

住宅用蓄電システムの太陽光発電組合わせ実証運用

Demonstrative Operation of Storage Battery Systems Combined with Photovoltaic Power Generation for Residential Houses

伊藤俊輔* Shunsuke Itou 正木克治* Katsuji Masaki 柳田定春* Sadaharu Yanagita 山田幸生* Sachio Yamada
中田健二* Kenji Nakada 小布施俊** Takashi Kofuse 原 享** Takashi Hara 傳馬寛一** Hirokazu Denma

CO₂の削減や環境負荷の低減などの要請が高まり、新エネルギー分野の研究開発が活発に行われている。中でも太陽光発電システムは現在既に普及段階にある。NEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）では、太陽光発電システムの大量普及に先駆け2002年12月より「集中連系型太陽光発電システム実証研究」を群馬県太田市の集合住宅地「バルタウン城西の杜」で実施した¹⁾。当社はこの実証研究において、蓄電池の充放電により太陽光発電システムの余剰電力を制御する系統連系用電力変換装置（以下、別置型PCS（Power Conditioning System；系統連系制御・保護機能を持つ電力変換装置））の開発・製作を担当した²⁾。

本実証研究にて、不安定な太陽光発電電力を充電するために必要な蓄電池の管理機能および住宅設置の安全性を確認した。また、実証研究において要求された余剰電力を制御する運転制御技術や遠隔制御・監視技術を確立し、実際の住宅地にて運用したデータを得ることが出来た。

Reduction of CO₂ and decrease of environment loads are now critical concerns globally, and research and development in this field of new energy has been very active. Particularly, solar power systems are already widespread used. NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization) executed "Demonstrative Research on Grid-Interconnection of Clustered Photovoltaic Power Generation Systems" for further popularization of solar power systems. We took charge of development and production of PCS (Power Conditioning System) which will control surplus electricity from solar power systems with the function of electrical charge and discharge of storage batteries.

In this experimental studies, it was confirmed necessary know-how and technology on battery management of charging from unstable photovoltaic power and its safety of installation at housing place. And we could build satisfied functions and technology of operation control of surplus electricity, remote control and monitoring by adopting technologies and data which were collected through the investigation and experience.

〔1〕 緒 言

太陽光発電システムは余剰となった電力を系統へ逆流（逆潮流）し、電力会社へ電力を売る事が出来る。しかし、集中連系^{*1)}時には逆潮流が足し合わされ、系統電圧を上昇させ正常な電圧の範囲（202V±20V, 101V±6V）を逸脱する恐れがある。現在は、この対策として系統電圧が上昇した時は太陽光発電システムの出力電力を抑制する方法がとられているため太陽光発電システムは、十分な日射があるにもかかわらず出力電力が抑制されることがあり、発電の稼働率が低下して太陽光のエネルギーを有効に活用できない面がある²⁾。また、集中連系状態では、ある家の太陽光発電システムにおいて出力抑制機能が動作して系統の電力を使用した場合、そ

の隣家は出力抑制せずに発電を継続する場合があります、片寄りが発生する。

実証研究では系統電圧上昇および太陽光発電システムの出力抑制を回避する方法として、太陽光発電システムの発電電力の余剰分を一時的に蓄電池に蓄えることで系統電圧の上昇を抑制し、夜間などに蓄えた電力を負荷へ供給する方法を採用した¹⁾。

当社は、上記機能を盛り込んだ太陽光発電システムの利用率向上を図る住宅設置用の蓄電装置として別置型PCSを製作し、実証試験地区に導入した²⁾。当社テクニカルレポート15号では、実証研究全体の概要および別置型PCSの試作開発段階の設計内容や評価試験を中心に報告した。本報では、別置

※1) 集中連系：太陽光発電システムが配電系統に局所集中的に連系されること。

*埼玉事業所 **産業リチウムイオン電池開発センタ

型PCSの動作についてより具体的に述べると共に、実証試験地区への導入にあたり行った蓄電池の保護機能の追加や単独運転検出機能の改良など、安全性を考慮した設計の内容や実際の運用データに基づく機能の検証結果について報告する。

