

「エネルギーシステムの新展開—ICT—による消費情報の収集と利用」特集号 展 望

ICT との融合によるエネルギーシステムの展開と
方向性

引原 隆士*

1. はじめに

エネルギーシステムの分野にこれほどの研究者、企業、世界の注目が集まっている状況は、筆者の研究生生活の中で初めてである。言い尽くされたように、2008年のリーマンショック後の経済振興策としてアメリカのオバマ大統領のエネルギー政策にその端を発する。米国内の技術展開の提案、新しい成長分野への公共投資に多くの企業が集まっている。また欧州における環境意識と国策による環境ビジネスの高まりは、同じ方向を向いた公共投資を呼び込んでいる。これに合わせるように、オイル資源国がその余剰資金が尽きないうちにエネルギー分野への投資を加速する状況も生まれ、世界の研究者が、言葉は悪いが猫も杓子も同じ方向を向いてしまった感がある。本展望が、そういった世界の潮流の中で主張を見失わないようにすることは非常に難しく、視点がぶれかねない。依頼により筆者の限られた知見の中で、本特集号に関連するエネルギーマネジメントの展望をまとめたが、この展望を数年後に見直したとき、その主張がどれほどの射たものであったかを自ら精査することは興味深いと思っている。このような調子で話をすすめることをお許しいただきたい。

2. エネルギーネットワークのICT化への期待

先進国を中心に見ると、エネルギーネットワークの主たる構成は、電気エネルギーネットワーク、天然ガスネットワーク、温水供給システムなどである。世界的にユーザへのエネルギー供給は、二次エネルギーの広域ネットワークによる。そのネットワークの規模は、各国、地域の経済圏の発展と一致して拡大している。その中で電気エネルギーネットワークは、一次エネルギーとして利用可能な資源によらず二次エネルギーとしての共通性とその伝送の容易さにより、先進国だけでなく途上国も含めて需要に応じた供給を果たしてきている。その意味では、現在のエネルギーネットワークに関する議論の視点は、ほとんど電気エネルギーネットワークに集中している。インフラとしての電気エネルギーネットワークは、国が

経済的に成長する段階では、エネルギー資源開発、成長による需要将来予測、新規発電所の開発に要する期間、さらには設備・機器の寿命によるリプレースなどに基づいて長期計画のもとに実施されてきた国家事業であった。しかしながら、いずれの先進国もその成長が飽和を迎えた段階で、国家事業として維持する必要はなく、管理を中心とする民間経営に移行している。したがって、いま議論されているのは、このフェーズに産業が移行した先進国における電気エネルギーネットワークのあり方であり、関連するエネルギーネットワーク、さらにその地域における管理運用を含めた構成論である。技術のフロンティアとしてエネルギー分野が設定されたということに大きな意味がある。逆にいうと成長期にある国においては、同じ技術論も別の意味をもつ。この点を区別して考えていかなければ、これからの技術のあり方の議論は混乱する。

さて、上記前提を認めていただいたうえで、昨今のスマートエネルギーネットワークの議論に注目する。主たる議論は、供給側から見た電気エネルギーネットワークとICTの融合によるスマート化が中心である。しかしながら、大規模な地域ネットワークのレベルから、コミュニティレベル、共同住宅レベル、住居内、自動車内といった物理的なサイズにおいて、基準となる電力容量によるスケール則が成立するかどうかという議論がなされないまま、すべてを同一視した情報主体の議論が多く見られる。しかも残念ながら、情報と物理をつなぐ論理が正しく扱われていないケースが多い。このようなさまざまなレベルにおいて、供給範囲に関する地域の構成方法、供給エネルギーとして電気と他の自然エネルギーを含むエネルギーの電気への転換による供給ブロックの構成法、車、建物、コミュニティの閉鎖領域における電気エネルギーと他のエネルギー源とのベストミックス（ハイブリッド）法、そしてエネルギー高効率化とその手法論といった定常状態の議論がまずなされ、つぎにそれらの動的な議論への展開がなされていくであろう。その際に、電源、ノード、ブランチの状態を集中的に管理できるレベルの限界があり、自ずと従来のネットワークと今後のネットワークの切り分けが必要になる。つまり、これまで厳しい管理下にあったネットワークがそのままでは成立しなくなり、その結果、再ネットワーク化の方法

* 京都大学 大学院 工学研究科電気工学専攻

Key Words: energy system, ICT, smart grid, micro grid, energy management.

