

ベンダー非依存型 EMS における  
水平分離アーキテクチャの研究

村上隆史

神奈川工科大学  
電気電子工学専攻

2017 年

# 概要

機器の製造ベンダーに依存することなく、IoT化した機器（コントローラ、省エネ機器、創エネ機器、蓄エネ機器）同士を連携することによって、エネルギーの有効的な活用を実現するエネルギーマネジメントシステム（EMS）の普及に向け、「ベンダー非依存型 EMS における水平分離アーキテクチャの研究」を実施した。

従来、特に業務用においては、特定のベンダーの機器やサービスで構成する垂直統合型のシステム構築が一般的であったことに対し、様々なベンダーが事業参画可能な水平分離型のアーキテクチャを提案した。そして、このアーキテクチャを支える技術を確立した。一点目は、センサ類、白物家電、設備系機器などの小リソース機器を容易に IP 化・IoT 化するための技術である「IoT 通信技術（ECHONET Lite, ISO/IEC 14543-4-3）」の仕様策定を行うとともに、標準化提案のための仕様書を作成した。その仕様を元に標準化（国際標準化含む）を推進し、開発する技術者やベンダーの増加を実現した。二点目は、業務用のシステム機器の IoT 化対応を可能とする「システム機器グループ管理技術（機器オブジェクト詳細規定, IEC 62394 Ed.3）」の研究開発を実施した。その結果についても仕様書を作成して標準化（国際標準化含む）を推進し、制御対象となるシステム機器の増加を実現した。これらの成果を活用し、水平分離アーキテクチャに基づいたベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム（Vender-Independent type Energy Management System: VIEMS）を設計し、VIEMS を実際の小型小売店舗へ導入した。IoT 対応機器が少ない VIEMS 導入当初は自動制御と手動制御とのハイブリッド制御を実施し、徐々に IoT 対応機器への入れ替えを実現することで、スモールスタート可能な EMS 導入を実現した。「技術者、ベンダーの増加」、「制御対象機器の増加」、「初期投資を抑えたシステム導入」を実現したことから、エネルギーマネジメントシステムの普及に対して期待できる結果を示した。詳細は、以下の章立てにて記載した。

第 1 章にて、エネルギーマネジメントシステムの実施が必要な背景を明確化し、本論文における研究の目的や方針を説明した。そして、高圧小口向けの需要家に対する施策が不十分であり、小型小売店舗へ展開することの重要性をまとめた。

第 2 章にて、小型小売店舗へのエネルギーマネジメントシステム導入に関する課題を明らかにして、エネルギーマネジメントシステムにとって重要な機器とコントローラ間の国際的な標準通信仕様に関する調査、評価を実施した。エネルギーマネジメントシステム導入の課題を解決するための目指すべき水平分離型のアーキテクチャの提案とともに、このアーキテクチャを実現するために必要な技術を明確にした。

第 3 章にて、「IoT 通信技術 (ECHONET Lite, ISO/IEC 14543-4-3)」を確立した。具体的には、小リソース機器の IP 化/IoT 化を容易に実現する ECHONET Lite の通信仕様を作り、作成した仕様を元に「一般社団法人エコーネットコンソーシアム」にて、技術委員長及び担当 WG の主査として標準化活動を提案、推進した。そして、作成した通信仕様について実機でのマルチベンダー間相互接続検証を実施した。最終的にはこの通信仕様を ISO/IEC JTC1 SC25 WG1 に国際標準化提案を行い、Editor として国際標準文書の作成を担当するとともに、会議での F2F レビューを通じて各国専門家からのコメントや質問に対して仕様を説明し、ドラフト投票時における各国からのコメントに対応して、最終的に ISO/IEC 14543-4-3 として発行されることとなった。

第 4 章にて、「システム機器グループ管理方式 (機器オブジェクト詳細規定, IEC 62394 Ed.3)」の研究結果と検証結果をまとめた。一般家庭に設置する機器と店舗などに設置する業務用のシステム機器とのアーキテクチャの違いを整理し、IoT 化した業務用のシステム機器の機器構成を把握するために必要な「グループ情報」について研究開発を実施し定義した。そして、このグループ情報を「一般社団法人エコーネットコンソーシアム」にて、技術委員長及び担当 WG の主査として標準化活動を推進するとともに、システム機器であるショーケースやパッケージエアコンを管轄する工業会「日本冷凍空調工業会」に働きかけ、「グループ情報」の導入を合意した。その結果として、エコーネットコンソーシアムより「ECHONET 機器オブジェクト詳細規定」にて公開した。また、「グループ情報」含めた機器の制御コマンドを IEC TC100 TA9 に国際標準提案を実施した。Project Leader として国際標準文書を作成するとともに、会議において各国専門家に対して仕様を説明した。さらに、提案文書の品質の高さや国内における使用実績などを元に標準化手順の短縮を提案し、Committee Draft の Voting から標準化プロセスを開始することができ、最終的に IEC 62394 Ed.3 として発行されることとなった。

なお、第 3 章、第 4 章に示すこれらの活動に関する評価として、国内での活動については、日本電機工業会より「電機工業技術功績者表彰：優良賞」を団体で受賞し、国際標準活動については、情報処理学会・情報規格調査会より「国際規格開発賞」を受賞した。

第 5 章にて、目指すべき水平分離アーキテクチャに基づいた「ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (VIEMS)」を実際の小型小売店舗に導入した。垂直統合型のシステムは初期投資が高く、機器の入れ替えが困難という課題に対し、導入当初は標準対応の機器が少ないという状況を鑑みて、VIEMS を導入し「自動制御と手動制御のハイブリッド制御の有効性の検証結果」と「徐々に ECHONET Lite 対応機器へ入れ替え」を実現することより、スモールスタート可能なエネルギーマネジメントシステム導入の実現を達成した。

第 6 章にて、本論文の結果として、「ベンダー非依存型 EMS における水平分離アーキテクチャ」として以下の事項を整理提示した。「IoT 通信技術」及び「システム機器グループ管理技術」が、研究開発、仕様検証、標準化（国際標準化の推進含む）を通じて確立し、その結果、「技術者、ベンダーの増加（第 3 章）」、「制御対象機器の増加（第 4 章）」、「スモールスタートでのシステム導入（第 5 章）」を実現したことで、ベンダー非依存型 EMS における水平分離アーキテクチャを確立できたことを示し、エネルギーマネジメントシステムの普及が期待できることを提示した。今後の展開として、ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (VIEMS) の多数の店舗展開に向けた検討事項や海外への普及の観点で全体のまとめを提示した。

# 目次

第 1 章	序論	7
1.1	背景	7
1.2	研究の目的と方針	10
1.3	小型小売店舗におけるエネルギーマネジメントシステムの重要性	12
1.4	本論文の構成	14
第 2 章	設計指針	17
2.1	小型小売店舗へのエネルギーマネジメントシステム導入の目的	17
2.2	小型小売店舗へのエネルギーマネジメントシステム導入における従来の課題	19
2.3	機器とコントローラ間の国際的な通信仕様の調査, 評価	21
2.4	目指すべき基本システムアーキテクチャ	24
第 3 章	IoT 通信技術の開発と相互接続性の検証, 及び標準化の推進	28
3.1	ECHONET 規格の課題検討と新通信仕様の標準化検討	29
3.1.1	標準化仕様提案時における課題	29
3.1.2	従来の ECHONET 規格の課題	30
3.1.3	エコネットコンソーシアムにおける標準化検討	33
3.1.4	ECHONET Lite の仕様策定	34
3.1.5	産官学連携による ECHONET Lite の普及促進	40
3.2	エネルギーの有効活用の事例による IoT 通信技術の検証構成	41
3.2.1	有効な電力活用を実現するユースケース	41
3.2.2	標準仕様を用いた実現方法	42
3.2.3	実機を用いた検証	45
3.2.4	相互接続性を向上するための取組み	50
3.3	国際標準化提案活動	51
3.3.1	国際標準化提案活動の重要性	51
3.3.2	ECHONET Lite の国際標準化活動	52
3.4	本章のまとめ	55
第 4 章	システム機器グループ管理技術の方式検討および標準化推進	57
4.1	小型小売店舗の構成	59
4.2	一般の機器とシステム機器とのアーキテクチャの差異	60
4.3	システム機器の IoT 化	63
4.3.1	システム機器の IoT 化における課題	63
4.3.2	システム機器の構成の判別方法	64
4.4	システム機器の構成の判別方法事例	66
4.4.1	AV 機器などで用いられている記述方式	66

4.4.2	その他の通信仕様について .....	67
4.4.3	コントローラのアプリケーションにおける設定方式.....	68
4.5	システム機器の IoT 化における ECHONET Lite の検証.....	68
4.5.1	検証システムの構成 .....	69
4.5.2	ショーケース及びショーケース室外機の検出.....	69
4.5.3	システム機器の構成の識別 .....	72
4.6	成果に対する標準化への取組み .....	76
4.6.1	日本国内における標準化の取組み .....	76
4.6.2	国際標準化の取組み .....	77
4.7	本章のまとめ .....	78
第 5 章	ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (VIEMS) の実用化技術の検証.....	79
5.1	ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (Step1) の構築.....	80
5.1.1	構築したエネルギーマネジメントシステムの概要.....	80
5.1.2	省エネ制御要求受信時の動作 .....	82
5.1.3	B ルート経由での電力データの収集.....	84
5.2	VIEMS (Step1) におけるハイブリッド制御の結果 .....	85
5.2.1	小型小売店舗における省エネ制御の効果.....	88
5.2.2	参加型エネルギーマネジメントシステムの有効性.....	89
5.2.3	小型小売店舗における VIEMS のハイブリッド制御の有効性.....	90
5.3	VIEMS (STEP2)における ECHONET Lite 対応システム機器への入れ替え.....	91
5.4	本章のまとめ .....	94
第 6 章	結論.....	95
謝辞	.....	100
参考文献	.....	102
図目次	.....	108
表目次	.....	110
付録	.....	111

# 第1章 序論

## 1.1 背景

グローバルに地球温暖化による危機が顕在化してきているが、その一因として、近年世界的に電力需要が急速に拡大[1]していることがあげられ、エネルギーに関する課題解決が急務な状況となっている。また、日本国内においても、特に2011年3月11日の東日本大震災を契機に、エネルギー問題への取組みが重要となり、国策として推進されている[2]。さらに、2015年のCOP21パリ協定において、日本は2030年までに2013年比で温室効果ガス削減を26.0%削減する目標が国際的な約束となっている[3]。これらに対する対応例として、機器単体での省エネ機能の継続した向上や、再生可能エネルギーの導入加速など、エネルギー問題への対応が継続して行われてきている。

機器単体での省エネ機能の向上という観点では、例えばエアコンにおいては、2015年度の商品と10年前の2005年度の商品を比較すると、約30%の省エネ機能を実現している[4]。冷蔵庫においても同様に2005年度の商品と2015年度の商品を比較すると、約70%の省エネを実現している[4]。また、再生可能エネルギーの導入に関して、例えば2009年11月より太陽光発電などの再生可能エネルギーの固定価格買取制度[5]が始まり、日本国内において太陽光発電システムの普及は急速に進んできている。太陽光発電システムにおける日本国内における発電量の推移を図1.1[6]に示す。

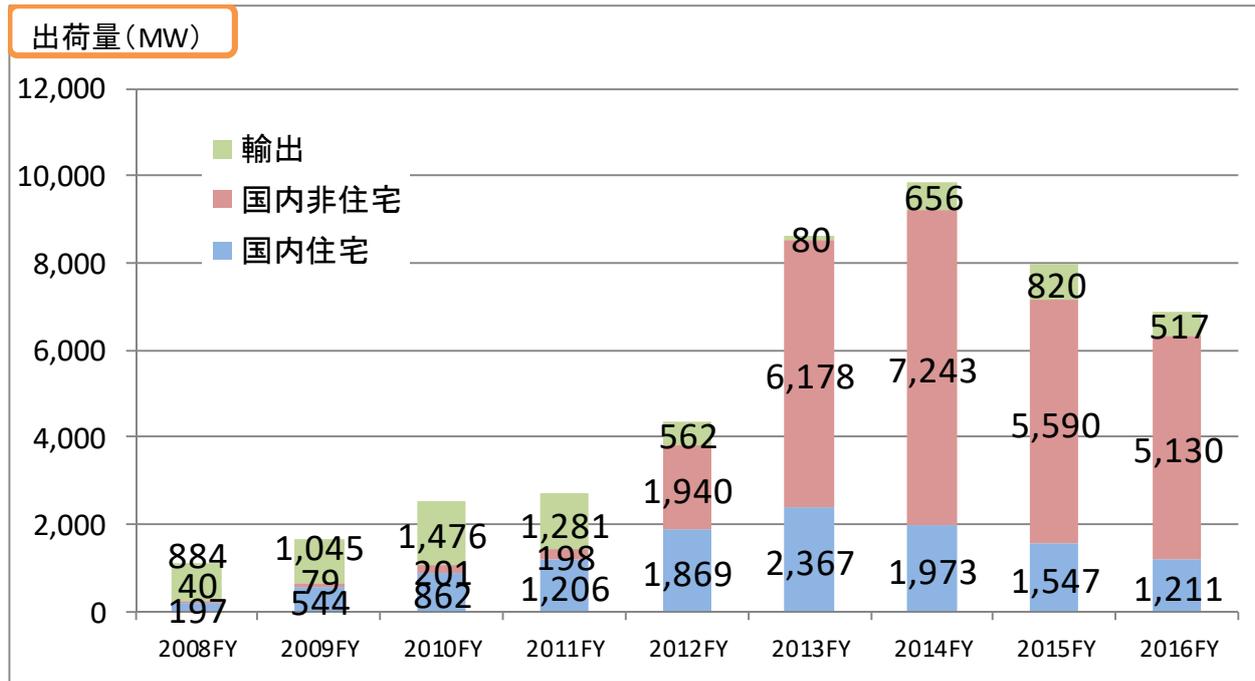


図 1.1 日本の太陽電池モジュールの出荷量の推移

しかし、そのような状況でありながら、日本国内における各部門（運輸部門、業務部門、家庭部門、産業部門）における消費エネルギーについては、図 1.2 に消費エネルギーの遷移を示す通り、特に家庭部門、業務部門においては、1973年と比較して2.4倍と消費エネルギーが伸びている[7]。このことから、機器単体での省エネは、一定の効果はあるが、エネルギー全体の削減には限界があることを示している。

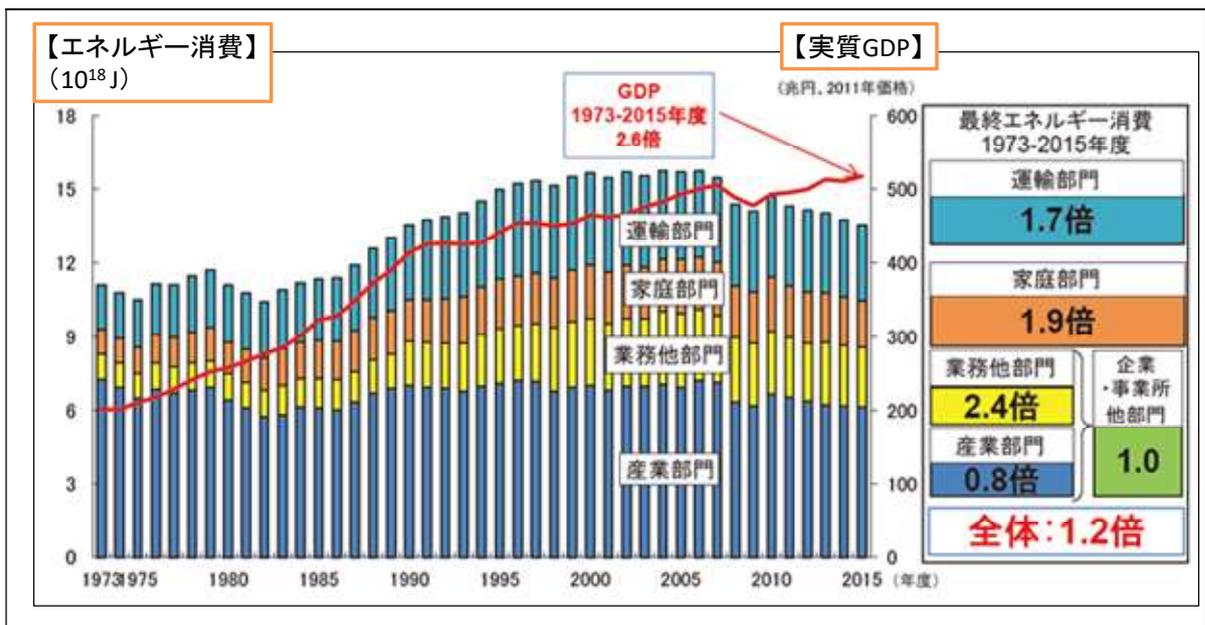


図 1.2 消費エネルギーの遷移

また、太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーについては、効果の大きさへの期待がある半面、図 1.3、図 1.4[8]に示すように、安定した電力供給が困難であるため、導入量に限界があるという問題点を抱えている。

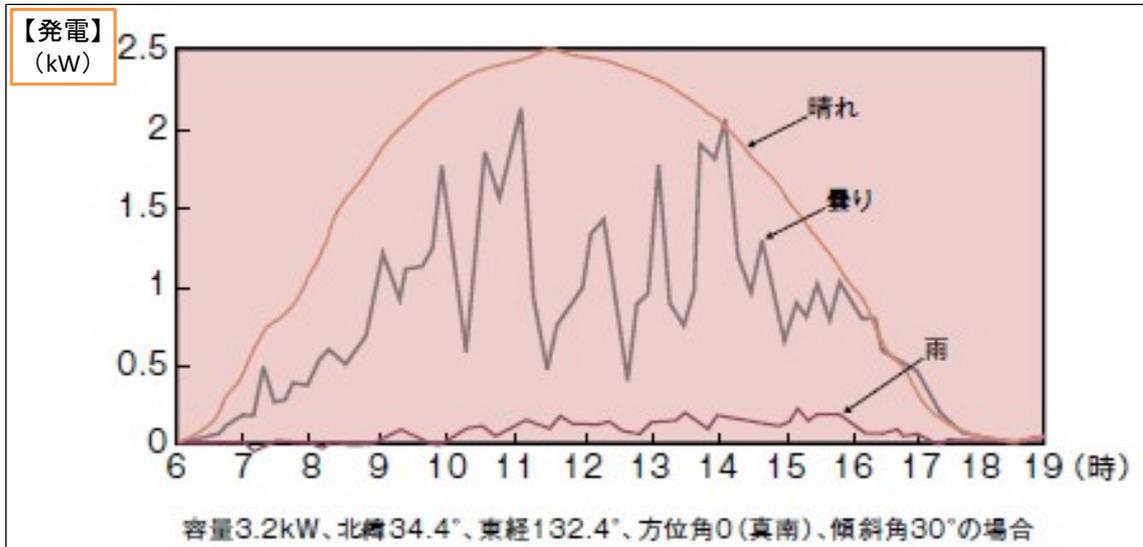


図 1.3 太陽光発電における発電の遷移(春季)

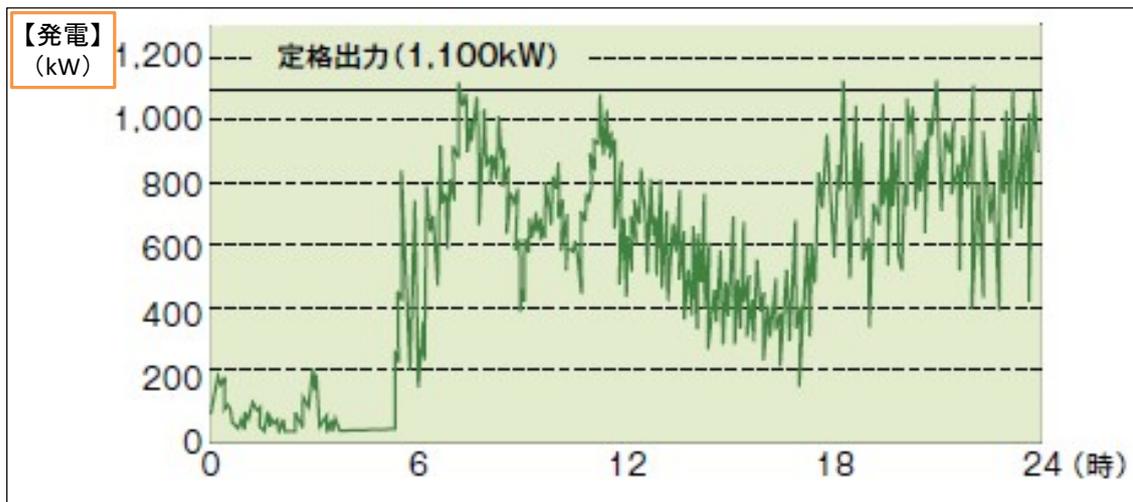


図 1.4 風力発電における発電の遷移(冬季)

特に曇天時に不安定な電力供給となる太陽光発電による発電量は、近年は Feed In Tarrif (FIT)の買取価格の低下などのため前年比では減りつつあるものの図 1.1 に示すように、大幅に増加していることから、2015年1月には、一定量を超えた太陽光発電について、電力会社が出力の抑制を要求することが可能となる規則改定[9]が行われている。太陽光発電の出力を制御することは電力を廃棄

することと同意であり、再生可能エネルギーの導入についても、十分な対策を取れていない。

このような状況の中でエネルギー問題の解決に向けた機器の省エネ機能の向上や再生可能エネルギーの導入推進に加え、再生可能エネルギーが出力する電力を廃棄せずに地産地消によるより高効率な電力の使用を実現する必要がある。機器単独の性能向上や再生可能エネルギーの導入だけでは限界があるため、ネットワーク機能を持った機器同士が連携することで、全体最適の観点でエネルギー利用の効率を高めることが重要である。具体的には、省エネ機能が改善している機器（家庭用／業務用エアコン、照明、ショーケースなど）、再生可能エネルギー（太陽光発電、風力発電など）、創エネ機器（燃料電池など）、蓄エネ機器（蓄電池、電気自動車充放電器／充電器、HP 給湯機など）、電力を計測するスマート電力量メータ（高圧／低圧）などをネットワークで接続して連携させることで、地産地消によるエネルギーマネジメントが実現可能なものとなる。

また、2015年11月26日の未来投資に向けた官民対話における「ネガワット取引市場を2017年までに創出する」という首相指示[10]への対応に向けても、エネルギーマネジメントシステムの導入は必要不可欠である。このような状況に加えて、すべての需要家においてスマート電力量メータが導入されることが決定されており、2024年までに一般家庭や小型小売店舗などにおいて必ず1台の通信仕様を具備した機器がインフラとして設置される状況である[11]。このような状況からもエネルギーマネジメントシステムを導入しやすい状況がそろいつつある。

## 1.2 研究の目的と方針

図 1.2 に示す通り家庭部門と業務他部門のエネルギー消費量は増加しており、これらに対しエネルギーマネジメントシステムを導入することでエネルギー消費量を削減させることが重要になる。全国の電力ピークの需要は、図 1.5 に示すように、日本国内における電力契約は「特高・高圧大口需要家」、「高圧小口需要家」、「低圧需要家」に分類され、それぞれが三分の一ずつとなっている[12]。特高・高圧大口需要家は主に、大型ビルや工場などが主な対象である。また、エネルギー消費量が増加している家庭部門と業務他部門については、高圧小口需要家は中小ビル、小型小売店舗、集合住宅などが主な対象であり、低圧需要家は主に一般住宅が対象となる。

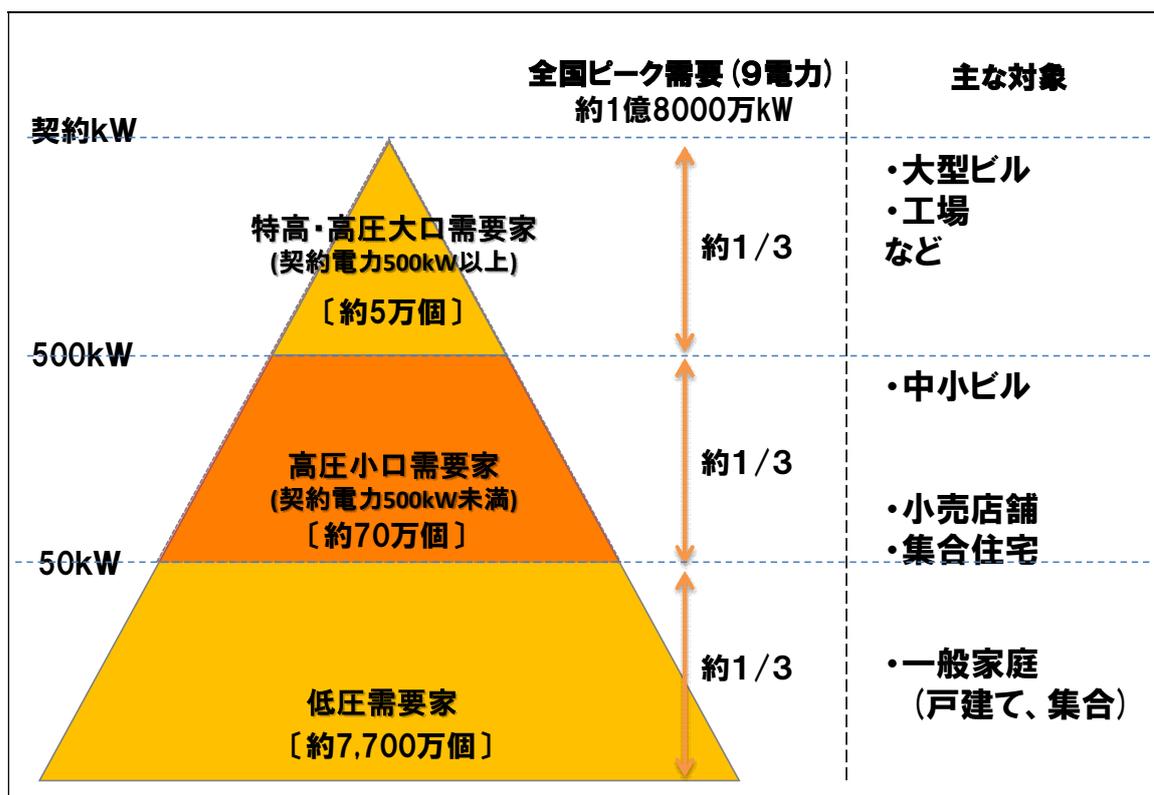


図 1.5 各需要家における契約電力

大規模ビル向けにおいては、ビルマネジメントシステムが一般住宅や小型小売店舗などに先駆けて導入されており、快適性や利便性を維持しながらリモートメンテナンス、一括制御、エネルギーマネジメントなどを通じて、管理コストを下げるなどの価値を利用者に提供し続けてきている[13][14]。しかし、一般住宅や中小ビル、小型小売店舗といった一般住宅より大きくビルより小さい建造物については、標準通信機能を搭載した機器の導入や一般家庭内や小型小売店舗におけるシステム導入が大規模ビルと比較すると進展は遅れていた。

また、一般家庭向けのエネルギーマネジメントシステムである Home Energy Management System (HEMS) については、2011年度の東日本大震災以降、日本国内において産官学が一体となった検討[15][16]もあり、課題解決に向けて日本全体で様々な取り組みが行われている。具体的には、HEMSの動向を整理するだけでなく[17]、家電のIoT化するための手法[18]、HEMSにおける家電の制御に関する手法[19][20]、そしてエネルギーマネジメントの評価するためのツールに関する実装[21]など多岐にわたっている。しかし、高圧小口需要家に関する取組みはまだ不十分であり、高圧小

口需要家である小型小売店舗や中小ビルにエネルギー管理システムが導入されていたとしても、特定のベンダーの機器やサービスで構成する垂直統合型のシステムが構築されることが一般的であった[22][23]。そこで、本研究においては、エネルギー管理システムに様々なベンダーが事業参画可能となるように、ベンダー非依存型エネルギー管理システムにおける水平分離型のアーキテクチャを提案し、研究を行った。なお本論文においては、高圧小口需要家のうち小型小売店舗を最初のターゲットとした。その理由については次節に記載する。

### 1.3 小型小売店舗におけるエネルギー管理システムの重要性

図 1.6 に示す通り、日本国内において小型小売店舗であるコンビニエンスストアの店舗数は毎年増加が続いている。例えば平成 27 年 3 月時点では 52,620 店であったのに対し、平成 28 年 3 月時点では 54,018 店と、一年間でも約 1,400 店舗増加している[24]。また、図 1.7 に示す通り、コンビニエンスストアにおけるエネルギー消費量も年々増加しており[25]、コンビニエンスストアにおける 1 か月あたりの電気代は約 30 万円程度となっている ([26][27][28]より推計)。これらのデータから、省エネを実施するにあたり、小型小売店舗は効果の大きい需要家の有力な候補と考えることができる。

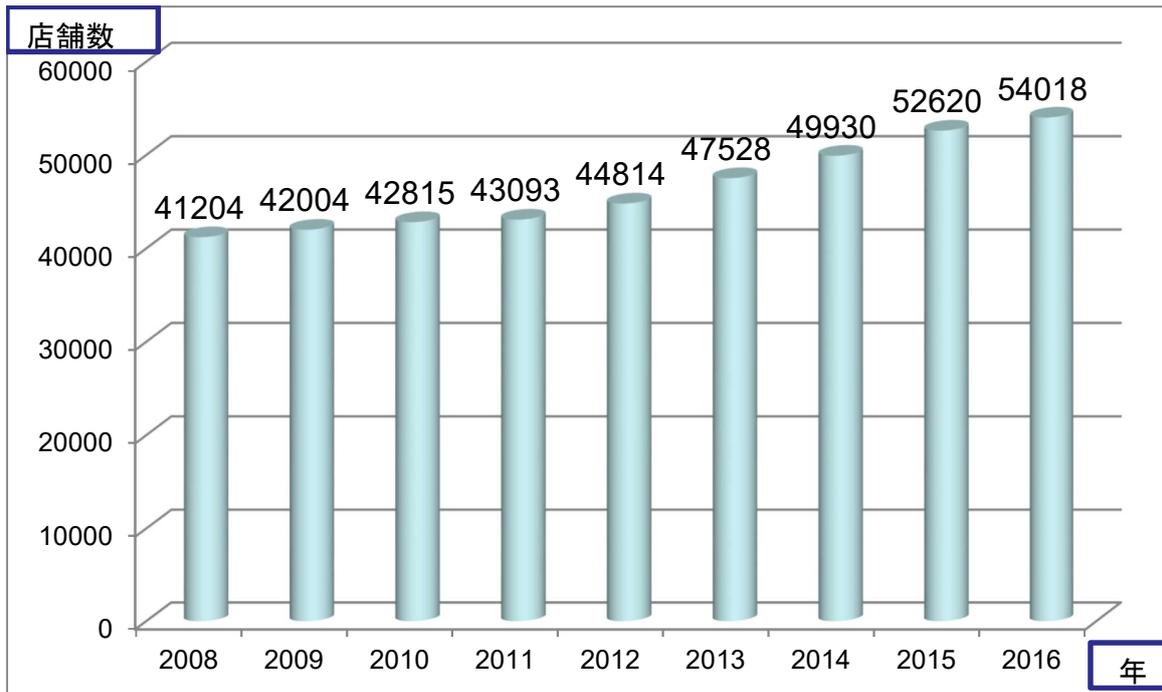


図 1.6 コンビニエンスストアの店舗数の遷移



図 1.7 コンビニエンスストアにおけるエネルギー消費量の遷移

エネルギーマネジメントシステムをこれらの店舗に導入しない場合は、省エネ効果は主に機器単体による省エネ効果のみとなるが、エネルギーマネジメントシステムを導入することで、機器単体の省エネ効果に加えエネルギーマネジメントシステムによる有効的な電力利用（電力の地産地消）

や、デマンドレスポンス（DR）による省エネやネガワット取引のインセンティブ受領など、多岐にわたる効果を出すことが期待できる。

日本国内における電力システム改革が生み出す新たな環境と連動することも重要である。平成 27 年 7 月からは東京電力サービスエリア全域[29]，中部電力サービスエリア全域[30]，関西電力サービスエリア全域[31]でスマートメーターの B ルート実装が開始されている。また，平成 28 年 4 月には全国の全ての需要家は，電力会社への設置申請から 13 営業日以内にスマートメーターで計測した電力関連のデータを B ルート経由で取得できるようになることが経済産業省における官民連携機関 JSCA スマートハウス・ビル標準・事業促進検討会で合意され，ガイドライン[32] [33]として発表されている。この結果，小型小売店舗をはじめとする高圧小口の需要家においても，IoT 対応の機器が必ず少なくとも 1 台は設置される状況となっている。

## 1.4 本論文の構成

以下，第 2 章にて，小型小売店舗へのエネルギー管理システムの導入に関する課題を明らかにして，エネルギー管理システムにとって重要な機器とコントローラ間の国際的な標準通信仕様の調査，評価を実施した。エネルギー管理システム導入の課題を解決するための目指すべき水平分離型のアーキテクチャの提案とともに，このアーキテクチャを実現するために必要な技術を明確にした。

第 3 章にて，「IoT 通信技術（ECHONET Lite, ISO/IEC 14543-4-3）」を確立した。具体的には，小リソース機器の IP 化/IoT 化を容易に実現する ECHONET Lite の通信仕様を作り，作成した仕様を元に「一般社団法人エコーネットコンソーシアム」にて，技術委員長及び担当 WG の主査として標準化活動を提案，推進した。そして，作成した通信仕様について実機でのマルチベンダー間相互接続検証を実施した。最終的にはこの通信仕様を ISO/IEC JTC1 SC25 WG1 に国際標準化提案を行い，Editor として国際標準文書の作成を担当するとともに，会議での F2F レビューを通じて各国専門家からのコメントや質問に対して仕様を説明し，ドラフト投票時における各国からのコメントに対応して，最終的に ISO/IEC 14543-4-3 として発行されることとなった。

第 4 章にて、「システム機器グループ管理方式（機器オブジェクト詳細規定，IEC 62394 Ed.3）」の研究結果と検証結果をまとめた。一般家庭に設置する機器と店舗などに設置する業務用のシステム機器とのアーキテクチャの違いを明確にして，IoT 化した業務用のシステム機器の機器構成を把握するために必要な「グループ情報」について研究開発を実施し定義した。そして，このグループ情報を「一般社団法人エコーネットコンソーシアム」にて，技術委員長及び担当 WG の主査として標準化活動を推進するとともに，システム機器であるショーケースやパッケージエアコンを管轄する工業会「日本冷凍空調工業会」に働きかけ，「グループ情報」の導入を合意した。その結果として，エコーネットコンソーシアムより「ECHONET 機器オブジェクト詳細規定」にて公開した。また，「グループ情報」含めた機器の制御コマンドを IEC TC100 TA9 に国際標準提案を実施した。Project Leader として国際標準文書を作成するとともに，会議において各国専門家に対して仕様を説明した。さらに，提案文書の品質の高さや国内における使用実績などを元に標準化手順の短縮を提案し，Committee Draft の Voting から標準化プロセスを開始することができ，最終的に IEC 62394 Ed.3 として発行されることとなった。

なお，第 3 章，第 4 章に示すこれらの活動に関する評価として，国内での活動については，日本電機工業会より「電機工業技術功績者表彰：優良賞」を団体で受賞[34]し，国際標準活動については，情報処理学会・情報規格調査会より「国際規格開発賞」を受賞[35]した。

第 5 章にて，目指すべき水平分離アーキテクチャに基づいた「ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (VIEMS)」を実際の小型小売店舗に導入した。垂直統合型のシステムは初期投資が高く，機器の入れ替えが困難という課題に対し，導入当初は標準対応の機器が少ないという状況を鑑みて，VIEMS を導入し「自動制御と手動制御のハイブリッド制御の有効性の検証結果」と「徐々に ECHONET Lite 対応機器へ入れ替え」を実現することより，スモールスタート可能なエネルギーマネジメントシステム導入の実現を達成した。

第 6 章にて，本論文の結果として，「ベンダー非依存型 EMS における水平分離アーキテクチャ」として以下の事項を整理提示した。「IoT 通信技術」及び「システム機器グループ管理技術」が，研究開発，仕様検証，標準化（国際標準化の推進含む）を通じて確立し，その結果，「技術者，ベンダーの増加（第 3 章）」，「制御対象機器の増加（第 4 章）」，「スモールスタートでのシステム導入（第

5章)」を実現したことで、ベンダー非依存型 EMS における水平分離アーキテクチャを確立できたことを示し、EMS の普及が期待できることを提示した。今後の展開として、ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (VIEMS) の多数の店舗展開に向けた検討事項や海外への普及の観点で全体のまとめを提示した。

