

# ホームエネルギーマネジメントシステムにおける無線応用

Wireless Applications for Home Energy Management Systems

浮田 陽介  
Yosuke Ukita

藤原 ゆうき  
Yuki Fujiwara

村上 隆史  
Takashi Murakami

林野 裕司  
Hiroshi Hayashino

吉川 嘉茂  
Yoshishige Yoshikawa

多鹿 陽介  
Yosuke Tajika

## 要 旨

低炭素社会の実現に向け、家庭用創蓄省エネ機器同士が接続し、連携、協調動作することで、個々の機器より効率的にエネルギーを運用するHEMS (Home Energy Management System) の実現が切望されている。その機器間の接続は、設置の自由度や既築住宅への導入容易性などの観点から無線の利用が適する場合も多いと考えられる。しかし、その要件は従来のIT (Information Technology) 系ホームネットワーク要件と異なると考えられる。そこで本稿では、HEMSで用いる無線の要件を、(1) 通信エリア、(2) 通信品質、(3) 通信レートの観点で整理したうえで、伝搬実験を通じて、その無線適性を分析する。さらに、その結果を基に、HEMSに適した標準化活動の取り組みとして、無線伝送方式の追加や、収容機器の拡張などを目指した標準化活動について述べる。

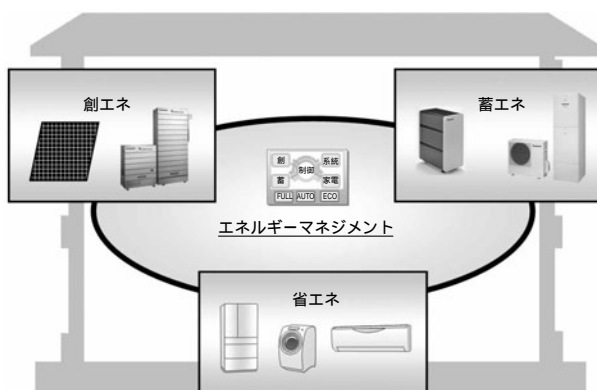
## Abstract

In order to realize a low-carbon society, there are many demands on Home Energy Management Systems (HEMS) which exploit the energy efficiently by collaborative operation of home energy equipment rather than individual operation of such equipment. To connect HEMS equipment from the viewpoint of free setting, easy installation in existing houses, etc, there are many cases in which it would be appropriate to use radio. However, HEMS radio requirements are different from popular IT (Information Technology) home network requirements. Therefore, we classified the requirements of HEMS radio in terms of (1) coverage area, (2) quality and (3) data rate, and analyzed the capability of radio frequencies by propagation tests. Based on these results, we will explain the standardization activities for HEMS that aimed at the addition of HEMS wireless transmission schemes and extension of HEMS equipment.

## 1. はじめに

現在、筆者らは、低炭素社会の実現に向けて、HEMS (Home Energy Management System) の実現に取り組んでいる。

HEMSとは、第1図に示すように、太陽光発電・燃料電池などの創エネ機器、家庭用蓄電池などの蓄エネ機器、省



第1図 ホームエネルギーマネジメントシステム概念

Fig. 1 Concept of home energy management system

エネ家電、電化設備などの多様な家庭用機器（以下、HEMS機器と記す）が連携し協調動作することで、単一の機器だけでは実現できない、エネルギーの利用効率向上を目指すシステムである。

HEMSの一般的なアプリケーションとして、消費電力の見える化[1]、家電や電化設備の機器連携、創エネ機器と蓄エネ機器の連携[2]、電力系統側との連携[3]などが想定されている。これらアプリケーションによって、再生可能エネルギー利用の最大化と家電連携によるエネルギー消費の無駄を削減することで、CO<sub>2</sub>排出量の削減と家庭の光熱費削減などのユーザメリットを提供する[4]。

HEMSアプリケーションの実現には、創エネ機器、蓄エネ機器、および省エネ家電が単体として動作するのではなく、互いに連携する必要がある。つまり、これらのHEMS機器のネットワーク化が必須となる。その場合、HEMS機器の設置の自由度、既築住宅への導入容易性、新規配線不要の観点から、有線通信よりも、無線通信によるネットワーク化が適する場合が多い。以下、HEMSに用いる無線をHEMS無線と記す。

