

家庭に導入される新エネルギー機器の利用を最適化するHEMS

HEMS for Optimizing Operation of New Energy Equipment Introduced in Homes

村井 雅彦 土井 裕介 高木 康夫

■ MURAI Masahiko ■ DOI Yusuke ■ TAKAGI Yasuo

家庭用の電力供給源として普及し始めた太陽光発電(PV)システムなどの新エネルギー機器は、今後、導入がますます進むと思われる。住宅内のエネルギー管理を行うHEMS(Home Energy Management System)は、家庭に導入された新エネルギー機器と従来からある家電機器をネットワークでつなぎ、電力系統と協調して制御することで、家庭での省エネや二酸化炭素(CO₂)排出量削減だけでなく、電力系統全体の効率的な運用に貢献し、電力インフラの社会コスト低減に寄与する。

東芝は、新エネルギー機器に対応したHEMS機能の開発を進めており、社内に構築した統合型スマートグリッド評価システムの一環として、HEMS検証システムと宅内直流給電システムを開発した。また、家電機器のネットワーク技術の標準化活動に参画するとともに、利用技術の開発を推進している。

New energy equipment such as photovoltaic (PV) generation systems and so on are expected to be introduced to many homes from now on. The home energy management system (HEMS), which connects these types of new energy equipment with existing home appliances via communication networks and controls each piece of equipment in cooperation with electric power systems, contributes not only to home energy conservation and carbon dioxide emissions reduction but also to optimal efficiency of operation and reduction of the social cost of electric power systems.

Toshiba has been developing functions for the HEMS corresponding to new energy equipment and has developed both an HEMS evaluation system and a DC power supply system for home use as part of its in-house integrated evaluation system for smart grids. We have also been promoting the international standardization of home appliance network technologies and utilization technologies.

1 まえがき

近年、太陽光発電(PV)システムや、燃料電池、電気自動車(EV)、蓄電池など、いわゆる新エネルギー機器の家庭への導入が進みつつあり、HEMS(Home Energy Management System)もこれらの機器に対応して進化していく必要がある。

東芝は、ホームITシステム“Feminity_{TM}”(IT:情報技術)を2002年に商品化し、遠隔サービスであるフェミニティ倶楽部_{TM}によってエネルギーの見える化や家電機器の遠隔操作などHEMSの先駆けとなるサービスを提供してきた。更に、新エネルギー機器や電力系統と連携して電力システム全体を安定に運用する新たなHEMSとして、次の機能を開発している。

- (1) 再生可能エネルギーの見える化
- (2) PV出力抑制の回避
- (3) デマンドレスポンス(DR)

また、これら開発中のHEMS機能を検証するため、HEMS検証システムを開発した。

PVシステムや蓄電池が家庭に広く普及してくると、ここで得られた再生可能エネルギーをできるだけ有効に利用することが求められる。現在の家電機器は交流電力で動作するため、PVシステムの直流電力を交流電力に変換する際に変換ロスが生じる。変換ロスを削減するため、PVシステムで得られた直

流電力をそのまま利用する直流給電技術が重要になる。

再生可能エネルギーを有効に活用するためには、ネットワークを介した機器の協調動作も重要になる。当社は、ホームネットワークに、国内を中心に規格化が進められ国際規格となっているECHONET_{TM}(^{注1})プロトコルを採用している。このプロトコルに対して、新エネルギー機器の普及に伴い、機器オブジェクト(機器機能の標準論理モデル)の追加や、規格の海外展開を踏まえた軽装化が行われている。また当社は、開発したHEMS技術を国内外へ展開するため海外で有力視されている近距離無線通信規格ZigBee(^{注2})のホームエネルギー管理のための仕様Smart Energy Profile 2.0(SEP2)⁽¹⁾を有効に利用するための技術開発を行っている。

