

大規模太陽光発電システム技術

Technology for Large-Scale Photovoltaic Power Generation Systems

中川 雅之 NAKAGAWA Masayuki

項 東輝 XIANG Donghui

太陽光発電システムの国内市場は、大規模太陽光発電（メガソーラー）に拡大し、高効率・高信頼性・省スペースのニーズが高まっている。富士電機は、沖縄電力株式会社 安部メガソーラー向けに機器・遠方監視制御システムを含めた機電設備一式を納入し、2012年3月末から運転を開始した。パワーエレクトロニクス技術を用いた高効率大容量パワーコンディショナや大規模監視制御システムを適用している。また、再生可能エネルギーの大量導入時の電力系統における課題を解決するため、安定化システムを用いた離島向けマイクログリッド実証設備などを通じ、系統連系技術を開発している。

The market for photovoltaic power generation systems in Japan is expanding to large-scale photovoltaic power generation (mega solar), and the need for high efficiency, high reliability, and compact equipment increases. Fuji Electric supplied a package of mechanical and electronic equipment for Abu mega-solar plant of The Okinawa Electric Power Company, Inc. including devices for a solar power generation system and a remote surveillance control system, which commenced operation in the end of March 2012. We have applied a highly-efficient, high-capacity power conditioner utilizing the power electronics technology and a large-scale surveillance control system.

We are also developing system-interconnection technologies to resolve issues that would arise in the power grid with large-scale implementation of renewable-energy power production through microgrid verification equipment using stable systems etc. for remote islands.

1 まえがき

1997年12月の気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）で「京都議定書」が採択され、温室効果ガスの削減が明確化されて低炭素社会を目指すことになった。政府は太陽光発電の導入を推進するため、一般的にメガソーラーと称する出力が1MW以上の大規模太陽光発電施設の導入支援などを行った。2011年3月の東日本大震災を受けて、政府は原子力発電の代替エネルギー確保のために再生可能エネルギーの開発を加速する方針を打ち出した。さらに、2012年7月の「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」の開始を受けて、電力会社以外の一般企業や自治体が、売電用または自家発電用に太陽光発電設備を建設する事例が増加している。

富士電機は、1980年から国内外に太陽光発電システムを納入してきている。本稿では、この実績に基づく大規模太陽光発電システム技術について述べる。

2 富士電機の太陽光発電のシステムソリューション

富士電機は、発電設備、変電設備、工場設備などで培ったプラント技術を生かし、太陽光発電システムおよび実証設備を国内外に多数納入してきた。また、世界に先駆け“薄く・軽く・曲がる”フィルム型アモルファス太陽電池を開発し、納入してきている。

図1に、太陽光発電システムへの取組みの全体像を示す。太陽電池の選定から特別高圧・高圧設備、電力系統連系設備、需給制御システムの設計・施工・メンテナンスまでを行っている。メガソーラーの導入に当たっては、さまざまな手続きや技術的な検討に多くの時間を要するため念な

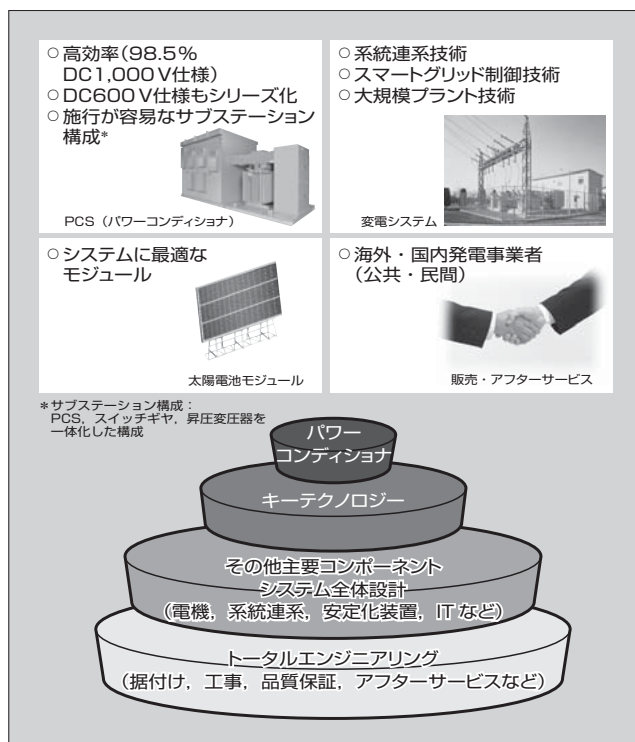


図1 太陽光発電システムへの取組み

計画が必要である。土地の取得、設置される環境条件の調査、買取制度および補助金を考慮した投資・回収の検討、ならびに設備の保安に関する種々の関連法令への適合などである。

