

太陽光発電システムの最新技術

Cutting-Edge Technologies for Development of Photovoltaic Power Generation Systems

長谷川 義朗

渡辺 憲治

稲葉 道彦

■ HASEGAWA Yoshiaki

■ WATANABE Kenji

■ INABA Michihiko

大容量の太陽光発電 (PV) システム (以下、メガソーラーシステムと呼ぶ) の導入が急激な広がりを見せているなか、設計技術者の不足が問題となっている。東芝はメガソーラーシステムの設計作業に ICT (情報通信技術) を広く導入することで、経験の少ない技術者でも熟練技術者と同様なシステム設計を行うことができるツールの開発を行っている。また、メガソーラーシステムを更に普及させるための一番の推進力は、システムコストの低減である。コストをいっそう引き下げる手段として、より安価な太陽電池を実現するための有機薄膜太陽電池の開発を進めている。これらにより、メガソーラーシステムの更なる普及を推進することができる。

In response to the rapid expansion of large-scale photovoltaic (PV) power generation systems and the shortage of experienced engineers in this field, Toshiba has been developing a PV engineering platform that allows even inexperienced engineers to design PV systems by applying information and communication technologies to a broad range of system designs. To accelerate the dissemination of large-scale PV power generation systems, we are also engaged in the development of an organic thin-film solar cell that will contribute to the reduction of solar module prices and reduce total system costs.

1 まえがき

地球温暖化対策として始まった再生可能エネルギー導入機運の高まりは、東日本大震災後にいっそうの拡大を見せている。

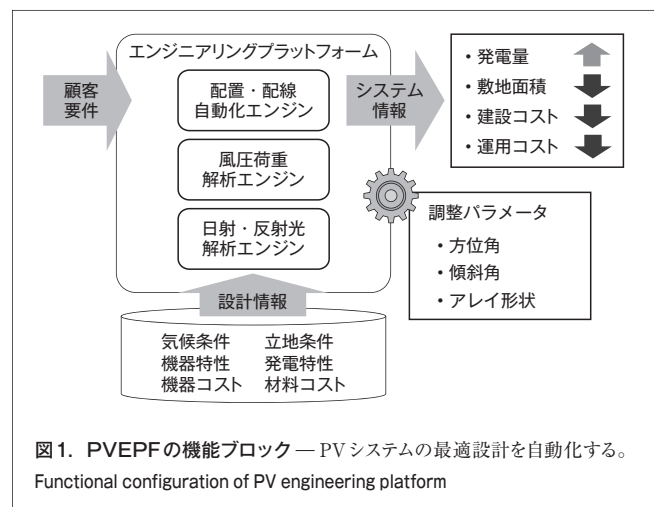
東芝は、PVシステムを国内にとどまらずグローバルに展開するため、システム設計の統合基盤の開発を企画し、開発を推進している。また、PVシステムの普及を更に加速するための推進力として、太陽電池モジュールの低コスト化を目指す有機薄膜太陽電池の開発を進めている。

ここでは、ほぼ開発を完了したPVシステムのシステム設計のためのPVエンジニアリングプラットフォーム (以下、PVEPFと略記) の機能概要並びに有機薄膜太陽電池の製造技術及び発電特性について述べる。

2 PVEPF⁽¹⁾

PVEPFの機能ブロックを図1に示す。メガソーラーシステムを計画している顧客の要件として、計画地 (地域) や、敷地形状、敷地面積などの情報をPVEPFに入力する。PVEPFは、入力された顧客の要件に基づき、太陽電池パネルの配置・配線自動化エンジン、風圧荷重解析エンジン、及び日射・反射光解析エンジンにより自動的にシステム設計を行う。

PVEPFは、顧客の要件に加え、入力された計画地に関連する年間の日射量及び気温の推移などの気候条件情報、システムを構成する機器の発電及び変換効率などの情報、並びに



