

太陽光発電と電力システム

Photovoltaic Power Generation Integration into Power System

萩本和彦

Abstract

電力供給の低炭素化として注目されている太陽光発電 (PV) の発電量は季節と時間に基づく規則的な変動に加え、天候の変化に伴う不規則な変動を有する。この PV の大量導入は、電力システムに様々な影響を与える。本稿では、PV の本格導入に向け、広い地域に多数の PV が導入された場合の「ならし効果」を含めた発電特性、PV 大量導入時の影響の解析例と将来の電力システムの形成に向けた電力需給計画、電力運用計画のための解析・評価手法、更にこれらの課題解決に向けた将来の可能性について解説する。

キーワード：太陽光発電、発電特性、ならし効果、電力システム、需給調整、集中／分散のエネルギーマネジメント

1. PV 大量導入時の課題

太陽光発電 (Photovoltaics, 以下 PV と略す) の大量導入が想定される 2010 年代、2020 年代に向けた電力システムの変化を展望してみよう⁽¹⁾。低炭素化とエネルギーセキュリティの確保の要請のもとで、電力需給においては大きな変化が想定される。需要においては、住宅／業務用ビルで、既存の需要の省エネルギー化の進展と並行して、ヒートポンプ空調・給湯・加熱、プラグインハイブリッド／電気自動車に代表される新たな需要の増加と高齢化などに伴う電力化の進展により、民生分野のエネルギーの最終消費に電力が占める割合は着実に増加すると考えられる。住宅に設置される太陽光発電を含む各種の分散電源の導入・普及も加わり、住宅／業務用ビルの電力需給の形態は大きく変化する可能性がある。産業においても、加熱についてヒートポンプがより広く用いられるようになるなど、一段の電力化が進む可能性がある。

これに対して、供給側では、低炭素化に向け、火力発電については、天然ガス複合サイクル発電のガスタービンの高温化、石炭ガス化複合発電の導入などにより一層の高効率化が図られる。原子力発電については現行計画に基づく着実な開発とともに、次世代軽水炉の技術開発が進められる。PV、風力などの再生可能エネルギー発

電は、エネルギー供給の低炭素化の目標のもと、今後の導入・普及は拡大する。特に PV については、2020 年ごろに約 3,000 万 kW、2030 年において 5,000 万 kW を超える導入が目標とされている。この PV の導入は、利用率が低い (12%程度) ことから、発電電力量に占める割合が小さい段階から大きな設備容量が必要 (2030 年の 5,000 万 kW で現在の発電設備の 20%程度、発電電力量の約 6%) であり、その導入は電力システムの供給構造を大きく変える。更に、PV の発電量は、季節、時間、天候の変化に伴い大きく変動する。これらにより PV の大量導入は、電力システムに対し表 1 に示すような影響を与えることが指摘されている。

配電系統における電圧変動、事故時の単独運転については、導入の初期段階でも集中導入が行われることで発生が想定され、NEDO の太田市における「集中連系型太陽光発電システム実証研究 (2002-2007)」をはじめとし検討が進んでいる。また、単独運転防止、系統事故時の PV の一斉解列については、連系用インバータの技術開発、連系規定の策定、機器の認証などが進められている。

このような状況のもとで、将来の電力システムにおいては、需要及び火力・原子力など系統電源の特性の変化に加え、PV や風力発電など再生可能エネルギーによる発電特性を適切に反映した設備計画、運用計画、個別の設備対応などが必要となる。以下、系統全体の周波数の変動、需給運用の困難化・余剰電力の発生など系統全体の需給バランスの視点を中心に、PV の電力システムへの導入に伴う課題と対策の方向性について述べる。

萩本和彦 東京大学生産技術研究所エネルギー工学連携研究センター
E-mail Ogimoto@iis.u-tokyo.ac.jp
Kazuhiko OGIMOTO, Nonmember (Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Tokyo, 153-8505 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.93 No.3 pp.217-221 2010年3月
©電子情報通信学会 2010

