

対話制御型 HEMS の試作と それによる自律分散制御型省エネ地域ネットワークの提案

常川 光一

中部大学工学部 情報工学科 〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200

E-mail: tsunekawa@cs.chubu.ac.jp

あらまし 人口減少、高齢化、財政難等の課題が多い地方中核都市において、無線メッシュネットワーク (M-NW) と対話型人工知能を用いてエネルギー問題を克服するシステムの構築を検討した。これは高セキュリティで個人レベルでも不満なく、かつ災害/犯罪への安全対策が可能で、利便性が高く人のつながりを確保する自律分散制御型エネルギーマネジメントシステム (EMS) である。特に利便性が高く魅力的な自律・対話型ホーム EMS (HEMS) を商用化して各家庭での機器購入を促すことで、地域財政を圧迫せずに普及を図ると共に地元企業の活性化を図る。さらにこのデモシステム構築とネットワークの設計法を具体的に示した。

キーワード エネルギーマネジメントシステム, EMS, 自律分散制御, メッシュネットワーク

Prototype of Interactive HEMS and Proposal of Autonomous Distributed Control Energy Saving on Regional Network

Koichi TSUNEKAWA

College of Engineering, Chubu University, 1200 Mtsumoto-cho, Kasugai-shi, Aich, 487-8501 Japan

E-mail: tsunekawa@cs.chubu.ac.jp

Abstract : In the challenges many regional hub city, there are many problems, such as population decline, aging, financial difficulties, etc. We examined the construction of a system to overcome the energy problem by using an interactive artificial intelligence and wireless mesh network (M-NW). This is not dissatisfaction also at the individual level in the high-security, and possible safety measures to the disaster / crime, is an autonomous distributed control energy management system to ensure the high human connection is convenience (EMS). In particular, highly convenient attractive autonomous, interactive home EMS the (HEMS) and commercialization to encourage the equipment purchase at each home, revitalize the local businesses along with the attempt to spread without pressure on the regional financial.

Keyword Energy management systems, EMS, an autonomous distributed control, mesh network

1. まえがき

本年4月より始まった電力自由化⁽¹⁾により、使用者が電力会社を選んだり、使用者側が発電して電力を売ることも容易になった。しかし、現状はスマートメータの設置や契約が遅れており、十分に対応できていない⁽²⁾。地方中小都市や全国で実効的に電力自由化が実施されるのは、かなり先になると考えられる。この理由は「設置工事が必要なこと」「自己負担が発生すること」であり、さらに家電などの制御もしたいとなると「対応する家電が少ない」「買い替えが必要」という問題が残る。さらに本施策では自治体の財政抛出も必要となり、地方都市ではコストに対する導入メリットが十分得られるのか疑問も生じる。

この解決策は、エネルギーマネジメントシステム (EMS) のエンドデバイスとして使用者が魅力を感じる商品を作り、使用者が進んで購入することで普及させること。それらを通信ノードとして、自律分散制御かつ自己連結型のメッシュネットワークを自然発生的に

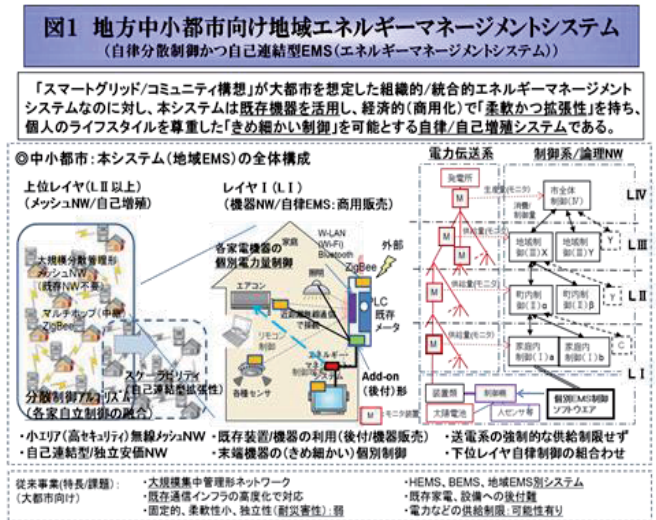
構築することが有用な一手段と考える。そこで、シーリングライトに機能を組み込み、各種家電製品の外部制御によるアドオン型で、個人を認証してその人に合った省エネプランを喋って提案する、対話制御型かつ人の気持ちがわかる家庭用 EMS (コシェルジュ HEMS) を提案試作した⁽³⁾。さらに各 HEMS が (エンド/中継) 通信ノードとなって無線メッシュネットワークを作り、新たな (低速) 地域ネットワークを構築し、地域のエネルギー制御に適用するシステムを提案する。同様の HEMS は開発されている⁽⁴⁾が、本 HEMS は制御システムと NW での連携に特徴があり、かつ実働デモを構築した。本発表はコシェルジュ HEMS の概要、デモシステム構築とネットワークの設計法を具体的に検討したので報告する。

