

i-Energy Profile : スマートタップネットワークによる エネルギーの情報化プロファイル

加藤 丈和†a) 松山 隆司†

i-Energy Profile: Energy Informationization Profile by Smart-tap network

Takekazu KATO†a) and Takashi MATSUYAMA†

あらまし 環境に優しく高度な省エネ機能を備えた社会基盤の構築を目指して、各種の分散電源や蓄電装置、電気自動車の導入が世界的に進められている。我々の研究グループでは、家庭・オフィス、さらには近隣コミュニティに配置される多様な分散型エネルギー生成・蓄積装置を効率的に管理運用するため新たなエネルギーマネージメント方式として、「エネルギーの情報化」というコンセプトを提案し、主として電力ネットワークを対象とした研究開発を行っている。電力エネルギーを対象とした「エネルギーの情報化」では、単に個々の家電の消費電力の見える化や分散電源・蓄電装置の遠隔制御を行うのではなく、電力ネットワーク上の電力フローそのものの推定・制御により、電源、電気機器、電力ネットワークで生成、消費、流通される電力エネルギーの精密なモニタリング、太陽電池や蓄電池など異なった電源ごとに供給先を指定し、電力フローを制御する電力の由来別制御、さらに電力需要と電力供給の適応的な調停を行うオンデマンド型電力ネットワークシステムなど、従来にはない新たな電力マネージメントシステムの実現を目指している。本稿では、「エネルギーの情報化」の要素技術として、電源、電気機器、コンセント単位で詳細な電圧・電流波形の計測・収集・制御を行うスマートタップと、それらを協調動作させて、電力フローの推定・制御を行うためのスマートタップネットワークの機能要件 (i-Energy Profile) について述べる。

キーワード エネルギーの情報化, i-Energy Profile, スマートタップ, 電力フロー推定, 電力カラーリング

1. まえがき

従来、電力ネットワークは大型発電所で生成した電力を工場・オフィス・家庭へと配送する、集中制御・一方向のトップダウン型のネットワークであったが、近年地球温暖化防止などの政策によって太陽光発電や風力発電などの分散電源が導入され、急速に分散化・双方向化、個人化が進められている。しかし、これらの分散電源は広く地域に遍在し、発電量が天候などの条件に左右されるため、従来のトップダウン型の制御技術で安定かつ効率的に電力を供給することは難しい。一方で、家庭やオフィスで使用される電力は増加の一途をたどり、また電気自動車の導入によって、新しいパターンの電力需要の増加が見込まれ、電力需給のバ

ランスをコントロールし安定かつ効率的に利用するための新しいエネルギーインフラ技術が望まれている。

このような問題に対して、我々の研究グループでは、情報通信ネットワークと電力ネットワークの統合により、家庭・オフィス、さらには近隣コミュニティに配置される多様な分散型エネルギー生成・蓄積装置を効率的に管理運用するため新たなエネルギーマネージメント方式として、「エネルギーの情報化[1]」というコンセプトを提案し、研究開発を行っている。

エネルギーの情報化は、従来のトップダウン型の電力制御方式に対して、家庭・オフィスから近隣コミュニティへといった、需要家サイドから個々の家・オフィスの生活パターンに合わせた電力制御を行うボトムアップ型の電力マネージメント技術により、分散電源を含む電力の需給バランスをとりつつトータルの電力消費量の削減を目指している。

† 京都大学情報学研究所, 京都市
Graduate School of Informatics, Kyoto University, Yoshida-Honmachi,
Sakyo-ku, Kyoto 606-8501 Japan.
a) E-mail: tkato@iecc.org

エネルギーの情報化の基盤技術として、個々の家電や分散電源の状態を把握し、かつ、電力コントロールを行う「スマートタップ」とそれらの協調技術としての「スマートタップネットワーク」の研究開発を行っている。スマートタップネットワークでは、単に個々の家電の消費電力の見える化や分散電源・蓄電装置の遠隔制御を行うのではなく、電力フローそのものの推定・制御や居住者の生活パターンの学習・認識技術により、太陽電池や蓄電池など異なった電源ごとに供給先を指定し電力フローを制御する電力の由来別制御、さらに電力需要と電力供給の適応的な調停を行うオンデマンド型電力ネットワークシステムなど、新しい電力マネージメントシステムの実現を目指している。

本稿では、エネルギーの情報化の基盤となるスマートタップネットワークの機能要件である i-Energy Profile について述べる。

2. スマートメータとスマートタップ

情報通信技術をもちいた電力ネットワークの高度化技術として、米国を中心としてスマートグリッドの研究・開発・実証が進められている[2]。スマートグリッドでは、「スマートメータ」とよばれる電力消費量の計量自動化システムが導入され、各家庭の電力消費量計測のオンライン化が進められている。また、家庭内の個々の家電や電源の電力消費量を目的としたコンセント型のスマートメータも定義・製品化されているが、基本的にはこれらのスマートメータも電力消費量をオンライン化したものであり、ある一定時間の積算電力を対象としている点は変わらない。スマートメータの機能は、次式のようにある時区間 $[t_1, t_2]$ の積算電力を計測する装置と定義できる。

$$\text{電力量} = \int_{t_1}^{t_2} i(t)v(t)dt$$

スマートメータ＝電力量計測＋通信機能

これに対してエネルギーの情報化では、家庭やオフィスを対象として、個々の家電や分散電源の電力計測や制御だけでなく、家電の使用状態を認識するとともに、そこから生活者の行動パターンを学習・認識し、家庭内の電力フローそのものを制御することを目的としている。そのため、スマートタップは単なる電力量計ではなく、電圧・電流波形 $i(t), v(t)$ そのものを

表 1 スマートメータとスマートタップの比較
Table 1 The comparison of smart-meter and smart-tap.

種類	計測対象	測定間隔	目的	データ所有者
電力量計	家全体の消費電力量	1ヶ月	電気代課金	電力会社
スマートメータ	家全体・家電の消費電力量	数10分程度	計量自動化、需要予測、デマンドレスポンス	電力会社
スマートタップ	電源・家電の電圧・電流波形	ミリ秒～秒単位	家電の状態推定、生活パターンの解析、電力フロー推定・制御、オンデマンド型電力ネットワーク	居住者

計測・制御対象とする。また、このような電圧・電流波形をネットワーク経由でリアルタイムに収集することは困難であるため、スマートタップ内部である程度の知的処理を行う必要がある。つまり、スマートタップは次式のように計測と内部処理機能を合わせ持つものとして定義できる。

スマートタップ＝電圧・電流波形計測（センサ）
＋内部処理（CPU）＋通信機能

表 1 エラー! 参照元が見つかりません。に従来型の電力量計、スマートメータ、スマートタップの比較をまとめる。スマートメータは電力量計をオンライン・デジタル化したものであり、電力量計に対して計測頻度は増しているが、基本的に家全体や個々の家電の消費電力量を計測対象としていることは変わらない。

これらに対してスマートタップでは、消費電力量だけではなく、電圧・電流波形そのものを計測対象としている点が大きく異なっている。そのため、ミリ秒～数秒の細かい時間間隔の現象を扱うこととなり、通信量削減を踏まえた機能設計を行う必要がある。また、電力量計やスマートメータは、計測したデータの所有権が電力会社にあり、それを居住者自身が使用するには電力会社の許可が必要となるのに対し、スマートタップではデータの所有権は居住者にあり、それをサービス提供会社に提供するかどうかは居住者自身が選択できる。

図 1 に我々が試作したスマートタップを示す。電力の測定を行なうための電圧・電流センサ（Voltage Sensor / Current Sensor）、電力制御のための半導体リレー（Solid State Relay）、通信のための ZigBee モジュール（Wireless unit）と、これら全体の制御や内部処理を行なうマイコン（Micro-controller with DSP）

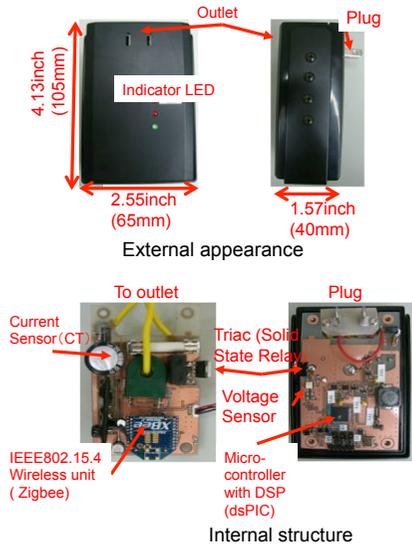


図 1 スマートタップの例
Fig. 1 Overview of the smart-tap.