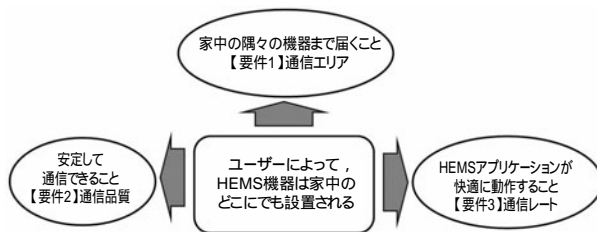
しかし、省エネ家電や電化設備などのHEMS機器はPC (Personal Computer) やAV (Audio Visual) 機器と利用形

態が異なるため、HEMS無線の要件は、従来のPCやAV系のホームネットワーク要件とは異なることが予想される。効率的な通信をするHEMSの実現には、それらの要件を明らかにしたうえで、適切なシステムを設計する必要がある。

本稿では、まず2章にてHEMS無線の要件整理を行う。3章ではその分析を行うための各種実験および考察結果を説明する。4章では要件分析結果に基づいた標準化活動への展開について説明する。

## 2. HEMS無線の要件

HEMS機器の設置場所は、ユーザーの好みや設置業者の条件によって異なるため、HEMSを無線で構築する場合、機器がどこへ設置されても確実にネットワーク接続されることが必要となる。この実現には、(1)家中の隅々の機器に電波が届くこと、(2)安定して通信できること、さらに(3)HEMSアプリケーションが快適に動作する通信レートを維持することが要求される。その概要を、第2図に示すとともに、各節にその要件を整理する。

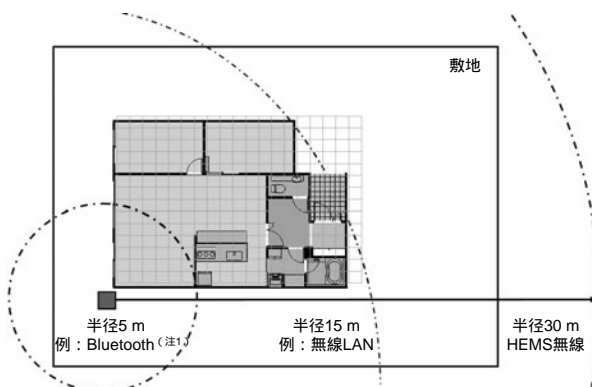


第2図 HEMS無線の要件

Fig. 2 Requirement of HEMS wireless

### 2.1 通信エリアに関する要件

第3図に示すように、HEMS無線は、家屋だけでなく、



第3図 HEMS無線に必要な通信エリア

Fig. 3 Necessary communication area for HEMS wireless

庭先などの敷地を含めた範囲を通信エリア圏内としてカバーする必要がある。なぜなら、太陽光発電システムやヒートポンプなどが屋外の敷地に設置され、接続する必要があるためである。その距離は、半径30 m程度と想定する。これは総務省の家屋面積の統計[5]を参考に、敷地面積500 m<sup>2</sup>を想定すると全国の99%の家屋がカバー可能であり、送信機の設置場所と敷地形状を考慮して、半径30 mと想定した。

### 2.2 通信品質に関する要件

安定した無線通信とは、家具などの障害物や人の影響、他の無線機器などからの電波干渉などの影響を受けても、その通信が瞬断、切断されないことである。例えば、電波をさえぎる壁や床などが増え、電波減衰が大きくなると、受信レベルの低下につながり、電波干渉の影響を受けやすくなる。このため、その影響を考慮する必要がある。

### 2.3 通信レートに関する要件

HEMS無線は、単に機器間を無線で接続するだけでなく、第1表に示すようなHEMSアプリケーションを安定して実行させる通信レートを提供する必要がある。例えば、消費電力の見える化の場合、数十バイトの情報量を各HEMS機器から数分周期程度で収集すると仮定すると、100 kbit/s程度の通信レートが要求されると考えられる。

第1表 HEMSアプリケーションの例

Table 1 Examples of HEMS applications

HEMSアプリケーション	内 容
消費電力の見える化	電気料金、電気使用量のモニター化
創エネ機器と蓄エネ機器の連携	太陽光発電と家庭用蓄電池の連携により、各家庭の創エネを地産地消
家電や電化設備の機器連携	家電のセンサを活用し、家電連携による省エネを実現
電力系統側と連携	電力系統と連携した家電制御により、システム全体の安定化実現