2. システム概要

図1に本システムの概要を示す。中小規模の地方都市への展開を考えて、個人や家庭、建物、工場などを単位とした自立分散 EMS を主体とし、その有機的な連携により地域 EMS が構築されるスケーラビリティ分散

システムを目指す。特に最下位レイヤとなる各家庭向け HEMS（ホームエネルギーマネジメントシステム）は個人のライフスタイルを尊重した「きめ細かい制御」を可能とし、外見上は単なるシーリングライトとしての早期の商用化を図る。これにより地域財政に負担の少ないネットワークが自己増殖的に構築できる。このシステムの技術的特徴は以下4点にある。

1. EMS 単位でのエネルギー消費/生産の特性・意図を取り込んだ「きめ細かい制御（個人対応）」
2. 中央集中管理機能が無いことによる「柔軟性と拡張性」
3. 地域財政を圧迫しない「使用者負担（商品化）」と既存装置への「後付け（アドオン）化」
4. 無線小エリア複合による独立メッシュネットワークの「高いセキュリティ性」、「付加価値」



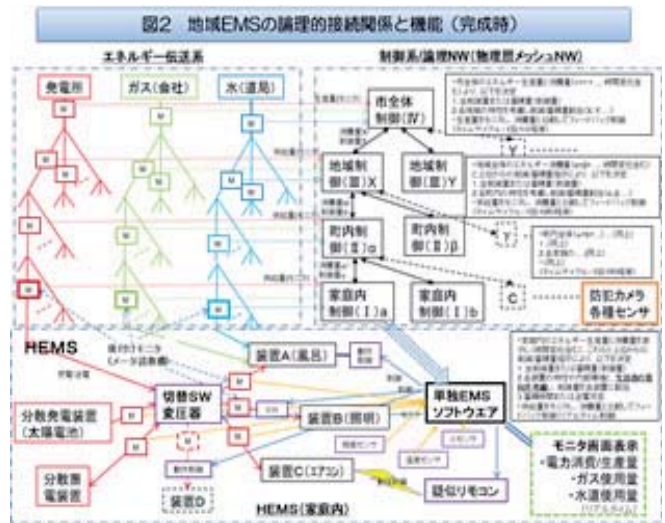
本システムは家庭や工場、病院などを単位 EMS とする分散システムであるが、エネルギー制御は末端の装置のみで行うことを原則とする。すなわち、家電製品、工業ロボット、検査機器等をその装置単位で制御する。これにより各 EMS 単位での「きめ細かい制御」が可能となると共に、そのエネルギー制御削減シナリオを各家庭や組織、個人で設定できるようにする。これは使用者が不満を持たずにエネルギー削減（使用者利益）をもたらすものであり、公共的支援を得ずとも商品化による販売で「使用者負担」による普及が進む。また個々の EMS は、メッシュネットワークにおけるノードとして周辺ノードとの連携を図る。各自律制御機器を緩やかにコントロールことで地域全体として適切なエネルギー制御を行う。具体的には、各隣接 EMS 同士を無線で繋ぐのみのメッシュネットワークとし、それは商品化（ユビキタスシーリングライト）による販売で自己増殖的に広がる。このような制御単位を複数レイヤ化することで個々の EMS における個別の動作を地域として吸収しながら全体のエネルギー消費量を抑える。

3. 論理NW構成と制御動作

全体の系統図を別紙の図2に示す。本来エネルギーは、個々人や組織の意思や戦略に沿って使用するものであり、同じエネルギー量でもその価値は使う人や組織、さらには装置によって違うという理念に基づいている。

このような理念を実現するため、本システムはエネルギー伝送系（電力、ガス、水道）に一切流量制御機能を持たせていない。末端装置の稼働状況を使用者が調整してエネルギー量の制御を行う仕組みになっている。従って、各家庭や地域ごとに持つ制御機能を融合して全体制御を行う分散処理形のシステムとなる。制御系は各 EMS の制御系から都市全体までの階層的制御（レイヤ構成）で行う。

