

特集 エネルギー・資源に関する技術の標準化への取組みとその適用

IEEE1888を用いたインターネット型オープンBEMS

Internet-based Open BEMS using IEEE1888

江崎 浩*・落合 秀也**

Hiroshi Esaki

Hideya Ochiai

1. まえがき

21世紀の社会・産業基盤では、情報通信システム（ICTシステム）が、その高機能化と継続的なイノベーションの実現に必須のものであり、サイバー空間と実空間の連携と統合化が必須のものとなる。都市のスマート化・グリーン化の実現には、インフラを構成する機器の状態の正確な把握と、その情報に基づいた、具体的で戦略的かつ実践的な施策が実現されなければならない。また、2011年3月11日に発生した東日本大震災は、我々が今後構築する社会産業基盤が、十分なBCP（Business Continuation Plan, 事業継続性）を持ったものでなければならないことも必須の条件とした。すなわち、BCPと効率性、さらに、持続的なイノベーションを実現するに資するエコシステムの特徴を持ったものでなければならない。

本稿では、上記の要求を満足するような社会産業インフラを構成するスマートビル・スマートキャンパスの実現に貢献することを目的としている東大グリーンICTプロジェクト（GUTP）の活動内容と、インターネットの設計思想に基づき設計し、国際標準化に成功したIEEE1888の概要、さらにIEEE1888を用いたスマートビル・スマートキャンパスの実現事例を紹介する。

2. 東大グリーンICTプロジェクト（GUTP）¹⁾

2.1 東大グリーンICTプロジェクトの概要

GUTP（www.gutp.jp）の活動は、図1に示したように、2003年にIPv6普及高度化推進協議会（www.v6pc.jp）内に設置したインターネット技術を用いたBEMSの実現を目的としたBuilding Automation分科会の活動を起源としている。GUTPは、2004年の東京都本庁舎ビルのオープン化、2008年の北京オリンピックメイン競技場コンプレックスの照明システムのIPv6を用いた管理制御、あるいは

2006年のファシリティーの構成要素間での相互接続性を実現するためのコンソーシアム（FNIC；Facility Network Interoperability Consortium）の設立などを経て、2008年6月に設立された。設立当時は、『グリーン東大工学部プロジェクト』であったが、2008年に全学組織化し、名称を現在の『東大グリーンICTプロジェクト』（GUTP）とした。

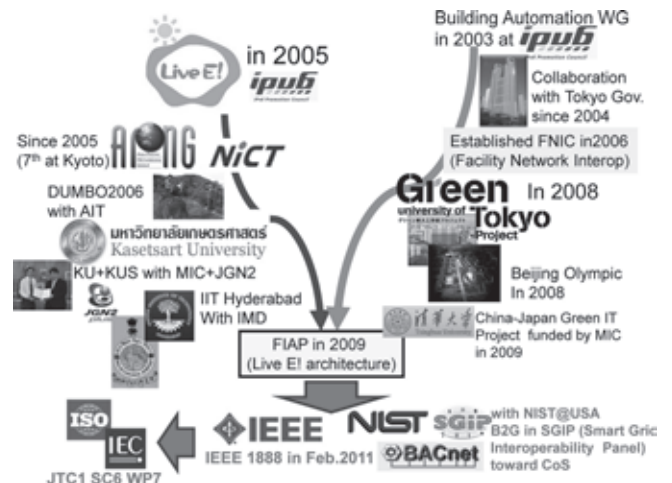


図1 GUTPの活動履歴

GUTPは、(1) 東京大学工学部2号館（2005年竣工地上12階 総合研究教育棟）を用いた総合的で先進的なBEMSの研究開発とその検証評価、(2) 運用技術の確立、(3) 本活動の成果の他大学への横展開と公共施設等への縦展開、(4) 新ビジネスの創造、をその活動目標とした。さらに、インターネットの設計・運用思想に基づき、一つのインフラを用いて、以下の4つのミッションを実現するに資するBEMSシステムの設計と構築・運用を目指している。

1. 電力使用量の削減と制御
2. エネルギーセキュリティー（BCP）の向上
3. 社会産業活動の生産性の向上（TQC）
4. イノベーション（新サービス）の持続性