図2に示すようにメガソーラーなどの太陽光発電システムは、太陽電池、アレイ、接続箱、集電箱、パワーコンディショナ（PCS）、連系設備、環境計測装置および監視制御システムから構成される。その導入手順を図3に示す。また、システム計画の要点は次のとおりである。

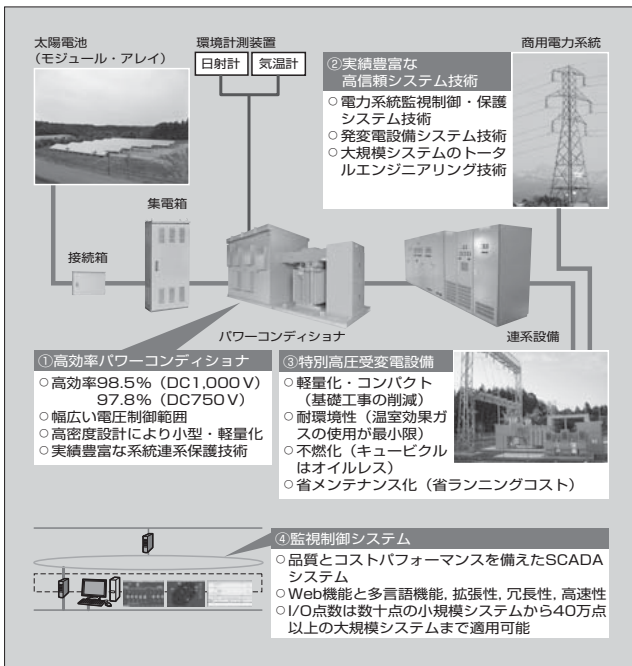


図2 太陽光発電システムの構成

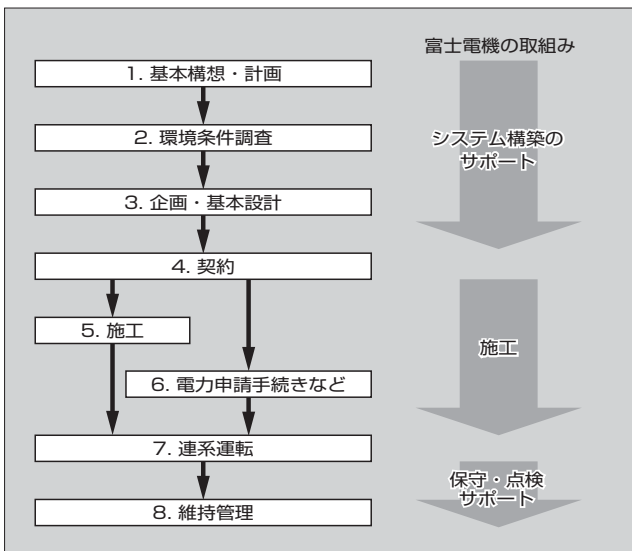


図3 太陽光発電システムの導入手順

- (a) 太陽電池は、単結晶や多結晶などの結晶系、アモルファスや多接合型などの薄膜系、ならびにシリコンを使わないCIGSの化合物およびその他の有機系など多くの種類がある。それぞれ特徴があり、コスト・発電効率に差がある。国内外の太陽電池メーカーから設置環境や金額などの条件を踏まえて顧客の要望を考慮し、最適な太陽電池を選定する。
- (b) アレイは、環境・設置面積・コストなどを考慮し、傾斜角、太陽電池の取付け方向、列数・段数を計画する。
- (c) 接続箱や集電箱は、最適な太陽電池の直列数および送電ロスを考慮した配置を検討して分岐数を設計し、設置環境を考慮して計画する。
- (d) PCSには、トランスレスで高効率な大容量機を適

