

地域エネルギー管理システムの 通信ソフトウェアの開発と運用

—実証実験により得られた知見—

金子雄^{†1} 前川智則^{†1} 山田孝裕^{†1} 松澤茂雄^{†1}

^{†1} (株) 東芝

地域エネルギー管理システム (Community Energy Management System; CEMS) は、地域単位でエネルギーの利用効率を向上することを目的とするシステムである。筆者らは、横浜スマートシティプロジェクト (YSCP) 向けに CEMS を開発した。本 CEMS は、複数のシステムとインターネットを介して Web サービスで連携し、ビルやハウスなどの施設のエネルギー消費量を調節する。2012 年 10 月の運用開始から約 1 年で、CEMS が管理する施設数は約 2,000 となった。本論文では、CEMS の通信ソフトウェアの開発と運用を通して得られた知見を述べる。

1. はじめに

建物内に存在する空調や照明などの機器を IT 技術を用いて監視制御することで、住人の利便性と省エネをバランス良く実現するシステムとして Building Energy Management System (BEMS) や Home Energy Management System (HEMS) がある。これらの EMS は、気候や住人の行動を考慮して機器を制御したり、電力消費量を見える化したりする。BEMS は大型ビルを中心に普及しており、HEMS は一般家庭に普及しはじめている。

地域エネルギー管理システム (Community Energy Management System; CEMS) は、建物ではなく地域を対象とする EMS である。CEMS の管理対象は、ビルやハウス、電気自動車 (Electric Vehicle; EV)、太陽光発電 (Photovoltaic power generation; PV)、蓄電池などの多種多様な施設である。また、Demand Response (DR) [5] と称される需給調整機能を備える点が特徴である。

近年、CEMS による CO₂ 削減効果を検証するために、各地で実証実験が行われている [12]。筆者らは、横浜スマートシティプロジェクト (YSCP) [13] 向けの CEMS 開発 [7] に参画し、通信ソフトウェア (通信ソフト) を開発した。YSCP は、最大で大型ビル 20 棟、ハウス 4000 軒、EV 2000 台などを実証対象としており、国内の実証実験では最大級である。運用開始から約 1 年で、CEMS が管理する施設数は約 2,000 となった。CEMS の通信ソフトは Web サービスを利用し、インターネットを介して、施設の電力情報を収集し、施設に DR 情報を発行する。

本論文では、CEMS の通信ソフトの開発と運用につい

て、実証実験を通して得られた知見をまとめる。特に、大規模かつ多種多様な相手と通信することに起因する課題と対策について述べる。以降、CEMS と称する場合は、筆者らが YSCP 向けに開発した CEMS のことを指す。

2. YSCP の実証システム

2.1 実証システムの構成

YSCP の実証システムの構成は、図 1 に示すように階層型の構成とした。ハウス以外の需要家システムとして、ビルや充電スタンド、EV がある。個々の需要家システムに対するサービス (機器制御、電力情報可視化など) の提供は、群管理システムが担当する。CEMS は、すべ

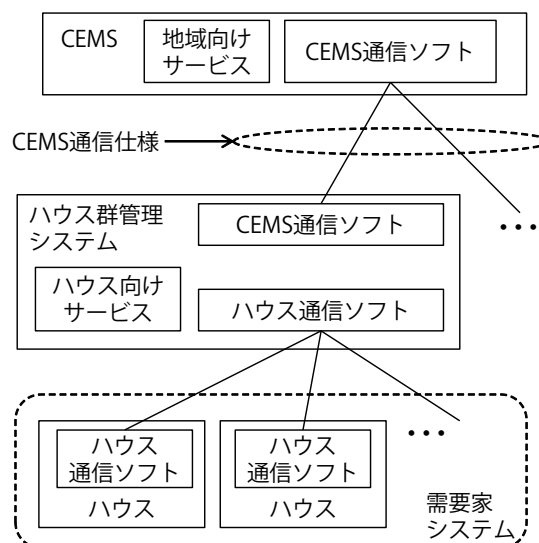


図 1 YSCP の実証システムの構成

ての群管理システムと連携することで、地域単位の需給調整や電力情報（電力消費量、PV発電量）の可視化を実現する。

CEMSは筆者らが開発し、群管理システムや需要家システムは、YSCPに参画する他の事業者（ベンダ）が開発した。各ベンダの実験／開発内容は文献[12]を参照されたい。ベンダごとに得意な事業領域は異なる。HEMSに強みを持つベンダもあれば、BEMSに強みを持つベンダもある。そのため、YSCPで実証したい内容や、需要家に提供したいサービスは、ベンダごとに異なる。結果的に、需要家システムの種類ごとに、1つ以上の群管理システムが開発された。

