官署の日射量を用いた。

次に単地点の発電量予測として、日射量予測データを利用して発電量に変換する間接的な手法 (間接予測) と、気象パラメータ等から発電量を直接予測する手法 (直接予測) について比較検討を行った。既存のPVシステムの実測データと開発した日射量予測手法を利用して比較検討を行った。

これら開発した単地点の予測手法を応用して、広域エリアの発電量予測手法の基礎検討を行った。広域エリアを予測する場合には、ある限られた点からエリア (複数点) の予測を行う必要が想定される。この手法をアップスケーリングと呼ぶ。特にPVシステムの場合、PVシステムの設置傾斜角や方位角により発電特性が大きく異なる。そのため、アップスケーリングを行う場合には、PVシステムの設備データについて取得方法を含めてどの程度データベース化するかについては、社会システムとして考慮する必要がある。そこで実測のPVシステムの発電量を利用して、開発し

た予測手法をもとにアップスケーリングの基礎的な検討を行い、将来の社会システムとして揃えるべき、PVシステムの設備データに関して検討を行った。

また広域エリアを想定した場合に予測誤差が単地点と比較してどの程度まで低減可能であるかの検討として、2地点間の無相関性の確認を行った。さらに、地点数増加と予測誤差の検討も併せて実施し、広域エリアによる誤差低減の可能性について検討を行った。

これにより、将来PVシステムを大量に導入した場合の広域における「ならし効果」を考慮したPVシステムの発電量予測技術開発を行い、現状における予測誤差の実態把握を行った。

#### 4. 結果・考察

##### (1) 単地点における日射量予測手法の開発および予測誤差評価

単地点における日射量予測手法の開発として、最初に天気予報を利用した手法について検討を行った。実際の天気予報データの不確かさについて基礎的な確認を行い、時系列予報のデータから、時系列予報の3時間ごとの的中率は、約70～50%程度であることが分かった。また、晴天から雨天や雨天から晴天といった極端なはずれの確率が低いことも分かった。他のパラメータとして、湿度に関してはバイアス誤差を有する傾向にあり、バイアス誤差補正後は、誤差標準偏差は約12%程度であった。また、気温の予報精度については、誤差標準偏差は約2℃と他のパラメータと比較して良好であることが分かった。

天気予報を利用した基本モデルとして、前述の天気・湿度・気温を3説明変数の単純多重回帰により晴天指数を求めるモデルの検討を行い、有効パラメータの決定にステップワイズ手法を利用した(変数増減条件:P値:0.250)。データには気象庁地上気象官署(東京、2006/1～2006/12)のデータを利用した。検討結果から、有意な変数が天気および湿度であることを示した。実績天気および実測湿度に模擬的に誤差をそれぞれ70%、10%発生させた場合における日射量の日量の予測誤差結果より、実測日射量と予測日射量の相関図を図1に、予測誤差の度数分布を図2に示す。

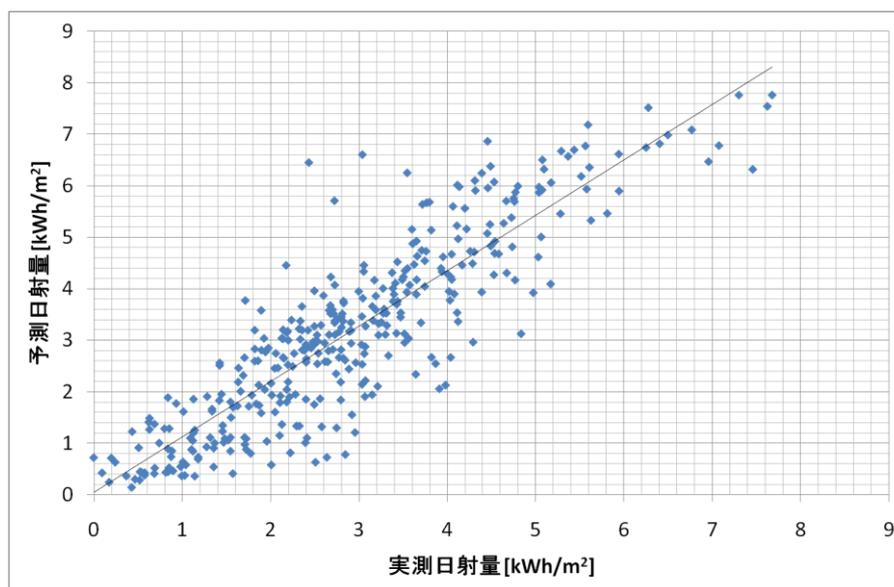


図1 予測日射量と実測日射量の相関図

(天気誤差70%、湿度誤差10%、東京；2006/1～2006/12)

