

# PLCと小型蓄電装置を用いた ホームエネルギー制御システムの検討

小幡 憲司<sup>†</sup> 峰野 博史<sup>†</sup> 栗山 央<sup>††</sup> 水野 忠則<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 静岡大学情報学部 <sup>††</sup> 静岡大学創造科学技術大学院

## 概要

発電は一定の発電量を維持し続けることが、最も効率が良い。しかし、電力の消費量は、人が活動する時間帯に最も多くなるため、日中にピークとなり、深夜になると減少する。現在の技術では、大容量の蓄電設備を構築することが困難なため、電力消費量に合わせ発電量を調整せざるを得ない。電力負荷を平準化（ピークシフト）できれば、発電の効率を高めることができ、発電による環境汚染を抑えることができる。そこで本稿では、ピークシフトに貢献するため、家庭内の小型蓄電装置を制御し、深夜の電力を蓄電し、蓄電された電力を日中に共有して使用するシステムを、PLCを用い No New Wire で構築する手法を提案する。

## Investigation of Home Energy Control System with PLC and Small-sized Storage Battery

Kenji Obata<sup>†</sup> Hiroshi Mineno<sup>†</sup> Hiroshi Kuriyama<sup>††</sup> Mizuno Tadanori<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Infomatics, Shizuoka University

<sup>††</sup> Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

## Abstract

Although it would be most efficient to maintain a constant rate of power generation, the consumption of electric power is related to human usage. Electric power requirements peak in the daytime and decrease at midnight. In the present state of our technology, it is difficult to construct large capacity electricity storage. Instead we must adjust power generation according to consumption. A peak shift, however, could improve. The peak shift could improve the efficiency of power generation and suppress environmental pollution from power generation. To contribute to the peak shift, we propose a system that controls small-sized storage batteries. It accumulates the electric power at midnight, and shares the electric power accumulated during the daytime.

## 1 はじめに

日本では、発電の多くを火力、原子力発電に頼っている。現在の技術では、消費電力量を供給可能な容量を持った蓄電装置を作ることが技術的、コスト的に困難なため、消費される電力量に合わせ、発電量を調節している。よって、ピーク時の電力消費に耐えられるように、発電所を設計、配置する必要がある。人が活動する時間帯に電力の消費量は増加し、真夏の日中にピークとなり、人が活動しない深夜には電力の消費量は減少する。東京電力(株)の1日の

時間帯別発電量を図1に示す。

原子力発電の発電量を調節して運転することは、原子炉が不安定になり危険であるため、原子力発電所では、ほぼ一定の電力を発電し続けている。日本では原子力発電等をベース電力とし、消費電力量に合わせ、火力発電等で調節を行っている [2]。しかし、深夜では発電量を抑えきれず、消費量以上の電気が発電され、余剰電力が発生している。

ピークシフト（負荷平準化）が行われると、余剰電力が無くなり、全体の発電量を抑えることができ

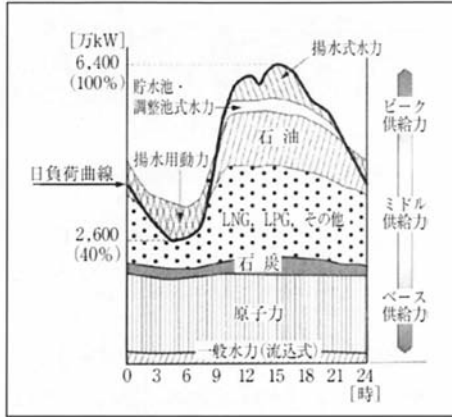


図 1: 1日の時間帯別発電(東京電力(株)2001年8月の最大需要の1日)参考文献[1]より転載

る。また、発電は一定の発電量を維持することが高効率であるため、1日の負荷が均一であれば、発電の効率は最大化される。ピークシフトによって、余剰電力の削減と、発電の高効率化がされ、発電による環境汚染を抑えることが可能である。

現在では、電力量を調節する発電方式として、余剰電力で貯水池に水をくみ上げ、電力消費量のピーク時に水力発電を行う揚水発電が普及している。揚水発電は余剰電力を利用するための有効な手段である。しかし、貯水池の貯水量や、高度、貯水池の距離などに条件があり、適合する地形を見つけるのが難しいという問題がある [3]。

揚水発電の他にも、電力負荷のピークシフトや、発電量が不安定である風力発電や、太陽光発電の供給電力の安定化を目的に、大容量蓄電システムの研究がされている [4][5]。電力の貯蔵媒体としては、二次電池の化学物質、イオンの移動、コンデンサの電荷の蓄積、磁気エネルギーの超電導、運動エネルギーのフライホイール、ガス圧エネルギーがある。

