

# オーバーレイセンサネットワークによる 適応型 BEMS/HEMS の実現に向けて

峰野 博史<sup>†1</sup> 水野 忠則<sup>†1</sup>

温室効果ガスの削減及び化石燃料の使用合理化の観点から、省エネルギー対策の強化が求められている。民生部門では、人々の生活が豊かさを求めるライフスタイルへ変化し、エネルギー消費が継続的に増加していることから、BEMS/HEMS の開発・導入によるオフィスや家庭での省エネルギー対策が最重要課題の一つとなっている。本稿では、これまで研究開発を進めてきた自律分散協調ユビキタスセンサネットワーク技術と、PUCC のセンサデバイス制御 WG における研究開発成果の一部を紹介する。これら技術を融合することで、通信ネットワークを新たに構築するのが困難だった既存構造物などにおいても、区域内に置かれた複数のセンサを ZigBee や PLC を併用することで通信可能なエリアを相互に補完し合うように自律的にオーバーレイセンサネットワークを形成し、各家庭で異なる生活環境への適応的な導入、きめ細かな制御を生活者の行動様式や好みに合わせてカスタマイズできる適応型 BEMS/HEMS を構築できると考える。

## Toward Developing Adaptive BEMS/HEMS with Overlay Sensor Networks

HIROSHI MINENO<sup>†1</sup> and TADANORI MIZUNO<sup>†1</sup>

From the viewpoint of rationalization of the use of fossil fuel and the reduction of greenhouse gases, energy saving is strengthened. Especially, our lives change into the lifestyle which desires more comfortable, and energy consumption of civilian sector is increasing continuously. In this paper, we introduce a part of the research for autonomous distributed collaborative ubiquitous sensor network technologies and the research and development in sensor device control working group of PUCC. By applying these technologies, we develop an adaptive BEMS/HEMS where two different media of wireless communication and wire communication are used in a mutually. This overlay sensor network can mutually complement the route in which communication is not possible via radio frequency or power lines.

### 1. はじめに

温室効果ガスの削減及び化石燃料の使用合理化の観点から、省エネルギー対策の強化が求められている。民生部門（家庭部門、業務部門）では、人々の生活が豊かさを求めるライフスタイルへ変化し、エネルギー消費が継続的に増加していることから、BEMS (Building and Energy Management System) /HEMS (Home Energy Management System) の開発・導入によるオフィスや家庭での省エネルギー対策が最重要課題の一つとなっている。しかし、これまでの新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の成果報告書<sup>1,2)</sup>によると、HEMS 実用化研究は、間接制御ではエネルギー総量の提示・前月との比較・料金化等によって省エネ行動を喚起するに止まり、自動制御による省エネ行動をさらに確実にするには、エネルギー計測値の表示だけでなく各家庭の所有機器情報に基づく、きめ細かくカスタマイズされた省エネガイダンス提供が求められ、自動制御対象としてエネルギー負荷の割合が大きいガス・灯油による暖房機や給湯器なども範疇に含めることが必須であると言える。

本稿では、これまで研究開発を進めてきた自律分散協調ユビキタスセンサネットワーク技術と、PUCC (Peer-to-Peer Universal Computing Consortium) のセンサデバイス制御 WG における研究開発成果の一部を紹介する。これら技術を融合することで、通信ネットワークを新たに敷設するのが困難だった既存構造物などにおいても、区域内に置かれた複数のセンサを ZigBee や PLC (Power Line Communication) を併用することで通信可能なエリアを相互に補完し合うように自律的にオーバーレイセンサネットワークを形成し、どこで何が生じているかの把握やデータの蓄積、リモート管理や自動制御、提供サービスの動的更新を観測情報に基づき実現できるようになり、各家庭で異なる生活環境への適応的な導入、きめ細かな制御を生活者の行動様式や好みに合わせてカスタマイズできる適応型 BEMS/HEMS を構築できると考える。

### 2. 関連研究

NEDO は、2001 年度から 2003 年度まで家庭部門における省エネルギー推進策として、阪神、広島、関東、香川の 4 地区で「エネルギー需要最適マネジメント推進事業」を実施し

<sup>†1</sup> 静岡大学情報学部  
Faculty of Informatics, Shizuoka University

分類	HEMS機能	商品・サービス(例)
表示系 HEMS	エネルギー使用状況のモニタリング	省エネナビ
	機器運転状況の表示	エネックリモコン, カラー電力モニター
	省エネ方法のアドバイス	myTokyoGas
制御系 HEMS	機器単独の操作・機能	機器単独の遠隔操作 機器単独の運転機能
		ホッとネットサービス, アイルス 霧ヶ峰(ムーブアイ, マルチゾーン空調) エコキュート(学習制), エコウル(学習)
	家庭内機器全体の操作	ホームネットワークによる遠隔操作
		リモートプラス, FEMINITY ホームネットワークによるピークカット エミットホームシステム

