

2010 年度
グリーン IT 推進協議会
技術検討委員会 報告書

2011 年 6 月

グリーン IT 推進協議会
技術検討委員会

— 全体目次 —

はじめに	1
技術検討委員会 委員名簿.....	3
第1部 ITシステム・機器の省電力化技術～電力消費効率評価技術の現状～.....	7
第2部 ITによる企業活動の見える化技術～EEMS適用の際のポイント～	131
おわりに	221

— はじめに —

本報告書のまとめ作業中であった 2011 年 3 月 11 日に、マグニチュード 9.0 の東日本巨大地震が発生した。大震災発生から 3 ヶ月が経過し、復興に向けた取り組みが進められている。国家レベルでは、短期的には社会インフラの復興、中長期的には新たな成長に向けた社会システムの再構築が議論されている。また、国民レベルでは、今夏の電力需要対策に対応すべく、「省エネ」「節電」に関心が集まっている。そのような状況下において、当協会のミッションは、環境保護と経済成長が両立する社会の実現に向けたグリーン IT の推進、すなわち IT を活用した省エネ製品・技術の普及を推進することであり、本協会の活動はさらに重要性が増したと考えられる。

2010 年 8 月頃から、経済産業省資源エネルギー庁では、省エネルギー技術の研究開発及び普及を効果的に推進するため、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) とともに、省エネルギーに大きく貢献する重要分野を特定した「省エネルギー技術戦略 2011」を策定し、2011 年 3 月 28 日に公表した。この技術戦略は、2010 年 6 月に改訂された新たな「エネルギー基本計画」に基づき、従来の「省エネルギー技術戦略 2009」を全面的に刷新したものであり、2030 年までの今後 20 年程度を視野に入れた具体的施策が明らかにされている。

上記技術戦略では、省エネルギー技術は広範・多岐にわたり、効果的な研究開発や普及が促進されるためには、重点的に取り組むべき分野を特定することが重要としている。また、様々な技術のシステム化により大きな省エネルギー効果を発揮するもの、製品使用段階における省エネルギー効果が極めて高い省エネプロダクトの製造・普及に寄与する技術、全く新しい切り口から省エネルギーの進展を追求するものなど、従来にない視点から新たな省エネルギーの可能性を提示している。特に、日本のエネルギー消費量の 30%以上を占めている家庭・業務部門においては、「ZEB/ZEH (ネット・ゼロ・エネルギー・ビル/ハウス)」、「省エネ型情報機器・システム」、「快適・省エネヒューマンファクター」など節電対策に有効な技術、さらに、部門横断技術として、「次世代ヒートポンプシステム」、「パワーエレクトロニクス」、「熱・電力の次世代ネットワーク」が盛り込まれており、快適で効率的な省エネルギー生活の実現と我が国の卓越した省エネルギー技術の海外浸透を目指すとしている。

さて、2010 年度も技術検討委員会では、2つの WG 体制により of IT と by IT の省エネ技術の調査、検討を行った。

WG1 では、Green of IT の観点から、関連する先進省エネ技術について国内外動向調査を実施した。前述の技術戦略 2011 に盛り込まれている「省エネ型情報機器・システム」や「パワーエレクトロニクス」関連の動向をもカバーしつつ、IT システム及び IT 機器における「電力消費効率評価技術」に関して実態調査をし、現状の課題と今後の方向性をま

とめた。ここで「電力消費効率評価技術」とは広義の「見える化技術」でもあり、電力消費効率に関する測定技術、データハンドリング技術、分析技術、表示技術を含んでいる。それらに関連する取り組み事例を関係団体・識者との意見交換等により調査し、省エネ効果を評価する前提となる指標や基準についても動向をまとめるとともに、今後の方向性を示した。

WG2では、Green by ITの観点から前年度に引き続き“Enterprise Energy Management System (EEMS)”の検討を行った。EEMSで求められる「見える化技術（エネルギー情報化）」に焦点をあてて、その将来像について議論した。エネルギーマネジメントに関連した最新の法令・標準規格や、大学・企業等の組織における省エネ取り組み事例に関して、当協議会内外の識者による講演・意見交換を実施し、EEMSフレームワークの見直しとEEMS適用の際のポイントを整理し、わかりやすい形にまとめた。前述の技術戦略2011にも取り上げられている「ZEB/ZEH」や「快適・省エネヒューマンファクター」とも関連が深い内容と言える。

本報告書は2部構成を取り、第1部が“ITシステム・機器の省電力化技術～電力消費効率評価技術の現状～”について、第2部が“ITによる企業活動の見える化技術～EEMS適用の際のポイント～”についてそれぞれの検討結果ををまとめている。本報告書にまとめられた当委員会での検討内容が、当協議会の会員各位の事業活動の一助となり、今後の国内外での節電、省エネ、低炭素化への貢献に繋がれば幸いである。

2011年6月

グリーンIT推進協議会（GIPC）技術検討委員会
委員長 鈴木 教洋

— 技術検討委員会 委員名簿 —

(敬称略、企業・団体名順)

委員長	鈴木 教洋	株式会社日立製作所
副委員長	古橋 真	ソニー株式会社
	釜谷 幸男	株式会社東芝
	松尾 秀治	アルプス電気株式会社
委員長代行	亀尾 和弘	株式会社日立製作所
委員	品川 雅之	株式会社アイピーコア研究所
	斉藤 朝樹	インテル株式会社 (' 10/12 まで)
	畑中 康作	インテル株式会社 (' 10/12 から)
	越川 明	株式会社N T Tデータ
	牛窪 孝	沖電気工業株式会社
	立花 茂生	沖電気工業株式会社
	中西 健司	シャープ株式会社
	川合 健夫	株式会社デンソー
	大山 裕	日本電気株式会社 (' 11/1 まで)
	種子田 暁夫	日本電気株式会社 (' 11/1 から)
	府中 由昭	日本ユニシス株式会社 (' 10/10 まで)
	古明地 正俊	株式会社野村総合研究所
	中 基孫	パナソニック株式会社
	木村 勇	株式会社日立製作所
	金子 一久	株式会社日立製作所
	伊藤 裕二	富士ゼロックス株式会社
	中村 友二	株式会社富士通研究所
	田中 努	株式会社富士通研究所
小高 秀之	富士電機ホールディングス株式会社 ¹	
松下 雅仁	三菱電機株式会社	
山本 清博	株式会社山武	
瀬川 潔	株式会社山武	
藤岡 隆	横河電機株式会社	

¹ 富士電機ホールディングス株式会社は 2011 年 4 月 1 日に富士電機株式会社へ社名変更

オブザーバ	稲垣 謙三 増原 利明 靱 和美 後藤 康夫 荒川 泰彦 経済産業省 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 独立行政法人産業技術総合研究所	技術研究組合超先端電子技術開発機構 超低電圧デバイス技術研究組合 社団法人日本電気計測器工業会 社団法人ビジネス機械・情報システム産業協会 東京大学
調査委託先	みずほ情報総研株式会社	
事務局	小高 俊之 縣 敦子	社団法人電子情報技術産業協会 ² 社団法人電子情報技術産業協会 ²

² 電子情報技術産業協会は、2011年4月1日に一般社団法人へ移行

技術検討委員会 Working Group 1(of IT) 委員名簿

(敬称略、企業・団体名順)

主査	中川 八穂子	株式会社日立製作所
副主査	松尾 秀治	アルプス電気株式会社
	田中 努	株式会社富士通研究所
委員	品川 雅之	株式会社アイピーコア研究所
	鈴木 広明	株式会社アイピーコア研究所
	小林 克志	独立行政法人産業技術総合研究所('10/10 まで)
	昌原 明植	独立行政法人産業技術総合研究所
	橋本 雅伸	日本電気株式会社
	金子 一久	株式会社日立製作所
	伊藤 裕二	富士ゼロックス株式会社
	河原田 元信	株式会社富士通研究所
	澤野 理一	富士電機ホールディングス株式会社 ³
	海老原 克司	株式会社山武
	藤岡 隆	横河電機株式会社
	松浦 裕之	横河電機株式会社
オブザーバ	増原 利明	超低電圧デバイス技術研究組合

³ 富士電機ホールディングス株式会社は 2011 年 4 月 1 日に富士電機株式会社へ社名変更

技術検討委員会 Working Group 2(byIT/EEMS) 委員名簿

(敬称略、企業・団体名順)

主査	立花 茂生	沖電気工業株式会社
副主査	瀬川 潔	株式会社山武
委員	斉藤 朝樹	インテル株式会社（'10/12 まで）
	畑中 康作	インテル株式会社（'10/12 から）
	植村 克秀	株式会社NTTデータ
	児玉 祐悦	独立行政法人産業技術総合研究所（'11/1 まで）
	山口 浩	独立行政法人産業技術総合研究所
	古橋 真	ソニー株式会社
	釜谷 幸男	株式会社東芝
	田村 徹也	日本電気株式会社
	宮本 重幸	日本電気株式会社
	府中 由昭	日本ユニシス株式会社（'10/10 まで）
	武居 輝好	株式会社野村総合研究所
	仁木 輝記	パナソニック株式会社
	木村 勇	株式会社日立製作所
	吉田 宏章	株式会社富士通研究所
	川口 剛司	富士電機ホールディングス株式会社 ⁴
	富永 保隆	富士電機ホールディングス株式会社 ⁴
	山本 清博	株式会社山武
	平田 眞基	株式会社山武
	渡辺 洋	横河電機株式会社
オブザーバ	稲垣 謙三	技術研究組合超先端電子技術開発機構
	鞆 和美	社団法人日本電気計測器工業会
	森岡 義嗣	社団法人日本電気計測器工業会

⁴ 富士電機ホールディングス株式会社は 2011 年 4 月 1 日に富士電機株式会社へ社名変更

第1部

ITシステム・機器の省電力化技術
～電力消費効率評価技術の現状～

(技術検討委員会 WG1/Green of IT)

— 第1部 要旨 —

1. 調査の背景

グリーンIT推進協議会は、環境保護と経済成長が両立する社会の実現をビジョンとし2008年2月に設立された。このビジョンの実現には、画期的な技術革新が必要である。特に、社会で扱う情報量は2025年には約200倍(06年比)になると見込まれておりこの情報爆発によってIT機器の数が大幅に増加する為、IT機器自身の省エネ(Green of IT)技術は重要である。Green of IT技術は

①高効率化技術:IT機器・システムのエネルギー(電力)利用効率を高める技術

②電力消費効率評価技術:エネルギー(電力)利用効率を把握/分析し見える化する技術からなる。技術検討委員会の”of IT”WGでは2009年度は、主に「高効率化技術」に関する先進事例を調査した。Green of IT技術を深化させるには、「高効率化技術」と「効率評価技術」の研究開発結果をスパイラルに適用することが重要である為、2010年度は、「電力消費効率評価技術」の現状を中心的に調査し電力消費効率評価技術への期待と研究開発等への提言をまとめることを目指した。

2. 調査内容概要

電力消費効率評価には、その前提となる省エネ効果の評価指標をどう決めるかが重要である為、まず、ITシステムやIT機器の省エネに関連する国内外の法律・標準規格・ガイドラインや動向、具体的には、トップランナー基準、エコロジーガイドライン、SNIA/ATIS等によるIT機器の省エネ評価指標や、エネルギースターによるIT機器やデータセンタの基準の調査を行った。

「高効率化技術」については、前年同様製品レベルの先端事例に加え、本協議会が2050年のあるべき姿を見据えた上で2020年頃までに何をなすべきかが重要との認識から活動を行っている為、先端的要素技術の研究内容調査も調査の対象とした。具体的には、国内のTIA-nanoや、海外のIMEC、N.Y. Albany Nanotech等の研究開発の取組みを調査した。

「電力消費効率評価技術」については国内の実証段階の取組み事例(東大グリーンICTプロジェクト等)を中心に調査し、海外については研究段階の取組み事例(シンガポールのA*STAR等)を調査した。

調査の結果、電力消費効率最大化には負荷等の状況に応じたITシステム・機器の動的な制御(適応制御)が最終的に必要となるが、そのための測定・評価技術はまだ一部のIT機器に組み込まれているにとどまっていることが分かった。また、電力消費効率の見える化技術は、今後EEMS(Enterprise Energy Management System)との連携上も重要になる。今後もIT機器自身の省エネ(Green of IT)技術研究開発をさらに強化すべきと考える。

技術検討委員会 WG1

— 第1部 目次 —

1. 調査目的と概要	13
1.1. 背景	13
1.2. 調査目的	14
1.3. 調査対象と実施要領	16
2. 省エネのための評価指標・調達基準・標準規格に関する取り組み事例	18
2.1. トップランナー基準	18
2.1.1. トップランナー基準の概要	18
2.1.2. 電子計算機	19
2.1.3. 磁気ディスク装置	21
2.1.4. ルーティング機器・スイッチング機器	24
2.2. エネルギースタープログラム	26
2.2.1. 概要	26
2.2.2. サーバに関するエネルギースター基準	27
2.2.3. データセンタに関するエネルギースター基準	29
2.3. ICT分野におけるエコロジーガイドライン	33
2.3.1. ガイドラインの目的	33
2.3.2. 装置・データセンタの評価基準	34
2.3.3. ガイドラインの運用	35
2.4. データセンタ省エネ評価指標	36
2.4.1. PUE	36
2.4.2. DPPE	37
2.5. SPECによるサーバ省エネ評価ベンチマーク	38
2.5.1. 組織概要	38
2.5.2. サーバ電力測定ベンチマーク SPECpower_ssj2008	38
2.6. SNIAによるストレージ省エネ評価指標	41
2.6.1. 組織概要	41
2.6.2. SNIA Green Storage Initiative (GSI)	42
2.7. SPCによるストレージ省エネ評価ベンチマーク	45
2.7.1. 組織概要	45
2.7.2. ストレージシステムのベンチマーク	46
2.8. ATISによる通信機器省エネ評価指標	51
2.8.1. 組織概要	51
2.8.2. Sustainability in Telecom: Energy and Protection Committee (STEP)	52

2.8.3.	The ATIS Green Initiative.....	53
3.	高効率化技術に関する取り組み事例.....	55
3.1.	IT 機器・システム基盤省エネルギー技術開発（グリーンネットワーク・システム 技術研究開発プロジェクト）.....	55
3.1.1.	プロジェクトの概要.....	55
3.1.2.	目標.....	55
3.1.3.	「エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術」における取り組み.....	55
3.1.4.	「革新的省エネルギーネットワーク・ルータ技術」における取り組み.....	58
3.1.5.	電力消費効率評価技術に関する取り組み.....	58
3.1.6.	まとめ（今後の活動と課題等）.....	61
3.2.	省電力・高密度サーバの開発（日本電気（株））.....	62
3.2.1.	概要.....	62
3.2.2.	目標.....	62
3.2.3.	省電力化における取り組み.....	62
3.2.4.	高密度化・軽量化における取り組み.....	63
3.2.5.	高温環境対応における取り組み.....	63
3.2.6.	まとめ（今後の活動と課題等）.....	64
3.3.	クラウド・ストレージシステム（（株）アイピーコア研究所）.....	65
3.3.1.	取り組みの背景.....	65
3.3.2.	従来型ストレージシステムの課題.....	66
3.3.3.	LX100 ストレージシステムによる実証例.....	68
3.3.4.	まとめ.....	70
3.4.	ISO コンテナデータセンタ（（株）アイピーコア研究所）.....	72
3.4.1.	日本における情報処理の危機.....	72
3.4.2.	欧米と日本の DC 比較.....	73
3.4.3.	ISO コンテナデータセンタの構築.....	76
3.4.4.	まとめ.....	80
3.5.	国内外ナノテクノロジー拠点におけるキーデバイス技術開発.....	82
3.5.1.	TIA-nano.....	82
3.5.2.	IMEC.....	91
3.5.3.	Albany Nanotech.....	97
4.	効率評価技術に関する取り組み事例.....	104
4.1.	大学構内における ICT 活用省エネの取り組み（東大グリーン ICT プロジェクト） 104	
4.1.1.	プロジェクト概要.....	104
4.1.2.	目標.....	104

4.1.3.	コンピュータ・ネットワークの省エネ技術開発	104
4.1.4.	サーバールームの省エネルギー技術開発	105
4.1.5.	消費電力計測技術に関する取り組み	106
4.1.6.	まとめ	109
4.2.	データセンタ省エネ性能の測定実証事業	110
4.3.	サーバ消費電力の簡易測定手法の調査研究	112
4.3.1.	概要	112
4.3.2.	調査研究の経緯	112
4.3.3.	北陸先端科学技術大学院大学・情報科学センターでの電力測定（フェーズ1） 112	
4.3.4.	複数の商用サーバ実使用時電力の測定（フェーズ2）	113
4.3.5.	IT機器消費電力測定に関する簡易モデル化の検討	115
4.3.6.	課題と今後の取り組み	117
4.4.	ルータ・スイッチの省エネ基準の検討	119
4.4.1.	概要	119
4.4.2.	実施内容	119
4.4.3.	通信機器の省エネ基準検討の課題	120
4.4.4.	まとめ	121
4.5.	シンガポールにおける省エネ技術開発	123
4.5.1.	DSIの研究概要	123
4.5.2.	グリーンストレージシステムシミュレーション	124
5.	総括と提言	128
コラム A.	NetApp Data Center in RTP	31
コラム B.	A*STAR の組織概要	126

1. 調査目的と概要

1.1. 背景

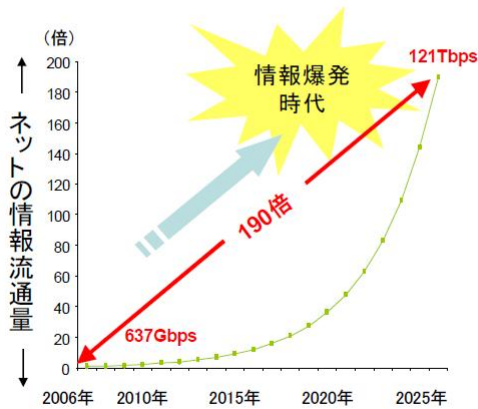
2010年6月18日に「新成長戦略」が閣議決定され、その工程表である成長戦略実行計画も策定され、着実な実行が目指されることとなった[1]。「新成長戦略」には、強い経済、強い財政、強い社会保障の実現を目指すとし、1)グリーン・イノベーションによる環境・エネルギー大国戦略、2)ライフ・イノベーションによる健康大国戦略、3)アジア経済戦略、4)観光立国・地域活性化戦略、5)科学・技術・情報通信立国戦略、6)雇用・人材戦略、7)金融戦略、の7つの戦略分野が示され、各戦略分野における具体的な戦略プロジェクトとして、「21世紀の日本の復活に向けた21の国家戦略プロジェクト」が提示された。このうちの1つである「環境未来都市構想」には、グリーンITの推進が必要不可欠である。

上記に先立ち2010年6月3日に経済産業省より発表された「産業構造ビジョン2010(産業構造審議会産業競争力部会報告書)」においても、世界最先端の省エネ・環境技術を活かした国内ものづくり基盤の強化のための政策対応の1つとして「グリーンITの推進」があげられている。すなわち、ITによる省エネ、環境対応を促進するため、基盤となる省エネ機器・省エネシステムを技術的に確立すること、機器・システムによるCO2削減量を測定し、可視化、測定手法・基準を国際的に標準化すること、導入に向けたインセンティブを付与すること、このような新しい社会システムの海外展開における日本国政府と民間企業の連携を強化すること、日本を核としたグリーンITによるワールドアライアンスを確立すること、に一体的に取り組むとしている[2]。

低炭素社会の実現は、国内だけの課題でなく地球全体で早急に取り組むべき最重要課題であり、経済・社会活動と地球環境の調和実現には、画期的な技術革新が必要と考えられている。その中で、IT・エレクトロニクス技術は、今後急速に需要の増大するIT機器自身の効率を高めること(Green of IT、以下 of IT)のみならず、高度な制御・管理による生産・流通・業務の効率化を通じて、あらゆる経済・社会活動の生産性向上を可能とし、低炭素社会の実現に大きく寄与すること(Green by IT、以下 by IT)が期待されている。これらを普及して行く活動として、世界各国でグリーンITの技術開発、標準化・規格化等の推進活動が盛んになってきている[3]。

一方で、前年度(2009年度)報告の通り、ITシステムが扱う情報量は年々増加しており、2025年には2006年比で約200倍になると試算されている。それに伴い、国内のサーバ、ストレージ、ルータ・スイッチなどのIT機器による電力消費量は約5倍に増加し、国内総発電量の20%にまで達する可能性がある(図1.1-1)。特に、IT機器の集合体であるデータセンターの消費電力は、何も対策を講じなければ、年率10%以上で増加を続けることになるという報告もある[4]。

情報爆発時代の到来



IT機器の消費電力量が急増

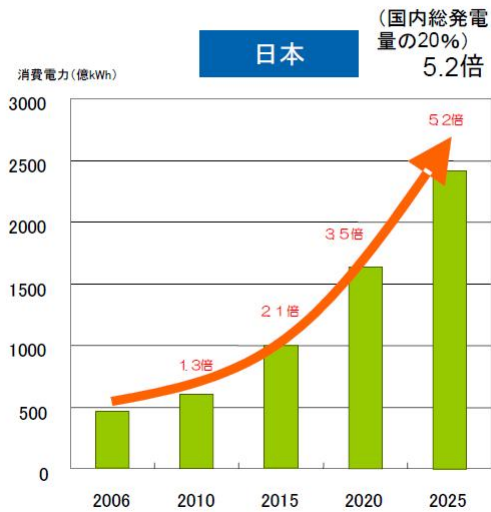


図 1.1-1 国内の情報流通量および IT 機器の国内総電力消費量の予測 (2006～2025) *1

このような低炭素社会の実現に向けた国内外の動向を背景として、サーバ、ルータなどの機器単体やそれらを構成するキーデバイスである半導体、ストレージ、ディスプレイの低消費電力化は比較的順調に技術開発が進んでおり、データセンタ、ネットワーク等の IT システムでは、仮想化や負荷制御の高効率化等によるシステム最適化・制御技術の高度化により更なる省電力化が可能と期待されている。

1.2. 調査目的

本 WG は、「of IT 省エネ技術」の国内外の研究・開発動向について、前年度から継続して調査・検討を推進し、今後の消費電力増加に対応するためにグリーン IT の進むべき方向性について情報発信することを活動目的とした。

より具体的には of IT 省エネ技術を図 1.2-1 に示すように改めて定義した上で調査、検討を進めた。図 1.2-1 に示すように、of IT 省エネ技術は、IT 機器・システム自体のエネルギー（電力）利用効率を高め、省エネルギー効果を直接実現する技術（以降、「高効率化技術」と、エネルギー利用効率を把握し、省エネルギー効果を促進（間接的に実現）するための評価技術（以降、「効率評価技術」）に分類でき、両者の技術開発・実用化を併行して進めることが重要である。前者の「高効率化技術」には、電子デバイスの機能を保持したまま駆動電圧を下げる低電圧化技術、電圧変換時のロスを低減する等の低損失化技術、負荷に応じて CPU 等の周波数を制御したり、部分的な回路への通電をオンオフ制御したりする適応制御技術が含まれる。また、後者の「効率評価技術」（あるいは「見える化技術」）には、

*1出典：「グリーン IT イニシアティブの推進」、経済産業省、2008

エネルギー（電力）消費量、仕事量（負荷）や処理効率（性能）を静的あるいは動的に取得する測定技術、測定したデータを収集・蓄積するデータハンドリング技術、収集・蓄積したデータを分析する分析技術、および測定・蓄積・分析したデータを適切な形式で表示する可視化技術が含まれる。

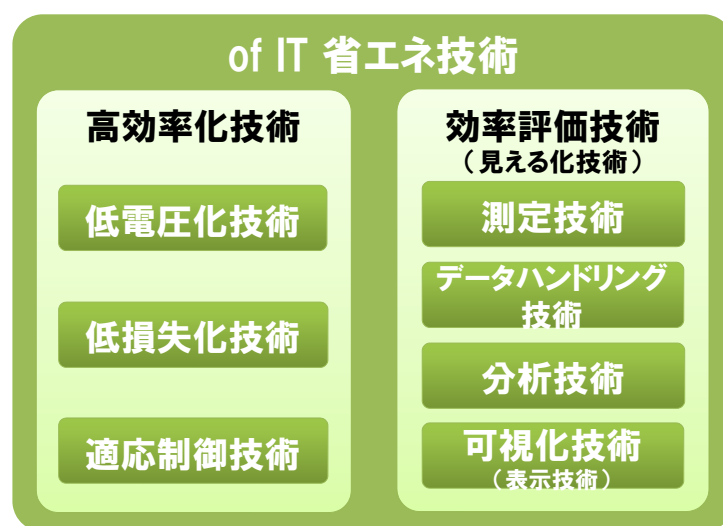


図 1.2-1 of IT 省エネ技術の定義

前年度は、図 1.2-2 に示すように IT・エレクトロニクス機器で今後のエネルギー消費量の伸びが特に高いとされる、(1)データセンタ（サーバ、ストレージシステムを含む）、(2)ネットワーク（ルータ・スイッチが中心）、これらの省エネ技術を支えるキーデバイスとして、(3)半導体、(4)ストレージ、(5)ディスプレイの 5 つの分野で、主に「高効率化技術」に関する先進事例を調査し、今後の省エネ技術開発に向けた課題と提言をまとめた。

本年度は、特に IT 機器・IT システムの省エネ化の共通技術となる「電力消費効率評価技術」の現状と将来展望を調査・整理し、電力消費効率評価技術への期待と研究開発等への提言をまとめることを目指した。「電力消費効率評価技術」をテーマとして取り上げたのは、「of IT 省エネ技術」は IT システム・機器の電力あたりの仕事量(電力消費効率)を最大化することが目的であり、その為には仕事量(負荷)と電力を定量的に評価する技術が重要な為である。そして、電力消費効率最大化には負荷等の状況に応じた IT システム・機器の動的な制御(適応制御)が最終的に必要となるが、そのための測定・評価技術まだ一部の IT 機器に組込まれているにとどまり、今後の研究開発をさらに強化すべきと考える。「電力消費効率評価技術」について、現状では、主に測定の困難さ等のために静的な測定・評価技術が多く、IT 機器・システム運用時における電力消費効率の評価精度は不十分であり、更なる効率的運用を実現するためにも動的な測定・評価技術を利用した適応制御への取り組みが加速すると考えられる。

なお、一般的に省エネは3段階（①交換、②見える化、③最適化）で推進されると捉えることができる。まず第1段階では、老朽化した機器を「高効率化技術」が適用された最新の機器に置き換えることにより短期間に省エネを実現する。次に第2段階では、「効率評価技術」を適用してエネルギー消費やその中の無駄な消費を見える化することにより、人（オペレータ）が介在して機器・システムの構成や運用方針などを調整して省エネを実現する。さらに第3段階では、「効率評価技術」の結果を活用した適応制御技術により自動的に最適化された機器稼働、システム運用を実現して省エネ改善を実現する。すなわち、「高効率化技術」と「効率評価技術」の研究開発結果をスパイラル的に適用できれば継続的な省エネの改善が期待できると考えられる。

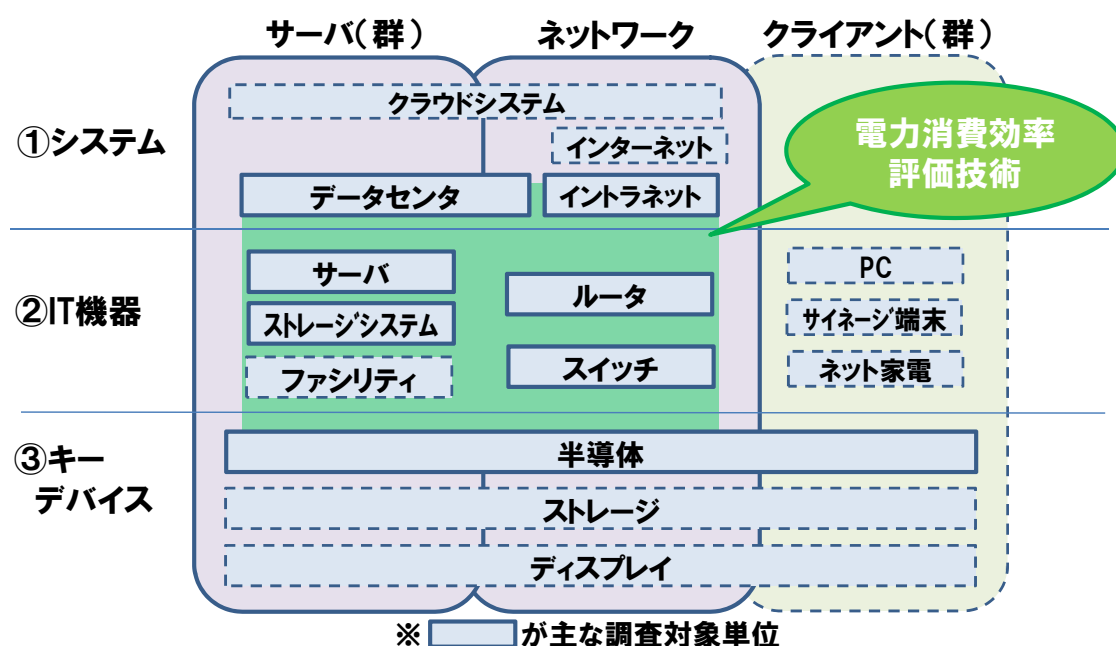


図 1.2-2 調査対象マップ（09年度と10年度の差分）

1.3. 調査対象と実施要領

表 1.3-1 に具体的な調査対象を示す。

電力消費効率評価技術には、その前提となる省エネ効果の評価指標をどう決めるかが重要であるため、ITシステムやIT機器の省エネに関連する国内外の法律・標準規格・ガイドライン等の動向も一部調査する方針とした。

「高効率化技術」については、前年度に現状技術の事例を調査したため、本年は国内のNEDOやTIA、LEAP、海外のIMEC、N.Y.Albany Nanotech等の先端的な研究開発機関の取組みを中心に調査した。

「効率評価技術」については国内の実証段階の取組み事例を中心に調査対象とし、海外については研究段階の取組み事例を中心に調査対象とする方針とした。具体的には、国

内の東大グリーン ICT プロジェクト、CIAJ 委員会、JEITA 委員会、GIPC 調査分析委員会等の取り組み、海外のシンガポールの公的研究機関での取り組みを調査した。

表 1.3-1 調査対象事例

#	省エネ技術分類	調査内容	調査方法	講演等の協力依頼先
1	効率評価指標・基準	IT機器全般の改正省エネ法、省エネ判断基準関連	ヒヤリング	ECCJ(省エネルギーセンター)機器普及総括部
2		海外の評価指標動向(EnergyStar制度, SPECの取組, SNIAの取組, SPCの取組, ATIS/ANSI規格)	委託調査	みずほ情報総研
3		ストレージシステム省エネ性能指標他国内動向	ヒヤリング	JEITAネットワークストレージ専門委員会他
4	高効率化技術	NEDOグリーンITプロジェクトにおけるグリーンネットワーク・システムの進捗状況	講演	NEDO及び当プロジェクトリーダー(産総研)
5		TIA(つくばイノベーションアリーナ)における研究活動動向	講演	産総研TIA推進室 LEAP(超低電圧デバイス)
6		欧州における研究活動動向(IMEC)	委託調査	みずほ情報総研
7		米国における研究活動動向(N.Y.Albany CNSE(The College of Nanoscale Science and Engineering))	委託調査	みずほ情報総研
8		東大グリーンICTプロジェクトにおけるIT関連省エネ実証実験の取組	講演	東大グリーンICTプロジェクト実証実験WG主査
9	効率評価技術	データセンタ省エネ性能評価指標(DPPE)及びその測定実証事業	講演	GIPC調査分析委員会WG2事務局
10		JEITAサーバ事業委員会における取組(ハンドブック、サーバ電力測定方法論・実測他)	講演	JEITAサーバグリーンIT専門委員会、同サーバプラットフォーム専門委員会
11		ネットワーク機器の省エネ法TR基準検討	講演	CIAJルータ・スイッチ技術委員会
12		海外の省エネ高効率化技術に関する取組(Singapore A*STAR/DSI他)	委託調査	みずほ情報総研

参考文献

- [1] 新成長戦略～「元気な日本」復活のシナリオ～、経済産業省、2010年6月18日
- [2] 産業構造ビジョン 2010 (産業構造審議会産業競争力部会報告書)、経済産業省、2010年6月 別冊 1. 主要産業 2. エレクトロニクス・IT産業
- [3] 「第2回アジアグリーン IT フォーラムジョイントステートメント」、経済産業省、平成22年10月6日 News Release
- [4] 「データセンタの消費電力とグリーン IT 化の実態調査 2009 年度版」、株式会社ミック経済研究所、2009

2. 省エネのための評価指標・調達基準・標準規格に関する取り組み事例

IT 機器の省エネを推進するための法律の制定、データセンタおよびそのサブシステムであるサーバやストレージ等の IT 機器の電力消費やエネルギー効率を測定、分析、評価するための指標（標準規格や評価基準）の開発、策定、提案、承認など様々な活動が、国内外の各種団体の主導により活発に行われている。

本報告では、電力消費効率評価技術における課題や将来展望について提言をまとめる前提として、現在、広く共有されている具体的な指標や各種団体の取り組みを報告する。

2.1. トップランナー基準

2.1.1. トップランナー基準の概要

トップランナー基準とは、製造事業者等に、省エネ型の製品を製造するよう基準値を設けクリアするように課した「省エネ法」の中の、機械器具に係る措置として規定される評価基準のことである[1]。

省エネ法、すなわち「エネルギーの使用の合理化に関する法律」とは、石油危機を契機として昭和 54 年に制定された法律であり、「内外のエネルギーをめぐる経済的社会的環境に応じた燃料資源の有効な利用の確保」と「工場・事業場、輸送、建築物、機械器具についてのエネルギー使用の合理化を総合的に進めるための必要な措置を講ずる」ことなどを目的に制定された法律である[2]。

1997 年に開催された地球温暖化防止京都会議（COP3）を受け、1998 年に省エネ法は大幅改正された。この中で、特に民生・運輸部門のエネルギー消費の増加を抑制するため、機械器具の製造段階でエネルギー消費効率を向上させることを掲げて『トップランナー方式』が採用された。トップランナー方式とは、自動車の燃費基準や電気・ガス石油機器（家電・OA 機器等）の省エネ基準を、各々の機器においてエネルギー消費効率が現在商品化されている製品のうち、最も優れている機器の性能以上にするという考え方である。

トップランナー基準は経済産業大臣の諮問機関である「総合資源エネルギー調査会」の下に設定された「省エネルギー基準部会」において審議される。まずどの様な機器を対象とすべきか事務局である資源エネルギー庁省エネルギー対策課において検討され、要件を満たした機器が基準部会に提案される。さらに、基準の詳細については基準部会の下に機器毎に設置される「判断基準小委員会」で具体的に策定し、その結果を基準部会に提出する。基準部会で了承されれば決定となる。

なお、対象機器は、①我が国において大量に使用される機械器具であること、②その使用に際し相当量のエネルギーを消費する機械器具であること、③その機械器具に係わるエ

エネルギー消費効率の向上を図ることが特に必要であること、の 3 要件を満たすことを原則として、市場における機器の動向等を考慮した上で決定される。

機械器具の省エネ基準は 1979 年の省エネ基準制定時に、乗用自動車、エアコン、電気冷蔵庫を対象として平均基準値方式により設けられた。その後品目が増え、1999 年に現在のトップランナー方式が採用され、目標基準値が大きく引き上げられた。その後、順次対象機種を追加が行われてきており、2009 年 7 月現在 23 品目が「特定機器」として指定されている。IT 機器では 6 番目に「電子計算機」、7 番目に「磁気ディスク装置」、22 番目に「ルーティング機器」、23 番目に「スイッチング機器」が含まれている。今後は、例えばエネルギースタープログラムでは UPS(無停電電源装置)の規格を策定中であり、トップランナー基準でも UPS が対象品目に追加される可能性が考えられる。

また、基準は、対象となる機器の範囲、判断の基準となるべき事項、表示事項（省エネルギーラベリング制度として JIS として制定）、エネルギー消費効率の測定方法よりなる。判断の基準となるべき事項として、対象の区分、目標年度、目標基準値及び達成判断方法が規定される。

本節では、上記 4 つの IT 機器に関する現時点の基準を資源エネルギー庁発行の資料[3]等の引用を元に概説する。なお、「判断基準小委員会」は、当該機器の業界及び製造事業者の代表や大学等の学識経験者から構成される。また、「判断基準小委員会」においては、製造事業者等が、JEITA(一般社団法人電子情報技術産業協会)や CIAJ(一般社団法人情報通信ネットワーク産業協会)等の業界団体として、製品の国内出荷実績や最新仕様情報の提供、その時点で市場に出荷されている製品のエネルギー消費効率の測定等で協力している。

2.1.2. 電子計算機

電子計算機についての基準策定は「電子計算機及び磁気ディスク装置判断基準小委員会」が担当しており、詳細は「同小委員会最終取りまとめ」[4]で公開されている。なお、サーバ型電子計算機に関する具体的な基準案の検討においては、JEITA の情報・産業社会システム部会サーバ事業委員会傘下のサーバ省エネ WG が主に協力しており、クライアント型電子計算機においては、JEITA の CE 部会パーソナルコンピュータ事業委員会傘下の PC 省エネ専門委員会が主に協力している。

