

Technology Reports

環境および耐災害に対応したグリーン基地局における 天気予報連動制御とその実証

近年、環境貢献や災害対策として、ソーラーパネルやリチウムイオン電池などの環境機器を適用したグリーン基地局が本格展開されてきている。本稿では、グリーン基地局の機能向上の一環として開発し、相反する環境貢献と災害対策を両立する「天気予報連動制御」について解説する。本技術では天気予報の情報を基にしたリチウムイオン電池制御を実現しており、商用電力削減効果を向上させるとともに、停電時のサービス時間のさらなる延長を可能としている。

先進技術研究所
 なかむら まさき きむら かずあき
 中村 祐喜 木村 和明
 たけの かずひこ
 竹野 和彦

1. まえがき

近年、災害時などの停電に備えて、無線通信用の電力バックアップ強化などの重要性が増している。無線基地局では、電力系統の停電時のバックアップ用に蓄電池を備えているが、これを従来の鉛蓄電池からリチウムイオン電池（LiB：Lithium-ion Battery）へ変更して電池の満充電容量を増大することによる強化が考えられている[1] [2]。

一方、環境貢献として自然エネルギーへの移行についても検討が進んできている。特に、太陽光発電の導入が最も注目されている。これは電力需要の高い日中の時間帯に発電できるため、商用電力需要のピーク時の需要量削減にもつながる。今後は無線基地局にも太陽光発電などの自

然エネルギーを導入し、それらと蓄電池を有効利用して環境負荷低減に貢献できる「グリーン基地局」が効果的であると言われている[3]。

ドコモは、グリーン基地局の有効性と信頼性を立証するため、現在までに関東甲信越地方にフィールド試験局として10局を設置済みであり、その実績から、全国に商用局としてのグリーン基地局を44局設置し、試験局と合わせ全都道府県での運用を開始している。

グリーン基地局は昼間に発電した余剰電力を効率的に蓄電するパワーシフト制御を備えることで、自家発電率*1の向上を実現している[6]。しかしながらソーラーパネルの発電電力は天候により発電不足や発電余剰状態が発生するため、余剰電力を損失することなく蓄電するためには、