省エネ・節電は、その経理的貢献度が、各組織における本業で得られる貢献度より非常に小さいのが一般的であり、その結果、省エネ・節電のための投資に対する優先度は、相対的に低くなってしまふ。一方、「生産性の向上」と「新

*東京大学院情報理工学系研究科創造情報学専攻教授

〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

E-mail: hiroshi@wide.ad.jp

**東京大学大規模集積システム設計教育研究センター助教

〒113-0032 東京都文京区弥生2-11-16

サービス創造」は、本業自身に大きく貢献するものであり、投資の優先度が高くなる。そこで、GUTPにおいて標準化したIEEE1888システムは、インターネットが持つ、(a) 透明性、(b) オープン性、(c) 自律分散性を持つように設計されており、その結果、省エネ・節電のために構築したBEMSシステムが、BCPの向上、生産性の向上、さらに、新しいサービスの創造にも貢献可能なシステム構造になるようになっている。具体的には、データベースを中心にした自律分散型オープンシステムとなっている。

2.2 IEEE1888の普及に向けた施策

GUTPの成果の一つである、インターネットを用いたオープンファシリティーシステムの技術仕様 (FIAP: Facility Information Access Protocol²⁾) は、2011年2月にIEEE1888 (UGCCnet Protocol; Ubiquitous Green Community Control Network Protocol) として国際標準技術として承認され、さらに、現在は、米国NISTが主宰するSGIP B2GにおけるCoS (Catalogue of Standards) への提案、ならびに IEC/ISO JTC1 SC6 (Telecommunications and information exchange between systems) へのFast Track としての提案が推進されている。

新しい技術の普及と産業化には、国内外での標準化が貢献することから、GUTPでは、技術の標準化を重要な活動成果と位置付けプロジェクトを発足させた。標準システムの設計にあたっては、既存のシステムを取り込みつつ、それらをオープンなインターネット技術を用いて統合化し、技術とビジネスの両面でのイノベーションを継続可能なオープンシステムを目指した。結果的には、環境情報に関するセンサーネットワークに関する産学連携プロジェクトであるLive EIプロジェクトで、研究開発したアーキテクチャをファシリティーシステム用に発展させ、FIAPへと進化させた。

そのような状況の中、IEEE-SAの中国展開の中にスマートビル・キャンパスが取り上げられ、中国の関係組織とのこれまでのIPv6とIPv6を用いたIoTおよびグリーンITに関する連携関係から、IEEE1888に関する協調関係が構築された。一方、2006年に設立したFNICは、米国NISTが主宰したSGIPのB2G分科会の主要担当組織であるASHRAEのBACnet分科会との関係をIPv6の導入に関する連携関係を持っていたことと、IPv6 Ready Logo ProgramのNISTでの展開の担当者がSGIPにおけるIP技術の適用に関する責任者の一人になっていたことなどから、FIAPおよびIEEE1888のNISTへの提案活動を順調に推進することができた。また、IEEE-SAは、ISO/IEC JTC1への提案トラックを持っており、このトラック (Fast Track) を用いて、IEEE1888のISO/IECへの提案活動を行っている。ISO/IECへの提案においても、担当SCのSC6の議長は、韓国で

筆者らが親しく連携関係にあった研究者であり、ここでも、良好な協調関係を構築することができた。

次に、GUTPでの実システムを用いた実証的運用の中で、スマートビル・キャンパスの構築に投入されるネットワーク機器やセンサー機器のサイバー・セキュリティ対策が不十分であることが明らかになり、GUTP内でサイバーセキュリティ対策の具体的手法に関するガイドラインの必要性が認識され、これを、IEEE1888の拡張機能とすることにした (IEEE1888.3として2013年12月に承認された)。一方、NIST SGIPでのCoS (Catalogue of Standards) 化には、サイバーセキュリティ分科会によって、十分なサイバーセキュリティ対策機能が具備されていることが必須とされており、GUTPにおける実証運用に基づいた対応が、標準化活動に貢献した結果となった。

最後に、GUTPでは、インターネットおよびIPv6における技術の普及と産業化の支援に貢献したと考えられる以下の2つの施策をIEEE1888に関して実施している。

- (1) 参照オープンソフトウェアの提供^{注1)}
- (2) 相互接続検証仕様と検証イベントの開催

2.3 実装概要とアプリケーション

本節では、東京大学 本郷キャンパス工学部2号館および東京大学に導入し、2011年夏の全学での節電活動に貢献したIEEE1888を用いたファシリティーシステムの概要を解説する。

