

グリーン東大工学部プロジェクト

平成 20 年度報告書

平成21年3月

国立大学法人東京大学

グリーン東大工学部プロジェクト事務局

目 次

1. 「グリーン東大工学部プロジェクト」概要	1
1.1 プロジェクトの背景	1
1.2 プロジェクトの目的	2
2. 先行調査研究	4
2.1 ビル設備に関する省エネルギー方策に関する調査研究	4
1) ビル設備に関する省エネルギー調査実験事例	4
2) 省エネルギー及び地球温暖化対策に関する法制度	6
2.2 情報通信技術による環境負荷低減に関する調査研究	10
1) グリーン IT を中心とする政策事例	10
2) 環境負荷低減に資する研究開発課題	12
3. 大学キャンパスにおける省エネ活動事例	18
3.1 革新的省エネ取り組み事例	18
1) 東大サステイナブルキャンパスプロジェクト (TSCP)	18
2) 名古屋大学における消費エネルギーの「見える化」	19
3) 京都大学における環境賦課金による省エネ対策事業	21
4) 大学・企業連携による環境貢献研究事例	22
3.2 設備導入・更新による省エネ事例	24
1) 大学施設への BEMS 導入事例	24
2) 大学への BEMS 導入における課題	28
3.3 運用改善・ICT 活用による省エネ事例	31
1) コンビニエンス・ストア店舗での CO2 削減	31
2) 大学間の連携によるベンチマーキング	32
3) キャンパスエスコ (学内 ESCO)	33
4) 大学キャンパスにおける省エネ活動を取り巻く課題	33
3.4 海外の大学における設備管理事例	34
1) マサチューセッツ工科大学 (MIT) の事例	34
2) バージニア州立大学 (UVA) の事例	35
3) 日米の大学における比較	35
4. グリーン東大工学部プロジェクトの活動	36
4.1 プロジェクトの概要	36
4.2 研究開発計画の体制	40
4.3 工学部新 2 号館におけるデータ計測の現状及び課題	41
1) 工学部新 2 号館における現状のデータ計測状況	41
2) モデル化による館内エネルギー消費量予測	43

4.4 プロジェクト活動への要求事項	53
1) 計測すべきデータの捉え方	53
2) 校舎におけるデータ計測の考え方	54
5. ワーキンググループ活動報告	57
5.1 ワーキンググループ構成	57
5.2 コンセプト WG の取り組み	60
1) WG の活動意義	60
2) 本年度の取り組み	61
5.3 制御 WG の取り組み	68
1) 設備機器制御に関する現状と課題	68
2) オープン仕様によるシステム間相互接続	69
3) 状況取得に関する必要要件	73
4) 機器制御に関する必要要件	77
5) 最適なサブシステム制御の実現方策	78
6) 本年度の取り組み	80
5.4 見える化 WG の取り組み	84
1) 省エネ対策を目的とした「見える化」取り組みの現状と課題	84
2) 分析・評価に関する必要要件	85
3) 表示形態に関する必要要件	87
4) 本年度の取り組み	88
5.5 実証実験 WG	92
1) 本プロジェクトにおける実証実験の位置づけ	92
2) 本年度の取り組み	92
6. まとめと今後の展望	106
7. 参考文献	110

5. ワーキンググループ活動報告

5.1 ワーキンググループ構成

グリーン東大工学部プロジェクトでは、前章、特に 4.4、で述べた課題に取り組むために表 5-1 に示すワーキンググループを立ち上げ、活動を行っている。

表 5-1 ワーキンググループの構成

WG	SWG	テーマ名	SWG主査	参加企業
I. コンセプト (中島: CIMX)	11	「やりたくなる」省エネ手法	中島: CIMX	CIMX、MRI、名大
II. ネットワーク (江崎: 東大) (吉田: パナ)	見える化 (伊藤: ユビテック)	2 測定データの解析と見える化	伊藤: ユビテック	横河、パナ、CIMX、山武 MRI、ユビテック、名大
		4 住人の動態管理	磯部: 横河電機	横河、パナ電工、東芝、山武 MRI、清水、IRI、名大
		10 省エネ効果の評価仕様書の策定	藤原: 都環境科研	横河、パナ電工、都環科研、 MRI、山武
	制御 (田中: LMJ(横河)) (豊田: 電設学会)	1 相互接続仕様策定	石山: 東芝	横河、パナ電工、東芝、NTT-F、山武 LMJ、鹿島、清水、ユビテック
		3 環境計測インフラの構築	藤村: 山武	横河、パナ電工、パナ、CIMX、山武 アシルテック、清水、ウルク、名大
		8 動作機器の制御手法の技術開発	藤原: パナ電工	横河、パナ電工、都環科研、名大、山武
		9 ファシリティーシステムの参照仕様書	藤原: 都環境科研	横河、パナ電工、Dsi、都環科研、山武
	SCM	広域・地域バランス		横河、山武
	III. 実証実験 (藤村: 山武) (山村: NTT-F)	5 コンピュータ/NWの省エネ技術開発	磯部: 横河電機 飯島: NEC	横河、NEC、サンマイクロ 商事、AMD、名大、山武
		6 サーバルームの省エネ技術開発	藤村: 山武	横河、渡辺、NTT-F、富士通、名大
		(12) 2号館の効果検証	(江崎研学生)	電工、MRI、山武
		7 クリーンルームの省エネ技術開発	藤村: 山武	横河、山武

(出典: グリーン東大工学部プロジェクト コンセプト WG 資料)

それぞれのワーキンググループ(以下、WG)は、互いに協調して活動を行っているが、個々の大まかな役割並びに本年度の活動概要は以下の通りである。

① コンセプト WG

同 WG の主な役割は、本プロジェクトの社会に対する貢献を明確にし、それを発信していくことである。この発信には、省エネ実施の啓蒙活動も含まれている。また、同時に見える化・制御・実証実験 WG それぞれの活動を有機的に結合し、利用者にとって「させられる」から「やりたくなる」省エネを実現するための手法を提案・検証を行っている。

② 制御 WG

制御 WG では、見える化 WG が必要とする計測データを具体的にどのように取得するかに関して技術的検討を行い、プロトタイプシステムの設計、実装及び検証を行っている。

本年度は、まず、見える化 WG が必要とする計測データを取得するために必要とされる技術的案件的の整理を行った。つまり、計測を行うためには、工学部新 2 号館

の既設サブシステムにどのような付加的な装置を設置する必要があるのか、もしくは新たに導入すべき計測装置(サブシステム)はどのようなものであるかの洗い出しを行った。次いで、それぞれのサブシステムから異なった仕様により得られる計測データを統一された仕様により「見える化」へ提供するための API 設計・実装を行ってきた。

③ 見える化 WG

見える化 WG では、省エネ対策を実施するにあたり、どのような情報の可視化が最も効果的であるか、またそれを実現するための技術的課題としてはどのようなものが存在するかに関して要件の整理を行い、検証環境の構築を行っている。可視化の際には 5W1H に着目し、ただ多量の情報を垂れ流すのではなく、必要とする・される情報を適切に提供する仕組みの検討を行っている。

本年度は主に現状におけるエネルギー消費量の把握・見える化を活動の中心に据え活動を行ってきた。また、制御 WG との共同作業により、任意のベンダのサブシステムから得られる計測データを自由に「見える化」することができるよう、取得データの共通仕様策定に向けた議論を行ってきた。

④ 実証実験 WG

実証実験 WG では、大きく二つの取り組みを行っている。一つ目は、コンピュータやネットワーク装置といった機器レベルにおける省エネ技術の研究・開発であり、二つ目は、サーバー室や居室といった空間レベルにおける省エネ技術の研究・開発である。

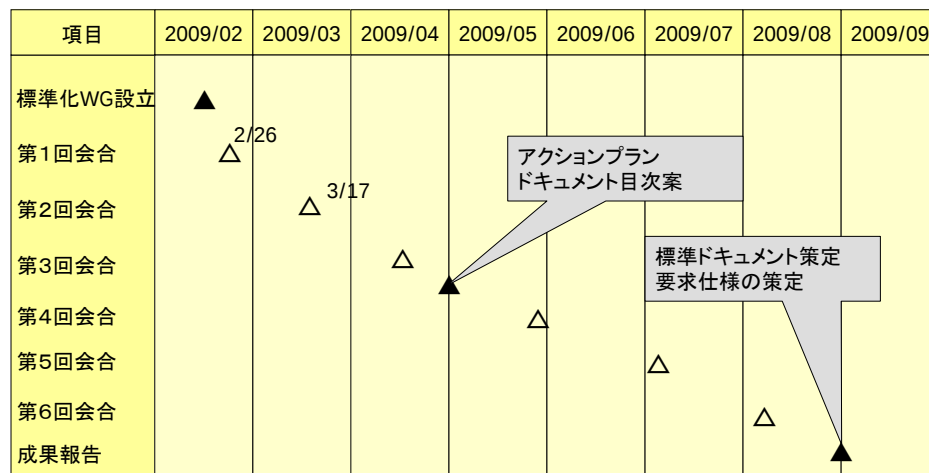
前者に関しては、工学部新 2 号館内の研究室を実証実験環境とし、設置されている既設機器の現状におけるエネルギー消費分析や、トップランナー機器への交換によるエネルギー効率化の検証を行ってきた。後者では、1) 工学部新 2 号館内の研究室を対象とした、人感センサを用いた住人の動態管理に基づくエネルギー最適化検証実験、2) 同館内のサーバー室を実証実験環境とし、室内の温度分布を細密に測定するための技術開発、及び測定結果を基にした空調操作技術の開発を行ってきた。

⑤ 標準化 WG 準備委員会

プロジェクトの活動を通じて、実証実験フィールドである工学部新 2 号館という単一のファシリティ内部においてさえも様々なベンダによるサブシステムが存在し、現状ではそれらから取得される情報を一元的に管理することは困難であることが明らかとなった。そこで、統一化された仕様の下でサブシステムを動作させるために必要な技術案件を行うためにサーバー構築タスクフォースを立ち上げ、プロトタイプシステムを利用した相互接続検証を行った。ここで得られた成果を基に、本プロ

プロジェクトが研究開発する技術の標準化を推進すべく標準化WGを立ち上げる準備を行っている（図 5-1 に標準化WGの活動予定を示す）。

図 5-1 標準化WG活動予定スケジュール



（出典：グリーン東大工学部プロジェクト 標準化WG準備委員会資料）

次節以降で、これらのWG活動の詳細を述べる。

5.2 コンセプト WG の取り組み

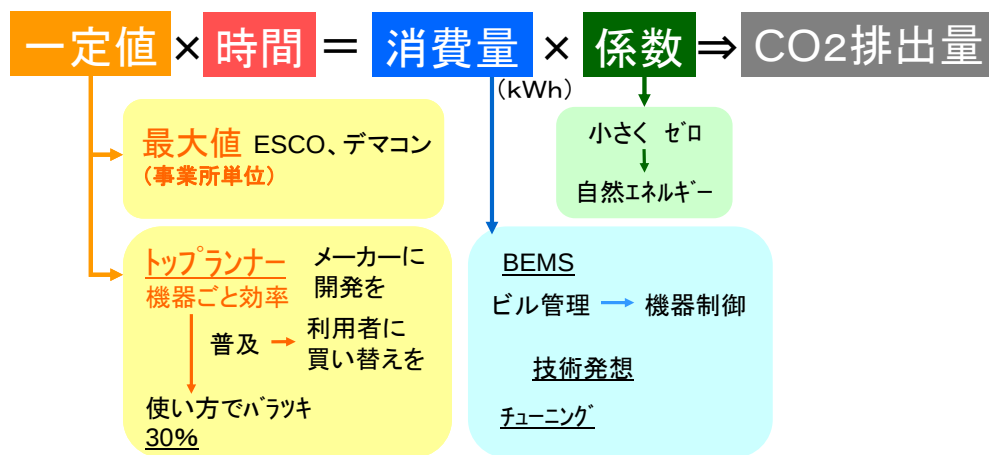
1) WG の活動意義

コンセプト WG では、本プロジェクトのみならず世間一般として省エネ・省 CO2 対策が進みにくい現状を踏まえ、利用者の視点に立った際どのような省エネ・省 CO2 対策を主導していけばよいかの議論を行っている。具体的には、本プロジェクトの活動の柱である「させられる環境対策からやりたくなる環境対策へ」実現のために、1) どのような情報を収集する必要があるか、2) どのような情報提供手段を用いる必要があるか、3) 利用者は情報を基にどのように行動を起こしていけばよいか、を議論している。

一般に CO2 排出量は、図 5-2 に示すように、エネルギー消費量に対してそのエネルギー産出比である係数を掛けたもので表現され、さらにエネルギー消費量自体も、個々のサブシステムが必要とする電力量(一定値)とその稼働時間の積算により表現することができる。

既存のファシリティ管理者主体による省エネ・省 CO2 対策には、図 5-2 に示すような

- ・ 電力量削減のためのピークカットやトップランナー機器の導入
 - ・ 全体としてのエネルギー消費量削減のための BEMS の導入
 - ・ エネルギー産出比を高めるための自然エネルギー技術の導入
- などが上げられ、実際に一定の効果を発揮してきている。

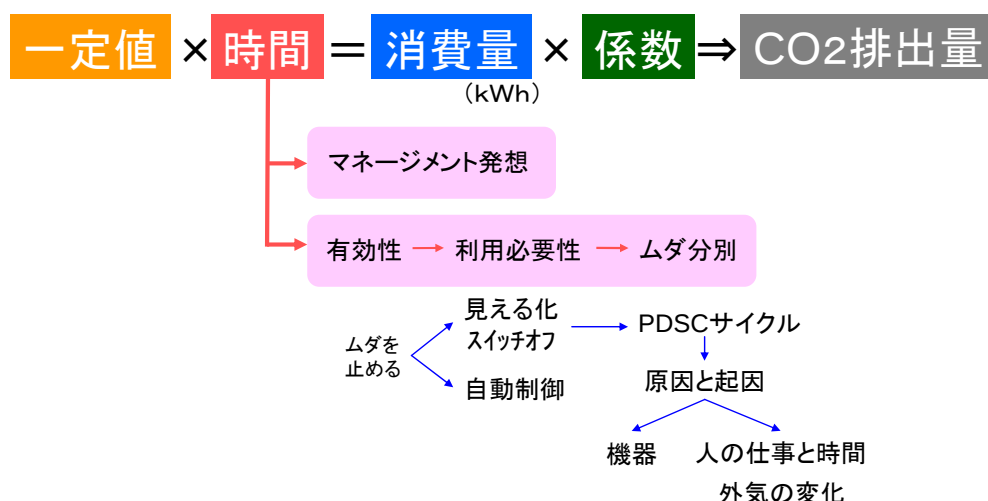


(出展: グリーン東大工学部プロジェクト コンセプト WG 資料)