が異なる層で必要となる。ここにエネルギーが必要な場所でユビキタス性を保つ技術としてICTが実力を発揮する環境が生まれる可能性があり、期待されている。

3. 電気エネルギーシステムの過去から未来

電気エネルギーシステムは、一次エネルギーからの電気エネルギーへの変換とパワーの電源から負荷への伝送を受け持つ。歴史の上で電気エネルギーネットワークの発展初期段階の状況を見るとおもしろい。ここで歴史を詳細に記述する余裕はないが、京都疎水による蹴上発電所では、京都電灯会社が疎水の水力で複数の発電機を運転し、異なる電圧、周波数の複数の交流電力だけでなく直流電力までも顧客の要請（負荷の種類）に応じて供給した。これは要請に応じてその電気エネルギーを伝送する Energy on Demand の原点である。はたして、初期のシステムから現代の電気エネルギーシステムはどこまで進化しているであろうか？ 最初のシステムは個別発電機に個別負荷を担当させ、動力と負荷の消費電力をバランスさせたものである¹。初期システムが共通動力に対して発電機を並列化する構成であったのに対し、現在のシステムは、多数のエネルギー源から異なる機械エネルギーに変換され個別に発電する発電機がネットワーク上で並列化されている構成となっている。これは、同一ネットワーク内で周波数を統一し、定電圧運転により基準電圧の維持を可能にした。その結果、動力源によらない電気エネルギーのネットワークが完成し、負荷と電源は個別に情報のやり取りなく、電圧と位相の状態がネットワーク全体で管理されるシステムが完成した。結果的に負荷はそれぞれが必要な電力の形態（交流と直流、周波数、電圧など）を電力変換で得ることが必要となり、その形が今も踏襲されている。

本稿が掲げる課題は、果たしてこの形態が今後も維持されるであろうか、そうでないならどういう形がありえるかということである。自然エネルギーを用いた分散電源の登場や二酸化炭素の増加による地球温暖化問題、そしてエネルギー問題は、これまで常識とされた概念への見直しの切っ掛けに過ぎない。すでに始まっているスマートエネルギーマネジメントの動きや、エネルギーだけでなくあらゆる分野と関連させて解決策を求めていく動きは、間違いなく物理現象の現場を飲み込んでいく。その兆しがいま見え始めており、新しい電源と負荷の関係を生み出すパラダイムシフトが求められている。少なくとも、技術の歴史的な展開を見ても、既存の電力会社の管理に任せたシステム構築を求めるものではないように思われる。

¹一定出力電圧を維持するために発電機を等速で運転する必要から生まれたガバナーは、制御応用の原点として知られている。

4. 電気エネルギーネットワークのICTによる制御

電気エネルギーネットワークの物理にスケール則が成立するであろうか？ そのような可能性を意識しながら、以下データセンターおよび自動車の例をあげて考える。

4.1 ICTとエネルギー消費

電気エネルギーネットワークにおいてICTがキーになることを述べた。しかしながら、ICTの拡大がそれ自身のエネルギーをどのように供給し、効率化するかという問題を生じる。データセンターがその例となる。データセンターとは、インターネットの拡大に伴うサーバの爆発的な増加を受け、コアとなるICTサーバを集中設置し、スペース、エネルギー、セキュリティの上で効率化を図った施設である。このようなデータセンター自体が、消費電力の増加に伴い、二酸化炭素の排出、グリーン化を求められる。2025年にはインターネット上の情報量の増加により、IT機器の消費電力は総電力の20%、エネルギー消費は5.2倍になり、そのうちデータセンターの消費電力は2.5倍になるといわれている[1]。これよりICTの導入によるネットワーク化でそのエネルギーの効率が単純に上がるというものではないことが容易にわかる。すなわち、データセンター自体が多大なエネルギー消費を生む中で、他への貢献がそれに見合うものであらねばならない。