CEMSは、群管理システムとインターネットを介した通信を行うことで、需要家システムの電力情報を収集する。CEMSと各群管理システムとの間の通信仕様は、共通の仕様（CEMS通信仕様）として筆者らが策定した。一方でCEMSは、群管理システムと需要家システムとの間の通信仕様に関与しない。CEMSにとって重要なことは、群管理システムが、CEMS通信仕様に準拠して電力情報を提供してくれることである。CEMS通信仕様の詳細は次節で述べる。

2.2 CEMS 通信仕様

CEMS通信仕様のプロトコルスタックを図2に示す。DR情報や電力情報などのデータモデルは、地域エネルギーマネジメントシステム共通インタフェース仕様[11]のデータモデルに準拠する方針とした。同様に[11]に準拠し、データの表現にはControl System Modeling Language (CSML) [9]を、WebサービスにはBACnet/WS^{☆1}[8]を採用した。CSMLは、制御システムに関するデータをExtensible Markup Language (XML) で表すための規格である。BACnet/WSは、制御システム向けのWebサービス規格である。類似のWebサービス規格[2],[4],[10]と比べて単純であり、かつ、CSMLで表したDR情報や電力情報を送受信できる。またBACnet/WSはSOAPの使用を

^{☆1} BACnetは、米国冷暖房空調協議会の商標又は登録商標。

データモデル	共通インタフェース仕様準拠
データ表現	CSML
Webサービス	BACnet/WS
	SOAP/XML
トランスポート	HTTPS

図2 CEMS通信仕様のプロトコルスタック

推奨しているため、それに倣った。

CEMSがハウス群の電力消費量を収集する通信シーケンスを図3に示す。CEMSは、ハウス群管理システムが、毎時00分と30分に、各ハウスから過去30分間の電力消費量を収集し始めることを期待する。また、収集開始から20分間で、CEMSへ電力消費量を提供する準備を終えることを期待する。CEMSは毎時20分と50分に、電力消費量の収集を開始し、10分間で収集を完了する。

CEMSはBACnet/WSのgetHistoryPeriodic APIを使用して、電力消費量を取得する。getHistoryPeriodicは、計測値の履歴を取得するためのAPIであり、計測点を識別するためのIDと、取得したい履歴の期間などを引数とする。BACnet/WSの仕様上、getHistoryPeriodicで指定できるIDは1つのみであるため、CEMSは各ハウスの電力消費量ごとにgetHistoryPeriodicを実行する。1つしかIDを指定できないことは、通信のオーバーヘッドを増やすが、APIの実装を容易とする。

getHistoryPeriodicで指定するIDは、ハウスを識別する文字列と、電力消費量を表す文字列を連結した文字列とする。このIDの情報は、CEMSとハウス群管理システムとの間で共有し、双方で管理する必要がある。BACnet/WSはIDを共有するAPIを持たないため、IDの共有は人間系で対応することにした。

各ハウスのPV発電量を収集する場合も、同じ通信シーケンスとなる。また、ハウス以外の需要家システムの電力情報を収集する場合も、同様の通信シーケンスとなる。DR情報の送信などの通信も実施するが、それらの説明は割愛する。



図3 電力消費量を収集する通信シーケンス

3. CEMS 通信ソフト開発

CEMSの通信ソフトを開発する際に発生した課題と対策について述べる。

3.1 通信仕様の共有

CEMSの開発を開始した時点で、CEMSは7つのシステムと接続することが決まっていた。したがって、7ベンダにCEMS通信仕様を理解してもらう必要があった。各システムの開発スケジュールが数カ月単位で異なっていたため、全関係者を集めて仕様の説明を行うことは困難であった。また、実証実験であるため、各ベンダの意見に基づいて通信仕様を修正することもあった。

このような状況を考慮し、筆者らは、通信仕様書のバージョン管理を徹底した。通信仕様書はMicrosoft Word^{☆2}を使用して作成し、変更履歴の記録機能を活用した。通信仕様書の表紙やファイル名に、バージョン番号を明記した。最新の通信仕様書は、早急に全関係者に配布するよう努めた。また、どのベンダに、どのバージョンの通信仕様書を説明して合意を得たかを管理した。

