

蓄電池を効率的に利用するための

ルール型給電機器管理システムの設計と実装

Design and Implementation of a Rule-based Feeder Management System
For Efficient Use of Rechargeable Batteries高橋 真喜人† 義久 智樹‡ 藤田 直生† 塚本 昌彦†
Makito Takahashi Tomoki Yoshihisa Naotaka Fujita Masahiko Tsukamoto

1. はじめに

蓄電池は充電可能で繰り返し使用できる電池として、小型直流機器を主としてあらゆる環境で使用されている。近年は蓄電池の大容量化・軽量化が進んでおり、蓄電池の需要は今後も増加すると考えられる。携帯電話やノート PC といった多くの小型直流機器は専用の蓄電池を備えており、専用の蓄電池から電力を得ることができる。しかし外出中などの電源がない状況で蓄電池の電力が無くなると機器を利用できなくなるため、機器の DC アダプター端子などの外部電力供給源に直接接続できる蓄電池が市販されており、複数の蓄電池を利用する状況がある[1]。

これらのような複数の蓄電池を利用する環境では、蓄電池の充放電や蓄電池の切り替えを、蓄電池の残余電力や充電回数、蓄電池を使用する状況などを考慮して行うことで利便性を向上でき、効率的に利用できる。具体例を以下に挙げる。

- (1) 携帯電話のような充電切れをできるだけ避けたい機器を使用する場合は、本体に内蔵された専用の蓄電池をできる限り使用しない。
- (2) ノート PC の蓄電池残量が十分にある場合、充電残量が少ない他のモバイル機器に電力を供給する。
- (3) 蓄電池の充電回数を減らして長寿命化を図るために、充電する環境にあっても電池残量が十分にあれば蓄電池の充電を行わない。

蓄電池の交換や充放電の切り替えは人の手で行うことが一般的であった。そのために人の手を煩わせたり、蓄電池の残余電力や充電回数の確認には専用の計測機への接続が必要なため、これらを考慮して蓄電池を使用することが難しくなったりするという問題があった。松山らが提唱する「エネルギーの情報化」[2]など、人の意識に頼らない電力管理システムが注目され、特に蓄電池を制御するシステムを構築することは重要である。

そこで本研究では、蓄電池を効率的に利用するためのルール型給電機器管理システムの実装を行う。我々の研究グループでは、ルールを用いた電力管理システムを提案している[3]。提案システムでは、蓄電池に組み込んだマイコンで蓄電池の充放電等を制御する。本研究では、提案システムを拡張してコマンド制御の詳細を定義する。また、マイコンや計測素子の見直しを行ったうえでルール処理時間の評価を行う。給電機器管理システムは、残余電力などを条件として蓄電池の動作をあらかじめルールに記述しておく。また蓄電池の残余電力や充電回数等もシステムが把握しておくことで、状況に応じた柔軟な受給電制御を行うことが可能となる。これにより使用者

の手を煩わせないだけでなく、無駄な電力供給のカットや不必要な充電を避けることにより電池を長寿命化できると考えられる。

以下、2章で関連研究を紹介し、3章でルール型給電機器管理システムを説明する。4章で設計、5章で実装について説明し、最後に6章で本稿をまとめる。

2. 関連研究

家庭内の機器の消費電力を管理するシステム HEMS (Home Energy Management System) が近年盛んに開発されている。HEMS はセンサや IT の技術を活用して住宅のエネルギー管理を行い、家庭内の発電量・電力使用量の可視化やエネルギーの効率利用を目指すシステムである。ほとんどの HEMS では、ホームサーバーと呼ばれる家庭内の機器を管理するサーバーが各機器の消費電力を集中管理しており、ホームサーバーと各機器の連携のため、OSGI (the open services gateway initiative[4]) と呼ばれる標準化されたサービス連携のための仕様が提唱されている([5])。OSGI を用いる場合、機器が情報ネットワークを介して管理できる必要があり、基本的にはコンセントにつながった大型の機器を管理対象としている。本研究では、蓄電池で動作できる小型の直流機器を対象としている点異なる。

