

太陽光発電システムの出力変動抑制技術

Output Power Fluctuation Suppression Technology for Photovoltaic Power Generation Systems

奥田 靖男 木村 操

■ OKUDA Yasuo ■ KIMURA Misao

二酸化炭素 (CO₂) 排出量削減の対策として太陽光発電の普及が進められており、わが国では2020年に、2005年の20倍もの大量導入が計画されている。しかし、太陽光などの再生可能なエネルギーを使った発電は、天候の影響を受けて出力が大きく変動するため、今後、電力系統に大量に連系されると、系統周波数の維持などに問題が発生することが予想されている。

今回、東芝は、太陽光発電システムの出力変動を抑制する蓄電池を用いたプロトタイプを開発し、その性能を検証して抑制効果を確認することができた。今後、更に性能改善を進めることで、電力系統に優しい太陽光発電システムの製品化のめどが立った。

Photovoltaic (PV) power generation is expected to play a significant role in reducing carbon dioxide (CO₂) emissions. Japan has set a target of increasing the introduction of PV power generation systems to 20 times the installed capacity by 2020 compared with the level in 2005. However, as renewable energy sources such as PV power are affected by weather conditions, their output tends to be unstable. The large-scale connection of PV power generation systems to the power grid will therefore make it difficult to maintain frequency control of power grid lines.

Toshiba has developed prototype suppression equipment to control output power fluctuations through the use of rechargeable batteries, and verified the performance of the system for practical application. We are continuing our efforts to further improve the performance of this system, and incorporate it into PV power generation systems.

1 まえがき

近年、環境負荷物質を排出することがないクリーンなエネルギーとして、太陽光や風力など再生可能なエネルギーによる発電の導入と拡大が世界中で活発化している。一方で、これら再生可能エネルギーを使った発電は、天候の影響を受けて出力が大きく変動することから、電力系統へ大量に連系した場合、電力品質の低下が懸念されている。この問題への対策として、再生可能エネルギーの出力変動を蓄電池を用いて平滑化する技術が有望視されている。

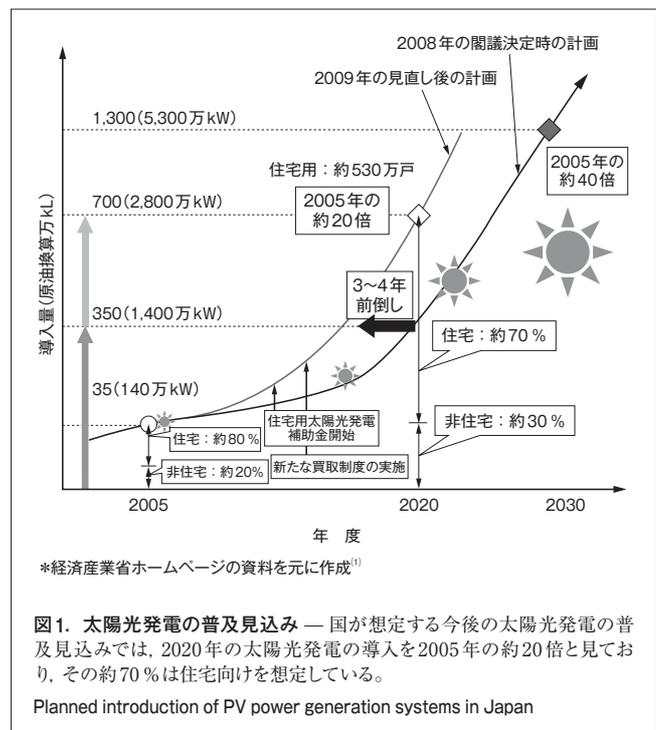
風力発電の一部では、蓄電池、風車のピッチ制御、及びストール制御などで変動を抑制する技術が導入されている。しかし太陽光発電は、風力によるそれに比べて出力変動が急激であるということ、及び電力系統全域に広範囲に設置されるという点で異なる課題を抱えている。

ここでは、太陽光発電の普及見込み及びその影響と、普及のための出力変動抑制技術、今回東芝が開発した出力変動抑制装置のプロトタイプによる検証結果について述べる。

2 太陽光発電の普及見込みと大量導入による電力系統への影響

2.1 国内における太陽光発電の普及見込み⁽¹⁾

太陽光発電については、2005年度の国内実績で約140万kW



のシステムが導入されているが、2008年に閣議決定された「低炭素社会づくり行動計画」では、2020年度にその10倍程度の約1,400万kW、2030年度には40倍程度の約5,300万kWが目標として掲げられた(図1)。

