

電力のインテリジェント制御機能つきスマートタップの開発

A Smart Tap for Intelligent and Active Power Control

森本 尚之« 田中 真実« 明比 輝一«
Naoyuki Morimoto Masami Tanaka Terukazu Akehi

吉田 雅昭« 吉水 宏幸« 滝山田 昌文« 上村 洋平«
Masaaki Yoshida Hiroyuki Yoshimizu Masahumi Takiyamada Yohei Kamimura

1. はじめに

地球温暖化対策や石油資源の枯渇問題といった観点から、CO₂ 排出量削減・省エネルギー化・自然エネルギーの有効活用が求められている。わが国では、特に家庭での電力消費量が増加傾向にあることが以前から指摘されていたが、東日本大震災から波及して全国的に電力需給が逼迫したことにより、一般家庭における高度なエネルギーマネジメントの重要性があらためて浮き彫りになった。

近年の家電機器は家電メーカーの研究開発による省エネ化が進んでいるが、個々の機器単体レベルにとどまる省エネの効果は限定的である。また近年、機器それぞれに電力センサを取り付けて電力消費データを収集し可視化するという、いわゆる「電力消費の見える化」によってユーザの省エネ活動を支援するという、いわば間接的な省エネシステムが盛んに研究・実用化されている。しかし、「見える化」によって省エネのための行動指針が示されたとしても、その実行にはユーザの努力と手作業が必要となる。ユーザにとって低負担かつ効果的な省エネのためには、ユーザのおおの生活や電力消費パターンに適したポリシーに基づいて、機器同士が情報通信により自律的・協調的に動作し、機器が電力をアクティブに制御することが望ましい。

われわれは「エネルギーの情報化」[1] の考え方に基づき、インテリジェントな電力制御のための「スマートタップ」の研究開発を行っている。これは電力消費や環境（温度・照度など）をセンシングするとともに、他機器との情報通信機能やアクティブな電力制御機能を持つデバイスである。本稿で述べるタイプのスマートタップは、既存の家電機器に対して電力のアクティブ制御を行うための一種のアダプタとみなせる。スマートタップには、ユーザのおおの電力消費パターンに適したさまざまな電力制御ポリシーや、各種の環境センサなどの機能追加に対応できるソフトウェア・ハードウェア両面での拡張性が重要である。

本稿では、われわれの開発したスマートタップの概要と、その拡張性と柔軟なポリシー設定機能によるアクティブな電力制御機能のひとつとして実装した、ソフトウェアによるブレーカ機能について述べる。ソフトウェアブレーカ機能により、熱動式・電磁式ブレーカでは実現の難しい、詳細な条件設定での遮断が可能となる。

以下、エネルギーの情報化の考え方とスマートタップが担うべき機能について述べる。次いでわれわれのスマートタップの設計と、ソフトウェアブレーカ機能の実装

について述べる。そして関連研究を紹介し、最後に本スマートタップを用いた省エネシステムの研究展望と今後の課題について述べる。

2. エネルギーの情報化とスマートタップ

松山が提唱するエネルギーの情報化 (*i-Energy*) [1] は、情報通信技術による電力ネットワークの高度化の考え方であり、ユビキタスコンピューティングやセンサネットワークの技術を応用して、実世界の人間の行動パターンを学習・予測しつつ電力の需給バランスを取るという、プロアクティブなエネルギー制御・管理の実現を目標としている。米国のスマートグリッドとエネルギーの情報化との本質的な相違点は、スマートグリッドは電力事業者の管理・管轄する広域かつ公的な送電網が対象となるのに対し、エネルギーの情報化では、家庭や集合住宅、地域コミュニティなどにおける電力網を対象とする点である。

エネルギーの情報化には次の 4 段階がある。

- (1) 家庭内のあらゆる機器の電力消費や環境をスマートタップによりセンシングする。
- (2) スマートタップの電力制御機能を用いて電力供給をオンデマンド型で行う。
- (3) 電力の由来別制御により、エネルギー品質 (Quality of Energy, QoEn) を考慮した適材適所な電力供給を行う。
- (4) 上記を階層化し、地域レベルに広げる。

