

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

System Integration Framework for Global MW-Class Photovoltaic Power Generation Solution

石井 岳 岩政 幹人 長谷川 義朗

■ ISHII Gaku ■ IWAMASA Mikito ■ HASEGAWA Yoshiaki

公共・産業向けの大容量太陽光発電 (PV) システム、いわゆるメガソーラーシステムの需要が世界的に高まっている。メガソーラーシステム事業では、地域や気象の特性、事業者の投資目的など、多様な要件を満たす設備と運用計画を実現するシステムインテグレーション (以下、PV SIと略記) が鍵を握る。

東芝は、PV SIにおけるエンジニアリングを的確かつ効率的に行うためのPV SIフレームワークとその実行環境となるシステム統合基盤を開発している。PVシステム特有の多種多様な要件を的確にモデル化し最適解を導出できることをはじめ、SOA (Service Oriented Architecture) ベースのアプリケーション実行環境や一般的な表形式のインターフェースによってシステム構成や業務の変更に柔軟に対応できるという特長がある。

MW-class photovoltaic (PV) power generation systems, or so-called mega solar systems, are increasingly in demand in both the public-sector and industrial markets. PV power generation system integration (hereafter abbreviated as PV SI) is the key to the success of these projects in terms of meeting various requirements for and constraints on such systems, including the geographical and meteorological conditions of the installation site, investment objectives, and so on.

Toshiba has been developing a PV SI framework and an information technology (IT) platform to achieve an accurate and efficient engineering process for such systems. The PV SI framework offers the flexibility to change system configurations and business requirements through a service-oriented architecture (SOA)-based engineering environment and a spreadsheet-like interface to access the SOA-based engineering environment, as well as the ability to calculate the optimal solution by a constraint processing mechanism.

1 まえがき

わが国では従来、太陽光発電 (PV) システムと言えば、戸建て住宅の屋根に載った太陽電池モジュールの印象が強いが、世界に目を向けると、広大な土地に膨大な数の太陽電池モジュールを敷き詰めたメガソーラーシステムの建設も盛んである。メガソーラーシステムは公共・産業向けの、1 MW以上の電力を生み出すことができる大容量のPVシステムで、言わば“発電プラント”である。

その建設においては、立地の調査、選定に始まり、システム構成、電力系統連系、及び施工に関わる各種エンジニアリング、更に、関連機器の調達や施工業者の手配、プロジェクトや工程の進捗管理など、非常に多くのプロセスを伴う。また、再生可能エネルギーの供給義務を課せられる電力会社や固定価格買取制度 (FIT: Feed-in Tariff) による安定収入を見込む事業者にとっては、メガソーラーシステムが投資や資産運用の対象にもなる。そのため、メガソーラーシステムの建設だけでなく、ファイナンス (資金調達や運用)、設備の維持や管理、及び事業運営までも一括して受注業者が請け負うことがある。

また、顧客の要件を満たすPVシステムの企画、構築、運用、及び保守を一括して提供するサービスであるシステムインテグ

レーション (PV SI) の担い手をシステムインテグレータ (以下、PV SIerと略記) と呼び、PVシステムの世界最大市場である欧州や北米などではPV SIerが中核的な役割を担っている。

東芝はPV SIerとして、事業者の設置目的に合ったメガソーラーシステムの建設とサービスをタイムリーに提供することを目指し、PV SIの業務プロセスを的確かつ効率的に回すための枠組みとして“PV SIフレームワーク”を整備し、その実行環境となる“システム統合基盤”の構築を進めている。ここでは、PV SIフレームワークのコンセプトや実現の姿、適用するシステム技術について述べ、PV SIerが提供する価値を明らかにするとともに、今後の展望についても述べる。

2 PV SIフレームワークと基本構造

2.1 PV SIerに求められる要件

PV SIで扱う要件は多岐にわたる。設置目的を満足する高効率でかつ経済性に優れたシステムを実現することはもちろん、法制度や技術規格、電力の需給体系や需要パターン、更にサプライチェーンやファイナンスといった事業環境も含め、地域の特性に合ったエンジニアリングが必要になる。また、気象パターンにも地域差があるうえ、設置場所によって太陽や風の当

たり方も様々なため、自然環境を熟慮することも求められる。したがって、PV SIでは、多種多様な要件を的確に定義・形式化(モデル化)できること、それに対して最適解を導くこと、そしてこの一連のプロセスを効率的に進められることが欠かせない。PV SIフレームワークはそのための枠組みである。