通信仕様において、誤解が生じやすかった内容は、データ表現と時刻情報の扱いであった。以下に理由を述べる。

• データ表現

CSMLやXMLは表現力に富む言語であるため、さまざまなデータを表現できる。しかし、それゆえ、DR情報や電力情報の表現が一意に定まらない可能性がある。

• 時刻情報

電力情報には、複数の時刻情報が付属する。値の計測を開始した時刻、計測を終了した時刻、情報を作成した時刻、などである。これらの時刻情報を付加するかは群管理システムや需要家システムの仕様による。getHistoryPeriodicは対象期間を引数にとるが、その対象期間を、どの時刻情報に対して適用するかにより、取得結果が変化する可能性がある。

このような通信仕様の曖昧性を減らすために、通信仕様の検証の機械化を進めた。まず、CSMLのXMLスキーマファイルを作成し、各ベンダと共有した。XMLスキーマを使えば、スキーマに準拠するXML文書の作成／解析を、JAXB[15]などのライブラリに任せられる。また、BACnet/WSのWeb Service Description Language (WSDL) ファイルを作成し、各ベンダと共有した。WSDLはWebサービスAPIを定義する規格である。WSDLを使えば、

☆2 Microsoft Wordは、マイクロソフト社の商標又は登録商標。

Webサービスの通信処理をAxis2^{☆3}[14]などのライブラリに任せられる。

さらに、通信仕様に準拠していることを確認するためのテストツールを作成した。本テストツールは、テスト対象のシステムに対して、DR情報の発行や、電力情報の収集処理を行う。そして、テスト対象のシステムが正しいレスポンスを返すことを確認する。正しいレスポンスとは、たとえば、DRに対する協力可否や、ある30分間の電力消費量のことである。本テストツールのテストをすべてクリアすることを、CEMSと接続するための条件として、各ベンダに依頼した。群管理システムの種別ごとに、20から30のテストを定義した。

3.2 管理対象の変化への対応

地域の施設は増減または変容する。したがって、CEMSの運用を開始した後に、管理対象が変化する。通信ソフトは、すでに実施中のDR発行や情報収集に影響を与えることなく、管理対象の増減に対応しなくてはならない。起こり得る変化を以下にまとめる。

- 群管理システムの増減
- ビルやハウスなどの施設の増減
- 機器の増減。たとえば、あるハウスにPVが導入され、PV発電量も取得可能になる、など。

これらの変化に対応するため、管理対象の情報（施設の種類や、getHistoryPeriodicで指定するIDなど）をCEMS内部のデータベース（DB）で管理し、定期的にDBを再読み込みするように実装した。同様の情報は群管理システムにおいても必要である。ただし、CEMSは地域の全施設の情報を管理する必要があるが、群管理システムは、自身が収容する施設の情報だけを管理すればよい。

CEMS運用者がDBを更新すれば、再読み込みにより通信ソフトに反映される。ただし、通信を行うたびに、すべての情報を再読み込みすると、DBに無駄な負荷がかかる。たとえば、運用上、DB更新が1日に1回しか行われなければ、通信のたびにDB再読み込みを行うことは無駄である。また、不要なソフト実装が発生する。そこで、管理対象の情報更新に関する運用フローを分析し、再読み込みすべき情報とタイミングを検討した。

また、ログレベルの動的変更にも対応した。新たに追加した群管理システムとの通信が上手くいかない場合に、ログレベルを一時的に上げてデバッグする状況を想定した。ログレベルは設定ファイルで管理することにし

☆3 Axis2は、Apache Software Foundationの商標又は登録商標。

たため、設定ファイルを定期的に再読み込みするよう実装した。

3.3 10分以内の電力情報収集

図3に示すように、通信ソフトは、10分以内に全需要家システムの電力情報を収集する必要がある。収集処理が10分を超えると、群管理システムの情報収集と処理が重複し、群管理システムの負荷が増すためである。10分以内に情報収集できるかは、通信ソフトの性能と、群管理システムの性能と、需要家システムの数に依存する。

当然だが、筆者らは群管理システムの設計／実装に関与できないため、通信ソフトに工夫を施すしかない。そこで、情報収集を行うスレッドを、群管理システムごとに1つだけ生成する設計とした。これにより、一部の群管理システムの応答が遅くても、他の群管理システムからの情報収集は進められる。また、一部の群管理システムとの通信にてエラーが発生しても、他の群管理システムとの通信を続けるように実装することが容易となった。

