

エネルギーマネジメントの課題と展望

～スマートコミュニティの実現を目指して～



京都大学大学院情報学研究所 知能情報学専攻

教授 松山 隆司

1. はじめに

我が国では、1970年代のオイルショック、1997年に制定された地球温暖化防止のための京都議定書を契機に省エネ社会の実現に向けた活動が長年積み重ねられてきたが、2011年の東日本大震災、福島原発事故を受け、電力エネルギー問題に関する社会的関心が高まり、政治、行政、経済界だけでなく一般市民も参加した多様な活動が進められている。

従来の産業界を中心とした省エネ活動とは異なり、現在展開・計画されている活動・政策は、エネルギーという視点から社会・経済の構造や市民生活の在り方を大きく変える可能性を持っている。つまり、インターネットによって、社会・経済・政治・研究・教育・娯楽などあらゆる社会的、個人的活動が大きく変わったように、普遍化した情報通信ネットワークの活用によって新たなエネルギー社会基盤が構築され、社会・経済・生活の在り方が大きく変革されようとしている。

ここでは、2011年以降急速に広がった、電力エネルギー問題解決に向けた活動を概観、整理し、新エネルギー社会基盤の在り方について議論する。

2. エネルギーマネジメントとは

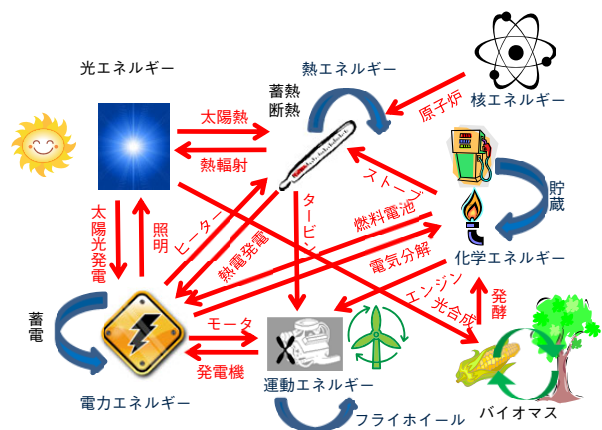
情報通信ネットワークの活用によって新たなエネルギー社会基盤を構築するための中核的技術としてエネルギーマネジメントがある。

「マネジメント」という言葉は通常ビジネス用語として使われているが、その意味を一般化して言うと、多種多様な要素（機械、人、資産、組織、機能など）を有機的に組み合わせ、互いに連携させることによって、総体として優れた機能、効果を実現するための方法、と言える。つまり、エネルギーマネジメントとは、多様な形態のエネルギーの生成、変換、蓄積、伝送、消費を有機的に組み合わせ、連携させることによって効率的なエネ

ギー利用を実現することと言える。

第1図は、主なエネルギーの形態とそれらの間の変換・蓄積技術を模式的に示したもので、たとえば、エネルギーという視点から見た自動車は、化学エネルギー（ガソリン）を運動エネルギーに変換することを主目的としているが付随的に熱エネルギーも生成する装置、と行うことができる。

また、第1図に基づいてヒトの体内で行われているエネルギーマネジメントを考えてみると、食物、水、酸素という化学エネルギーを摂取し、体温維持のための熱エネルギーへの変換およびそれに伴う赤外光の輻射（ふくしゃ）（光エネルギーの生成）、筋肉を使って身体運動を行うための運動エネルギーへの変換、将来に備えた脂肪という化学エネルギーへの変換・蓄積、さらには、脳神経系が活動するための電気エネルギーへの変換など、多様なエネルギー変換・蓄積が非常に効率的にマネジメントされていることが分かる。



第1図 エネルギーの形態とエネルギーの相互変換

直観的なイメージを描いたもので、科学的厳密性はない。たとえば、多くの蓄電池は、電力エネルギーから化学エネルギーへの変換（充電）、化学エネルギーとしての貯蔵、化学エネルギーから電力エネルギーへの変換（放電）を行う装置と考えるのが妥当である。