(1) 東京大学 主要5キャンパスの見える化

東京大学 本郷キャンパスは、東京都内で最も大きな二酸化炭素排出事業所となっており、主要5キャンパスの合計値は、126,158トン/年 (2010年値)、総床面積約142.7万平米、2010年のピーク電力使用量は約66,000kWであった。照明17.6%、空調31.8%、実験機器36.6%、その他14.0%という負荷構成である。

図2に、東京大学 主要5キャンパスの見える化システムの概略図を示した。IEEE1888を用いて、各社独自仕様で動作していた高圧受電設備で計測される合計665ポイントの戦力使用量をリアルタイムに、クラウド型のシステムを用いて共有データベースと見える化システムを稼働させた。測定データは、現在も東京大学のトップページに表示されている。

TSCP (東大サステイナブルキャンパスプロジェクト) 室が実施した数々の節電施策と、この電力使用量見える化システムによって、東京大学主要5キャンパスの合計値として、約31%のピーク値削減と、22%~25%の総使用量削減に成功した^{3, 4)}。

注1) ハードウェアプラットフォームに関する依存性のない環境の提供を考慮し、Linux仮想マシン環境での参照ソフトウェアの提供とした。

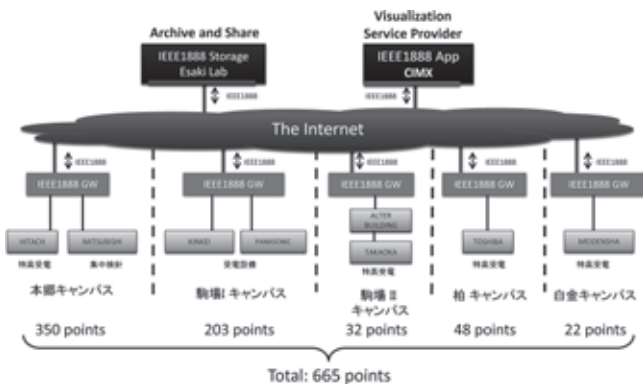


図2 主要5キャンパス電力使用量見える化システム

(2) 工学部2号館の見える化と制御

既存設備として、5系統のサブシステムがあり、それぞれ異なる通信プロトコルを用い、データフォーマットも異なり、データの共有もシステムの連携も行われない状態であった。そこで、IEEE1888の設計思想に基づき、各サブシステムはゲートウェイを通じて、共通のプロトコルであるIEEE1888で定義された通信プロトコルを用いて、バックボーンネットワークに接続し、共通のデータベースおよび各種アプリケーションとの間でのデータ通信を可能にした。また、図3右下の部分は、新規に導入した各種センサ機器（温度、二酸化炭素、人感センサなど）である。これら各種センサが生成するデータは、ゲートウェイを介して、既存のサブシステムと同様に、IEEE1888システムに接続された。複数のアプリケーションが実装され、各フィールドバスとのデータ通信や、デジタルサイネージ技術を用いた施設の動作状況のリアルタイム表示などを可能にした。

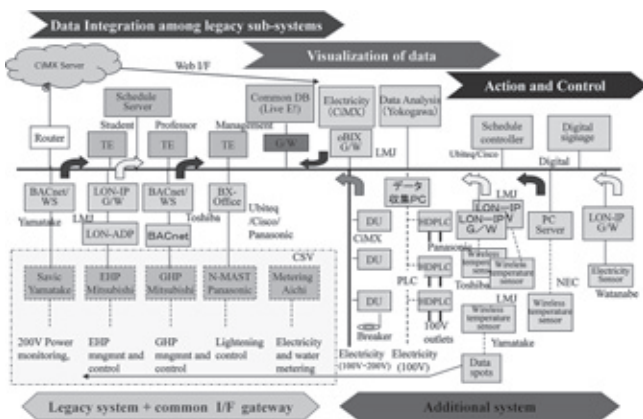


図3 工学部2号館システム概要図

各部屋ごとに系統（空調、照明、一般電源、実験電源）別に電力使用量を表示可能にした。インターネット上の別サイトで動作するアプリケーションサーバは、共有ストレージに格納されたデータを取得し、WEBサーバを介して、パソコンやスマートフォンなどの多種多様な画面・機器を用いた情報の表示（見える化）を行った。2011年1月

