

豊田市実証プロジェクトにおける CEMS開発・実証

CEMS Development and Demonstration in Toyota City Verification Project

● 神谷匡洋 ● 尾崎純子

あらまし

愛知県豊田市における「家庭・コミュニティ型」低炭素都市構築実証プロジェクトは、2010年から2014年の5か年計画で実施された大規模な社会システム実証事業である。このプロジェクトでは、クラウドコンピューティング、スマートフォン・タブレット、ビッグデータ、M2M(Machine to Machine)、IoT(Internet of Things)など、現在のトレンドとなっているテクノロジーが取り入れられている。電力や機器の運転モードなどを1分ごとにセンサーで収集し、デジタルデータとして蓄積する。こうして蓄積されたビッグデータを解析することで生成された情報は、インターネットを介して価値ある情報として現実社会へフィードバックされる。具体的には、生活者に行動支援情報を提供したり、機器運転を制御したりすることで変化をもたらし、低炭素社会の促進に貢献する。

本稿では、社会的な課題である持続可能な低炭素社会の実現に向けて、富士通がこのプロジェクトにおいて行った、IoTを活用したコミュニティ全体のエネルギーバランスの最適化を支援するCEMS(Community Energy Management System)の開発と実証について述べる。

Abstract

Toyota City Low-carbon Society Verification Project was a large-scale social system demonstration project that was held between 2010 and 2014 at Toyota City, Aichi, Japan. The goal of the project was to verify that the realization of a low-carbon society can be facilitated by introducing leading-edge devices and technologies such as smartphones, tablets, big data, cloud computing, M2M (Machine to Machine), and the IoT (Internet of Things). These devices and technologies made it possible to collect information on electricity usage and electrical device status from society as frequently as every minute. The collected data was stored for analysis and then the results were fed back to society in the form of behavior support information, or as control signals to control electrical devices remotely. This paper presents Fujitsu's approaches towards the development and demonstration of a community energy management system (CEMS) that utilizes the IoT, a system that is critical for the realization of sustainable low-carbon societies.

ま え が き

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が作成した「次世代エネルギー・社会システム ロードマップ」⁽¹⁾では、2020年から2030年の展望を以下のように描いている。

- ・太陽光パネルの価格低下を受け、太陽光発電のコストが低下し、一般家庭への普及が更に進む。
- ・ヒートポンプ給湯器とともに、価格が低下した蓄電池も一般家庭に普及する。

これらが実現すると、これまで一方的にエネルギーを消費してきた需要家（エネルギー消費者）側で、発電・蓄電が可能となる。前出のロードマップでは、そのような状況において効率的にエネルギーを活用するため、エリア（地域）単位でのエネルギーマネジメントの必要性が増大すると予測している。

このような課題認識のもと、経済産業省は効率的なエネルギー利用と地球温暖化を抑止する低炭素社会実現のため、2010年から2014年にわたり「次世代エネルギー・社会システム実証」を実施した。この実証には4地域（横浜市、豊田市、けいはんな学研都市、北九州市）が選定され、スマートコミュニティ実現に向けた技術やサービス、およびビジネスモデルが検証された。

