

東大グリーンICTプロジェクト

Green University of Tokyo Project

[1] プロジェクト活動の概要

Outlines of Project Activities

え 江 さき 崎 ひろし 浩*

はじめに

21世紀の社会・産業基盤は、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であり、情報通信システム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、構成機器自身の省電力化・環境負荷低減と、ICT機器を用いた省電力化・環境負荷低減（by IT）の二つが存在するが、その実現には、インフラを構成する機器のエネルギー消費量の正確な把握と、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。人間にたとえば、ICT機器やICT機器が仕事を場所であるコンピュータールームや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性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ている。

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)}。

1. GUTPの概要²⁾

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）では、ファシリティの設計、構築、運用、管理ならびに制御に関係するステークホルダからなる、エコシステム的な共同研究開発コンソーシアムを形成した。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る。具体的には、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）を用いて、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、さらに、運用技術の確立を目指すとともに、本実証実験フィールドでの成果を、他の大学組織への横展開と、公共施設等への縦展開、さらに新しいビジネス領域を創造するに資する研究開発成果を目指している。

以下が、GUTPにおける研究開発項目である。

(1) ファシリティマネジメントシステムの稼働実態の正確な計測と解析

(a) マルチベンダー、マルチサブシステム環境での統合的データ収集技術の確立

複数のマルチベンダーからなるサブシステム間での、計測・制御データの相互乗入れ環境の構築に必要な技術仕様の策定と実システムにおける導入と、その動作検証を行う。サブシステム間での統合的な計測・制御データの相互乗入れに必要な技術仕様は、関連する技術標準化機関への提案などを行い、その普及と標準化を推進する。

このような、マルチベンダー環境でのファシリティマネジメントの実現に資する技術の確立は、サステイナブルなファシリティシステムの実現を可能にする。すなわち、継続的な先進技術の導入と、複数技術の共存（システムのAvailability性の向上）を可能な

*東京大学 大学院 情報理工学系 研究科 教授

ものにし、ファシリティシステムの継続的進化と稼働信頼性の向上の実現に資する。

(b) 大学における総合教育研究棟におけるデータ収集指針の確立

大学等の教育研究施設（ならびに公共設備）における、環境対策や省エネ対策に利用可能な、ファシリティ（ビルそのものだけではなく、その中で稼働する実験装置などを含む）の計測と制御に対する指針を確立する。

(2) 計測データの解析・表示による効果の検証

計測データの解析結果を、ファシリティの運用者および利用者に表示ならびにフィードバックすることで、利用者の活動形態が改善され、活動の効率化や省エネが実現されることが広く知られている。今回取り組む、大学における総合教育研究棟は、利用者の統制が容易ではない典型的な事例である。

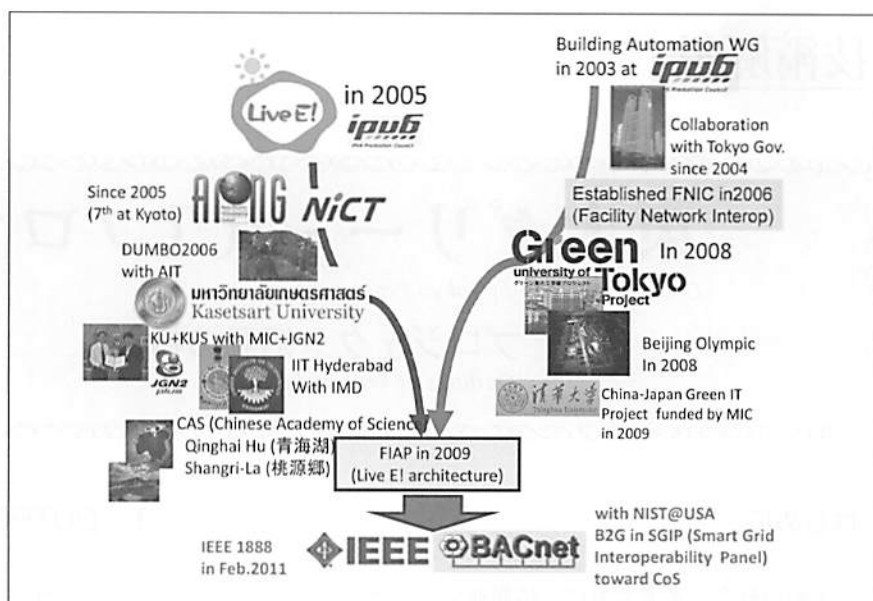
(3) 先進的制御技術・制御システムの導入と効果の検証

計測・解析したデータをもとに、ファシリティの管理・制御を行わなければならない。データの測定に関しても、どのような測定システムならびに測定技術が、このような環境に効果的であるのか。どのように、既設のファシリティに、付加的な測定装置を設置し運用するのか、また、どのような測定データならびに測定装置が、効果的な管理制御に資するのかを実証環境において検証する。

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留まらず、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も持っている。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今後の方向性とならなければならない。