スマートタップはこれらすべての段階において用いられる基本要素であるが、特に第一段階と第二段階において重要な役割を果たす。第一段階では、スマートタップで収集する電力消費データを基にして、「電力消費の見える化」と同様に、電力消費状況のリアルタイム表示や、中長期的な省エネ指針を定めユーザに提示するといった、ユーザへの省エネ支援を行う。第二段階におけるオンデマンド型の電力供給では、電力消費機器が必要とする電力の量や品質をスマートタップの通信機能により明示的にネットワークに提示し、電力ネットワーク側が供給可能電力量と他の消費機器からの供給要求を勘案して、機器ごとに定められた優先度に基づいて「電力の最適割り当て」を決定したうえで電力を供給する。電力の最適割り当ては、ユーザの生活品質 (Quality of Life, QoL) をできる限り損なわない消費電力削減を実現する。たとえば電力需要が電源の供給可能量もしくは電力使用量の目標値を越える際には、スマートタップの電力制御機能を用いて優先度の低い機器への供給が OFF ないし削減され、優先度の高い機器への電力供給は維持される。これによ

り、優先度の高い機器の利用を継続しつつ、電力使用量を一定値以内に収めることができる。

スマートタップに求められる機能としては以下が考えられる。

(1) 測定機能

電力関連のさまざまな量（電力、電圧、電流など）を計測する機能。

(2) 制御機能

さまざまな制御ポリシーに基づき電力を制御する機能。

(3) 通信機能

計測データをデータ収集や制御のための外部サーバなどに送る、あるいは別のスマートタップなどとの連携のための通信を行う。

(4) その他

温度・照度などを計測する環境センサなど。

ここで、(1)については正確に測定できること、(2)については制御ポリシーが柔軟に設定できること、(3)については通信媒体の汎用性が高くかつ速度が十分であること、(4)についてはさまざまな環境センサを追加できるように拡張性に優れることが望ましいと考えられる。以上を踏まえて、次節ではわれわれの開発したスマートタップの設計概要について述べる。

3. スマートタップの設計概要

開発したスマートタップの外観を図1に示す。また、表1にスマートタップのスペックを示す。汎用的かつ十分高速な通信媒体としてWi-Fiならびに有線LAN(RJ-45)を採用した。

また、今後の高機能化や拡張に備えて、センシングや制御を行う基板と通信やアプリケーションを担う基板とを分離した。これにより、たとえば将来的に計算負荷の高いアプリケーションを動かす必要に迫られた場合、センシング・制御基板は変えることなく、アプリケーション基板のみを高機能なものに更新すればよい。

スマートタップのシステム構成の概要を図2に示す。以下、ハードウェアとソフトウェアに分けてそれぞれを概説する。

3.1 ハードウェア

主にアプリケーション基板とセンシング・制御基板で構成される。各基板の機能を以下に示す。

(1) アプリケーション基板

外部とのデータ通信を行う。また、センシング・制御基板と通信し、センサデータの取得やリレーの制御指令を行う。将来的な環境センサ追加などに備えたUSB 2.0ポートを2個持つ。

(2) センシング・制御基板

アプリケーション基板に対してセンサデータを送信する。また、アプリケーション基板からの制御メッセージを受信し、リレーの開閉制御を行う。



図1: スマートタップの外観

表1: スマートタップのスペック

項目	説明
測定項目	積算電力, 瞬時電力, 電圧, 電流
測定性能	サンプリング: 20kHz, 誤差: ±2%以内 (0.5A~15A), 分解能: 12ビット
定格電圧	100V
定格電流	15A (コンセント4個口の合計)
測定範囲	2段レンジ自動切替 (~1A, ~15A)
制御定格	コンセント個別に最大15Aの負荷をON/OFF
インタフェース	Wi-Fi, USB2.0, 有線LAN (RJ45)