さて、第1図全体を俯瞰（ふかん）すると、電力エネルギーは他のエネルギーとの相互変換を行うための技術・装置が豊富にそろっているため、利用したいエネルギー形態が何であっても容易に変換でき、利便性、融通性の高いエネルギー形態であることが分かる。また、物質として存在し物理化学的処理が必要な化学エネルギーや変化に時間がかかる熱エネルギーと異なり、電力エネルギーは優れた即時的制御性を持ち、制御・調整が容易な形態のエネルギーであると言える。さらに、現在大きな社会的問題となっている原発や再生可能エネルギーも電力エネルギーに関わるものとなっており、社会的にも重要性が高い。このため、以下では電力エネルギーを中心としたエネルギーの相互変換、つまり発電、蓄電、消費といった電力エネルギーの総合的マネジメントに焦点を当て、電力エネルギー問題および技術を理解するために必要となる基本的な言葉の定義を解説しつつ、現状と将来展望を述べることにする。

3. 「エコ」と「スマート」

地球温暖化防止、省エネを目指して、「エコ家電」、「エコカー」、「エコ住宅」が次々と商品化され、それらの普及を促進するために、家電エコポイント、エコカー減税・補助金、住宅エコポイント制度などが実施されてきた。

一方、最近では、「スマート家電」や「スマートハウス」という言葉が広がりつつあるが、「エコ○○」と「スマート○○」は何が違うのであろうか。

まず、「エコ○○」という場合は、機能は従来と同じであるがエネルギー消費が少ない「省エネ○○」を意味する。たとえば、「エコ住宅」は、窓・壁・床・天井の断熱性を高め、少ないエネルギーで冷暖房が可能となる住宅を指し、エコ家電、エコカーも同様である。

これに対して、「スマート○○」は、複数の機器を情報通信ネットワークで結び、機器群の連携によって総合的なエネルギーマネジメントという新たな機能を実現しようとするものである。

たとえば、スマート家電は、ネットワークを介して運転モード（ON/OFF、エアコンの温度設定など）や消費電力の制御が可能、つまりネットワークを通じて得られた室内外温度、日照環境、他の家電の使用状況などに基づいて運転がネットワーク制御できる家電と言える。スマート家電については、2011年ECHONET Lite^(注1) [1]と呼ばれる標準通信プロトコルが定められ、昨年春にはネ

ットワークを介した家電の遠隔操作に関する安全基準が示されるなど、その普及に向けた標準化や制度改革が進められている。

また、住宅メーカーを中心として商品化されているスマートハウスでは、太陽電池や燃料電池といった発電装置および蓄電池を住宅に導入し、時間や天候、発電・蓄電・消費量に応じてそれらの機器をネットワーク経由で制御するシステム（HEMS: Home Energy Management System）によって住宅全体のエネルギーマネジメントを効率的に行うことを目指している。ただ、現在商品化されているHEMSやBEMS（Building Energy Management System）の多くは、発電・蓄電・消費される電力エネルギーの計測・モニタリングを行う「見える化」機能が中心で、電力の制御は人手や簡単なタイマー制御となっており、時々刻々と変化する発電・蓄電・消費をリアルタイムに連携制御する本格的なHEMS、BEMSの商品化が望まれる。

さらに、電気自動車（EV）のための交通インフラとしては、EVの蓄電残量や地域に分散設置されている充電ステーションの混み具合などをネットワークを介して管理、調整し、①それぞれのEVが待ち時間なく充電できるように充電ステーションに誘導することに加え、②多数のEVが一斉に充電を行い地域の電力網に急激な負荷を掛けることを避けたり、③初夏の晴天時における太陽光発電など、自然エネルギー発電による一時的な過剰電力をEVに蓄え電力需給バランスを取るようにすることなどを目指したスマートEVやEV群のスマート充放電マネジメントシステムの開発が進められている。