## 3. 要件に対する取り組み

2章で述べたHEMS無線の3つ要件を満たすための検討要素として、適切な無線周波数帯の選択、機器に装着するアンテナ構成、無線伝送の方式設計、各国の法規制への対応など、さまざまな項目が存在する。

(注1) Bluetooth SIG, Inc の登録商標

今回、筆者らは、中でも、無線周波数帯の選択の視点で要件をさらに分析した。なぜなら、無線周波数帯は「2.1節 通信エリアに関する要件」、「2.2節 通信品質に関する要件」の基本要素になるためである。

評価する無線周波数帯は、実用性を考慮して、グローバルで使用可能な短距離無線（特定小電力無線[6][7]や小電力データ通信システム[8]）として、規定され、現在利用可能な2.4 GHz帯、900 MHz帯、400 MHz帯を選択した。さらに、その分析には、各周波数帯の実環境での伝搬特性の把握が必要であるため、実験設備を構築し測定した。

3.1節では、「2.1節 通信エリアに関する要件」を分析するための実験評価、3.2節では「2.2 通信品質に関する要件」を分析するための実験評価、3.3節では実験評価に基づいた考察について述べる。

### 3.1 通信エリアの実験評価

通信エリアは無線周波数帯ごとで異なる自由空間損失や付加伝搬損失（壁や床による減衰）、アンテナ利得、干渉ノイズの影響、変調方式、送信電力、無線IC（Integrated Circuit）の受信感度などの通信条件によって異なる。今回、これら通信条件を総合して評価可能なパケットレベルでの誤り率（以下、PER: Packet Error Rateと記す）測定を2.4 GHz帯、900 MHz帯、400 MHz帯で行った。

測定は、日本、海外の戸建てや集合住宅など複数の環境で実施した。ここでは、当社（大阪府門真市）の構内に構築した計測環境ハウスで実施した結果を用いて説明する。この計測環境ハウスは、実際の住宅と同様のサイズ、同じ素材で構築され、省エネ家電、電化設備などが実際に取りそろえられており、実際の住環境と同等である。

各周波数帯の無線機の諸元を、第2表に記す。これらはすべて短距離無線を想定したものである。変調方式と伝送レートは各周波数帯で一般的に用いられるものである。また、アンテナは各周波数帯での誤り率特性を基に、同一条件となるように、その利得を正規化した。各周波数帯の無線機の基板サイズは、いずれも50 mm×30 mmである。また、再現性も考慮し、かつ現実的な環境に近づけるため、第4図に示すような位置に配置された各HEMS機器に無線機を貼付して測定を行った。

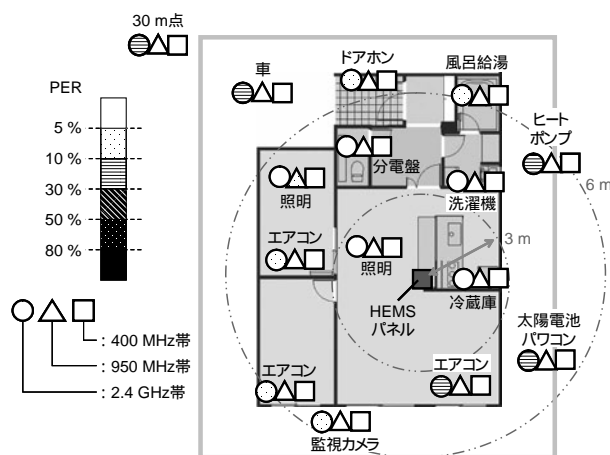
本無線機を用いて、伝搬損失やPERを測定した。その一例として、各測定点における2.4 GHz帯、900 MHz帯、400 MHz帯の各無線周波数帯のPERを、第4図に示す。3つの周波数帯において、2.1節の通信エリア要件である30 m地点の測定点で、まったく通信できない周波数帯は存在しなかった。また、900 MHz帯、400 MHz帯は全測

第2表 無線機の諸元

Table 2 Parameter of wireless communication

項目	無線機仕様		
	2400 MHz - 2483 MHz	951 MHz - 956 MHz	420 MHz - 450 MHz
占有帯域幅	2 MHz	400 kHz	8.5 kHz
変調方式	O-QPSK + DSSS	GFSK	FSK
伝送レート	250 kbit/s	100 kbit/s	2.4 kbit/s
アンテナ	チップアンテナ	チップアンテナ	チップアンテナ
空中線電力	0 dBm (1 mW)	0 dBm (1 mW)	0 dBm (1 mW)