用する。

- (e) 連系設備用開閉装置には、22～77kVクラスではSF₆ガスまたは環境にやさしいドライエアーを採用したキュービクル型ガス絶縁開閉装置を適用し、それ以上のクラスでは、SF₆ガス絶縁開閉装置を適用する。
- (f) 連系設備用変圧器には、高効率な鉱油または環境にやさしいパームヤシ油を採用した油入変圧器を適用する。
- (g) 環境計測装置は、エネルギー管理・環境啓発などを目的として、日射計をアレイの傾斜に合わせて設置し、外気温計を直射日光の当たらない場所に設置する。
- (h) 監視制御システムには、接続箱単位での電流・電圧の計測および遠隔での監視制御が行えるように、大規模なI/O点数処理に適したCitectSCADAを適用する。
- (i) 直流側の設計では、「電気設備に関する技術基準を定める解釈の一部改正について」（2012年6月29日、経済産業省原子力安全保安院）により、「太陽電池発電設備の施設に係る規定」が改定され、PVケーブルを高圧の範囲（直流1,500V以下のものに限る）で使用することが可能になった（図4）。

表1に、直流600V配電と1,000V配電のシステム比較を示す。現在、主流である直流600V配電に比べて直流1,000V配電は、理論的には電池の直列数を10/6に増やすことができ、並列数を6/10に減らすことが可能である。これにより、PVケーブルの本数および接続箱・集電箱の数を減らすことができ、発電コストの低減および発電ロスの低減が可能になる。富士電機は、直流1,000V配電方式も積極的にシステム計画に盛り込んでいる。

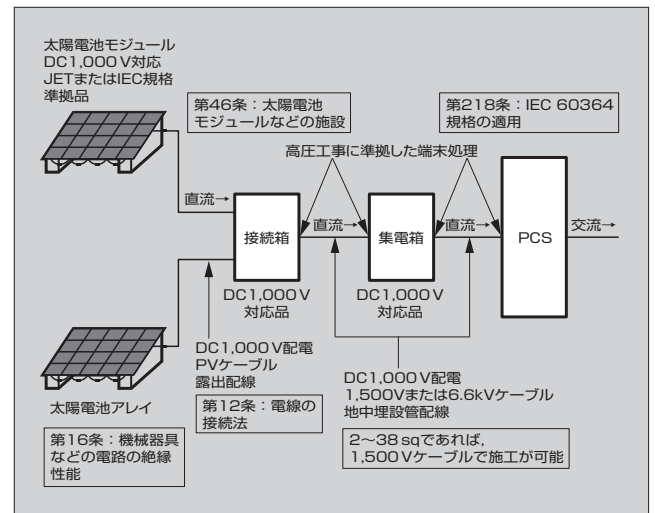


図4 太陽光発電設備の施設例および関連する技術基準

〈注〉 CitectSCADA：フランス Schneider Automation, Inc. の商標または登録商標

表1 直流600V配電と1,000V配電のシステム比較

	直流 1,000V 配電	直流 600V 配電
回路区分		
回路イメージ	<p>DC600V回路に比べて並列数減・直列数増</p> <p>並列回路数 (60%)</p> <p>直列回路数 (160%)</p> <p>回路電圧 DC1,000V</p> <p>接続箱</p>	<p>並列回路数 (100%)</p> <p>直列回路数 (100%)</p> <p>回路電圧 DC600V</p> <p>接続箱</p>
直流側機器数量および工事費	<ul style="list-style-type: none"> ○ 接続箱：60% ○ 接続箱～太陽電池間ケーブル：60% ○ 接続箱～集電箱間ケーブル：60% ○ PCS：DC1,000Vの大容量機による数量減 ○ 工事費：配線・据付け個数の減少により減少 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 接続箱：100% ○ 接続箱～太陽電池間ケーブル：100% ○ 接続箱～集電箱間ケーブル：100% ○ PCS：DC600V機 ○ 工事費：配線・据付け個数に比例
直流側送電損失*	60%	100%

*送電損失=電流²×ケーブル抵抗
太陽電池の電流はどちらも同じであるため、送電損失はケーブル抵抗(同一径であれば長さ)に比例する。

3 沖縄電力株式会社 安部メガソーラー向け太陽光発電システム

図5に安部メガソーラーの全景を示す。沖縄電力株式会社は、CO₂の排出削減とゼロエミッション電源比率の向上に資するため、太陽光発電を導入した場合の電力系統への影響に関する知見を得ることを目的として、沖縄県名護市へ発電出力1MWの安部メガソーラーを導入した。富士電機は、機器・遠方監視制御システムを含めた機電設備一式を納入し、2012年3月末から運転を開始した。