2. IEEE1888アーキテクチャ^{4),5)}

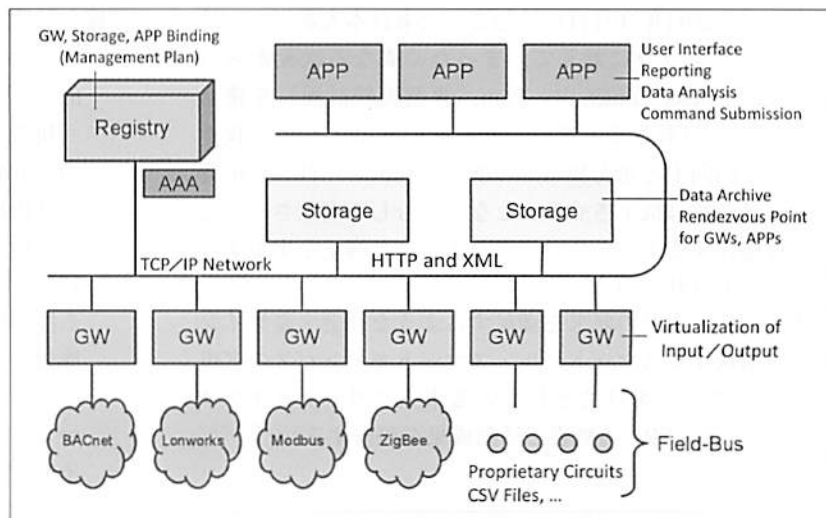
GUTPの成果の一つである、インターネットを用いたオープンファシリティシステムの技術仕様（FIAP: Facility Information Access Protocol [6]）は、2011年 2 月にIEEE1888 (UGCCnet Protocol: Ubiquitous Green Community Control Network Protocol) [8] として



第1図 GUTPの活動履歴

国際標準技術として承認され、また、米国NISTが主宰するSGIP B 2GにおけるCoS (Catalogue of Standards) 化への提案活動、ならびにIEC/ISO JTC 1 SC 6 (Telecommunications and information exchange between systems) を行っているとともに、国内外でのシステム導入が実施・検討されている。

設備ネットワークにおけるセンサやアクチュエータ間でアクセス・通信プロトコルとしては、BACnet/WS, oBIX, 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。そこで、GUTP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

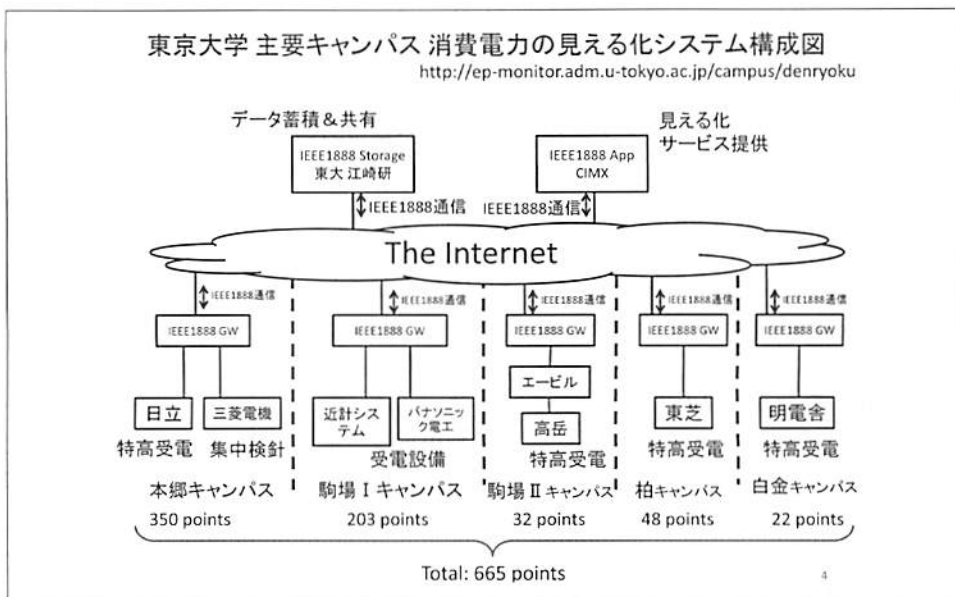


第2図 IEEE1888アーキテクチャ概念図

トコルの設計を行った。すなわち、センサ・アクチュエータおよびゲートウェイ (GW) に、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ーとのインタラクションを行うモジュール) を加えたシステムコンポーネントが相互接続可能となるためのプロトコル体系を設計した。これらコンポーネントの区別を行うことなく、すべての多様なコンポーネントが自動的に通信可能となる。IEEE1888のアーキテクチャ上の特長は、以下のとおりである。

- (1) 多様なサブシステム (Field Bus) を共用する 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が実現されることとなった。これは、これまでのビルやキャンパスの設計と発注が、「ベンダー主導」であったものを、「ユーザー主導」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