本稿では、豊田市実証プロジェクト⁽²⁾（以下、豊

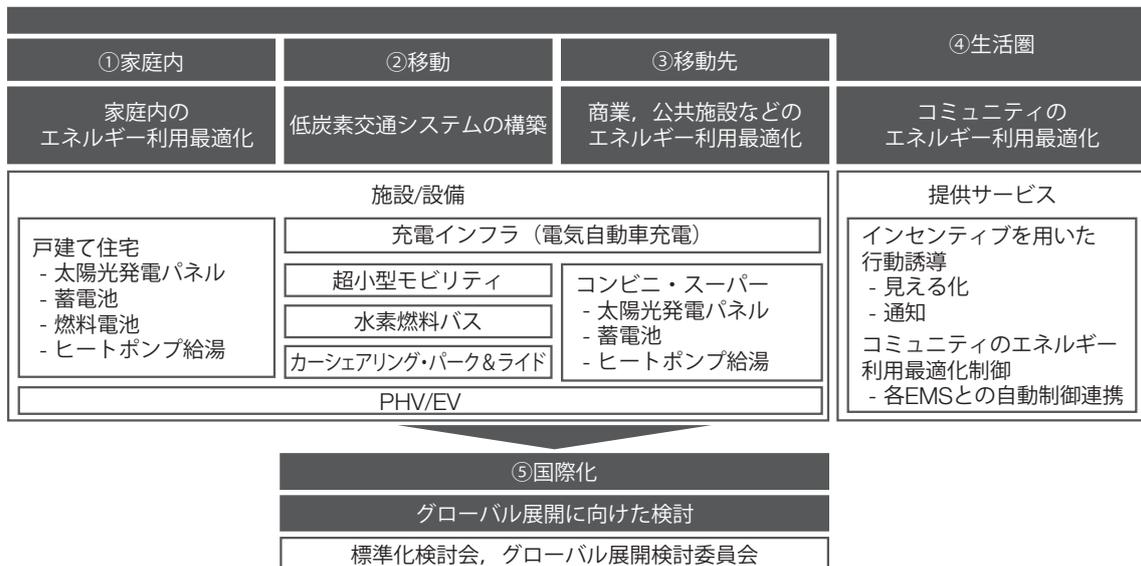
田市実証）の全体概要、および富士通が参画した生活圏全体のエネルギーデータを管理するシステムであるEDMS^(註)での実証における取組みを紹介する。また、実証で得た知見とその成果について述べる。

豊田市実証の概要

豊田市実証は、トヨタ自動車株式会社を幹事会社とし、最終的には50社の企業、および住民の方に参加いただいた社会システム実証である。実証は、家庭セクタ（家庭+交通）に着目し、エネルギーの効率的利用と低炭素社会を実現する仕組みを検証する。そのため、生活者の行動動線に沿って、家庭内・移動（通勤・通学・外出）・移動先など、以下に示す五つのモジュールごとに分割してそれぞれ実証を行い、最終的に全体での評価を実施した（図-1）。

- ①家庭内：家庭内のエネルギー利用最適化
 - ・様々な省/創/蓄エネ機器の自動制御
 - ・PHV/EV（Plug-in Hybrid Vehicle/Electric Vehicle）からの住宅への電力供給（V2H:Vehicle to Home）

(注) EDMSはトヨタ自動車株式会社の登録商標。Energy Data Management Systemの略で、豊田市実証におけるCEMS（Community Energy Management System）の名称。



EMS : Energy Management System

図-1 豊田市実証の全体像とEDMSの位置付け

- ②移動：低炭素交通システムの構築
 - ・次世代車両の導入（超小型モビリティ）
 - ・公共交通の共生
- ③移動先：商業、公共施設などのエネルギー利用最適化
 - ・商業施設への蓄電池導入
 - ・災害時のPHV/EVの活用
- ④生活圏：コミュニティのエネルギー利用最適化
 - ・インセンティブを利用した行動誘発
 - ・コミュニティ全体のエネルギー利用状況に基づく各EMSとの制御連携
- ⑤国際化：グローバル展開に向けた検討
 - ・各EMS連携インターフェースの仕様検討
 - ・標準化インターフェースの採用

豊田市実証では、モジュールごとにエネルギー利用の個別最適化を図るとともに、それらを統合し生活圏全体でエネルギー利用を最適化する次世代の地方都市型低炭素社会の実現を目指した。具体的には、前記①～③のエネルギーデータを収集・蓄積し、そのデータを活用して「見える化」「行動支援」「制御」のための情報を生成し、サービスとして生活者・機器に提供した。その結果をフィードバックすることで、最適化が可能か否かを検証した。

EDMSは、前記「④生活圏」に挙げたモジュールの位置付けにある。これは、個々の家庭や生活者のみならず、コミュニティ全体におけるエネルギーの需給バランスを最適化することを目的とした。その実現に向け、電力センサーを含む様々なセンサーを設置し、データを収集・活用し、需要家へのアドバイスや機器の自動制御といったIoT（Internet of Things）の要素技術を活用した実証を行った。

次章以降でEDMSについて詳述する。

豊田市実証EDMS

EDMSでは、各家庭に設置された電力センサーをはじめ、太陽光発電パネル、蓄電池、燃料電池、ガスメーター、水量メーター、環境センサーなどからエネルギー使用データが1分単位でセンシングされる。