3.2 ソフトウェア

アプリケーション基板にて動作するDebian GNU/Linux上に、以下の機能を持つソフトウェアを実装した。

(1) 外部との通信

センサデータを外部に送信する。また、外部からのON/OFF制御メッセージや制御ポリシー設定を受け取る。

(2) 制御ポリシーの管理・実行

センサデータと制御ポリシーに基づき、電力センサインタフェースがセンシング・制御基板へと送信する制御指令の内容を決定する。

(3) センサ・制御インタフェース

センシング・制御基板からのセンサデータを受信する。また、センシング・制御基板に対して制御指令を送信する。

将来的な情報の追加や機能追加などの拡張を容易とするため、センサデータや制御コマンドのメッセージフォーマットは図3に示すようにXMLに類似したものを採用した。

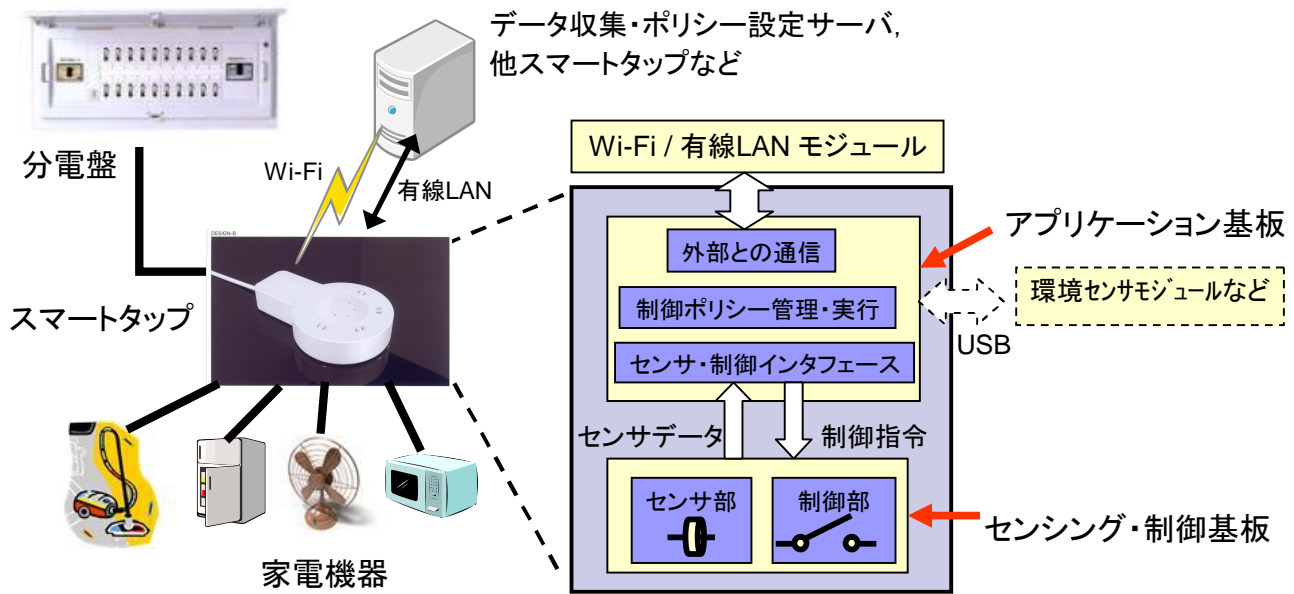


図 2: システム構成の概要図

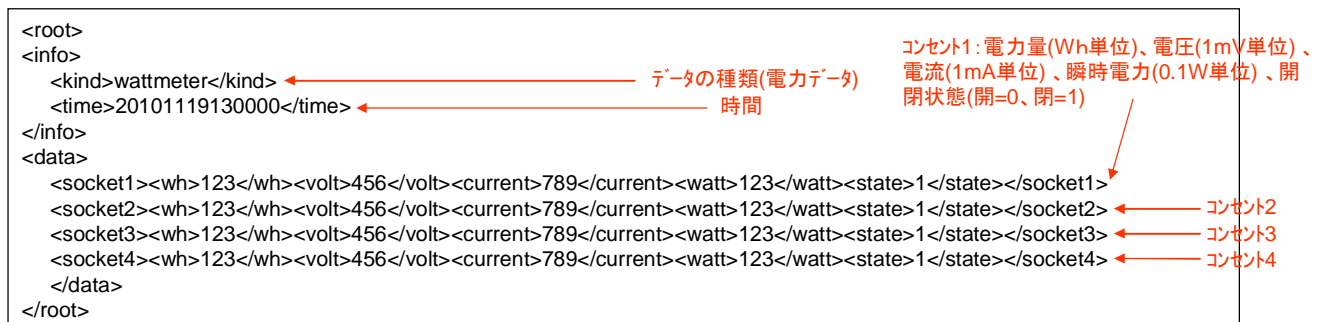


図 3: センシングデータのフォーマット

4. ソフトウェアブレーカ機能の実装

本スマートタップの拡張性を生かしたアクティブな電力制御の一例として、電流監視によるソフトウェアブレーカ機能を実装した。以下、その概要を述べる。

現在、家庭内の分電盤に設置されているブレーカでは、コンセント単位や機器単位での電流制限はできず、過電流発生時には必要以上に広い範囲で電力供給が停止することになる。また、既存のブレーカは一般に熱動式・電磁式であるが、これらは特性上、遮断が実行されるまでの時間に状況によって幅があるため、たとえば「15A が 2 秒続いたら遮断」といった細かな条件に基づく動作は難しい。