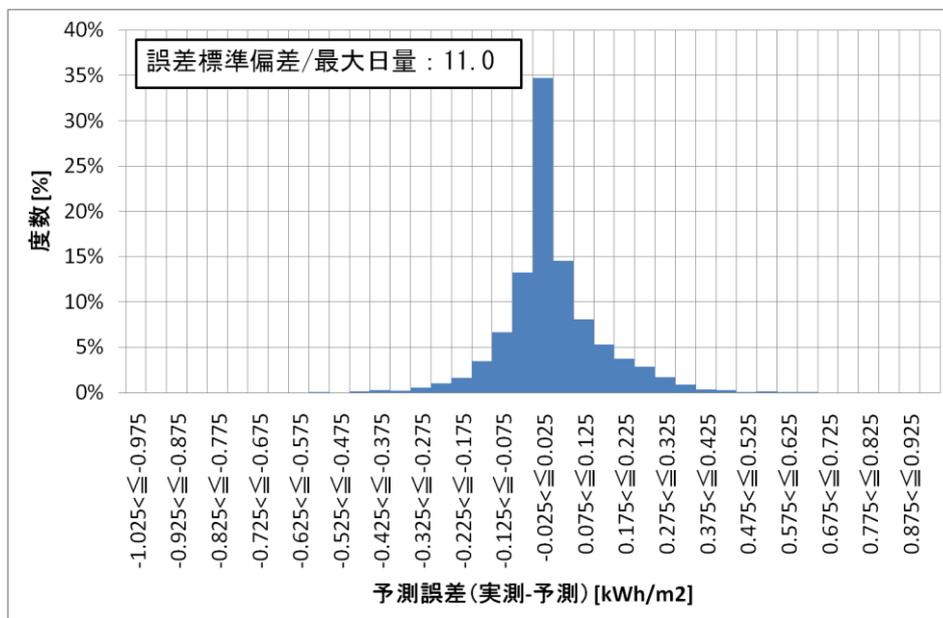


図2 予測誤差の度数分布  
(天気誤差70%, 湿度誤差10%, 東京 ; 2006/1~2006/12)

図3には各予測手法による日量予測誤差の標準偏差（最大日量で規格化）の結果を示す。模擬的に天気予報のはずれ率を導入した効果も一緒に示す。

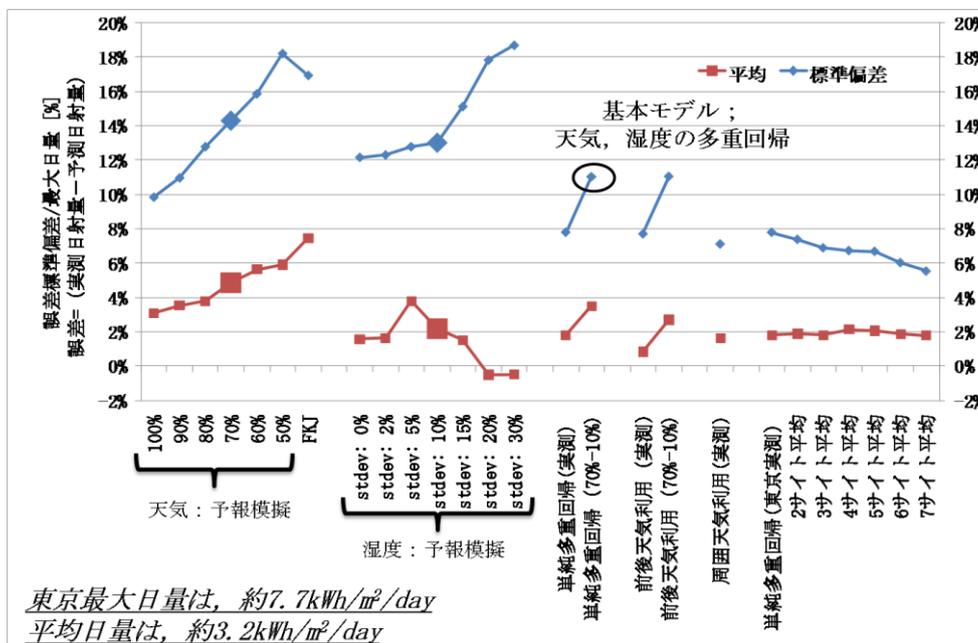


図3 各予測手法による予測誤差の標準偏差（東京 ; 2006/1~2006/12)

単一パラメータを利用した場合と比較して、ほぼ同一のはずれ率条件で比較すると、約2~3%程度の差があることが分かる。また、実績天気と天気予報相当を利用した場合では、実績天気の

予測誤差の約1.4倍程度の誤差になることを示した。さらに誤差低減として、前後時間の天気データを利用する手法および、周辺天気利用モデルの検討の結果も図3に示している。結果から前後天気利用は、ほとんど効果がないことが分かった。一方、周辺天気利用では、日量誤差標準偏差を約1%程度低減できる可能性を示した。しかしながら、周辺利用についてステップワイズ手法によりサイトの選択を月ごとに実施したが、統一性が見られず、明確な物理的關係は示せなかった。

次に、GPVを利用した単地点における日射量予測手法について検討を行った。GPVには5kmメッシュのメソスケールモデルデータを利用した。前日の予測を模擬するために、初期値は前日18時、24時間分のデータを利用した。入力データは各種パラメータの組み合わせを試行し、気温、湿度、雲量、大気外日射量を選択した。SVMの各種パラメータについては、2008年の1年分のデータを5分割したクロスバリデーションを利用して決定した。なお、各種パラメータの決定には東京のデータを利用して行い、そのパラメータを他の地域に応用している。データ学習には直前の60日分を利用し、場所ごとに学習を行った。データの評価は2008年の1年分を利用した。

図4にSVMを利用した東京における日射量予測誤差の相関図を示す。1時間値を利用した1年間の2乗平均平方根誤差（Root mean square error：以下、RMSE）において、約0.134 kWh/m<sup>2</sup>であった。また、図5にはSVMを利用した全国各地点の日射量予測結果について示す。各地点のRMSEにおける全国平均は、0.136 kWh/m<sup>2</sup>であった。範囲としては0.101 kWh/m<sup>2</sup>～0.425 kWh/m<sup>2</sup>であり、特に諸島地点における予測誤差が大きい傾向にあった。また、内陸部においても奈良や高知など一部地域において予測誤差が約0.20 kWh/m<sup>2</sup>と大きな箇所が存在し、予測誤差傾向に一定の地域差があることを示した。