データセンターの電力消費の要因として、電源、IT機器、空調がある。それらは単純な足し算ではなく相互に関係がある。空調の効率化の要点は、気流の管理、冷媒、チラーの最適化、廃熱回収などにある。またIT機器では、個々の効率化は計算量の増加との戦いである。問題は電源である。電源はこれまで、外部から供給される高圧電力に依存してきた。これは、個々のユーザとして新たな方法を得られなかったことによる。しかしながら、外部に依存したシステムをその心臓部にもつことがセキュリティ上の問題を生じる。セキュリティを確保するために、データセンターではバックアップ電源をもち、配電を交流で行った後、個々の機器で電力変換によって交流から直流に変換するシステムをもつ。さらには冗長性を持たせるために、予備の変換器や電源を備える。このようなシステムへの電力供給、エネルギー管理が、従来の配電システムと同列でよいのかという疑問が生じるのは当然である。著者の所属する大学でも数年前に、メディアセンターのグリッド計算機が電力消費の問題でフル稼働できないという問題に直面した。

世界的には、これらの対策が直流給電によるスマートグリッド・データセンターの構築に向かっている。国内でもNEDOやNTTなどの取り組みで、多くのデータセンターで実証が行われている。それらでは300-400V、数十kW-百数十kWの直流電力の供給を行い、配電線、ソケットなどすべてこの規格となっている。同時に照明

なども完全に直流化されている。海外では、エンジンを中心とした分散電源による数千 kW 以上の運用実績があり、燃料電池 (FC) を取り入れたプロジェクトもある。Google が PV をサーバ消費のピークカットに用いるプロジェクトを立ち上げたのも記憶に新しい [2]。

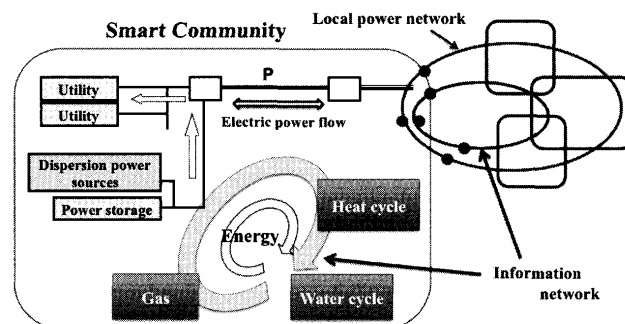
このように、ICT 自身がエネルギー消費量の増加を抑え、他のエネルギーマネジメントに向かう実績を積んできている。

4.2 蓄電要素を含めたトータルエネルギー制御

スマートグリッドのプロジェクトにおいて、負荷の平準化および電力の平準化において蓄電要素が重要となる。商用電力の大規模な蓄電要素には揚水発電所などがあるが、システム全体に寄与する大容量の蓄電要素は少ない。超伝導技術を用いた磁気エネルギーとしてエネルギーを蓄える SMES、フライホイールを用いた機械エネルギーによる蓄電などが世界的に進められてきた技術であるが、いま世界の動きとなっているスマートグリッドのプロジェクトでは、特にリチウムイオン電池や電気二重層キャパシタが注目されている。

リチウムイオン電池を含む新型電池の開発を引っ張っているのは、いうまでもなくハイブリッド自動車 (HV)、電気自動車 (EV) である。ハイブリッド自動車の開発が、エネルギー密度が高く充放電特性のよい電池の技術的進歩を促すとともに、瞬時出力をカバーするパワー密度の高い電池、蓄電要素の開発を加速している [3]。とくに HV の出現は、車の中でこれまで技術的に従った存在であった電気システムが、熱機関のエネルギーを補填するアシストの状態から主たる駆動系に至る制御技術の立場を確立したことはいうまでもない。これがプラグインハイブリッド自動車 (PHV) を経て、または一足飛びに EV に進んでいる。軽量さが求められる二輪においても電動アシスト自転車から電動バイクへと進んでいる。これらのシステムの生命線はいずれも蓄電要素の電池である。