更に、2009年の経済対策閣僚会議の合同会議が公表した「経済危機対策」では、国として2020年ごろに20倍程度の約2,800万kWの導入を目指すよう目標が倍増された。

この目標は、補助金や優遇税制など導入支援の拡充や、太陽光発電の余剰電力に関する新たな買取制度創設などの支援策により達成することを目指している。

2.2 太陽光発電の大量導入による電力系統への影響

国の掲げる目標どおりに太陽光発電が大量導入されると、電力系統に次のような影響が出る懸念されている。

- (1) 配電系統の電圧上昇
- (2) 余剰電力の発生
- (3) 出力の急激な変動に伴う周波数調整力の不足

(1)は、太陽光発電の大量導入により、配電系統に電力が逆流した場合に配電系統の電圧が上昇し、その電圧管理範囲を逸脱する問題である。

(2)は、電力会社の発電に太陽光発電を加えた合計発電量が電力需要を上回り、ゴールデンウィークや正月など電力消費が少ない時期に余剰電力が発生する問題である。

(3)は、太陽光発電システムの出力が天候の変化により大きく変動し、現時点ではその出力データや分析などについて十分な蓄積や知見が得られていないため、太陽光発電システムの出力変動を予想することが困難であることに起因して周波数調整力が不足する問題である。図2に示すように、太陽光

電の導入量が拡大すると、その出力変動に対して電力系統の供給エリアごとに確保されている調整力であるLFC (Load Frequency Control) 容量^(注1)が不足するおそれがあり、周波数が適正値を逸脱するなど、電力の安定供給に問題が生ずる懸念がある⁽²⁾。

太陽光発電が大量に導入されることで電力系統の運用に影響すると懸念されるこれらの問題は、一般に「2020年問題」と言われている。

この対策としては、揚水発電の可変速化を含めその新・増設、電力系統あるいは太陽光発電システムへの蓄電池の設置、及び設置した蓄電池と火力・水力発電所との協調制御技術などが今後は必要になるものと思われる。

3 太陽光発電システムの出力変動抑制技術

急激な太陽光発電システムの出力変動が、電力系統に悪影響を及ぼさないようにするための対策として、蓄電池を用いて変動を吸収する技術が有望視されている。

3.1 変動抑制に適した蓄電池の種類

太陽光発電システムの出力変動抑制に使用可能な蓄電池の種類と特徴をまとめて表1に示す。

これらのうち、充電と放電を1日の間に多数繰り返すような短周期の変動抑制の場合は、システム効率が高く、長寿命で、蓄電容量が大きくとれる電池が適しており、電気二重層キャパ