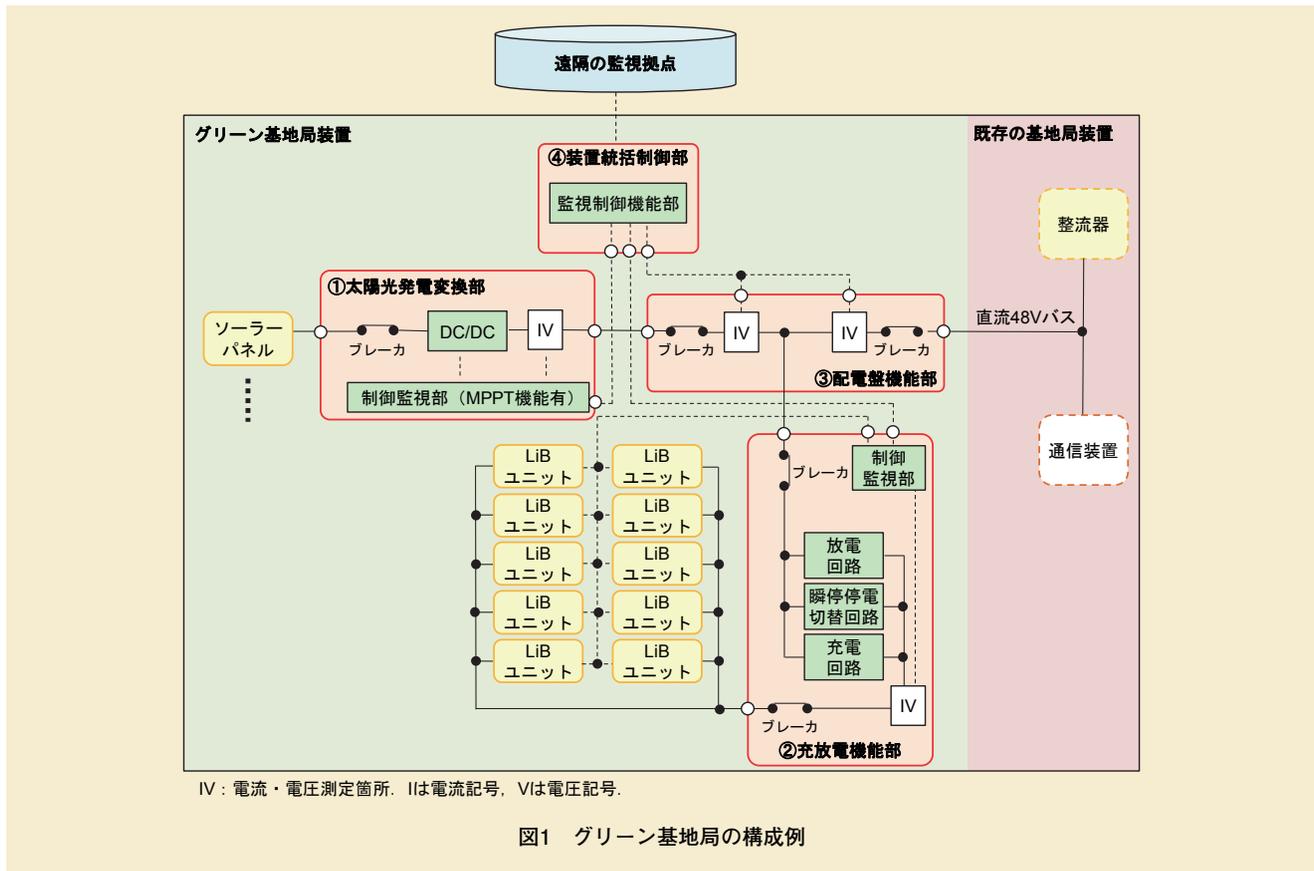
LiBの容量を増やすか、あらかじめ充電率（SOC：State Of Charge）を十分低く保つ必要がある。一方、災害対策の観点からは、停電など非常時の電源確保のためなるべくSOCを高く保つ方が望ましい。ただしLiBの容量を増やすにはコストや設置スペースの制限があることから、SOCを低く保つことが実効的には必要となり、そのため環境貢献と災害対策が両立できない課題があった。そこでドコモはこれを解決する技術として天気予報連動制御を開発した。本稿では、グリーン基地局の構成と本技術の概要を解説し、フィールド試験局にて実施した試験の結果を報告する。

2. グリーン基地局の構成

グリーン基地局の構成例を図1に

©2016 NTT DOCOMO, INC.
 本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

*1 自家発電率：発電電力により賄えた消費電力の割合。



示す。従来の無線基地局の電源設備である整流器*2に加え、鉛蓄電池の代わりにLiBを導入し、停電時にも発電電力を活用できるようにソーラーパネルを直流48Vバス*3（以下、直流バス）に並列に接続する。グリーン基地局はこれら3つの電源を高効率に制御する電源制御部を備えることで、自然エネルギーの有効活用や電力需要のピーク時への対応を実現する。

電源制御部は①太陽光発電変換部、②充放電機能部、③配電盤機能部と④装置統括制御部から構成される。

①太陽光発電変換部は最大電力点追従制御（MPPT：Maximum Power Point Tracking）*4機能

を備えており、最大発電効率で発電させる[4] [5]。また、DC/DC（Direct Current-to-Direct Current）変換後の出力電圧を整流器やLiBの電圧より高く設定することで、通信装置へ太陽光発電の電力を優先して供給する。

②充放電機能部は充放電用の回路をそれぞれ備えており、制御監視部の指令により、それぞれ所定の充放電量で動作する。瞬停停電切替回路は、直流バスの電圧低下を検出する回路を備えており、停電時に瞬断なく蓄電池から供給する。

③配電盤機能部は直流バスとの連結部であり、非常時に各装置を

直流バスから切り離す。

④装置統括制御部では、電流・電圧測定箇所であるIV部で測定した発電量や電池ユニット情報など各種測定情報を一元管理し、遠隔の拠点に通知する監視機能と、遠隔からの制御指令に応答する機能を備えている。