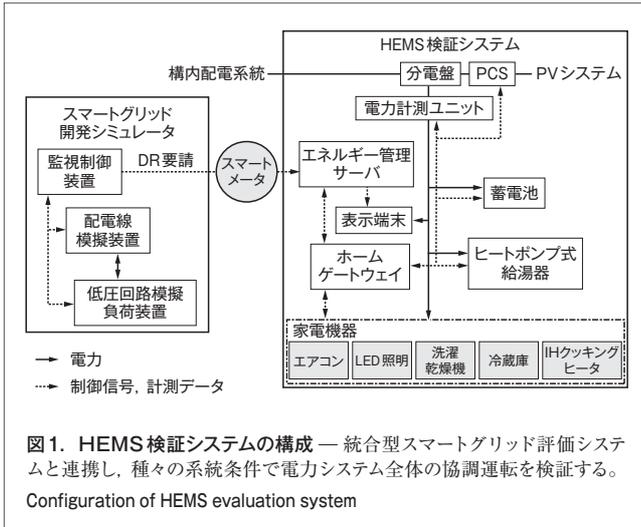
ここでは、開発したHEMS検証システムと宅内直流給電システムの概要と新たなHEMS機能を実現するためのベースとなるネットワーク技術について述べる。

2 HEMS検証システム

HEMS検証システムは、統合型スマートグリッド評価システム

(注1) ECHONETは、エコーネットコンソーシアムの商標。

(注2) ZigBeeは、ZigBee Allianceの米国及びその他の国における登録商標。



の中の需要家側システムの一つとして構成される。図1⁽²⁾に示すように、スマートメータを介してスマートグリッド開発シミュレータと連携し、電力系統側からのDR要請により家電機器や蓄電池に対して電力消費抑制制御を行うという一連の流れを実機検証できる。また、PVシステムの余剰電力で生じる系統電圧の上昇に対して抑制対策の立案と評価ができる。

HEMS検証システムは、既存のECHONETTM標準仕様に対応した家電機器、ホームゲートウェイ、分電盤に接続した電力計測ユニット、表示端末、エコーネットコンソーシアムで策定中の新エネルギー機器仕様に準拠したPVシステム用パワーコンディショナ（PCS）、蓄電池、及びエネルギー管理サーバから構成される。

エネルギー管理サーバでは、主に次の機能を実行する。

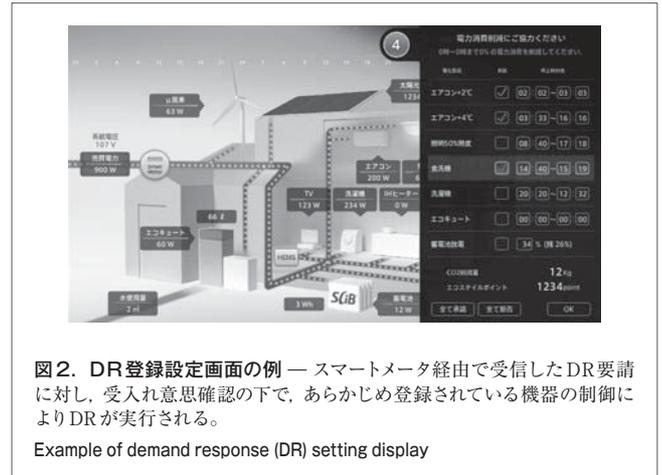
- (1) 家電機器の消費電力や、PVシステムの発電電力、蓄電池の充放電電力などの状態取得と記録
- (2) DR要請受信時におけるエアコンやLED（発光ダイオード）照明、洗濯乾燥機などの電力消費抑制制御
- (3) 系統電圧上昇時における蓄電池の充電制御、及びヒートポンプ式給湯器の蓄熱制御

2.1 HEMS機能の例

HEMS検証システムでは、ECHONETTM標準仕様で対応可能な家庭内消費電力の見える化や家電機器の遠隔操作に加え、電力系統との連携に重点を置いた以下の機能が特徴である。