機器及び材料のコスト情報といった情報を利用する。

PVEPFの出力は、PVシステムの発電電力、敷地面積、建設及び運用コストなどである。PVEPFは、できるだけ少ないコストで多くの発電電力を出力するための設計情報を出力する。太陽電池モジュールの方位角や、傾斜角、アレイ形状などのパラメータを設定することで、設計者の意図をPVEPFに反映する。

以下に、PVEPFを構成する三つのエンジンの機能について述べる。

2.1 太陽電池パネルの配置・配線自動化エンジン

PVシステムの太陽電池パネルは、一般に真南に向けた場合

にもっとも発電効率が低いとされている。しかし、敷地の形状によっては、例えば北東から南西に伸びる細長い形状の敷地など、太陽電池パネルを真南方向にしないことが最大発電電力量を達成するための条件となる場合もある。傾斜角も、できるだけ少ない太陽電池パネルでできるだけ多くの発電を行うことを狙う発電効率重視のレイアウトと、敷地の中でできるだけ多くの太陽電池パネルを敷き詰めようとする発電出力重視のレイアウトでは違いがある。配置・配線自動化エンジンはこれら人間系の意図を入力として受け、最適なPVシステムの太陽電池パネル設置レイアウトを決定する。

配置・配線自動化エンジンの処理結果を地図情報システム(GIS)上に描画した例を図2に示す。この例では一般的な太陽電池の配置戦略に従い、真南に太陽電池パネルを向けて配置している。

配置・配線自動化エンジンは、太陽電池アレイ配置機能と太陽電池からパワーコンディショナ(PCS)までを結ぶ直流ケーブル配線機能で構成される(図3)。太陽電池アレイは複数の太陽電池パネルを組み合わせて構成するものであり、図3の例では太陽電池パネルを横に12枚、縦に3枚並べ太陽電池アレイを構成している。太陽電池パネルの機械的な集合体を太陽電池アレイと呼ぶ。一方、太陽電池モジュールの電気的な集合体を太陽電池ストリングと呼ぶ。この場合、太陽電池アレイは、電気的に、12枚の太陽電池モジュールをつなげた3本のストリングにより構成されていると言うこともできる。

2.1.1 太陽電池アレイ配置機能

人間系が決定したアレイ構成(例えば、3(縦)×12(横)のアレイ)を使用し、幾何学的な制約及びルールに従って太陽電池アレイを自動的に配置する。典型的な幾何学的制約及びルールとして、冬至の日の9時から15時の間に太陽電池アレイに影が掛からないような配置にするというものがある。この制約及びルールを適用するにあたって、顧客の要件として入力されたメガソーラーシステムの建設敷地又はその周辺の建物及び立ち木などの影が前述の時間帯に太陽電池アレイに掛からない領域を利用すると

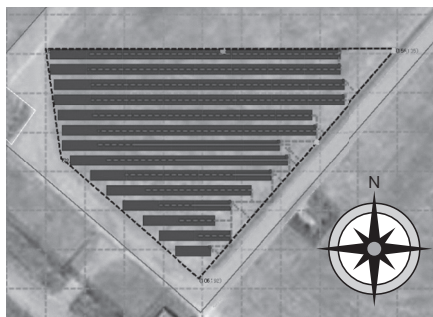


図2. 配置・配線自動化エンジンの出力例 — 自動的に決定した太陽電池アレイの配置及び配線をGIS上に描画できる。
Example of output of automatic placement and wiring engine