4. W（ワット）とWh（ワット時）

福島原発事故以降、原発停止による電力需給の逼迫（ひっぱく）が大きな社会問題となり、我が国における発電方式・電力ネットワークの在り方や、省エネ・エネルギーコスト削減のための節電に関する議論が幅広く行われているが、説明不足や誤解が見受けられる。

たとえば、2011年11月に

「4月から10月までに運転を開始した再生可能エネルギーによる発電の出力は、大型の原発1基分に匹敵する115万5000kW（キロワット）に達した。」

といった報道があった。この報道を聞いて、

「再生可能エネルギーの積極的な導入によって、原発1基が不要になった。」

と考えるのは誤りである。

こうした誤解の原因は、電力エネルギーを測る単位としてWとWhの2つがあることによる。つまり、

(注1) ECHONETコンソーシアムの登録商標

W: 電力エネルギーの瞬時的な量 (自動車で言うと、時々刻々変化するスピードを表す時速〇〇km/h)

Wh: ある期間に消費された電力エネルギーの総量 (自動車で言うと、今日1日走った走行距離〇〇km)

先の報道では、単位としてWを使って再生可能エネルギーと原発の瞬時的発電能力を比べており、最も条件のよい瞬間には再生可能エネルギーで原発1基分の発電ができるようになったと述べているだけである。一方、1日24時間、1年365日を通じて発電される電力エネルギー総量 (Wh) で考えると、原発は常に一定量の発電 (W) が可能であるが、太陽光発電、風力発電といった自然エネルギーによる発電 (W) は日照や風力に影響されるため発電総量 (Wh) は桁違いに小さくなる。

また一般に、電力エネルギー問題解決に向けて節電と言われると、エコ家電の購入、たとえば照明器具をLEDに変えることや、エアコンの温度設定を調節すればよいと考えるのが普通であるが、これらは基本的に消費する総電力量、つまりWhの削減を目指していることになる。消費する総電力量を減らせば、発電のために燃やされる石油・石炭・ガスの量が減り、地球温暖化防止に貢献することができるし、電気料金の削減にもつながる。

では、電力エネルギー問題は、Wh (総量) だけで議論すればよいのかというとそうではなく、W (瞬時量) での議論も不可欠である。つまり、たとえて言うと、「電気は超生鮮食料品のようなもの」で、発電と同時に消費しなければならず、電力ネットワークでは、常に瞬時的な発電量と消費量のバランス、つまりWを基準とした受給バランスの制御が必要となる。このバランスが大幅にくずれると、停電という事故につながる。電力会社が、「夏の日中に節電を！」と呼びかけているのは、エアコンが一斉にフル稼働すると、瞬時的な消費電力が発電能力以上に増えてしまい、安全装置によって停電が引き起こされるからである。また、天候によって急激に発電能力が変化する自然エネルギーを大量導入すると、現在の電力ネットワークにおける需給バランス制御装置が対応できなくなったり、発電が消費を上回るという、従来は想定されていなかった事態が生じ、やはり停電につながる。

現在の電力ネットワークでは、電力の需給バランス制御は電力会社が一手に引き受けており、家庭・オフィス・工場といった需要家の関心、あるいは当事者意識は低いのが現状である。これは、総消費電力量 (Wh) 料金が中心となっている家庭など小口需要家ではやむを得ないことではあるが、工場やオフィスなど大口需要家に対する電力料金は、総消費電力量 (Wh) に加え最大消費電力 (W) を基に計算されており、最大消費電力を下げることによ

って大幅な電気料金削減が実現できるため、Wを単位としたエネルギーマネジメントの経済的効果は大きい。

以上述べたように、電力エネルギー問題を考える場合は、W、Whの両面から議論をする必要があることを理解したうえで、電力会社、事業者、生活者が当事者としてどのような行動を取ればよいのかを考える必要がある。