時点で、11の異なるシステムが導入され、合計1,714ポイントの計測が行われていた。これらの機器、サブシステム、およびアプリケーションは、IEEE1888のオープン性ゆえに、容易に取り替え可能、機能追加が可能なシステムとなっている。

このような、電力使用量の見える化・見える化によって、2011年夏期において、ピーク値で44%、総量で31%の電力使用量の削減に成功した。

3. IEEE1888の設計思想とアーキテクチャ

3.1 IEEE1888アーキテクチャ⁵⁾

設備ネットワークにおけるセンサやアクチュエータ間でアクセス・通信プロトコルとしては、BACnet/WS, LonWorks/oBIX, Modbus, SNMPなどが存在するが、これらは、アクセス先にセンサやアクチュエータ機器が存在することを想定して設計されており、基本的にはこれらの機器へのゲートウェイとしてしか機能しない。また、大量のデータ転送・保存および蓄積されているデータセットに対する種々の操作（検索や集約化など）を行うことは想定されていない。IEEE1888は、このような状態にあったファシリティーシステムに、インターネットアーキテクチャ（Internetの概念を導入して、ファシリティーシステムを、マルチベンダー化、広域ネットワーク化、さらにオープン化させること）を目指したシステム設計とした。

IEEE1888では、データベースセントリックな機能・動作が、これまでのセンサとアクチュエータ間のゲートウェイ機能と共存・両立可能な3層構造のシステムアーキテクチャとした。このようなアプローチは、TCP/IPの導入時にも適用された方法である。すなわち、センサ・アクチュエータから構成されるフィールドネットワークシステムがゲートウェイ（GW）に収容され、データの蓄積機器（Storage）とアプリケーション（APP；データの加工やユーザとのインタラクションを行うモジュール）との間で対等にかつ自律的に相互接続される構造である。フィールドネットワーク、データレポジトリ、アプリケーションからなる3層構造で構成されるシステムを設計した（図4）。IEEE1888のアーキテクチャ上の特長は、以下の通りである。

- (1) 多様なサブシステム（Field Bus）をGWを介して相互接続するFederation Networking構造
- (2) データベースセントリックなシステム構造
- (3) XML/SOAPを用いたデータ表記とデータ処理アルゴリズムの記述
- (4) データ転送パイプとデータ処理モジュールの相互連結によるデータフローのパイプライン管理
- (5) 大容量データ転送のためのファイルインターフェースの導入

