巻頭論文

スマートハウスの取組み

伊藤善朗*　坂本忠昭**

Technical Approach of Smart House

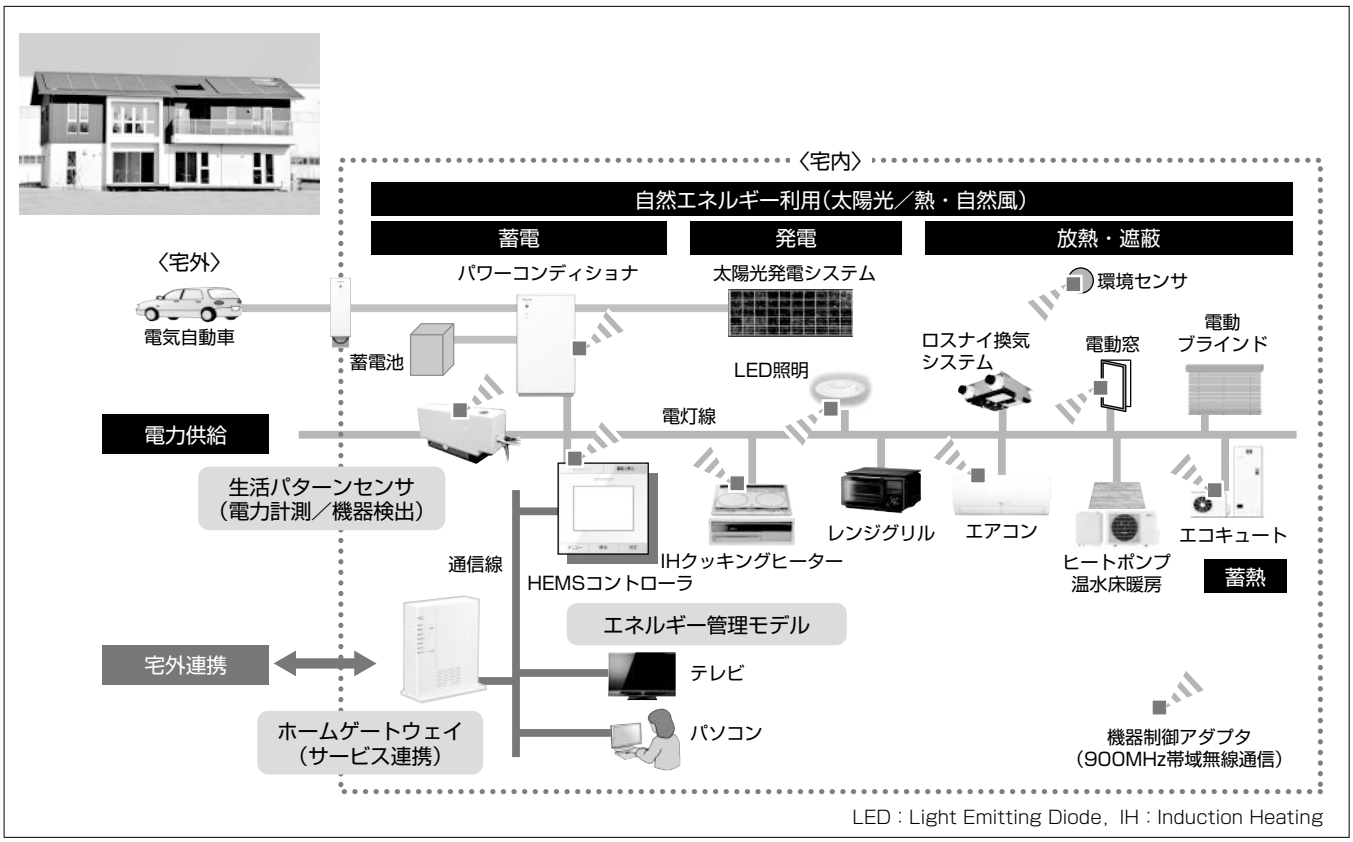
Yoshiaki Ito, Tadaaki Sakamoto

要　旨

太陽光発電など自然エネルギーの活用が推進される一方，変動が大きいエネルギーの大量導入は，電力供給網へのインパクト(逆潮流)が懸念され，これを解決するスマートグリッドへの取組みが活発化している。2011年3月の東日本大震災後のエネルギー状況の変化によって，これらの動きの加速が想定されるとともに，電力需要のピークの抑制や，災害時の安全・安心への備え等，一般家庭への影響も大きなものとなっている。このような背景のもと，家庭での発電電力の効率的な利用や，ピーク抑制のための節電，さらに災害時にも安心して暮らしを維持できる蓄電池の利用などを実現するスマートハウスへの関心が高まっている。三菱電機では，スマートグリッドに対応するHEMS(Home Energy Management System)を備えたスマートハウス“大船スマートハウス”を神奈川県鎌倉市大船に構築し，快適で安全・安心な暮らしの基盤を提供するシステムの実現を目的として，実証実験を実施している。