太陽電池は、沖縄県の気象条件に適した太陽電池の評価を目的として2種類(CIGS型、アモルファスシリコン+多結晶シリコン多接合型)の薄膜太陽電池を採用している。

図6に、安部メガソーラーのシステム概要を示す。本設備の特徴は次のとおりである。

- (a) 発電所と本店の2か所での監視制御および支店での監視
- (b) 発電電力制御および無効電力制御を実現
- (c) アレイの設置角度による発電電力量などの比較が可能



図5 安部メガソーラーの全景 (写真提供：沖縄電力株式会社)

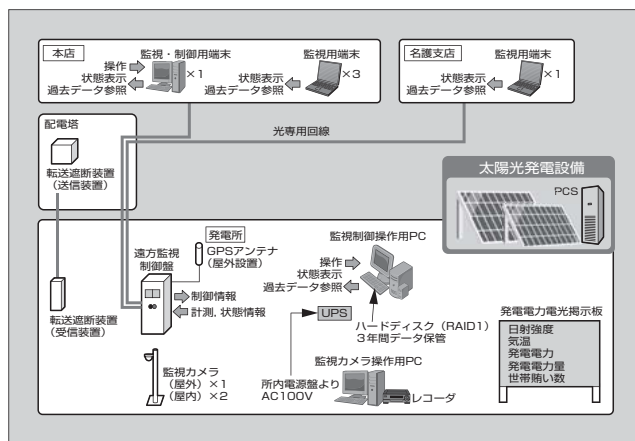


図6 安部メガソーラーのシステム概要

能

(d) 大容量 500 kW PCS × 2 式の適用

4 大容量パワーコンディショナ

メガソーラーは、太陽電池のワット単価を下げることに同時に、主要な構成要素であるPCSの発電単価を下げることに、高い信頼性が求められる。このため、PCSは高効率、トータルコストの低減、ならびにシステムに接続するための高信頼性を実現する必要がある。

そこで、これらを実現した「PVI1000シリーズ」および「PVI750シリーズ」を製品化した。PVI1000シリーズの外観を図7に、PVI750シリーズの外観を図8に示す。

表2にPCSの仕様を示す。主な特徴は次のとおりである。

- (a) AT-NPC (Advanced T-type Neutral-Point-Clamped) 3レベルIGBTモジュールを適用し、世界最高レベルの効率98.5%を実現している。
- (b) 1,000 kW および 750 kW PCSは、昇圧変圧器とPCSを同一ベース上に一体化させたサブステーションタイプとしており屋外設置が可能である。設置場所に応じて標準仕様と耐塩仕様を用意している。設置コストを低減するためエアコンによる冷却を不要とした。