3. 天気予報連動制御の概要

天気予報連動制御の概要を図2に示す。天気予報連動制御は通常時の日照制御モードと停電時の自立・復活運転モードの2つを備えている。

・日照制御モードでは、天気予報の情報を基に蓄電池のSOCを

*2 整流器：交流の商用電力を直流の通信装置向け電力に変換する装置。

*3 直流48Vバス：整流器から通信装置間の電力線。無線基地局では直流48Vの電圧が使用される。

*4 最大電力点追従制御（MPPT）：ソーラーパ

ネルの電圧制御により発電電力を最大化する制御。

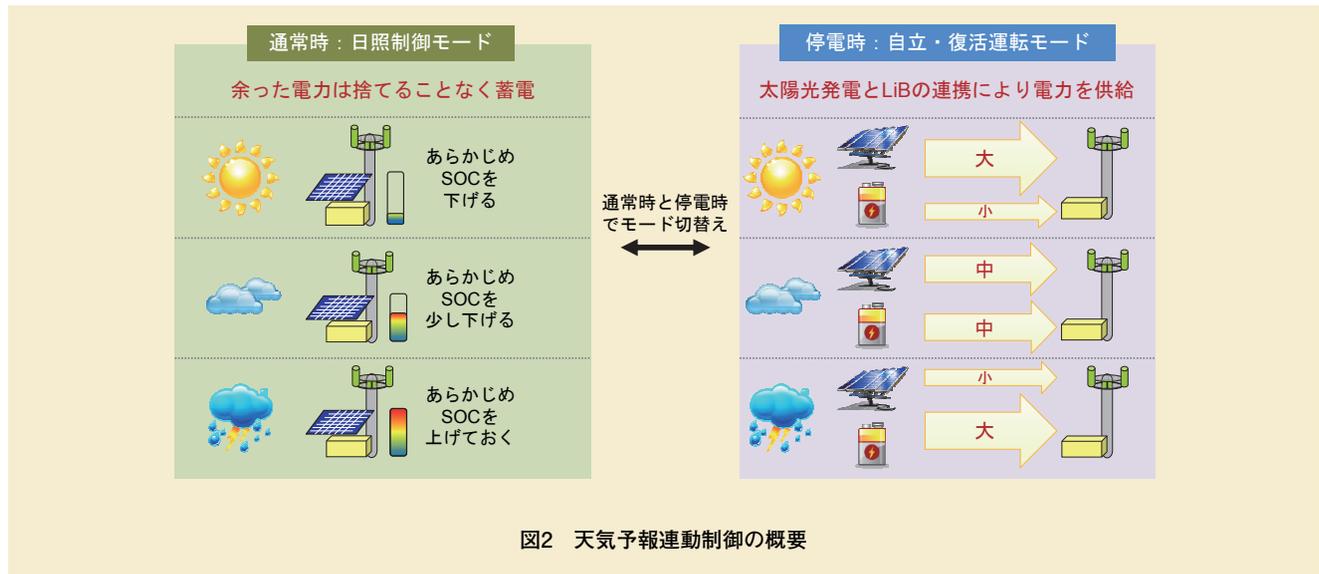


図2 天気予報連動制御の概要

柔軟に変更して、発電量を最大限活用する。ソーラーパネルの発電電力が天候に大きく依存することを利用して、例えば晴れが予報される際には、あらかじめ夜間などに放電して通信装置に電力を供給しSOCを下げておくことで、余剰電力を損失することなく日中に蓄電することを可能とする。

一方、停電時の自立・復活運転モードでは、蓄電池が太陽光発電の供給不足分を補い通信装置に電力を供給しつつ、太陽光発電の余剰電力が発生したときには瞬断なく充電動作に切り替わることで、停電時でも通常時と同様にして発電電力を最大限に活用する。