実はわれわれの生活の身近なところには多数の蓄電要素が存在する。これまでは小容量であったため、家電機器ではコードがなくなった程度の便利さでしか意識されてこなかった。ところが、PHV では充電時は負荷であるが、駐車時の電力が不要な時には十分な電源となる。明らかにこのような大容量の電気エネルギー源がわれわれの生活空間に存在したことはいまだかつてなく、かつ移動する。これを新しいネットワークに使おうという提案が各所で行われている [4]。これらの動きは V2G とよばれ、その数による負荷平準化の効果は、電力会社としても無視できないものとなる。したがって、これらの系統への接続を管理すると同時に、利用するというシステム技術が重要となる。このように系統に接続される蓄電池をどのように使うかという考え方は、個別の車、電源の運用だけでなく、グリッド全体としてトータルに何が期待できるかという構図が必要である。その構図は残念



第 1 図 スマートコミュニティの連携イメージ

ながら暗中模索状態にある。

5. スマートエネルギー・マネジメントシステム

スマートコミュニティ、スマートシティに関するプロジェクトが世界で開始されている。これは、いわゆる電気エネルギーネットワークに関するスマートグリッドに加え、ガス、熱など他のエネルギー源をすべて ICT で管理し、ホーム・エネルギー・マネジメント・システム (HEMS)、ビルディング・エネルギー・マネジメント・システム (BEMS) などで培われた管理技術に加え、地域レベルですべての負荷をトータルに制御し、設定したコミュニティ内でエネルギーをマネジメントしようとする試みである。その議論の中心にあるのがスマートグリッドとするのは矮小な見方である。現在のような国際的な展開が見られる以前に、すでに省エネルギーとエネルギーマネジメントを目的としたプロジェクトが進められてきた。以下にそれらの事例を示す。

5.1 国内の事例 1：環境共生住宅 (NEXT21)

NEXT21 は大阪ガスが 1990 年代から計画して実施した集合住宅実験のプロジェクト名である [5]。その目的は環境保全と省エネルギーであったが、熱効率を考えた住居設計に、燃料電池などを含む高効率なエネルギーシステムの運用、スマートグリッドで忘れられがちなエネルギー管理、空調、廃棄物処理、排水処理、緑化、街路計画、ライフスタイル提案などの、人間生活に関わる可能な限り多くの要素を検討対象とし、社員による参加型長期居住実験が実施された。この環境共生住宅の考え方は、スマートシティ、スマートコミュニティが目指すべき形の実験であった。単にガス会社がその営業戦略として行った実験の枠を越えたものである。現在も実験が続けられており、長期の視点で新たな検討がなされるものと考えられる。

この実験においてコージェネレーションの実験が行われ、建物の高効率化で一次エネルギーの使用を 30% 削減した設計をしたうえで、リン酸形燃料電池 (100kW, 効率 40%) を中心に、太陽電池 (7.5kW)、および商用電源

を加えた配電システムの検証がなされている。このシステムでは高温および低温廃熱を利用した冷暖房システムも導入された。さらに、燃料電池も太陽電池も直流であることから、交流利用のための変換器損失を低減するため直流配電システムが採用されている。一般に燃料電池は負荷率が高い状態で運転することで高い効率を得られることから、高効率運転可能な負荷を蓄電池の併用で実現し、電気系、熱系の需要予測に基づいて蓄電池の充放電制御を行う総合的なエネルギーマネジメントが実施された。

詳細はここでは述べないが、水処理系、廃棄物系もエネルギーのマネジメントには欠かすことができない。これらの処理からコミュニティとして熱あるいは電力を回収する機構は、イニシャルコストを含めてどの程度のコミュニティサイズであればその効果が期待できるかを検証したものであり、非常に興味深い結果が得られている。

以上のNEXT21におけるスマートコミュニティの国内実験は非常に先見性のあるものであり、成果は現在なされている議論の多くに方向性を与えるとともに、さらにICTによる上位レベルの議論につなげることができる。

5.2 国内の事例2：京都エコエネルギープロジェクト (KEEP)

