

エネルギーの情報化

i-Energy - Informationization of Electric Power Flows

松山隆司

Takashi Matsuyama

京都大学 大学院情報学研究科

Graduate School of Informatics, Kyoto University

1. エネルギーの情報化と Smart Grid

初期の計算機システムや通信ネットワークは、大型計算機・交換機→端末といったスター型構造であったが、ワークステーションや PC の発展に伴い次第に分散化・双方向化・個人化が進み、現在の超分散型ネットワーク（インターネット）へと移行した。この革命的とも言える変化は、情報通信技術の進歩・発展とともに、電電公社の分割民営化、各種の規制緩和という社会的ルールの変更・改革が並行して行われたことによって、わずか 30 年ほどで実現された。

こうした視点で実世界における重要な社会基盤システムである電力ネットワークの今後を展望してみると、現在は大型発電所→工場・オフィス・家庭といったスター型構造をしているが、風力発電、太陽電池、燃料電池、蓄電池の進歩・発展、それらの普及を後押しする地球温暖化防止に向けた政策によって、急速に分散化、双方向化、個人化が進むことが予想される。

そこで我々は数年前から、電力ネットワークと情報ネットワークの統合による新たな超分散型エネルギー社会基盤の構築を目指して「エネルギーの情報化」というアイデアを提唱し、研究開発を進めている（図 1）。

情報通信技術を用いた電力ネットワークの高度化という考え方は、昨年来米国オバマ大統領が提唱している Green New Deal 政策によって注目を集めている「Smart Grid」と同じであるが、「エネルギーの情報化」と「Smart Grid」は以下の点で大きく異なっている。

Smart Grid：電力事業者が管理・運営する全国的・公的な電力ネットワークを対象とし、米国では不安定な電力ネットワークの安定化（電力消費ピークの抑制など）を図ることを大きな目的としている。

エネルギーの情報化：個人や一般企業が管理・運営する家庭、施設、地域内における自営線を対象としており、全く新たな発想による高度なエネルギーマネジメントシステムの実現を目指している。特に、日本の CO2 排出量の年次変化を見ると、産業界における削減余地は限られ、家庭やオフィスにおける排出量の削減が重要な課題として挙げられており、その解決を目指しているのがエネルギーの情報化であるとも言える。

米国に比べ我が国では電力ネットワークがうまく管理されており、その安定性には定評があることから、米国流の Smart Grid は不要であるという意見がある。一方、太陽電池や電気自動車といった、小型ではあるが膨大な数の発電装置や移動蓄電装置が社会に広がった場合、電力生産・消費のパターンが大きく変化し、現在の電力ネットワーク制御法では安定性が保てないのではないかといった問題が提起されている。