図 1 HEMS の分類とサービス例

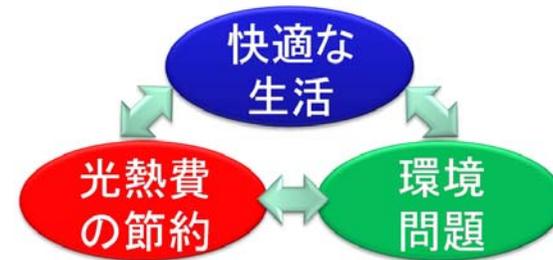


図 2 HEMS 実用化研究の課題

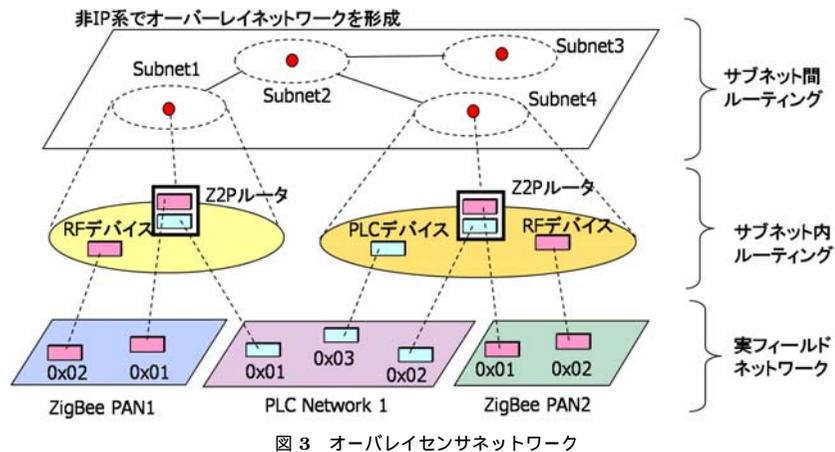
た。同事業の事業者がモニター宅へ HEMS を設置し、HEMS 導入前後のモニター宅のエネルギー消費実績を収集し、各地域の事業者毎に省エネ効果等を分析評価し、2003 年度に 2002 年度データを用いた省エネルギー効果の評価解析を行うことで省エネルギー効果を定量的に分析した<sup>1)</sup>。その結果、表示系 HEMS による間接制御によって約 5.2% ~ 14.6%、制御系 HEMS による自動制御によって約 0.6% ~ 3.3%の省エネルギー効果を得られることが示された。

しかし、この時点での HEMS 実用化研究(図 1)は、間接制御ではエネルギー総量の提示・前月との比較・料金化等によって省エネ行動を喚起するものに止まり、自動制御では対象機器は家電製品(エアコン・照明・待機電力等)の一部のみに限定され、その制御方法も最適化されているとは言えない。また、間接制御による省エネ行動をさらに確実なものにするためには、エネルギー計測値の表示だけでなく、各家庭が所有する機器情報に基づく、きめ細かくカスタマイズされた省エネガイドの提供が求められており、自動制御による制御対象として、エネルギー負荷の割合が大きいガス・灯油による暖房機や給湯器などもその範疇に含めることが必須であると考えられる。

最近では、ICT を用いたグリーンキャンパスに向けた取り組みや<sup>3)</sup> 設置・維持コスト、制御対象の制約、制御方法の限定といった HEMS 普及の課題を解決するための研究開発も盛んに行われている。例えば、グリーンタップ<sup>4)</sup>では省電力無線通信規格 ZigBee で接続可能な小型センサと CPU を内蔵した電源タップを用いて、HAT<sup>5)</sup>では PLC (Power Line Communication) を用いて、電源タップに接続されているレガシー家電の改造を一切不要とし、オン/オフや IR リモコン制御を実現できる簡易型 HEMS の構築に向けた研究開発が行われ、HEMS 普及の課題解決に向け期待されている。

一方、人の好みや行動パターンに応じた HEMS/BEMS 技術の研究開発<sup>2)</sup>では、生活者の行動様式や好みを考慮し「快適な生活」を損なわない省エネ機能を有する HEMS の基本仕様を明らかにするとともに、電気・ガス・水道を計測してエネルギーの使用状況から具体的な省エネ方法を提示する従来の機能に加え、高齢者や生活者の行動異変を察知し必要に応じて通知可能とする生活見守り機能を付加した HEMS を提案している。快適な生活を好むライフスタイルを求める人々には、省エネルギーを単独機能とした HEMS より、快適な生活を提供できる機能を付加した HEMS の方が魅力的であると考え、少子高齢化社会を迎えた昨今、高齢者の普段の生活行動を見守りつつ緊急の場合には自動通報するといった安心・安全な生活見守り機能を付加した HEMS によって、HEMS 普及を促進できないかと分析している。

以上を踏まえると、温室効果ガスの削減および化石燃料の使用合理化の観点から京都議定書の第 1 約束期間(2008 ~ 2012 年)が迫りつつある中、我々は、エネルギー消費に関して相反する三つの事項、「快適な生活」、「光熱費の節約」、「環境問題」を考慮しつつ生活していると云え(図 2)、「環境問題」に配慮する目的で家庭への HEMS 導入を促進するためには、導入費用を上回る額の省エネルギーによる「光熱費の節約」が求められ、また、導入した HEMS によって省エネを持続するためには、「快適な生活」を維持することが必要条件と言える。つまり、この三つの事項のバランスを維持しながら各家庭で異なる生活環境への適応的な導入ができ、きめ細かな制御を生活者の行動様式や好みに合わせてカスタマイズできるような魅力、価格、持続性を維持できるような適応型 BEMS/HEMS の研究開発が必要であると考えられる。