一部の企業、工場ではすでに大容量の蓄電システムを利用し、ピークシフトに貢献している [6]。現在、様々な電池を用いた電力貯蔵システムがあるが、導入の初期費用を、安い深夜電力の利用に切り替えることで回収することは難しく、大型のシステムであるため、広い設置スペースが必要である。

また、パソコンや情報家電の普及により、家庭内の多くの機器が情報をやり取りし、停電による情報の喪失など、電力に関するトラブルが深刻になっている。情報家電の信頼性と安定性を保つためには、

電源の安定は欠かせないものであり、一般家庭でも安定した電力供給が必要となっている。

## 2 システム提案

### 2.1 システム概要

本稿では、家庭内の小型蓄電装置を PLC 通信を用いて制御し、小型蓄電装置に蓄積された電力を、家庭内の家電で共有する、一般家庭向けのエネルギー制御システムを提案する。本システムは、一般家庭で利用されるインフラからの電力（以下商用電源）と、ブレーカ以下の家庭内配線を利用する。また、小型蓄電池として実装が容易であると考えられる無停電電源装置 (Uninterruptible Power Supply 以下 UPS) を対象とする。順次 UPS に蓄電された電力を、家庭内の配線に逆流させ、UPS に接続されていない家電に供給することで、蓄電された電力を共有できると考える。

商用電源から家庭に流れる電力と、接続されている UPS を管理するため、ブレーカにリレーと PLC マイコンを設置する。UPS にも同じくリレーと PLC マイコンを設置し、UPS の状態を監視する。リレーは、PLC マイコンによって制御される。

UPS に接続された PLC マイコンは、UPS のバッテリで稼働できる最大の時間を予測する。また、予想した結果を、ブレーカの PLC マイコンに送信する。ブレーカの PLC マイコンでは、UPS から送信されてきた時間を比較し、プライマリ UPS とセカンダリ UPS を選択する。

UPS からの電力供給に切り替える場合は、商用電源を切断し、プライマリ UPS から家庭内の配線に電力を流し PLC 通信と、家電の稼働を維持する。セカンダリ UPS は、プライマリ UPS の残量が減少した際、プライマリ UPS となり、電力供給源となる。

日中の電力ピーク時に、電力供給源を UPS に切り替えることで、商用電源への電力負荷を軽減し、ピークシフトすることを目標とする。また、停電などの外的要因による商用電源からの切断時にも同様に、UPS から電力を供給することで、家庭内の電力供給を維持することが可能である。

本システムは、料金の安い深夜電力で蓄電し、日中に放電を行うことで、電気料金の削減にもつながるため、発電によって生じる環境汚染の低減だけでなく、ユーザへのメリットもある。また、PLC 通信と、既に存在する電力線を使い No New Wire で設置が可能であるため、ユーザの負担を抑えられる。

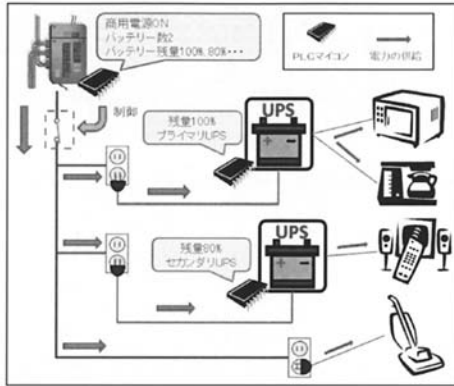


図 2: 商用電源からの電力供給時

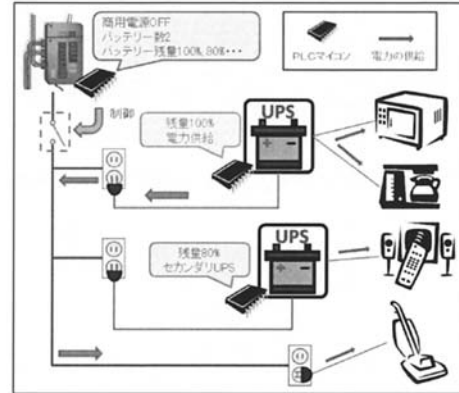


図 3: プライマリ UPS からの電力供給時

## 2.2 システム設計

ブレーカに取り付けられる PLC マイコンは、定期的にメッセージを送信し、接続されている UPS を検知し、それぞれに重複のない ID を与える。また、UPS に取り付けられた PLC マイコンと通信を行い、UPS ごとにバッテリー残量と、プライマリ UPS として電力供給を行った際、バッテリーで稼働させることのできる時間を収集する。ブレーカ側の PLC マイコンは、UPS 側の PLC マイコンより収集したデータから、商用電源切断時に電力を供給するプライマリ UPS と、プライマリ UPS の残量が減少した際に、電力供給を行うセカンダリ UPS を選択する。バッテリーで稼働させることのできる時間が、一番長い UPS をプライマリ UPS に、次に長い UPS をセカンダリ UPS とする。商用電源からの電力供給のイメージを図 2 に示す。