2.1.1 DR機能 DR要請を受信した場合、LED照明の明るさを抑える、エアコンの温度設定を変える、起動中の家電機器を停止する、といった電力消費抑制制御を実行する。これらの制御は、住人がDRに応じる家電機器や停止時間帯などをあらかじめ登録し設定しておけば、図2に示すように、DR要請の受信時には受入れ意思確認の下で実行される。

2.1.2 PVシステムの出力抑制回避機能 一般に、住宅用PVシステムは系統電圧が107Vに達すると出力を停止す

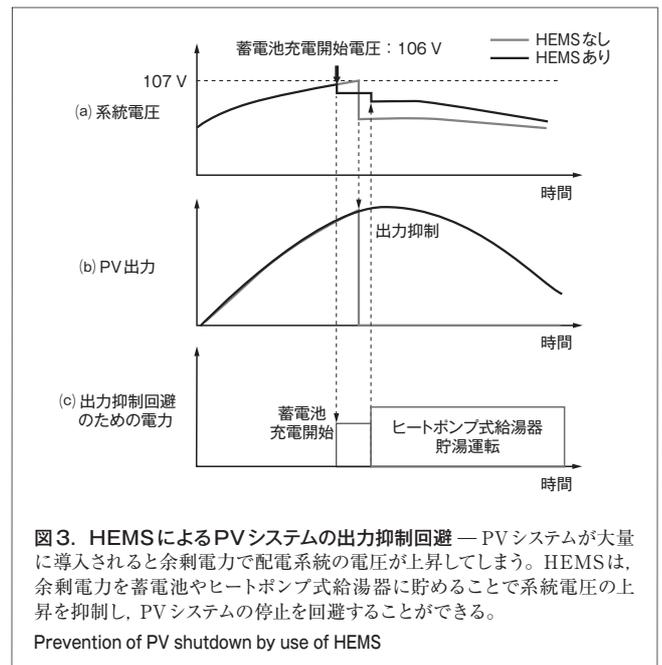


る。一方、HEMSは系統電圧の上昇を捉え、例えば106VでPVシステムの余剰電力を蓄電池に充電し、ヒートポンプ式給湯器の貯湯運転を行う。このようにHEMSはPVシステムの停止を避け蓄電及び蓄熱することで、発電した電力を有効利用しユーザーの不利益を減らすことができる。また、宅内で蓄電及び蓄熱をするので余剰電力の電力系統への逆潮流が減少し、系統電圧の上昇に対しても抑制効果が期待できる（図3）。

2.2 HEMS機能の検証例

HEMS検証システムでDR要請に応じて実行した電力消費抑制制御の効果の例を図4に示す。

この検証では、12時00分に25%の電力消費抑制のDR要請を受信した。これに対してHEMSは、洗濯乾燥機とLED照明をオフにし、エアコン（冷房設定）の温度設定を22℃から26℃に上げた。その後12時12分にDR要請が解除されたと想定し、電力消費抑制制御の状態から復帰させた。その結



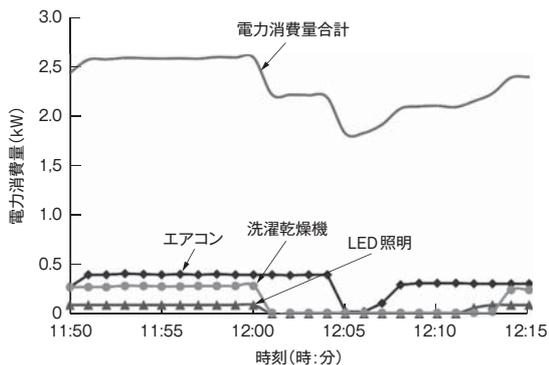


図4. 電力消費抑制効果の例 — HEMSは、DR要請を受信すると、エアコンや、洗濯乾燥機、LED照明などの設定を変更し電力消費を抑制する。
Effects of energy saving directed by DR

果、最大で洗濯乾燥機280 Wと、LED照明90 W、エアコン380 Wの合計750 Wの電力消費量が抑制された。これはDR受入時点の電力消費量の合計2,500 Wに対して30%の電力消費抑制になる。