大船スマートハウスでは，当社最新の高効率家電・住宅設備機器とともに，太陽光発電や電気自動車，蓄電池など，エネルギーを創る，蓄える設備を設置している。また，太陽光／熱，自然風等の自然エネルギーを最大限に活用するとともに，居住者の生活パターンに基づき各種機器制御や充放電の制御を行うHEMSコントローラ，宅外と連携したサービスを提供するホームゲートウェイを設置している。大船スマートハウスでは，これらを有機的に接続し，連携するアルゴリズムを開発，実証するとともに，具体的な製品化に向けた機器とサービスの構築，検証によって，早期実用化を目指す。

本稿では，大船スマートハウス，及び実証実験の概要と，HEMSを構成する技術の概要を述べ，当社のスマートハウスへの取組みについて述べる。



スマートハウスの取組み

左上図は神奈川県大船に建築した大船スマートハウスの外観を，下図は大船スマートハウスのシステム構成を示す。

*住環境研究開発センター システムエンジニアリング部長　**同部 次長

1. まえがき

太陽光発電など自然エネルギーの活用が推進される一方，変動が大きいエネルギーの大量導入は，電力供給網へのインパクト(逆潮流)が懸念され，これを解決するスマートグリッドへの取組みが活発化している。2011年3月の東日本大震災後のエネルギー状況の変化によって，これらの動きの加速が想定されるとともに，電力需要のピーク抑制や，災害時の安全・安心への備え等，一般家庭への影響も大きなものとなっている。こうした背景のもと，家庭での発電電力の効率的な利用や，ピーク抑制のための節電，さらに災害時にも安心して暮らしを維持できる蓄電池の利用などを実現するスマートハウスへの関心が高まっている。

2. 大船スマートハウス

当社では，2010年からスマートグリッド実証実験を尼崎・和歌山・大船で開始した[(1)]。この実証実験は，発電，送配電から需要家における消費までの全域をカバーするもので，需要と供給双方の連携による電力の安定供給システム実現のための技術を確立し，豊かで安心な暮らしの基盤づくりへの貢献を目指すものである。大船では，当社最新の高効率で省エネルギーな住設機器を始め，太陽光発電(PV)と電気自動車(EV)の蓄電池を連携するPV・EV連携パワーコンディショナ(以下“PV・EV連携パワコン”という。)，そしてHEMSを設置した実証実験住宅“大船スマートハウス”を構築した(**図1**)。

大船スマートハウスの住宅仕様を**表1**に，主要設備を**表2**に示す。将来的に宅内エネルギーの融通などの実験に対応できるように2世帯住宅(1階高齢者世帯，2階若年4人世帯家族)として設計し，各フロアが独立して動作する設備・システム設計とした。大船スマートハウスには，住宅設備・制御設備のほか，各種検証のための計測設備を設置している。

図1．大船スマートハウスの外観

表1．大船スマートハウスの住宅仕様

項目	内容
面積	建築面積：124m², 延べ床面積：223m²
建築工法	2×4工法(オール国産材)
間取り	各階別の2世帯住宅 1階：1LDK+インドアガレージ 2階：3LDK
住宅性能(実測値)	Q値(熱損失係数)　：1.43W/m²・K C値(隙間相当面積)：1.86cm²/m²

大船スマートハウスのシステム構成を**図2**に示す。各機器を連携するホームネットワークには，新築／既築を問わず導入容易な900MHz帯域無線を用いた。また，複数のメーカーの家電機器を連携可能にするため，国内のホームネットワークの標準規格ECHONET[(2)(注1)]を用いた(今後は，普及が見込まれるECHONET Lite[(注2)]に対応する)。宅内は，次に示す3つのサブシステムで構成している。

(1) PVとEVの大容量蓄電池，電力系統を電気的に最適連携するPV・EV連携パワコンサブシステム
(2) 宅内に設置した各種家電・住宅設備機器やセンサ等のセンシングデバイスと，これらを24時間365日監視制御する堅牢(けんろう)で小型・高性能な組込み型HEMSコントローラによって，エネルギー利用の監視制御や環境を制御するHEMSコントローラサブシステム
(3) 宅外サービスとの連携を実現するホームゲートウェイサブシステム