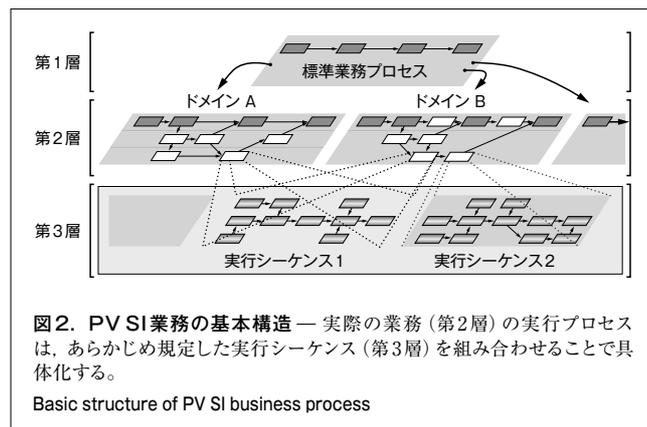
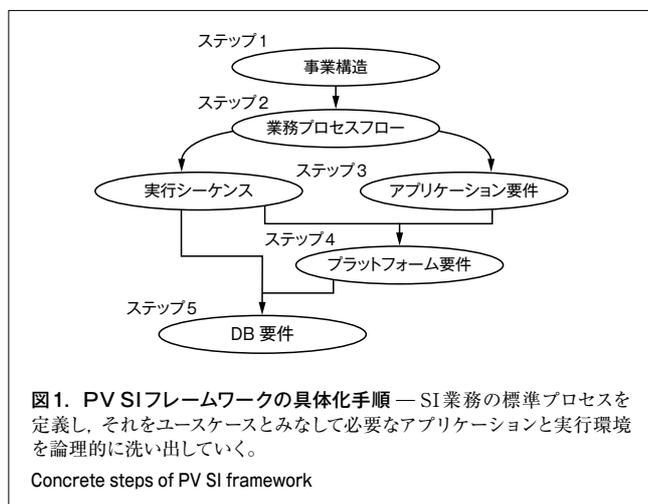
2.2 PV SIフレームワークのコンセプト

PV SIフレームワークが生み出す顧客価値は、的確で迅速な設備とサービスの設計である。具体的には、PV SIフレームワーク上で機器システムや運用・保守サービスの設計を進めることで、迅速な対応はもちろん、担当者のやり方に依存しない、同一品質の見積もりや運用計画を提案できることである。そして、設備設計からサービス設計までを一貫して行うことで、企画・見積もり段階で運用と保守も見据えた包括的な提案を行うことも可能になる。特に、使用期間が15～20年と長いPVシステムにおいては、機器の劣化特性や保守サイクルを考慮した運用計画を早期に立てることが必須であり、的確な運用計画は大きな顧客価値を生む。

2.3 PV SIフレームワークの構築

PV SIフレームワークは、図1に示すような基本的な手順に従って、PV SI業務の標準プロセスを軸に具体化していく。

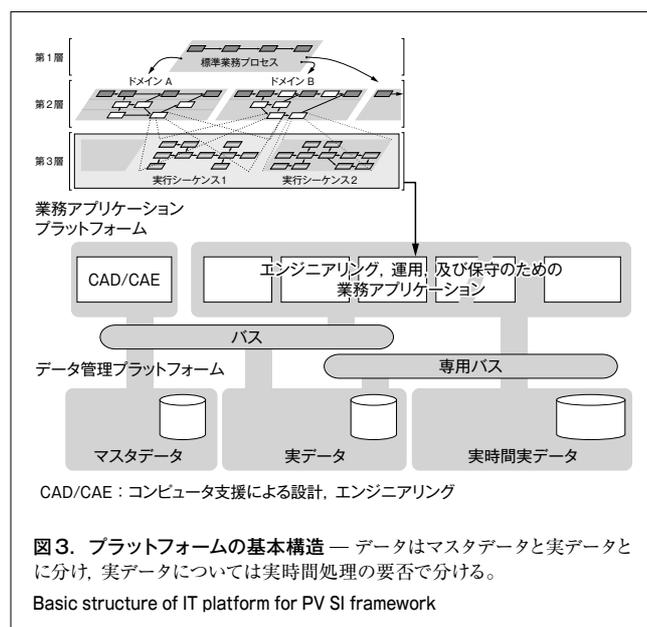
まず、事業構造を可視化する(ステップ1)。PV SIに関わる主な業務担当の営業や、設計、調達、施工などを列挙し、担当間でやり取りする資産(物品、コスト、情報など)を洗い出す。次に、そのやり取りについて、実行するタイミングに則して順序付けし、業務プロセスの標準フローを定義する(ステップ2)。そして、その標準フローの各業務について、より具体的なデータ処理レベルの実行順(実行シーケンス)や、実行に必要なアプリケーションの要件を定義する(ステップ3)。業務プロセスのフローや実行シーケンスの定義には業務の流れに着目したBPD(Business Process Diagram)に加え、データの使われ方に着目したDFD(Data Flow Diagram)も使い、扱うデータ群とライフサイクル(生成、読出し、更新、削除)を定義する。