## 第2章 設計指針

本章では、小型小売店舗へのエネルギーマネジメントシステム導入の目的を整理する。そして、エネルギーマネジメントシステム導入における従来の課題を整理した。特に取組みが不十分である機器とコントローラ間の標準通信仕様に関する調査と評価を実施し、目指すべき水平分離型のアーキテクチャの考え方について整理した。そして、水平分離型のアーキテクチャの実現に向けて必要な技術について明確にした。

### 2.1 小型小売店舗へのエネルギーマネジメントシステム導入の目的

エネルギーマネジメントシステムを導入していない一般的な小型小売店舗の構成例を図 2.1 に、エネルギーマネジメントシステムを導入する小型小売店舗の構成例を図 2.2 に示す。

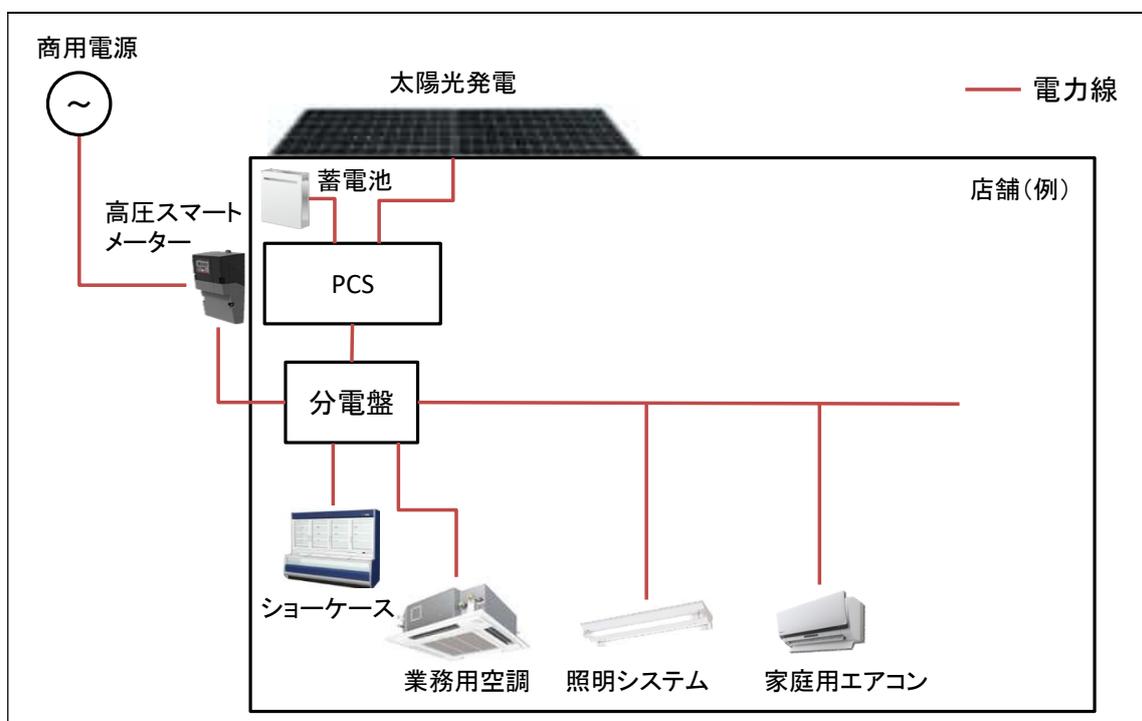


図 2.1 エネルギーマネジメントシステムを導入していない店舗事例

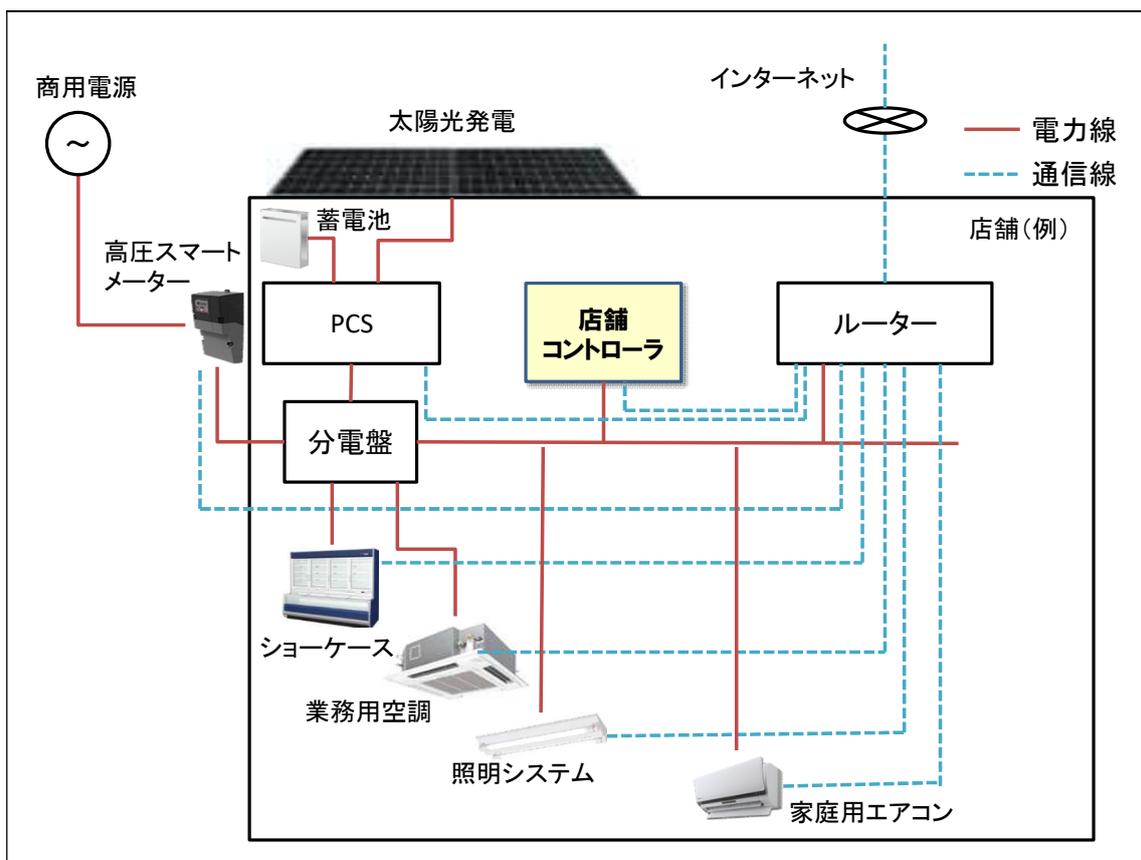


図 2.2 エネルギーマネジメントシステム導入済みの店舗事例

エネルギーマネジメントシステムを導入する店舗については、図 2.1、図 2.2 に示す通りエネルギーマネジメントシステムを導入していない店舗に情報を運ぶ通信線を追加し、電気を運ぶ電力線と情報を運ぶ通信線とで構成される。通信線は無線、有線いずれも考えられる。電力の観点では、商用電源と接続するスマートメーターが最上位になるが、情報の観点では、すべての機器（スマートメーター含む）を束ねる店舗コントローラが最上位になる。

図 2.1 のような店舗において、省エネルギーを推進するためには、省エネ性能が高い機器への入れ替え、店舗の店員による手動制御が主な手段である。それに対して、エネルギーマネジメントシステムを導入することによって、機器の入れ替えや手動制御だけでなく、「遠隔からの自動制御」、「デマンドレスポンスなどのサービスによる省エネ制御」といったアプリケーションによって、エネルギーの削減量を増やすことが可能になる。エネルギーマネジメントシステム未導入店舗と導入店舗におけるエネルギーの削減量の差分イメージを図 2.3 に示す。

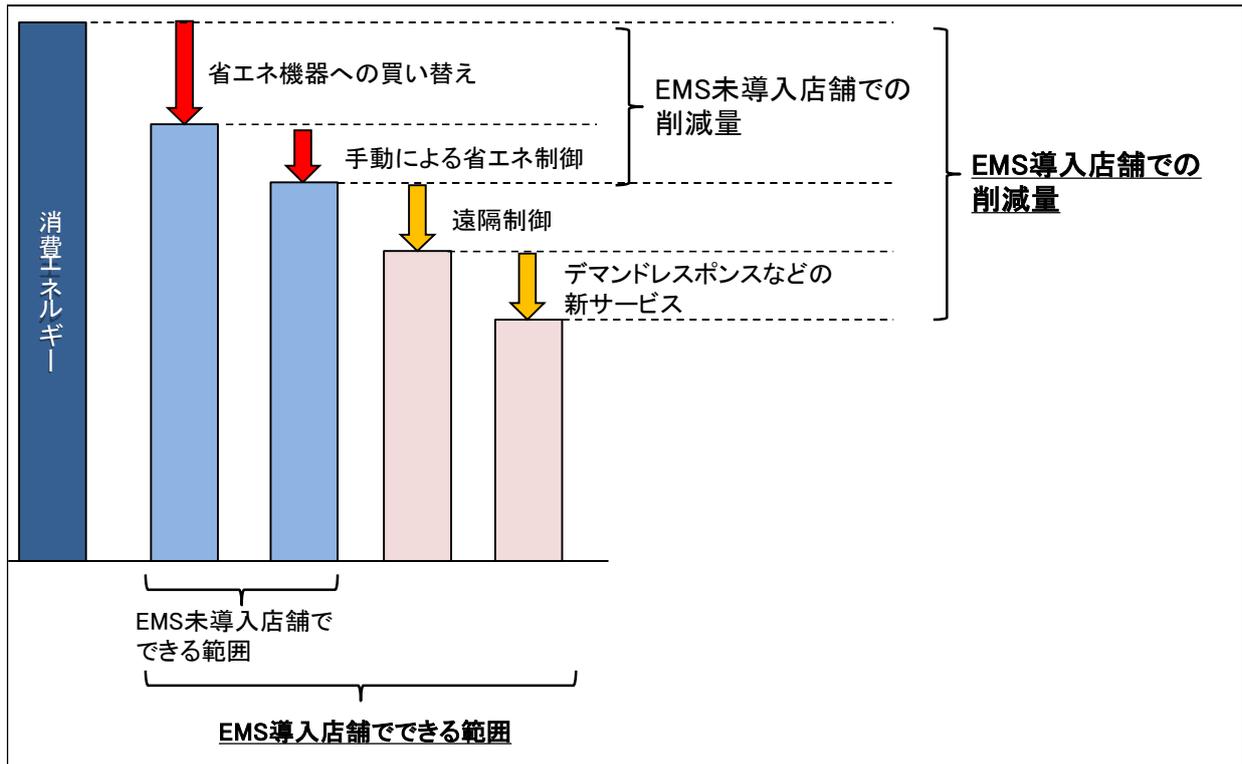


図 2.3 削減量の差分イメージ

また、太陽光発電の買取価格は毎年下がってきており [5]、グリッドパリティの時代に到達すると、経済合理性の観点からでも発電した太陽光電力は発売するより自家消費で使用されるようになる。その場合、エネルギーマネジメントを管理するコントローラは、IoT 化された太陽光発電の余剰電力を確認すると、蓄電池に充電指示を出すことでエネルギーの地産地消を実現し、より高効率なエネルギー利用を実現することができる。また、機器を IoT 化すると、設備管理、リモートメンテナンスなどの新規サービスの追加も可能になる。

## 2.2 小型小売店舗へのエネルギーマネジメントシステム導入における従来の

### 課題

従来の小型小売店舗で実施しているエネルギーマネジメントシステムのモデルとしては、大きく以下の 2 パターンに分類されており、普及にはつながっていない。

- 独自のセンサシステムによるデータ収集や、分電盤に設置する CT 計測により、電力関連

の情報の収集，見える化を行うモデル[36][37][38]

- 端末や機器からインターネット上のサービスまでを垂直統合にシステムを構築するモデル[39][40]

エネルギーマネジメントシステム導入における一つ目の課題として，一般的に導入されているエネルギーマネジメントシステムは，下流の機器から上流のサーバ上のサービスまで新規に垂直統合に構築するモデルになっている．このモデルは，実証実験などにおいて機器の遠隔制御や状態参照を実施するためのシステムを容易に構築できるメリットがある．しかし，設置可能な機器のベンダーやコントローラなどが固定化され中長期的に機材の入れ替え時にベンダーの選択肢が少なくなってしまう課題や，入れ替えが困難であるため導入当初より大規模システムが必要であり，初期投資が大きくなるという課題がある．このような垂直統合型のシステムアーキテクチャを図 2.4 に示す．

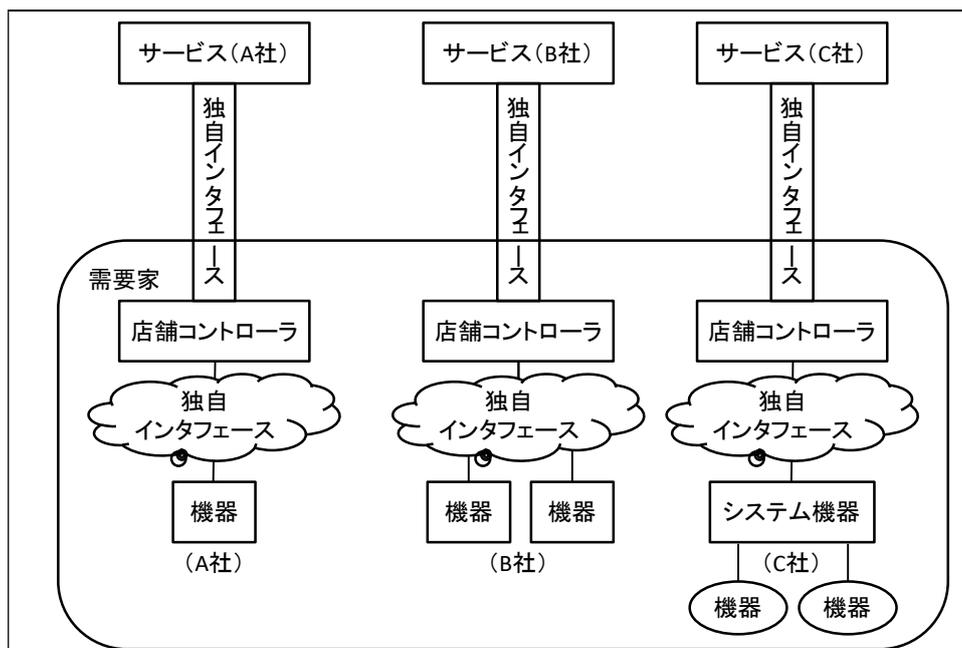


図 2.4 垂直統合型のシステムアーキテクチャ

二つ目の課題としては，提供するシステムが独自方式を用いたセンサシステム構築によるデータ収集や使用エネルギーの見える化にとどまっており，他社機器を含め遠隔制御可能な機器が少なく，システムの拡張性に乏しい点である．

三つ目の課題として，小型小売店舗において，エネルギーマネジメントシステム導入の初期投資を抑える観点から，エネルギーマネジメントを実行するために遠隔からの自動制御を可能とする標

標準通信方式対応の機器を全店に導入することは困難である。また標準通信方式対応の機器の普及は始まったばかりで選択肢が少ない状況でもある。したがって、導入当初は、標準通信方式対応の機器の導入には限りがあり、そのため、遠隔制御を用いたエネルギーマネジメントの効果が小さくなってしまふことが考えられる。

## 2.3 機器とコントローラ間の国際的な通信仕様の調査、評価

小型小売店舗へのエネルギーマネジメントシステムの導入に向けて、様々な研究、開発などが行われてきているが、基本的には同一ベンダー環境での取組みが中心となっている[41][42]。小型小売店舗に設置されているすべての機器が同一のベンダーで構成されていることはないため、エネルギーマネジメントシステムをマルチベンダーで導入するにあたり、様々な機器が共通の標準通信仕様に対応する機能を搭載することが必要になる。

本研究において、小型小売店舗に設置される IoT 化対応機器間の連携することによって、エネルギーマネジメントを実現に向けて、国際的な標準通信仕様の調査から着手する。基本的には、標準の通信仕様が存在している「ホームネットワーク向けの通信仕様を導入するアプローチ」と「ビルマネジメント向けの通信仕様を導入するアプローチ」が考えられる。これらのアプローチにおける現在のそれぞれの状況を表 2-1 にまとめる。

表 2-1 各アプローチにおける現在の状況

アプローチ	状況
ホームネットワーク適用	規格として ECHONET, ZigBee など存在するが、マルチベンダー相互接続環境での導入が不十分
ビルマネジメント適用	BACnet, LONWORKS などの通信仕様があるが、ネットワーク管理者が必要であり、中小規模でのシステム構築にはコスト高

「ビルマネジメント適用」に関しては、ビルマネジメントシステムの用途において、BACnet[43], Lonworks[44]などの標準仕様の通信プロトコルが存在している。しかし、これらのプロトコルはネットワーク管理者が必要なビルオートメーションシステムのようなシステムに用いられることが一

般的である。しかし、今回の研究対象とした小型小売店舗などの環境においては、通常ネットワーク管理者は不在であるため、これらの通信仕様を採用することは困難な状況である。したがって、ホームネットワーク向けの通信仕様を適用してエネルギーマネジメントシステムを導入することが適していると判断した。

ホームネットワーク向けの通信仕様として、ECHONET[45][46], ZigBee[47][48], Z-wave[49][50], KNX[51]などといった通信仕様が存在しており、これらの通信仕様の導入を検討するため、各通信仕様の調査と評価を実施した。

国内において公共性の高い事業に用いる場合や、事業をグローバルに展開する場合を考慮すると、国際標準は重要な観点であり、一点目の評価ポイントとしてあげた。伝送メディアについては、相互接続性の観点や伝送メディアの調達の観点で、Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth など様々な標準的な伝送メディアの利用が可能であることが重要である。したがって、標準伝送メディアの利用可否について、二点目の評価ポイントとしてあげた。また、伝送メディアについては、いずれも長所、短所の両方を持っている点と、様々な伝送メディアが新たに標準仕様として市場に出てくることを考慮し、サービスやシステムの要件などによって、自由に伝送メディアを選択可能であることが重要であり、三点目の評価ポイントとしてあげた。また、通信プロトコルを統一しても、機器の制御コマンドまで標準化をしていなければ、結局は相互接続を実現することができない。したがって、制御コマンドの機器の数を四点目の評価ポイントとした。また、センサネットワークの応用事例としてエネルギーマネジメントとの連携に関する研究[52][53][54]も数多く実施されており、将来的なセンサネットワークへの適用も重要な要素と考えた。そのため最後に電池駆動のセンサでも搭載可能な省リソースの通信仕様であるかどうかを五点目の評価ポイントとした。各通信仕様について、調査して検討した結果について、表 2-2 にまとめた。

表 2-2 各通信仕様の評価

	ECHONET	ZigBee	Z-wave	KNX
国際標準	○	△	○	○
標準伝送メディアの利用	△	○	○	△
伝送メディア選択の自由度	△	×	×	△
制御コマンド数	◎	△	△	△
センサ類への搭載	○	○	○	×

表 2-2 に示す評価ポイントにおいて、ZigBee と Z-wave については、使用できる伝送メディアが決められているため、選択自由度の評価を「×」とした。KNX については、従来ビル向けにも利用できる通信仕様を一般家庭用に適用していることもあり、センサ類など電池駆動の機器を対象にはしていない。そのため、センサ類への搭載について評価を「×」とした。また、ECHONET の制御コマンド数は他の通信仕様と比較すると圧倒的に多い[55]。この点が、特に ECHONET が他の通信仕様と比べて優勢だった点であり、評価を「◎」とした。具体的に、エネルギーマネジメントシステムに用いる主な機器を中心に調査した各標準仕様において定義している制御コマンドの比較を表 2-3 に示す。

表 2-3 規定している制御コマンドの比較

	ZigBee		Z-wave	KNX	ECHONET
	SEP2.0	ZHAP1.0			
太陽光発電	△※1	×	×	×	○
燃料電池	×	×	×	×	○
HP 給湯機	△※1	○※2	○※2	○	○
蓄電池	△※1	×	×	×	○
エアコン (HVAC)	△※1	○	○	○	○
IH クッキングヒーター	×	×	×	×	○
洗濯乾燥機	×	×	×	×	○
オープンレンジ	×	×	×	×	○
電気式床暖房	×	×	×	×	○
照明	△※1	○	○	○	○
食器洗乾燥機	×	×	×	×	△
分電盤	×	×	○	○	○
スマートメーター	○	×	○	○	○

※1：デバイスとして定義はされているが、詳細コマンドの定義が無い

※2：“water heater”として定義

以上より、表 2-2、表 2-3 に示した結果からエネルギーマネジメントシステム構築時のマルチベンダー相互接続を考慮すると、ECHONET をベースに検討することが望ましい結論とづけた。しかし、ECHONET 規格を用いたエネルギーマネジメントシステムにおいて普及は十分ではなく、また技術面においても課題があった。「第 3 章 IoT 通信技術の開発と相互接続性の検証、及び標準化の推進」において、ECHONET の技術課題を抽出するとともに、新しい IoT 通信技術である ECHONET Lite の検討結果について整理した。

## 2.4 目指すべき基本システムアーキテクチャ

目指すべきシステムアーキテクチャに対する基本的な考え方を本節にて整理する。また、小型小売店舗へのエネルギーマネジメントシステムの導入に向けては、小規模投資での開始が重要であり、導入過程に必要となる手動制御含めた考え方を説明する。

市場を構築していくために、「見える化だけではなく、他社機器含めた遠隔制御機能を要するシステム」、「導入当初は小さな投資による小さなシステムで開始し、徐々に様々なベンダーの参画も可能な形でシステムを拡大できる方式」という 2 点の要件を満たすことができるシステムアーキテクチャを検討する。具体的には、標準化インタフェースを活用して、機器とコントローラとサービスを水平分離可能なシステムアーキテクチャを検討する。このような思想については M2M アーキテクチャ[56]という形で検討が行われてきているが、実際の市場にエネルギーマネジメントシステムを導入していくためには、実際に用いる仕様を具体化することが必要である。今回提案するシステムアーキテクチャを図 2.5 に示す。

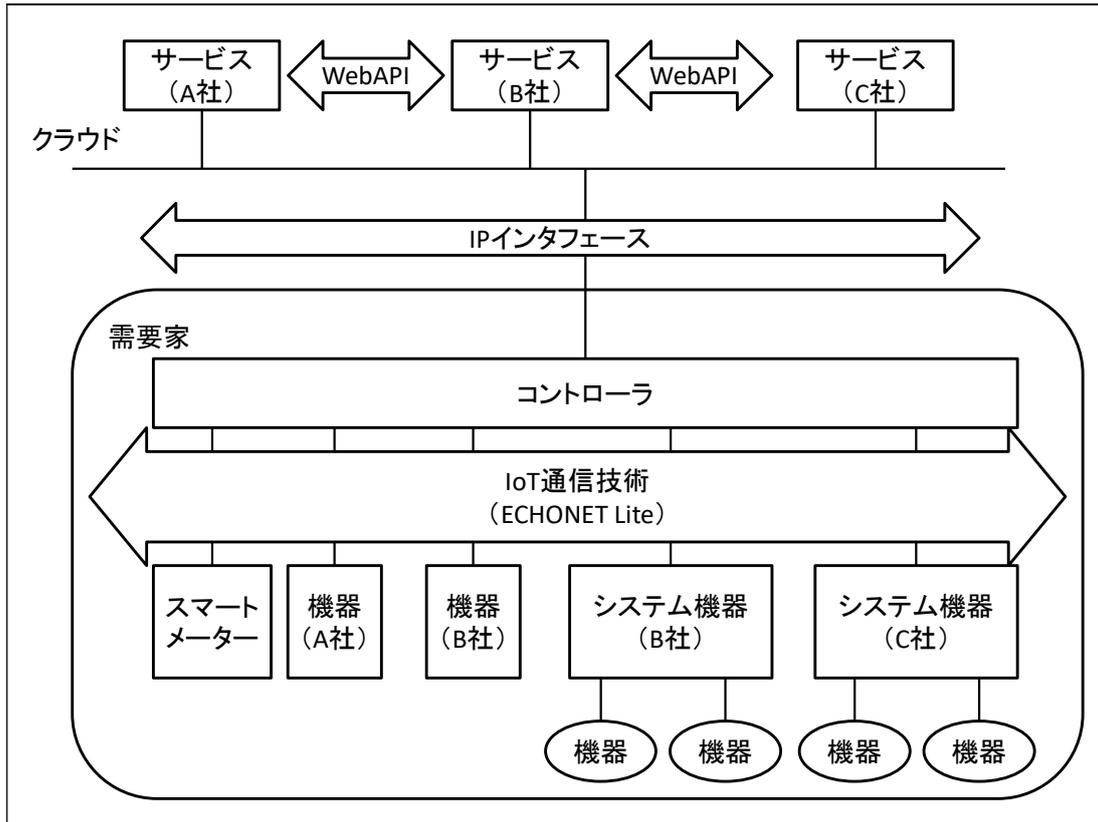


図 2.5 水平分離型のシステムアーキテクチャ

また、「2.2 小型小売店舗へのエネルギーマネジメントシステム導入における従来の課題」に三つ目の課題として記載した通り、エネルギーマネジメントシステムを構築して継続的にエネルギーマネジメントを行うことが重要であるが、特にエネルギーマネジメントシステム導入当初は、エネルギーマネジメントを実施するために自動制御が可能な標準通信方式対応の機器は限られる。特に設備系の機器は10年近く利用することが一般的であり、標準通信方式対応の機器の導入速度は10年かけて徐々に入れ替わるようになる。そのため、小型小売店舗のエネルギーマネジメントシステムを拡張する過程において、小型小売店舗の従業員が参加できるエネルギーマネジメントシステムすなわち従業員による手動制御と自動制御とを合わせたハイブリッド制御を実現するシステム構築が重要である。したがって、ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステムを構築するにあたり、省エネの効果だけでなく、従業員のエネルギーマネジメントへの参加の可能性についても検証を行う。

水平分離型のシステムアーキテクチャに基づき、これらの要件を満たすベンダー非依存型エネルギー

ギーマネジメントシステム (VIEMS) を実際の小型小売店舗へ導入して展開を実現するために、以下の項目を明確化した。特に一点目と二点目については、小型小売店舗へエネルギーマネジメントシステムを導入するにあたり、前段階として取り組まなければならない事項である。

一点目は、下記に示すステップにおいて、IoT 通信技術を具体化して確定させた。具体的には、前節にて様々な国際的な標準通信仕様に調査、評価したうえで選択した ECHONET をベースにして技術的な課題を抽出し、それらの課題を解決した新しい通信仕様である「IoT 通信技術」を明確にした。さらに、その「IoT 通信技術」について、標準化活動の推進を行い、様々な技術者の意見を集約し規格化を実現した。さらに、日本国内での標準化だけでなく、国際標準のためのドラフト作成、及び標準化提案を自ら行い、国際標準化を達成することができ、海外にも通用する「IoT 通信技術」であることを証明した。「IoT 通信技術」の研究開発に関する内容を第 3 章に記載する。また、この「IoT 通信技術」のマルチベンダー相互接続性の検証結果についても、第 3 章に記載する。

二点目は、「1.2 研究の目的と方針」に記載した通り、小型小売店舗や中小ビルなどにエネルギーマネジメントシステムを導入するに当たり、業務用パッケージエアコンやショーケースなどの業務用のシステム機器の IoT 化が重要になる。これらのシステム機器を IoT 化するための「システム機器グループ管理技術」の方式を検討し、その結果について、標準化活動を推進した。国際標準仕様書の作成、及び提案を自ら行い、IoT 通信技術と同様、国際標準として承認されることとなった。また、開発したエミュレータを用いて、「システム機器グループ管理技術」の確からしさを検証した結果含めて第 4 章に記載する。

三点目として、目指すべき水平分離アーキテクチャに基づいた「ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (VIEMS)」を実際の小型小売店舗に導入した。垂直統合型のシステムは初期投資が高く、機器の入れ替えが困難という課題に対し、「自動制御と手動制御のハイブリッド制御の有効性の検証」と「エネルギーマネジメントシステムの 2 ステップでの導入」により、スモールスタートでのエネルギーマネジメントシステム導入を実現した結果について第 5 章にまとめる。

なお、クラウド上に存在している様々なサービス同士の連携にあたっては、一般的な技術である WebAPI[57][58][59]を用いることで、各種サービスやデータの連携を実現することが可能になる。需要家内に設置されるコントローラは需要家における情報のゲートウェイの位置づけとし、IP イ

ンタフェースにより、クラウド上のサービスと接続する。この構成を水平分離型のシステムアーキテクチャの基本的な考え方とする。

水平分離型のアーキテクチャに基づくベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム（VIEMS）を導入することによって、機器の状態やエネルギーの見える化だけでなく機器の遠隔制御についても、ベンダーの制約を受けないエネルギーマネジメントシステムとなる。また、VIEMSは、垂直統合型のシステムとは異なり、機器とコントローラとサービスが疎結合の関係であるため、店舗内における機器の交換時やクラウド上のサービスの交換時において、特定の機器ベンダーに制限されることがない。そして、各機器は標準通信仕様でシステムに接続するため、異なるベンダーの機器に入れ替える場合でも、システム全体を更新する必要なく交換することができる。その結果、省エネ性能の高い機器への入れ替えなど、機器自身の性能で機器を選択することが可能となる。

# 第3章 IoT 通信技術の開発と相互接続性の検証，及び標準化の推進

本章では、「2.4 目指すべき基本システムアーキテクチャ」で記載した新しい「IoT 通信技術」に関する深掘りを行う。目指すべきシステムアーキテクチャにおける本章の位置づけを図 3.1 に示す。

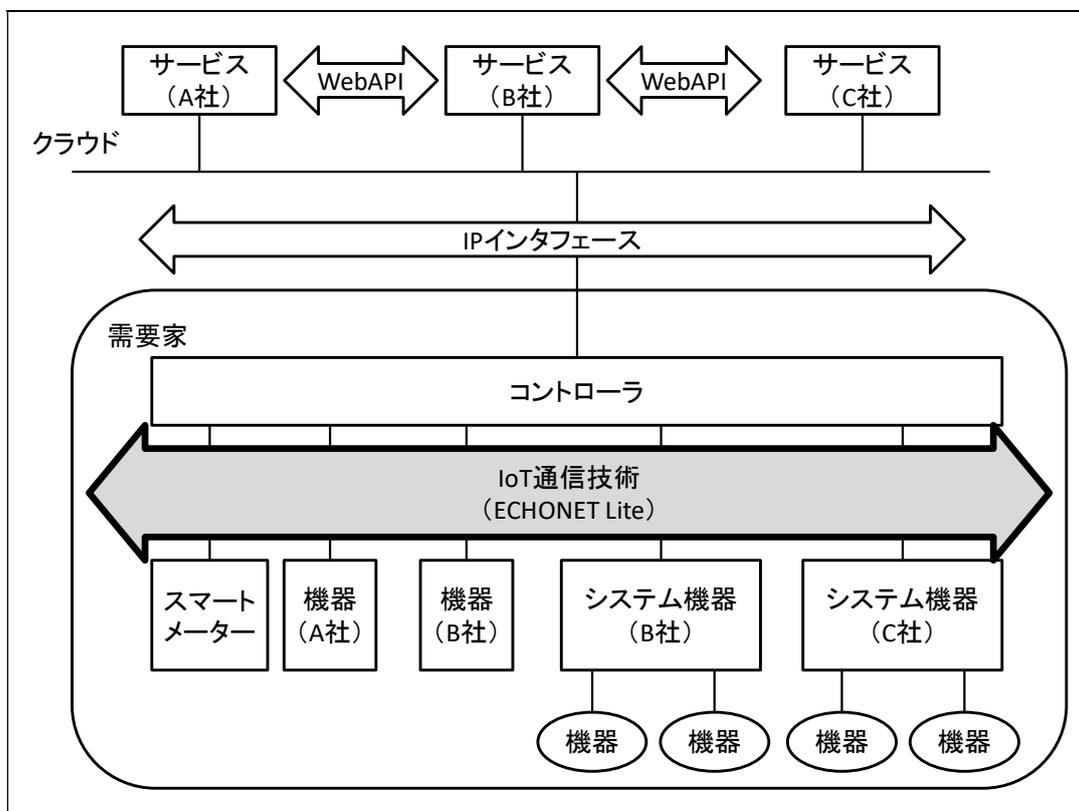


図 3.1 水平分離型システムアーキテクチャにおける本章の位置づけ

具体的には、「IoT 通信技術」を確立するために、以下に示すステップで仕様検討から標準化までを実施した。

1. 有力な通信仕様と判断した ECHONET 規格に関する技術課題の検証を行い，課題解決に向けた方向性の検討と標準化の戦略策定を行った。
2. 技術課題を解決する仕様案を策定し，その策定した仕様案を元に，標準化活動を推進

した。

3. 実機を用いて、マルチベンダー接続の環境を構築し、策定した仕様案の相互接続性の検証を実施した。
4. 国際標準仕様ドラフトを作成し、世界各国の Expert への提案、説明を F2F で実施し、最終的に国際標準仕様 ISO/IEC 14543-4-3 として、承認された。

以下、これらのステップを通じて、ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (VIEMS) における IoT 通信技術として ECHONET Lite を確立し、その結果、開発技術者及びベンダーの増加を実現した。詳細な説明については、次節以降に記載した。

## 3.1 ECHONET 規格の課題検討と新通信仕様の標準化検討

### 3.1.1 標準化仕様提案時における課題

ECHONET 規格には技術的な課題があるだけでなく、実際には市場への製品の普及が進んでいないという現実もあった[60]。そのため、技術課題を解決しつつ、ECHONET 規格の強みである豊富な制御コマンドを活用可能な新しい通信仕様を開発することを検討し、エコーネットコンソーシアムに提案した。

しかし、エコーネットコンソーシアムの幹事会社において、新規提案に対する規格化の検討を実施した際、従来の ECHONET 規格への愛着による従来仕様の継続性を求める反対の意見や、すでに商品を出していることから相互接続性の観点に基づく新規規格の反対の意見も多く出た。それに対し、「エコーネットコンソーシアムの会員が減少し、そして普及が進んでいないことを見なければならぬ点」、「ECHONET 規格策定時と異なり、標準的な伝送メディアが多く市場に出てきている点」、「従来の ECHONET 規格と相互共存性ある仕様である点」、「ECHONET の強みである制御コマンドをそのまま活用可能な点」などを丁寧に説明した。その結果、新規提案の承認を取り付けることができ、新しい通信仕様である ECHONET Lite の標準化に着手した。

### 3.1.2 従来の ECHONET 規格の課題

新しい通信仕様である ECHONET Lite が解決しなければならなかった ECHONET 規格の主な課題について記載する。

一点目の課題は、ECHONET 規格は制御コマンドやメッセージフォーマットなどの上位層に関する仕様だけでなく、ECHONET 専用の通信メディアの仕様も含めて定義していた。従来の ECHONET の定義範囲を図 3.2 に示す[46]。

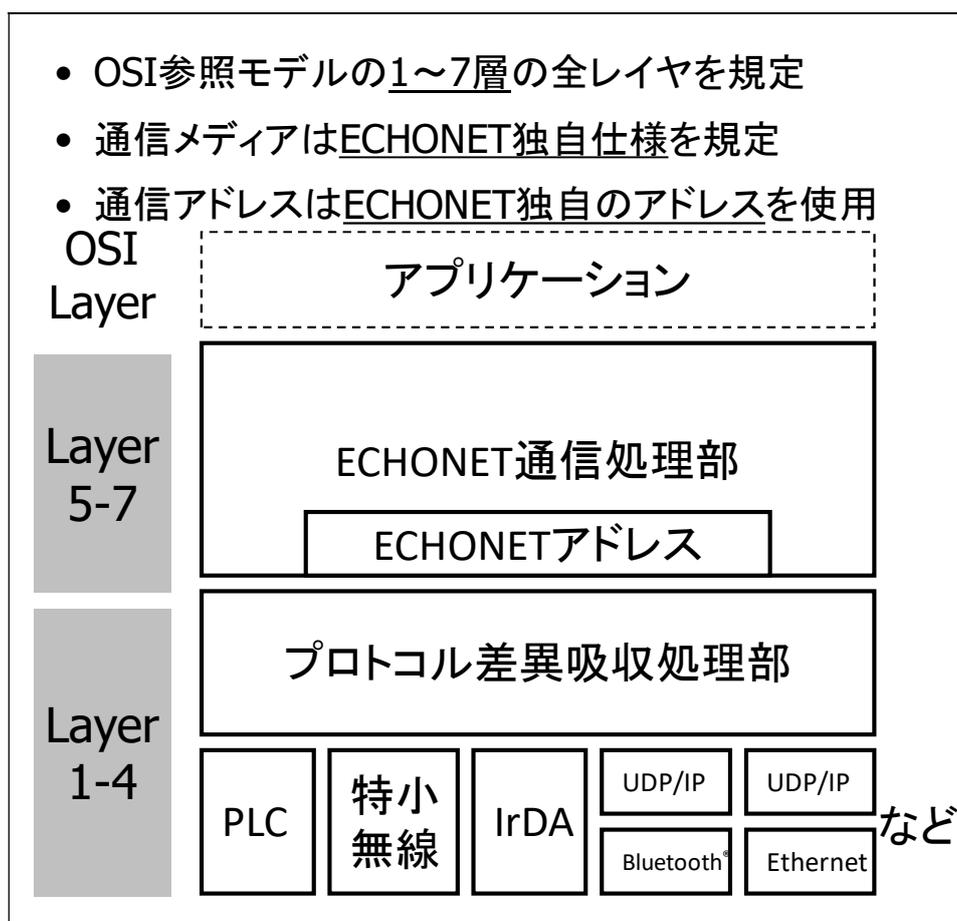


図 3.2 ECHONET 規格の規定範囲

伝送メディアはエコーネットコンソーシアム独自で規定した通信仕様であり[61][62][63]、他の用途での使用が困難であったことから、特に Power Line Communication (PLC)や特小無線などの通信モジュールは市場にあまり広がりがなく、市場から安価に調達することが困難であった。しかし、2000年代以降、インターネットの普及とともに、Ethernet, Wi-Fi, HD-PLC など、宅内で使用可能な様々な国際標準仕様の伝送メディアが登場してきた[64]。