図 5-2 管理者主体による省エネ・省 CO2 対策実現例

管理者主体による省エネ対策の場合には、その内部で活動する「人」も同時に管理可能な対象であり、さらに管理者が利用者の活動時間を管理可能である場合には、

図 5-2 の数式中に現れる「時間」を定数として扱うことができる。一方で、本プロジェクトの対象である教育研究施設では、ファシリティの管理者が利用者の活動時間・利用モデルを一意的に決定することはできず、「時間」の要素が変数となる。つまり、このような環境においては、エネルギーが消費される「時間」を効率・最適化することが、エネルギー消費量・CO2 排出量を抑制する上で重要な要因となる（図 5-3）。



(出展: グリーン東大工学部プロジェクト コンセプト WG 資料)

図 5-3 利用者主体の省エネ・省 CO2 対策実施時に必要となる要素

コンセプト WG では、こうした事実を踏まえ、「時間」要素を最適化しつつ「やりたくなる」省エネを実現するには、管理者はどのような運用形態をとる必要があるか、またそれを支援するために必要な技術はどのようなものかの検討を行っている。

2) 本年度の取り組み

本年度は、表 5-2 に示す通り、6 回の会合を開き、前節で述べた課題解決に向けた議論を進めてきた。

第1回から第4回までの会合では、広く一般に導入されている省エネ対策の現状、及び課題の整理を行った。具体的には、省エネを行う際には、4つの見える化、1) 状態の見える化、2) プロセスの見える化、3) ルールの見える化、4) 評価の見える化、が必要であることを明らかにした。一方でそれを実現するためには3つの問題、1) 価値を判断する基準が一定ではないという「コンセプトの問題」、2) 省エネのためのデータが存在していないという「技術的な問題」、3) 省エネを主体的・有機的体

系が存在しないという「組織的な問題」、があることを明らかにした。

第5回会合では、省エネ対策を実施している企業・事業所に対してヒアリング調査を行い、どのような省エネ対策を実施しているか、その結果どのような成果が得られているか、利用者の意識はどうなっているかの調査・分析を行った。第6回会合では、大規模なファシリティ・マネジメントシステムを導入している六本木ヒルズ森ビルへの見学会を開催し、マネジメントの観点から、どのような機器情報収集、管理がなされているか、なされるべきかの意見交換を行った。

表 5-2 コンセプト WG 会合議題

	日時	内容
第1回	2008年8月19日	“やりたくなる”省エネWGの方向性についてブレンストーミング
第2回	2008年9月12日	省エネの構造と価値観の構造
第3回	2008年10月10日	WG11のミッションとしてコンセプトの理論化
第4回	2008年11月20日	「見える化」と3つの問題
第5回	2008年12月11日	会社における省エネ活動の現状と組織的な問題 (NEC・ユビテックからの現状報告)
第6回	2009年2月12日	森ビル六本木ヒルズ見学会

(出展: グリーン東大工学部プロジェクト コンセプト WG 資料)

現在、コンセプト WG では、見える化ソフトの企画書の策定を行っている。利用者の日々の取り組み及びその効果を、視覚的に把握することができる仕組みを実現することで、利用者が自発的に「させられる環境対策からやりたくなる環境対策へ」に取り組むことのできる環境の整備を目指している。見える化ソフトの企画書は、大きくは「理論編」、「シナリオ編」、「ゲームニクス編」の三編から構成されている。以下では、本年度の成果として見える化ソフトの企画書の「理論編」、「シナリオ編」の概略を述べる。

(1) 理論編

「理論編」では、省エネが依然として効率的に実施されていない現状を述べ、その課題及び省エネ実施のための要求事項の整理を行っている。

省エネ活動が効率的に実施されない最も大きな原因として、省エネを実施する主

体者である施設利用者（施設管理者も含む）が自発的に省エネ活動に取り組むための環境整備がなされていないことを挙げている。具体的には、利用者が現状における自らの消費電力量を正確に把握できていないことである。この課題を解決し、効率的な省エネ活動を実施していくための要求事項を、ここでは以下の三つ取り上げている。

- ① 電力消費量の見える化・ムダ分別判断
- ② 電力機器の相互接続
- ③ ゲームニクス理論を用いた直感的なユーザインターフェイスの充実

前述の課題を解決するためには、まず利用者がどのように電力を消費しているかをミクロ・マクロの両面から視覚的に把握できる仕組みが必要となってくる。この際、単に消費電力量のデータを定量的に可視化しただけでは、利用者はどの部分に無駄があるか、もしくは改善の余地があるかを判断することができず、結果として自発的な省エネ活動の実施は困難なままである。

つまり、システム（見える化ソフト）側で電力消費量に対して無駄分別の判断を行い、省エネ活動実施者に改善案を提示するなど、利用者が省エネ活動に取り組み支援を行っていくことが必要となる。これを実現するために、企画書ではシムックス²⁴による“電気消費量のムダ分別のアルゴリズム”（米国特許取得）を用いた手法の提案を行っている。

ただし、利用者が利用する全ての電力機器の使用状況を実際に監視・管理するためには、施設に設置されている電力機器がそのベンダ毎に異なる仕様によって実装されている現状を考慮する必要がある。ベンダ毎に異なる仕様により運用され、相互に接続をすることができない状態では、異なる複数の機器、例えば照明と空調など、を連動して制御することは困難である。そうした問題を解決し、効率的な機器監視・管理を実現していくためには、機器の相互接続性を高める標準化仕様の策定は必須である。

一方で、システム側で前述した機能を提供したとしても、省エネを実際に実施する利用者が自らの無駄を認識しそれを簡単に解決する手段が提供されなければ、実行力の伴う省エネを実現することができない。企画書では、利用者に対して直感的で操作容易なユーザインターフェイスを提供するために、ゲームニクス²⁴の応用によるツールの提供を提案している。

ゲームニクスにより提唱される利用者を積極的に参加させるためのポイントのうち、企画書では以下の三点を重要点として挙げている。

²⁴ 「ゲームニクスとは何か」（著：サイトウヒロアキ、幻冬舎新書）参照

① 操作画面のデザイン

十字キーと A,B ボタンだけの簡単な入力装置を前提とした簡易な操作性の提供。
直感的で容易に状況判断可能な画面構成の提供。

② ストーリーのデザイン

興味、関心、理解を自然に持つことができるようなストーリーの構築。「はまる演出」の実現。

③ 自発的な学習デザイン

同意、参加が可能となるような段階的かつ自発的な学習可能なシステムの構築。

これらを通じて「理論編」では、「させられる環境対策からやりたくなる環境対策へ」を実現するために必要な環境整備に関する要求事項の整理を行っている。

(2) 「シナリオ編」

「シナリオ編」では、「理論編」で整理した要求事項を基に、利用者が積極的に省エネ活動に参加することができるようなソフトのシナリオ策定を行っている。

見える化ソフトでは、図 5-4 に示すように、利用者が省エネ活動に能動的に参加するために4つのステップを設けている。

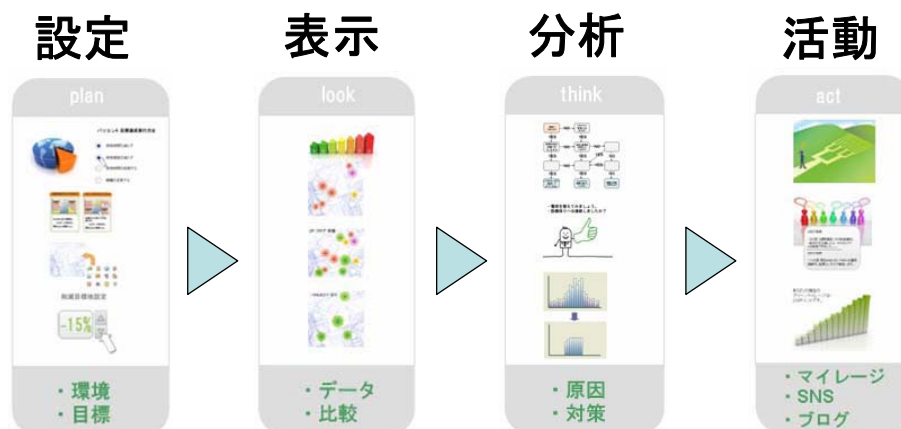
最初のステップでは、利用者に日々どのような電気機器を利用しているかという環境情報の入力と、それらに対する省エネを意識した利用目標値を設定してもらうことで、利用者が省エネへの意識を持つように誘導する。

次いで、この二つの情報を基に、見える化ソフトでは利用者が日々利用している電力機器の詳細な電力消費量や推定される無駄な電力量を見える化する。これにより、利用者は自らの機器利用傾向を視覚的に知ることができるようになる。また、システムにより提供される情報を基に、改善の余地を探することができるようになる。これにより、利用者は自らの行動傾向に照らし合わせて、実際にどの部分を改善することができるかを判断することができ、その判断を基に省エネ実施のための小目標を設定することができる。これらの見える化によって、利用者は設定した目標をどの程度実現することができるかを日々把握することができるようになる。

目標が達成できていない場合には、ソフト側でその原因の特定を支援するようなフローチャートを提供し、利用者が自らその詳細な原因を特定、対策を講じることができるような環境を提供する（図 5-5）。

そして、最後のステップでは、他の利用者との情報交換の場を提供するなどによって、積極的に省エネ活動に取り組みやすい環境の提供を行う。これは、具体的には、SNS（ソーシャルネットワークサービス）やブログなどを用いて、個々の利用者が実際に行っている省エネ取り組みをインターネット上に公開し、他の利用者達とその情報を共有することで、楽しみながら省エネ活動を遂行できる環境の整備で

ある。



(出展：グリーン東大工学部プロジェクト 見える化ソフト企画書)

図 5-4 見える化ソフトにおける 4つのステップ



(出展：グリーン東大工学部プロジェクト 見える化ソフト企画書)

図 5-5 見える化ソフトによる省エネ目標達成のための原因究明

最後に、見える化ソフト企画書で提案しているツールのサンプルデモ画面を図 5-6、図 5-7 と図 5-8 に示す。図 5-6 に示すとおり、ソフトのメイン画面では、ゲームニクスの応用により、ソフトの利用者が必要とする情報を直感的に取得可能となるような画面デザインの設計をしている。また、図 5-7 では、単純な消費電力量の情報だけではなく、1) 利用者が設定した目標値に対してどの程度目標が達成されたか、2) 金額や CO2 に換算すると実施した省エネ対策はどの程度効果を発揮して

いるか、などの付加情報を併せて表示する仕組みを提案している。図 5-8 では、物理的に近い距離で省エネ対策を遂行している他の利用者達とに日々の目標達成度合いを互いに共有することで、集団として省エネを遂行しやすい環境の提案を行っている。



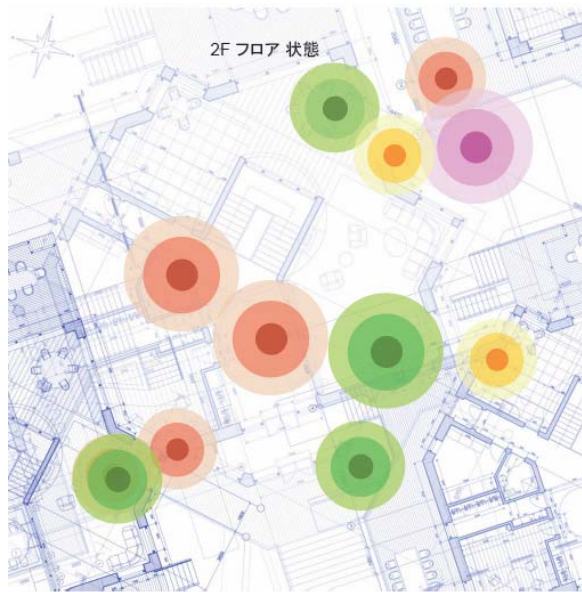
(出展：グリーン東大工学部プロジェクト 見える化ソフト企画書)

図 5-6 見える化ソフトのサンプルデモ画面（1）



(出展：グリーン東大工学部プロジェクト 見える化ソフト企画書)

図 5-7 見える化ソフトのサンプルデモ画面（2）



(出展：グリーン東大工学部プロジェクト 見える化ソフト企画書)

図 5-8 見える化ソフトのサンプルデモ画面（3）

来年度では、これらの要求を満たすソフトを実装し、実際に施設利用者に提供することで、施設利用者主体による省エネ活動を推進していく予定である。

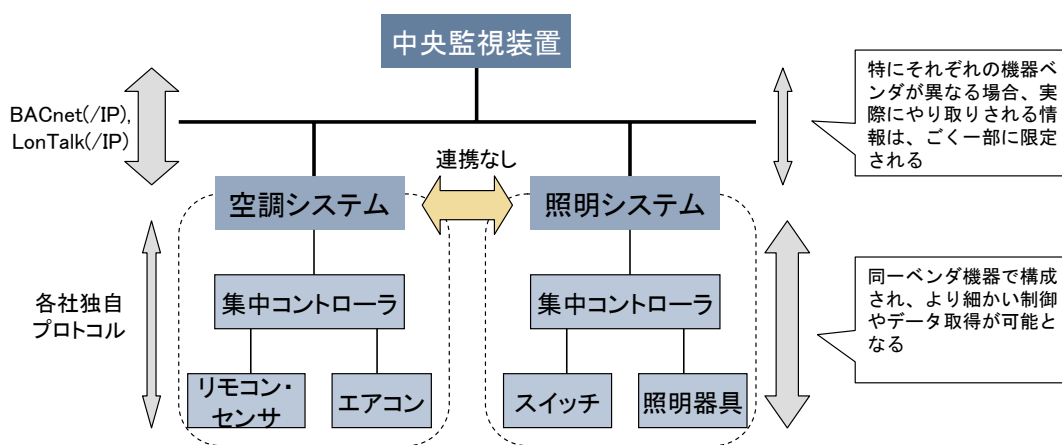
5.3 制御 WG の取り組み

本節では、まず実証実験環境である工学部新 2 号館に導入されているサブシステムを制御の観点から見た現状と課題の整理を行う。続いて、機器制御における減算の標準化技術及び、本プロジェクトが標準化技術策定のために導入しようとしている Live E! 技術に関して簡単に述べる。その後、標準化技術を利用した場合に、サブシステム管理に必要な要件を 1) 状況取得、2) 機器制御の二つに着目し整理し、最適なサブシステム制御実現のために必要な方策について議論する。最後に、本年度制御 WG で実施した活動を述べる。

1) 設備機器制御に関する現状と課題

(1) 現状

設備機器制御の現状は、照明、空調、100V 系などのサブシステム毎に各社のシステムが導入されている。必ずしも厳密に切り分けられるわけではないが、各社が採用している通信プロトコルのうち、上位側となる基幹系では、デファクト標準である BACnet²⁵や LonTalk²⁶が採用されているケースが増えてきている。一方、下位側となるフィールド系では、各社独自のプロトコルが採用されている事例がほとんどである。技術的課題や予算上の制約により、上位側の中央監視装置からの集中監視やデータ取得は、サブシステム内で実現できる機能・性能のごく一部に限定されてしまう。また、構築ベンダが異なる場合、サブシステム間は連携できておらず、それぞれに閉じられたシステムとして構築される傾向が強い（図 5-9）。



