

スマートグリッドを支える ICT システムアーキテクチャ

ICT System Architecture for Smart Grid

江崎 浩 落合秀也



グリーン IT/ICT 及びスマートグリッドの推進にあたっては、社会全体のエネルギー消費量の正確な把握に基づいた戦略の策定が必要である。ICT 機器自体のエネルギー消費量は、空調や照明などの非 ICT 機器のエネルギー消費量に比べて小さいが、ICT 機器なしには、これらの効率化と省エネ化は実現できない。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」である、「賢く能率的な脳」と「俊敏に動作する神経」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。更に、これは、イノベーションの持続性を実現するに資するインフラでなければならない。

キーワード：グリーン IT/ICT, 新世代インターネット, 省エネ・環境対策, センサネットワーク

1. ま え が き

「グリーン IT」の推進は、地球と人類への貢献と責任であり、その実現には、地球全体を覆うセンサネットワークの構築とそれらの協調動作が必須となる。先進国での都市活動の変化とアジアを中心とした人口集中地域での都市化の進展は、地球上での気象変化をより一層複雑化しており、今後の経済・社会活動に対して多くの変革 (Innovation) を要請している。こうした中、デジタルネットワークへの接続性を高めた各種センサユニットが開発され、環境情報観測や分析ツールとして展開されつつあり、更に、これらの環境情報をグローバルスケールに、しかも、ほぼ、リアルタイムに流通・加工・共有、そして制御する環境、すなわち、グローバルスケールでの PDCA サイクルを実現するシステムが実現されなければならない。各種センサデバイスは、他のセンサデバイスと組み合わせることにより、高度な機能の

実現や新しい利用法の創造などを推進されることが期待される。ICT を用いた、地球環境保全に関する取組みと貢献は、IT 先進国としての、グローバル社会への責任でもある。全てのファシリティシステムにおける動作状況に関するデータを取得・分析し、社会・産業の活動を効率化し、社会・産業の効率性と創造性を向上させ、結果的に、環境負荷の削減と省エネルギーを実現するための、技術の確立と具体的な処方箋が求められている。

2. Future Internet と 21 世紀の都市設計

グリーン IT の効果的な実現には、地球全体を覆うセンサネットワークの構築と、センサノードやアクチュエータノードをはじめとした全てのデジタル機器の協調動作が実現されなければならない。更に、これらの動作は、中央集中的に管理制御することは不可能であり、また、ローカル及びグローバル規模での自律分散的な協調動作環境が構築・管理・運用され、持続的 (Sustainable) な進化 (Innovation と Revolution) を実現するに資する基盤を前提としなければならない。

インターネット (“internet”) アーキテクチャは、ルータやスイッチから構成される現在の “Internet” アーキテクチャを意味するのではなく、エンドツーエンド原理に従って構成されるシステムアーキテクチャを意

江崎 浩 正員：シニア会員 東京大学大学院情報理工学系研究科電子情報学専攻
E-mail hiroshi@wide.ad.jp
落合秀也 学生員 東京大学大学院情報理工学系研究科電子情報学専攻
E-mail jo2lxq@hongo.wide.ad.jp
Hiroshi ESAKI, Senior Member and Hideya OCHIAI, Student Member (Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo, Tokyo, 113-8656 Japan).
電子情報通信学会誌 Vol.94 No.5 pp.391-395 2011 年 5 月
©電子情報通信学会 2011

味する（インターネットの父とされる Robert Kahn 博士との私的会話から）。自律的に構築・管理・運用されるローカルなデジタルネットワークが相互接続し、その基盤上に生成されるデジタル情報を自由にかつ自律的に伝送・共有・加工可能な情報環境空間を構築するために、ローカルなデジタルネットワークの相互接続を可能にするアーキテクチャがインターネットアーキテクチャ (internet architecture) である。すなわち、自律／自立と協調／協生がインターネットアーキテクチャであり、それがゆえに、持続性と自己変革能力を持つことができている。このような構造と特性を持ったシステムの構築なしには、効果的な環境・エネルギー対策は実現不可能であり、その持続性を期待することは難しい。このようなシステムは、以下に述べるエコシステムである。