第4図 主要5キャンパス 電力見える化システム

は、既存システムからの連続的改修を可能にするとともに、新しい技術のフィールドシステムへの適用を可能にすることで、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イシステムにとって、重要となる。

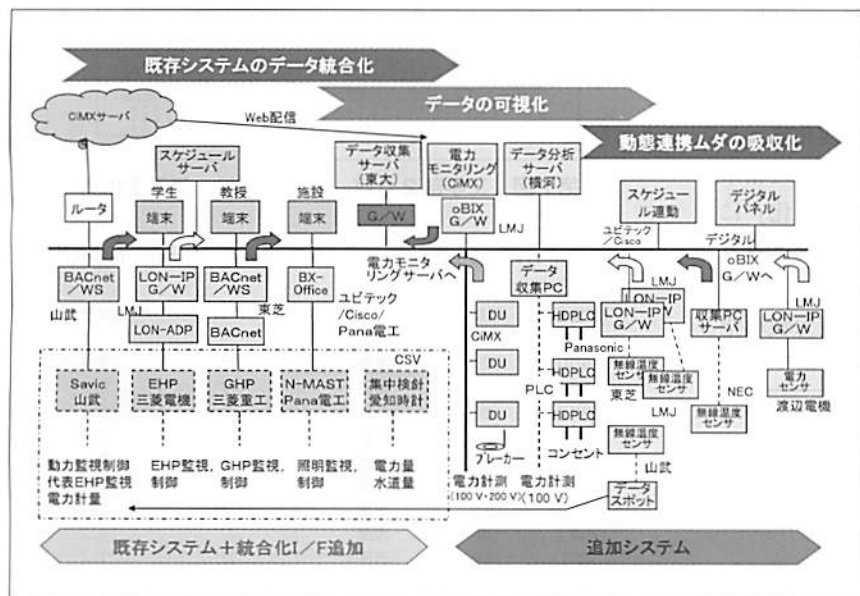
3. 実装概要とアプリケーション

本章では、東京大学 本郷キャンパス 工学部2号館 (第3図)、および東京大学 (第4図) 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イシステムの概要を解説する。

3.1 電力使用状況の把握 (見える化/見せる化)

3.1.1 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が可能にした。また、第2図右下の部分には、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



第3図 工学部2号館 システム概要

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データ通信が可能にした。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（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「見える化」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KIOSK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。一つの表示画面ではなく、多種多様な表示画面を用いた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1714ポイント¹⁾の計測が行われていた。それぞれの内訳は、以下のとおり。

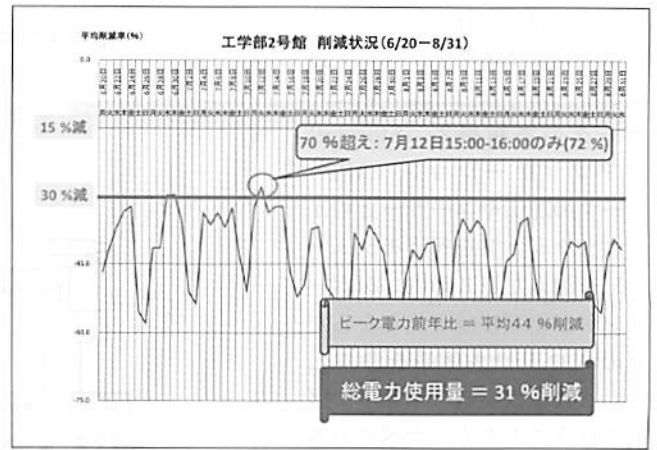
- ・分電盤 (908ポイント)
- ・コンセント (67ポイント)
- ・空調機器 (639ポイント)
- ・人感センサと照明機器 (40ポイント)
- ・屋内の環境 (36ポイント)
- ・水道・ガスの配給 (17ポイント)
- ・気象 (7ポイント)

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(第5図)。

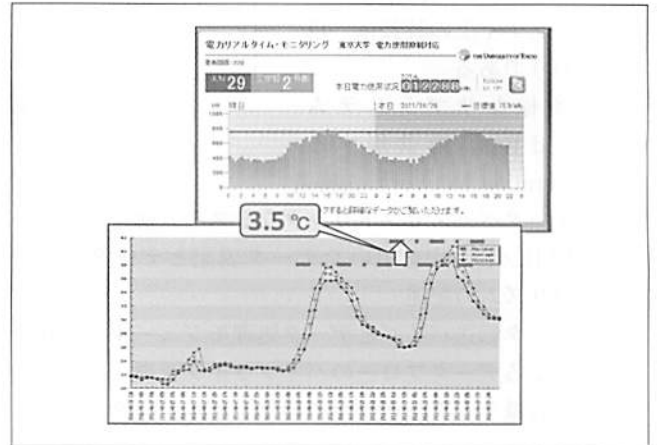
さらに、第6図および第7図には、前日から気温が大きく上昇および下降した際の気温と電力使用量の変化を示した。電力使用量を見て、各人が自律的に対応を行った結果であると考えられる。「見える化・見せる化」による「自律分散協調型」のデマンド制御が行われたとみることができる。