マイクログリッドに関する実証実験が2003年から5年間NEDOにより、国内の3地域（八戸、名古屋、京都）で実施された。これらのプロジェクトの個々の評価は別にして、その中で京都府で実施されたKEEP (Kyoto Eco Energy Project) では、複数の種類（バイオマス、燃料電池、バッテリー、太陽光、風力、商用電源）の電源要素と複数の負荷（病院、公共施設、熱負荷ほか）を既存の電力系統上で仮想的に連系し、インターネットを中心とする情報ネットワークでそれらの同時同量を実現する試みを実施している[6,7]。このプロジェクトは、電力のバランスを取る同時同量を電力会社に対して約束し、その制限のもとに、電気のバランスだけでなくバイオマス発電の資源となるいわゆる食品カスの流通、バイオマス発電の原料であるガス生成のバランス、その発電後に生成される堆肥などの地域への流通といった複合的な同時同量を実現することが重要な課題とされた。当時においてもすでにインターネットを通じた計測、制御によりすでに電力会社が厳しく要求する一定時間の同時同量の達成が報告されている。KEEPのプロジェクトはマイクログリッドの枠を越えて、エネルギー、資源全体を通じ、異なる時間スケールの現象を総合的に運用する技術として理解でき、仮想的スマートシティの構築を目指したもので、その取り組みは興味深いものであった。残念ながら、このプロジェクトが他のエネルギースケールのシステムにどのように適用できるかという観点での精査がなされておらず、大規模な実験にもかかわらず成果はその

後の研究で利用には至っていない。ここで実施された検証は、まさにいま、わが国を含めて世界で検証すべきスマートシティの一つの可能性を試みたものであり、さらには電気の外にあるエネルギー源の流通にまで関与した検証は、グリッドがそれ自体で閉じることができないことを明らかにした取り組みであった。

5.3 海外の事情

以下の詳細は、資料[9]を参考にしていきたい。

オランダ・アムステルダム市スマートシティ(ASC)・プログラムでは世界初のインテリジェント・シティの実現を目指して「アムステルダム・スマートシティプログラム」とスマートグリッド関連事業を行っている。その目的は、持続可能かつ経済的に実行可能なプロジェクトの企画・実施にあるが、関連してカーボンフットプリントを削減し、EUの気候変動・エネルギー関連の政策に寄与することにある。住宅や商業施設、公共施設、交通機関を網羅したエネルギー消費量を削減するため、スマートメータやBEMS、さらには船舶の充電設備の充実などの取り組みが行われている。電力需要側と供給側双方の一体的な制御を行い、ローカルなエネルギーマネジメントシステムの開発を試みている。家庭用の小型発電施設からの余剰電力の売電を可能にするインフラの整備を行っている。近接複数住宅間で相互に発電量、需要電力量を管理し、ネットワーク内で最適融通を図るLEN (Local Energy Network) の構想も実施されている。

中国では天津市を含む13都市で、再生可能エネルギー、地域熱供給、資源循環、省エネルギーなどの技術を導入し、環境都市を建設するプロジェクトが進行している。また上海市では、海外資本によるサステナブル都市の建設プロジェクトが実施されている。

米国コロラド州ボルダーのSmart Grid Cityプログラムは、Xcel Energy社が中心となり、約2.3万軒のスマートハウスによる実証研究がなされている。その実施内容は、停電管理・顧客情報システム開発、双方向通信を活用した蓄電池、風力、太陽光発電、PHEVなど約1000ヶ所の分散電源の統合制御である。また、ローカルなEMSを用いて、自動検針、停電検知、配電自動化、エネルギー消費の見える化、そしてデマンドレスポンスプログラムの構築も検討している。

ドイツのマンハイム市でも、100軒規模の家庭を対象として、太陽光発電、コージェネレーションシステムと制御可能な負荷を統合し、電気事業者と需要家がリアルタイムに情報交換可能なシステムを構築し、双方向エネルギーマネジメントインターフェース(BEMI)を中心に、各家庭間でエネルギーマネジメントの実施を検証している。