O-QPSK: Offset Quadrature Phase Shift Keying  
DSSS: Direct-Sequence Spread Spectrum  
GFSK: Gaussian Frequency Shift Keying FSK: Frequency Shift Keying



第4図 各無線周波数帯のPER結果

Fig. 4 PER result of each wireless frequency band

定点において、PERが5%未満となったが、2.4 GHz帯は宅外のヒートポンプ設置場所などのように10%を超える地点も存在した。UHF（Ultra High Frequency）帯（300 MHz～3 GHz）の中でも、低い周波数帯である400 MHz帯や900 MHz帯の電波はその回折性も加えて安定して伝搬するのに対し、2.4 GHzは主に壁の通過による減衰で受信レベルの低下が原因と考える。

### 3.2 通信品質の実験評価

通信品質を阻害する要因として、他の機器からの干渉、環境ノイズの影響などが考えられる。その影響を測定し評価した。干渉の代表的な例として、電子レンジや無線LAN（Local Area Network）などがある。今回はそれが与える影響を2.4 GHz帯、900 MHz帯、400 MHz帯の周波数帯で評価した。

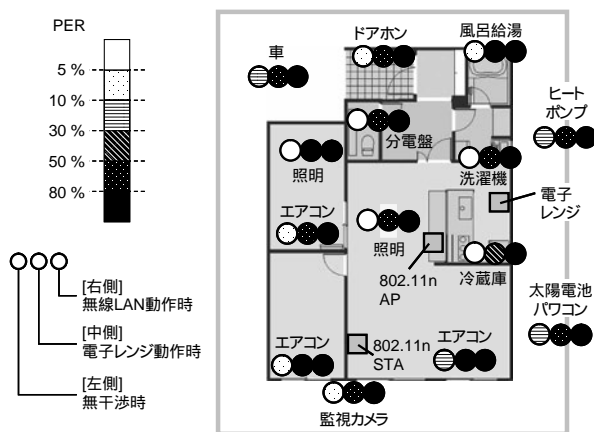
測定は、3.1節と同じ計測環境ハウスで行った。機器の設置場所も3.1節と同じである。電子レンジや無線LANの各動作時と停止時のPERを測定し、比較評価した。無線LANはIEEE（注2）802.11n規格で、約70 Mbit/sのデータストリームをAP（Access Point）からSTA（Station）に伝送し

続けた。

第5図に、電子レンジと無線LANの停止時（無干渉時）、電子レンジ動作時、無線LAN動作時のそれぞれの2.4 GHz帯のPERを示す。測定結果より、電子レンジ動作時は多くの測定点でPERが50%を超える結果、つまり、2パケット送信に対し1パケットのみ到達する結果を得た。また、無線LAN動作時はPERが80%を超える結果となった。

また、スペクトラムアナライザで解析した結果、電子レンジはマイクロ波出力の間欠動作を行っており、出力停止期間で無線通信が可能と考えられる。一方、無線LANは隙間なくデータ伝送が行われており、PERが高くなったと考えられる。無線LANで伝送するデータレートを下げると、PERが低くなる結果となる。

900 MHz帯と400 MHz帯は、電子レンジや無線LANの影響を同様に測定した。第4図の結果と同じように、全測定点でPERが5%未満となり、影響がないことを確認した。



第5図 電子レンジ、無線LANの影響結果

Fig. 5 Influence result of microwave oven and wireless LAN

### 3.3 実験結果に基づく考察

3.1節、3.2節の伝搬実験の取り組み結果に基づき、2章の第2図で示した要件である、通信エリア、通信品質、通信レートの3つの観点で考察を行った。

通信エリアの観点では、3.1節の通信エリア実験評価により900 MHz帯、400 MHz帯が、2.1節で議論した通信エリア要件である半径30 mに対して安定して通信可能であり、2.4 GHz帯と比較して、HEMS無線に適すると思われる。

通信品質の観点では、3.2節の通信品質実験評価により900 MHz帯、400 MHz帯が他の機器の干渉の影響を受けず、HEMS無線に適すると思われる。一方、2.4 GHz帯は電子レンジや無線LANの影響が大きく、HEMSアプリケー

ション次第では、パケット通信自体は成立するが、多発するパケット誤りによって伝送遅延の増大などの品質劣化が想定される。つまり、システム設計時には、それらを考慮した通信プロトコルやアプリケーション設計が必要となる。