(1) 対象範囲

日本標準商品分類に定めるデジタル型中央処理装置及びパーソナルコンピュータ。
ただし、以下のものを除く。

①演算処理装置、主記憶装置、入出力制御装置及び電源装置がいずれも多重化された構造のもの、②複合理論性能が 1 秒につき 20 万メガ演算以上のもの、③256 を超えるプロセッサからなる演算処理装置を用いて演算を実行することができるもの、④入出力用信号伝送路（最大データ転送速度が 1 秒につき 100 メガビット以上のものに限る。）が 512

本以上のもの、⑤複合理論性能が1秒につき100メガ演算未満のもの、⑥専ら内蔵された電池を用いて、電力線から電力供給を受けることなしに使用されるものであって、磁気ディスク装置を内蔵していないもの。

(2) エネルギー消費効率

アイドル状態と低電力モードの消費電力（W）の平均値を複合理論性能（GTOPS※）で除した数値とする。

※ 区分・目標基準値が①のものは MTOPS

(3) 区分・目標基準値

目標年度以降の各年度において、区分毎の目標基準値を上回らないようにすること。

○サーバ型電子計算機

CPUの種類別	区分			基準エネルギー消費効率
	I/Oスロット数	CPUソケット数	区分名	
専用CISC	32未満		A	1,950
	32以上		B	2,620
RISC	8未満		C	13
	8以上40未満		D	31
	40以上		E	140
IA64	10未満		F	6.2
	10以上		G	22
IA32	0		H	1.3
	1以上7未満	2未満	I	1.2
		2以上4未満	J	1.9
		4以上	K	6.7
	7以上		L	7.4

- 備考1. 「専用CISC」とは、ビット数の異なる複数の命令を実行できるように設計されたCPUのうち、電子計算機毎に専用に設計されたものをいう。
2. 「RISC」とは、ビット数の異なる複数の命令を実行できるように設計されたCPU以外のCPUをいう。
3. 「IA64」とは、ビット数の異なる複数の命令を実行できるように設計されたCPUのうち、専用CISC以外のものであって、64ビットアーキテクチャのものをいう。
4. 「IA32」とは、ビット数の異なる複数の命令を実行できるように設計されたCPUのうち、専用CISC以外のものであって、32ビットアーキテクチャのものをいう。

図 2.1-1 サーバ型電子計算機の区分・目標基準値[3]

○クライアント型電子計算機

区分					基準エネルギー消費効率	
クライアント型電子計算機の電源及びメモリチャネル数の種別	主記憶容量	独立型GPU	画面サイズ	区分名		
電池駆動型のものであってメモリチャネル数が2以上のもの	16ギガバイト以上			M	2.25	
	4ギガバイト超 16ギガバイト未満			N	0.34	
	4ギガバイト以下			17型以上	P	0.31
			搭載	17型未満	Q	0.21
			非搭載	12型以上17型未満	R	0.15
				12型未満	S	0.21
電池駆動型以外のものであってメモリチャネル数が2以上のもののうち電源装置にACアダプターを用いるもの				T	0.29	
電池駆動型以外のものであってメモリチャネル数が2以上のもののうち区分名がT以外のもの	16ギガバイト以上			U	2.25	
	4ギガバイト超 16ギガバイト未満	搭載		V	0.51	
		非搭載		W	0.64	
	4ギガバイト以下			X	0.53	
メモリチャネル数が2未満のもの				Y	0.51	

- 備考1. 「メモリチャネル数」とは、メモリコントローラから分岐する主記憶装置へのバスインターフェースの論理チャネルの数をいう。
2. 「電池駆動型」とは、専ら内蔵された電池を用いて、電力線から電力供給を受けることなしに使用され得るものをいう。
3. 「独立型GPU」とは、画像データ処理用のプロセッサのうち、専用のローカルメモリを有するものをいう。
4. 「画面サイズ」とは、表示画面の対角外径寸法をセンチメートル単位で表した数値を2.54で除して小数点第2位以下を四捨五入した数値をいう。

図 2.1-2 クライアント型電子計算機の区分・目標基準値[3]

(4) 目標年度

2011 年度以降の各年度

(5) 省エネ効果

目標年度が 2011 年度において 2007 年度比約 78%の効率改善見込み

2.1.3. 磁気ディスク装置

磁気ディスク装置についての基準策定は「電子計算機及び磁気ディスク装置判断基準小委員会」が担当しており、詳細は「同小委員会最終取りまとめ」[5]で公開されている。なお、具体的な基準案の検討においては、JEITA の情報・産業社会システム部会情報端末事業委員会傘下の磁気記憶装置省エネ分科会が主に協力している。

(1) 対象範囲

日本標準商品分類に定める磁気ディスク装置。

ただし、以下のものを除く。

①記憶容量が 1GB 以下のもの、②ディスク直径が 40mm 以下のもの、③最大データ転送速度が 270GB/秒超のもの。

(2) エネルギー消費効率

消費電力 (W) を記憶容量 (GB) で除した数値とする。

(3) 区分・目標基準値

目標年度以降の各年度において、区分毎の目標基準値を上回らないようにすること。

区分					磁気ディスク装置の種別	基準エネルギー消費効率の算定式
磁気ディスク装置の形状及び性能	回転数	用途	区分名			
ディスクサイズが75ミリメートル超であってディスク枚数が1枚のもの			A	$E = \exp(2.98 \times \ln(N) - 30.8)$		
ディスクサイズが75ミリメートル超であってディスク枚数が2枚又は3枚のもの			B	$E = \exp(2.98 \times \ln(N) - 31.2)$		
ディスクサイズが75ミリメートル超であってディスク枚数が4枚以上のもの			C	$E = \exp(2.11 \times \ln(N) - 23.5)$		
単体ディスク		5000回毎分以下	D	$E = \exp(2.98 \times \ln(N) - 29.8)$		
	ディスクサイズが50ミリメートル超75ミリメートル以下であってディスク枚数が1枚のもの	5000回毎分超6000回毎分以下	E	$E = \exp(2.98 \times \ln(N) - 31.2)$		
		6000回毎分超	F	$E = \exp(4.30 \times \ln(N) - 43.5)$		

図 2.1-3 磁気ディスク装置の区分・目標基準値 (1/2) [3]

区分					基準エネルギー消費効率の算定式
磁気ディスク装置の種別	磁気ディスク装置の形状及び性能	回転数	用途	区分名	
単体ディスク		5000回毎分以下		G	$E = \exp(2.98 \times \ln(N) - 31.5)$
	ディスクサイズが50ミリメートル超75ミリメートル以下であってディスク枚数が2枚又は3枚のもの	5000回毎分超6000回毎分以下		H	$E = \exp(2.98 \times \ln(N) - 32.2)$
		6000回毎分超		I	$E = \exp(4.58 \times \ln(N) - 46.8)$
		ディスクサイズが50ミリメートル超75ミリメートル以下であってディスク枚数が4枚以上のもの		J	$E = \exp(2.98 \times \ln(N) - 31.9)$
	ディスクサイズが40ミリメートル超50ミリメートル以下であってディスク枚数が1枚のもの		K	$E = \exp(2.98 \times \ln(N) - 30.2)$	
	ディスクサイズが40ミリメートル超50ミリメートル以下であってディスク枚数が2枚以上のもの		L	$E = \exp(2.98 \times \ln(N) - 30.9)$	
サブシステム			メインフレームサーバ用のもの	M	$E = \exp(1.85 \times \ln(N) - 18.8)$
			区分名がM以外のもの	N	$E = \exp(1.56 \times \ln(N) - 17.7)$

備考1. 「メインフレームサーバ」とは、専用 CISC（ビット数の異なる複数の命令を実行できるように設計された CPU のうち、電子計算機毎に専用に設計されたものをいう。）が搭載されたサーバ型電子計算機（ネットワークを介してサービス等を提供するために設計された電子計算機をいう。）をいう。

2. E及びNは次の数値を表すものとする。

E：基準エネルギー消費効率

N：回転数（単位 回毎分）

3. ln は底を e とする対数を表す。

図 2.1-4 磁気ディスク装置の区分・目標基準値 (2/2) [3]

(4) 目標年度

2011 年度以降の各年度

(5) 省エネ効果

目標年度（2011 年度）において 2007 年度比約 76%の効率改善見込み

2.1.4. ルーティング機器・スイッチング機器

インターネット人口の増加、及びそれに伴うネットワークトラフィックの爆発的増加が続いている。また従来は回線交換から、IP パケット交換へ転換している中で、ルータ、スイッチと呼ばれる通信機器の低消費電力化が課題となっている。そのため、経済産業省の諮問機関である「総合資源エネルギー調査会 省エネルギー基準部会 ルーター等判断基準小委員会」にて、小型ルータ・L2 スイッチについて基準等の詳細を審議、総合資源エネルギー調査会 省エネルギー基準部会にて審議・承認され、2009年7月21日より順次施行となった。なお、具体的な基準案の検討においては、CIAJの「ルータ・スイッチ技術委員会」が主に協力している。

策定された小型ルータ（家庭用ブロードバンドルータ）の主な指標、区分と基準値を図 2.1-5 に示す。基準策定時に製品化されていた小型ルータの消費電力は、性能（スループット＝単位時間に処理するデータ量）の依存が小さいため、エネルギー消費効率指標としては消費電力（単位はW）としている。なお、各製造事業者等が目標年度に国内向けに出荷する小型ルータについて、定められた測定基準により測定されたエネルギー消費効率（消費電力）を図 2.1-5 の区分毎に事業者毎の出荷台数で加重平均した値が目標基準値を上回らないようにすることと定義されている。

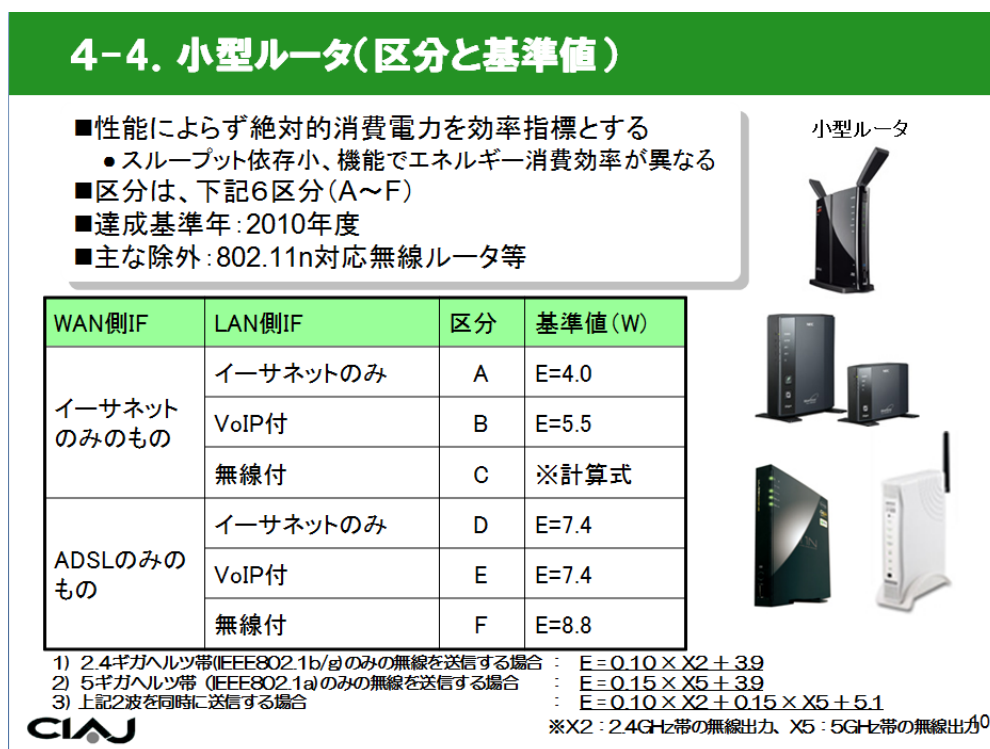


図 2.1-5 小型ルータの主な指標、区分と基準値*2

*2 CIAJ ルータ・スイッチ技術委員会提供


次に、BOX型L2スイッチの主な指標、区分と基準式を図 2.1-6に示す。各製造事業者等が目標年度に国内向けに出荷するL2スイッチについて、定められた測定基準により測定されたエネルギー消費効率を図 2.1-6の区分毎に事業者毎の出荷台数で加重平均した値が目標基準値を上回らないようにすることと定義されている。

また、省エネ法では、使用者が機器・器具の購入を検討する際に参照する資料（カタログ等）に、省エネルギー性能に関する項目を記載しなければならないとする表示義務が、2010年7月1日から発生している。

現在、大型ルータやL3スイッチの制度化に向けて検討が進められているところである（→4.4節参照）

4-5. BOX型L2スイッチ(区分と基準式)

- 達成基準年は、2011年度
- 区分は、下記4区分(A~D)
- $E_A = (a_{A1} X_1 + b_{A2} X_2 + c_{A3} X_3 + \beta_A) / (1 - 0.0347 P_d / P_{SA}) / T$
 a_{A1} : 100Mポート係数、 X_1 : 100Mポート数
 b_{A2} : 1Gポート係数、 X_2 : 1Gポート数
 c_{A3} : 10Gポート係数、 X_3 : 10Gポート数
 β_A : 消費電力の補正項
 P_d / P_{SA} : PoE最大給電電力率、 $(1 - 0.0347 P_d / P_{SA})$: PoE補正割
 T : 最大実効伝送速度



BOX型L2スイッチ

管理機能の有無	管理機能の種別	IPフィルタリング機能の有無	区分	基準式 (W/Gbit/s)
管理機能を有するもの	SNMP機能を有するもの	IPフィルタリング機能を有するもの	A	※計算式E _A
		IPフィルタリング機能を有さないもの	B	※計算式E _B
	Web管理その他の管理機能を有するもの	-	C	※計算式E _C
管理機能を有しないもの		-	D	※計算式E _D



11

図 2.1-6 BOX型L2スイッチの主な指標、区分と基準式*3

参考文献

- [1] 『トップランナー基準とは』、財団法人省エネルギーセンター
<http://www.eccj.or.jp/machinery/toprunner/toprunner.pdf>
- [2] 『省エネ法の概要 2010/2011』、財団法人省エネルギーセンター、2010
- [3] 『2010年3月版 トップランナー基準 世界最高の省エネルギー機器の創出に向けて』、経済産業省 資源エネルギー庁、2010

*3 CIAJ ルータ・スイッチ技術委員会提供。なお、各計算式(E_x)の詳細は参考文献[3]参照。

<http://www.enecho.meti.go.jp/policy/saveenergy/toprunner2010.03.pdf>

- [4] 総合資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会
電子計算機及び磁気ディスク装置判断基準小委員会 最終取りまとめ、
<http://www.eccj.or.jp/toprunner/computer/computer1.pdf>
- [5] 総合資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会
ルーター等判断基準小委員会 最終取りまとめ (小型ルーター・L2スイッチ)
<http://www.eccj.or.jp/toprunner/router/090424.pdf>

2.2. エネルギースタープログラム

2.2.1. 概要

エネルギースター (ENERGY STAR^{®*4}) プログラム[1]は、米国環境保護庁 (EPA ; Environmental Protection Agency) と米国エネルギー省 (DOE ; Department of Energy) が共同で推進する電気・電子機器の省電力化プログラムで、EPA が定めた省エネルギー基準に対する任意登録制度である。対象となる製品は、1992年コンピュータやモニタを対象として始まり、現在は50カテゴリーを超える家電製品からオフィス用電子機器までと幅広い。また、電気製品単体だけではなく、住宅、データセンタやビル全体の省エネルギーにまで対象を広げている。製品の稼働、スリープ、オフ時の消費電力などについて、省エネルギー性能の優れた上位25%の製品が適合となるように基準が設定される。

エネルギースタープログラムへ参加を希望する事業者は、まず、製造事業者や販売事業者など、該当する事業者タイプにて事前登録を行い、対象製品が基準を満たした製品であることを自社または第三者機関にて確認し、届出を行うことにより、ENERGY STAR のロゴマークを製品等に付けることが認められる。現在市販されているデスクトップパソコンは大半がエネルギースター対応をうたっており、起動時に ENERGY STAR のロゴを表示している。

なお、米国で始まった同プログラムは、1995年以降、世界の他地域の政府と連携し、「国際エネルギースタープログラム」として推進されており、現在では、日本、EU、カナダ、オーストラリア、ニュージーランド、台湾等で実施されているオフィス機器の国際的省エネルギー制度である[2]。ただし、米国での最新の状況として2011年1月から認証制度に移行しており、今後はEPA承認を受けた「認定試験所」で適合試験を受けたのち、EPA承認を受けた「認証機関」で認証を受ける必要がある。2010年11月時点で、国内に「認定試験所」はあるが、「認証機関」はない模様である。

データセンタに関する取り組みとして、“ENERGY STAR Data Center Energy Efficiency Initiatives”[3]が推進されており、「エネルギー効率のための指標原理 (Guiding Principles for Energy Efficiency)」、「データセンタのためのエネルギースター評価

*4 ENERGY STAR と ENERGY STAR マークは米国環境保護局の登録商標です。

(ENERGY STAR Rating for Data Centers)」、「データセンタ製品のエネルギースター指標 (ENERGY STAR Data Center Product Specifications)」等のイニシアティブが進められている。データセンタ製品では、コンピュータサーバ、ストレージ、UPS の指標開発がされている。

2.2.2. サーバに関するエネルギースター基準

EPA は 2009 年 5 月、ENERGY STAR の対象にコンピュータサーバを加えると発表した [4]。EPA によると、ENERGY STAR に準拠したサーバは、標準的なサーバと比較した場合、エネルギー効率が平均で 30% 優れているという。現在のサーバ確定基準は、Version 1.1 であり、より包括的な Version 2.0 の策定が現在進められている。Version 2.0 では対象機器はブレードサーバに拡大される予定であり*5、実行時のエネルギーベンチマーク測定ツールの開発が SPEC との協力により進められている [5]。

サーバ基準 Version 1.1 においては、以下の要件が設けられている [6]。

- ・ PSU (Power Supply Unit ; 電源装置) 要件
- ・ 電力管理要件
- ・ アイドル状態および全負荷時の消費電力要件
- ・ 標準情報報告要件
- ・ データ測定および出力要件

それぞれの要件について、満たすべき主な基準を以下に示す。

(1) PSU 効率基準

コンピュータサーバの PSU は、EPRI 汎用内部電源装置効率試験方法 (Generalized Internal Power Supply Efficiency Test Protocol) 6.4.2 版を用いて試験したときに、表 2.2-1 に示される効率要件を満たすこと。

表 2.2-1 PSU 効率要件 [6]

銘板出力電流の割合 としての負荷水準	複数出力 (交流-直流 & 直流-直流)	単一出力 (交流-直流 & 直流-直流)		
		すべての出力水準	≤ 500W	> 500 ~ 1000W
10%	適用なし	0.70	0.75	0.80
20%	0.82	0.82	0.85	0.88
50%	0.85	0.89	0.89	0.92
100%	0.82	0.85	0.85	0.88

*5 バージョン 2.0 の対象は、プロセッサソケットが 4 つ以下である、ブレード型、ラック搭載型、またはペDESTAL 型フォームファクタのコンピュータサーバに限定される。本基準の明確な対象外製品は、完全無停止型サーバ、サーバアプライアンス、ブレードストレージを含むストレージ機器、および、ネットワーク機器である

(2) PSU 力率基準

コンピュータサーバの交流-直流PSUは、EPRI汎用内部電源装置効率試験方法6.4.2版を用いて試験したときに、表 2.2-2に示される力率要件を満たすこと。

表 2.2-2 PSU 力率要件[6]

銘板出力電流の割合としての負荷水準	複数出力	単一出力		
		≤ 500W	> 500 ~ 1000W	> 1000W
10%	適用なし	適用なし	0.65	0.80
20%	0.80	0.80	0.80	0.90
50%	0.90	0.90	0.90	0.90
100%	0.95	0.95	0.95	0.95

(3) 電力管理要件

- ・ 3 ソケット (3S) および 4 ソケット (4S) のサーバには、低利用時間におけるプロセッサの消費電力を低減するために、プロセッサ段階の電力管理が設定されていること。
- ・ ノードあたり 3 つまたは 4 つのソケットを有する二重ノードサーバは、3S および 4S サーバに対して規定されるプロセッサ電力管理要件を満たすこと。
- ・ 1 ソケット (1S) および 2 ソケット (2S) のサーバには、低利用時間におけるプロセッサの消費電力を低減するために、プロセッサ段階の電力管理が設定されていてもよい。

(4) アイドル状態および全負荷時の消費電力要件

- ・ 1S および 2S サーバ：アイドル状態消費電力測定値 (PIDLE) は、次の計算式により算出された最大アイドル状態消費電力要件 (PIDLE_MAX) 以下であること[6]。

$$P_{IDLE_MAX} = P_{BASE} + \sum_{i=1}^n P_{ADDL_i}$$

P_{BASE} ：表 2.2-3 に基づき判断される基本アイドル時消費電力許容値

P_{ADDL_i} ：追加構成装置 (*) に対するアイドル状態消費電力許容値

(*) 追加構成装置：追加の電源装置、ハードドライブ、メモリ、I/O 装置

表 2.2-3 1S および 2S サーバに対する基本アイドル状態消費電力許容値[6]

区分	搭載プロセッサ数 (#P)	被管理サーバ	基本アイドル状態消費電力許容値 P_{BASE} (W)
A	1	非該当	55.0
B	1	該当	65.0
C	2	非該当	100.0
D	2	該当	150.0

- ・ 二重ノードサーバ: ノードあたり 1 つまたは 2 つのソケットを有する二重ノードサーバの場合、ノードごとのアイドル状態消費電力測定値が、計算式 1 により算出された、最大アイドル状態消費電力要件 (P_{IDLE_MAX}) 以下であること。
- ・ 3S および 4S サーバ: アイドル状態消費電力要件は、3 ソケット (3S) および 4 ソケット (4S) コンピュータサーバには適用されない。ただし、これら製品のアイドル状態および全負荷時の両方の消費電力を、ENERGY STAR 試験方法に従い測定し、消費電力と性能に関するデータシート上で報告すること。

(5) 標準情報報告要件

- ・ 標準化された消費電力と性能に関するデータシート (PPDS : Power and Performance Data Sheet) を、各 ENERGY STAR 適合コンピュータサーバについて作成し、他の製品構成情報とともにウェブサイト上に掲載する。

(6) データ測定および出力要件

- ・ 1 ソケットおよび 2 ソケット (1S および 2S) の被管理サーバ、および 3 つ以上のソケット (3S および 4S) を有するすべてのコンピュータサーバは、入力電力・吸気温度・推定プロセッサ利用率を測定し報告する能力があること。
- ・ データは、第三者による非独自仕様の管理システムにより読み取りが可能な、公表された、または使用者が利用可能な形式で入手可能であること。

2.2.3. データセンタに関するエネルギースター基準

EPA は 2010 年 6 月、ENERGY STAR の対象をデータセンタやデータセンタが入る建物などにも拡大すると発表した[7]。

EPA のエネルギー性能評価システムでは、データセンタの評価を 1 から 100 までのスケールで表す。評価 75 は、同様のすべての建物の中における性能が上位 25% に位置することを示す。このシステムの開発のために多数のデータセンタのエネルギーデータや運用の特徴に関するデータが収集されている。

エネルギー性能の評価指標としては、業界の標準的な指標である PUE (Power Usage

Effectiveness) を用いている。また、データセンタ間での PUE の相違を説明する運用の特徴を明確にするために回帰分析の手法を用いている。

2010 年 7 月、データストレージ・管理ソリューション開発企業 NetApp 社の Research Triangle Park (RTP) データセンタ (→後述の「コラム A」参照) が、ENERGY STAR for Data Centers の認定第 1 号となった[8]。また、2010 年内に米国内 8 箇所のデータセンタが認定されている[9]。

参考文献

- [1] ENERGY STAR ホームページ
<http://www.energystar.gov/>
- [2] 国際エネルギースタープログラムホームページ、ECCJ
<http://www.energystar.jp/index.html>
- [3] Data Center Energy Efficiency Initiatives
http://www.energystar.gov/index.cfm?c=prod_development.server_efficiency
- [4] プレスリリース「米環境保護局、省電力プログラム「Energy Star」をサーバに拡大」
<http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/0/3829E1CE26D173E7852575BA004D9518>
- [5] コンピュータサーバの ENERGY STAR プログラム要件 Version2.0 ドラフト 1 (和訳)
http://www.energystar.jp/document/pdf/translated_server_2_0_draft1.pdf
- [6] コンピュータサーバの ENERGY STAR プログラム要件 Version1.1
http://www.energystar.jp/document/pdf/translated_computer_servers_program_requirements_v1_1_final_2.pdf
- [7] ENERGY STAR 2010 ニュースリリース
<http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/e77fdd4f5afd88a3852576b3005a604f/810cb77be1d695a58525773b004ed344!OpenDocument>
- [8] The First Energy Star Data Center
<http://www.datacenterknowledge.com/the-first-energy-star-data-center/>
- [9] ENERGY STAR 認定データセンタ
http://www.energystar.gov/index.cfm?fuseaction=labeled_buildings.locator

コラムA. NetApp Data Center in RTP (Real Triangle Research, NC)

NetAppは1992年に米国で創業し、世界で初めてNAS(Network Attached Storage) アプライアンス製品を出荷したベンダである。創業以来ネットワークストレージとデータ管理業界のリーダーであり、いまなお成長を続けている。現在では世界120カ国でビジネスを展開し、これまでに65,000以上ものシステムを提供している。ストレージ・ソリューションのリーダーとして、企業で導入が進むクラウドコンピューティングを支えるために最適なストレージ・ソリューションを提供している。

NetAppのRTPデータセンタは、ENERGY STARプログラムが用いる100ポイントのスケール上で99という驚異的なポイントを獲得し、ほぼ完璧なレベルを達成している。132,000平方フィートの建物に36,000平方フィートのダイナミック・データセンタが収容され、約25メガワットの電力負荷に耐えるように設計されている。熱気と冷気を完全に分離し、建物全体で気圧を綿密にコントロールするようにデザインされたエアフローマネジメントを特徴としている。以下のような点からENERGY STAR for Data Centersの認定を受けるに至った。

- 通常より高い74°F(約23°C)平均の空気を供給することにより、冷却コストを大幅に削減している。
- 一年の67%は外気によるデータセンタの冷却を行っている。
- 自社技術に基づくmodulating fanにより気圧コントロールを行い、空気の過剰供給とエネルギー浪費を回避している。
- 温度の低い通路により冷気と熱気の流れを分離し、ラックからの熱流の影響を受けないようにしている。

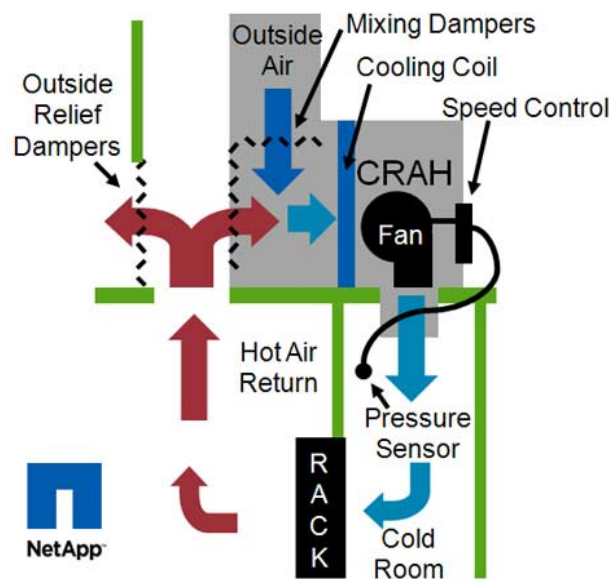


図 A-1. NetApp Data Center: Design Overview [8]

NetApp Data Center in RTP(続き)



(a) NetApp Data Center in RTP



(b) Air inlet units



(c) Following The Airflow



(d) The Aisle of data Halls



(e) Server Rooms

図 A-2. NetApp Data Center の各施設写真 [8]

2.3. ICT 分野におけるエコロジーガイドライン

ICT 分野におけるエコロジーガイドラインは、2009 年 6 月 26 日に関係 5 団体（社団法人電気通信事業者協会、社団法人テレコムサービス協会、社団法人日本インターネットプロバイダー協会、社団法人情報通信ネットワーク産業協会、特定非営利活動法人 ASP・SaaS インダストリー・コンソーシアム）により発足された「ICT 分野におけるエコロジーガイドライン協議会*6」が策定を進めている「電気通信事業者における調達基準策定および取組自主評価に関するガイドライン」である[1]。2010 年 2 月に同協議会の Web ページにて第 1 版が公開され、2011 年 3 月には第 2 版が公開されている[2]。

2.3.1. ガイドラインの目的

電気通信業者による CO2 排出削減への取組としては、自らが使用する装置やサービスの電力消費量を抑制することが効果的である。そのためには、個々の電気通信事業者は、電気通信分野における装置やサービスの調達に際して CO2 排出量の少ないものを調達する旨の「調達基準」を策定して取組むことが適当である。

また、各電気通信業者の環境配慮の取組を更に推進するためには、各電気通信事業者の行動基準を明確にするとともに、外部から容易に評価できる仕組みが求められる。

本ガイドラインは、こうした考えを踏まえ以下の(1)および(2)を示すことにより、電気通信事業者による CO2 排出削減等の環境配慮の取組レベルが向上することを目的とする。また電気通信事業者以外の ICT 機器を利用する者にも環境配慮の取組を広げることを目的とする。

(1) 省エネ装置等の調達基準策定に関するガイドライン

電気通信事業者が CO2 排出削減に着目した装置やサービスの「調達基準」を策定する際の参考となる「評価基準」を示す。

(2) 環境配慮の取組自主評価とその公表に関するガイドライン

電気通信事業者が適切に CO2 排出削減に取り組んでいることを可視化するために、取組状況を分かりやすく公表できる仕組みを整備する。そのため、協議会として取組自主評価のためのチェックリストおよびシンボルマーク「エコ ICT マーク」を示す

なお、本ガイドラインは、電気通信事業者等が自主的取組の一環として自社の調達基準を定める際の参考となるものである。電気通信事業者等が必要とする装置の性能や機能によっては、本ガイドラインによる省エネ基準を満足しない場合もありうる。

*6 <http://www.eco.tca.or.jp/>

2.3.2. 装置・データセンタの評価基準

(1) 装置

ガイドライン第1版では、小型ルータ、L2スイッチ、トランスポート装置（WDM）、PON装置（GE-PON）、ブロードバンド系基地局装置（WiMAX）、外部電源（ACアダプタ）、サーバ装置の7種の装置を対象に評価指標を定めている（図2.3-1）。また、評価指標により算定した値を5段階で評価し、★の数でランクを示す（★～★★★★★★）こととし、このうち基準値を含むランクは★★（2つ星）としている。

なお、2011年3月に公開された第2版では、ストレージ装置、ブロードバンド系基地局装置（LTE）、外部電源（整流器）が追加されている。

装置分類		評価指標
小型ルータ ($\leq 200\text{Mbps}$, VPNなし)		【消費電力】 $E = P(W)$
L2スイッチ (ボックス型)		【消費電力/最大実効伝送速度】 $E = (\alpha_n + P_n) / T$
トランスポート装置	WDM	【平均消費電力当たりの最大スループット】 $E = \text{最大スループット}(\text{Gbps}) / \{(P_{\text{フル波長}} + P1\text{波}(W)) / 2\}$
PON装置	GE-PON	OLT 【回線総数当たりの平均消費電力】 $E = \{(P_{100\%} + P_{50\%} + P_{0\%}(W)) / 3\} / \text{回線総数}$ ONU 【平均消費電力】 $E = (P_{100\%} + P_{50\%} + P_{0\%}) / 3(W)$
ブロードバンド系基地局装置	WiMAX	【平均消費電力当たりの送信出力】 $E = \text{送信出力}(W) / \{(P_{100\%} + P_{0\%}(W)) / 2\}$
外部電源(ACアダプタ)		【平均変換効率】 $E = (\eta_{25\%} + \eta_{50\%} + \eta_{75\%} + \eta_{100\%}) / 4$
サーバ装置		動作状態 【平均消費電力当たりの処理性能指標値】 $E = \sum \text{ssj_ops}(\text{処理性能}) / \sum \text{消費電力}(W) / 10$ アイドル状態 【複合理論性能当たりのアイドル状態と低電力モードの平均消費電力】 $E = \{(W1+W2) / 2\} / Q$

※詳細は、ガイドライン本体の4.および5.を参照。

図 2.3-1 評価対象となる7種類の装置の評価指標 [1]

(2) データセンタ

データセンタの省エネルギーについて、ひとまず、PUE（後述→2.4.1）を指標の一つとして取り上げており、PUEを公表する際は測定方法等を記載するとしている。

2.3.3. ガイドラインの運用

なお、装置・データセンター及びエコ ICT マークに係る評価・公表等の運用は図 2.3-2 及び図 2.3-3 のように実施され、ベンダー及びデータセンター事業者による評価結果等の届出は 2010 年 12 月に開始されている。

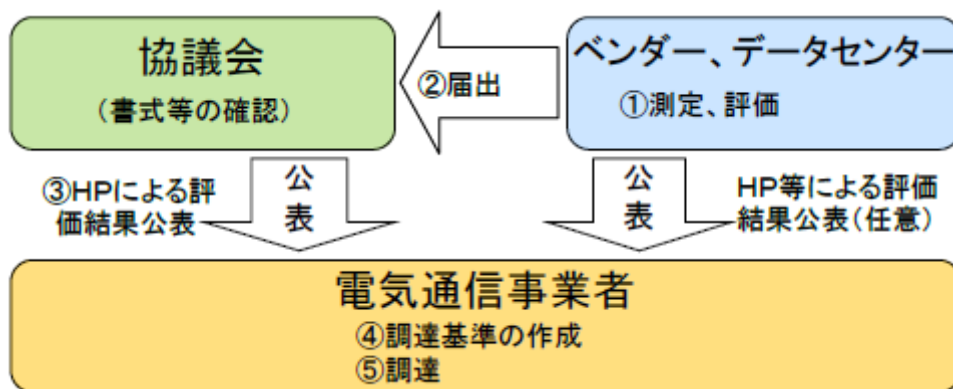


図 2.3-2 装置・データセンターに係る評価・公表等の運用（イメージ） [1]

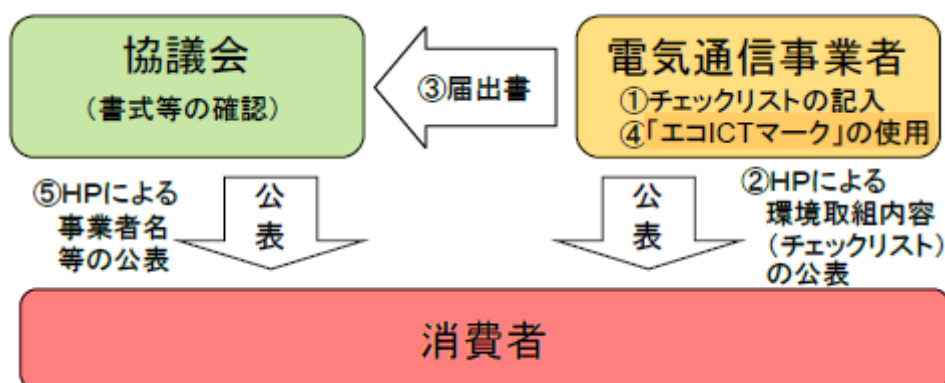


図 2.3-3 エコ ICT マークに係る評価・公表等の運用（イメージ） [1]

参考文献

[1] ICT 分野におけるエコロジーガイドライン協議会，「ICT 分野におけるエコロジーガイドライン」（案）概要，2009/12.

http://www.tca.or.jp/press_release/pdf/091222_gaiyo.pdf

[2] ICT 分野におけるエコロジーガイドライン協議会，「ICT 分野におけるエコロジーガイドライン第 2 版」，2011/3.

http://www.tca.or.jp/information/pdf/ecoguideline/guideline_2.pdf

[3] ICT 分野におけるエコロジーガイドライン協議会，「ベンダー及びデータセンター事業者による評価結果等の届出の受付及び情報提供の開始について」

http://www.tca.or.jp/press_release/2010/1224_437.html

2.4. データセンタ省エネ評価指標

2.4.1. PUE

PUE (Power Usage Effectiveness : 電力使用効率) は、データセンタのエネルギー効率を表す指標である。データセンタの省電力化を推進する業界団体の The Green Grid (TGG) が、データセンタのエネルギー効率改善を目的に、2007年に提唱した[1]。

PUE は、次に示す式で定義される。

$$\text{PUE(Power Usage Effectiveness)} = \frac{\text{データセンタの総消費電力}}{\text{IT 機器の消費電力}}$$

データセンタの消費電力は、電力メーターで記録されるデータセンタによってのみ消費された電力として定義され、IT 機器の消費電力は、データセンタ内でデータを管理、処理、保存、送信するために使用される機器により消費された電力と定義される。従って PUE の値は小さく 1.0 に近いほど良い。PUE=1.0 は、効率が 100%であり、電力すべてが IT 機器のみによって消費されている状態を示し、PUE=2.0 は、データセンタ全体の消費電力が IT 機器に必要な電力量の 2 倍必要であることを示す。PUE=2.0 では、冷却、照明、UPS (Uninterruptible Power Supply : 無停電電源装置) などに IT 機器と同じ電力量を使用している。

PUE の計測では、データセンタの構造やデータ収集方法の違いによる誤差が生じやすく、TGG は 2009 年の White Paper[2]では、電力ベースでなくエネルギーベースの測定の方がより正確で適切としており、さらに測定精度を 3 つのクラスに分け、IT 機器やファシリティの消費電力をどこで、どれくらいの頻度で計測するかを次に示す測定レベルとして定義している。

レベル 1 (基礎)	IT 機器電力計測 : UPS
	総施設電力 : データセンタ電源入力
	測定頻度 : 月/週 1 回
レベル 2 (中級)	IT 機器電力計測 : PDU(Power Distribution Unit)
	総施設電力 : データセンタへの入力 (共用 HVAC を除く)
	測定頻度 : 毎日
レベル 3 (上級)	IT 機器電力計測 : サーバ、その他
	総施設電力 : データセンタ入力およびビル照明、保安設備
	測定頻度 : 連続的 (xx 分ごと)

さらに PUE 測定では、IT 機器と施設インフラ間の境界の曖昧さが課題であり、解消に向けた検討がなされていた。2011 年 2 月の日本で開催された日米欧ワークショップでは、PUE はデータセンタの全消費エネルギーを IT 機器の消費エネルギーで割ったものとし、さらに電力以外のエネルギー源を用いる場合も含めた PUE の測定方法が合意されている[3]。

2.4.2. DPPE

DPPE (Datacenter Performance Per Energy) は、PUE 同様にデータセンタのエネルギー効率を表す指標である。データセンタのエネルギー消費効率を改善するには、ファシリティの省エネ化とデータセンタ内の IT 機器の省エネの両方を実現することが必要であるが、ファシリティ電力効率の改善を促す PUE 指標のみでは不十分である。そこで、データセンタ全体のエネルギー効率を表わす新しい指標として、グリーン IT 推進協議会により、2010 年に DPPE が提唱された[4]。

DPPE は、次に示す式で定義される。

$$DPPE = ITEU \times ITEE \times \frac{1}{PUE} \times \frac{1}{1 - GEC}$$

$$ITEU(\text{IT Equipment Utilization}) = \frac{\text{IT 機器の総実測電力}}{\text{IT 機器の総定格電力}}$$

$$ITEE(\text{IT Equipment Energy Efficiency}) = \frac{\text{IT 機器の総定格能力}}{\text{IT 機器の総定格消費電力}}$$

$$GEC(\text{Green Energy Coefficient}) = \frac{\text{グリーン(自然エネルギー)電力}}{\text{データセンタの総消費電力}}$$

ここで、ITEU はデータセンタの IT 機器利用率を、ITEE は IT 機器のエネルギー効率を、PUE はファシリティの電力効率を、GEC はグリーン電力効率を示す。つまり DPPE は、データセンタの生産量を消費エネルギーで割った、単位エネルギー当たりの生産性を示す指標とも言える。

DPPE は値が大きいほど良いが、IT 機器利用率が高くファシリティの省エネがなされている生産性の高いデータセンタを想定した場合、IT 機器利用率を 70%、IT 機器エネルギー効率を 4.4、PUE を 1.2、グリーン電力効率を 30%と想定すると、DPPE はおよそ 3.7 となる。一方、生産性の低いデータセンタを想定した場合、IT 機器利用率を 20%、IT 機器エネルギー効率を 1.0、PUE を 2.0、グリーン電力効率を 0%と想定すると、DPPE は 0.1 となる。調査分析委員会 2009 年度の報告書では、上記の数値から、2009 年度における DPPE の数値幅は 0.1~3.7 程度になるとの見込みが報告されている[5]。また、PUE のみを 2.0 から 1.2 に改善したのみでも DPPE は 1.0 以上向上するので、DPPE 改善においても PUE 改善は重要であることがわかる。

DPPE の標準化に向けて、現在は DPPE の実測が進められている (→4.2. 節参照)。

参考文献

- [1] The Green Grid White Paper 6 (Green Grid のデータセンタ電力効率指標 : PUE と DCiE), 2007.
- [2] The Green Grid White Paper 22 (グリーン・グリッドインフラ指標 (PUE/DCiE) の使用・公開報告に関するガイドライン), 2009/3.
- [3] データセンタのエネルギー効率に関する指標の世界協調について (日米欧国際会議における合意文書), 2011/2.
http://www.greenit-pc.jp/topics/release/pdf/dppe_j_20110228.pdf
- [4] データセンタの省エネ度評価指標【DPPE】について, 2010/3.
http://www.greenit-pc.jp/topics/release/100316_j.html
- [5] 2009 年度 グリーン IT 推進協議会 調査分析委員会 報告書, 2010/6.