電源の交換を自動的に行うものとしては無停電電源装置 (UPS: Uninterruptible Power Supply[6]) がある。UPS は入力電源に停電などの異常が発生した時に、一定時間は停電させることなく入力電源の代わりに電力を供給する蓄電池を備えている。さらに、停電が長時間に及ぶ時には安全にコンピュータなどを終了させる電源装置である。現在 UPS は様々な場で使用されているだけでなく、さらなる安全性の向上や長時間保障を目指すための研究が行われている。しかしこれは信頼性や安全性を得るためのもので電力の効率的な利用を考慮に入れていない。

またルールを用いた機器管理方式が幾つか提案されている。文献[7]では、ルールを用いて無線タグシステムを管理する方式が提案されている。しかし、蓄電池の充放電を考えておらず、本研究とはルールの体系が全く異なる。

3. ルール型給電機器管理システム

蓄電池の特性や最適な使用方法は使用環境や接続する負荷機器、ユーザの使用形態により大きく異なるため、

† 神戸大学大学院工学研究科, Kobe University Graduate School of Engineering,

‡ 大阪大学サイバーメディアセンター, Osaka University Cybermedia Center,

表 1：直流電力制御ルールに用いる情報

項目	説明
出力電圧	負荷接続時の電圧
端子電圧	電池の端子電圧
電流量	現在の供給電流料
電池残量	放電特性から計算される残電力
受給電状態	放電中・充電中・電力停止中の動作管理
劣化度合い	充放電回数と開放電圧から求める劣化度合い
充放電履歴	過去に充放電された回数
スイッチ状態	接続されているスイッチの状態
環境情報	接続されたセンサや外部情報を任意に追加

これらに柔軟に対応する管理が必要となる。本システムの要件としては以下の4点があげられる[8].

1. 状態やユーザを考慮した給電及び充電の制御
2. 蓄電池の状態認識
3. 充放電状況の監視及び記録
4. ユーザへ電池状態の提示

これらの要件を満たした柔軟な蓄電池管理を実現するために、本研究では If-Then 形式のルールを用いて、状況に応じて変更可能な管理の実現を目指す。

If-Then 形式ルールとは「ある事象の条件を満たしている時に、それに対応するアクションを実行する」という動作原理である。また多数のルールを用いて機器の制御を行うシステムは使用者や環境に合わせてルールを追加・変更することで様々な状況に対応した柔軟な制御が可能となる。さらにルールの送受信を行い、自身が保有するルールを他の端末に知らせることで、その場に応じた情報やルールを受け取るといったサービスの実現が可能となる。よって個々の機器では単純な機能しか持たないものが、集合体としてシステムを構成することで利便性のあるシステムを提供できるようになる。

本研究では上記のような If-Then ルールの特性に注目し、この制御システムを用いて蓄電池の電力管理を行うことで、先述した要件を満たす給電機器管理システムを実現する。

ルールで用いる情報を表 1 に記す。出力電圧や電流量等は電池に A/D 変換機や検流抵抗等を搭載して測定する。また、電池残量や蓄電池の劣化度合いは、測定した電圧・電流の値に加えて、使用する蓄電池の放電曲線をあらかじめ測定しておき、その値を用いて導出する。システムにスイッチを搭載しておくことで、スイッチの切り替えによる制御モードの変更できる。

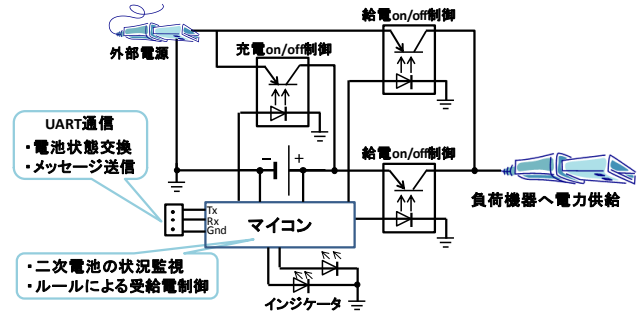


図 1：ハードウェア構成

4. システム構成

本章では提案するルール型給電機器管理システムを説明する。ルール型給電機器管理システムは、マイコンを備えた給電機器で構成される。以下にハードウェア構成とソフトウェア構成を順に説明する。

