

制御・通信プロトコル
Chapter 5

ホームネットワーク (OSGi, ECHONET) モデルに基づく 家庭内エネルギーマネジメント

In-house Energy Management by Home Network Technologies
with OSGi and ECHONET

丹 康雄 (北陸先端科学技術大学院大学)

ホームネットワークによる エネルギーマネジメント

我が国のトップランナ方式による機器の省エネに関する取り組みは大きな成果を上げているが、それぞれの機器における効率化には限度があり、また、ライフスタイルの変化により1人当たりのエネルギー消費は増大を見せていることから、家庭という単位で系統立てたエネルギーマネジメントを考える必要が高まっている。

家庭内の家電機器や住宅設備を何らかの方法で連携させて省エネルギーを図ることは新しいアイデアではない。たとえば、エアコンの運転と窓の開閉や換気扇の運転を連動させれば電力削減可能なことは自明であろう。しかしながら、実際にこれを実行してみると、頻繁に窓の開閉を迫られたり、風で紙などが散乱したりなど、あまり容易ではない場合も多い。そもそも、現在の多くの住宅は密閉を前提とした造りになっており、一度窓を閉じると次に開けるタイミングをつかむことは容易ではない。これに対して、住宅の内外の温湿度データを取得するとともに、窓の開閉やエアコンの運転を自動で制御できればこうした問題が解決できることは明らかであり、マイコンが利用可能となった1970年代末からさまざまな取り組みがなされてきた。しかしながら、こうしたシステムは試作レベルのものであれば作り込みで開発することが可能であるが、商品として実用化するためには、以下のようにいくつかの難点がある。

■ 機器レベルの接続性、整合性

家電機器や住宅設備は家庭ごとに異なる。異なる機種でも共通の手段で制御が行えるよう、機器レベルでの容易な接続方法と制御方法の標準化が必要となる。

■ 制御アルゴリズム

機器そのものを動かすことができたにしても、住宅ごとに間取りも建っている場所も異なることから、単純に決められた手順で機器を動かせばよいのではなく、各種のセンサからの情報に基づき制御を行う必要がある。どのようなセンサ情報に基づいてどのように制御すればよいかということは個々のケースで大きく変わることがあり、これに対応できるような仕組みが必要になる。

■ 制御パラメータ

同じ制御アルゴリズムでも、住宅の造りに依存して各種の動作パラメータは変わってくる。また、ユーザの嗜好も設定温度1つとっても個別に異なることから、これにも対応する必要がある。また、住宅の存在する地域や地形、運転する日の天候、季節などによっても制御を変化させる必要がある。こうした情報を何らかの手段で得る必要がある。

