

特集号
招待論文

「Internet by Design」に基づいた スマートビル・スマートキャンパス の設計と実装

—IEEE1888を用いた実装・プラクティス・展開—

江崎 浩^{†1} 落合 秀也^{†1}

^{†1} 東京大学

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」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、実証実験を行った。マルチベンダ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的としている。

1. はじめに

21世紀の社会・産業基盤においては、情報通信システムが、その創造性と持続性の実現には必須のものであり、情報通信システム（サーバ空間）と実空間で展開されるオブジェクトとの連携、すなわち、実空間に存在する物（シングズ; Things）の状態の把握（センシング; Sensing）と制御（アクチュエーション; Actuation）の設計と実装が、社会全体の効率を決定することになる。ICTを用いたビル・キャンパス・都市のスマート化・グリーン化には、構成機器自身のスマート化・グリーン化と、ICT機器を用いたシステムのスマート化とグリーン化（by IT）の2つが存在するが、その実現には、インフラを構成する機器の状況の正確な把握と、その情報に基づいたグリーン化・スマート化を具現化する戦略の策定が行われなければならない。人間に例えれば、ICT機器やICT機器が仕事をする場所であるコンピュータルームやIDC（Internet Data Center）は『脳』にあたり、ネットワークは『神経系』、発電設備は『心臓』、さらに、電力は『血』に相当する。『賢く能率的な脳』と『俊敏に動作する神経』、さらに『効率的な循環器系』が、人間の効率的で機能的な活動を実現するのは明らかである。さらに、これは、イノベーションの持続的創成を実現するに資するエコシステムの特長を持ったインフラでなければならない。

さらに、2011年3月11日に起こった東日本大震災は、社会・産業インフラに対して、まったく異なる次元からのBCP（Business Continuity Plan, 事業継続計画）を確立する必要性があることを示した。その帰結として、我々は、BCPの向上と電力使用量の削減と制御を、社会・産業活動の量と質は低下させることなく、むしろ向上させることを可能にするようなスマートなインフラ構築を実現することが要求されることとなった。

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）の概要と活動成果を報告する[1],[2],[3],[4]。その際、GUTPにおける研究開発のベースとなったIEEE1888の設計思想を説明したうえで、GUTPの活動成果を報告する。

2. IEEE1888 の設計思想

2.1 Internet by Design[5]

本節では、インターネットシステムの設計・運用思想に基づいたシステムの設計と運用をInternet by Designと呼ぶ。「Internet by Design」は、以下の3つの特徴を持つ。

- (1) インターネットの基本プロトコルであるTCP/IPの設計を行ったことで知られる ロバート カーン (Robert Kahn) 博士は、「インターネットは、ディ

デジタル情報が自由にかつ自律的に流通するための論理的なアーキテクチャとして設計した」と説明している[7]。このような空間あるいは環境は、コモンズ (Commons) とも呼ばれる。コモンズの典型的な例は、街にある公園である。公園を利用する人が、自由に、新しい活動 (=Innovation) を行うことができる。このようなコモンズの実現するインフラストラクチャは、以下の2つの性質を持っている必要がある。

- a. 利用法 (Application) を制限しない
- b. 利用者 (User) を制限しない

これによって、継続的に、新しい利用法と利用者がシステムに投入されることが実現される。

- (2) さらに、Kahn博士は、「インターネットシステムの本質は、“選択肢”の提供にあります」と説明している。そのためには、モジュール間のインターフェースの共通化 (=標準化) が必要となる。技術の標準化は、Co-Opetition (CooperationとCompetitionを統合した米国での造語) の状況を作り出すこと、すなわち、協調して新しい市場を創造・拡大し、その拡大した市場において公正で自由な競争状態を醸成するために存在しており、常に、このような状態を阻害する活動を排除するガバナンスの形成が重要となる。
- (3) Internet by Design のもう1つの重要な点は、『動くものを尊重する』である。『選択肢の提供』に資するシステム構造は、常に意図的に最適化を行わず、多様な技術・モジュールが導入可能な環境にし、環境の変化に柔軟に対応することを意図している。したがって、「動くもの」を尊重しながら、システムの変更と継続的イノベーションを実現・展開すること意識した技術設計とシステム運用が重要な点となる。