UPS からの電力供給に切り替えるため、商用電源を切断する場合、ブレーカに取り付けられた PLC から商用電源の切断を通知し、リレーを操作し商用電源を切断する。切断後、プライマリ UPS の電力を、家庭内の配線に流す。プライマリ UPS 以外の UPS は、各々接続された機器への電力供給を行う。

これにより、UPS に接続された機器は、UPS からの電力供給を受け、接続されていない機器も、プライマリ UPS からの電量供給を受けられるため、家庭全体への電力供給を維持することが可能である。

また、家庭全体への電力供給が維持されるため、設置された PLC マイコンも通信を行える。ただし、整流器による電力のロスを避けるため、PLC 通信維持のために他の UPS へ電力が供給されるが、UPS

からの電力で蓄電は行わない。電力供給源をプライマリ UPS へ切り替えるイメージを図 3 に示す。

UPS からの電力供給に切り替えた後、プライマリ UPS の残量が減少した場合、セカンダリ UPS から電力供給に切り替える。そして、セカンダリ UPS をプライマリ UPS とし、バッテリー残量が十分な UPS から、バッテリーで稼働させることのできる時間が一番長いものを、新しいセカンダリ UPS に選択する。電力供給源をセカンダリ UPS へ切り替えるイメージを図 4 に示す。

バッテリー残量が十分な UPS が存在せず、セカンダリ UPS を選択できない状態で、プライマリ UPS の残量が減少した場合、商用電源からの電力供給に切り替える。また、プライマリ UPS からの電力供給中に、他の UPS からバッテリー残量警告が発せられた場合、商用電源からの電力供給に切り替え、すべての UPS を充電する。

ブレーカ側の PLC マイコンで、家庭内で使用される電力量を記録し、電力消費量ピーク時間を推定する。ピーク時に、電力供給源を UPS に切り替え、商用電源を切断することによって、ピークシフトすることを目標とする。

## 2.3 外的要因による商用電源からの切断

停電などにより、通知をされずに商用電源から切断された場合であっても、プライマリ UPS が選択された後であれば、電力の切断を UPS 側の PLC マイコンで検知し、プライマリ UPS からの電力供給に切り替え、可能な限り家庭内への電力供給を続ける。これにより、家庭内の電力を安定化することが

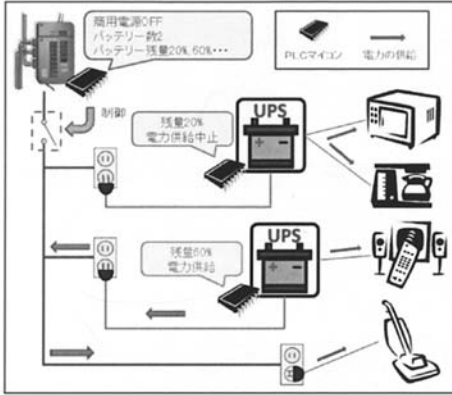


図 4: セカンダリ UPS からの電力供給時

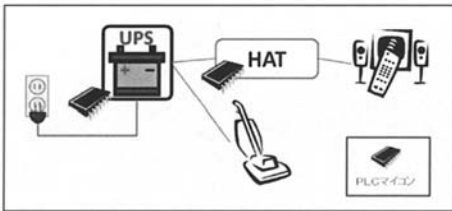


図 5: HAT との連携時の接続

できる。

## 2.4 HAT との連携

当研究室では、これまでに家電製品のコンセントと電源タップの間に挿入するだけで、家電製品の遠隔制御、家電状態の推定、家電製品間の連携動作を可能とする HAT (Home Appliance Translator) という装置を開発している [7]。HAT は接続家電の電流特性と、赤外線リモコン信号を用いた状態判別分析によって家電状態を推定でき、PLC を介した通信で状態に応じた連携動作も実現できる。HAT は停電時に通信不能という課題があったが、蓄電機能を持たせることで解消できるだけでなく、蓄積電力をホームネットワーク内で自律分散協調利用させる制御装置へ拡張することができる。