富士通は、センシングされた大量のデータを蓄積するとともに、アプリケーションが利用しやす

いデータ形式にリアルタイムに変換・加工し、API（Application Programming Interface）によるデータ提供を行うデータ基盤を開発した。

データ基盤が提供するデータを利用し、EDMSアプリケーションを使って需要家に提供した主なサービスを以下に述べる。

(1) 見える化

各家庭のCO₂排出削減量や太陽光発電による電力比率、PHV/EVでの1 kWhあたりの走行距離など、実証コミュニティ内の世帯ごとに比較できるランキングなどの情報を併せて提供。

(2) 変動電力単価

地域の炭素係数に応じ、30分単位で電力単価が変動する疑似的な電力料金メニューを提供。EDMSが提供する変動電力単価と住民が契約している電力会社の電力単価との差額を、電子マネーに変換できるポイントとして付与。

(3) リコメンド

季節に応じた省エネ方法のアドバイスやPHVの利用状況を踏まえた充電タイミングなどのリコメンド情報を提供。

(4) 目標値サービス

世帯ごとにピーク時に利用する電力値の目標値を設定し、1か月間継続して達成するとポイントを付与。

(5) 自動制御

各家庭の発電量と電力使用量、PHVの利用状況を踏まえ、地域全体の需給バランスを考慮してPHVの充電、蓄電池の充電・放電を自動制御。

データ基盤アーキテクチャー

本章では、富士通が開発したデータ基盤への要求と主な構成について述べる。

EDMSでは、実証テーマごとに様々なサービスを提供できるアプリケーション（サブシステム）が動作することが求められる。また、それぞれのアプリケーションが容易にデータ連携してサービスを提供可能なデータ基盤も求められる。例えば、センサーで収集されるデータから、予測データ（太陽光発電量予測、需要予測など）が生成され、その予測データから電力単価データを生成する。また、Aというサービスの結果を参照しながら、Bというサービスが提供されるような仕組みを提供す

る必要があった。

更に、EDMS内だけでなく、他実証モジュール（他システム）からもデータを収集し、同時に提供する仕組みが必要である。しかし、これらは実証開始時に全ての要件が明確ではなかったため、柔軟なアーキテクチャーが要求された。

これらの要求を満たすため、まずデータ基盤は、センサーから収集した膨大なデータを「そのまま保存・蓄積」する機能と、EDMSに接続される機器やシステムが利用しやすい形でデータを加工して提供する機能を併せ持ち、これらのデータを共通APIで提供する構成とした。

共通APIは、Web APIを介して公開インターフェースとして他システムとの連携を可能とした。データ基盤の構造を図-2に示す。Web APIの開発に当たっては、豊田市実証内の様々なモジュールとの接続と各モジュールから収集したデータを扱うことを考慮し、データ保管効率を高める構成を採用した。すなわち、複数のデータベースや種類の異なるミドルウェアを組み合わせて、それぞれの特徴（応答性能、保管効率など）を活かした機能配置としながら、アプリケーション開発者に対しては、内部の機構に左右されないインターフェースとして共通APIを実装した構成とした。

また、連携する他システムの増加に伴い、当初は想定できなかったセンシングデータを扱う上での課題や新たな要求、年度ごとに追加される実証テーマなどにも対応しながら得られた新たな気付きも採り入れて、データ基盤を改良し続けた。

HEMS（Home Energy Management System）の連携の後、各メーカー固有のシステムや本実証内のほかのモジュール、経済産業省の別の実証である新宿実証センターのDRAS（DR Automation Server）⁽³⁾と連携を行った。連携に必要なインターフェースを提供する目的で、外部インターフェースの開発、セキュリティ機能などの内部機能の充実を図った。データ基盤の肝となるデータに関しては、生成・加工の処理能力と精度の向上を目的とした機能拡充を続けてきた。リリース年度ごとの主な内容は以下ようになる。

- (1) 2011年度
 - ・非構造データおよび大量データの蓄積
 - ・HEMSとの連携
 - ・共通データ
 - ・アクセスインターフェース（共通API）
- (2) 2012年度
 - ・情報公開に向けてセキュリティ機能の強化
 - ・イベント制御機能

