

## Forecasting Electric Power Generation of Photovoltaic Power System for Energy Network

Mitsuru Kudo Member (NTT Energy and Environment System Laboratories, kudo.mitsuru@lab.ntt.co.jp)

Akira Takeuchi Member (NTT Energy and Environment System Laboratories, takeuchi.akira@lab.ntt.co.jp)

Yousuke Nozaki Member (NTT Energy and Environment System Laboratories, nozaki.yousuke@lab.ntt.co.jp)

Hisahito Endo Member (NTT Energy and Environment System Laboratories, endo.hisahito@lab.ntt.co.jp)

Jiro Sumita Member (NTT FACILITES,INC., sumita22@ntt-f.co.jp)

**Keywords:** photovoltaic power system, generated power forecasting, energy network

Recently, there has been an increase in concern about the global environment. Interest is growing in developing an energy network by which new energy systems such as photovoltaic and fuel cells generate power locally and electric power and heat are controlled with a communications network.

Actual deployment of an economical and environmentally friendly energy network requires optimal scheduling technology. Photovoltaic power system is greatly affected by climate and weather conditions. Environmental and economic benefits could be markedly improved if we could accurately estimate the power of photovoltaic power system and then determine the operating schedule accordingly.

We developed the power generation forecast method for photovoltaic power systems in an energy network. The method makes use of weather information and regression analysis. Projected temperature and weather conditions for the next day are obtained from the weather forecast. This information is then combined with past measured data to estimate the amount of power generation of photovoltaic power system.



Fig. 1. Photovoltaic power system

We carried out forecasting power output of the photovoltaic power system installed in Expo 2005\*, Aichi Japan, (Fig. 1, Fig. 2). As a result of comparing measurements with a prediction values, the average prediction error per day was about 26% of the measured power.

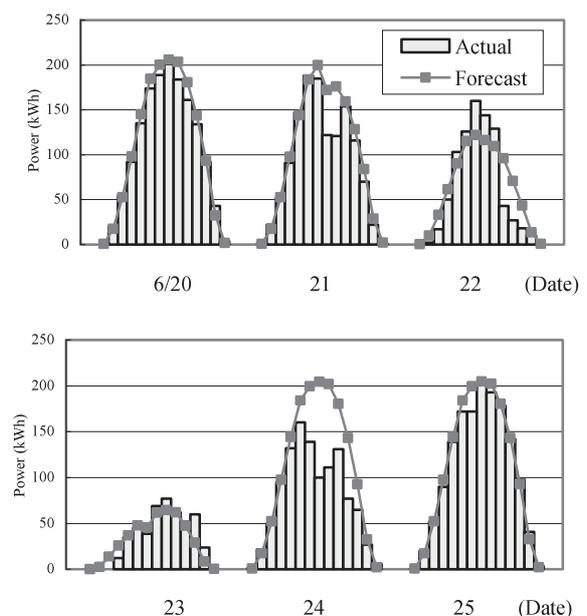


Fig. 2. Comparison of actual and forecasted power

\* The New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO, an independent administrative agency) commissioned the world's first system trial implementation of a large-scale new energy system to supply electricity and heat to the Japan Government Pavilion and other facilities at Expo 2005, Aichi Japan.

## エネルギーネットワークにおける太陽光発電予測技術

正員 工藤 満\* 正員 竹内 章\*  
 正員 野崎 洋介\* 正員 遠藤 久仁\*  
 正員 角田 二郎\*\*

## Forecasting Electric Power Generation of Photovoltaic Power System for Energy Network

Mitsuru Kudo\*, Member, Akira Takeuchi\*, Member, Yousuke Nozaki\*, Member,  
 Hisahito Endo\*, Member, Jiro Sumita\*\*, Member

Recently, there has been an increase in concern about the global environment. Interest is growing in developing an energy network by which new energy systems such as photovoltaic and fuel cells generate power locally and electric power and heat are controlled with a communications network. We developed the power generation forecast method for photovoltaic power systems in an energy network. The method makes use of weather information and regression analysis. We carried out forecasting power output of the photovoltaic power system installed in Expo 2005, Aichi Japan. As a result of comparing measurements with a prediction values, the average prediction error per day was about 26% of the measured power.

キーワード：太陽光発電システム，発電予測，エネルギーネットワーク

**Keywords:** photovoltaic power system, generated power forecasting, energy network

## 1. はじめに

近年，エネルギー分野を取り巻く状況は，地球環境問題や電力・ガス事業の自由化などにより大きく変化している。また，通信分野においても IPv6 の普及やユビキタス通信技術の発展により，通信ネットワークを利用した新サービスの提案や機能追加がますます容易になってきている。これらを背景に，複数の太陽電池や燃料電池などクリーンな分散電源を特定のエリア内に集中的に導入し，通信ネットワークを利用して電力や熱エネルギーを供給制御するエネルギーネットワーク<sup>(1)(2)</sup>が注目されている。

本論文ではエネルギーネットワークにおいて，気象状況により発電電力が変動し，需給バランスの主な変動要因となっている太陽光発電システムについて，時系列の発電予測技術<sup>(3)</sup>の必要性および発電予測方法を提案する。また，独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO 技術開発機構）による新エネルギーの普及を促進する上での