信号通信系のハードウェア構成は中距離伝送が可能な Zigbee 等によるマルチホップ形として既存 NW に依存しない構成とした。Web の利用はセキュリティに問題がある。独立無線マルチホップによるメッシュNWは伝送容量が低く遅いという課題があるが、通信範囲が狭く独立していることから「高いセキュリティ性」を持つ利点がある。そこでレイヤが上がるにつれて制御を時間的に緩やかにすることで広域での伝送容量を抑えている。



4. HEMS（レイヤ I：デモシステム）の構成

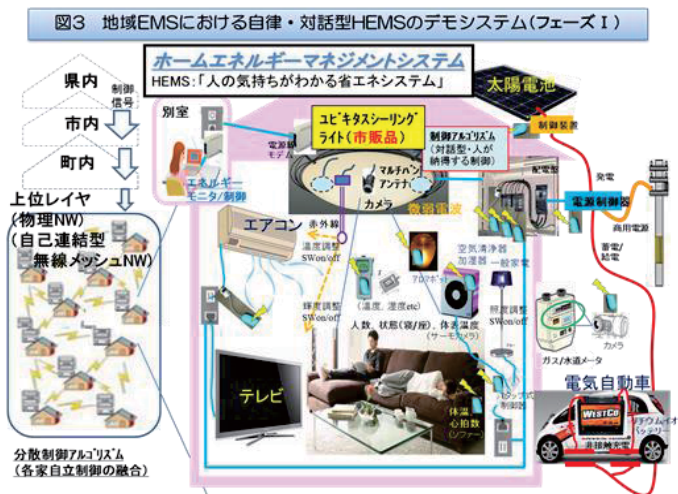
本開発では図1の中央（レイヤ I）部分をデモシステムとして構築する。これは図3に示す“人の気持ちがかかるホームエネルギーマネジメントシステム（HEMS）”として商用化を狙っている部分である。

図3に HEMS における装置制御の概要を示す。各装置にセンサと通信装置を取り付ける。電力であれば、電源コンセントやテーブルタップの中に電流計、SWと ZigBee または PLC 装置を埋め込む。またブレーカの中ではクランプ式の電流計とする。複雑な制御が必要な装置（エアコンなど）では信号学習形のリモコンを用

いて制御を行う。環境の測定は温度、湿度と照度センサで行い、人の有無や体温はサーモカメラを設置し画像解析により測定/判断する。将来はガス、水道もメータをカメラ映し文字認識を行う。

更にサーモカメラによる人体表面温度、ソファ等へのセンサ設置による心拍数、呼吸数、体温の測定、また空気清浄器、アロマポットの制御等を行い、「人が心地良い」という状態を作り出す。さらには特定個人の健康データや職業、日々の生活リズムなど多くの個人情報を取り込んで学習をする。この省エネコシェルジュソフトウェアは今後の設計開発事項である。

システムアーキテクチャは3群のNW部（センサNW、制御NW、解析NW）と伝送部、制御部、データベース、付加システムからなる。



5. メッシュNWの構築検討

商用化を狙うユビキタスシーリングライト（ZigBee）で地域メッシュNWを構築するための現実的な基礎検討を行った。

・室内伝搬

9×7×2.8mの什器の無い部屋で電界強度の測定実験を行った。実装置（ZigBee）で受信電界強度を表示させ、天井（シーリングライト）とセンサ（地上）送信時の距離特性（例）を図4に示す。

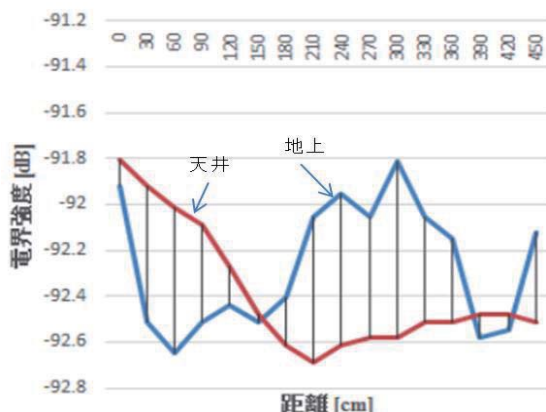


図4 屋内伝搬特性 (2.4G)

明らかに屋内の定在波が観測され、特にセンサ側からの送信データは、距離に比例せず場所依存性がある。また大型什器後などで送受の通しが無い場合には 5 dB 以上の受信電界低下が見られた。センサはシーリングライトより 5 以内を目途に設置し、適度（数 cm）に動かして高い電界強度を得る位置を探ることがよい