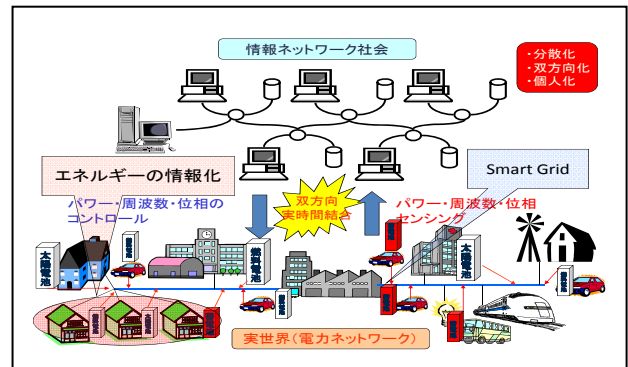


図1 エネルギーの情報化と Smart Grid

エネルギーの情報化が実現できれば、家庭、事業所を含む近隣地域内で電力エネルギーの制御、蓄積が行われ、電力会社から見た場合には、エネルギー消費パターンが非常に安定な負荷に見える。つまり、自然エネルギーを利用する発電装置の出力不安定性、季節や天候、時間に依存した人間活動の変化によるエネルギー消費の変動、さらには電気自動車の普及による電力消費パターンの変化は、家庭内や地域内で吸収し、電力会社は定量的な量の電気エネルギーを地域に安定供給するといった、基幹系+地域系（エネルギーの情報化機能を備えた地域系電力ネットワークを「ナノ・グリッド」と呼んでいる。）から構成される新たな電力ネットワークが形成され、現在の電力ネットワークの安定性を保ちつつ、社会全体としてエネルギーコストや CO2 の削減が実現できると考えられる。これが我が国に適した 21 世紀型電力ネットワークの姿ではないだろうか。事実、本年 4 月に実証地域選定がなされた経済産業省の「次世代エネルギー・社会システム実証」においても、「個々の需要地点及び地域レベルでのエネルギーマネジメントシステムの確立」が大きな目的として挙げられている。

2. エネルギーの情報化の実現プロセス

2.1 電力センサ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

エネルギーの情報化に向けた第 1 段階として、家庭・オフィス内のあらゆる電気機器に、電力センサと通信モジュールからなる「スマートタップ」を取り付け、詳細な電力消費パターンをモニタリングするセンサネットワークを構築する（図 2）。これにより各電気機器の電力消費状況をリアルタイムに計測・分析・表示することが可能となり節電・エコ意識の向上が図れるだけでなく、直接的なプライバシー侵害を引き起こすことなく、電気機器を操作する生活者の行動パターンの学習、モニタリングができ、安全・安心のための見守り、さらには電気機器の不具合の早期発

見にも役立つ。

2.2 オンデマンド型電力ネットワークによる高度電力マネジメント

電力消費の見える化による節電意識の向上では、その効果は限られている。そこでエネルギーの情報化の第2段階として、スマートタップに電力制御機能を付加するとともに、蓄電池をエネルギー・バッファとして活用して家庭内の電力消費を知的に管理し、大幅な省エネを実現する電力マネジメントシステムを構築する。特に、蓄電池として電気自動車を利用すれば、家庭内での生活と屋外での交通に要する電力エネルギーの管理を統一的行うことが可能となる。

我々は、エネルギーの知的制御方式として、以下のような「EoD: Energy on Demand (オンデマンド型電力ネットワーク)」を提案している。

(1) 電気機器のスイッチを入れると電力要求量・機器特性・重要度などを記した情報パッケージ (QoEn: Quality of Energy) が電力マネージャに送信される。(スイッチを入れても直接電気機器がONになるわけではない。)

(2) 電力マネージャは、現在、今後の電力需給状態および、前述のセンサネットワークを使って学習された人間の活動パターンを考慮して、当該機器に利用可能な電力使用量、通電時間を割り当てる。(「Best Effort」で電力供給を行うため、全ての要求が満たされるわけではなく、100Wの要求に対して80Wしか給電されないこともある。)

(3) 給電開始許可のパッケージを受けると初めて、電気機器へ許可された量の電気が流される。

(4) 電力マネージャは、他の電気機器の利用状況、要求の重要度に応じて電力供給を継続的にオンライン制御する。(利用者が予め設定した総電力使用量の制限値以下でマネジメントを行う「Cap 制」による制御が行われるため、重要度の高い電力要求が発生することによって電気機器への給電が削減、中断されることがありうる。)

ここで注意して頂きたいのは、米国の Smart Grid では、電力会社からの要請に応じて需要家が電力制御を行う Demand Response (つまり、Demand Side Response to Supply Side Request) の実現が主な電力制御方式とされているが、我々が提唱している EoD は、Energy Supply Based on Request from Demand Side であり、両者では、要求元、要求の向きが全く逆となっている。このように、米国の Smart Grid とエネルギーの情報化は、図1で示したようにエネルギーマネジメントの対象が異なるだけでなく、エネルギー制御方式に根本的な違いがある。