### 3. 適応型 BEMS/HEMS の提案

#### 3.1 自律分散協調ユビキタスセンサネットワーク技術

著者らは、文科省の第二期知的クラスター創成事業「浜松地域オプトロニクスクラスター構想」にて「自律分散協調ユビキタスセンサネットワーク（H19～23 予定）」というサブテーマの研究分担者として、人間生活の支援環境を構築するセンサネットワーク技術の研究開発に従事している。この研究では、技術革新の急速な変化に追従可能で、サービス向上やシステムの変更に柔軟に対応するために自律的に動作する自律分散協調ユビキタスセンサネットワークの実現を目指している。これまでに、通信ネットワークを新たに敷設するのが困難だった既存構造物などにおいて、区域内に置かれた複数のセンサを非IP系の無線通信や電力線通信を併用することで通信可能なエリアを相互に補完し合うように自律的にオーバーレイセンサネットワークを形成し、どこで何が生じているかの把握やデータの蓄積、リモート管理や自動制御に対応することのできる技術を研究開発している（図3）。

具体的には、電力線通信技術 PLC と省電力無線通信規格 ZigBee を併用することで、No New Wire で既存構造物内に低ノード密度かつ高通信到達率のセンサネットワークを構築する技術を開発し、当技術を検証可能なハードウェアプラットフォームを試作開発した（図4）。

通常、PLC では、電力線から放射される電磁波による不平衡経路の問題や、家電機器等から発生する負荷ノイズや空中を伝搬する飛来ノイズなどが電力線に重畳しモデムへ混入

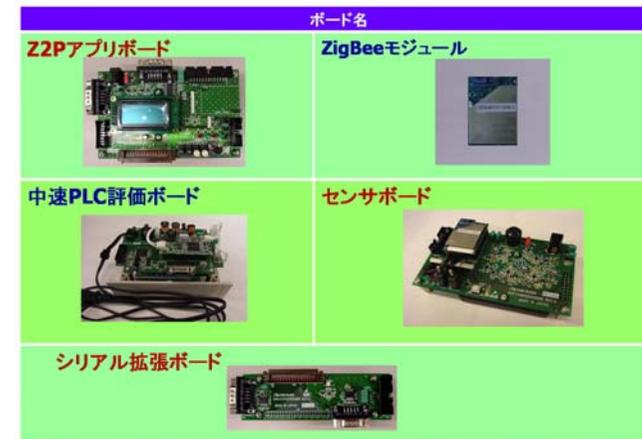


図4 試作モジュール例

して性能へ影響を及ぼす経路内ノイズ、電力線に接続された末端負荷や電線路長および電線路分岐の影響による信号減衰といった技術課題があり、これらを解決するために様々な研究開発が行われている。一方、ZigBee等の無線通信においても、2.4GHz帯の電波特性による影響や無線通信機器増大による電波干渉、隠れ端末問題、より省電力を実現するスリープスケジューリングといった技術課題があり、これらを解決するための研究開発が活発に行われている。

これら個別要素技術の研究成果は、将来的に上記プラットフォームへ適用できると考え、当研究では、異なる特性を持つ有線/無線通信を相互補完的に併用することで、PLCにおける信号減衰（距離や異相問題、充電器等の影響）や ZigBee における通信品質低下（2.4GHz帯の電波特性、無線通信範囲など）による低通信到達率という問題の解決を試みている。本アプローチをまとめた論文は、PLCの国際標準化団体 IEEE P1901WG 関係者からも参加する IEEE Communications Society 主催の国際会議 IEEE ISPLC 2009 に採択され、国際的にも PLC 関係者の関心を得ることができた<sup>6)</sup>。

#### 3.2 PUCC センサデバイス制御技術

PUCC では、ネットワーク化された様々なデバイスとの相互接続技術に関して標準化活動を行っており、センサデバイス制御 WG では、特に非IP系センサ/アクチュエータネットワークとIP系ホームネットワーク、携帯電話などをオーバーレイネットワーク技術によっ