ソフトウェアブレーカの利点は、電流の閾値と遮断までの時間を任意に設定でき、かつその設定に厳密に基づく動作が可能なことである。センシング・制御部分で各コンセントのセンサ計測情報を取り込み、それぞれの回路で電流量と経過時間を監視し、あらかじめ設定した条件によって回路の開閉を行う。電流量と経過時間の条件についてはコンセントそれぞれについて、たとえば「コンセント 1 は 5A を基準として 120% の電流値で 10 秒経過、または 150% の電流値で 3 秒経過すると回路遮断」といった 2 段階設定を可能とした。本機能の動作概要を図 4 に示す。

本機能の実験として、以下の条件設定での動作確認を行った。

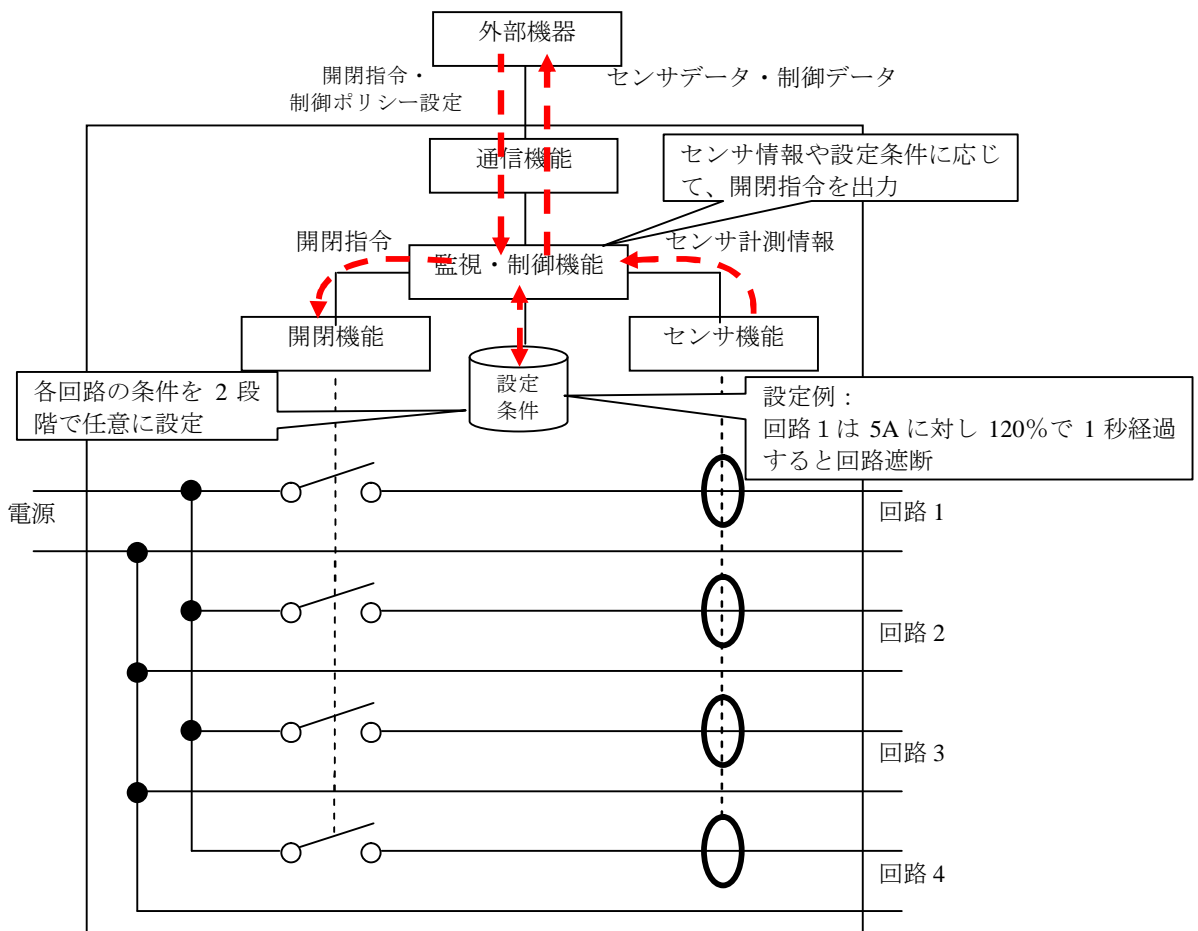


図 4: ソフトウェアブレーカ機能の動作概要

(1) コンセント単位での制限超過

「単一のコンセントについて、5A を基準として 120% の電流が 1 秒間流れた時点で回路遮断」という設定下で 6A の電流を通电した結果、1 秒後に回路遮断が正しく実行された。

(2) 複数コンセントの合計値での制限超過

「4 つのコンセントの合計値として、15A を基準として 120% の電流が 1 秒間流れた時点で回路遮断」という設定下で合計 18A の電流を通电した結果、1 秒後に回路遮断が正しく実行された。

回路遮断の際には電流値の大きなコンセントから順に遮断するなど、任意の優先度に基づく制御が可能である。また、ここでは電流監視によるブレーカ機能について述べたが、例えば積算電力量が閾値を越えたコンセントの

遮断といった、電流以外の項目の監視による制御も設定可能である。

5. 関連研究

電力消費量の可視化に関しては盛んに研究開発がなされている。たとえば [2] ではコンセント単位で電力消費量をセンシングし、可視化を行っている。スマートタップ、またはそれに類似の機能を持つデバイスの研究開発動向については [3] が詳しい。

6. おわりに

「エネルギーの情報化」の考え方にに基づき、インテリジェントかつアクティブな電力制御機能を持つスマートタップを開発した。そして本スマートタップによる電力制御の一例として、電流量監視によるソフトウェアブレーカ機能を実装した。