3 宅内直流給電システム

開発した宅内直流給電システム⁽³⁾を図5に示す。

宅内直流給電システムは、PVシステムによって得られた電力を直流のまま家電機器に供給し、余剰電力を蓄電池に充電若しくは交流配電系統に売電する。LED照明やエアコンなどの家電機器は全て直流電力で動作する。また、給電システム及び家電機器を制御し、宅内の発電、消費、及び蓄電を最適に管理するため、DC HEMS (直流HEMS) を試作した。家電機器、PVシステム、及び蓄電池間の宅内通信用ホームネットワークにはECHONET_{TM}を使用している。

直流給電システムの採用により、PVシステムの発電量や電力負荷が変動したり、交流系統が停電したりした場合にも安

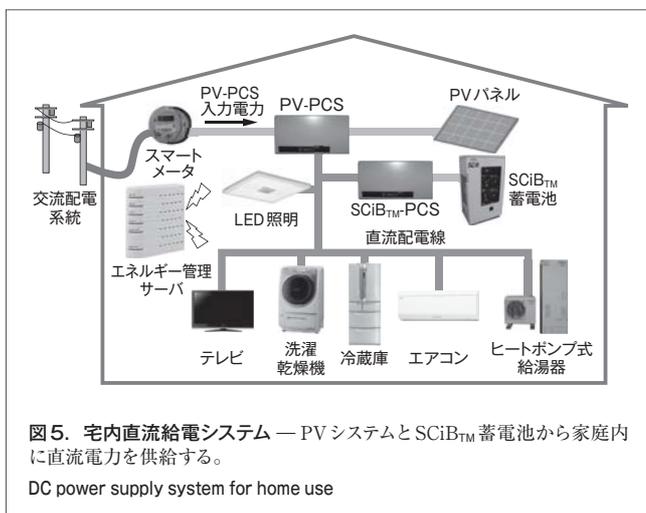


図5. 宅内直流給電システム — PVシステムとSCiB_{TM}蓄電池から家庭内に直流電力を供給する。
DC power supply system for home use

定して家電機器への電力供給が行われる。またDC HEMSは、商用系統の電力情報を取得し、商用系統が電力余剰の状態では、PVシステムで発電した電力を逆潮流させることなく当社が開発したSCiB_{TM}蓄電池に充電する機能を持っている。DC HEMSからの指令でSCiB_{TM}蓄電池を所定の充電率 (SOC) に調整するように充放電させることができる。

これらの機能により再生可能エネルギーの最適利用が可能になる。引き続き、交流系のHEMS検証システムとの比較を行い、エネルギー利用効率の検証を実施していく。

4 ホームネットワーク技術

ここでは、わが国の主導で規格の策定を進めているECHO-NET_{TM}について述べ、次に米国の技術動向について述べる。

4.1 ECHONET_{TM}の国際標準化活動

ECHONET_{TM}は、家電機器などを対象としたホームネットワーク向けのIEC 62457 (国際電気標準会議規格 62457) 他で規格化された国際標準プロトコルである。以前より当社は、家電機器の機器オブジェクト規格化や、パケットのBLUETOOTH[®]^(注3)上での伝送規格化、AV機器向けプロトコルUPnP^(注4)との相互変換規格化など、ECHONET_{TM}に関する多くの標準化活動に参画し、また製品化も進めてきた。

規格策定団体であるエコーネットコンソーシアムでは、エネルギーマネジメントサービスへのECHONET_{TM}標準の普及と適用拡大を目的として、2010年から以下の活動を進めてきた。