これらのサブシステム間の協調によって，発電，蓄電と居住者の暮らしに合わせたエネルギーの最適利用制御や，安全・安心機能を実現する。

(注1) ECHONETは，エコーネットコンソーシアムの登録商標である。
(注2) ECHONET Liteは，エコーネットコンソーシアムの登録商標(申請中)である。

表2．大船スマートハウス主要設備

分類	内容
住宅設備	・分散／集中型換気・空調システム ・高効率ヒートポンプ機器(エコキュート，床暖房) ・太陽光発電(3.8kW+2.28kW一部太陽熱利用のハイブリッドシステム) ・IHクッキングヒーター ・全館LED照明 ・電気自動車，蓄電池　他
制御設備	・HEMS ・ホームゲートウェイ ・PV・EV連携パワーコンディショナ
計測設備	・宅内温熱環境計測システム ・電力計測(発電，蓄電，電力使用)システム ・配線システム(交流，直流)

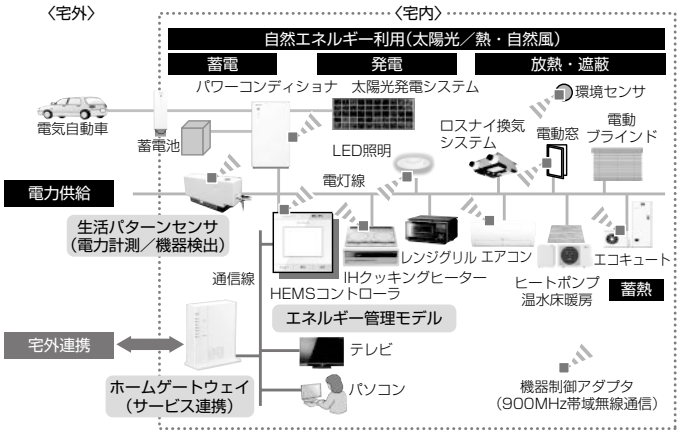


図2．大船スマートハウスのシステム構成

3. 実証実験の概要

大船スマートハウスでは，発電と蓄電，さらに家庭内の電力消費を居住者の暮らしに合わせて最適に制御するシステムの有用性確認を目的にした実証実験を行う。**表 3** に，大船スマートハウスにおける実証実験の目的とゴールを示す。

2010年から開始した第１期では，実証設備の構築とゼロエミッションの実現可能性の検証を行った。自然エネルギーの積極的活用と高効率なヒートポンプなどの省エネルギー機器の設置，さらにHEMSによる18%の省エネルギー制御で，住宅全体の年間消費電力量をPVの年間発電量以下に抑えるゼロエミッション住宅を実現した(**図 3**)。エネルギー利用別の削減例では，空調はHEMSによる居住者の生活状況に応じた予冷・予暖制御(**図 4**)などで，年間消費電力量を25%削減した。また，給湯は太陽熱回収による使用電力量の削減で，年間消費電力量を40%削減した。

2012年からは，PVの発電とEVの大容量蓄電池などを連携する“PV・EV連携パワコン”を新たに設置した。“PV・EV連携パワコン”は，PVで発電した電力を家電機器及び電力系統へ供給するほか，EVなどの蓄電池へ充電する。また，蓄電池からの放電によって家電機器へ電力を供給する。HEMSコントローラによる家電機器の監視制御と組み合わせ，大容量のEVの蓄電池を活用し，災害時の長期停電に対応するとともに，平常時も発電及び蓄電を最大限活用する。

停電時は，コンセントを差し替えずにそのままEVの大容量蓄電池の電力が利用でき，天候などによるPVの発電量変動や家庭内の電力需要に応じて，HEMSコントローラが家電機器の機能・性能を制限し，場合によっては使用停止とすることで消費を抑制し，供給可能な範囲で快適さをできるだけ損なわない生活を実現する。**図 5** ①～③に，発電状況に応じた電気の流れを示す。

①発電量が多い場合は，主にPVの電力を家庭内に供給し家電機器を通常使用可能とする。余剰分はEVに充電する。一時的な不足分は，EVの電力を利用する。

②発電量が少ない場合は，PVの発電とEVの電力を併せて家庭内に供給し，家電機器を通常使用可能とする。電力供給が逼迫(ひっぱく)する場合は，HEMSコントローラによる消費抑制を行う。