（出典：MRI 作成）

図 5-9 マルチベンダ間で連携できていないサブシステム

²⁵ 3.3 2) (2)参照

²⁶ 米国 Echelon 社が開発した分散制御ネットワーク技術 LonWorks で使われる通信プロトコル

(2) 課題

各サブシステム間で連携できていない原因の一つは、各社独自プロトコルの仕様が公開されていないためである。各社の知的財産保護や利用者への安全性確保のためという側面もあるが、この結果として他社の機器と接続できない、あるいは接続できた場合にも機能や性能が限定されてしまうという弊害をもたらすことになる。仕様がブラックボックス化されていることで、日常的なメンテナンスや不具合発生時の原因究明を各機器ベンダに依存しなければならず、価格競争によるコストダウンが進まない一因となる。

また BACnet や LonWorks といったデファクト標準は存在し、各社から準拠製品が製造・販売されているものの、実際のマルチベンダによる相互接続では問題が発生している。これは各社製品が準拠するデファクト標準に対して、仕様に対する解釈が異なる、あるいは各機器がサポートする（実装されている）範囲が異なることが原因である。その結果として、他社とのインターフェースの調整、エンジニアリング作業、検証作業などが発生するため、導入企業にとっては設計・導入時のコスト負担が増加することになる。一方、オープン化仕様およびマルチベンダによる設備管理システムをまとめられるインテグレータが存在しない点も大きな課題である。一般的な情報システムよりも確実な動作保証や安全性が求められるが、責任分界点が不明確であり性能検証が難しいという側面がある。

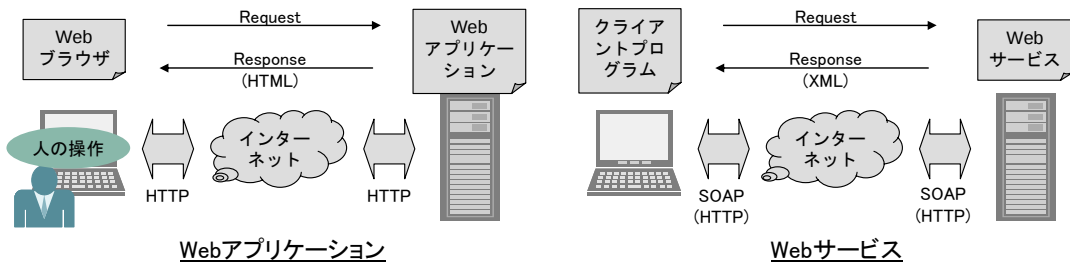
さらにリファレンスとなるドキュメント（仕様書・設計書）やガイドラインが存在しない点も大きな障壁となっている。実際の発注の現場では、システム全体としての機能仕様だけでなく、機能分担、性能仕様、プロトコルの運用仕様などを含む要求仕様の明確にすることが望ましいが、それを発注者側が指示できていないのが現状である。

以上に挙げた他に最も大きな課題として、特に初期コストの削減、高い安全性および信頼性、数十年単位の利用継続性が求められる点がある。

2) オープン仕様によるシステム間相互接続

(1) Web アプリケーションと Web サービス

人間が Web ブラウザを介してシステムを操作する従来型の操作形態に加えて、機器（プログラム）同士が自律的に連携して動作する Web サービス技術の活用が検討され始めている。従来型の Web アプリケーションと Web サービスとの比較を図 5-10 に示す。



(出典：MRI 作成)

図 5-10 Web アプリケーションと Web サービスとの違い

Web サービス技術をビル設備管理システムに適用することで、機器の操作に人の介在が不要となるため、以下のような利点が期待できる。

- 運用管理者の削減（省力化）
- アクティブ制御への対応（警報を聞いて人が対応する形態からの転換）
- 人的ミス（設定ミス、操作ミス）の低減
- プログラム／システム間連携が容易（管理点数が多い場合に有利）
- 取得したデータを再加工して利用するようなアプリケーションが実装可能

ビル制御に関して現在標準化が進められている Web サービスとしては、BACnet/WS²⁷と oBIX の 2 種類がある。続いてこれらの特徴について整理する。

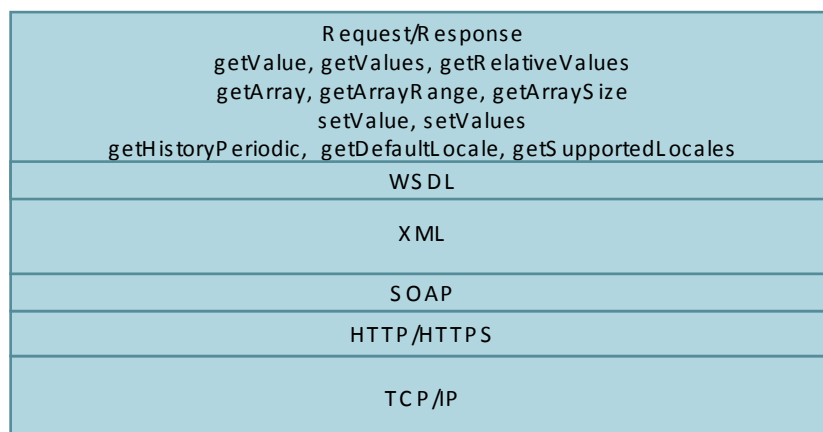
(2) BACnet/WS

BACnet は、ASHRAE（米国冷暖房空調学会）が 1995 年に規格化したビル設備システムの標準通信プロトコルである。現在はアメリカ国内の工業製品規格(ANSI)にもなり、ISO でも国際標準規格としても認定されている。国内では社団法人電気設備学会が 2000 年に使用を追加し、IEIEJ/p として制定している。

BACnet では、あらゆる情報をオブジェクトという形で定義し、オブジェクトへのアクセス方法やオブジェクトからの情報発信方法をサービスとして規定している。

BACnet/WS は、データモデルとサービスを定義することで、Web サービスインタフェースによる機器データへのアクセスサービスを実現している。BACnet/WS のアーキテクチャを図 5-11 に示す。

²⁷ A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Network / Web Service



(出典： グリーン東大工学部プロジェクト 制御 WG 資料)

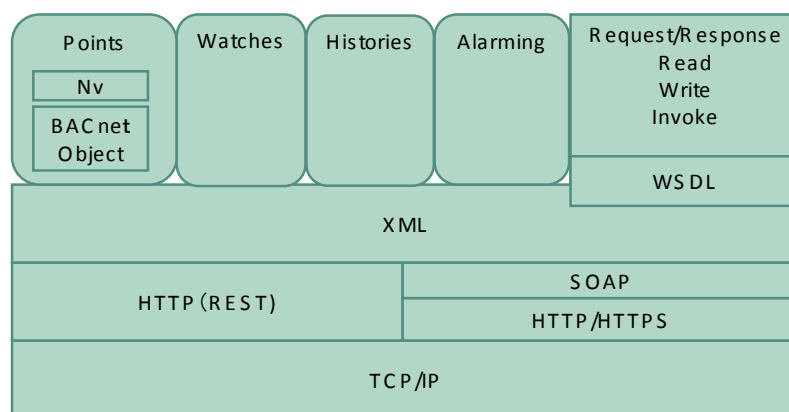
図 5-11 BACnet/WS のアーキテクチャ

(3) oBIX²⁸

oBIX は、ビル制御システムと企業情報システムとを Web サービスで連携させることを目指して制定された規格である。2003 年 4 月に CABA²⁹という標準化団体が XML/Web サービス・ガイドライン委員会を設置し、その後、国際コンソーシアムである OASIS³⁰の oBIX 技術委員会で策定された。

oBIX は、Web サービスを使って実装するクライアント・サーバーモデルであり、Request / Response に 3 つのタイプ (Read / Write / Invoke) が定義されている。

oBIX のアーキテクチャを図 5-12 に示す。



(出典： グリーン東大工学部プロジェクト 制御 WG 資料)

図 5-12 oBIX のアーキテクチャ

²⁸ Open Building Information. Exchange

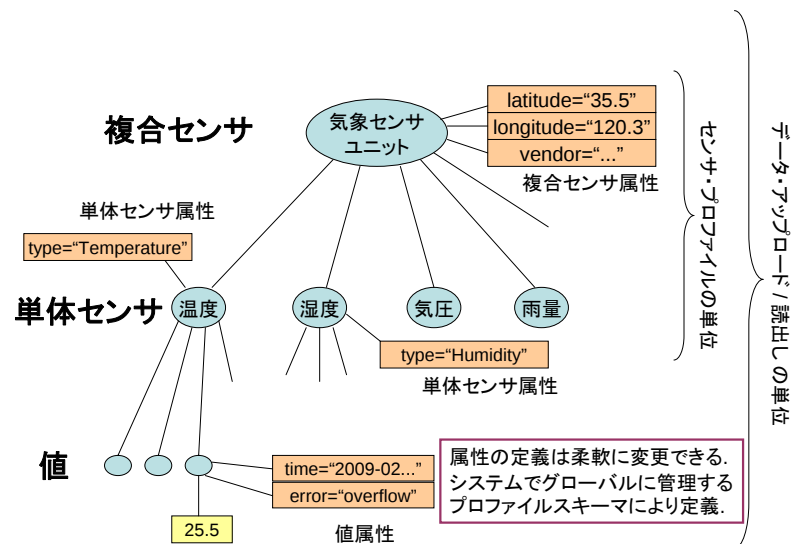
²⁹ Continental Automated Buildings Association

³⁰ Organization for the Advancement of Structured Information Standards

(4) Live E!³¹

Live E! プロジェクトは、2005 年 5 月、IPv6 普及・高度化推進協議会と WIDE プロジェクトが主体となり発足した、ソーシャルネットワーク型の環境情報共有プロジェクトである。同プロジェクトでは、気象センサ等を内包したデジタル百葉箱を世界中に展開し、そこから得られる環境情報をインターネット越しに人々が共有し合う社会基盤の構築を行っている。その性質上、デジタル百葉箱に含まれる各サブシステムは異なるベンダにより提供されている場合が多いため、同プロジェクトでは各サブシステムから得られるデータの表現形式の標準化を推進している。

Live-E! プロジェクトでは、図 5-13 に示すようにデジタル百葉箱そのものをはじめとして、全ての情報をオブジェクトという形で定義している。環境情報を利用するインターネット上の人々は、オブジェクトに付随するアトリビュート(属性)を指定して、必要な情報の取得を行うことができる。

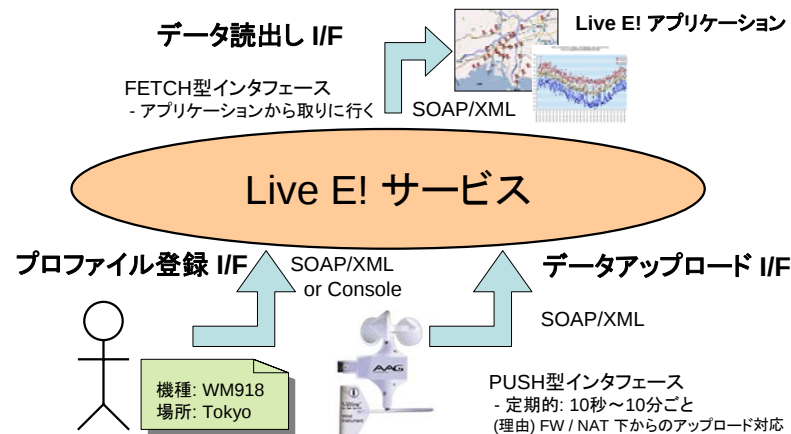


(出典： グリーン東大工学部プロジェクト 標準化 WG 準備委員会資料)

図 5-13 Live-E! におけるセンサオブジェクト構造

図 5-14 に Live-E! のアーキテクチャを示す。

³¹ <http://www.live-e.org>



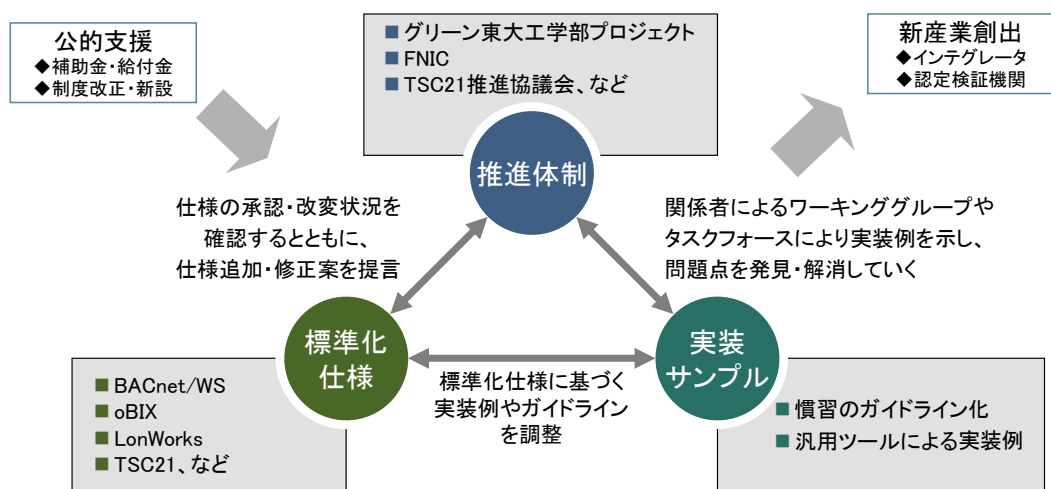
(出典： グリーン東大工学部プロジェクト 標準化 WG 準備委員会資料)

図 5-14 Live-E!のアーキテクチャ

3) 状況取得に関する必要要件

(1) システム間連携実現のための方策

状況取得に限らず、そもそもシステム間連携を実現するためにはまず何が必要かを考えると、標準化仕様が存在するだけでは現場への浸透・普及が進まない点を忘れてはならない。各ベンダの機器が相互接続できるかを実際の機器で検証してみる必要があるため、それを実施できる推進体制および全体スキームを構築することが重要である（図 5-15）。



(出典： MRI 作成)

図 5-15 システム間連携を実現するためのスキーム

次に、システム間連携を実現するための決めごととして、マルチベンダ間で各機器やシステムの状況を相互に取得できるようにするステップがある。これを進めるためには、参加するベンダ間で以下の項目をあらかじめ規定しておく必要がある。

- データ表現形式
- 階層型名前規則
- データ取得・提供形態
- データ取得・提供用 API

実際の現場で採用される通信プロトコルは、建物オーナーや担当ゼネコンの意向により決定される場合が多いため、特に規定を定めない。ただし、各ベンダの機器やシステムは、いずれかの標準化仕様に準拠している、あるいはアダプタなどにより対応可能な方策を持つべきものとする。