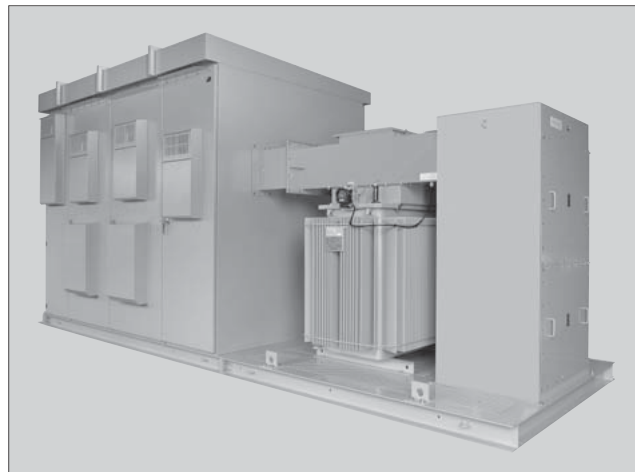


図7 「PVI1000シリーズ」



図8 「PVI750 シリーズ」

表2 PCS の仕様

項目	製品		
	PVI1000-3/1000	PVI750-3/750	PVI750-3/500
定格出力	1,000kW	750kW	500kW
最大直流入力電圧	1,000V	750V	750V
直流入力電圧 (MPPT 範囲)	460 ~ 850V	320 ~ 700V	320 ~ 700V
直流入力分岐回路数	4 (オプション: 24)	4 (オプション: 24)	5
PCS出力電圧	AC270V (-12~+10%)	AC200V (±10%)	AC200V (±10%)
装置最高効率	98.5%	97.8%	97.7%
設置場所・方式	屋外パッケージ (PCS+TR+LBS一体型)	屋外パッケージ (PCS+TR+LBS一体型)	屋内 (PCS・直流入力盤) (屋外設置時は別途筐体必要)
冷却方式	強制空冷	強制空冷	強制空冷 (別途エアコン必要)
寸法	W 6,150× D 2,400× H 2,830 (mm)	W 6,150× D 2,400× H 2,830 (mm)	W 2,400× D 900× H 1,950 (mm)
質量	約13,000kg (昇圧TR+LBS盤含む)	約12,200kg (昇圧TR+LBS盤含む)	約2,000kg (PCS・直流入力盤)
騒音	85 dB以下	85 dB以下	75 dB以下

内蔵ファンのみで冷却することができるため、冷却用の電源容量は2kW程度である。

- (c) 高信頼性を図るため、FRT (Fault Ride Through) 機能を標準で搭載した⁽¹⁾。
- (d) 250kWユニットの交流回路および直流回路を並列構成とすることで、ユニットの一つが故障しても、富士電機のサービス員により不具合ユニットを外して残りの健全ユニットで運転継続ができる。

- (e) 1,000kW PCSは、最大直流入力電圧は、世界標準の1,000Vである。さらに、装置の安全規格としてIEC 62109 (太陽光発電システムで使用する電力変換装置の安全性) の第三者認証を取得している。

5 メガソーラー用監視制御システム

メガソーラーにおける監視制御システムは、発電所の発電状況ならびに太陽電池、集電箱およびPCSなどの設備故障の早期発見、設備の稼働状態の把握、長期の保守運用において重要な役割を果たす。

具体的には、データ収集や通信ネットワークなどによる設備故障の早期発見、設備のトレンド分析に基づく予防保全による発電所の稼働率の向上、ならびに現場での保守点検工数の低減による保守運用費用の低減などであり、発電事業者の利益の最大化に寄与する。

富士電機の太陽光発電用監視制御システムは、汎用のSCADAパッケージであるCitectSCADAをベースに開発した。このため、さまざまなメーカーの発電設備に対応できるとともに、高信頼性と高いスケーラビリティを持っている。

5.1 監視制御システムの構成

図9に監視制御システムの構成を示す。メガソーラー設置エリアにデータ収集を行うリモートステーション (RS) 盤と通信ネットワーク設備を、センターハウスにマスターデータ収集装置と監視サーバを設置する。なお、富士電機のPCSを適用した場合は、RS盤の機能をPCSに統合することが可能である。

また、データ通信は、EthernetやRS-485などのハード構成、ならびにTCP/IPやMODBUSなどのオープンプロトコルに準拠している。さらに、広域ネットワーク環境を利用すれば遠隔地から監視制御を行うこともできる。

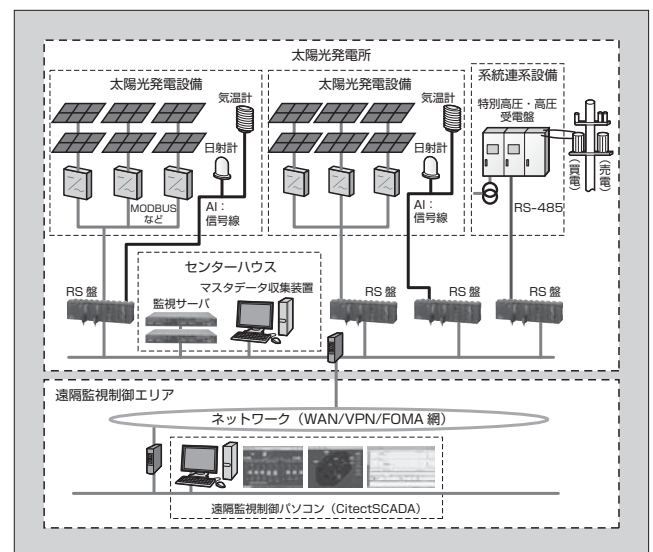


図9 監視制御システムの構成

5.2 監視制御システムの特徴

監視制御システムは、高機能監視制御 SCADA パッケージ (CitectSCADA) をベースにして構築しているため、次の特徴を持つ。

- (a) CitectSCADA は、社会インフラ、産業などさまざまな分野で幅広い支持を得て、全世界で既に 50,000 ライセンスを超える納入実績があり、信頼性が高い。
- (b) Web サーバ用と表示用サーバで設計され、高速性、拡張性、冗長性がある。