実用的ホームネットワークサービスを 可能とするシステム構成

前章で述べた要求を満たすためには天気予報などの必要な情報を外部から取得しつつ、ユーザの意向

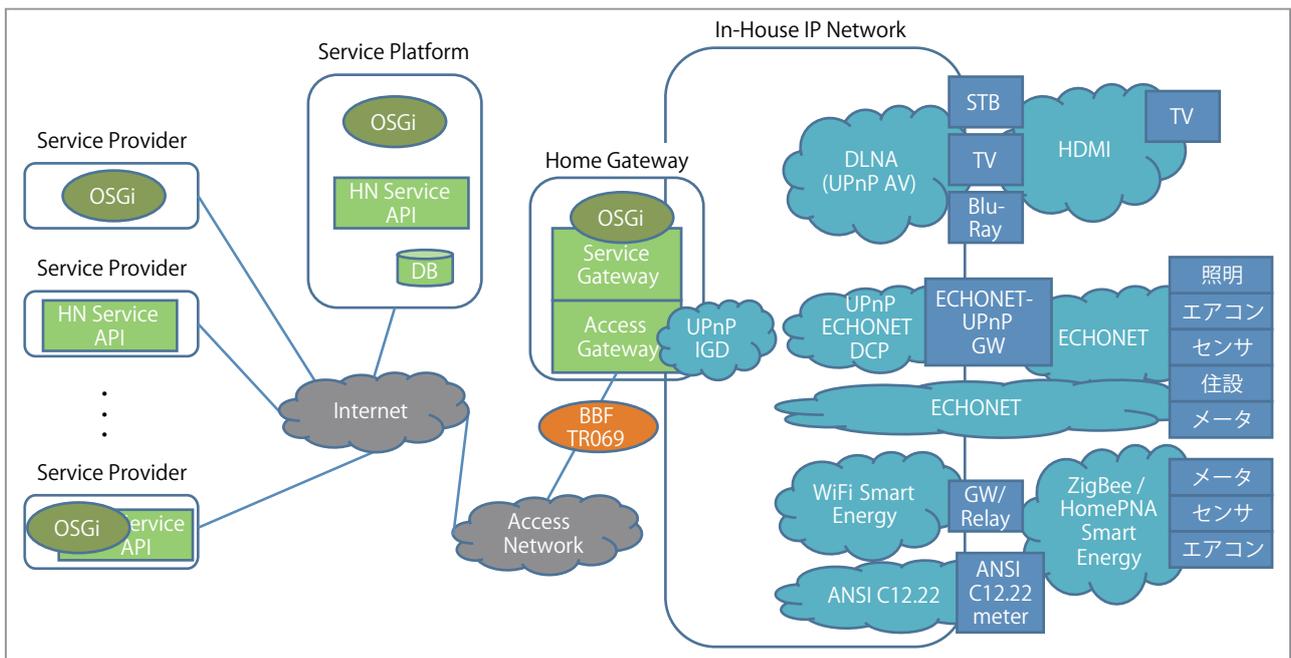


図-1 ホームネットワークの全体像

も踏まえた上で稼働する高度なアプリケーションをそれぞれの住宅に合わせて提供する必要があり、きわめて高価なシステムとなってしまう。これをローコストに提供するためにホームネットワークでは、広域ネットワークを経由して外部のサービスとの連携を図り、ネットワークを経由したソフトウェアコンポーネントのメンテナンスを可能とした上で、標準化されたインタフェースで接続された機器群を利用する、という手段がとられるようになってきた。こうした機能を備えたホームネットワークシステムの全体像を図-1に示す。

ネットワークへの接続を実現するにあたり、家電や住設機器では極力ローコストな実装が望まれることから、各機器の目的に合わせた技術を用いる。目的が類似したもの同士をグループ化し、その中で共通したプロトコルと伝送技術を利用する形をとるかたちである。こうすることにより、たとえば、AV家電のグループでは高速伝送や権利保護の機能を備えた技術が使われ、白物家電や住設機器では低速でもかまわないので新規配線が必要なく低価格な技術が使われている。こうしたグループのことをITU-T J.190 勧告ではプレーンと呼んでいる¹⁾。

省エネルギーに最も関係する白物家電や住設機器はくらし環境 (Home Appliance) プレーンと呼ばれており、これを実現する具体的な技術には後述のECHONET, Z-Wave, ZigBee などがある。

家庭内にさまざまなプレーンが存在していても、ユーザに対するサービスの観点では連携して稼働する必要がある。たとえば、くらし環境プレーンの機器で高度なユーザインタフェースを提供するために、AV家電のプレーンに属する機器と連携するという利用方法は妥当であり、これを実現するためにはプレーンをまたがったサービスが可能となっている必要がある。J.190ではこのプレーン間連携を個別のプレーン間ゲートウェイではなく家庭内のIPネットワークが担うモデルとなっており、それぞれのプレーンごとに、プレーン内の特定領域のプロトコルをIPネットワーク上のメッセージとして伝えられる機器の存在を想定している。これは独立したゲートウェイ的な装置として存在することもあるし、高機能な機器の内蔵機能であってもよい。