3.4 オープンソースソフトウェアの利用

CEMS通信ソフトはJavaで実装した。また、以下のオープンソースソフトウェアを利用した。

- Apache Axis2 [14]

Webサービスの通信処理を実装するためのライブラリ。Transport Layer Security (TLS) やHTTP Basic 認証, HTTP gzip 圧縮を利用するためのAPIを備えており、問題なくWebサービス通信処理を実装できた。バージョン1.6.1を使用した。

- JAXB Reference Implementation [15]

XMLの作成／解析を行うライブラリ。バージョン2の2011年1月15日版を使用した。

- Quartz [16]

任意の処理（ジョブ）を、任意のタイミングで実行するためのライブラリ。電力情報の収集処理をジョブとして定義し、定期的に行うように実装した。Quartzは、ジョブの実行タイミングになると、過去に実行したジョブが終了していなくても新たにジョブを実行する。この挙動は、群管理システムの負荷増大を招く。そこで、同じジョブが実行中であれば、情報収集を行わずに終了する処理をジョブに組み込んだ。Quartzはバージョン2.1.0を使用した。

4. 運用から得られた知見

2012年10月の運用開始から約1年間で得られた知見をまとめる。YSCPの実証実験は2014年度末まで続く予定である。

4.1 通信仕様の検証の機械化の効果

7ベンダのシステムに対して、テストツールを使用したテストを実施した。CSMLやBACnet/WS, SOAPのレイヤにおける処理が原因の問題は発生しなかった。ただし、比較対象が存在しないため、この結果がXMLスキーマとWSDLを共有した効果であるかは、分からない。

テストツールによるテストでは、通信仕様の記載不足を発見できた。一例を以下に記す。

- getHistoryPeriodicで指定する対象期間の両端を、閉区間として扱うのか、开区間として扱うのか、明記していなかった。
- getHistoryPeriodicで指定された電力情報が存在しない場合に、レスポンスのHTTP status codeに設定すべき値を明記していなかった。

本番環境で接続する前に、通信仕様に対する誤解を洗い出せたため、CEMSの運用業務に支障をきたすような問題は発生しなかった。

4.2 電力情報収集の性能

需要家システムの増加に対する情報収集時間の変化を調べた。情報収集時間とは、全需要家システムの、ある30分の電力情報の収集に要する時間のことである。図4にgetHistoryPeriodicの実施回数と、情報収集時間の平均値の関係を示す。図中の誤差棒は標準偏差である。getHistoryPeriodicの実施回数とは、ある30分の電力情報を収集するために実施したgetHistoryPeriodicの回数である。

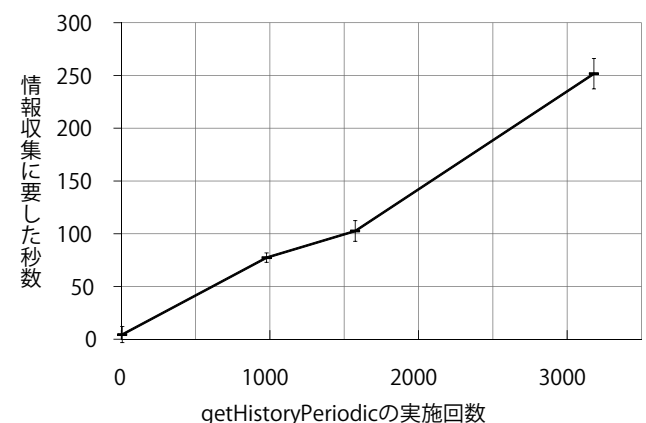


図4 電力情報収集に要した時間（秒）

る。電力消費量とPV発電量の両方を提供する需要家システムが存在するため、getHistoryPeriodicの実施回数は需要家システム数よりも多くなる。

2013年10月の時点で、情報収集時間の最大値は288秒であり、10分以内の情報収集を達成できていた。また、このときのgetHistoryPeriodicの実施回数は3,180回であった。図4から、getHistoryPeriodicの実施回数と情報収集時間は比例関係にあると読み取れる。したがって、各群管理システムが収容する需要家システムが増えたとしても、2013年10月時点の2倍以下の数であれば、10分以内の情報収集を達成できると考える。

各群管理システムに対して生成した情報収集スレッドの処理時間を合計し、最大値を調べたところ、457秒であった。この値は、シングルスレッドによる情報収集に要する時間とみなせる。したがって、群管理システムごとに情報収集スレッドを生成することで、情報収集時間の最大値を169秒短縮できたとと言える。