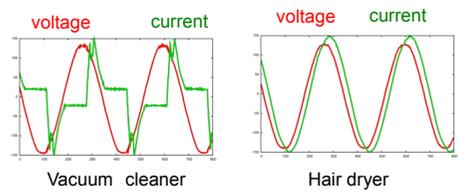


図 2 スマートタップで計測した電圧・電流波形
Fig. 2 Examples of voltage and current values.

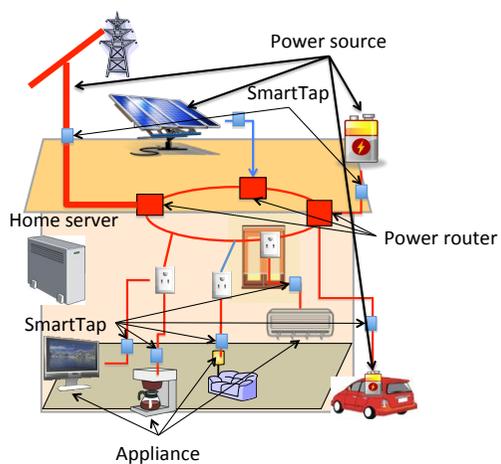
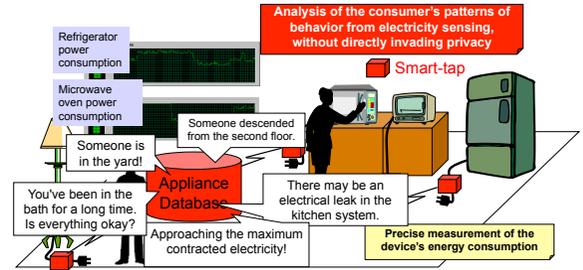
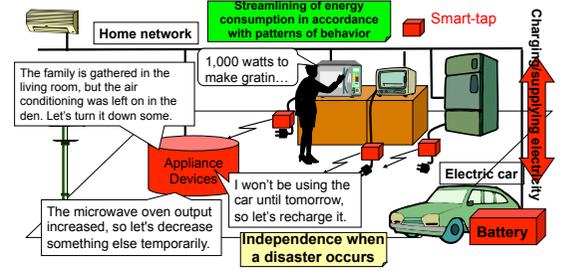


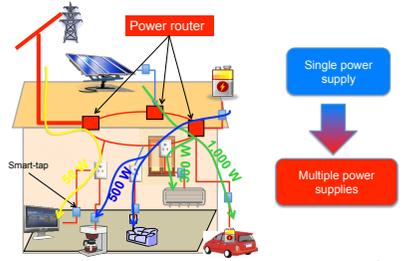
図 3 スマートタップネットワークの構成要素
Fig. 3 Components of SmartTap network



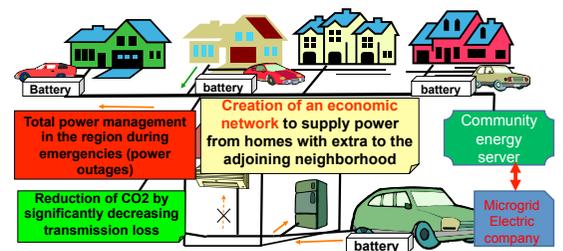
[Phase 1] Use of a smart-tap network to make energy consumption visible and learn/monitor human behavior



[Phase 2] Using an on-demand electrical power network for high-level power management



[Phase 3] Using a Nano Grid in the home for electrical power coloring (control by origin)



[Phase 4] Using a regional Nano Grid to create an energy trading market

図 4 エネルギーの情報化の実現フェーズ
Fig. 4 Four phases of the i-Energy.

表 2 スマートタップネットワークの要件

Table 2 Requirements of smart-tap network.

フェーズ	要件	セキュリティ
フェーズ1	電圧・電流波形計測・制御	プライバシー 安全性 信頼性
フェーズ2	EoD(需要調停プロトコル) QoEn(家電クラス)	
フェーズ3	EoD(電源選択プロトコル) QoEn(電源クラス, 蓄電池クラス) 電力カラーリング, 同期機能	
フェーズ4	経済ネットワーク統合(価格決定) 家庭・配送網間インタフェース	

から構成される。交流 100V¹, 15A (1500W) まで計測でき、半導体リレーによって電力制御を行なうことができる。このスマートタップの特徴は、一般的なスマートメータの内部サンプリングレートが数百から数千 Hz 程度であるのに対して、より詳細な電圧・電流波形の解析を行うために 16bit, 20kHz という高いサンプリングレートで計測している点である。また、電圧・電流波形を解析する高度な内部処理・制御のために DSP 内蔵のマイコンを搭載している。

図 2 にスマートタップで計測した電圧・電流波形の例を示す。近年の家電のほとんどは内部にスイッチング電源やインバータなどの高度な制御装置をもっているため、20kHz という高いサンプリングレートで計測することにより、1 交流周期内の電流波形には家電毎に特徴的な波形があらわれ、消費電力だけでみると同じような家電でも、電流波形の形状を比較する事で家電の種類や状態を認識できることがわかる。

スマートタップ自身の消費電力は、約 1.3W であるが、各家電、電源に設置すると家全体で多くのスマートタップが必要になる。そこで現在、部品の見直し、および、間歇的動作や必要部品のみ動作させるなどのソフトウェア制御の効率化により、さらなる低消費電力化を図っている。また、現在はコンセントに挿し込む外付けタイプであるが、小型化によりコンセント内部に埋め込めるタイプを開発中である。

3. i-Energy Profile: エネルギーの情報化のためのスマートタップネットワークの機能要件

本章では、エネルギーの情報化のためのスマートタップネットワークの役割と、そのための機能要件である i-Energy Profile について議論する。ここで、i-Energy Profile で想定しているスマートタップネット

ワークの構成を図 3 に示す。ネットワークは家電機器 (Appliance), 電源 (Power source), スマートタップ (SmartTap), ホームサーバ (Home server) からなる。各家電機器はスマートタップを経由してコンセントにつながれている。また、電源機器にも電源用のスマートタップを経由して電力を供給している。スマートタップは家電機器や電源の電圧・電流を観測するとともに、供給電力の制御を行うことができる。また、ホームサーバは、スマートタップから送られてきたメッセージに基づいて家電機器や電源の調停を行い、各家電機器や電源に電力供給の可否や供給量を伝える。このとき、スマートタップはそれに従って家電機器への電源供給や電源からの電力供給をおこなう。

スマートタップは、家電機器あるいは電源とセットで用いられ、これらの機器の状態監視、制御、ホームサーバとの通信の機能を受け持つインタフェースとして機能する。また、将来的には家電機器や電源にこれらの機能を組み込むことで、家電機器や電源単体でこれらの機能を実現し、ネットワークを構成できると考えられる。

i-Energy Profile は、スマートタップネットワークにおいて、スマートタップを中心とした構成要素が持つべき機能と、スマートタップとホームサーバの通信内容、および、オンデマンド電力ネットワークを実現するためのプロトコルなどの機能要件をまとめたものである。