工学部2号館では、第8図に示したように、電力使用空調の設定温度と部屋の温度の情報も取得・表示するアプリ

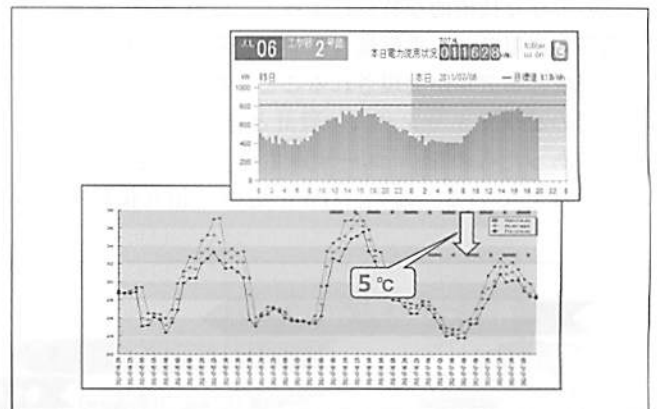
1) ポイント数はデータシーケンスの数を表している。つまり、あるコンセントで、たとえば、電圧(V)・電流(A)・電力(W)の3種類のデータを計測していれば、3ポイントと数え上げる。



第5図 工学部2号館 電力使用量



第6図 工学部2号館 電力使用量・気温変化(1)



第7図 工学部2号館 電力使用量・気温変化(2)

10F EHP HVAC Statuses

Not only energy information !!

Time: 2011-09-06 09:02:06

部屋名	運転	モード設定	温度設定	温度計測
101B	OFF	冷房	26	28.9
102B1	ON	冷房	25	25.6
102B2	OFF	冷房	22	29.3
101C1	ON	冷房	28	27.6
101C2	OFF	冷房	27	27.2
102C1	OFF	冷房	28	29.3
102C2	ON	冷房	26	25.6
103C1	OFF	冷房	27	30.1
103C2	ON	冷房	27	27.2
10SV	ON	冷房	23	23.2

(*) 過去10分以内に更新されていない項目は 表示されます。

第8図 空調の設定温度と実際の温度の表示画面

ケーションも導入した。このアプリケーションは、当初は、節電を行っていない部屋を検出することを目的としていたが、導入後は、むしろ、過度に節電を行っている部屋や、冷却能力の不足している部屋を把握することを可能にし、その結果、「健康の担保」という節電よりも優先度の高いファシリティ管理の実現に貢献することが明らかになった。

3.1.2 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 m^2 、2010年のピーク電力使用量は、約66 000 kW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。

第4図に示したように、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（第9図）。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。

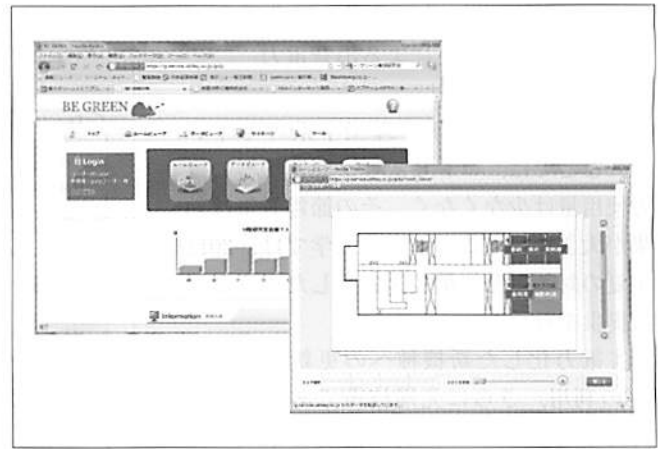
TSCP室が実施した数々の節電施策と、本電力使用量見える化システムにより、東京大学主要5キャンパスの合計値として、約31 %のピーク値削減、22～25 %の総使用量削減に成功した。

3.2 電力消費機器の制御

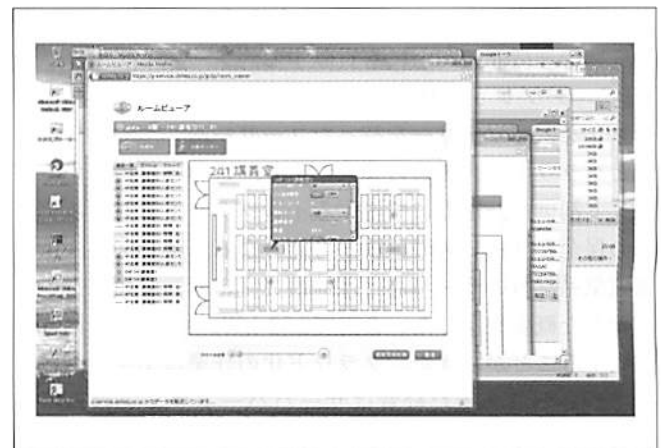
IEEE1888は、ファシリティに展開される機器が生成するデータの収集・格納だけではなく、その制御を行う機能も定義している。第3図に示した工学部2号館の