課題解決を目的とした新エネルギー等地域集中実証研究<sup>(4)</sup>の一環として，2005 年日本国際博覧会（愛知万博）における太陽光発電システムを対象に発電予測技術を評価した結果について述べる。

## 2. 太陽光発電予測技術の必要性

環境性や経済性に優れたエネルギーネットワークを実現するため，分散電源の運転計画を最適化する最適スケジューリング技術<sup>(5)</sup>が検討されている。

最適スケジューリング技術は，負荷設備のエネルギー消費量の予測値と，太陽光や風力など自然エネルギー発電装置の発電量の予測値を基に，同じネットワークに接続されている燃料電池など出力制御可能な分散電源の発電量や，蓄電池の充放電量などの運転計画をメタヒューリスティック手法<sup>(6)</sup>等により最適化する技術である。エネルギーネットワークの最適化の目的関数としては，エネルギーコストの最小化，CO<sub>2</sub> 排出量の最少化，エネルギー効率の最大化などがあげられる。最適スケジューリングの例を Fig. 1 に示す。図に示すように，例えば 24 時間単位毎に運転計画の最適化を実施する場合，24 時間先までの太陽光発電システムの予測発電量（発電量の予測値）が必要である。

従来の太陽光発電予測技術としては，太陽電池や電力変換装置をモデル化したシミュレータや経験式に，システム設置地域について計測・蓄積された日射量や気温など過去

\* (株) NTT 環境エネルギー研究所  
 〒180-8585 武蔵野市緑町 3-9-11  
 NTT Energy and Environment Systems Laboratories  
 3-9-11, Midori-cho, Musashino 180-8585

\*\* (株) NTT ファシリティアーズ研究開発本部  
 〒170-0004 東京都豊島区北大塚 2-13-1  
 Research and Development Headquarters, NTT Facilities, Inc.  
 2-13-1, Kitaotsuka, Toshima-ku, Tokyo 170-0004

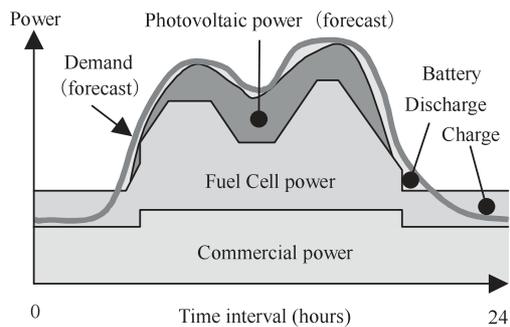


Fig. 1. Optimal power scheduling.

の気象情報を入力することにより、年平均・月平均などの発電量を予測する方法が一般的である<sup>7)</sup>。このような予測方法は、実際にシステムを構築する前にシステムの評価が可能であるため、システムを設計する上で非常に大きな役割を果たしている。

しかしながら、前述したようにエネルギーネットワークにおける最適スケジューリングでは、数時間先の予測発電量に基づいて最適化計算を行うため、時系列の予測発電量が必要であり、従来の平均値を予測する方法をそのまま用いることはできない。また、予測精度が低いと以下のような様々な問題が生じる。例えば、太陽光発電システムの実績発電量（発電量の実績値）が予測発電量よりも少なかった場合、太陽エネルギーで供給する予定であった電力を蓄電池や燃料電池によって補完することが必要となる。蓄電池で補完した場合、蓄電池の充電量が計画外に低下し、次のスケジューリングの際に蓄電池の利用範囲が制限される。また、燃料電池で補完した場合、補完する時間帯が熱エネルギーの不要な時間帯であると熱を捨てることとなり、全体としてのエネルギー利用率が低下する。さらに、設備規模にもよるが、契約の購入電力量を超過することなどの問題も考えられる。これらのことから、最適スケジューリングの最適化効果を最大限に得るためには、精度の高い時系列の太陽光発電予測技術を確立する必要がある。

また、このような太陽光発電予測技術は大規模な太陽光発電所における発電計画書の立案、同時同量制御、系統安定化支援、グリーン電力取引および、独立型システムにおける停電予告などにも不可欠な技術と考えられる。

### 3. 時系列太陽光発電予測技術の課題と解決策

時系列の太陽光発電予測技術を検討する上で以下に示すような課題があり、それぞれの解決策について検討した。

**〈3・1〉 気象変動の予測** 太陽光発電システムの発電量は周知のとおり、気象条件に左右され不安定であるという課題がある。太陽電池の発電量は日射強度に依存し、日射強度の変動は天気現象の変化と高い相関関係を有する。また、太陽電池の変換効率は気温変動の影響を受ける。以上から、天気現象および気温など気象変動を考慮した予測が有効である。この解決策として天気現象と気温を説明変数とし、これらの予報が含まれる時系列の気象予報<sup>8)</sup>を利

用する方法を開発した。ここで、気象予報は“晴天”、“曇天”などの天気現象で表現される定性的な情報であるため、今回は晴天：1、曇天：2、雨天：3のように数値化することとした。また、気象予報は不確実性のある情報であるため、予測対象日当日における予測対象時間帯前の実績発電量を説明変数とした予測の修正も実施することとした。