2.5. SPEC によるサーバ省エネ評価ベンチマーク

2.5.1. 組織概要

SPEC (Standard Performance Evaluation Corporation) は、コンピュータの公平で意味のあるベンチマークを作成することを目指して設立された非営利団体である。1988 年に設立され、全ての主要なコンピュータ企業やソフトウェア製造業者などのメンバー企業が資金提供している。SPEC のベンチマークはコンピュータシステムの性能評価に今日広く使われていて、その測定結果は SPEC のウェブサイト上で公表されている[1]。サーバ電力測定指標として、SPECpower_ssj2008 と SPECweb2009 の 2 つの指標がある*7。

2.5.2. サーバ電力測定ベンチマーク SPECpower_ssj2008

SPECpower_ssj2008 は、SPEC により 2007 年 12 月に提供が開始された、サーバ電力測定指標を初めて定義したベンチマークテストである。環境問題への関心が高まる中、コンピュータシステムの電力効率の客観的な比較ができる初の業界標準ベンチマークとして注目されている[2]。

2009 年 4 月にリリースされた V1.10 では、ブレードのような共通インフラストラクチャを共有する現代の多重システムの電力効率を測定する多重ノードサーバをサポートしている。さらに、ビジュアルアクティビティモニタ (VAM) により、ベンチマーク実行中に収集したデータのリアルタイムグラフ表示を可能にした。

SPECpower_ssj2008 は、テスト対象システム (System Under Test : SUT) の消費電力とパフォーマンス特性を測定することにより、コンピュータのエネルギー効率を測定するものであり、図 2.5-1 に示すように基本的に以下の 4 つのコンポーネントで構成されている。

*7 SPECpower は Standard Performance Evaluation Corporation の登録商標です。

- System Under Test (テスト対象システム、SUT)
- Controller and Collection System (コントローラおよび収集システム、CCS)
- Power and Temperature Daemon (電力および温度デーモン、PTDaemon)
- ディレクターソフトウェア モジュール (ssj2008 director)

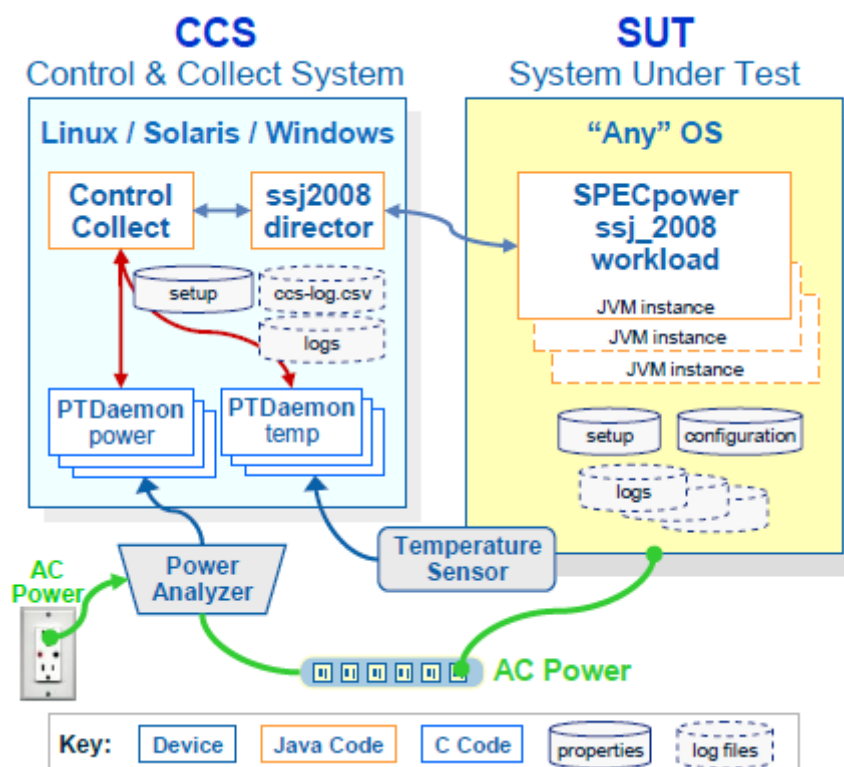


図 2.5-1 SPECpower_ssj2008 ベンチマークのコンポーネント [3]

SPECpower_ssj2008 では、テスト対象のサーバ (SUT) に対して与える負荷としてサーバ・サイド Java (ssj_ops) を実行する。図 2.5-2 に示すように、フル稼働状態 (100%) からアイドル状態 (0%) まで、システムに与える目標負荷を 10 % 刻みで変化させ、11 の負荷レベルの各々の状態におけるスループット (処理した ssj_ops 数) と平均消費電力 (watt) を計測し、それぞれの負荷レベルの測定結果からエネルギー効率を計算し、更に総合的な電力効率指標を計算する。全てのベンチマーク実行が完了するまで、約 70 分である。

SUT の電力効率を示す性能指数として、各レベルの目標負荷におけるスループット (ssj_ops) の合計を、平均消費電力 (power) の合計で割った値である電力効率値 $overall\ ssj_ops/watt = \sum ssj_ops / \sum power$ が、本ベンチマークテストの結果として計算、レポートされる (図 2.5-3 参照)。

図中の赤棒で、全ての目標負荷 (Y 軸) に対する電力消費比率 (ssj_ops/watt) を X 軸上部で示しており、青線で、各目標負荷レベルの平均消費電力 (watt) を X 軸下部で示している。

そして、X軸に垂直な黒線で本ベンチマークの結果として、746 overall ssj_ops/watt を示している。

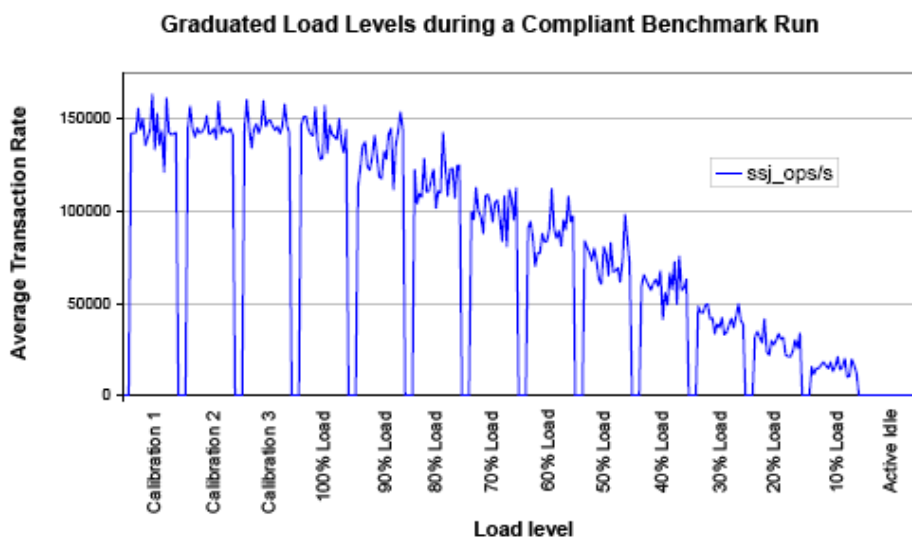


図 2.5-2 SPECpower_ssj2008 テストシーケンスの 11 負荷レベル [3]

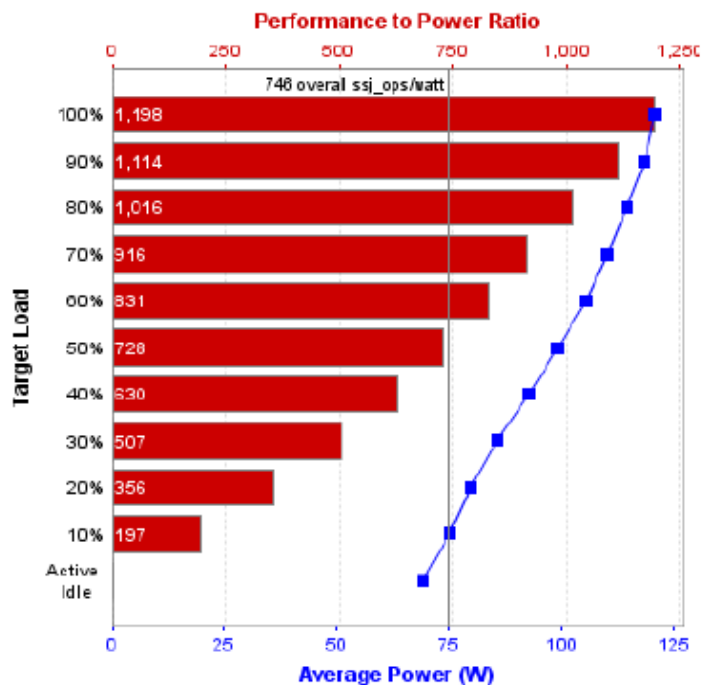


図 2.5-3 SPECpower_ssj2008 ベンチマーク結果 (平均消費電力とエネルギー効率値) [3]

スループットと電力消費の比率としてのエネルギー効率だけでなく、実際のシステムで

は、スループットと電力消費の絶対値も重要となる。電力消費を見積もるには、実際のシステムが動作するときの負荷レベルを知ることが特に重要であり、実施の負荷条件でのシステムの電力消費効率の最適化のために、効率と絶対値の両方の観点から評価可能な SPECpower_ssj2008 ベンチマークの測定結果が指標となると期待されている。

参考文献

[1] SPEC ホームページ

<http://www.spec.org/>

[2] SPECpower_ssj2008

http://www.spec.org/power_ssj2008/

[3] SPECpower_ssj2008 ベンチマーク解説 v1.0 (富士通株式会社)

<http://primeserver.fujitsu.com/primergy/performance/pdf/benchmark-overview-specpower-ssj2008-jp.pdf>

2.6. SNIA によるストレージ省エネ評価指標

2.6.1. 組織概要

SNIA (Storage Networking Industry Association) は、SAN (Storage Area Network) /NAS (Network Attached Storage) を推進する世界最大の業界団体であり、1997 年に非営利団体として米国で設立された。ストレージネットワーク技術、教育、啓発、標準化を中心に活動しており、ストレージ、サーバ、ネットワーク、ソフトウェアの主要ベンダ、システムインテグレータ、サービスプロバイダに加えて、多くのユーザ企業が参加している。バックアップ、資源管理、ファイバ・チャネル、ファイル・システム、NAS などの項目別のワークグループがあり、普及促進活動を行っている[1]。

2001 年 8 月には日本支部である SNIA-J (SNIA Japan Forum) も発足し、東京エレクトロニクス (株)、東芝ソリューション (株)、日本電気 (株)、ネットアップ (株)、(株) 日立製作所、富士通 (株) が正会員として参加している他 6 社の賛助会員、2 社の特別会員から構成される[2]。

SNIA には図 2.6-1 に示すような各種のテクニカルワークグループ (TWG) があり、電力消費量削減を目指す TWG として、Green Storage TWG がある。本稿では Green Storage TWG の活動の一つである Green Storage Initiative (GSI) について報告する。

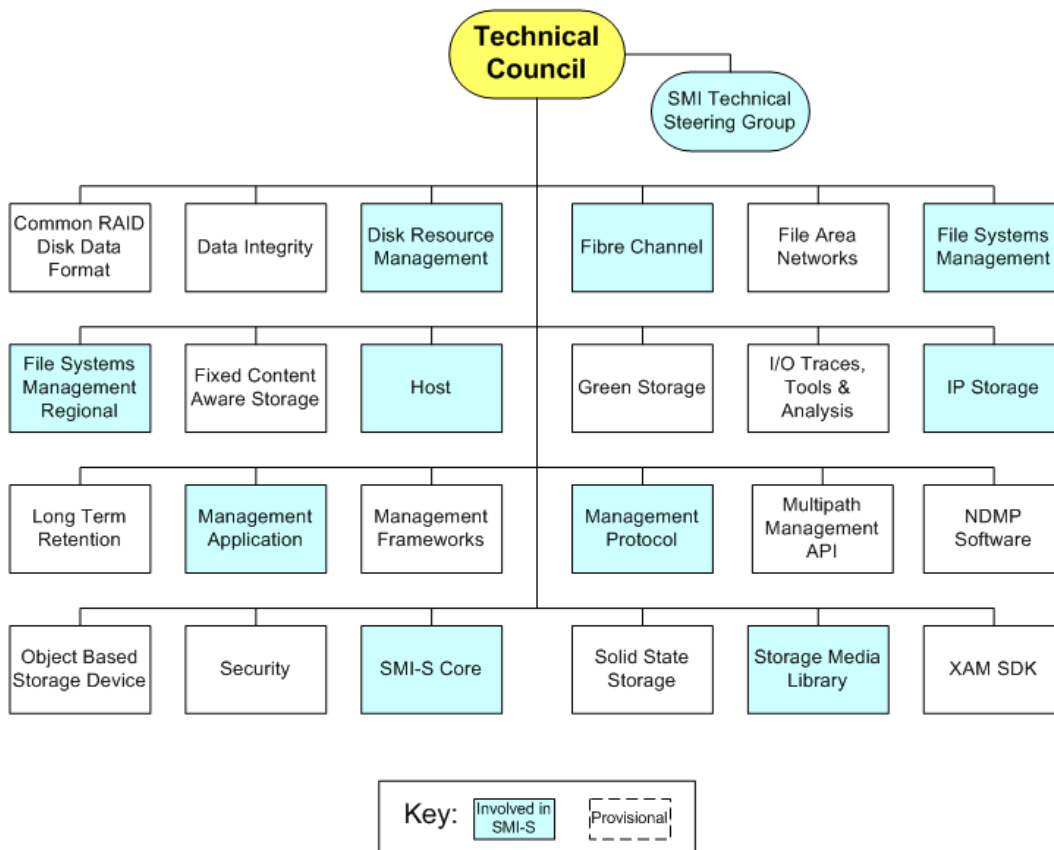


図 2.6-1 SNIA's Technical Work Groups (TWGs) [3]

2.6.2. SNIA Green Storage Initiative (GSI)

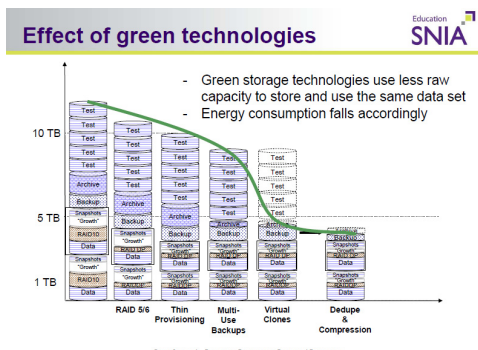
GSI は電力消費量削減を目指すイニシアティブであり、Green Storage Technical Work Group の一部として活動している。

ネットワークストレージの電力効率を上げ、省エネ知識を普及することを目的として、図 2.6-2 に示すようなチュートリアルや教材の開発、ホワイトペーパーの作成を行い、ベンダやユーザに対して電力効率向上技術を推奨するとともにベスト・プラクティスを提供していくよう活動している[4]。

現在、GSI には日立データシステムズ、EMC、IBM、デル、クァンタム、オラクル等の企業が参加しており、さらにメンバーの拡充を図っている (図 2.6-3)。

Green Storage – The Big Picture

SWWorth, Microsoft
SNIA Green Storage Initiative



What Storage aspects could be affected?

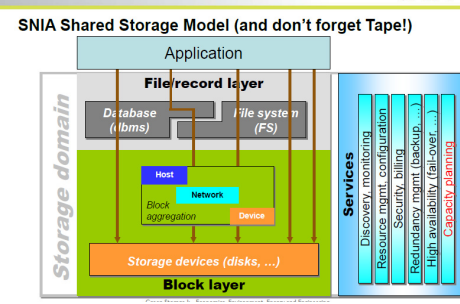


図 2.6-2 GSI 作成のチュートリアル Green Storage – The Big Picture [4]

Green Storage Initiative • Member Companies 2010



図 2.6-3 2010 年 GSI 参加企業 [5]

また、SNIA GSI はストレージにおけるデータの管理・最適化・圧縮、データセンタにおける空調の改善などを目的とした総合的なストレージの電力効率測定仕様 (Storage Power Efficiency Measurement Specification) を開発しており、2010年8月にドラフト第2版 (Version 0.2.10) を発表した[6]。

第2版では、オンライン・ストレージに関する実使用環境を考慮したワークロードおよびソフトウェア・ベースの容量最適化技術 (差分スナップショット、シン・プロビジョニング、重複排除など) が追加されている。

例えば、ストレージの電力効率測定仕様を動作時と待機時とで各々、以下のように定義している。

待機時のストレージ電力効率 (PE_i) は、次式で定義される。

$$PE_{RI} = \frac{C_R}{PI} \quad [\text{GB/W}]$$

ここで、

C_R : テスト対象システム (System Under Test : SUT) の生の性能値 (Raw Capacity) [GB]

PI : 待機時に測定された平均消費電力[W]であり次式で表される。

$$PI = \frac{\sum W_s}{n} \quad [\text{W}]$$

W_s : サンプル間隔 s で測定された電力[W]

n : 測定サンプル数

動作時は、テストフェーズ i に対するストレージ電力効率 (PE_i) が、次式で定義される。

$$PE_i = \frac{O_i}{PA_i} \quad [\text{IOPS/W}], \text{ または, } [\text{MiB/sec/W}]$$

ここで、

O_i : 動作状態によって異なり、ランダム読み書き時は、IOPS (I/O operations/sec)、シーケンシャル読み書き時では、MiB*/sec (Mebibytes/sec) である。

PA_i : 動作時に測定された平均消費電力[W]であり次式で表される。

$$PA_i = \frac{\sum W_s}{n}$$

参考文献

[1] SNIA ホームページ

<http://www.snia.org/>

*8 MiB (Mebibytes) は、 2^{20} (=1,048,576) bytes を表す単位。

- [2] SNIA Japan ホームページ
<http://snia-j.org/>
- [3] SNIA テクニカルワーキンググループ
http://www.snia.org/tech_activities/work/twgs/
- [4] SNIA チュートリアル Green Storage –The Big Picture
http://www.snia.org/education/tutorials/2010/fall/green/SWorth-GreenStorage%20_SNW-Oct-10-sw3-nc.pdf
- [5] SNIA Green Storage Initiative
<http://www.snia.org/forums/green/>
- [6] ストレージ電力効率測定仕様
http://www.snia.org/tech_activities/publicreview/GreenPower_v018.pdf
http://www.snia.org/tech_activities/publicreview/Storage_Power_Efficiency_Measurement_Spec_v0.2.10_DRAFT.pdf

2.7. SPCによるストレージ省エネ評価ベンチマーク

2.7.1. 組織概要

SPC (Storage Performance Council) は、ストレージシステムにおけるベンチマークテストの定義、規格化、促進を図る非営利法人として設立された。客観的で実証可能な性能データをコンピュータ業界および顧客に提供することを目的としている[1]。

SPCには2008年1月現在で Full, Associate, Academic 合わせて35社のメンバーが加盟しており、そのほとんどがストレージシステム製品ベンダである (図 2.7-1)。



図 2.7-1 2010 年 SPC メンバー企業 [2]

2.7.2. ストレージシステムのベンチマーク

SPC は 2001 年にストレージシステム業界初の標準ベンチマークとして、SPC Benchmark 1™ (SPC-1™) Version 1.0 を開発、発表した。その後、SPC-1 は、改訂を重ねてきており、2009 年 10 月に Version 1.12 として、エネルギー利用状況の測定とレポートを含めた拡張版である SPC Benchmark 1/Energy™ (SPC-1/E™) が発表された[3]。現在は、4 つのベンチマーク (SPC-1,SPC-2,SPC-1C,SPC-2C) と 2 つのエネルギー拡張版 (SPC-1/E,SPC-1C/E) がリリースされており、各ベンチマークに対するテストスポンサーとなった企業によるベンチマーク結果がウェブサイト上に公開されている。[4]

(1) SPC Benchmark 1 (SPC-1)

SPC-1 は 1 つのストレージシステムとしての性能を示すよう設計された単一のワークロ

ード（動作負荷）から構成される。スケーラブルなテスト群であり、電子メールサーバのようなオンライン・アプリケーションで使用されるストレージシステムでみられる業務負荷を想定している。1秒間のトランザクション処理回数、価格性能値など、ランダム I/O を中心としたストレージ性能値を評価する標準的なベンチマークテストである。

SPC-1 で実行されるテストには次のようなものがある。

- ・ **Persistence** テスト
被試験ストレージシステムに格納・検索されるデータが不揮発であり矛盾がないことを確認するテスト
- ・ **Sustain** テスト
長時間走行（三時間以上）によりストレージシステムの性能を測定するテスト
- ・ **Ramp** テスト
100 % から 10 %までの各負荷条件での性能を測定するテスト
- ・ **Repeat** テスト
最大負荷（100 %）と低負荷（10 %）での性能を確認するテスト

SPC-1 では表 2.7-1 のような性能値を得ることができ、全体としてストレージシステムの性能レベルが示される。

表 2.7-1 SPC-1 で得られる性能値 [3]

SPC-1 IOPS™ (Average I/O Transactions per Second)	そのシステムが提供可能なトランザクション処理効率を示す
SPC-1 Price-Performance	SPC-1 IOPS™ 当たりの価格で、そのシステム価格と性能の関係を示す
Total Storage Space	テストに使用されたシステム全体の記憶容量で、そのシステムの規模を示す
Protection Level	そのシステムで用いられたデータ保護レベル
SPC-1 LRT™ (Average Response Time)	低負荷時におけるストレージに対するアクセス要求への平均応答時間を示す

(3) SPC Benchmark 2 (SPC-2)

SPC-2 は、大規模なデータを連続的に扱うビジネスアプリケーションにおいて、ストレージシステムの性能を測定するテスト群である。大容量ファイル処理、大容量データベースのクエリ、ビデオ・オン・デマンドの 3 つのワークロードで構成されており、シーケンシャル I/O を中心としたストレージ性能における標準的なベンチマークテストである。

(4) SPC Benchmark 1C (SPC-1C)

SPC-1C は、ディスクドライバー、ホスト・バス・アダプター (HBAs)、ロジカル・ボリューム・マネージャーのようなソフトウェア等のストレージを構成する製品群に広く適用可能とした初めての構成要素レベルの SPC ベンチマークである。SPC-1C は小さなストレージシステムにのみ適用可能であり、1-4U,2-2U,4-1U 等の 4U よりも小さなストレージに入っている最大で 48 個のデバイスが対象となる。

(5) SPC Benchmark 1C/Energy (SPC-1C/E)

SPC-1C/E は、エネルギー利用状況を測定可能とした SPC-1C の拡張版である。

(6) SPC Benchmark 2C (SPC-2C)

SPC-2C は、構成要素レベルを対象とした 2 番目の SPC ベンチマークである。SPC-1C と同様に小さなストレージシステムを対象としている。

参考文献

[1] SPC ホームページ

<http://www.storageperformance.org/>

[2] SPC メンバー企業

<http://www.storageperformance.org/about/roster/>

[3] “SPC-1, SPC-1/E official specification Revision 1.12” ,2009/09/12

http://www.storageperformance.org/specs/SPC-1_SPC-1E_v1.12.pdf

[4] SPC Specifications

<http://www.storageperformance.org/specs>

[5] SPC Benchmark 結果レポート例 (HP 社)

http://www.storageperformance.org/benchmark_results_files/SPC-1E/AE00003_HP_StorageWorks-6400-EVA/ae00003_HP_StorageWorks-6400-EVA_SPC1E_full-disclosure.pdf

[6] SPC-1/E 概要説明資料

http://www.storageperformance.org/press/SPC-1E_Overview_2009-10-13.pdf

2.8. ATIS による通信機器省エネ評価指標

2.8.1. 組織概要

ATIS (Alliance for Telecommunications Industry Solutions) は、米国を拠点とする通信会社とソフトウェアおよび装置のサプライヤーによるグループであり、ICT 分野における標準化が活動の中心である。ANSI (American National Standards Institute) が認定する米国内の 3 つの公的標準化組織 (ASO : Accredited Standards Organization) *9 の 1 つであり、2004 年に T1 委員会から名称が変更された。メンバーには、通信事業者や通信機器ベンダなどが含まれる[1]。

ATIS には現在、以下に示す委員会およびフォーラムがある。

- Automatic Identification and Data Capture Committee (AIDC - Formerly BCSC)
- Copper/Optical Access Synchronization and Transport Committee (COAST)
- Emergency Services Interconnection Forum (ESIF)
- IPTV Interoperability Forum (IIF)
- Industry Numbering Committee (INC)
- IMSI Oversight Council (IOC)
- Next Generation Interconnection Interoperability Forum (NGIIF)
- Network Reliability Steering Committee (NRSC)
- Ordering and Billing Forum (OBF)
- Protection Engineers Group (PEG)
- Network Performance, Reliability and Quality of Service Committee (PRQC)
- Packet Technologies and Systems Committee (PTSC)
- SMS/800 Number Administration Committee (SNAC)
- Service Oriented Networks Forum (SON)
- **Sustainability in Telecom: Energy and Protection Committee (STEP)**
- Telecommunications Fraud Prevention Committee (TFPC)
- Telecom Management and Operations Committee (TMOC)
- Wireless Technologies and Systems Committee (WTSC)

また、以下のイニシアティブがある。

- **Green Initiative**
- Incubator Solutions Program
- The 3rd Generation Partnership Project (3GPP)

*9 ATIS 他の ASO は、TIA (Telecommunications Industry Association) と IEEE SA (Institute of Electrical and Electronics Standards Association)。

上記のうち、通信機器のエネルギー効率、環境への影響などに取り組んでいる、STEP と Green Initiative における活動概要を以下にまとめる。

2.8.2. Sustainability in Telecom: Energy and Protection Committee (STEP)

STEP は、2010 年、当時の委員会 Network Power and Protection Committee (NIPP) をもとに発足した。通信機器の標準化活動を行い、エネルギー効率、環境への影響、電力、保護に関する技術文書を提供している[2]。

STEP の前身である NIPP 委員会は、通信機器の消費エネルギー測定方法を標準化し、効率の測定基準と報告方法を確立する目的で、表 2.8-1 の4つの文書を作成している[3]。これらは 2009 年に ANSI 規格化されている。

表 2.8-1 通信機器のエネルギー効率に関する規格 (ANSI 規格) [3]

ANSI 規格番号	タイトル	対象機器
ANSI/ATIS-0600015.2009	Energy Efficiency for Telecommunication Equipment: Methodology for Measurement and Reporting – General Requirements	一般の機器
ANSI/ATIS-0600015.01.2009	Energy Efficiency for Telecommunication Equipment: Methodology for Measurement and Reporting – Server Requirements	サーバ装置
ANSI/ATIS-0600015.02.2009	Energy Efficiency for Telecommunication Equipment: Methodology for Measurement and Reporting – Transport Requirements	トランスポート装置
ANSI/ATIS-0600015.03.2009	Energy Efficiency for Telecommunication Equipment: Methodology for Measurement and Reporting for Router and Ethernet Switch Products	ルータ、イーサネットスイッチ

これらの規格では、通信機器を "core", "transport", "access" などに分類し、消費電力の測定方法とエネルギー効率 (Telecommunications Energy Efficiency Ratio, TEER) の計算方法を定義している。

一般に、TEER は

$$\text{TEER} = (\text{装置の仕事}) / (\text{エネルギー消費量})$$

で表される[4]。

2.8.3. The ATIS Green Initiative

ATIS の Green Initiative は、エネルギー効率の向上、温室効果ガスの削減、“Reduce, Reuse, Recycle” の推進、エコビジネスの促進をもたらす包括的なソリューションを提供している[7]。

2008 年、専門委員会 Exploratory Group on Green (EGG) が発足し、ATIS とそのメンバーの環境持続可能性への取り組みの推進方法について研究を行っている。EGG の構成メンバーの所属団体は以下のとおりである。

- Harris-Stratex Networks
- ADTRAN
- Alcatel-Lucent
- AT&T
- Bechtel
- Bell Canada
- BT
- Cisco Systems, Inc.
- Ericsson
- Harris-Stratex
- Huawei Technologies, USA
- Juniper Networks, Inc.
- NetTraffic
- Nokia Siemens Networks
- Qwest
- Verizon

EGG は、以下の 3 つのレポートを公開しており HP から PDF 文書が入手可能である。

(1) ATIS Report on Environmental Sustainability (2009 年 3 月) [6]

ICT における環境持続可能性に関する調査結果を提供する。持続可能性への取り組みには、経済成長、環境保護および社会的責任のバランスを考慮することが必要であるとしている。

(2) ATIS Report on Wireless Energy Efficiency (2010 年 1 月) [7]

無線ネットワークのエネルギー効率に関する調査結果を提供する。基地局におけるエネルギー効率、エネルギーサプライチェーン、装置のエネルギー効率、再生可能エネルギー等について概説している。

(3) ATIS Report on ICT Life Cycle Assessment (LCA) (2010 年 1 月) [8]

ICT におけるライフサイクルアセスメントに関する調査結果を提供する。ICT における

LCA の概要、関連団体の取り組み、LCA 算定ソフトウェアやデータベースについて解説している。

参考文献

[1] ATIS ホームページ

<http://www.atis.org/>

[2] Sustainability in Telecom: Energy and Protection Committee (STEP)

<http://www.atis.org/STEP/index.asp>

[3] ATIS Document Center

<https://www.atis.org/docstore/search.aspx>

[4] News Release “ATIS Develops Telecommunications Energy Efficiency Ratio”

<http://www.atis.org/PRESS/pressreleases2009/031909.htm>

[5] The ATIS Green Initiative

<http://www.atis.org/Green/index.asp>

[6] ATIS Report On Environmental Sustainability

http://www.atis.org/green/docs/ATIS_Report_On_Environmental_Sustainability_FINAL.pdf

[7] ATIS Report on Wireless Energy Efficiency

http://www.atis.org/Green/docs/ATIS_Report_on_Wireless_Energy_Efficiency-Final.pdf

[8] ATIS Report on ICT Life Cycle Assessment

http://www.atis.org/Green/docs/ATIS_Report_Lifecycle_Assessment-Final.pdf

3. 高効率化技術に関する取り組み事例

3.1. IT 機器・システム基盤省エネルギー技術開発（グリーンネットワーク・システム技術 研究開発プロジェクト）

3.1.1. プロジェクトの概要

本プロジェクトは、NEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）によるグリーンITプロジェクトの一部であり、「エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術」および「革新的省エネルギーネットワーク・ルータ技術」の実用化を目指し、中期（2013年）・長期（2030年）・超長期（2050年）までを視野におき、省エネルギー効果の高いデータセンタ・サーバおよびネットワーク・ルータの実用化促進を民生部門のエネルギー・環境対策として位置づけ、それらを実現する技術開発を行っている。2010年7月にプロジェクトの中間評価が実施され、概要説明資料等がNEDOより公開されている[1]。

3.1.2. 目標

本プロジェクトの成果によって、当該グリーンIT技術がなかった場合に比べ2020年度に予測されるIT消費電力の30%を削減する。

3.1.3. 「エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術」における取り組み

(1) サーバアーキテクチャ（日本電気）

サーバの高性能化に伴い、LSIチップ間、ボード間の通信が、1-10-40Gbpsと高速化し、通信に要する電力が増加している。これを光化することでサーバの省エネ化を図るため、次の要素技術を研究開発している。

- ・ ボード間を光接続することによって高密度・大容量接続を適用した省電力筐体のアーキテクチャの開発。
- ・ オンボードの光接続損失を10dB以下にするため、ボード上光配線に適したポリマ導波路の開発と、低損失かつ実装容易性の高い光インターコネクションの開発、実装ずれに対するトレランスの高い光結合技術の開発。

これらの技術により、ブレードサーバなどに実装されるバックプレーンの省スペース化および省配線化により、冷却ファンの電力を削減することを目指している。

(2) ストレージシステム（富士通）

ディスクドライブ等のストレージシステムは、アクセスがあった場合にいつでも短時間で応答可能なように、アクセスがない場合でも常にアクティブ状態で電力を消費しており、改善の余地が大きい。このためディスクドライブの利用効率を上げ、スピンドル数を減らすための要素技術を研究開発している。

- ・ データの冗長性を除去し、同じファイルが複数ある状況でも高度に圧縮する、格納効率

- 最適化技術を開発することにより、ディスクドライブの容量削減とアクセス性能を向上。
- ・ データ書き込みを逐次化するデータ配置最適化技術の開発により、長さが変化するファイルへのランダムアクセスを高速化。
- これらの運用技術によりハードディスクの利用効率を上げ、ディスクドライブの台数（必要なスピンドル数）の削減を目指している。