(2) データ表現形式

データ表現形式とは、`getValue(s)`, `read` などの関数により取得できる、運転状況や稼動実績の値を、どのように表現するかを規定するものである。例えば、動いているか／止まっているかの状態を表す表現として、以下のようなさまざまな表現例が、各ベンダの実装において見られる。さらにこれらの値が逆に適用されている可能性もあり得るため、事前にどの表現形式とするか統一しておく必要がある。

- 1/0、または 100.0/0.0
- ON/OFF、または On/Off、または In/Out
- True/False、または true/false、または T/F

ファシリティ・ネットワーク相互接続コンソーシアム (FNIC) の「Path URI の付け方等ガイドライン (案) 第 1 版」では、BACnet/WS の Canonical Forms を推奨し、このような値を「true/false」で表現することを明記している。oBIX でも「bool の値は true または false でなければならない」と規定されている。

また、数値を表現する場合の有効桁数 (小数点以下の桁数) の規定も必要である。これらはデータ項目の種別ごとに規定が必要であり、例えば、温度は 0.1 度、湿度は 0.01%、照度は整数ルクス、などのように決めておく必要がある。有効数字以下の数字の処理方法も、四捨五入／切り上げ／切り捨て／何もしないなどを規定しておくことで、大量のデータを計算・分析する際の誤差を最小化することにつながる。

さらに、使用可能な文字種、大文字／小文字の区別、漢字コード、最小／最大文字数、スペース (空白文字) の取り扱いなども規定しておく必要がある。

(3) 階層型名前規則

設置された多数の機器に対して各機器を特定するため、BACnet/WS では Path、oBIX では URI が用いられる。実用段階では、この Path や URI がベンダ間で統一されないと、各社機器／システム間の相互接続に支障を来すことになる。

まず必要とされるのが、各社の機器（接続される末端のデバイスレベルまで）が一意に特定される名前規則である。特に、複数のビルを対象とした群管理を行う場合を考慮して、異なるビルに同じ機器が設置されている場合にもその一意性が保証される必要がある。同じベンダが複数のビルを担当する場合、どのビルも同じ名称やアドレス体系で施工しているケースがあり、群管理する際にリネーム／リナンバリングが必要となる事態を避けるためにも、全世界での一意性確保が重要である。

次に必要とされるのが、限られた一部のメンバーのみが特定できるような名前規則である。例えばセキュリティ設備のように、厳重なアクセス制限を必要とする場合にも対応できるような工夫が必要となる。別途アプリケーションでアクセス制限をかけられる場合もあるが、これがかけられない場合や、不正アクセスにより破られた場合にも対処可能としておく必要がある。

3 つ目に必要とされるのが、利用用途が異なることを想定し、1 ポイントに対して複数の名称が付与できる名前規則である。製造メーカー別、設置エリア別、機能・役割別など、人間が管理・把握しやすい名前表現が必要とされる。

(4) データ提供形態

各機器から中央にあるデータベース・サーバーにデータを集約するためには、接続される末端のデバイスから、どのようにデータを取得・提供できるようにしておくべきか、を規定しておく必要がある。

これには、サーバーから能動的にデータを取得する場合（Pull 型）と、デバイスからデータを提供する場合（Push 型）の 2 通りの実装形態がある。各デバイスでどちらの実装を採用するかは、各ベンダの判断に委ねられるが、不具合の発生が深刻な問題をもたらすデバイスの場合は、動作警告用として Push 型の実装を必須とすべきである。各機器がどのパターンに対応しているか（しているべきか）は、設計時に各ベンダ間で明確にしておく必要がある。

(5) データ取得・提供用 API

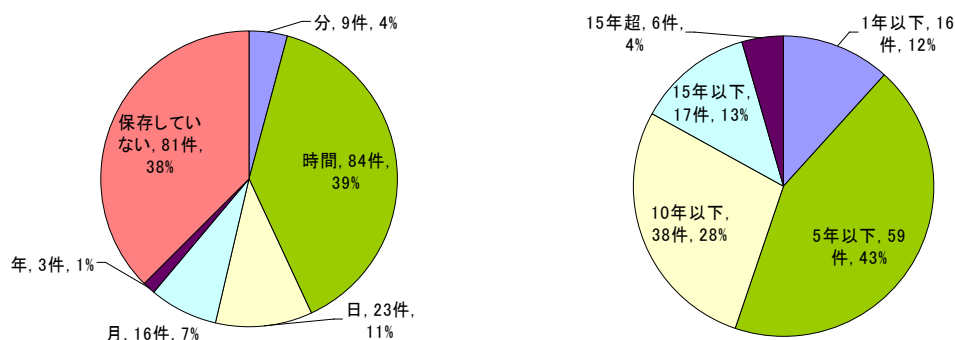
他ベンダの機器やサーバーとデータ（稼動状況を含む）をやり取りできるようにするための API(Application Program Interface)に関する必要要件を規定しておく必要がある。まず必須 API としては、以下の 3 つが挙げられる。

- `getValue(point_name)` : その測定ポイントの現在値を取得
- `putValue(value)` : その測定ポイントの現在値を提供
- `alert(status)` : その測定ポイントの状態を提供

次にオプション API としては、以下の 3 つが挙げられる。ただし、この 3 つに限定されるものではない。

- `getValues(point_name_1, point_name_2, …, point_name_N)`
: 複数のポイントの現在値を一括取得
- `getValuesAll(point_name_top)`
: あるポイント配下の機器の現在値を一括取得
- `getValues(point_name, time)`
: あるポイントの指定した時刻の値を取得

さらに、データ提供する際の時間間隔・応答時間やデータの保存期限についても、達成レベルを指標として規定しておくべきである。図 5-16 に示す NEDO の調査結果によると、BEMS データの管理実態としては、1 時間単位のデータ取得を行っている事業者が約 4 割を占める一方、保存していない事業者も約 4 割を占めている。データ保存期限は 1 年以上 5 年以下と回答した事業者が約 4 割を占めており、BEMS として一定期間のデータが保存されていることが読み取れる。



(出典: NEDO「BEMS 導入支援事業 事業成果紹介 2007」を基に MRI 作成)

図 5-16 BEMS データの管理実態

この実態を踏まえ、無駄を極力抑えるためには、より密度の高い計測データによる制御が必要であるため、表 5-3 にこれらの指標の例を示す。

表 5-3 データ提供に関する時間指標

	レベル A	レベル B	レベル C
時間間隔	1 分間隔	5 分間隔	15 分間隔
応答時間	0.5 秒未満	1 秒未満	5 秒未満
保存期限	10 年以上	6～10 年	3～5 年

(出典：MRI 作成)

4) 機器制御に関する必要要件

機器制御に関する必要要件は、データ表現形式および階層型名前規則については、「3) 状況取得に関する必要要件」と同様である。ただし、機器制御形態および機器制御 API については異なるため、この点について整理する。

(1) 制御形態

中央にあるデータベース・サーバーから各機器を一括制御できるように、接続されるコントローラや末端のデバイスが、どのように設定変更を受け入れられるか、を規定しておく必要がある。これには、サーバーから能動的にデータを設定する場合（Push 型）と、デバイスから設定情報を定期的に取得しに行く場合（Pull 型）の 2 通りの実装形態がある。各デバイスでどちらの実装を採用するかは、各ベンダの判断に委ねられる。

また、上位機器（データベース・サーバーおよびコントローラ）は、配下の機器に対する一括制御機能を必須とする。各機器がどのパターンに対応しているか（しているべきか）は、設計時に各ベンダ間で明確にしておく必要がある。

(2) 制御用 API

他ベンダの機器に、データを設定したり制御したりできるようにするための API に関する必要要件を規定しておく必要がある。まず必須 API としては、以下の 2 つが挙げられる。

- setValue(point_name, value)：その測定ポイントに値を設定（Push 型）
- setValue(point_name)：その測定ポイントに対する設定値を取得（Pull 型）

次にオプション API としては、以下の 2 つが挙げられる。ただし、この 2 つに限

定されるものではない。

- `setValues(point_name_1, point_name_2, … , point_name_N)`
: 複数のポイントに値を一括設定
- `setValuesAll(point_name_top)`
: あるポイント配下の機器にデータを一括設定

さらに、設定する際の時間間隔、応答時間についても、データ提供時と同様に達成レベルを指標として規定しておくべきである。表 5-4 にこれらの指標の例を示す。

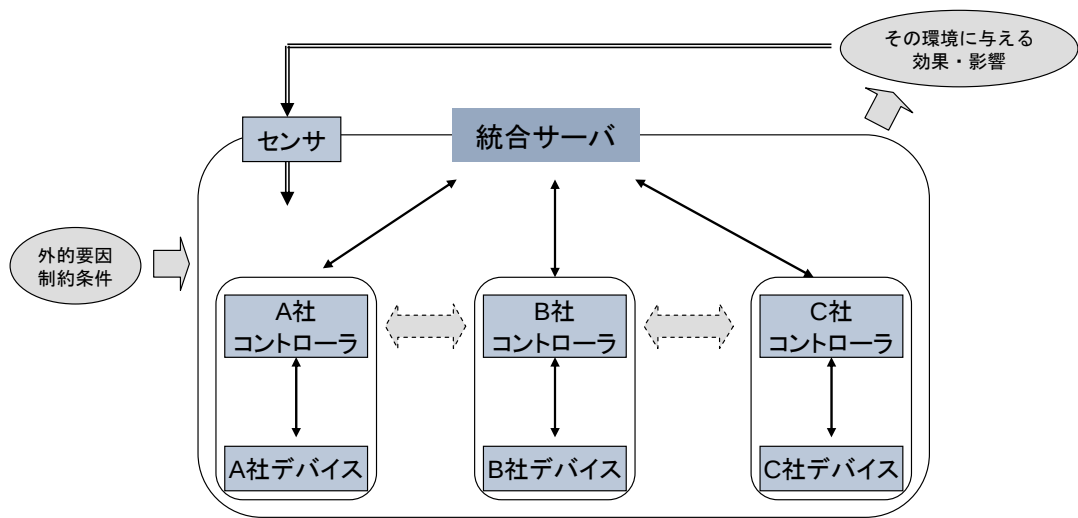
表 5-4 データ設定に関する時間指標

	レベル A	レベル B	レベル C
時間間隔	10 分間隔	30 分間隔	60 分間隔
応答時間	0.5 秒未満	1 秒未満	5 秒未満

(出典：MRI 作成)

5) 最適なサブシステム制御の実現方策

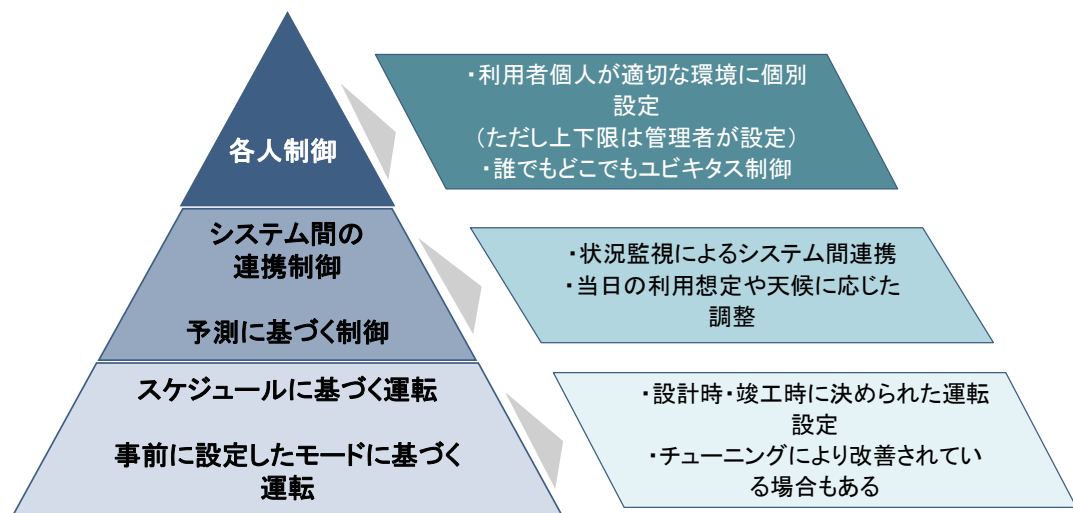
運転最適化の理想形としては各サブシステム間で相互連携を直接行えばよいが、その実現にはまだ時間を要するため、当面は統合サーバーがその連携を仲介するパターンとなる。具体的には、1 つの統合サーバーに対して各サブシステムの状況を集約し、統合サーバー内でシステム間の設定調整を行うことで、各システム間が連携制御しているように見える。さらに運転状況によってもたらされる周辺環境への効果・影響を、センサにより常にフィードバックし、最適環境に近づけるように自動制御することができれば、無駄を排除した運転最適化に近づけることができる(図 5-17)。



(出典：MRI 作成)

図 5-17 統合サーバーによるシステム間連携の仲介

その一方で、最適な運転制御により省エネルギー環境を実現するためには、無駄を最大限排除し、必要十分なエネルギー量での運転を如何に省力化して運用できるかである。システム間の連携制御だけではなく、予測に基づく制御や各人制御によりさらに運転・管理効率が向上し、全体としての最適化が実現可能となる(図 5-18)。



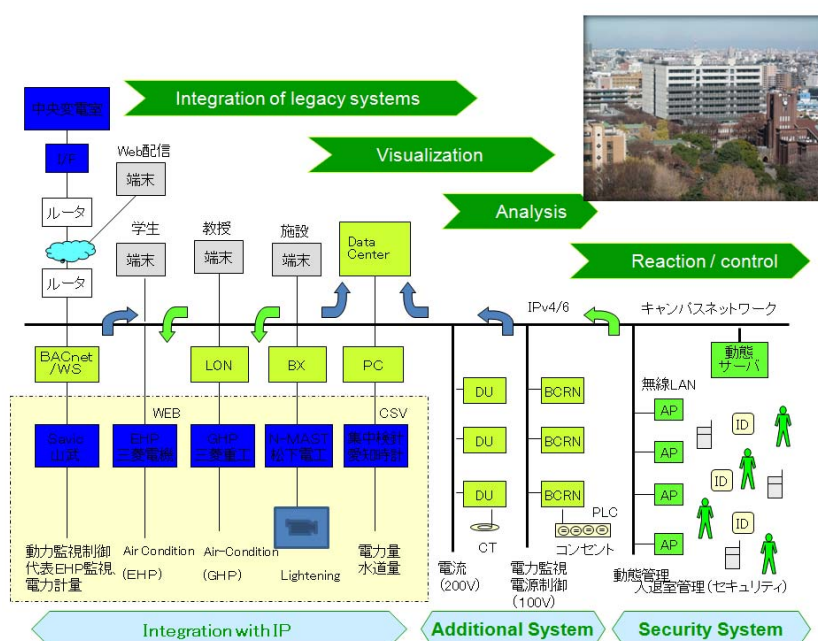
(出典：MRI 作成)