この2つのモードにより、環境貢献と災害対策を両立することが可能となる。具体的には、晴れが予報されSOCを下げたときに停電が発生

した場合でも、通常時と同様にソーラーパネルの発電電力を最大限活用することで、高いバックアップ効果が期待でき、LiBのバックアップ能力の低さを補うことができる。一方、雨が予報されSOCを上げたときに停電が発生した場合は、発電電力は期待できないが、LiBのバックアップ能力の高さでソーラーパネルのバックアップ能力の低さを補うことができる。

3.1 日照制御モード

(1) 概要

日照制御モードにおける天候別の動作イメージを図3に示す。天気予報情報からソーラーパネルの余剰電力量を推定して、余剰発電の開始時刻Tにその分を放電し終えることで、停電時のバックアップ分以外に十分な容量が確保できない電池であっても、従来廃棄していたソーラーパネルの発電電力を有効に活用しつつ、停電など非常時にも、自立・復活運

転モードに切り替わったソーラーパネルのバックアップ効果により、所定の時間通信サービスを継続することが可能となる。

(2) 日照制御モードの制御手法

次に日照制御モードの制御手法について述べる。

前日の天気予報情報をもとに、天候別SOC値（SOC晴、SOC曇、SOC雨）と放電開始時刻（ $t_{晴}$ 、 $t_{曇}$ ）を決定する。雨天時はソーラーパネルの余剰電力が期待できず、あらかじめ放電する必要がないことから、SOC雨は停電時の通信確保のために必要なバックアップ分として決定され、SOC晴は過去1カ月間で発生した最大の余剰電力が充電できるように決定され、SOC曇はSOC晴とSOC雨の平均値から決定される。余剰発電開始時刻Tは過去1カ月間の余剰発電開始時刻の実績から最も早い時刻に決定され、電池の満充電容量と負荷電力を用いて余剰発電開始時刻Tに天気予報に応じたSOCとなるよ

うに、放電開始時刻 t を求める。基地局の天気予報情報は t 晴以前に取得する。余剰発電開始時刻 T 以降はソーラーパネルの余剰電力を充電するように動作する。余剰電力が発生しない日没など夕方以降に設定される夕方放電開始時刻に到達すると、SOC雨（バックアップ分）になる

ように電池は放電を開始し、SOC雨到達後は待機状態となる。ただし、天気予報情報に災害のおそれがある場合には、災害に備え、電池を満充電状態にし、災害予報が解除されるまで同様の動作を続ける。また実際に災害が発生し停電状態となった場合は、電池から通信装置に対して電