ステップ3では、3層から成るPV SI業務の基本構造が得られる(図2)。第1層が業務プロセスフローの標準、第2層が実際の業務プロセスフロー、第3層が各業務の実行シーケンスである。第2層は、例えばPV SI体制をグローバルに展開する際に、当社として統一した業務プロセスフローを現地の法制度や慣行などに対応できるように拡張したものが相当する。

更に、ステップ3で詳細化した業務プロセスについて、その実行環境となるプラットフォームの要件を定義し(ステップ4)、データベース(DB)の要件定義へと進む(ステップ5)。図3にプラットフォームの基本構造を示すが、これをひな型にプラットフォームの主な構成要素を洗い出し、それらの関係構造をモデル化する。例えば、ステップ3で要件を定義したアプリケーションを図の中段に列挙し、それらで扱うデータを下段に分類する。

これら五つのステップによって、担当者のやり方に依存しない同質のアウトプットを効率的に生み出すことができるSIフレームワークを論理的に構築することが可能になる。



3 システム統合基盤とその構成

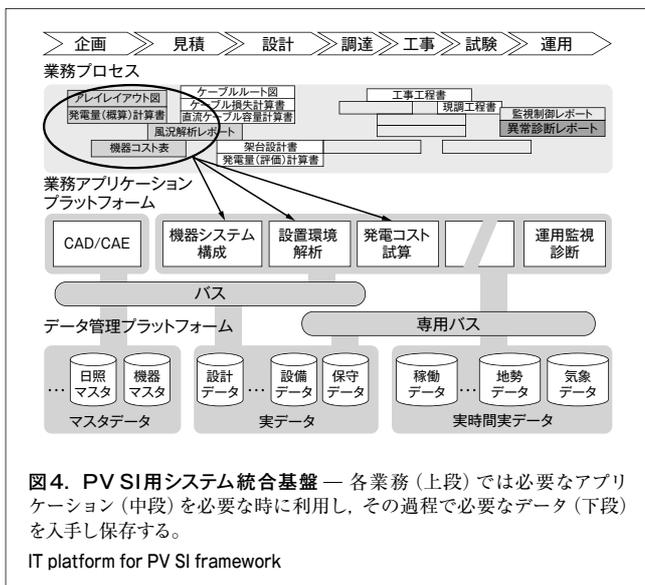
PV SIフレームワークの全体構成を図4に示す。前章で述べたSI業務の基本構造とその実行環境のプラットフォームを“システム統合基盤”として一体化し、構成要素を具体的に当てはめたものである。

図4の上段には、PV SIの業務プロセスを示す。PVシステム設置の企画に始まり、機器やシステムの仕様検討、コスト見積もり、そして運用と保守に至る一連のプロセスである。これはEPC（設計、調達、建設）+O&M（運用、保守）の一貫プロセスとも呼ばれ、もっとも請け負う範囲が広いPV SI業務である。実際には、これらを一括で請け負う場合もあればエンジニアリングだけの場合もある。また、業務の出力として作成するドキュメントをプロセスに沿った形で示している。

図4の中段には、これらの出力を作成するのに必要なアプリケーションを示す。例えば、企画・見積もりフェーズで作成する太陽電池モジュールの配置を示すレイアウト図や発電量（概算）計算書には、日照や風況といった“設置環境の解析”と、それを踏まえた“発電コストの試算”が必要である。機器コスト表の作成には、太陽電池モジュール数決定後の“機器システムの構成”が必要になる。したがって企画・見積もりフェーズでは、これらのアプリケーションを一括して利用することになる。