図 5-18 運転最適化実現のための方策

6) 本年度の取り組み

(1) サブシステム制御のための相互接続試験

図 5-19 に、本プロジェクトの実証実験対象である工学部新 2 号館のファシリティシステムの概要と、各サブシステムの統合化に向けた概要を示す。空調システムは、ガスヒートポンプシステム(三菱重工社製)、電気ヒートポンプ(三菱電機社製)、照明システム(パナソニック電工製)、動力電源供給システム、セキュリティシステム、ICT システムが、それぞれ個別の独自プロトコルを用いて実装・運用されている。制御 WG では、本年度、これらのシステムを IP ネットワークに接続し、ゲートウェイ装置を設置することで相互接続を実現する技術のプロトタイプ実装、及びその検証を行った。



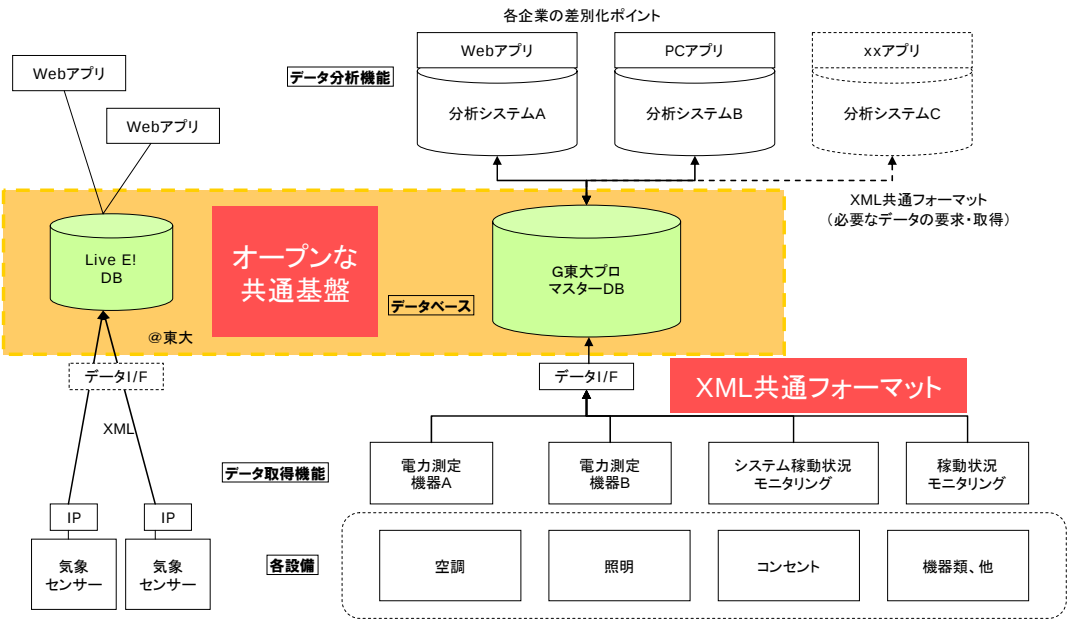
(出典：グリーン東大工学部プロジェクト 制御 WG 資料)

図 5-19. 工学部新 2 号館ファシリティ概要図

図 5-20 に、制御 WG において検討し、プロトタイプ実装したシステムの概要図を示す。相互接続の際には、標準化技術として BACnet/WS、oBIX、Live E! を採用し、各装置の表記は FNIC(ファシリティネットワーク相互接続コンソーシアム)で定義した表記手法で統一した。

相互接続実験は、(株)山武、(株)東芝、パナソニック(株)、パナソニック電工(株)、LONMARK Japan、Live E! プロジェクトの参加により行い、それぞれのサブシステム間通信に際し、検証した通信プロトコルは図 5-21 に示す通りである。また、

相互接続実験の際に BACnet/WS, oBIX ポイント表の一例を図 5-22 に示す。



(出典：グリーン東大工学部プロジェクト 見える化 WG 資料)

図 5-20 プロトコル概要図

サーバ	山武 B/WS	東芝 B/WS	パナソニック B/WS	パナソニック電工 B/WS	LonMarkJapan oBIX
クライアント					
Live-E B/WS	R	R	R	R	
Live-E oBIX					R
Exaquantum OPC B/WS	R W	R W	R	R W	
Exaquantum OPC oBIX					R W

試験項目 R:データ読み込み W:データ書き込み

(出典：グリーン東大工学部プロジェクト 制御 WG 資料)

図 5-21 相互接続試験検証項目

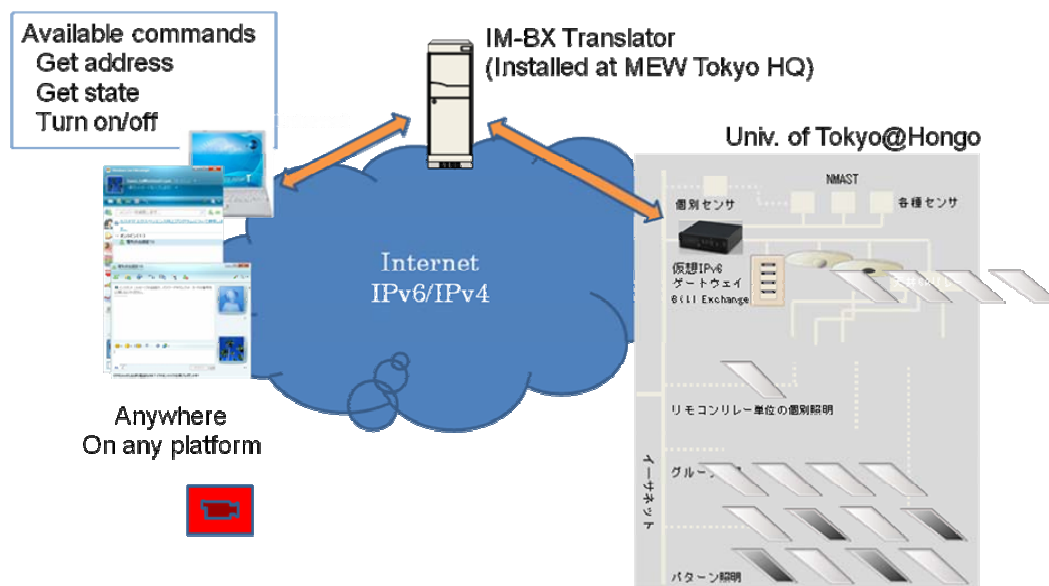


図 5-23 インスタントメッセージャーを用いた照明制御システム

このように制御 WG では、①機器間制御手法の検討、開発、②人・機器間制御手法の検討、開発を行うことで、グリーン東大工学部プロジェクトが推進する省エネ対策の技術的側面を支えている。

5.4 見える化 WG の取り組み

本節では、まず省エネ対策における「見える化」全般の現状と課題の整理を行う。次いで、「見える化」を目的とした場合のデータの分析・評価に関する必要要件、及び分析・評価結果の表示方法に関する必要要件の整理を行う。最後に、本年度実施した見える化 WG での活動を述べる。

1) 省エネ対策を目的とした「見える化」取り組みの現状と課題

(1) 現状

現在、広く一般に実施されている「見える化」の事例としては、以下のような工夫が見られる。さまざまな情報提供手段を活用して、利用者に対して、如何に知らせるか、気づかせるかを工夫している。

- 壁スイッチや共用部に、省エネ活動を促すポスターを掲示
- Web サイト上で、消費エネルギー量を提供
- 電子メール一斉送信（例：名古屋大学におけるデマンド制御協力）
- エコサイネージ
（入口や ELV ホールで大画面ディスプレイにより現在状況を表示）
- 館内放送での呼びかけ
- 大学新聞、広報誌での周知
- ワットメータ設置による待機電力・利用時間の削減運動

また各手段での見せ方としては、現時点の電力使用量や光熱費の単純な数値表示、グラフとしての表示、身近なものへの例え、前年／先月／昨日との比較などの手法が採用されている。

(2) 課題

このように「見える化」が進められている中で、さらに省エネ活動を推進するためには、「いつ、どこで、誰に、何を、どうやって、見せるべきか」、特に「誰に、何を、どうやって」見せるかに改善の余地がある。現状では、以下の 3 つの課題があると考えられる。

1 つ目の課題としては、「見えているつもりが実は見せられていない」という点である。何らかの手段により「見える化」を実施していても、実際には利用者にあまり見られていない可能性がある。

2 つ目の課題としては、「見せるべき情報が異なる（実質的な情報になっていない）」という点がある。この原因としては、以下の 6 点が考えられる。

- 総量は見せているが、棟別・フロア別・室別では見せられていない
(当事者意識の低下)
- 現状が見えるだけであり、自分の取った行動による結果が見えない
(達成感の欠落)
- 見せる側に見せられるリソース（コスト、ノウハウ）が不足している
- 使用量という単純な数値を見せているだけで、何らかの分析・評価した結果ではない
- 見せる人の属性が多岐に渡るため、それぞれに適切な見せ方ができていない
- 本当に見せるべき（見せて効果の高い）詳細データが計測できていない

3つ目の課題としては、「見て理解できていても実際の行動につながらない、継続しない」という点がある。この原因としては、以下の4点が考えられる。

- 納得感（腑に落ちる感覚）が得られない
(見ただけで終わってしまい行動が伴わない)
- 組織上の制約（締め付け）が少なく、当事者意識が低い（特に学生）
- 学生は、大学にとってのお客様（スポンサー）でもあるため、強制が難しい
- 行動を実施・継続し目標を達成しても、それに見合うだけのインセンティブが無い
- 一過性のプロジェクトとなり、PDCAの改善サイクルが回っていない

利用者の省エネ活動をさらに促進する「見える化」を実践するためには、これらの課題を解決した見せ方、伝え方が求められる。

2) 分析・評価に関する必要要件

(1) 分析に関する必要要件

まず前提として、分析・評価に必要となるデータはすべてデータベース・サーバーに集約できているものとする。具体的には、BEMSおよび他のシステムなどにより、以下の過去一定期間のデータがサーバーに蓄積できているものとする。

- 設備機器の運転状況
- 設備センサの取得データ
- エネルギーコスト（光熱費）
- 環境負荷（CO2 排出量）
- 自然環境（外気温、湿度、風向・風速、天候、太陽光・熱、時間帯、天気予報）

- 人工環境（利用人数、利用者属性、部屋属性、設置機器、スケジュール）

次に、分析を行うに当たっては「無駄」の定義が必要である。例えば、以下の観点での無駄の定義がある。定義するに当たっては、実際の利用者との合意に基づいて個別にベースラインを設定することが最も重要である。合意が得られなければ、利用者側に納得感および「腑に落ちた」感が伴わず、省エネ活動に対する協力が継続しないためである。

- 利用時間に基づいて定義される無駄
- 利用規模に基づいて定義される無駄
- ベンチマークに基づいて定義される無駄：過去／類似／トップとの比較
- ベースラインに基づいて定義される無駄：最低想定値との比較

また、緻密な分析を行えるだけのリソースも必要である。専門化のノウハウおよび予算が必要であることは言うまでも無いが、その他に、標準的分析手法・手順、各種データ（特に過去の実績および他者の実績）、集計機能を有するデータベース、さらに次のアクションに続く目的・目標がなければ改善サイクルは継続せず、一過性のプロジェクトで終わってしまう。

（2）評価に関する必要要件

評価に関する必要要件としては、既存基準において満たすべき項目とそのレベルを示す評価基準の策定がある。CASBEE³²および地域 CASBEE や、ビルエネルギー管理・評価システム（BAMS）といった評価基準が存在するため、これらを最大限に活用し、大学の活動特性を踏まえた評価基準を新たに整備する必要がある。

また、その評価基準に権威付け、義務付けを行うことも必要である。例えば、学長・総長による評価の完全実施および報告義務付け、基準に満たない大学への罰則規定（ペナルティ）および高評価を納めた大学への褒賞制度（インセンティブ）などが考えられる。

さらに、評価スキームとして体制を確立する点も重要である。自己評価の場合、その算定基準やランク設定が曖昧となり公正な評価が難しくなるため、第三者機関による公正評価（審査・監査）制度や、その普及・促進も併せて検討する必要がある。

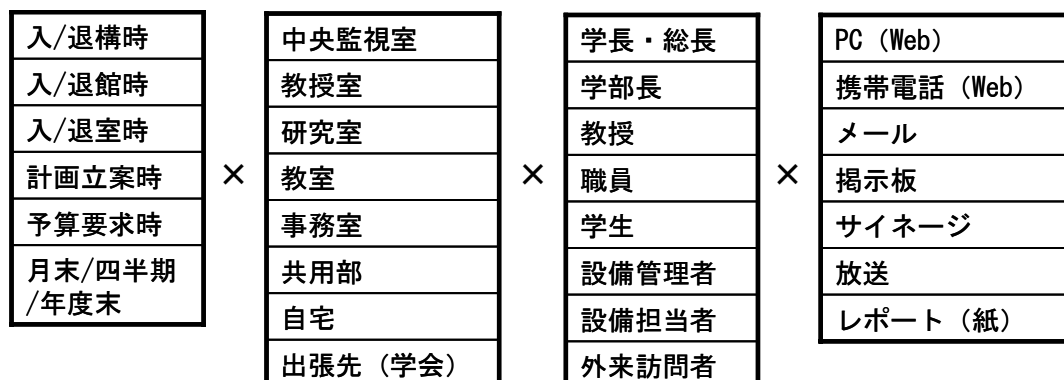
³² Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency

3) 表示形態に関する必要要件

(1) 表示する方法に関する必要要件

例えば「電気のスイッチを消そう」「エレベータではなく階段を使おう」のような、省エネは重要というスタンスではなく、成果を淡々と示す方が効果的であるという理論もある（フィードバック法）。「何々をしろ」と直接的に言われるよりも、単に客観的な数値を見せられた方が押し付けられたという感覚が減って行動に結びつきやすいためである。さらに無理に見せるよりも、ふと眼に入る工夫や一部だけを切り取って見せるなどの工夫をした方が高い効果を示す場合もある。

また、見せる人それぞれに適した見せ方ができることも重要である。見る人それぞれに立場があり、また興味・関心を持つテーマも異なるため、一元的な見せ方だけでは全体としての省エネ活動につながらない。いつ、どこで、誰に、どうやって見せるかを考慮し、図 5-24 の組み合わせで表示できる必要がある。



(出典：MRI 作成)

図 5-24 見せ方の組み合わせ

(2) 表示する情報に関する必要要件

どのような見せ方をすべきかのもう一つの側面として、どのような情報を表示すべきか、という点については、以下の4点を考慮すべきである。

- 単純な使用量（絶対値）ではなく、無駄と判定された部分を見せられること
- 身近なものに例えて表現できること
- 現状が「見える」よりも、自分の取った行動による結果が「見える」こと
- 合計値や積分値ではなく、より細かい単位の個別値を見せられること