通信レートの観点では、2.4 GHz帯、900 MHz帯が、第1表に示すHEMSアプリケーションの動作に問題ない100 kbit/s以上の速度を実現可能であり、HEMS無線に適すると思われる。一方、400 MHz帯はARIB<sup>(注3)</sup> (Association of Radio Industries and Businesses) 標準規格により、占有帯域幅が8.5 kHzであり、2.4 GHz帯や900 MHz帯と比較して狭いため、通信レートの高高速化が困難である。

上述の3つの観点から、HEMS要件に対する各周波数帯を比較した結果を、第3表に示す。比較結果からHEMS無線において、900 MHz帯の利用が、2.4 GHz帯や400 MHz帯と比較して、適すると思われる。

ただし、本評価は、2章で述べた要件に基づいた場合に有効である。第1表に示す消費電力の見える化の場合において、電力情報の収集頻度を数分周期より短い秒単位周期などと仮定すると、100 kbit/sより高速な通信レートが必要となるため、900 MHz帯より高速通信が可能な2.4 GHz帯が必要となる場合もある。ターゲットとするアプリケーションの要件を上述の要件と比較したうえで最終的に決定する必要がある。

第3表 HEMS要件に対する各周波数帯の比較結果

Table 3 Comparison result of each frequency to HEMS requirement

	2.4 GHz帯	900 MHz帯	400 MHz帯
通信エリア	~		
通信品質			
通信レート			x

x  
要件満足 ←————→ 要件不満

## 4. HEMS無線の応用展開・標準化の取り組み

筆者らは、3章で述べたHEMS無線の検討結果を用いて、システムの実用化検討を推進するとともに、業界における標準化にも積極的に取り組んでいる。その一例として、国内電機メーカーが中心に家電、電化設備のホームネットワーク標準を策定しているECHONET<sup>(注4)</sup> コンソーシアムでの最新の取り組みについて紹介する。

(注2) Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. の登録商標

(注3) 社団法人 電波産業会の登録商標

(注4) ECHONET CONSORTIUM の登録商標

#### 4.1 ECHONETとは

ECHONETとは、ECHONETコンソーシアム[9]が進めるネットワークアーキテクチャ標準であり、省エネ、快適生活支援、ヘルスケア、セキュリティなどのサービス提供を目的とする。

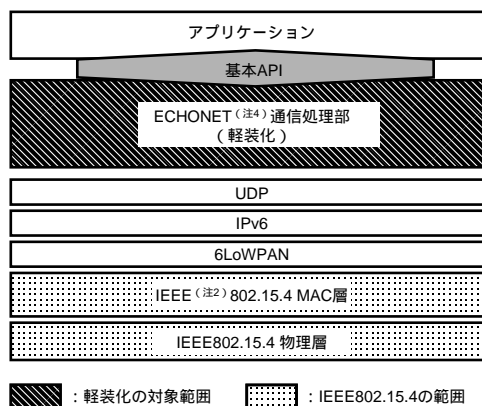
これまでの主な取り組みとして、家電や電化設備のアダプタI/F (InterFace)、通信ミドルウェア、機器の情報や制御対象が論理的にモデル化された制御コマンドセット(機器オブジェクト)の標準化を行い、さらにIEC (Internal Electrotechnical Commission) などへの国際標準化を行ってきた。例えば、家電や電化設備のアダプタI/F規格はIEC62480、通信ミドルウェア規格はISO/IEC 14543-4-1、ISO/IEC 14543-4-2、ISO/IEC 24676、機器の情報や制御対象が論理的にモデル化された機器オブジェクトの一部をIEC62394として国際標準化されている。

#### 4.2 新規ECHONET標準への取り組み

現在、ECHONET標準をHEMSへ展開することを目的にECHONETコンソーシアムへ2つの新たな活動を行っている。

##### (1) 900 MHz帯対応およびプロトコル軽装化

現状のECHONET標準は、400 MHz帯の特定小電力無線や、Bluetooth<sup>(注1)</sup>や無線LANといった2.4 GHz帯の伝送方式に対応しているが、900 MHz帯の伝送方式に対応していない。そこで、HEMS無線の周波数帯として適すると思われる900 MHz帯(780 MHz帯～950 MHz帯)を包括したグローバルで利用可能な伝送方式(IEEE 802.15.4[10])の追加を新たに検討している。また、同時に、従来からの課題であったプロトコル処理軽減のための軽装化を図