〔2〕別置型PCS

2.1 システム構成

図1に別置型PCSを組み込んだ住宅1軒のシステム構成を示す。別置型PCSは市販PCSの交流側に接続し、既設太陽光発電システムの発電電力を別置型PCSにより充放電する構成とした。この構成では太陽光発電と蓄電池を直流で接続する方式に比較し効率は落ちるが、既設の任意の発電設備に後付け出来ることと、太陽光発電システムと蓄電池システムのいずれかが故障した場合でも、独立で動作可能な利点がある。

別置型PCSは受電点の電流センサと市販PCSとの出力合流点の電流センサにより、余剰電力および市販PCSの発電電力

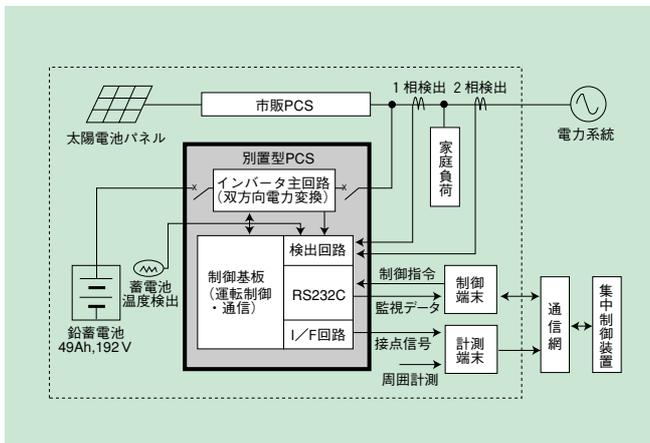


図1 別置型PCSを組み込んだ住宅1軒のシステム構成
Fig.1 Contents of housing system including separate type PCS.

表1 基本仕様および機能

Table 1 Specification of separate type PCS.

項目	仕様	
定格容量	4 kVA	
基本仕様	インバータ方式	電圧型電流制御
	絶縁方式	非絶縁
	冷却	自然冷却
	直流電圧範囲	DC150V～250V
	直流電流範囲	充電 14.7A (0.3CA※)、放電 19.6A (0.4CA※)
	定格入出力電圧	単相3線式 202V/101V
	定格周波数	50Hz/60Hz (自動切替)
	効率	93%以上 (JIS C 8961)
	出力基本波力率	0.95以上
機能	電流歪率	総合5%以下、各次3%以下
	蓄電池管理機能	充電完了判定、放電終了判定 蓄電池充電電圧温度補正 放電深度制御
	通信機能	対計測端末：接点信号8ch (運転状態5ch・故障3ch) 対制御端末：シリアル通信1ch (制御指令22項目、状態検知16項目、故障31項目、PCS設定項目60項目)
総合	運転制御	運転モード切替5種 電圧上昇抑制機能 逆潮流ゲートブロック機能 系統充電防止機能
	質量	21kg
	外形寸法	W520×D180×H270 (mm)

※CA：電池の公称容量に対する電流値

を監視し制御に使用する。また、蓄電池の制御・保護のため蓄電池の温度を計測する。

別置型PCSは制御端末および通信網を介し集中制御装置と双方向通信を行い、運転/停止や数種類の運転パターンを遠隔からリアルタイムに切り替えることができる。また、現在の運転状態、故障情報、電圧・電流・蓄電池温度などの状態を監視データとして集中制御装置へ送信する²⁾。

2.2 外観、構造

図2に住宅用システムの内部構成を示す。鉛蓄電池は大型になるため専用の屋外収納庫を用意し、鉛蓄電池やPCSの他、制御端末、計測端末、UPS、モデムなど実証研究に必要な機器を一式収納した。

2.3 仕様

実証研究に要求されるシステムの仕様および研究上の様々な機能から、別置型PCSには表1に示す仕様および機能を盛り込んだ。数度の小型化を図り、寸法はW520×D180×H270 (mm)、質量は21kgとなった。

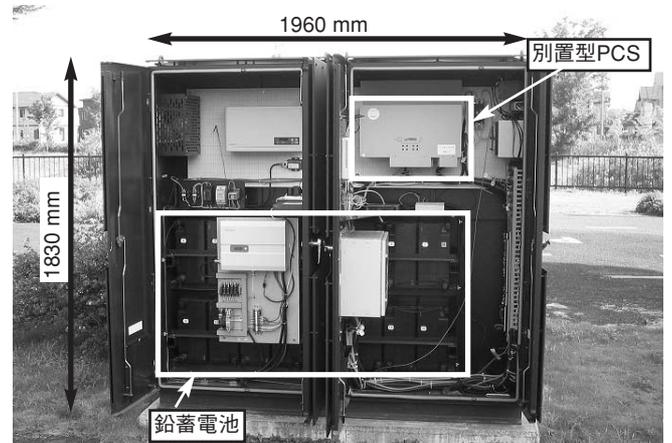


図2 住宅用システムの内部構成
Fig.2 System composition inside housing unit.