まず絶対値を示すだけでは、その数値の相対価値（どの程度多いものなのか）が判断できない。定義した無駄の基準を基に、正しく無駄と判定された部分だけを示

することができないと、見せた効果が低くなってしまう。

2 点目の「身近なものに例える表現」とは、各利用者の（事前に登録した）属性や興味・関心のあるテーマでの見せ方ができることである。例えば、電気代でいくら、携帯電話の通話で何分、ガソリン何リットル分など、その価値をわかりやすくするために必要な方策である。

3 点目の見せ方は、利用者のモチベーションが喚起され、その行動の継続実行が期待できるため、その効果も高くなると期待できる。ただし、見えた結果が利用者の期待を下回る場合は逆に作用し、行動が持続しない危険性もある。

4 点目の見せ方は、利用者自身が取った行動の結果が反映されやすくなるため、当事者意識が高まるとともに、他者との競争心が芽生えるため、効果があると考えられる。

4) 本年度の取り組み

本年度、見える化 WG では、主に現状におけるエネルギー消費量の把握・見える化を活動の中心に据え活動を行ってきた。また、制御 WG との共同作業により、任意のベンダのサブシステムから得られる計測データを自由に「見える化」することができるよう、取得データの共通仕様策定に向けた議論を行ってきた。ここでは、「見える化」を実現するために導入・試作した技術について述べる。

(1) 非接触センサによる電力消費量測定・可視化

図 5-25 に、シムックス㈱の協力により運用している、電力使用量の非接触センサによるリアルタイムモニタリングシステム (ESP Dragon)³³ の管理画面とセンサノードを示す。同システムにより、遠隔からリアルタイムに工学部新 2 号館の電力消費量を監視することが可能となっている。

ESP Dragon では、電力消費量を基に電力料金、CO2 排出量、浪費していると考えられる電力量を算出し、それらの付加的情報を利用者に対して提供している。可視化する情報は、規模スケールでは施設、部門、グループ、機器のオーダーで、時間軸では月、日、時のオーダーで取得することが可能である。それらの情報は全ての組み合わせで提供されているわけではなく、情報を見る人の属性（例えば、施設レベルであれば施設管理者、機器レベルであればその機器利用者）に応じて、最適な情報が提供されるように設計されている。つまり、施設管理者にとってみれば、細かい粒度での計測データは必要ではなく、毎月どの程度实际的に課金が発生しているか、季節的な変動はどのようにになっているかを把握することができれば十分である。一方で、細かい機器、もしくは居室の利用者にとっては、日々の行動の細かい積み重ねがどのように無駄な電力消費に繋がっているかを知ることが重要であり、

³³ http://www.cimx.co.jp/01_products/espdragon/0_espdragon_001.htm

その観点に立てば、細かい時間粒度での可視化が必要なのは自明である。ESP Dragon では、そうした点を考慮して可視化システムが設計されており、利用者の形態に合った情報提供手段の実証的検討が行われている。



(出典：東大グリーン工学部プロジェクト 制御 WG 資料)

図 5-25. 電力使用量リアルタイムモニタシステム

同システムは、非接触センサを用いているため電力計測を行う際に既存サブシステムに対して改変を加える必要がなく、既設設備への導入が容易であるという利点が存在している。

(2) タッチパネルによる電力使用量の見える化

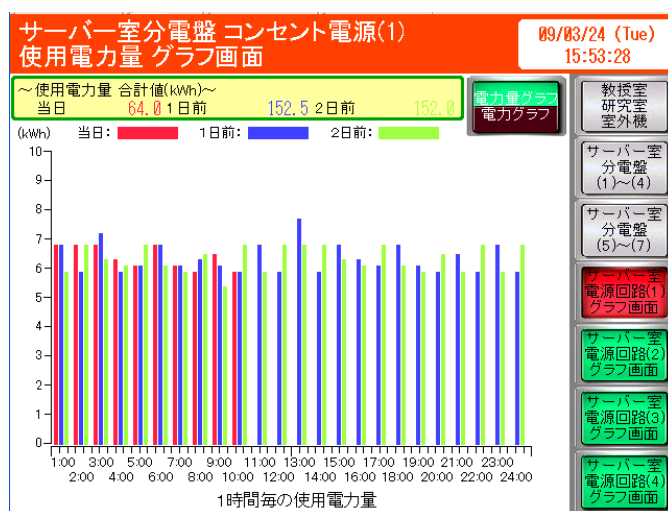
㈱デジタルと渡辺電機工業㈱主導の下、日々の電力使用量の変化をより直感的に利用者に把握させるための試みとして、タッチパネルを用いた「見える化」実験を進行している。

既に述べたとおり、「見える化」を行う際には単に情報を可視化しただけでは、利用者の改善意欲を促進することはできない。また、利用者に対して週や月という長い時間単位で情報を可視化したとしても、具体的にどの部分を改善すればよいかということは明示的ではなく、改善意欲を促進することはできないであろうというのは前節で述べたとおりである。

タッチパネルを利用した電力使用量の「見える化」実験では、上記の課題を解決し、利用者にとって改善意欲を促進することのできるような仕組みの研究・開発を

行っている。図 5-26 及び図 5-27 に、現在同実験で検討・実装されている「見える化」手法の一例を示す³⁴。図 5-26、図 5-27 とともに、現在と高々1～2 日前との電力使用量との比較を「見える化」することで、利用者に意識改善を促すことを目的としている。

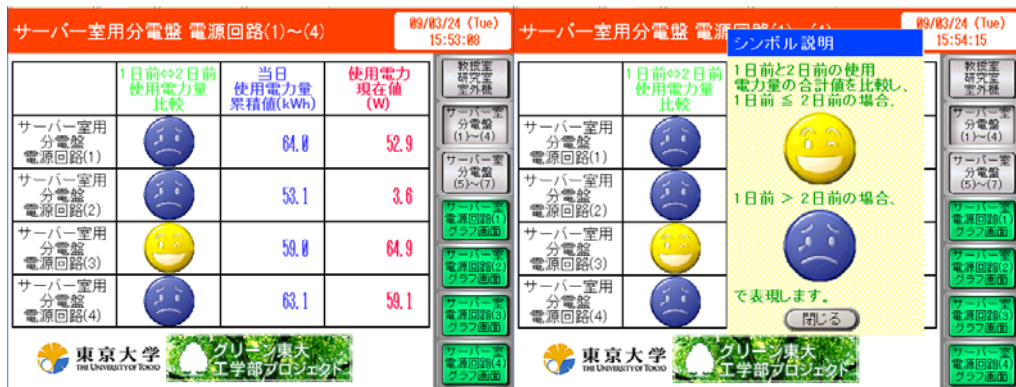
図 5-26 では、ある任意の日において、当日とその 1、2 日前の電力使用量を 1 時間毎に「見える化」しており、過去数日間において効率的な電力使用をしていた日を時間単位で把握することが可能となっている。また、図 5-27 では、図に示すとおり、ある任意の日において 1 日前と 2 日前の電力使用量の差からどちらの方が効率的な電力使用をしていたかを顔の表情で表現しており、その結果を基に当日はどのような電力利用を心掛ければよいかの指針を与えている。



(出典：東大グリーン工学部プロジェクト 見える化 WG 資料)

図 5-26 タッチパネルによる省エネ効果の見える化（例 1）

³⁴現在、タッチパネルを利用した電力使用量の可視化は、試作機を作成している段階であり、上記の図 5-27 及び図 5-26 は工学部 2 号館の実際の電力使用量を反映しているわけではない。



(出典：東大グリーン工学部プロジェクト 見える化 WG 資料)

図 5-27 タッチパネルによる省エネ効果の見える化 (例 2)

見える化 WG では、利用者に省エネ対策による効果を実感してもらえるような情報の可視化実現を目指しており、本年度は、現在取得可能なデータを利用し、「見える化」を行ってきた。来年度以降は、制御 WG との協調作業により、データの取得に関する技術の標準化を推進していく予定である。また、利用者が「やりたくなる」省エネをするためにどのような可視化が必要となっていくか、実証実験を通して検証していく予定である。

5.5 実証実験 WG

1) 本プロジェクトにおける実証実験の位置づけ

実証実験 WG では、制御 WG や見える化 WG が開発・実装してきたシステムを実証実験フィールドである工学部新 2 号館に導入し、その効果を検証することを目的としている。つまり、実証実験 WG の果たすべき役割としては、コンセプト WG が提唱し、制御 WG、見える化 WG が研究開発を行っている省エネ対策技術が、実際のどの程度効果のあるものであるかの検証、そこから洗い出される課題のフィードバックが挙げられる。また、本プロジェクトで研究開発した仕組みの検証だけでなく、既存の省エネ対策技術がどの程度効果的であるかの検証も実証実験 WG の活動範囲である。

2) 本年度の取り組み

本年度はプロジェクトの活動初年度であり、各 WG がプロトタイプシステムの実装・開発を行っている段階であることから、省エネ対策技術として既に提案されている技術が実際にどの程度効果的であるかの検証に重点を置き、活動を行ってきた。具体的には、以下に述べる二つの取り組みを行ってきた。

1. コンピュータやネットワーク装置など機器レベルにおける省エネ技術の研究・開発。

工学部新 2 号館内の研究室を実証実験環境とし、設置されている既設機器の現状におけるエネルギー消費分析や、トップランナー機器への交換によるエネルギー効率化の検証を行った。

2. サーバー室や居室といった空間レベルにおける省エネ技術の研究・開発。

工学部新 2 号館内の研究室を対象とした、人感センサを用いた利用者の動態管理に基づくエネルギー効率化実験を行った。また、同館内のサーバー室を実証実験環境とし、室内の温度分布を細密に測定するための技術開発、及び測定結果を基にした空調操作技術の検討を行った。

(1) 機器を対象とした実証実験

① トップランナー機器導入による省エネ実験

図 5-2 に示したように、現在広く導入されている省エネ対策技術として、機器単位あたりのエネルギー消費量削減を目的とした既設機器のトップランナー機器への交換が挙げられる。

実証実験フィールドである工学部新 2 号館には、基幹ネットワーク用装置が数多く配置されており（図 5-28）、これらのネットワーク機器をトップランナー機器へと変更した場合にどの程度の省エネ効果を得ることができるかの実証検証を行った。

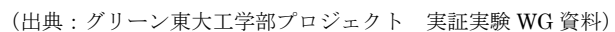
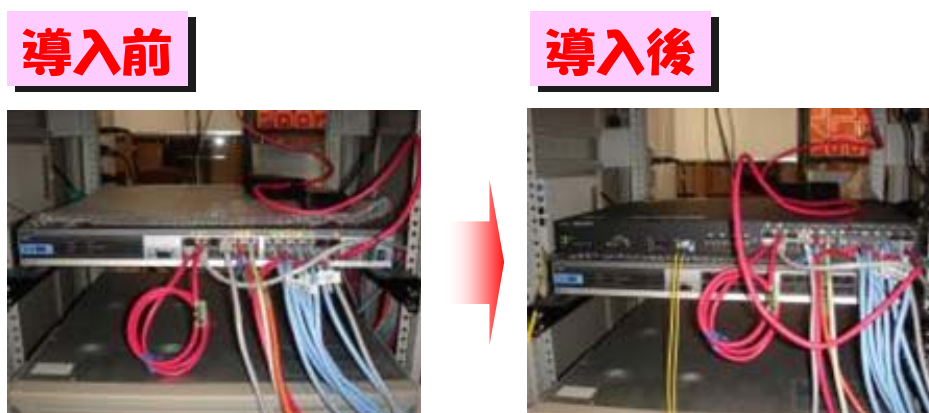


図 5-28 で示した基幹ネットワーク用装置を一度に全て交換することは運用の観点から困難が伴うため、本実証実験では工学部新 2 号館内の研究室に既設されていた 1 台のネットワークスイッチを日本電気株製の IP 8800³⁵ へと交換することでそ

93

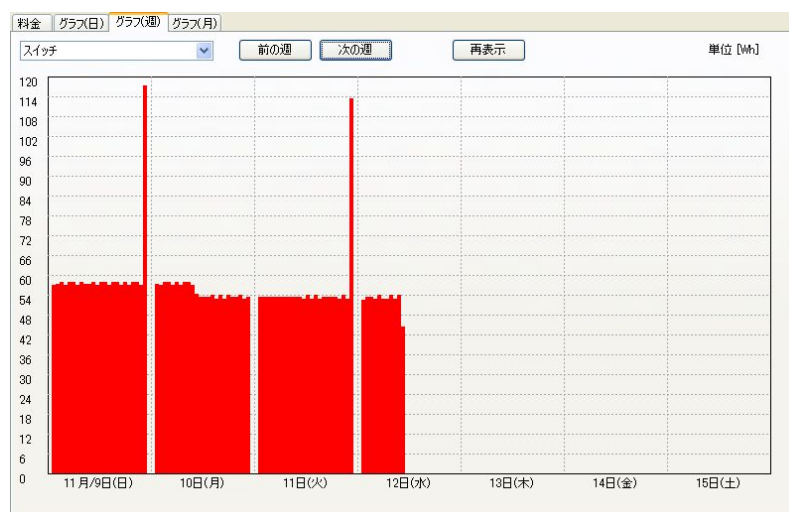
の省エネ効果の検証を行った。導入前後の機器構成を図 5-29 に示す。



(出典：東大グリーン工学部プロジェクト 実証実験 WG 資料)

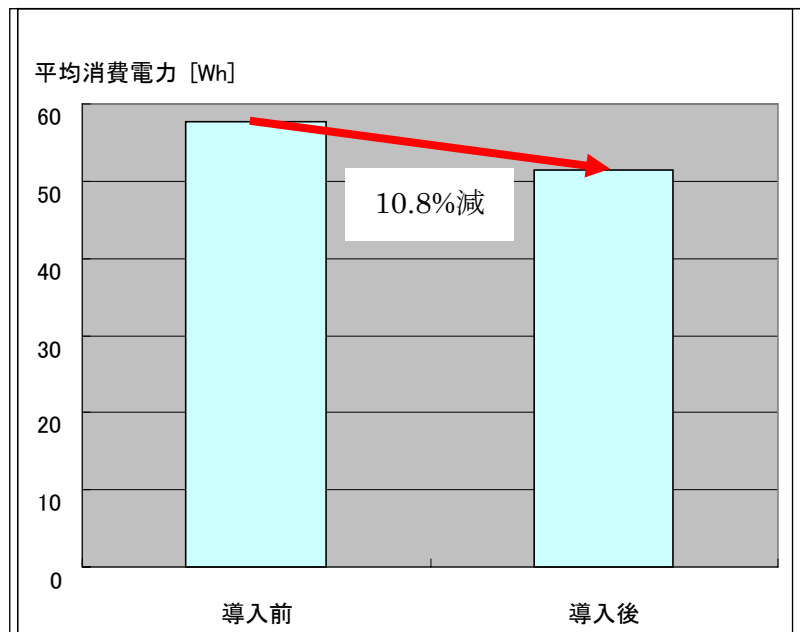
図 5-29 トップランナー機器の導入

図 5-30、図 5-31 にトップランナー機器導入前後における電力消費量の差異を示す。図 5-30 は、後述する PLC 技術を利用した電力消費量測定・可視化システムを利用し測定した消費電力量の実測値である。図から明らかな通り、11 月 10 日（機器交換日）のある時刻において消費電力量が削減されているのがわかる。図 5-31 は、機器交換前後においてそれぞれ 72 時間分の電力消費量を平均したものである。