HAT と連携し、本システムの機能と連携するには、HAT で制御を行う家電と UPS の間に、HAT を接続する。連携時の接続を図 5 に示す。図 5 の接続方法であれば、簡単に HAT を設置することができ、HAT の機能を利用したい家電に提供することが可能である。

HAT 側、UPS 側、プレーカ側に設置された PLC マイコンで相互に通信を行うことで、電力インフラと家電を連携させることができる。例えば、停電などの緊急時には、普段より照明の明るさを暗くすることや、不要と考えられる家電の電源を OFF にすることによって、バッテリーによる電力供給を長引かせることが可能である。また、HAT を UPS 内に組み込み、HAT と UPS の PLC マイコンを統合し、UPS に接続されるすべての家電に HAT の機能を提供することも可能である。

## 3 バッテリー残量の推定

### 3.1 Simple Signal による推定

UPS にはシリアルポート接続 (RS-232C) でバッテリーの状態を通知する、Simple Signal 方式に対応しているものがある。Simple Signal 方式では、4 本の信号線 (Line Fail, Low Battery, Shutdown UPS, GND) を利用する。Line Fail は、商用電源からの切断時にハイレベルとなる。Low Battery は、バッテリーの残量が減少した際にローレベルとなる。Shutdown UPS は、UPS のインバータを停止させる場合にハイレベルとする。GND は、接地地である。以上 4 本の信号線の電圧レベルを PLC マイコンで監視し、商用電源を操作することでバッテリー残量を推定する。

UPS を定期的に、商用電源から切り離し、Low Battery の電圧レベルを監視する。商用電源から切り離してから、Low Battery がローレベルになるまでの時間を計測し、UPS に直接接続された家電に電力を供給できる、最大稼働時間を決定する。しかし、バッテリーが完全に充電されているかを確認することは困難であるため、計測を行う間隔を少しずつ長くし、求められる時間がほぼ一定になった時点で、バッテリー稼働時間を最大稼働時間と定義する。最大稼働時間が、計測中に前回よりも短くなった場合は、UPS へ接続されている家電が変更されたと判断し、再計測を行う。求められた最大稼働時間と、バッテリーの放電を行っている時間から、現在のバッテリー残量を PLC マイコン側で推定する。

ただし、プライマリ UPS として電力供給を行った場合、接続された家電のみに電力供給を行った場合と比べ、最大稼働時間は短くなるため、十分に充電された状態で、プライマリ UPS として使用された場合の最大稼働時間も計測する必要がある。プライマリ UPS として使用した場合の最大稼働時間を  $p_{max}$ 。接続された家電のみに電力を供給した場合

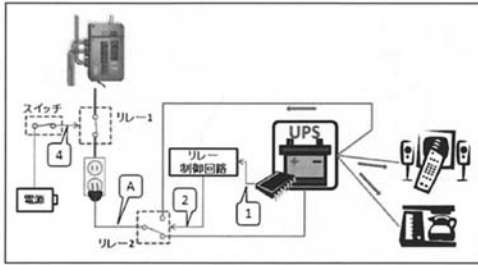


図 6: 電源切り替え実験イメージ

の最大稼働時間を  $u_{max}$ 。プライマリ UPS として使用した時間を  $p$ 。接続された家電にのみに電力を供給した時間を  $u$  とした場合、バッテリー残量  $E$  は以下の式で推定される。

$$E = 1 - \left( \frac{p}{p_{max}} + \frac{u}{u_{max}} \right)$$

上記の方法であれば、Simple Signal 方式に対応した UPS ならば利用することが可能であると考えられる。

### 3.2 Smart Protocol による推定

Simple Signal の他に、シリアルポート接続 (RS-232C) により Smart Protocol と呼ばれる通信方式でシリアル通信を行える UPS がある。Smart Protocol では、対話式に通信を行うことで UPS の情報を取り出すことができる。取り出せる情報は、UPS の種類により異なるが、バッテリーの電圧、バッテリーの充電状態、推定バッテリー稼働時間などがある。バッテリー残量の推定にこれらの情報を利用できる。また、UPS に接続された商用電源の異常も確認できるため、商用電源の切断も Smart Protocol で検知することができる。

## 4 実験

実際に、システムの一部を構築し、切り替えに要する時間を計測した。実験に使用した回路のイメージを図 6 に示す。図中のスイッチを開き、リレー 1 に流れる電流を切断すると、リレー 1 が開き、商用電源が切断される。リレー 2 は PLC マイコンからの制御信号によって切り替えられる。通常は図に示された接点に接続されているが、PLC マイコンからの信号によって、他方の接点に接続される。