このように家庭内IPネットワークから各プレーンの機器が制御可能になれば、家庭内IPネットワーク内にアプリケーションを実現するコントローラ

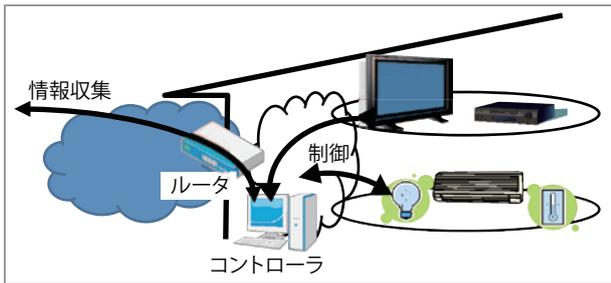


図-2 スタンドアロン型のサービス実現

を設置すればよいことになる。IP ネットワークに接続されたコントローラはインターネットなどの外部接続を通じて情報を得ることもできる。このコントローラとしてはパソコンやタッチパネルのついた専用の機器という形態も考えられるが、常時稼働していなければならないことや、ネットワークに接続するのが前提であることから、いわゆるホームゲートウェイがこの役割を担うかたちが現在有望視されている。ホームゲートウェイは従来は NAT やフィルタリングといったルータとしての機能が主であったが、こうした従来からの機能をアクセスゲートウェイと呼び、これにサービスを実現するための機能をサービスゲートウェイとして追加したものを改めてホームゲートウェイと呼んでいる。このサービスゲートウェイ上でサービス実現のためのアプリケーションが稼働し、機器を制御するかたちになる。

**ホームネットワークの
サービスアーキテクチャ**

図-2 に示したのが最も単純なサービス提供モデルである。すべての制御ロジックは家庭内のコントローラに存在し、このコントローラが必要に応じて外部のネットワークから情報を得て家庭内の機器を制御する。この形態は前述のように、コントローラの実装に課題が集中するが、逆に言えば住宅の住人自らがプログラミングをするような利用形態が成り立てば不可能ではない。とはいえ、いかにツールを工夫しても自分でプログラムを開発したり、保守できるようなユーザが一般消費者の大部分を占めると

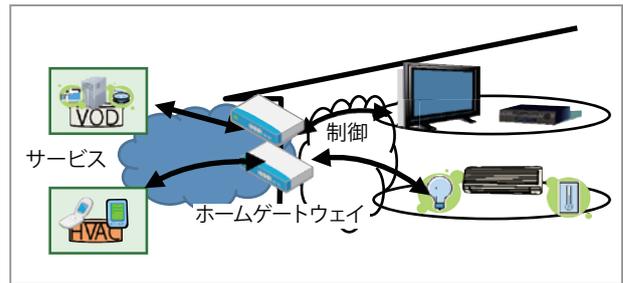


図-3 ASP (Application Service Provider) 型のサービス実現

は考えにくく、限定された相手に対してのみ成り立つモデルといえる。

図-3 は、図-2 ではコントローラが担っていた機能を外部のサービス提供者がホームゲートウェイとサービス提供者のサーバとで機能分担して実現する形態である。これは、PC にインストールされたアプリケーションの代わりに Web ブラウザ上でサービスとしてアプリケーションの機能を提供する ASP (Application Service Provider) と同様、ネットワークを経由したサーバ側に機能を持つことで、ソフトウェアのメンテナンスやデータの保全といった役割を家庭内で行わずに済ませることができ、ユーザの負担を軽減するものとなっている。また、個別の家庭の状況に合わせられるだけの選択肢をサーバ側で用意することも容易になるだけでなく、複数の家庭の制御を一括して行うことで、サービス側は統計的な情報を得ることが可能となる点がきわめて重要である。

この形態においては、ホームゲートウェイにアプリケーション機能の一部を担わせる必要が出てくるが、これを実現する技術として OSGi²⁾ に注目が集まっている。OSGi は Java ベースのソフトウェアモジュール (バンドルと呼ぶ) をネットワーク経由で対象の機器にインストールしたり、機器で動いている各バンドルの情報を取得したりすることのできるフレームワークである。OSGi では複数のバンドルが稼働しているときに、特定のバンドルだけを停止あるいは再起動したり、バージョンアップするといったことが可能であり、各家庭ごとに異なる構成であっても必要なバンドルの組合せで適切なアプリケ