(3) グリーン・クラウド（日本電気、IIJイノベーションインスティテュート、産業技術総合研究所）

データ中心の観点からシステムを構築・制御し、大量のデータの蓄積・処理に要する消費電力を削減する新たなクラウド・コンピューティング・アーキテクチャを創出することで、電力消費効率の高いクラウド運用技術を研究開発している。要素技術として、次の 5 つのサブテーマに取り組んでいる。

- ・ データの重複を検出するアルゴリズムの開発により、データ格納容量を削減。データアクセスを少数のサーバに圧縮することで空いた、遊休サーバを停止。
- ・ ネットワークのスループットを向上させるために、ディスクドライブよりも高速な半導体ストレージを利用するタスク分散処理技術の開発。
- ・ 動画、テキストなどデータの特性と、ベクトル計算、グラフィックス描画などのサーバの特性をマッチングさせる、データの処理先と格納先を柔軟に変更できる処理分配制御技術の開発。
- ・ 分散ストレージをローカルストレージに見せるデバイス共有ネットワーク構成技術開発により、ノード間のデータ転送の向上によるストレージの I/O 改善による消費電力の削減。
- ・ 遠方のサーバストレージのアクセスを分散キャッシュ化することで、ネットワークの通信電力を削減。

これら、サーバアーキテクチャとストレージシステム、グリーン・クラウドはそれぞれの技術をインテグレーションした効果として、データセンタ・サーバシステムトータルとしてのデータセンタ年間消費電力の 30%以上削減を目指している。

(4) サーバ抜熱（日本電気、産業技術総合研究所、宇都宮大学、九州大学、SOHKi）

データセンタにおける消費電力量の内訳について、本来の IT 機器による消費電力量は全消費電力量の半分以下という試算があり、特に空調系と給電系が多く電力を消費しているとされている。現在のデータセンタの空調は、IT 機器や電源等で発生する熱による温度上昇を防止するために、サーバを納めるデータセンタ全体の空気を冷却しているために冷却効率が低く、効率改善の余地が大きいと指摘されている。データセンタ・サーバにおける最適抜熱方式に関する基盤技術を確立するため、次の要素技術を開発している。

- ・ CPU 等高温の LSI チップが発する熱を放熱フィンと効率の悪い小型空冷ファンによって空中にまき散らすのではなく、单相流あるいは沸騰型 2 相流ヒートパイプによって筐体外に伝熱させ、大きなファンで空中に発散させる。CPU ファンの電力を削減する。
 - ・ 筐体外に引き出した熱をプラグイン配管によって直接 2 次伝熱系に引き渡し、空中に飛散させることなく屋外にまで取り出す。高温のまま屋外に伝熱させられるので自然風での冷却が可能となり、ヒートポンプ電力を削減できる。
 - ・ ナノ粒子を熱媒体に混入することにより熱伝導の効率を向上させる。
- これらの技術により、データセンタ・サーバシステムトータルとして、データセンタの冷却装置が使用する年間消費電力の 30%以上削減を目指している。

(5) 電源 (NTT ファシリティーズ、三菱電機、長崎大学、名古屋大学、産業技術総合研究所)

サーバをはじめとしたデータセンタ全体へのエネルギー供給源である電源については、最大負荷時や停電時における安定供給を図ることが優先されているため、エネルギー使用効率的には改善の余地が大きいことが指摘されており、データセンタ・サーバの低消費電力化に繋がる電源システムに関する基盤技術を確認するため、次の要素技術を開発している。

- ・ サーバにおける情報と電力の高速・動的な観測および分析技術を開発し、複数の電源系を全て冗長運転させるのではなく、負荷に応じて必要な台数だけ運転し、定格付近の高効率領域を使用する最適電源マネジメント技術により、電源システム全体の効率を向上。
- ・ 直流給電技術を開発することによって、電力変換段数を削減し、AC/DC 変換ロスと送電ロスを低減。

これらの技術を開発することによって、データセンタの電源システムの年間消費電力の 30%以上削減を目指している。

(6) データセンタのモデル設計と統合評価 (産業技術総合研究所、NTT コミュニケーションズ、筑波大学)

上記のデータセンタに関する技術開発、研究を通じて得られた成果をデータセンタ・サーバシステムとして統合した場合の有効性を評価、確認するため、以下に示すデータセンタのモデル設計と統合評価を行っている。

- ・ データセンタ・サーバシステムの省エネルギー性を評価できる指標および枠組みを確立し、データセンタに関する全プロジェクト成果を合算。
- ・ データセンタ全体でエネルギー利用を最適化可能な、消費電力量測定の基準となるデータセンタのリファレンスモデルを開発。

これらの開発によって、データセンタに関する全プロジェクトの成果を統合し、データセンタの年間消費電力が 30%以上削減可能であることの実証を目指している。

3.1.4. 「革新的省エネルギーネットワーク・ルータ技術」における取り組み

(1) 省エネルータ技術（日立製作所、アラクサラネットワークス、横河電機、九州工業大学）

ネットワーク・ルータは、システム上の要求を 100%満足する情報量で転送が可能な性能の下で動作しており、情報量が少ない低負荷時や待機時のような本来消費電力が小さくても良い状況でも大きな電力消費をしている。そこで、情報量に応じて動的に性能増減を実現する省エネルギーのネットワーク・ルータ技術を開発している。

- ・ 情報量（トラフィック量）に応じて動的にネットワーク・ルータの性能を増減させるために、トラフィック量を動的かつ高速に観測する技術開発、観測したトラフィック量に基づいてネットワーク・ルータのトラフィック量を動的かつ高速に予測する技術開発、予測したトラフィック量に基づいてルータの最適な転送性能を予測する技術開発と、ネットワーク・ルータの消費電力の可視化技術の開発。
- ・ 複数のエンジンを備え、エンジン性能を多段階に増減することで省電力モードを実現するマルチエンジンのルータアーキテクチャの開発。

これらの技術を開発することによって、ルータ消費電力の 30%以上削減を目指している。

なお、この技術開発の成果は一部製品化されており、従来製品の日時や時刻の指定によるスケジューリング機能以外に、通信トラフィック量を計測して通信トラフィック量に応じて省電力機能を自動的に制御する機能が追加されている[2]。

(2) ネットワークモデル設計（日本電気、産業技術総合研究所、名古屋大学）

社会インフラとしての省エネルギーネットワーク・ルータシステムの実現可能性と有効性を評価、確認するために、トータルなネットワーク・ルータシステムとしてのモデル設計とその検証を実施している。

- ・ 将来のネットワーク・ルータのあるべき姿を予見するため、将来におけるネットワークの利用形態および利用コンテンツとネットワーク上を流通する情報量の予測と、ネットワークに対する社会ニーズとそれを満たすネットワークシステム、機器、構成および技術の予測。
- ・ 今後のトラフィックの粒度・容量を調査し、電気と光の機能分担の最適化の検討など電力最適化ネットワークアーキテクチャ技術の開発。

上記の開発成果を統合し、ネットワークとルータシステムトータルで消費電力の最適化が可能なアーキテクチャを構築し、ネットワーク・ルータシステムの評価モデルを開発し、ネットワーク・ルータにおける年間消費電力量の 30%以上の削減を目指している。

3.1.5. 電力消費効率評価技術に関する取り組み

「エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術」で取り組んでいる、各要素技術の研究成果を統合し、データセンタ・サーバシステムに対して、プロジェクト全体で得られる消

費電力削減効果の評価する手法を研究開発している。各要素技術が消費電力を削減する範囲は相互に関連するため、各 IT 機器の要素毎の電力内訳までも含めたデータセンタモデルを開発し、データセンタ・サーバシステムトータルでの電力削減効果を試算している。また、既存の PUE 指標の課題を明らかにするとともに、省エネルギー性を評価できる新たな指標も研究開発中である。

(1) データセンタモデル

データセンタにはネットワーク装置やストレージ装置、サーバなどの IT 機器と、空調や電源などの設備が設置され、それぞれ電力を消費している。また IT 機器も負荷状態かアイドル状態かにより消費する電力が異なる。データセンタのモデル開発では、図 3.1-1 に示すように IT 機器を構成する機能毎（冷却するためのファン電力、ストレージが消費する電力、電源ロスによる電力、CPU の負荷電力など）に消費する電力を分割し、研究開発中の各要素技術が電力削減効果に寄与する範囲を定めている。さらに、「ストレージシステム」のようにディスクドライブの台数削減による電力削減か、「電源」のように電源効率向上による電力削減かを加味して、データセンタ・サーバシステムトータルの電力削減効果を見積もる手法を開発している。

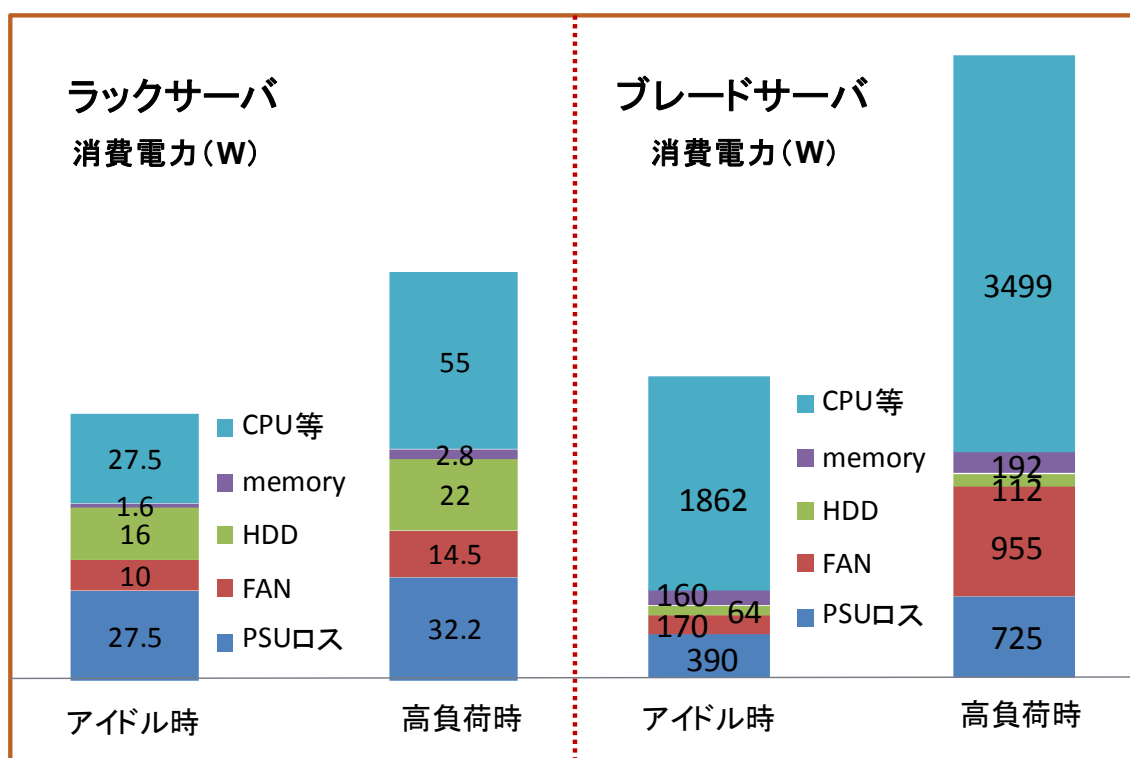


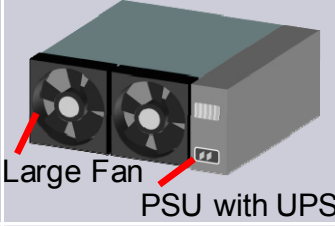
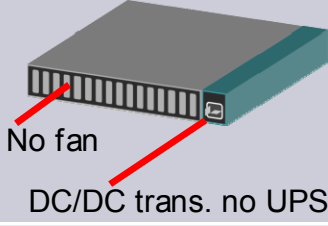




図 3.1-1 IT機器のモデル化*10

*10(出典) NEDO グリーンネットワーク・システム技術研究開発プロジェクト提供

(2) 既存指標の課題と新たな省エネルギー指標の開発

上記の IT 機器のモデル化では、ファンや PSU をサーバの部品として捉えているが、データセンタを一つの大きなコンピュータとして見た場合、ファンや PSU が必ずしもサーバの内部に存在している必要はない。すなわち、装置としての区切りをどこに選ぶかには自由度が存在するのである。この考察から、既存の PUE 指標では課題が生じることは明らかである。IT 機器内（あるいは IT 機器を搭載するラック内）に冷却装置や電源を搭載するかどうかで、同じ性能かつ同じ総電力を持つ 2 つのデータセンタでも PUE の値が変わってしまう。図 3.1-2 に示すように、データセンタ A はサーバ側にファンと UPS 電源を搭載する。一方、データセンタ B のサーバはファンレスかつ電源は DC/DC コンバータのみとし、ファシリティ側に送風設備と UPS 電源設備を置いたとすると、性能も総電力も同じ 2 つのデータセンタにおいて、データセンタ A の方が PUE=1.2 となり、より省エネルギー性が高いということになってしまう。

そこで、装置毎に電力を分けるのではなく、機能毎に電力を分けることで公平な省エネルギー性を評価することができると考え、指標を研究開発している。

Examples	Data center A	Data center B
Server	 Large Fan PSU with UPS	 No fan DC/DC trans. no UPS
Performance	50GFlops	50GFlops
Performance/Watt (GFlops / W)	0.2	0.3
Power facility	Alternating current, no UPS 	Direct current with UPS 
Cooling Facility	Low airflow 	Heat remove by air pressure 
Total power / year	30GWh	30GWh
PUE*	1.2	1.8

*PUE=Total power consumption / power consumption by IT

図 3.1-2 既存指標の盲点*11

本技術、指標の考え方の妥当性については、各研究開発プロジェクトの成果を統合して

*11 (出典) NEDO グリーンネットワーク・システム技術研究開発プロジェクト提供

効果を検証する実証実験及び統合シミュレーションによって確認する。

3.1.6. まとめ（今後の活動と課題等）

2012年度のプロジェクト終了に向けて上記の研究開発を加速し、省エネルギー効果の高いデータセンタやネットワーク・ルータの将来の実用化促進、ならびに評価モデルや評価指標の開発を目指す予定である。

参考文献

- [1] 「プロジェクトの概要説明資料」、第1回「グリーンネットワーク・システム技術研究開発プロジェクト」（中間評価）分科会配布資料 6-1 及び 6-2、2010/7.
http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_bunkakai_22h_chuukan_14_1_index.html
- [2] 「ダイナミック省電力システムの機能強化」、アラクスラネットワークス株式会社ニュースリリース、2010/5.
<http://www.alaxala.com/jp/news/press/2010/20100526.html>

3.2. 省電力・高密度サーバの開発（日本電気（株））

3.2.1. 概要

データセンタ向けサーバは、限られたスペースに、制限ある電力容量と冷却能力も考慮しながら多くの台数を収納するために省電力かつ高密度・軽量化にする必要がある。日本電気製データセンタ向けサーバのExpress5800/E110b-Mおよび共有型集合電源EcoPowerGateway™はこれらの要件を満足するように開発された。



図 3.2-1 Express5800/E110b-M*12

3.2.2. 目標

Express5800/E110b-M は、従来の 1way/1U サーバ(Express5800/iR110a-1H)と比較して、68%の省スペース化と 70%の省電力化（サーバ 1 台あたり 5 年間で消費する電力を 4600kWh 削減）を目標として開発された。

3.2.3. 省電力化における取り組み

以下の施策により、従来の 1way/1U 機比で約 70%の消費電力削減を実現した。

(1) 共有型集合電源 (EcoPowerGateway™ *13) の開発

- 各サーバモジュールから電源モジュールを排除し、1U サイズ(高さ 44.45mm)の共有型集合電源に電源モジュールを集約することで、サーバの負荷が小さい場合の電力変換効率を高め、電力変換損失を低減。
- 共有型集合電源から各サーバモジュールへの給電を DC12V で行うことにより、サーバモジュール内での AC/DC 変換機構を排除し、AC/DC 電力変換ロス発生機会を減少させ効率化。
- 共有型集合電源と各筐体とを接続する DC ケーブルの線長を各々の接続対象筐体との間隔に合わせて最適化し、伝送路における電力損失を極小化。

*12 （出典）日本電気提供

*13 EcoPowerGateway は日本電気の商標です。

(2) 高効率電源の開発

- ・ 共有型集合電源は 100V 環境で 50%以上の負荷をかけた場合の AC/DC 変換効率が 92%以上となる 80 PLUS® *14Gold 規格の電源モジュールを新規に開発し、電力変換損失を低減。

(3) 低消費電力コンポーネントの採用とシステム機能の最適化

- ・ サーバコンポーネントの中で最も消費電力大きいプロセッサの電力消費を低減させるため、モバイル用途の低消費電力プロセッサ(インテル® Atom™ *15プロセッサ N450)を採用。
- ・ 内蔵ストレージは通常の HDD(磁気ディスク)に加え、より消費電力の少ない SSD(半導体ディスク)も選択可能とすることで、サーバのローカルストレージを利用する場合においても消費電力量の増加を抑制。
- ・ I/O スロット等の拡張機能を省略し、用途に見合った必要最小限の機能実装に最適化することで、不必要な電力消費を防止。

3.2.4. 高密度化・軽量化における取り組み

19 インチラックの 3U スペースに 20 台のサーバモジュールを実装し、ラックあたり最大 240 台のサーバを搭載可能するために、以下の施策を行った。

(1) 専用形状マザーボード設計

設計の初期段階から最適なレイアウト構造を検討し、プロセッサやチップセットが搭載された基板(マザーボード)を専用形状とした結果、幅 119.4mm × 奥行き 453.5mm と、一般的な ATX マザーボード比 27%の小型化。

(2) 共有型集合電源(EcoPowerGateway™)の採用

各サーバモジュールから電源モジュールを切り出し、1U サイズの共有型集合電源に電源モジュールを集約することにより、従来は電源モジュールが占めていた空間を筐体内から排除。

3.2.5. 高温環境対応における取り組み

データセンタ内の空調温度設定を 5℃緩和の 40℃にする以下の冷却技術開発により、空調機器の消費する電力の削減を実現した。

*14 80 PLUS は、米国 Ecos Consulting Inc.の米国およびその他の国における登録商標です。

*15 インテル、Atom は、米国およびその他の国におけるインテル コーポレーションまたはその子会社の商標または登録商標です。

(1) 熱解析(サーマルシミュレーション)による最適化設計

サーバモジュールおよび、サーバモジュールを筐体内へ実装したシステム全体のサーマルシミュレーションを実施し、部品レイアウトの最適配置化、ヒートシンク形状、実装構造や冷却ファン配置を最適化。

(2) 実機温度評価による更なる最適化

各試作段階にて実機温度評価を実施し、全デバイスが規定値範囲内で動作することを確認し、実機温度評価結果をダクト等の構造部材設計へフィードバックし改善を繰り返すことによる更なる最適化設計を実現。

3.2.6. まとめ(今後の活動と課題等)

本技術はさらなる高効率な電源開発、ならびに稼動可能環境温度を引き上げる技術開発を進め、順次、デュアルプロセッササーバを搭載する上位サーバへと適用を進めていく予定である。

3.3. クラウド・ストレージシステム（(株) アイピーコア研究所）

本節では、(株) アイピーコア研究所らが推進している大量のデジタル情報を保管する新しいコンセプトの「クラウド・ストレージシステム」による高効率化への取り組みについて紹介する。

3.3.1. 取り組みの背景

ネットワークインフラが整備・拡充され、多機能なモバイル端末が急速に普及した今日、企業データや個人データ、音データや画像データ等はリッチコンテンツ化し、近年はセンサーデータも登場し、情報量はますます増大している。従来、IT 産業はムーアの法則に従い10年で10倍の伸長を継続してきた。しかし、近年は元総務省の森審議官が提唱した『情報爆発』すなわち10年で1,000倍の伸長が現実味を帯びてきた（図 3.3-1 参照）。

インターネット上にアップロード、加工・修正、コピーされるデジタル情報量は、現時点で316.5ZB*16（ZB：ゼットバイト、1ZB=1,000,000,000TB）にも及び[1]、このことは“情報爆発”時代が到来したことを示すと共に、新時代に対応する新しい形式のストレージが求められる事を意味する。

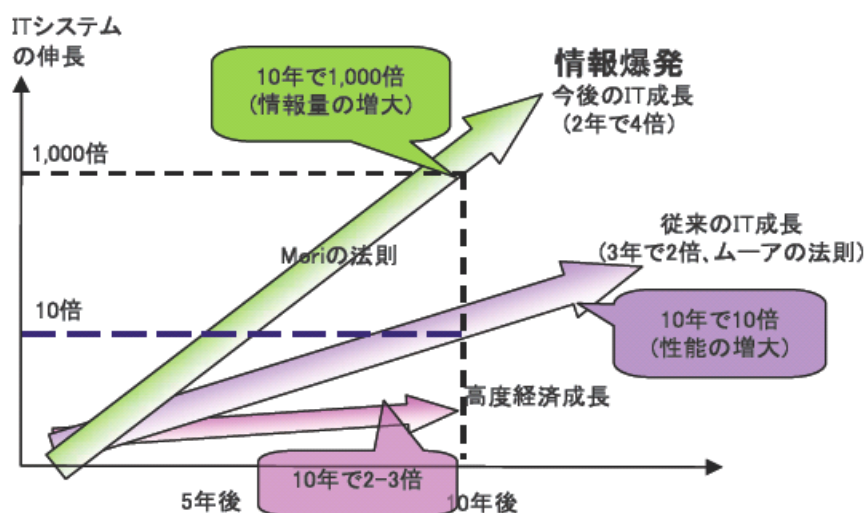


図 3.3-1 情報爆発*17

さらに、IT 機器が消費する電力量は、2025 年に国内総発電量の約 22% [2]*18に相当する 2,400 億 kWh（2006 年比、約 5 倍） [3]になると試算されている。また、消費される電力はジュールの法則から熱に変換され大気中に放出されるため、CO2 排出削減や地球温暖化防止の観点からも問題である。

このような背景から、手間やコストをあまりかけずに膨張し続けるデジタル情報の保存

*16 2011 年 2 月 28 日時点

*17 財団法人インターネット協会副理事長藤原洋氏の『ワイヤレスブロードバンドの衝撃』講演資料（2008/11）を参考に（株）アイピーコア研究所が作成

*18 [2]の 2006 年の電力発電量より計算

ができる新しいストレージシステムの開発と、その消費電力を抑える取り組みが重要である。

3.3.2. 従来型ストレージシステムの課題

(1) ストレージの種類とそれぞれの課題

ストレージは、表 3.3-1 に示す 4 種類が通常使用されている。元々は DAS (Direct Attached Storage) のみであったが、DAS の欠点を補うべく RAID (Redundant Arrays of Inexpensive Disk) が登場した。RAID はエンタープライズシステムのデータベースを最適に動作するように改良され、今日では殆どの重要なシステムは RAID が使用されている。

表 3.3-1 ストレージの種類別と特徴

種別		代表的な製品	管理単位	読み書き比率	転送速度	データの再利用	1bit当たりの必要なエネルギー	一般的な印象
1次記憶装置	RAID装置 (アレイ装置)	EMC, NetApp IBM, 日立, 富士通	ブロック	50 : 50	高速	簡単	大 常時最大	高性能, 高信頼 高価格
	DAS	パソコンのHDD 携帯の内蔵	ファイル	70 : 30	中速	簡単	中	低性能, 低品質 管理しない
2次記憶装置	TAR (圧縮書庫)	バックアップ用テープ LTO, DLT, DAT	ブロック	1 : 99	高速	大変	中 保存時はゼロ	超高速バックアップ 現物の安心感
	移動記憶	USBメモリ, SD, CF BD, DVD, CD, FPD	ファイル	80 : 20	低速	簡単	小 保存時はゼロ	便利, 安い 紛失時の不安

一方、2次記憶装置は、1次記憶装置の故障でデータが欠損する為、定期的に内容をバックアップする必要があり、記憶容量は当初 150KB 程度だったが、USB メモリは 256GB にもなり、30 年強で約 100 万倍の容量増大に対応できた。

2次記憶装置の特長は、保管時のエネルギー消費が“ゼロ”である。しかしながら、保管媒体が 1 個のみでは、それ自身がエラーを起こしたり紛失したりすると、重要な記録は全て抹殺される。そのような事が無いように 2次記憶メディアも複数保管が必要とされ、更に管理が煩雑になる。

ストレージの見落としとしてはならない項目に管理単位 (“ブロック” か “ファイル” か) がある。この違いが決定的な方向の違いになる。従来は性能中心で考えた為に、ブロック管理に成らざるを得なかった。しかし、情報爆発時代は性能より拡張性が重要項目となる為に、管理単位をファイル管理に変えた方がより先進的な運用が可能になる。

(2) RAID ストレージの課題

表 3.3-2 に RAID ストレージの課題をまとめる。従来のエンタープライズシステム (基幹システム) 向けの RAID もインターネット上では欠点が目立つ。それでも現場で RAID が使われているのは、具体的な RAID に勝るストレージが無い為である。RAID の基本はデータを分割し保存する事で安全性と高速性を両立することである。さらに管理単位をプロ

ック化する事でより性能を向上させた。ブロック化そのものが、拡張性では壁となった。

表 3.3-2 RAID ストレージシステムの課題

RAIDストレージの課題		
1	Bad-spotの課題 (SEEK-ERROR, ECC-ERROR)	HDDが同期している為、一つのセクターでも読み込みエラーが発生すると、復旧モードに入り、RAIDシステムの処理性能が低下する。
2	リカバリ時間の増大	HDDの大容量化に伴い、エラー復旧に半日以上も費やす事も多い。復旧作業中はシステム性能が大幅に低下する。
3	性能の限界	RAIDは高性能、高信頼を目指す為、より巨大かつ多重化した制御装置を創成した。しかし制御装置は5年程度で性能限界が来る。より大きなRAIDシステムに交換し再創成が必要。
4	仮想化の限界	今日のRAIDは物理的なグループ管理では無く、仮想システム配下で動作する。仮想システムの上限值を超えると、より大きなRAIDシステムに交換し再創成が必要。
5	消費電力の増加	24×7で高性能を維持する為、二重化、多重化を実施。常に主系以外も稼動状態である。近年はMAIDも採用され一部のHDDは停止可能でも、全体から見れば微弱である。

(3) インターネットの利用で求められるストレージは？

エンタープライズ用とインターネット用のストレージは異なる。表 3.3-3 に両者の違いを示す。エンタープライズ用とインターネット用ではほぼ正反対である事が分かる。

表 3.3-3 エンタープライズ用とインターネット用のストレージは異なる

ストレージ種別	Data増加率	読み書き比率	バンク時対応	バックアップリカバリ	アクセス頻度	最優先項目
エンタープライズ用	10年で数倍	50:50	旧+新で再創成	RAID+TAPE 全体リカバリ簡単	概ね常に一定	レスポンスタイム (性能)
インターネット用	10年で1000倍	10:90 (1:99)	追加のみ	レプリケーション 全体リカバリ困難	ピーク時と無アクセス時の差が激しい	拡張性 (簡便性)

次に、図 3.3-2 に情報爆発時代に求められるストレージの特長を示す。管理単位をブロックからファイル単位に変更し、インターネットの構造とストレージの構造を同一化させ、性能向上と安全性の為にデータをIP上に分割する。RAIDの如く同期してデータを扱うのではなく非同期で行う。全体性能はRAIDの1/10以下になるが、RAIDでもファイル転送モードでの転送速度は20MB/s前後が普通であり、この程度ならインターネット経由でも充分性能が出せる。ファイル管理にする事でシステムは自由に選択でき、記憶媒体もその時代に併せて自由に選択できる。

最大の特長はクラウドサービス故に、無限の拡張性が確保できることである。欠点としては、小さなデータを大量に取り扱うのは苦手な点がある。論理的には可能であるが、性能を確保して分散保管するため一定量のデータ量が必要なためである。

- ①RAIDやTAPEでなく、DASを基本に目的に合った新システム
- ②無限の拡張性 プロトコルは“IP”、時代毎の最適技術+最低コストを適応
- ③信頼性 バックアップ/リカバリーの発想から脱却
- ④エネルギー bit当たりのエネルギーを最少。未使用時はエネルギーゼロが理想
- ⑤100年ストレージ dataを100年間保存する事を意識する

図 3.3-2 情報爆発時代に求められるストレージ

3.3.3. LX100 ストレージシステムによる実証例

(1) 情報爆発時代に対応するストレージ

図 3.3-3 に新システムのアーキテクチャを示す。左側は RAID で右側は新システムを実現する LX100system ストレージシステムである。

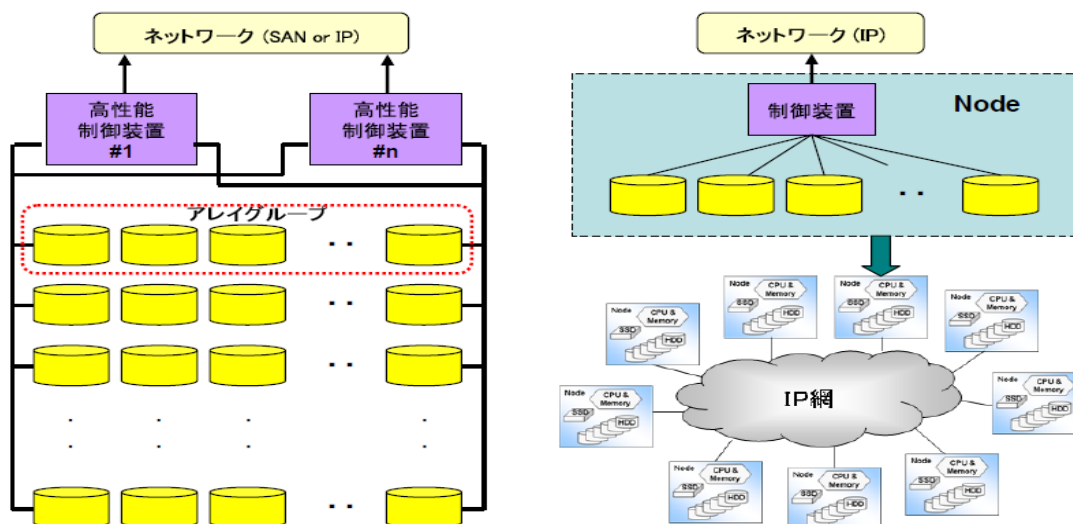


図 3.3-3 従来 RAID システムと新システムのアーキテクチャ*19

Node は HDD 自身や記憶媒体に直接 IP のインターフェースが内蔵されているのが理想であるが、現実には無理である。そのため、実存する技術をベースに必要な機能を実現したものが Node の概念であり、それを商品化したのが LX100system である。その設計思想は以下の通りである。

- ①Node はストレージに必要な機能を総て盛込む
- ②制御装置は Node 内の制御に十分な性能(小型、低消費電力)でよい
- ③Node 自身は消費電力を最少にすべく開発。未使用の Node はスリープ状態
- ④Node をネットワーク上に分散し全体で信頼性と絶対性能を得る
- ⑤Node は機能が同じなら異なる機種でも良い

*19 (株) アイピーコア研究所作成

- ⑥障害時は障害が発生した Node のみを切り離す事で解決
- ⑦規模が大きくなればなる程、信頼性と全体の性能が増加

上記の仕組みにより、LX100System は保存するデータを複数の Node 配下の HDD に分散保存することができ、ハードウェア障害などによるデータ滅失を防止する。また、インターネットで用いられている仕組みをストレージシステムに応用することにより、HDD 容量の容易な拡張を可能にし、Node の接続台数や設置場所といった係数を増やすことで冗長性のある仕組みを実現する。これらの事と、8~12TB の容量を実装しても、35W という僅かな電力での稼働を同時に実現した。同容量を実装した一般的なストレージの消費電力が400~500W であるのと比べて、約 1/10 の消費電力を実現した。

表 3.3-4 に LX100system の仕様と図 3.3-4 に本体外観を示す。19 インチラック (40U) の両面に搭載が可能な 1U ハーフサイズを採用しているため、1 ラック当たり 640TB~1.28PB の容量を実装しても、消費電力 3.2kW である。すなわち、ペタバイトクラスのストレージシステムを 1 ラック当たり 4kVA の供給電力で運用可能である。データセンタ事業者にとってはスペースの有効活用が図れ、利用者は運用コストの削減が期待できる。

表 3.3-4 LX100system の仕様*20

CPU	Intel® Atom™ Z530 (1.6GHz)	
メインメモリ	DDR2 (SO-DIMM) 2GB	
ストレージ	8TB (1TB×8) ~16 (2TB×8)	
インターフェイス	ディスプレイ	アナログ(VGA)×1
	USB	USB2.0準拠 ×4
	LAN	1000BASE-T ×1 (RJ45)
動作確認OS	Linux	
電源、最大消費電力	DC12V/24V 単一電源 (DC9V~DC29V対応) 最大40W以下	
温湿度条件 (動作時)	温度: -0~50°C 湿度: 10~90%RH (結露なきこと)	
外形寸法 (WxDxH, 突起部含まず)	430×320×44mm	
本体重量	4.3Kg	



図 3.3-4 LX100system の外観*20

例えば、LX100system で 1 PB のストレージシステムを 1 年間 (365 日、24 時間) 運用した場合の消費電力量は約 3 万 kWh になる。そこで、一般のストレージシステムを 10 倍とすると約 27 万 kWh の削減ができ、データセンタの電気代を 1 kWh 当たり 20 円とすると 540 万円の削減が可能となる。他にもラック本数の削減分を考慮すると、データセンタの運用コストとしては 1 千万円近い削減も見えてくる。

*20 (株) アイピーコア研究所提供

(2) クラウドストレージサービス実現例

LX100system をスカパーJSAT 株式会社が提供するクラウド・ストレージサービス『S*Plex3』[4]と組み合わせることで、省電力なクラウド・ストレージシステムを実現した例を示す。S*Plex3 では、図 3.3-5 に示すようにファイルを符号化・断片化して7ヶ所以上のデータセンタに広域分散保管を行う。オリジナルのデータがそのままの形では存在しなく、仮に断片化されたファイルをコピーされて情報が漏れたとしても、それだけでは復元をすることができない。S*Plex3 はクラウドサービスでは国内初のコモンクライテリア認証を取得しており、個人情報もクラウド・ストレージサービスに登録する事が可能である。

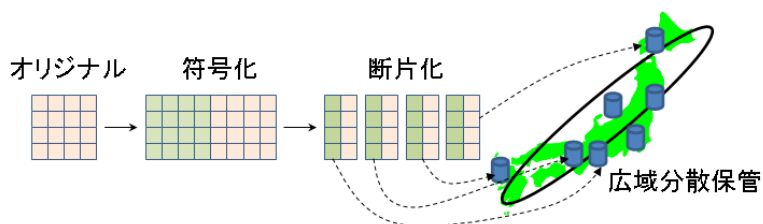


図 3.3-5 ファイルの符号化・断片化と広域分散保管の流れ*21

また、符号化の際の数式を工夫する事により分散保管したデータの50%を損失してもオリジナルデータが復元可能である。そのため、広域分散保管した数ヶ所のデータセンタが甚大な災害を受けても、他のデータセンタに残っているデータからリアルタイムに復元ができるため、継続した運用が可能になる。このことから、ディザスタリカバリーシステムの構築やバックアップ作業が不要になり、大幅なシステム運用・維持コストの削減を図れる。さらに、ハードウェアの耐久年数による3~5年ごとの大規模なデータ移行作業が不要になり、ハードウェアメーカーや機種を問わないため、製品サイクルによる制約を受けない。そのため、その時点で利用可能な最もビットコストの安い記録メディアを自由に選択でき、データ保管にかかるコストを抑えることが可能になる。

3.3.4. まとめ

(1) 情報爆発への対応策

インターネット上でのデジタルコンテンツの保管には、1次ストレージと、2次ストレージ（バックアップ）を兼ねることができるクラウド・ストレージシステムを用いることが最適である。LX100systemなどを採用すれば懸念されている電力問題の対策にも最も効果がある。

(2) データの安全保管には広域分散保管が有効

従来は分散保管としてディザスタリカバリーがあるが、自前でシステムを構築して維持

*21 (株) アイピーコア研究所作成

するためには高いコストや対応できるシステム要員が必要になる。そのような高いコストをかけずに利用できるクラウド・ストレージサービスは、データ保管を行うシステムインフラとして最も有効かつ安全である。

参考文献

- [1] 世界中で増加しているデータ量を示すチェッカー
<http://japan.emc.com/leadership/digital-universe/expanding-digital-universe.htm>
- [2] 総務省統計局「世界の統計 2011」第 6 章エネルギー
<http://www.stat.go.jp/data/sekai/pdf/06.pdf> または
<http://www.stat.go.jp/data/sekai/zuhyou/0604.xls>
- [3] 2008 年度版 グリーン IT 推進協議会 調査分析委員会報告書
- [4] スカパーJSAT 株式会社 クラウド・ストレージサービス 『S*Plex3』
<http://www.splex3.com/>