第9図 主要5キャンパス電力使用量見える化画面



第10図 会議室・講義室 制御画面



第11図 空調 制御画面

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。2011年度は、ソフトウェアによる自動制御は実施していないが、2012年9月から実験的にいくつかの会議室と講義室において、ソフトウェアによる自動制御を適用している。特に、空調に関しては、ON/OFFのみではなく、設定温度、風量、風向などの細かい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で行うことができる。

3.3 クラウドシステムの戦略的導入

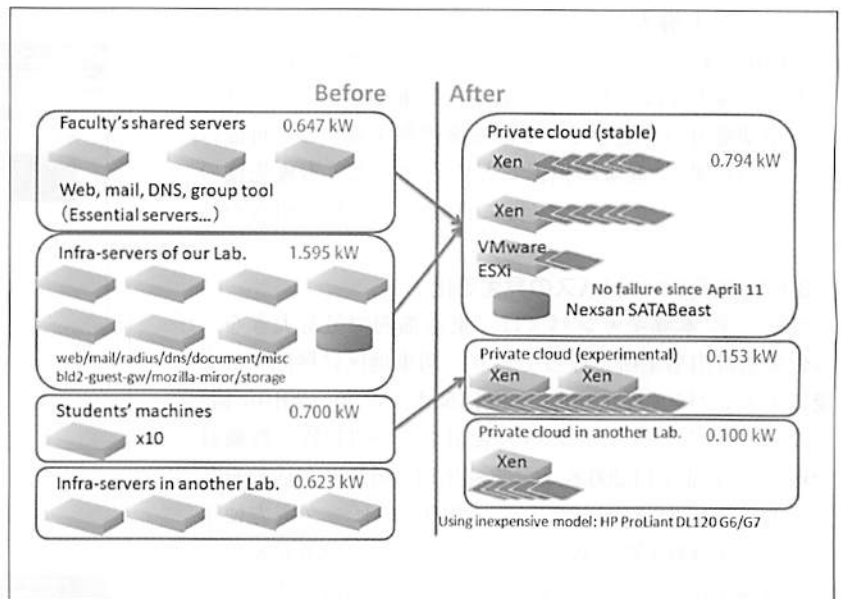
ICTシステムは、電力使用量や各種センサのデータの収集・蓄積・解析と、電力消費機器の制御を実現するが、一方で、大きな電力消費減かつ熱源でもある。データセンターの運用効率を示す指標として、PUE (Power Usage Effectiveness) という値がある。通常のサーバ室では、PUE値は2.0～3.0程度、通常の商用のデータセンターでも2.0程度となっており、コンピュータが消費する電力量と同量から2倍程度の空調負荷が必要となる。

$$PUE = \frac{\text{データセンター全体の消費電力}}{\text{IT電気による消費電力}}$$

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が大きい。そこで、東京大学では、2011年夏の対策として第12図に示したような情報提供を行った。

省電力化した新機種への更新、ノートPCの利用、さらに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である。ノートPCの利用やクラウドシステムの導入は、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ー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。第13図に、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2.52 kW、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当たり、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ーの戦略的



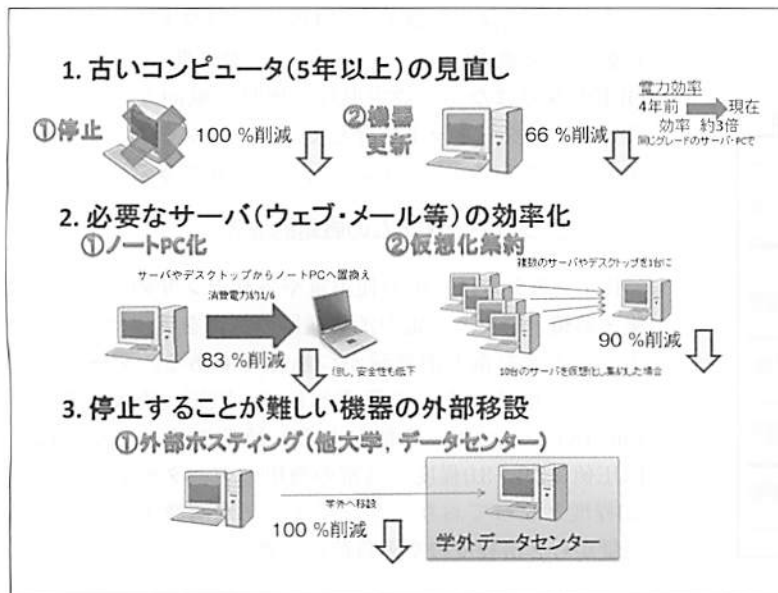
第13図 クラウド環境の導入

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、データセンターへの例外規定を策定していただき、さらに、データセンター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。