次節で述べるIEEE1888は、Internet by Design の設計思想に基づいて、そのアーキテクチャの議論と定義を行った。

2.2 IEEE1888 アーキテクチャ

GUTPの成果の1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システムの技術仕様 (FIAP^{☆1}: Facility Information Access Protocol[8]) は、2011年2月にIEEE1888 (UGCCnet Protocol; Ubiquitous Green Com-

munity Control Network Protocol) [9]として国際標準技術として承認され、さらに、現在、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) への提案が行われている。

設備ネットワークにおけるセンサやアクチュエータ間におけるアクセス・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。いわば、コンピュータ業界における、メインフレームコンピュータの時代に等しい状況であったと言える。IEEE1888は、このようなメインフレームコンピュータ時代のシステム構成であったファシリティシステムに、インターネットアーキテクチャ (Internet by Designの概念) を導入して、ファシリティシステムを、マルチベンダ化、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・両立可能なシステムアーキテクチャ・プロトコルの設計を行った。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1)。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

^{☆1} IEEE1888の基本アーキテクチャは、広域センサネットワークに関するプロジェクトであるLive E!プロジェクト (www.live-e.org) で研究開発されたものである。

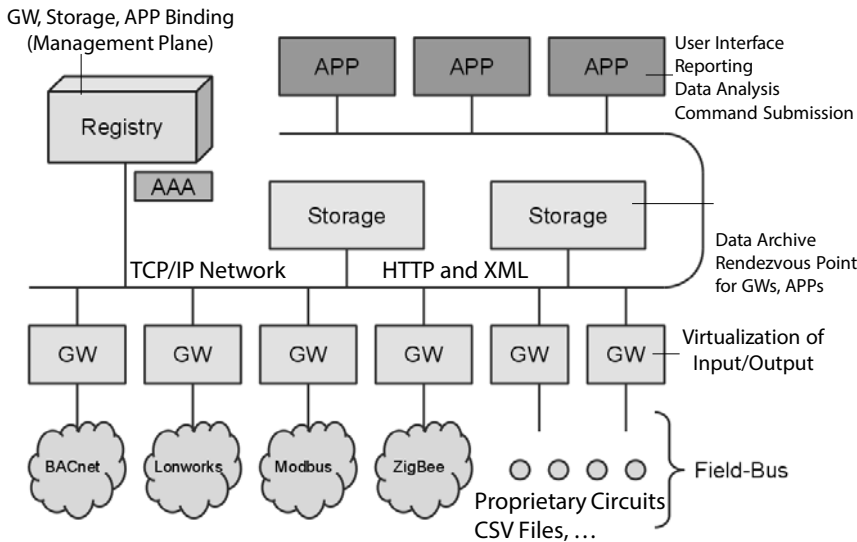


図1 IEEE1888の3層構造アーキテクチャ概念図

(5) 大容量データ転送のためのファイルインタフェースの導入

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 (Internet by Designにおける「利用者と利用法を制限しない」の実現)。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、コモنزの性質を持ち、Single Asset for Multiple-Useというインターネットの設計思想を、ファ

シリティの産業領域に持ち込むことを目指したものであった。

3. 東大グリーンICTプロジェクト

3.1 東大グリーンICTプロジェクトの概要 [4]

図2に示したように、東大グリーンICTプロジェクトの活動は、2003年にIPv6普及高度化推進協議会[10]内に設置したインターネット技術を用いたBEMS (Building Energy Management System) を実現することを目的とした Building Automation WGにおける活動が起源となっている。2003年頃は、東京圏では都市部の再開発が活発な時期

であり、オープン化の取組みが着手されていた。オープン化をインターネット技術を用いて実現することをこのWGは目的としていた。2004年には、この活動が東京都財務課に評価され、東京都本庁舎ビルの管理制御システムの改修にあたって、その方向性を議論・答申する委員会への参画が要請された。その結果、東京都本庁舎ビルの管理制御システムをインターネット (IPv6) 技術を用いたBEMSシステムにすることとなった。また、2006年に、FNIC (Facility Network Interoperability Consortium) を設立し、オープン技術を用いたファシリティ機器間での相互接続の確立に向けた活動を開始した。さらに、2008年の北京オリンピックにおいては、メイン競技場コンプレックスの照明システムの管理制御が、IPv6技術を用いて実現された。