4.1 ハードウェア構成

提案システムのハードウェア構成を図 1 に示す。中央には電池の記号で示す蓄電池がある。また小型直流機器である負荷機器がその右側に示してあり、図の左上には外部電源がある。外部電源とは、電源コンセントや他の電池といった二次電池外部からの電力供給を意味する。これらが 3 個のスイッチング素子を間にしてそれぞれ接続されており、スイッチング素子を ON/OFF することで蓄電池への充電や、蓄電池から機器への電力供給、外部電源からの機器への電力供給を制御できる。スイッチング素子は中央下部にあるマイコンの I/O ポートを用いて制御される。マイコンは蓄電池の状態監視もしており、マイコン内蔵の A/D 変換機や接続された検流抵抗を用いることで、これまでに出した電力や現在の電圧・電流の値を計測できる。

これまで、制御マイコンには AVR ATmega168 を用いていたが、使っていない端子や不要な機能があったため、本研究では AVR ATmega644 に変更した。これにより、マイコンのサイズを小さくするとともにマイコン自体の消費電力の削減につながる。さらに、A/D 変換の精度を向上させるため、計測端点の電圧の差を直接計測するディファレンシャル型の A/D 変換に改善した。

4.2 ソフトウェア構成

蓄電池管理システムは登録されているルールを繰り返して処理する。今回作成したルールの構成を図 2 に示す。If-Then 形式の If の部分が条件部分、Then の部分がアクション部分に対応している。ルールのデータサイズを小さくするため、バイナリコーディングを行っている。マルチ条件やマルチアクションを利用する場合は 1 ブロック単

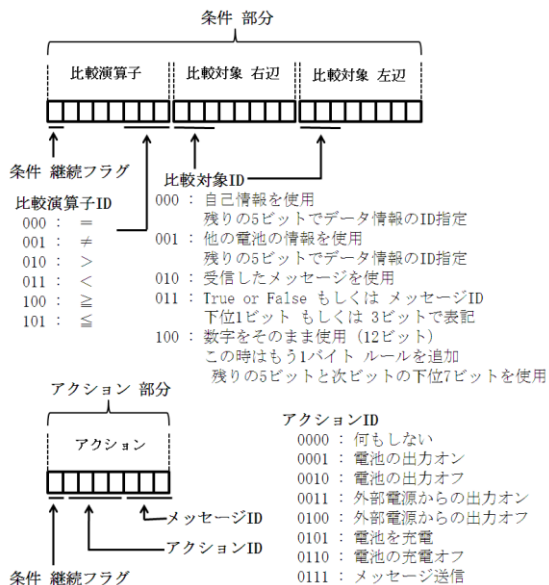


図 2 : ルールフォーマット

表 2 : 電力ルールに使用する情報の ID

ID	情報の説明
00000	電池の端子電圧
00001	出力電流
00010	出力電圧
00011	外部電源の有無
00100	電池出力の状態
00101	外部電源出力の状態
00110	電離充電制御の状態

位でルール長が増加することになる。処理する必要のないブロックを読み飛ばせるため、処理時間の短縮につながる。

条件部分は比較演算子と式の左辺・右辺の3要素で構成される。先頭の比較演算子部では条件継続フラグと比較演算子 ID を指定できる。これにより先頭の条件継続フラグを"1"にすることで条件の追加を許可し、一つのアクションに対して複数の条件を記述できる。比較対象は左辺右辺ともに同じ形式となっている。蓄電池の情報や受信したメッセージなどを使用する場合は1バイトで構成され、先頭3ビットで比較対象を指定し、残りの5ビットでIDの指定を行う。今回実装している情報のIDを表2に記す。将来の拡張のため、IDには十分なビットを割り当てている。また数字をそのまま使用する場合は2ビットで構成されており、最大で12ビットの値を指定できる。