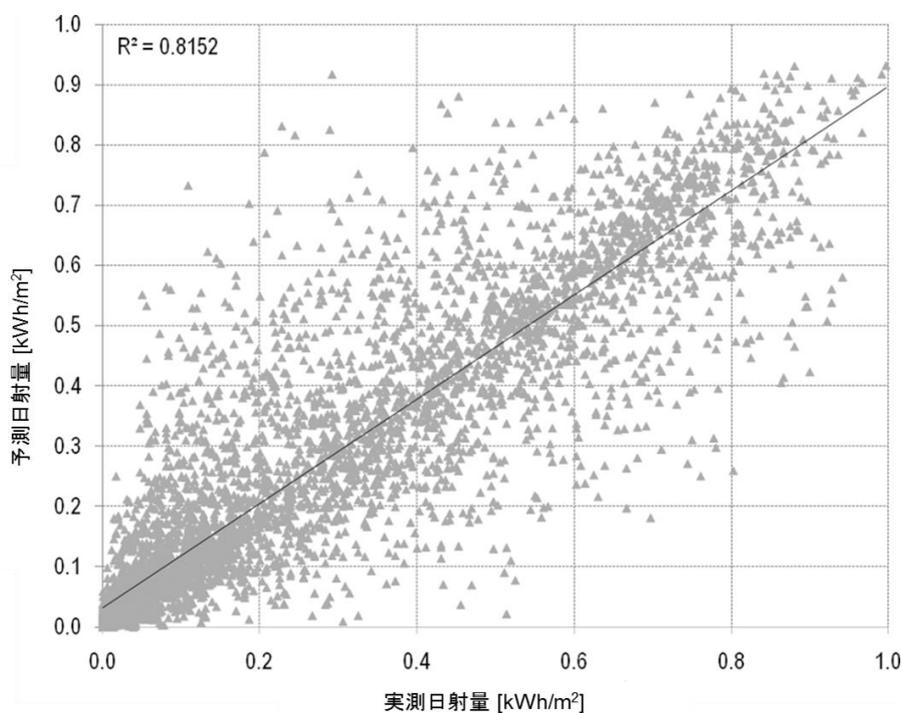


図4 SVMを利用した東京における日射量予測誤差  
(東京；2009/1～2009/12)

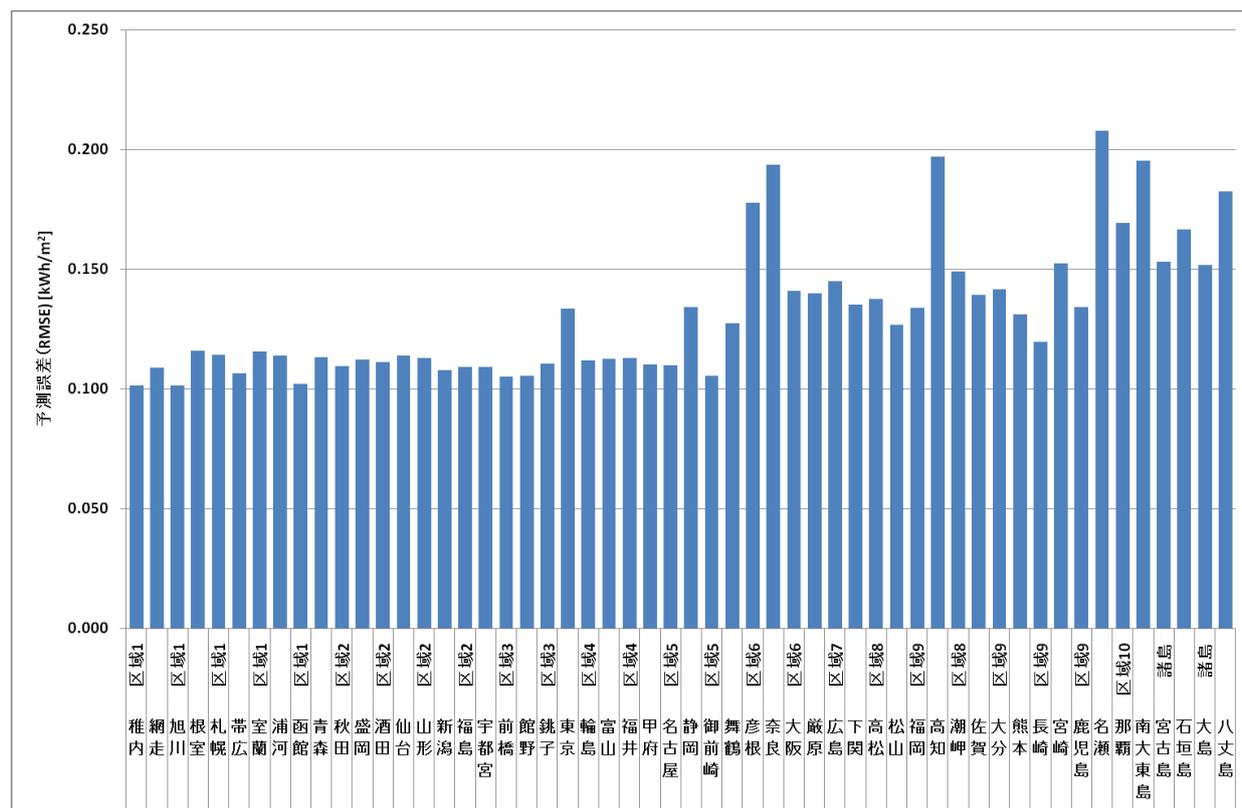


図5 SVMを利用した手法の全国の気象庁地上気象官署における日射量予測誤差

## (2) 単地点における発電量予測手法の開発および予測誤差評価

発電量予測には、天気予報やGPVと実測発電量との関係を直接的にモデル化する直接予測と、予測した日射量を利用して発電量に変換する間接予測について比較検討を行った。これらについて、定性的な長所および短所を表1にまとめた。

表1 発電量予測の分類における長所短所

	直接予測	間接予測
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>モデルがシンプル</li> <li>パラメータ同定が直接的</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>個別システムのデータが必要ない</li> <li>気象庁データなどが利用できる</li> <li>他のシステムへの汎用性が比較的高い</li> </ul>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>個別システムのデータが必要</li> <li>他のシステムへのパラメータ応用が困難</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>モデルが複雑</li> <li>システム依存のパラメータ設定が難しい</li> </ul>