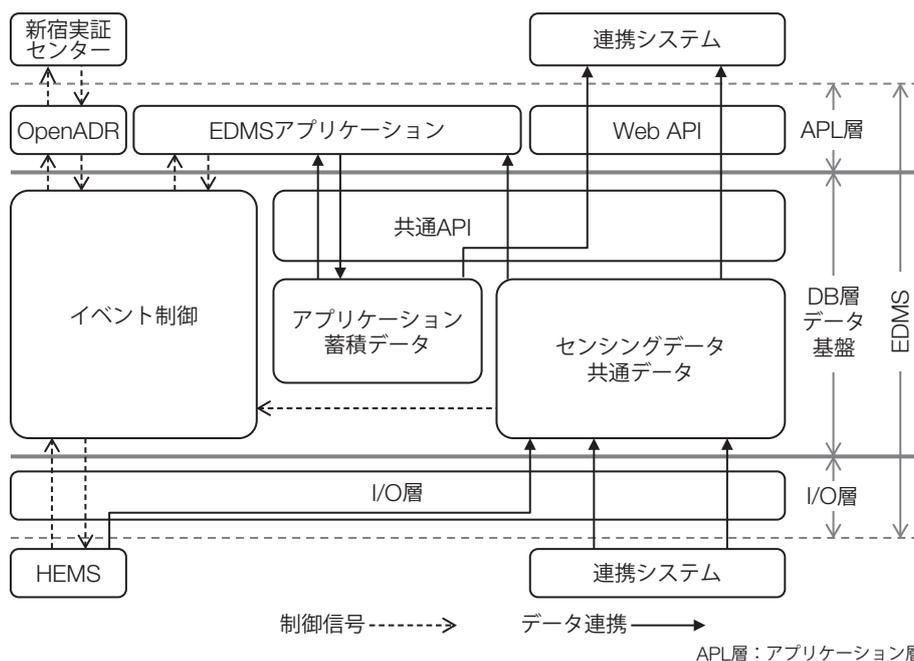


図-2 EDMS機能構成

(3) 2013～2014年度

- ・新宿実証センター連携（OpenADR2.0b対応）
- ・豊田市実証内の様々なモジュールとの連携

以降、データ基盤の提供に当たり、発生した課題とその解決策、およびコスト抑制に向けた取組みについて記載する。

センシングデータの取扱い

本章では、業務システム開発と異なるセンシングデータの取扱いについて述べる。

(1) センシングデータの品質

IoTでも活用される様々なセンサーから取得するデータをセンシングデータと呼ぶ。豊田市実証で取り扱ったセンシングデータの種類は、家庭の中で約50項目となっている。各家庭には、これらのセンサーやセンサーを持つ機器、機器と連携するHEMS、ホームゲートウェイ、無線LANルータなどが設置された。これらの機器を組み合わせるセンシングデータの収集と、豊田市実証EDMSとの連携を行った。

このように、収集されるセンシングデータには、ときに欠測によるデータ欠損などの異常が発生する。前述の家庭内に設置した機器の故障や落雷などの自然災害の影響による停電や、住人による機器コントロールパネルの操作による機器の停止なども発生した。このような異常は実社会に適用した場合にも起こり得るものであり、棟数やセンサー

数の増加により、上記のようなデータ異常が頻繁に発生することを想定したシステム作りが必要となる。

また、センシングデータを利用するアプリケーション側は、簡易的でも異常を補正したデータを求める場合と、異常を含んだそのままのデータを必要とする場合など、データ利用のニーズも様々である。本実証を通じて、そのような対応をアプリケーション側で行うのか、あるいはデータ基盤側で行うのか、実証参加企業とも議論した。こうして、センシングデータの特徴とアプリケーションのデータ利用ニーズを理解し、共通基盤が提供するデータの品質やアプリケーションインターフェースも年々改善した。

(2) データ基盤の付加価値

EDMSはクラウド上に存在し、各家庭のHEMSやBEMS (Building Energy Management System)、TDMS (Traffic Data Management System) など、周辺システムとの連携とデータの蓄積・加工・公開を担っている。EDMSの共通基盤は、DB層 (=データ基盤) とI/O層の二つに分かれている。周辺システムとの連携を担うI/O層はトヨタ自動車株式会社が開発し、データの蓄積・加工・公開を担うデータ基盤は富士通が開発した。このデータ基盤に図-3に示すセンシングデータが収集される。センシングデータの中には前述のように異常値が含まれ、異常値にはしきい値越えや値のない欠測