そのため、通信仕様に関して、サービスや要件などに基づいて容易に標準の伝送メディアを調達可能とするためのアーキテクチャにすることを決め、ECHONET Lite はトランスポートフリーの通信仕様を定めることを決めた。ECHONET Lite 通信仕様と ECHONET 通信仕様との対比を表 3-1 にまとめる。ECHONET の強みであった制御コマンド数の多さについては、ECHONET Lite においても継承することとした。

表 3-1 各通信仕様の評価

	ECHONET	ECHONET Lite
国際標準	○	○
標準伝送メディアの利用	△	○
伝送メディアの選択自由度	△	○
制御コマンド数	◎	◎
センサ類への搭載	○	○

また、表 3-1 での評価以外においても、従来の ECHONET 規格においては、長年にわたるオプション機能の追加により、仕様自体がかなり複雑化されており、新規参入者への障害となっていた。これらの課題については以下の二点目から四点目として整理した。

二点目の課題として、複雑な機能開発が必要となっており、開発可能な新規技術者を増やすことが困難であった。具体的には、アプリケーション層の開発者が、使用している通信メディアを意識せずに通信を行うために、「ECHONET アドレス」という独自のアドレス層を規定していた。すなわち、通常の通信に利用する MAC アドレスや IP アドレスの上位に独自の通信アドレスの規定があり、通信仕様として冗長であるとともに、開発者が理解するのが困難な要因の一つでもあった。また、同様に伝送メディアを意識せずに機能設計できるようにすることを目的とした「プロトコル際吸収処理部」の搭載も必須であった。しかし、実際には、タイムアウトの設計などを考慮すると、通信メディアに依存しないアプリケーション開発を実施することは稀であり、また採用する候補のメディアの選択肢も多くは無かったため、冗長な機能となっていた。

三点目の課題として、システム構築の難解さがあげられる。具体的には、ECHONET 独自の通信アドレス「ECHONET アドレス」を配信するための NetID サーバと呼ばれる機能や、複数の伝送メ

ディアを使ってシステムを構築する場合には、ECHONET アドレスのルーティングを実現するための ECHONET ルータ機能がシステム内に必要となっており、システム構築自体が容易にできるものではなかった。なお、ECHONET Lite を規定するにあたり、不要と判断した ECHONET の主な機能について表 3-2 にまとめる

**表 3-2 主な削減機能一覧**

削減した機能	機能の説明
ECHONET ルータ	ECHONET アドレスを用いて、ECHONET 通信をルーティングする機能
NetID サーバ	ECHONET 機器に、ECHONET アドレスを付与する機能
ECHONET アドレス	伝送メディアの差分を隠蔽し、上位レイヤにて共通的に使用することができる ECHONET 独自のアドレス
プロトコル差異吸収処理部	伝送メディアの差分を上位レイヤに隠蔽するための機能

また、四点目の課題として、ECHONET では 2000 年 3 月に Ver.1.00 を公開してから ECHONET 規格の最終バージョンである 2011 年に Ver.4.00 を公開するまで、機能追加によるバージョンアップを何度も繰り返してきた。その結果、メッセージフォーマットの解釈が最大で 12 種類まで増えてしまい、それらを見分けた処理を実行する必要がある、特に新規参入者にとって開発が困難であった。図 3.3 に示す通り、12 種類の具体的な識別としては、「ECHONET 通信処理部のレイヤを暗号化したメッセージか平文のメッセージかの識別」、「単一の機能の制御、状態参照、通知などを示すメッセージか、複数の機能の制御、状態参照、通知などを示すメッセージかの識別」、「メッセージ内に送信元機器の情報のみ、送信先の機器の情報のみ、もしくは送信元と送信先の両方の機器の情報が含まれているかの識別」をであった。

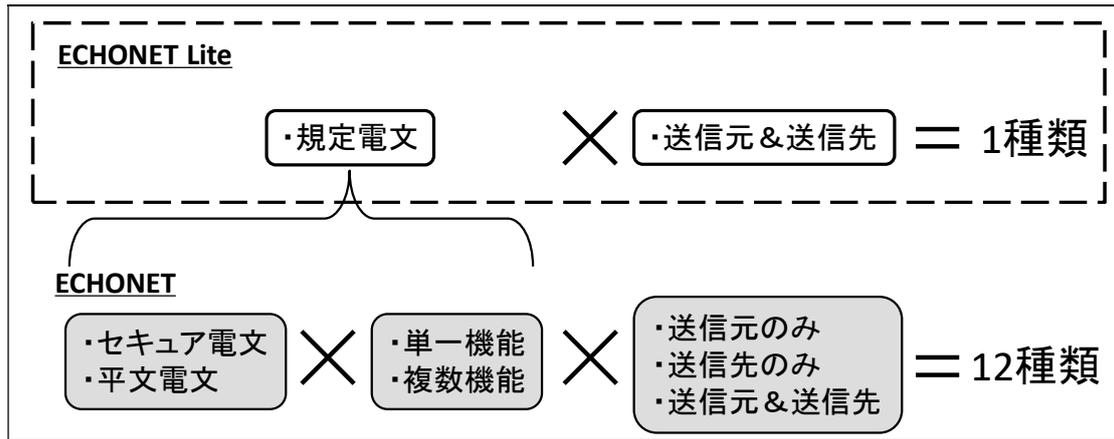


図 3.3 メッセージフォーマットの種別の比較

ECHONET Lite 通信仕様では、機器とコントローラ間で制御、状態参照、状態通知を実施するうえで必要な機能である必須機能のみに絞り、単一のメッセージフォーマットのを規定することとした。

### 3.1.3 エコーネットコンソーシアムにおける標準化検討

ECHONET 規格をベースとし、前項に記載した課題を解決することを中心に新しい IoT 通信技術である ECHONET Lite の仕様検討を実施するにあたり、技術委員長としてまず方針を示した。そして、システムアーキテクチャ WG の主査として、幹事会社 7 社の技術委員の意見を整理しながら、具体的な仕様策定を主導した。また、仕様を改訂するに当たり、エコーネットコンソーシアム全会員のレビューを実施し、最終版 (Ver.1.12) 公開前の全会員レビューにおいては、100 社を超える企業に対して意見照会を行ったうえで、仕様公開を実施した。具体的な検討としては、システムアーキテクチャ WG での仕様検討は、ほぼ隔週に 1 回のペースで実施し、2015 年 9 月に ECHONET Lite の現時点の最新版である Ver.1.12 を公開するまで、ECHONET Lite の仕様策定を主導して実施した。

また、ECHONET Lite を使いやすくするため、ECHONET Lite の実装に関する設計指針の更新も継続して行った。取りまとめの方法として、当社での開発、他社での開発、エコーネットコンソーシアムが主催するプラグフェスト[65] (会員が参加して、相互接続を確認するイベント) でのコメントなどを集約し、実装する上で気を付けるべき事項を取りまとめた[66]。具体的な内容として、マル

チキャスト送信に関する考え方、電文送信時の考え方、応答の扱いに関する考え方、送信専用機器の考え方、ノード（機器）の検出・発見手順、TCP 搭載時の指針など相互接続性向上の観点で仕様改訂を実施した。

この結果、ECHONET Lite 規格書は、機器の IP 化（IoT 化）を容易に実現するための機能を定義するとともに、ECHONET 規格書と比較しても大幅に仕様を削減した。その結果、新規参加者が容易に開発に取り組むことができる仕様を策定することができた。ECHONET 規格においては、新規参加者より開発するうえで規格書の参照先が分からない、といった声もあったが、ECHONET Lite 公開後はこのような苦情は聞こえなくなった。また、企業による研究開発だけでなく、教育機関への広がり[67] [68] [69]を見せていることから、新規参加の容易性を示せていると考えることができる。

実際、ECHONET 規格は 10 部で構成されており、全部で 1,666 ページの規格であったのに対し、ECHONET Lite 規格は 5 部構成であり、全部で 314 ページの規格とした。また、IoT 通信技術に関わる通信仕様そのものについては ECHONET 規格、ECHONET Lite 規格ともども第 2 部に定義しているが、ECHONET 規格は 256 ページであるのに対し、ECHONET Lite 規格は 58 ページと大幅に圧縮することができた。

### 3.1.4 ECHONET Lite の仕様策定

ECHONET Lite においては地球環境問題、エネルギー問題、少子高齢化問題などの解決を目指し、白物家電、設備系機器、センサ類などの小リソースの機器が、ベンダーに依存することなく連携動作を可能とすることを目的としている。ネットワーク管理者不要で、プラグアンドプレイ機能を搭載しているなど容易にシステム構築することができる通信仕様[70]であることを目指した。「3.1.2 従来の ECHONET 規格の課題」とそれに対して ECHONET Lite 開発におけるアプローチを表 3-3 にまとめる。

表 3-3 ECHONET の課題と解決アプローチ

番号	従来の ECHONET の課題	解決アプローチ
課題 1	ECHONET でしか使用できない伝送メディアを定義	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Wi-Fi, Ethernet などの国際標準の伝送メディアの自由な選択</li> <li>● 宅内のインターネットインフラの活用可能とするため IP アドレス利用に対応</li> </ul>
課題 2	ECHONET 独自の通信アドレスを定義	
課題 3	システム構築のために, ECHONET 独自のネットワーク機器が必要	
課題 4	最大 12 種類のメッセージストラクチャ定義	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ECHONET の強みである制御コマンドの活用が可能なメッセージフォーマットを定義</li> </ul>

解決アプローチを元に仕様作成した ECHONET Lite の特長として、主に以下の 2 点があげられる[55][71][72].

- IEEE, ITU などで国際標準として規定されている伝送メディアをサービスの要件や、設置環境の要件等に基づいて選択することを可能としたトランスポートフリーの通信プロトコル
- 機器の制御コマンドをオブジェクト指向によるモデル化により規定することで、100 種類以上の機器の制御コマンドを規定するとともに、それらの機器へアクセスするためのインタフェースを統一した通信プロトコル

ECHONET Lite 仕様作成における一つ目のアプローチについて説明する。まず、ECHONET Lite を策定するにあたり、白物家電、センサ類、設備系機器などのリソースが小さい機器の IP 化・IoT 化を容易に実現すること、すなわちネットワーク機能を容易に搭載できる仕様を作ることが必要不可欠と判断した。まず ECHONET Lite は、OSI 参照モデル[73]における 5 層～7 層に限定したトランスポートフリーの通信仕様とすることにより、サービスの要件や、設置環境の要件等に基づき、システム設計者が市場から安価な伝送メディアを選択することが可能になった。例えば、市場においてデファクトとなっており通信信頼性が高い Ethernet や、認証機関にて認証されている Wi-Fi, Wi-SUN, HD-PLC などを伝送メディアとして選択することが可能である。ECHONET Lite 規格の規定している範囲を図 3.4 に示す。

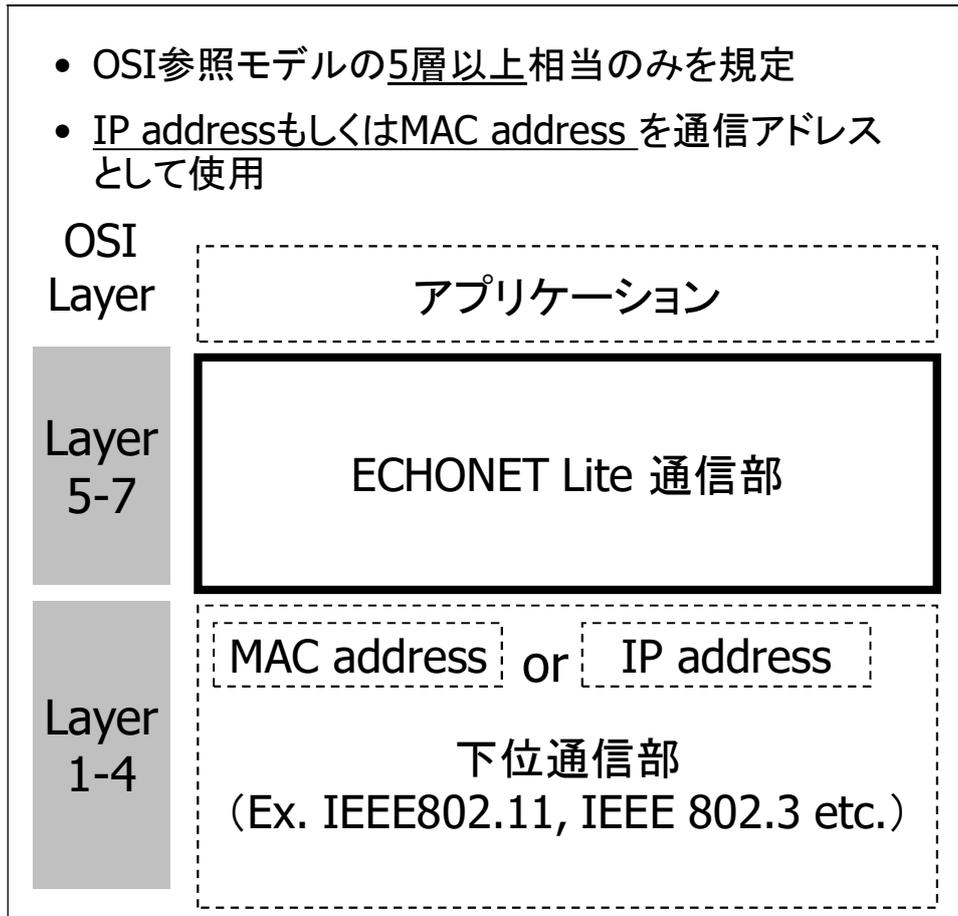


図 3.4 ECHONET Lite の規定範囲

従来の ECHONET 規格では、上述した通り IP アドレスの上位に ECHONET アドレスを設けていた関係もあり、トランスポート層のペイロードに ECHONET メッセージをそのまま格納することができない仕様であった。ECHONET Lite のメッセージストラクチャを定義するにあたり、ECHONET アドレスを廃止するとともに、ECHONET メッセージと共存可能できるように、ECHONET Lite メッセージのヘッダの値を定義した。従来の ECHONET 規格に対応した製品がすでに市場にあることから、従来の ECHOENT と ECHONET Lite は同一ネットワーク上で共存できることは必要不可欠である。具体的には、「ECHONET/IP ヘッダの値」、「ECHONET メッセージのヘッダの値」のいずれの値とも重複しない形で定義を実施した。IP 使用時の ECHONET と ECHONET Lite のメッセージの比較を図 3.5 に示す。

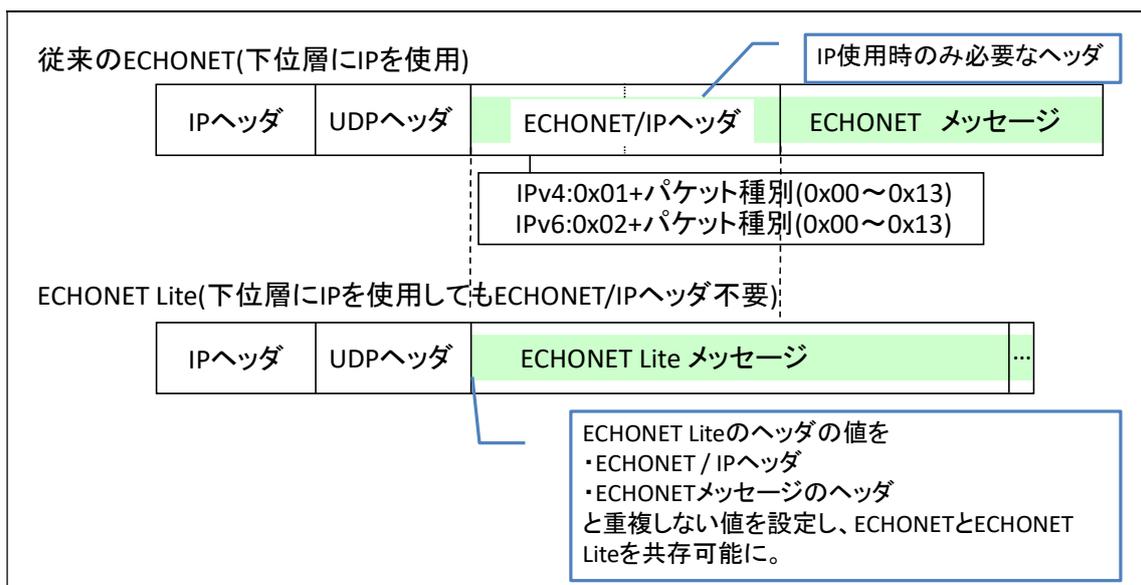


図 3.5 ECHONET と ECHONET Lite の IP 利用時の比較

このような通信仕様を策定することによって、IP アドレスを容易に用いることが可能な通信機能を機器へ搭載することが可能となった。また、IP アドレスを用いることができるようになったことから、宅内のインターネット環境をインフラとして利用することも可能となり、ECHONET 利用時には必要であった専用のネットワーク機器を用いることなく、ECHONET Lite を用いてシステムを容易に構築することが可能となった。

また、ECHONET Lite 仕様作成における二つ目のアプローチとして、ECHONET で優位性の高かった制御コマンドとして規定しているパラメータを利用できるメッセージストラクチャを構築した。現在では、100 種類以上の機種の詳細な制御コマンドを定義している。機器の制御コマンドをオブジェクト指向によるモデル化により規定することで、メーカーに依存することなく共通の制御コマンドとして規定した。例えば、エアコン、照明、太陽光発電、燃料電池、蓄電池、HP 給湯機などの創蓄省エネ機器は、メーカーごとに制御するためのプログラム群やデータ群が異なるのが通常である。そのため、マルチベンダー間の相互接続を考慮した場合、コントローラの制御プログラムは、メーカー毎に異なったプログラムが必要となり、実質マルチベンダー間の相互接続はとても困難な状況であった。そこで、機器の種別を「ECHONET オブジェクト」、各々の機器が持つ情報や機能を「ECHONET プロパティ」、各機能の操作方法を「ECHONET サービス」と定義して、3 層構造で

実際の家電機器・センサ類などをオブジェクト指向によりモデル化し、機器へのアクセスのインタフェースを統一した。制御コマンドのデータモデルのイメージ図を図 3.6 に示す。

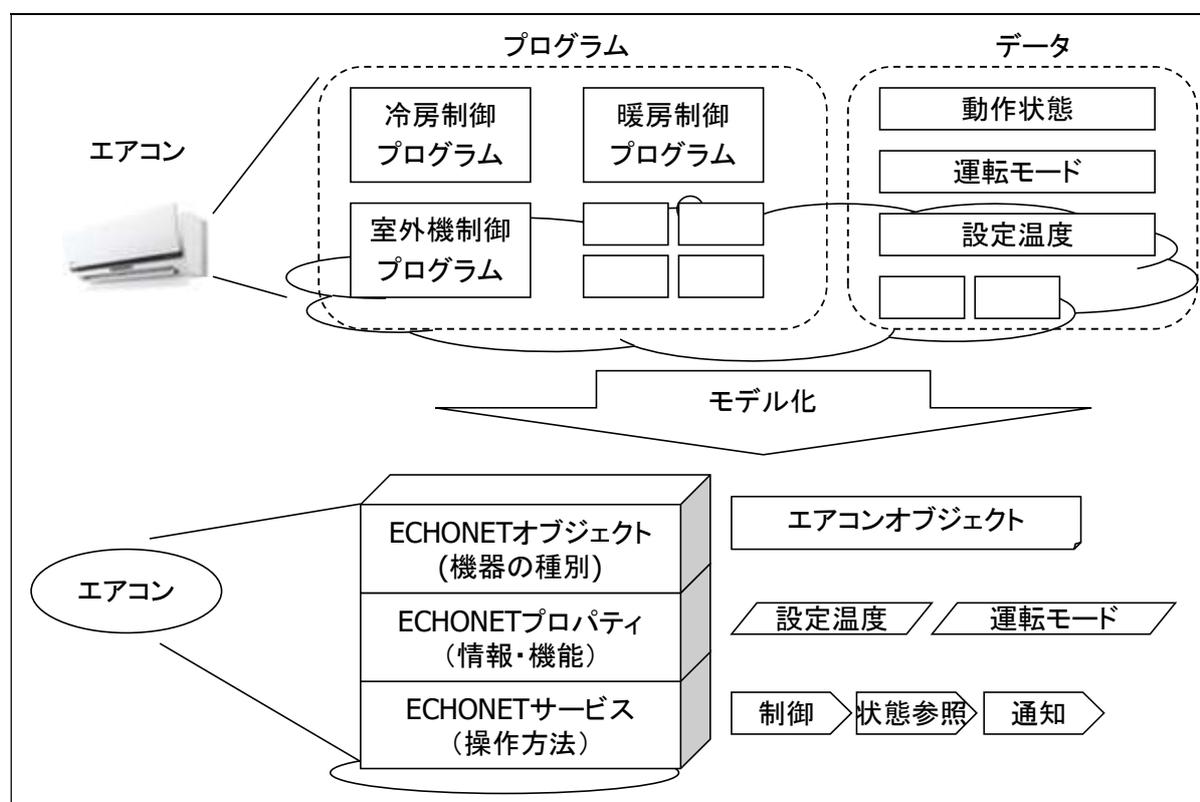


図 3.6 制御コマンドのデータモデル

このように多数の機器の制御コマンドを定義していることは、他の通信仕様と比較してマルチベンダー間の相互接続の観点において、ECHONET Lite の強みである。制御コマンドを取りまとめている「ECHONET 機器オブジェクト詳細規定」については、定期的に仕様を更新し、対象とする機器の制御コマンドを増やしている[74]。ECHONET Lite の規格化の取り組んだ際、規格化していた機器の数は 87 種類であったが、その後も定期的に仕様を更新し続けていることで 109 種類（2017 年 11 月現在）まで増加した。ここ近年の定義している機器の種類を増加を図 3.7 に示す。

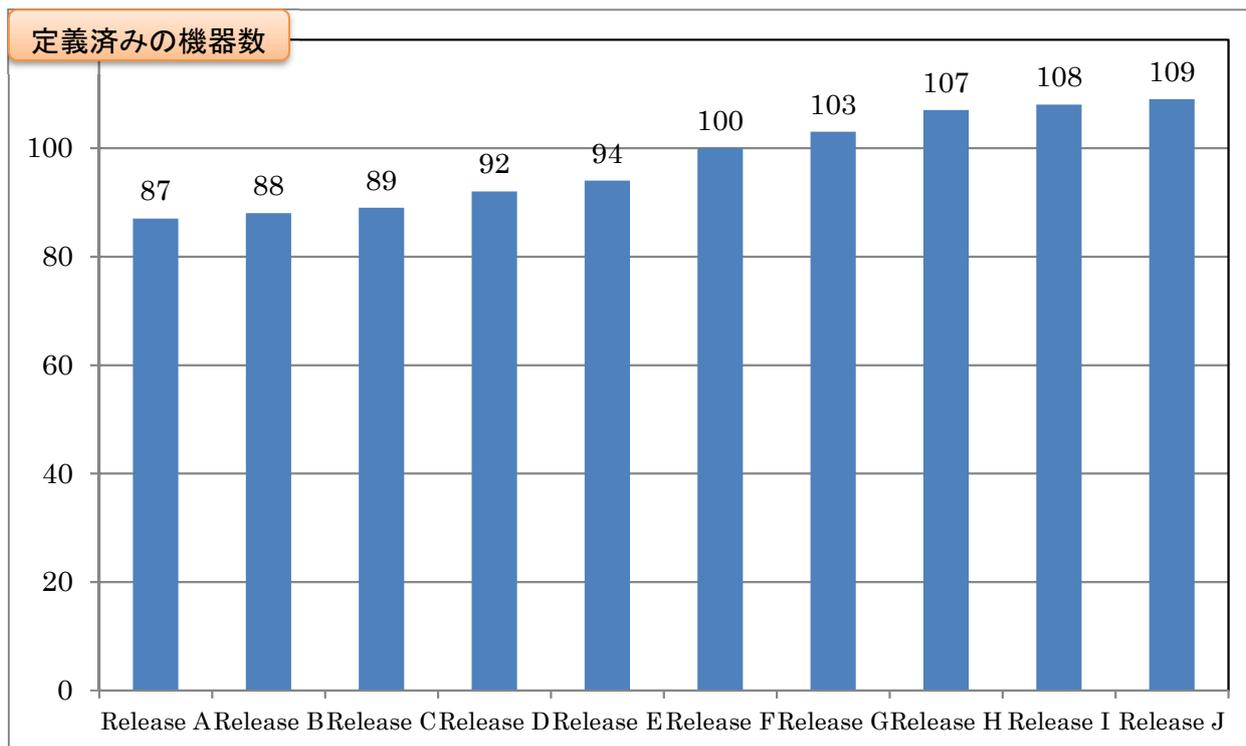


図 3.7 制御コマンド規定している機器の種類数の増加

このように多数の制御コマンドを規定しているが、実際に制御コマンドを定義している 100 種類以上の機器のうち、主な機器のリストを表 3-4 にまとめる[55].

表 3-4 制御コマンドを規定している主な機器

クラスグループ	主な機器
センサ関連	防犯センサ, 人体検知センサ, 電力センサ, 開閉センサなど
空調関連	家庭用エアコン, 空調換気扇, 空気清浄機, 業務用パッケージエアコンなど
住宅・設備関連	電動ブラインド, 電気温水器, 住宅用太陽光発電, 燃料電池, 蓄電池, 電気自動車充放電器, スマートメーター, 照明, 照明システムなど
調理・家事関連	冷凍冷蔵庫, 電子レンジ, IH クッキングヒーター, 洗濯乾燥機, 業務用ショーケースなど
健康関連	体重計など
管理・操作関連	コントローラ, スイッチなど
AV 関連	ディスプレイ, テレビなど

制御コマンドとして規定しているパラメータを用いて、ECHONET Lite のメッセージストラクチャを構築した。その際、センサ類などの機器にも対応できるように、メッセージサイズをできる限り最小化することを考慮した。UDP/IP 利用時を事例として、UDP のペイロードに ECHONET Lite のメッセージを格納したメッセージストラクチャを図 3.8 に記す。

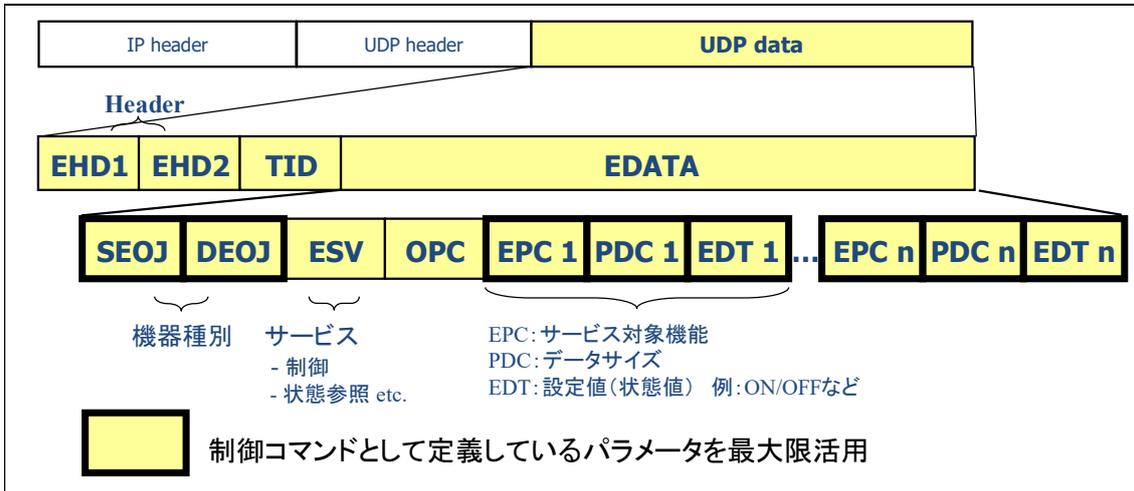


図 3.8 ECHONET Lite のメッセージストラクチャ

### 3.1.5 産官学連携による ECHONET Lite の普及促進

エコネットコンソーシアムで標準化を推進した ECHONET Lite の普及拡大を図るために、日本国内における政府調達関連の事業や公共性の高い事業において、ECHONET Lite が採用されることを目指し、経済産業省を中心に、提案活動を推進した。具体的には、東日本大震災の後でエネルギー問題を解決するために立ち上げられた「スマートハウス標準化検討会」において、提案活動を行い、ZigBee, KNXなどを提案する競合グループなどとプレゼンテーションを実施し、前項に記載した ECHONET Lite の技術的な特長（国際標準仕様の伝送メディアの自由な選択、豊富な制御コマンドの定義）が認められ、最終的に ECHONET Lite が、エネルギー管理システムにおける公知で標準的な通信インタフェースとして推奨されることとなった。その後も、スマートハウス・標準・事業促進検討会[75]やエネルギー・リソース・ビジネス・アグリゲーション検討会（ERAB 検討会）[76]などにおいても、エネルギー管理を検討する WG に委員として参加し、ECHONET Lite を使用したエネルギー管理システムに関する施策の提案を継続して実施した。特に、

小型小売店舗においてエネルギー消費量の大きい業務用パッケージエアコン、業務用ショーケースや照明システムについて、ERAB 検討会において、重要なエネルギーリソースとして定義され [77][78]、今後の導入加速に期待できる状況である。

## 3.2 エネルギーの有効活用の事例による IoT 通信技術の検証構成

「1.1 背景」に記載した通り、電力会社が太陽光発電システムに対して出力を制御することが可能となる規則改定も行われたこともあり、再生可能エネルギーの余剰電力を無制限に電力網に出力するのではなく、より有効に電力を活用するエネルギーマネジメントを行う必要がある。本節においては、一般家庭だけでなく、中小ビルや小型小売店舗にも設置されている太陽光発電と蓄電池を用いた有効に電力を活用するためのユースケースを用いて、IoT 通信技術である ECHONET Lite のマルチベンダー間相互接続性の検証を実施する。なお、小型小売店舗において、すべての機器が同一のベンダーで構成されていることはなく、複数のベンダーの機器で構成されていることが一般的であるため、本節で示す検証は重要である。

### 3.2.1 有効な電力活用を実現するユースケース

コントローラと、スマート電力量メータ、蓄電池、太陽光発電を用いて、太陽光発電の出力制御を防止し、有効に電力を利用するための基本的なユースケースを記載する。

まず、図 3.9 に高効率なエネルギー活用を実現するための基本的なシーケンスを記載する。コントローラは、スマート電力量メータより、家庭内での電力に関する情報を定期的を取得するのが一般的である。また、同様に太陽光発電からは発電に関する情報を定期的を取得し、蓄電池からは充電量に関する情報を定期的を取得する。コントローラは、太陽光発電による発電が家庭内で利用している電力を上回っているか、下回っているかを判断する。太陽光発電の発電が、家庭内の使用電力を上回っている場合、コントローラは、蓄電池の充電量より充電可能と判断すれば、太陽光発電による発電分を蓄電池にて充電する。

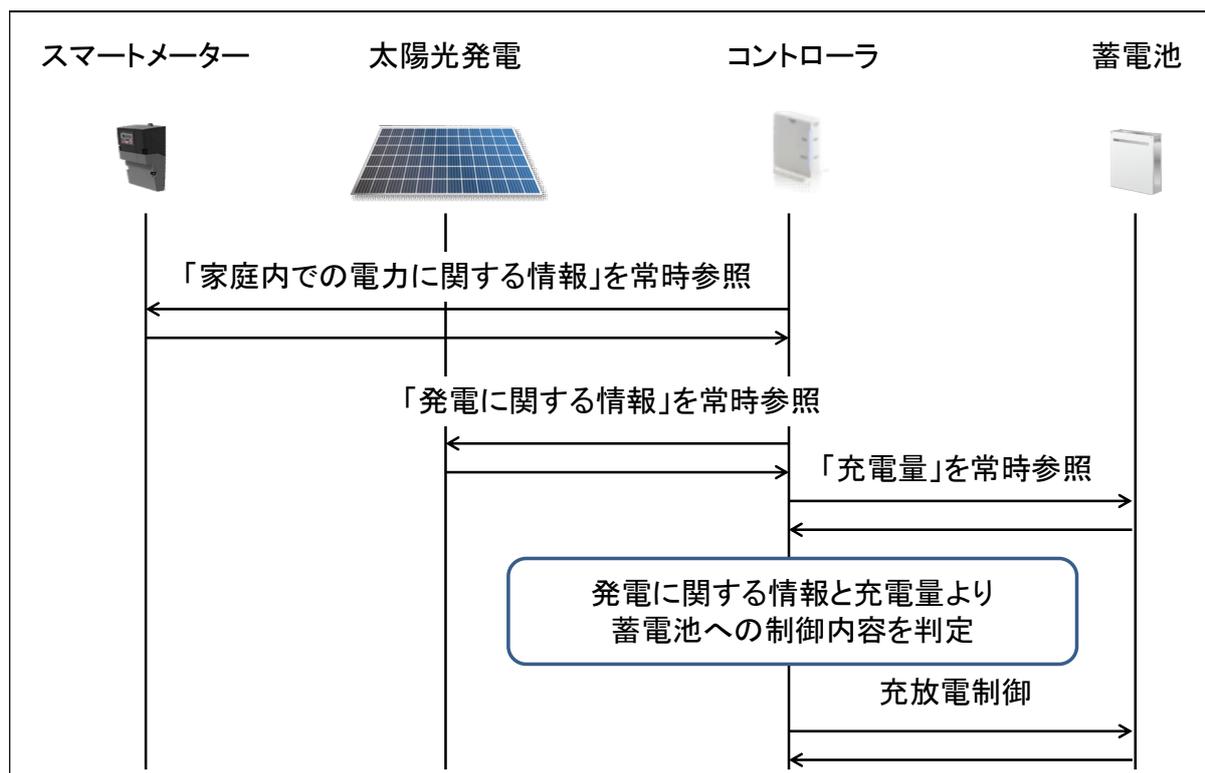


図 3.9 高効率なエネルギー活用を実現するためのシーケンス例

### 3.2.2 標準仕様を用いた実現方法

図 3.9 で示した高効率なエネルギー活用を実現するための制御コマンドを整理する。前項で示したユースケースをベンダーに依存しない形で、実現するために、スマート電力量メータ、蓄電池、太陽光発電などの制御コマンドの標準化をエコーネットコンソーシアムにて推進した。低圧スマート電力量メータ、太陽光発電、及び蓄電池の代表的な制御コマンドを表 3-5、表 3-6、表 3-7 に記載する。なお表中の「EPC」は、ECHONET Property Code の略であり、機能を示すプロパティ名称をバイナリの値で定義したコードであり、実際の通信に用いる。アクセスルールの Set は制御が可能であることを示し、Get は状態の参照が可能であることを示す。また、「M」は搭載必須を意味し、「O」は搭載オプションを意味する。

表 3-5 低圧スマート電力量メータの主な制御コマンド

プロパティ名称	EPC	内容	アクセスルール	M/O
動作状態	0x80	ON: 0x30, OFF: 0x31	Set	O
			Get	M
有効電力量有効桁数	0xD7	0x01~0x08	Get	M
積算電力量計測値 (正方向計測値)	0xE1	0x00000000 ~ 0x05F5E0FF (0 ~ 99,999,999)	Get	M
積算電力量計測理 値履歴 (正方向計測 値)	0xE2	1-2 バイト: 積算履歴収集日 0x0000~0x63 (0~99) 3 バイト目以降: 積算電力量計測値 0x00000000~0x05F5E0FF (0~999,999,999)	Get	M
積算電力量計測値 (逆方向計測値)	0xE3	0x00000000 ~ 0x05F5E0FF (0 ~ 99,999,999)	Get	M
積算電力量計測理 値履歴 (逆方向計測 値)	0xE4	1-2 バイト: 積算履歴収集日 0x0000~0x63 (0~99) 3 バイト目以降: 積算電力量計測値 0x00000000~0x05F5E0FF (0~999,999,999)	Get	M
積算履歴収集日 1	0xE5	0x00~0x63 (0~99)	Set / Get	M
瞬時電力計測値	0xE7	0x80000001~0x7FFFFFFD (-2,147,483,647~2,147,483,645)	Get	M
定時積算電力量計 測値 (正方向計測 値)	0xEA	最新の 30 分毎の計測時刻における 積算電力量 (正方向計測値) につい て, 計測年月日を 1~4 バイト目, 計測時刻を 5~7 バイト目, 積算電 力量 (正方向計測値) 8~11 バイト 目で示す.	Get	M
定時積算電力量計 測値 (逆方向計測 値)	0xEB	最新の 30 分毎の計測時刻における 積算電力量 (逆方向計測値) につい て, 計測年月日を 1~4 バイト目, 計測時刻を 5~7 バイト目, 積算電 力量 (正方向計測値) 8~11 バイト 目で示す.	Get	M

表 3-6 太陽光発電の主な制御コマンド

プロパティ名称	EPC	内容	アクセスルール	M/O
動作状態	0x80	ON: 0x30, OFF: 0x31	Set	O
			Get	M
瞬時発電電力計測値	0xE0	0 ~ 65,533 W	Get	M
積算発電電力量計測値	0xE1	0 ~ 999,999.999kWh	Get	M

表 3-7 蓄電池の主な制御コマンド

プロパティ名称	EPC	内容	アクセスルール	M/O
動作状態	0x80	ON: 0x30, OFF: 0x31	Set	O
			Get	M
運転動作状態	0xCF	急速充電 = 0x41, 充電 = 0x42, 放電 = 0x43, 待機 = 0x44, テスト = 0x45, その他 = 0x40	Get	M
運転モード設定	0xDA	急速充電 = 0x41, 充電 = 0x42, 放電 = 0x43, 待機 = 0x44, テスト = 0x45, 自動 = 0x46, その他 = 0x40	Set / Get	M
蓄電残量 1	0xE2	0~999,999,999 Wh	Get	M*
蓄電残量 2	0xE3	0~3,276.6 AH	Get	M*
蓄電残量 3	0xE4	0 ~ 100 %	Get	M*

\*蓄電残量 1, 蓄電残量 2, 蓄電残量 3 のいずれかの搭載を必須

表 3-5, 表 3-6, 表 3-7 に記載した制御コマンドのうち, 図 3.9 のシーケンスに用いる具体的な制御コマンドを用いて説明する. コントローラは, スマート電力量メータより, 家庭内の使用電力を定期的に取り得るにあたり, 「定時積算電力量計測値 (正方向計測値) (EPC = 0xEA)」, 「定時積算電力量計測値 (逆方向計測値) (EPC = 0xEB)」, 「瞬時電力計測値 (EPC = 0xE7)」プロパティの値を取得する. また, 同様に太陽光発電から, 「瞬時発電電力計測値 (EPC = 0xE0)」を定期的に取り得る. 太陽光発電が発電しており, かつ逆潮流している場合 (家庭内の使用電力を上回っている場合), コントローラは, 蓄電池の「蓄電残量 3 (EPC = 0xE4)」を取得し, 充電可能な残容量があれば, 太陽光発電による発電分を蓄電池に充電するために, 蓄電池の「運転モード設定 (EPC = 0xDA)」に,

急速充電 (0x41), もしくは充電 (0x42)を設定する.