③夜間などPVの電力が利用できない場合は，EVの電力を家庭内に供給し，家電機器を利用する。悪天候続きで充電量が少ない場合は，HEMSコントローラによる消費抑制や場合によっては使用停止制御を行う。

実証実験では，こうしたPV・EVとHEMSの連携による１週間以上の停電時にも電気的な自立が実現可能な制御を検証する。**表 4** に，停電時に１週間の生活で使用できる家電機器の例を示し，発電状況の違いによる暮らしぶりの想定を示す。

表 3．大船スマートハウス実証実験の目的とゴール

項目	内容	
目的	豊かで安心な暮らしの基盤づくりの早期実現 ・発電と蓄電，さらに家庭内の電力消費を居住者の暮らしに合わせて最適に制御するシステムの有用性確認	
ゴール	・最適エネルギー制御の確立 ・HEMS実現技術の確立 ・HEMSコントローラ ・ホームネットワーク ・生活パターンセンサ ・PV・EV連携パワーコンディショナ	
実証期間	第１期 2010～2011	住宅構築，設備構築 ゼロエミッションの実現可能性検証
	第２期 2012～2013	発電，蓄電，消費の生活パターンに合わせた最適連携制御

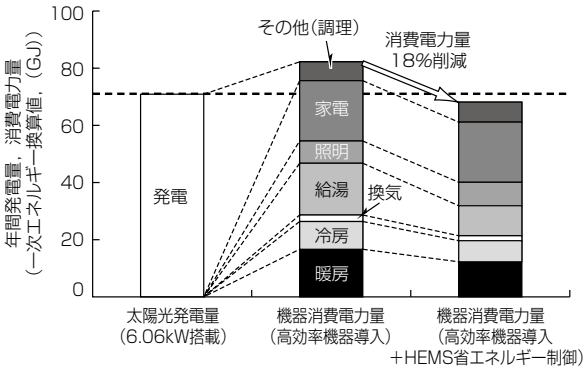


図 3．ゼロエミッションの検証

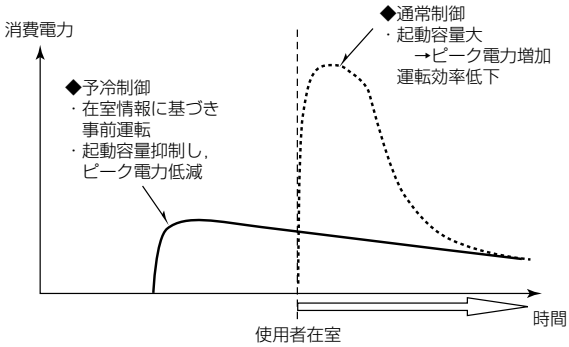


図 4．省エネルギー空調制御の一例(予冷制御)

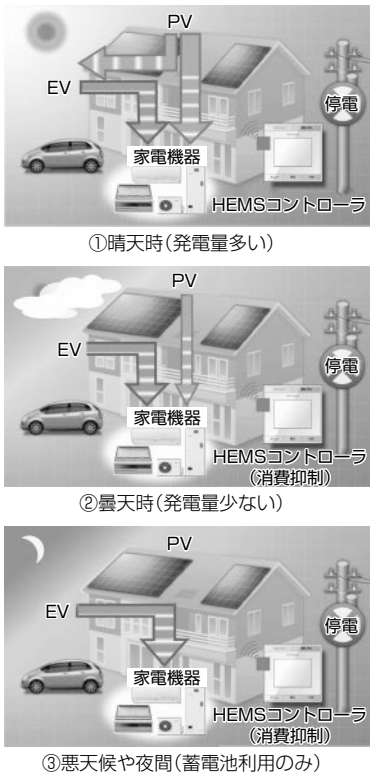


図 5．PV・EVの連携

表４．停電時に１週間の生活で使用できる家電機器の例

家電機器	①晴天続きの１週間／EV用蓄電池とPVを利用（発電量多い）	②曇天が多い１週間／EV用蓄電池とPVを利用（発電量少）	③悪天候続きの１週間や夜間／EV用蓄電池だけ（発電量なし）
情報端末機器	通常使用（HEMSによる通常監視制御）		消費抑制制御
照明			
冷蔵庫			
テレビ			
オーブンレンジ			使用停止制御
炊飯器		消費抑制制御	
IHクッキングヒーター			
エアコン			
エコキュート			