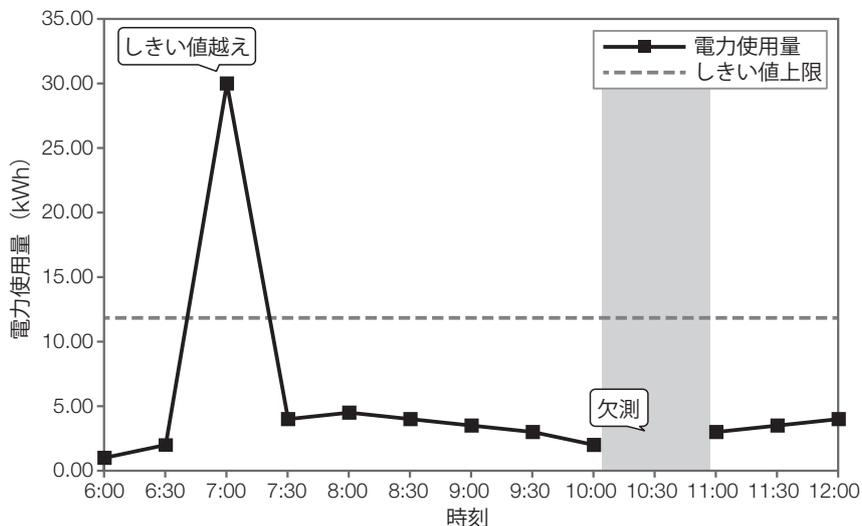


図-3 異常値発生例

などがある。

データ基盤の提供を始めた当初は、異常値の補正は個々のアプリケーションで行うとしていた。しかし、徐々にアプリケーションの仕様が明らかになるにつれ、1分単位・30分単位の集計値は共通データとしてデータ基盤上で作成し提供することでシステム全体の品質を一定にし、アプリケーションの開発負担も軽減するということが分かってきた。このため、データ基盤上で共通データを作成し提供することとなった。共通データは大きくそのままのデータ（異常値を含む）と、1分単位と30分単位などの集計値（異常値の影響を受ける集計値と補正値を基にした集計値の2種類）である。その中で、特に30分単位の集計値は、データ基盤が提供する共通データの中で最も多く利用されたデータであり、アプリケーション開発の負担軽減や補正データに関しては、実証終了時に取得したアンケートの中でも良い評価をいただいた共通データであった。データ基盤は、共通データだけでなく、EDMSアプリケーションが作成したデータも管理している。

データ処理

EDMSでは、センシングデータの処理方法を2種類準備した。一つは、センサーや周辺のシステムから得られるデータを30分単位、日単位などの固まりで扱うバッチ処理で、もう一つは、逐次発生するイベントをタイムリーに処理するイベントドリブン処理である。特にイベントドリブン処理では、発生した事象（イベント）に応じてEDMSアプリケーションや周辺システムを連動させて制御する。豊田市実証では、EDMSを用いて計画する各家庭の蓄電池およびPHVの充電により、各家庭のブレーカーが落ちないように制御した。各家庭のHEMSは家庭内の消費電力量の監視を行い、事前に定めたしきい値を超えるなどの条件を満たすと、EDMSへ通知する。EDMSでは、受けた通知と直前の状況や事前の条件設定を基に、後続処理の必要性を判定する。判定の結果、後続処理が必要であれば、呼出し先の業務アプリケーションを選択し通知する。通知を受けた業務アプリケーションでは、蓄電池やPHVの充電停止の必要性を判断する。充電停止が必要な場合には、共通基盤を通

して充電停止の制御信号を送信する。

本実証では、充電器およびPHVの充電制御とEDMSのイベント制御基盤を開発し、イベントドリブン処理を行うという二つの目的で実施した。こうして、各家庭とクラウド上のシステムを通して秒単位の連携が可能となり、このようなイベントドリブン処理の有用性を確認できたと考えている。