図4の下段には、アプリケーションを実行する過程で必要になるDBを示す。

業務を進める実行シーケンスとそれを実行するアプリケーション（サービス）を部品化し、その組合せで業務プロセスを構成する方法は、SOA（Service Oriented Architecture）⁽¹⁾に基づいている。SOAは、サービスの追加や削除が柔軟に行える特長を持っており、今後蓄電システムなどの新たなシステム要素が加わった場合において、必須のアーキテクチャであると言える。



4 設計フローエンジンの開発

4.1 設計フローエンジンとは

これまで述べてきたように、PV SIフレームワークの役割は、PVシステム特有の多種多様な要件を的確にモデル化し最適解を導くこと、そして一連のプロセスを効率的に進めることである。その中核を担うソフトウェアエンジンが“設計フローエンジン”である。

PV SIでは、地域特性や設置環境に合うようにエンジニアリングを進めなければならない。言い換えると、エンジニアリングの対象の属性を表現するパラメータについて、パラメータ間の制約や背景知識を考慮しながら順に決定、あるいは変更していく作業と捉えられる。これは対象のパラメータに着目したパラメトリック設計の一種である。そこでPV SI業務を、パラメータ間の制約に着目した“制約充足問題”として捉え、それを解決するために設計フローエンジンを開発した。

制約充足問題は、制約指向の問題解決手法として1990年代に盛んに研究された。2000年代には、ブール式の充足問題（SAT）に対する高速ソルバやSATを拡張したSMT（Satisfiability Modulo Theories）ソルバの発展、線形方程式と不等式を含む最適化エンジンの発展を経て、従来は実行が困難であった様々な解法とその組合せの試行が可能になってきた⁽²⁾。

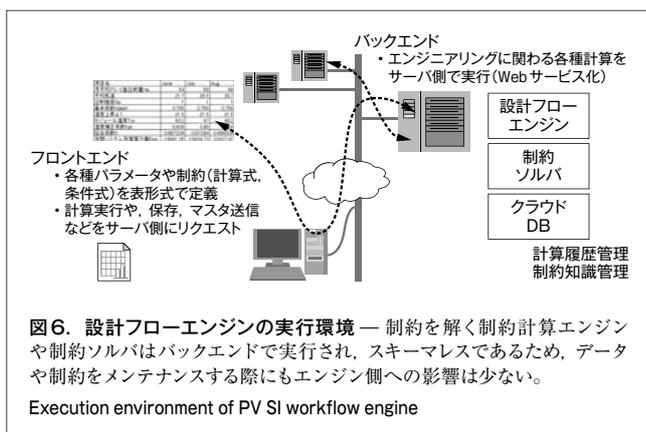
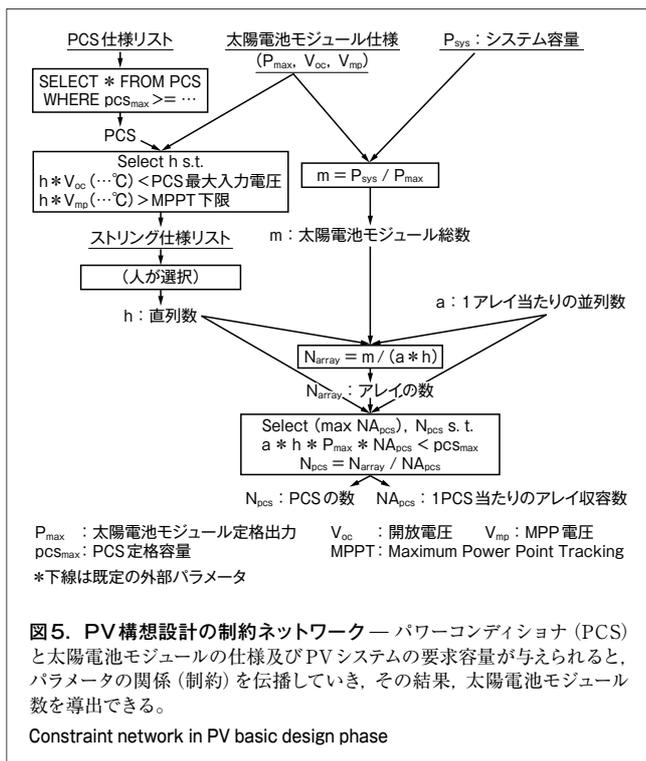
設計フローエンジンは、制約充足問題のもっとも直感的な実現方法である、制約伝播（でんば）機構と最新ソルバとの組合せにより実現している。後述する制約ネットワークに基づいた制約式の逐次評価に加え、評価結果の矛盾から見直しが必要なパラメータを検出することや適切なソルバを使い分けることで、非線形計画法や、最小二乗法、案分などの計算処理も可能である。