(出典：東大グリーン工学部プロジェクト 実証実験 WG 資料)

図 5-30 トップランナー機器導入による消費電力量削減事例（実測値）



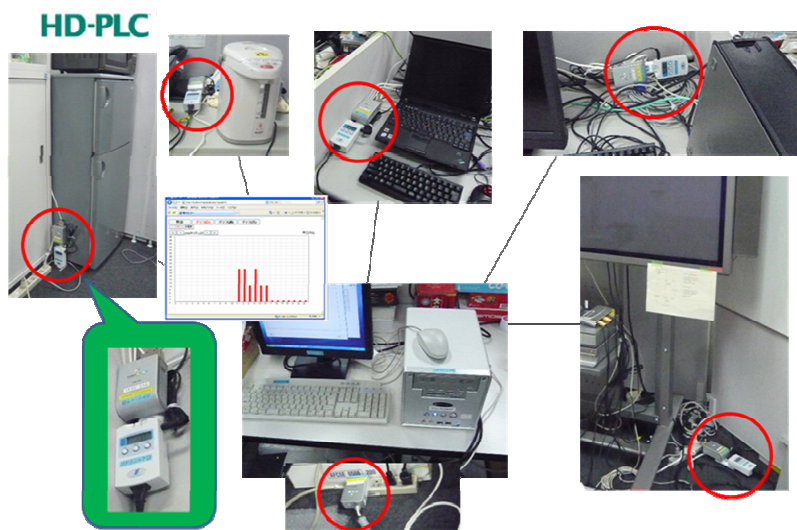
(出典：東大グリーン工学部プロジェクト 実証実験 WG 資料を基に MRI 作成)

図 5-31 トップランナー機器導入による消費電力削減事例（平均値）

以上の実証実験から、工学部新 2 号館における既設機器のトップランナー機器への交換は省エネ対策として有効であることが明らかとなった。実証実験 WG では、来年度以降、工学部新 2 号館に設置されているネットワーク機器を段階的にトップランナー機器へ更新することで建物全体での省エネ実現を促進していく予定である。

② PLC 技術を利用した電力消費量測定・可視化

PLC(Power Line Communication)技術を用いた、情報家電のオンライン監視管理システムを図 5-32、図 5-33 に示す。同システムでは、既存の電源タップに増設する形でワットメータを接続し、その電源タップを利用している機器の消費電力量を総計地として計測する。ワットメータは、パナソニック(株)により試作された PLC と接続しており、ワットメータで取得された消費電力量は PLC を介して計測サーバーへアップロードされる。計測サーバーではその情報を図 5-32 に示すように可視化している。



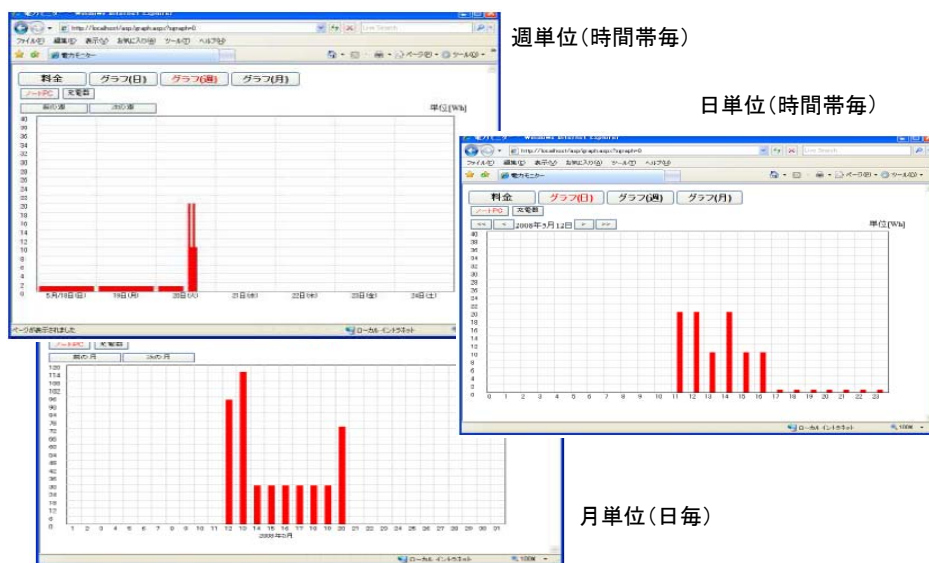
(出典：東大グリーン工学部プロジェクト 制御 WG 資料)

図 5-32. PLC 技術を用いた情報家電機器のモニタリング



(出典：東大グリーン工学部プロジェクト 制御 WG 資料)

図 5-33 PLC 技術を用いた電力測定システムの詳細



(出典：東大グリーン工学部プロジェクト 制御 WG 資料)

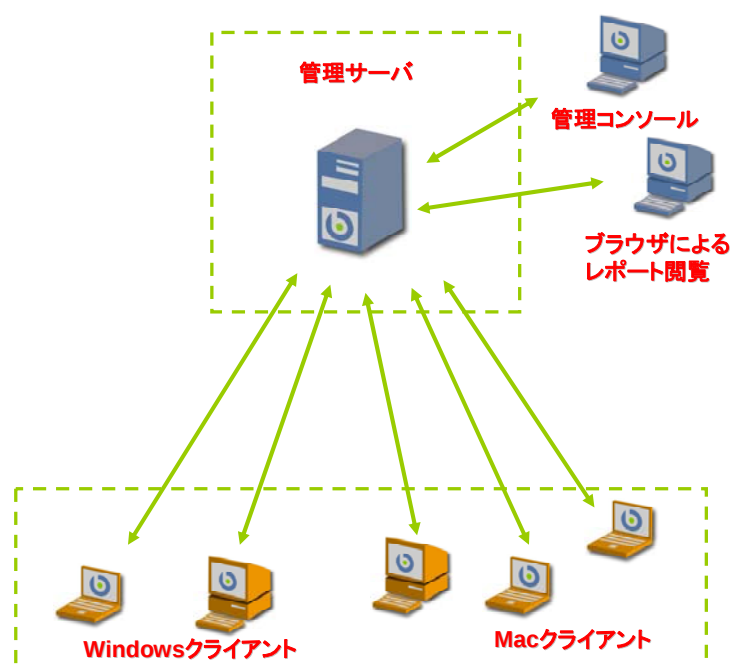
図 5-34 PLC 技術を用いた電力モニタリングの実例

③ コンピュータ機器を対象とした電力測定実験

実証実験環境である工学部新 2 号館は、既に述べてきた通り総合教育研究棟であり、コンピュータ機器を数多く利用する情報学系研究科の研究拠点となっている。また、同棟で講義を受ける学生の多くはラップトップ PC を講義中利用している。これらを考慮すれば、同棟で利用されているコンピュータの数は数百～数千に達すると考えられ、これらが現状でどの程度の電力を消費しているかを把握することは、今後の省エネ対策実施の観点から必須であると考えられる。

そこで、現状におけるコンピュータの電力消費量測定のため、三菱商事㈱の協力の下、BigFix³⁶を導入した。図 5-35 に BigFix の動作概念図を示す。BigFix ではデータ蓄積、Web レポート表示のための管理サーバーが用意されている。BigFix の管理対象となるコンピュータは、専用のソフトウェアをインストールすることで管理サーバーとの紐付けがなされる。個々のコンピュータは、ソフトウェアを介して機器の情報や現在の利用状況を管理サーバーに対してアップロードを行う。管理サーバーでは得られた情報を分析し、管理者・利用者が省エネ対策を実施する際にその補助となる情報の提供を行う。

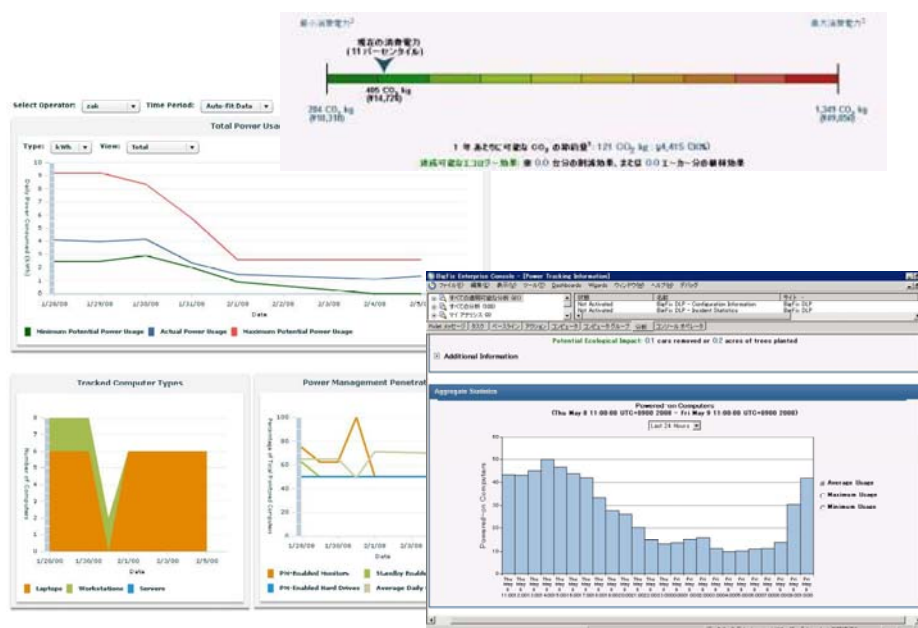
³⁶ <http://www.mc-security.jp/bigfix/>



(出典：東大グリーン工学部プロジェクト ステアリング委員会資料)

図 5-35 BigFix による研究室内電源管理システム

BigFix では、計測対象である個々のコンピュータの電力使用状況を定量的に「見える化」することにより、効果と業務効率のバランスに配慮した省エネ対策の実現を目指しており、その対象には管理対象のコンピュータの消費電力量、電源オン/オフ状況、電力消費量と削減余地の概算などが含まれている（図 5-36）。



(出典：東大グリーン工学部プロジェクト 実証実験 WG 資料)

図 5-36 BigFix によるコンピュータ電力測定

本実証実験は、現在は工学部新 2 号館内の一つの研究室を対象に行っている段階であり、来年度以降学科規模での展開を行う予定である。

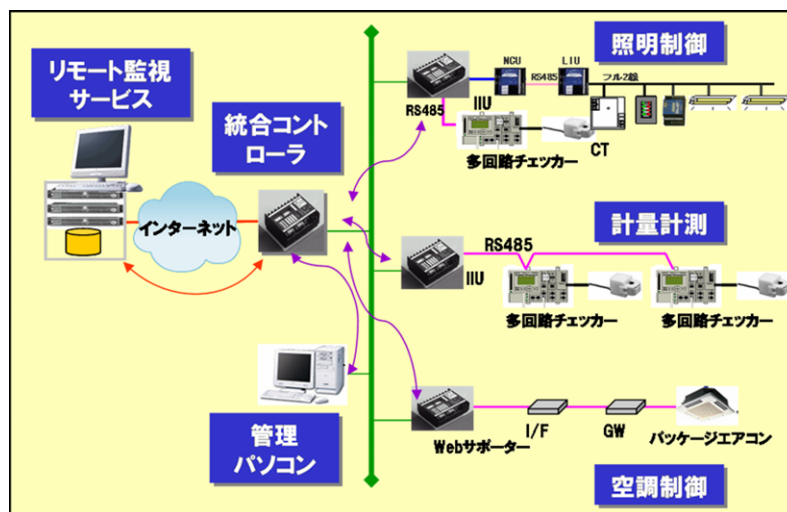
(2) 空間を対象とした実証実験

① 居室・講義室を対象とした住人の動態管理に基づく機器制御実証実験

前節で述べたとおり、工学部新 2 号館は情報学系研究科の研究拠点となっており、研究活動が行われている研究室が多数存在している。しかしながら、研究室の住人である学生達の活動は、4.3 の工学部新 2 号館におけるエネルギー消費の現状において述べたとおり、パターン化されておらず、そのエネルギー消費は効率的なものとなっていないのが現状である。

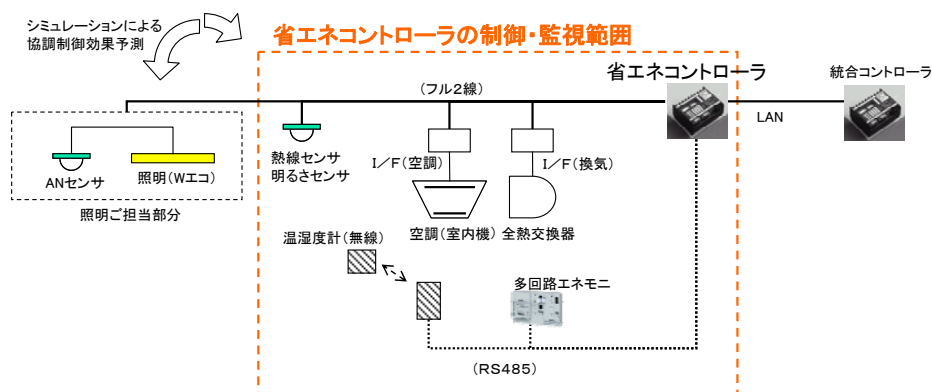
そこで、実証実験 WG では、見える化 WG と共同で、(株)ユビテック、パナソニック電工(株)、シスコシステムズ合同会社主導の下、図 5-37 に示すシステムを構築した。同システムは、図に示すとおり、空調制御、軽量計測、照明制御ユニットを管理する統合コントローラ、管理パソコン、リモート監視サービスから構成され、人感センサを用いて住人の動態管理を行うことで、効率的な照明制御や空調制御の実現を目指している。図 5-38 に示すシステムを実際に研究室に設置することで現在実証実験を行っている。具体的には、設置した熱線（人感）センサにより利用者の際室状況を管理し、その情報に基づき照明や空調設備の電源管理を行っている。照

明や空調設備といった機器は、熱線センサから得られる信号を共有しており、センサの情報を基に機器の一元管理が可能となっている。また、温度・湿度センサと組み合わせることで省エネを行いつつ、最適な温度設定を実現することの可能な機構の提供を行っている。現在、同システムを工学部新2号館の教授室や研究室で稼働させて、その効果測定を行っている。これにより得られる消費電力の削減量を今後より詳細に分析していく予定である。



(出典：グリーン東大工学部プロジェクト 制御 WG 資料)