2.4 基本動作

太陽光発電システムを設置している需要家は太陽電池パネルによる発電電力の余剰分を売ることが出来る契約を電力会社と結んでいるが、売電が認められているのは太陽電池パネルの発電電力のみであり、蓄電池に蓄えられた電力を売電することは認められていない。そのため放電は負荷消費分以下とし、放電による系統への逆潮流は行わない制御とした。また、今回は研究上の運用目的のため充電容量の全てを発電電力の余剰分の吸収に限定し、夜間電力充電など他の目的の動作は行わないこととした。上記運用条件により、別置型PCSおよび蓄電池は、発電電力の余剰を一時的に待避・再供給するバッファとしてのみ動作する。また、蓄電池が満充電あるいは放電終止となった場合、別置型PCSは充放電を停止し市販の太陽光発電システムのみ動作する。研究用の各種運転動作は上記制限の範囲内で行われる。

別置型PCSの運転動作の内、最も基本的な受電電力一定制御について説明する。日中充電時の電力フローを図3に夜間

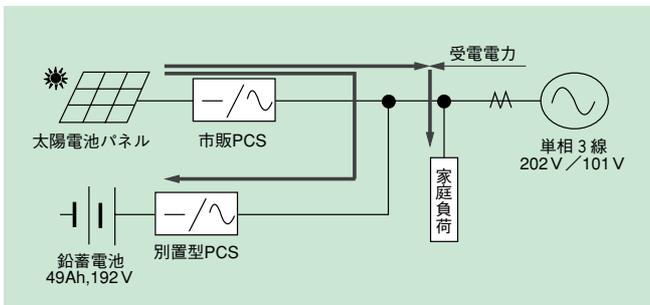


図3 日中充電時の電力フロー
Fig.3 Power flow of charge in daytime.

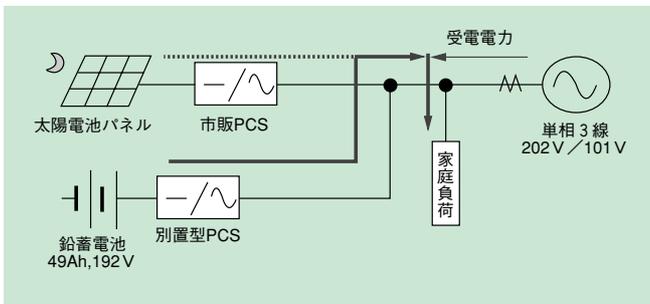


図4 夜間放電時の電力フロー
Fig.4 Power flow of discharge in night time.