そのほかにも、スウェーデンのストックホルムの環境共生都市、UAEマスダールCO₂ニュートラル都市プロジェクト、ドイツのE-DeMaプロジェクトなど多くのプ

プロジェクトが走っている。

このように、世界ではすでに地域や複数住宅間でどのようにエネルギーをマネジメントし、需要を満たしつつ環境に対する負担軽減が可能なエネルギーシステムの構築を、要素技術ではなくシステム技術として確立しようとしている。これらの取り組みは、技術としての可能性を追求することで、新しい事業を生みつつあることに注目する必要がある。個々の要素、機器の最適化や高効率化は、トータルなシステムの最適化を見たとき、必ずしもその製造コストや制御系を考えれば最適とはいえないということから、これまでのわが国の技術開発のあり方に、考え方の変換を要求するものとなっている。別のいい方をすれば、要素を極めるというのでも、システム技術の机上の議論をするのでもなく、現実の物理世界で生じている現象を正確に把握して、システムの原料から解体に至るまでの長いプロセスの中で、システムとしての最適な有り様を考えなくてはいけなくなっている。それらのプロジェクトの結果、住宅認証などへの一層の条件の向上への要請が高まっており、仮に市場を欧州や米国に求めたとき、住宅メーカなどは標準化の対応を迫られ、技術開発が遅れると国内市場自体を失うことにもなりかねないという状況にある。

6. エネルギーマネジメント研究の方向性と懸念

“日本が目指すべきスマートグリッド”という記事がここにある。最近でこそトーンは下がっているが、なぜそういう矮小な話になるのであろうか。日本の国内のシステムを維持するためには確かに“日本が目指す”ということで特化できるかもしれないが、そのシステムは利用者の利便という観点で一般性を得られるものではない。多くのマネジメントの研究の当面の出口は“見える化”である。これによって説明責任を果たすと同時に、利用者に自粛と自らの管理を促すという方向性がある。これはシステム技術ではない。見える化で仮に電力の消費量が減っても、システムとしては何もしていない。それを技術というのはおこがましい。このような見える化が供給側の変化を促したとすれば、完成された主張するわが国のグリッドは単に自ら設定した目標を達成しただけに過ぎないということを、われわれは改めて知ることになる。

見える化により種々のデータを取り、その中でエネルギーマネジメントとしてどのような効果があるか調査することは、もっともな話である。しかし、いまわれわれが見ているものは何もコンセプトが固まっていない技術分野である。これを、システムというものが既定のものとして与えられそれを維持管理するという受け身の発想で対処することに意味があるであろうか。このような考え方は、ICT によるマネジメントが大きなパラダイ

ムシフトを生む可能性を検証することを、インフラ分野が自ら放棄するものである。

よく知られているように、個々の要素技術はこれまでの技術革新で非常に高い水準にある。しかしながら、それらをつなぐ考え方、システムの方法論、そしてネットワーク技術がわが国にもっとも欠けたものではないだろうか。ポテンシャルがあることは誰でもわかっている。しかしそれだけでは、国際的なエネルギー資源や低炭素化の流れの中で、意味のある主張にもならない。自国だけで多量の削減を約束したところで、爆発的な人口増を抱える人類のためにはならない。いまの生活レベルを落とすことなく、多くの人がそのレベルにたどり着きその生活を甘受できる、より本質的な解決策が必要なのではないか？ 経済が主体のダイナミックスがインフラのパラダイムシフトによって大きなお金を動かそうという流れに対して、あえて純粋にピュアな技術論を唱えるならば、そんな卑近なところに目を向けているのではなく、本当に二酸化炭素を吸収し利用する技術などに特化すべきで、組み合わせればすぐにできてしまうような技術だけでこのエネルギーに関連するマネジメントを議論することは、少なくとも大学の研究者がすることではないといいたい。一方で、組み合わせれば簡単にできると思っている多くの技術者も、複雑なシステムについてのシステム技術において、その複雑さゆえにより高い技術を用いなければ対処できない問題があることを理解する必要がある。ICT が関わる以上セキュリティも重要な問題となる。これまでウイルスがネットにはびこったり、セキュリティが甘いことで受ける被害は、データの損失や流出という情報の管理の問題であった。おそらくはその前に人間社会の歪みを修正しないまま放置している社会の問題として捉えるに留まってきた。しかしながら、昨今の多くの国で発生した動乱では、ICT が人と社会にネットワーク化の新しい手段を与え、古いシステムからはその影響を受けた人のダイナミズムをコントロールできないことが示されている。物理量を直接扱うエネルギーマネジメントシステムの ICT 化の場合にも、善意であれ悪意であれ外部からの擾乱によるエネルギー供給の遮断や利用者が意図しない突然の供給は、直接人の生命に関わる危険性をはらんでいるということを意識しなければならない。意図的な擾乱が与えられてもそれに耐えるシステムとしては、現状の ICT 化は非常に脆弱であり、エネルギーマネジメントシステムにおいても同様である。