**〈3・2〉 システム依存性の低減** 太陽光発電システムは太陽電池の設置方位、傾斜角度、容量などシステムの設計条件によって発電量が異なる。また、システムに使用するインバータ等の電力変換効率も、発電量に影響を与える要因である。このため、多種多様なシステムに対応できるように、予測におけるシステム依存性の低減が必要である。

この解決策として、水平面全天日射量を目的変数とし、日射量の直散分離による方位・傾斜角毎の日射量の推定<sup>9)</sup>と、太陽電池の特性式<sup>10)</sup>からなるPVシミュレータ（発電量の推定誤差5%程度<sup>11)</sup>）を用いて、予測した水平面全天日射量を発電量に変換する予測と、予測対象システムの運用中に収集蓄積した実績発電量を基に、発電量を目的変数とした予測を実施することとした。

**〈3・3〉 季節依存性の低減** 太陽光発電システムは季節変動に伴う太陽の軌道の移動によって発電量が異なるため、例えば夏期における気象および発電情報を基に冬期の予測を行うことは不相当であると考えられる。そこで、予測における季節依存性を低減する必要がある。

この解決策として、月別に予測を検討する方法が考えられるが、予測に利用する気象情報のサンプルが月別に必要であり、複数年分のサンプルともなると膨大なサンプル数となるため、入手が困難である。そこで日射量または発電量を、地域および日時によって決定する大気外日射量<sup>12)</sup>で除算することにより正規化し、日射指数または発電指数として扱うこととした。これにより、大気外日射量が地表面に到達するまでの減衰率を予測することとなるため、対象月以外の気象情報もサンプルとして扱うことが可能と考えられる。

**〈3・4〉 地域依存性の低減** 太陽光発電システムは設置地域における気候や地形などの違いにより、発電量が異なるため、予測における地域依存性を考慮する必要がある。

この解決策として、システム設置地域における大気外日射量を用いるとともに、システム設置地域における過去の気象情報をサンプルとした予測と、予測対象システムの運用中に収集した実績発電量および天気実績（天気現象の実績）をサンプルとした予測を実施することとした。天気実績の判別には地域気象観測システム（アメダス）で観測された降水量や日照時間が用いられている。

### 4. 太陽光発電予測計算方法

より高い精度の時系列の発電予測技術を確立するため、予測対象日の前日に予測計算する2種類の予測方法と、予測対象日の当日に修正を行う方法をあわせて検討した。各々の予測計算のフローをFig.2に示す。

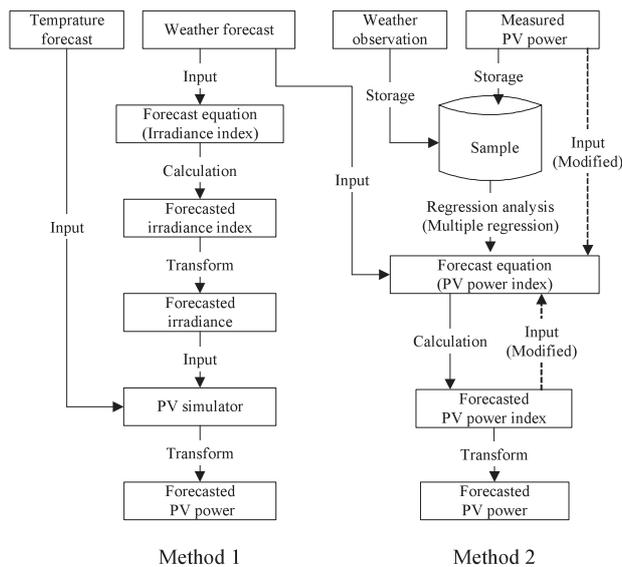


Fig. 2. Flowchart of forecast calculation.

〈4・1〉 予測方法 1 (間接予測方法) 間接予測方法は運用前の気象サンプルを基に日射量を予測し、予測日射量(日射量の予測値)を発電量に変換する方法である。運用前の処理としては、事前に入手可能なシステム設置地域における過去の日射量を、対応した大気外日射量によって除算した日射指数と、同地域における過去の天気実績をサンプルとし、目的変数を日射指数、説明変数を天気とした回帰分析を実施することにより、時間帯別の日射指数予測式を導出する。予測計算時の処理としては、まず、日射指数予測式に予測対象時間帯に対応した天気予報を入力することにより、各時間帯における日射指数を予測する。次に、予測した日射指数に対応した大気外日射量を乗算することにより、予測日射量に変換し、気温予報とともに PV シミュレータに入力し、気温と日射量の相関関係よりモジュール温度を計算した上で発電量を予測する。PV シミュレータは水平面日射量を傾斜面日射量に変換し、入力された日射量と温度における太陽電池の I-V 特性から発電量(動作電圧・電流)を計算する。I-V 特性の算出には太陽電池の特性式と、標準状態における太陽電池の最大電力 ( $P_{max}$ )、動作電圧 ( $V_{pm}$ )、動作電流 ( $I_{pm}$ )、開放電圧 ( $V_{oc}$ )、短絡電流 ( $I_{sc}$ ) を用いる。間接予測方法の特長としては、基本となる予測対象が日射量であるため、運用前のサンプル入手が比較的容易であることから、運用初期でも安定した予測が可能であることである。