2.3 家庭内ナノ・グリッドによる電力ルーティング

第3段階としては、個々の家庭に設置される発電装置及び蓄電装置をネットワーク結合し、家庭内のトータルな電力マネジメントシステムとして「家庭内ナノ・グリッド」を構築する。家庭内ナノ・グリッドでは、各電源からの電力を区別して制御を行い(電力カラーリング)、量的な省エネだけでなく、CO2発生量の低減を考慮したエネルギーマネジメントを行う。

電力カラーリングは物理的には不可能であるが、我々のグループでは、図3左のように、電気機器だけでなく電源にもスマートタップを付け、電源と電気機器の間に流れる電力をリアルタイムで同時同量制御することによって、仮想的に電力カラーリングを行う方式を開発し、実験室レベルではあるが、電力カラーリングが実現でき

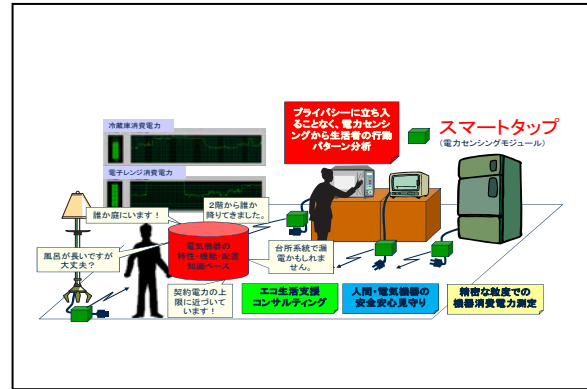


図2 スマートタップを用いた家庭内電力センサネットワーク

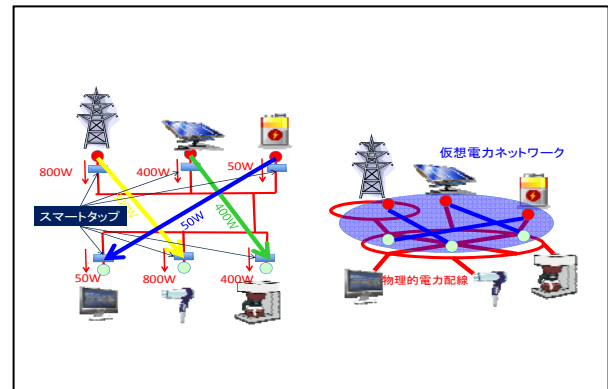


図3 スマートタップ群の分散協調制御による仮想電力ネットワークの実現

ることを実証した。これは、同図右に示したように、物理的な電力ネットワークの上に仮想化された電力ネットワークをソフトウェアによって設定するオーバーレイ・ネットワーク方式であるといえる。

2.4 地域ナノ・グリッドによるエネルギー売買市場の創成

一軒の家庭だけではCO2の削減効果は限られるが、様々な生活パターンを持った多数の家庭が含まれる地域を対象を広げることで、更なる削減が可能となる。これが第4段階で、家庭内ナノ・グリッドをネットワークで結び、世帯間での電力売買を可能とする「地域ナノ・グリッド」を構築する。地域ナノ・グリッドは、電力会社と地域をつなぐインターフェイス、地域内でのエネルギー需給バランスを保つための需給調整、蓄放電制御を行うだけでなく、エネルギー経済ネットワークを含んでおり、それによって各世帯に省エネ、CO2削減に向けた大きなインセンティブを与えることが可能となる。たとえば、少々不便であってもエネルギー消費を減らし(Capの値を低く設定し)、余ったエネルギーを売ることや、エネルギー価格の変動に合わせて蓄放電制御を行うことによって経済的利益を求めるといった行動が誘発され、技術的にはむずかしいレベルまで省エネ、省CO2が可能となる。もちろん、世帯間での電力売買を可能とするには、新たな法制度の制定が必要であるが、地域ナノ・グリッドの実現こそ正に新たな社会基盤、生活スタイルの創成といえることができるのではないだろうか。

(本稿は、情報処理2010年8月号の松山隆司:エネルギーの情報化とは を改編したものである。)