2.1 エコシステム

エコシステムとは、「食物連鎖など生物の相互関係と、生物とそれを取り囲む無機的環境の間の相互関係を総合的に捉えた生物社会のまとまりを示す概念」であり、「エコシステムは周辺の状況などにより変化するが、その系の中で互いに働きかけて安定化する性質がある」（Wikipedia から）とされている。ビジネスにおいては、関係する企業・組織がビジネス活動において協調と競争を行うことで、利益やイノベーションと創造を持続し、その構造を変化させていくことを意味している。エコシステムは、以下のシステムの要件を満足しなければならないと考える。

- ① 自立性 (Independent)
- ② 自律性 (Autonomous)
- ③ 交流性 (Interaction, Interoperability)
- ④ 適応性 (Adaptability, Agility)

2.2 新世代インターネットの姿^{(1),(2)}

現在のインターネットと同様に、新世代インターネットも以下のような要件を満足しなければならない。①自律性 (Autonomous), ②分散 (Distributed), ③非接続対応性 (Disconnected Robustness)⁽³⁾, ④ネットワークのネットワーク (Inter-Domain), ⑤グローバル性 (Global) である。また、一方で、現在のインターネットは、以下の三つの古くて新しい課題に挑戦しようとしている。④グローバル規模, ⑤ユビキタス環境 (いわゆる IOT (Internet of Things) 環境), ⑥モバイル (特に, Sometimes Disconnected Mobile) である。

2.3 第3の波⁽⁴⁾と21世紀の都市設計

人類は都市設計のパラダイムシフトを過去に2度経験し、現在、第3の進化を遂げようとしていると捉えるべきかもしれない。

(1) 第1の波：農業革命

狩猟 (Nomadic) から定住への革命であり、社会の価値は「狩猟可能な領地」から「肥沃な土地」へと、「採取」から「栽培 (生産)」へと進化した。

(2) 第2の波：産業 (工業) 革命

工業化・産業化は、農産物に関する「肥沃な土地」から「工業資源」に関する肥沃な土地と、流通と生産にとって利便性の高い拠点が、社会の価値・財産として認識されるようになった。特に、大量生産・大量消費、マスメディア、更に科学技術全能の思想が主流となった。

(3) 第3の波：情報革命

知識と知恵が、社会の価値・財産として認識されるようになる。また、エネルギー消費量の発展は社会の発展に直結するという考え方は、エネルギー消費の効率化を進めながら、持続的な社会活動の維持と発展が人類が向かうべき方向性との認識へと変化した。すなわち、知恵と知識こそが、競争力と社会の持続性への鍵であり、スマートな社会基盤の設計と効率的なエネルギー生成・配送・消費システムの確立の必要性が認識されるに至った。

2.4 新世代インターネットの21世紀の都市設計への貢献

21世紀の都市を「人」に例えれば、インターネットは「神経系統」に相当し、クラウドコンピューティング基盤に代表されるサーバシステムは「頭脳」に相当する。人は、幾ら、素晴らしい筋肉や骨 (=コンポーネント) を持っていたとしても、コンポーネントを上手に制御するための神経と頭脳がなければ、非効率な動作しかできず、時に、機能しない事態も発生してしまう。また、優れた制御システム (=神経系+頭脳系) は、同じエネルギーでより多くのアウトプットを生産することができる。すなわち、効率的で無駄の少ない社会基盤の形成は、創造性のための資源 (=時間とエネルギー) をより捻出可能であると捉えることができる。一方で、システムに、コンポーネントやモジュールの取換え性 (Alternativeness) を持つことを可能とするシステム設計を行うことによって、革新的な新しいコンポーネントの導入を可能にしなければならない。

一例として、インターネットデータセンター (Internet Data Center, 以下, IDC) の戦略的導入シナリオを挙げる。21世紀初頭に進展したブロードバンドインターネット基盤の構築は、広域分散コンピューティング基盤であるグリッドコンピューティング技術と融合し、クラウドコンピューティング基盤の構築へと向かっている。すなわち、これまで、オフィスやユーザ宅で稼働していたサーバコンピュータは、効率的で高いセキュリティ

ティ性を安価に提供する IDC に、急速に移設されようとしている。一般オフィスやユーザ宅で稼働するサーバは多くの排熱を行う熱源であり、生活・活動空間を快適にするために稼働している空調システムの負荷増大に関して、甚大なる貢献をしていることが、広く認識されている。IDC は、一般オフィスやユーザ宅と比較した場合、極めて高いエネルギー効率で運用環境を提供可能であり、IDC への計画的・戦略的なサーバ計算機の移設は社会活動の低炭素化に貢献する可能性を十分に持っている。