3.4. ISO コンテナデータセンタ（(株) アイピーコア研究所）

3.4.1. 日本における情報処理の危機

(1) 日本のインターネット情報処理量の現状

図 3.4-1 に、日本におけるインターネットのトラフィック量の推移を示す。この図から判ることは、次の2点である。

①国内のインターネット情報処理総量は、年間 30%強で増加している

②情報の発生場所が“国内”の割合は年々減少し、“海外”の割合が年々増加している
クラウド環境では、ユーザは情報の発生場所や保管場所はあまり気にしないため、このままの状況では大半が海外発になることが想定される。さらに情報の発生元が海外に移れば、IT 機器の消費電力は海外で消費され、国内はパソコンやスマートフォン等のユーザ端末中心になり、電力消費から見ると図 1.1-1 の IT 機器消費電力増大の課題は（主にサーバや通信機器が電気を使うため）解決することになる。

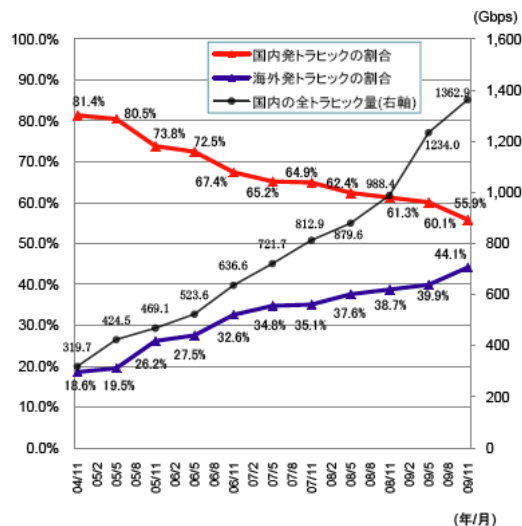


図 3.4-1 国内発・海外発トラフィックの割合[1]

(2) 日本国内の情報処理量の割合が減少する理由

国内で日本発のトラフィックの割合が減少する理由として二つ考えられる。①1ビット当たりの情報処理コストは日本の方が高い、②海外のインターネット事業者の成功モデルは垂直統合型である。

まず、日本と米国での情報処理コストの比較を表 3-4-1 に示す。表 3.4-1 は日米で同じ機器を同じ価格で購入し、運用した場合の円換算での費用を計算したものである。大きな違いは、DC の構築コストと電気代である。日本の DC はティア III を意識し、完璧を求めるがゆえ重厚長大な DC になる。また、土地費用がかさむため米国の約 2 倍の費用が発生してしまう。さらに、米国では電気料金が安い地域（例えば、1kW 当たり約 5 円）に建設されている。その結果、同じ 50 万円の IT 機器に対し約 2 倍の付加費用が発生する

ため1ビット当たりの処理コストは高くなる。そのため、国内のISP事業者などが海外のDCやサービスを利用する一因になっている。

表 3.4-1 日本 vs. 米国の情報処理コスト比較（単位：千円、1\$=¥100 と換算）

	機器コスト (1台分)	データセンターコスト (1u分換算)	サーバ 電気代 (3年間)	空調 電気代 (3年間)	保守費・ 運営費 光ケーブル	合計金額 (1台を3年 間使用)
米国	500	100	78	39	除外	717
日本	500	150~250	157	157	除外	964~1064

次に、垂直統合型事業モデルについて、その代表例は米国のグーグル社である。同社の当初の業態は単なるISPであったが、膨大なデータを効率良く処理する為にサーバ機器の自社開発にはじまり、システム構築・運営、DC建設など、全て自社で開発を手掛けており、最近では発電も自前で賄おうとしている。

(3) 日本での情報処理量を増やすためには

大きな二つの課題（DC構築コストと電気代格差）を最初に解決すべきである。

DCは建物型を脱却して、より低コストかつ自由なDC構築が可能となる方法が必要である。例えば、DCが一つのみの県がある。そこに二つ目のDCの誘致をしても初期投資がかさむため中々構築できない。しかし、初期投資が少なく段階的に拡張可能なら誘致が可能となる。そのためにも、建物型DCを脱却してコンテナDCの開発供給が急務である。

電気代の格差解決は、国と電力会社はその重要性を認識し国家的に解決する必要がある。また、IT機器で使用する電力を欧米の半分以下にし、電気は商用電力を使わずに自然エネルギーを中心に稼働できる手法を実用化することも有効である。

この両方の解決策を同時に用いて、1ビット当たりの処理単価を半分以下にすることを目指すべきである。これにより、日本国内に海外からのDC需要を呼び込み、国内外の情報発信のバランスが取れた情報産業にできると考える。

3.4.2. 欧米と日本のDC比較

(1) データセンターの運用形態

日本のDCコストが高い主な理由は次の4点である。①地震対策費用、②大都市への集中、③高層階のDC、④DC規模が小さい。他方、欧米では広大な土地と安い電気代を自由に選べ、かつ地震対策の必要がない。図3.4-2に、米国の著名なDCの写真を示す。



図 3.4-2 米国の DC 事例*22

米国では土地建物には費用をかけずに、簡素化された DC を建設するケースが多い。しかし、電気代は 1 kW 当たり 5 円と安価ではあるが、IT 機器の台数が膨大なため、その消費電力と冷却電力が鍵となる。どの DC も無駄な電力を最小限にする工夫がなされている。

マイクロソフトは、短期間で構築かつ運用を単純にするため、コンテナ DC を中心に導入している。IT 機器に障害が発生した際には内部の機器を 1 台毎にメンテナンスせずに、コンテナを 1 台の IT 機器と見てコンテナ単位で入れ換えを行う。発注から稼動までを 3 ヶ月で行う。

ヤフーの事例は通称“鳥小屋”と呼ばれる最新の DC である。夏場でも 25°C を超えないという地域特性を最大限に活かし、電気式空調設備を置かずに自然空冷を採用しているそうである。

グーグルの場合は DC というより化学工場に見える。これは冷却用に水を大量に使用しており、その水の配管が化学工場に見えるからである。

このように米国の各 DC は低コスト化のために様々な工夫をしており、機能は同じだが運用形態に特徴を持っている。一方、日本の DC は各社どこの DC を見てもほぼ同一であり、建物型であり電気式空調機で冷却する。

なお DC の評価指標に“PUE (Power Usage Effectiveness)”がある (PUE は IT 機器が使用する総電力を分母とし、その DC 全体の総電力を分子とした指標である)。理想は PUE = 1 となるが、日本の DC は PUE=2 前後の DC が多い。前述の米国先進 DC では、1.2 以下が一般的で、電気代が半分かつ電力効率も半分程度なので、実質日本と 4 倍の差があるといえる。

(2) 空調方式

一般的な DC の空調方式には、図 3.4-3 に示す三つの種類がある。

①は従来型であり、日本の DC の殆どがこの方式を採用している。同一空間で発熱したエネルギーを強制的に空調により冷却するので効率は悪く、PUE=1.2 程度にするのは困難である。

②はグーグルの主力方式で熱源を水で冷却する。大量の水を必要とするのが欠点であ

*22 インターネット公開情報より

るが、効率は良く PUE=1.2 以下の報告がある。水は解決すべき課題が多く、水道水でも内部の不純物によりパイプが詰まり漏水の原因になるなど、高品質な水質を維持しなければいけない。また、大量の水資源は公共の水道水では困難なため、DC 自身で湖水や河川から水を摂取し、水を綺麗に濾過する化学プラントが必要になる。

③は最近の流行であり、空気をそのまま IT 機器内部を通過し冷却するのではなく、外気を使って熱そのものを外部に排出する方式である。実態は簡単ではなく、大量の空気を高速に移動する強力な送風機が必要となりその分の電力が増加する。外部の空気は綺麗ではなく、塵やガスが混じっているのが常であり、ナノレベルの油ミストやカーボン等を吸い込むと IT 機器に重大な被害を及ぼす。日本の夏場は 40℃程度の高温になり、雨天時は 100%近い湿度にもなる一方、厳冬期は氷点下 20℃もある。高温や湿度や超低温の空気は全て IT 機器に重大な被害を及ぼす。それらを排除するフィルターや空調装置が別途必要になるため運用効率を下げる要因になる。

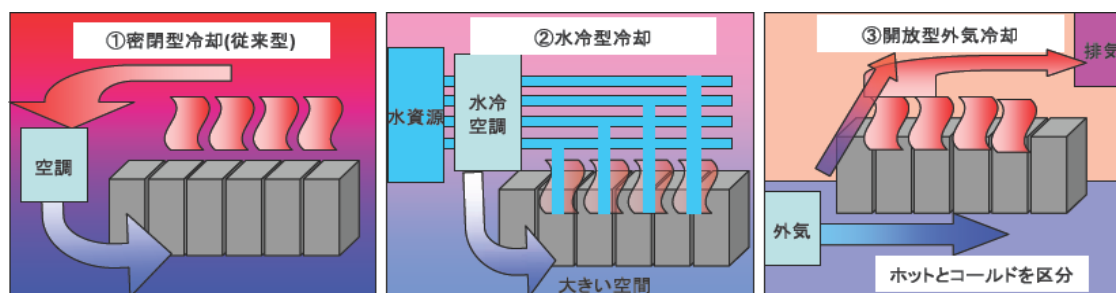


図 3.4-3 空調方式の種類*23

(3) コンテナ DC

コンテナ DC は、2005 年に米国で初登場したので歴史はまだ浅いが、日本での導入はまだ始まったばかりである。

欧米のコンテナ製品は決められたルールがある。それは ISO 規格の海上コンテナを使用することである。ISO 規格コンテナ[3]ゆえに形状が決められている。巾は道路運搬を考慮し 8ft (2,438 mm) で固定され、長さは 20ft (約 6m) と 40ft (約 12m) の 2 種類が標準であり、高さは 8ft6in (約 2.6m) と 9ft6in (約 2.9m) の 2 種類がある。

この狭い空間にコンピュータラックや空調装置、分電盤や電源を効率良く納める。コンテナ 1 台で既設の DC と同じ機能を持ちながら移動も可能である。駐車場の自動車の如く複数台並べることで、中規模から大規模 DC の構築も可能になる。本来コンテナ DC は工場でラック内部に IT 機器を搭載・結線し、ソフトウェアをインストールして完動状態で出荷する。現地では直ちに運用に入れるようになる。日本では未経験だが、欧米では本番稼働までの時間とコストを削減し品質を維持している。

*23 (株) アイピーコア研究所作成

3.4.3. ISO コンテナデータセンタの構築

株式会社アイピーコア研究所は、日本軽金属株式会社殿（以下 NLM 称する）、自動車用コンテナ国内トップベンダの日本フルハーフ株式会社殿（以下 NFH と称する）、日東工業株式会社殿及び株式会社デンソーと共同で ISO コンテナデータセンタ（DC）を開発した*24。その開発指針は

- ①NLM グループの持つ知財や資産を活かし、NFH の ISO 海上コンテナをベースに開発
- ②世界一の省エネのコンテナ DC（目標は電気式空調レスでも動作可能な DC）
- ③劣悪な環境（高温や寒冷地）でも動作可能なコンテナ DC
- ④1 台のコンテナで DC に必要な物を全て搭載
- ⑤多段積み運用も可能（地震や上層階対策は別途考慮）
- ⑥システム商品として海外展開可能

であり、高い目標が決められた。以下、開発した ISO コンテナ DC の特徴を概説する。

(1) ISO 規格コンテナ

日本の DC で必ず質問されるのは地震対策である。ISO コンテナはコンテナの 4 角全てを鋼鉄の H 綱で繋いだ軸組構造である。別な言い方では鋼鉄造ビルの 1 スパンと同じである。20ft で 20t もある自重をクレーンで吊るす事や、屋外や船舶での 5 段積みが可能とする事が義務つけられているため、構造体が地震で壊れたり歪んだりする事はない。一般的にラックが地震に弱いのは内部重量に対して、ラック上部が高層ビルの如く振られるからである。本コンテナ DC のラックは特殊な構造でラック自体が軸組の鉄骨構造体と強固に連結するので、ラックが勝手に揺れる事は無い。つまり本コンテナ DC はあらゆる DC の中で最も地震に強い DC である。

欧米のコンテナ DC は ISO 規格であるが単なる鉄製の箱であり、箱そのものには機能がない。NFH の ISO アルミコンテナのうちアルミ冷凍コンテナを基礎とし開発する。冷凍コンテナ故外壁と内壁の間に断熱材が入り外部環境を遮断できる特徴がある。製品では中東に輸出され使われている実績がある。NLM の技術で表面に特殊な熱反射塗料を加える事で、表面温度が 70℃でも内部温度は 25℃～30℃を保つことができる性能を持つ。これは逆に寒冷地でこそ重要なことで、氷点下 30℃の時に一般の鉄製コンテナは内部も氷点下 30℃になる。コンテナ内部を 20℃程度に維持すると結露が大量に発生するため、IT 機器に結露した水が触れる可能性がある。

次に電磁波対策がある。NLM は電波暗室を商品化しておりその技術を応用して、コンテナ DC も電波暗室程ではないが電磁シールドを施し、レーダ等の強力な電波や自身の不要電磁波輻射を抑制する。

最後に運搬コストがある。海外のコンテナ DC の中には ISO 規格で作られているが、認

*24株式会社アイピーコア研究所は、グランドデザインと各種仕様策定及び開発そしてプロジェクトマネージャーを担当した。

証を取得していない物がある。認証を取得すればコンテナ船で安く運べ、取得していないとバラ積み船での高い運搬コストが発生する。NFHはISO海上コンテナを国内唯一規格認証取得可能な設備を持つ企業である。

(2) 間接外気冷却空調装置

海外のコンテナDCは前述の結露対策を含め水冷式が多く用いられている。その水冷式は効率が良く大量の熱を冷却可能である。しかし、日本では水設備を準備することは簡単でなく、かつ使用する水資源の量と金額が膨大になる。最近、水の使用量が従来の水冷式より1/20以下の噴霧式冷却を用いたコンテナDCが発表されたが、使用される水の量が毎分7.6リットル必要となる。この使用量を水道料金に換算すると、月額9万円程度（東京都水道局の場合）になり、決して安いものではない。よって、国内では空冷式の電気式空調装置を使わざるを得ないが、PUEが悪くかつ巨大な20ftコンテナ内に8本のラックと空調装置を同時に納めることはとても困難である。そこで今回は新方式の空調装置を開発した。図3.4-4に新方式空調装置の概要を示す

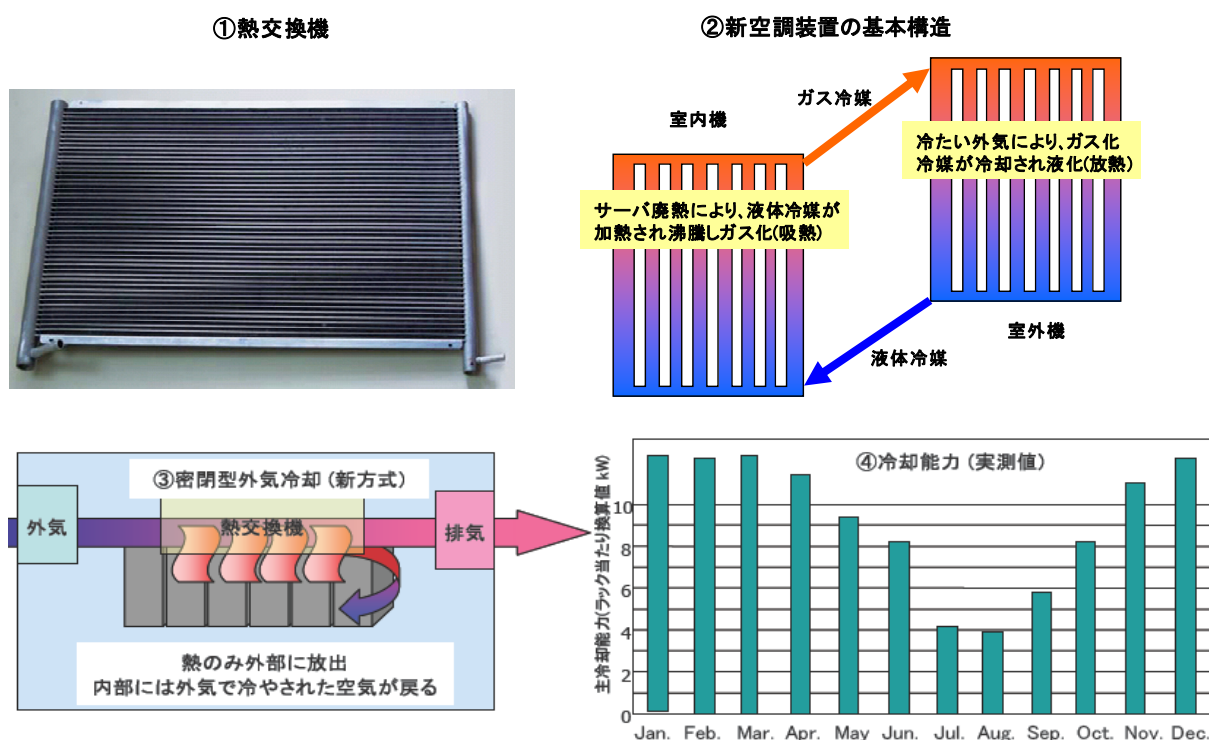


図 3.4-4 新空調装置の概要*25

新方式の空調装置に採用した熱交換機（図中①、以下熱交と称する）は、外形寸法が約80 cm×50 cmで、2,300 m²もの熱交換面積を持つが、面積が大きい程熱交換能力に優れる。今回は熱交を32枚使用し、これは2万坪強の熱交換面積に相当する。室内側の熱交はIT機

*25 (株) アイピーコア研究所作成

器の熱を熱交内部の冷媒に吸収し、外側の熱交は外気により冷媒の熱を放出し、冷やされた冷媒を室内側に戻す（図中②）。電気式空調装置は圧縮機を使い動作するがこの圧縮機が大電力の元凶である。熱交は圧縮機を用いずに自然の熱循環で熱交換を行うので熱交自身の冷媒移動に伴う電気使用はゼロである。熱交が効率的に熱を吸収及び放出する為の風が必要であり、電気式ファンを使用し、必要な電気はファンの電力のみである。新方式の空調装置は密閉型外気冷却空調になっており、コンテナ内部はいつも同じ空気を循環する（図中③）。開放型外気冷却は外気が常に IT 機器内部を通過する為機器の寿命が短くなることがあるが、本装置ではその心配はない。

空調装置は IT 機器の廃熱温度と外気の温度差で性能が決まる。20℃以下では全体で 100kW 相当の能力を有するが、夏場の 40℃に達する時は性能が落ち半分程度になる（図中④）。しかしながら夏場でもラック当たり 4kW の空調能力は国内の通常の DC 運用なら電気式空調装置が不要であることを意味する。但し外気冷却方式は外気温度以下に冷やす事は出来ない。夏場外気は 30℃を超えるため、IT 機器が 30℃以上の環境で動作出来なければ、補助の電気式空調装置を使用し内部温度を 30℃以下の適温に保つ必要がある。冬場は外気が氷点下になる。開放型外気冷却では常に氷点下の空気が内部に入るので、ヒーター等で空気を温める必要があるが、本空調装置はコンテナ内部の空気が外気に触れることがないので、熱交換能力を下げることで調整が可能である。本空調装置を使用した場合、夏場以外で PUE は 1.1 以下（0.1 分は熱交へ送風するファン用の電力である）になり、夏場の PUE は約 1.3 であり、年間を平均すれば 1.2 以下を達成する。

(3) 低消費電力&高温動作対応 IT 機器

現在の IT 機器は多少グリーン IT を意識しているが、省エネより処理性能を優先した製品も多くあり、省エネを優先に開発されているとは言えない。また、空調で消費される電力を減らすためには、機器の動作温度環境を上げると良いが、動作温度が高い（40℃以上）IT 機器は開発されていない。そこで省エネと高温動作に対応できる IT 機器を開発する。

省エネはインテル CPU を使用する前提では限界があるが、その中で最少にする事は可能である。TDP (Thermal Design Power) の低い IC を選び無駄な電気を最少にする。次に動作温度への対応は工業用コンピュータの基準にすることで可能とした。工業用コンピュータは、劣悪な環境での動作を前提にしているため、40℃～50℃でも動作可能である。また、工業用コンピュータは信頼性や MTBF 値 (Mean Time Between Failure) が通常品より高く、常温動作時では長寿命ある。さらに同一製品を長期供給（約 5 年）可能になる。

ISO コンテナ DC に合わせてサーバ機器“NX130”を新規開発した。NX130 は 1U サイズで動作電力は平均値で 50W 以下、最大でも 70W 以下で動作する。CPU は新型 Core i7 で 4 コア 8 スレッド動作し、8GB メモリ、4TB の HDD が実装できる。さらに工業用コンピュータ仕様のため 40℃～50℃でも動作可能である。NX130 と ISO コンテナ DC の組合せでは 1 年を通じて電気空調装置レスの環境で動作させる事が可能となる。なお、コンテナ DC は無人運転が基

本であり、既存 IT 機器は最後には人の操作に頼る場面がある（電源 on/off と Reset 操作）が、NX130 はそれらも遠隔操作可能とした。

(4) トライブリッド電源

トライブリッド電源とは、三種類の異なる電源を有効に活用することである。その三種類の電源とは、自然エネルギー、商用電源及びバッテリーである。

- 第一電源 直流／交流（太陽電池等自然エネルギー）
- 第二電源 交流（商用電源）
- 第三電源 直流（ラック搭載共通バッテリー：UPS 相当）
直流（機器内蔵 2 次電池、ノート PC のバッテリー相当）

トライブリッド電源を実現するための重要なパラダイムシフトは、全てを直流電源ベースに切り換えることである。元来 IT 機器内部は全て直流電源であり、さらに多種類の電圧が必要なので内部で作出す。その基準値は“直流 12V”である。電圧は何ボルトから変換してもかまわないが、現在は殆どの電圧が直流 12V から簡単に作れるように部品が揃っている。

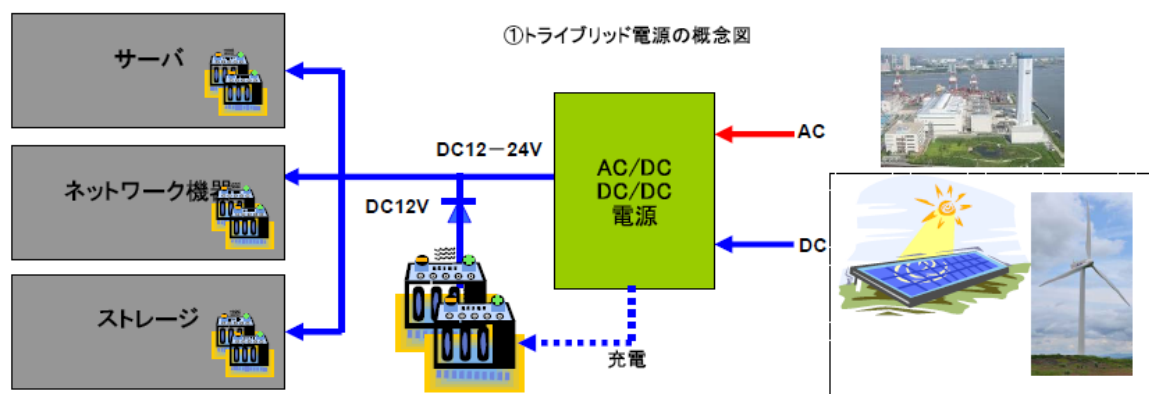


図 3.4-5 トライブリッド電源の概念図*26

従来のパソコンやサーバ類は交流 100V から一旦直流 12V を作り、IT 機器の部品に対し必要な複数電圧を供給する。トライブリッド電源の基本方針は直流 12V に統一することである。但し単に 12V 動作が出来ても不十分である。特に 12V バッテリー駆動時は電圧の変動が大きく通常の $\pm 10\%$ の余裕値では動作しない。 $\pm 20\%$ (9V~15V)の余裕値が必要になる。またリチウムバッテリーを使用するときは、より高い 24V 基準にする必要があり、提供するトライブリッド電源では 9V~30V の広範囲な電圧に対応させた。トライブリッド電源は、UPS 代わりに直接バッテリーが使用できる。また、サーバ内部にバッテリーを直接接続すれば、サーバがノート PC の如く振る舞える。このことは IT 機器毎に SLA(Service Level Agreement)を設定できることに繋がり、より高品質なサービスや運

*26 (株) アイピーコア研究所作成

用が可能となる。本 ISO コンテナ DC では IT 機器以外に熱交や監視システム等全てに渡り直流で動作するように開発した。

(5) 電力監視

本 ISO コンテナ DC は全ての機器の電力をリアルタイムに測定し記憶する。具体的にはラック内部の IT 機器に対し交流 200V 系、交流 100V 系、直流 12/24V を各コンセントバーから電力供給する。そのコンセントバー全てに電流・電圧値を測定するセンサーを付けて、監視システムがネットワーク越しにデータをリアルタイムに拾い、遠隔監視システムへ表示・記録する。熱交や電気式空調装置や照明等も同様に電力測定するセンサーを付けて監視記録する。電力以外にも外気温度やラック温度や排気温度等及び湿度、気圧も同時に表示・記録する。

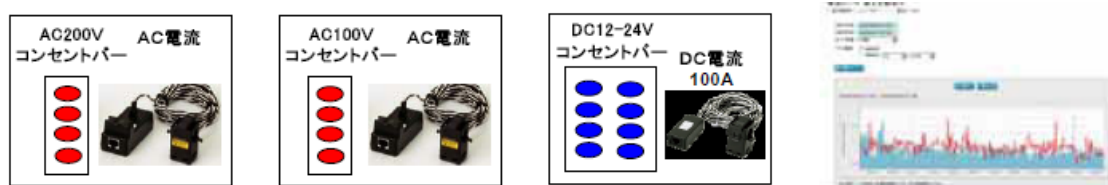


図 3.4-6 電力測定センサーと測定グラフの例*27

(6) コンテナ電源装置

本 ISO コンテナ DC は外部より最少のケーブル接続で動作する。電源は外部より交流三相 400V 又は交流三相 200V を 1 本と光ケーブル類である。ラック供給可能な電源量は空調能力に左右され、本コンテナ DC では 1 ラック 6~8kVA を目安とした。8kVA×8 ラック=64kVA と補助空調用電源約 12kVA で合計 76kVA となり、稼働効率を加味して約 100kVA の電源設備が必要となる。それらの分電盤や PDU (Power Distribution Unit) も内蔵する。コンテナ DC は単体で運用される事も複数台で連動運用する事もある。どちらでも運用可能な様に電源装置は 1 台のコンテナ DC で完全に解決するようにした。DC ゆえ二系統受電も意識する必要がある対応可能とした。更にトライブリッド電源対応のため、自然エネルギー受電設備も考慮した。コンテナ DC は形状が限られているので二系統受電と自然エネルギー受電を同時に実現は出来ないが、トライブリッド電源のみに対応すれば大規模停電時に 10 日程度のバッテリーのみの運用も可能である。

3.4.4. まとめ

建物型 DC とコンテナ DC は今後共存すると考え、全てがコンテナ DC に成るとは思わない。ハウジングから始まった DC は建物型 DC を指向する一方、クラウドはコストとスピードと拡張性が重要視されコンテナ型 DC がより向いていると考えられる。建物型 DC を 1 ケ所作

*27 (株) アイピーコア研究所作成

るのに計画から完成まで3～4年かかり、また1DCで約20～30億円の一次投資がかかるなど、場所確保と時間と先行費用により、建物型DC建設は簡単ではない。そこである割合をコンテナDCで稼働させれば場所と時間と投資の問題はかなり解決できる。

本節のISOコンテナDC(図3.4-7)は、単にISO規格コンテナを採用しているだけでなく、電力消費効率の良いサーバおよび空調設備を組み合わせ、さらにトライブリッド電源や電力監視機能も備えており、国内でのコンテナDC構築に有効な選択肢の一つである。



図 3.4-7 ISOコンテナDC外観(株)アイピーコア研究所提供)

参考文献

- [1] 総務省「データセンタ利用に関する国内外の動向に係る調査研究」
- [2] 「ISO規格コンテナ」

<http://ja.wikipedia.org/wiki/コンテナ>

3.5. 国内外ナノテクノロジー拠点におけるキーデバイス技術開発

本節では、今後の IT 機器・システムの省エネ化を支える基盤技術（キーデバイス）の研究開発を推進している国内外のナノテクノロジー拠点のうち、TIA-nano（→3.5.1 節）、IMEC（→3.5.2 節）、Albany Nanotech（→3.5.3 節）を取り上げ、各拠点における研究開発のうち、ナノエレクトロニクスとパワーエレクトロニクスに関する取り組みをまとめる。

文部科学省および経済産業省の強力な支援のもと、筑波大学、独立行政法人物質・材料研究機構（NIMS）、独立行政法人産業技術総合研究所（AIST）、および社団法人日本経済団体連合会（経団連）の 4 機関が中核となって、2008 年 6 月 17 日に「つくばイノベーションアリーナ（Tsukuba Innovation Arena ; TIA-nano）」が発足した。TIA-nano は、国際産学官ナノテクノロジー連携拠点構想の実施・運営機関である[1]。

国際産学官ナノテクノロジー連携拠点構想の国内議論の原点には、米国ニューヨーク州 Albany Nanotech、フランス MINATEC（Micro and Nanotechnology Center）、ベルギー IMEC（Interuniversity Microelectronics Center）等の欧米におけるナノテクノロジー研究開発拠点の急速な整備・拡大に伴い、現在の日本のナノテクノロジー分野における競争力が相対的にその優位性を失いつつあると認識されていることがある[2]。

欧米でオープン・イノベーションを前提とした組織・制度設計や民間企業を誘致する各種のインセンティブや各種施策により大規模な研究集積と大規模投資が行われているのに対し、日本は個別の企業や公的研究機関や大学は高い研究水準を有するものの、大規模な連携拠点を持っていなかった。そこで、日本が競争優位を維持・確保するための拠点設置を求める提言が、産業競争力懇談会（Council on Competitiveness-Nippon ; COCN）および経団連よりなされ、「つくばイノベーションアリーナ」が構想されるに至った。

IMEC と Albany Nanotech は、いずれも半導体のスケーリング（特に CMOS の微細化）を中心とした研究からスタートしたナノエレクトロニクスに関する研究所であり、現在も半導体のスケーリング（微細化）の研究が中心である。また、エネルギーに関する研究も比較的最近になって着手された。

3.5.1. TIA-nano

(1) 研究概要

TIA-nano では、5 つの基本理念のもと、産学官に開かれた融合拠点として、ナノテクの産業化と人材育成を一体的に推進するため、以下に示す 6 つのコア研究領域の拠点研究運営の推進と 3 つのコアインフラの構築を行っている[3]。

- ◆ 6 つのコア研究領域： (1)ナノエレクトロニクス、(2)パワーエレクトロニクス、(3)N-MEMS、(4)カーボンナノチューブ、(5)ナノグリーン、(6)ナノ材料安全性評価
- ◆ 3 つのコアインフラ： (1)ナノテク共用施設、(2)ナノデバイス・実証ファンドリー、(3)ナノテク大学院連携



図 3.5-1 TIA のコア研究領域とコアインフラ[4]

このうち、ナノエレクトロニクスにおいては、More Moore、More than Moore、Beyond CMOS の各領域において研究が進められ、More Moore 領域では、NEDO プロジェクトである半導体 MIRAI プロジェクトと (株) 半導体先端テクノロジーズ (Selete) で過去 10 年間蓄積された技術に TIA 各機関の技術を融合し新たな価値創造を行うことを試み、More than Moore や Beyond CMOS 領域では、ナノエレクトロニクス領域での新たなコンセプトが生まれることに期待して、以下の 4 つの R&D プロジェクトが進められる。

内閣府による最先端研究開発支援プログラム (FIRST プログラム) に採択された中心研究者による各プログラム、「フォトエレクトロニクス融合 (東京大学 荒川泰彦教授)」、「省エネルギー・スピントロニクス論理集積回路 (東北大学 大野英男教授)」、「グリーン・ナノエレクトロニクス (富士通研究所 横山直樹フェロー)」、「超低電圧デバイス技術研究組合 (Low-power Electronics Association & Project ; LEAP)」が経済産業省の委託^{*28}を受けて実施する「低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト」、全体で 100 名以上の研究者がつくばのスーパークリーンルームに集結している。

パワーエレクトロニクスにおいては、早い段階での実用化が期待される SiC パワー半導体にフォーカスし、「技術研究組合次世代パワーエレクトロニクス研究開発機構 (FUPET : R&D Partnership for Future Power Electronics Technology)」や新たに発足

*28 2011 年度より NEDO 委託事業に移管。

した「SiC アライアンス*29」の活用により、大学や公的研究機関を中心とした基礎研究と産業界による実用化研究および開発・試作をシームレスに繋ぐイノベーションハブを構築する試みを行っている。

新成長戦略にもグリーン・イノベーションが大きな柱として掲げられているように、エレクトロニクスを電力技術へ応用して電力エネルギーを自在に制御して、環境負荷の低減やエネルギー効率の高効率化が強く求められている。

以降では、ナノエレクトロニクスの研究組織として、連携研究体グリーン・ナノエレクトロニクスセンターと LEAP を、パワーエレクトロニクスの研究組織として、(独) 産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センターと FUPET の研究内容をまとめた。

(2) グリーン・ナノエレクトロニクスセンター(GNC)

連携研究体グリーン・ナノエレクトロニクスセンター (Green Nanoelectronics Center ; GNC) では、横山連携研究体長のもと産官の研究者 60 名程度を結集させ、IT 機器を構成する半導体 LSI の消費電力を 1/10~1/100 に低減するためのコア技術の開発を行っている。具体的には、富士通研究所、東芝、日立製作所、ルネサスエレクトロニクス、アルバックから総勢 30 名程度の研究者を本連携研究体に派遣し、産総研の研究者 30 名程度を融合した組織となっている。さらに、東京工業大学、名古屋大学、東京大学、東北大学、京都大学、九州大学、慶応大学の研究者との委託研究・共同研究を通じ、大学との連携を強化した体制となっている。また、物質・材料研究機構、高輝度光科学研究センターとの連携も行っている。

GNC の研究テーマは、図 3.5-2 に示すように (1) 低電圧動作 CMOS 技術の開発 (新材料・新構造 CMOS の研究開発、新動作原理 CMOS デバイスの研究開発)、(2) ナノカーボン材料の開発と応用 (CNT の合成とデバイス応用、グラフェンの合成とトランジスタ応用、CNT/グラフェンの配線応用)、(3) バックエンドデバイス (相変化膜超格子素子の低電圧材料・プロセス技術の開発)、を三本柱としている[5]。

*29 「SiC アライアンス」ホームページ：<http://www.sicalliance.jp/>

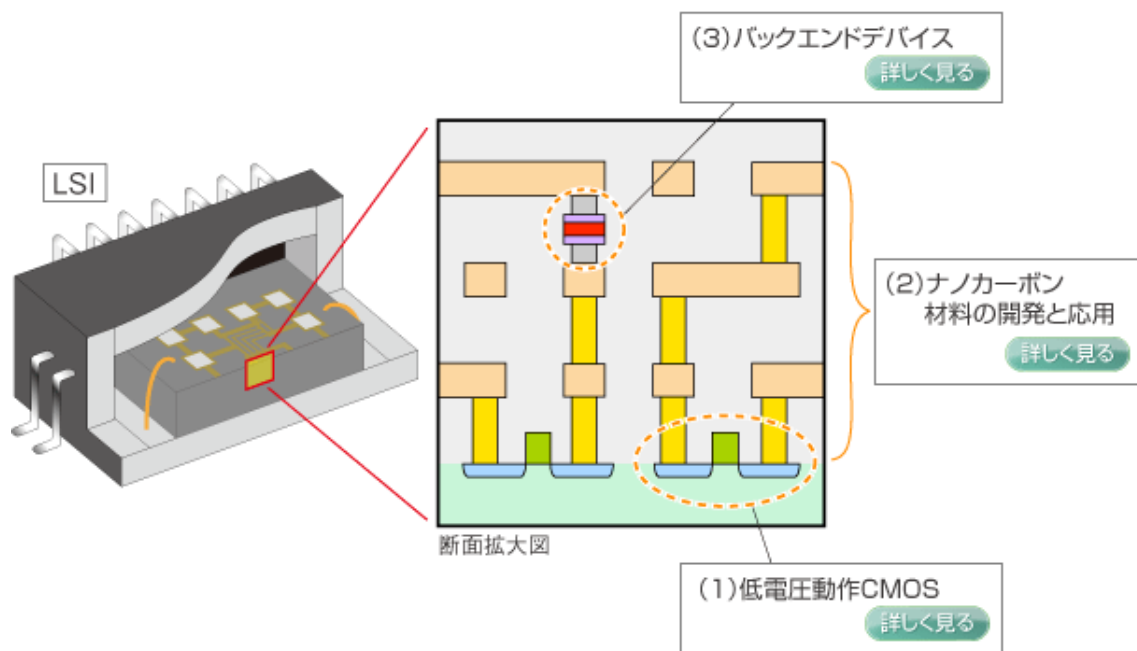


図 3.5-2 GNC の 3 つの技術開発サブテーマ[5]

(3) 低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト (LEAP)

低炭素社会を実現するため、IT、エレクトロニクス機器の消費電力を抜本的に低減する低電圧化技術の重要性が重要度を増していることを背景に、「超低電圧デバイス技術研究組合 (Low-power Electronics Association & Project, LEAP)」は、(株)荏原製作所、東京エレクトロン(株)、(株)東芝、日本電気(株)、(株)日立製作所、富士通(株)、富士通セミコンダクター(株)、三菱電機(株)、ルネサスエレクトロニクス(株)の 9 社*30により 2010 年 5 月 21 日に設立され、経済産業省委託の「低炭素社会を実現する超低電圧デバイスプロジェクト」を 2010 年 8 月からスタートした[6]。