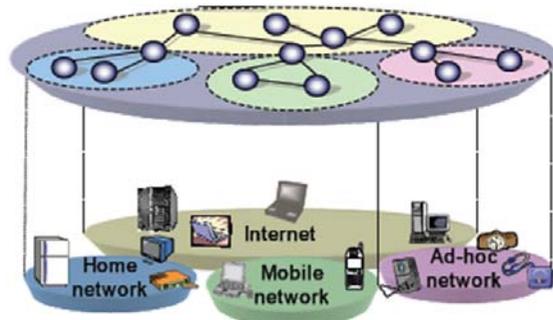


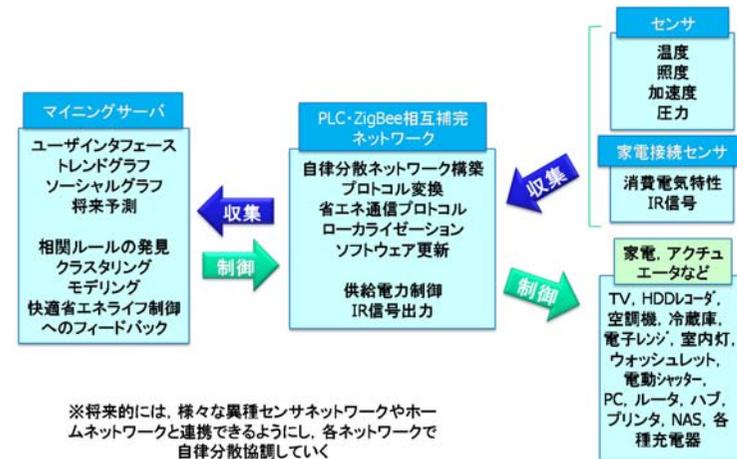
図5 PUCO オーレイネットワーク

で連携させる研究開発を実施している(図5)。

これまでに、携帯電話と外部デバイス(センサデバイス等)との連携による新サービス創出のための基盤技術に関して研究開発を実施しており、具体的には、遍在する任意のセンサネットワークから収集される情報を、利用者が自由に組み合わせることで複合イベントとして定義でき<sup>7)</sup>、それら複合イベントを検知できるような位置情報サービスを提供する仕組みを検討している<sup>8)</sup>。また、多種多様なセンサデバイスから得られる様々な環境情報を利用した複合イベントと、アクチュエータデバイスの提供するアクションを、携帯電話をインタフェースとして柔軟に設定できる仕組みを実現している<sup>9)</sup>。さらに、異種センサネットワークをオーレイネットワークによって統合的に利用するためのクライアントGUIを自動生成する仕組みを検討し、プロトタイプを開発している。具体的には、センサゲートウェイ(センサGW)の保持するメタデータを受信することでWebブラウザのように動的にクライアントGUI画面を生成し、センサ/アクチュエータデバイスに対してイベント/アクション設定を可能としている<sup>10)</sup>。センサGWへ保持させるメタデータの作成を支援するツールの開発も行っている。

### 3.3 適応型 BEMS/HEMS の実現に向けて

HEMS 実用化を促進するには、前述した HEMS の課題である魅力、価格、持続性の維持の実現が必要である。そのため、魅力に関しては、専門化による既存設備への工事を不要とし、どのベンダ製品にも容易に対応可能、省エネ+ の付加価値(ヘルスケア、ライフログ等)を有することで解決を図る。価格に関しては、機能限定でも劇的なコストダウンを図る、予算に応じて必要な機能を段階的に導入可能なものとする。また、持続性の維持に関し



※将来的には、様々な異種センサネットワークやホームネットワークと連携できるようにし、各ネットワークで自律分散協調していく

図6 センシングデータと制御の流れ

ては、負担や不快を感じさせない学習機能、操作が容易で、強制的でなく自由に生活できるようにすることで解決を図る。

知的クラスター創成事業で開発した自律分散協調ユビキタスセンサネットワークを構築可能な試作ハードウェアプラットフォームは、様々なセンサ/アクチュエータを接続することを想定し、それぞれモジュール化しているため、接続するセンサ/アクチュエータの組合せ次第で、情報家電だけでなくガス・灯油による暖房機や給湯器など多種多様な機器からの情報を収集することが可能となる。この自律分散協調ユビキタスセンサネットワーク用のセンサGWを開発し、PUCOの連携技術を組み込むことで、携帯電話を用いたエネルギー計測値の表示だけでなく、各家庭が所有する機器情報に基づくきめ細かくカスタマイズされた省エネガイダンスの提示、情報家電だけでなくガス・灯油による暖房機や給湯器などもその範疇に含めることが可能となり、現時点のHEMSの課題である間接制御の促進と自動制御の高度化を実現できると考える(図6)。具体的には以下の手順で研究開発を進め、まずは段階的に規模を拡張させた実証実験を繰り返すことで適応型BEMS/HEMSの実効性を示し、随時、企業との共同開発を意識しながら実用化に向けた小型、低コスト化も図っていく。

#### 3.3.1 自律分散協調ユビキタスセンサネットワークの拡張

知的クラスター創成事業で開発した自律分散協調ユビキタスセンサネットワークを構築可能なセンサ/アクチュエータノードを、PUCOで標準化活動を進めている通信プロトコルを

用いてホームネットワーク上の様々なデバイスと相互接続できるよう拡張する。具体的には、PUCC で検討を進めてきたゲートウェイ間オーバーレイネットワークに接続することで様々なデバイスとの相互接続を実現し、オーバーレイセンサネットワークを構築する。ここで PUCC ゲートウェイは、センサネットワーク用のデータ収集部をモジュール化しているため、様々なセンサ/アクチュエータネットワーク用の接続モジュールを開発することで多種多様なデータ収集や相互連携が可能となる。特に、OSGi フレームワーク上でサービスとして動作するバンドル化することで、機能追加や削除を自由にでき、より汎用的かつメンテナンス性を向上させて、マルチベンダデバイスを段階的に導入できるように拡張していく。

### 3.3.2 自動制御対象物の拡充

自律分散協調ユビキタスセンサネットワークを構築可能な試作ハードウェアプラットフォームは、様々なセンサ/アクチュエータを接続できるようになっている。そこで、自動制御対象として、エネルギー負荷の割合が大きいガス・灯油による暖房機や給湯器などもその範疇に含まれるようなセンサ/アクチュエータを接続するための拡張モジュールを開発する。例えば、-200 ~ +1250 の広範囲の温度を計測できる熱電対測定プローブ（約 400 円）を利用すれば、計測温度と加熱時間、熱効率等を用いて間接的に消費エネルギーを推定できる。また、様々なスイッチ形状に対応可能なカバー型のアクチュエータを開発すれば、既存設備に対して外付け型のオン/オフ制御可能な拡張モジュールとなり、電化製品以外の機器を含めた自動制御対象物の拡充ができると考える。