図６．試作したHEMSコントローラ（109×109（mm））

表５．HEMSコントローラへの要求仕様

機能	概要
通信	ホームネットワーク通信制御機能
制御	創電／蓄電，電力消費の現状を把握し，予測し，最適に制御する機能
表示	わかりやすく情報を提示し，操作を受け付ける機能

4. HEMSにおける技術開発

HEMS導入の動機は，ピーク時には電力の消費を抑制するなど家庭でのエネルギー利用の最適化や省エネルギーである。HEMSは，住宅設備であり導入コスト回収の観点からも，システムコストを極力安く構成するための技術開発も重要な開発要素である。この章では，低コストなシステムの提供を可能にするHEMSコントローラとホームネットワーク，そして特徴的な生活パターンセンサについて述べる。

4.1　HEMSコントローラ

HEMSコントローラ（**図６**）に要求される機能を**表５**に整理する。HEMSコントローラは，コスト制約の厳しい組み込み機器で，一般的にこれら３つの機能を実現することは難しく，HEMSのコストアップの要因の一つになっていた。このシステムでは，最も負荷の重い表示機能に対して描画機能とメモリ伸張機能をハードウェア化するとともに，HEMSコントローラに必要となる周辺機能をワンチップ化したHEMSコントローラ専用チップと同チップ上で動作する省メモリGUI（Graphical User Interface）ライブラリを開発することで，これらの制約を解消した[3]。

4.2　ホームネットワーク

HEMSのもう一つのコストアップ要因は，ホームネットワーク設置コストである。ホームネットワークの候補として，専用線，無線，電力線搬送通信等が想定されるが，設置コストの点からは，配線，設置，調整コストに優れた無線方式が優位[4]である。無線ネットワークとしては2.4GHz（ZigBee[注3]，無線LAN等）が一般的であるが，このシステムでは，通信距離や障害物に対する電波の回り込み等，宅内での通信性能に優れる900MHz帯域を適用した[5]。大船スマートハウスにおける900MHz帯域無線の性能評価結果の一部を**図７**に示す。電波強度－90dBm以下以外は，宅内全域で受信可能なことを示しており，ホームネットワークとして十分な性能を持っていることを確認した[6]。また，家電機器をホームネットワークに接続するために，機器接続アダプタを開発した[7]。家電機器とこのアダプタのインタフェースには，IEC62480（ECHONET）で標準化された仕様を適用した。

(a)　住宅内電波強度（図のA点（分電盤）から送信）

(b)　別フロアの電波強度（(a)のA点から送信）

PCS：Power Conditioning Subsystem

図７．900MHz帯域無線を用いたホームネットワークの通信性能（大船スマートハウス実証試験結果）

（注３）　ZigBeeは，ZigBee Alliance, Inc. の登録商標である。

4.3　生活パターンセンサ

生活パターンセンサは，**図８**に示すように家庭の分電盤の基幹部に一つだけ設置し，対象の家庭の電力波形を解析し居住者の生活情報を取り出す当社の特長的な技術である。家電機器ごとに異なる稼働時の電流波形の特徴を識別子としてあらかじめ生活パターンセンサに学習させておき，電力を計測するとともに，パターン認識によって対象の機器の動作を同定するものである。実際に人が居住する家庭５軒に設置し，生活パターン同定に十分な性能を持つことを確認した[8]。家庭内での電力消費を表示し省エネルギー行動を促す“見える化”サービスでは，住戸全体の電力消費