### 3.2.3 実機を用いた検証

前項までに示したユースケース, 及び標準仕様による実現方法が, 実際に可能であるか実機を用いて検証した. 図 3.10 に, コントローラと蓄電池と太陽光発電システムとを接続したシステム構成を記載する. なお, 蓄電池は日立マクセル製品を接続し, 情報取得及び制御を実施した. また, 京セラ製のパワーコンディショナーにオムロン製のパワーコンディショナー用 ECHONET Lite アダプタを接続することで, 太陽光発電の情報を取得した. コントローラについては, 神奈川工科大学が保有する PC 上で動作可能なコントローラを利用した. また, これらの機器とコントローラを Ethernet で接続し, 特別なネットワーク設定をすることなくシステムを構築することで, 一般の需要家においては, 上述した「ネットワーク技術を持たない一般の人が, これらの機器を任意に組み合わせて, システムを構成する必要がある」という課題への解決も行っている. なお, 図 3.10 に記載したシステム内で用いている通信内容は, Wireshark を用いてログデータを取得した.

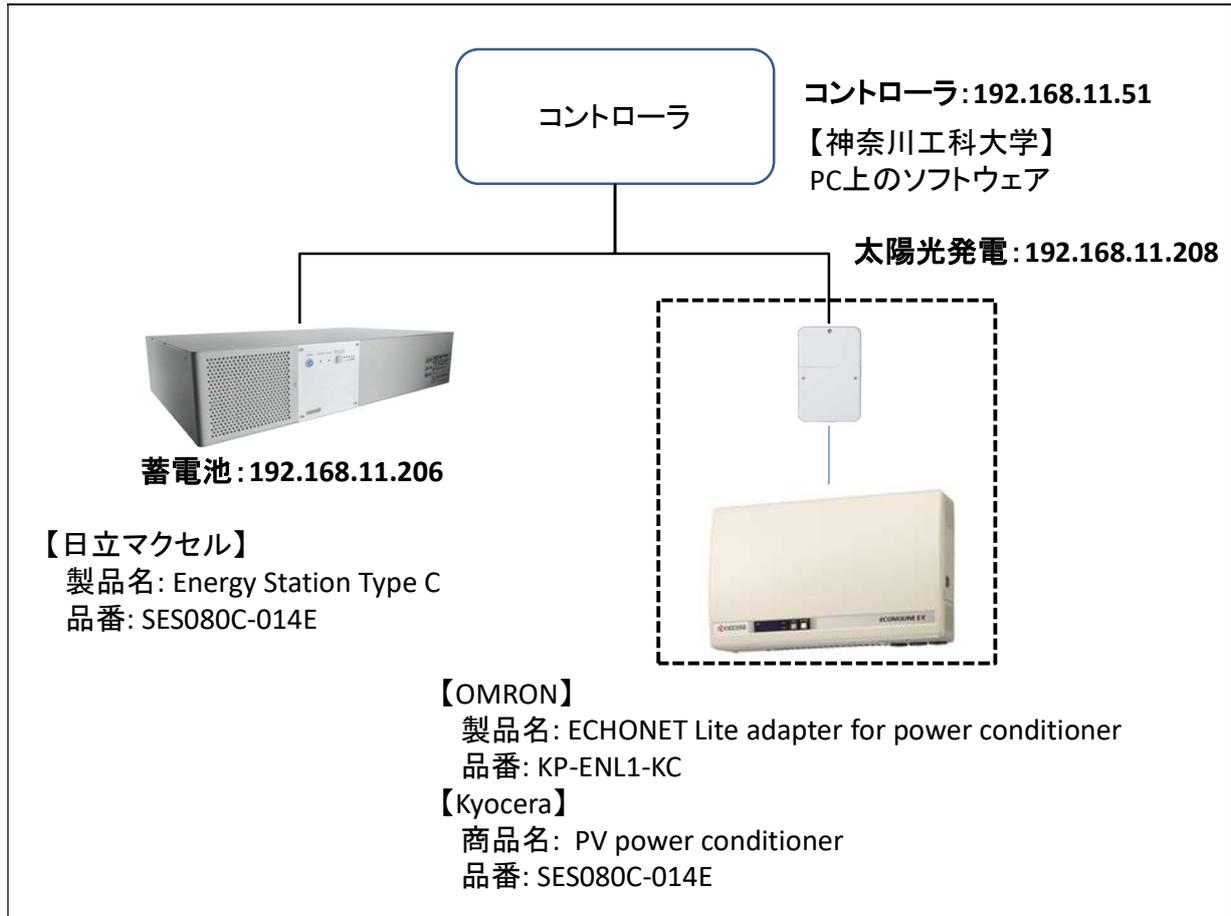
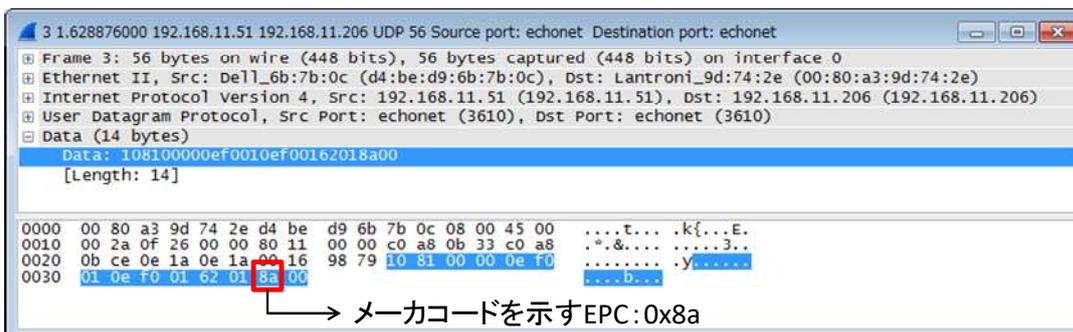


図 3.10 実機を用いた検証システム

コントローラが、蓄電池の製造メーカーを取得した際の通信ログを図 3.11 に示す。図 3.11 に示すように、メーカーコードの値は「0x000078」であることが分かり、このメーカーコードは日立マクセルを示す[79]。次に、太陽光発電システム（パワーコンディショナー用 ECHONET Lite アダプタ）からも同様にデータを取得し、パワーコンディショナー用アダプタが、オムロン製であることを確認した。

### 【コントローラは蓄電池からメーカーコードを取得要求】



### 【蓄電池はコントローラへメーカーコードを応答】

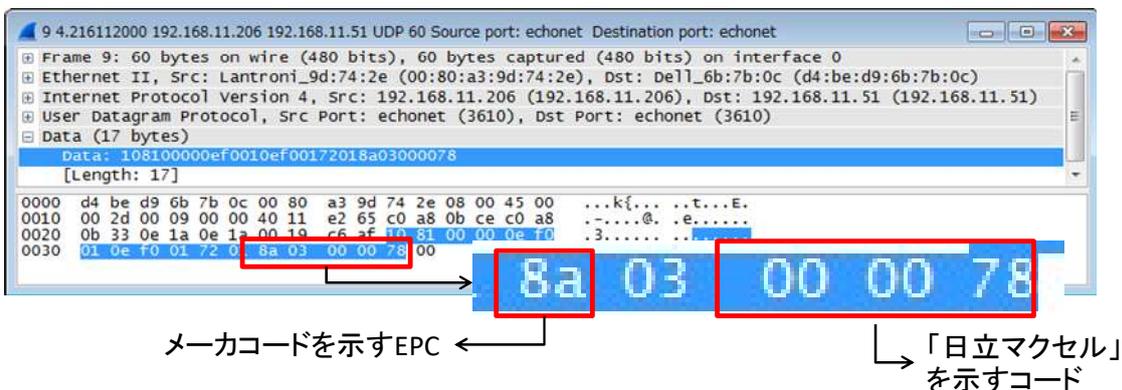


図 3.11 コントローラが蓄電池よりメーカーコードを取得した時のログデータ

続いて、ユースケースについて確認する。太陽光発電システム（パワーコンディショナー用 ECHONET Lite アダプタ）から瞬時発電電力計測値を取得する。そのログデータを図 3.12 に示す通り、取得結果は 110W であった。次に、蓄電池に充電可能か確認するために、現在の残容量をコントローラは蓄電池より取得した。その際、蓄電池の残容量は図 3.13 に示す通り 93% であった。コントローラは、該当する充電電池は充電可能と判断し、蓄電池の運転モード設定に対して、充電モードに遷移するための制御要求を送信した。コントローラは、数分後に再度蓄電池の残容量を取得したところ、図 3.13 に示す通り残容量が 96% への増加を確認できた。

【コントローラが太陽光発電より瞬時発電電力計測値を取得】

```

27 7.297786000 192.168.11.51 192.168.11.208 UDP 56 Source port: echonet Destination port: echonet
Frame 27: 56 bytes on wire (448 bits), 56 bytes captured (448 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: Dell_6b:7b:0c (d4:be:d9:6b:7b:0c), Dst: Lantronf_68:09:12 (00:80:a3:68:09:12)
Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.11.51 (192.168.11.51), Dst: 192.168.11.208 (192.168.11.208)
User Datagram Protocol, Src Port: echonet (3610), Dst Port: echonet (3610)
Data (14 bytes)
Data: 108100000ef0010279016201e000
[Length: 14]
0000 00 80 a3 68 09 12 d4 be d9 6b 7b 0c 08 00 45 00  ...h.... .k{...E.
0010 00 2a 0e a5 00 00 80 11 00 00 c0 a8 0b 33 c0 a8  ...*..... :...3..
0020 0b d0 0e 1a 0e 1a 00 16 98 7b 10 11 00 00 0e 10  ...3..... :{.....
0030 01 02 79 01 02 01 e0 02 00 6e d1 85  ...r...r..
    
```

瞬時発電電力計測値を示すコード

【太陽光発電はコントローラへ瞬時発電電力計測値を応答】

```

28 7.313338000 192.168.11.208 192.168.11.51 UDP 60 Source port: echonet Destination port: echonet
Frame 28: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: Lantronf_68:09:12 (00:80:a3:68:09:12), Dst: Dell_6b:7b:0c (d4:be:d9:6b:7b:0c)
Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.11.208 (192.168.11.208), Dst: 192.168.11.51 (192.168.11.51)
User Datagram Protocol, Src Port: echonet (3610), Dst Port: echonet (3610)
Data (16 bytes)
Data: 108100000279010ef0017201e002006e
[Length: 16]
0000 d4 be d9 6b 7b 0c 00 80 a3 68 09 12 08 00 45 00  ...k{... .h...E.
0010 00 2c 00 00 40 00 40 11 a2 6d c0 a8 0b d0 c0 a8  ...@.@. .m.....
0020 0b 33 0e 1a 0e 1a 00 18 f4 b9 10 81 00 00 02 79  ...3..... :.....
0030 01 0e f0 01 72 01 e0 02 00 6e d1 85  ...r...r..
    
```

e0 02 00 6e

瞬時発電電力計測値を示すコード

計測値(110W)

図 3.12 コントローラと太陽光発電の間の通信ログデータ

【storage battery responds the remaining stored electricity 3 to controller】

```

8 2.096373000 192.168.11.206 192.168.11.51 UDP 61 Source port: echonet Destination port: echonet
Frame 8: 61 bytes on wire (488 bits), 61 bytes captured (488 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: Lantroni_9d:74:2e (00:80:a3:9d:74:2e), Dst: Dell_6b:7b:0c (d4:be:d9:6b:7b:0c)
Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.11.206 (192.168.11.206), Dst: 192.168.11.51 (192.168.11.51)
User Datagram Protocol, Src Port: echonet (3610), Dst Port: echonet (3610)
Data (19 bytes)
Data: 10810000027d010ef0015203e200e300e4015d
[Length: 19]

0000 d4 be d9 6b 7b 0c 00 80 a3 9d 74 2e 08 00 45 00 ...k{... .t...E.
0010 00 2f 00 3a 00 00 40 11 e2 32 c0 a8 0b ce c0 a8 ./...@. .2.....
0020 0b 33 0e 1a 0e 1a 00 1b ef 1c 00 00 00 02 70 .3.....:.....
0030 01 0e f0 01 52 03 e2 00 e3 00 e4 01 5d

```

This code is stored electricity 3. ← e4 01 5d → (93%)

【controller requests the charging mode to the storage battery.】

```

10 2.440010000 192.168.11.51 192.168.11.206 UDP 57 Source port: echonet Destination port: echonet
Frame 10: 57 bytes on wire (456 bits), 57 bytes captured (456 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: Dell_6b:7b:0c (d4:be:d9:6b:7b:0c), Dst: Lantroni_9d:74:2e (00:80:a3:9d:74:2e)
Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.11.51 (192.168.11.51), Dst: 192.168.11.206 (192.168.11.206)
User Datagram Protocol, Src Port: echonet (3610), Dst Port: echonet (3610)
Data (15 bytes)
Data: 108100000ef001027d016001da0142
[Length: 15]

0000 00 80 a3 9d 74 2e d4 be d9 6b 7b 0c 08 00 45 00 ...t... .k{...E.
0010 00 2b 5c 44 00 00 80 11 00 00 c0 a8 0b 33 c0 a8 .\D... .3..
0020 0b ce 0e 1a 0e 1a 00 17 98 7a 10 81 00 00 0e f0 .....z.....
0030 01 02 7d 01 60 01 da 01 42

```

This code is operation mode. ← da 01 42 → charging

【After setting operation mode, controller monitors the remaining stored electricity 3 again.】

```

14 3.524826000 192.168.11.206 192.168.11.51 UDP 61 Source port: echonet Destination port: echonet
Frame 14: 61 bytes on wire (488 bits), 61 bytes captured (488 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: Lantroni_9d:74:2e (00:80:a3:9d:74:2e), Dst: Dell_6b:7b:0c (d4:be:d9:6b:7b:0c)
Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.11.206 (192.168.11.206), Dst: 192.168.11.51 (192.168.11.51)
User Datagram Protocol, Src Port: echonet (3610), Dst Port: echonet (3610)
Data (19 bytes)
Data: 10810000027d010ef0015203e200e300e40160
[Length: 19]

0000 d4 be d9 6b 7b 0c 00 80 a3 9d 74 2e 08 00 45 00 ...k{... .t...E.
0010 00 2f 00 e2 00 00 40 11 e1 8a c0 a8 0b ce c0 a8 ./...@. ....
0020 0b 33 0e 1a 0e 1a 00 1b ec 1c 00 00 00 02 70 .3.....:.....
0030 01 0e f0 01 52 03 e2 00 e3 00 e4 01 60

```

e4 01 60 → (96%)

図 3.13 コントローラと蓄電池の間の通信ログデータ

太陽光発電と蓄電池の実機を用いた検証結果より、標準化を推進した ECHONET Lite を用いることで、市場から実際に調達可能な複数のベンダーの商品を用いて、システムを構築することが可能であることを確認できた。そして、電力を高効率に活用するエネルギーマネジメントシステムの

実現が可能であることを証明することができた。今後は、需要家にとって最大限の価値を提供するために、制御アルゴリズムが重要になる。例えば、エアコン、照明などの省エネ機器に対する消エネ制御、ヒートポンプ給湯機などの電気を熱に変換し蓄熱するための制御、及び蓄電池からの放電する制御を組合せてピークシフト、ピークカットなどを実現することが重要である。

### 3.2.4 相互接続性を向上するための取組み

相互接続性を向上するための取組みとして、技術委員長を務めるエコーネットコンソーシアムの技術委員会において、プラグフェストを年に2回～3回のペースで企画している[80]。プラグフェストとは、エコーネットコンソーシアムの会員が様々な ECHONET Lite 機器を持ち寄って、異なるベンダーの機器と相互接続試験を実施することで、規格書解釈の相違や実装の誤りなどの問題を発見するための場である。

また、ECHONET Lite 規格を正しく実装しているかどうか検証するための ECHONET Lite の認証試験仕様書を作成した。エコーネットコンソーシアム会員は、試験仕様書に記載した試験項目を実施することで、ECHONET Lite の規格適合性を確認することが可能である。

これらの取組みを行うことで、マルチベンダー間の相互接続性の向上を図ることができ、その結果として、エコーネットコンソーシアムの会員各社から ECHONET Lite の規格認証を取得した製品が数多く出てきている。規格認証取得件数の経緯を図 3.14[81]に示す。今のなお、安定して ECHONET Lite の認証を取得している件数が増えていることが分かる。

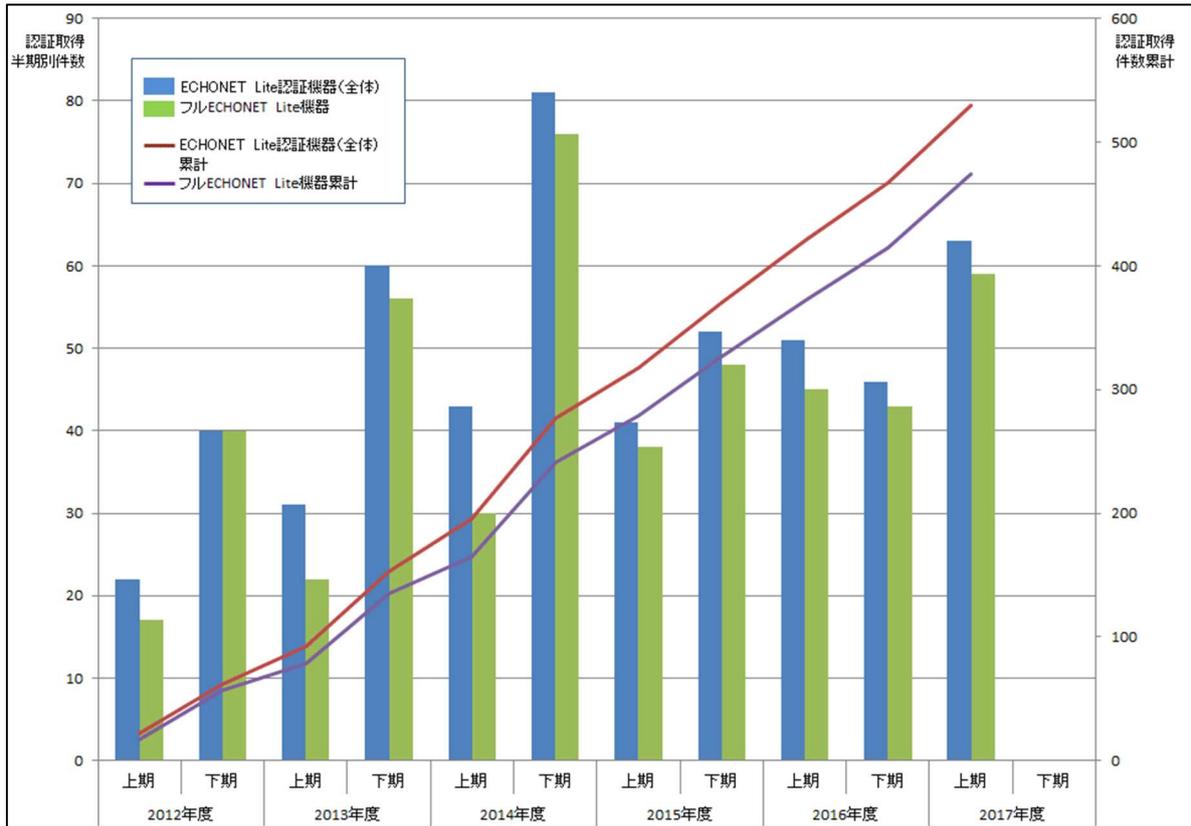


図 3.14 ECHONET Lite 認証取得件数

### 3.3 国際標準化提案活動

ECHONET Lite は、ISO/IEC JTC1 SC25 にて通信プロトコルが ISO/IEC 14543-4-3[82]の文書にて、IEC TC100 において各機器の制御コマンドが IEC 62394[83]の文書にて、それぞれ国際標準として発行されており、日本国内だけでなく海外の専門家にも認められている通信仕様である。本節においては、ECHONET Lite を ISO/IEC JTC1 SC25 WG1 に国際標準提案を行い、国際標準化を達成するまでの活動状況を整理した。

#### 3.3.1 国際標準化提案活動の重要性

1994 年に合意された WTO (World Trade Organization)協定により、世界各国において国際標準の重要性が認識され、活発な国際規格獲得競争が行われるきっかけとなった。ISO (International

Organization for Standardization: 国際標準化機構)や IEC (International Electrotechnical Commission: 国際電気標準会議)などのデジュール機関において国際標準化を達成することは現在において非常に重要である[84][85][86]。また、日本国としても国際標準化について重要性を認識するとともに、推進を図っている[87][88]。国際標準化は、日本国内の技術者から海外の技術者へ技術者層を広めるという観点だけでなく、その技術を用いた事業拡大に必要不可欠なものである。具体的には、WTO 加盟国に適用される TBT (Technical Barriers to Trade)協定[89]および政府調達協定によって、海外だけでなく日本国内においても、公共性の高い事業には、国際標準仕様の適用が求められるからである。

### 3.3.2 ECHONET Lite の国際標準化活動

前項に記載した国際標準化の重要性を鑑み、ECHONET Lite について国際標準化提案を実施した。提案先は、Home Electronic System (HES)の国際標準規格検討を担当している ISO/IEC JTC1 SC25 WG1[90]に提案することとした。提案後の一般的な国際標準化の検討プロセスを図 3.15 に示す[91]。



図 3.15 国際標準化プロセス

2012年4月に、カナダのビクトリアで開催された ISO/IEC JTC1 SC25 WG1 に出席し、ECHONET Lite の国際標準化提案を行いたい旨、プレゼンテーションを実施した。その結果、新しい文書の番号 (ISO/IEC 14543-4-3) が割り当てられ、次回の会合に向けて、NP (New work item Proposal) と WD (Working Draft) を提出することを約束した。

2012年9月にスイスのジュネーブで開催された WG1 参加に先駆けて、NP 文書と WD 文書の作成を行い、2012年7月末に事務局に送付した。9月の WG1 においては、各国 Expert に対して説明を実施し、「どのような通信アドレスシステムが使えるか、制約条件などがあるか?」、「802.15.4 に準拠したネットワークの場合、他のネットワークとはどのように共存できるか?」、「ネットワークに属する機器はメッセージの宛先をどのようにして分かるのか?」などといった質問に対して、丁寧に回答、説明を行い概ね了承を得ることができた。NP を採択されるためには、各国 Expert による承認が必要になるため、このプロセスは非常に重要であり、了承を得られたことは重要な結果であった。この時の WG の中で、提出した Working Draft に関して、全文レビューを実施した。Expert 合意による修正の殆どは書式、形式、用語、英文に関わるものであり、提出した Working Draft の質の高さを各 Expert に改めて認識してもらうことができた。一点のみ、「意味が不明」との指摘を受けた段落については、WG1 開催中に差替えの文書案を提出し、改めて各 Expert に変更内容の合意を受けた。その結果、WG1 終了後に、NP 文書の提出とともに Committee Draft として事務局に提出されることとなり、大きな進捗を示すことができた。

しかし、一度目の NP 提案に関して、Expert 個人を指定した標準ドラフト作成・編集への参加表明国が 5 カ国集まらなかったため、一度は否認される結果となった。2013年4月のアメリカのアーリントンで行われた WG1 において、NP 提案と一緒に回覧した CD 文書のレビュー結果に対するコメント (24 件) への回答と、レビュー結果を CD への修正反映した Draft について、改めて審議を実施し、Draft に対する各国 Expert の合意を得た。その結果、NP 文書と CD 文書を事務局に回覧し、各国の投票を行うことが WG1 で承認された。再度の否認を防ぐために、参加していた各国の Expert に対し、ドラフト策定に参加するように働きかけ、その結果として最終的には、2013年9月に NP が正式に承認される結果となった。なお、Expert 個人を指定した標準ドラフト作成・編集への参加表明国は 7 カ国 (日、米、中、韓、豪、加、英) となった。

2013年10月のスウェーデンのキスタで行われた会議において、二度目のCD投票に関するレビューコメント（24件）への審議を実施した。審議の結果を踏まえて、ドラフトの該当箇所の説明追加、英文修正を行うとともに、レビューコメントへのレゾリューション文書（RoC）を作成し、各国Expertの合意を得た。その後、CD文書が承認される結果となり、DIS（Draft for International Standard）の投票を実施することとなった。

2014年9月の中国の北京で行われた会議において、DISの投票結果のレビューと今後のプロセスの確認を実施した。今までに審議を何度も丁寧に重ねてきたこともあり、DIS投票を集計の結果、「承認」となった。DIS投票に関するコメントはエディトリアルなコメントが2件であり、エディトリアルな修正を行った後、FDIS投票（2か月間）に進むことが確認された。FDISは2014年12月に、賛成15カ国、反対0カ国で満場一致で承認される結果となった[92]。その後、SC25のSecretaryやIECの事務局とエディトリアルな微修正などを行い、最終的に2015年9月に国際標準文書ISO/IEC 14543-4-3として発行されることになった。

なお、WG1の会議風景を図3.16に示す。参加者は毎回多少の前後はあるもののおおよそ10カ国前後が出席し、議論を重ねながら国際標準化を達成した。



図 3.16 ISO/IEC JTC1 SC25 WG1 の会議風景

### 3.4 本章のまとめ

本章において、IoT 通信技術を確立するに当たって、既存の通信仕様の調査、評価によって明確にした課題を解決した通信仕様である ECHONET Lite を IoT 通信技術として仕様確立、標準化（国際標準化含む）を達成した。また、確立した IoT 通信技術がマルチベンダー間相互接続性の観点でも、信頼できるという結果を今回実施した技術実証において示せた。具体的には、エネルギーマネジメントにおいて重要である創蓄機器である太陽光発電、蓄電池の実機を活用して検証することによって、ECHONET Lite は異なるベンダーの機器間においても相互連携することが可能な通信仕様であることが確認した。これらの機器は、一般家庭だけでなく、マンションや小型小売店舗、中小ビルなどの業務用用途においても、設置される機器であり、小型小売店舗においてエネルギーマネジメントシステムを容易に構築できる可能性を示すことができた。今後は、一般家庭だけでなく、業務用用途に多く設置されているシステム機器特有の仕様の検討や、創蓄省エネ機器を対象とした省エネ制御アルゴリズムや需給バランス制御アルゴリズムの精度を高めることで、より高効率なエネルギーマネジメントの実現が可能になると考える。

また、これらの技術の標準化（コンソーシアムによる標準、国際標準化によるデジュール標準、産官学連携によるデファクト標準）をしたことによって、研究者、開発者の枠を広げることが可能になった。企業の技術者による研究開発だけでなく、教育機関へ研究者の広がりを見せている。さらに国際標準化を達成したことにより、日本国内の企業だけでなく、海外の技術者へ広がり[93][94][95]を見せていることは大きな成果である。企業という観点においても、ECHONET Lite 公開前はエコーネットコンソーシアムの会員数は 28 社まで下がっていたが、ECHONET Lite 公開以後は増加し、現在（2017 年 10 月）においては、エコーネットコンソーシアムの会員メンバーが 168 社に、教育機関の会員である学会会員が 31 会員まで大幅に増加した[96]。さらに、ECHONET Lite 認証を取得した機器が 2016 年度には約 400 万台出荷されており、2016 年度末には ECHONET Lite の認証を開始して以来類型 1000 万台超を超える機器が出荷されている。また、スマート電力量メータについては、「1.3 小型小売店舗におけるエネルギーマネジメントシステムの重要性」記載した通り、2015

年 7 月から搭載が始まっており，現段階において，約 3000 万台のスマート電力量メータに ECHONET Lite が搭載されている。

# 第4章 システム機器グループ管理技術の 方式検討および標準化推進

本章では、「2.4 目指すべき基本システムアーキテクチャ」で記載した「システム機器グループ管理技術」に関する深掘りを行う。「1.2 研究の目的と方針」に記載した通り、一般住宅及び大型ビル向けには、ネットワーク機器の導入の普及が見込まれつつあるが、小型小売店舗のように、一般住宅より大きくビルより小さい建造物に設置する業務用機器についてはシステム化が十分にできていない。また、業務用機器は、業務用パッケージエアコン、ショーケースなど複数の機器で構成されるシステム機器が導入されている。これらの業務用のシステム機器を用いて、メンテナンスやエネルギーマネジメント、遠隔監視などのサービスを実行するためには、各機器の構成を把握したうえで、機器のベンダーに依存しない形でシステム化を行えることが重要である。本章では、家庭用機器と業務用のシステム機器におけるアーキテクチャの差異を明確化し、ECHONET Lite を用いることでIoT化した業務用のシステム機器（業務用パッケージエアコン、ショーケースなど）の構成を識別する手法を検討する。具体的には、システム機器の機器構成を把握するために必要なグループ情報について研究開発を実施し定義し、その検討結果を検証により確認した。実施した結果をもとに、システム機器グループ管理技術のキーとなる機器の構成を示すグループ情報に関する仕様をエコーネットコンソーシアムや国際標準機関にて標準化を推進した結果をまとめた。目指すべきシステムアーキテクチャにおける本章の位置づけを図 4.1 に示す。

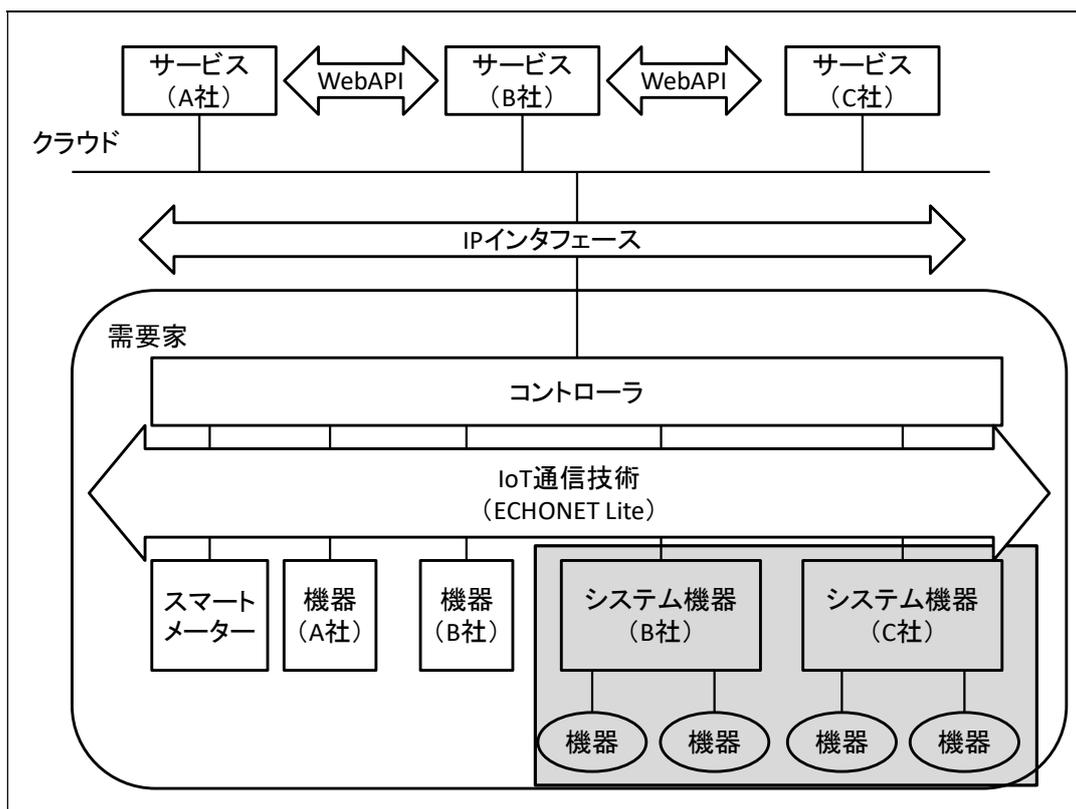


図 4.1 水平分離型のシステムアーキテクチャにおける本章の位置づけ

本章による検討の結果, ECHONET Lite を用いて IoT 化したシステム機器が管理可能な状況になることを表 4-1 にまとめる.

表 4-1 各通信仕様の評価

	従来の仕様	本論文の成果
センサ類の管理	○	○
家電類の管理	○	○
システム機器の管理	×	○

具体的には, 「システム機器グループ管理技術」を確立するために, 以下に示すステップで仕様検討から標準化までを実施した.