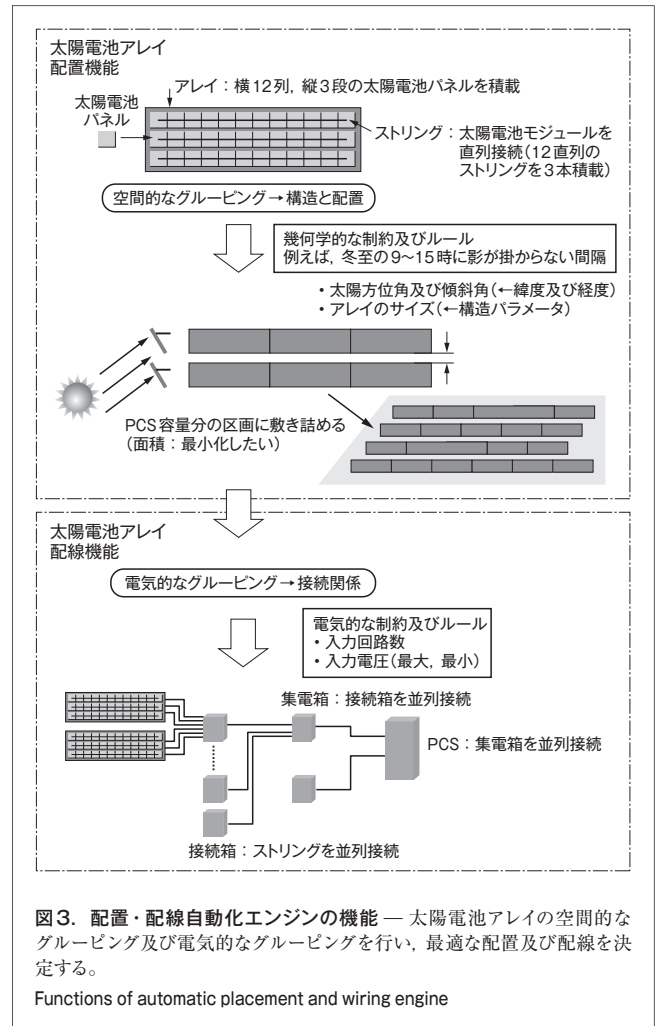


図3. 配置・配線自動化エンジンの機能 — 太陽電池アレイの空間的なグルーピング及び電気的なグルーピングを行い、最適な配置及び配線を決定する。

Functions of automatic placement and wiring engine

いう意味があるが、太陽電池アレイの方位角及び傾斜角に関し適用するという意味もある。

太陽電池パネル1枚当たりの発電量を最大にする傾斜角は、太陽との幾何学的な関係から太陽電池パネルが設置される地域の緯度と同じ程度の角度であることが知られている。この傾斜角にすることで太陽電池パネルの発電量を最大化することができるが、前後に設置される太陽電池アレイの間隔を比較的広めにする必要がある。この間隔は、緯度と同程度の傾斜角(30°程度)にして、冬至の日の9時から15時の間に前列の太陽電池アレイの影が後列の太陽電池アレイに掛からないための配置条件から決定される。できるだけ多くの発電を実現するために、太陽電池パネルの1枚当たりの発電量を犠牲にしても、傾斜角を少なく(10°程度)にすることで太陽電池アレイの設置間隔を狭くし、多くの太陽電池パネルを敷き詰めることもある。このような顧客の要件から導き出せる太陽電池アレイの配置戦略を決定するのが太陽電池アレイ配置機能である。

2.1.2 配線機能

メガソーラーシステムにおける直流電圧は、ストリングを構成する太陽電池パネルの直列接続数により決定され、電流の大きさはそのストリングを接続箱及び

集電箱で並列化した回路数により決定される。これら電圧値と電流値は使用するPCSの定格性能により決定され、これが配線機能の扱う電氣的な制約及びルールとなる。

配線機能は、PCSの入力電圧範囲内に収まるように構成したストリングを、接続箱及び集電箱でPCSの入力電流範囲内に並列化して接続する。例えば10 MWのメガソーラーシステムを建設するとしたときには500 kWのPCSを20台程度使用することになるが、それぞれのPCSには太陽電池アレイが同容量ずつバランスよく接続されているのが望ましい。配線機能はPCSへ接続する太陽電池アレイの容量バランスを調整するとともに配置機能によって決定された太陽電池アレイの位置情報と、それを接続するPCSとの間の直流ケーブルルート長を計算する。