アクション部分の先頭1ビットはマルチアクションを記述するかを決定する継続フラグとなっており、継続フラ

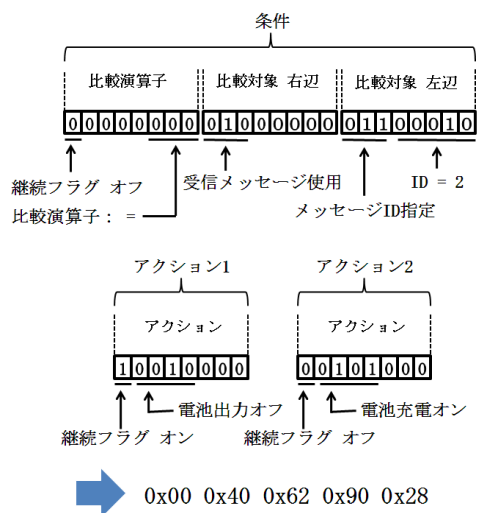


図 3 : 電力ルールの動作記述例

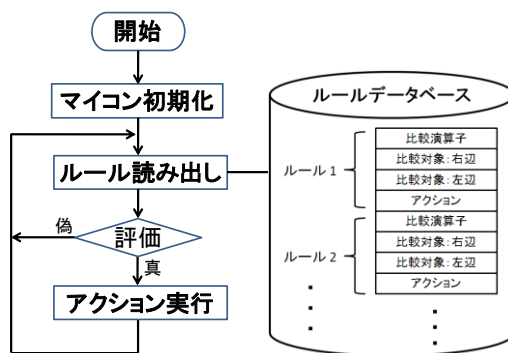


図 4 : ルール処理の流れ

グが"1"である限りは続けてアクション部を記述することで複数のアクションを順次実行できる。次の4ビットでアクション ID を指定し、メッセージ送信を行う際はメッセージ ID を最後の3ビットで記述する。

例えば、このルールフォーマットに従って「受信したメッセージが2であるなら、電池からの出力をオフにしてから電池の充電を行う。」というルールを記述すると図3に示すように「0x00 0x40 0x62 0x90 0x28」の5バイトにコーディングされる。

またルール処理の手順を図4に示す。ルールの処理ルーチンでは、保存されたルールを順に読み出し逐次評価する。ルールを読み込み、動作条件を評価し、その条件が満たされていれば制御命令を実行、満たされていなければ制御命令を実行せずに次のルールを読みだす。全てのルールを評価し終わると、はじめのルールに戻り再度評価を行う。

4.3 コマンド制御

提案システムでは PC からルールの書き換えやメッセージの送受信、ルール変更やアクション実行を行えるように制御コマンドを設計した。また電力制御の際に他の電池との連携を行うためのメッセージの送受信機能もコマン

表 3 : コマンド制御一覧

実行動作	制御コマンドと その後に送る値
EEPROM の書き込み	0, アドレス, 書き込む値
EEPROM の読み出し	1, アドレス
指定アクションの実行	2, アクションのナンバー
情報の要求	3, ID のナンバー
自己情報の送信	4, ID ナンバー, 値
メッセージ送信	5, メッセージ ID

ド制御の中に設計している。今回設計した制御コマンドの一覧を表 3 に示す。コマンドはシリアル通信で送受信する。

5. 提案システムの実装

5.1 実装概要

提案システムをブレッドボード上で実装した。実装した装置の外観を図 5 に示す。図では提案システムを二つ実装してある。マイコンには Atmel 社の ATmega644 を、スイッチング素子には PhotoMOSFET リレーを、蓄電池は三洋電機株式会社のリチウムイオンバッテリー KBC-L3S を使用した。また他の機器との通信機能は UART 通信を用いて実装している。ルールエンジンはマイコンに実装し、ルールはバイナリコードで表してマイコンの EEPROM に保存した。またコマンド制御はマイコンのメッセージ受信割り込みを用いて実装した。PC や他の機器からメッセージが送られてきたときには、ルール処理中やアクション実行でもすぐに送られてきたメッセージの処理が行われるように実装されている。