我々は、エネルギーの情報化を実現するために、図 4 に示す 4 つの実現フェーズに分けて研究開発を進めている。各フェーズについて i-Energy Profile が定義するスマートタップネットワークの機能要件の概要を表 2 に示す。フェーズが進むごとに前のフェーズの要件に新しい要件が追加される。以下では、各フェーズについてスマートタップネットワークが果たす役割と、満たすべき要件の詳細について議論する。

3.1. 【フェーズ 1】スマートタップネットワークによるエネルギー消費の見える化と人間行動の学習・見守り

フェーズ 1 では、スマートタップネットワークを用いた家庭内のエネルギー消費パターンの見える化により、消費者の節電意識の向上を促すとともに、個々の家電の状態やそれをつかう生活者の行動パターンの学習・見守りを行なうことで、無駄な電力消費の発見など生活者の行動をサポートすることを目的としている。フェーズ 1 については、現在、図 5 エラー! 参照元

¹ 海外向け、およびエアコンや HI ヒーター用に 200V 対応のスマートタップも作成している。

が見つかりません。に示すような、1LDKのマンションで消費電力の見える化、家電や生活者の見守りの生活実証実験をおこなっている[4]。

個々の家電の状態や生活者の行動パターンの学習・見守りのため、スマートタップは単に消費電力を計測しホームサーバに送信するだけでなく、電圧・電流波形そのものを計測対象とし、接続されている家電が何であるか、またどのような状態であるかを学習・認識することが重要となる。しかし、スマートタップからホームサーバに電圧・電流波形そのものを全て送信するためには高速な通信が必要となり現実的ではない。例えば、我々が開発したスマートタップ[3]では、電流・電圧の2つのデータをそれぞれ16ビットで、一秒間に20,000回(20kHz)サンプリングするため、一秒間に $16\text{bits} \times 20,000 \times 2 = 640,000$ ビット(640,000bps)のデータを送信する必要がある、ZigBeeの通信速度(最大250kbps)で家庭内全てのスマートタップからホームサーバに送信することはできない。他の通信メディアを使う場合でもスマートタップ自身を低消費電力にするためと小型化のためにスマートタップネットワークに広帯域を割り当てることは現実的ではない。

そこで、我々はスマートタップとホームサーバの協調的な波形解析により家電の種類を認識する手法を開発した[3]。スマートタップ内部で計測した電流波形から、波形の形状を表す少数の特徴量を算出してホームサーバに送信し、ホームサーバでは受け取った特徴量をデータベースと比較することにより、スマートタップとホームサーバで協調して、波形解析を行うことで家電認識を実現する。実験では4個の特徴量を用いて、16種類の家電に対しどのような種類(冷蔵庫、洗濯機など)の家電であるか識別させたところ、99.9%の識別率で認識することができた。また、同種類の家電を含む25機種の家電に対し、どの機種の家電(例えばA社の型番Xの冷蔵庫など)であるかを識別させた場合では95.8%の識別率で認識することができた。なお、波形の形状を表す特徴は、多種の家電の電流波形から主成分分析によって求めた第一主成分から第四主成分までの固有ベクトルと、電流波形との内積(積和演算)によって求めた。

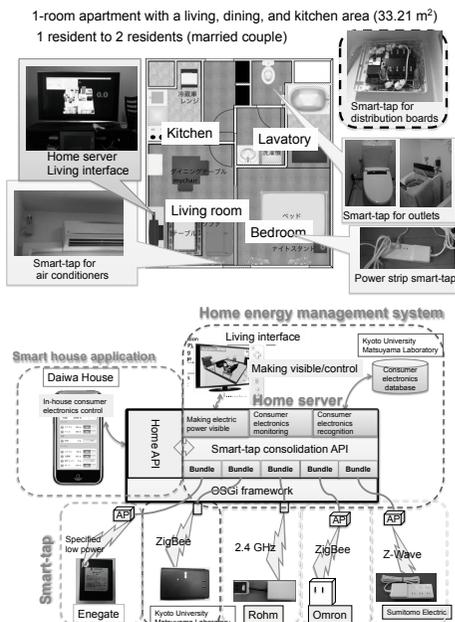


図 5 スマートマンションによるエコ生活実証実験
Fig. 5 Eco-life experiments of smart room.

表 3 フェーズ1におけるスマートタップのプロパティ
Table 3 Smart tap specification in phase 1.

プロパティ	データ形式	内容	取得/設定
計測時刻	時刻	値を計測した時刻	取得/設定
送信間隔	時間/イベント	データ送信の間隔、イベント: 波形が変化したとき送信	取得/設定
電力計測	電流	数値(A) 実効値(直流は平均値)	取得
	電圧	数値(A) 実効値(直流は平均値)	取得
	電力	数値(W) 一周期平均値	取得
	周期	数値(ミリ秒) 交流の場合は交流周期、直流の場合は計算周期	取得
電力計測	積算電力量	数値(Wh) 積算開始時刻からの積算値	取得/設定(積算リセット)
	積算開始時刻	時刻	積算電力量の積算開始の時刻
電圧・電流波形	特徴量	ベクトル 電流波形の特徴量(4次元)	取得
	電圧・電流波形	ベクトル 1周期分の電圧・電流波形(<周期>x20x2次元)	取得
	特徴抽出テーブル	ベクトル 波形特徴の抽出用テーブル(<周期>x20x4次元)	設定
電力制御	出力電力	0~100(%) 0がオン、100がオフ、0<X<100は電力量制御	取得/設定
	制御方式	オン・オフ/位相制御/サイクル制御/電圧制御	電力制御方式他にも家電自身の制御プロトコルと連携する方法も考えられる

つまり、あらかじめスマートタップに特徴抽出に必要な固有ベクトル(ここでは特徴抽出用テーブルと呼ぶ)を記録しておくことで、家電使用時にはスマート

表 4 スマートタップメッセージのフォーマット

Table 4 Data format for messages from smart tap.

コマンドのフォーマット		送信メッセージのフォーマット		
コマンド	設定値	識別子	取得時刻	データ部
16bit	0bit~608bit	16bit	32bit	16bit~576bit

タップ内部で特徴抽出用テーブルを用いて算出した特徴量のみをホームサーバへ送信することで、少ないデータ量で家電固有の電流波形の情報を得ることができ、スマートタップと家電との接続関係が固定されていない場合でも自動で認識することが可能となる。また、このような家電固有の波形情報を用いて家電の使用状態を認識する手法を現在開発中であり、家電や居住者の見守りのために有用であると考えられる。

i-Energy Profile では、電圧・電流波形そのものを取得する方法だけでなく、波形特徴を算出するための特徴抽出テーブルの設定と、特徴抽出用テーブルを用いて算出される特徴量の取得について定義する。

表 3 にフェーズ 1 におけるスマートタップのプロパティを示す。実効電圧、実効電流、実効電力、積算電力量などの電力計測の機能に加え、電圧・電流波形を分析するための要件、および、電力制御のための要件を追加する。

これらのプロパティの取得や設定は、現在 ZigBee プロトコル²で行っている。ZigBee では、1 パケットで 78 バイトまでの可変長ペイロードに宛先・送り元、データ長などのヘッダとチェックサムを付加して送受信できる。このペイロード部に設定コマンドやプロパティデータをセットして送受信を行う。表 4 にスマートタップが受け取るコマンドと、スマートタップから送信する取得データのフォーマットを示す。コマンドや識別子はそれぞれ設定コマンドと取得データの種別を表す ID であり、その後に設定値や取得データが続く。

電圧・電流波形は、データ量が多いためリアルタイムで送信することはできないが、事前にスマートタップに特徴抽出用のテーブルを設定することで、運用時にはスマートタップ内部で特徴抽出用テーブルと計測した電流波形との内積（積和演算）により特徴量を算出することができ、ホームサーバではこれらの特徴量を取得し、記録・処理することで個々の家電の学習や

表 5 電圧・電流波形データメッセージ

Table 5 Message for voltage-current wave.