検証用の実測データには、産業技術総合研究所に設置された4KW、多結晶システムの2009/10～2010/6のデータを利用した（図6参照）。方位は南西向き、傾斜角は15度設置である。また、間接予測に関しては、最寄りの地上気象官署（約1kmの距離）のデータを利用して、日射量予測の検証も含めて行った（図6参照）。



図6 利用したPVシステム外観と気象庁地上気象官署との距離

直接予測については実測の発電量データを用いて前60日分のデータにより学習を行い、予測データを作成した。基本の予測手法は、前項で開発したGPVを入力としたSVMモデルを利用した。間接予測における日射量予測手法には、直接予測と同様のGPVを入力としたSVMモデルを利用した。PVシステムの発電量( $E_p$ )は、式(1)(2)で表すことができ、予測した日射量(水平面)を傾斜面日射量( $H_{Ag}$ )に変換、その後システム出力係数( $K$ )・温度補正( $K_{PT}$ )を行い発電量に変換した。間接予測の概要を図7に示す。比較検討として、間接予測、直接予測の予測誤差とともに間接予測については、各ステップにおける予測誤差、推定誤差の影響についてあわせて検討を行った。

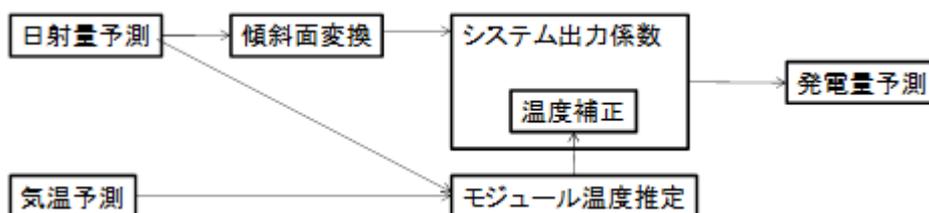


図7 間接予測手法の概要

$$E_p = K \cdot \frac{H_{Ag}}{G_s} \cdot P_{AS} \dots\dots\dots(1)$$

$$K = K_{PO} \cdot K_{PT} \dots\dots\dots(2)$$

$E_p$  : 発電量[kWh]、 $H_{Ag}$  : 傾斜面日射量[kWh/m<sup>2</sup>]、 $G_s$  : 標準日射強度[kW/m<sup>2</sup>]; 1.0kW/m<sup>2</sup>  
 $P_{AS}$  : システム定格[kW] $K$  : システム出力係数[-]、 $K_{PT}$  : 温度補正係数[-]、 $K_{PO}$  : その他係数[-]。

評価結果を図8に示す。予測誤差は、直接予測が0.105 kWh/kW、間接予測は各種ケースにおいて0.104~0.110 kWh/kWであった。間接予測におけるステップごとの誤差としては、水平面日射量予測の誤差(図8; 間接日射量予測(水平面日射量))が0.109 kWh/m<sup>2</sup>であり、水平面から傾斜面に変換する時に0.01 kWh/m<sup>2</sup>程度予測誤差が大きくなる。その後、発電量に変換する際のパラメータである、システム出力係数に実測からの最適値を与えたケース(図8; K固定; 期間最適)、固定値0.8~0.7を用いたケース(図8; K固定, 0.8および0.7)、さらに温度補正に実測・推定などを用いたケース(温度補正 実測および推定)を比較した結果、各ステップ間での差は0.01 kWh/kW以下であった。このことから、間接予測の誤差は、日射量予測の精度に大きく依存し、その他のパラメータの寄与は比較的小さい値であることが示唆された。本検討は特定システムによる検証