力を供給し、停電状態が回復した後には、SOC雨になるまで電池を充電する。

3.2 自立・復活運転モード

(1) 概要

自立・復活運転モードの動作イメージを図4に示す。従来では、災

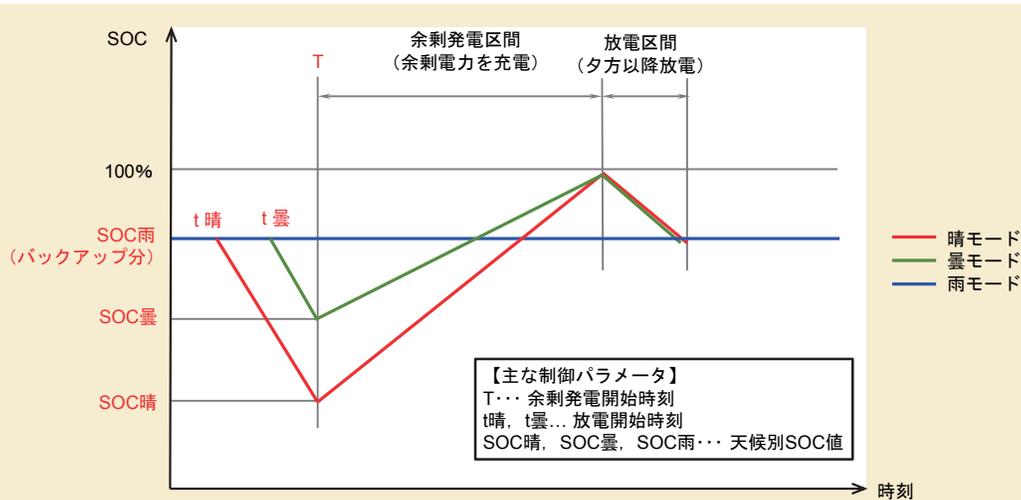


図3 日照制御モードの動作イメージ

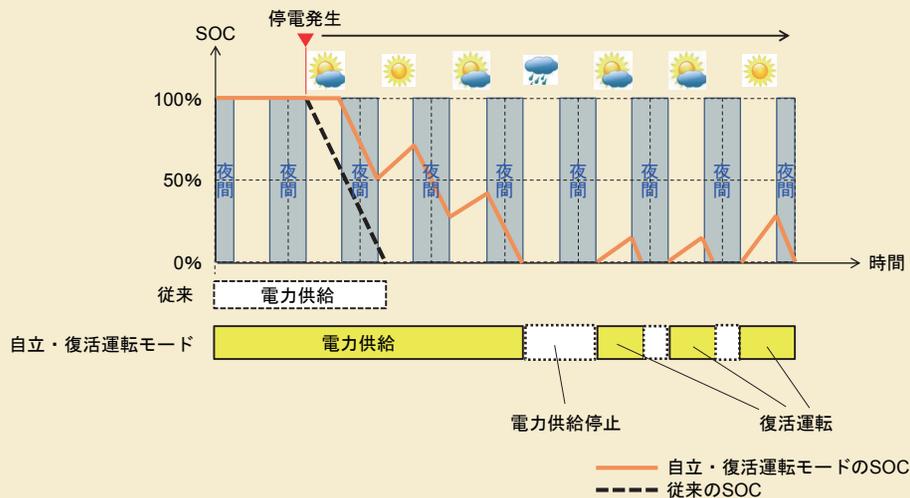


図4 自立・復活運転モードの動作イメージ

害など停電時には通信装置の負荷がおよそ一定であることからLiBのSOCが単調に減少し、電池残量が枯渇次第サービス断となる。一方、自立・復活運転モードでは、晴れの日の日中にはソーラーパネルの発電電力を通信装置に供給しつつ、余剰電力を充電することでサービス時間の延長が可能となる。また、LiBが枯渇してからも、同様の動作により復活運転が可能となる。

(2)自立・復活運転モードの制御手法

次に自立・復活運転モードの制御手法について述べる。

停電時に、太陽光発電の余剰電力を充電するにあたって、余剰電力以上の電力を充電することによる通信機器への供給電力の喪失を防ぐ必要がある。通常時では余剰電力以上の電力を蓄電池に充電する場合、超過分（通信機器への不足分）について整流器から通信機器に電力が供給されるが、停電状態にある自立・復活運転モードでは整流器からの電力供給は望めない。そのため自立・復活運転モードでは余剰電力以上の電力を充電しないように、余剰電力量の推定技術が求められる。

余剰電力量の推定には、発電電力と消費電力を把握する必要がある。発電電力の把握として日射量予測データを基に計算する技術があるが[7]、実際にはソーラーパネル上に発生する部分影の影響など局地的な日射量の変動があり、正確な推定は難しい。また、通信装置の消費電力も通信トラフィックに応じて若干変動があるため余剰電力量を正確に推

定することは困難である。

そこで自立・復活運転モードでは、山登り法^{*5}という局所探索法による余剰電力量の推定技術を適用している。具体的には、整流器の出力が0となり、余剰電力が発生しているときとみなせるときに充電量を微量増加させ、余剰電力が発生していないときに充電量を微量減少させる。これを小刻みに繰り返すことで余剰電力量を推定し、余剰電力のみ充電することが可能となる。また、晴れの日であっても雲など一時的な影による急激な発電量の低下が考えられるが、その際充放電機能部が通信装置への電力供給が途切れないよう充電状態から放電状態に切り替わり、次の余剰電力の充電に備えて充電量を最小値にリセットすることで対応している。