〈4・2〉 予測方法 2 (直接予測方法) 直接予測方法は運用中の気象および発電サンプルを基に、直接発電量を予測する方法である。予測計算前の処理としては、予測対象システムの実績発電量を、対応した大気外日射量で除算した発電指数と、予測対象システム設置地域における天気実績を日々収集蓄積したサンプルを基に、目的変数を発電指数、説明変数を天気とした回帰分析を実施することにより、時間帯別の発電指数予測式を日々自動導出する。ここで、

発電指数の算出には太陽電池の傾斜面に対応した大気外日射量を用いることでより高精度な予測が可能と考えられるが、複数の傾斜角および方位角の太陽電池で構成されたシステムにおいて総発電量を入力とする場合は大気外水平面日射量を用いる簡易な方法を試みることにする。予測計算時の処理としては、まず、発電指数予測式に予測対象時間帯に対応した天気予報を入力する。次に、各時間帯における発電指数を予測し、予測した発電指数に対応した大気外日射量を乗算することにより、予測発電量に変換する。直接予測方法の特長としては、PV シミュレータによる変換が不要であることと、サンプルと予測式が日々更新されることによる学習効果があるため、予測精度の向上が期待できることである。

〈4・3〉 予測修正方法 直接予測方法において予測対象日の当日に予測修正計算する方法について述べる。この方法は、予測対象時間帯の直前の時間帯における発電指数を説明変数に追加した重回帰分析により導出される発電指数予測式に、天気予報と直前の時間帯における実績発電指数(発電指数の実績値)を入力することにより予測する方法である。これは直前の時間帯における実績発電量が必要であるため、1 時間先の予測に限られるが、予測結果の転用により予測期間の延長が可能である。

予測結果の転用について以下に述べる。n 時に予測計算を開始する際、n-1 時の時間帯における実績発電指数を n 時用予測式に入力することにより n 時の時間帯に対する予測が可能である。ここで n+1 時の時間帯に対する予測は、直前の時間帯である n 時の時間帯における実績発電量が得られていないため、n 時の時間帯に対する予測結果を実績として n+1 時用予測式に入力することにより予測する。当日に予測修正計算する方法の特長としては、最新の天気予報が利用できることと、直前の実績発電量を用いることにより、天気では説明困難な発電特性を考慮でき、天気予報が誤報の場合においても安定した予測が期待できることである。この予測修正方法は、最適スケジューリングのスケジュール範囲が 0 時から 24 時間先までの場合には利用できないが、12 時から 24 時間先までなどの場合には当日のスケジューリング修正に利用できる。

## 5. 万博における太陽光発電システムへの適用

NEDO 技術開発機構の新エネルギー等地域集中実証研究は、自然変動電源である太陽光発電システムを含む複数の分散電源を愛知万博会場内に集中的に導入し、電力や熱エネルギー供給を最適制御する新エネルギーシステムの実証研究である。本報の太陽光発電予測結果は、新エネルギーシステム内の関連する分散電源の最適運転スケジュールに活用された<sup>1)</sup>。太陽光発電システムの概観写真を Fig. 3(a) および Fig. 3(b) に示す。本システムは Fig. 3(a) に示す多結晶シリコン (200kW) および、単結晶シリコン (30kW、両面受光型) と、Fig. 3(b) に示すアモルファスシリコン (100kW) の 3 種類のシステムから構成されており、システム全体と



(a)



(b)

Fig. 3. Photovoltaic power system.

しての定格容量は 330kW である。間接予測方法の PV シミュレータにおける各システムのシミュレーション条件を以下に示す。なお、両面受光モジュールについては、表裏それぞれの特性を持つモジュールを表と裏に設置し、2枚のモジュールで1枚の両面受光モジュールを模擬した。また、インバータ効率は 92.5%、低減係数は 0.9 とした。

(a) 200kW システム (多結晶)

- $P_{\max}$  : 167 W •  $V_{\text{pm}}$  : 23.2 V •  $I_{\text{pm}}$  : 7.2 A
- $V_{\text{oc}}$  : 28.9 V •  $I_{\text{sc}}$  : 8.0 A • 枚数 : 1200 枚
- 方位角 : 253° • 傾斜角 : 26°

(b) 30kW システム (単結晶) (表/裏)

- $P_{\max}$  : 92.4/73.7 W •  $V_{\text{pm}}$  : 21/21.7 V •  $I_{\text{pm}}$  : 4.4/3.4 A
- $V_{\text{oc}}$  : 27.7/27.4 V •  $I_{\text{sc}}$  : 4.9/3.8 A • 枚数 : 315/315 枚
- 方位角 : 270°/90° • 傾斜角 : 90°

(c) 100kW システム (アモルファス)

- $P_{\max}$  : 100 W •  $V_{\text{pm}}$  : 108 V •  $I_{\text{pm}}$  : 0.93 A
- $V_{\text{oc}}$  : 141 V •  $I_{\text{sc}}$  : 1.17 A • 枚数 : 1012 枚
- 方位角 : 253° • 傾斜角 : 26°