ICT を用いた省エネ・環境対策は、その本来の目的だけではなく、結果的に、デジタルユビキタスセンサネットワークを構築することになる。このデジタルユビキタスセンサネットワークは、以下のようなシナリオで、新しいサービスや産業を、容易にかつ安価に展開可能としなければならない。そのために、透明性と相互接続性を持ったインフラの展開と整備が進められなければならない。

- ステップ1 センサや制御機器が、相互接続され、協調動作し、エネルギー流の制御が自在に可能なインフラの構築。
- ステップ2 ユビキタスに存在するセンサや制御機器、更に、これらの機器が生成するデジタル情報が、ほぼゼロの低コストで流通可能なインフラの登場。
- ステップ3 このデジタルユビキタスインフラを用いた新しいサービスが、グローバル規模で創

造・展開。

3. 東大グリーン ICT プロジェクト

3.1 プロジェクトの概要^{(5), (6)}

グリーン東大工学部プロジェクト（2010年4月から「東大グリーン ICT プロジェクト」に名称変更）では、ファシリティの設計、構築、運用、管理並びに制御に係るステークホルダからなる、共同研究開発コンソーシアムを形成した⁽¹⁾。すなわち、ICT 機器のベンダ、建築会社、総合電機会社、情報家電会社、セキュリティサービス会社、ビル管理会社、更に、ファシリティのオペロッパ会社など、川上から川下まで、関連する企業が研究開発の情報を共有し、マルチベンダ環境で動作可能な、ファシリティシステムの研究開発を推進している。

東京都においては、東京大学本郷キャンパスの CO₂ 負荷が最大の事業所であるとの調査結果が発表されており、その中心部に位置する工学部新2号館（2005年竣工、地上12階、総合研究教育棟）を実フィールドとした実証モデル構築は絶好のケーススタディとなる（図1）。プロジェクトは、ファシリティマネジメントシステムの分野において、都市や地域における施設・設備ごとの垂直型連携を水平型連携のマトリックス構造へと変革・進化させることによって、分散協調型の都市経営あるいは地域経営の手法の実現と、新たな付加価値を生み出すビジネスの育成の共生・共進を具現化することを目指すものである。