API: Application Programming Interface    UDP: User Datagram Protocol  
IPv6: Internet Protocol Version 6  
6LoWPAN: IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks  
MAC: Media Access Control

第6図 新規のECHONETのプロトコルスタック

Fig. 6 Protocol stack of new ECHONET

っている。第6図に、今回の策定で新規に検討中のECHONETのプロトコルスタックを示す。

(2) 創エネ機器、蓄エネ機器に対する制御コマンド追加  
これまで、家電や電化設備に対する機器オブジェクトは定義されてきた。現在、HEMSを構成するための重要な機器である創エネ機器、蓄エネ機器の機器オブジェクトの定義の追加を実施している。これにより、HEMSの実現に必要な創・蓄・省エネ機器の連携制御が実現できる。

## 5. まとめ

ここでは、HEMSに無線を適用した場合、無線に求められる要件を(1)通信エリア、(2)通信品質、(3)通信レートの各項目で整理し、各種実験や法規制から各要件を分析、考察した。分析には通信エリアと通信品質の基本要素となる無線周波数帯適性の視点で行い、HEMS無線としての2.4 GHz帯、900 MHz帯、400 MHz帯の特性を確認した。2章で述べた今回の要件では、HEMS無線として900 MHz帯の利用が通信エリア、通信品質、通信レートの観点で適するものであると確認した。その実用化を推進するために標準化に取り組み、900 MHz帯対応と創エネ機器、蓄エネ機器の制御コマンドセット対応を提案した。その標準は2011年を目処(めど)に標準化完了の予定である。

## 参考文献

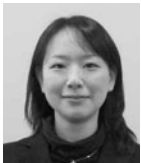
- [1] 経済産業省, “エネルギー白書2006年版,” pp.61, <http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2006EnergyPdf/pdf/18nel122.pdf>, 参照 March 5, 2011.
- [2] NEDO, “技術戦略マップ2009,” <http://www.nedo.go.jp/roadmap/>, 参照 March 5, 2011.
- [3] 経済産業省, “低炭素電力供給システムに関する研究会 報告書,” pp.23-25, <http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g90727e01j.pdf>, 参照 March 5, 2011.
- [4] 松下電器産業, “ホームネットワーク利用による省エネ実証試験,” <http://www.city.sendai.jp/kankyoku/kanri/icgps-e/pdf/6-4.pdf>, 参照 March 5, 2011.
- [5] 総務省, “建物の階数(5区分), 建築面積(10区分)別長屋建及び共同住宅のむね数 - 全国,” <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001027897&cycode=0>, 参照 March 5, 2011.
- [6] 社団法人電波産業会, “特定小電力無線局400MHz帯及び1200MHz帯 テレメータ用, テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備,” ARIB STD-T67, 1.0版, 2000.
- [7] 社団法人電波産業会, “特定小電力無線局950MHz帯 テレメータ用, テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備,” ARIB STD-T96, 1.0版, 2008.
- [8] 社団法人電波産業会, “第二世代小電力データ通信システム/ワイヤレスLANシステム,” ARIB STD-T66, 3.4版, 2009.

- [9] ECHONET CONSORTIUM,  
<http://www.echonet.gr.jp/>, 参照 March 5, 2011.
- [10] IEEE, " Part 15.4: Wireless medium access control (MAC) and physical layer(PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (WPANs), " IEEE std 802.15.4, 2006.
- [11] 吉川嘉茂 他, " グローバル対応超低消費電力 小電力無線 LSIとその応用, " Panasonic Tech. Journal, vol.56, no.1, pp.10-15, 2010.

## 著者紹介



浮田陽介 Yosuke Ukita  
エネルギーソリューション開発センター  
Energy Solutions Development Center



藤原 ゆうき Yuki Fujiwara  
エネルギーソリューション開発センター  
Energy Solutions Development Center



村上隆史 Takashi Murakami  
エネルギーソリューション開発センター  
Energy Solutions Development Center



林野裕司 Hiroshi Hayashino  
エネルギーソリューション開発センター  
Energy Solutions Development Center



吉川嘉茂 Yoshishige Yoshikawa  
ホームアプライアンス社 技術本部  
Corporate Engineering Div.,  
Home Appliances Company



多鹿陽介 Yosuke Tajika  
エネルギーソリューション開発センター  
Energy Solutions Development Center  
博士(情報学)