4. 電力供給システム

電力会社からの電力供給は交流であるが、ほとんどの電力消費機器は、交流を直流に変換して利用する。そのために電源アダプタが必要となり、大きな変換ロスが発生している。長距離の電力伝送には交流が適するが、自宅や事業所内のような近距離の電力伝送には、結果的には直流の方が効率的な場合が存在する。たとえば、データセンターや電話会社の局舎における高圧直流給電などが実例として挙げられる。

ITシステムにおける直流給電システムとしては、USB給電やPoE (Power on Ethernet) が挙げられる。特に、PoEを用いた情報線と電力線とを縮退させた機器として、無線LANアクセスポイントやスイッチ、さらに、PoE給電のみで動作可能なディスプレイ付きのシンクライアント (Thin Client) などが利用可能となってきている。PoEを用いた機器の展開の利点としては、電源ケーブルが存在しない場所にも容易に機器の設置が可能となることが挙げられる。事業所などで、サーバが集合運用されるサーバ室には、停電対策としてUPS (無停電電源装置) が設置されているのが一般的である。大規模な場合には、ガスを用いた自家発電装置が設置される場合もある。サーバ室に設置されるUPSの電力容量を大きくすることが可能にな



第12図 サーバ・コンピュータの電源削減メニュー

ると、オフィスで稼働しているIT機器/ICT機器が、バッテリーを持たなくても、停電時にも停止することなく継続的運用が可能になる。大容量の発電装置の設置は、これまでは容易ではなかったが、最近では、効率化・小型化が進み、コンテナ型の発電装置も市場投入されている。特に、コンテナ型の発電装置は、建物の仕様に依存せず展開が可能であるとともに、移動性を持つため、災害対応を含んだ装置として組み込むことも可能である。すなわち、PoEと大容量のUPSを組み合わせたITシステムは、電力会社からの電力供給に依存しない自立した地産地消型の運用を可能にする。

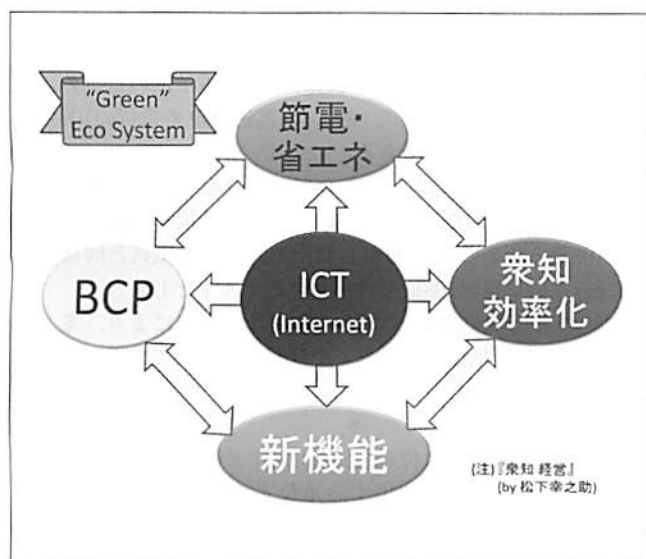
PoEで動作するLED照明も出てきており、各LED照明の管理・制御がインターネットを用いて可能となることを想定した、節電、快適性の向上、さらに新機能（たとえば可視光通信）の提供を同時に実現させるシステムの登場が期待される。

5. ビジネス・事業モデル

節電事業のみでの産業セグメントを構築するのは、その事業規模から、容易ではないので、節電のために導入した施設・システムが、多様な価値が施設・システムの所有者に提供されなければならない。具体的には、以下の四つの機能・サービスが、共通のIEEE1888インフラ基盤を用いて提供可能にするようなシステム設計とシステム運用が可能であることを、GUTPが関与する実証実験フィールド（典型的で核となる実証実験フィールドが東京大学本郷キャンパス工学部2号館）を用いて実証することで、産業・社会展開と普及を推進しようとしている。

- (1) 節電・省エネ
- (2) BCP・危機管理
- (3) TQC・効率化
- (4) 新サービス・新機能

これら四つの機能が、一つの共通プラットフォーム上で



第14図 エコビジネスモデル

共存・共栄するようなビジネス戦略・事業戦略を、需要家に認識してもらわなければならない。通常、節電・省エネの事業は、BU (Business Unit) の事業責任領域にはならず、総務部などの全社間接部門の事業責任領域となるのが一般的である。一方、(2)の危機管理とBCPおよび(3)のTQC・効率化は、事業部の活動の維持と成長に資する活動であるので、事業部の責任事業となる。最後に、(4)の新サービス・新機能は、将来の成長に資する新事業領域の創造などを含む領域となる。

(3)と(4)を実現するためには、これまで、独立に運用されていたシステムで生成・利用されていた情報を、相互に参照・共有・利用可能な、トランスペアレントでオープンな相互接続性を持ったインフラ基盤を構築しなければならない。いわゆるビッグデータ (Big Data) 環境の構築である。そのためには、すべてのサブシステム間で、共通のデータ様式と通信方式を用いたトランスペアレントなデータ共有・利用基盤が整備されなければならない。このような、インターネットアーキテクチャの枠組みに従った、オープンファシリティシステムが必要とされる。