今後の課題としては、本スマートタップを用いた実証実験があげられる。我々は京都大学、神戸大学、大和ハウス工業（株）、（株）トランス・ニュー・テクノロジーの4機関と連携して情報通信研究機構委託研究「情報通信・エネルギー統合技術の研究開発」（略称：ICE-IT）として研究を行っている [4]。ICE-IT のアーキテクチャでは、情報通信におけるルーティングプロトコルや資源予約プロトコルなどの電力ネットワークへの応用 [5] や、電力制御ルールに基づく動的な機器連携によるエネルギーマネジメントシステム [6] などの研究がなされている。今後、これらの研究成果をわれわれのスマートタップに実装・連携させ、実環境でのエネルギーマネジメントについて検証してゆきたい。

また、本スマートタップの拡張性を生かして、ソフトウェアブレーカ以外の追加機能や、温度・照度などの環境センシング機能を実装し、エネルギーマネジメントに活用する予定である。

謝辞

京都大学松山隆司教授、同大学岡部寿男教授をはじめ、日頃ご討論いただくエネルギーの情報化ワーキンググループ各位ならびに ICE-IT 関係各位に深謝する。なお本研究は NICT 高度通信・放送開発委託研究「情報通信・エネルギー統合技術の研究開発」による。

参考文献

- [1] 松山隆司, エネルギーの情報化 (i-Energy) ~電力ネットワークと情報ネットワークの統合による安全・安心なエコライフの実現を目指して~, ITU ジャーナル, Vol. 38, No. 12, 2008.
- [2] Joshua Lifton, Mark Feldmeier, Yasuhiro Ono, Cameron Lewis, Joseph A. Paradiso, A platform for ubiquitous sensor deployment in occupational and domestic environments, Proc. IPSN, pp.119-217, 2007.
- [3] 塚本昌彦, 加藤丈和, スマートタップの共通仕様化に向けて, 情報処理 Vol.51, No.8, pp.934-942, 2010.
- [4] 岡部寿男, 情報通信・エネルギー統合技術の研究開発, システム/制御/情報, システム/制御/情報 Vol.55, No.6, pp.221-226, 2011.
- [5] 藤本圭, 小山洋一, 岡部寿男, 電力経路制御における電源側主導資源予約, 電子情報通信学会 2010 年総合大会 BS-8-2, 2010.
- [6] 藤田直生・義久智樹・塚本昌彦, 電力機器制御ルールによる家庭内電力割当手法に関する一考察, 電子情報通信学会 2011 年総合大会 BS-10-7, 2011.