1. 家庭用エアコン, 照明などの一般の機器と業務用パッケージエアコンやショーケースなどのシステム機器とのアーキテクチャの差分を明確化した.
2. システム機器を IoT 化した時の課題を明確にした. そして, 課題を解決するための手

法を検討し、エミュレータを開発し、検討結果の正当性を検証した。

3. その検討結果であるグループ情報について、通信の観点ではエコーネットコンソーシアムでの標準化を推進し、機器の観点では日本冷凍空調工業会に提案し、それぞれ仕様化に関して合意を取った。
4. 国際仕様案を作成し、世界各国の Expert への提案、説明を実施し、最終的に国際標準仕様 IEC 62394 Ed.3 として、承認された。

## 4.1 小型小売店舗の構成

従来一般的な小型小売店舗における構成例を図 4.2 に示す。図 4.2 に示すように、例えばショーケースシステムと業務用パッケージエアコンシステムはそれぞれが独立して動作しており、店舗内の機器間での連携はない。図 4.2 においてはショーケースとパッケージエアコンのみの構成で記載したが、実際の店舗においては照明をはじめ様々な機器が独立して動作している。

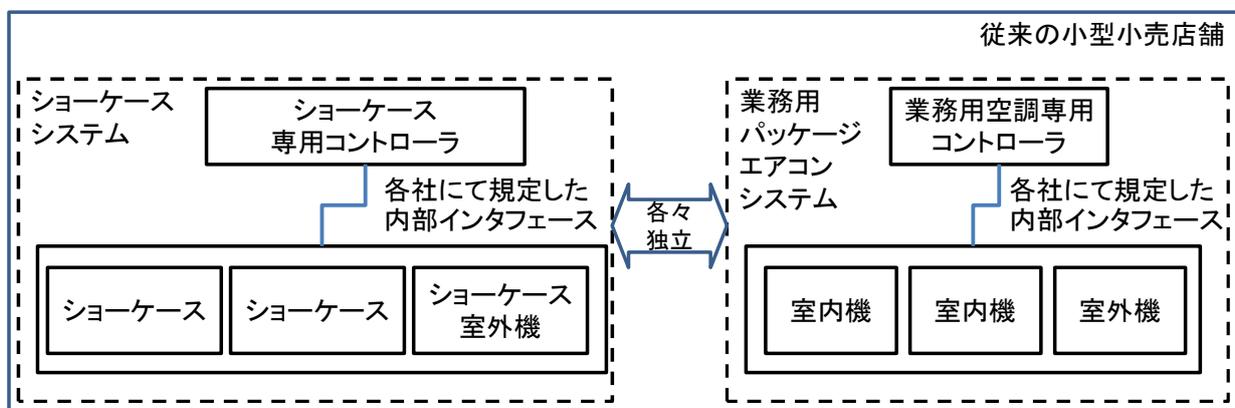


図 4.2 従来の小型小売店舗における構成例

また、このように各機器が独立して動作している場合、各機器での個別最適な動作は実現可能だが、各機器では他の機器の状態が分からないため、小型小売店舗における全体最適な動作を実施することは困難である。全体最適の事例として、ピークカットの要請時に機器間の連携を実現するシステムを構築することで、日時、天候、店舗内の環境などに基づいて、必要な機器のみ制御することが可能になる。ECHOENT Lite を適用することで機器間の連携を実現する小型小売店舗の構成例を

図 4.3 に示す。各機器システムを束ねる一台の店舗コントローラを設置し、各機器に ECHONET Lite を搭載することで1台の店舗コントローラが各機器と ECHONET Lite にて通信を実施する。なお、図 4.3 はシステム構成全体の事例であり、ショーケースシステム及び業務用パッケージエアコンシステムが、ネットワークに接続する具体的なアーキテクチャについては、「4.2 一般の機器とシステム機器とのアーキテクチャの差異」に詳細に記載する。

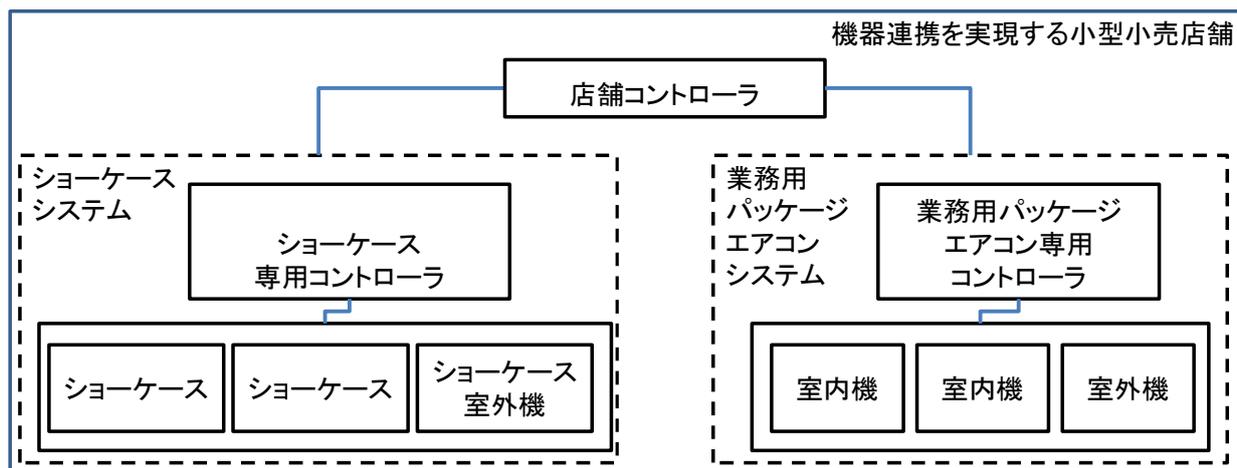


図 4.3 機器連携を実現する小型小売店舗の構成例

## 4.2 一般の機器とシステム機器とのアーキテクチャの差異

図 4.3 の構成例の機器連携を実現する小型小売店舗において、ECHONET Lite を搭載する小型小売店舗への適用時の課題が発生する一因として、家庭用機器と小型小売店舗などに設置される業務用のシステム機器とのアーキテクチャの違いがある。家庭用機器は単一の機器で構成されているのに対し、業務用のシステム機器は複数の機器で構成しており、複数の機器間は各社にて規定した内部 I/F を用いてシステム化されている。ネットワーク対応の家庭用機器のアーキテクチャについてエアコン、冷蔵庫を事例にして図 4.4 に示す。

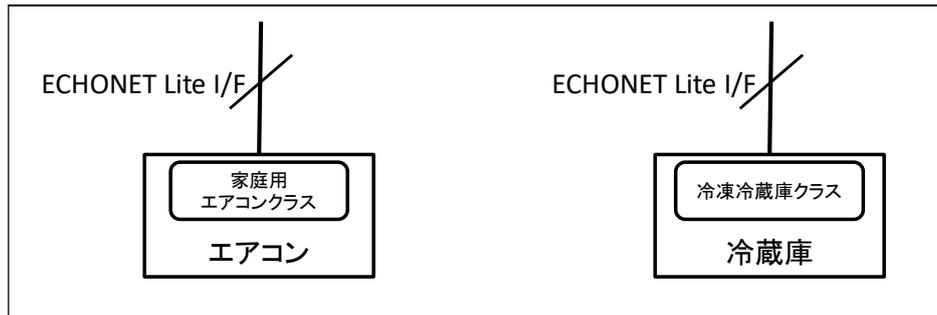


図 4.4 家庭用機器のアーキテクチャ

また、システム機器のアーキテクチャについて冷凍・冷蔵ショーケース、業務用パッケージエアコンを事例にして、それぞれ図 4.5, 図 4.6, 図 4.7, 図 4.8 に示す。システム機器を ECHONET Lite に対応するための実装方式として、図 4.5, 図 4.6 に示すように各機器の専用コントローラ上に各機器の機能を定義している ECHONET Lite の機器オブジェクト（ショーケースクラス、ショーケース室外機クラスなど）を搭載する方式と、図 4.7, 図 4.8 に示すようにシステム機器内の各機器に機器オブジェクトを搭載する方式が考えられる。

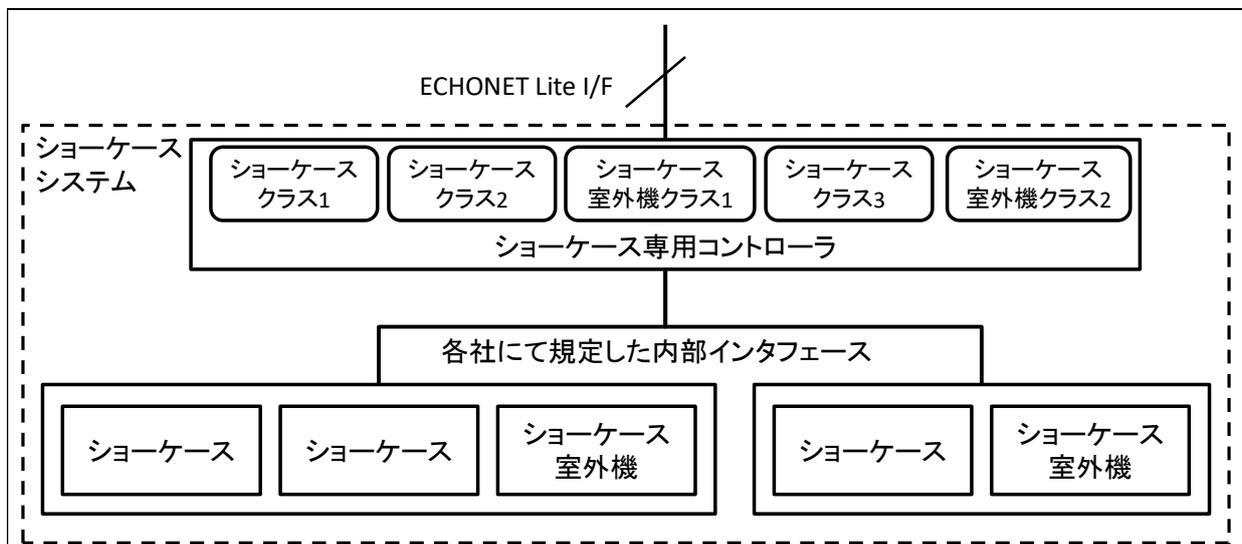


図 4.5 冷凍・冷蔵ショーケースのアーキテクチャ 1

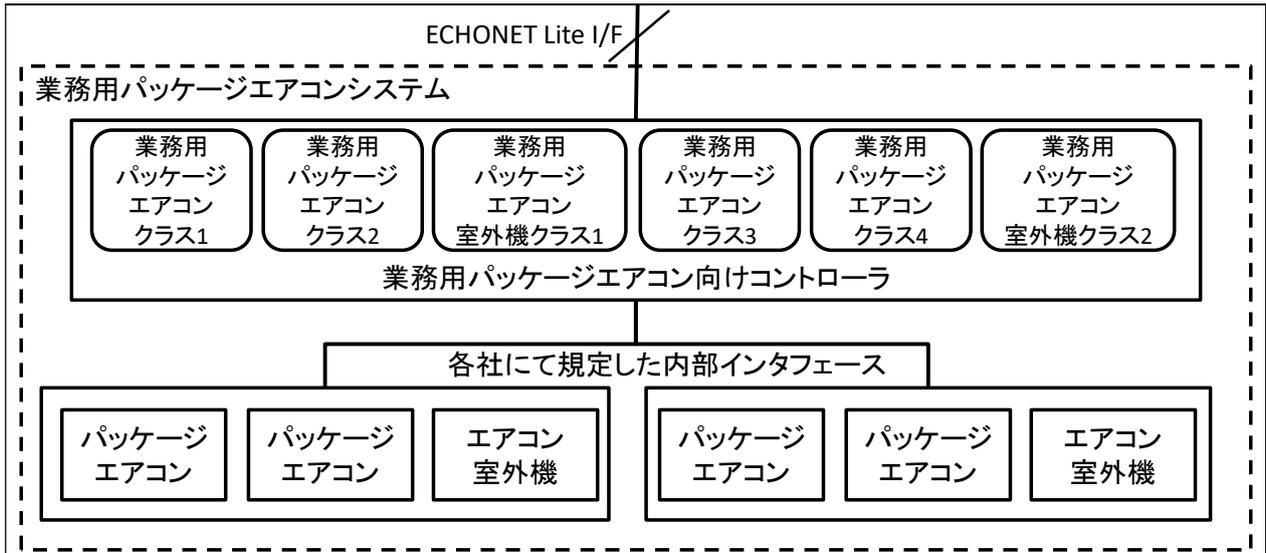


図 4.6 業務用パッケージエアコンのアーキテクチャ 1

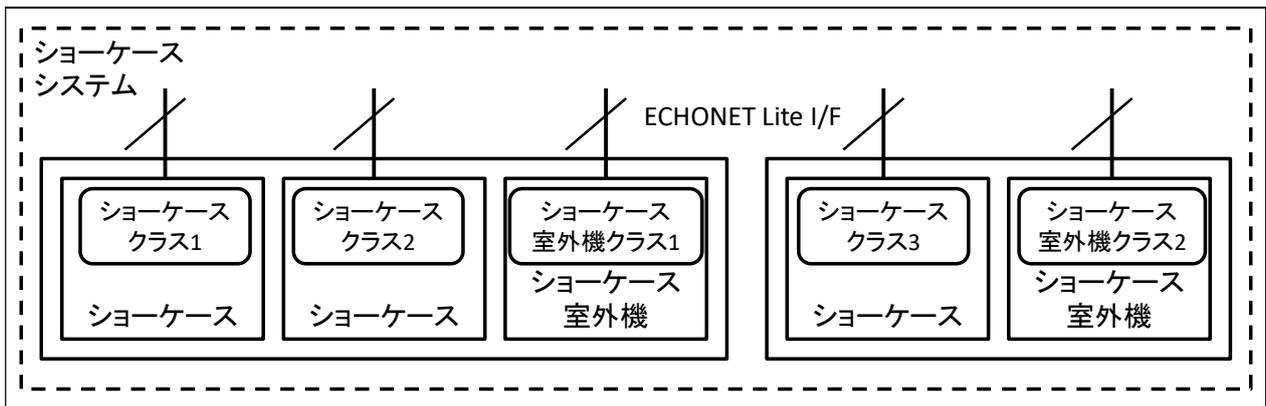


図 4.7 冷凍・冷蔵ショーケースのアーキテクチャ 2

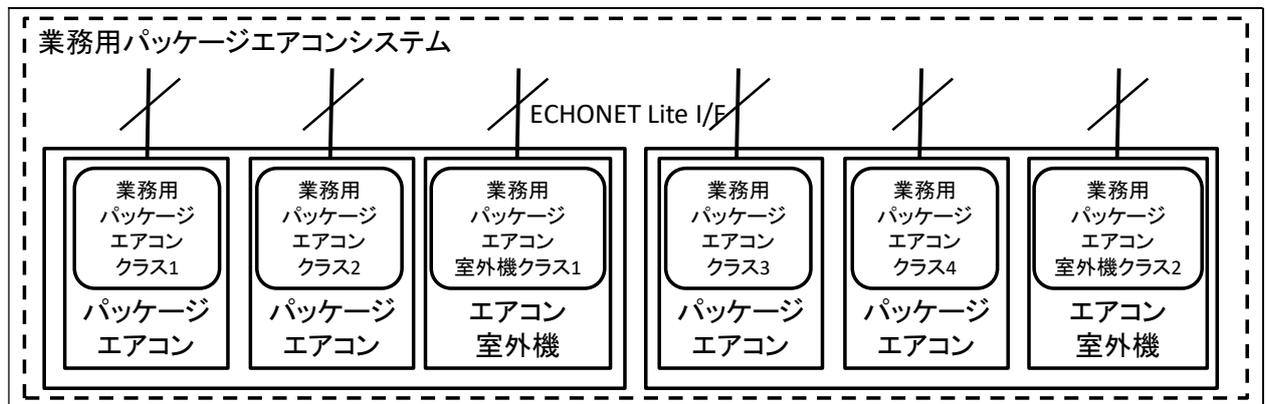


図 4.8 業務用パッケージエアコンのアーキテクチャ 2

なお、冷凍・冷蔵ショーケースとは冷蔵機能や冷凍機能を持ち、コンビニエンスストアやスーパー

マーケットなどの小売店舗において、野菜、肉、野菜、飲み物、アイスクリームなどの飲食物を陳列するためのものである。

「図 4.5, 図 4.6 のアーキテクチャ」と「図 4.7, 図 4.8 のアーキテクチャ」はいずれも実装の可能性があり、比較を表 4-2 にまとめる。

**表 4-2 各アーキテクチャの比較**

	メリット	デメリット
図 4.5 図 4.6	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 機器本体（ショーケースなど）の変更が不要</li> <li>● ソフトアップデートが機器の専用コントローラのみで実現可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 機器専用コントローラが必要</li> </ul>
図 4.7 図 4.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 機器専用コントローラが不要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 各機器のソフトウェア、及びハードウェアの改修必須</li> <li>● 既存機器への対応が困難</li> </ul>

すでに市場に設置されているシステム機器の ECHONET Lite 対応を考慮する場合、図 4.5, 図 4.6 のアーキテクチャが現実的である。図 4.7, 図 4.8 のアーキテクチャは機器の専用コントローラが不要というメリットがある半面、既存機器への導入が困難である。困難な最大の要因として、Ethernet, Wi-Fi などの標準メディアを本体に搭載していない業務用機器が多いためハードウェアの改修も必要になる点である。ただし、専用コントローラが必須ではないため中長期的に新規の機器を開発する場合には有効なアーキテクチャである。

## 4.3 システム機器の IoT 化

### 4.3.1 システム機器の IoT 化における課題

前節に示した通り、家庭用機器と業務用のシステム機器のアーキテクチャは異なり、従来の ECHONET Lite をそのまま業務用のシステム機器に適用すると図 4.5, 図 4.6, 図 4.7, 図 4.8 のいずれの場合も複数の機器が並列に ECHONET Lite のネットワーク上に見えることとなり、対向

する店舗コントローラにおいて複数の機器の構成を ECHONET Lite のネットワーク上では判別することが困難である。

例えば図 4.5 の事例においては、ショーケース専用コントローラ上に 3 台のショーケースと 2 台のショーケース室外機が並列に公開されているため、どのショーケースとどのショーケース室外機が同一の冷媒配管で接続されているのかを ECHONET Lite のネットワーク上で判別することが困難である。また、図 4.7 の事例においても 3 台のショーケースと 2 台のショーケース室外機がそれぞれ独立してネットワークに接続しているため、図 4.5 の事例と同様にどのショーケースとどのショーケース室外機が同一の冷媒配管で接続されているか判別することが困難である。

しかし、ショーケース及びショーケース室外機に対して制御や状態参照を実行する場合、同一の冷媒配管で接続する他の機器への影響を把握する必要があるため、構成を把握することは必要不可欠である。具体的にはアイスクリームや氷などを格納しているショーケースの室外機の運転モードを省エネのために「非冷」にすると、商品が溶けるなどの害が出る可能性がある。また、業務用パッケージエアコンもメンテナンスなどのために故障情報の取得を考慮すると、同一の冷媒配管で接続する機器について把握する必要がある。また、業務用空調に対して、省エネ制御を実行する場合、室外機に対して制御することが一般的である。その時、日当たりの良い窓際の室内機が接続する室外機の動作を止めてしまうと、店舗内の温度環境に大きな影響を与える可能性があり、窓際の室内機が接続する室外機以外の室外機を制御することで、店舗内の環境悪化を防ぐことができる。

#### 4.3.2 システム機器の構成の判別方法

業務用のシステム機器に ECHONET Lite を適用するにあたって、図 4.5、図 4.6、図 4.7、図 4.8 に示す通り複数の機器が並列に ECHONET Lite のネットワーク上に見えるため、一般の家庭用機器では想定する必要がなかった機器の構成を把握するための仕組み、すなわち「システム機器グループ管理技術」が必要となる。

「システム機器グループ管理技術」の重要な点として、システム機器側が機器の構成をいかに平易な記述を実現するかという点と、コントローラ側において記述した方式を元に機器の構成を判別

することができるか、という点である。

具体的な仕組みとして、表 4-3 に記載するように、ショーケースとショーケース用室外機との紐づけや業務用パッケージエアコンと業務用パッケージエアコン室外機との紐付けなど、影響を及ぼす機器同士を紐付けするための情報を「グループ情報」として定義する。

図 4.5, 図 4.6, 図 4.7, 図 4.8 に示す通り同一の冷媒配管に接続する機器が異なる通信アドレスを保持する可能性があり、「アドレス含めて階層化管理をバイナリで定義する必要があること」、また、ECHONET Lite はトランスポートフリーであるため、「様々なアドレス体系に対応する必要があること」などから実装の容易性を考慮し、新規プロパティである「グループ情報」にて定義することとした。

表 4-3 グループ情報プロパティ

プロパティ名称	EPC	プロパティ内容	アクセスルール	備考
グループ情報	0xCA	0x00: 設定なし	Set	オプション
		0x01~0xFD	Get	必須

機器の構成を判断することは重要であるため、グループ情報を取得 (Get) する機能を必須とする。また、グループ情報の設定 (Set) についてはショーケースシステム及び業務用パッケージエアコンなどの設置施工を考慮すると、機器側で設定する方法も想定することができ、必ずしも ECHONET Lite の仕組みを用いる必要がないためオプションとする。なお、表 4-3 に示すグループ情報プロパティについては、ショーケースとショーケース室外機や、業務用パッケージエアコンと業務用パッケージエアコン室外機といった機器に特有の機能ではなく、複数の機器で構成する機器を ECHONET Lite に適用する場合に用いることで機器の構成を識別することが可能である。

また、本方式を決定するに当たり、他の手法に関して調査、評価した結果については、「4.4 システム機器の構成の判別方法事例」にまとめた。また、コントローラがコントローラ側において記述した方式を元に機器の構成の判別可否については、「4.5 システム機器の IoT 化における ECHONET Lite の検証」にて結果をまとめた。

## 4.4 システム機器の構成の判別方法事例

前節で「グループ情報」を定義したが、本節において他の通信仕様における方式を調査、評価した結果を整理した。具体的には、AV 機器などで用いられている UPnP を用いる方式、ビルマネジメント向けの通信仕様、ホームネットワーク向けの通信仕様、コントローラのアプリケーションにて管理する方式を対象に調査、評価を実施した。

### 4.4.1 AV 機器などで用いられている記述方式

「グループ情報」は 1 階層の記述方式で定義としたが、その他の実現方法として階層構造を表現することができるデータの定義も考えられる。例えば、テレビや DVD レコーダーなどの AV 機器が搭載している UPnP で規定する XML を用いた Device Description Document[97]を用いることで、階層化による記述方式を規定することは容易である。Device Description Document を用いた記載例を図 4.9 に示す。

しかし、ECHONET Lite の搭載を対象とするセンサ類、白物家電、システム機器を含む設備機器においては、テレビや DVD レコーダーなどの AV 機器と異なり、XML を解析可能なリソースを搭載していない機器が多く、XML を用いた解決策は現実的ではない。

また、このような階層化の記述形式は、1 つの通信アドレスの下に複数の機器が接続する図 4.5、図 4.6 に示すアーキテクチャであれば実現可能性があるが、図 4.7、図 4.8 に示すアーキテクチャのように、複数の通信アドレスの下に機器が分散する場合、アドレスが変更した場合に動的に記述を変更する必要もあり、非常に困難なものになる。したがって、階層化した記述形式は、システム機器の構成を示すには適さないと判断した。

```

<device>
<deviceCategory>Showcase</deviceCategory>
<deviceType>Showcase_system</deviceType>
<UDN>uuid:任意のID</UDN>
<deviceList>
  <deviceType>Showcase_inner1</deviceType>
  <UDN>uuid:任意のID</UDN>
  <serviceList>
    <service> </service>
  </serviceList>
  <deviceType>Showcase_inner2</deviceType>
  <UDN>uuid:任意のID</UDN>
  <serviceList>
    <service> </service>
  </serviceList>
  <deviceType>Showcase_inner2</deviceType>
  <UDN>uuid:任意のID</UDN>
  <serviceList>
    <service> </service>
  </serviceList>
</deviceList>
</device>

```

図 4.9 Device Description Document を用いた記載事例

#### 4.4.2 その他の通信仕様について

ZigBee, Z-wave, KNX などといった従来のホームネットワーク向け通信仕様においては、基本的にシステム機器の制御コマンドの規定がされていない参考にできる仕様が存在していない。

また、BACnet や LONWORKS などのビルマネジメント向けの通信仕様においては、業務用パッケージエアコンに関して、リモコンの延長で室内機の制御コマンドを規定するのみであり、室外機との組み合わせを判別可能な制御コマンドは規定されていない。またビルマネジメント向けについては、システム施行者による設置、施工、及びネットワーク管理者の存在によって、必要に応じて、設置施工時にアプリケーションにて設定するのが一般的であるため、グループ情報に相当するような機器の構成を通信によって識別するための通信仕様は存在していない。

#### 4.4.3 コントローラのアプリケーションにおける設定方式

システム機器の管理構成に関する情報を機器側が保持するのではなく、コントローラのアプリケーションを用いて、管理構成を設定する方式も考えられる。しかし、ネットワーク上においては、例えばショーケースの室外機の台数などの識別も容易にできるが、複数台の室外機が接続されている場合において、アプリケーション上で検出した室外機と実際の室外機との関係を設置施工時に間違えずに設定することは困難であることが想定される。室外機が照明やエアコンの室内機などと異なり、外部から動作が見えづらいことが一因となる。

また、システム機器の構成を示す情報がコントローラ側にあるため、コントローラを変更したり、追加したりする場合に置いて、その都度設定しなければならないという課題も残る。

以上の結果からも、今回定義したグループ情報のような 1 階層の通信仕様のパラメータが最適な仕様であると判断した。

#### 4.5 システム機器の IoT 化における ECHONET Lite の検証

以上の「システム機器グループ管理技術」の検討結果より、ショーケースとショーケース室外機や、業務用パッケージエアコンと業務用パッケージエアコン室外機などの業務用機器に関して、適用が可能であると考えた。

検討結果の正当性を検証するために、実際の適用性に関してエミュレータを用いて検証した。今回の検証においては、様々なシステム構成において、ECHONET Lite を用いて「システム機器グループ管理技術」の確からしさを検証することが主目的であるため、実機ではなく構成をフレキシブルに設定可能なエミュレータを用いて検証する。

コントローラについては、神奈川工科大学の HEMS 認証支援センターにおいて試験や実験に用いているコントローラを使用した。また、業務用機器については、パナソニック株式会社においてホームネットワークの技術開発を行う際に用いているエミュレータを使用した。マルチベンダー間相互接続を意識して、異なるベンダー間での検証を実施した。

#### 4.5.1 検証システムの構成

今回、実証したシステム構成を図 4.10 に示す。構成として、ショーケース 5 台とショーケース室外機 4 台が接続している事例で検証を実施した。また、ショーケースのアーキテクチャは、短期での導入が現実的である図 4.5 のアーキテクチャにて検証を実施した。

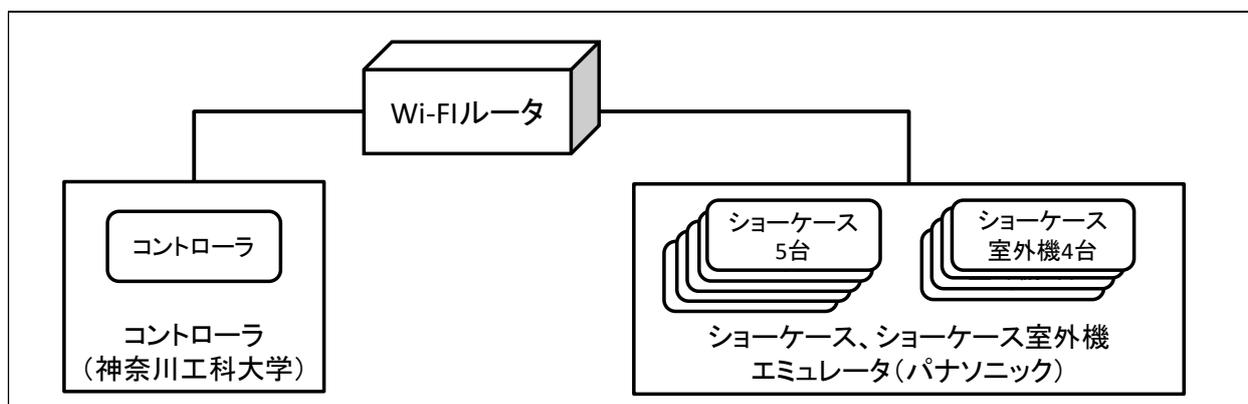


図 4.10 検証におけるシステム構成

なお、図 4.10 はシステム構成図を示しており、ショーケース及びショーケース室外機のエミュレータとコントローラはそれぞれ異なる Windows PC 上で動作させている。それぞれのエミュレータを同一の Wi-Fi ルーターに接続することで相互に通信するシステムを構築し、二つの項目について検証した。一つ目は、コントローラがショーケース及びショーケース室外機を家庭用エアコンと同等の手段で検出可能かどうか検証を実施した。二つ目は、「4.3 システム機器の IoT 化」で示した課題に対して ECHONET Lite を用いて解決できているか検証を実施した。また、今回の検証においてマルチベンダー相互接続を目指す通信の標準仕様を用いるため、当社のエミュレータに、神奈川工科大学のコントローラを接続し、検証を実施した。

#### 4.5.2 ショーケース及びショーケース室外機の検出

コントローラがホームネットワーク技術を適用して、ショーケース及びショーケース室外機を検出可能なことをコントローラの画面を用いて説明する。まず、コントローラの初期画面を図 4.11 に示す。

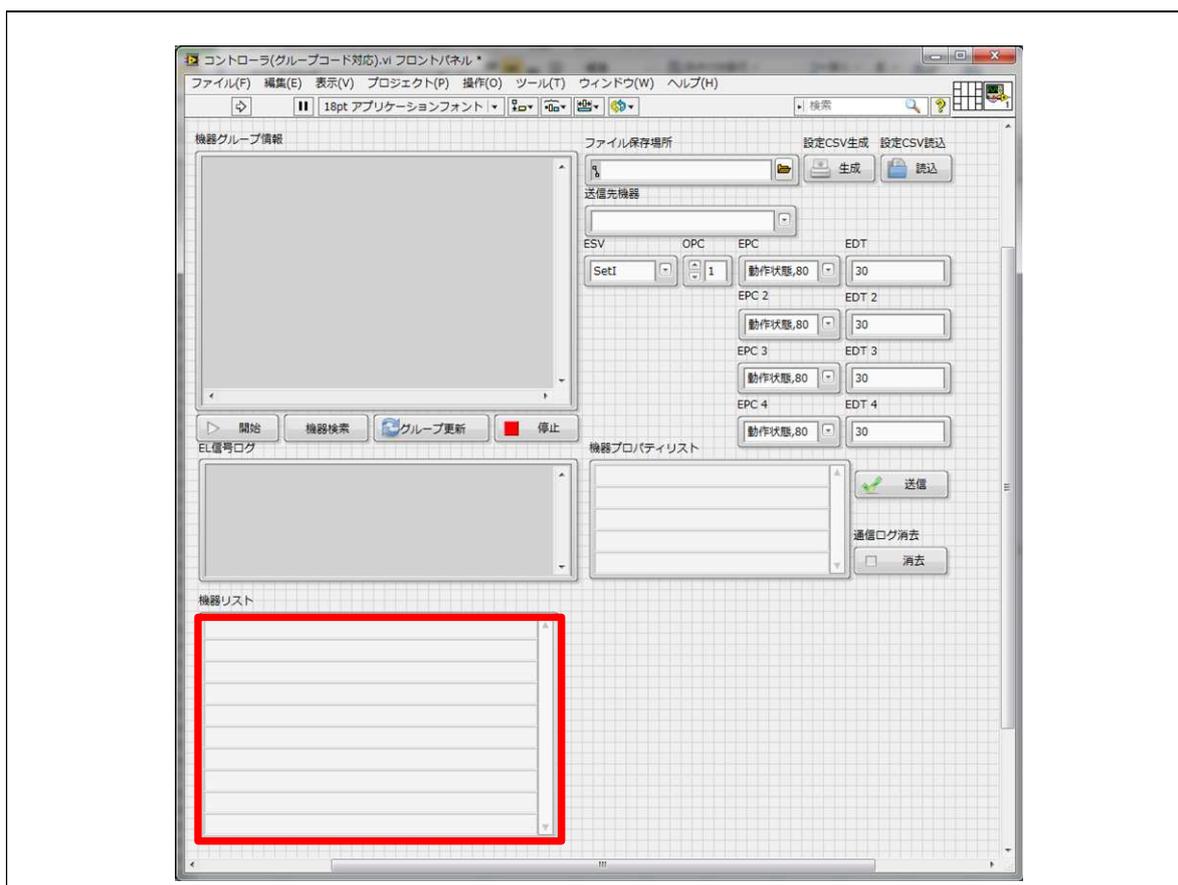


図 4.11 コントローラの初期画面

コントローラ画面の左下の赤線で囲った部分に、コントローラが検出した機器のリストを表示する仕様となっている。

次に、ECHONET Lite を用いて機器を検出する手段として、コントローラはマルチキャストでノードプロファイルクラス（ECHONET オブジェクト：0x0EF001）の自ノードインスタンスリスト S プロパティ（ECHONET プロパティコード：0xD6）宛てに、読み出し要求を送信する。ノードプロファイルクラスはノードの通信機能に関する機能を定義したクラスであり、自ノードインスタンスリスト S プロパティは自ノード上に搭載している ECHONET オブジェクト群を格納するプロパティである。

ノードプロファイルクラスは ECHONET Lite に対応する機器はすべて保持しているクラスであり、同一ネットワークに接続するすべてのノードはコントローラに対して応答することとなる。具体的には、ショーケース及びショーケース室外機のエミュレータは、ショーケース 5 台及びショー

ケース室外機 4 台を示す ECHONET オブジェクトを列挙して応答する。検出した結果を図 4.12 に示す。

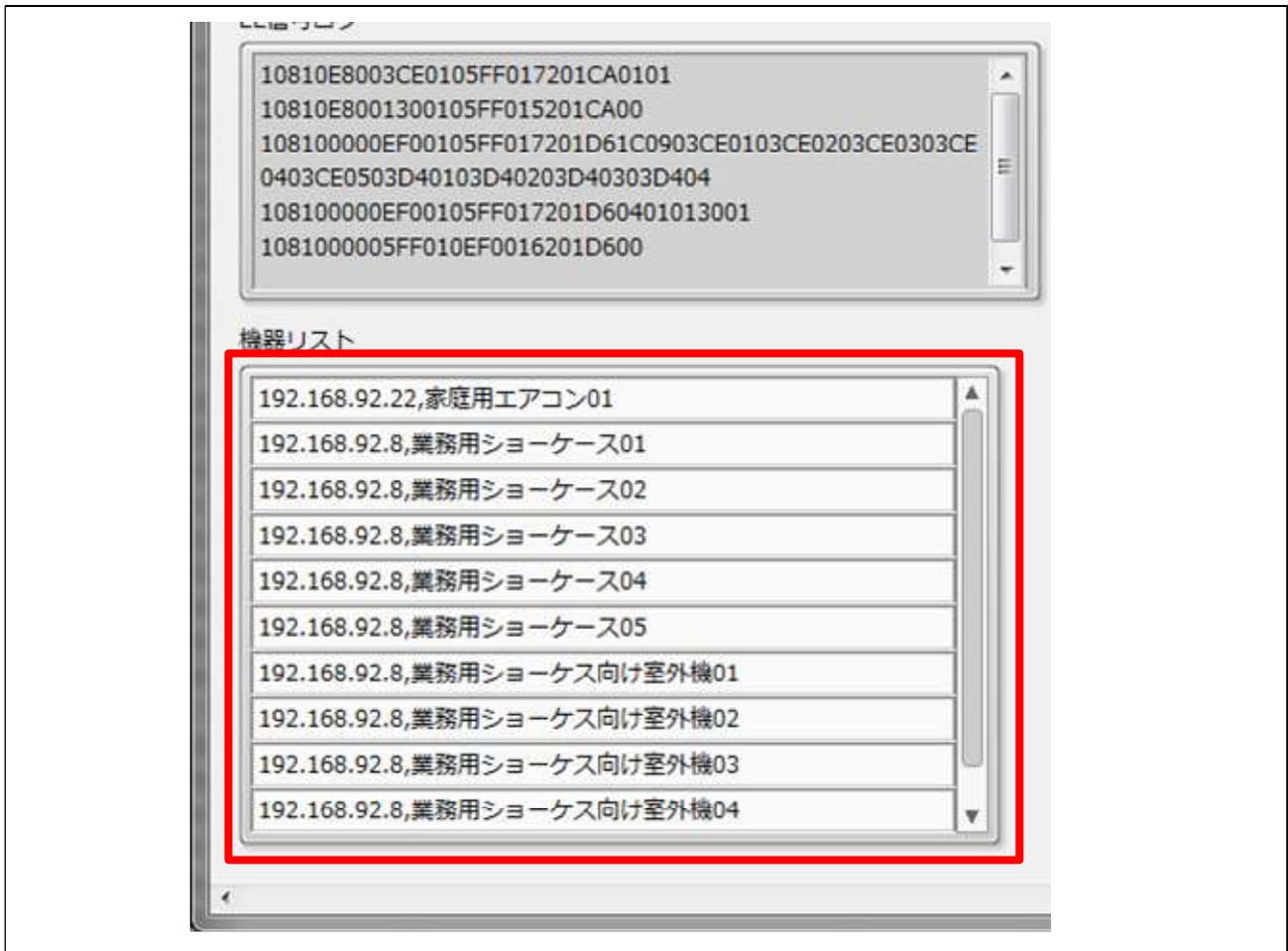


図 4.12 機器の検出結果を示すコントローラ

図 4.12 は、コントローラ画面を拡大したものだが、コントローラは今回新たに定義した業務用ショーケース 5 台及び業務用ショーケース室外機 4 台を検知していることが分かる。