### 3.3.3 システム自身の省エネ化

センサ/アクチュエータノードは電池駆動でも動作するが、自動制御のために常時稼働させておくのは消費電力の観点で非経済的である。電力供給制御可能な充電機能を開発することで、昼間はソーラーパネルや電池からの電力供給で稼働し、電池残量が少なくなったら深夜電力を使って充電するというピークシフト制御アルゴリズムや、様々なセンサ/アクチュエータの特性に適応可能な効果的なスリープスケジューリングアルゴリズムを確立する。

### 3.3.4 快適性指標の導入

温度と湿度で規定される温熱指標でなく、建物内部壁面から人体への輻射伝熱による熱交換や生活者の活動量、着衣量まで含めた温熱指標として ISO7730 に規定されている PMV(Predicted Mean Vote) を参考に、一般家庭にも導入しやすく家庭や生活者によって異なる生活環境や好みを考慮した快適性の定量化手法を導入し、自動制御指針として反映させる。

### 3.3.5 適応型 HEMS の実証実験

段階的な実証実験を繰り返すことで、当該システムが消費する電力量を勘案しても、従来 HEMS と比べ高い省エネ率を達成できることを実証する。随時、企業との提携を意識しながら研究開発を進め、開発プラットフォームの安定性、長期運用における課題の明確化と対策、省エネ効果等の評価を進める。最終的には、各家庭によって異なる生活環境に適応的に導入でき、きめ細かな自動制御をカスタマイズできるようにすることで、生活者の行動様式や好みを適応的に考慮した「快適な生活」を損なわない省エネ機能を提供する適応型 BEMS/HEMS として実用化を目指す。

## 4. プロトタイプシステムの開発状況

### 4.1 PLC/ZigBee 相互補完通信の実証実験

これまでに試作開発した自律分散協調ユビキタスセンサネットワーク敷設のための開発プラットフォームの評価と改良を実施した。通信ネットワークを新たに構築するのが困難だった既存構造物などにおいても、区域内に置かれた複数のセンサを PLC や ZigBee を併用することで通信可能なエリアを相互に補完し合うように自律的にネットワークインフラを形成し、どこで何が生じているかの把握やデータの蓄積、リモート管理や自動制御に対応できる技術の有効性を検証するために基礎実験を実施した。具体的には、大学棟内（情報棟 1 号館 3~5 階、2 号館 1~3 階）にて通信基礎評価実験を実施し、ZigBee (ZB) 単体、中速 PLC の通信基礎評価結果と、PLC/ZigBee 相互補完通信による有効性を検証した。

ZigBee 単体の通信基礎評価では、ZB デバイス (ZB ルータ、ZB エンドデバイス) が、ZB コーディネータに対して ZB-PAN へ参加できたかで通信可否を決定し、通信可能なペアに対して、ZB コーディネータから ZB デバイスへ 40byte の ACK 有り無しパケットを、200msec 毎に、各 100 パケット連続送信し、ZB デバイス側で受信できたパケット数、および受信にかかった時間を記録した。ZB コーディネータと ZB デバイスの設置位置は、基本的には同一フロアにおける全ての廊下と部屋の組合せ、異フロアにおいて垂直に位置する廊下間と部屋間の組合せ、異フロアにおいて対角に位置する廊下間の組合せ、の全てに対し通信基礎評価を実施した。ZigBee 単体通信基礎評価結果を図 7 に示す。通信可能なペアの内、信頼性が 80%以上のペアを実線で、80%未満もしくはタイムアウトを記録したペアを破線で表している。この結果より、図のような ZB デバイス密度では、情報棟 1 号館 3~5 階の場合、ZigBee ネットワークが 2 エリアに分断される、情報棟 2 号館 1~3 階の場合、ZigBee ネットワークが 3 エリアに分断されることが分かった。

中速 PLC 単体の通信基礎評価では、PLC エンドデバイスが PLC コーディネータに対して PLC ネットワークへ参加できたかで通信可否を決定し、通信可能なペアに対して、PLC コーディネータから PLC エンドデバイスへ 40byte の ACK 有り無しパケットを、200msec 毎に、各 100 パケット連続送信し、PLC エンドデバイス側で受信できたパケット数、および受信にかかった時間を記録した。PLC コーディネータと PLC デバイスの設置位置は、基本的には同一フロアにおける全ての廊下と部屋の組合せ（各部屋、廊下で使用するコンセントは、互いの距離が最も近くなるものを選出）、異フロアにおいて垂直に位置する廊下間と部屋間の組合せ（各部屋、廊下で使用するコンセントは、互いの距離が最も近くなるものを選出）、異フロアにおいて対角に位置する廊下間の組合せ、の全てに対し通信基礎評価を実施した。中速 PLC 単体通信基礎評価結果を図 8 に示す。通信可能なペアの内、信頼性が 80%以上のペアを実線で、80%未満もしくはタイムアウトを記録したペアを破線で表している。この結果より、図のような PLC デバイス密度では、情報棟 1 号館 3~5 階の場合、PLC ネットワークが 3 エリアに分断される、情報棟 2 号館 1~3 階の場合、PLC ネットワークが 6 エリアに分断されることが分かった。