- (1) 創エネルギー・蓄エネルギー機器の機器オブジェクト規格化
これまで家電機器や設備機器を中心に定義されていた機器オブジェクト規格に、蓄電池や、燃料電池、ヒートポンプ式給湯器、PVシステム、電力量メータなどの機器が新たに追加された。これにより、創エネルギー・蓄エネルギー・省エネルギー機器を含めた、家庭のエネルギー全体制御が実現できる。
- (2) プロトコル仕様の軽装化
ECHONET_{TM}規格化の当初と異なり、ホームネットワークの通信層はIP (Internet Protocol) などの標準体系に統一されつつある。これを受け、既存のECHONET_{TM}規格で用いられている独自アドレス体系を廃止するなど、通信プロトコルスタック実装や機器への搭載が容易になるような軽装化された仕様として、ECHONET Liteが新たに策定された (図6)。当社は、主にIP上の伝送仕様やセキュリティ仕様について提案した。

その結果、“ECHONET_{TM}機器オブジェクト詳細規定 Release A”, “ECHONET Lite規格 Ver.1.00”の仕様が2011年

(注3) BLUETOOTH[®]ワードマーク及びロゴは、Bluetooth SIG, Inc.の登録商標。

(注4) UPnPは、UPnP Implementers Corporationの商標。

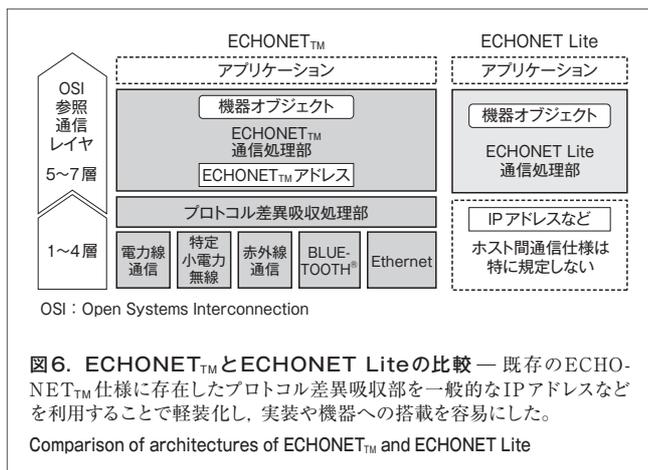


図6. ECHONET™とECHONET Liteの比較 — 既存のECHONET™仕様で存在したプロトコル差異吸収部を一般的なIPアドレスなどを利用することで軽装化し、実装や機器への搭載を容易にした。

Comparison of architectures of ECHONET™ and ECHONET Lite

7月に策定された。同時に、統合型スマートグリッド評価シミュレータや「横浜スマートシティプロジェクト (YSCP)」の試作システムなどで、これらの仕様を反映し搭載したエネルギー機器及びHEMSコントローラを用いたデモシステムを構築し、エネルギー情報の見える化や、PVシステムの余剰電力の蓄熱・蓄電制御、DR制御などの実証実験を行っている。これらの内容は、IEC 62394 他 の改訂仕様として提案する計画である。

4.2 米国の技術動向

ホームネットワークとエネルギーマネジメントについて、わが国と異なる技術を採用している米国の技術動向について述べる。

米国では、HEMSの規格として、ZigBee Allianceが中心となりSEP2を策定している。例えば、DRに対応するメッセージでは、対象となる機器の動作や設定温度などを指定できる。SEP2では、家電機器やスマートメータを含めた機器全てが、これらのメッセージを、柔軟な情報の記述が可能なXML (Extensible Markup Language) 文書形式、又はバイナリ規格であるEXI (Efficient XML Interchange)⁽⁴⁾により符号化し、メッセージの生成と解釈を行うことを前提にしている。

XML文書形式又はEXIは、インターネット上の各種サービスとの統合に向いている一方で、白物家電やバッテリー駆動の温度センサのような機器にとっては柔軟な処理が重荷になりうる。そこで当社は、EXIを機器特性に基づいて最適化して直接読み書きするための技術を開発した⁽⁵⁾ (図7)。この方式は、家電機器などのデバイス設計時にその機器専用のEXI処理部を設計することで、より少ない消費電力や計算資源でEXIの読み書きができるようにしている。これにより、計算機資源の制約が厳しい家電機器や、バッテリー駆動の温度センサなどへHEMS制御を適用することが可能になる。