このような背景のもと、2007年12月に、松本洋一郎

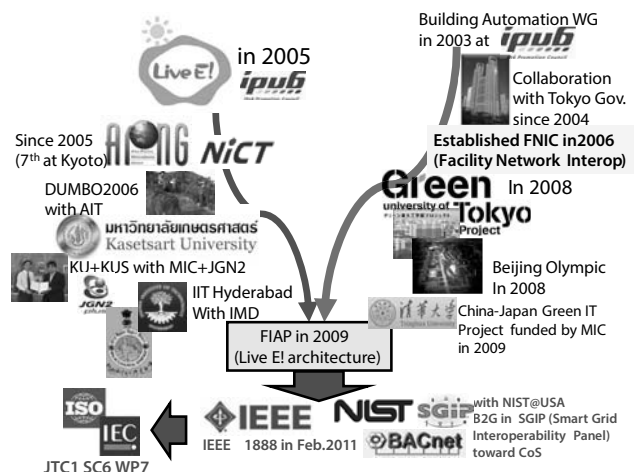


図2 GUTPの活動履歴

工学部部長（当時）から、工学部で大きな電力消費減となっている工学部2号館の節電を、筆者が要請されたことをきっかけに、本プロジェクトが発足することとなった。プロジェクトの発足にあたって、単に工学部2号館の節電・省エネで終わらず、継続的な研究開発も行うことを目指したコンソーシアムを設立することをお願いした。その結果、2008年6月に、ファシリティの設計、構築、運用、管理ならびに制御に関するステークホルダからなる、エコシステムの共同研究開発コンソーシアムである、『グリーン東大工学部プロジェクト』（2010年4月より『東大グリーンICTプロジェクト』に名称変更、英文名はGreen University of Tokyo Project, 略称GUTP）が起動した。GUTPの活動目的は、東京大学本郷キャンパスの中心部に位置する工学部新2号館を実フィールドとした実証モデルの設計と構築・運用・評価を通じて、先端的で実践的なICT技術を用いた、効率的で持続可能な発展を実現するビル（スマートビルディング）、さらに多様なビルの集合体であるキャンパス（スマートキャンパス）を具現化するものであった。具体的には、(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ファシリティマネジメントシステム技術の検証と評価、(2) 運用技術の確立、(3) 本実証実験フィールドでの成果の他の大学組織への横展開と公共施設等への縦展開、さらに、(4) 新しいビジネス領域を創造する、に資する研究開発活動と成果を目指している。特に、(4)の「新しいビジネス領域の創成」は、GUTPを開始するにあたって、小宮山宏総長（当時）からプロジェクトに対して要請された条件・方向性であった。

当初から、本プロジェクトの成果は、ファシリティにおける環境対策や省エネ対策にとどまらず、積極的にファシリティシステムの構造設計や、これらが相互に作用して構築される都市空間の構造設計へと進化する可能性・方向性を意識していた。ファシリティを構成するコンポーネントの協調動作を用いた最適化問題を解くのではなく（Reactiveな対策）、最適な運用を実現するコンポーネントの配置の最適化を行う Proactiveな対策への進化と進展の推進が、プロジェクト活動の持続的成長と社会への貢献と位置付けていた。

このような、環境対策や省エネ対策を超えたミッションを実現することを目指したファシリティのスマート化・オープン化は、2011年3月に発生した東日本大震災を契機に推進・加速することとなる。東日本大震災は、それまでとは異なる次元での社会・産業基盤の危機管理

と設計・運用の必要性を顕在化・明確化した。具体的には、図3に示したような、

- ミッション1 電力使用量の削減と制御
- ミッション2 エネルギーセキュリティを含むBCPの向上
- ミッション3 社会・産業活動の量と質を縮退させることなく、むしろ成長・向上
- ミッション4 イノベーションの持続性

を具現化するようなスマートなインフラ構築を実現することである。

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も非常に小さいのが一般的である。これは、セキュリティにも似ている。GUTPシステムの第2のミッションであるBCPは、セキュリティに関するものであり、省エネ・節電と同じく、常時における経理的貢献度は大きくなく、非常時が発生しないとその大切さが認識されにくく、ビジネス展開が容易ではない。一方、第3のミッションである生産性の向上と、第4のミッションである新サービスは、本業自身に経理的に貢献するものであり、ビジネス展開が、省エネ・節電およびBCPよりも進めやすい。GUTPの活動ならびに参加組織の事例では、省エネ・節電ならびにBCPに資するシステムが、組織の生産性向上に資するデータの提供を行ったり、あるいは、それまで存在しなかった新サービスの可能性を示したりしている。