表1 太陽光発電大量導入時の電力システムにおける課題

	課題	現象の説明	対策
配電系統	配電系統の電圧変動	PV 発電量が大きい場合、PV から系統側への逆潮流により、配電系統の電圧が上昇する。	* 配電系統の電圧制御 * PV インバータの無効電力調整 * 配電電圧昇圧
	事故時の単独運転継続	系統側事故で、PV 発電量と需要がバランスして運転継続し、復旧が遅れる。	* 新しい制御・保護方式の適用
系統全体	周波数の変動	常時の PV 発電量の変動で電力需給のバランスが崩れ系統周波数が変動する。	* PV の発電特性把握 * 火力・水力などの調整容量の活用 * 蓄電池の充放電機能の活用
	需給運用の困難化、余剰電力の発生	低需要期での PV の最大発電時に系統の火力発電機が減少し需給調整力が低下する。または余剰電力が発生する。	* PV の発電量予測技術 * 揚水発電所の活用 * 蓄電設備の設置 * PV の出力抑制
	火力機（同期機）の減少による系統安定度の低下	同期機が発電割合が減り、系統事故時など、系統全体の同期運転が困難になる。	* 現象自体の発生から検討が必要
	系統事故時の PV の一斉解列	系統事故による広域瞬時低電圧発生時に、多数の PV のインバータが運転継続できず、需給バランスが崩れる。	* 事故時運転継続機能を備えたインバータの開発 * 単独運転防止装置の誤作動防止

*：今後の技術開発を伴う対策

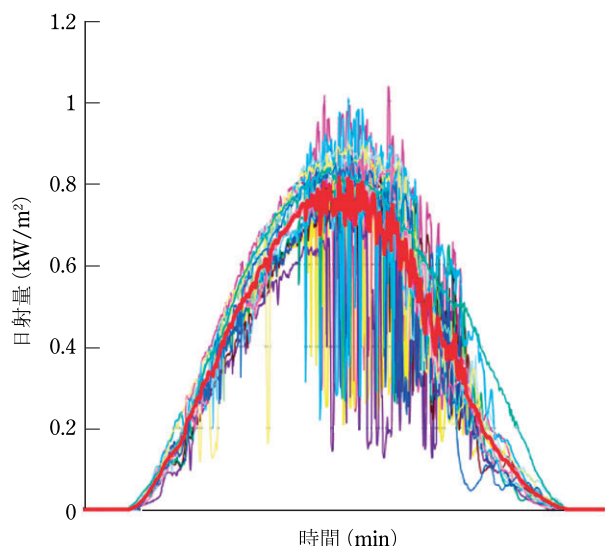


図1 ならし効果のイメージ

2. PV の発電特性とならし効果⁽²⁾

2.1 ならし効果

PV の個別システムの発電特性は、季節と時間に基づく規則的な変動に加え、設置場所での天候の変化に伴う不規則な変動を有している。しかし、系統の需給バランスに与える影響を考える場合、PV は小規模システムが広域に分散設置されるために、地域的な広がりにより個別の発電量の変動が相殺し合計の発電量の変動が緩和される「ならし効果(smoothing effect)」が期待される。図

■ 用語解説

ボロノイ (Voronoi) 分割 距離空間において任意の複数個の基点に対して、他の点をどの基点に近いかにより分けした分割であり、二次元平面の場合、最寄りの学校に行くという決め方の校区にあたる。

1 は、多数の日射の平均をとることにより、変動の幅及び早さが共に緩和される、ならし効果のイメージを示している。

2.2 ならし効果の定量評価と PV の発電特性

現状、ならし効果の分析に使用可能なデータとしては、全国で 100 か所以上の観測点を持ち、過去数十年のデータを蓄積している気象庁による全国の気象データベースがある。この気象データベースからは、日射量として数秒～数分の瞬時値の平均である 1 分値や 10 分値、1 時間値などが入手可能であり、機器特性や設置条件を想定して PV の発電特性シミュレーションに用いられている。しかし、このデータベースの 1 分値や 10 分値のデータには、観測地点数が少ない上に、分解能が粗い等の課題があり、更に、周波数制御への影響など、より短時間の変動を検討するためには、1～10 秒の短い周期のデータが必要となるなど、広い地域をカバーする PV の発電特性を分析するデータは入手が難しいのが実情である。

今後、PV が一定規模以上導入された段階での、ならし効果を含めた系統全体での PV の発電特性を想定するためには、不均等に分布した観測点における個別の発電量から合計発電量を算出する方法が必要になる。このための一つの方法として、観測点の平面的な位置関係からボロノイ分割^(用語)(図2)を用いて観測点に対応した分割区域を作成し、対象地域の合計発電量を算出する方法が提案されている。