## 6. 検証結果

万博会場に設置された太陽光発電システムによる検証結果を以下に述べる。発電予測の評価としては、最適スケジューリングの考慮条件の一つである蓄電池の充電量の日変動を検討するため、1日あたりの予測誤差を評価する。また、1日あたりの予測誤差は、時間帯別に予測誤差の正負が異なることによる誤差の相殺を含むため、1時間あたりの予測誤差を評価する。次に、天気現象では予測困難な場合や、天

気予報が誤報である場合に有効と考えられる予測の修正効果を評価する。さらに、天気予報の精度が発電予測の精度に与える影響を検討する。

検証期間は万博開催期間である 2005 年 3 月 25 日～2005 年 9 月 26 日であり、予測条件としては対象日の前日の 11 時に翌日の 5 時～19 時 (18 時間後から 31 時間後) の 1 時間あたりの積算発電量を予測した。間接予測方法についての予測式導出のサンプルは、2003 年 4 月～2004 年 5 月の対象地域の日射量と天気実績を利用した。この日射量と天気実績の相関係数は 0.76 であった。直接予測方法については予測式導出のため運用初期にサンプルの蓄積が必要であったことから、4 月はサンプル蓄積期間として 5 月から予測を開始した。また、予測式導出のサンプル期間は運用開始後から予測計算実施日の前日までであり、発電指数の算出には大気外水平面日射量を用いた。さらに、当日の 12 時における予測修正計算も実施した。予測修正の結果における 5 時～11 時の予測については直接予測方法の予測結果を利用した。

〈6・1〉 平均予測誤差 月別の 1 日あたりの平均発電量と平均誤差率 (平均誤差量/平均実績発電量×100) を Fig. 4 に、実績発電量と予測発電量の相関図を Fig. 5 に示す。4 月において最も予測誤差が少ないのは、他の月に比べ晴天の発現率および天気予報の適中率が高かったことが要因と考えられる。5 月における予測精度については、間接予測方法と直接予測方法は同程度であり、6 月以降においては直接予測方法の方が優位である。5 月～9 月における平均誤差率は間接予測方法で 28.1%、直接予測方法で 25.6%、予測修正計算で 20.3%であった。誤差のばらつきの評価指標である RMSE (二乗平均平方根誤差) は、間接予測方法で 392 kWh、直接予測方法で 356 kWh、予測修正計算で 279 kWh であった。また、1 日あたりの平均予測誤差量を実証研究において太陽光発電システムとともに設置された蓄電池 (NaS 電池) の定格容量 (4000 kWh) と比較すると間接予測方法で 7.1%、直接予測方法で 6.5%、予測修正計算で 5.1%であったことから、実証研究において予測誤差が蓄電池の充放電計画に与える影響は、蓄電池の定格容量の 10%以内となっていることが確認できる。このような結果は、最適スケジューリングにおける蓄電池の充放電計画に関する考慮条件として利用できる。

次に、月別の 1 時間あたりの平均誤差率を Fig. 6 に、実績発電量と予測発電量の相関図を Fig. 7 に示す。5 月～9 月における 1 時間あたりの平均誤差率は間接予測方法で 37.4%、直接予測方法で 34.8%、予測修正計算で 30.5%であり、RMSE は、間接予測方法で 47 kWh、直接予測方法で 42 kWh、予測修正計算で 36 kWh であった。また、1 時間あたりの平均誤差量を太陽電池の定格容量によって無次元化すると間接予測方法で 9.3%、直接予測方法で 8.1%、予測修正計算で 7.1%であった。時系列の予測誤差についても、今回の検証期間においては間接予測方法よりも直接予測方法の方が優位である。以上から、運用初期には間接予測方

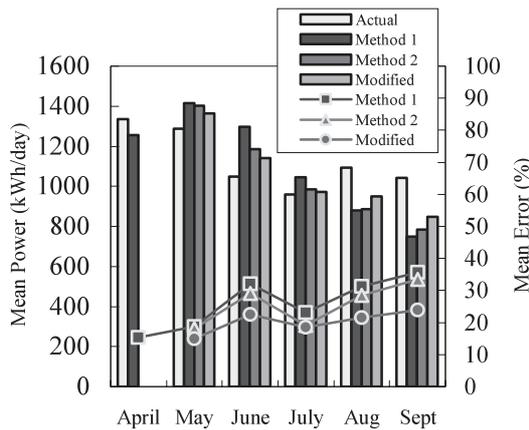


Fig. 4. Monthly mean power and error.

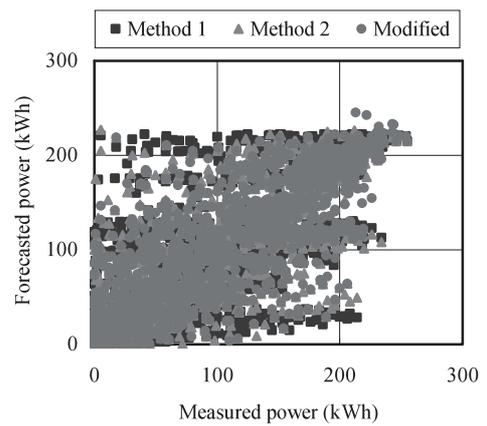


Fig. 7. Correlation between actual and forecast.