であるため、他のシステムを利用した傾向を検討する必要があるが、今後の発電量予測システムの全体構築に重要な、直接予測と間接予測の設計における基礎的な知見を得た。

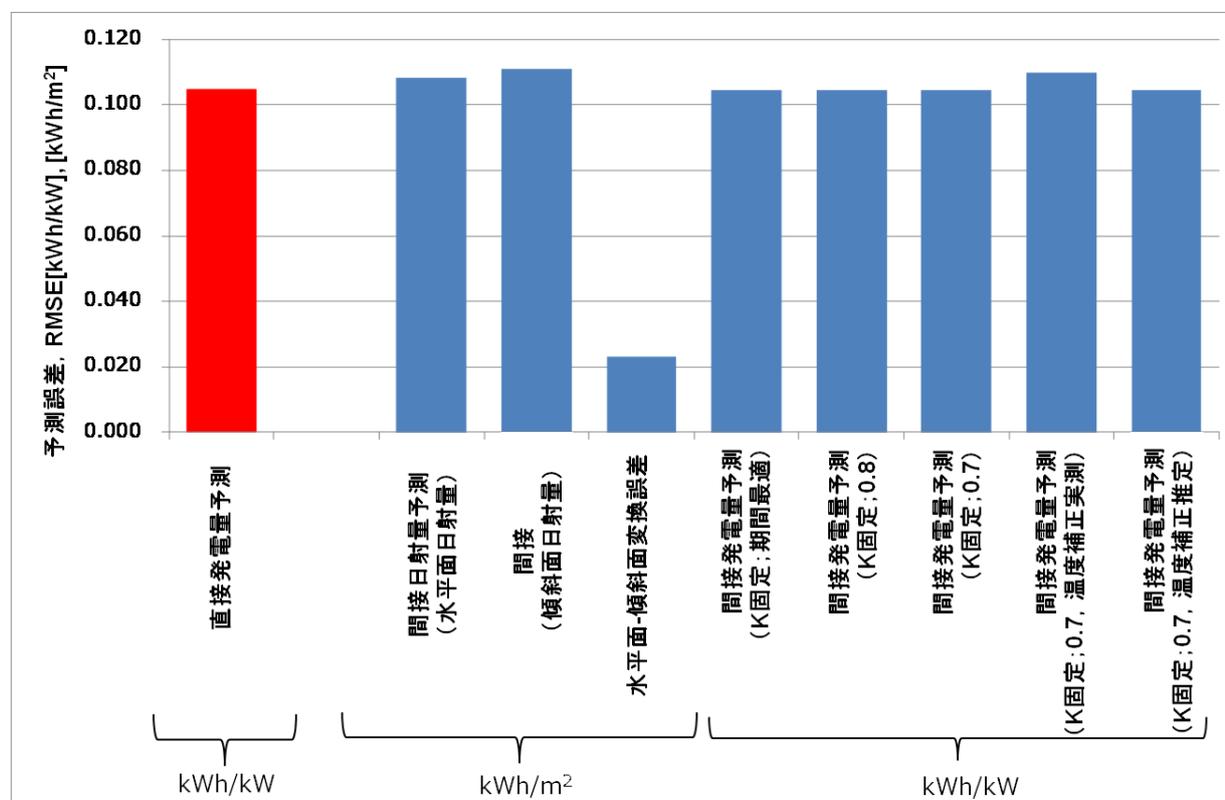


図8 発電量予測における直接予測、間接予測手法の比較評価

### (3) 広域予測手法の開発

将来のPVシステム大量導入時における電力システム全体の需給バランス調整力の課題を考えた場合、需給調整が行われる電力システム毎など広域エリアでの予測技術が必要となる。広域エリアでの予測には、単純な手法としては単地点予測の積み上げ手法が考えられる。しかし単地点での予測は、基本的にその地点のPVシステムの発電量（場合によっては日射量）が観測できる状態、いわゆる可観測であることが必要となる。そのため単地点の積み上げ手法の場合には、エリア内に設置されたすべてのPVシステムが可観測である必要がある。その実現性は将来のエネルギーネットワークにおけるモニタリングシステムや社会システムに大きく依存するが、少なくとも現在設置されているPVシステムは可観測の状態にはない。そのため広域予測手法の開発には、特定の複数地点のみ実測データが可観測である条件を想定する必要がある（アップスケーリング）。また可観測なシステム数と共に、想定されたエリアに導入されたPVシステムの設備データの有無も重要となる。特にPVシステムの発電特性は、設置場所、システム容量、方位角、傾斜面が重要なパラメータになるが、現状では、設置場所とシステム容量以外の情報は、データベース化されていない。そこで本研究では、複数地点の実測発電データおよび気象庁地上気象官署のデータを利用して、実測データの可観測性および設備データの有無による影響について基礎的な検討を行った。

アップスケーリングの手法の基本は間接予測と同様に、エリア全体の個別傾斜面日射量( $H_{Ag}$ )とシステム出力係数( $K$ )を想定し、それぞれに必要な重みを付ける手法とした。この時に、可観測地点が担当するエリア範囲にあるシステム容量( $P_{AS}$ )、方位角( $i$ )／傾斜角( $j$ )分布がパラメータの重み決定に影響する。これを定式化したものを式(3)～式(5)に示す。ここでは特に影響が大きいと考えられる、エリア加重平均傾斜面日射量( $H_{Ag\_wa}$ )の感度分析を行うために、方位角( $i$ )／傾斜角( $j$ )データの有無による予測誤差評価を行った。感度分析のために地点および合計システム容量( $P_{AS\_total}$ )は既知とし、エリア加重平均システム出力係数( $K_{wa}$ )は一定値を用いた。

$$E_{P\_total} = \sum_m E_{p,m} = \sum_m K_m \cdot \frac{H_{Ag,m}}{G_s} \cdot P_{AS,m} \dots\dots\dots(3)$$

$$E_{P\_total} = K_{wa} \cdot \frac{H_{Ag\_wa}}{G_s} \cdot P_{AS\_total} \dots\dots\dots(4)$$

$$H_{Ag\_wa} = \sum_i \sum_j a_{ij} \cdot H_{Ag,i,j} \dots\dots\dots(5)$$

$E_{P\_total}$  : エリア合計発電量[kWh]、 $E_p$  : 地点発電量[kWh]、 $K$  : 地点システム出力係数[-]

$H_{Ag}$  : 地点傾斜面日射量、 $P_{AS}$  : 地点システム容量[kW]、 $m$  : システム数

$K_{wa}$  : エリア加重平均システム出力係数[-]、 $H_{Ag\_wa}$  : エリア加重平均傾斜面日射量[-]

$P_{AS\_total}$  : 合計システム容量[kW]、 $i$  : 方位角、 $j$  : 傾斜角、 $a$  : 重み係数、 $G_s$  : 日射強度[kW/m<sup>2</sup>]

検証用のデータは、関東エリアの11箇所のPVシステム（合計33.7kW）総和の電力量を予測対象として、気象庁5サイトを可観測サイトとして利用した。ここで日射量予測には、利用した発電データの制約から自己回帰および天気予報データを用いた手法を用いた。また、天気予報を模擬するために実測天気と30%の誤差、湿度に10%の誤差を与えたデータを用いた。ケーススタディとして、方位角／傾斜角が既知の場合、方位角が全部南、西、東だけを利用した場合について比較検討を行った。また、利用する日射量についても個別地点だけ利用と複数地点利用についても検討を行った。図9に利用したPVシステムおよび気象庁地上気象官署の場所および、図10に検証用に利用したPVシステムの方角／傾斜角の分布を示す。