4.2 設計フローエンジンの開発と課題

図5は、企画・見積もりフェーズにおける制約ネットワークの一部分を示している。制約ネットワークは、パラメータと制約をノードとし、パラメータ間の制約はノード間の接続関係で表現したグラフ構造を持つ。PV SIフレームワークにおいては与えられたデータと制約群を基に設計フローエンジンが生成する。しかし、制約をコンピュータで処理でき、かつ十分にモデル化できるように、例えば制約ネットワークの構造を意識して制約を記述することは一般の設計者にとってはハードルが高い。このため、設計者でも制約のメンテナンスを容易にできる環境と、メンテナンスに合わせて制約ネットワークを自動更新する機構を整備しなければならない。そこで、図6に示すような設計フローエンジンの利用環境を開発した。

具体的には、PV SIで扱うデータや制約を表形式で表現しJSON（JavaScript^(注1) Object Notation）形式でオブジェクト

(注1) JavaScriptは、Oracle又は関係会社の米国及びその他の国における登録商標又は商標。



化してスキーマレスなクラウド型DBにオブジェクトのまま保存する。これにより、慣れ親しんだ表計算の感覚でエンジニアリングを進めることができ、データや制約の追加や削除も容易である。その他にも、各種計算機能のWebサービス化や、オブジェクト単位での計算履歴管理などの特徴もある。

設計フローエンジンは、エンジニアリングにおける各種制約から設計フローを理解し、その設計フローに沿って問題を解くプログラムである。PV SI業務の担当者にとっては問題を解く道筋を与えてくれるツールとも言え、担当者のやり方に依存しない、同一品質の見積もりや運用計画を提案できる、システム統合基盤の基幹的なコンポーネントと位置づけられる。2011年春から進めている、企画・見積もりフェーズでの発電量試算を対象とした試行でその実用性を確認できたことから、引き続き、他のPV SI業務にも適用して機能や性能を洗練していく。

一方、今後の課題としては、設備の設計や性能の評価から、売電計画や保守計画などのサービス設計に至る各種エンジニアリングを一貫して行えるよう拡張していくことが重要である。そのためには、設備や設置環境の特性や制約のモデルを整備することが先決であり、シミュレーションや運用実績などから得られる知見が欠かせない。特に、耐久消費財でもあるPVシステムでは、設備の発電特性や、劣化特性、保守サイクルなどを考慮した的確な発電・売電計画や保守計画が大きな顧客価値を生むことから、そのための基盤を重点的に構築していく。

5 あとがき

有限の地球資源を枯渇させないエネルギー供給のあり方が問われるようになって久しいが、わが国では、2012年7月に施行予定の「再生可能エネルギー特別措置法」によりPVシステムの普及が更に進むであろう。公共・産業向けPVでは、国内市場規模が2015年度に2010年度比で3倍超になるとも予想される⁽³⁾。一方、欧州の市場動向から、FITに代表される政策に導入が左右されるのも事実である。企画・見積もりのフェーズにおいて、長期的な運用計画と必要なサービスを的確にエンジニアリングできるかどうかで、PV SIerの真価が問われる。

当社は、グローバルな顧客のニーズに応えるPV SIを提供するため、PV SIフレームワークと実行環境を構築し、事業基盤へと成長させていく。

文献

- 1) 牧野友紀. ビジネス環境と実装システムを繋ぐBPMとSOA. 情報処理. 46, 1, 2005, p.60 - 63.
- 2) 梅村晃広. SATソルバ・SMTソルバの技術と応用. コンピュータソフトウェア. 27, 3, 2010, p.24 - 35.
- 3) 矢野総合研究所. "国内太陽光発電システム市場に関する調査結果 2011". 2011-9-20. < <http://www.yano.co.jp/press/pdf/836.pdf> >. (参照2011-12-01).



石井 岳 ISHII Gaku

研究開発センター システム技術ラボラトリー主任研究員。
知識表現及びシステム高信頼化の研究・開発に従事。情報処理学会、日本設計工学会会員。
System Engineering Lab.



岩政 幹人 IWAMASA Mikito, D.Eng.

研究開発センター システム技術ラボラトリー主任研究員、博士 (情報科学)。システム高信頼化の研究・開発に従事。情報処理学会、IEEE会員。
System Engineering Lab.



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推進部グループ長。太陽光発電システムの開発に従事。電気学会会員。
Transmission & Distribution Systems Div.