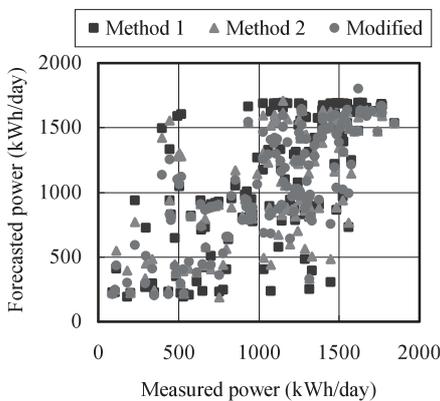


Fig. 5. Correlation between actual and forecast.

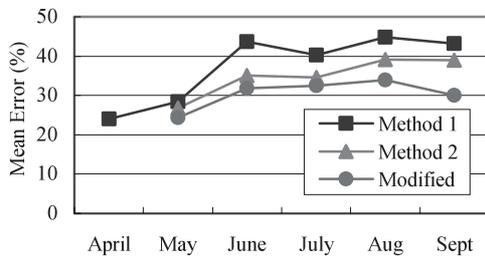


Fig. 6. Monthly mean error.

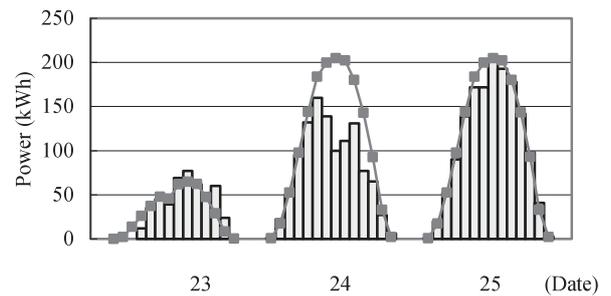
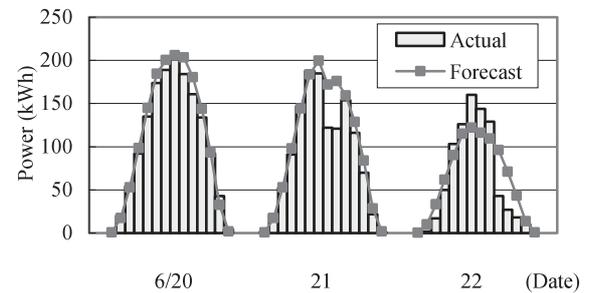


Fig. 8. Comparison of actual and forecasted power.

法による予測を実施し、サンプル数の増加により、直接予測方法の予測式が安定した後、直接予測方法に移行する予測システムが有効であり、当日における予測修正も効果的であることが確認できる。参考までに間接予測方法に利用した気温予報の対象期間における平均誤差は  $1.94^\circ$ 、RMSE は  $2.43^\circ$  であった。

〈6・2〉 予測修正の効果 直接予測方法による発電予測の具体例として、2005年6月20日～2005年6月25日における実測発電量と予測発電量の比較を Fig. 8 に示す。

20日および25日については予測誤差が少なく高精度に予測できている。これは比較的雲の少ない晴天であるとともに、天気予報と天気実績がほぼ一致したためである。一方、22日の午後における予測誤差については、午後における天気予報は曇天であったが、実際は雨天であったことが原因と

考えられる。24日については、天気予報および天気実績ともに晴天であったが、予測誤差が多くなっている。これは、天気実績が晴天であったものの、実際には曇天に近い雲の多い晴天であり、期待した日照が得られなかったためと考えられる。ここで、予測修正の効果を確認するため、24日について12時に予測修正を実施した際の実測発電量と修正予測発電量の比較を Fig. 9 に示す。予測修正は4項で述べた方法のように11時の時間帯における発電実績を予測式に入力することにより、12時の時間帯を予測し、13時以降は予測結果を転用することにより予測した。Fig. 9 より修正前の予測結果に比べ、予測誤差が低減できていることを確認した。これにより、予測修正方法は天気予報では予測困難な場合や、天気予報が誤報である場合における発電特性を考慮でき、予測精度の向上に有効と考えられる。ただし、気象変動が激しく、発電量の変動が過去の発電実績の移動平均以上に変動する場合などにおいては、予測修正を施さない方が良いケースもあると考えられる。

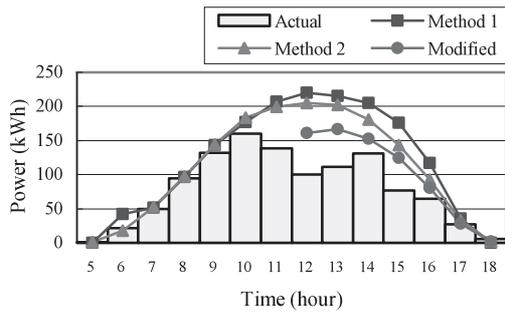


Fig. 9. Comparison of actual and modified.