YSCPよりも多くの需要家システムを対象とする場合は、さらなる工夫が必要となるだろう。単純には、ある群管理システムに対してgetHistoryPeriodicを並列実行すればよい。本手法の実装方法としては、群管理システムごとに複数の情報収集スレッドを生成する方法や、非同期型の通信用APIを利用する方法がある。ただし、群管理システムがgetHistoryPeriodicを効率的に並列処理できず、情報収集時間が増加してしまう可能性もある。

この問題を解決するためには、群管理システムの負荷を推測し、並列度を調整する必要がある。文献[6]は、通信の応答時間を考慮して通信タイミングを調整することで、通信による負荷を平滑化する手法を提案している。このような手法を併用することで、群管理システムの性能に応じてgetHistoryPeriodicの並列度を調整できると考える。

通信量を減らすことで、情報収集時間を短縮できる可能性もある。データをXMLで表現すると、XMLタグなどを付加するため、送受信したい情報に対して通信量が大きくなる。たとえば、ある需要家システムから収集した、ある30分の電力消費量を表すXML文書は1,540バイトであったが、その中で送受信したい情報は306バイトであった。この場合、約80%の通信量はXMLを使うことによるオーバーヘッドである。このXML文書をgzipで圧縮すると571バイトとなった。したがって、HTTPを使う場合はgzip圧縮を有効とすることで、通信量を大きく減らせると考える。

Efficient XML Interchange (EXI) [3]のように、XMLをバ

イナリ表記することで通信量を減らす方法もある。ただし、EXIをマルチベンダ環境で採用するためには、HTTP gzip圧縮のように実装の普及が重要であると考えられる。

需要家システムに対する通信パターンをモデル化することで、電力情報収集時に発生する通信量を推測する手法もある[1]。需要家システムが増えても、通信量の推測値にもとづいて、必要なサーバ台数やネットワーク帯域を計算し、事前に増強できるようになる。

4.3 電力情報の欠損

通信ソフトはgetHistoryPeriodicにより、最新の30分間の電力情報を収集する。電力情報が得られなかった場合は、次の収集時に、まとめて収集する。電力情報が得られない状況が継続した場合は、最大で3日分をまとめて収集する。2013年10月のある1週間にて、電力情報の収集状況を調査したところ、電力情報をすべて収集できた需要家システムの割合は88%であった。残りの需要家システムの電力情報は、一部またはすべて欠損していた。

電力情報を収集できなかった原因の多くは、需要家システムの停止や、需要家システム周辺のネットワーク機器の停止であった。特にハウス (HEMS) は、住人がHEMS装置を容易に停止できるため、数日間分の電力情報を収集できない場合もあった。HEMS経由で家庭のエネルギー管理を行う場合には、HEMS装置の設置方法や、契約/制度面の対策が必要だと考える。

CEMSと群管理システムの間、もしくは群管理システムと需要家システムの間ネットワーク障害が原因となる場合もあった。障害は一時的でも、需要家システムが電力情報を蓄積できない場合は、障害発生時間帯の電力情報を収集できなくなる。また、群管理システムが欠損値を再収集できない場合も同様である。

CEMS通信ソフトは、欠損した電力情報を、1日に一度の頻度で再収集する機能を備えていた。自動で再収集を行うため、運用者の作業は発生しない。しかし、再収集処理が、通常の情報収集処理と重複してしまうことがあり、その際にシステム負荷が増大した。CEMSと同様に、群管理システムの負荷も増大したと予想する。再収集を行う場合は、他の処理を行っていない時間帯を自動的に選択できることが望ましい。

5. おわりに

本論文では、CEMSの通信ソフトウェアについて、開発と運用を通して得られた知見を述べた。通信ソフトは、

異なるベンダが開発する複数のシステムと通信する。各ベンダと通信仕様を正確に共有するため、筆者らは通信仕様書のバージョン管理の徹底と、通信仕様への準拠を確認するテストツールを作成した。これにより、大きな支障をきたすことなく開発／運用を進められた。また、電力情報収集の時間を短縮するために、相手システムごとに収集処理のスレッドを分ける設計とした。これにより、約2,000軒の需要家システムの電力情報を、5分弱で収集できている。一方、約10%の需要家システムにて、電力情報が一部またはすべて欠損するという現象も生じている。欠損に至る理由は複合的であり、マルチベンダかつインターネット経由の大規模エネルギー管理ならではの問題であると考えられる。