また、省エネ・節電は、先進国では強く意識されているが、新興国などでは、経済成長が最優先であり、省エネ・節電の優先度は低くなる場合が一般的である。しかし、省エネ・節電技術が、組織の生産性の向上を実現させる可能性があることが認識され、さらに、特に、エネルギーセキュリティの実現に資するものであることが認識されると、省エネ・節電技術が、特に発電・送電システムへ

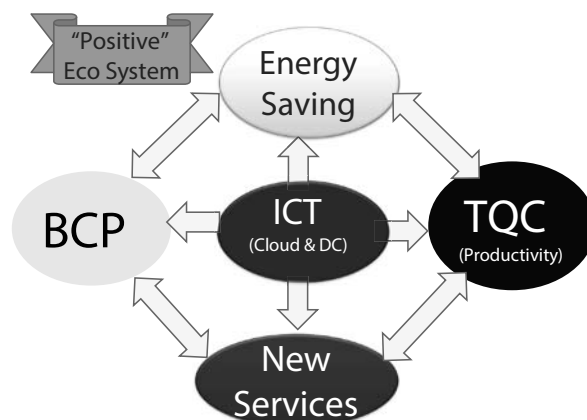


図3 GUTPシステムのミッション

の要求レベルを低減する可能性を持つことが理解され、結果的に持続的な経済成長の実現に貢献する技術であると認識されるようになった。

3.2 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(図4)および東京大学に導入し、2011年夏の全学での節電にも貢献したIEEE1888を用いたファシリティシステムの概要を解説する。

3.2.1 電力使用状況の把握(見える化/見せる化)

(1) 工学部2号館における電力使用量の見える化

5系統のサブシステムが既存の設備であり、それぞれが異なる通信プロトコルを用いており、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動作もできない状態であった。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を適用した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データ通信を可能にした。

また、図4右下の部分には、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。これら各種センサ機器が生成するデータは、ゲートウェイを介して、上記サブシステムと同様に、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通信を可能にした。複数の自律動作可能な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。

各部屋ごとに系統別(空調、照明、一般電源、実験電源)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を用いた情報の表示(見える化)を行う。別のアプリケーションサーバは、取得したデータを用いて、Twitterを介して電力使用量の「見せる化」を行う。あるいは、インタラクティブ性を持ったタッチパネル型デジタルサイネージ端末を用いた電力使用量の情報提供の可能性も実証することができた。1つの表示画面ではなく、多種多様な表示画面を用いた