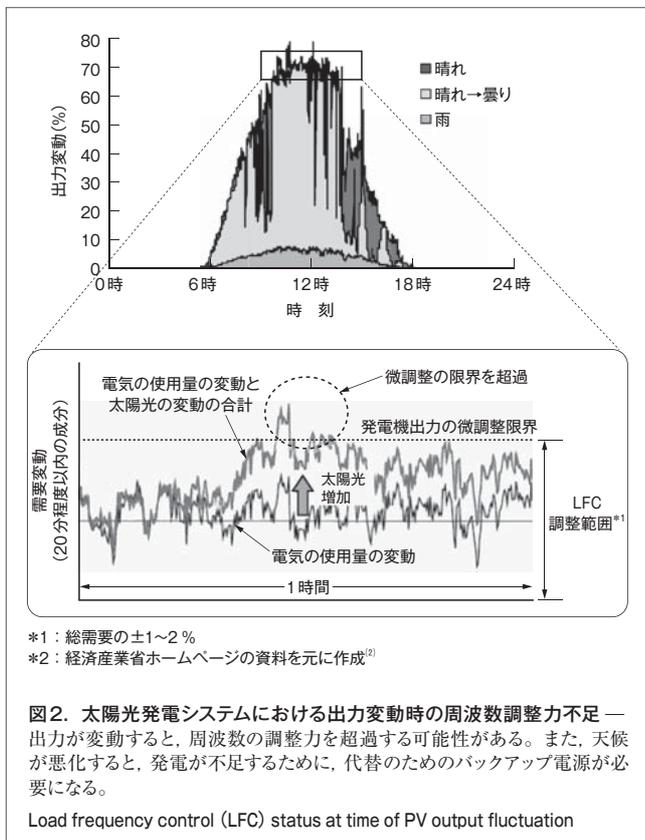


表1. 太陽光発電システム用蓄電池の種類と特徴

Characteristics of batteries for PV power generation system

項目	特徴				
	リチウムイオン電池	ニッケル水素電池	電気二重層キャパシタ	NAS電池	鉛電池
システム効率	○	◎	◎	○ (冷却対応要)	○ (設置面積大)
高エネルギー密度化	◎	◎	△ (単位量小)	○	△
長寿命	◎	○	◎	◎	○
コスト	○ (量産化で下がる見込み)	◎	○	◎	◎
充電レベル監視	◎	△	◎	○ (満充電リセットで対応)	△
セルバランス維持	○ (バランス回路要)	△	◎	◎	△
現時点での容量	数十kWh	数百Wh	数十kWh	MWh級	MWh級

◎適している ○適用できる △課題あり
NAS: ナトリウム硫黄

*新エネルギー・産業技術総合開発機構「系統連携円滑化蓄電システム技術開発に関する調査」⁽³⁾を元に作成

(注1) 電力需要の小刻みな変動(20分程度以内)に対しては、中央給電指令所が火力や水力などの発電力を自動的に微調整し、周波数を維持する機能。

シタとリチウムイオン電池、次いでニッケル水素電池がその候補となる。

3.2 変動抑制の制御方法

太陽光発電システムの出力は、時々刻々と変化する日射量(雲の大きさ、厚さ、及び通過速度に影響される)や太陽光パネルの温度変化により、常に変動している。この出力を一定に保つことができれば周波数への影響は少なくなるが、すべての出力変動を吸収するためには大容量の蓄電池が必要になる(図3)。

そこで、変動する出力を“急激な出力変動”と“緩慢な出力変動”に分けて、緩慢な出力変動については、需要変動分に対して従来から実施している電力系統安定化で対応する。電力系統で吸収が困難な急激な出力変動だけを蓄電池で吸収させることができれば、出力変動の抑制と蓄電池容量の最小化とともに満足させることができる(図4)。

出力変動を抑制する制御目標値の作成方法として、フィルタなどでも用いられる移動平均法を使用する。移動平均法は、過去の一定期間における発電電力値の平均値を順次計算する方法である。