本プロジェクトは、「つくばイノベーションアリーナ-TIA」の拠点活用プロジェクトの一環に位置づけられており、図 3.5-3 に示すように LSI の配線層 (BEOL) に集積可能な抵抗変化型の超低電圧 (0.4V 以下) 不揮発動作デバイスおよび集積化基盤技術を開発し、エレクトロニクス機器の超低電力化を通して低炭素社会に貢献することを目的としている。

LEAP は、2014 年度までの 5 年間に亙り、情報の不揮発性を利用した新機能創生、利便性などの高付加価値を実現し、超低電圧デバイスの研究開発を行い、IT、エレクトロニクス産業にインパクトを与えることを目指している。

具体的には、後述する 5 つの技術テーマの研究開発を行い、ロジック集積回路の 0.4V 以下の超低電圧動作を可能とする。そして、情報の不揮発性を利用した新機能創生、利便性などの高付加価値を実現するデバイス技術とそのプラットフォーム化により、新たな市場を創出すること、オープン・イノベーションの場を提供し、日本のエレクトロニクス産業

*30 2011 年 4 月時点で組合員は、(株)日立国際電気を加えた 10 社。

の活性化に大きく貢献することを目指している。

プロジェクト研究概要

LSIの配線層(BEOL)に集積可能な抵抗変化型の超低電圧(0.4V以下)不揮発動作デバイス、および集積化基盤技術を開発し、エレクトロニクス機器の超低電力化を通して低炭素社会に貢献する。

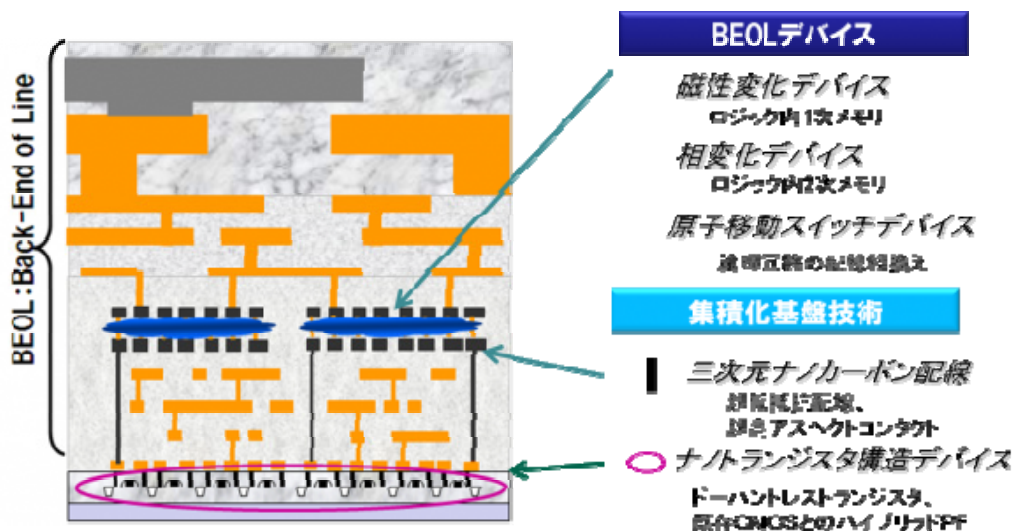


図 3.5-3 LEAP の研究概要 [6]

① 磁性変化デバイス

現状のロジック集積回路に混載される一次メモリの中のキャッシュメモリは SRAM や DRAM が用いられているが、これらは電源オフ時に蓄えていた情報を失う揮発性メモリのため常時通電しておく必要があることと、内部に電荷として情報を蓄えるメモリであるため低電圧化が困難である。今後も混載されるメモリの容量が大きくなっていくため、このままでは動作時および待機時の消費電力が大問題となってくる。

磁性変化デバイスは、抵抗変化型のメモリデバイスであり、このデバイスは低電圧動作と不揮発性の特性に加え、高集積、高速読み出し/書き換え、書き換え回数無制限、などの特徴を有し、ロジック集積回路の配線層に集積可能であり、待機時の消費電力を大幅に削減することが可能となる。更にこの磁性変化デバイスで、集積回路の配線に流れる電流のリアルタイムセンシング機能の実証を行い、従来にない高機能化を目指している。

② 相変化デバイス

ハードディスクドライブに代表されるストレージデバイスは、メカニカルな駆動原理と遅いデータ転送特性（主としてキャッシュメモリへのアクセスに要する時間）のために動作電圧や電力の低減が困難であった。キャッシュメモリに高速にアクセスできるストレージ

ジ型の不揮発メモリとして、原子を人工的に並べた積層超格子素子を用いた相変化デバイスを開発し、従来比 1/10 以下の書き換え電力量の実用化を目指す。

積層超格子素子は、相変化時の原子移動が高速かつ小さいため、従来の相変化素子で課題となっていた余分なエネルギー消費を低減でき、書き換え耐性に優れたストレージ向けのバックエンドデバイスとして配線間に高集積に製造することができる。

③ 原子移動型スイッチ

プログラマブルロジック (PLD) LSI の回路再構成に用いられている、パストランジスタと SRAM を組み合わせた SRAM スイッチは、動作時および待機時の電力が大きく、低消費電力化が困難であった。この SRAM スイッチに代わる素子として、原子移動型スイッチの開発を行う。

原子移動型スイッチは、金属原子や酸素原子の移動による電極間における金属架橋の形成・消滅を動作原理とし、高い ON/OFF 抵抗比、状態を保持するために電力を要しないこと、面積も非常に小さくバックエンドに形成可能であることが特長である。

原子移動型スイッチにより PLD の動作時および待機時の電力を削減することが可能となる。

④ 三次元ナノカーボン配線

不揮発デバイスの大容量化・高集積化のためには、配線においても高度の三次元化・微細化が必要となる。量子閉じ込め効果により細線状態でも高い伝導特性が得られるカーボンナノチューブやグラフェン等のナノカーボン材料を用いて、これらの要求に応える集積化基盤技術として配線技術開発を推進する。

具体的には、不揮発デバイスの三次元集積化に不可欠なカーボンナノチューブによる深いコンタクトホールへの埋め込みや、グラフェンによる微細幅横方向配線等の技術を開発し、300mm ベースでの実証を目指す。これらの技術は、不揮発デバイスの高度集積化を支えるとともに、半導体微細集積化の基盤技術として広く応用が期待される。

⑤ ナノトランジスタ構造デバイス

高集積な CMOS デバイスは、トランジスタ特性（主としてオン状態－オフ状態の境目を決めるしきい値電圧 V_{th} ）のばらつきのために動作電圧の低減が困難であった。超低電圧動作可能な論理回路用 CMOS デバイスとして、ドーパントレストランジスタ SOTB (Silicon on Thin Buried Oxide) による集積化基盤技術開発を行う。

SOTB は、従来の CMOS でばらつきの主要原因となっていた不純物の濃度が低く（ドーパントレス）、従来と比べて半分から 1/3 以下にばらつきが低減できる。これによりばらつき分を補償する電圧マージンが少なくすみ、低電圧動作が可能になる。また、従来の CMOS とのハイブリッドプラットフォームを構築することで、過去の設計資産を活かしながら、低消費電力化の利点を追求することができる。

(4) (独) 産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター

2010年4月、産総研において、ワイドギャップ半導体を主役にしてエレクトロニクスと電力エネルギー制御の技術融合を推進する「先進パワーエレクトロニクス研究センター」が設立された[7]。

図 3.5-4 に示すように、本研究センターでは、電力エネルギーにおける省エネルギー技術と新エネルギーの技術導入のための高効率電力変換技術など、電力エネルギー制御・有効利用技術の確立を目指して、従来のシリコンデバイスでは達成が困難な高耐圧・低オン抵抗のスイッチングデバイスやインバータを開発するために SiC や GaN 等の化合物半導体材料の研究開発が進められている。

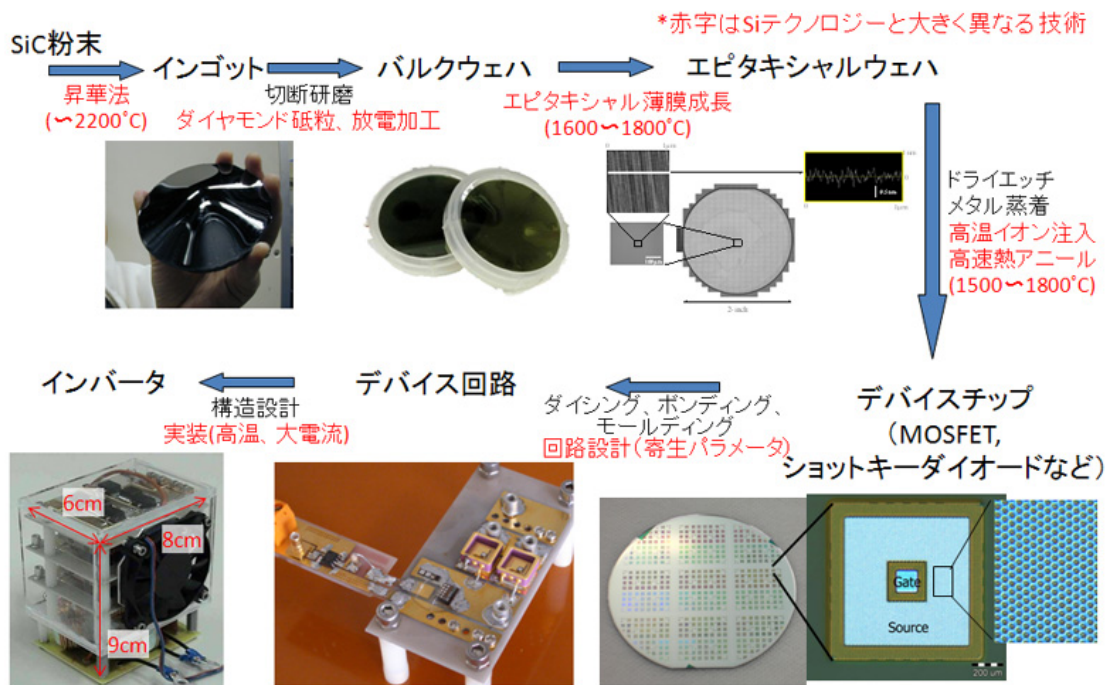


図 3.5-4 パワーエレクトロニクス 産総研における SiC 研究[7]

1つの研究ユニットに半導体結晶成長から電力変換機器応用までの異なる技術階層の研究者を集結させ、一体的かつ統合的に先進パワーエレクトロニクス研究を推進することで、図 3.5-5 の技術開発ロードマップにも示すように、以下の3つの主要研究を実施する[8]。

①1kW 級デバイスを中心に据えた第 1 世代研究開発

モータ制御、IT 電源などの民生汎用品利用を想定した 1kV 領域におけるパワーエレクトロニクス革新を目指し、実用レベルの要素ハードウェア技術や機器化技術の実証とそのためウエハおよびデバイス作製技術を量産レベルで確立する。

エネ技術導入のための高効率電力変換技術の確立を目指し、2009年8月に設立された技術研究組合であり、組合員は以下の通りである[9]。

- 三菱電機株式会社、富士電機 HD 株式会社、株式会社日立製作所、株式会社東芝、昭和電工株式会社、日産自動車株式会社、新日本製鐵株式会社、株式会社デンソー、トヨタ自動車株式会社、株式会社豊田中央研究所、日立化成工業株式会社 サンケン電気株式会社、株式会社タカトリ、株式会社東京カソード研究所、株式会社フジミインコーポレーテッド、パナソニック株式会社、ローム株式会社、株式会社東レリサーチセンター、株式会社本田技術研究所、株式会社明電舎、豊田通商株式会社、旭ダイヤモンド工業株式会社、学校法人関西学院、独立行政法人産業技術総合研究所、財団法人新機能素子研究開発協会

FUPET は、パワーエレクトロニクス分野において、以下に示す NEDO 事業「次世代パワーエレクトロニクス技術開発」及び経済産業省事業「新材料パワー半導体プロジェクト」を推進し、我が国の産業活性化に寄与していく活動を行う予定である。

- ◆ 次世代パワーエレクトロニクス技術開発（NEDO 事業：グリーン IT プロジェクト）
 - 事業期間：2009年8月から2013年3月
 - 事業内容
 - ①SiC パワーデバイスを用いたデータセンタ用サーバ電源技術開発
 - ②SiC パワーデバイスを用いた太陽光発電用パワーコンディショナ技術開発
 - ③次世代 SiC パワーデバイス・電力変換器基盤技術開発
 - ・高温動作電力変換器設計試作技術：高温実装、高パワー密度化統合設計
- ◆ 新材料パワー半導体プロジェクト（経済産業省事業）*31
 - 事業期間：2010年7月から2015年3月
 - 目標：高品質・低コストな大口径 SiC ウェハ製造技術、及び SiC 高耐圧スイッチングデバイス製造技術を確立する。
 - ① 高品質・大口径結晶成長、ウェハ加工、エピタキシャル膜形成まで一貫した製造技術を確立。“6インチ口径高品質 SiC ウェハ”
 - ② 高耐圧スイッチングデバイス製造技術の確立、及びこれを用いたインバータの試作・実証。“インフラ用 5kV 級パワー-MOSFET”
 - 事業内容
 - ① 高品質・大口径 SiC 結晶成長技術開発／革新的 SiC 結晶成長技術開発
 - ② 大口径 SiC ウェハ加工技術開発
 - ③ SiC エピタキシャル膜成長技術（大口径対応技術／厚膜・高速成長技術）
 - ④ SiC 高耐圧スイッチングデバイス製造技術

*31 2011年度より NEDO 委託事業に移管。

参考文献

- [1] TIA ホームページ : <http://tia-nano.jp/>
- [2] 小笠原 敦、“国際産学官連携拠点の目指すべき方向性～「つくばイノベーションアリーナ」の概要と展望”、科学技術動向 2010年10月号
- [3] TIA-nano 第1期中期計画 (2010年度～2014年度)
http://tia-nano.jp/about/pdf/plan_main.pdf
- [4] TIA パンフレット : http://tia-nano.jp/about/pdf/TIA_j.pdf
- [5] GNC ホームページ : <http://www.yokoyama-gnc.jp/research/>
- [6] LEAP ホームページ : <http://www.leap.or.jp/>
- [7] 産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター ホームページ
<http://unit.aist.go.jp/adperc/ci/research/index.html>
- [8] 産総研プレス発表参考資料、「先進パワーエレクトロニクス研究センター」を設立、平成22年4月1日
http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2010/pr20100401/pdf/20100401_12.pdf
- [9] FUPET ホームページ : <http://www.fupet.or.jp/>

3.5.2. IMEC

(1) 研究概要

IMEC (Interuniversity Microelectronics Center) は、欧州のナノエレクトロニクス研究の中核となる開発拠点である。1984年に設立され本部はベルギーのルーベン市であり次々世代以降の半導体技術およびシステム設計技術に必要な技術の研究開発を行っている。ナノエレクトロニクスに関する世界最大級の研究所である。

研究者数は約1,800名(参加企業からの駐在研究員約550名を含む)、共同研究企業約600社である。売上のうち約8割が企業との契約や技術対価であり2009年の収入は275百万ユーロである[1]。

産業界のニーズの3年から10年先んじて研究開発を行い、大学の基礎研究と産業界の技術開発の間にあるギャップを埋めることを目指している。200名を超える博士課程の学生が研究に参加し高いコストパフォーマンスの一因となっている。

IMECの研究プログラムでは、基礎的な研究領域として「CORE CMOS」「CMORE」が、応用分野である Applications Domains として「GREEN RADIO」「HUMAN++」「NVISION」「ENERGY」がある[2]。

このうち、ナノエレクトロニクスに関連するプログラムは「CORE CMOS」と「CMORE」の「Photonics」プログラムである。また、パワーエレクトロニクスに関連するプログラムは「CMORE」の「Power-High Voltage」「GaN」と「ENERGY」の「GaN」プログラム

である (図 3.5-6 参照)。

ナノエレクトロニクスでは、LSI 微細化の要素技術 (リソグラフィ、トランジスタ、メモリ構造、配線) とナノフォトニクスの研究が行われていおり、パワーエレクトロニクスでは、GaN をベースにした研究が行われている。また、近年、太陽電池や環境発電などグリーンデバイスに関連する研究も積極的に進められている。

以下、ナノエレクトロニクスとパワーエレクトロニクス関連の研究プログラムについて報告する。

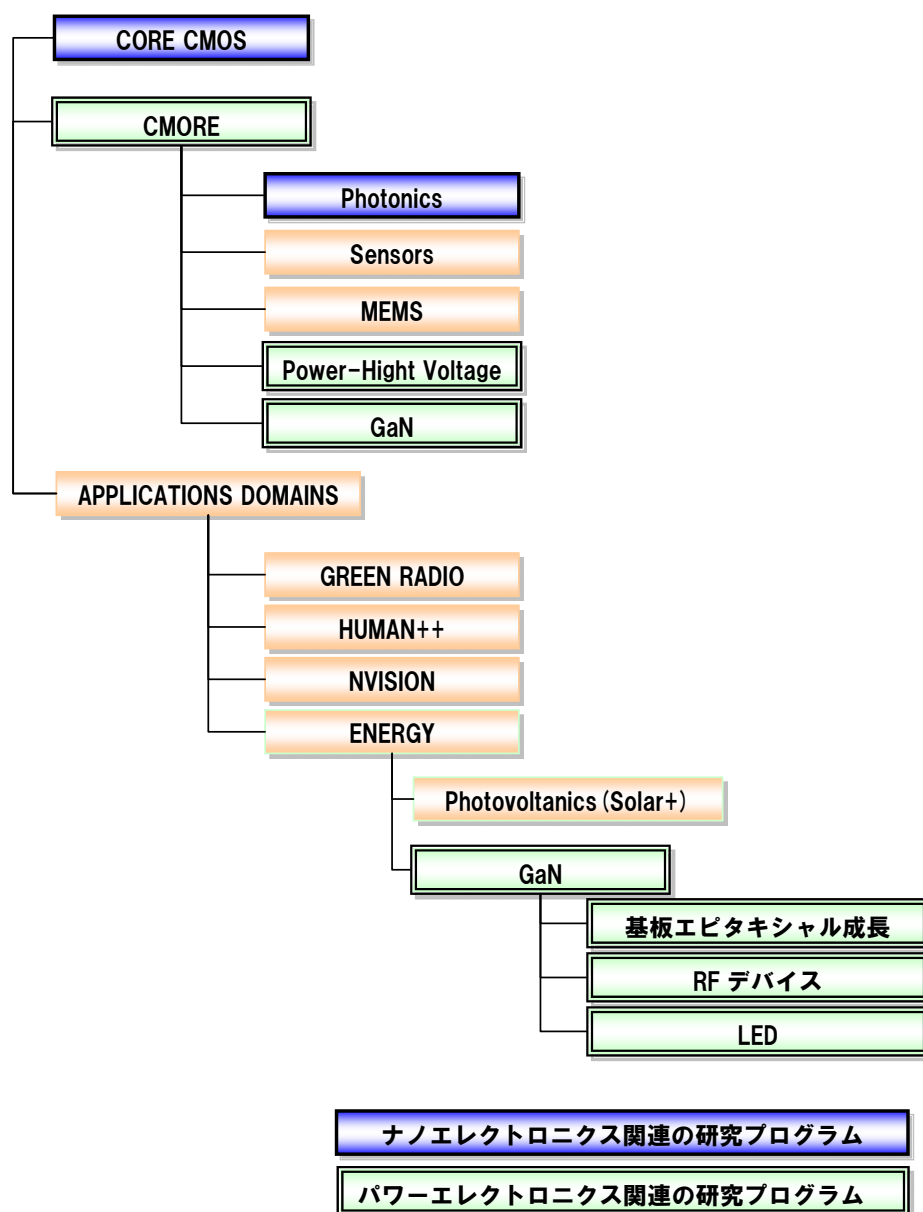


図 3.5-6 ナノエレクトロニクスおよびパワーエレクトロニクス関連の IMEC 研究プログラム (参考文献[2]より MHIR 作成)

(2) “CORE CMOS” 研究プログラム

More Moore の領域を担当するプログラムである。プログラムの構成を図 3.5-7 に示す。リソグラフィでは「193nm リソグラフィの延命」と「EUV 露光技術」を、前工程では「トランジスタ」「メモリ」を、配線では「ナノ構造配線」と「3D 積層」を研究対象としている。

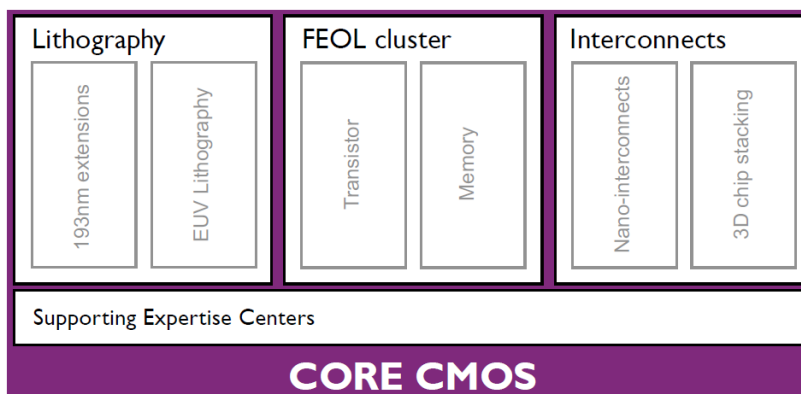


図 3.5-7 CORE CMOS の構成 [2]

図 3.5-8 に IMEC に導入されている EUV 露光装置を示した。EUV 露光は次世代リソグラフィの本命技術と見られ、20nm 以降に微細化するためのキー技術とされている。図に示した装置は Alpha Demo Tool とよばれ、試作機のままの研究段階の装置である。EUV 露光装置の Alpha Demo Tool は世界で3台しかなく、そのうちの一台が IMEC の装置である。また、3D 積層プログラム成果であるロジックとメモリの積層したチップも図 3.5-8 に示した。

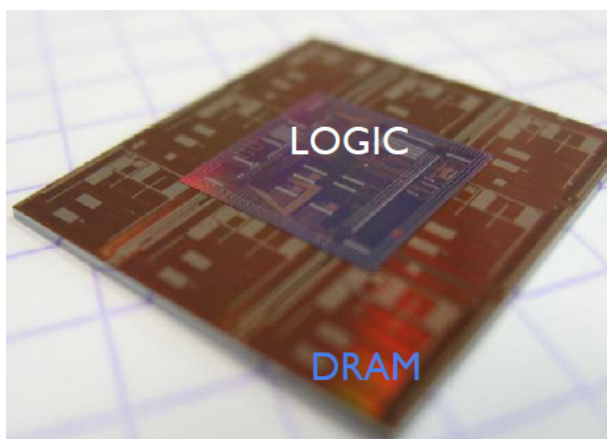


図 3.5-8 EUV 露光装置 (左) とロジックとメモリの積層 (右) [2]

Nano-Photonics では「光通信」「高速配線」「光センサー」の開発を行っている。図 3.5-9 に SOI 上に作成された光配線の図を示す。この配線ピッチは $2\mu\text{m}$ 以下で、Tbit/s の速度で

信号の送信が可能である。光センサーではひずみセンサー、温度センサー、ガスセンサーへの応用が研究されている。

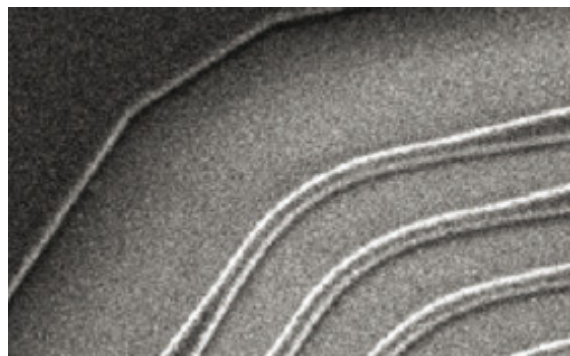


図 3.5-9 オンチップ光配線 [3]

(3) “CMORE” 研究プログラム

More than Moore を担当するプログラムである。プログラムの構成を図 3.5-10 に示す。この中でナノエレクトロニクスに関連するのは Nano-Photonics である。この研究プログラムにはパワーエレクトロニクスに関連する「Power -high V HBT」「GaN」の研究プログラムも含まれる。

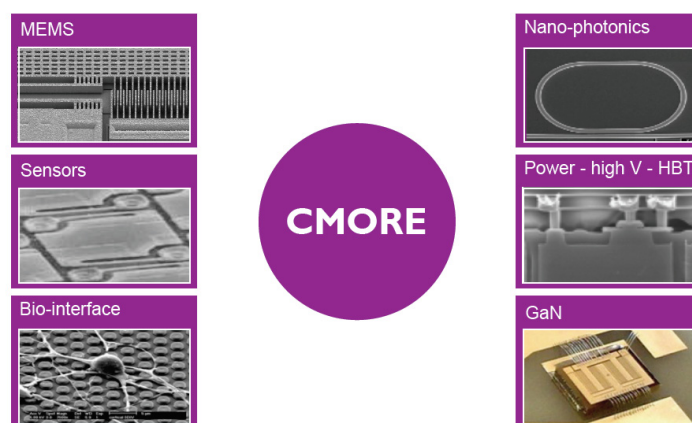


図 3.5-10 CMORE プログラムの構成 [2]

(4) GaN 基板エピタキシャル成長

GaN は一般的にサファイアや SiC などの異種基板上にエピタキシャル成長により形成される。このため格子定数や熱膨張係数の違いによる層内多数の欠陥が導入される。優れた

性能のデバイスを作成するためには欠陥の少ない良好な結晶のエピタキシャル成長を行えるプロセスの開発を行うことが重要である。IMECはSi基板上にGaNを成長させている。



図 3.5-11 8インチ MOVPE 装置 [2]

(5) RF デバイス

Siより5倍高速にスイッチングできるGaNを用いたHEMTデバイスは高耐圧で10GHz以上の高周波で動作させることが可能である。本研究では、高周波通信機器のキーデバイスであるパワー・アンプとスイッチングデバイスの研究を行っている。

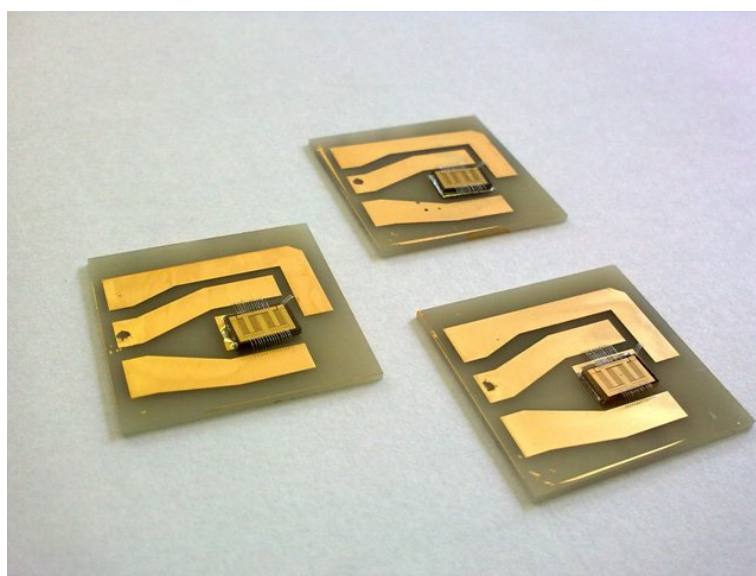


図 3.5-12 GaNによるスイッチングデバイス [2]

(6) LED

LEDのためのSi基板上のGaNと大口径化で低コスト化を目指している。この分野ではLED用の大口径MOCVD装置の開発として太陽日酸と共同で装置開発を行っている。

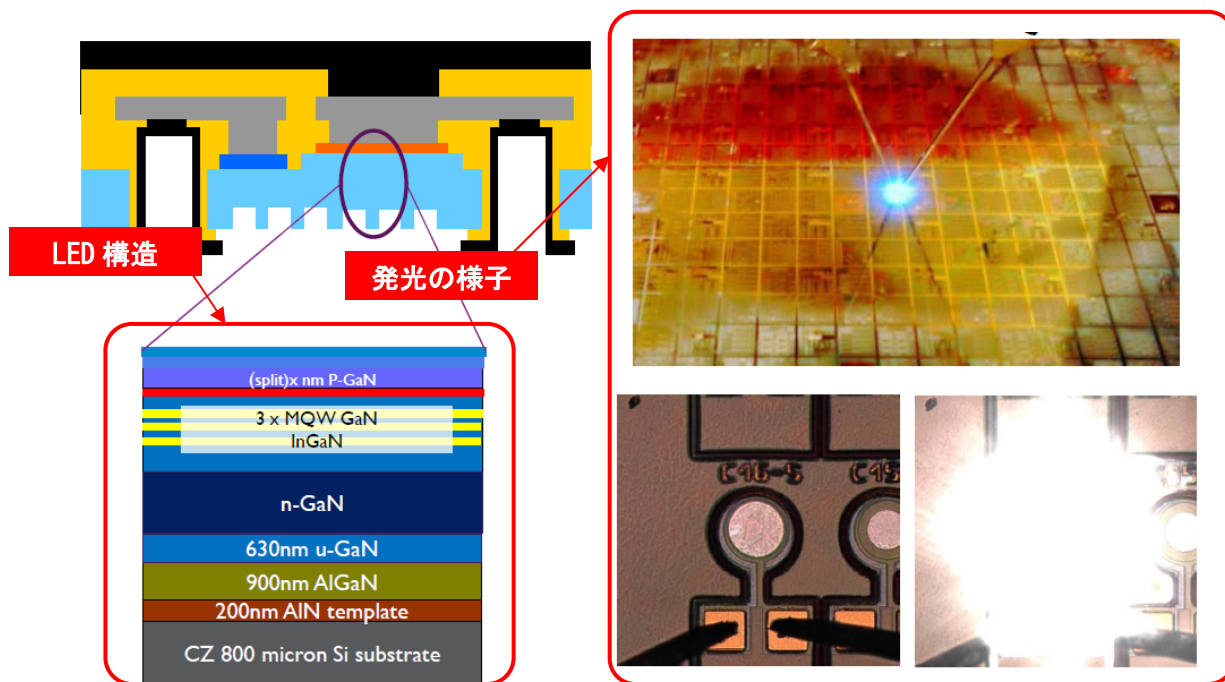


図 3.5-13 Si 基板上に作成した GaN LED [2]

参考文献

[1] ANNUAL REPORT 2009

http://www2.imec.be/content/user/File/Annual_report2009.pdf

[2] IMEC Executive Seminar 2010 発表資料

[3] IMEC ホームページ

<http://www.imec.be/ScientificReport/SR2007/html/1384332.html>

3.5.3. Albany Nanotech

(1) 研究概要

Albany NanoTech^{*32}は、ニューヨーク州政府が主導し、ニューヨーク州立大学（State University of New York : SUNY） Albany 校ナノスケール理工学部を中核として結成されたナノ電子工学研究開発のための産官学連携コンソーシアムである。[1]

Albany NanoTech は 2001 年 1 月ニューヨーク州の 5 つあるセンター・オブ・エクセレンスの 1 つに選ばれ、2001 年 4 月にはニューヨーク州から 5,000 万米ドル、IBM から 1 億米ドルの寄付で Albany 内に Center of Excellence in Nanoelectronics and Nanotechnology (CENN) が設置された。

2004 年 1 月には Albany の中核であるニューヨーク州立大学ナノスケール理工学部が College に格上げされ現在のナノスケール理工学カレッジ（College of Nanoscale Science and Engineering ; CNSE）が設立される。

2008 年 7 月にはさらに IBM 社が 15 億米ドルを投資し、ニューヨーク州が 1 億 4,000 万米ドルの助成金の提供を表明した。ニューヨーク州政府からの資金投入は地域の活性化と雇用促進が主目的である。

2007 年迄に、総額 42 億ドルを費やして約 42,000m²の施設を構築し、そこに世界中からパートナー企業、あるいはコンソーシアムや共同研究組織を誘致している。Albany NanoTech はナノエレクトロニクス研究の中核となる拠点であり、産官学の次世代 LSI の開発拠点になっており IBM、SEMATECH、AMAT、Intel 等約 250 社が共同研究を行っている。日系企業も日立製作所、ソニー、東京エレクトロン、荏原製作所などが参加している。IBM は 45~22nm のプロセス開発を本拠地に集約し、300 人体制で研究を行っている。拠点内には東京エレクトロンが 3 億米ドル、アプライドマテリアルが 3 億米ドル等を投じた研究施設があり、一大ナノテククラスター地域になっている。共同研究の各社からは数十人単位で研究者が常駐している。

N.Y. Albany CNSE のホームページに示された、研究センターやプログラムを以下に示す [2]。24 のうち 13 の半数以上がナノエレクトロニクス・半導体関連である。さらに、ナノエレクトロニクス以外のナノテクノロジー関連を含めると 19 と約 8 割がナノテクノロジー・半導体関連であり、CNSE の研究はナノエレクトロニクス・半導体、ナノテクノロジーが中心と言える。残り 5 つはスマートグリッドやエネルギー関連である。

- ナノエレクトロニクス関連の研究センター
 - **Institute for Nanoelectronics Discovery and Exploration (INDEX)**
 - Center of Excellence in Nanoelectronics and Nanotechnology (CENN)

^{*32} Albany Nanotech は、CNSE の研究開発総合施設、場所、組織名、建物等を総称した意味に使われる通称であり、契約書など正式文書には使われない[1]。

- Center for Advanced Technology in Nanomaterials and Nanoelectronics (CATN2)
- International Venture for Nanolithography (INVENT)
- Center for Nanoscale Lithography (CNL)
- 半導体関連の研究センター
 - Center for Semiconductor Research (CSR)
 - Center for Advanced Interconnect Science and Technology (NY CAIST)
 - Computer Chip R&D Integration Center (CCIC)
- 半導体関連の研究プログラム
 - Computer Chip Hybrid Integration Partnership (CHIP)
 - International Multiphase Program for Lithography Science and Engineering (IMPLSE)
- 半導体関連の組織・団体
 - SEMATECH
- 半導体装置メーカーの研究センター
 - Applied Materials R&D Center
 - TEL Technology Center, America R&D Center
- ナノテク関連の研究センター
 - Center for National Nanotechnology Innovation & Commercialization (NNICC)
 - NanoHealth and Safety Center (NSC)
 - Nanotechnology Innovation and Commercialization Exceleator (NICE)
- ナノテク関連の研究プログラム
 - Nanotechnology Innovation and Commercialization Exceleator (NICE)
 - New York Center for National Competitiveness in Nanoscale Characterization (NC3)
 - Collaboration for Leveraging Energy And Nanotechnology Program (CLEAN)
- エネルギー、スマートグリッド関連の研究センター
 - Energy and Environmental Technology Applications Center (E2TAC)
 - Smart System Technology & Commercialization Center (STC)
 - Center for Sustainable Ecosystem Nanotechnologies (CSEN)
 - CG Power Center for Intelligent Power (CIP)
- エネルギー、スマートグリッド関連の組織・団体
 - National Institute for Sustainable Energy (NISE)

(2) ナノエレクトロニクス研究開発拠点ネットワーク

米国で 2000 年に次世代の国家戦略分野として「国家ナノテクノロジー構想」(NNI:National Nanotechnology Initiative)が発表された。構想に沿って研究インフラの整

備も進めており、国立科学財団（NSF: National Science Foundation）が中心となって設立されたのが「全米ナノテクノロジー基盤ネットワーク」(NNIN:National Nanotechnology Infrastructure Network)である。NNIN は 2004 年から開始され大学がクリーンルーム、実験室、設計、シミュレーション、製造に必要な装置、分析や特性評価を行う装置を外部使用者に提供している。

産業界でも全米半導体工業会(SIA:Semiconductor Industry Association)が政府との連携を加速するため 2004 年に「ナノエレクトロニクス研究構想」(NRI:Nanoelectronics Research Initiative)を発表した。NRI の推進は SIA が設立した非営利目的の会社である SRC(Semiconductor Research Corporation)が行っている。NRI には民間企業では Intel、IBM、AMD、Texas Instruments、freescale、MICRON などが参加し、公的機関では国立標準技術研究所(NIST: National Institute of Standards and Technology)が参加している。

NSF と SRC の協力のもと NNIN では、地域ごとに大学を 4 つにグループ化しており、図 3.5-14 に 4 つのグループのネットワークを、表 3.5-1 に各グループの研究テーマを示す。

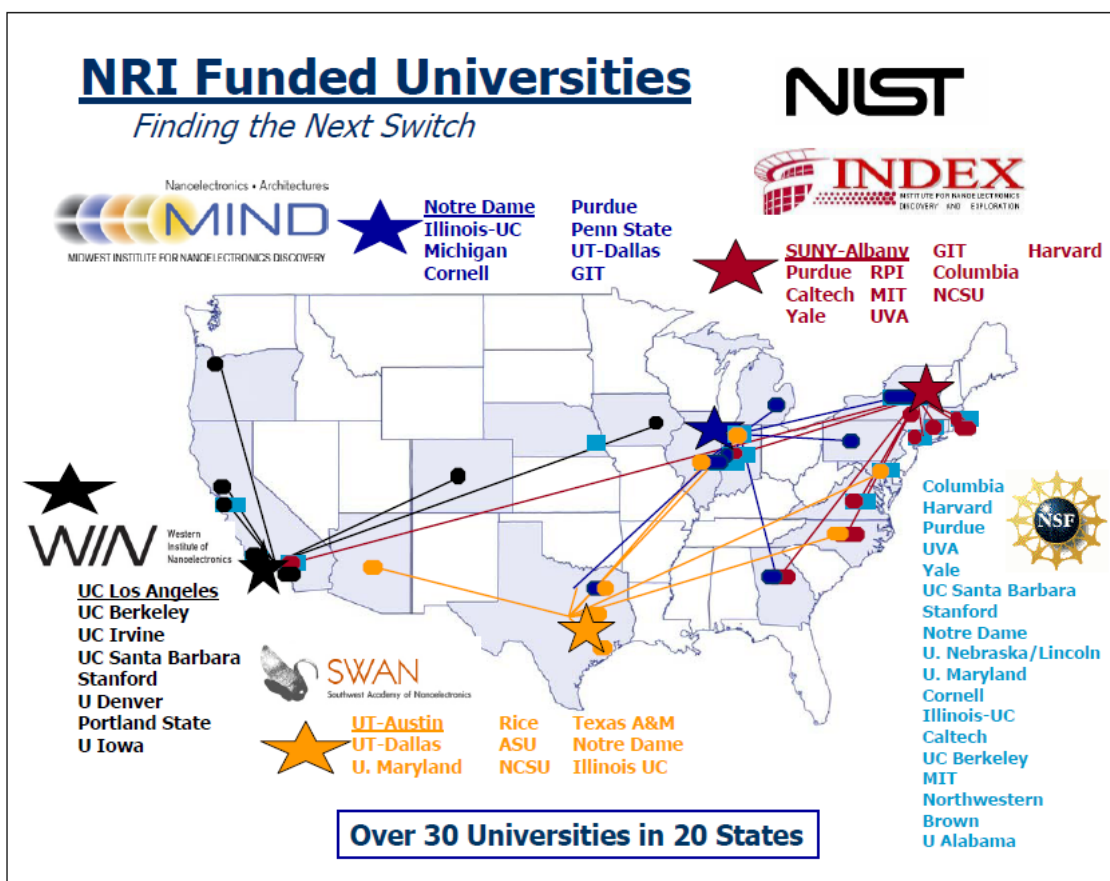


図 3.5-14 NRI が援助する地域研究ネットワーク [3]

表 3.5-1 ナノエレクトロニクスに関する研究開発拠点 [4]

名称	INDEX (Institute for Nanoelectronics Discovery and Exploration)
地域	北東部
本拠点	College of Nanoscale Science and Engineering of the University at Albany
参加	大学・研究所：Harvard University, Yale University, Massachusetts Institute of Technology (MIT), California Institute of Technology, Columbia University, North Carolina State University, University of Virginia, Purdue University, Georgia Institute of Technology and Rensselaer Polytechnic Institute (RPI) 企業：Intel, Micron, AMD, IBM, Texas Instruments and Freescale Semiconductor, Inc.
研究テーマ	量子ドットデバイス, 分子/グラフェン細線スイッチ, 酸化物を使ったスイッチ nanomaterial systems; atomic-scale fabrication technologies; predictive modeling protocols for devices, subsystems and systems; power dissipation management designs, and realistic architectural integration schemes for realizing novel magnetic and molecular quantum devices
名称	WIN (Western Institute of Nanoelectronics)
地域	西海岸
本拠点	UCLA Henry Samueli School of Engineering and Applied Science
参加	大学：UCLA, University of California campuses (Los Angeles, Berkeley, Santa Barbara and Irvine), Stanford University, Denver University, Portland State University, and University of Iowa
研究テーマ	スピントロニクスと磁気デバイス nano spintronics and nano plasmonics extending from material, devices, and device-device interaction all the way to circuits and architectures
名称	SWAN (South West Academy of Nanoelectronics)
地域	南西部
本拠点	Microelectronics Research Center at The University of Texas at Austin
参加	大学：UT-Dallas, Texas A&M, Rice, Notre Dame, Arizona State, the University of Maryland, North Carolina State and the University of Illinois at Urbana Champaign
研究テーマ	高効率ロジック(スピントロニクス, 強相関材料) energy-efficient logic including use of spin, "pseudo-spin," strongly correlated many-body systems, nano-magnets, and/or novel applications of quantum interference. Work is also being performed on novel interconnects and on nano-metrology techniques
名称	MIND (Midwest Institute for Nanoelectronics Discovery)
地域	中西部
本拠点	University of Notre Dame
参加	大学・研究所：Purdue University, Penn State, Illinois, Michigan, National Magnet Lab at Florida State, and the University of Texas at Dallas
研究テーマ	エネルギー消費の低減にフォーカス 高効率デバイス(グラフェントランジスタ, トンネルトランジスタ, 量子輸送, 比熱並行デバイス)と高効率システム(磁気セルオートマトン) energy-efficient devices and energy-efficient systems. energy-efficient devices themed is (1) tunnel transistors with low voltage and low subthreshold-swing (2) graphene transistors based on spin, tunneling, and thermal rectification (3) quantum transport modeling tools for MIND devices, and engineering of energy dissipation in nonequilibrium devices. energy-efficient systems theme is (1)systems architectures to utilize the novel properties of devices (2)magnetic quantum-dot cellular automata (3)circuit modeling and design for NRI device technology will be used to benchmark the progress of beyond-CMOS technology development.