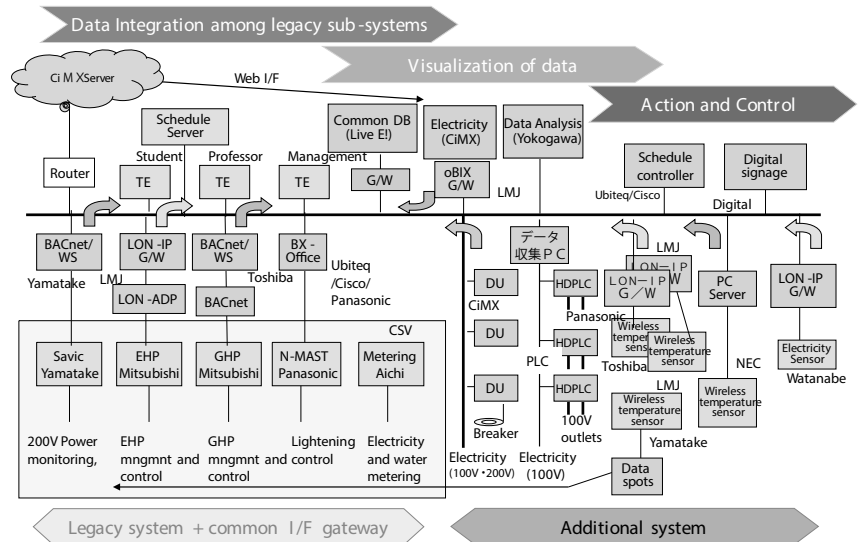


図4 工学部2号館システム概要図

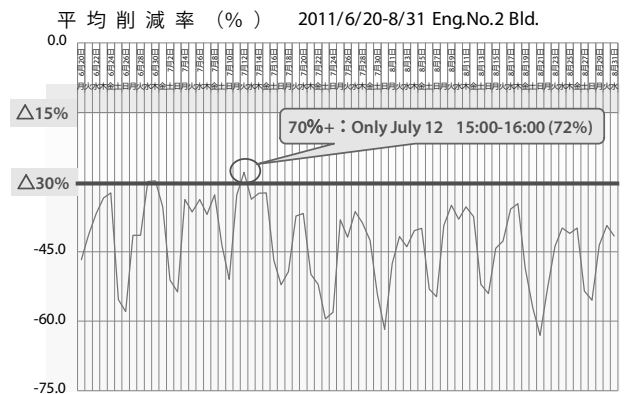


図5 工学部2号館電力使用量

電力使用量の見える化および見せる化を可能にし、その実運用を行った。さらに、環境条例対応のための帳票作成機能も実装されている。2011年1月時点で、11の異なる機器が導入され、合計1,714ポイントの計測が行われていた。

このような、電力使用量の見える化・見せる化を行ったところ、2011年夏期においては、ピーク値で平均44%、総量で31%の電力使用量の削減に成功した。東京大学におけるピーク値の削減目標値は、30%であったが、工学部2号館においては、7月12日15:00-16:00の1時間のみ2%の目標値を下回ったという結果であった(図5)。

工学部2号館における空調・照明・電源盤の動作状況の把握によって、行き過ぎた節電を行っている研究室や空調能力が不足している研究室が分ったり、無駄な稼働をしている実験設備がありそうな稼働状況であることが分かったり、あるいは、働きすぎている研究者・研究室が分かるなどした。これらの情報は、健康管理の情報として利用可能であったとともに、不必要な機器の稼働を

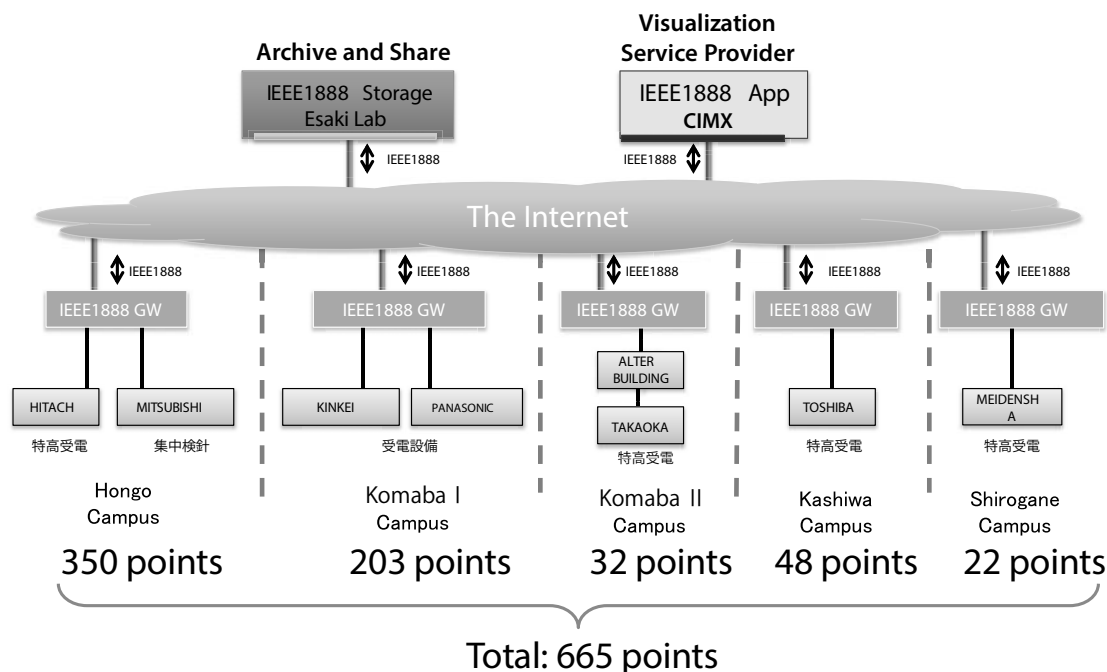


図6 東京大学主要5キャンパス電力使用量見える化システム

削減するための情報になる。さらに、研究者の活動状況の情報は、研究者の健康管理に利用可能な情報であり、この情報は、生命保険会社が欲しい情報であるかもしれない。いわゆる、ビッグデータの知見が、省エネ・節電のために収集されたデータから抽出できる可能性があることを示している。