2.2 風圧荷重解析エンジン

太陽電池アレイの強度を評価するうえでもっとも重要なのが風圧による荷重である。PVシステムを建設する地域で想定される風速に耐える強度を持たせるように架台及び基礎の強度を設計する。一般に、もっとも風上に設置される太陽電池アレイの風圧荷重がもっとも大きい。

敷き詰められた太陽電池アレイにおける風圧荷重の分布は風況解析計算により求めることができるが、大規模な風況解析計算には多くの時間が掛かる。そのため、太陽電池アレイの配置変更と、それによる発電量計算を繰り返して最適設計を求める処理系の中で、風況解析計算を扱うのは適切ではない。

そこで、あらかじめ多くの太陽電池アレイの配置パターンに対して風況解析計算を行うことにより、太陽電池アレイの配置パターンと風圧荷重の間の関連情報をデータベース化した。その結果、メガソーラーシステムの設計において、風況解析データベースを参照することで、風圧荷重の分布状況を把握することができるようになり、繰り返し行う太陽電池パネルの配置と配線処理の中で風況解析結果を反映した設計結果を出力できるようになった。

図4は、風況解析データベースに蓄積されている情報のイメージをビジュアル化したものである。風圧荷重はもっとも風上にある太陽電池アレイで最大となり、敷き詰められた太陽電池アレイの内部に行くに従い、減少していくことが示されている。この風圧荷重が減少していく度合いを係数として扱い、配置・配線自動化エンジンが決定した太陽電池アレイの配置に対して、架台及び基礎の強度をもっとも厳しく設定する必要のある箇所と、強度を1/2程度に緩和することができる領域を決定することができる。

2.3 日射・反射光解析エンジン

日射・反射光解析エンジンは、配置・配線自動化エンジンが決定した太陽電池アレイとメガソーラーシステムが建設される位置情報（緯度）により決まる太陽との幾何学的な関係を解析する。この解析により、太陽電池アレイに照射される正確な

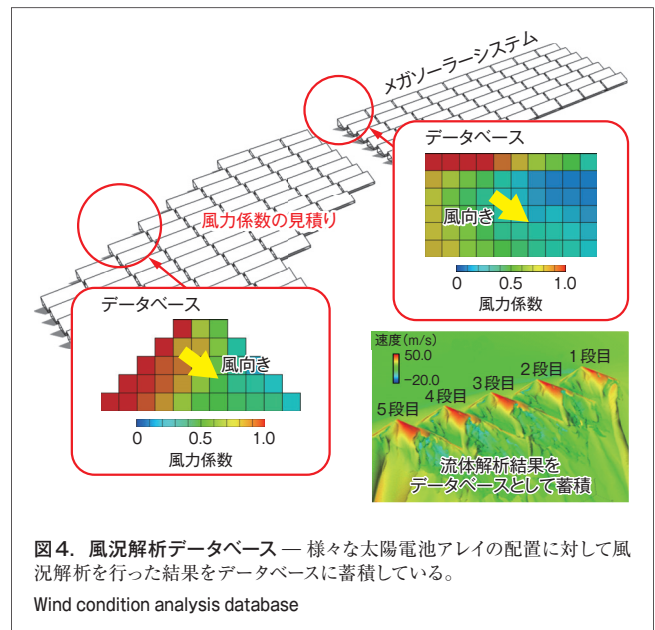


図4. 風況解析データベース — 様々な太陽電池アレイの配置に対して風況解析を行った結果をデータベースに蓄積している。

Wind condition analysis database

日射を決定するとともに太陽電池アレイからの反射光が影響を及ぼす範囲を表示することができる。

配置・配線自動化エンジンが決定した太陽電池アレイの配置と、メガソーラーシステムの周辺の建物又は立ち木として定義される地物との関係は、日射・反射光解析エンジンの中の3D (3次元) 空間データベースに定義されている。これにより日射・反射光解析エンジンは、年間を通して太陽の動きを模擬することができ、正確な日射量計算及び反射光計算を行うことができる。