移動平均法による制御目標値を用いた制御ブロック図を図5に示す。発電電力の移動平均値(5分)と発電電力との

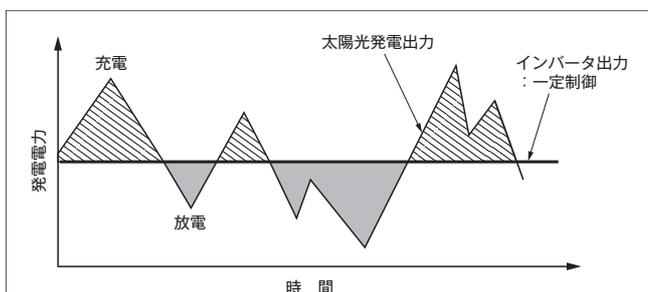


図3. 太陽光発電システムの出力一定制御 — 出力を一定にするには、余剰分と不足分を蓄電池でカバーする必要がある。

Control of PV output

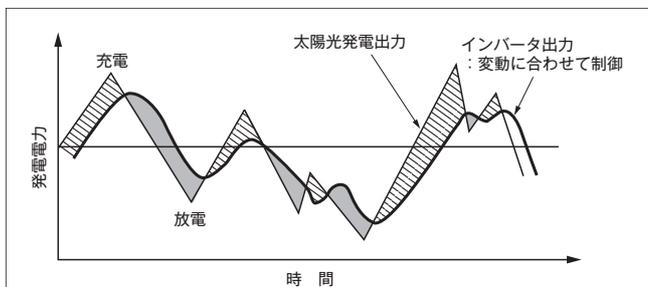


図4. 太陽光発電システムの出力変動抑制制御 — 出力変動分だけを抑制する場合は、制御量に対する余剰分と不足分だけを蓄電池でカバーすればよくなる。

Output fluctuation control for PV power generation system

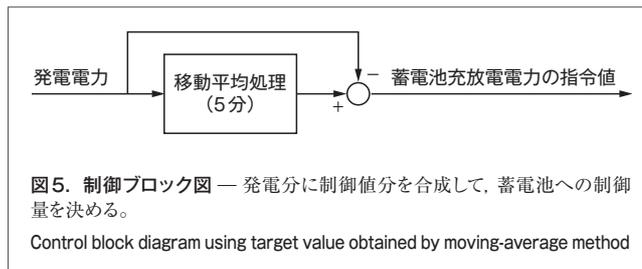


図5. 制御ブロック図 — 発電分に制御値分を合成して、蓄電池への制御量を定める。

Control block diagram using target value obtained by moving-average method

差分(移動平均値-発電電力)を蓄電池の充放電電力とする考え方であり、移動平均値を変動抑制後発電電力の目標値とし、過不足を蓄電池の充放電で補うように1秒周期で制御する。

ここで、移動平均を取る時間幅を短くすると、制御値は太陽光発電システムの出力変動に近くなることから蓄電池の充放電量は少なくなり、電池容量の低減が図れるものの抑制制御量は制約を受けることになる。

1分、5分、及び10分の移動平均値での抑制効果を図6に示す。図から、5分以上の移動平均値であれば抑制効果が得られることがわかる。

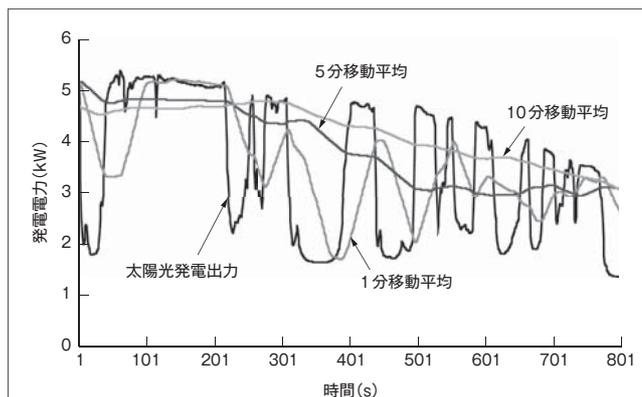


図6. 平滑化効果 — 太陽光発電システムの出力変動に対して、移動平均法により平滑化されることが確認でき、5分移動平均以上で効果が得られることがわかる。

Effect of smoothing

4 太陽光発電システムの出力変動抑制装置と性能検証

当社は、出力変動を抑制する蓄電池に、安全性が高く、6,000回を超えるサイクル寿命、急速充電性能、及び高出力性能を特長とする当社製二次電池 SCiB™ (リチウムイオン電池) を適用したプロトタイプを作製し、太陽光発電システムの出力変動抑制性能について検証した。

4.1 出力変動抑制装置(プロトタイプ)の仕様

プロトタイプは、蓄電池の交直変換装置であるパワーコンディショナ(PCS: Power Conditioning System)と蓄電池盤で構成されている。それぞれの仕様を表2と表3に示す。

表2. SCiB™用PCSの仕様

Specifications of power conditioning system (PCS) for SCiB™ battery

項目	仕様
容量	5.6 kW
電圧	単相3線 交流 202 V
最大電流	各相 33.0 A
変換方法	電圧型電流制御方式
スイッチング方式	正弦波PWM方式
PCS盤サイズ	約700(幅)×600(奥行き)×1,400(高さ) mm

PWM : Pulse Width Modulation

表3. SCiB™用蓄電池盤の仕様

Specifications of SCiB™ battery

項目	仕様
電池セル構成	4 Ahセル 90直列2並列
公称電圧	直流 216 V
公称容量	8 Ah
蓄電池盤サイズ	約500(幅)×900(奥行き)×700(高さ) mm

4.2 性能検証システムの構成

性能検証システムの構成を図7に示す。検証は、6.6 kWの太陽光発電システムにプロトタイプを併設し、監視制御システムで太陽光発電システムの出力を取り込んで、出力変動抑制のための制御量を決定し、プロトタイプの蓄電池盤の充放電を制御する方式で行った。