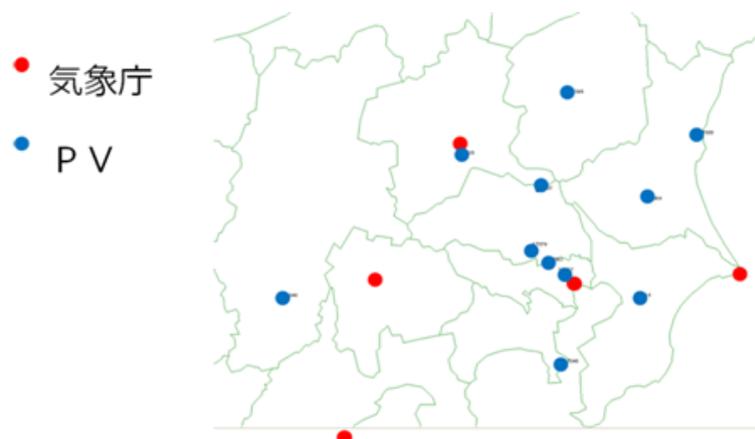


図9 アップスケーリングに用いたPVシステムと気象庁地上気象官署の地点

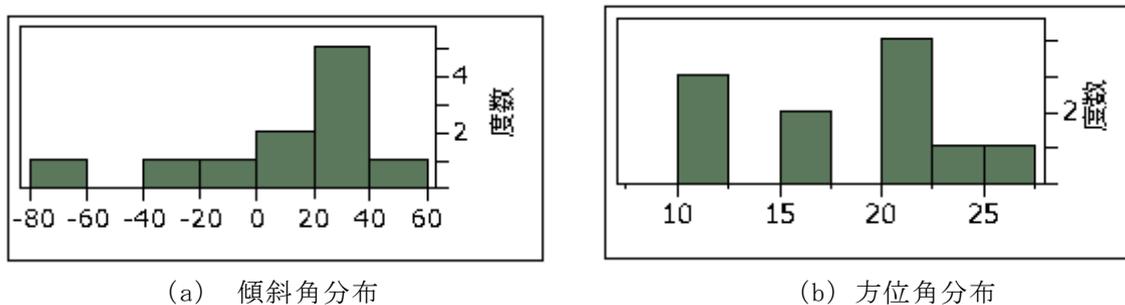


図 10 検証に利用したPVシステムの傾斜角と方位角情報

図 11 に各ケースにおける予測誤差結果を示す。すべての可観測な日射量データを利用したケースは、単地点データを利用したケースと比較して、約30%予測誤差が低いことが確認できた。また、方位角／傾斜角データの有無は、極端な例（例えば西向きに設置されている）を除きサイトの方角、傾斜角データの有無に大きく依存しない結果となった（RMSEにて0.02 kWh/kW以下）。

本結果は、年間の統計的な結果のため、詳細な時系列の分析評価は今後の課題として残るが、将来の発電量予測システムを想定した場合の設備データベースのあり方を含む広域の発電量予測手法開発への基礎的知見を得た。

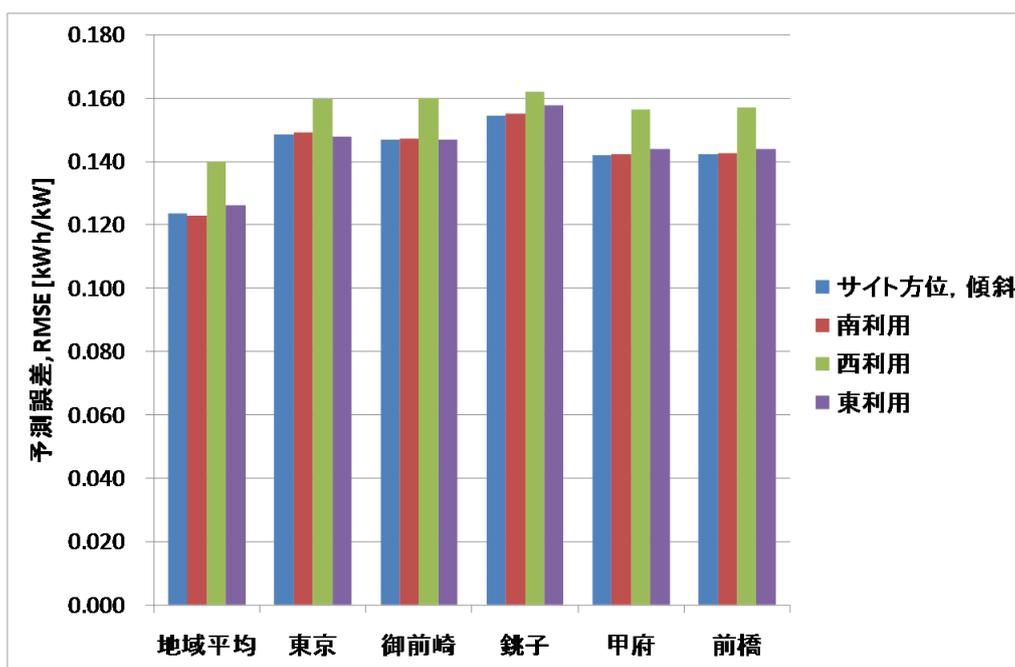


図 11 アップスケーリングの評価結果

#### (4) 広域エリアにおける予測誤差低減効果の可能性検討

前項では、現実の発電量予測手法を主眼としたアップスケーリングについて検討を行ったが、広域エリアにおける予測低減効果は、利用できるデータの制約から十分には検討できていない。ここでは、広域エリア想定による単地点と比べた予測誤差低減の可能性について検討を行った。検証には、気象庁地上気象官署の日射量データを利用し、自己回帰および天気予報を利用した予

測手法をベースに検討を行った。

予測誤差低減効果の評価方法として、広域エリアにおける2地点間の予測誤差が無相関であれば、エリア平均の誤差がランダムアンサンブル平均として表すことが可能と考えられる。そこで、2地点間の距離と予測誤差との関係について評価を行った。図12に2地点間の距離と日量予測誤差との関係を示す。2地点間の距離が延びるほど相関係数が低下することが確認でき、エリアを拡大するほど、無相関性が高まることが予想される。ただし、無相関性の考え方については今後更なる解析を行い整理が必要と考える。