5. 「プロシューマー」

従来電力エネルギーは、電力会社が発電した電気を家庭・オフィス・工場などで使うという仕組み、すなわち、生産者 (プロデューサー) と消費者 (コンシューマー) が明確に分離され、電力エネルギーは生産者から消費者に向けて一方向に流されるという形で利用されてきた。しかし、最近では、再生可能エネルギー利用促進のため、消費者サイドに太陽電池を設置するための補助金制度や再生可能エネルギーの固定価格買取制度が導入され、消費者が、自ら発電し電力会社に売電もする、つまり生産者にもなるという「プロシューマー」(プロデューサー+コンシューマー) が生まれ、その数が急速に増えている。

プロシューマーは、電力消費と電力販売、つまり双方向に流される電力エネルギーを制御、調整することによって、生活の快適性だけでなく売電収入の増加、さらには停電や災害に対する備えを自らの判断で行うことになり、電力をただ使うだけといった従来の消費者とは全く異なった価値観で生活をする、つまり電力エネルギー社会基盤を担う当事者として行動することになる。プロシューマーとしての活動は家庭のみにとどまらず、発電装置を備えたビル、マンション、工場などを管理運営する企業、法人にも当てはまり、電力ビジネスが普遍的な経済活動として社会に広がりつつある。

さらに、地球温暖化防止のためのCO₂排出権取引制度や最近の電力需給の逼迫を受け、節電量を「ネガワット」と考え、電力エネルギー売買のための資源とする道が拓(ひら)かれ、発電装置がなくても、誰もがプロシューマーになることができる時代を迎えている。

また、蓄電池は、超生鮮食料品である電力エネルギーを保存・蓄積し、発電-消費のバランス制御に大幅な柔軟性をもたらす武器となるもので、水や食糧貯蔵技術、音楽や映像の記録技術と同様、生活スタイル、社会システムに大きな変革をもたらすものと言える。たとえば、蓄電池を備えたプロシューマーは、蓄えていた安価な、あるいはCO₂排出量が少ない電力エネルギーを高値で販売したり、地域で一時的に過剰となった自然エネルギーによる電力を蓄えるための蓄電サービスを行うことも可

能となり、活動の幅が大きく広がる。

現在進行中の再生可能エネルギーの導入促進活動に加え、数年後の実施が計画されている電力市場の完全自由化（発送電分離、電力の小売り自由化）が実現されると、すべての事業者、生活者がプロシューマーとして考え、行動することになり、その活動を支える基盤として、WおよびWhの両面から、時々刻々と変化する電力消費や再生可能エネルギーによる発電をリアルタイムに計測し制御するための電力エネルギーマネジメントシステムの導入が不可欠となる。

6. 「スマートグリッド」と「スマートコミュニティ」

一般に、

『「スマートグリッド」は、情報通信技術を使った電力ネットワークの高度制御システム、『スマートコミュニティ』は、電力だけでなく交通、上下水道、廃棄物リサイクルなど生活全般に亘る社会基盤システムの高度化を指したもので、海外では『スマートシティ』と呼ばれる。』とされている。しかし、次世代の電力エネルギー社会基盤（ハード、ソフト、制度）構築に向けたアプローチという視点から見ると、両者には根本的な違いがある。

まず、先に述べたように、従来の電力エネルギー社会基盤では、電力会社が大規模集中型発電によって電力を供給するだけでなく、電力の需給バランス制御も一手に担ってきた。このため、需要家は電力の需給バランスを考える必要がなく、ただ消費するだけでよかった。このことは、再生可能エネルギーによる売電を行う現在のプロシューマーにおいても同様であり、電力の需給バランス制御は電力会社が行っている。

こうした従来型の電力エネルギー社会基盤を情報通信技術を使って高度化しようとするのが、スマートグリッド、スマートコミュニティ両者の共通目的であるが、その視点には大きな違いがある。

まず、現在世界各国で実証実験が進められているスマートグリッドプロジェクトでは、

- ① スマートメータ（ネットワーク接続されたデジタル積算電力計）によって「消費電力の見える化」を行い、需要家に自発的な省エネ行動を促したり、
- ② 電力需給の逼迫が予想される場合に電力会社が消費電力（W）の抑制を需要家に要請し、削減率に応じて報奨金の提供を行う「デマンドレスポンス」の実施、
- ③ さらには電力需要や電力供給能力の大小に応じて電力料金を変動させ、その情報をスマートメータを