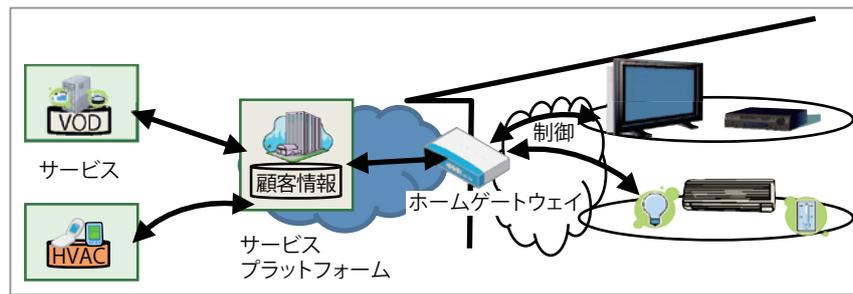


図-4 サービスプラットフォーム型のサービス実現

ーション環境を構築することが可能となる。

OSGi を実装したサービスゲートウェイの能力を持つホームゲートウェイ装置自体はすでに実用化されており、国内外で利用が始まっている。しかしながら、この形態では図-3にも示すようにホームゲートウェイ自体が複数になってしまう可能性が高い。同一のホームゲートウェイで動作させるためには、サービス間で資源競合などが起きないように調整をする必要があり、サービスを提供する事業者が異なれば当然ながらその調整は困難となるためである。

単一のホームゲートウェイで異なるサービスを実現可能とするためには、図-4に示したような、サービスプラットフォームの出現を要する。この形態の場合、各サービスのアプリケーションプログラムはいったんサービスプラットフォーム事業者を集められ、ここで整合性を担保しつつ、家庭内に設置されたホームゲートウェイを経由して実際に家庭内の機器を制御する。サービスプラットフォーム事業者は各家庭と契約を行い、家庭内の接続情報や機器情報を取得して顧客情報DBを構築するとともに、家庭に対する窓口を一手に引き受ける。一方、サービスプラットフォーム事業者はサービス提供事業者に対して個別のユーザ環境に依存しない汎用性のあるかたちでAPI (Application Programming Interface) を提供する。APIに基づいて記述されたアプリケーションは、サービスプラットフォーム事業者の顧客情報DBに基づき個別の環境に必要なコードに置き換えられ、家庭内のホームゲートウェイに送られる。

この形態ではユーザは料金の支払いや障害対応の

ワンストップ窓口を得られるかたちになる一方で、サービス提供事業者は多くのユーザ宅で利用可能な抽象度の高いアプリケーションプログラムを開発しやすくなるというメリットを有するが、さらに重要なことは、プラットフォームで家電制御に関する情報が蓄積され得ることである。たとえば、各家庭が好む温度設定という情報は空調に関してきわめて重要な意味を持つが、サービスプラットフォーム事業者はホームゲートウェイを経由して各家庭内の機器を運転するなかでこの情報を取得することが可能である。個別の家庭の情報は、そのユーザに対してしか利用できないが、統計的にまとめた情報は広く利用可能となる可能性がある。地域ごと、あるいは世帯構成などのユーザのプロフィールに基づいて統計処理された情報を使えば、サービスプラットフォーム事業者は、より抽象度の高いAPIをサービス提供事業者に提供することが可能となり、具体的な温度を指定するような運転ではなく、「少し暖かく」といった個別のユーザで最終的な目標値が変わってくるようなAPIも提供可能となる可能性がある。このような高度なAPIを実現するためには、大規模なデータベースと高い処理能力をサービスプラットフォームが有する必要があるが、現在、Webの世界でGoogleやAmazonが担っている役割を考えれば、非現実的なものではない。

実際問題として、高度なAPIを提供するサービスプラットフォームが出現するためには技術的あるいは制度的な問題があり、ここに述べた三形態の混合、あるいは中間的な実現がしばらくは続くものと思われる。

ホームネットワークによる エネルギーマネジメントの実際

家庭内の機器をネットワークで操作してエネルギーマネジメントを行おうとする動きのなかで近年報道などに取り上げられているのが ZigBee アライアンス (12 社のプロモータ企業を中心とした企業間アライアンス) による ZigBee Smart Energy Profile³⁾ である。これは IEEE802.15.4 無線の上にワイヤレスセンサネットワークとしてのプロトコルスタックとアプリケーション領域ごとのプロファイルを制定したものの 1 つとして、家庭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。特定の伝送媒体という下位レイヤからの積み上げで構築されたアプローチの規格であるため元々は垂直統合的な技術であり、また、ZigBee は企業間アライアンス規格であってそれ自体はデジュリなどの国際標準ではない点も注意が必要である。しかしながら、これまで米国ではこの分野についてまったく統一の動きがとられていなかったため、マルチベンダの相互接続を可能とするものとして意義を持っており、米 NIST (National Institute of Standards and Technology) の Smart Grid Interoperability Standards Project でも中心的に取り上げられている。また、この成功を受け、Wi-Fi や HomePlug といった他の伝送媒体規格を推進する団体との連携が始まっている。