4.3 性能検証結果

性能検証結果の一例を図8に示す。破線で囲んだ10:40

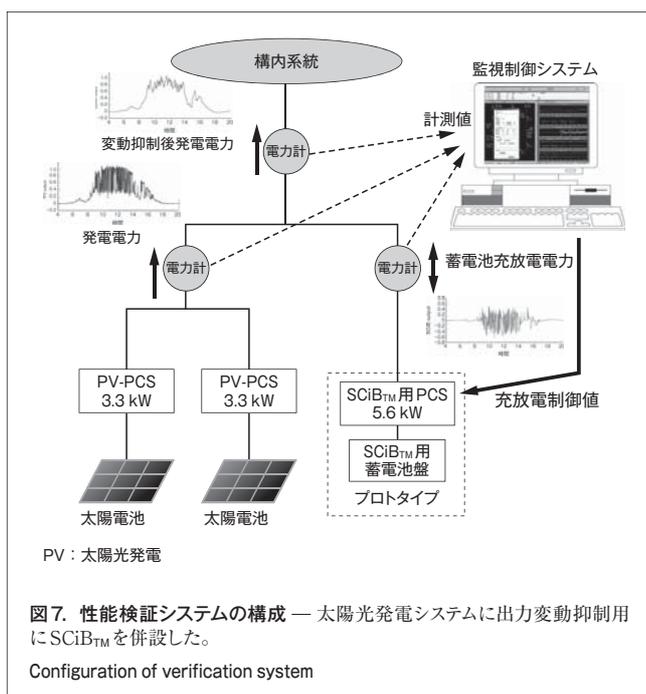


図7. 性能検証システムの構成 — 太陽光発電システムに出力変動抑制用にSCiB™を併設した。

Configuration of verification system

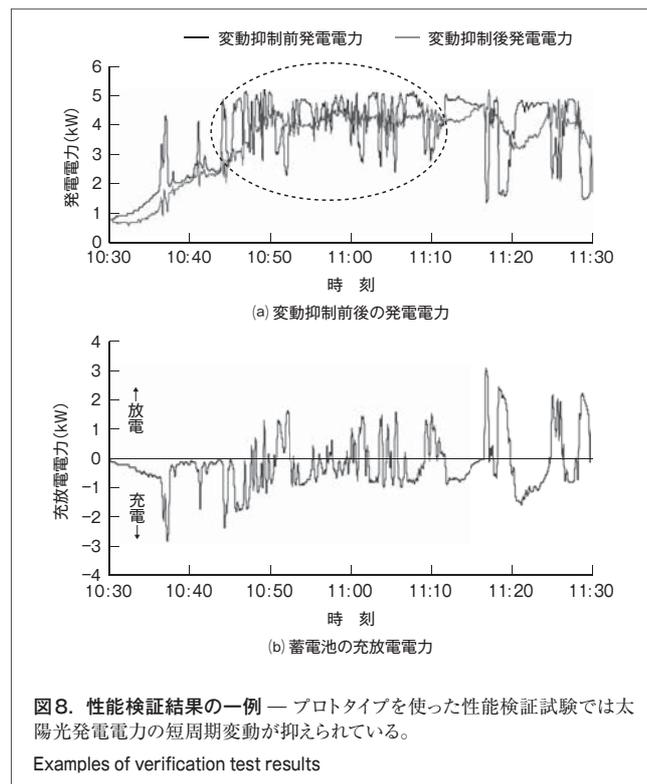


図8. 性能検証結果の一例 — プロトタイプを使った性能検証試験では太陽光発電電力の短周期変動が抑えられている。

Examples of verification test results

から11:10付近の発電電力には十数秒から数分の短周期の出力変動が見られる。この変動を補うように短周期で蓄電池を充放電し変動を抑制した結果では、短周期の発電電力変動が小さくなっている。

発電電力の計測値から変動成分を計算により取り除いた発電電力の推移を図9に示す。図8での変動抑制後の発電電力変化はほぼ同じ結果となっており、実際の装置でも想定どおり制御できていることがわかる。

変動抑制の効果を評価するため、高速フーリエ変換を使って図8(a)の変動抑制前後の周波数成分を求め、20～30秒、20～60秒、20～120秒、及び20～300秒の各周期の範囲ご