5 あとがき

スマートグリッドを実現するための需要家側の構成要素としてHEMSの役割は重要である。従来からの機能である見え

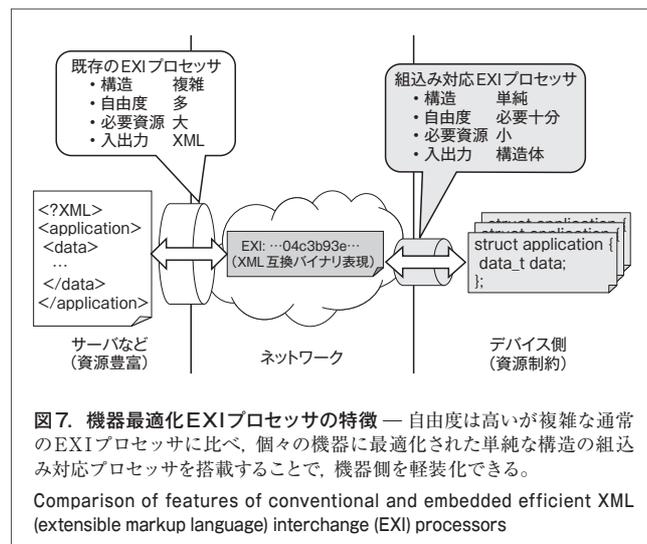


図7. 機器最適化EXIプロセッサの特徴 — 自由度は高いが複雑な通常のEXIプロセッサに比べ、個々の機器に最適化された単純な構造の組み込み対応プロセッサを搭載することで、機器側を軽装化できる。

Comparison of features of conventional and embedded efficient XML (extensible markup language) interchange (EXI) processors

る化や、省エネルギーに加え、新エネルギー機器の有効利用や電力システムの安定運用など、多様な目的に対応して家庭のエネルギー管理を行うことが求められている。

今後も、国内の実証プロジェクトなどを通じて、HEMSの有効性を示し、スマートグリッドの実現に向けて貢献していく。

文献

- (1) ZigBee Alliance and HomePlug Powerline Alliance liaison. ZigBee Smart Energy Profile 2.0 Draft 0.7 Profile Standard. 2011, 196p.
- (2) 村井雅彦 他. “統合型スマートグリッド評価システム(5)ーホームエネルギーマネジメントシステムー”. 平成23年電気学会B部門大会. 福井, 2011-09, 電気学会, p.20-21 - 22.
- (3) 久保田雅之 他. “統合型スマートグリッド評価システム(4)ー宅内直流給電システムにおける宅内電力制御検証ー”. 平成23年電気学会B部門大会. 福井, 2011-09, 電気学会, p.20-19 - 20.
- (4) Schneider, J. et al. "Efficient XML Interchange (EXI) Format 1.0". W3C Recommendation10. 2011-03.
- (5) 土井裕介 他. “XML-Less EXI: EXI利用プロトコルの家電・組込機器への実装手段の検討”. 情報処理学会第31回ユビキタスコンピューティングシステム研究発表会. 福岡, 2011-07, 情報処理学会, p.1 - 8.



村井 雅彦 MURAI Masahiko

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 制御システム開発部主査。エネルギーシステムの計画、運用、制御に関する研究・開発に従事。電気学会、計測自動制御学会、日本OR学会会員。Power and Industrial Systems Research and Development Center



土井 裕介 DOI Yusuke, Ph.D.

研究開発センター ネットワークシステムラボラトリー研究主務、博士(情報理工学)。分散システム、バイナリXML、ホームネットワークなどの研究に従事。ACM、情報処理学会、電子情報通信学会会員。Network System Lab.



高木 康夫 TAKAGI Yasuo, D.Eng.

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 制御システム開発部主幹、博士(工学)。制御システムの開発に従事。計測自動制御学会会員。Power and Industrial Systems Research and Development Center