同2号館を用いて、総合的で先進的なファシリティマ

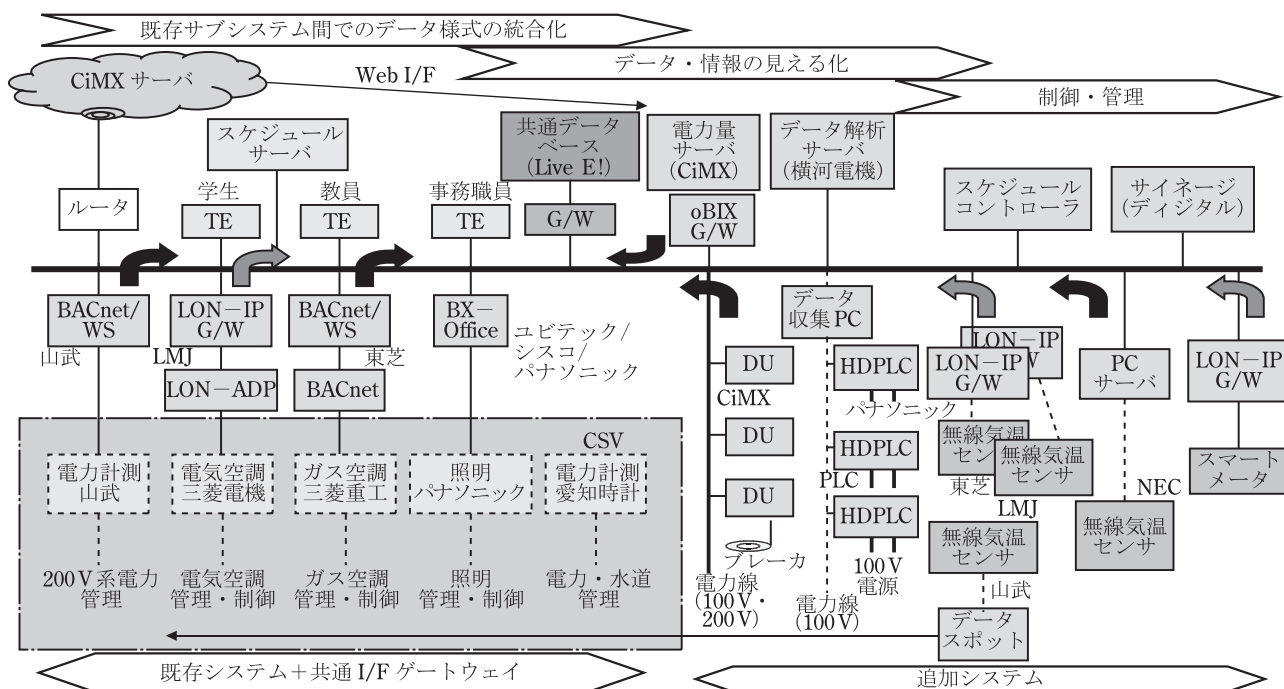


図1 東京大学工学部2号館システム概要

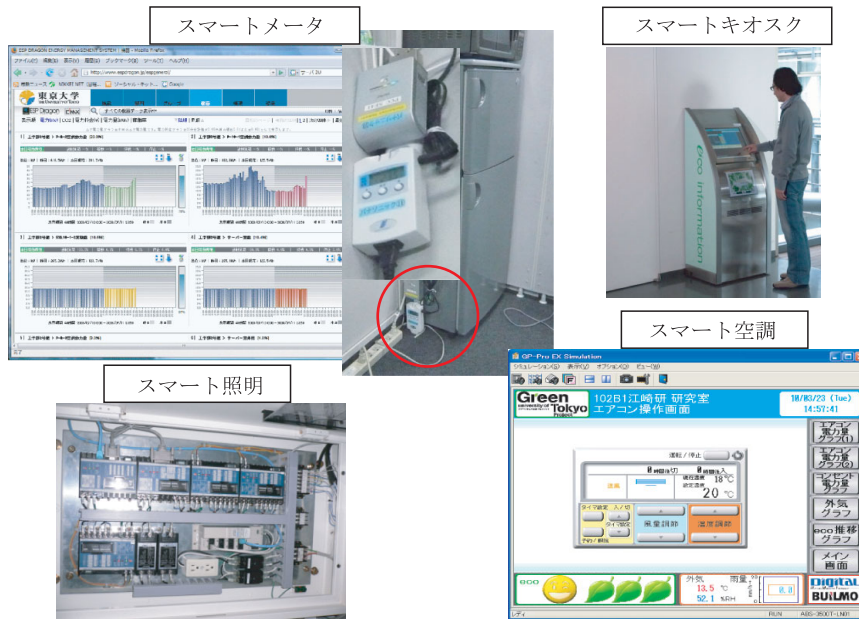


図2 研究開発成果の事例

ネージメントシステム技術の検証と評価, 更に, 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, 更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 (図2).

3.2 研究開発の概要

以下に, 本コンソーシアムにおける研究開発計画の概要を述べる.

(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, 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からなるサブシステム間での, 計測・制御データの相互乗り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り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している. このような, マルチベンダ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向上の実現に資する.

(b) 大学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 (並びに公共設備) 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は, 残念ながら存在しない.

(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及び利用者に表示並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.