図 5-37 人感センサを用いた照明機器管理システム

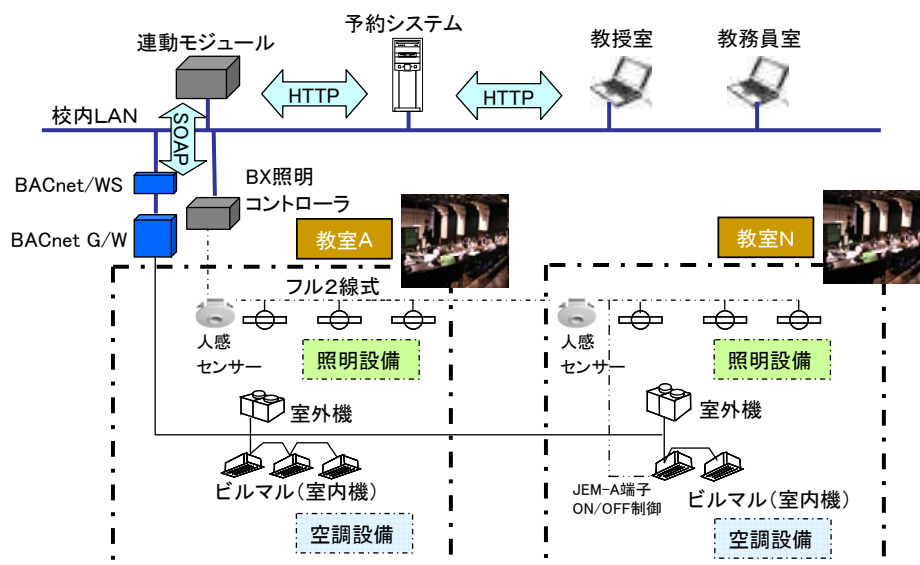


(出典：グリーン東大工学部プロジェクト 制御 WG 資料)

図 5-38 研究室における人感センサを用いた動態管理システム

本年度は熱線センサによる住人の動態管理情報に基づいてのみ、照明・空調設備の制御を行ってきたが、来年度は同システムを設備利用予約情報と連動させること

で更なる省エネ効果の実現を目指していく予定である。既存の制御ユニットと設備利用予約情報を連動させることにより、利用されていない設備の稼動を停止や予約情報に基づく空調設備の事前稼動などが可能になると考えられる（図 5-39）。



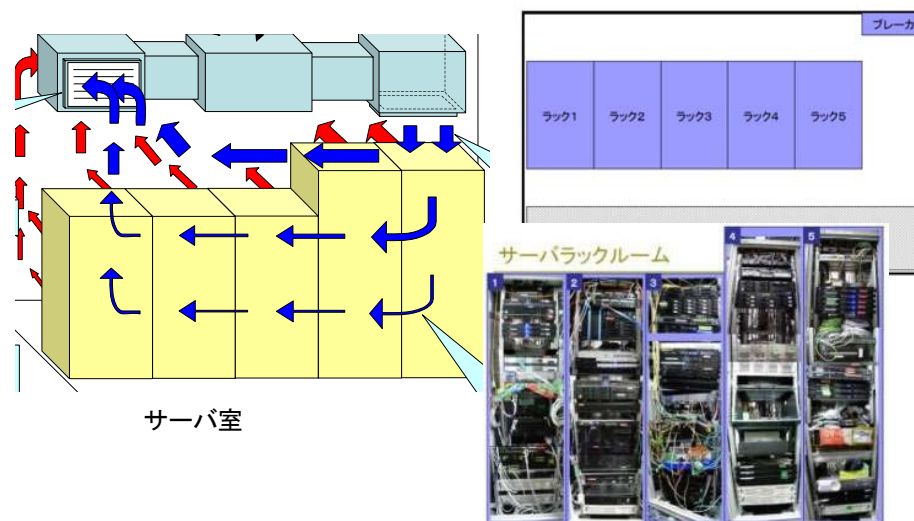
（出典：グリーン東大工学部プロジェクト 制御 WG 資料）

図 5-39 講義スケジュール連動型省エネシステム

② サーバー室を対象とした気流分析に基づくエネルギー効率化実証実験

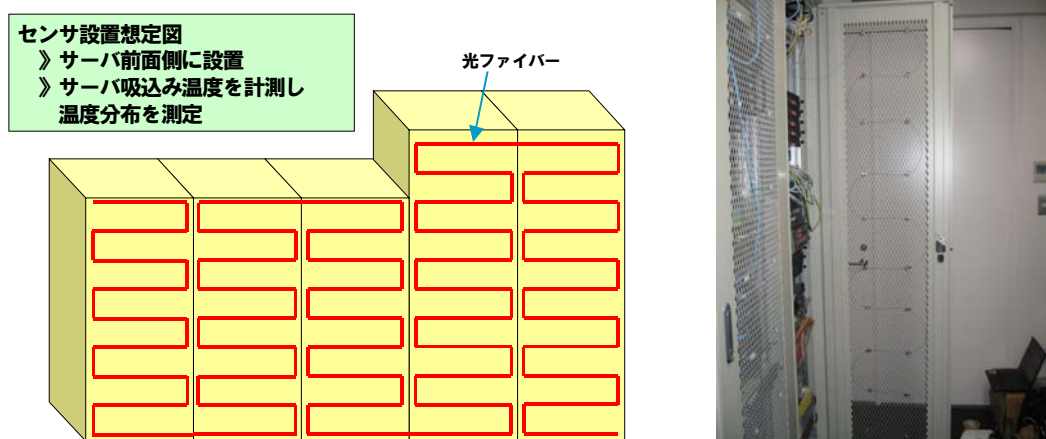
工学部新 2 号館内には数百台規模のコンピュータが設置されているサーバー室が複数存在している。サーバー室に設置されている機器の大部分は研究目的で利用されており、その多くは 24 時間 365 日稼動し続けているため、サーバー室に設置されている空調システムも室内の温度・湿度を一定に保つよう常時稼動している。

しかしながら、サーバー室の空調システムは必ずしも室内に設置されるラック（サーバー設置棚）の場所を考慮して設計されていないため、効率的な空調管理が実現できていないことが推定される（図 5-40）。そこで実証実験 WG では、横河電機㈱主導の下、ラック内部に光ファイバセンサを設置し、ラック内部の温度分布測定するシステムの導入を行った（図 5-41）。光ファイバセンサは、最小 10cm 間隔で計測を行うことができ、ラック内の温度分布を細かい粒度で把握することが可能である。



(出典：東大グリーン工学部プロジェクト 実証実験 WG 資料)

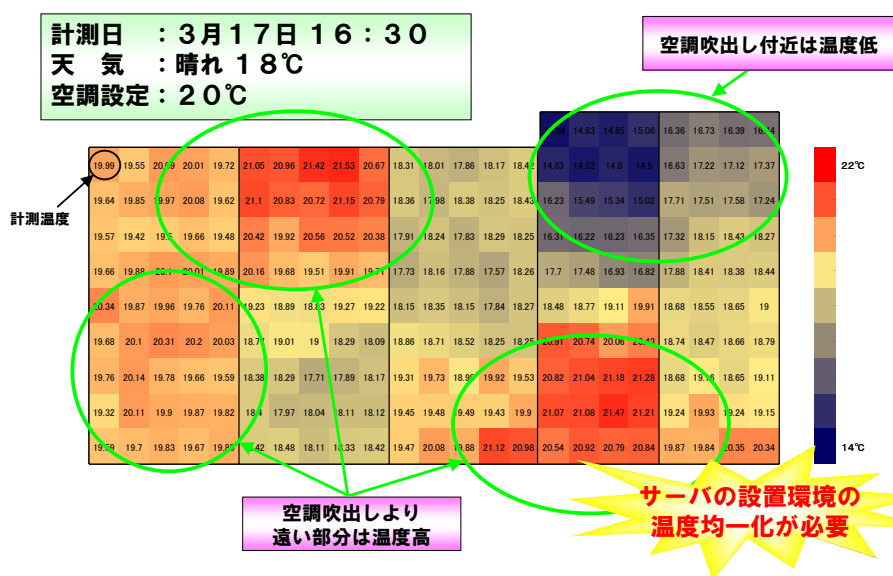
図 5-40 サーバー室における気流概念図



(出典：東大グリーン工学部プロジェクト 実証実験 WG 資料)

図 5-41 光ファイバセンサを利用した多点計測システム

図 5-42 に光ファイバセンサを用いて行ったサーバー室ラック内温度観測の結果を示す。前述の推定の通り、空調吹出し付近の温度は空調設定温度よりも低くなっているが、吹出しから離れた場所では設定温度より高い状態になっていることがわかる。空調の吸入部は、図 5-40 に示すように、温度が高い場所（図 5-42 の左端上部）に存在しており、吸入部には高温の空気が入ってしまっていることがわかる。結果として、サーバー室内の空調システムは、常時室温を下げるために高負荷状態で稼動することになっている。



(出典：東大グリーン工学部プロジェクト 実証実験 WG 資料)

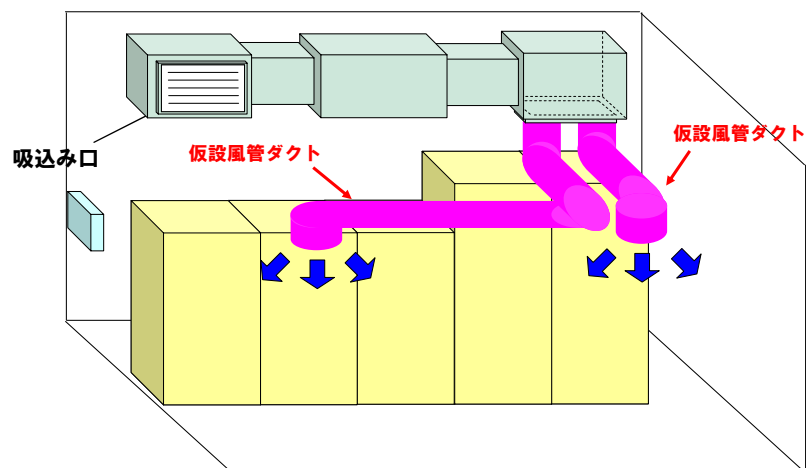
図 5-42 光ファイバセンサによるラック内温度分布測定

本実証実験では、図 5-43 に示すように仮設風管ダクトを設置することでラック全体の温度を均一化する手法の提案を行い、その効果の検証を行った。仮設風管ダクト敷設後のラック表面温度分布を図 5-44 に示す。図 5-42 と図 5-44 の比較から明らかなように、仮設風管ダクトを敷設することによりラック表面温度を均一化することが可能となった。結果として、仮設風管ダクト敷設前には空調設備の設定温度が元々20℃であったものを25℃に変更しても、ラック内の機器を十分に一定温度下に抑えることができ、約15%の空調設備省エネを実現することができた。

本実証実験を通じて明らかとなった課題としては、湿度制御・監視が行われていないことが挙げられる。湿度が一定に保たれていない場合、低湿度ではサーバーの劣化や静電気が生じやすくなり、また高湿度では結露によるハードウェア機器へのダメージが発生しやすくなると考えられる。湿度管理を行っていくことは、今後の課題である。

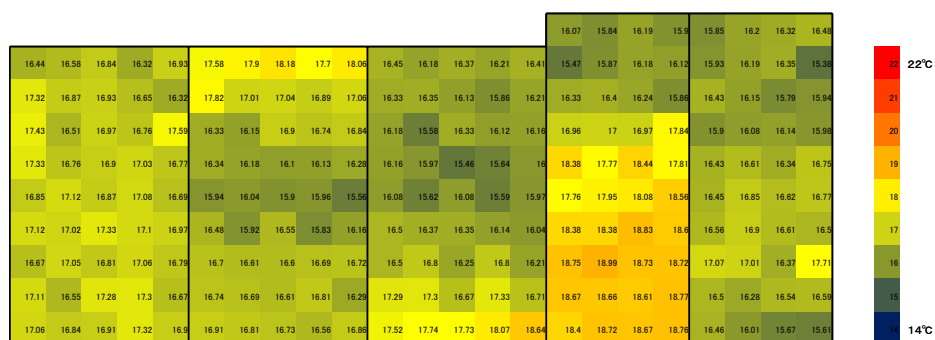
今後の予定としては、更なる省エネ実現のために 1) 外気冷房制御の導入、2) 室外機への水噴霧装置の導入が挙げられる。外気冷房制御の導入目的は、外気が設定温度よりも低い冬などの時期に積極的に外気を取り込むことで、空調設備の稼働率を下げることである。同制御機構の有効性は外気温の状態に左右されるが、年間約15%程度の省エネ効果を期待することができる。また、室外機への水噴霧装置導入の目的は、室外機に水を噴霧することで循環する空気の温度を下げ、熱効率を上げることである。消費電力量の削減効果としては、15～25%程度と予測される（図 5-45）。

現状の吹出場所から仮設風管ダクトで適正場所
に変更する
⇒サーバラック表側温度を均一化（ムラをなくす）



（出典：東大グリーン工学部プロジェクト 実証実験 WG 資料）

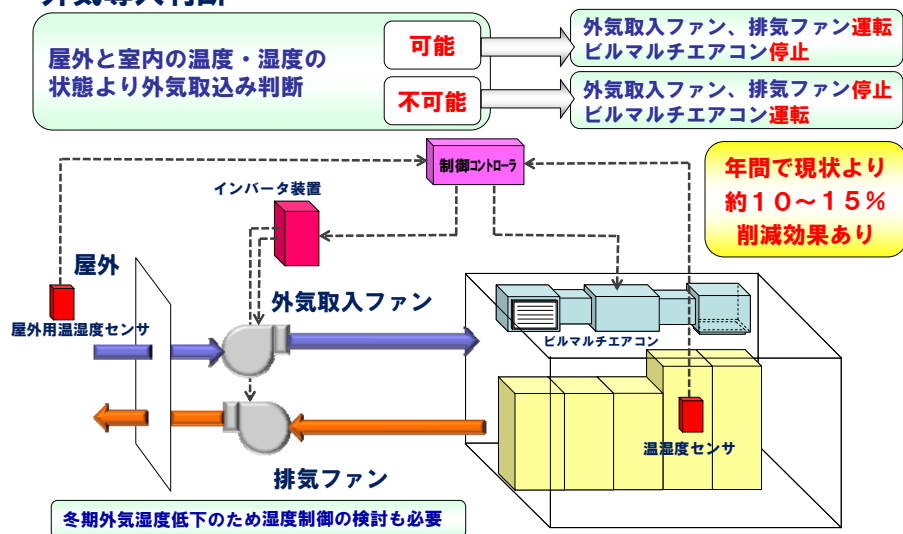
図 5-43 ラック表面温度均一化のための空調吹出し口改善案



（出典：東大グリーン工学部プロジェクト 実証実験 WG 資料）

図 5-44 仮設風管ダクト導入後のラック表面温度分布

外気導入判断



(出典：東大グリーン工学部プロジェクト 実証実験 WG 資料)

図 5-45 外気冷房制御の導入イメージ図