また、GUTPの参加企業の中には、工場やオフィスの節電・省エネのために行った情報収集と制御によって、工場やオフィスの効率化と生産性の向上が実現された事例も、数多く報告されている。

(2) 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、関東地区に展開する主要5キャンパスの合計値は、126,158トン/年(2010年値)となっている。5キャンパス合計で、36,333名(教職員7,687名、学部生14,260名、大学院生14,386名)が活動しており、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6に示したように、IEEE1888を用いて、各社独自仕様で動作していた受電設備で計測される合計665ポイントの電力使用量をリアルタイムに、クラウド型システムを用いて共有データベースに格納し、見える化サービスを提供した。データは、東京大学のホームページのトップに表示され、少ないクリック数で、より詳細なデータ



図7 主要5キャンパス電力使用量見える化画面

表示画面にアクセスすることを可能とする見える化サイトの設計・実装・運用を行った(図7)。学内からのアクセスの場合には、より詳細なデータ表示が行われる。

TSCP(東大サステイナブル・キャンパス・プロジェクト, Todai Sustainable Campus Project)室が実施した数々の節電施策と、本電力使用量見える化システムにより、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、22~25%の総使用量削減に成功した[6],[11]。

3.2.2 電力消費機器の制御

IEEE1888は、ファシリティに展開される機器が生成するデータの収集・格納だけではなく、その制御を行

う機能も定義している。図4に示した工学部2号館のIEEE1888システムでは、空調や照明の制御を、インターネットを介して行うことが可能となっている。さらに、会議室や講義室の予約システムの予約情報との統合運用を実現しており、予約なしでの無断使用なども表示・通知可能なシステムとなっている。特に、空調に関しては、ON/OFFのみではなく、設定温度、風量、風向などの細かな設定もインターネットを介して、パソコンやタブレット端末あるいはスマートフォンなど、任意の端末からブラウザインタフェースを介して行うことができる。

3.2.3 IEEE1888の普及に向けた施策

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。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・スマート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・スマート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
- (2) 相互接続検証仕様と検証イベントの開催

4. 将来展開

4.1 IEEE1888のシステム展開

GUTPは、国内および海外への展開も推進している。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、日本マイクロソフト品川本社ビル、新菱冷熱工業本社・事業所ビル、ユビテック本社フロア、日立情報通信エンジニアリング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、日本マイクロソフト品川本社ビルでは、クラウドとデータセンタ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。

一方、国際的には、米国カリフォルニア大学バークレー校、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。

4.2 I-REF 棟での展開

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科では、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 Fronteer Building, 地上6階の教育研究棟)で、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・実証を進めている。たとえば、ほとんどの照明はLED照明となっており、一部には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している。また、大量のスマートタップの導入、あるいは、音響システムのオンライン化とフルデジタル化に関する研究開発活動にも着手している。

4.3 クラウドシステムの戦略的導入

GUTPにおいては、ICTシステムは、電力使用量や各

種センサのデータの収集・蓄積・解析と、電力消費機器の制御を実現するが、一方で、大きな電力消費減かつ熱源でもあり、その効果的な対策が必要であり、クラウドシステムが効果的な省エネを実現することを、プロジェクト発足時から認識していた。クラウドを用いた省エネの実現は、データセンタビジネスと連携した戦略的なオフィスおよびICTシステムのスマート化とグリーン化に向かっていく。

データセンタの運用効率を示す指標として、PUE (Power Usage Effectiveness) という値がある。通常のサーバ室では、PUE値は2.0～3.0程度、通常の商用のデータセンタでも2.0程度となっており、コンピュータが消費する電力量と同量から2倍程度の空調負荷が必要となる。特に、IT系事業所や理工学系のキャンパスなどでは、コンピュータ関連機器の電力使用量は少なくなく、その節電対策は効果大きい。

先端技術である仮想化技術を用いたクラウドの戦略的導入は、節電だけではなく、BCP (Business Continuous Plan) の向上という危機管理機能の向上にも貢献する。ノートPC、タブレットPCあるいはスマートフォンなどバッテリーを持ったユーザ端末とクラウドシステムの導入により、電力不足に対するデマンド制御や、電力に関連するインシデントに対するデータの保全とサービスの継続が可能となる。図8に、工学部電気系学科のサーバ群と江崎研究室のサーバ類をクラウド化した概要を示した。合計で2.52kW、約71%の節電を達成することがで