図13には、地点数と日量予測誤差の標準偏差の関係を示している。各地点がすべて無相関であれば、単地点の標準偏差の $1/\sqrt{N}$ （地点数： $N$ ）となることが予想される。しかしながら、図13に示すように $1/\sqrt{N}$ より先に飽和特性が表れている。これは、個別誤差が等分散性を有していない可能性があること（O'Brienの検定等）や距離との関係が分離できていない等によると考えられる。また図13に、地点数と予測誤差との関係を指数関係により近似して示した。地点数とエリアの広さの関係は必ずしも線形ではないが、地点数を無限大に増加させた場合が広域エリアを想定した場合の予測誤差低減効果の推定値と考えられる。この仮定のもとで、近似式により単地点の約5～4割程度、誤差を低減できる可能性が示唆された。今後、2点間の天候の相関性や予測誤差同士の相関性、また地域差や設置されたPVシステムの偏りなど詳細な検討事項は残っているが、本結果から理想的な広域エリアによる予測誤差低減効果の見通しを得ることができ、予測誤差の把握を行うことができたと考えられる。

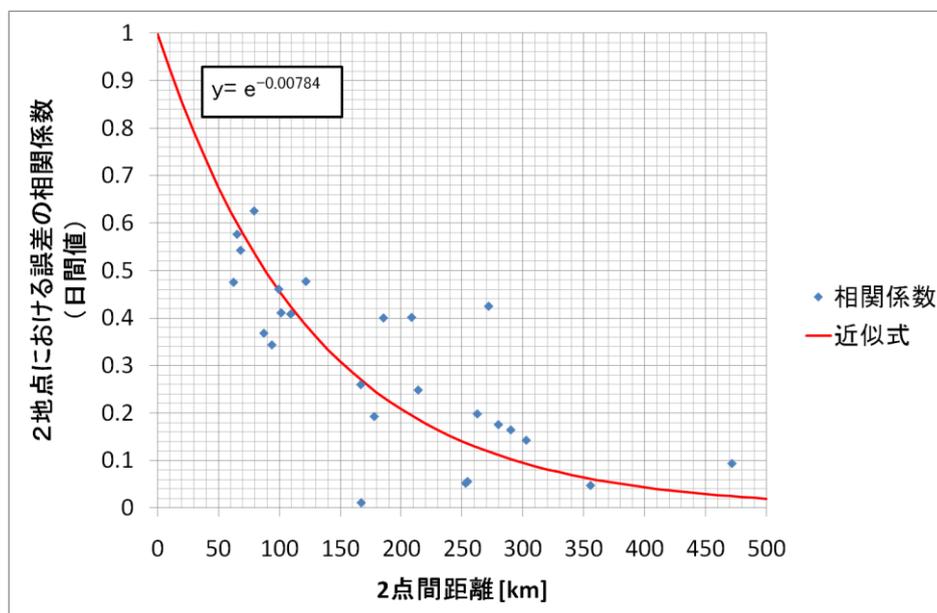


図12 2地点間距離と日量予測誤差の相関係数

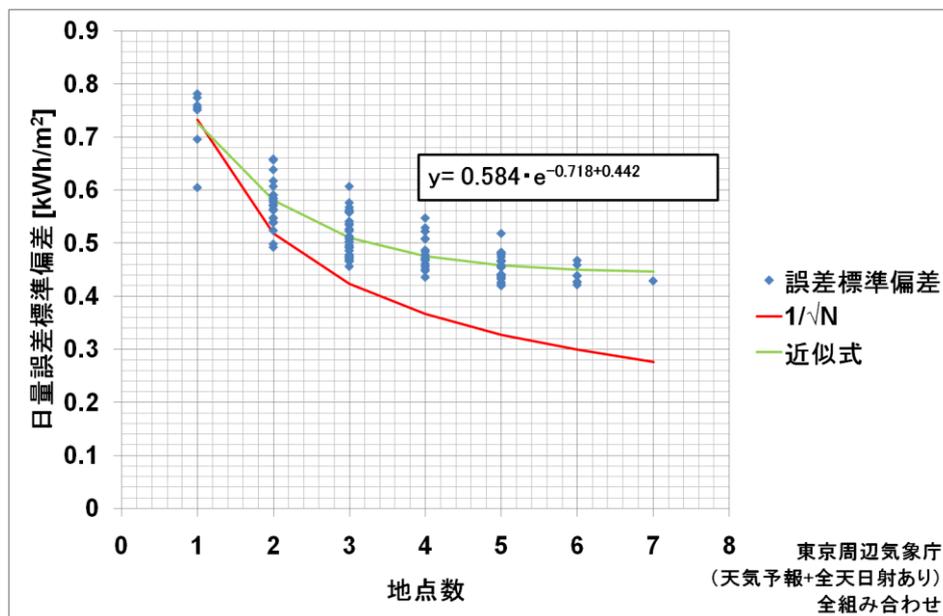


図 1 3 地点数と予測誤差の標準偏差との関係

#### (5) まとめ・結論

本研究では、PVシステムの大量導入を想定し、集中／分散エネルギーマネジメント等に寄与できる発電量予測技術の開発を行った。単地点の予測技術として、天気予報文字データやGPVデータを利用した手法を開発した。全国地区での日射量予測誤差の検証により地域による予測誤差に開きがあることおよび予測誤差範囲を示した。また、発電量予測として、単地点予測については直接予測／間接予測の比較検討を行い、大きな差異が無いなどの基礎的な知見を得た。さらに広域予測としてアップスケーリングのケーススタディを行い、PVシステムの設備データの1つである方位角／傾斜角の影響は相対的に大きくないことを示した。このようにして、今後の社会システムとして準備が必要と考えられるPVシステムの設備データベースのあり方についての知見を得た。さらに、地域や広域エリアの合計予測を想定して、複数個所の平均値での予測誤差の評価を行った。その結果、地点数増加に伴い予測誤差が低減できることを確認し、日量にて単地点の約4割程度誤差を低減できる可能性を示した。