波形情報								
"WH"	取得時刻	周期						
16bit	32bit	16bit	波形データ					
"WD"	取得時刻	先頭index (I)	データ数 (K)	電圧[I]	電流[I]	...	電圧[i+K]	電流[i+K]

表 6 特徴抽出テーブル設定メッセージ

Table 6 Message for feature extraction table.

テーブル情報					
"FH"	特徴番号	周期			
16bit	8bit	16bit	テーブルデータ		
"FD"	先頭index(i)	データ数(K)	テーブル[i]	...	テーブル[i+K]

認識を行うことができる。

以下に特徴学習ステップ、家電学習ステップ、家電認識ステップにわけて、それぞれの通信データについて述べる。

1) 特徴学習ステップ

特徴学習ステップでは、スマートタップ内部で特徴量を算出するのに必要な特徴抽出用テーブルを学習し、スマートタップに設定する。我々が開発した家電認識手法では、あらかじめ多数の家電から収集した電流波形を主成分分析することで得られた固有ベクトルを特徴抽出用テーブルとしてスマートタップに記録しておく。スマートタップ内部で入力した電流波形と固有ベクトルの内積（積和計算）により特徴量を算出することができる。

つまり、特徴学習ステップにおいては、特徴量を算出するための特徴抽出用テーブル（固有ベクトル）を学習するために、ホームサーバがスマートタップから電流波形そのもの取得・収集する必要がある。ただし、特徴抽出テーブルは個々の家電に依存しないものであるため、事前にスマートタップの出荷前あるいはファームウェアのアップデート時に、メーカーが特徴抽出用テーブルを学習しスマートタップ内部に設定しておくことで、運用時には電流波形をホームサーバに送信する必要はない。また、将来的に個別の家庭で使用している家電に電流波形の収集を行い、使用家電に最適化した特徴抽出用テーブルを学習することも考えら

² 現在は ZigBee プロトコル上で実装しているが、ペイロードのデータフォーマットは通信方式に依存しないため、他の通信媒体上への実装も可能である。

れ、この場合はホームサーバがスマートタップから電圧・電流波形を取得し、特徴抽出用テーブルの学習をおこなってスマートタップに設定する必要があるが、この場合においても、新しい家電が増えた場合にこれらの一連の処理を行えばよく、リアルタイムに電流波形を取得・設定できる必要はない。

表 5 に、スマートタップからホームサーバに電圧・電流波形を送信するときのメッセージ、表 6 に特徴抽出テーブルをスマートタップに設定するメッセージのフォーマットを示す。これらのデータは 1 パケットに収まらないため、スマートタップの内部メモリに 1 周期分保持した上で、複数のパケットに分割して送信する。

時刻 t に取得した周期 (1 周期分のデータサイズ) T の電圧値を $v(x)$ 、電流値を $i(x)$ とする。また、一パケットで送信するデータ数を n としたとき、まず波形情報として識別子 “WH”，波形を取得した時刻 t ，周期 T で構成したパケットを送信し、その後データ部として電圧電流値を複数パケットに分割して送信する。このとき、 l 番目のデータ部のパケットは、識別子 “WH”，取得時刻 t ，先頭インデックス ln ，データ数 n ，電流電圧データ $v(ln), i(ln), v(ln+1), i(ln+1), \dots, v(ln+n), i(ln+n)$ で構成した $\lceil T/n \rceil + 1$ 個のパケットとして送信する。特徴抽出テーブルの設定も同様にテーブル情報 (識別子 “FH”) とデータ部 (識別子 “FD”) を複数のパケットに分割して送信する。

2) 家電学習ステップ

家電学習ステップでは、スマートタップ内部で特徴量を算出してホームサーバに送信し、ホームサーバでは収集した特徴量を用いて個別の家電を認識するための識別器を学習し、ホームサーバのデータベースに記録する。このとき、家電ごとにスマートタップで算出した特徴量から学習するため、スマートタップは学習に必要な特徴量のみを送信すればよい。

表 7 に特徴抽出メッセージのフォーマットを示す。データの種類を表す識別子として “DF” を付加し、取得時刻、実効電圧、実効電流、有効電力、積算電力量と 4 個の特徴量と周期の計 320bit のデータを 1 つの

表 7 特徴抽出メッセージ

Table 7 Message for feature extraction.

“DF”	取得時刻	実効電圧	実効電流	有効電力	
16bit	32bit	32bit	32bit	32bit	
積算電力量		特徴量			周期
32bit	32bit	32bit	32bit	32bit	16bit

メッセージ (ZigBee の 1 パケット) にまとめて送信する。

3) 家電認識ステップ

家電認識ステップでは、家電学習ステップと同様にスマートタップ内部で算出した特徴量をもとに、家電学習ステップで学習した識別器を使ってホームサーバで認識をおこなう。このとき、家電学習ステップと同様に、スマートタップ内部で算出した特徴量の算出を特徴抽出メッセージによってホームサーバに送信し、ホームサーバ上で家電の認識を行なう。

ILDK のマンションで行った実証実験[4] では、1 周期分の電流波形の取得に約 5 秒かかったが、特徴抽出メッセージは、25 台のスマートタップから毎秒 2 回ずつこのメッセージを送信できた。

3.2. 【フェーズ 2】オンデマンド型電力ネットワークによる高度電力マネージメント

フェーズ 2 では、電力の供給状態や使用家電の優先度に応じて、電力マネージャ (ホームサーバ) が調停を行ないながら家電への電力供給を制御する「オンデマンド型電力ネットワーク (Energy On Demand: EoD)」とよぶ知的な電力マネージメント技術により、より積極的な消費エネルギーの削減を目指す。

EoD は、家電機器³の電源を入れれば、常に必要なだけの電力が与えられるいままでの電力ネットワークの仕組みを根本的に変換し、各機器の優先順位を決めて当該機器に利用可能な電力使用量、時間を調停して Best Effort で割り当てる仕組みである。EoD の実現においては、スマートタップは調停のために家電や電源とホームサーバとの通信やそれに従った家電や電源の制御機能を受け持つ、家電や電源とホームサーバの間のインタフェースとして動作する。以降の節では、スマートタップを経由したホームサーバとの通信に焦点を置いて議論し、簡潔に記述するために、家電機器とスマートタップのセットを単に「家電」、電源とス

³ ここでは、特に家庭内を対象として議論するため家電機器としているが、オフィスやビルなどの一般的な電気機器についても適応可能である。

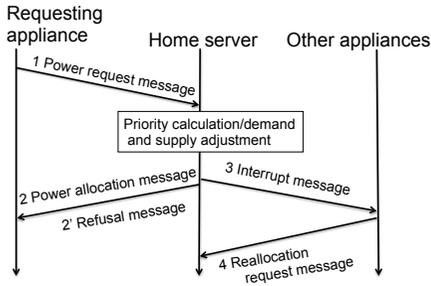


図 6 EoD 需要調停プロトコル

Fig. 6 Demand mediate protocol in the EoD.