実験では、スイッチを開き商用電源を切断後、PLC マイコンが電源切断を検知しリレー 2 を制御し、電

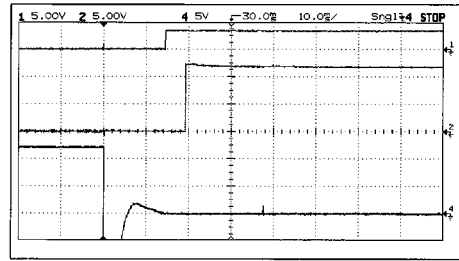


図 7: 電源切り替え実験測定結果 1

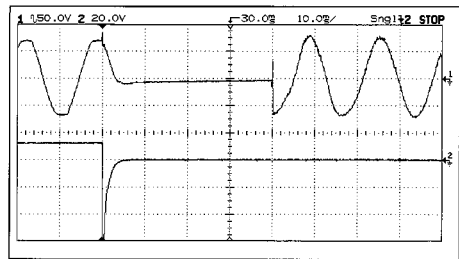


図 8: 電源切り替え実験測定結果 2

源復旧を行う。使用する UPS は Smart Protocol 対応のものであり、シリアル通信によって PLC マイコンは、UPS に接続された商用電源の切断を検知することができる。図中に示される記号の部分にオシロスコープを接続し、電源復旧までの時間測定を行った。測定結果を図 7、図 8 に示す。図 7 中の番号は図 6 中に示される番号に対応している。図 8 中の 1, 2 は図 6 中の A, 4 を測定した結果である。

図より、商用電源切断から PLC マイコンが電源切断を検知し、リレー制御回路に信号を送るまでに 15ms、リレー 2 へ通電までに 19ms、切り替えが完了し電源が復旧されるまでに 40ms 要していることがわかる。[8] では、「負荷端電圧が全く喪失した状態（正常値の 0%）を 2ms 以内に抑えられれば負荷に影響は出ない」と述べられているが、本実験では切り替えまでに 40ms 要しているため、切り替えが家電へ影響すると思われる。図から、リレーへの通電から電源復旧までに、20ms ほど時間を要していることから、リレーをより高速な切り替えが行える部品に置き換える必要がある。また、商用電源切断の検知を高速化するため、UPS 経由ではなく、PLC マイコンが直接商用電源の切断を検知するモジュールを、マイコンに組み込むことも検討する。

## 5 おわりに

本稿では、小型蓄電装置を制御し蓄電・放電するシステムの構築手法を提案した。実験では、切り替えに要する時間を測定したが、一般負荷に影響がでると考えられる時間であったため、より高速な切り替えを行う必要がある。

今後は、より高速な電源の切り替え手法の検討を行う。また、UPS で推定されたバッテリー残量から、効率的にバッテリーを利用するためのプライマリ、セカンダリ UPS の選定、切り替えアルゴリズムと、電力消費ピーク時間の推定手法の検討を行う。本稿では実装の容易性から小型蓄電池として、交流で電力を出力できる UPS を対象としたが、将来的には他の電源装置への応用を検討する。

本システムは、ピークシフトに貢献するだけでなく、家庭内の電源が安定化され、情報家電の信頼性と安定性を向上させる。また、商用電源から切断されたとしても通信を続けられる安定性の高いホームネットワークを手に入れることができる。将来、国内でも屋外での PLC 通信が解禁されれば、電力会社と通信を行い、電力会社からの情報を用いて、電力負荷を効率的に平準化することも可能である。

## 参考文献

- [1] 佐藤義久著, 嶋田隆一監修: “図説電力システム工学 電気をつくる・送る・ためる!”, 丸善, (2002).
- [2] 筑波大学 技術報告 No. 26, pp. 101-121, (2006)
- [3] プラズマ・核融合学会誌 Vol. 80, p.582 (2004)
- [4] 電気学会誌 Vol. 126, No. 4, pp. 214-217, (2006)
- [5] 電子情報通信学会技術研究報告. CPM, Vol.101, No.548, pp. 65-70, (2002)
- [6] 堀江利夫, 石田皓仁, 藤岡秀彰: “電力貯蔵システムの最新動向”, NTT ファシリティアーズ総合研究所 研究報告 2004年度 :<http://www.ntt-fsoken.co.jp/kenkyu/index.html> (2006)
- [7] IEEE ISPLC, pp.267-272, (2007)
- [8] 電学論D, Vol. 127, No. 4, pp.360-367 (2007)