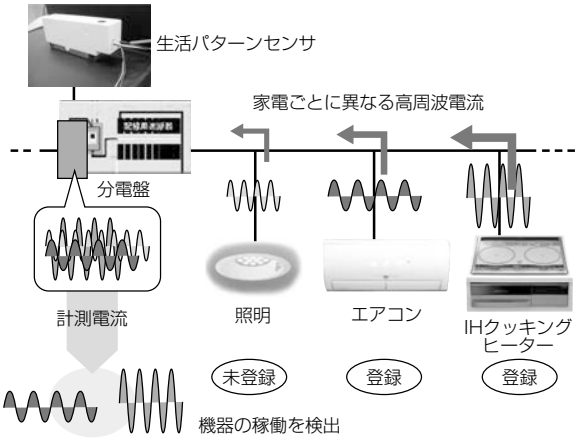


図8．稼働機器検出原理

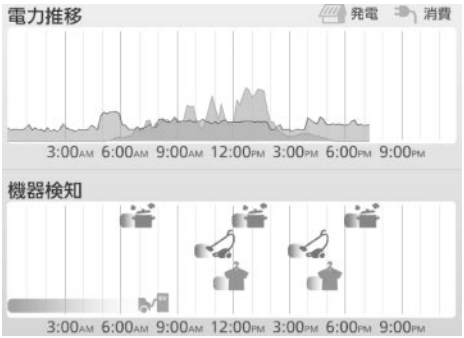


図9．見える化サービスへの応用

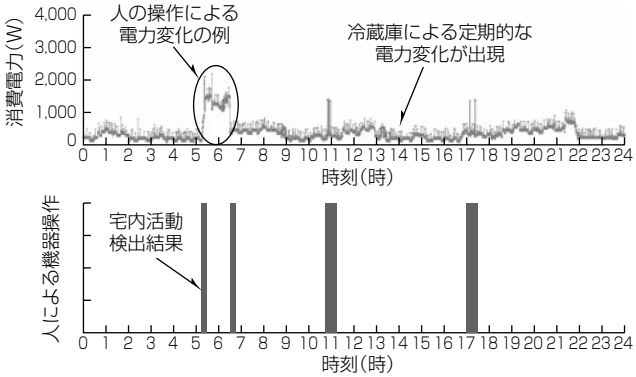


図10．電力消費波形解析による生活見守り

の計測に加え，電力使用時の家電機器を合わせて示すことで，より具体的な省エネルギー行動を促すことができる（**図9**）。分岐回路ごとにセンサを設置するよりも低コストに情報提供可能である。

また，家電機器を使用した場合の電力波形の変化に着目することで，居住者の生活状況を検出することができる。生活パターンセンサでは，人の操作によらない冷蔵庫などの自動運転機器の電力変化と，人の機器操作にだけ起因して発生する電力の変化を抽出し，自動運転機器の電力変化を排除することで，居住者の生活状況を検出する（**図10**）。この技術は，例えば独居高齢者の“見守り”サービスに応用することができる。事前に居住者が使用する機器の特徴波形の学習作業が不要なため，より簡易に導入が可能である。

5. む す び

一般家庭における電力料金をピーク時間帯に割高にするなど，電力需要の平準化を目的にした料金制度の導入が検討されている。こうしたピーク時間帯の割高な電力や太陽光発電の不安定な電力等は，需要家にとってはいわば使いにくい電力である。これを蓄電池による電力の安定化やタイムシフト，さらに居住者の生活状況に応じた電力消費の最適化によって，居住者にとって割安で使いやすい電力にすることが可能となり，居住者の快適で，安全・安心な暮らしにつながるとともに，社会的な電力需給の安定化に貢献する。個々のスマート家電を有機的に接続，連携するHEMSの開発と大船スマートハウスでの実証を通じ，快適で，安全・安心な暮らしの基盤づくりに貢献していく。

住宅及び設備の基本設計，評価（気密性，断熱性）に関しての前東京大学坂本雄三教授（現（独）建築研究所 理事長）の監修，住宅建築での三菱地所ホーム㈱，HEMSコントローラ用専用チップ開発での，セイコーエプソン㈱への協力に対し，感謝の意を表する。

参 考 文 献

(1) 三菱電機ニュースリリース2010年5月17日：スマートグリッド事業について
http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2010/0517-1.pdf
(2) エコーネットコンソーシアム
http://www.echonet.gr.jp/
(3) 久代紀之，ほか：組込み型GUIプロダクトライン開発への実践的アプローチ，情報処理学会シンポジウム論文集2009，No.10，159～168（2009）
(4) Kushiro，N.，et al.：Practical Solution for Constructing Ubiquitous Network in Building and Home Control System，IEEE Trans. on Consumer Electronics，**53**，No.4，1387～1392（2007）
(5) 小泉吉秋，ほか：950MHz帯の宅内電波伝搬特性，電子情報通信学会ソサエティ大会講演論文集2010，125～126（2010）
(6) Kushiro，N.，et al.：Performance of Ad-hoc Wireless Network on 2.4GHz Band in Real Field，IEEE Trans. on Consumer Electronics，**54**，No. 1，80～86（2008）
(7) Koizumi，Y.，et al.：Program Downloadable Adaptor for Home Network，IEEE Trans. on Consumer Electronics，**53**，No.2，357～362（2007）
(8) Kushiro，N.，et al.：Non-intrusive Human Behavior Monitoring Sensor for Health care system，Proceedings of HCI International 2009，549～558（2009）