ZigBee と類似した技術に Z-Wave がある。これは、デンマークの Zensys 社の技術を基に Z-Wave アライアンス⁴⁾ が推進している規格で、カバー領域は ZigBee にきわめて似ているが、利用する周波数がサブギガ帯であったり、メッシュトポロジがより広く利用されているなどの技術的な違いがあるのに加え、規格の運営戦略的に、より広いメンバの参入を促す運営がなされており、欧米では多数のメーカーが低廉な装置を出荷している。

我が国では、1997 年に ECHONET コンソーシアムが設立されている。ECHONET は設立時は通産省の後押しもあったが基本的に会員各社からの会費

で運営されている民間団体である。A 会員と呼ばれるコアメンバ 6 社 (シャープ、東京電力、東芝、日立製作所、パナソニック、三菱電機) が中心となって規格の開発、国際標準への提案などを行っている。ECHONET という名称は Energy Conservation and HOmecare NETwork の略称であり、エネルギー問題と独居老人問題という社会問題に対して ICT による解決を図ることを目的としている。

図-5 に示したものが ECHONET のカバーする範囲と国際標準である。この図を見ても分かるように 10 年以上にわたる活動の成果として、ECHONET 規格の各部分がすでに IEC や ISO の国際標準を獲得している。図-5 の左側に示すように、ECHONET の本体はミドルウェアである。特定小電力無線や低速の電力線通信(古くから使われていた 10k-450kHz 帯を利用するもの) に関しては独自の伝送媒体規格もあるが、これらを含め、各種の伝送媒体を一元的に利用可能とするプロトコル差異吸収処理部を持ち、その上に独自のアドレス(ECHONET アドレス) とパケットフォーマット(ECHONET 電文) を有している。こうした広範にわたる見通しを持って設計がなされている点が媒体依存の ZigBee や Z-Wave との一番の違いであるといえる。

ECHONET では、エアコンをはじめとする各機器に対応するオブジェクトが定義されており、これに対する操作を行うという形でアプリケーションを実現する。表-1 に示したのが現在定義されている機器のリストである。実際に市販されている機器を網羅するようにリストの更新が行われており、各オブジェクトが有する属性 (ECHONET プロパティ) についても、市販の機器が有する機能を網羅するように定められている。これらの規格はコンソーシアムの Web サイト⁵⁾ から取得可能である。最新版の仕様書は会員限定となっているが、直前の版は一般にも公開されており、これでほとんどの情報を得ることができる。また、毎年開催されている。ECHONET セミナでは技術的な解説もあり、その資料も Web サイトから入手可能である。