3. 電力需給への影響と対策

3.1 電力需給への影響

PV や風力発電などの導入に伴う最も基本的な課題は、従来の火力発電は必要ときに必要なだけの出力を安定に得られるのに対し、その発電量の変動することで、

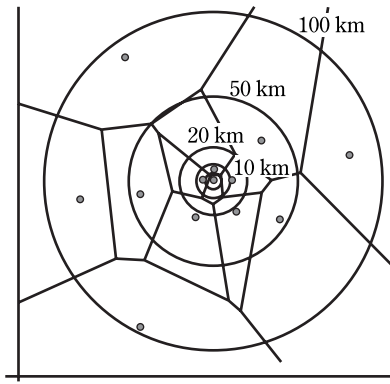


図2 ボロノイ分割

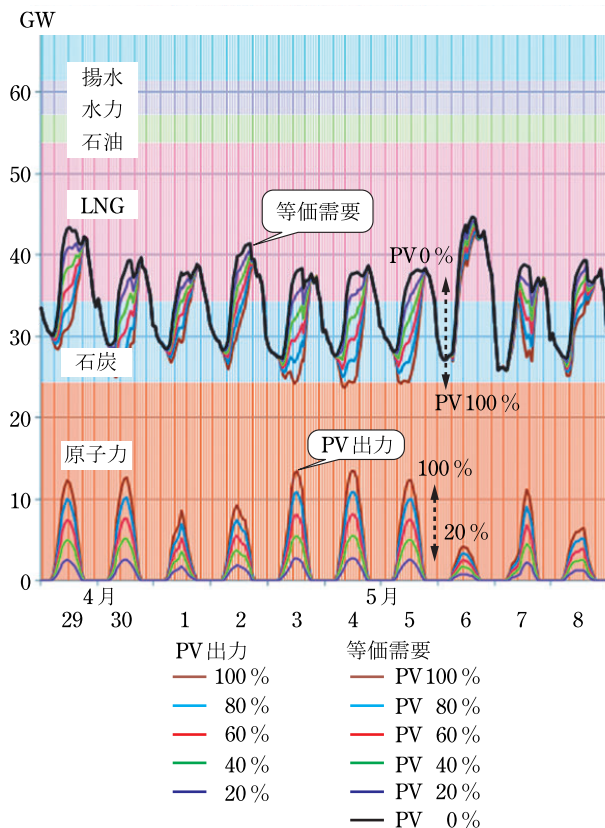


図3 PV発電による等価需要の低下(5月)

様々な時間レンジの需給バランスに影響が発生することである。以下、最大需要約60GWのモデルシステムに19GWのPVが導入された場合について、1時間データに基づく電力需給に対する影響の試算結果を見てみる。ここでは、電力システムの本来の需要に対し、PV出力と電力貯蔵の充放電を加除した需要(以下「等価需要」と呼ぶ)を、原子力、石炭、天然ガス、石油、水力、揚水という電源種別を背景に示している。

図3は、需要が低い中間期において比較的日射が強い5月の条件での等価需要の解析例である。毎時の需要、各PVの導入レベルを100%(19GW)、80%、60%、40%、20%とした場合のPV発電量及び等価需要を示している。需要の低いゴールデンウィークの期間に、等価需要

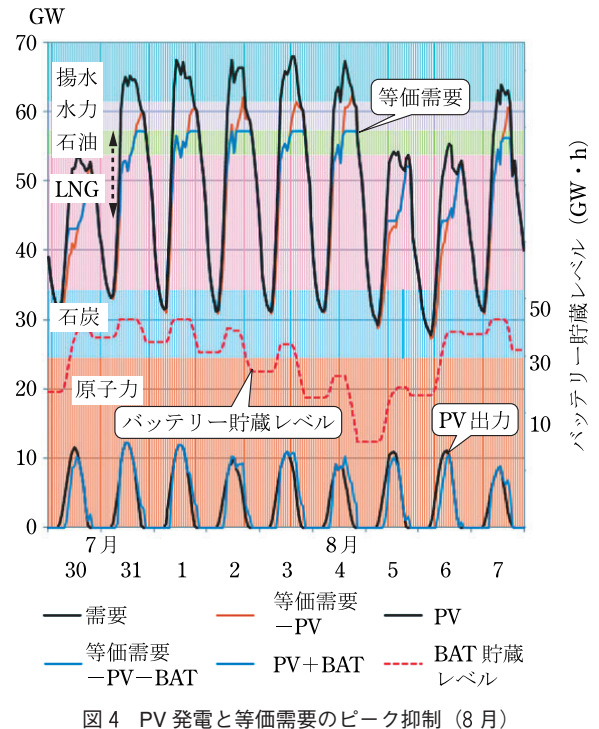


図4 PV発電と等価需要のピーク抑制(8月)