4. 実証試験

定格1.4kWの太陽光発電を備えるグリーン基地局を、群馬県にある無線基地局にフィールド試験局として設置した。フィールド試験局の通信装置の消費電力は約0.5kW程度である。試験中の電源システムの各種測定データや電池温度異常などのシステム警報は、通信回線を介して遠隔の監視拠点に送信されることとなっている。なお、試験期間中にシステム警報は発生せず、良好な動作を確認している。

4.1 日照制御モードの試験結果

日照制御モードの試験結果を図5に

示す。検証のために、容量3.75kWhのLiBを用いて2015年12月4日から2016年1月3日にかけて長期試験を実施し、グラフは結果を重ね合わせてある。図5(a)SOCの推移では、明け方の放電によるSOC減少の様子から、所定の3パターンのモード（晴、曇、雨）に応じた制御ができていることが分かる。また、図5(b)発電量の推移から、日中はおおむね通信装置の消費電力以上の発電を確認でき、余剰電力を有効に活用できた。試験結果から、同条件で従来のパワーソフト制御を実施したときと比較して約11%の自家発電率向上効果が期待できることを確認した。

4.2 自立・復活運転モードの試験結果

自立・復活運転モードの試験結果を図6に示す。検証のために、容量13.5kWhのLiBを用いてフィールド試験局の整流器の電源をオフにすることで停電状態を再現し、試験を行った。グラフはそれぞれ停電発生からの太陽光発電の発電状況（茶色の線）とLiBのSOC（緑色の線）の推移である。停電時にもLiBへの充電が確認され、これにより通信装置の消費電力以上の余剰電力を含む発電がなされたことが分かる。その結果同容量のLiBのみを非常用電源として使用したときと比較して、自立運転時間が約2.4倍になった。さらに、日中に蓄えた電力に応じて日没後もLiBからの電力供給により一定時間の無線基地局の運転を確認した。