ECHONET 準拠の機器は 2002 年ごろから出荷されており、特にエアコンに関しては、国内で 2003

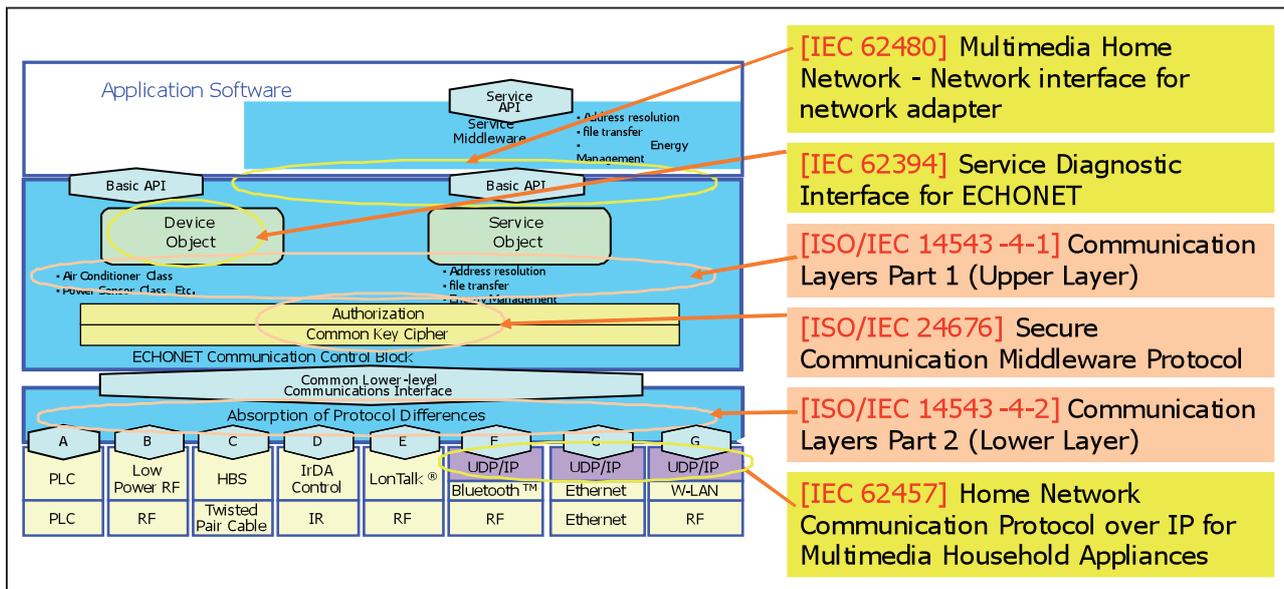


図-5 ECHONET 規格と国際標準

年の秋以降に出荷されているものについてはモジュール（IEC 62480 準拠のモジュール）を後で追加すれば ECHONET 対応になるものがほとんどで、こうした ECHONET 対応機器の出荷累計数は 1000 万台規模におよび、大型マンションの新築で一括採用する場合には、照明、電子錠、電力モニタなども含めたかたちでのシステムとなっていることが多い。また、HEMS（Home Energy Management System）の研究開発における機器としての利用実績はきわめて多く、300 軒の一般家庭における 3 年間のフィールドトライアルなど、実証的な段階にあり、現在もより大規模な実験案件が進行中である。これらの実験では見える化はもとより、機器間の連携運転や、当日の天気予報と過去のユーザ行動の統計情報に基づいた先読みエアコン運転による効率化など、人間が直接介在しないかたちでのエネルギー管理への取り組みが示されつつある。

ECHONET では表-1にあるようなエネルギーの需要側の機器だけでなく、燃料電池や太陽電池といった創エネ機器やリチウムバッテリーなどの蓄エネ機器に対する機器オブジェクトも制定中であり、今年度中には規格化される見込みである。こうした創エネ、蓄エネ機器を制御対象に加えることにより、ムダを排除する省エネにとどまらないエネルギー管理が可能

となる。詳細は文献 6) を参照されたい。

このように、我が国では、ECHONET における取り組みで特定の伝送媒体への依存や、機器の機種ごとの違いといった問題を解決する仕組みを実現しており、これに前章で述べたサービス提供技術を組み合わせることで家庭内のエネルギー管理システムが実現できる状況にある。ホームネットワークにおけるエネルギー削減の原理としては無人の部屋での運転を避けるといったムダの排除、前述の外気を利用する例のような、自然環境や建物の機能の活用、燃料電池における給湯と発電の一元化（コジェネ）によるエネルギー有効利用、太陽電池や風力発電などの不安定な自然エネルギーの有効利用といったもののほかに、ICTにより移動を減少させたり、機器の買い替えを喚起する、拡大家族を実現することにより物質的な無駄を減らすなどの方向性も考えられる。

実用化に向けての現状と課題

ここまで述べてきたように、家庭内のエネルギー管理技術に関して我が国は着実に努力を重ねてきており、ECHONET が時間をかけてデジユリ標準を獲得しているのに象徴されるように、国