今後の課題は、電力情報収集の性能向上と、電力情報の欠損率低減である。情報収集の性能改善のためには、ネットワーク帯域を有効利用するために、通信タイミングを調整したり、データを圧縮したりする方法がある。欠損率低減のためには、システム負荷を考慮した自動再収集機能や、HEMS装置の設置方法、エネルギー管理における契約／制度の検討が必要であると考えられる。

謝辞 本研究の一部は、経済産業省による平成23年度および平成24年度次世代エネルギー・社会システム実証事業費補助金に係る開発成果によるものである。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Alizadeh, M., Scaglione, A., Thomas, R. J. and Callaway, D.: Information Infrastructure for Cellular Load Management in Green Power Delivery Systems, Smart Grid Comm, pp.13-18 (2011).
- 2) McParland, C: OpenADR Open Source Toolkit: Developing Open Source Software for the Smart Grid, IEEE Power & Energy Society General Meeting, pp.1-7 (2011).
- 3) Doi, Y., Sato, Y., Ishiyama, M., Ohba, Y. and Teramoto, K.: XML-less EXI with Code Generation for Integration of Embedded Devices in Web based Systems, Internet of Things, pp.76-83 (2012).
- 4) Lee, E.-K., Gadh, R. and Geria, M.: Energy Service Interface: Accessing to Customer Energy Resources for Smart Grid Interoperation, IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, Vol.31, No.7, pp.1195-1204 (2013).
- 5) Palensky, P. and Dietrich, D.: Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads, IEEE TRANS-

ACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS, Vol.7, No.3, pp.381-388 (2011).

- 6) 伊藤俊夫, 米良恵介, 金子 雄, 松澤茂雄: 通信エンドの負荷ピークを低減するためのビル設備情報収集スケジュール作成手法, 電子情報通信学会技術研究報告, 情報ネットワーク 111 (197), pp.77-82 (2011).
- 7) 前川智則, 金子 雄, 寺島芳樹, 寺本圭一, 松澤茂雄, 宮崎一彦, 山田孝裕: 地域エネルギーマネジメントシステムの開発, 電子情報通信学会技術研究報告, 情報ネットワーク 111 (146), pp.99-104 (2011).
- 8) ASHRAE: ANSI/ASHRAE Addendum c to ANSI/ASHRAE Standard 135-2004 (2006).
- 9) ASHRAE: ANSI/ASHRAE Addendum t to ANSI/ASHRAE Standard 135-2008 (2010).
- 10) Lawrence Berkeley National Laboratory: Open Automated Demand Response Communications Specification Version 1.0, PIER FINAL PROJECT REPORT (2009).
- 11) JIPDEC: エネルギーマネジメントシステムに関する標準化等調査事業, <http://www.jipdec.or.jp/dupc/project/cems/> (2013年10月15日現在).
- 12) 新エネルギー導入促進協議会: 平成23年度及び平成24年度次世代エネルギー・社会システム実証事業費補助金の成果報告書, <http://www.nepc.or.jp/topics/2013/0626.html> (2013年10月15日現在).
- 13) Japan Smart City Portal: 横浜スマートシティプロジェクト, <http://jscp.nepc.or.jp/yokohama/index.shtml> (2013年10月15日現在).
- 14) Apache Axis2/Java, <http://axis.apache.org/axis2/java/core/> (2013年10月15日現在).
- 15) JAXB Reference Implementation, <https://jaxb.java.net> (2013年10月15日現在).
- 16) Quartz Scheduler, <http://quartz-scheduler.org> (2013年10月15日現在).

金子雄 (正会員) yu1.kaneko@toshiba.co.jp
 (株) 東芝研究開発センターネットワークシステムラボラトリー研究主務。スマートコミュニティにおけるネットワークシステムの研究・開発に従事。

前川智則 (非会員) tomonori.maegawa@toshiba.co.jp
 (株) 東芝研究開発センターネットワークシステムラボラトリー研究主務。ファシリティネットワークの研究・開発に従事。

山田孝裕 (非会員) taka2.yamada@toshiba.co.jp
 (株) 東芝社会インフラシステム社主務。スマートコミュニティにおけるシステムのエンジニアリング業務に従事。

松澤茂雄 (非会員) shigeo.matsuzawa@toshiba.co.jp
 (株) 東芝コミュニティソリューション社主幹。スマートコミュニティにおけるシステムの開発に従事。電子情報通信学会会員。

投稿受付: 2013年11月5日
 採録決定: 2014年2月21日
 編集担当: 東野輝夫 (大阪大学)