図 3.5-14 と表 3.5-1 に示す通り 4つのグループとは、

- INDEX (Institute for Nanoelectronics Discovery and Exploration)
- WIN (Western Institute of Nanoelectronics)
- SWAN (South West Academy of Nanoelectronics)
- MIND (Midwest Institute for Nanoelectronics Discovery)

である。SUNY-Albany CNSE が INDEX の本拠地に指定されており、INDEX は北東部の大学における量子デバイスやグラフェンに関する研究の中心となっている[3]。

(3) INDEX

INDEX を中心にナノエレクトロニクスの研究が行われている (図 3.5-15 参照)。SUNY-Albany 内には Applied Materials、東京エレクトロンという二大製造装置メーカーも R&D センターを設置しており、製造装置の面から研究をサポートしている。

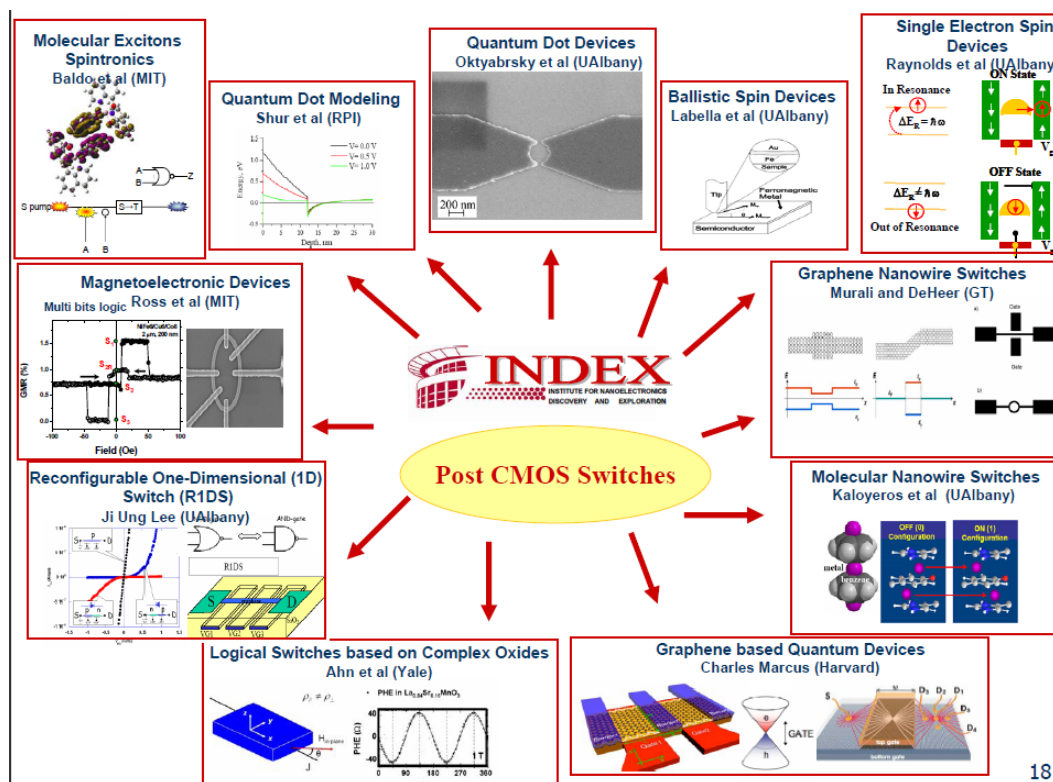


図 3.5-15 INDEX の研究領域 [3]

INDEX の研究領域は、

- Novel Computing State-Variable Devices
- Self-Assembly and Fabrication
- Theory and Simulation

- Metrology and Characterization

の4領域であり、その領域内で7つの研究テーマが設定されているとしているが、具体的な内容は参加メンバー以外には非公開とされている[5]。

表 3.5-2 に示すように、INDEX 関係者の学会等の発表のタイトルから「グラフェン」「スピントロニクス」「新構造 FET」「リソグラフィ技術」など Beyond CMOS の分野が研究の中心となっていることが分かる。

一方、ナノテクノロジーを通じて社会的な問題解決を図る研究も進められている。例えば、CSEN(Center for Sustainable Ecosystem Nanotechnologies)ではナノテクノロジーを通じた持続可能な社会へ貢献する技術の開発を行っており、ナノ構造電極をもった蓄電池、燃料電池やナノ構造太陽電池などの研究を行っている。その他にも環境、エネルギー、健康といった分野に対するナノテクノロジーの研究も行われている。

表 3.5-2 INDEX 関係者の学会等の発表タイトル[6]

タイトル	著者
Graphene Nanoelectronics: p-n Junction Characterization	Yunfei Wang
INDEX Graphene p-n Junction Device Effort	Ji Ung Lee
Electron Spin Lifetime Measurements in Graphene	Vincent LaBella
Electron Waveguide Switch: Performance and Technologies	Serge Oktyabrsky
Graphene Spin and Quantum Switches	Bin Yu
Reconfigurable Multi-Function Logic Based on Graphene P-N Junctions	Wei Wang
Graphene p-n Junction Devices	Wei Wang
Studies of Al(2)O(3) Barriers for Use in Tunnel Junctions for NonLocal Spin...	Vincent LaBella
Graphene P-N Junction Device Effort	Ji Ung Lee
Aberration Corrected Microscopy and Non-Linear Spectroscopy for Nanoscale...	Alain Diebold
Graphene Nanoelectronics: Defectivity and p-n Junction Characterization	Robert E. Geer
E-beam Lithography @ Albany Nanotech	John Hartley

参考文献

[1] 武田計測先端知財団報告書

<http://www.takeda-foundation.jp/reports/>

[2] N.Y. Albany CNSE の研究プログラムに関するホームページ

<http://cnse.albany.edu/LeadingEdgeResearchandDevelopment.aspx>

[3] NIST のホームページ、NRI とのパートナーシップに関する資料

http://www.nist.gov/director/vcat/upload/NIST_SRC_NRI.pdf

[4] NRI のホームページ

<http://www.src.org/program/nri/>

[5]INDEX の研究テーマのホームページ

<http://www.src.org/program/nri/index/>

[6]INDEX の発表文献一覧（タイトル等のリストのみ、内容は非公開、2011/3/29 時点）

<http://www.src.org/program/nri/index/> の「INDEX Publications」のリンク先

4. 効率評価技術に関する取り組み事例

4.1. 大学構内における ICT 活用省エネの取り組み（東大グリーン ICT プロジェクト）

4.1.1. プロジェクト概要

東京大学の建物をテストベッド（現状の対象は工学部 2 号館のみ、本郷キャンパス全体に対象拡大を計画中）として、様々な機器・設備のエネルギー消費の見える化を手始めに、IT 機器の省エネ、サーバールームの省エネについて、企業を含む WG を設置して各種実証実験を行っている。その成果を他大学への横展開も推し進めている。

4.1.2. 目標

東京大学の CO2 排出量を、2012 年までに 15%削減（TSCP-2012）、2030 年までに 50%削減（TSCP-2030）という TSCP（東大サステイナブルキャンパスプロジェクト）の目標を、ICT を活用して実現する。

4.1.3. コンピュータ・ネットワークの省エネ技術開発

(1) 入退室連動 IT 省エネ（三菱商事、富士ゼロックス、山武）

IT 機器はアイドル状態にある時間が長く、この時間のほとんどを IT 機器に実装されているスリープ状態にすることができれば省エネにつながると考えられる。ただし、アイドル状態にあることと人が使用していないことは直接には結びつかない。

PC の電源状態を監視した場合にはアイドル状態の把握は可能であるが、ユーザの有無までは認識できない。また、人感センサ等ではユーザ本人であることの確認ができない。そこでセキュリティで使用される入退室カードリーダーシステムの個人情報と PC のユーザ管理情報をマッチングさせ、PC の省エネ制御を行った。

また同様に、無人になったことにより複合機をスリープモードに移行することで、複合機に搭載された省エネ機能をより有効に活用する。

これら入退室情報と連動した省エネの自動化について図 4.1-1 のシステムで実証を行った。実証実験での効果としては、以下の結果を得た。

- ・ PC の省エネ手法制御削減効果：5.3%減 261kWh/年/室
- ・ 複合機の無人空室時の電力削減効果：32%減 235kWh/年（スリープモード移行時間（標準は 1 分）を最長の 240 分に設定した場合の効果試算）

すなわち、省エネ効果はあるものの、IT 機器自体の省エネが進んでおり削減電力の絶対値は低く、削減電力量も多くない。また、PC のアイドル時間が約 7 割存在するものの、不在によるスリープ制御可能時間は 50 分程度しかなかった。これは昼夜にわたって在室時間が長いという研究業務室という特色によるものであり、更なる省エネルギーの実現には他の手法の併用が必要とされる。

＜各PCの省エネ制御＞

■クライアントPCのアイドル状態を確認、一定時間後、クライアントユーザの入退室情報を取得し、退室時には電源オプション（休止）を適用する。

＜複合機の省エネ制御＞

■入退室連動スリープ制御
注：ユーザ単位の入退室情報は見える化にも利用

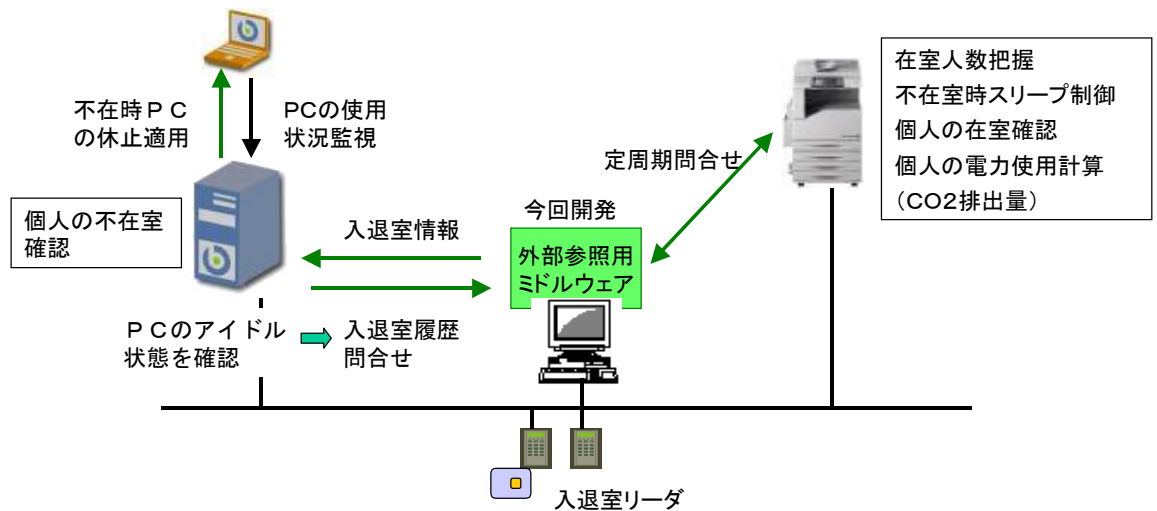


図 4.1-1 入退室連動による IT 機器の省エネ実証システム*33

(2) ネットワークの省エネ（日本電気）

ネットワークの省エネとして、ネットワーク自体の省エネ化の必要性の調査と省エネ機器を導入することによる成果の確認を実施した。トラフィックや用途に合致した省エネ型のネットワーク機器を導入することにより、72 時間の計測で平均消費電力が 57.7Wh から 51.5Wh へ、約 10.8%の削減が確認できた。

4.1.4. サーバルームの省エネルギー技術開発

(1) サーバルームの温熱環境改善（横河電機）

サーバルームでは一般オフィスに比べて非常に大きい空調エネルギーを必要としている。このサーバルーム空調の省エネを実現するために、まずサーバルーム内の温熱環境可視化の検証を行った。方法は光ファイバーをラックの前面（サーバの吸い込み側）に設置し、この光ファイバーによって、ラック前面の温度分布を連続的に計測し、温度の均一化と設定値を緩和することによりサーバルームでの空調エネルギーを削減できることを検証した。

温度測定の結果、天井吹き出し近くのラック前面温度は低く、吹き出しより離れた部分の温度は高いという、温度の不均衡状態が可視化された。このサーバルームは天井吹き出しの空調であるため、吹き出しから仮設ダクトを設置することにより従来の吹き出しから

*33 東大グリーン ICT プロジェクト実証実験 WG 提供

遠くに冷風を供給し、ラック前面温度を均一化した上で空調温度設定値を緩和し、省エネルギーを実現した。

施策前後におけるサーバールーム空調電力量を測定した結果、前後で 115.1kWh/日から 97.8kWh/日へと約 15%の削減が確認された。

サーバラックの多点温度計測

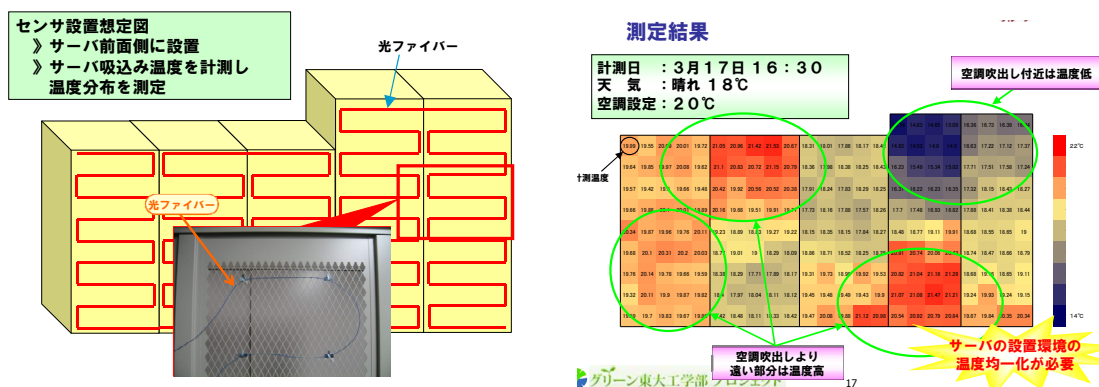


図 4.1-2 サーバラックの多点温度計測*34

4.1.5. 消費電力計測技術に関する取り組み

電力計測に関する課題の中で「計測のための配線」が注目されている。電力計測を実施する場合、そのデータをどのように収集蓄積するかという手段として、専用配線を準備するのではなく、無線通信を利用するか、既存有線通信を利用するなどが考えられる。データの送信におけるこの問題解決のために、実証実験の中で各種伝送方式を用いた電力計測を実施している。

(1) 電力線通信 (PLC) による電力計測 (パナソニック)

IT 機器の消費電力計測のために、コンセント用ワットアワーメータを使い、計測したデータを PLC (Power Line Communications) でサーバに伝送してデータ収集を実施した。ワットアワーメータは既存のものを利用し、PLC 子機の試作器により伝送を実施した。

*34 東大グリーン ICT プロジェクト実証実験 WG 提供



図 4.1-3 PLCによる電力計測*35

(2) 無線通信 (Bluetooth) による電力計測 (名古屋大学、シムックス)

前述の入退室連動 IT 省エネ実証試験では、Bluetooth によりデータ伝送を行う無線小型電力計を用いて、複合機 2 台の電力計測、データ収集を実施した。

ハードウェアの検証として 6 日間連続 (8640 分) のデータを欠測無しで収集し、安定性の確認を実施した。また、無線小型電力計の設置とデータ収集サーバへのソフトインストールは短時間で可能であり、実用性に優れていると評価した。

計測数値の精度や十数台での同時計測は今回の実験対象外となっており、今後の課題である。

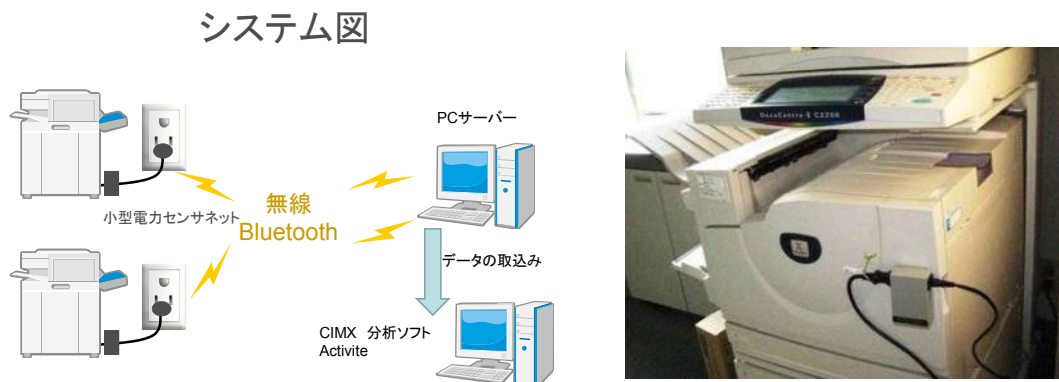


図 4.1-4 無線通信 (Bluetooth) による電力計測*35

(3) 無線通信 (ZigBee® *36) による電力計測 (パナソニック)

分電盤での電力計測データを無線で伝送、データ収集を実施した。

工学部 2 号館の分散した場所に無線電力計測端末を配置し、電力計測データを無線通信に

*35 東大グリーン ICT プロジェクト実証実験 WG 提供

*36 ZigBee は ZigBee Alliance,inc.の登録商標です。

よりデータ収集装置に集約した。計測ポイントを無線化した端末局に送り、さらに4台の中継局に集約し、それをさらに親機に集めることにより1フロア分をカバーする形での確認を行った。

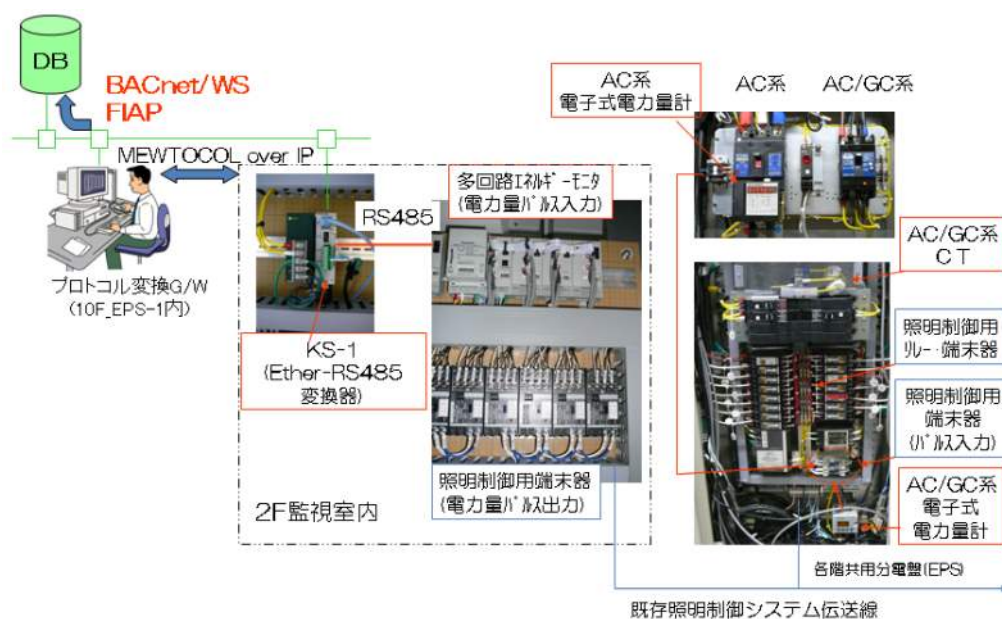


図 4.1-5 無線通信 (ZigBee) による電力計測*37

(4) 既存有線通信による電力計測 (パナソニック電工)

既存有線通信を利用する方法として、照明制御システムの有線ネットワークを利用した電力計測とデータ収集を行った。各階の EPS 内共用分電盤に電力パルスを取り込む入力端末器を設置し、そこから既存照明制御システムの伝送線を介してパルス出力したものを多回路エネルギーモニタで集約した。

*37 東大グリーン ICT プロジェクト実証実験 WG 提供



約50点のパルスを収集

図 4.1-6 既存有線通信による電力計測*38

以上(1)から(4)の各伝送方法はいずれも、計測のための新たな配線を設けずに既存配線または無線を利用することで、

設置性：配線、設定等の作業が簡略化できる

拡張性：設置後の増設、設定変更、撤去などの自由度が高い

という点を特徴として持っている。

課題としては、様々な環境下で安定した通信を確保するための検証が必要となること、また既存配線を利用する場合にはこれらシステムから受ける動作上、または運用上の影響についての検証が必要となる。

4.1.6. まとめ

この東大グリーン ICT プロジェクトでは、東大をテストベッドとして各企業が様々な方法で省エネに対する取り組み実証をおこなっており、プロジェクト内では、実証実験 WG の他に、コンセプト WG、見える化 WG、制御 WG、プロトコル標準化 WG などの活動を推進している。個別での省エネの取り組みを進めながら、更なる省エネ実現のために様々な設備の連携が必要であり、プロトコル標準化活動も含めての統合された ICT による省エネ実現に向けて推進している。

*38 東大グリーン ICT プロジェクト実証実験 WG 提供

4.2. データセンタ省エネ性能の測定実証事業

グリーン IT 推進協議会調査分析委員会では、前述（→2.4.2.節）の通り、日本発のデータセンタ（DC）の省エネ評価指標 DPPE を検討している。2010 年度に同委員会では、日米欧の政府・グリーン IT 推進団体関係者で構成したタスクフォースで DPPE の開発について議論を開始し、グローバル標準指標を目指して活動をしている。2010 年度はさらに、DPPE の信頼性を高めるために測定実証プロジェクトを実施した。2010 年 5 月 DPPE の評価指標としての実用性検証、および DC におけるエネルギー消費の把握を目的に、DC 事業者と DC 運営関係者に測定の下記要領にて依頼が行われた[1]。

[プロジェクト概要]

1. プロジェクト名称

アジア域内の知識経済化のための IT 活用など支援事業（グリーン IT の推進）
「データセンタの省エネ活動の実態調査およびエネルギー効率評価・新指標の測定実証プロジェクト」

2. 実施体制

- ① 実施主体 経済産業省 商務情報政策局情報通信機器課
- ② 委託先：社団法人 電子情報技術産業協会（JEITA）
- ③ 再委託先（事務局）：株式会社 三菱総合研究所
- ④ 協力：グリーン IT 推進協議会
特定非営利活動法人 日本データセンター協会
社団法人 情報サービス産業協会
特定非営利活動法人 ASP・SaaS インダストリ・コンソーシアム

この測定プロジェクトで測定された省エネ評価指標は、DPPE、及びこれを構成する以下の 4 つの指標全て、または測定可能ないずれか一つ以上の指標である。

ITEU(IT Equipment Utilization),
ITEE(IT Equipment Energy Efficiency),
PUE(Power Usage Effectiveness),
GEC(Green Energy Coefficient)}

約 20 機関が測定に参加し、商用運用下にあるデータセンタでも DPPE を測定可能であることを実証したと共に、測定時の課題を抽出した。その詳細については、2010 年度調査分析委員会報告書[2]に掲載されている。

参考文献

- [1] “データセンタのエネルギー効率評価指標（DPPE）の測定実証事業について”
http://www.greenit-pc.jp/topics/release/pdf/dppe_j_20100517.pdf
- [2] 2010 年度グリーン IT 推進協議会調査分析委員会報告書, 2011/6.

4.3. サーバ消費電力の簡易測定手法の調査研究

4.3.1. 概要

IT ユーザの約半数はサーバ消費電力削減の必要性を認識しており[1]、JEITA サーバ事業委員会傘下のサーバシステムプラットフォーム専門委員会とサーバグリーン IT 専門委員会は 2008 年度より以下を目的として共同で調査研究を行ってきた*39。

- ①サーバ消費電力測定の正しい理解を啓蒙し、データセンタ以外の商用環境（例えば、中小企業のコンピュータシステム等）の実使用環境にも適用できるサーバ消費電力の簡易測定方法のガイドを作成する*40。
- ②作成したガイドは、JEITA の Web サーバ等で公開する。
- ③今回の調査研究プロジェクトで得られた実消費電力のデータは JEITA で製作するサーバ消費電力予測で使用される「Typical Operating 時の消費電力量の Typical 比」などのパラメータに反映し、予測精度の向上を図る。

4.3.2. 調査研究の経緯

◆～2009 年 9 月末（フェーズ 1）

北陸先端科学技術大学院大学（JAIST）情報科学センターでの使用電力の実測

◆2009 年 9 月～

実環境における使用電力測定ガイドライン（簡易計算モデル）の検討

◆2010 年 1 月～2010 年 4 月（フェーズ 2）

複数の商用環境での電算室内サーバ等実使用電力の測定

（日次、週次、月次変動の実態を調査、測定期間は 3 ヶ月を目安）

◆2010 年 5 月～

実環境測定結果の分析、報告書作成

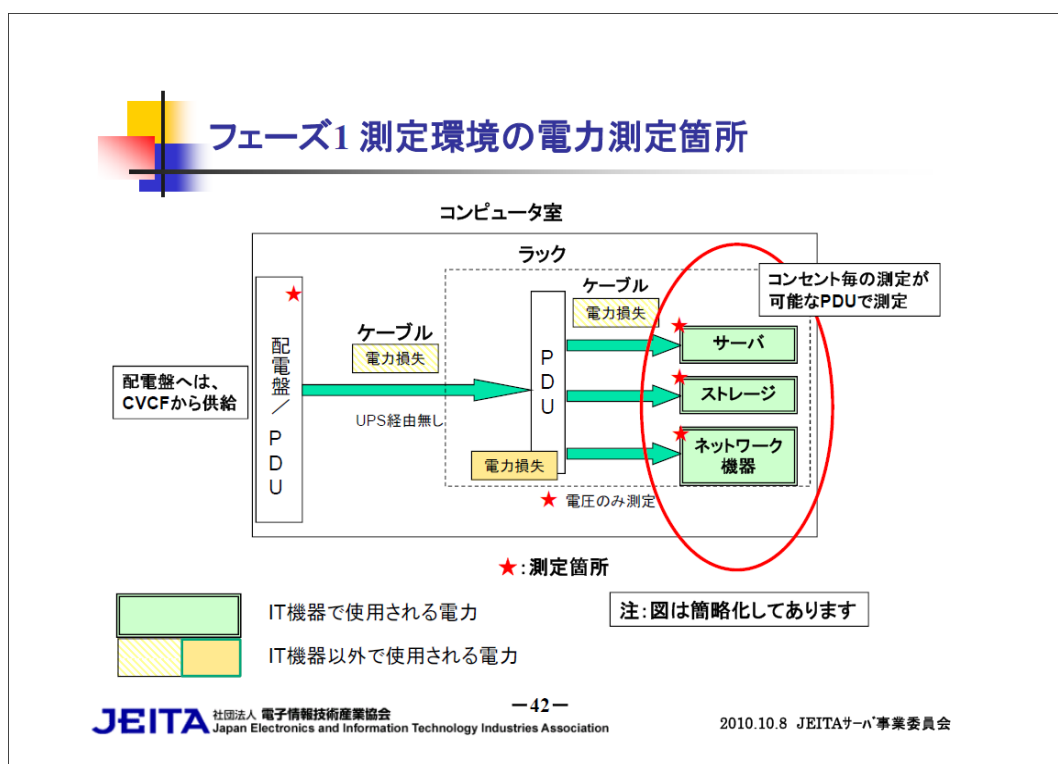
簡易計算モデル再検討

4.3.3. 北陸先端科学技術大学院大学・情報科学センターでの電力測定（フェーズ 1）

フェーズ 1 として北陸先端科学技術大学院大学の情報科学センターのコンピュータ室での消費電力測定を実施した。図 4.3-1 に電力測定箇所の模式図を示す。

*39 本 4.3 節の内容は調査時点(2010 年 10 月)の情報に基づいており、最新情報及び詳細は JEITA 委員会より発行されている参考文献[2]を参照されたい。

*40 個別の IT 機器の電力の積算が困難な既存の商用環境における IT 機器の電力使用量を、簡易計算モデルを使用しパラメータ入力による計算結果を用いることにより、測定可能な配電盤電力使用量からサーバ機器だけで使用される消費電力を推定する方法のガイド。



配電盤での消費電力測定と、コンセント毎に電力測定が可能な PDU の機能を用いて各 IT 機器個別の消費電力値を測定した。

フェーズ1の測定結果から以下の事柄が判明した。

- ①配電盤の測定と、コンセント毎に測定可能な PDU での測定が厳密には一致しない。
理由) 検出方法の違い、電力積算方法の違い、誤差のへだたりがあるため。
- ②2重電源の各経路の電力使用量は完全にはバランスしない。
- ③配電盤での測定は積算電力の精度が一番高いが、機器により 1-2%の誤差がある。
2重電源で冗長化された IT 機器では測定値の相対誤差が増大する。
理由) 電源の電流値が約 1/2 になるため。
- ④コンセント毎に電力測定が可能な PDU の測定値には±100mA 程度の絶対誤差がある。
(例えば、一台の IT 機器が 100V3A を消費している場合、相対誤差は 3.3%となる。)

4.3.4. 複数の商用サーバ実使用时電力の測定 (フェーズ2)

フェーズ1の知見を元にフェーズ2の測定では以下の2項目を測定方針とした。

- ①既設置の実環境測定の場合・・・配電盤の積算消費電力を基礎データとして使用する。
- ②2重電源の場合・・・それぞれの配線経路を測定して積算する。

フェーズ2実施に際しての消費電力測定箇所を図 4.4-2 に示す。

*41 JEITA サーバ事業委員会提供

フェーズ2測定環境の測定箇所

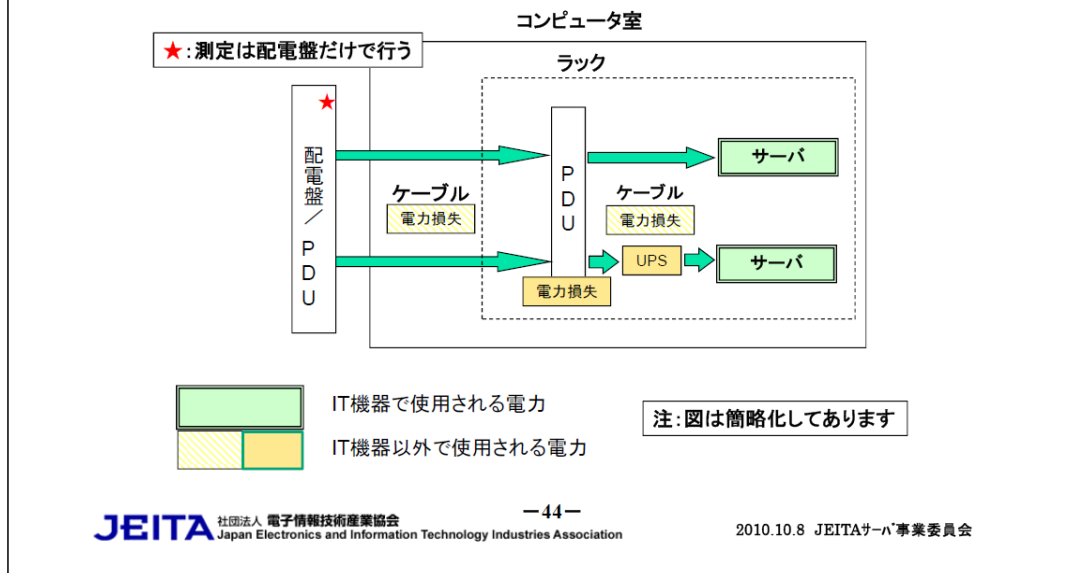


図 4.3-2 フェーズ2での電力測定箇所*42

フェーズ2の電力測定では配電盤でのみ消費電力測定を実施した。

3箇所の実環境での消費電力測定を実施した結果、下記の課題が判明した。

- 正確な配線経路の情報が管理されていない
 - エンドユーザとシステムインテグレータの管理データが不整合
 - 担当者引継ぎが不完全
 - 増設時に接続が変更された
- 想定外の電源接続
 - 配電盤→コンセント Box→UPS→サーバ (100V系)
 - DCアダプタをコンセントレールに複数接続
- 常時流れる電流量が意外と少ない
 - 2重電源 (冗長化)
 - 100V系における 1.5kVA の UPS
 - 拡張性の高いサーバを使用 (450W以上の電源、定格値との相違が大)
- 電力使用量の変動が意外と少ない
 - CPU使用率よりも、ファンの冷却コントロールで階段状に変化する?
 - 急激なCPU使用率の変動をUPSが平準化している?