APIの管理・運用

豊田市実証ではEDMSとHEMS, BEMS, 公共充電器, 家電コントローラー, TDMSなどの地域内のシステムや、各機器メーカーのセンター、経済産業省のほかの実証を行っていた新宿実証センターと連携を取った。EDMSと各システムは、年度ごとに定める実証目的に合わせて接続対象を決め、システム間で協議し連携対象を増やしてきた。2013年度以降は、CPP（Critical Peak Pricing）を用いたDR（Demand Response）連携を行った。

EDMSと周辺システムとの連携を図-4に示す。各システムのセンサーが収集する実績値（電力需要量など）を、直接または各機器を統括するセンターを経由して間接的にEDMSに収集する。収集した実績値と、気象予測や上位系統からのDR信号を基に今後の電力需要量を予測し、ピークカット/ピークシフトを目的とした30分単位の電力単価を設定する。EDMSで設定した30分単位の電力単価は各システムに伝達され、この電力単価を基に各システムは管理する機器の電力需要量を制御する。

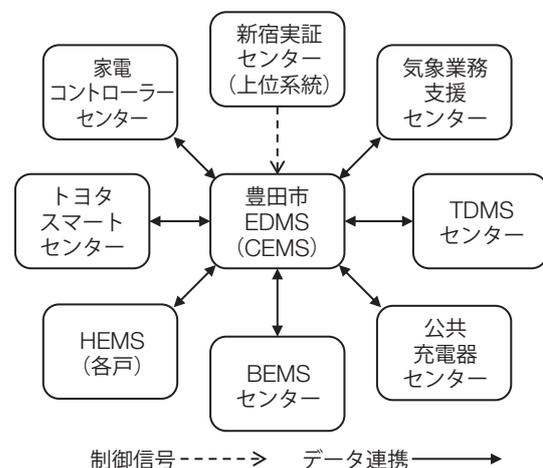


図-4 EDMSと周辺システムとの連携

このようにして、豊田市実証では地域全体での電力需要量を制御した。

2013年度に行った周辺システムとEDMSを接続するインターフェースの開発時には、同時に複数のシステムとの連携を実施した。EDMSでは、接続するシステム単位で個別に対応するのではなく、各システムからの要求を取りまとめ、EDMSから各システムが共通で利用するWeb APIを公開した。また、短期間での開発および品質の確保が必要となることから、開発をサポートする運用を規定した。Web APIの提供に当たり、考慮した点と施策について以下に例を記載する。

(1) 安全なシステム連携

- ・セキュリティポリシーの策定
- ・ポリシーに準拠し連携各社との調整
- ・システム停止時の運用策定

(2) 簡易な開発手法

- ・URI (Uniform Resource Identifier) 1行でアクセス可能なWeb APIの提供
- ・テスト用サイトの運用

(3) 運用サポート

- ・問合せ窓口/連絡体制の設定

上記の例は一部ではあるが、このような対応を実施し、スムーズな運用を実現した。EDMSで設定した30分単位の電力単価を基に、連携する様々なシステムが運転を制御し、地域の電力需要を最適化することが実証できた。多くの企業と連携して開発・運用する上で、事前の協議やサポートなど、技術的な実証の目的以外にも気づきが多い取組みであった。

コスト抑制に向けた取組み

将来、これまでに述べたEDMSのようなシステムを使用する場合、運用コストは低く抑えたい。豊田市実証においても経済性を重視し、参加する世帯あたりのシステム費用を算出して経済性を高める改善を図ってきた。

豊田市実証に参画した当初、将来様々なモジュールとの連携が控えていることは理解しつつも、それぞれのモジュールの開発も同時に立ち上がるため、データ形式、データ量、頻度など不明な点があった。不明な点は、HEMSから収集されるデータだけでなく、EDMS内のアプリケーションが生成す

るデータについても同様である。多様な形式、膨大なデータを扱う想定のもと、拡張性があり、非構造データも扱えるデータ基盤とすることを開発方針とした。

前述の「センシングデータの取扱い」の章でも述べたように、実証が始まった当初は類似性のあるデータがいくつも作られた。また、データ配置も最適ではなく、ストレージ使用量の増加がシステム運用費の増大につながっていた。データ基盤には、データマネジメント機能の一つとして保管するデータの配置を管理する機能があり、業務アプリケーションへの影響の少ないデータ移動が可能である。