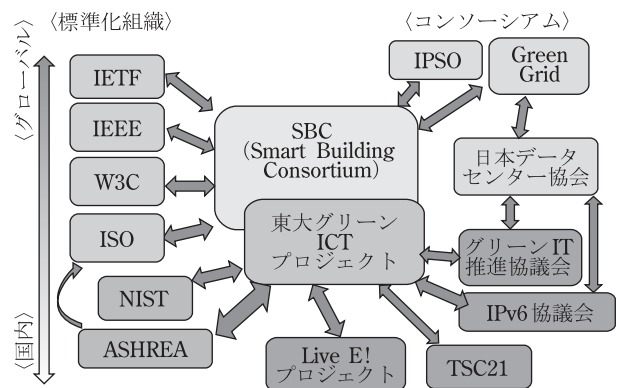


図3 標準化関係図

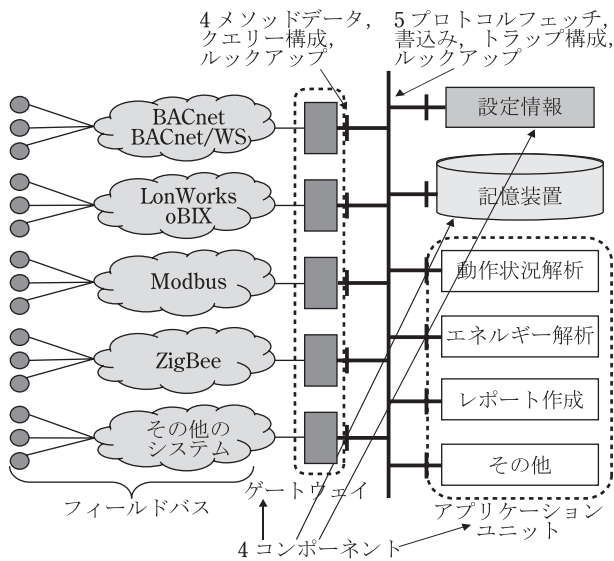


図4 FIAPアーキテクチャ概念図

(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・解析したデータを基に、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並びに測定技術が、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並びに測定装置が、効果的な管理制御に資するのか。

3.3 今後の展開

本プロジェクトの成果は、他学への展開、教育・研究設備への展開、自治体を含む公共設備への展開に資する技術仕様の策定と普及を国内のみならず国外に展開することであり、更に相互接続性確立を目指した国際標準化活動の展開を計画している(図3, 4)。我々は、FIAP (Facility Information Access Protocol) を研究開発し、現在、ASHREA BACnet の拡張及び IEEE1888 への提案活動を展開している。

また、グリーン東大 ICT プロジェクトとほぼ、同様の構造を持つ産官学連携プロジェクトを中国北京市において、清華大学を中心に展開している。

更に、本プロジェクトを通じた知見は、新しいアプリケーションやビジネス領域の創成へと展開しようとしていることは注目に資するであろう。すなわち、新しい情報基盤の構築と提供によって、その本来の目的とは異なる創造的な展開が実現されようとしている。また、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。

4. む す び

グリーン IT/ICT の活動を推進するにあたって、社会全体のエネルギー消費量の把握に基づいた戦略の策定が必要である。ICT 機器自体のエネルギー消費量は、空調や照明などの非 ICT 機器のエネルギー消費量に比べて小さい。しかし、ICT 機器なしには、これらの効率化と省エネ化は実現できない。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ールームや IDC は「脳」にあたり、ネットワークは「神経系」である、「賢く能率的な脳」と「俊敏に動作する神経」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。「優れた筋肉を持った運動選手」でも、その制御が最適化されていなければ、「優れた筋肉を持たない運動選手」に負けてしまう。我々の推進する ICT システムの展開に、地球の未来が依存しているとも考えられるであろう。

文 献

- (1) H. Esaki, "A consideration on R & D direction for future internet architecture," Special Issue on Next Generation Networks (NGNs), Int. J. Commun. Syst., vol. 23, no. 6-7, pp. 694-707, April 2010.
- (2) H. Esaki, "Eco-system design based on internet architecture framework," EcoDesign 2009, no. OS-3M-1, Sapporo, Japan, Dec. 2009.
- (3) 落合秀也, 江崎 浩, "DTN 環境を想定したトポロジ変化に強いメッセージルーティング," 情報学論, vol. 50, no. 9, pp. 2312-2326, Sept. 2009.
- (4) アルビン・トフラー, 徳岡孝夫 (監修・訳) 第3の波, 日本放送出版協会, 1980.
- (5) 東大グリーン ICT プロジェクト, <http://www.gutp.jp/>
- (6) 江崎 浩, "インターネット技術を用いたオープン環境・省エネ対策," 映情学誌, vol. 63, no. 4, pp. 423-427, April 2009.

(平成 22 年 11 月 7 日受付)

江崎 浩 (正員: シニア会員)



昭 38 生まれ。昭 62 九大大学院工学研究科電子工学専攻修士課程了。同年、(株)東芝入社。平 2 米国バルコア社員研究員、平 6 米国コロンビア大客員研究員。平 10 東大大型計算機センター助教授。平 12 同大学院情報理工学系研究科助教授。平 17 から現職。平 20 ISOC 理事。平 22 WIDE プロジェクト代表。

落合 秀也 (学生員)



昭 58 生まれ。平 18 東大・工・電子情報卒。平 20 同大学院情報理工学系研究科修士課程了。同年、同大学院同研究科博士後期課程、現在に至る。センサ・アクチュエータ・ネットワーク、耐遅延性ネットワークの研究に従事。