以上の結果を踏まえて、PLC/ZigBee 相互補完オーバーレイセンサネットワークによってカバレッジが 100%となるような PLC/ZigBee 相互補完通信ノードレイアウトを検討し、図 9 のネットワークレイアウトにおける全てのノードペアに対して通信基礎評価を実施した。その結果、ZigBee のみ 65%、中速 PLC のみ 46%の通信環境（情報棟 1 号館 3~5 階）で 84%まで、ZigBee のみ 35%、PLC のみ 29%の通信環境（情報棟 2 号館 1~3 階）で 100%のカバレッジを達成できることを確認し、ZigBee と PLC を併用することで No New Wire で既存構造物内に低ノード密度かつ高通信到達率のセンサネットワークを構築することが可能であることが示された。

その後、各実験結果の妥当性を検証するためにヒアリングを実施した結果、各実験環境の特徴として以下が明らかとなった。情報棟 1 号館は S47 年に施工された比較的古い建造物である。ZigBee 単体通信基礎評価実験で 65%のカバレッジを得られた理由は、情報棟 1 号館の場合、追耐震工事により北側面に約 25cm 厚の鉄筋コンクリート有るが、南側は鉄筋柱がまばらにあるだけであり、南側に併設して建てられた情報棟 2 号館の壁の反射を利用してフロア間の ISM 帯無線通信は比較的可能であったと考えられる。中速 PLC 単体通信基礎評価実験で 46%のカバレッジを得られた理由は、情報棟 1 号館の場合、各フロアに分電盤が 1 つ有り、フロア内通信はある程度可能であったと考えられる。また、日本の一般的な電気設備は単相 3 線式であり、3 本線のうち 1 本がアースで残り 2 本の 100V ラインいずれかに

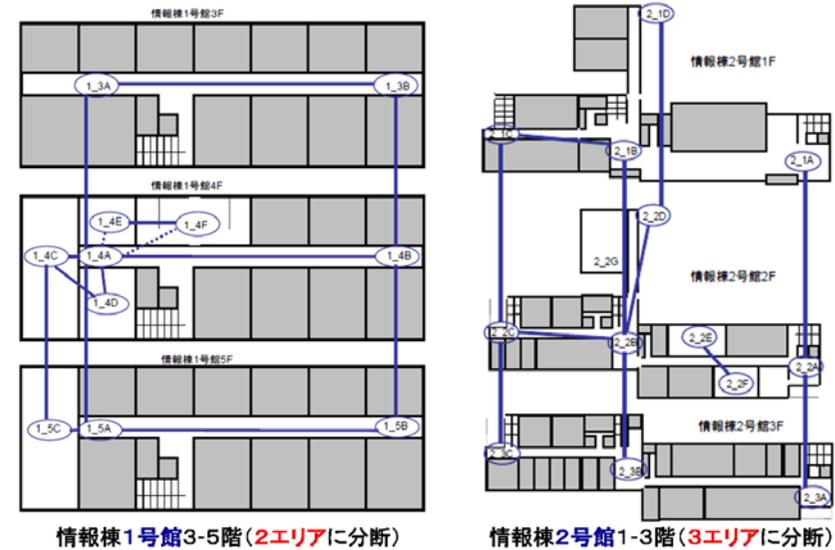


図 7 ZigBee 通信基礎評価結果

信号を乗せるため、同じ線を用いた同相で機器同士が接続されれば比較的安定した通信ができるが、異相であった場合は信号減衰が大きくなるという特徴がある。そのため、各ペアが同相であるか異相であるかは約 50%の確率であることを考えると、情報棟 1 号館において中速 PLC で 46%というカバレッジは比較的、理想値に近い値であったと言える。また、ZigBee と PLC を併用しても 84%までのカバレッジしか得られず 100%に達しなかったのは、情報棟 1 号館は研究室入居が多く、無線 LAN のアクセスポイントや各種充電器等の影響が大きく変動するため、ZigBee や PLC の単体試験を実施した時と比べ動的に環境が変化した結果であると考えられる。

一方、情報棟 2 号館は H11 年に施工された比較的新しい建造物である。ZigBee 単体通信基礎評価実験で 35%のカバレッジであった理由は、情報棟 2 号館の場合、1 号館に比べ耐震構造が充実しており、南北だけでなく中央にも鉄筋コンクリートの柱が有るためフロア内の ISM 帯無線通信到達率が低かったと考えられる。中速 PLC 単体通信基礎評価実験で 29%しかカバレッジを得られなかった理由は、情報棟 2 号館は、実は東側と西側と施工時期が異なり各フロアに分電盤 2 つが有るため、フロア内通信の到達率が低かったと考えられる。また、