また、図 4.10 で示すシステムの同一サブネット内にエアコンが 1 台接続されている。そのため、前述したノードプロファイルクラス (ECHONET オブジェクト: 0x0EF001) の自ノードインスタンスリスト S (ECHONET プロパティ: 0xD6) 宛てに、送信した読み出し要求へ応答したエアコンが図 4.12 に示す機器リストに含まれている。このことから、家庭用エアコンと同等の手段で、業務用機器の検出が可能であることを示している。

### 4.5.3 システム機器の構成の識別

業務用パッケージエアコンやショーケースなどのシステム機器におけるのシステム構成を識別するためのグループ情報を設定するための方法として、以下の方式のいずれかが考えられる。システム機器のうちショーケースを事例として検討を実施した。

- ショーケース側にて設定する仕組みを設ける場合
- ECHONET Lite を用いて、コントローラが各ショーケースクラス及びショーケース室外機クラスにグループ情報を設定する場合

まず、ショーケース側にて設定する場合について検証する。コントローラは、「4.5.2 ショーケース及びショーケース室外機の検出」に記載した方式にて、ショーケース及びショーケース室外機を検出し、機器リストに格納する。そして、機器リストに格納した機器に向けて「4.5.3 システム機器の構成の識別」に記載した「業務用ショーケースクラスのグループ情報プロパティ宛て」及び「業務用ショーケース室外機クラスのグループ情報プロパティ宛て」に、読み出し要求を送信する。コントローラは、ショーケース及びショーケース室外機のエミュレータが送信する応答を受信するとグループ情報を識別する。コントローラがショーケース及びショーケース室外機のグループ情報を識別した結果を図 4.13 に示す。

図 4.13 は、コントローラ画面の左上の表示領域を拡大したものである。取得したグループ情報の値より「業務用ショーケース 1, 業務用ショーケース 2, 業務用ショーケース室外機 1」, 「業務用ショーケース 4, 業務用ショーケース室外機 2」, 「業務用ショーケース 5, 業務用ショーケース室外機 3」, 「業務用ショーケース 3, 業務用ショーケース室外機 4」が同じ冷媒配管で接続されたショーケースのシステムであることが分かる。

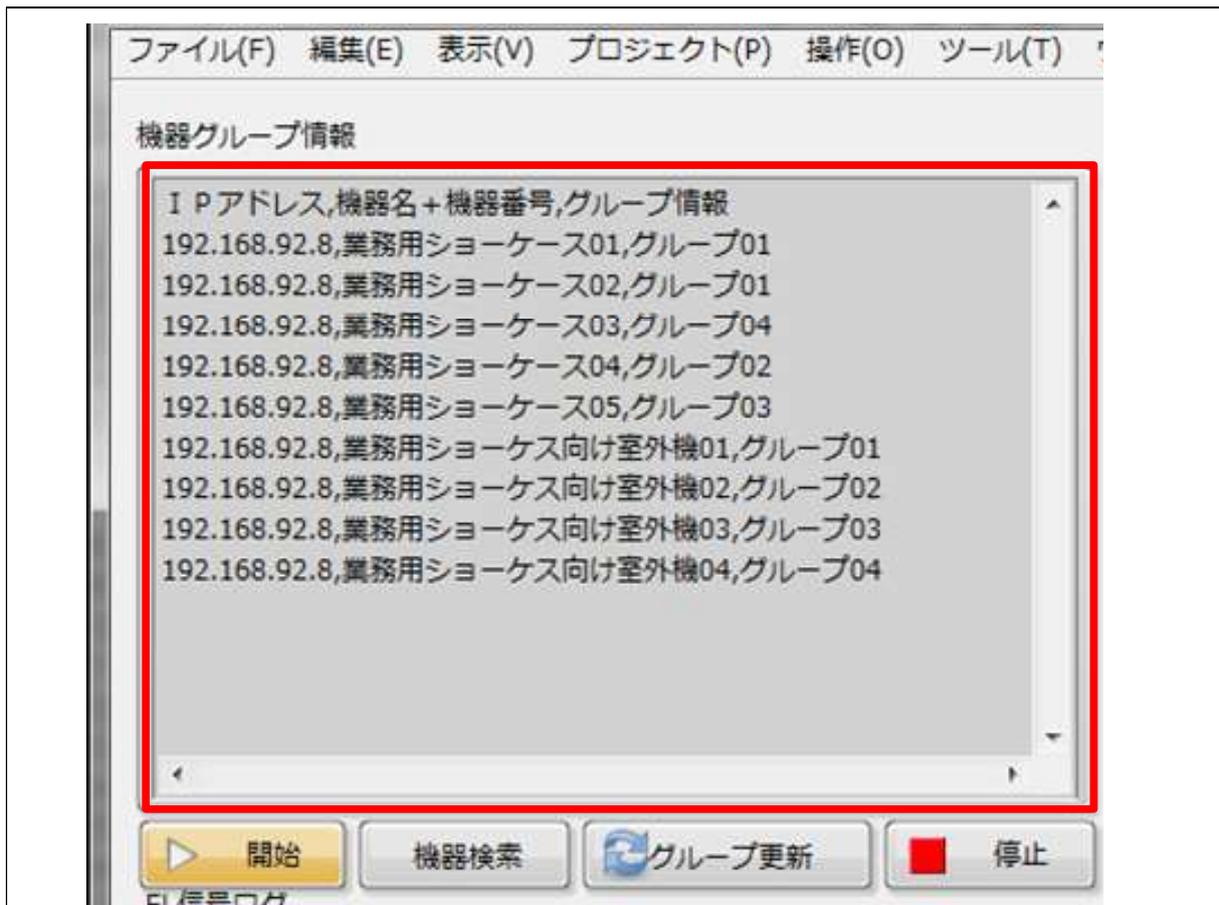


図 4.13 ショーケース，ショーケース室外機の構成識別結果

次に，コントローラが各ショーケース及びショーケース室外機に対して設定する場合，コントローラは各ショーケース及びショーケース室外機に向けて，「5.2.2 参加型エネルギーマネジメントシステムの有効性」に記載した「業務用ショーケースクラスのグループ情報プロパティ」及び「業務用ショーケース室外機クラスのグループ情報プロパティ」に書込み要求を送信する．その際，ショーケース及びショーケース室外機のエミュレータが受信したメッセージのログを表 4-4 に示す

表 4-4 の「送信先」の列に，該当するショーケース 1～ショーケース 5 及びショーケース室外機 1～ショーケース室外機 4 の機器オブジェクトが格納されている．また，グループ情報の列では，二番目の値 0xCA はグループ情報の ECHONET プロパティコードを示し，最後の数値が設定されるグループ情報の値となる．今回のケースでは「業務用ショーケース 5，業務用ショーケース室外機 4」，「業務用ショーケース 4，業務用ショーケース室外機 3」，「業務用ショーケース 2，業務用ショーケース 3，業務用ショーケース室外機 2」，「業務用ショーケース 1，業務用ショーケース室外機 1」

が同じ冷媒配管で接続されたショーケースのシステムであるという設定をコントローラから、ショーケースのシステムに対して実施した。

表 4-4 グループ情報設定時のエミュレータの受信ログ

#ELCemu 2.0				送信元	送信先		グループ情報
0	RECV	1	SET要求受信	- 05:FF:01	03:CE:01	60	01:CA:01:04
0	RECV	1	SET要求受信	- 05:FF:01	03:CE:02	60	01:CA:01:03
1000	RECV	1	SET要求受信	- 05:FF:01	03:CE:03	60	01:CA:01:03
2000	RECV	1	SET要求受信	- 05:FF:01	03:CE:04	60	01:CA:01:02
0	RECV	1	SET要求受信	- 05:FF:01	03:CE:05	60	01:CA:01:01
1000	RECV	1	SET要求受信	- 05:FF:01	03:D4:01	60	01:CA:01:04
1000	RECV	1	SET要求受信	- 05:FF:01	03:D4:02	60	01:CA:01:03
1000	RECV	1	SET要求受信	- 05:FF:01	03:D4:03	60	01:CA:01:02
1000	RECV	1	SET要求受信	- 05:FF:01	03:D4:04	60	01:CA:01:01

最後に、コントローラ用ツールは設定状況を確認するために、「業務用ショーケースクラスのグループ情報プロパティ宛て」及び「業務用ショーケース室外機クラスのグループ情報プロパティ宛て」に、読出し要求を送信する。その際、ショーケース及びショーケース室外機のエミュレータが受信したメッセージのログを表 4-5 に示す。

表 4-5 グループ情報設定後の確認時のログ

#ELCemu 2.0					送信元	送信先		グループ情報
2000	RECV	1	GET 要求受信	-	05:FF:01	03:CE:01	62	01:CA:00
0	SEND	1	GET 応答送信	-	03:CE:01	05:FF:01	72	01:CA:01:04
1000	RECV	1	GET 要求受信	-	05:FF:01	03:CE:02	62	01:CA:00
0	SEND	1	GET 応答送信	-	03:CE:02	05:FF:01	72	01:CA:01:03
1000	RECV	1	GET 要求受信	-	05:FF:01	03:CE:03	62	01:CA:00
0	SEND	1	GET 応答送信	-	03:CE:03	05:FF:01	72	01:CA:01:03
1000	RECV	1	GET 要求受信	-	05:FF:01	03:CE:04	62	01:CA:00
0	SEND	1	GET 応答送信	-	03:CE:04	05:FF:01	72	01:CA:01:02
1000	RECV	1	GET 要求受信	-	05:FF:01	03:CE:05	62	01:CA:00
0	SEND	1	GET 応答送信	-	03:CE:05	05:FF:01	72	01:CA:01:01
1000	RECV	1	GET 要求受信	-	05:FF:01	03:D4:01	62	01:CA:00
0	SEND	1	GET 応答送信	-	03:D4:01	05:FF:01	72	01:CA:01:04
1000	RECV	1	GET 要求受信	-	05:FF:01	03:D4:02	62	01:CA:00
0	SEND	1	GET 応答送信	-	03:D4:02	05:FF:01	72	01:CA:01:03
1000	RECV	1	GET 要求受信	-	05:FF:01	03:D4:03	62	01:CA:00
0	SEND	1	GET 応答送信	-	03:D4:03	05:FF:01	72	01:CA:01:02
1000	RECV	1	GET 要求受信	-	05:FF:01	03:D4:04	62	01:CA:00
0	SEND	1	GET 応答送信	-	03:D4:04	05:FF:01	72	01:CA:01:01

表 4-5 の「GET 要求受信」と示す列の「送信先」の列に該当するショーケース 1～ショーケース 5、及びショーケース室外機 1～ショーケース室外機 4 が格納されている。それぞれの要求に対し、「GET 応答送信」と示す列のグループ情報の列の最後の数値が、各ショーケースに設定されているグループ情報の値となる。表 4-4 で設定された値を各ショーケース及び各ショーケース室外機が応答していることが分かる。また、応答を受信したコントローラがショーケース及びショーケース室外機のグループ情報を識別した結果を図 4.14 に示す。

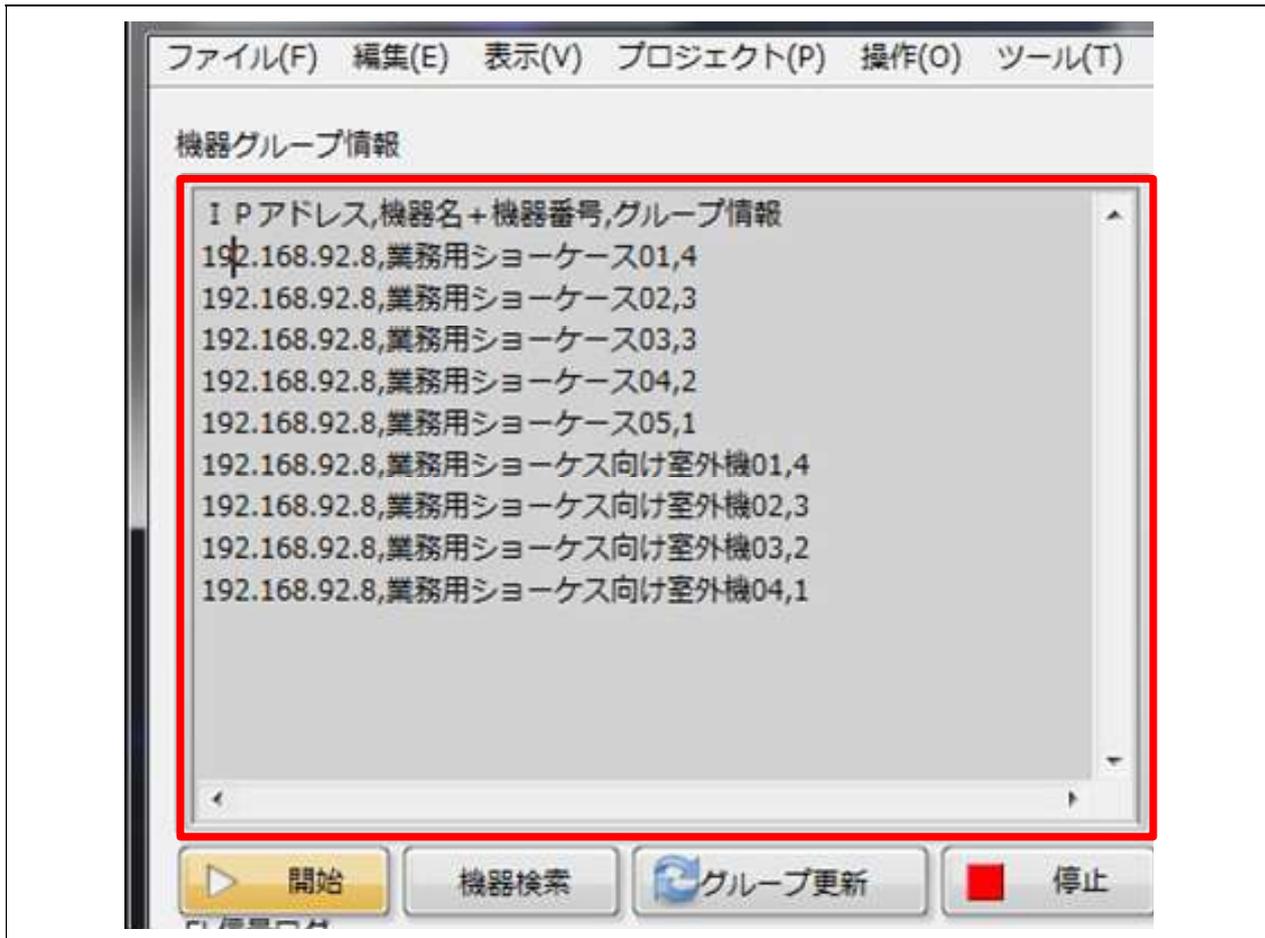


図 4.14 ショーケースシステムへの設定結果確認

図 4.14 は、コントローラ画面の左上の表示領域を拡大したものである。この結果より、「業務用ショーケース 5，業務用ショーケース室外機 4」，「業務用ショーケース 4，業務用ショーケース室外機 3」，「業務用ショーケース 2，業務用ショーケース 3，業務用ショーケース室外機 2」，「業務用ショーケース 1，業務用ショーケース室外機 1」が同じ冷媒配管で接続されたショーケースのシステムとして設定に成功していることが確認できた。

## 4.6 成果に対する標準化への取組み

### 4.6.1 日本国内における標準化の取組み

今回検証したグループ情報プロパティについて、エコーネットコンソーシアムに対して標準化仕

様の作成と提案を行った。提案内容を専門家が集まるコンソーシアム内のワーキングでの検討を主査として主導し、その後 100 社を超えるコンソーシアム全会員の会員レビューを経て、「APPENDIX ECHONET 機器オブジェクト詳細規定 Release F」にて公開済みとなった。また、エコーネットコンソーシアム技術委員長として、業務用ショーケースや業務用パッケージエアコンを含む冷凍空調産業の発展を図る工業会である「一般社団法人 日本冷凍空調工業会[98]」と、業務用パッケージエアコン関連クラス及び業務用ショーケース関連クラスの仕様改訂の検討を実施した。その検討においても、グループ情報プロパティは小型小売店舗における設備管理をするうえで必要不可欠な定義であり、このプロパティによって機器を特定できることで効果的な省エネ制御も実現可能になる点が評価され、標準化仕様策定で合意した。さらに、資源エネルギー庁の検討会に対して、業務用パッケージエアコン、業務用ショーケースなどのシステム機器がエネルギー管理システムにおいて重要なエネルギーリソースとなりえる機器であることを提案し、グループ情報に関する仕様含めて承認された。

#### 4.6.2 国際標準化の取組み

3.3.1 に記述した通り、ECHONET Lite を国内で特に公共的な事業を行う場合や、グローバルに事業を拡大していく場合において、国際標準化は必須である。そのため、ショーケースクラス、ショーケース向け室外機クラス、業務用パッケージエアコンクラス、業務用パッケージエアコン向け室外機クラス含めて、IEC TC100[99]に対し IEC 62394 Ed.3 として、グループ情報プロパティ含む制御コマンドに関する国際標準化提案を実施し、Project Leader として国際標準仕様の策定、各国 Expert への説明、レビューコメント対応を実施するなどして、国際標準化活動を主導した。

2015 年 3 月にイタリアのミラノでの IEC TC100 TA9 での会議において IEC 62394 Ed.3 の提案するために、仕様に関する説明と各国への協力を依頼する旨、プレゼンテーションを実施した。そして、2015 年 10 月のベラルーシのミンスクでの会議に参加し、提案文書の品質の高さや国内における使用実績などを元に標準化手順の短縮を提案し、Committee Draft の Voting よりプロセスを開始するという承認を受けることができた。CDV (Committee Draft Voting) では、コメント無しで各

国から承認の投票を受け、FDIS (Final Draft for International Standard) の投票なしに、国際標準となることが決定された。しかし、最終のドキュメント作成の過程で、エディトリアルな誤りを発見したために、IEC TC100 の事務局と調整し、FDIS の Voting を実施することとした。最終的に、FDIS の Voting についても賛成 11 カ国、反対 0 カ国という結果で、2017 年 2 月に承認[100]され、IEC 62394.Ed3 として 2017 年 4 月に発行された。

国際標準化においては、「F2F の会議が年間最大 2 回程度のため、説明する機会が限られており、ドキュメントの完成度が国内での検討会以上に重要になる点」、「投票プロセスに数カ月単位で時間を要するため、差し戻しを防ぐためにも、コメントに対して丁寧に対応することが重要である点」といった点に注意しながら推進した。

## 4.7 本章のまとめ

IoT 化対応した冷凍・冷蔵ショーケースや業務用パッケージエアコンといった小型小売店舗に設置される業務用のシステム機器についても、「システム機器グループ管理技術」を用いることで、機器の管理が可能になることが検証を通じて確認することができた。この結果、ネットワーク管理者が不在な中でも、機器の構成を把握したうえでのサービス提供が可能になる。具体的には、省エネ制御実施時において、ショーケースへの制御を行う場合、消費電力が大きい室外機に対して制御を実施することが考えられる。その際、冷凍ショーケースが接続する室外機を制御すると、商品が溶けるリスクがあるため、冷蔵ショーケースのみ接続する室外機に対して制御することが可能になる。また、メンテナンスを考慮すると、室外機の異常動作を検出した際、同一冷媒配管に接続するショーケース、もしくは空調機のみをチェックすることが可能になる。

また、今回検討、「システム機器グループ管理技術」として方式を検討したグループ情報プロパティについては、エコーネットコンソーシアムにて標準仕様として公開されるだけでなく、IEC 62394 Ed.3 として国際標準としても公開される結果となった。

小型小売店舗に設置される業務用のシステム機器のアーキテクチャを整理し、ECHONET Lite の適用を確認できたことによって、制御対象機器を増加させることができたのは大きな進展である。

# 第5章 ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム（VIEMS）の実用化技術の検証

本章では、「2.4 目指すべき基本システムアーキテクチャ」で記載した「ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム（VIEMS）の実用化技術」に関する深掘りを行う。

小型小売店舗の消費電力量削減に向けてエネルギーマネジメントシステムを構築する場合、小型小売店舗に設置されている業務用のシステム機器（パッケージエアコン、ショーケースなど）に関して、通信仕様の標準化の導入が進んでいなかったということもあり、独自仕様による垂直統合型のシステムで運用されることが一般的であった。しかし、垂直統合型のシステムでは、将来機器の入れ替えにおいて機器ベンダーの制約ができてしまい、入れ替えが困難になることから、大規模でのシステム導入が必要となり、初期コストが高いものになってしまうという課題がある。また、導入当初は IoT 化対応した機器の数も十分ではないという課題もある。これらの課題を解決するにあたり、水平分離のアーキテクチャに基づくベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム（VIEMS）を設計した。そして実際の小型小売店舗に VIEMS を導入するにあたり、導入当初は手動制御と自動制御のハイブリッド制御によって、省エネを実現した。また、2 ステップで VIEMS を構築することで、徐々に制御対象機器を増加することでシステム全体を入れ替えずに機器だけを入れ替えることができた。この結果、導入時の初期コストを抑えた VIEMS の構築を実現できた。

なお、省エネ効果については、スマートメーターの B ルートにより電力量を取得することで、取引証明に使用可能な正確なデータでの検証を実現した。従来の垂直統合型のシステムアーキテクチャと、本章にて検証した「目指すべきシステムアーキテクチャ」との関係を図 5.1 に示す。

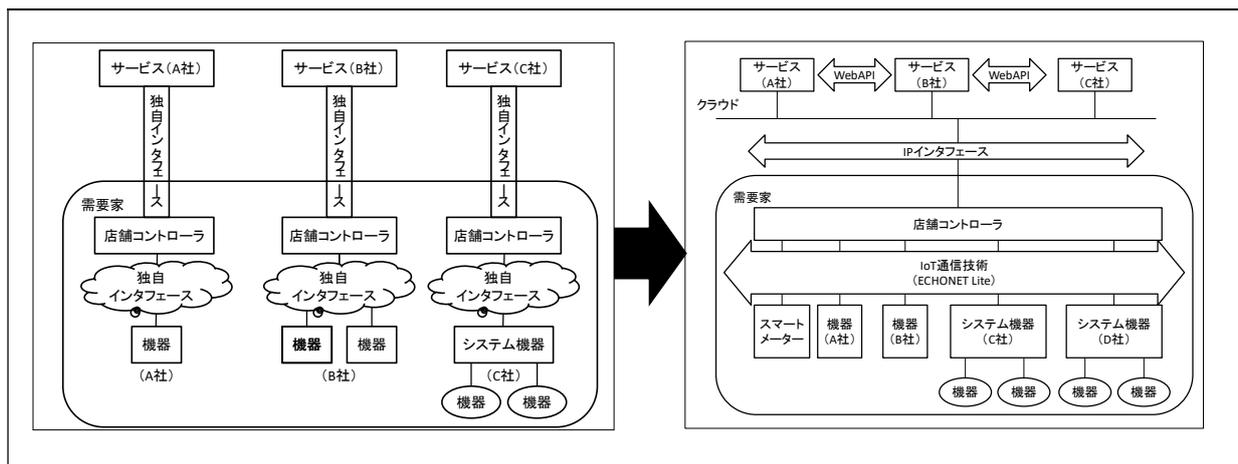


図 5.1 従来の垂直統合型アーキテクチャと目指すべき水平分離型アーキテクチャ

具体的には、「ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (VIEMS) の実用化技術」について、以下に示すステップで検証した。

1. 水平分離型のシステムアーキテクチャに基づいて、VIEMS をマルチベンダー構成で構築した。
2. VIEMS 導入当初から、すべての機器（システム機器含む）が IoT 化対応した機器を導入することは課題であり、手動制御と遠隔自動制御とのハイブリッド制御の実施のため、小型小売店舗の従業員の参画可能性を検証した
3. 異なる小型小売店舗に、手動制御対象の機器を遠隔自動制御対象の機器に入れ替えるだけで、VIEMS の更新を実施した。

## 5.1 ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (Step1) の構築

### 5.1.1 構築したエネルギーマネジメントシステムの概要

今回の検証システムにおいては、システム機器の ECHONET Lite 対応に加えて、主に以下の機能を開発した。

- 他社サービスであるクラウド型 DRPF を経由して、一般電気事業者が発信する DR 信号を受信し、各店舗へ省エネ制御を要求する機能

- Bルート (ECHONET Lite) 経由でスマートメーターから収集した電力データをクラウド上で管理し、省エネ制御の効果を検証する機能

実際のコンビニエンスストア 7 店舗にて 2015 年 9 月～2016 年 1 月までの期間において、ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (VIEMS) (Step1) を構築し、なお、7 店舗での実証となったが直営店/フランチャイズ店やビルイン/戸建てなど、様々な特性の店舗での実証を行った。

ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (VIEMS) (Step1) を図 5.2 に示す。本システムの特長として、クラウド上のサービス間及びコントローラとメータ間は標準仕様を利用し、水平分離型のシステムアーキテクチャを具体化して、実際の小型小売店舗にシステムを構築した点である。

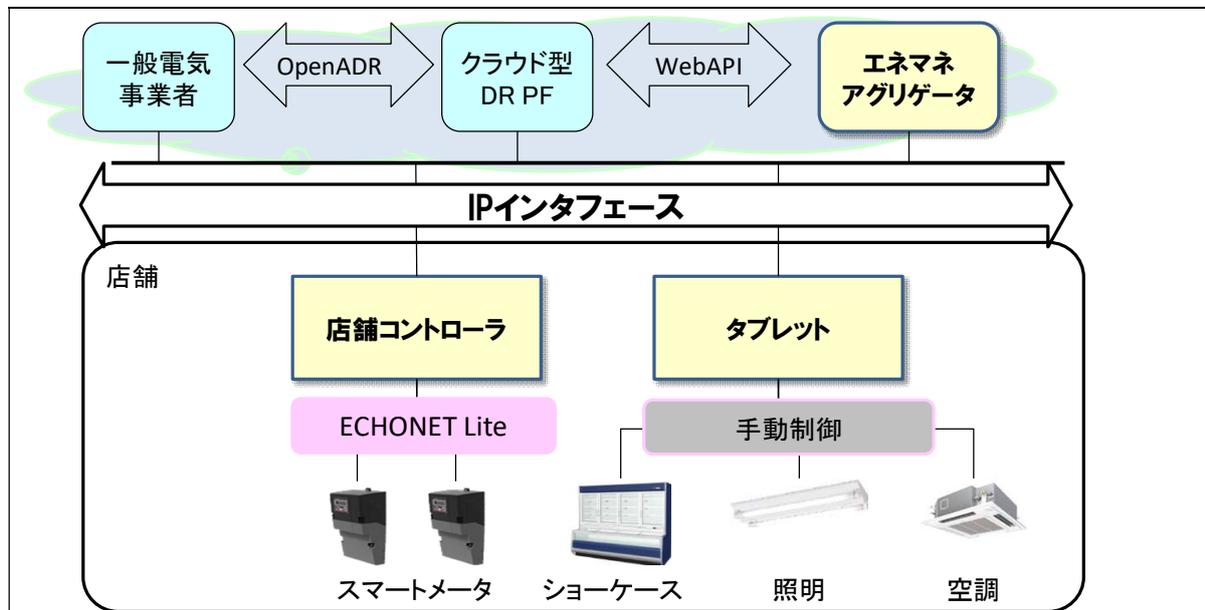


図 5.2 ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム(VIEMS) (Step1)

クラウド上に機能配置したエネマネアグリゲータ機能は、他社サービスであるクラウド型 DRPF (デマンドレスポンスプラットフォーム) が規定している Web API にて、インターネット上で情報の送受信を行う。Web API を通じてエネマネアグリゲータ機能は、クラウド型 DRPF より DR 信号を受け取ると、各店舗に設置するタブレットに制御項目を通知する。また、スマートメーターにて計測した電力データ (動力系、電灯系) を店舗内に設置する店舗コントローラ経由で受け取り収集する。

店舗に設置した店舗コントローラは、スマートメーターと標準インタフェースである ECHONET Lite にて接続している。店舗コントローラは定期的に電力系のスマートメーター及び動力系のスマートメーターそれぞれより電力データを収集し、クラウド上のエネマネアグリゲータ機能に電力データをアップロードする。同様に店舗内に設置したタブレットはクラウド上のエネマネアグリゲータより制御項目を受信し、制御内容を表示する。

クラウド型 DRPF は一般電気事業者から送信される OpenADR2.0 による DR 信号を終端し、Web API によりエネマネアグリゲータに DR 信号を通知するサービスを保持している。

### 5.1.2 省エネ制御要求受信時の動作

一般電気事業者が省エネを需要家に要請するために、DR 信号を発信した際のシーケンスを図 5.3 に示す。エネマネアグリゲータ機能はクラウド型 DRPF の Web API を通じて DR 信号を受信する。受信した DR 信号に基づいて、エネマネアグリゲータ機能は各店舗に設置したタブレット端末に向けて、省エネ制御を要請するための信号を通知する。なお、省エネ制御を要請する項目については各店舗の特性に合わせて決定する。

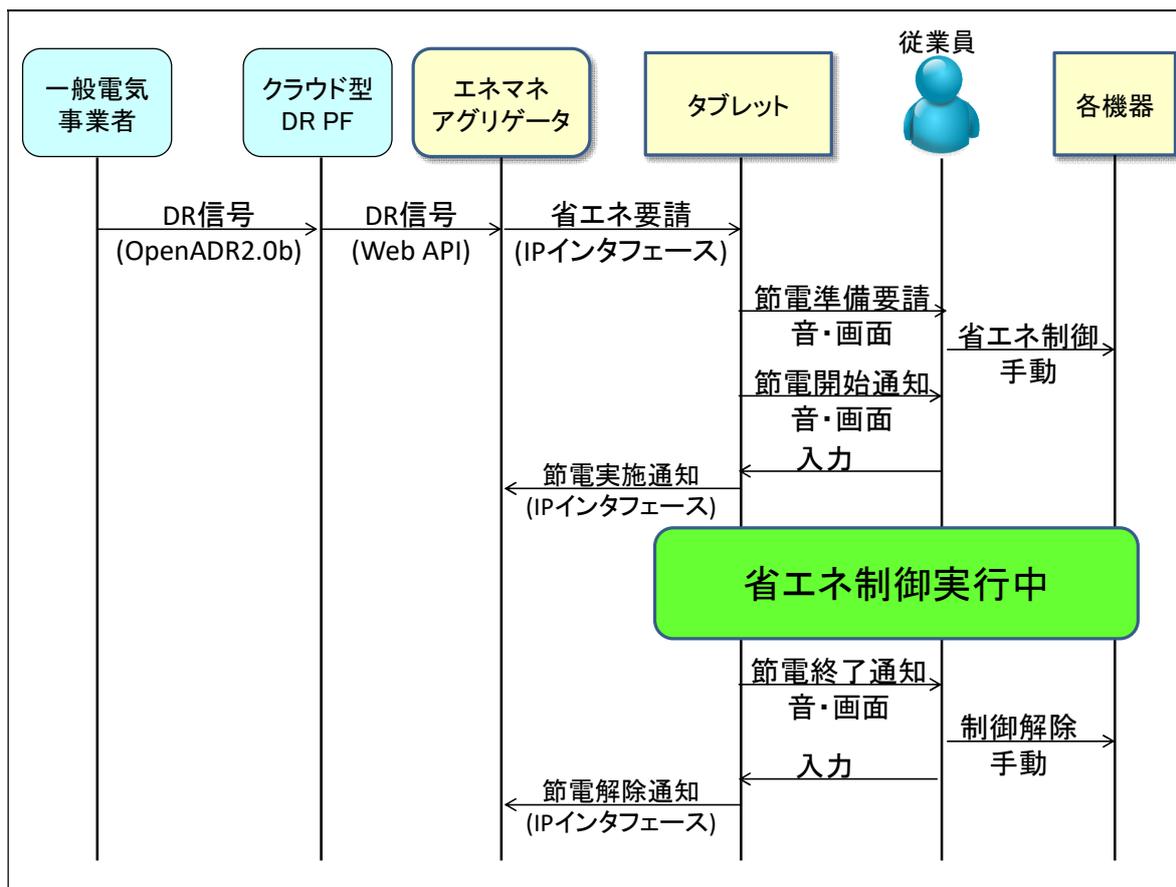


図 5.3 省エネ要請受信時のシーケンス

店舗内に設置したタブレット端末は省エネ制御の要請を受信すると制御内容を表示し、それを参照した従業員はタブレットに表示している内容に基づき省エネ制御を実行する。制御内容については店舗によって異なるが、最大で以下の項目について従業員による手動制御を実行した。

- 冷凍・冷蔵ショーケース内の照明の消灯
- 店内照明の一部消灯
- 店内エアコンの制御
  - 【夏期】 設定温度を 27℃に設定
  - 【それ以外】 エアコンの動作状態を OFF に設定
- ロールカーテンによる日射侵入防止
- 室外機周辺への打ち水
- バックルーム用のエアコン OFF

- バックルーム用の照明 OFF

従業員は省エネ制御実施後、実際に制御した項目をタブレットに入力し、タブレットはエネマネアグリゲータ機能に実施した制御項目を含む節電実施通知を送信する。その後、従業員はタブレットに省エネ要請が終了していることを確認すると省エネ制御を解除し、タブレット端末上に省エネ制御を解除した結果を入力し、エネマネアグリゲータ機能に節電解除通知を送信する。

なお、本実証において省エネ制御要求受信後、タブレットを通じて従業員は実施有無を入力することで、手動制御の実施有無についても集計を実施した。

### 5.1.3 Bルート経由での電力データの収集

今回、低圧の電力契約を結んでいるコンビニエンスストアにおいて検証を実施した。7店舗の電力システムは電灯系と動力系の2系統が存在しており、電灯系を計測するスマートメーターと動力系を計測するスマートメーターが設置されている。店舗コントローラは2台のスマートメーターからECHONET Liteにて電力データを取得し、エネマネアグリゲータ機能にアップロードを行った。店舗全体の消費電力量は2台のスマートメーターの値を合算することで、算出可能である。Bルート経由での電力収集のシーケンスを図 5.4 に示す。