マートタップのセットを単に「電源」と記述する。

フェーズ2では、単一電源（系統電力）に対する需要調停プロトコルを定義する。EoD の需要調停プロトコルの手順を以下に示す（図 6）。

- 1) 家電（需要側）（Requesting appliance）は、まず電力要求メッセージ（Power request message）をホームサーバ（Home server）に送信する（1）。
- 2) ホームサーバは現在の供給可能量やフェーズ1で獲得した家庭での生活パターンから、電力要求メッセージを送った家電、および動作中の家電機器の優先順位を決める
- 3) 家電機器の優先順位に従って、各機器に許可する電力使用量、時間を含む電力割当メッセージ（Power allocation message）（2）、あるいは電力を供給できない機器には拒否メッセージ（Refusal message）（2'）を返信する。
また、動作中の家電の優先度が低く、停止、あるいは電力削減させる場合には当該機器に割込メッセージ（Interrupt message）（3）を送信する。
- 4) 電力使用を許可された家電機器は、許可された電力で、許可された時間だけ動作する
電力使用を拒否された家電は一定時間後に再割当要求のメッセージ（Reallocation request message）を送信する（4）

この手法では、ユーザ自身で供給可能な最大電力量を設定（シーリング）することで、好きなだけ電力削減が実現できる。

EoD の実現のためには、個々の家電や電源の特性や電力を考慮し、家電の優先順位を決定することと、優先順位の低い家電に対して、供給電力を停止あるいは削減することが必要である。このような EoD のために必要な家電や電源の特性を我々は Quality of

表 8 QoEn の家電クラス定義

Table 8 Appliance classes in the QoEn.

クラス	電力調節可能性	一時停止可能性	タイムシフト可能性	家電の例
I	○	○	○	充電器 バッテリー付きPC
II	○	○	×	冷蔵庫
III	○	×	×	バッテリーなしPC
IV	○	×	×	ドライヤー、 照明
V	×	○	○	
VI	×	○	×	
VII	×	×	○	炊飯器
VIII	×	×	×	電話機

表 9 QoEn 家電クラスのプロパティ

Table 9 Properties for QoEn appliance class.

プロパティ	値	備考
家電ID	ID	家電の識別子
家電クラス	I ~ VIII	
要求電力	数値 (W)	共通
最低起動電力	数値 (W)	I ~ IV
停止可能時間	数値 (秒)	III, IV, VII, VIII
起動予定時刻	時刻	II, IV, VI, VIII
動作予定時間	数値 (秒)	オプション
優先度	0~1	1は最優先
供給方式	直流・交流 電圧	拡張

Energy (QoEn)と呼ぶ。

QoEn で扱う機器として、大きく分けて需要側の機器である家電クラス、供給側の機器である電源クラス、そして電力を一時的に蓄積する蓄電池クラスの三種類が考えられる。フェーズ2の需要調停プロトコルでは単一電源（系統電力）に対する需要側の調停を行うため、QoEn の家電クラスを定義する。

家電クラスについては、電力要求に対してどのような制御を行うことができるかという観点から次の三つの性質に基づいてクラスを分類する。

1) 電力調整可能性

照明やドライヤなどでは、要求する電力に対して、供給電力量をある程度減らしても、性能は多少劣化するが、目的とする機能は実現できる。このような機器に対しては要求電力を供給できない場合に供給電力を削減することができる。

2) タイムシフト可能性

洗濯機や炊飯器など、起動してから一定時間自動で動作する家電は、目的の終了時刻内に動作が完了すれば、起動のタイミングを送らせてもかまわない。このような家電に対しては、起動を要求された時刻から実際に起動するまでのタイミングを

表 10 EoD の電力割当メッセージ

Table 10 Assignment message in the EoD.

プロパティ	値	内容
メッセージタイプ	(要求)許可/拒否(割込)停止/再割当	要求に対して許可するか拒否するか割込では停止か電力再割当(削減)
割当電力	数値(W)	許可, 削減の場合に割当てられた供給可能な電力の最大値
割当時間	数値(秒)	割当てられた電力を使用できる時間(オプション)
再要求時刻	時刻	拒否, 停止されたとき, もしくは要求電力以下の電力を割当てられたときに, 再要求できる時刻
供給電源	電源ID	電力を供給する電源

ずらすことができる。

3) 一時停止可能性

エアコンや冷蔵庫などの熱をコントロールする家電は, 短時間停止しても温度を保つことができるため, 動作中に一時停止することができる。

表 8 に示すように, 一般的な家電はこれらの特性の組み合わせであり, それぞれ可能・不可能の組み合わせで 8 個のクラスに分類できる。全ての制御が不可となる家電は, どのような場合でも動作し続ける必要がある優先度の高い家電ということができる。

表 9 に QoEn 家電クラスプロパティを示す。クラスの分類とそれぞれのクラスに対応するプロパティを定義している。EoD の需要調停プロトコルでは, まず電力を要求する家電が QoEn プロパティを付加した電力要求メッセージをホームサーバに送信する。ホームサーバは, 供給可能な電力と要求電力を比較し, 供給可能なら電力割当メッセージを家電に送信する。供給不可能なら現在使用中の優先順位の低い家電の電力を削減(一時停止か電力調整)させるか, 要求家電に電力割当を拒否するメッセージを送る。

このような, ホームサーバからスマートタップへ電力の割当の可否を通知するメッセージを電力割当メッセージと呼ぶ。表 10 に電力割当メッセージの内容を示す。まず, メッセージのタイプとして, 電力要求への返信の場合は, 割当を許可するか拒否するか, また動作中の家電へのメッセージとして, 一時停止させるか割当電力を変更(再割当)するかを設定する。割当を許可された場合や再割当の場合には, 当該機器に割当る電力の最大値(割当電力), 割当てる時間(割当時間)をプロパティとして付加する。また, 割当を拒否した場合や動作中の家電を停止させる場合には, 家電が再度電力要求を出す時刻を付加する。供給電源は

表 11 QoEn の電源クラス定義

Table 11 Generator classes in the QoEn.

クラス	安定性	即応性	電源の例	供給可能な家電クラス
A	○	○	系統電力	I ~ VIII
B	○	x	燃料電池	I, III, V, VII
C	x	○	太陽電池	I, II, V, VI
D	x	x	-	I

表 12 QoEn 電源クラスのプロパティ

Table 12 Properties for QoEn generator class.

プロパティ	値	内容
電源ID	ID	電源の識別子
クラス	A~D	電源のクラス
供給電力	数値(W)	現在供給している電力
最大電力	数値(W)	現在供給可能な電力の最大値
供給可能電力量	数値(Wh)	現在供給可能な積算電力量
シーリング	数値(Wh)	ユーザが設定する上限値
遅延時間	数値(秒/W)	即応性のない(B,Cクラス)の電源の出力変更の遅延時間
電力コスト	数値(円/Wh)	単位電力量あたりの電気代や発電コスト
Co2排出量	数値(ml/Wh)	単位電力量あたりのCo2排出量
送電方式	直流・交流 電圧など	拡張

電力を供給する電源の ID である。フェーズ2の EoD においては電源が単一であるため電源 ID のプロパティは未使用であるが, フェーズ3で分散電源を導入した場合と整合性をとるために予約領域として定義してある。

3.3. 【フェーズ3】家庭内ナノグリッドによる電力カラーリング(由来別制御)

フェーズ3では, 太陽光発電や蓄電池などの導入による家庭内の分散電源化に対して, 電源ごとに電力の供給先を制御(由来別制御)する電力カラーリング機能を持った家庭内ナノグリッドによって, 分散電源の効率的なマネージメントを実現する。

家庭内に複数の分散電源が導入された場合, フェーズ2の EoD プロトコルを, 複数の電源からの電源選択が可能のように拡張し, 需給のバランスをとりながら電源と家電を対応付けることで, 効率的な電力供給を実現する。これを我々は「家庭内ナノグリッド」と呼ぶ。家庭内ナノグリッドの実現のためには, 需要の特性と電源の特性に基づいて適切な対応付けを求めると, 求めた対応付けに従って電力の供給元と供給先を選択(電力の由来別制御)するための電力カラーリング技術が必要となる。また, 電源の制御をおこなうために, 電源にも電源用スマートタップを設置し, スマートタップネットワークは家電と電源を含む電力