きた。クラウド化の作業は学生が行ったので必要であった経費はサーバハードウェアのみであり、節電効果による原価回収期間は、空調負荷の軽減も考慮に入れると約6カ月となった。また、クラウド化により、空調設定温度制限を緩和することでの快適性の確保が実現可能となったばかりでなく、広く・快適な作業空間へと改善が行われた。

我々は、東京都環境条例の施行にあたり、クラウドシステムを用いた節電の効果は、効率的な最新の空調を用いてサーバ群を集合・集約運用させるデータセンタの戦略的利用により、さらに大きくなることを、東京都環境局殿にご説明した。その結果、データセンタへの例外規定を策定していただき、さらに、データセンタとクラウドの利用が、快適性とBCPを向上させながら環境温暖化ガス排出量の削減(=節電)を実現するスマートな方法として紹介・推奨していただいている。

クラウドシステムの導入は、省エネ・節電にとどまるものではなく、むしろ、(1) エネルギーセキュリティを含むBCPの向上と、(2) 生産性の向上、さらに、(3) ビッグデータのシステム環境への移行を実現することが分かっている。すなわち、クラウドシステムの戦略的導入は、図3で示した、1つのインフラが4つの貢献を同時に実現する グリーン・エコ・システムと捉えることができる。

我々の社会活動・経済活動・産業活動は、なんらかの形ですべてが情報化されており、情報システムの存在な

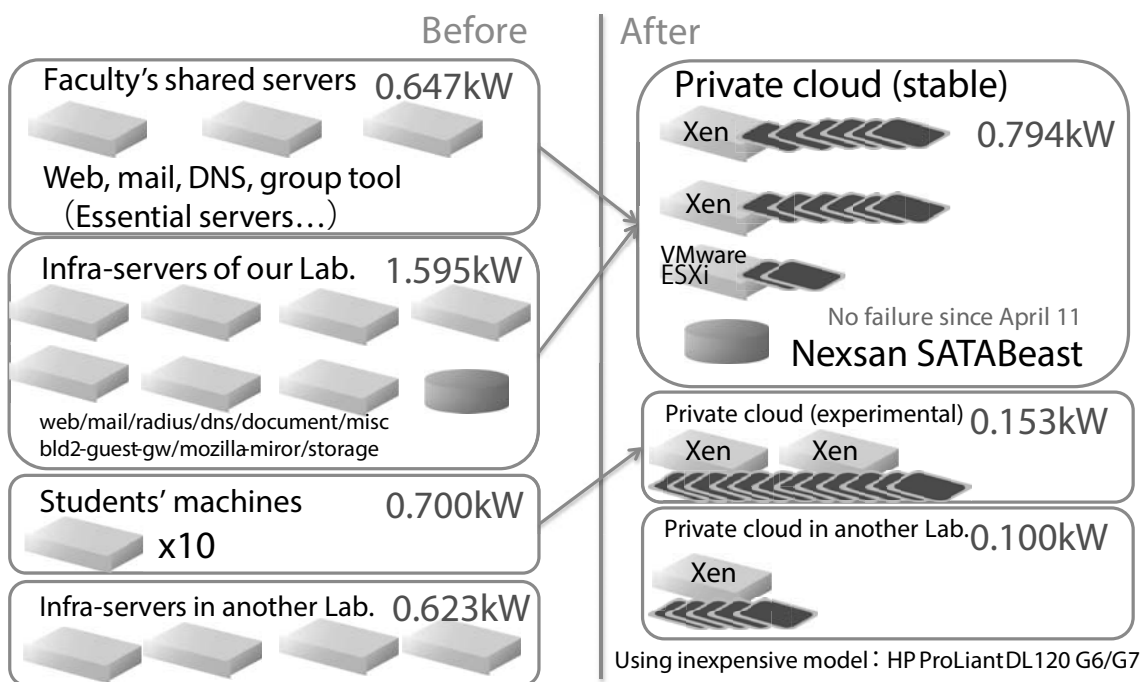


図8 クラウド環境の導入

しには、ほとんどその活動が機能しないことが認識され、「人、物、金」に加えて、「情報」が社会・産業の最重要な財産・資源であることが明確化されたと捉えることができる。これまでの情報システムは、さまざまな理由から、基本的運用形態は、事業者敷地内に情報機器を設置する、「On-Premises型」を基本としていた。その結果、津波の到来や激しい地震によって、事業所が被災し、その結果、活動の重要な財産・資源である情報が消失してしまった事例が多数見られた一方、重要情報を他の場所にバックアップしていたことで情報の消失を免れた事例も報告されている。このような経験をもとに、重要な情報のバックアップを地理的に離れた自治体間で相互に持ち合うという動きも始まっている。当然ながら、企業においては、企業のリスク管理として、同様の対応・対処が検討されている。さらに、常時動作することがなかった「On-Premises」の非常時対応システムに関しては、特に企業においては、機能しなかった事例が非常に多く、自営システムの非常時対策の見直しと強化とともに、データセンタやクラウドサービスといった「Off-Premises」の企業外施設の利用も検討されている。

5. まとめ

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、実証実験を行った。マルチベンダ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的としている。

GUTPにおいては、Internet by Designの考え方を、システムの技術仕様や設計手法のみではなく、プロジェクトの構成法や運営方法にも適用した。ビルに関係する川上から川下までのステークホルダ組織をプロジェクトの

メンバとして参画してもらうことで、これまで連携することのなかった組織およびシステム間、あるいは、これまでは連携することが想定されていなかった技術・システム間での連携によって、継続的なイノベーションが生まれるエコシステムを形成することに成功した。

参考文献

- 1) GUTP (東大グリーン ICT プロジェクト), <http://www.gutp.jp>