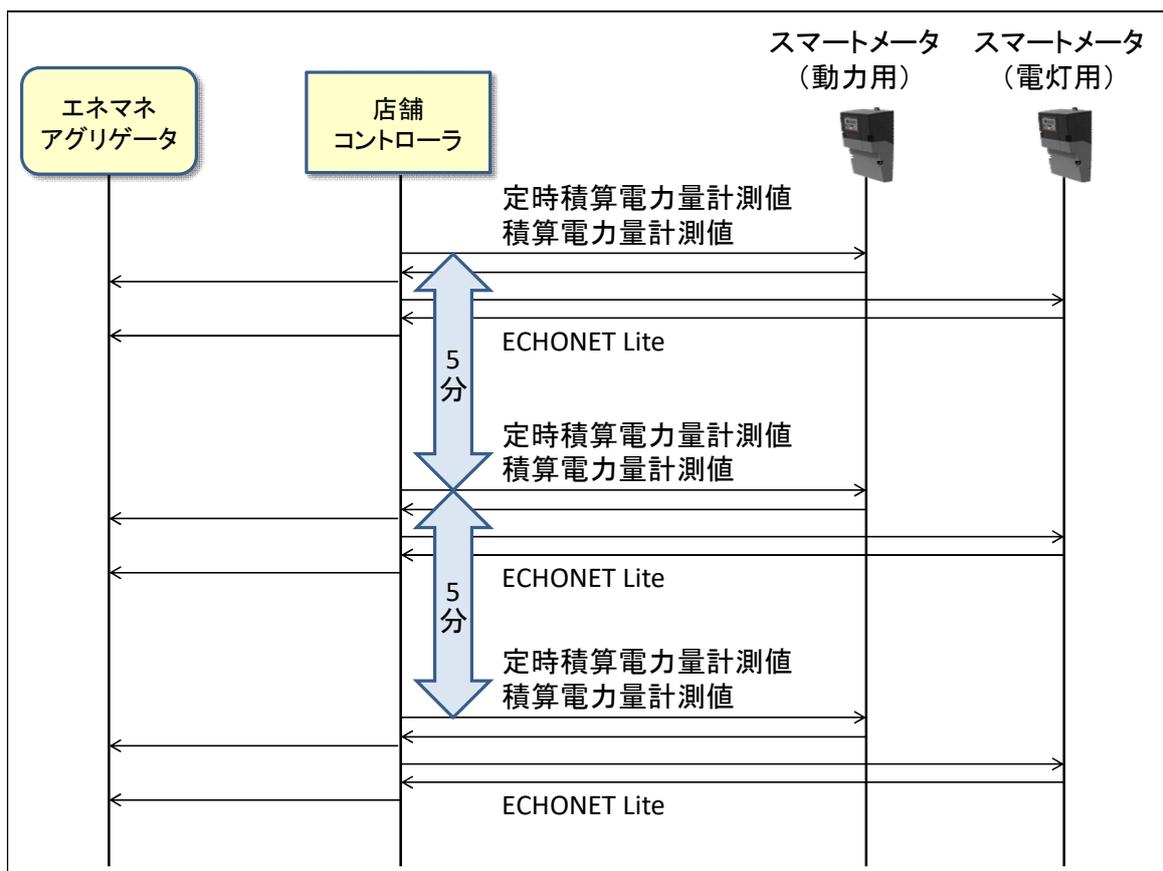


図 5.4 B ルート経由での電力データ収集シーケンス

店舗コントローラは、電灯系と動力系の各スマートメーターに対して 5 分周期で定時積算電力量計測値プロパティ及び積算電力量計測値プロパティとともに、現在時刻設定プロパティと現在年月日プロパティを取得する。店舗コントローラは、それぞれのスマートメーターから取得した電力データをクラウド上のエネマネアグリゲータ機能にアップロードを行う。エネマネアグリゲータ機能は、スマートメーターで計測した取引証明に利用可能な正確な電力データにて省エネ効果を検証するために電力データを蓄積する。

## 5.2 VIEMS (Step1) におけるハイブリッド制御の結果

2015 年 9 月～2016 年 1 月までの期間に、エネマネアグリゲータ機能は省エネを要請する DR 信号の通知を述べ 102 回受信した。102 回の実施有無について表 5-1、表 5-2、表 5-3、表 5-4 にま

とめる。なお、表中の A 店～G 店の各店舗欄の符号として、「◎」は「省エネ制御実施，かつ省エネ目標達成」，「○」は「省エネ制御実施，かつ省エネ目標未達成」，「×」は「省エネ制御未実施」，「—」は「スマートメーター未設置による不参加」，「(×)」は「システム不具合による不参加」を意味している。また，「全体」の列に記載している「○」，「×」の定義は，7 店舗全体で目標値へ到達した場合「○」を記載し，未到達の場合は「×」を記載する。目標値は，制御対象機器を空調，照明としたため，基本的には 1 店舗あたり 2kW としたが，空調が稼働せず省エネ効果が期待できない月は目標値を削減し，また冬期は空調が稼働していることもあり，一部店舗については 1 店舗あたり 3kW に増やしている店舗もある。

表 5-1 省エネ制御の実施結果まとめ(9 月)

店舗名	9 月			
	4 日	11 日	15 日	28 日
	14:00～15:00	14:30～15:30	14:00～15:00	13:00～14:00
A 店	◎	(×)	◎	○
B 店	◎	○	◎	◎
C 店	—	◎	◎	◎
D 店	○	◎	◎	◎
E 店	—	—	—	—
F 店	◎	○	◎	◎
G 店	—	—	—	○
全体	○	×	○	○
目標値	8kW	10kW	10kW	12kW

表 5-2 省エネ制御の実施結果まとめ(10月～11月)

店舗名	10月		11月	
	14日	30日	18日	24日
	13:00～14:00	16:00～17:00	17:00～18:00	9:00～10:00
A店	(×)	◎	○	○
B店	◎	○	◎	◎
C店	○	×	○	×
D店	◎	◎	×	○
E店	×	×	○	○
F店	◎	○	○	○
G店	◎	○	○	○
全体	×	×	×	×
目標値	14kW	14kW	11kW	11kW

表 5-3 省エネ制御の実施結果まとめ(12月)

店舗名	12月			
	2日	7日	18日	22日
	9:30～10:30	10:00～11:00	9:00～10:00	17:00～18:00
A店	◎	○	○	○
B店	◎	◎	◎	◎
C店	○	○	×	×
D店	○	◎	○	○
E店	×	○	×	×
F店	○	○	○	◎
G店	○	◎	◎	○
全体	×	○	×	×
目標値	14kW	14kW	14kW	14kW

表 5-4 省エネ制御の実施結果まとめ(1月)

店舗名	1月			
	13日	20日	21日	22日
	9:00~10:00	9:00~10:00	17:30~18:30	9:00~10:00
A店	◎	◎	◎	◎
B店	◎	◎	◎	◎
C店	×	×	◎	○
D店	○	◎	×	◎
E店	◎	◎	○	◎
F店	○	○	×	○
G店	○	○	○	◎
全体	○	○	×	○
目標値	16kW	16kW	16kW	16kW

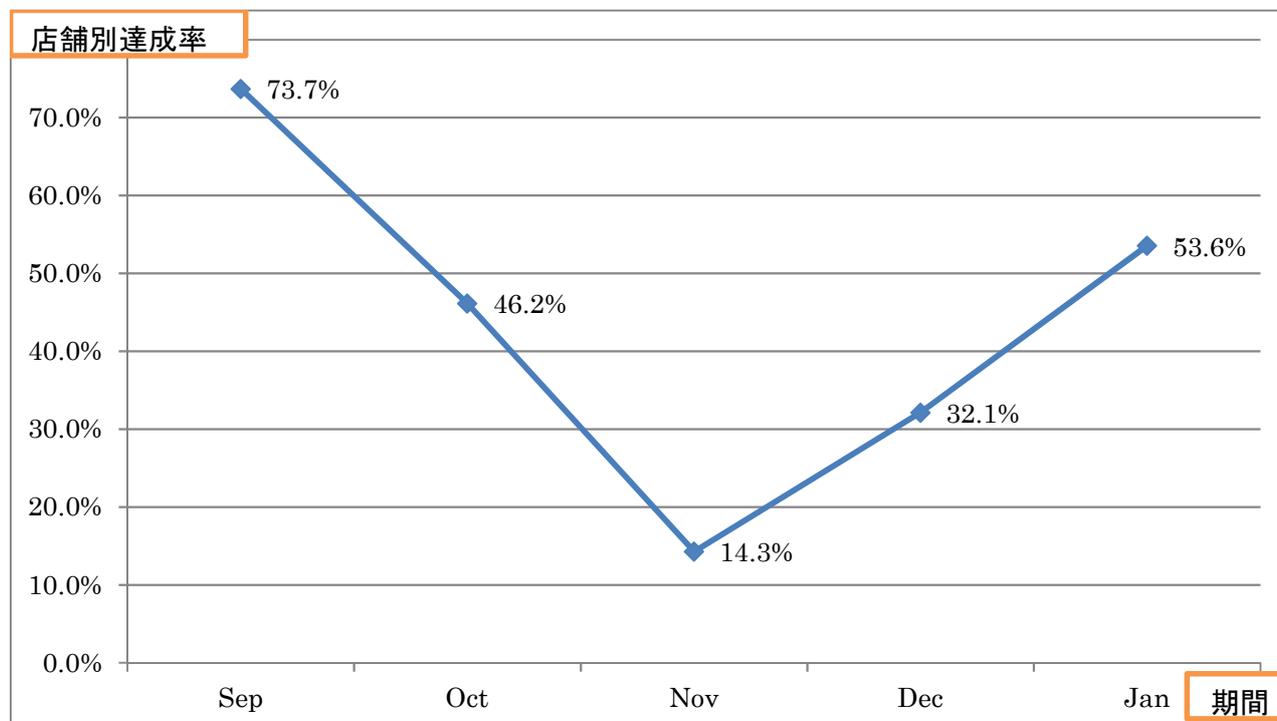
なお、省エネ目標達成／未達成の判断は、「ネガワット取引に関するガイドライン（平成 27 年 3 月 30 日）」[101]に従い、判定を実施した。

### 5.2.1 小型小売店舗における省エネ制御の効果

省エネ目標値の達成率は 45.1% (46 回／102 回)、システム不具合・通信異常による未達成の場合を含むと 44.2% (46 回／104 回) と十分な結果とは言えなかった。しかし、月別の達成率を表 5-5 にまとめると、今回実施した制御項目ではエアコンが稼働していない中間期については省エネの実現が困難であることに対し、エアコンが稼働している夏期や冬季については省エネ制御の目標値達成率が高く、一定の成果を上げることができたことが確認できる。しかし、中間期（春・秋）より夏期や冬季については、電力が逼迫する可能性が高いため、夏期や冬季に成果が出せていることが重要である。今後は小型小売店舗に設置する機器の ECHONET Lite 化を推進し自動制御対象の機器を追加していくことで、省エネ効果に関して一層の改善が期待できる。

表 5-5 月別の省エネ制御目標値達成割合

	9月	10月	11月	12月	1月
店舗別達成率	14/19 (73.7%)	6/13 (46.2%)	2/14 (14.3%)	9/28 (32.1%)	15/28 (53.6%)
全体達成率	3/4	0/2	0/2	1/4	3/4



## 5.2.2 参加型エネルギーマネジメントシステムの有効性

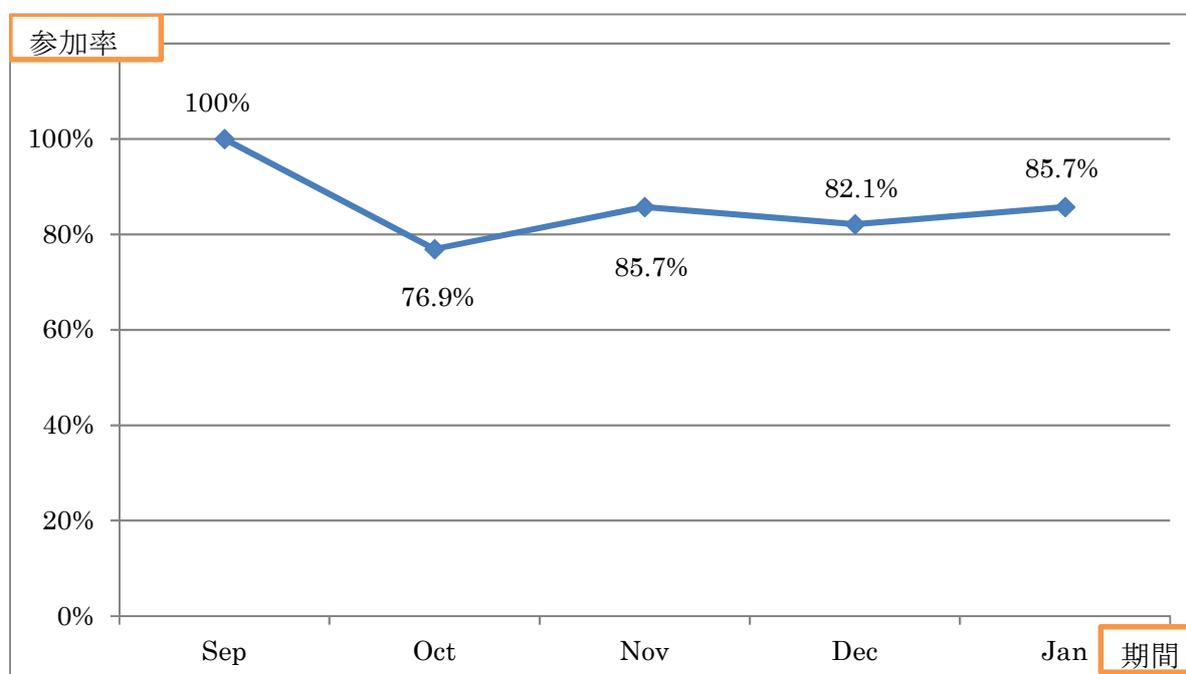
「2.4 目指すべき基本システムアーキテクチャ」に記載した通り、小型小売店舗にて特にエネルギーマネジメントシステム導入当初は、標準化対象機器が少ないこともあり、すべての機器を自動制御による省エネ制御を実行することは困難であり、従業員による参画が重要な要素である。そのため、従業員の参画可能性がどの程度あるのか把握することは今回の検証における主目的の一つである。

実際に店舗における省エネ制御の従業員による手動制御の実施率、すなわちデマンドレスポンスへの参加率は 86.3%であり、手動制御を組み合わせた省エネ制御を実行できる可能性が十分あることが確認できた。なお、横浜スマートシティプロジェクトにおいて、一般家庭におけるデマンドレスポンスを実施したところ、参加要請のみの場合の参加率は 16.5%、特典付きの場合の参加率は 52%

という数字が出ている[102]. これらの数値と比較すると本検証における小型小売店舗における参加率は高い数値となっており, 店舗における手動制御は有効な手段になると考えられる. また, 月別の参加率について表 5-6 に示す. 2015 年 9 月~2016 年 1 月における月ごとの参画率の遷移を確認してみても, 参画率の低下はみられなかった. この点からも, 手動制御を組み合わせた省エネ制御を継続して実行できる可能性が十分あることを確認できた.

表 5-6 月別の省エネ制御の参加率

	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月
参加率	19/19 (100%)	10/13 (76.9%)	12/14 (85.7%)	23/28 (82.1%)	24/28 (85.7%)



### 5.2.3 小型小売店舗における VIEMS のハイブリッド制御の有効性

水平分離型のシステムアーキテクチャに基づき, ECHONET Lite の利用やクラウド上のサービス間連携などを用いて, 従業員の方々に参加いただいたうえで, ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (VIEMS) を構築することができた. そして, そのシステムにて表 5-1~表 5-5 に示すように, 省エネ効果を出すことができたこと, 及び表 5-6 に示す通り小型小売店舗の従業員の

参加率の高さから、ハイブリッド制御を用いた VIEMS の有効性を確認することができた。また、今回手動で制御した各機器を ECHONET Lite 機能搭載機器に入れ替えることで、「システム全体を変更せずともエネルギーマネジメントシステムを継続して実施できる目論見もつけることができた」と実証させていただいた店舗（お客様）からも評価いただき、この点からもベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム（VIEMS）の有効性について確認することができた。

### 5.3 VIEMS (STEP2)における ECHONET Lite 対応システム機器への入れ替え

「5.2 VIEMS (Step1) におけるハイブリッド制御の結果」に示した通り、ハイブリッド制御を用いて、ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム（VIEMS）構築を小型小売店舗において実現した。しかし、図 5.2 に示すベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム（VIEMS）

（Step1）においては、機器の制御は従業員による手動制御を中心に実現している。目指すべきエネルギーマネジメントシステムに向けて、業務用パッケージエアコンやショーケースなどのシステム機器に ECHONET Lite を搭載することで IoT 化を実現し、自動制御機能を拡張することが重要である。この拡張によって、従業員による手動制御ができないタイミングにおいても省エネ制御を実施することができるようになる。

自動制御機能を実現するためには標準化仕様が重要となるが、ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム（VIEMS）（Step1）を導入した店舗にて実施した手動による省エネ制御と ECHONET Lite で定義している制御コマンドとの関係を表 5-7 に示す。

表 5-7 手動制御の内容と ECHONET Lite の制御コマンドとの比較

制御対象機器		制御内容	ECHONET Lite	
			機器クラス	プロパティ
店内	ショーケース	照明消灯	業務用ショーケースクラス	庫内照明動作状態
	店内照明	一部消灯	照明システムクラス	動作状態
	業務用パッケージ エアコン	設定温度変更	業務用パッケージ	温度設定値 1
		動作状態 OFF	エアコン室内機クラス	動作状態
ロールカーテン	下げる	電動ブラインド・日よけクラス	開閉動作設定	
店外	室外機	打ち水	規格無し	
バック ルーム	照明	消灯	単機能照明クラス	動作状態
	家庭用エアコン	動作状態 OFF	家庭用エアコンクラス	動作状態

表 5-7 に示す通り、機器に対する制御に関しては、すでに ECHONET Lite において制御コマンドの定義が完了している。各システム機器においても ECHONET Lite の標準制御コマンドに対応したうえで、実際の店舗に 2016 年度にベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (VIEMS) (Step2) を構築した。具体的には、ECHONET Lite 対応したシステム機器を接続する VIEMS (Step2) の導入に向け、実際の小型小売店舗にて 2016 年 9 月～2017 年 2 月までの期間において、VIEMS (Step1) を 90 店舗に設置し、VIEMS (Step2) を 3 店舗に設置した。なお 90 店舗については VIEMS (Step1) に分類しているが、すべての機器に対して手動制御を実施しているわけではなく、一部の機器については、ECHONET Lite 対応している小型小売店舗もあり、手動制御と自動制御のハイブリッド制御を実行している。ショーケース、業務用パッケージエアコン、照明システムなどの各機器のベンダーの組合せは、店舗によって様々であり、それに伴い、手動制御と自動制御の組合せの店舗によって異なる。

ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (VIEMS) (Step2) を図 5.3 に示す。本システムの特長として、ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (VIEMS) (Step1) に加えて EMS コントローラと各機器間の通信に ECHONET Lite を利用して、エネルギーマネジメントシステムを構築した点である。

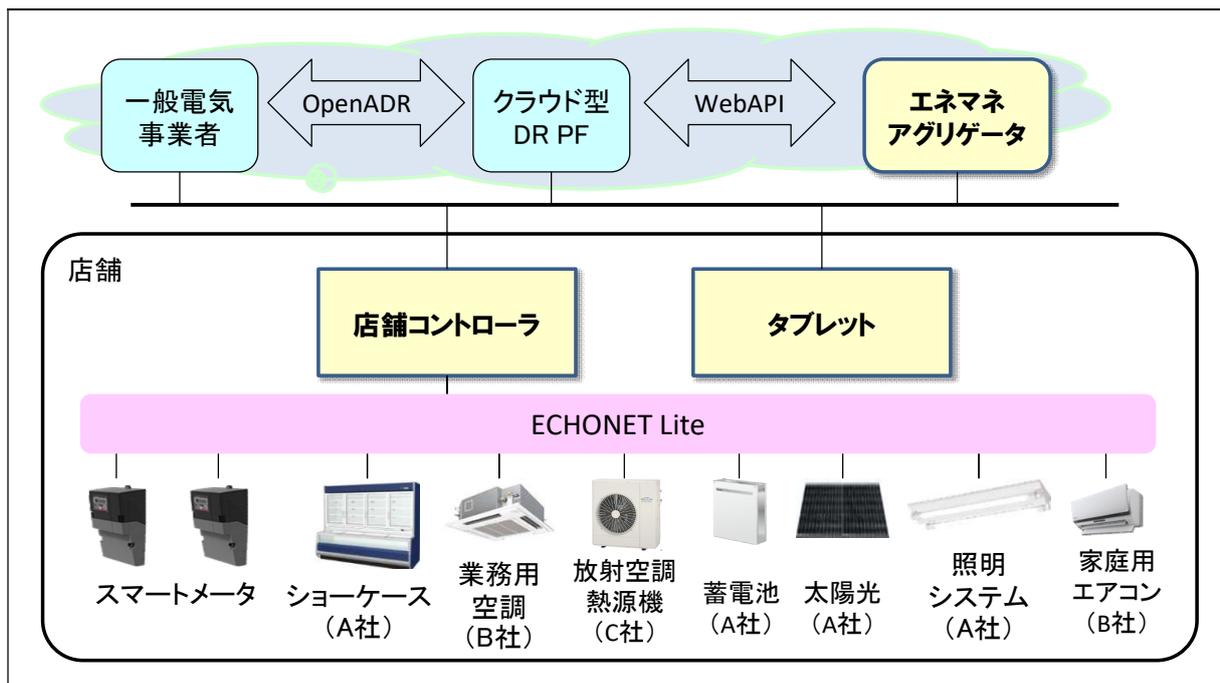


図 5.5 ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム(VIEMS) (Step2)

VIEMS (Step1)と VIEMS (Step2)を比較した場合、入れ替えているのは機器のみである。比較を図 5.6 に示す。この比較からもシステム全体を入れ替えたのではなく、機器のみを入れ替えて、システムを VIEMS (Step1)から VIEMS (Step2)に更新することが可能であることが分かる。

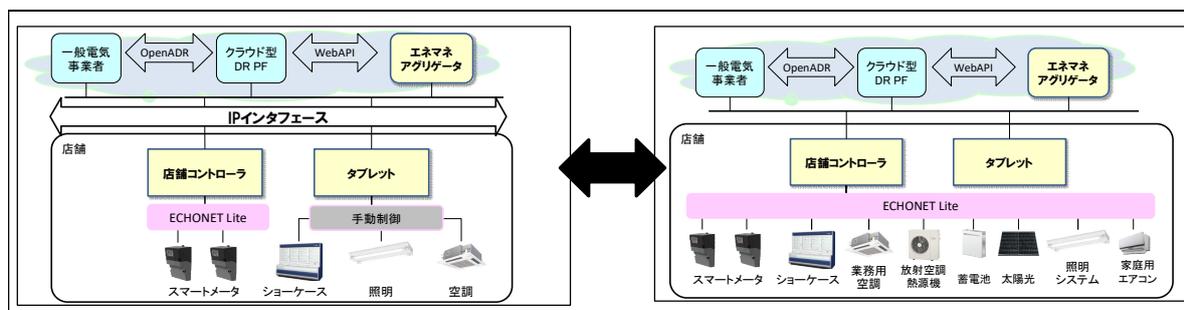


図 5.6 VIEMS (Step1)と VIEMS (Step2)との比較

エネルギーマネジメントとしての結果として、1月から2月にかけて VIEMS (Step2) を含めた店舗全体 (93 店舗) において、同様の省エネ制御を実行したところ、省エネ制御は約 2kw のピークカットを実現した。省エネ制御の実行店舗、実施時期が異なるため、Step1 の実験と厳密な比較にはならないが、Step2 においても同等の性能が出ることを確認できた。また今回の制御対象機器は、空調、照明を中心に行った結果であり、今後は太陽光発電や蓄電池と連携させることによって、更なる

ピークカットを実施することが可能となる。

## 5.4 本章のまとめ

小型小売店舗を対象として、水平分離型のシステムアーキテクチャに基づくベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (VIEMS) を設計し、実際の小型小売店舗にマルチベンダー環境での VIEMS を導入することができた。そして、VIEMS を用いて、省エネ要請の信号受信時に、省エネを実現することが確認できた。

小型小売店舗にエネルギーマネジメントシステムを導入するにあたり、特に導入初期は、すべての機器が IoT 化対応しているわけではないため、従業員による参加による手動制御と自動制御とのハイブリッド制御が非常に重要になる。従業員による参加率は、従来の一般家庭向けのエネルギーマネジメントシステムと比較するとかなり高い参加率となった。この結果から、VIEMS の小型小売店舗への導入当初のハイブリッド制御の有効性を確認することができた。

次に、ECHONET Lite 対応した機器を小型小売店舗に導入するにあたり、エネルギーマネジメントシステム全体を入れ替えるのではなく、機器のみを ECHONET Lite 非対応の機器から ECHONET Lite 対応の機器に入れ替えるだけで、継続して VIEMS を活用することができることを確認できた。

以上から、VIEMS 導入当初はハイブリッド制御による省エネを促進し、徐々に機器を入れ替えて VIEMS を拡張していくことを確認することができ、この結果 VIEMS を導入することで、スタートでのエネルギーマネジメントシステムを実現することができた。

# 第6章 結論

## 【本研究の成果】

機器を製造するベンダーに依存することなく、IoT に対応した様々な機器（コントローラ、省エネ機器、創エネ機器、蓄エネ機器）同士を連携させることによって、エネルギーの有効的な活用を実現する「ベンダー非依存型 EMS における水平分離アーキテクチャの研究」を行った。目指すべきアーキテクチャとして、様々なベンダーが事業参画可能な水平分離型のシステムアーキテクチャを提案し、そのアーキテクチャを支える「IoT 通信技術」及び「システム機器グループ管理技術」に関して、研究開発を実施した。センサ類、白物家電、設備系機器などの小リソースの機器が容易に IP 化・IoT 化を実現するために ECHONET Lite を作り、実機を用いた検証を実施し、日本国内の標準化及び国際標準化を推進し、国際標準規格として発行されることで IoT 通信技術を確立した。また、IoT 化した業務用のシステム機器の機器構成をコントローラが判別可能なグループ情報を定義し、標準化を達成することで、システム機器グループ管理技術を確立した。その結果、エネルギーマネジメントシステムの普及に重要な「技術者、ベンダーの増加（第 3 章）」、「制御対象機器の増加（第 4 章）」、「スモールスタートでのシステム導入（第 5 章）」を実現することとなり、ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム（Vendor-independent type IoT compliant Energy Management System: VIEMS）によるエネルギーマネジメントシステムの普及が期待できる結果を出すことができた。

各章での具体的な成果を以下に示す。

第 1 章にて、EMS の実施が必要な背景を整理し、本論文における研究の目的や方針を説明した。そして、高圧小口向けの需要家に対する施策が不十分であり、小型小売店舗へ展開することの重要性をまとめた。

第 2 章にて、小型小売店舗への EMS 導入に関する課題を整理し、EMS にとって重要な機器とコントローラ間の国際的な標準通信仕様の調査、評価を実施した。EMS 導入の課題を解決するための

目指すべき水平分離型のアーキテクチャの提案とともに、このアーキテクチャを実現するために必要な技術を明確にした。

第3章にて、「IoT 通信技術 (ECHONET Lite, ISO/IEC 14543-4-3)」を確立した。具体的には、ECHONET Lite の仕様を作り、マルチベンダー間相互接続性の検証結果をまとめた。そして、作成した仕様を元に「一般社団法人エコーネットコンソーシアム」にて、技術委員長及び担当 WG の主査として標準化活動を推進した。また、この通信仕様を ISO/IEC JTC1 SC25 WG1 に国際標準化提案を行い、Editor として国際標準化を推進し、ISO/IEC 14543-4-3 として発行されることとなった。

第4章にて、二つ目の技術である「システム機器グループ管理方式 (機器オブジェクト詳細規定, IEC 62394 Ed.3)」の研究結果と検証結果をまとめた。一般家庭に設置する機器と店舗などに設置する業務用のシステム機器とのアーキテクチャの違いを整理し、IoT 化した業務用のシステム機器の機器構成を把握するために必要なグループ情報について研究開発を実施し定義した。そして、「グループ情報」を「一般社団法人エコーネットコンソーシアム」にて、技術委員長及び担当 WG の主査として標準化活動を推進するとともに、システム機器であるショーケースやパッケージエアコンを管轄する工業会「日本冷凍空調工業会」に働きかけ、「グループ情報」の導入を合意した。その結果は、エコーネットコンソーシアムより「ECHONET 機器オブジェクト詳細規定」として公開した。また、「グループ情報」含めた機器の制御コマンドを IEC TC100 TA9 に国際標準提案を実施した。Project Leader として国際標準化を推進し、最終的に IEC 62394 Ed.3 として発行されることとなった。

なお、第3章、第4章に示すこれらの活動に関する評価として、国内での活動については、日本電機工業会より「電機工業技術功績者表彰：優良賞」を団体で受賞し、国際標準活動については、情報処理学会・情報規格調査会より「国際規格開発賞」を受賞した。

第5章にて、目指すべき水平分離アーキテクチャに基づいた「ベンダー非依存型エネルギーマネジメントシステム (VIEMS)」を実際の小型小売店舗に導入した。垂直統合型のシステムは初期投資が高く、機器の入れ替えが困難という課題に対し、VIEMS は導入当初は標準対応機器が少ない状況を鑑みて、「自動制御と手動制御のハイブリッド制御の有効性の検証」と「徐々に ECHONET Lite 対応機器へ入れ替えの実現」を実施することより、スモールスタート可能なエネルギーマネジメン

トシステム導入の実現を達成した。

## 【社会への貢献】

IoT 通信技術の標準化を推進し、達成したことによって、研究者の枠を広げることができた。例えば、企業による研究開発だけでなく、教育機関の研究者への広がりを見せている。さらに国際標準化を達成したことにより、日本国内の技術者だけでなく、海外の技術者へも広がりを見せている。研究者、開発者が増えることによって、エコーネットコンソーシアムの会員も増える結果となり、市場拡大や新たな市場創出を期待することができるようになった。

また、ベンダー非依存 IoT 対応エネルギー管理システム (VIEMS) の導入可能性を検証できたことで、以下に示す理由からも、エネルギー管理システムの普及拡大へ期待することができるようになり、今後のエネルギー問題の解決の一助となることが大きく期待できる。

1. 標準仕様に対応することで、新規事業者が後からでも参入できるようになり、事業者の拡大、及び市場の拡大が期待できるようになるため
2. 機器やサービスが特定のベンダーの制約を受けないため、需要家側では、システム全体を交換せずとも、機器やサービスだけを入れ替えることが可能になる。この結果、導入当初はスモールスタートが可能になり、エネルギー管理システム導入のハードルが下がるため

## 【今後の展開】

### (1) システム導入の容易性の改善

今回、実際の小型小売店舗に VIEMS を構築するにあたり、機器の設置施工を担当する事業者の他に、ECHONET Lite を中心とするネットワークの設置施工に関しては、私自身を含むネットワーク技術者が担当した。しかし、ベンダー非依存型エネルギー管理システム (VEIMS) 導入初期のように構築店舗数が少ない間は、ネットワーク技術者が設置しに行くことも可能だが、普及期になり、大多数の小型小売店舗に設置することとなると、ネットワーク技術の専門家が設置施工の現場に向かうことは不可能である。したがって、VIEMS のシステム構築に関しても、小型小売店

舗の設置施工を担当する事業者にて担当できなければならない。そのために取り組むべき事項として、ネットワークを意識せずに設置施工をできるような容易な設定機能が必要となる。また、今後事業に参画するベンダーの数がさらに増えた場合において、どのような事業者が参画してきた場合においても、設置施工の現場でネットワーク解析が不要であるために、IoT 通信技術におけるマルチベンダー間の相互通信の接続性を担保し続けなければならない。したがって、標準化を果たした IoT 通信技術に対して、すべての開発者に理解を深めてもらうべく、啓蒙活動や技術説明を実施していくことが重要になる。

## (2) AI と IoT 機器 (ECHONET Lite 機器) との連携

従来スタンドアロンで動作していた機器を ECHONET Lite 対応 (IoT 対応) 機器とすることによって、機器の情報・データの収集が容易なものになる。現在は、エネルギー管理システムへの適用が最初のターゲットとなっているが、収集した情報の価値をより高めるために AI を使った様々なアプリケーション、サービスを生み出していくことが重要になる。機器の管理という観点においては、機器の故障予測、故障診断、寿命予測などといったサービスや、住空間ごとの快適性を向上させる制御などのサービスなど、AI を活用することで今まででは実現できなかったソリューションを提供する。

## (3) VIEMS の対象領域の拡大

また、全国の小型小売店舗への導入拡大を目指すとともに、その他の店舗関連や中小ビルなどへのさらなる適用範囲の拡大を図る。また、今回の研究対象である業務用中心にエネルギー管理システムの普及を進めるとともに、一般家庭向けの HEMS に対しても VIEMS の適用を促進し、さらなる普及の加速に貢献する。その結果、低圧需要家から高圧小口の需要家までを VIEMS の対象範囲とし、エネルギー問題の解決に向けて貢献する。

## (4) 国際展開

ECHONET Lite は、通信仕様と制御コマンドの両方を国際標準としていることから、日本国内の

事業だけでなく、エネルギーマネジメントシステムの輸出など海外展開を行うことの実現性を期待することができる。日本国内だけでなく、世界各国、特に東南アジアなどエネルギーの更なる増大が見込まれる地域へ貢献することができると思う。

# 謝辞

本研究の活動を進めるにあたり、多くの方々に大変御世話になりました。ここに深く感謝の意を表します。

社会人ドクターを目指すきっかけをいただくとともに、研究活動全般にわたりご指導いただきました神奈川工科大学創造工学部 ホームエレクトロニクス開発学科 一色正男 教授に甚大なる謝意を表します。企業での通常の業務を行いながらも社会人ドクターとして博士論文をまとめることができたのは、一色先生のご指導があつてのことと認識しております。

博士論文について貴重なご教示を賜りました 神奈川工科大学 金井徳兼 教授、瑞慶覧章朝教授、松本一教 教授、黄啓新 教授、創価大学 寺島美昭 教授 に心より感謝申し上げます。先生方の御助言により、課題および成果を明確なものとすることができ、論文自体の完成度を高めることができました。

神奈川工科大学創造工学部ホームエレクトロニクス開発学科 杉村博 准教授に感謝いたします。杉村先生には、学会への論文投稿や本論文の記載含めて、不慣れなアカデミックの取組み全般に対して、様々なご助言をいただくことができ、大変助かりました。

神奈川工科大学スマートハウス研究センターの笹川雄司 様には、実機の ECHONET Lite 対応機器を使った実験で大変お世話になりました。HEMS 認証支援センターに設置している様々な ECHONET Lite 機器を活用させていただき、感謝申し上げます。

著者の勤務先である パナソニック株式会社の上司・諸先輩方・同僚の方々には、社会人ドクターの活動支援を賜り、ここに感謝の意を表します。活動支援をいただくことができたおかげで、業務と学業の両立を実現することができました。

最後になりますが、著者の博士課程進学を含め普段の仕事の活力となっている家族に対して、深く感謝します。

本研究を通じた経験、ならびに成果を今後よりいっそう社会に役立てるために、精進を重ねていくことを誓うとともに、重ねて厚く謝意を表し、謝辞とさせていただきます。



# 参考文献

- [1]主要国の発電電力量の推移, 一般社団法人 海外電力調査会,  
URL: <https://www.jepic.or.jp/data/graph04.html>
- [2]「平成 22 年度エネルギーに関する年次報告」(エネルギー白書 2011), 資源エネルギー庁,  
URL: <http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2011html/>
- [3]パリ協定を踏まえたエネルギー政策の変革, 資源エネルギー庁,  
URL: [http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2016pdf/whitepaper2016pdf\\_1\\_3.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2016pdf/whitepaper2016pdf_1_3.pdf)
- [4]省エネ商品買い替えナビゲーション「しんきゅうさん」, 環境省,  
URL: <http://shinkyusan.com/simulate.html>
- [5]再生可能エネルギー 固定価格買取制度, 経済産業省・資源エネルギー庁  
URL: [http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiene/kaitori/fit\\_kakaku.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/fit_kakaku.html)
- [6]JPEA PV Outlook ～太陽光発電 2050 年の黎明～, 一般社団法人 太陽光発電協会, (2017 年)  
URL: <http://www.jpea.gr.jp/pvoutlook>
- [7]平成 28 年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書 2017) (2017 年)  
<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2017html/2-1-1.html>
- [8]太陽光発電・風力発電の出力変動例, 中部電力,  
URL: [http://www.chuden.co.jp/energy/ene\\_energy/newene/ene\\_data/dat\\_hendo/](http://www.chuden.co.jp/energy/ene_energy/newene/ene_data/dat_hendo/)
- [9]固定価格買取制度の運用見直し等について, 経済産業省  
URL: [www.meti.go.jp/press/2014/01/20150122002/20150122002-3.pdf](http://www.meti.go.jp/press/2014/01/20150122002/20150122002-3.pdf)
- [10]第 3 回「未来投資に向けた官民対話について」.第 8 回スマートハウス・ビル標準・事業促進検討会 資料. [http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/smart\\_house/pdf/008\\_s09\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/smart_house/pdf/008_s09_00.pdf)
- [11]スマートメーター制度検討会 セキュリティ検討ワーキンググループ 報告書,  
資源エネルギー庁, URL: <http://www.meti.go.jp/press/2015/07/20150710001/20150710001-2.pdf>
- [12]スマートメーターについて, 経済産業省  
URL: [www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/denryoku.../002\\_s01\\_01\\_03.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/denryoku.../002_s01_01_03.pdf)
- [13]ビル管理市場に関する調査結果 2015, 矢野経済研究所  
URL: <https://www.yano.co.jp/press/press.php/001465>
- [14]エネルギービジネス戦略研究会, 経済産業省 資源エネルギー庁,  
URL:  
[http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy\\_environment/energy\\_system/pdf/007\\_04\\_01.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/energy_system/pdf/007_04_01.pdf)
- [15]第 4 回 エネルギー・環境会議 第 3 回電力需給に関する検討会合 資料 2, 国家戦略室,  
URL: <http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/npu/policy09/pdf/20111101/siryo2.pdf>
- [16]「スマートハウス標準化検討会 中間とりまとめ」 第 2 回スマートハウス標準化検討会 資料 4-2. [http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004668/011\\_04\\_02.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004668/011_04_02.pdf)
- [17]丹 康雄. ホームネットワークにおける HEMS の現状と動向.日本ロボット学会誌, 2014, Vol. 32 No. 3 p. 236-239.