じて需要家に提供し、消費電力ピーク（W）の抑制を図る「ダイナミックプライシング」制度の導入などが行われており、条件、環境に応じて5%～20%程度の消費電力（W）抑制が実現できることが示されている。つまり、スマートグリッドの主目的は、電力会社の行っている需給バランス制御のために需要家の協力を求めるためのシステム、制度であると言える。

一方、電力エネルギーの観点から見たスマートコミュニティは、コミュニティのメンバーとなる家庭、企業、行政組織といった需要家が、太陽電池、燃料電池、蓄電池（電気自動車）といった小規模分散型発電・蓄電装置を設置し、メンバー各自がプロシューマーとして自律的かつ互いに連携してコミュニティ内における電力需給制御を行うボトムアップ社会組織、つまりインターネットにおけるSNS（Social Networking Service）コミュニティのようなものであると言える。需要家は、電力会社からの要請による節電行動の実施というスマートグリッドにおける受動的立場とは異なり、電力エネルギーを主体的にマネジメントする能力を持つことによって、エネルギー利用率の向上、コスト削減、地球温暖化防止に向け自発的に行動することになる。

従来の電力エネルギー問題に関する議論の多くは、原子力・化石燃料・再生可能エネルギーといった発電方式や電力供給者視点のスマートグリッドに焦点が当てられてきた。しかし、効率的で安定かつ災害にも強い21世紀型の新たなエネルギー社会基盤を構築するには、当事者意識が希薄な需要家がプロシューマーとして目覚め、主体性を持ってエネルギーマネジメントを行うとともに、ボトムアップ的なコミュニティの形成や電力会社のスマートグリッドシステムとの連携を図るといった意味でのスマートコミュニティの実現が必要なのではないかと思われる。こうしたスマートコミュニティを実現するには、プロシューマーのためのエネルギーマネジメントシステムの開発といった技術面だけでなく、再生可能エネルギーの固定価格買取制度や電力市場の完全自由化といった法制度の改革が不可欠であり、両面でのイノベーションの実現が期待される。

7. おわりに

1980年代以降進められた通信自由化、金融自由化によって、ビジネスおよび個人生活に革命的变化をもたらされ21世紀型社会が形成されたことについては疑問の余地はない。特に事業者や個人が、通信、金融世界に主体的に参画できるようになったことが社会に大きな変革を引

き起こしたことを考えると、電力自由化が、電力エネルギー分野におけるビジネスや生活を大きく変えることは確実であり、夜明け前の今こそ準備を進め、プランを練る必要がある。その際、通信・金融世界への入り口がパソコンや携帯電話であったように、多様な電気機器を総合的に管理、運用するエネルギーマネジメントシステムは、誰もが新たなエネルギー社会に参画するための基本ツールとなるものと思われる。本稿が、我が国における新たなエネルギー社会基盤構築に少しでも役立てば幸いである。

参考文献

- [1] エコーネットコンソーシアム, “ECHONET Lite規格書 Ver1.10 (日本語版),” http://www.echonet.gr.jp/spec/spec_v110_lite.htm, 参照 Apr. 21. 2014.

《プロフィール》

松山 隆司 (まつやま たかし)

1974	京都大学工学部卒業
1976	京都大学大学院 工学研究科修士課程修了
1976-1985	京都大学工学部 助手
1980	京都大学工学博士
1985-1989	東北大学工学部 助教授
1989-1995	岡山大学工学部 教授
1995-1998	京都大学大学院工学研究科 教授
1998-現在	京都大学大学院情報学研究所 教授
2002-2006	京都大学学術情報メディアセンターセンター長 評議員
2005-2010	京都大学情報環境機構長
2008-2010	京都大学 副理事

専門技術分野：

コンピュータビジョン, エネルギーマネジメント

主な著書：

3D Video and its Applications (Springer, 2012)

コンピュータ画像処理 (オーム社, 2002)

情報の組織化 (岩波書店, 2000)