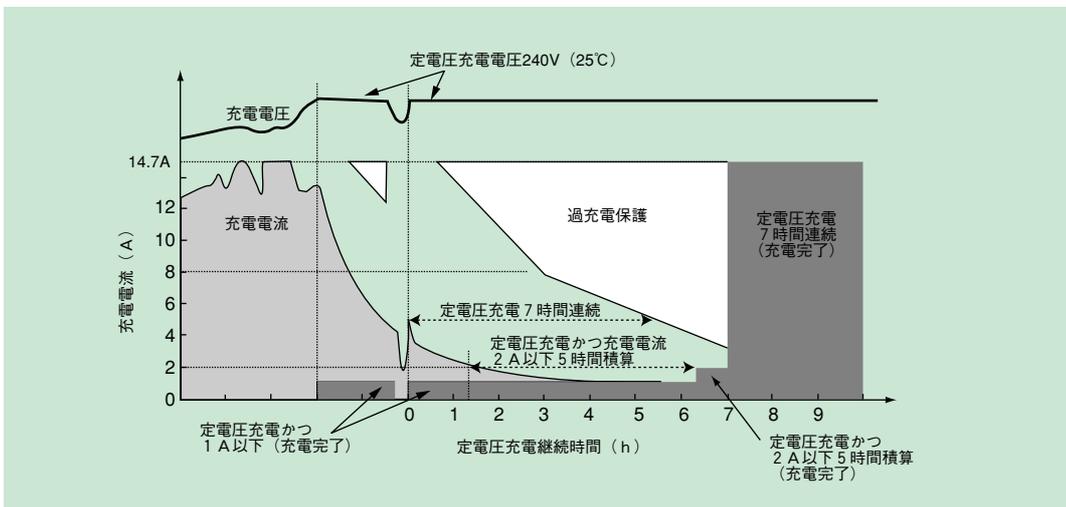


図5 別置型PCSの充電完了および過充電保護の検出判定条件
Fig.5 Condition of completion of charging and protection of overcharge.

放電時の電力フローを図4に示す。別置型PCSは受電点に設置した電流センサにより需要家の受電点電力を監視しており、日中は発電電力の余剰が発生した時に充電動作し逆潮流を吸収する。夜間など発電電力が少なく電力消費が大きい時は負荷へ放電動作する。上記動作により受電電力の変動や昼夜の電力の過不足を吸収し、受電点の電力を受電方向へ一定に保つ動作を基本動作とする。

2.5 蓄電池管理機能

蓄電池にはサイクル用途・長寿命タイプの制御弁式鉛蓄電池を使用している^{3) 4)}。

制御弁式鉛蓄電池は過充電による劣化防止のため、保護機能を必要とする。安定した充電が可能な場合は放電深度管理により過充電を防止出来る。しかし、今回のように発電電力や負荷電力に追従して充電する場合は、充電が完了しない条件が継続することがある。この場合、電流検出誤差が長期間蓄積されることにより平時は無視できる程の微小な暗電流などが放電深度誤差として顕著に現れる。

別置型PCSの放電深度の計測には、実測の暗電流と放電深度誤差傾向を元にソフトウェアにより微小な補正をすることで対処しているが、放電深度管理だけでは過充電および過放電を防止できない可能性がある。そこで、定電圧充電の継続時間とその時の充電電流により判定する充電完了および過充電保護の検出判定条件を追加した。表2に充電完了および過充電保護の検出判定条件を示す。また、図5に表の条件を図にして示す。

表2 別置型PCSの充電完了および過充電保護の検出判定条件
Table 2 Condition of completion of charging and protection of overcharge.

項目	検出判定条件
充電完了	(1) 定電圧充電 かつ 充電電流 1 A以下 (2) 定電圧充電 かつ 充電電流 2 A以下 5 時間積算 (3) 定電圧充電 7 時間連続 (1) ~ (3) のいずれかで充電完了とする
過充電保護 (別置型PCS停止)	(4) $1 \leq t < 3$ かつ $I > -3.35 t + 18.05$ (5) $3 \leq t < 8$ かつ $I > -1.2 t + 11.6$ (6) $8 \leq t$ かつ $I \geq 2$ t : 定電圧充電継続時間 (h) I : 充電電流 (A) (4) ~ (6) のいずれかで過充電保護とする

2.6 単独運転検出機能

配電系統に事故が生じた場合、事故点に最も近い保護リレーにより事故点を含む配電系統が電力系統から分離される。電力会社からの電力供給が絶たれた場合にも発電設備のみで負荷に電力供給し続ける状態を単独運転という。単独運転状態の発電装置がある場合、配電系統の自動再閉路時に非同期投入となり過電流により事故が拡大していく恐れがある⁵⁾。また、単独運転時には発電機からの電圧が各相で分圧されることにより、負荷へ悪影響を及ぼすことがある。上記のような弊害があるため、系統と連系している発電設備などは単独運転を速やかに検出し系統から解列しなければならない。

単独運転の検出方法は「受動方式」と「能動方式」の大きく2つに分けられる。受動方式は連系運転から単独運転に移行したときの電圧波形や位相などの変化を捉えて検出する方式であり、能動方式とは、常時インバータに変動を与えておき、単独運転時に現れる電圧変動を検出する方式である。

集中連系時には、負荷機器と発電設備の電力が平衡しやすい事により、単独運転が長時間継続する可能性がある⁵⁾。特に別置型PCSは一軒の需要家内で他の発電設備と並列して設置することを前提としているため、能動方式の相互干渉により単独運転検出の感度が変化することがある。しかし、集中連系時の干渉の程度は周辺需要家のシステムの種類や距離など諸条件により変わるので把握し難く、本別置型PCSの開発において根本的な対策技術は確立出来なかった。

この問題の回避にあたり実証研究にて組み合わせる可能性がある太陽光発電システム5社の方式を調査した。別置型PCSの能動方式には既知である無効電力変動方式を採用し、需要家1軒分の基本構成にて市販PCSと別置型PCSの変動幅とタイミングが打ち消し合うことの無いよう調整することで対応した。

表3 定格放電時の単独運転検出機能試験条件

Table 3 Test conditions of islanding test when discharging by rated power.