*5 山登り法：関数の極値を探索するアルゴリズム。

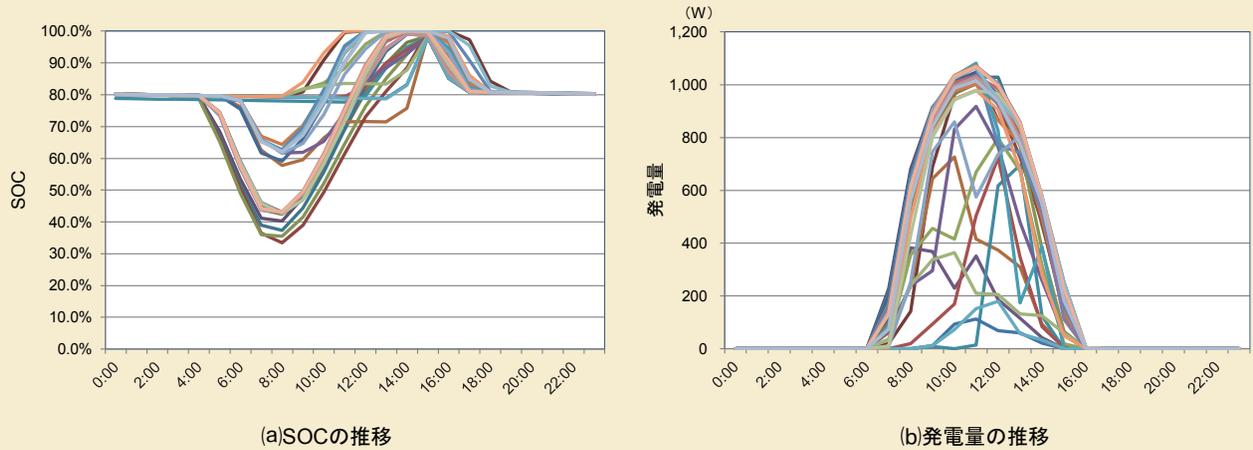


図5 日照制御モードの試験結果

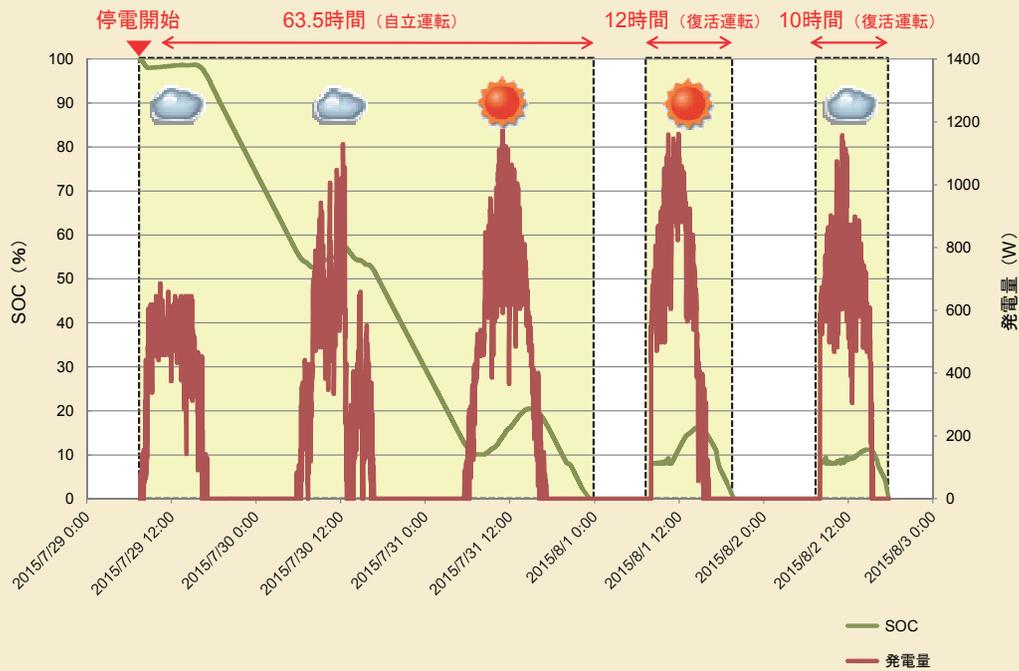


図6 自立・復活運転モードの試験結果

5. あとがき

本稿では、グリーン基地局において環境貢献と災害対策を両立する天気予報連動制御について解説した。

本制御技術の導入により、自家発電率向上がなされ商用電力使用量削減および停電時のサービス時間の延長効果が期待できる。今後は、制御・運転モードの細分化により、LiBの

バックアップ時間を底上げすることで、自家発電率を損なうことなく、停電時のサービス時間の延長効果をさらに高めていくとともに、グリーン基地局の拡大に合わせて、本技術

の導入を進める予定である。

文献

- [1] I. Suzuki, T. Shizuki and K. Nishiyama: "High power and long life lithium-ion battery for backup power sources," Proc. of INTELEC '03, pp.317-322, Yokohama, Oct. 2003.
- [2] 松島 敏雄: "通信用大容量リチウムイオン電池と直流給電システムの特性," 信学論 (B), Vol.J91-B, No.12, pp.1725-1734, Dec. 2008.
- [3] 竹野 和彦: "グリーン基地局の展開," 電気設備学会誌, Vol.34, No.2, pp.110-113, Sep. 2014.
- [4] G.J. Yu, Y.S. Jung, J.Y. Choi and G.S. Kim: "A novel two-mode MPPT control algorithm based on comparative study of existing algorithms," Proc. of Solar Energy, Vol.76, No.4, pp.455-463, 2004.
- [5] T. Tafticht, K. Agbossou, M.L. Doumbia and A. Cheriti: "An improved maximum power point tracking method for photovoltaic systems," Proc. of Renewable Energy, Vol.33, No.7, pp.1508-1516, Apr. 2008.
- [6] 中村 祐喜, 大友 康宏, 竹野 和彦: "グリーン基地局におけるパワーシフト制御の開発," 信学総合大会, B-9-12, Mar. 2015.
- [7] 鈴木 孝宣, 後藤 悠主, 寺園 隆宏, 若尾 真治, 大関 崇: "Just-In-Time Modelingに基づく日射量予測手法の開発," 電気学会論文誌B, Vol.131, No.11, pp.912-919, Nov. 2011.