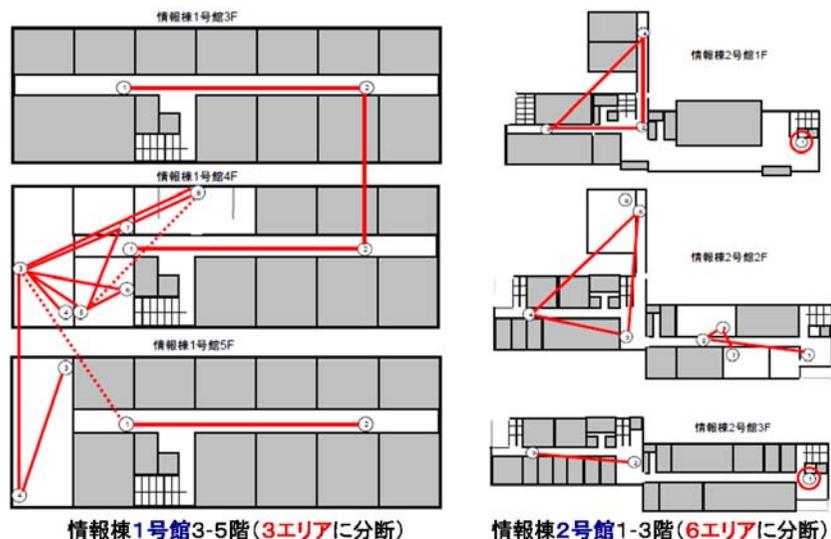


図 8 中速 PLC 通信基礎評価結果

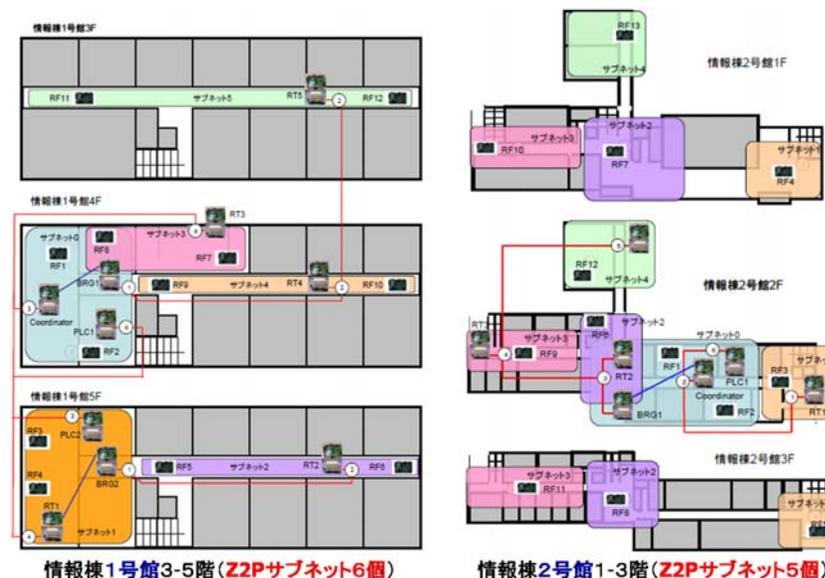


図 9 Z2P ネットワークレイアウト

ZigBee と PLC を併用した場合、100%のカバレッジを得られたのは、情報棟 2 号館の場合、講義室が多く、実験を実施したのが春休みだったこともあり、干渉や外部ノイズ等の影響が少なかったため、ZigBee や PLC の単体試験を実施した時と比べても大きな環境の変動が見られず 100%のカバレッジを得られたと考える。

以上の、通信基礎評価実験結果より、更なるプロトコルの改良によって、情報家電やセンサ/アクチュエータを制御するコマンド通信やセンシングデータ収集へ、より高い信頼性を実現できると考える。今後、運用期間および運用範囲を段階的に拡張させたフィールド試験を繰り返し、これまで開発してきたセンサネットワークボードや、PLC/ZigBee 相互補完通信技術の特性評価および改良を進める。これにより、ネットワークインフラの整備されていない既存構造物でも Plug&Play で容易にネットワーク環境を構築できる革新的技術になりうると考える。

#### 4.2 センサネットワークとホームネットワークの連携環境構築

国際的な家電ショーである International CES や、IEEE Communications Society が主催する国際会議 CCNC (Consumer Communications and Networking Conference) 等にて、センサネットワークやホームネットワーク上の異なる通信プロトコルによって接続され

たデバイス間に、携帯電話をインタフェースとして複合イベント-アクション連携を設定し、次世代の応用連携サービスを実現する技術の展示や発表<sup>9)</sup>、デモ<sup>11)</sup>を実施した。デモでは、携帯電話を用いて周辺デバイスおよびサービスを探索し、探索されたあるセンサノード上の加速度センサと別のセンサノード上の照度センサの値変化をトリガに、IP ネットワーク上のネットワークカメラを操る設定を行い、センサノードを使ってネットワークカメラを自由に操作できる異種連携技術を紹介し、世界各国の主要ベンダ、キャリア、標準化団体等の注目を集めた(図 10)。

これら技術を組合せ、PUCC で検討を進めてきたゲートウェイ間オーバーレイネットワークへ知的クラスター創成事業で開発した自律分散協調ユビキタスセンサネットワークを接続することで、様々なデバイスとの相互接続を実現しオーバーレイセンサネットワークを構築できると考える。その結果、携帯電話と外部デバイス(センサデバイス等)との連携により、多種多様なセンサデバイスから得られる様々な環境情報を利用した複合イベントと、アクチュエータデバイスの提供するアクションを、携帯電話をインタフェースとして柔軟に設定できる仕組みを実現することができる。