・室外（廊下）伝搬

屋外はほぼ自由空間と考えることとし、集合住宅やオフィスへの適用を想定して、廊下の伝搬特性を検討した。図5に示すように、直線/T/十字にモデルに分け、それらの組み合わせで電界強度を推定できる。

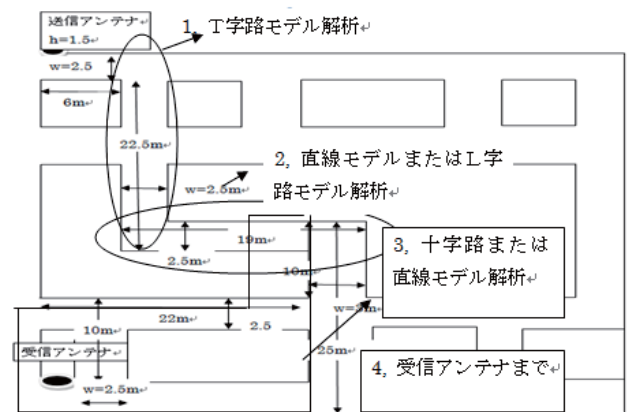


図5 室外（廊下）のモデル

直線廊下では、多くの実測結果を総合すると、3 dB 程度のバラツキがあり、廊下の幅や高さ、送受信点高さで変動があるものの、平均約 0.5 dB/m で電界強度が低下すると考えられる。

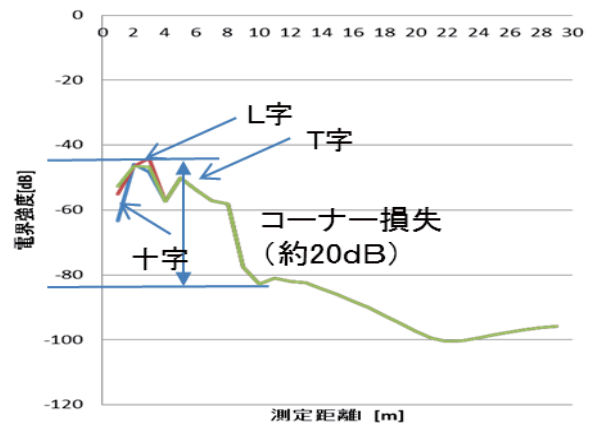


図6 室外（廊下）の電界強度特性

一方、廊下の曲り角（コーナー）では、同じく 3 dB 程度のバラツキがあるが、図6に示すように、廊下のコーナーで全て平均約 20 dB の電界強度低下が起こる。非常に大きな値であり、間違いなくコーナー毎に中継器が必要になる。

・中継伝送

さらに、実際に中継器を設置した場合の効果を実際に調べた。センサの無線パケットをランダムに発信し、

10 回は何回エラーでパケット損失となったかを図 7 に示す。非常に単純な実験ではあるが、今までの伝搬実験で推定できるように、約 10m 毎に中継器を置くことが有効であることがわかる。これは集合住宅の配電盤センサを中継器として NW が構築できるとを示す。