ネットワーク全体の制御を行う。

電源と家電の対応付けのために、QoEn パラメータを家電だけではなく電源クラス、および蓄電池クラスに対しても定義し、電源の優先順位を決定する。電源に関しては電力供給に関して、供給可能電力が不変または制御可能かどうか（安定性）と、供給電力を変更するときに遅延が生じるかどうか（即応性）によって表 11 に示すように4つのクラスに分類する。例えば、電力会社からの系統電力は安定性も即応性もあるクラス A に属し、太陽電池は供給可能電力が天候に左右されて変動するためクラス C に属する。

各電源は、表 12 に示すようにクラス、現在供給している電力、供給可能な最大電力および電力量、出力変動の遅延時間、電力供給のコスト（電気代や燃料代）、Co2 排出量、送電方式（直流・交流、電圧）などの QoEn パラメータをもつ。燃料電池やコジェネレーションでは、発電と給湯を同時に行うため、現在の湯量によって供給可能電力量が変動する。また、最大供給電力や積算電力量のシーリングによって使用電力や積算電力量の上限値をユーザが設定することができる。

蓄電池クラスにはクラス分類はなく、表 13 に示すようなプロパティが与えられる。蓄電池クラスは、家電クラス（クラス I）と電源クラス（クラス A）の双方のプロパティをもち、充放電モードによって家電機器である家電としても供給機器である電源としても振舞うことができる。その他に、蓄電池クラスには充放電のモードと蓄電容量、充放電の損失、自己放電率のプロパティをもつ。また、蓄電池に現在充電されている電力量は、電源クラスとしてのプロパティである供給可能電力量に反映され、蓄電池に充電した電力の由来（供給電源）を電源ごとの割合として記述することで、充電元のコストや Co2 排出量を追跡できる。

EoD 電源選択プロトコルは、需要調停プロトコルを拡張し、次のようにほぼ同じ手順で供給元と供給先の対応付けを決定する。

- 1) 各電源は電源プロパティをホームサーバに送信する。
- 2) 家電が家電プロパティを付加した電力要求メッセージをホームサーバに送信する。
- 3) に示す供給可能な電源の中から、電力コスト、あるいは Co2 排出量が低い順に当該家電に対す

表 13 QoEn 蓄電池クラスのプロパティ

Table 13 Properties for QoEn battery class.

プロパティ	値	内容
蓄電池ID	蓄電池の識別子	
家電プロパティ	クラス I に対応	充電モード時のプロパティ 家電プロパティのクラスIIに対応
電源プロパティ	クラスAに対応	電力供給モードのAIのプロパティ 電源クラスのAIに対応
充放電モード	急速充電、充電、 電力供給、未使用	現在の蓄電池のモード (充電中、供給中)
蓄電容量	数値 (Wh)	蓄電できる最大の電力量
充放電損失	数値 (%)	充電した電力が、供給時に何%損失するか
自己放電率	数値 (%/秒)	充電されている電力が、未使用で 単位時間あたり何%損失するか
電力由来	電源ID 数値 (%)	蓄電池に充電されている電力の由来。 各電源IDごとの割合 (%) で示す。
	電源ID 数値 (%)	
	...	

る電源の優先度を定める⁴。

- 4) 優先順位の高い電源の順に、電力供給が可能かどうかを需要調停プロトコルと同様に判定し、家電に電力割当メッセージを送信する。このとき、電力供給を行う電源を付加する。
- 5) 家電機器は、電力割当メッセージをうけると、それに従って、電力供給を行う電源と対応付けて電力供給を受ける。

また、蓄電池については、蓄電量と他の電源の発電状態（コストの安い電力が供給可能か）や供給状態によって、充電モードと供給モードを切り替え、充電モードのときは家電機器として電力要求を行い、供給モードのときは、電源として電源プロパティをホームサーバに送信して、電力供給の調停に加わる。

EoD の電源選択によって、対応付けられた電源・家電の組み合わせに対して実際に電力供給を行うために電力カラーリングと呼ぶ、由来別の電力制御技術が必要となる。そのために、我々はスマートタップに電力の供給元と供給先を自由に設定して配送する機能を付加した電力ルータと、それをを用いた電力カラーリングについて研究開発を行っている。電力カラーリングを実現する方法としては以下の3つが考えられる。

- 1) 回線交換方式[5]

本方式では、電力ルータは通信における回線交換機と同様であり、電力ルータは複数の電力配送経路（電力線）をもち、電力を配送する電力線そのものを切り替えることで、供給元と供給先を切り替える。配線経路自体を切り替えるため、安定かつ連続的に電力供給が可能となるが、供給先の数

⁴ 電力コストと Co2 発電量のどちらを重視するかはユーザが設定する。

だけ電力線を複線化する必要がある。

2) 電力パケット方式[6]

本方式では、電力をパケット化して宛先情報を付加して、時分割で電力を配送しする。この場合の電力ルータは通信におけるスイッチングハブと同様であり、電力パケットに付加された宛先情報に基づいて配送先を切り替える。また、電源において電力をパケット化する装置、また電力パケットを家電が必要とする電力に復元する装置も必要となる。本方式では、電力線は単線で良いが、高度な電力制御技術と時分割で途切れた電力を扱うためのキャパシタが必要となる。

3) 分散協調（仮想化）方式

本方式は、家電と電源に電力制御機能をもつスマートタップを設置し、それらの協調動作によって、電力供給先で消費する電力量と供給元で供給する電力量を一致させることにより、仮想的に供給元、供給先を制御する方式であり、スマートタップネットワーク全体が電力ルータとして動作していると言い換えることもできる。既存の電力配線をそのまま用いることができるが、異なる電圧や安定性をもつ電力を区別することができない。我々は、早期の実証実験や実用化のために、家電や電源にスマートタップを設置するだけで、現在の家庭内の電力配線をそのまま用いることができる点を重視し、分散協調方式の電力カラーリング技術の研究開発をすすめている。

このように、フェーズ3では EoD, QoEn をそれぞれ分散電源に拡張するための要件が追加される。また、電力カラーリングにおいて、供給元と供給先のタイミングがずれると、部分的・一時的に電力過不足が生じ、電力ネットワークが不安定になるため、電力ルータを含むスマートタップネットワーク上での同期・同調の仕組みが必要である。

3.4. 【フェーズ4】地域ナノグリッドによるエネルギー売買市場の創成

フェーズ4では、家庭内ナノグリッドの機能を近隣の地域まで広げることによって、需要家同士のエネルギー売買のための地域ナノグリッドの構築を行なう。技術的には、フェーズ3の家庭内ナノグリッドを地域スケールに拡大したものであるが、異なる経済単位・責任範囲をまたがるため、社会的・経済的・法律的な要件を満たす必要がある。

第一に、異なる経済単位の電力のやりとりであるた

め、供給元・供給先の電力価格を、電力の需要と供給量のバランスに基づいて決定するために、供給元・供給先が希望する価格情報を交換し適正な価格を形成する仕組み、さらにその上で、実際の供給を行うかどうかを供給元と供給先とのネゴシエーションによって決定する仕組みが必要である。

第二に、電力供給元で計測した供給電力量と供給先で計測した電力量は、送電ロスの影響により一致しないので、送電ロスの推定を行うとともにお互いの計測値の信頼性を保証する仕組みが必要である。

第三に、責任範囲が供給元の家庭内・地域配送網（地域の自営線や電力会社）・供給先の家庭内と3者がかかわるため、それぞれの電力制御方式の間のインタフェースを定義し、取り決めに従わないやりとりを排除する必要がある。

これらの三点を実現するための機能要件や通信プロトコルなどについては、本稿で述べる現状の i-Energy Profile では未定義であり、今後の課題として、これらの機能要件をまとめ i-Energy Profile の拡張仕様として定義する必要がある。