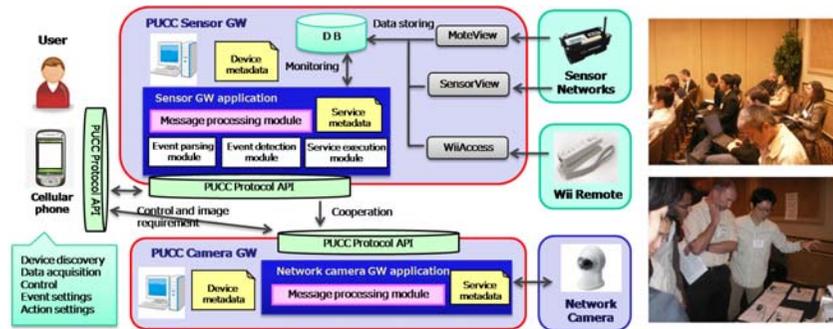


図 10 CCNC2009 発表風景

#### 4.3 今後の研究開発計画

今後、センサ/アクチュエータネットワークを P.U.C.C. 対応、OSGi バンドル化による自律分散協調コピキタスセンサネットワークの拡張、ガス・灯油機器用の拡張モジュール開発による自動制御対象物の拡充、ピークシフト充放電制御やスリープスケジューリングによるシステム自身の省エネ化や低コスト化、ISO7730 規定の PMV を改良した快適性指標の導入、従来 HEMS との省エネ率比較、既存建造物での長期運用による課題抽出と対策を継続し、生活者の行動様式や好みを適応的に考慮した「快適な生活」を損なわない省エネ機能の提供による適応型 BEMS/HEMS の実現を目指す。

#### 5. おわりに

当技術は、供用中の既存電力利用環境（一般家庭や産業施設等）に対し既存設備に改変なく設置可能なものであり、省エネ率のリモート診断法の構築およびシステム化も可能となる。カタログ仕様等による設備・ICT 機器の消費電力積算や、電力利用環境の現在の状態の簡易的な把握も可能であり、施設や ICT のエネルギー効率のアセスメントを実施する作業員等の練度に左右されない定量的診断（絶対的診断）もシステム化できると考える。具体的には、電灯線通信・省電力無線通信を用いたデータ収集や自動診断、LAN/WAN を通じた自動的な省エネ制御提案や制御も可能とすることで、より簡便な実用性と利便性を兼ね備えたりリモートでの大規模なモニタリング、マネージメント並びにアセスメントが可能となる。

随時、企業との連携を意識しながら研究開発を進め、開発プラットフォームの安定性、長期運用における課題の明確化と対策、省エネ効果等の評価を進める。最終的には、各家庭に

よって異なる生活環境に適応的に導入でき、きめ細かな自動制御をカスタマイズできるようにすることで、生活者の行動様式や好みを適応的に考慮した「快適な生活」を損なわない省エネ機能を提供する適応型 BEMS/HEMS 実用化の一助となることを目指す。

#### 参考文献

- 1) 住環境計画研究所：平成 17 年度一般家庭における HEMS 導入実証試験による省エネルギー効果の評価解析成果報告書，新エネルギー・産業技術総合開発機構（2006）。
- 2) （社）人間生活工学研究センター：人の好みや行動パターンに応じた HEMS/BEMS 技術の研究開発，新エネルギー・産業技術総合開発機構（2007）。
- 3) 江崎浩：ICT を用いたグリーンキャンパスに向けた取り組み信学技報，Vol.108, No.74, IA2008-1, pp.1-6（2008）。
- 4) 岩田真琴，甲斐正義，島津秀雄，他：省電力プラットフォーム「グリーンタップ」の提案（1）～（4），情報処理学会第 71 回全国大会，6D-3～6（2009）。
- 5) 栗山央，峰野博史，水野忠則：既存家電製品を用いたホームオートメーションの実現，情報処理学会論文誌，Vol.49, No.1, pp.265-275（2008）。
- 6) Kuriyama, H., Mineno, H. and Mizuno, T.: Evaluation of Mutually Complementary Multichannel Sensor Network for Wireless and Power lines, *IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC)*, pp.223-227（2009）。
- 7) Kamiya, H., Mineno, H., Ishikawa, N., Osano, T., Mizuno, T.: Composite Event Detection in Heterogeneous Sensor Networks, *IEEE International Workshop on Practical Applications of Sensor Networking (PASN2008) in conjunction with SAINT2008*, pp.413-416（2008）。
- 8) 神谷英樹，峰野博史，小佐野智之，角野宏光，石川憲洋，水野忠則：P2P ネットワークにおける地理的範囲探索の検討と評価，信学技報，Vol108, No.460, pp.67-72（2009）。
- 9) Kato, Y., Ito, T., Kamiya, H., Ogura, M., Mineno, H., Ishikawa, N., Mizuno, T.: Home Appliance Control Using Heterogeneous Sensor Networks, *IEEE Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*（2009）。
- 10) 小倉正利，峰野博史，小佐野智之，石川憲洋，水野忠則：センサネットワーク用ユーザインタフェースのメタデータによる動的生成，情報処理学会 GN 研究会，pp.139-144（2009）。
- 11) Ito, T., Kato, Y., Kamiya, H., Ogura, M., Mineno, H., Ishikawa, N., Mizuno, T.: Demonstration of Home Appliance Control Using Heterogeneous Sensor Networks, *IEEE Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*（2009）。