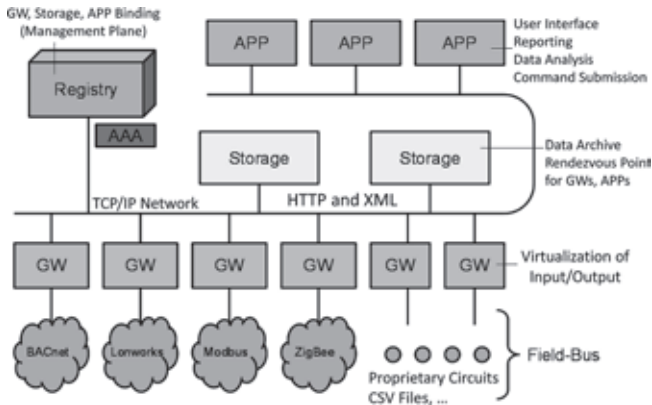


図4 IEEE1888の3層構造アーキテクチャ概念図

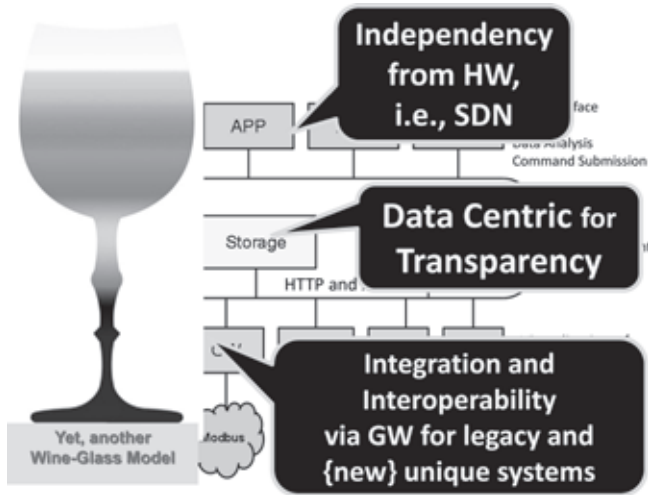


図5 IEEE1888の3層構造アーキテクチャ概念図

図5に、IEEE1888で定義した3層構造の意味を示した。IEEE1888は、データベース（Storage）を共通の核として、多様なAPP（アプリケーション）と多様なフィールドバス（サブシステム）をGW（ゲートウェイ）を介して相互接続する構造となっている。これは、インターネットにおいて広く、インターネットが成功したアーキテクチャ的な特徴として知られている、TCP/IPの「ワイングラスモデル」と同じ構造を、異なるレイヤに適用したものと捉えることができる。TCP/IPにおいては、IP（Internet Protocol）レイヤとデータリンクレイヤとのインターフェースは、オペレーティングシステムにおけるファイルインターフェースと同じにし（＝インターフェースの抽象化）、デバイスドライバが各データリンクレイヤの違いを吸収することで、多様なデータリンクとの相互接続性と新しいデータリンクを同一のインターフェースを用いて収容・相互接続することに成功した。一方、アプリケーションレイヤに対しては、TCPおよびUDPが提供するすべてのアプリケーションに共通のソケット（socket）インターフェース（＝インターフェースの抽象化）を提供することで、多種多様なアプリケーションが、共通のインターフェースを介して、イ

ンターネット上に存在するアプリケーションとのデジタル通信を可能にした。多種多様なアプリケーションと、多種多様なデータリンクを、細いIPレイヤ（＝ワイングラスのくびれの部分に相当する）を介して接続するモデルである。IEEE1888においては、デバイスドライバがGWに相当し、StorageがIPに相当する。GW（＝デバイスドライバ）を提議することで、既存のシステムのみならず新しい独自技術を用いたサブシステムすら相互接続ならびにシステム統合可能となる。一方、APPから、サブシステムはGWを介して、共通のインターフェース（＝XML）によって抽象化されており、サブシステムの技術仕様に非依存のインターフェースで、管理制御可能となった。言うなれば、サブシステムの仮想化あるいは、“Software Defined”と捉えることができる。最後に、共通のStorageを、すべてのAPPが参照可能にすることで、データの透明性が実現されることになる。これまで、各サブシステムごとに、フラグメント化されていたデータが、すべてのAPPに対して、透明にオープンに参照可能となることで、ビッグデータの的なシステム設計・運用を可能とする。

このような技術的な特長によって、これまで、系統ごとに構築・運用される垂直統合モデルから、系統間での連携と水平統合モデルを実現することを目指した。これは、これまでのビルやキャンパスの設計と発注、すなわち本業界におけるビジネスモデルが、垂直統合型で、しかも、機器提供ベンダーが全体および個別のシステムに関する技術仕様を決めてしまう『ベンダー主導』であったものを、システムの発注者が技術仕様を主導的に決定可能な状況（『ユーザ主導』）へと変革させることを意味している。

また、GWを用いた相互接続モデルは、(1) 既存システムからの連続的改修を可能にするとともに、(2) 新しい（独自）技術のフィールドシステムへの適用を可能にする。その結果、既存システムとの共存と、継続的進化の可能性を可能にするために必要となる「選択肢の適用」を可能にしている。この特長は、構成要素の改修周期が長いファシリティーシステムにとって、とても重要なものとなる。

IEEE1888を用いたシステムのオープン化は、多様なサブシステムおよびアプリケーションによって、データベースに集積されるデータを共有かつ利用可能にすることを前提にしている。すなわち、すべてのデータが共有され、“透明に”（＝利用者と利用方法に制限なく）利用されることで、Single Asset for Multiple-Useというインターネットの設計思想を、ファシリティーの産業領域に持ち込むことを目指したものであった。