項目	試験条件	
潮流条件	系統電力	-0.15 kW
	別置型PCS	3.7 kW (定格放電)
	負荷電力	-3.85 kW
	市販PCS	0 kW
負荷条件	モータ負荷	あり
	力率負荷	なし

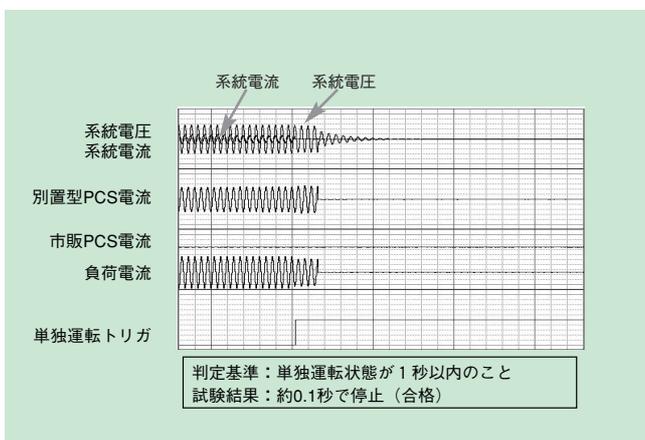


図6 定格放電時の単独運転検出機能試験結果

Fig.6 Result of islanding test when discharging by rated power.

受動方式は系統電圧の周期を監視し、その変化を検出する。周期変化は過去520~260ms間の平均値を基準とし、現在から数周期前までの平均との差を検出整定値と比較する。単独運転時の周波数変化の様子は潮流条件のほか回轉機負荷など設備条件および別置型PCSの充放電によっても異なる。今回は検出可能な位相や周波数の変化に幅を持たせるため、検出の感度および平均化期間を多重検出とした。

〔3〕単独運転検出機能評価試験

別置型PCSの単独運転検出機能を評価した。試験結果は、組み合わせる市販PCSの種類によって異なる。そこで今回の試験では市販PCS 5機種を選び、別置型PCSと組合わせた。なお、評価試験は充電、放電、低出力などの出力条件と、受電点の有効・無効電力条件およびモータ負荷の有無などの各条件で実施した。代表例として、「市販PCS 1機種、無効電力条件 0 var, モータ負荷なし」とした時の定格放電時の試験条件を表3、試験結果を図6に示す。また同条件で定格充電時の試験条件を表4、試験結果を図7に示す。単独運転状態が1秒以内であることを市販PCS 5機種との組合わせ全てで確認した。

〔4〕実証試験の運用データにおける機能の検証

実証研究で蓄積されたデータを用い、指令された運転モード仕様を満たしていることを確認した。以下に実証試験地区で実際に取得されたデータを図8~10に示し、別置型PCSの代表的な運転モード3種の概要を説明する。図8~10のグラフは2日間の各電力および系統電圧であり、電力は発電方向(逆潮流方向)を正としている。

表4 定格充電時の単独運転検出機能試験条件

Table 4 Test conditions of islanding test when charging by rated power.

項目	試験条件	
潮流条件	系統電力	-0.15 kW
	別置型PCS	-3.3 kW (定格充電)
	負荷電力	-0.3 kW
	市販PCS	3.45 kW
負荷条件	モータ負荷	あり
	力率負荷	なし

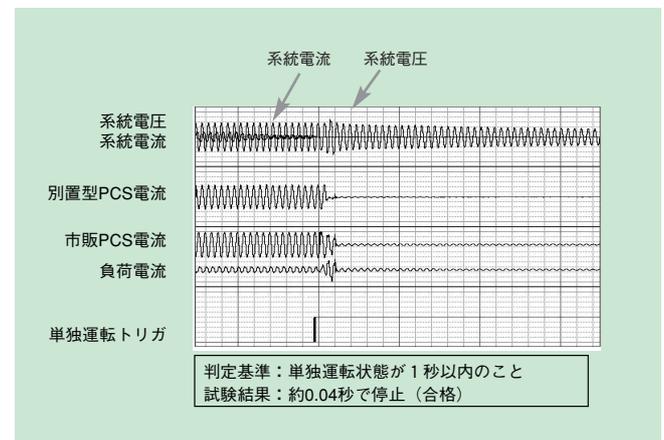


図7 定格充電時の単独運転検出機能試験結果

Fig.7 Result of islanding test when charging by rated power.