- [18]佐藤 弓子, 土井 裕介, 寺本 圭一: 通信規格の異なる家電機器と家電コントローラを相互接続可能にするアダプタの実装方法, 研究報告コンシューマ・デバイス&システム (CDS) , Vol. 2011-CDS-1, No. 9, pp. 1-5, 2011
- [19]中部 知久, 西 宏章: 「環境快適性と消費電力量を考慮した家電制御最適化手法」, 日本建築学会環境系論文集, Vol. 77 (2012) No. 682 p. 1011-1019 (2012 年)
- [20]Screen Althaher, Pierluigi Mancarella, Joseph Mutale, “Automated Demand Response From Home Energy Management System Under Dynam”, IEEE Transactions on Smart Grid, Volume: 6, Issue: 4, p.1874 – 1883, July 2015
- [21]岡田崇, 牧野義樹他: 「住宅におけるエネルギーマネジメントの効果を検証する実証的ホームシミュレータの提案と実装」, 情報処理学会論文誌 53(1), P.365-378, (2012 年)
- [22]中小店舗・施設向けエネルギーマネジメントシステム導入事例, 三菱電機システムサービス株式会社, URL: [http://www.melco.co.jp/business/eco\\_solution/sa1\\_mico/case\\_study.html](http://www.melco.co.jp/business/eco_solution/sa1_mico/case_study.html)
- [23]エネルギーマネジメントシステム Bems-you, 福島工業株式会社  
URL: <http://www.fukusima.co.jp/products/engineering/bems-you.html>
- [24]コンビニエンスストア統計調査, 日本フランチャイズチェーン協会,  
URL: <http://www.jfa-fc.or.jp/folder/1/img/20160420104748.pdf>
- [25]コンビニエンスストア業における地球温暖化対策の取組み, 日本フランチャイズチェーン協会,  
<http://www.jfa-fc.or.jp/folder/1/img/20170901133413.pdf>
- [26]CSR Report 2016, セブン&アイ HLDGS,  
URL: [http://www.7andi.com/dbps\\_data/\\_template/\\_user/\\_SITE/\\_localhost/\\_res/csr/pdf/2016\\_all.pdf](http://www.7andi.com/dbps_data/_template/_user/_SITE/_localhost/_res/csr/pdf/2016_all.pdf)
- [27]アニュアルレポート 2016, FamilyMart,  
URL: <http://www.fu-hd.com/ir/library/annual/document/fm/fm2016.pdf>
- [28]統合報告書 2017, ローソン,  
URL: [http://www.lawson.co.jp/company/ir/library/pdf/annual\\_report/ar\\_2017.pdf](http://www.lawson.co.jp/company/ir/library/pdf/annual_report/ar_2017.pdf)
- [29]”スマートメータープロジェクト”, 東京電力,  
URL: <http://www.tepco.co.jp.cache.yimg.jp/pg/technology/smartmeterpj.html>
- [30]”スマートメーターの設置スケジュール”, 中部電力  
URL: <https://www.chuden.co.jp/home/smartmeter/intro/schedule/index.html>
- [31]”スマートメーターの導入について”, 関西電力,  
URL: <http://www.kepco.co.jp/corporate/smartmeter/>
- [32] “HEMS—スマートメーターB ルート (低圧電力メーター) 運用ガイドライン第 4.0 版 “, 経済産業省, URL: [http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/smart\\_house/pdf/009\\_s03\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/smart_house/pdf/009_s03_00.pdf)
- [33] “HEMS—スマートメーターB ルート (高圧電力メーター) 運用ガイドライン第 1.1 版” . 経済産業省. URL: [http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/smart\\_house/pdf/009\\_s04\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/smart_house/pdf/009_s04_00.pdf)
- [34]2017 年度 (第 66 回) 電機工業技術功績者表彰受賞者一覧 (委員会活動), 一般社団法人日本電機工業会, URL: [https://www.jema-net.or.jp/Japanese/info/commendation/pdf/66\\_H29\(2\).pdf](https://www.jema-net.or.jp/Japanese/info/commendation/pdf/66_H29(2).pdf)
- [35]2016 年度 国際規格開発賞, 情報処理学会 情報規格調査会,

URL: [https://www.itsecj.ipsj.or.jp/soshiki/s\\_hyosyo/s\\_w\\_kaihatsu/2016.html](https://www.itsecj.ipsj.or.jp/soshiki/s_hyosyo/s_w_kaihatsu/2016.html)

- [36]伊藤 寿浩, 前田 龍太郎. 「グリーンセンサネットワークプロジェクト」の取り組みと課題. 電気学会誌, 2013, Vol. 133, No. 4, p. 204-205
- [37]新海轍二, 武田久孝, 津村明憲. 小型店舗向けエネルギーマネジメントシステム. 富士時報, 2011, Vol. 84, No. 3, p. 219-223
- [38]藤本淳, 秦智之, 伊藤寿浩. 無線ユビキタスセンサを用いた電力モニタリング. Journal of Japan Society of Energy and Resource, 2011, Vol. 32, No. 3, p. 9-15
- [39]林慧, 菅原進. ビルの省電力をサポートする遠隔省電力サービス FACiTENA-i. 東芝レビュー, 2014, Vol. 69, No. 5, p. 45-48
- [40]緒方良照. 省エネルギー, コスト削減, そして地球環境への貢献を目指して. UNISYS TECHNOLOGY REVIEW EXTRA EDITION, 2013, 第 116 号, p. 47-53
- [41]伊藤弘. BEMS のスマートグリッド対応機能. 電気設備学会誌, 2013, vol. 33, no. 9, p. 676-679.
- [42]高田 智史, 杠 博之. インターネットを活用した小店舗設備管理システム. 東芝レビュー, 2003, vol. 58, no. 9, p. 56-59.
- [43]BACnet, URL: <https://www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/bacnet>
- [44]Lonworks. URL: <http://www.enerlon.com/JobAids/Lontalk%20Protocol%20Spec.pdf>
- [45]ECHONET 規格書 Ver.4.00 第 1 部, エコネットワークコンソーシアム,  
URL: [https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/Member/Echonet/Echonet\\_Ver4\\_00/SpecVer400\\_01.pdf](https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/Member/Echonet/Echonet_Ver4_00/SpecVer400_01.pdf)
- [46]ECHONET 規格書 Ver.4.00 第 2 部, エコネットワークコンソーシアム,  
URL: [https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/Member/Echonet/Echonet\\_Ver4\\_00/SpecVer400\\_02.pdf](https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/Member/Echonet/Echonet_Ver4_00/SpecVer400_02.pdf)
- [47]ZigBee Smart Energy Profile, ZigBee Alliance,  
URL: <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/applicationstandards/zigbeesmartenergy/>
- [48]ZigBee Home Automation Profile, ZigBee Alliance,  
URL: <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/applicationstandards/zigbeehomeautomation/>
- [49]Z-wave Application Command Class Specification, Z-wave alliance  
URL: [http://zwavepublic.com/sites/default/files/command\\_class\\_specs\\_2017A/SDS13781-3%20Z-Wave%20Application%20Command%20Class%20Specification.pdf](http://zwavepublic.com/sites/default/files/command_class_specs_2017A/SDS13781-3%20Z-Wave%20Application%20Command%20Class%20Specification.pdf)
- [50]Z-wave Device Class Specification, Z-wave alliance,  
URL: <http://zwavepublic.com/sites/default/files/SDS10242-29%20-%20Z-Wave%20Device%20Class%20Specification.pdf>
- [51]KNX Application Areas, KNX Association,  
URL: <https://www.knx.org/knx-en/knx/application-areas/commercial-buildings/index.php>
- [52]竹中大史, 原田尚侑, 大場大輔, 中川純, 長澤夏子, 広橋亘, 林泰弘, 田辺新一. “建築・窓システムの協調制御 HEMS および温度・電力量の見せる化による省エネルギー運用システムの開発”, 電子情報通信学会技術研究報告. ASN, 知的環境とセンサネットワーク 114(65), p. 35-36, 2014
- [53]西野淳, 橋本哲. “省エネルギー化に向けた空調制御の取り組みとセンサネットワーク”, 電気学

会誌, Vol. 133, No. 4, p.206-209, 2013 年

- [54]Davor Bogdanović, Tea Kvolik, Goran Horvat, “Modular Smart House System Based on a Wireless Sensor Network”, International journal of electrical and computer engineering systems, Vol.7. No.1. p.15-21, 2016.
- [55]Appendix 機器オブジェクト詳細規定 Release J, エコーネットコンソーシアム  
URL: [http://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/General/Standard/Release/Release\\_J\\_jp/Appendix\\_Release\\_J.pdf](http://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/General/Standard/Release/Release_J_jp/Appendix_Release_J.pdf)
- [56]藤田隆史, 後藤良則, 小池新. M2M アーキテクチャと技術課題. 電子情報通信学会誌, Vol.96 No.5 (2013)
- [57]藤井章博, "広がる Web API の活用 —マッシュアップの幅広い可能性—," 科学技術動向, no. 106, pp. 9-18, 2010.
- [58]The JSON Data Interchange Format, Standard ECMA-404,  
URL: <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-404.pdf>
- [59]窪田 康大, “これから始めるエンタープライズ Web API 開発”, オージス総研,  
URL: <https://www.ogis-ri.co.jp/otc/hiroba/technical/WebAPI/part1.html>
- [60]エコーネット製品紹介 ECHONET 規格, エコーネットコンソーシアム  
URL: <https://echonet.jp/product/echonet/list/-/-/>
- [61]ECHONET 規格書 Ver.4.00 第 3-1 部, エコーネットコンソーシアム,  
URL: [https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/Member/Echonet/Echonet\\_Ver4\\_00/SpecVer400\\_03\\_1.pdf](https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/Member/Echonet/Echonet_Ver4_00/SpecVer400_03_1.pdf)
- [62]ECHONET 規格書 Ver.4.00 第 3-2 部, エコーネットコンソーシアム,  
URL: [https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/Member/Echonet/Echonet\\_Ver4\\_00/SpecVer400\\_03\\_2.pdf](https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/Member/Echonet/Echonet_Ver4_00/SpecVer400_03_2.pdf)
- [63]ECHONET 規格書 Ver.4.00 第 3-3 部, エコーネットコンソーシアム,  
URL: [https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/Member/Echonet/Echonet\\_Ver4\\_00/SpecVer400\\_03\\_3.pdf](https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/Member/Echonet/Echonet_Ver4_00/SpecVer400_03_3.pdf)
- [64]ホームネットワーク通信インタフェース実装ガイドライン, 情報通信技術委員会, TR-1043
- [65]プラグフェストとは, エコーネットコンソーシアム, URL: <https://echonet.jp/activities/#activities-04>
- [66]ECHONET Lite 規格書 Ver.1.12 第 5 部, エコーネットコンソーシアム,  
URL: [https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/General/Standard/ECHONET\\_lite\\_V1\\_12\\_jp/ECHONET-Lite\\_Ver.1.12\\_05.pdf](https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/General/Standard/ECHONET_lite_V1_12_jp/ECHONET-Lite_Ver.1.12_05.pdf)
- [67]中川純, 宮嶋 裕基, 瀧本晃裕, 田辺 新一, 光岡 正隆, 広橋 亘, 林 泰弘. “ECHONET Lite を用いた室内環境自動制御技術に関する研究”, 第 51 回空気調和・冷凍連合講演会 - 空気調和・衛生工学会, 2017, pp.157-pp.160
- [68]堂坂 辰, 大江 信宏, 北上 眞二, 神戸 英利, 小泉 寿男. “不具合の推定を含んだシステム製品における第三者検証とその実装評価”, 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 136 2016, No. 6, pp.868-pp.880

- [69]守谷一希, 中川愛梨, 諏訪博彦, 藤本まなと, 荒川豊, 木村亜紀, 三木智子, 安本慶一.  
“ECHONET Lite 対応家電を用いた宅内行動データの収集と分析”, マルチメディア, 分散協調と  
モバイルシンポジウム 2016 論文集, 2016, pp.1449-1457
- [70]ECHONET Lite 規格書 Ver.1.12 第 1 部, エコーネットコンソーシアム,  
URL: [https://echonet.jp/wp/wp-  
content/uploads/pdf/General/Standard/ECHONET\\_lite\\_V1\\_12\\_jp/ECHONET-Lite\\_Ver.1.12\\_01.pdf](https://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/General/Standard/ECHONET_lite_V1_12_jp/ECHONET-Lite_Ver.1.12_01.pdf)
- [71]村上 隆史. 4-2. ECHONET Lite 規格とサービス事例の紹介 (4.垂直統合型 M2M, <特集>M2M  
サービスを支える情報通信技術). 電子情報通信学会誌, 2013, vol. 96, no. 5, p. 318-323.
- [72]ECHONET Lite 規格書 Ver.1.12 第 2 部, エコーネットコンソーシアム,  
URL: [http://echonet.jp/wp/wp-  
content/uploads/pdf/General/Standard/ECHONET\\_lite\\_V1\\_12\\_jp/ECHONET-Lite\\_Ver.1.12\\_02.pdf](http://echonet.jp/wp/wp-content/uploads/pdf/General/Standard/ECHONET_lite_V1_12_jp/ECHONET-Lite_Ver.1.12_02.pdf)
- [73]OSI reference model: Open System Interconnection reference model, ISO/IEC 7498
- [74]ECHONET 機器オブジェクト/サービスオブジェクト追加・変更, エコーネットコンソーシアム,  
URL: [https://echonet.jp/m\\_only/m\\_rule\\_02/](https://echonet.jp/m_only/m_rule_02/)
- [75]“スマートハウス・ビル標準・事業促進検討会”,  
URL: [http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/mono\\_info\\_service.html#smart\\_house](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/mono_info_service.html#smart_house)
- [76]“エネルギー・リソース・ビジネス・アグリゲーション検討会”,  
URL: [http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy\\_environment.html#energy\\_resource](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment.html#energy_resource)
- [77]“エネルギー・リソース・ビジネス・アグリゲーション検討会 (第 4 回) 資料 3-1”,  
URL:  
[http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy\\_environment/energy\\_resource/pdf/004\\_03\\_01.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/energy_resource/pdf/004_03_01.pdf)
- [78]“エネルギー・リソース・ビジネス・アグリゲーション検討会 (第 6 回) 資料 6”,  
URL:  
[http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy\\_environment/energy\\_resource/pdf/006\\_06\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/energy_resource/pdf/006_06_00.pdf)
- [79]”申請済メーカーコード一覧”, エコーネットコンソーシアム  
URL: [https://echonet.jp/authfilter/?f=Member/Echonet/ManufacturerCode/list\\_code.pdf](https://echonet.jp/authfilter/?f=Member/Echonet/ManufacturerCode/list_code.pdf)
- [80]”プラグフェストとは”, エコーネットコンソーシアム, URL: <https://echonet.jp/auth/plugfest/>
- [81]”認証取得状況報告”, エコーネットコンソーシアム, URL: [https://echonet.jp/ninsyo-syutoku\\_jyokyo/](https://echonet.jp/ninsyo-syutoku_jyokyo/)
- [82]”ISO/IEC 14543-4-3”, ISO/IEC, URL: <https://www.iso.org/standard/63216.html>
- [83]IEC 62394, IEC, URL: <https://webstore.iec.ch/publication/32738>
- [84]立本博文, 小川紘一, 新宅純二郎. “技術の収益化のための国際標準化とコア技術管理”, 日本知  
財学会誌, Vol. 5 No.2 2008, pp.4-pp.11
- [85]和泉章. “電子情報通信学会における国際標準化活動の重要性について”, The journal of the Institute  
of Electronics, Information and Communication Engineers 99(1), 2016, pp.66-70
- [86]“標準化実務入門 (標準化教材)”, 産業技術環境局基準認証ユニット  
URL: [http://www.meti.go.jp/policy/standards\\_conformity/files/2015text\\_zenbun.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/standards_conformity/files/2015text_zenbun.pdf)
- [87]”標準化・認証”, 経済産業省, URL: <http://www.meti.go.jp/policy/economy/hyojun/kijyun/index.html>

- [88] “戦略的情報通信研究開発推進事業（国際標準獲得型）～スマートシティ分野の ICT に関する公募～”, IoT 推進コンソーシアム,  
URL: <http://iot-jp.com/iotssummary/iotstandard/%E5%9B%BD%E9%9A%9B%E6%A8%99%E6%BA%96%E5%8C%96/.html#i-2>
- [89] “TBT 協定”, URL: <https://www.jisc.go.jp/cooperation/wto-tbt-ref.html>
- [90] “ISO/IEC JTC1 SC25 WG1”, URL: <http://hes-standards.org/>
- [91] “国際標準規格の制定手順”, URL: <https://www.jisc.go.jp/international/iso-pres.html>
- [92] “EXPLANATORY REPORT ISO/IEC DIS 14543-4-3”, ISO/IEC JTC 1 / SC25 N2337A
- [93] Moustafa Eissa. Smart Metering Technology and Services - Inspirations for Energy Utilities, InTech. 2016, chapter 1,  
URL: <https://www.intechopen.com/books/smart-metering-technology-and-services-inspirations-for-energy-utilities/introductory-chapter-demand-response-incentive-program-drip-with-advanced-metering-and-echonet>
- [94] Gwo-Jiun Horng, Chi-Kun Lin, Chih-Hsiung, Tseng Chi-Hsuan, Wang Jar-Ferr Yang. ” An Agent-Based Smart Home System and Its Service-Scheduling Mechanism: Design and Implementation”, Wireless Personal Communications, 2014, Volume 78, issue 1, pp.521-542.
- [95] Shafiq Ul Rehman, Selvakumar Manickam. “A Study of Smart Home Environment and its Security Threats”, International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, 2016, Volume 23, Issue 03.
- [96] “会員企業一覧”, エコーネットコンソーシアム, URL: [https://echonet.jp/kaiin\\_kigyoo/](https://echonet.jp/kaiin_kigyoo/)
- [97] Universal Device Architecture 1.1, UPnP Forum,  
URL: <http://upnp.org/specs/arch/UPnP-arch-DeviceArchitecture-v1.1.pdf>
- [98] 日本冷凍空調工業会, URL: <https://www.jraia.or.jp/outline/index.html>
- [99] “IEC - TC 100: Audio, video and multimedia systems and equipment”,  
URL: [http://tc100.iec.ch/index\\_tc100.html](http://tc100.iec.ch/index_tc100.html)
- [100] Project : IEC 62394:2017 ED3 Voting result, IEC  
URL:  
[http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:52:0:::FSP\\_ORG\\_ID,FSP\\_DOC\\_ID,FSP\\_DOC\\_PIECE\\_ID:1297,1000374,308170](http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:52:0:::FSP_ORG_ID,FSP_DOC_ID,FSP_DOC_PIECE_ID:1297,1000374,308170)
- [101] “ネガワット取引に関するガイドライン”. 資源エネルギー庁.  
URL: <http://www.meti.go.jp/press/2014/03/20150330001/20150330001-2.pdf>
- [102] “2014 年度第 3 回スマートシティシンポジウム 基調講演”.  
URL: <http://bizgate.nikkei.co.jp/smartcity/symposium/symposium11/001826.html>
- [103] “エコーネットコンソーシアム活動状況報告（2017 年 4 月-6 月）”,  
URL: [http://echonet.jp/quarterly-reports\\_2017/](http://echonet.jp/quarterly-reports_2017/)

# 目次

図 1.1	日本の太陽電池モジュールの出荷量の推移	8
図 1.2	消費エネルギーの遷移	8
図 1.3	太陽光発電における発電の遷移（春季）	9
図 1.4	風力発電における発電の遷移（冬季）	9
図 1.5	各需要家における契約電力	11
図 1.6	コンビニエンスストアの店舗数の遷移	13
図 1.7	コンビニエンスストアにおけるエネルギー消費量の遷移	13
図 2.1	エネルギーマネジメントシステムを導入していない店舗事例	17
図 2.2	エネルギーマネジメントシステム導入済みの店舗事例	18
図 2.3	削減量の差分イメージ	19
図 2.4	垂直統合型のシステムアーキテクチャ	20
図 2.5	水平分離型のシステムアーキテクチャ	25
図 3.1	水平分離型システムアーキテクチャにおける本章の位置づけ	28
図 3.2	ECHONET 規格の規定範囲	30
図 3.3	メッセージフォーマットの種別の比較	33
図 3.4	ECHONET Lite の規定範囲	36
図 3.5	ECHONET と ECHONET Lite の IP 利用時の比較	37
図 3.6	制御コマンドのデータモデル	38
図 3.7	制御コマンド規定している機器の種類増加	39
図 3.8	ECHONET Lite のメッセージストラクチャ	40
図 3.9	高効率なエネルギー活用を実現するためのシーケンス例	42
図 3.10	実機を用いた検証システム	46
図 3.11	コントローラが蓄電池よりメーカーコードを取得した時のログデータ	47
図 3.12	コントローラと太陽光発電の間の通信ログデータ	48
図 3.13	コントローラと蓄電池の間の通信ログデータ	49
図 3.14	ECHONET Lite 認証取得件数	51
図 3.15	国際標準化プロセス	52
図 3.16	ISO/IEC JTC1 SC25 WG1 の会議風景	54
図 4.1	水平分離型のシステムアーキテクチャにおける本章の位置づけ	58
図 4.2	従来の小型小売店舗における構成例	59
図 4.3	機器連携を実現する小型小売店舗の構成例	60
図 4.4	家庭用機器のアーキテクチャ	61
図 4.5	冷凍・冷蔵ショーケースのアーキテクチャ 1	61
図 4.6	業務用パッケージエアコンのアーキテクチャ 1	62
図 4.7	冷凍・冷蔵ショーケースのアーキテクチャ 2	62

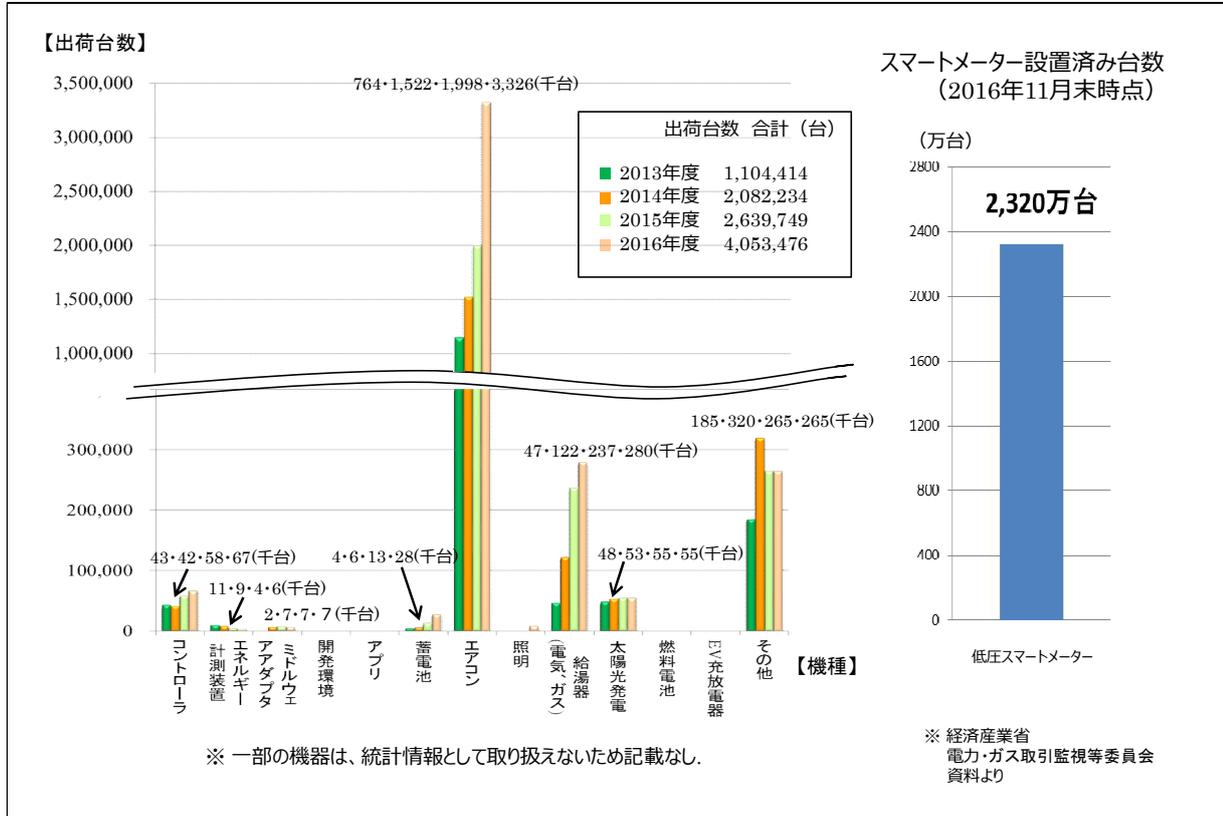
図 4.8	業務用パッケージエアコンのアーキテクチャ 2	62
図 4.9	Device Description Document を用いた記載事例	67
図 4.10	検証におけるシステム構成	69
図 4.11	コントローラの初期画面	70
図 4.12	機器の検出結果を示すコントローラ	71
図 4.13	ショーケース, ショーケース室外機の構成識別結果	73
図 4.14	ショーケースシステムへの設定結果確認	76
図 5.1	従来の垂直統合型アーキテクチャと目指すべき水平分離型アーキテクチャ	80
図 5.2	ベンダー非依存型エネルギー管理システム (VIEMS) (Step1)	81
図 5.3	省エネ要請受信時のシーケンス	83
図 5.4	B ルート経由での電力データ収集シーケンス	85
図 5.5	ベンダー非依存型エネルギー管理システム (VIEMS) (Step2)	93
図 5.6	VIEMS (Step1)と VIEMS (Step2)との比較	93

# 表目次

表 2-1	各アプローチにおける現在の状況.....	21
表 2-2	各通信仕様の評価.....	23
表 2-3	規定している制御コマンドの比較.....	23
表 3-1	各通信仕様の評価.....	31
表 3-2	主な削減機能一覧.....	32
表 3-3	ECHONET の課題と解決アプローチ .....	35
表 3-4	制御コマンドを規定している主な機器.....	39
表 3-5	低圧スマート電力量メータの主な制御コマンド .....	43
表 3-6	太陽光発電の主な制御コマンド.....	44
表 3-7	蓄電池の主な制御コマンド.....	44
表 4-1	各通信仕様の評価.....	58
表 4-2	各アーキテクチャの比較.....	63
表 4-3	グループ情報プロパティ.....	65
表 4-4	グループ情報設定時のエミュレータの受信ログ .....	74
表 4-5	グループ情報設定後の確認時のログ.....	75
表 5-1	省エネ制御の実施結果まとめ（9月） .....	86
表 5-2	省エネ制御の実施結果まとめ（10月～11月） .....	87
表 5-3	省エネ制御の実施結果まとめ（12月） .....	87
表 5-4	省エネ制御の実施結果まとめ（1月） .....	88
表 5-5	月別の省エネ制御目標値達成割合.....	89
表 5-6	月別の省エネ制御の参加率.....	90
表 5-7	手動制御の内容と ECHONET Lite の制御コマンドとの比較 .....	92

# 付録

## (ア) ECHONET Lite 対応機器の出荷台数の推移



# 関連論文・著者履歴

## 1. 国内論文（査読付き）

- (1) 村上隆史, 杉村博, 一色正男,

“ホームネットワーク技術の小型小売店舗への適用に向けた制御コマンドの開発と標準化”,  
情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム, Vol.7, No.2, pp.24-32, 2017

- (2) 村上隆史, 杉村博, 一色正男,

“プラットフォーム型システムアーキテクチャに基づく小型小売店舗エネルギー管理  
システムの検証”,

情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム, Vol.7, No.2, pp.33-40, 2017

## 2. 国際会議論文（査読付き）

- (1) Takashi Murakami, Hiroshi Sugimura and Masao Isshiki, “Application of ECHONET Lite which is Open Standard Into Energy Management System”, IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), 2016, Las Vegas, U.S.A, pp.493-496, 2016

## 3. 特許出願

- (1) 出願2006年, 村上隆史, 吉田達哉

“ゲートウェイ装置及び被制御機器” (特願2006-198419)

- (2) 出願2007年, 石井純, 村上隆史, 古門健, 吉田達哉

“通信装置” (特願2007-238785)

- (3) 出願2008年, 村上隆史, 古門健

“通信装置, 及びそのイベント処理方法” (特願2009-526347)

- (4) 出願2010年, 阪口啓司, 村上隆史, 土田真一, 西山弘道

“電力情報収集装置, 電力測定装置, 電力情報収集システム, 及び電力情報収集方法” (特願  
2011-527916)

- (5) 出願2010年, 村上隆史, 阪口啓司

“電力収集装置, 電力計測装置及び電力収集方法” (特願2011-527916)

- (6) 出願2012年, 阪口啓司, 高山久, 村上隆史, 相津一寛

“情報処理装置, 情報処理方法, およびプログラム” (特願2013-527420)

ほか 21 件 (内 筆頭 11 件, 登録 12 件)

## 4. 国内学会発表

- (1) 杉村 博, 宮澤 重明, 数野 翔太, 村上 隆史, 大和田 茂, 一色 正男, “多種機器連携動画システムとアノテーション共有サービスの開発”, 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム, Vol.7, No.2, pp.1-11, 2017

- (2) 藤田 裕之, 杉村 博, 村上 隆史, 一色 正男, “ECHONET機器オブジェクト詳細規定のデータ化”, 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム, 2017-CDS-18(32), pp. 1-7,

2017

- (3) 数野 翔太, 熊倉 悠介, 梅田 証, 和田 直樹, 横尾 智康, 小田原 健雄, 村上 隆史, 杉村 博, 一色 正男, “人を幸せにする生活IoTの研究”, 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム, 2017-CDS-18(1), pp.1-7, 2017
- (4) 村上隆史, “ECHONET Liteを取り巻く状況”, 照明学会光源・照明システム分科会公開研究会 (2016年度), pp.16-20, 2016.
- (5) 金子 将之, 有馬 一貴, 村上 隆史, 一色 正男, 杉村 博, “メッセージツールを活用した家電制御BOTシステムの開発”, 第15回情報科学技術フォーラム(FIT), pp. 413-414, Vol. 3, 2016
- (6) 有馬 一貴, 金子 将之, 村上 隆史, 一色 正男, 杉村 博, “ゲーミフィケーションを用いたHEMS継続利用システムの開発”, 第15回情報科学技術フォーラム(FIT), pp. 537-538, Vol. 3, 2016
- (7) 杉村 博, 宮澤 重明, 数野 翔太, 村上 隆史, 大和田 茂, 一色 正男, “多種機器連携動画システムとアノテーション共有サービスの開発”, 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム, 2016-CDS-17(8), pp. 1-8, 2016
- (8) 金子 将之, 有馬 一貴, 村上 隆史, 一色 正男, 杉村 博, “馴化防止のための複合起床支援システムの開発”, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, ps4-8, pp.1319-1321, 2016
- (9) 有馬 一貴, 金子 将之, 村上 隆史, 一色 正男, 杉村 博, “ミニアンビエントセンシングを用いた節電行動提案システム”, 電気学会 電子・情報・システム部門大会, ps5-2, pp. 1327-1329, 2016
- (10) 数野 翔太, 熊倉 悠介, 小田原 健雄, 村上 隆史, 杉村 博, 一色 正男, “人とIoTとHEMSの連携フレームワークの研究”, 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム, 2016-CDS-16(1), pp. 1-5, 2016
- (11) 藤田 裕之, 一色 正男, 杉村 博, 村上 隆史, “ECHONET Liteパケット送受信ツール「SSNG for iPhone」の開発”, 情報処理学会論文誌 コンシューマ・デバイス&システム, 2016-CDS-16(14), pp. 1-7, 2016
- (12) 金子 将之, 有馬 一貴, 村上 隆史, 杉村 博, 一色 正男, “家電製品遠隔制御を用いた複合起床支援システムの開発”, 第14回情報科学技術フォーラム, 第4分冊, RO-021, pp.153-156, 2015.
- (13) 杉村 博, 宇佐美 真, 村上 隆史, 大和田 茂, 渡部 智樹, 一色 正男, “ビデオアノテーションを利用したサラウンド照明システムの開発”, 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌), Vol.135, No.8, pp.1034-1035, 2015.
- (14) 内海 和貴, 岡本 健司, 村上 隆史, 宇佐美 真, 杉村 博, 一色 正男, “クラウド型HEMSサービス基盤の研究”, 2015-CDS-13(1), pp 1-4, 2015
- (15) 有馬一貴, 金子将之, 村上 隆史, 杉村博, 一色正男, “HEMS継続利用のための節電支援ツールの開発”, 第77回情報処理学会全国大会, 4V-04, pp.3.253-3.254, 2015
- (16) 金子将之, 波多野匠, 村上 隆史, 杉村博, 一色正男, “快適な目覚めをサポートする家電製品連携システムの開発”, 第77回情報処理学会全国大会, 5V-03, pp.3.267-3.268, 2015
- (17) 村上 隆史, 一色 正男, “ ECHONET Liteを用いたHEMS技術”, 「エネルギー・資源」, Vol.35 No.5, pp.306-310, Sep 2014,
- (18) 杉村 博, 三栖 貴行, 山崎 洋一, 笹川 雄司, 藤田 裕之, 関家 一雄, 村上 隆史, 一色 正男, “コンシューマデバイス開発者育成のためのECHONET Lite教育コンテンツの開発”, 情報処理学会

論文誌 コンシューマ・デバイス&システム, 2016-CDS-12(34), pp. 1-5, 2015

- (19) 金子 将之, 有馬 一貴, 村上 隆史, 杉村 博, 一色 正男. “家電製品遠隔制御を用いた複合起床支援システムの開発”, 第14回情報科学技術フォーラム, 第4分冊, RO-021, pp.153-156, 2015.
- (20) 金子 将之, 有馬 一貴, 村上 隆史, 杉村 博, 一色 正男. “家電製品遠隔制御を用いた複合起床支援システムの開発”, 第14回情報科学技術フォーラム, 第4分冊, RO-021, pp.153-156, 2015.

#### 5. 国際学会発表

- (1) Masayuki Kaneko, Kazuki Arima, Takashi Murakami, Masao Isshiki and Hiroshi Sugimura, “Design and Implementation of Interactive Control System for Smart Houses”, IEEE International Conference On Consumer Electronics 2017, pp.302-303, 2017
- (2) Kazuki Arima, Masayuki Kaneko, Takashi Murakami, Masao Isshiki and Hiroshi Sugimura, “User Experience to Enable Long-term Operation for HEMS”, IEEE International Conference On Consumer Electronics 2017, pp.301-302, 2017
- (3) Masao Isshiki, Hiroshi Sugimura, Yuuji Sasagawa, Takashi Murakami, Yoshimi Teshigawara, “AWARENESS EDUCATION FOR THE OPEN-IOT PLATFORM SYSTEM MARKET GROWTH”, HICedu2017, pp1-3, 2017
- (4) Masayuki Kaneko, Kazuki Arima, Takashi Murakami, Masao Isshiki and Hiroshi Sugimura, “Development of Superposing Projection System for Cooking Support”, IEEE 5th Global Conference on Consumer Electronics, pp468-469, 2016
- (5) Kazuki Arima, Masayuki Kaneko, Takashi Murakami, Masao Isshiki and Hiroshi Sugimura, “User Experience for HEMS Based on Gamification and Life Log”, IEEE 5th Global Conference on Consumer Electronics, pp545-546, 2016

#### 6. 記事掲載

- (1) 村上隆史, “<標準活動トピック>HEMSにおける標準インタフェースについて”, 情報処理学会 情報規格調査会, Newsletter 110号, pp.2-4, 2016
- (2) 村上隆史, “エネルギー・リソース・アグリゲーション・ビジネス (ERAB) におけるECHONET Liteの役割とエコネットコンソーシアムの取組み”, 日本電機工業会 (電子・情報・システム部門誌), 「電機2016年12月号」, pp.8-10, 2016

#### 7. 受賞

- (1) 村上隆史, 国際規格開発賞, 情報処理学会 情報規格調査会, 2016
- (2) 村上隆史, 他多数, 2017年度電機工業技術功績者表彰優良賞, 日本電機工業会, 2017