① 高速性

データ通信を常に最適化し、不要な通信を低減することで、大規模なシステムでも高速なデータ収集・表示が可能である。

② 拡張性

計測信号は 75 点から 40 万点まで拡張でき、小規模から大規模まで多様なシステムに対応が可能である。

③ 冗長性

通信やサーバの構築において、簡単な設定で完全な冗長化構成が可能である。万が一、ネットワークやサーバに障害が発生した場合でも、運用に支障が出ない安全なシステムが実現できる。

- (c) I/O、アラーム、トレンド、表示、帳票の五つの機能をシステムの規模に合わせ、複数台のサーバに分散させることが可能で、超大規模システムまで適用が可能である。

- (d) Web 機能および多言語対応機能により、いつでも世界中のどこからでも、太陽光発電システムの情報を得ることが可能である。

5.3 監視制御システムの機能構成

監視制御システムの主要な監視対象は次のとおりである。

- (a) 系統連系設備
- (b) PCS
- (c) 太陽光発電設備 (接続箱・集電箱)
- (d) 気象などの環境の情報

標準の監視画面および主な機能を表 3 に、監視画面の例を図 10 に示す。

富士電機の監視制御システムは、標準の監視制御システム機能のほか、顧客の個別ニーズに応えるオプション機能も備えている。例えば、CSV ファイルの自動生成による他システムとの連携や、電力会社からの発電出力の抑制要求に対応するために行う PCS の台数制御など、さまざま

表 3 標準監視画面および主な機能

標準監視画面	主な機能
広域監視オーバービュー 個別エリアオーバービュー スケルトン監視画面 発電状況監視画面 気象情報画面 トレンド監視画面 アラーム監視画面	Web機能 多言語対応機能 プロセスアナリスト機能 セキュリティ機能 メール発報機能 帳票機能 (年報・月報・日報) 他システム連携機能



図 10 監視画面の例

な拡張機能を柔軟に構成することが可能である。

6 マイクログリッドへの取組み

太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギーの出力は、設置場所の日射・気温などの環境条件の影響を受けるため不安定である。将来、大量に電力系統に連系されると、余剰電力の発生や電圧変動、周波数変動などの悪影響が電力系統へ及ぶことが懸念されており、これらの課題を解決する必要がある。

富士電機は、九州電力株式会社と沖縄電力株式会社の離島向けに、蓄電池およびキャパシタを適用した安定化装置を用いたシステムで、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーとディーゼル発電とのバランス運転を実現した。これらのシステムは、CO₂削減と発電コストの低減を図るマイクログリッドの実証設備である⁽²⁾。実証した技術は、電力の貯蔵設備を持つことで地域内の再生可能エネルギーによる出力変動や需要の変化を吸収し、既存の電力に影響を与えないシステムにやさしいシステムとして普及が期待されている。同時に、この技術はメガソーラーにおける系統連系技術にも活用できる。

7 あとがき

メガソーラーは、地球温暖化防止と地球環境の保護に貢献する発電システムであり、当面は「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」により普及していくと思われる。これまで蓄えてきた配電系統制御技術やマイクログリッド技術を生かして、系統への影響を考慮した大規模太陽光発電に取り組むとともに、今後も最新技術を開発し適用することで、市場ニーズにマッチしたシステムを提供していく所存である。

参考文献

- (1) 藤井幹介ほか. メガソーラー向け屋外設置型高効率PCS「PVH1000」. 富士時報. 2012, vol.85, no.3, p.245-249.
- (2) 小島武彦, 福屋善文. 離島向けマイクログリッドシステム. 富士時報. 2011, vol.84, no.3, p.188-193.



中川 雅之

太陽光発電システムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部エネルギー流通事業部太陽光発電システムプロジェクト部長。



項 東輝

エネルギー管理システムの企画・開発・技術取りまとめに従事。現在、富士電機株式会社発電・社会インフラ事業本部エネルギー流通事業部エネルギーマネジメント技術部担当課長。工学博士。計測自動制御学会会員，電気学会会員，IT コーディネータ。





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。