7. おわりに

いま世界各国では、電力技術者が大量に退職する時期を迎え、また若い世代の技術者がこの分野の斜陽から長い間補充されておらず、人とその技術が 1950 年代に逆戻りするほどの状況になるといわれている [8]。この基盤技術が、その維持が主要な仕事になった時点で、若い技術者、研究者の興味の対象ではなくなり、また大学で

はカリキュラムから外されてしまった。このような状況で、付け焼き刃の教育を施したところで、いったん逆回りした技術教育と開発研究はそう簡単にはもとに戻らない。一方で、こういう基盤技術を見放した表面的な ICT によるエネルギーや電力のマネジメント技術をいくら唱えたところで、その物理を知らないものが実行できることは底が浅い。そのことを責任ある者が自覚していないことが大きな問題である。

エンロンの電力の市場取引は、電力という物理量の売り買いではなく電力という証券の売り買いを行った結果破綻した。しかし、その破綻が発電所の運用を止め実際の物理量の流通に影響を与えた。このことが何を意味しているかを考えたとき、商取引で物理を制御する現実には、儲けのために定常状態の大きな変化を要求する市場原理が、人々の生命線を維持する責任には頓着しないといえる。穀物取引も同様である。いま進められているスマートエネルギーマネジメントが、その地域、コミュニティのよりエネルギーを求める人々に対して、相互に助け合い、需要を下げながら同レベルの生活を満足する技術開発の方向性を示すべきであろう。

謝 辞

本展望をまとめるにあたり、データセンター関連の情報をご教授いただいた NTT ファシリティーズ廣瀬圭一様にはこの場を借りて御礼申し上げます。そして、NEXT21 に関する資料を快くご提供いただいた大阪ガス(株)石井幹也様に御礼申し上げます。また、末筆ながら、浅学な著者にこのような機会を与えていただいた、システム制御情報学会第54期編集委員会委員長および担当編集委員の皆様にご心より御礼申し上げます。

(2011年1月31日受付)

追 記

本原稿は2011年3月11日の東日本大震災の前にまとめたものであるが、その内容が震災後に生じたエネルギーを巡る状況の問題に関わっていることを校正時に改

めて気付かされることとなった。今回の震災後の電気エネルギーネットワークの再構築に、わずかでも参考になれば幸いです。

参 考 文 献

- [1] 経済産業省/グリーン IT 推進協議会: 温暖化対策に貢献する「グリーン IT」(2008)
- [2] Solar Panels, Google Inc. Builds Massive Rooftop Solar Panel Array, <http://www.solarpanelsdot.com> (2009)
- [3] 小久見: リチウム二次電池, オーム社 (2008)
- [4] J. Tollefson: Charging up the future; *Nature*, 456, pp. 436-440 (2008)
- [5] NEXT21 編集委員会: NEXT21 その設計スピリッツと居住実験10年の全貌, 株式会社エクスタレッジ (2005)
- [6] 鈴木: 新エネルギー等地域集中実証研究京都エコエネルギープロジェクト; エネルギー・資源, Vol. 26, No. 5, pp. 25-27 (2005)
- [7] 京都エコエネルギープロジェクト (略称 KEEP), <http://www.pref.kyoto.jp/tikyu/keep.html>
- [8] A. Bogdanowicz: Help Wanted: Power Engineers; *the institute*, Vol. 34, No. 4 (2010)
- [9] NEDO: 再生可能エネルギー白書, NEDO 海外レポート, No. 1053 (2010)
<http://www.nedo.go.jp/kankobutsu/report/1053/index.html>

著 者 略 歴

ひき はら たかし
引 原 隆 士 (正会員)



1958年8月9日生。1987年3月京都大学大学院工学研究科電気工学専攻博士後期課程研究指導認定退学。関西大学を経て、1997年4月京都大学助教授、2001年8月同教授となり現在に至る。パワーエレクトロニクス、非線形力学の工学的応用、MEMSの研究、情報通信・エネルギー統合技術の研究開発などのプロジェクトに従事。京都大学工学博士。電気学会、電子情報通信学会、APS, SIAM, IEEEなどの会員。