- 2) Esaki, H.: Eco-System Design Based on Internet Architecture Framework, EcoDesign 2009, Sapporo (Japan)(Dec. 2009).
- 3) Yoshida, K. and Esaki, H.: Energy Saving with ICT - Green University of Tokyo Project -, EcoDesign 2009, Sapporo (Japan)(Dec. 2009).
- 4) Esaki, H. and Ochiai, H.: The Green University of Tokyo Project, Invited Paper, IEICE Transactions on Communications, Special Issue on, Vol. J94-B, No.10, pp.1225-1231 (Oct. 2011).
- 5) Esaki, H. and Ochiai, H.: ICT System Architecture for Smart Grid, IEICE Journal, Vol.94, No.5, pp.391-395 (May 2011).
- 6) 平井: 5-2 大学設備, 電設技術, 電力不足とその対策特集, pp.57-60, 平成 24 年 5 月号.
- 7) Robert Kahn 博士との私的会話 (2004 年 11 月).
- 8) Ochiai, H., Ishiyama, M., Momode, T., Fujiwara, N., Ito, K., Inagakim, H., Nakagawa, A. and Esaki, H.: FIAP: Facility Information Access Protocol for Data-Centric Building Automation Systems, Workshop on Machine-to-Machine Communications and Networking (M2MCN)2011, IEEE INFOCOM2011, Shanghai (Apr. 2011).
- 9) IEEE1888, <http://standards.ieee.org/news/2011/1888.html>
- 10) IPv6 普及高度化推進協議会, <https://www.v6pc.jp/>
- 11) 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)(Mar. 2012).

江崎 浩 (非会員) hiroshi@wide.ad.jp

1963 年生。1987 年九州大学大学院工学系研究科電子工学専攻修士課程修了。同年 (株) 東芝入社。1990 年米国ニュージャージー州ベルコア社。1994 年コロンビア大学客員研究員。1998 年東京大学大型計算機センター助教授。2001 年同大学院情報理工学系研究科助教授。2005 年同大同研究科教授、現在に至る。工学博士 (東京大学)。MPLS-JAPAN 代表、WIDE プロジェクト代表、IPv6 普及高度化推進協議会専務理事、JPNIC 副理事長。

落合 秀也 (非会員) jo2lxq@hongo.wide.ad.jp

1983 年生。2006 年東京大学・工・電子情報工学科卒。2008 年同大学院情報理工学系研究科修士課程了。2011 年同大学院・同研究科博士課程了。同年同大規模集積システム設計教育研究センター助教、現在に至る。博士 (情報理工学, 東京大学)。設備ネットワーク、広域センサネットワーク、遅延耐性ネットワーク研究の他、IEEE1888, ASHRAE の設備ネットワーク標準化活動に従事。

採録決定: 2014 年 3 月 3 日

編集担当: 赤津雅晴 ((株) 日立製作所)