3.5. スマートタップネットワークのセキュリティ

エネルギーの情報化におけるスマートタップネットワークは、新しい電力ネットワークの基盤技術であるため、セキュリティの要件が必要不可欠である。

セキュリティ要件としては、次の3種類の要件について検討する必要がある。

1. プライバシー

通信路の暗号化はもちろん、個々の家電の使用状況を把握し、ユーザの生活パターンを学習・認識するため、獲得される情報はプライバシーの扱いに注意する必要がある。

スマートタップネットワークでは、取得情報の所有権・コントロール権はユーザ自身にあるが、外部のサービスプロバイダから省エネ診断などのサービスの提供を受ける際に、どのような情報をどのような範囲まで提供するかを分かりやすく定義することが必要となる。

2. 安全性

家電や電力フローの制御を行うため、なりすましなどで制御に割り込まれないように安全性を確保することが重要となる。また、スマートタップや電力ルータの故障時や停電時などに、重大な事故を引き起こすことなく、かつ重要な機器を停止させずに、故障箇所を切り離すことのできるフェイ

ルセーフ機能が必要となる。

3. 信頼性

フェーズ4における地域ナノグリッドでは、異なる経済単位間の電力の売買が行われるため、それぞれで計測した電力量の値の信頼性を補償する必要があります。

これらの点については、現状の i-Energy Profile では未定義である。セキュリティのための通信規格は公開鍵認証による信頼性の確保や通信の暗号化など様々な規格が標準化されており、今後の課題として、上記の3点の条件を満たす具体的なセキュリティ要件を定義して i-Energy Profile に追加する必要がある。

3.6. スマートタップネットワークの要件のまとめ

表 2 に概要を示したように、フェーズ毎に必要な要件が追加される。フェーズ1では計測・分析が主であるが、消費電力を計測対象としているスマートメータに対して、スマートタップでは波形分析を対象としており、表 3 に示すような波形分析のためのプロパティが要件に加えられている。フェーズ2、フェーズ3では、表 9、表 12、表 13 に示す QoEn のプロパティが加えられ、さらに表 10 の電力割当メッセージで定義される EoD プロトコルを実装する。

フェーズ4では、地域内の電力売買を実現するために、電力の価格を決定するため仕組みを統合する必要があるが、現在この価格決定の仕組み検討中である。また、全てのフェーズにおいてセキュリティ機能が必要不可欠であり、そのための要件についても検討中である。これらのフェーズ4における機能要件、および、セキュリティのための機能要件については、今後 i-Energy Profile を拡張して定義する必要がある。

4. 標準的なホームネットワークアーキテクチャとの比較

現在のホームエネルギーマネージメントのためのネットワークアーキテクチャの標準的な規格として、ZigBee Alliance[7] と HomePlug[8] が進めている Smart Energy Profile[9] と、国内企業が中心となって規格の開発を行い、国際標準への提案もされている ECHONET[10] についての概要を述べ、スマートタップネットワークの技術要件との比較を行う。

4.1. ZigBee / HomePlug Smart Energy Profile

Smart Energy Profile は、ZigBee Alliance[7] が、ワイヤレスセンサネットワークの ZigBee の上のアプリケーションプロファイルの一つとして制定した、家庭

表 15 Smart Energy Profile が扱う機器

Table 15 Device specified in the Smart Energy Profile.

デバイス名	説明	動作
エネルギーサービスポータル	電力供給者と屋内の機器をつなぐゲートウェイ	電力供給者からのデマンドレスポンスや電力価格情報を受け取り、屋内ディスプレイやスマートサーモスタット、負荷制御デバイス、スマート家電に伝える
メーターデバイス	電力、ガス、水道などのメーター	電力消費量を電力供給社へ伝える。また電力、ガス、水道の使用量をエネルギーサービスポータルへ伝える。
屋内ディスプレイ	居住者に情報を伝えるディスプレイ	エネルギー消費量やガス、水道の使用量を表示する価格情報やデマンドレスポンスの情報を表示する
スマートサーモスタット	自動温度制御機能付きのサーモスタット	デマンドレスポンスに従ってエアコンの温度を制御する
負荷制御デバイス	家電機器の制御(オン/オフなど)を行うスイッチ	デマンドレスポンスに従って負荷を制御する
スマート家電	要求に従って管理ができる家電機器	エネルギーサービスポータルの指示に従って動作を制御する

表 14 ECHONET が扱うデバイス

Table 14 Device definitions in the ECHONET.

クラスグループ	機器
センサ関連クラスグループ	電力量センサ、ガス漏れセンサ、温度センサ、人感センサなど
空調関連機器クラスグループ	エアコン、換気扇、空気清浄機など
住宅・設備関連機器クラスグループ	電動シャッター、電力量メーターなど
調理・家事関連機器クラスグループ	電気ポット、レンジ、冷蔵庫など
健康関連機器クラスグループ	体重計
管理・操作関連機器クラスグループ	
AV関連機器クラスグループ	ディスプレイ、テレビなど

内の省エネ制御やスマートメータの接続を目的として作成された規格であり、もともと伝送媒体に依存した規格であったが、近年、電力線通信の規格である HomePlug[8] と組んで伝送媒体の自由度を増している。

表 15 に Smart Energy Profile が扱う機器を示す。Smart Energy Profile のアプリケーションは電力消費量や電気料金の見える化を行うとともに、電力供給者から要求されるデマンドレスポンスに従って機器を制御することである。

4.2. ECHONET

ECHONET[10] は、特定小電力や低速の電力線通信をはじめ、様々な通信媒体の上で、様々な家電機器を制御するためのプロトコルを規定するミドルウェアであり、表 14 に示すように、一般的な家電機器を網羅するように定義されている。

このなかで、センサクラスグループの電力量センサはコンセントなどで電力量を計測するセンサであり、住宅・設備関連機器クラスグループの電力量メータは、スマートメータのような通信可能な電力量計を表している。電力量センサや電力量メータでは、瞬時電力、実効電圧、積算電力量の値を取得することができる。また、各家電のクラスでは、家電の遠隔制御のためのプロトコルの規格化も行われている。

4.3. 既存の標準規格と i-Energy Profile の比較

Smart Energy Profile のメータデバイスや ECHONET の電力量センサ、電力量メータは、消費電力量の計測するセンサであるのに対して、スマートタップは家電の状態の認識や人物行動の見守りのために、電圧・電流の波形そのものを計測対象としている。

また、家電制御に関しても、これらの規格は電力会社からのデマンドレスポンスやホームオートメーションに対する家電機器の制御方法を規格化しているだけで、EoD のような家電機器間や電源との調停のための仕組みは定義されていない。

このように、スマートタップネットワークは、既存の規格と異なる目的のために、より発展的な要件をもつ。そこで、既存の規格への追加プロファイルや新しい規格として波形分析、EoD、QoEnなどを i-Energy Profile として標準化していく必要がある。

5. スマートタップネットワークの同期メカニズム

フェーズ3の電力カラーリングでは、電力フロー制御を行うため、ネットワーク内のスマートタップ間で、同期・同調の仕組みが必要となる。本章では、分散協調方式の電力フロー制御のための同期の方法について議論する。

分散協調方式の電力カラーリングのコンセプトを確認するためのデモシステムを試作した[12]。このシステムは図7に示すように、2電源、2負荷に対して、各家電各電源にスマートタップを設置し、負荷の消費電力と電源の供給電力を協調させて制御した。各電源の供給電力を制御するために、二つの電源のスマートタップを互いに同期させながら、交流の周期ごとにオン・オフを切り替えるサイクル制御を行った。

このような協調制御のための同期では、リアルタイムに制御を同期・同調させる必要があるため、スマートタップから送信するデータにタイムスタンプを付加する、あるいは正確に同期したタイムスタンプが得られない場合には、ホームサーバに集められたデータ間の整合性を検証することで、あとからデータ間の時刻を合わせる[11]だけでは不十分であり、スマートタップが電力制御を行うタイミングをリアルタイムで合わせる必要がある。そこで、各スマートタップが自律的に他方のスマートタップの動作を推定しながら同期する方式を開発した。具体的には、電源に設置した2台のスマートタップで出力電流と電圧を監視し、入

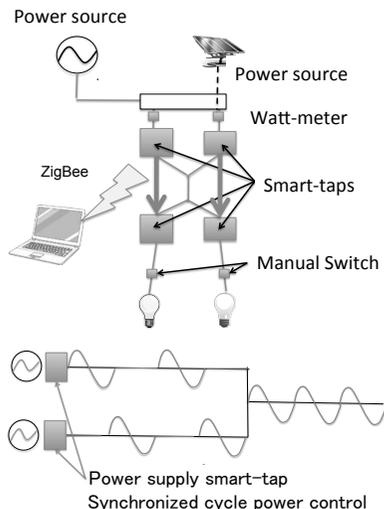


図7 分散協調電力カラーリング

Fig. 7 Prototype system of the cooperative distributed electric power coloring.