が元の需要の最低値より小さくなり、通常一定出力運行を行う原子力発電の領域まで低下し、電力システムの需給調整が難しい状況となることが示されている。

図4は、電力貯蔵技術を仮定し、年間の最大需要が発生する8月のPVの発電電力、等価需要に加え電力貯蔵レベルを示す。電力貯蔵技術は、揚水発電と分散電力貯蔵装置を想定し、貯蔵容量40GW・h、充放電容量5GW、充放電損失率15%、毎時の需要とPV発電量を所与とし、年間の等価需要の最大値を最小化する運用を解析するモデルである。元の需要からPV出力を差し引いた等価需要(-PV)では日中のピーク需要が抑制され、更に電力貯蔵ありの場合(-PV-BAT)は残った夕方のピーク需要を抑制しており、電力貯蔵の効果が示されている。

周波数変動の10秒~1分の領域の変動などより早い変動の影響は、ならし効果が大きく影響する領域であり、今後PVの短い周期の発電量の変動の特性が明らかになった段階で、その影響の大きさ、対策の必要性などを評価できると考えられる。

3.2 需給調整

電力システムの需給調整は、供給側では、一般水力発電、火力発電、揚水発電の運転スケジュールの調整や出力制御、更にはナトリウム硫黄電池など新しい電力貯蔵技術など、需要側では、深夜時間帯の割引料金、系統事故時の契約に基づく負荷遮断など、様々な方法を組み合わせ対応している。実際の運用にあたっては、需要予測に基づき年間から当日までのきめ細かい需給計画を策定し、需給調整、周波数制御などを火力・水力を主体とす

る系統側の電源の調整能力を活用してきた。海外では、契約に基づき一般家庭を含めて、周波数などの状態による自動遮断、電力会社からの信号による遠隔遮断、調整なども行われている。

今後、PVの導入普及に伴う発電量の変動の拡大に対応する需給調整方法としては、火力、揚水、水力などの既設発電所の調整力の最大活用、新たな電力貯蔵設備の活用、3.3で述べる需要の能動化などが対策として考えられる。

3.3 PVの発電特性の把握と発電予測

PVの導入段階に応じて正確な発電特性を用いてその導入の影響を正確に把握して初めて、対策の必要量や時期を評価することができる。このためには、今後、時刻同期のとれた10秒あるいは1分などの周期で、電力システム全体の多数地点の日射あるいは発電電力データを収集、解析し、ならし効果を含めたPVの発電特性を正確に把握することが必要である。これにより、系統の周波数変動を含め、電力システムへの影響を明らかにすることができる。

運用上実際に発生する最過酷なケースの検討には、統計的手法の適用や、実データあるいは模擬データに基づく時系列解析によりデータの蓄積不足を補う検討が必要である。更に、まれな気象条件によって発生する大きな出力変動の解析・評価には、上記で述べた多数地点の短い周期のデータを10年など長い期間蓄積することが必要と考えられる。

更に、実際の需給運用に向けては、系統電源に加え新たに設置される電力貯蔵装置などの調整機能を有効に活用するために、より正確な発電予測が不可欠であり、PVの発電予測に適した天気予報のための技術、これと連動したPVの発電予測システムが必要となる。

3.4 電力システム計画の視点

将来のPVの導入に向けた電力システムの対応は、個別の対策に影響の発生に応じて行うのではなく、電力システム全体の需給構造の変化への対応ととらえ、長期の電力需給計画に基づく電力システム形成の一環として実施することが望ましい。このためには、電力システムの需給計画、運用計画における課題抽出、対策評価、経済性、信頼性の評価など、図5に示すようなPVなど再生可能エネルギー発電の変動特性の取扱いを含めた各種の電力システム解析・評価手法を、確立することが必要となる。