むすび

スマートビル・キャンパスを人に例えれば、物理実態としてのICTシステム (=インターネット) は神経系に、電力の発電システムは心臓、送電システムは血管、電気は血に相当する。また、体を制御するための脳が必要であり、これは、サーバであり、脳を収容する頭蓋骨はサーバ室あるいはデータセンター・クラウドと捉えることができる。このとき、物理実態としての「インターネット」だけではなく、論理的なアーキテクチャとしての抽象化されたインターネットの構造を意識した、「インターネット (アーキテクチャ)」の導入を推進しなければならない。電力システムへのバッファ機能 (=蓄電機能) の導入とともに進行しているのが、直流技術の領域拡大である。電力の長距離伝送においては、交流が適していることは明らかであるが、発電機能の低コスト化により、「発電機能を都市部から排除する」という、これまでの既存概念・前提を否定し、電力供給システムの根本的な構造変革を具現化する可能性を持っている。ある意味、「トーマス・エジソンの逆襲」が進行しているのではないだろうか。

参考文献

- 1) GUTP, <http://www.gutp.jp>
- 2) 江崎, 「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
- 3) 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
- 4) <http://standards.ieee.org/>
- 5) 落合, 「スマートグリッド対応IEEE1888プロトコル教科書」, インプレスジャパン, 2012年6月

6) 落合, "Sensor Data Management and Transportation over Unreliable Networks", 東京大学 大学院 情報理工学系研究科 博士論文, 2011年2月

【GUTP参加組織】2012年10月1日現在

(1) 営利企業 (43企業)

愛知時計電機(株), (株)アズビル, (株)インターコム, インテック(株), エス・ティ・ティ・コムウェア(株), (株)NTTファシリティーズ, (株)大塚商会, (株)オプティム, 鹿島建設(株), (株)関東コーワ, KDDI(株), (株)KDDI研究所, コムツァイト(株), 三機工業(株), シムックス(株), シスコシステムズ合同会社, (株)システム・ランド, シトリックス・システムズ・ジャパン(株), シュナイダーエレクトリック(株), 新日鉄エンジニアリング(株), 三菱冷熱工業(株), セイコープレジジョン(株), ダイキン工業(株), (株)竹中工務店, (株)ディー・エス・ア

イ, (株)東芝, (株)東洋スタンダード, 東洋電機製造(株), 日本電気(株), 日本電信電話(株), 日本ベリサイン(株), パナソニック(株)エコソリューションズ社, (株)日立製作所, 富士通(株), 富士ゼロックス(株), 三井情報(株), 三井不動産アーキテクチャル・エンジニアリング(株), 三菱重工(株), (株)三菱総合研究所, (株)ラック, (株)リコー, (株)ユビテック, (株)ユビキタス

(2) 非営利団体 (22団体)

IPv 6 普及・高度化推進協議会, 東京都環境科学研究所, Lon Mark Japan, 岡山IPv 6 コンソーシアム, グリーンIT推進協議会, (一社)電気学会, (一社)電気設備学会, 横浜金沢産業連絡協議会, IPv 6 Sensor Networking協議会, WIDEプロジェクト, Churaronkorn大学(タイ), SRM大学(インド), 慶應義塾大学, 静岡大学, 名古屋大学, 奈良先端科学技術大学院大学, 首都大学東京, 新潟大学, 山口大学, 金沢大学, 山形大学, 東京大学

度量衡余聞(1)

現在, 我々が使用している国際単位系(SI単位系)は, 1954年の国際度量衡総会(Conference Générale des Poids et Mesures: 略称CGPM)で長さメートル(m), 質量にキログラム(kg), 時間に秒(s), 電流にアンペア(A), 熱力学的温度にケルビン(K), 光度にカンデラ(cd)の六つの基本単位が採択されたことから始まっている。

電気の基本単位に電流が採用されたことにより, ディメンション式が簡潔になったこと, また, 国際単位系(SI単位系)が発足して学術面で使用する単位系と実用面で使用する単位系が統一され, 従来のように色々な単位系を使用しなくてすむ利点は大きなものがある。

*

我が国では, 1974年にJIS Z 8203国際単位系(SI)およびその使い方として規格化され, 以後見直し改訂などが行われ, 電気関連の書籍や教科書に逐次取り入れられて普及し, 現在に至っている。

それ以前は, 1891年にLord Kelvinから学術上都合が良いと言うことで, 長さセンチメートル(cm), 質量にグラム(g), 時間に秒(s)を基本単位としたcgs単位系が提唱され, それが認められて学術上の単位系としてcgs単位系が誕生し, 採用されていた。

第4の基本単位として電気関係には, Maxwellが真空中の誘電率 ϵ_0 を1として組み立てたcgs静電単位系と真空中の透磁率 μ_0 を1として組み立てたcgs電磁単位系を提唱し, 以来学術上の単位として普及し使用されていた。