力の交流電圧が0から立ち上がる時(0からマイナスに下がる時)に、半導体リレーがオフの状態でも出力の電圧が上昇する場合、あるいはリレーをオンにしても電流が流れない場合はもう一台のスマートタップがオンであると推定することで、自律的な同期を実現した。ただし、二台のスマートタップが同時にオフになるのを避けるために一定時間(1ミリ秒)以内に判定できない場合は無条件でリレーをオンにした。

このシステムでは、各周期で瞬間的には一台の電源のみから電力を供給する、サイクル制御のため各電源の電力を整数比でしか制御できないなどの問題があり、現在より実用的なカラーリングを実現するため、供給電力を連続的に調整しながら自律的に同期・同調するシステムとその制御アルゴリズムを研究開発中である。

6. むすび

本稿では、エネルギーの情報化の基盤技術として、電力フロー推定・制御を行うスマートタップネットワークについて、エネルギーの情報化の4つのフェーズごとにスマートタップネットワークの役割について議論し、その満たすべき技術要件として i-Energy Profile を定義した。

スマートタップは、単に消費電力の計測を行うスマートメータと異なり、生活パターンの学習や電力フローそのものの制御技術を実現するため、より詳細な

電圧・電流波形を計測対象としている。また、需要家サイドからのボトムアップ型の電力マネージメントを実現するための調停プロトコルである EoD プロトコルや各機器の特性を表した QoEn を定義した。

現在、EoD を実現する具体的なアルゴリズムの開発検証と、スマートタップネットワークで獲得した情報からの生活パターンの学習について検討している。今後は、実際の生活空間での実証実験をおこないながら各フェーズの研究開発を進め、また、現状では未定義となっているフェーズ4における地域ナノグリッドのための機能要件、およびセキュリティのための機能要件について検討するとともに、i-Energy Profile の標準化を進めていく。

文 献

- [1] 松山隆司：エネルギーの情報化とは、-背景，目的，基本アイデア，実現手法-，情報処理，Vol. 51, no. 8, 2010.8.
- [2] 村瀬一郎，佐藤明男：米国を中心としたスマートグリッドの動向，情報処理，Vol. 51, No. 8, pp. 978-985. 2010.8.
- [3] Takekazu KATO, Hyun Sang Cho, Dongwook Lee, Tetsuo Toyomura, and Tatsuya Yamazaki. Appliance Recognition from Electric Current Signals for Information-Energy Integrated Network in Home Environments. International Journal of Assistive Robotics and Systems (IJARS), Vol. 10, No. 4, pp. 51-60, (2009).
- [4] スマートマンションルームにおけるエコ生活実証実験，<http://www.i-energy.jp/data/2010-08-25-press.pdf>, 2010.8.
- [5] Kazumi Sakai, Yasuo Okabe, Quality-aware Energy Routing toward On-demand Home Energy Networking, Proc. IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC) 2011 (Special Session on Ecological Home Network), Jan. 2011.
- [6] Tsuguhiro TAKUNO, Megumi KOYAMA, Takashi HIKIHARA, In-Home Power Distribution Systems by Circuit Switching and Power Packet Dispatching, 2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), pp.427-430, Oct. 2010.
- [7] ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org/>
- [8] HomePlug, http://www.homeplug.org/tech/smart_energy/
- [9] ZigBee Smart Energy, <http://www.zigbee.org/Markets/ZigBeeSmartEnergy/Overview.aspx>
- [10] ECHONET コンソーシアム, <http://www.echonet.gr.jp/>
- [11] 加藤丈和, 林 宗一郎, 松山隆司: 分散スマートタップ群を用いた協調的計測による電力フロー推定 1 -間歇的電流計測からの連続的電力変動推定-, 電子情報通信学会 2010 総合大会 シンポジウムセッション「情報通信とエネルギー管理の統合技術」, BS-8-5, 2010.3.16.
- [12] エネルギーの情報化WG 創設 1 周年記念シンポジウム <http://www.i-energy.jp/activityrecords7.html>, 2010.9.

縦 26.4mm
横 20mm

加藤 丈和 (正員)

1997 年岡山大学工学部情報工学科卒業。2001 年同大大学院博士課程修了。2001 年から 2002 年まで産業技術総合研究所特別研究員。2003 年から 2007 年まで和歌山大学システム工学科助手，2007 年から 2009 年同大学講師，2009 年から 2010 年情報通信研究機構特別研究員，2010 年から 2011 年京都大学情報学研究所特定研究員，2011 年より同大学術情報メディアセンター特定准教授。パターン認識，データマイニング，エネルギーの情報化の研究に従事。情報処理学会，電子情報通信学会，IEEE 各会員

松山 隆司 (正員)

1976 年京大大学院修士課程修了。京大助手，東北大助教授，岡山大教授を経て 1995 年より京大大学院電子通信工学専攻教授。現在同大学院情報学研究科知能情報学専攻教授。2002 年学術情報メディアセンター長，京都大学評議員，2005 年情報環境機構長。2008 年副理事。工博。画像理解，分散協調視覚，3 次元ビデオの研究に従事。最近は「人間と共生する情報システム」，「エネルギーの情報化」の実現に興味を持っている。1980 年情報処理学会創立 20 周年記念論文賞，1990 年人工知能学会論文賞，1993 年情報処理学会論文賞，1994 年電子情報通信学会論文賞，1995 年第 5 回国際コンピュータビジョン会議 Marr Prize，1999 年電子情報通信学会論文賞，2000 年画像センシングシンポジウム優秀論文賞。2004 年，2005 年 FIT 優秀論文賞，2009 年ヒューマンインタフェース学会論文賞，文部科学大臣表彰科学技術賞（研究部門）。国際パターン認識連合，情報処理学会，電子情報通信学会フェロー。日本学術会議連携会員。

(平成 XX 年 XX 月 XX 日受付，XX 年 XX 月 XX 日再受付)

Abstract

Variable types of distributed generator are introduced in the world to construct an environmentally friendly infrastructure with smart energy management system. We are proposing a concept “i-Energy” which is a novel energy management method for effective management of generation and storing the energy in home, office and neighborhood. “i-Energy” aims to not only visualize and control the appliances and generators but also electric power flows on the power network. The e-power flow control realizes e-power coloring that controls source and destination of the e-power. We are developing an intelligent power management, “energy on demand”, that adaptively mediates power supplying based on balance between demands and supplies of the e-power. In this paper, we discuss architecture of smart-tap network as a basic technology of “i-Energy”. The smart-tap measures and controls each appliance and generator, and it controls e-power flows by cooperative work on the smart-tap network.

key words

i-Energy Profile, Smart-tap, Electric Power Flow Estimation, Electric Power Flow Coloring