5.2 処理時間

ルールの処理時間が現実的なものであるかを確認するために、以下に示すルールの実行に必要な処理時間を計測した。結果、アクションが一つも実行されない場合には約 4200 クロック、全てのアクションを実行した時は約 46000 クロック必要であることを確認した。マイコンは 8MHz で動作させたため、これらを時間で表すとおよそ 0.5ms, 5.8ms となる。十分速い時間で蓄電池の制御を行っていると考えられる。

ルール1: 外部電源がある場合には、外部電源から機器に電力を供給する。

ルール2: 外部電源があり電池の端子電圧が 3.5V 以下なら、電池の充電を行う。

ルール3: 出力電流が 300mA 以上なら、メッセージ "1" を送信する。

6. おわりに

本研究では、ルール型給電機器管理システムの設計と実装を行った。制御コマンドの送受信を可能にし、ハー

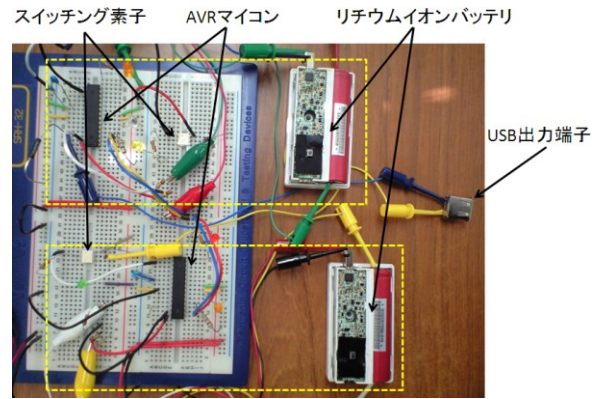


図 5 : ブレッドボード上での実装

ドウェアの見直しを行ってブレッドボード上でプロトタイプの実装を行った。プロトタイプを用いてルール処理にかかる時間が数ミリ秒程度であることを確認した。

今後の課題として、様々な環境や状況に対応するための制御ルールの作成や、ルール処理の優先順位の考慮などがあげられる。

謝辞

本研究の一部は、独立行政法人情報通信研究機構 (NICT) の委託研究「情報通信・エネルギー統合技術の研究開発」の助成によるものである。ここに記し深謝する。

参考文献

- [1] Eneloop (エネルーブ) : <http://jp.sanyo.com/eneloop/>.
- [2] 松山隆司 : “エネルギーの情報化 : 電力ネットワークと情報ネットワークの統合,” 京都大学電気関係教室技術情報誌, pp.3-8 (2010).
- [3] 義久智樹, 高橋真喜人, 藤田直生, 塚本昌彦 : “マルチ電源環境におけるルールを用いた電力管理システム,” システム制御情報学会研究発表講演会 (2011).
- [4] The OSGi Alliance: OSGi Service Platform, Release 4, Version 4.2, <http://www.osgi.org/>.
- [5] K.Wacks: “The Successes and Failures of Standardization in Home System,” in Proc. IEEE International Conference on Standardization and Innovation in Information Technology, pp.77-88 (2001).
- [6] 日立製作所株式会社 : <http://www.hitachi.co.jp/Div/ise/upshp/index.html>.
- [7] T. Yoshihisa, Y. Kishino, T. Terada, M. Tsukamoto, R. Sagara, T. Sukenari, D. Taguchi, S. Nishio: “A Rule-Based RFID Tag System Using Ubiquitous Chips,” in Proc. IEEE International Conference on Active Media Technology (AMT'05), pp.423-428 (2000).
- [8] 高橋真喜人, 南靖彦, 藤田直生, 義久智樹, 塚本昌彦 : “電力制御ルールに基づく小型直流機器の電力制御システムの提案,” 電子情報通信学会総合大会, BS-8-1 (2010).