4.1 逆潮流抑制運転

逆潮流抑制運転の一例を図8に示す。この運転モードでは、蓄電池の充放電により受電点電力が一定となるよう制御することにより、太陽光発電システムによる逆潮流を吸収し、系統の電圧上昇を防ぐことを期待するものである。図8の①の期間では蓄電池へ充電することにより受電点に発生する逆潮流を全て吸収している。②の期間では充電が進み蓄電池の充電電圧が上限に達したことから充電電流を減少させており、発電電力の余剰電力は一部系統に逆潮流される。③の期間は充電が完了し、余剰電力は全て系統に逆潮流される。また、夜間④の期間では発電は無く、負荷電力が発電電力を上回ったため、日中充電した電力を住宅負荷に対して放電し供給する。この運転モードでは余剰電力を全て充電するため、正午付近で充電完了になってしまうことがあり、電圧上昇時に必要な充電ができない場合がある。このため、1日を通して電圧上昇抑制のための充電を行うには、より大きい容量の蓄電池が必要である。

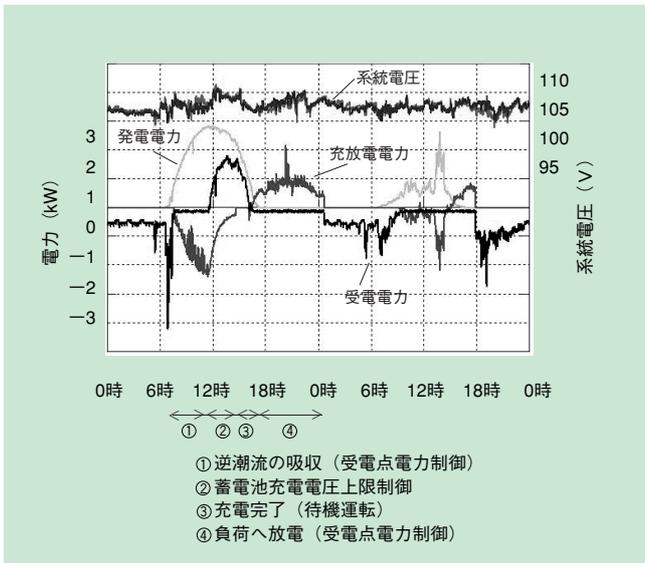


図8 逆潮流抑制運転の一例
 Fig.8 Illustration of operation to suppress reverse power flow.

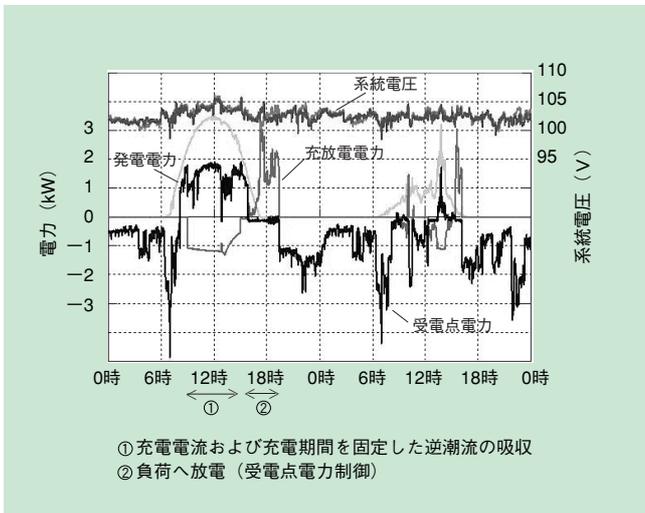


図9 スケジュール運転 (0.1CA 9-15時) の一例
 Fig.9 Illustration of operation by scheduled control.