日射・反射光解析エンジンの計算結果を3D空間GUI (グラフィカルユーザーインターフェース) で描画させた結果を図5に示す。実際の事例はないが、高層ビル街の公園にメガソーラーシステムを建設した際の日射光及び反射光のようすを示しており、年間を通じて1枚の太陽電池パネルに南側からの日射光が差し込む範囲と、それにより北側に反射光が影響を及ぼす範囲を示している。

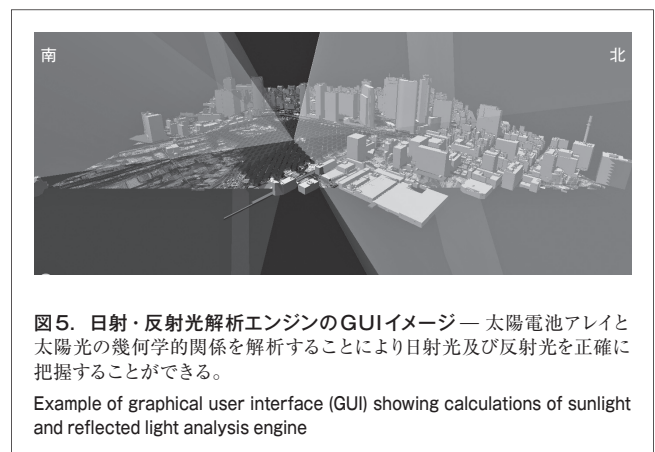


図5. 日射・反射光解析エンジンのGUIイメージ — 太陽電池アレイと太陽光の幾何学的関係を解析することにより日射光及び反射光を正確に把握することができる。

Example of graphical user interface (GUI) showing calculations of sunlight and reflected light analysis engine

3 有機薄膜太陽電池⁽²⁾

太陽電池モジュールの低コスト化を目指して有機薄膜太陽電池の開発を進めている。有機薄膜太陽電池は、以下の優れた特長を持つことから、次世代太陽電池として期待される。

- (1) 印刷・塗布技術による素子作成のため生産コストを低く抑えることができる
- (2) 長波長成分を吸収する設計や高起電力化の設計が可能であり高効率素子を実現する可能性がある
- (3) 樹脂などフレキシブルな基板に素子を作成し、軽量でフレキシブルな特長を生かした様々なアプリケーションを考えることができる

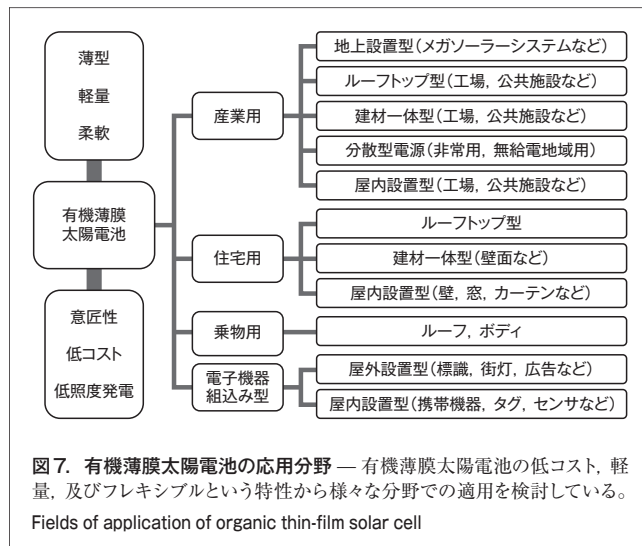
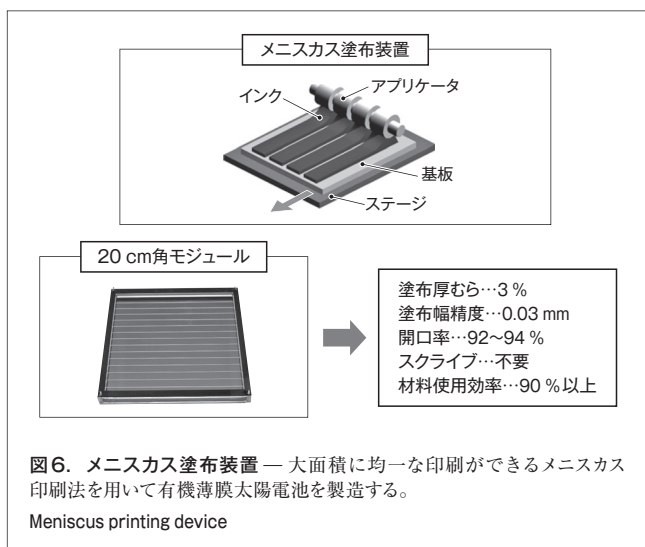
3.1 印刷法による製造