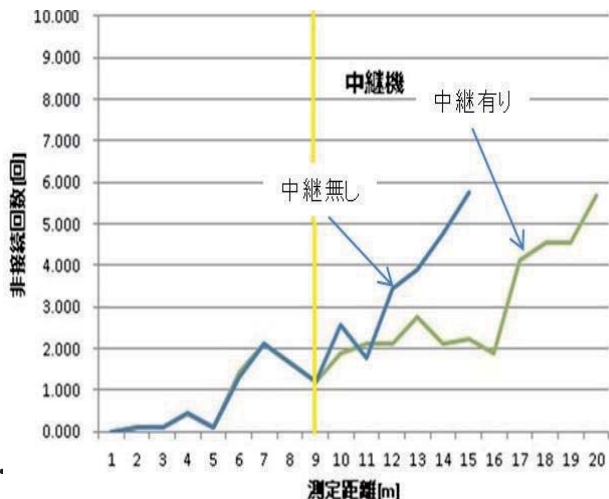


図 7 に示すように、中継器を約 10m 毎に設置することで、配電盤内における電力センサの無線信号を扉の隙間でスロットアンテナを形成して外部に中継する。

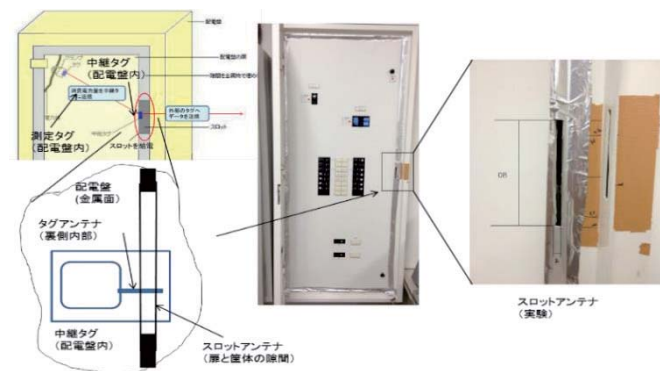


図 8 配電盤内タグ中継用スロットアンテナ

配電盤内の中継器のアンテナ近傍にドアの隙間を埋めてスロットアンテナを形成する。タグのモノポールアンテナとスロットアンテナを結合させることで、外部に強い放射を得る。タグ自体のアンテナに細工をしてはいないので、電波法上の問題はない。ただし、スロットアンテナに給電点が無いので、結合や入力インピーダンスを測定することが出来ない。すなわち、設計構造パラメータの評価基準は筐体外部の電界強度しかない。そこで、シミュレーションにより構造パラメータをほぼ決定し、実測で効果の確認と微調整をおこなった。

図 5 に一例として、中継タグとアンテナの近似としてのダイポールアンテナとスロットアンテナの相対位置(オフセット量)による正面電界強度の変化を示す。明らかに結合量や入力インピーダンスでスロットアン

テナからの放射電界強度が変化し、さらに放射パターンもスロット設置場所の偏りによって非対称になっていることがわかる。しかし、詳細設計は不可能であるため、実測で効果を確認する。

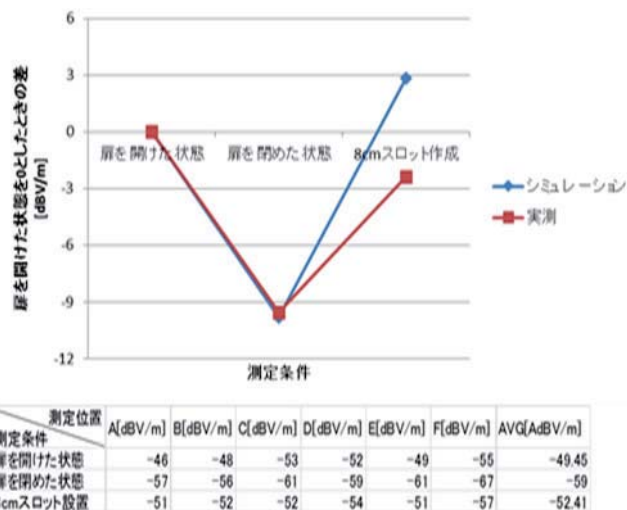


図 8 室内における実測正面方向電界強度

中規模オフィス/実験室程度の部屋で、実際の電界強度を複数点で測定した結果と平均したグラフを図 8 に示す。この測定結果より配電盤を閉めた状態より約 7 dB 電界強度が向上し、ドアを開けた状態とほぼ同じ外部電界強度が得られている。これはシミュレーションでも同様の結果となっている。

6. まとめ

本システムの概要と構築法について説明をした。中小規模都市の全体的なエネルギー制御を各家庭や工場の個々の装置レベルで行うもので、拡張性が高く既存インフラや装置を変更することなく導入できる。自己増殖的なメッシュ NW の上で論理 NW を階層的に機能分割することで分散処理により制御可能とした。これらは実装置 (ZigBee) を用いたデモシステムとして実動させ、中継法についても実測で具体的指針を示した。

特に商用化による普及が期待でき、地方財政を圧迫することなく、地方や個人宅に EMS が普及が促進するものと考えられる。そして、新たな地方 NW として様々な付加価値を地域にもたらす。なお、本研究は「清水建設株式会社」との共同研究により行ったものである。

文献

- (1) “電力小売全面自由化” 経済産業省 http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/electricity_liberalization/
- (2) “東電、次世代電力計の設置に遅れ” 日経新聞 http://www.nikkei.com/article/DGXLASDZ24HUT_U6A320C1T11000/ 03-24, 2016
- (3) 常川 “電界結合形電力伝送を利用した屋内ユビキタスシステムの提案” 信学技報, AP2015-100, 2015
- (4) 安部他 “無線センサネットワークを用いた簡易型表示系 HEMS の開発と評価” 情報処理学会論文誌, 52-2, 2011