4.2 スケジュール運転

図9にスケジュール運転 (105V 0.1CA 9-15時) の一例を示す。スケジュール運転では9:00~15:00など、予め決められたスケジュールにて集中制御装置から充電電流値がPCSへ送信される。PCSは系統から充電しない範囲で指令された充電をし、夜間の住宅負荷に対して放電する運用である。図9では①9:00~15:00の時間帯に充電電流を蓄電池容量の0.1CA (DC4.9A) としている。②の期間では負荷電力が発電電力を上回ったため日中充電した電力を負荷に対し放電を行う。

出力抑制が発生し易い日中のピーク時間帯に充電し、また充電電流を制限することにより逆潮流の吸収量をコントロールして充電完了までの時間を延長する。この運転モードは逆潮流抑制運転に比較し有効に系統電圧上昇を防ぐことが期待できる。

4.3 スケジュール運転+電圧制御運転

図10にスケジュール運転+電圧制御運転 (105V 0.1CA 9-15時) の一例を示す。系統電圧が決められた電圧上限値以下である時は、スケジュール運転同様、予め決められた時間に決められた分だけ充電する。しかし、系統電圧が電圧上限値を超えて上昇した場合は、充電電流の制限を解除し、最大限の追加充電を実施する運用である。また、電流の制限や電圧上限値は集中制御装置から変更可能とした。

①の期間ではスケジュール運転と同様の運転を行う。ただし、系統電圧が電圧上限値を超えて上昇した場合、②のように追加充電を行う。また、③の期間では他の運転同様、充電した電力を負荷へ供給する。この運転モードは、スケジュール運転に比較し充電電力量の予測が困難となるが、系統電圧上昇時に自動で追加充電を行うため系統電圧上昇を効果的に防ぐことが期待できる。



図10 スケジュール運転+電圧制御運転 (105V 0.1CA 9-15時) の一例
 Fig.10 Illustration of operation for AC terminal voltage limitation based on scheduled control.

〔5〕 結 言

NEDO実証研究に参画し、系統連系および集中連系に伴う系統電圧上昇および太陽光発電システムの出力抑制を回避する機能を持つ住宅用蓄電装置として別置型PCSを製作し、実証試験で運用した結果、次の成果が得られた。

- (1) 余剰電力を蓄電池に充電することにより系統電圧の上昇を抑制し、住宅用太陽光発電システムの稼動効率を向上させる機能を実現した。
- (2) 受電点電力、系統電圧、電流指令値およびその組み合わせにより動作する複数の運転モードを実装し、また遠隔地からリアルタイムに運転モードの切替を可能として研究上の多様な運用パターンの要求に対応可能な蓄電システムを実現した。
- (3) 太陽光発電システム5機種との組み合わせで単独運転検出機能の評価試験をし、全ての試験条件において1秒以内の単独運転検出を可能とした。

今回の実証研究では、実証試験地区全体のシステムを監視・制御可能な集中制御装置と現地常駐人員による効率的な監視およびメンテナンスがなされ、連続的な運用が可能となった。しかし、実証研究以外での別置型PCSの運用に関しては定期メンテナンスが行われるとは限らないため、天候による充電量の変化や雷による故障など実際の別置型PCSの運転状態の把握が困難であると考えられる。このため、システム運用のばらつき要因を最小限にし、蓄電池寿命などを正確に予測可能とすることや、監視システム無しでの信頼性の向上が今後の課題である。

〔6〕 謝 辞

本開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託業務（再委託）として実施したものである。関係各位のご支援、ご指導に感謝申し上げます。

〔参考文献〕

- 1) 株式会社関電工：“集中連系型太陽光発電システムの実証研究”，平成14年度 新エネルギー・産業技術総合開発機構 委託業務成果報告（2003）。
- 2) 原享 他：“住宅向け蓄電池併設型太陽光発電システムの開発” 新神戸テクニカルレポート，No.15，p.39（2005）。
- 3) 川越智夫 他：“小容量サイクル長寿命制御弁式鉛蓄電池LL50-12形の開発”，新神戸テクニカルレポート，No.14，p.19（2004）。
- 4) 下浦一郎 他：“集中連系型太陽光発電システム実証研究”，新神戸テクニカルレポート，No.19，p.23（2009）。
- 5) エネルギーフォーラム 編：“解説 電力系統技術要件ガイドライン 2003”（2003）。