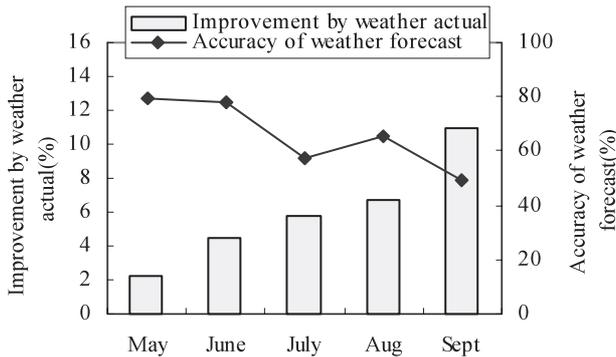


Fig. 10. Improvement by weather actual and accuracy of weather forecast.

**〈6・3〉 天気予報精度の影響** 天気実績を入力とした直接予測方法による1日あたりの予測誤差と、同期間における天気予報を入力とした予測誤差を比較した。天気実績を入力としたことによる予測精度の向上率（天気予報による予測誤差率 - 天気実績による予測誤差率）と、天気予報の適中率（天気予報の適中数 / 予報数 × 100）を Fig. 10 に示す。各月とも天気実績を入力することによる予測精度の向上が確認できる。5月および6月については、天気予報の適中率が高かったため、顕著な予測精度の向上は見られなかった。7月、8月および9月については、天気予報の適中率が比較的低かったため、予測精度の向上が確認された。特に9月については12%程度の向上が確認できる。RMSEについても、天気予報入力で356kWh、天気実績入力で251kWhと向上が確認できた。7月と8月を比較すると7月の方が天気予報の適中率が低かったため、天気実績を入力することによる予測精度の向上率が、8月よりも高くなることが想定されたが、実際は8月の方が予測精度の向上率が高かった。これは、例えば Fig. 8 の20日のように天気実績が晴天の場合において、天気予報が晴天と適中すると予測誤差は5.9%となるが、天気予報が曇天であれば6/22のような予測結果となり、予測誤差は40%となる。また、天気予報は雨天であれば6/23のような予測結果となり、予測誤差は70%となる。このように、誤報の種類によって予測精度への影響が異なるためである。以上から、天気予報の精度が向上することにより、発電予測の精度が10%程度向上することが期待できる。また、天気予報の誤報の傾向を分析す

ることにより、予測誤差の範囲を把握することが可能と考えられる。

## 7. まとめ

太陽光発電予測技術は、エネルギーネットワークにおけるエネルギーコストおよび環境負荷の低減が可能な最適スケジューリング技術の最適化効果を最大限に得るために必要な技術である。本論文では、太陽光発電システムの発電予測方法として、翌日の発電量を予測する間接予測方法と直接予測方法と、当日に予測結果を修正する予測修正方法を提案するとともに、愛知万博に設置された定格容量330kWシステムによる国内初とも言える大規模かつ実運用レベルでの予測を実施した。その結果、今回の検証期間においては1日あたりの平均誤差率は間接予測方法で28.1%、直接予測方法で25.6%であり、直接予測方法が優位であった。ただし、直接予測方法は運用初期にサンプルの蓄積が必要であることから、運用初期には間接予測方法による予測を実施し、サンプル数の増加により、直接予測方法の予測式が安定した後、直接予測方法に移行する予測システムが有効であると考えられる。また、当日の予測修正を実施することにより、1日あたりの予測誤差は20.3%と予測誤差の低減が可能であることを確認した。さらに、天気予報の精度が向上することにより、発電予測の精度も10%程度向上することを確認した。

要求される予測精度はシステム規模や蓄電池の予備力などによって異なることが想定されるが、本検討により翌日および数時間先の太陽光発電システムにおける発電量の予測が可能となる見通しを得た。

指定された未来に対する自然エネルギーの発電予測技術はクリーンエネルギーの適用領域拡大に貢献できる技術であるため、今後は雲量など特殊な気象情報を利用した予測修正や、予測に必要なサンプル数の最適化による予測精度の向上を検討するとともに、風力発電への応用も視野に入れて研究する予定である。

## 謝辞

本論文を作成するにあたり多大なる協力を頂いたNEDO技術開発機構および新エネルギーコンソーシアム関係者に感謝の意を表す。

（平成18年9月14日受付，平成19年1月18日再受付）

## 文献

- (1) A. Takeuchi, M. Kudo, A. Nakazawa, and H. Endo: "Energy Network Optimal Control Technology", *NTT Journal*, Vol.18, No.1, pp.29-32 (2006-1) (in Japanese)  
竹内 章・工藤 満・中澤 朗・遠藤久仁:「エネルギーネットワークの最適制御技術」, *NTT 技術ジャーナル*, **18**, 1, pp.29-32 (2006-1)
- (2) H. Aki, T. Maeda, M. Furuse, J. Kondoh, H. Itoh, Y. Maruyama, and R. Hasegawa: "A Fundamental Study on Energy Networks in Residential Areas with the Penetration of Photovoltaic and Fuel Cells", *The Papers of Joint Technical Meeting on Power Engineering and Power Systems Engineering*, IEE Japan, pp.61-66 (2005-9) (in Japanese)  
安芸裕久・前田哲彦・古瀬充徳・近藤潤次・伊藤 博・丸山康司・

長谷川隆太：「太陽光発電普及と燃料電池による住宅地エネルギーネットワークの基礎検討」, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究, pp.61-66 (2005-9)