本機能は、利用頻度の少ないデータを費用効率の良いストレージへ移動するHSM（階層ストレージ管理）を目的としている。本機能を利用する対象は、データ基盤へのアクセスパターンを分析し選定した。アクセス方法が似ているデータや、アクセス頻度の高い・低いデータなどから使われ方を特徴として抽出し、データ再配置の対象を決定した。そのほか、同一キー（RDBでのインデックス相当）を持つデータは、表を横に結合するデータ統合を行い、容量を削減している。データ統合においては、業務アプリケーションへの影響を考慮し、DBMSでのビューのようにこれまで同様のアクセス方法を維持した状態でデータ移行を行う方式を採用している。このように、データ基盤でのリソース使用量の削減・抑制を年々提案し、改善を進めてきた。図-5は、2012年度のデータ基盤

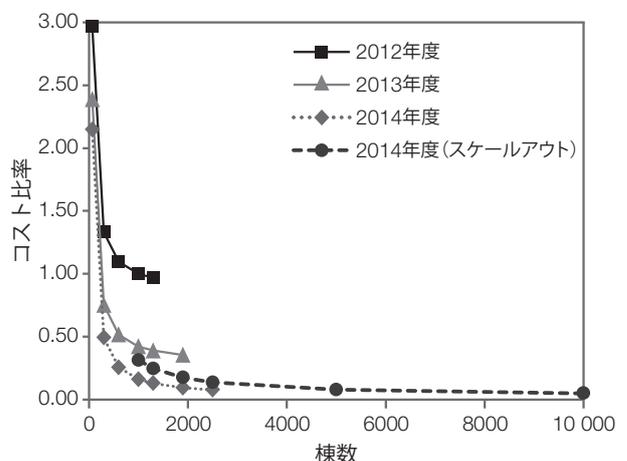


図-5 データ基盤のシステム運用コスト比率

で1000棟のHEMSデータを収集・加工・公開するアーキテクチャーの検証結果を基準とし、その後の年度における改善結果を更に測定し、システム運用コスト比率を表したものである。

年度ごとにシステムの処理能力やデータ格納状況などを評価し、課題を抽出し翌年度に改善を行うことで、棟あたりのシステム運用コストを年々削減した。その結果、データ基盤自体もスリムとなり、システムが扱える棟数の上限も向上した。

む す び

本稿では、データ基盤の開発に当たってのIoTならではのセンサーデータの扱いや社会システムとして求められる要件に対する富士通の取組みと成果について説明した。現在、機器をインターネットに接続する取組みは広がりを見せており、ますます拡大しつつある。これらの動きが、センサーや通信機器などの部品の低価格化を後押しし、更にインターネットへの接続を加速させていくことが想定される。こうしたIoTの発展により、社会にどのような変化をもたらすかが期待されている。

現在、豊田市実証の5年間で培った技術・ノウハウを活かしたエネルギー関連ソリューションを富士通は提供している。富士通が提供するソリュー

ションにより、低炭素な社会に加え、生活全体の豊かさを提供できる社会へ貢献していきたい。

最後に、豊田市という実証フィールドを取りまとめていただいた豊田市役所をはじめ、実証幹事会社であるトヨタ自動車株式会社、関連した実証参加企業の皆様に深く御礼申し上げる。

本稿の内容は、経済産業省実証事業「次世代エネルギー・社会システム実証事業」により実施したものである。

参考文献

- (1) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：NEDO再生可能エネルギー技術白書の概要（初版）。2010年7月。
http://www.nedo.go.jp/library/ne_hakusyo_2010_index.html
- (2) 愛知県豊田市：愛知県豊田市における『家庭・コミュニティ型』低炭素都市構築実証プロジェクトマスタープラン。2010年8月。
http://www.city.toyota.aichi.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/002/046/01.pdf
- (3) 早稲田大学：日本版ADR実証報告。2014年12月。
http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/shoujo/smart_house/pdf/006_s08_00.pdf

著者紹介



神谷匡洋（こうや まさひろ）

（株）富士通ミッションクリティカルシステムズ
基盤ビジネス本部先端基盤事業部データセル 所属
現在、スマートシティに関するプラットフォーム設計・構築に従事。



尾崎純子（おざき じゅんこ）

社会基盤システム事業本部スマートシティ・ソリューション統括部 所属
現在、スマートシティに関するプロジェクトの企画・検証に従事。