4. 新しい電力システムの可能性

4.1 住宅需要の能動化と分散エネルギー貯蔵

これまでに述べたように、PVや風力発電などの導入

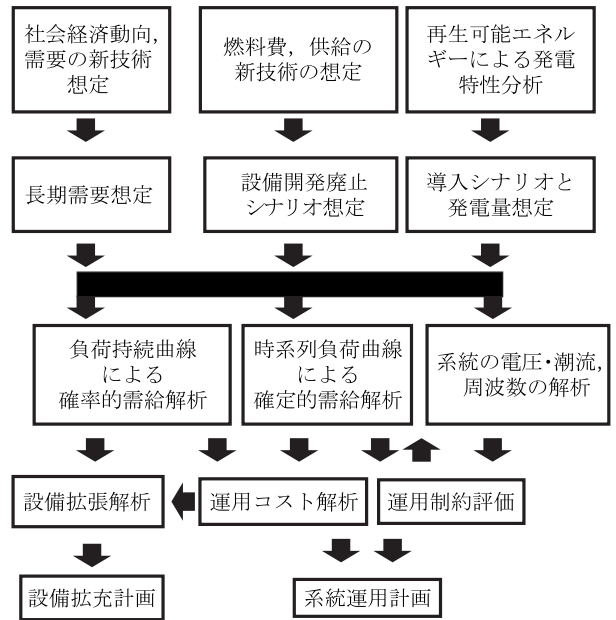


図5 PVなど再生可能エネルギーの導入を含む長期電力需給計画の流れ

に伴う究極の課題は、その発電量が規則的、不規則に変動することにより電力システムの需給バランスに影響を与えることである。PVや風力発電などの導入量が増えると、発電量の変動の影響が大きくなると同時に、「供給側」では系統側の発電量が減少することで、これらの系統側の調整容量が減少し、対策設備費や運用費も増大する。これに対し、「需要側」では、現在行われている深夜時間帯の割引料金、系統事故時の契約に基づく負荷遮断、あるいは（海外では行われている）家庭の需要機器の直接制御などをより積極的に行い、需要を能動化しようという考え方がある。

家庭や業務ビルなどにおいて、建物の一般の空調、躯体蓄熱を利用した空調、冷蔵庫や洗濯機など適時性の要求が低い需要は、一定の電力需要シフトの可能性を持つ。また、現在導入が進んでいるヒートポンプ給湯システムは、貯湯槽を活用することで温水を作るための電気の使用時間をかなり自由に選択できる。また、今後導入普及が想定されるプラグインハイブリッド／電気自動車などは、充電時間を調整できる（G2Vと呼ぶ）ほか、貯蔵した電気を系統側に戻す（V2Gと呼ぶ）ことができる可能性もあり、更に、定置用の二次電池の普及の可能性もある。また、PV、燃料電池コジェネなどの分散電源の普及なども進んだ段階では、需要側の需給調整能力は飛躍的に向上し、「需要の能動化」が可能になると考えられる。