クラスグループ	機器
センサ関連機器クラスグループ	ガス漏れセンサ, 防犯センサ, 非常ボタン, 救急用センサ, 地震センサ, 漏電センサ, 人体検知センサ, 来客センサ, 呼び出しセンサ, 結露センサ, 空気汚染センサ, 酸素センサ, 照度センサ, 音センサ, 投函センサ, 重荷センサ, 温度センサ, 湿度センサ, 雨センサ, 水位センサ, 風呂水位センサ, 風呂沸き上がりセンサ, 水漏れセンサ, 水あふれセンサ, 火災センサ, タバコ煙センサ, CO2 センサ, ガスセンサ, VOC センサ, 差圧センサ, 風速センサ, 臭いセンサ, 炎センサ, 電力量センサ, 電流値センサ, 水流量センサ, 微動センサ, 通過センサ, 在床センサ, 開閉センサ, 活動量センサ, 人体位置センサ, 雪センサ
空調関連機器クラスグループ	家庭用エアコン, 空調換気扇, 空気清浄器, 加湿器, 電気暖房機, ファンヒータ, 業務用パッケージエアコン室内機, 業務用パッケージエアコン室外機
住宅・設備関連機器クラスグループ	電動ブラインド, 電動シャッター, 電動雨戸, 散水器 (庭用), 深夜電力用電気温水器, 電気便座 (温水洗浄便座・暖房便座など), 電気錠, 瞬間式給湯機, 浴室暖房乾燥機, 住宅用太陽光発電, 冷温水熱源機, 床暖房, 電力量メータ, ガスメータ, LP ガスメータ, 一般照明, プザー
調理・家事関連機器クラスグループ	電気ポット, 冷凍冷蔵庫, オープンレンジ, クッキングヒータ, 炊飯器, 洗濯機, 洗濯乾燥機
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	現在, 詳細規定機器なし
AV 関連機器クラスグループ	ディスプレイ, テレビ

表-1 ECHONET で定義されている機器のリスト

際的な需要の高まりを受けて有利な立場にあるものと言える。しかしながら、こうした状況がむしろ国内において認識されていないところに問題があるように思われる。センサも含めた家庭内の機器の情報取得と制御においては、ECHONET のような網羅的な技術は例がなく、伝送媒体についても有線、無線の媒体、あるいは IP や Bluetooth などの既存のプロトコルスタックへの上位レイヤとしてのカプセル化方式などが利用できるうえ、ECHONET オブジェクトを UPnP オブジェクトとして扱えるためのマッピング方式も定められているため、ZigBee Smart Energy Profile が HomePlug と組んで伝送媒体の自由度を上げようとしているような状況に対してはるかにアドバンテージがある。また、デジタリ標準を獲得しているということは、WTO 加盟国に対して TBT 協定に基づき、日本の技術を各国で受け入れるよう求めることも可能なはずである。こうした、自らの財産を活用する観点が我が国にはもう少し必要ではないか。

また、技術的な観点からは、家庭におけるエネルギーマネジメントシステムの代表として「見える化」が一人歩きしている点も気になるところである。見える化は確かに現実的で有効な手段ではあるが、これは結局のところユーザに判断を委ねるものであり、

ユーザに依存した効果しか上げられない。もちろん、ユーザに自身の行動の見直しを行わせるという意味では重要であるが、他の原理に基づくエネルギー削減努力が見える化に押されておざなりになることは避けたいものである。

本特集の他の記事で紹介されているような、電力の利用方法を原理的なところから見直す技術が実用化されるまでの間は、現状のエネルギー網の下で、地道な努力が必要とされよう。

参考文献

- 1) 丹 康雄監修：宅内情報通信・放送高度化フォーラム編：ユビキタス技術 ホームネットワークと情報家電、オーム社 (2004)。
- 2) OSGi アライアンス Web ページ, <http://www.osgi.org/>
- 3) ZigBee Smart Energy, <http://www.zigbee.org/Markets/ZigBeeSmartEnergy/Overview.aspx>
- 4) Z-Wave アライアンス Web ページ, <http://www.z-wavealliance.org/modules/AllianceStart/>
- 5) ECHONET コンソーシアム Web ページ, <http://www.echonet.gr.jp/>
- 6) ECHONET コンソーシアム, スマートグリッド・スマートハウスの最新動向とエコーネットの対応, 第 8 回エコーネットセミナー, 2009 年 11 月 25 日 (資料が http://www.echonet.gr.jp/2_consor/pdf8/5_SmartGrid.pdf より取得可能)。

丹 康雄 (正会員) ytan@jaist.ac.jp

1993 年東工大理工学研究科博士後期課程修了。博士 (工学)。同年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手。同助教授を経て、2007 年教授。2004 年国立情報学研究所研究系併任。2006 年情報通信研究機構兼任。