したがって, 昔の教科書や参考書の類いは, cgs単位系で記述されていた。

*

cgs静電単位系では, 単位に名称がなく, cgs電磁単位系には, 磁気単位に起磁力 F の単位は, ギルバート(gilbert), 磁場の強さ H の単位は, エルステッド(oersted), 磁束の単位 Φ は, マクスウェル(Maxwell), 磁束密度の単位 B は, ガウス(gauss)の名称が付けられており, cgs単位系が使われていた頃には, 実用磁気単位には, 磁束の単位ウェバー(weber)の外, 単位名がなかった。

しかし, 真空中の透磁率 $\mu_0=1$ として単位名なしで取

り扱うため $B=\mu_0 \cdot H$ の式では, $B=H$ となり, 磁束密度の単位 B と磁場の強さ H に同一単位名ガウスが用いられるというような事態が存在していた。またcgs静電単位系では, 静電容量をcmで表すような不合理面もあり, cgs単位系には優れた面と物理学上は不合理と思われる面が共存していた。

以上の他にガウス単位系やMKS単位系も存在し, 実用面では実用電気単位系があり, 電気磁気学の分野では単位系がいくつも使用されることと単位の名称にも有無があり, 甚だ不便であった。

このため, 初学者には単位系を見極めることが余分な負担になっていた。

cgs単位系は, 学術面での単位系であって, 実用に採用すると非常に大きな数値や非常に小さな数値を扱うことになり不便であり, 実用に適さないので, 別個に実用に適した単位系が必要になり, 抵抗: オーム(Ω), 電圧: ボルト(V), 電流: アンペア(A)などの実用電気単位系がcgs単位系とは無関係に組み立てられたのである。

*

抵抗の実用単位オームは, Siemens Einheitが, 断面積 1mm^2 , 長さ 1m の水銀抵抗器により定義し, ほは現在の値に近いものであった。この値は, cgs電磁単位の抵抗のおよそ109倍であったので, 逆にcgs電磁単位の抵抗の109倍を1オームとしたのである。

電圧の実用単位には, ダニエル電池の起電力が基準として用いられていたもので, これをcgs電磁単位で測定すると約108倍となることが判明したため, これも抵抗と同様にcgs電磁単位の108倍を実用単位のボルトとした。

電流の実用単位アンペアは, オームの法則により, 電圧(ボルト)を抵抗(オーム)で除した値として定義したのである。

*

以上のように国際単位系(SI単位系)が採択されて, 学術面・実用面の双方で使用する単位系が統一されるまでは, 電気関連分野で使用される単位系が錯綜した状態であったため, 甚だ不便であった。

(M)

電設技術

Electrical Construction Engineering

電気設備の総合誌

No.722

平成25年(2013)

第59巻



●特 集●

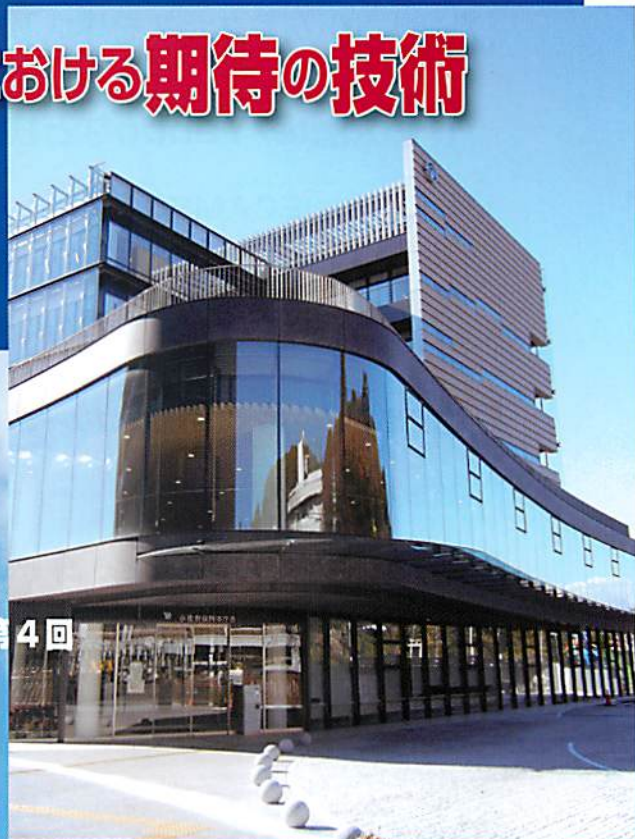
再生可能エネルギー分野における期待の技術

竣工事例紹介

小牧市新庁舎の電気設備
伊勢赤十字病院

東大グリーンICTプロジェクト
スマートアイランド(人工浮島)構想

自家用電気工作物一業務のポイント 第4回



平成24年度技術士試験問題(2) 第一次試験 基礎科目
1級電気工事施工管理技術検定試験 受験講座 第5回

2011年新築ビルディング電気設備データ一覧表(その1)



一般社団法人 日本電設工業協会
Japan Electrical Construction Association