- (3) M. Kudo, A. Takeuchi, and H. Endo: "Study of Forecasting Electric Power Generation of Photovoltaic Power System for Energy Network", The Papers of Technical Meeting on Frontier Technology and Engineering, IEE Japan, pp.71-76 (2005-12) (in Japanese)  
工藤 満・竹内 章・遠藤久仁：「エネルギーネットワークにおける太陽光発電予測技術の検討」, 電気学会新エネルギー・環境研究, pp.71-76 (2005-12)
- (4) K. Takano: "Demonstrative Research of Regionally Combined with Various New Energies by NEDO", *IEEJ Journal*, Vol.125, No.3, pp.153-155 (2005-3) (in Japanese)  
高野浩二：「新たな電力供給システムの実証プロジェクト—1 新エネルギー等地域集中実証研究」, 電学誌, **125**, 3, pp.153-155 (2005-3)
- (5) A. Nakazawa, A. Takeuchi, and H. Endo: "Optimal Scheduling for Micro Grid in Expo 2005 Aichi Japan (1) Application of Genetic Algorithm", 2006 National Convention Record IEE Japan, pp.93-94 (2006-3) (in Japanese)  
中澤 朗・竹内 章・遠藤久仁：「愛・地球博マイクログリッドにおける最適スケジューリング (1) 遺伝的アルゴリズムの適用」, 平成 18 年電気学会全国大会, pp.93-94 (2006-3)
- (6) 電気学会 電力・エネルギー部門電力系統技術委員会：「電力系統へのメタヒューリスティック応用技術」, 電気学会技術報告, No.923 (2003-6)
- (7) M. Kudo, Y. Nozaki, K. Akiyama, and S. Ohotsu: "Simulation of a Stand-Alone Photovoltaic System", 2002 IEICE General Conference, B9-9, p.430 (2002-3) (in Japanese)  
工藤 満・野崎洋介・秋山一也・大津 智：「独立型太陽光発電システムのシミュレーション」, 平成 10 年電子情報通信学会全国大会, B9-9, p.430 (2002-3)
- (8) 日本気象協会：「MICOS」, URL: <http://www.jwa.or.jp>
- (9) (財) 日本気象協会：平成 5 年度新エネルギー総合開発機構委託業務成果報告書利用システムのための気象データの調査研究 (1993)
- (10) H. Matsukawa, H. Nkamura, T. Sugiura, K. Kurokawa, and N. Ishikawa: "Simulation of Power Generating Characteristics of a Large PV Array Consisting of Plural Sub-Arrays with Different Inclination and Orientation", JSES/JWEA Joint Conference, pp.29-32 (1998-12) (in Japanese)  
松川 洋・中村洋之・杉浦忠敏・黒川浩助・石川直揮：「太陽電池を複数の方位角, および傾斜角に設置した太陽光発電アレイのシミュレーション」, 日本太陽エネルギー学会・風力エネルギー協会合同研究発表会, pp.29-32 (1998-12)
- (11) M. Horii: "Photovoltaic and Software", *Solar System*, No.90, pp.49-52, Solar System Laboratory (2002-7) (in Japanese)  
堀井雅行：「太陽光発電とソフトウェア」, ソーラーシステム, No.90, pp.49-52, ソーラーシステム研究所 (2002-7)
- (12) Japan Solar Energy Society: *Solar Energy Utilization Handbook*, p.13 (1985-3) (in Japanese)  
日本太陽エネルギー学会：太陽エネルギー利用ハンドブック, p.13 (1985-3)

### 工藤 満

(正員) 1973 年 4 月 22 日生。1997 年 3 月鹿児島大学工学部機械工学科卒業。同年 4 月日本電信電話 (株) 入社, 現在に至る。通信用独立型太陽光発電システム, エネルギーネットワーク監視制御システム, および太陽光発電予測技術に関する研究に従事。



### 竹内 章

(正員) 1968 年 3 月 22 日生。1992 年 3 月九州大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。同年 4 月日本電信電話 (株) 入社, 現在に至る。主として電力システムの制御, 最適アルゴリズムに関する研究に従事。電子情報通信学会会員。



### 野崎 洋介

(正員) 1963 年 6 月 8 日生。1989 年 3 月東北大学大学院工学研究科機械工学専攻博士課程前期修了。同年 4 月日本電信電話 (株) 入社, 現在に至る。通信用インバータ, 燃料電池排熱利用熱電変換システム, 通信用独立型太陽光発電システム, および燃料電池システムに関する研究に従事。電子情報通信学会, IEEE 会員。



### 遠藤 久仁

(正員) 1962 年 6 月 3 日生。1985 年 3 月横浜国立大学工学部電子情報工学科卒業。同年 4 月日本電信電話 (株) 入社, 現在に至る。各種通信装置用電源回路, 直流給電システム, エネルギーネットワークに関する研究, および企画業務に従事。電子情報通信学会, IEEE 会員。



### 角田 二郎

(正員) 1968 年 2 月 25 日生。1992 年 3 月九州大学大学院工学研究科応用原子核工学専攻修士課程修了。同年 4 月日本電信電話 (株) 入社。1995 年 3 月 (株) NTT ファシリティーズに出向, 現在に至る。シール鉛蓄電池の開発, 設備遠隔監視システムの開発に従事。