ロール状に巻かれたフレキシブルな基板に有機層と電極を連続的に塗布することで、軽量かつ柔軟な太陽電池モジュールを低コストで製造することが可能である。有機薄膜太陽電池は数十nmオーダーの非常に薄い層を重ねた構造であり、この精密印刷を行うために大面積に均一な印刷を行うことができるメニスカス印刷法(図6)を採用した。この印刷法によれば塗布むらは3%以内とすることができ、非常に均一な印刷が可能である。成果として20cm角サブモジュール効率6.8%、開口率92%を達成し、独立行政法人産業技術総合研究所精密測定で認定された⁽³⁾。

3.2 多様なアプリケーション

有機薄膜太陽電池の低コストで軽量かつフレキシブルであるという特性を生かす様々な応用分野を検討している。

有機薄膜太陽電池の応用分野を図7に示す。低コストであることが地上設置型メガソーラーシステムへの適用の可能性を広げることになる。また、建材一体型にして大型建物の屋上あるいは壁面に適用することで、建築物によるメガソーラーシステムの実現をも視野に入れることができる。



4 あとがき

PVシステムを更に普及させていくためには、継続したコスト削減をあらゆる観点から追求していく必要がある。ここでは、その事例としてICT技術を活用したPVEPF及び最新の材料技術を活用した有機薄膜太陽電池の開発について述べた。

今後も、多方面の技術に対して見聞を広め、PVシステムの普及につながる技術開発を続けていく。

文献

- (1) 石井 岳 他. メガソーラーシステムのグローバル展開を可能にするシステム統合基盤. 東芝レビュー. 67, 1, 2012, p.22-25.
- (2) 斉藤三長 他. 低コストと高性能を実現する有機薄膜太陽電池技術. 東芝レビュー. 67, 1, 2012, p.30-33.
- (3) Green, M. A. et al. Solar Cell Efficiency Tables (version 41). Prog. Photovolt: Res. Appl. 21, 1, 2013, p.1-11.



長谷川 義朗 HASEGAWA Yoshiaki
社会インフラシステム社 電力流通システム事業部 太陽光発電システム技術部。太陽光発電システムの開発に従事。
Transmission & Distribution Systems Div.



渡辺 憲治 WATANABE Kenji
社会インフラシステム社 電力流通システム事業部 太陽光発電システム技術部長。太陽光発電システム開発プロジェクトの推進及び管理に従事。電気学会会員。
Transmission & Distribution Systems Div.



稲葉 道彦 INABA Michihiko, D.Eng.
社会インフラシステム社 電力流通システム事業部技監、工博。太陽光発電システムや関連のエネルギーマネジメント技術開発に従事。廃棄物資源循環学会会員。
Transmission & Distribution Systems Div.