3.2 IEEE1888の今後の展開

IEEE1888の今後の技術面の展開としては、大きく以下の2つを目指している。

(1) OpenADRとの連携動作

OpenADRは、細かなファシリティコンポーネントの管理制御を行うことを目的とはしておらず、主に、デマンド制御のためのデータ収集と制御目標値の通知を、管理制御対象のファシリティに対して指示することを目的としたシステムである。そこで、GUTPでは、OpenADRとIEEE1888を用いたファシリティの管理制御の連携稼働に資する、システムアーキテクチャの研究開発と、システム仕様の検討を行い、必要に応じて、標準化を行うことを考えている。

(2) セキュリティー機能の強化

すでに、IEEE1888においては、IEEE1888.3として、ファシリティを構成する機器の間での相互認証機能を定義し、標準化を行っている。しかし、現在の相互認証アーキテクチャは、クライアントサーバ型を基本としており、サーバとの接続性の消失や、サーバの故障あるいはサイバー攻撃による設定情報の取得や漏洩に対する脆弱性を持っている。そこで、IDベース暗号方式など、ピア・ツー・ピア型（あるいはM2M型ともいう）のセキュリティーアーキテクチャの研究開発と適用に向けた検討を行う予定である。

一方、IEEE1888を用いたスマートビル・スマートキャンパスの展開としては、以下のような活動を展開している。

国内においては、東京工業大学 環境エネルギーイノベーション棟、大塚商会本社ビル/横浜ビル、マイクロソフト社品川本社ビル、新菱冷熱本社・事業所ビル、ユビテック社本社フロア、日立情報通信エンジニアリング社中井開発センタービル、静岡大学、大阪大学サイバーメディアセンターなどが具体的な事例として挙げられる。特に、マイクロソフト社品川本社ビルでは、クラウドとデータセンターを戦略的に用いたスマートビル化が実践されており、ビルへの入居時、稼働時、さらに撤去時のすべてにおけるコストダウンと効率化が実証されている。

東京大学内においては、全学での電力使用量の見える化の高機能化と、工学部における主要教育研究棟の電力使用量の見える化を推進している。さらに、東京大学 大学院情報理工学研究所では、弥生キャンパス内に、2013年9月1日に竣工したI-REF棟 (IST Research and Education

Frontier Building, 地上6階の教育研究棟)において、本郷キャンパス工学部2号館での成果と新技術・システムの導入・実証(例えば、PoE (Power on Ethernet) 技術を用いた直流電源供給と管理制御システムを導入や、大量のスマートタップの導入)を推進している。一方、国際的には、米国カリフォルニアバークレー校、フランスUMPS (University Pierre & Marie Curie)、中国清華大学、国立台湾大学、タイ Chulalongkorn大学、インド IIT Hyderabad校などと、実際の教育研究棟を用いたスマートビル化の連携協力活動を検討・推進している。

4. むすび

Internet by Designの考え方に基づいたスマートビル・スマートキャンパスの実現に向けて、産学連携コンソーシアム「東大グリーンICTプロジェクト」(GUTP)を設立、東京大学本郷キャンパス工学部2号館を核として、データベースセントリックな3層構造からなるIEEE1888を設計・提案し、その国際標準化と実証実験を行った。マルチベンダー環境でのシステム構築・運用に成功し、国内外での研究ならびにビジネス展開を推進している。プロジェクトが目指すスマートビル・スマートキャンパスは、省エネ・節電だけではなく、危機管理の向上と生産性の向上、さらに、新サービス・イノベーションの創造を目指している。

参考文献

- 1) Hiroshi Esaki, Hideya Ochiai; "The Green University of Tokyo Project", Invited Paper, IEICE Transactions on Communications, Special Issue on, Vol. J94-B, No.10, pp.1225-1231, October 2011.
- 2) H. Ochiai, M. Ishiyama, T. Momode, N. Fujiwara, K. Ito, H. Inagakim A. Nakagawa, H. Esaki; "FIAP: Facility Information Access Protocol for Data-Centric Building Automation Systems", Workshop on Machine-to-Machine Communications and Networking (M2MCN) 2011, IEEE INFOCOM2011, Shanghai, April 2011.
- 3) 江崎 浩;なぜ東大は30%の節電に成功したのか?, 幻冬舎(経営者新書), 2012年3月.
- 4) 平井;5-2 大学設備, 電設技術, 電力不足とその対策特集, 57-60, 平成24年5月号.
- 5) Hiroshi Esaki, Hideya Ochiai; "ICT System Architecture for Smart Grid", IEICE Journal, 94-5, 391-395, May 2011.