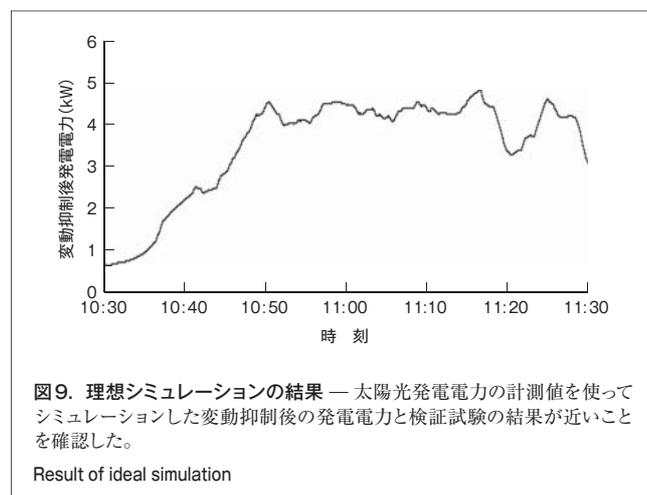
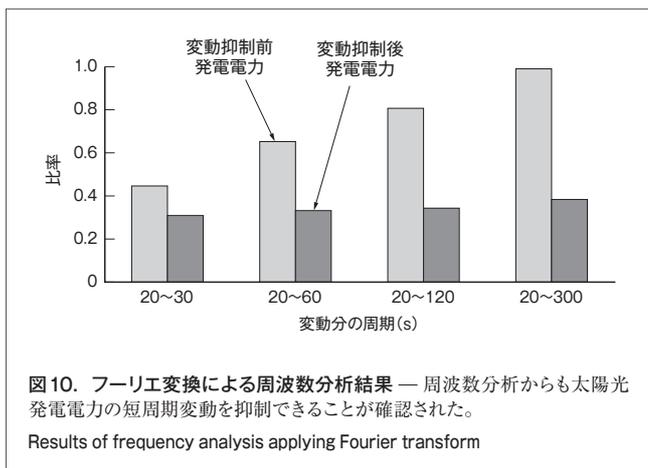


図9. 理想シミュレーションの結果 — 太陽光発電電力の計測値を使ってシミュレーションした変動抑制後の発電電力と検証試験の結果が近いことを確認した。

Result of ideal simulation



とに変動分の大きさの平均値を計算したものが図10である。ここで、各数値は変動抑制前発電電力の20～300秒周期の平均値を1として正規化している。図10から、20～30秒周期より20～60秒周期、更に20～120秒周期と長周期の変動が含まれるほど変動抑制前発電電力は大きく増加しているのに対し、変動抑制後発電電力はあまり増加していないことがわかる。更に、変動抑制制御によって20～300秒周期の変動分が40%に抑えられていることがわかる。

以上のように、実際の太陽光発電システムと二次電池を使った性能検証試験で、太陽光発電の短周期変動を抑制できることが確認できた。

5 あとがき

太陽光発電は、エネルギー・環境問題の有効な解決策として、導入にますます拍車がかかることが予想される。しかし、自然エネルギーを利用するために不安定な電源であり、それが電力系統に連系されると、系統運用に影響を与えるおそれがある。

この問題への対応策として、今回、当社のSCiB™を蓄電池として適用して、太陽光発電システムの出力変動抑制技術について性能検証を行い、その実用性を確認することができた。

今後、当社が持つ電力系統制御技術を生かして、電力系統に優しい電源となる太陽光発電システムを開発していく。

文献

- (1) 経済産業省. “長期エネルギー需給見通し(再計算)について”. 経済産業省ホームページ. <<http://www.meti.go.jp/report/data/g90902aj.html>>. (参照2010-07-09).
- (2) 経済産業省. “低炭素電力供給システムに関する研究会(第2回)一配布資料”. 経済産業省ホームページ. <<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/data/g80808aj.html>>. (参照2010-07-09).
- (3) 新エネルギー・産業技術総合開発機構. 系統連系円滑化蓄電システム技術開発に関する調査. 2006-07, 169p.



奥田 靖男 OKUDA Yasuo

電力流通・産業システム社 太陽光発電システム事業推進統括部 太陽光発電システム技術部参事。太陽光発電システムのエンジニアリング業務に従事。

Photovoltaic Systems Div.



木村 操 KIMURA Misao

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 電力ソリューション・配電システム開発部主務。電力系統解析及び系統安定化システムの開発に従事。電気学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center