本研究を通じて、今後の技術開発課題の抽出を行うとともに、発電量予測誤差の誤差範囲が把握できた。これらの知見は、PVシステムの大量導入を見据えた場合のエネルギーマネジメントや社会システムを考えるためのシミュレーション等の条件設定等に利用可能であり、環境政策への貢献は大きいと考えられる。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

広域エリアにおける発電量予測の基本となる予測技術として、翌日の予測としては国内で初めてSVMを利用した予測手法を開発し有効な結果を得た。また広域エリアの予測については、多地点の予測誤差低減の効果を国内で初めて示した。また、PVシステムにおけるアップスケーリングの検討も国内では初めてであり、将来の広域予測技術に必要なPVシステムの設備データについて基礎的な知見を得ることができた。特に広域エリアにおける予測誤差低減効果の要因分析を行い、2

点間の距離と予測誤差の相関関係を示したことは、今後の広域におけるPVシステムの予測手法の検討における知見となること等、科学的意義が大きいと考えられる。

## (2) 環境政策への貢献

発電量予測は、PVシステムの大量導入には必須の技術課題であり、環境省「地球温暖化対策に係る中長期ロードマップ検討会」においても「再生可能電力出力予測」が挙げられている。しかしながら、これまでに特に広域の発電量予測の予測誤差は明確になっていないため、導入可能量や必要対策費など量化が難しいのが現状であった。本研究は、導入可能量および対策費試算における基礎的な知見として、今後の環境政策へ貢献できると考えられる。

## 6. 引用文献

- 1) 工藤満, 竹内章, 野崎洋介, 遠藤久仁, 角田二郎: 「エネルギーネットワークにおける太陽光発電予測技術」, 電気学会論文誌B, Vol. 127-B, No. 7, 847-853 (2007)
- 2) 嶋田尊衛, 黒川浩助: 「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, 1219-1225 (2009)
- 3) 與那篤史, 千住智信, 舟橋俊久, 関根秀臣: 「ニューラルネットワークを用いた太陽光発電設備の24時間先発電電力予測」, 電気学会論文誌B, Vol. 128-B, No. 1, 33-39 (2008)
- 4) 片岡裕次郎, 藤原耕二, 石原好之, 舟橋俊久, 奥野義道, 中島廣則: 「雲量の数値予報データを用いた日射量予測」, 太陽/風力エネルギー講演論文集2009, 127-130 (2009)
- 5) 山口浩司, 滝谷克幸, 松岡直基, 齋藤裕: 「稚内メガソーラプロジェクト(7)～日射量予測について～」, 平成21年電気学会電力・エネルギー部門大会講演論文集, 06\_13-06\_14 (2009)
- 6) 橋本潤, 小林智尚, 吉野純, 安田孝志: 「数値気象予報モデルを用いた日射量予測」, 太陽/風力エネルギー講演論文集2009, 247-250 (2009)

## 7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) Joao Gari da Silva Fonseca Jr., Takashi Oozeki, Takumi Takashima, Kazuhiko Ogimoto: “Solar Irradiation Forecasts with Neural Networks and Numerically Predicted Cloudiness Data”, Proceeding of 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition /5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 5007-5010 (2010)

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) Joao Gari da Silva Fonseca Jr., Takashi Oozeki, Takumi Takashima, Kazuhiko Ogimoto: 「Study on the Effect of the Training Period on the Accuracy of Insolation Forecasts with Artificial Neural Networks」, 平成22年電気学会電力・エネルギー部門大会講演論文集, 151, 10\_1-10\_2 (2010)

- 2) Joao Gari da Silva Fonseca Jr., 大関崇, 高島工, 荻本和彦: 「サポートベクターマシンを用いた日射量予測に関する研究」, 電気学会研究会資料, メタボリズム社会・環境システム研究会, MES-11-011, 63-68 (2011)
- 3) 大関崇, 加藤丈佳, 荻本和彦: 「太陽光発電の発電量予測の現状と課題」, 電気学会研究会資料, メタボリズム社会・環境システム研究会, MES-11-004, 19-24 (2011)
- 4) Joao Gari da Silva Fonseca Jr., 大関崇, 高島工, 荻本和彦: 「サポートベクターマシンを用いた東京の日射量予測」, 平成23年電気学会全国大会講演論文集, No. 7-061, 94-95 (2011)

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) Joao Gari da Silva Fonseca Jr., Takashi Oozeki, Takumi Takashima, Kazuhiko Ogimoto: “Solar Irradiation Forecasts with Neural Networks and Numerically Predicted Cloudiness Data”, 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU PVSEC) /5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC), Valencia (2010)
- 2) Joao Gari da Silva Fonseca Jr., 大関崇, 高島工, 荻本和彦: 「Study on the Effect of the Training Period on the Accuracy of Insolation Forecasts with Artificial Neural Networks」, 平成22年電気学会電力エネルギー部門大会, 福岡市 (2010)
- 3) Joao Gari da Silva Fonseca Jr., 大関崇, 高島工, 荻本和彦: 「サポートベクターマシンを用いた東京の日射量予測」, 電気学会メタボリズム社会・環境システム研究会, 東京 (2011)
- 4) 大関崇, 加藤丈佳, 荻本和彦: 「太陽光発電の発電量予測の現状と課題」, 電気学会メタボリズム社会・環境システム研究会, 東京 (2011)

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催 (主催のもの)

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

(6) その他

なし