4.2 分散エネルギーマネジメントとスマートグリッド

住宅など建物における電力需給を能動化し、電力システム全体の需給との協調運転を実現するためには、建物単位での各機器の運転を総合的に管理する分散エネ

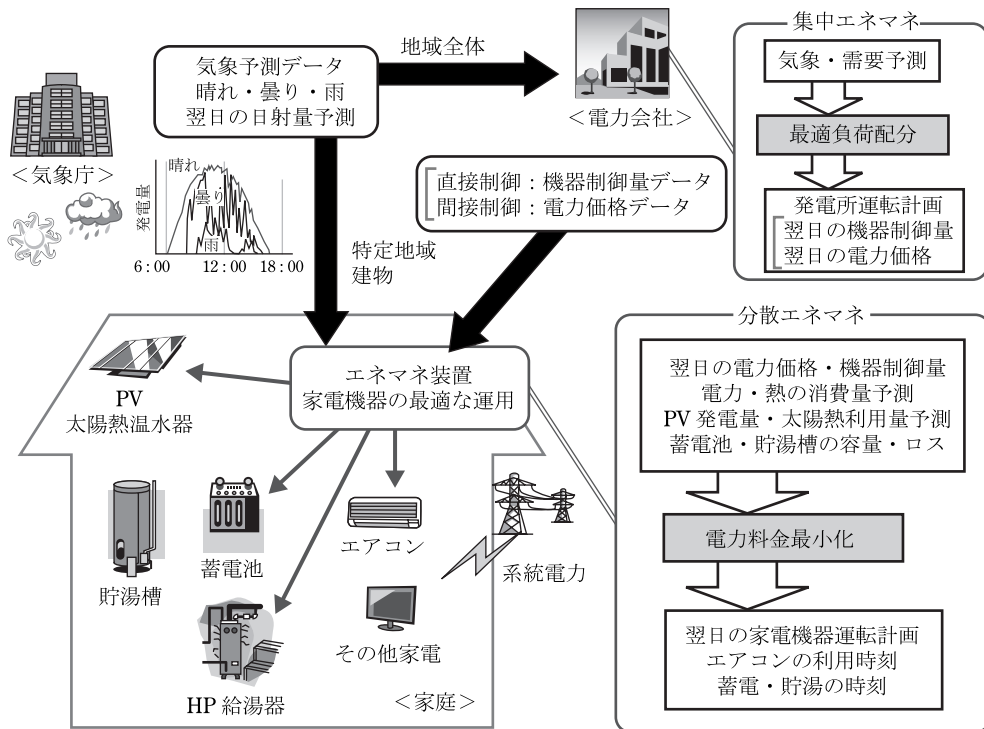


図6 集中/分散のエネルギー管理の連携によるPVを含む電力需給運用システム (出展: 東京大学エネルギー工学連携研究センター 荻本研究室, 岩船研究室)

ギー管理技術が必要となる。既に、住宅や業務用建物施設などの建物単位のエネルギー管理 (HEMS/BEMS) が、電気の使用の見える化を中心に利用されている。今後は、建物において電力などの本来の使用目的である温度、湿度、明るさなどの快適性の管理、省エネルギー/コスト低減に加え、電力システムとの協調という三つの機能を有した総合的な制御・管理を実現できる分散エネルギー管理技術の確立が期待される⁽³⁾。図6に、集中/分散エネルギー管理、建物内の分散エネルギー管理とこれから機器への情報通信網の融合など、既存/新規の技術、インフラの拡充による、需要の能動化を含めた新たな電力需給の考え方の例を示す。これらの実現には、これまで述べた太陽光発電システムのインバータ制御、発電特性分析・発電予測に加え、直接・間接制御のための情報通信技術、分散エネルギー管理と対応機器の開発、それらを結ぶ情報通信技術を含め、広範な技術開発そして標準化が必要となる。なお、分散エネルギー管理については、新電力供給システム、エネルギー管理などとして、エネルギー技術戦略2009 (資源エネルギー庁) に方向性が述べられている。また、再生可能エネルギー発電の大規模導入時の出力変動の調整の必要性を背景とした、電力システムの総合的な近代化としての「スマートグリッド」も、双方向の情報通信、制度整備と組み合わせた直接/間接の機器制御の手段として、需要の能動化、集中/分散のエネルギー管理を重要な要素として含んでいる。

5. 終わりに

今後、PVが日本の電力供給の一翼を担うためには、多数地点のPVの総合的発電特性の把握、集中分散のエネルギー管理の導入を含む高度な需給運用システムなどの技術開発と導入が必要である。更に、様々な導入普及のニーズに対応できる製品開発、技術を最大活用することのできる諸制度の整備など、よりすそ野の広い、より将来を見通した施策、展開が重要であり、これらにより太陽光発電導入・普及の目標を達成する条件が整うことが期待される。

文 献

- (1) 資源エネルギー庁 (編), 長期エネルギー需給見通し (再計算), Aug. 2009.
- (2) 荻本和彦, 大関 崇, 植田 譲, “ならし効果を含めた太陽光発電導入を含む電力需給解析手法,” 電学B部門大会, no.126, pp.23-24, Aug. 2009.
- (3) 池上貴志, 片岡和人, 岩船由美子, 荻本和彦, “電力料金設定による家庭内電気機器の最適運用計画,” 第26回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, no.13-4, 2010.

(平成21年10月16日受付 平成21年11月7日最終受付)



おぎもと かずひこ
荻本 和彦

東大生産技術研究所特任教授。1979 東大・工・電気電子卒。電源開発株式会社にて、交直変換所、水力発電所運転保守、国内外の電力システム計画・解析、技術開発、国内電力需給分析、送電線計画・設計などに携り、2007 から現職。専門分野はエネルギーインテグレーション。研究テーマはエネルギー需給、電力需給、集中分散のエネルギー管理など。