*42 JEITA サーバ事業委員会提供

4.3.5. IT 機器消費電力測定に関する簡易モデル化の検討

(1) 2009 年度に設定した簡易モデル

IT 機器の総消費電力 P_{its} は、配電盤からの配線毎に、

$$IT \text{ 機器の消費電力 } (P_{itn}) = \text{配電盤計測の消費電力 } (P) - \text{ライン損失 } (P_l) \\ - \text{PDU 損失 } (P_p) - \text{UPS 損失 } (P_u) - \text{他の損失 } (P_o)$$

を求め、 $P_{its} = P_{it1} + P_{it2} + P_{it3} + \dots + (n \text{ は、配電盤からの各配線番号})$ の積算で得られる。

フェーズ 2 で使用する簡易モデルでは、フェーズ 1 の測定結果を基に、以下の 2 つのモデルに関して評価検討を行って決定する、とした。

- ① 以下のパラメータを使用して、 P_l 、 P_p 、 P_u 、 P_o を計算する。

P_l : ケーブルの種類、配線長

P_p : PDU の個数

P_u : UPS の消費電力

P_o : フェーズ 1 で使用した DominionPX 等の測定機器の消費電力等

- ② ①のモデルの関し、 $(P_l + P_p)$ を以下の前提で、 P に対する一次関数で近似する。

—ケーブルの引き回しが一定長以下

—配線経路に PDU のスタックを含まない

$$P_{it} = P - (a * P + b) - P_u - P_o = (1 - a) * P - b - P_u - P_o$$

ここで、UPS が無く、特殊な測定機器も配電経路に含まれない場合は以下となる。

$$P_{it} = (1 - a) * P - b$$

しかし、実環境での消費電力測定を実施したことで、以下の問題点が判明した。

- ①ブレーカ等の仕様は定格に対する最大電力損失。(実際の電力損失値が判らない)
- ②配線長、配線材の正確なデータを得ることは困難。(調査に膨大な時間を要する)
- ③ラック PDU を経由せずにコンセント BOX から UPS に接続・分配しているケースが多い。

(2) 更なる簡素化モデル

既設置環境で消費電力測定を実用的に実施するために、更なる簡素化モデルが必要である。近來のオフィスビルの良好な品質の電力環境を想定して以下の要件を仮定した。

①電圧

対象電源は 100V 単相及び 200V 単相。配電盤での測定値が定格電圧を下回らない。

②電力供給環境

近年の一般的ビル等の電力環境で、同一配電盤より同時に動力系供給を行っていない。

力率は、平均して 98%以上、最低が 97%を下回らない。

(力率は IT 機器負荷によってのみ変動すると仮定する)

③電流・電力

配電盤で測定した電力値を使用した計算を実施する。

各サンプリング点での電圧・電流・力率を用いた電力値の計算は行わない。

以上の仮定の下、配線による電力損失について検討する。100V/200V 単相でプラグ使用が指定される機器において多用される公称断面積 5.5 mm^2 の配線ケーブルの抵抗値は $3.232 \Omega / \text{km}$ である。電源—機器間は電流 I が往復で流れるので配線ケーブル 1 m 当たりの消費電力は次式で表される。

$$0.00646 \times I \times I$$

100V で使用する場合、配線ケーブル長 10 m での電力損失は通電電流 5 、 10 、 15 A に対して以下ようになる。

5A の場合： 1.6 W （機器消費電力の 0.32% ） ←電力損失はほとんどない。

10A の場合： 6.4 W （機器消費電力の 0.64% ）

15A の場合： 14.5 W （機器消費電力の 0.97% ） ←配線長が長いと損失が問題になる。

電源配線系統について再検討してさらに簡素化したモデルを図 4.3-3 に示す。この簡易モデルでは、配電盤から最初の PDU までの配電盤の内部配線、ブレーカ、配線の両端の接触抵抗等の合計を、代表的なケーブル配線長 5 m 分の抵抗による電力損失と等価とみなす。すなわち、配線経路での配線長に依存しない電力損失分を 5 m のケーブルとして扱うことで、電源配線経路の抵抗分をすべてケーブル長として評価する。

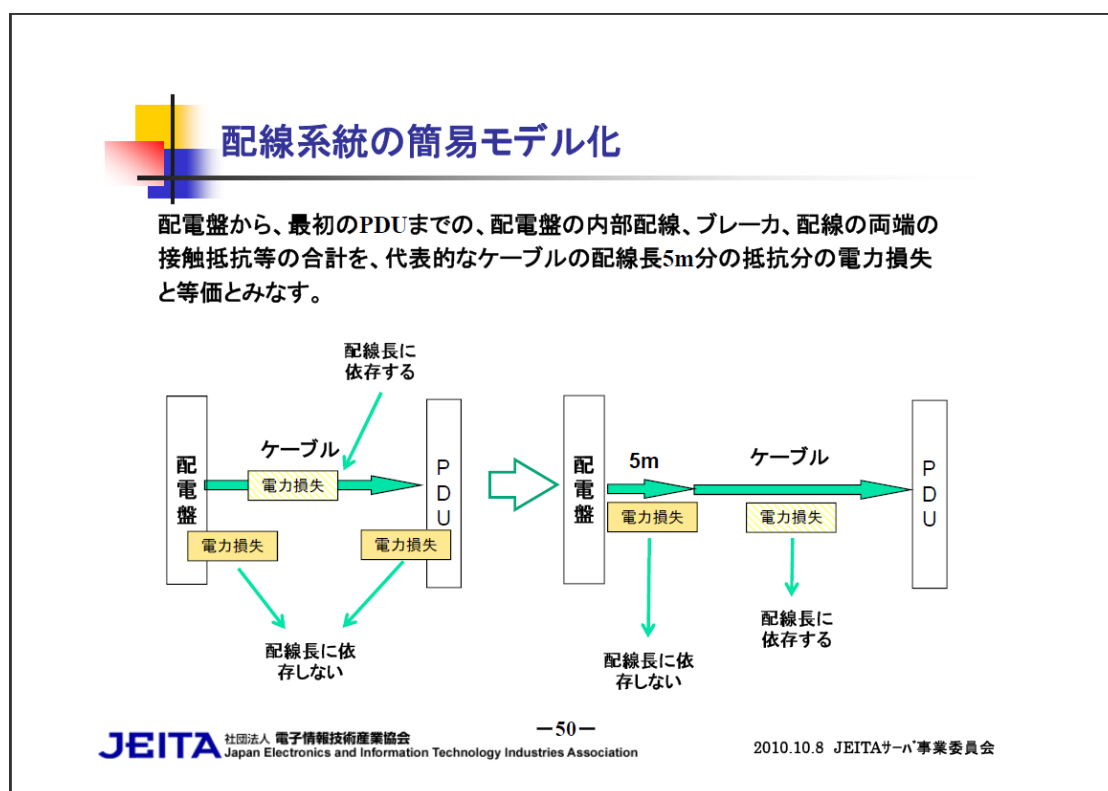


図 4.3-3 簡易モデルの再検討*43

*43 JEITA サーバ事業委員会提供

また、PDU が分岐スタックした場合の電力損失は、配電盤と最初の PDU までのケーブル長以外の電力損失が追加されたものとみなす。すなわち、標準的な配線ケーブル 5m 分の電力損失が最初の PDU に追加して存在するものとする。 (図 4.3-4)

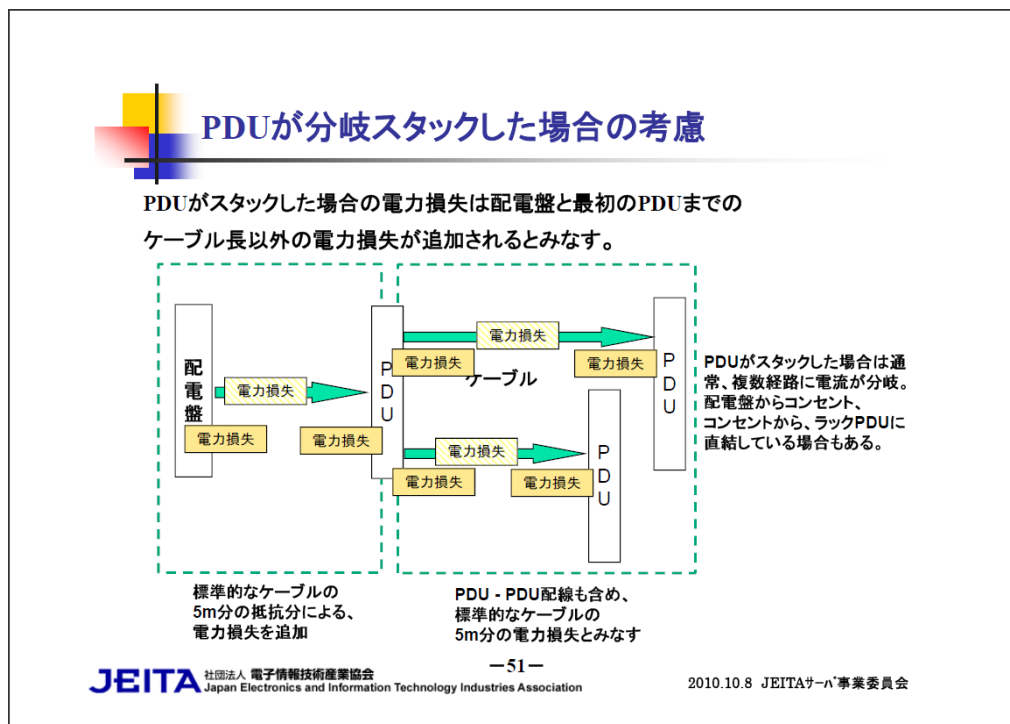


図 4.3-4 PDU 分岐スタック使用時のモデル化*44

(3) UPS 消費電力の簡易モデル化

さらに、UPS の消費電力として下記の簡易モデル化 (式) を適用する。

$$\text{UPS の消費電力} = [\text{配線分枝、内部配線等の損失}] + [\text{常時使用電力}]$$

ここに

[配線分枝、内部配線等の損失] : PDU の損失と同じと見做す。

→電流量に依存して増加。

[常時使用電力] : 充電や測定に使用される UPS 自体の電気回路の使用電力

→電流量に依存しないと仮定・・・UPS のスペック値を使用。

4.3.6. 課題と今後の取組み

IT のグリーン化実現はサーバ室の配線経路と接続機器の正確な把握・管理が重要であり、そのためにもサーバ室 IT 機器の電源配線に関する標準化ガイド制定が今後必要である。さらに、グリーン化を進めるためには、IT 機器消費電力の週次、月次、期末変動の把握が

*44 JEITA サーバ事業委員会提供

必要になってくる。

参考文献

- [1] “IT 化トレンドに関する調査報告書(VI)”，社団法人電子情報技術産業協会サーバ事業委員会，IS-10-情シ-8，2010 年 6 月.
- [2] “サーバ消費電力測定調査研究に関する報告書”，社団法人電子情報技術産業協会サーバ事業委員会，IS-11-情シ-4，2011 年 3 月.

4.4. ルータ・スイッチの省エネ基準の検討

4.4.1. 概要

通信機器の省エネルギー化を推進するため、CIAJ ルータ・スイッチ技術委員会では「トップランナー方式」によるルータ・LAN スwitchの省エネ基準を検討している。CIAJ ルータ・スイッチ技術委員会は国内外のルータ・スイッチベンダにより構成されている。

具体的な活動としては、評価指標を仮定し、既存の製品の電力消費効率の測定データを収集し、CIAJ においてデータを分析し、指標及び基準値を定めている。

4.4.2. 実施内容

先の 2.1.4 節で述べたように、インターネット人口の増加、及びそれに伴うネットワークトラフィックの爆発的増加、また従来は回線交換から、IP パケット交換へ転換している中で、ルータ、スイッチと呼ばれる通信機器の低消費電力化が課題となっている。

現在、省エネ法では、下図に示す省エネ法対象範囲に示すとおり、それぞれネットワーク層他による定義を行い、その基準を定めている。

4-3. 省エネ法対象範囲（ルーティング機器、スイッチング機器）					
<ul style="list-style-type: none"> ■ ルーティング機器：第3層の情報を利用して転送する機器 ■ スwitching機器：第2層の情報を利用して転送する機器 					
大分類	名称	形態	VPN機能	備考	指標
Switching機器	L2Switch	BOX型	区分せず	済	W/Gbps
		シャーシ型		策定中	(W/Gbps)
ルーティング機器	小型ルータ (200Mbps以下)	区分無し	無し	済	Watt
		区分無し	有り	策定中	(検討中)
	大型ルータ (200Mbps超)	BOX型	無し	対象機器無し	—
		シャーシ型	有り	策定中	(検討中)
	L3Switch	BOX型	区分せず	策定中	(W/Gbps)
		シャーシ型		策定中	(W/Gbps)

※性能指標はWatt、若しくはWatt/Gbpsとなる予定。一部、使用するプロセッサの動作周波数等も勘案

図 4.4-1 ルーティング機器、Switching機器の省エネ法対象範囲*45

また今後の検討課題として大型ルータ等の省エネ基準があるが、現在、効率指標、区分、測定方法等の考え方を整理しており、現時点での考え方を図 4.4-2 に示す。

*45 CIAJ ルータ・スイッチ技術委員会提供資料

4-7. 大型ルータ等の基準の考え方(検討中)

■ 効率指標

- 基本は、スルーput当たりの消費電力(Watt/Gbps)
- VPN対応機器・BOX型ルータは、プロセッサ動作周波数も勘案予定

■ 区分の考え方

- 可能な限り大括り化をはかる
 - ・ 市場要求に応じ製品機能・形態は多様であるが、競争による省エネ効果の最大化を狙う
- 原則1に従い、特殊品、測定困難な製品、出荷高の少ない製品は除外
 - ・ ファイアウォール、IDS/IDP、WAN高速化装置等は除外候補

■ 測定方法

- 最大実効伝送速度を達成する最小構成時の消費電力
 - ・ 付加機能は停止可、付加的機器、パッケージは取り外し可
- ルーティング機器では、異サイズの packets 転送時消費電力(加重平均)



13

図 4.4-2 大型ルータ等の基準の考え方(検討中) *46

4.4.3. 通信機器の省エネ基準検討の課題

現在、ルータ・スイッチ等の通信機器の省エネ基準が CIAJ 等の参加企業の有識者により検討されてきた。有識者が捉える課題を纏めると以下の通りである。

①通信機器の省エネ基準に関する国際的調和の必要性

通信機器はグローバルに接続され利用されている機器にもかかわらず、実際は各国独自基準が適用されているのが実態で、作業の非効率性が生じている

②基準のあり方

下記に示すような基準の形態があるが、それぞれ特徴があり、理解して適用しなければならない。

- ・ 法制度: 指導力、公平性、厳密性では優れているが迅速性やグローバル性で劣っている。
- ・ 調達基準: 迅速性では優れているが、公正性・厳密性や客観性で劣っている。
- ・ 自主規制: 迅速性では優れているが、指導力やグローバル性では劣っている
- ・ 技術仕様: 公正性や厳密性では優れているが、実環境への配慮や迅速性では劣っている。

③省エネ性能・基準(評価指標や判断基準、測定方法等)の難しさ

通信機器の特徴として、普遍的なエコ性能、評価指標、判断基準、測定方法が未確立の点が挙げられる。

- ・ 通信機器は製品が多様(家庭用、SOHO用、企業用、通信事業者用)

*46 CIAJ ルータ・スイッチ技術委員会提供資料

- ・ 各々広い性能範囲（容量：100Mbps～数 Tbps、リンク速度：64k～40G）
- ・ 機能バリエーション（アクセス/エッジ/コア、無線/有線、L3/L2/L1）
- ・ 使われ方が千差万別（通信事業者：24時間7日利用～家庭：間歇的）

4.4.4. まとめ

- ①法規制としてルータ・スイッチの省エネ基準を定める省エネ法は世界的にみても例の無い先進的な取り組みであり、他国に先駆けて法体系として整備済みである。
- ②通信機器の省エネ機運の盛り上がり、各国での対応が緒についた段階。基準には、法的規制と自主規制、調達基準などの個別の取組みがある。
- ③エネルギー使用量の多い通信事業者の機器調達基準（値）は、事業者毎に定めるのが望ましいが、普遍的かつ国内外の活動と調和した基準（測定法や対象製品の区分など）が必要と認識している。特に省エネ法との連携は重要である。
- ④省エネ推進に適した基準のあり方の検討に際して、機器の使い方を熟知した通信事業者と機器ベンダの連携による推進が望まれる。
- ⑤各国の実情を踏まえた上で、グローバル基準を議論する国際連携プログラム（フォーラム等）の推進を期待している。

	活動組織	活動内容(通信機器関連)	時期	位置づけ
国内	経産省 資源エネルギー庁 トップランナー	ルータ・スイッチの省エネ化を目的に、エネルギー消費効率の測定方法、目標基準値、達成年を法制化	小型他: '09/07/01 大型他: '11年度中	エネルギーを大量消費する機械・器具に対する法制度
	エコロジーガイド ライン協議会	ICT機器を利用する通信事業者とベンダーが省エネ機器ガイドラインを策定	第1版: '10/02	通信事業者のエコ製品調達ガイドライン
	通信事業者	NTT、KDDI等がエコロジーガイドライン協議会の趣旨に沿って調達基準を策定	NTT: '10/04 KDDI: '10/02	企業の調達基準
米国	ATIS	通信キャリア・装置ベンダにより、通信機器の消費電力測定方法に関する標準化を推進、ANSI規格化	'09/06 ANSI/ATIS 0600015.03.2009	米国内技術標準
	Verizon	通信機器の消費電力測定方法、及び調達基準値を制定 (Energy Efficiency Requirements for Telecommunication equipments: VZ TRP 9205)	第1版: '08/06 ・ 第4版: '09/08	企業の調達仕様
	IEEE/ 802委員会	Energy Efficient Ethernet (802.3az)のStudy Groupがイーサネット(物理層)電力効率改善技術等を標準化	標準化完了: '10/9/30発行済	通信技術標準
欧州	欧州委員会	ネットワーク機器の待機電力削減 (Lot26)	'08年度～'10年度	法制度
W/W	ITU-T/ ICTと気候変動フォーカスグループ	ICTが気候変動を抑制する手法・評価方法等を検討。フォーカスグループ (FG)を完了し、正式にSG5の検討課題として検討継続	FG: '08/09～ '09/04(完了) SG5: '09～'12	国際標準としての検討



EuP:Energy Using Products, ATIS:Alliance for Telecommunication Industry Solution 15

図 4.4-3 通信機器の省エネ基準動向（参考）*47

*47 CIAJ ルータ・スイッチ技術委員会提供資料

参考文献

- [1] 資源エネルギー庁 総合資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会（これまでのルー
タ等判断基準小委員会等の審議資料）
http://www.meti.go.jp/committee/gizi_8/7.html
- [2] 資源エネルギー庁、“トップランナー基準”
<http://www.enecho.meti.go.jp/policy/saveenergy/toprunner2010.03.pdf>
- [3] 省エネルギーセンター 省エネ法関係情報（省エネ法解説、トップランナー制度解説、
省エネ法リンク等）
<http://www.eccj.or.jp/law06/index.html>
- [4] エコロジーガイドライン協議会
<http://www.eco.tca.or.jp/>
- [5] “Verizon NEBSTM Compliance: Energy Efficiency Requirements for
Telecommunications Equipment Verizon”（米国Verizon社の調達基準）
<http://www.verizonnebs.com/TPRs/VZ-TPR-9205.pdf>
- [6] ATISにおける省エネ推進活動（ATIS/Green Initiative）
<http://www.atis.org/Green/index.asp>
- [7] ITU-T関係
- ・ SG5 : <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com05/index.asp>
 - ・ ICT気候変動FG関係 : <http://www.ntt.co.jp/journal/0907/files/jn200907044.pdf>

4.5. シンガポールにおける省エネ技術開発

世界経済フォーラム（WEF）がまとめた 2009～2010 年世界競争力ランキングで、シンガポールは 133 カ国中 3 位と、前年の 5 位より順位を上げアジアで首位にランクされた。1～5 位は、スイス、米国、シンガポール、スウェーデン、デンマークであり、日本は 8 位であった。このほか、アジア地域では、中国香港（11 位）、台湾（12 位）、韓国（19 位）、マレーシア（24 位）を含む 10 カ国が上位 30 位入りした。中国は 29 位、インドは 49 位で、中国は巨大市場、インドは科学者・技術者の供給力で高い評価を得た。

シンガポールは、政治家に対する信頼、政府歳出の健全性、政府規制の緩和、政府政策決定の透明性、紛争解決における法的枠組みの効率性、輸送インフラの質、教育の質、税関手続きの簡便性、外国直接投資と技術移転、労使関係の協調性、情報通信関連の法整備度、政府の先端技術導入度、知的財産権の保護等、多くの項目で最高の評価を得ている[1]。

シンガポールの科学技術の振興、研究開発体制の強化など産業技術政策において主要な役割を果たしている実施機関が貿易産業省の外庁である科学技術研究庁（Agency for Science, Technology and Research : A*STAR）（→後述の「コラム B」参照）であり、主に公的部門の研究開発活動を推進し、経済開発庁が外国企業の誘致と民間部門の研究開発活動を支援してきた[2]。

上記を背景として、A*STAR の傘下組織の 1 つであるデータストレージ研究所（Data Storage Institute : DSI）における研究内容を中心に調査を実施した。

4.5.1. DSI の研究概要

DSI は、A*STAR とシンガポール国立大学（NUS）が 1992 年に共同で設立した磁気技術センターを母体とし、光学技術研究所およびレーザー微細加工研究所を加えて 1996 年 4 月に新設された。

次世代のデータストレージ技術を研究しており、シンガポールのデータストレージ産業の成長を支援している。最先端のデータストレージ機器のヘッド部、ストレージ媒体、機械・電子システム的设计、光・ネットワークストレージ技術などを研究している[3]。

大日本スクリーン製造株式会社は 2000 年に、DSI と共同開発契約を締結した。2006 年 4 月に R&D センターを開設した精密機械大手セイコー・インスツルメント社も DSI との共同研究を推進している。日東電工は 2008 年 11 月、新たな有機電子センサーの研究開発プロジェクトを進めることで、DSI、材料研究・工学研究所（IMRE）とナンヤン工科大学（NTU）の間で合意した。また、日立アジアは 2009 年 8 月、携帯電話・携帯情報端末（PDA）向けの応用ソフトのアイデアと開発を競う「MOBiE-ODAI」と題したコンテストを DSI と共同で開催した[1]。

本報告では、DSI で進められている「エネルギー効率の良いストレージシステムのためのシミュレーション」プロジェクト（グリーンストレージシステムシミュレーション）に

ついてまとめる[4]。

4.5.2. グリーンストレージシステムシミュレーション

DSI のネットワークストレージ技術部門において「エネルギー効率の良いストレージシステムのためのシミュレーション」プロジェクトが進められている。ネットワークストレージシミュレータの設計・開発を通じて、一般に利用可能なグリーンストレージ技術をテスト、分析、ベンチマーキングを行っており、インテリジェントでエネルギー効率の良い、ハイパフォーマンスなストレージシステムの開発も指揮している。更に、個々のストレージデバイスの消費電力を同時かつ正確に計測できる電力消費計測デバイスの設計・開発も行っている。

シミュレーションソフトウェアは、ファイバ・チャネル (FC) SAN ストレージシステムのシミュレーションである。各種利用可能なグリーンストレージ技術の有効性をテストし、比較・評価することができる。また、ある稼動環境下における最適なパラメータセットを決定できるだけでなく、新しいアルゴリズムの設計・開発が可能である。システム性能を改善する一方で、エネルギー消費を削減するためのより有効な手段を開発するために利用できる。

シミュレーションソフトウェアは図 4.5-1 に示すように、クライアント、サーバ、ネットワーク、ストレージという 4 つの主要モジュールからなる。

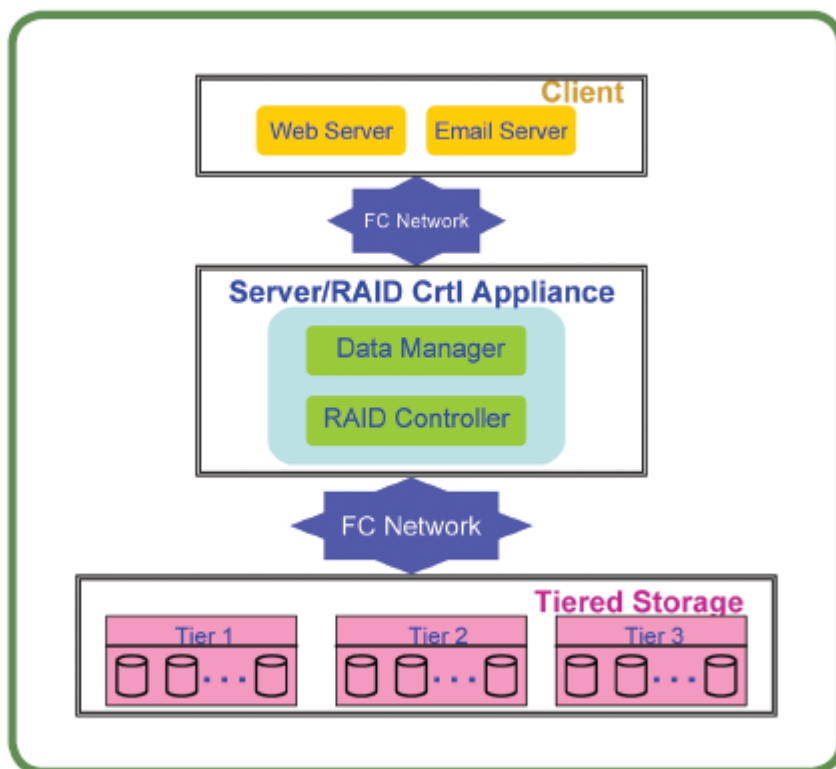


図 4.5-1 シミュレーションのモジュール構成 [4]

本プロジェクトでは、ストレージボックス内の個々のデバイスの電力消費量を研究・測定するため、図 4.5-2 に示すように、ストレージボックスの中間層に繋がる、市販で利用できる電力計測デバイスだけを設計・開発した。図中で PCB と示された小さな緑色の矩形が計測デバイスである。これらのデバイスは、最小限の接続線で PC へと接続されており、ボックス内の全ドライブの同時電力計測が可能である。

将来的には、本プロジェクトは、インテリジェントなグリーンストレージシステムの設計・開発を計画している。このシステムでは、動的に変化する負荷を区別し、データアロケーションのアルゴリズムとキャッシュ再配置のアルゴリズムを調整することで、異なる環境下で最適なシステム性能と電力消費を達成することが可能となるとしている。

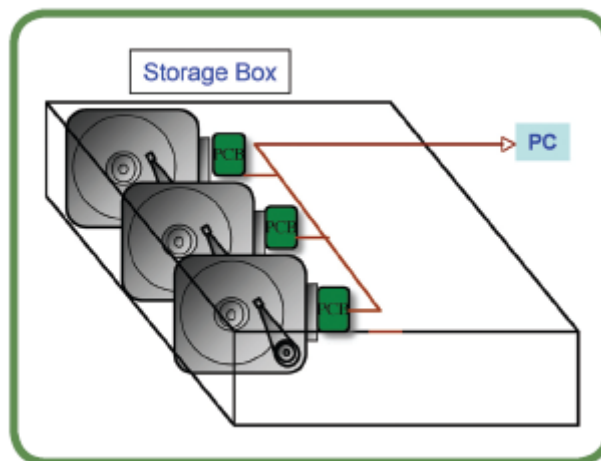


図 4.5-2 ストレージボックス内部の電力計測デバイス [4]

参考文献

- [1] 平成 21 年度海外技術動向調査 調査報告書-アジア編-、経済産業省、平成 22 年 3 月
http://www.meti.go.jp/policy/tech_research/30_research/foreigncountries-research/h21fy/h21fy_asia.pdf
- [2] A*STAR ホームページ
<http://www.a-star.edu.sg/>
- [3] DSI ホームページ
<http://www.dsi.a-star.edu.sg/>
- [4] DSI Annual Report 2008/2009
http://www.dsi.a-star.edu.sg/Library/Files/PDF/Annual_Report/DSI%20AR%2008_09.pdf

コラム B. A*STAR の組織概要

シンガポールの科学技術研究庁 (A*STAR) は、貿易産業省 (Ministry of Trade and Industry, MTI) が統括するシンガポール国内における公的機関の R&D 活動を振興する中心的機関として、2002 年 1 月 1 日、国家科学技術庁 (NSTB: National Science and Technology Board) の名称変更・組織改正によって設立された組織である。2002 年の組織改正では、新たに、開発技術の商用化を担当する Exploit Technologies 社が組織された。NSTB から A*STAR への組織変更は、研究資金の投入のみならず、技術の利用と新規産業の育成に力を入れようとするシンガポール政府の姿勢を表している。技術を開発するだけでなく、開発した技術を知的財産権で保護し、事業化・商用化することを目的としたものであった。

A*STAR には大きく分けて五つの部門がある。一つは企画・政策・人事・財務・管理を担当するコーポレート・グループ (Corporate Group) であり、これに個別の研究開発政策を担当する二つの研究評議会、生物医学研究評議会 (BMRC) と科学・工学研究評議会 (SERC)、さらに奨学金を与えるなどの人的資源の開発を担当する A*STAR Graduate アカデミー (A*GA)、そして 2007 年末に新設された二つの研究評議会に跨る領域の研究の調整を行う A*STAR ジョイント評議会 (Joint Council) が組織されている。

さらに、傘下組織として、BMRC 傘下の 12 の研究所、SERC 傘下の 8 の研究所、研究成果の商用化を担う Exploit Technologies 社を含む 3 社、民間や教育機関との共同シェアード・サービスを提供する 11 の組織がある。

A*STAR は、海外の研究機関、高等教育機関や民間企業との提携も積極的に進めており、2004 年 10 月には、日本の独立行政法人産業技術総合研究所 (産総研) と、情報通信分野、ライフサイエンス分野などにおける人的交流、情報交換、ワークショップの開催、共同研究等の研究協力協定を締結した。この他、日本との間では、科学技術振興機構 (JST)、理化学研究所 (RIKEN)、早稲田大学、久留米大学、日本ユニサンティスエレクトロニクス、旭硝子、フジクラ、富士通アジア、日立アジア、三井化学、パナソニック電子デバイス、東京化学工業が提携パートナーとなっている。

Science and Engineering Research Council (SERC) の傘下には、化学、製造・オートメーション、電子・電気、IT・通信、エネルギーの 5 分野に、データストレージ研究所 (DSI)、シンガポール製造技術研究所 (SIMTech)、化学・理工学研究所 (ICES)、情報通信研究所 (I²R)、高機能電算処理研究所 (IHPC)、材料研究・工学研究所 (IMRE)、マイクロエレクトロニクス研究所 (IME)、国家計測センター (NMC) の 8 つの研究所が属しており、広範囲の科学・工学の研究開発の監督・支援を行う [1]。

A*STAR の組織概要 (続き)

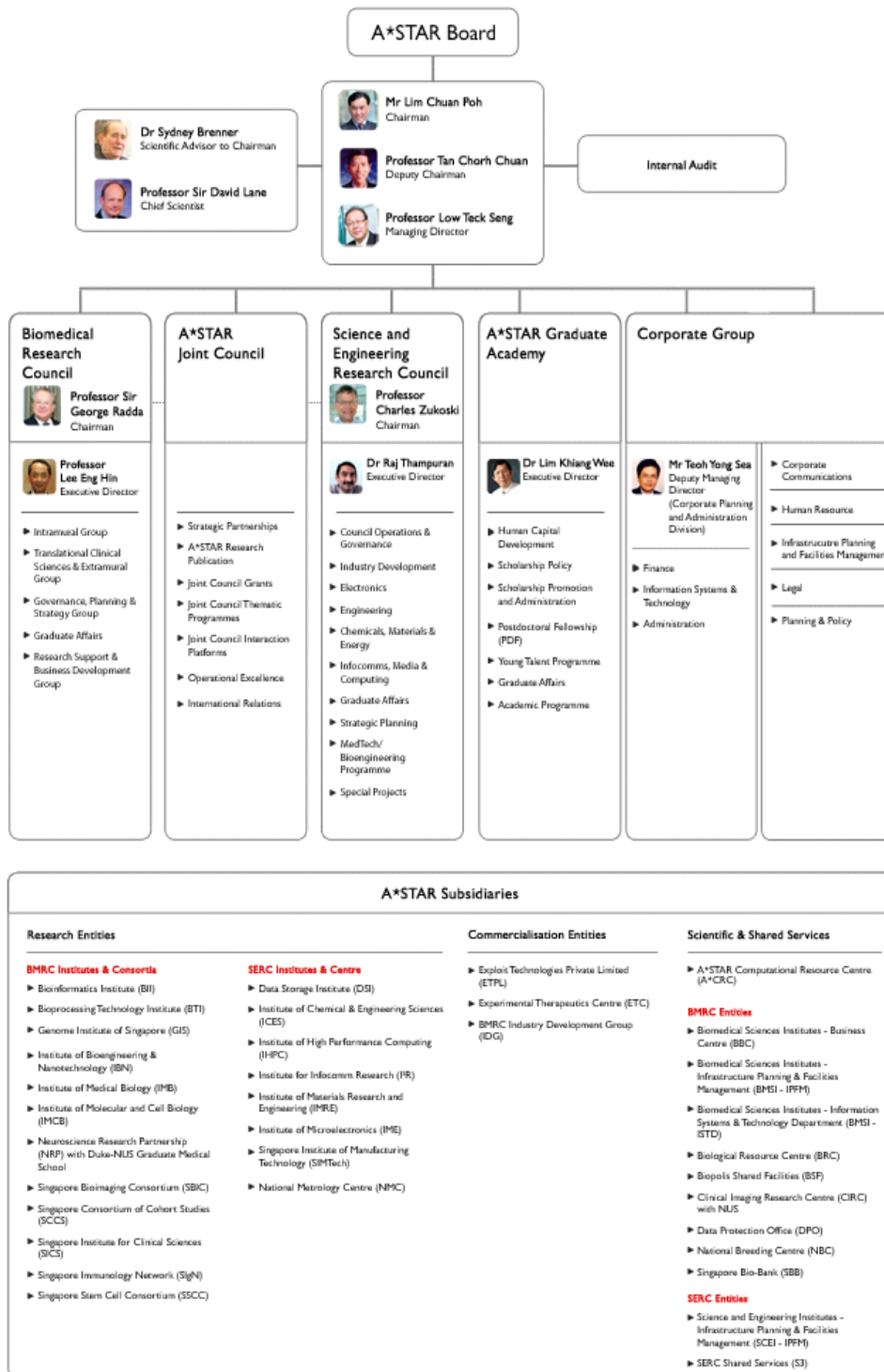


図 B-1. A*STAR 組織図

出典: <http://www.a-star.edu.sg/tabid/72/default.aspx>

5. 総括と提言

本報告では、of IT 省エネ技術に関して、高効率化技術と効率評価技術の観点で国内外の現状と将来動向を調査した。ここで効率とは電力消費効率のことであり、IT 機器や IT システムが、投入される電力に対してどれだけの仕事量を処理できるかの度合いを表している。

効率の評価にあたってはその評価指標が重要であるため、既存の国内外の関連する評価基準あるいは標準規格への取組みを概観し、法的規制である省エネ法の下で定められているトップランナー基準、自主規制である米国発のエネルギースタープログラムや調達基準である国内 ICT 分野におけるエコロジーガイドラインの他、データセンタ、サーバ、ストレージシステム、通信機器毎の国内外業界団体等で検討されている評価指標やベンチマークについてまとめた。国内外で法制度や標準規格の整備が始まり、多くの公的機関や業界団体等から多様な基準が提案されている。既存の評価基準を取り入れようとする動きも一部見られているが、その動きがグローバルスタンダードに向けて今後も一段と広がることが望ましい。

高効率化技術については、データセンタやサーバ等の研究開発、一部製品化の動向を調査した他、半導体分野におけるナノエレクトロニクスやパワーエレクトロニクスの動向を調査した。2009 年度の報告書での紹介事例と合わせ、IT 機器自身の電力消費効率の向上に向けた取り組みが順調に進められていることが伺えた。特に、全ての IT 機器の基盤部品となる半導体分野の研究は海外でも広く研究されており、普及すれば大きな省エネ効果に繋がる為、今後も IT 装置など応用を見据えた研究開発が望まれる。

効率評価技術に関しては、様々な実証実験が国内で進められており電力消費効率の動的な測定に対する課題解決が期待できる。まず電力消費量の動的な測定自体は比較的容易に実現できるが、その普及には低コスト化が課題と言え、その課題に対して様々なアプローチが進められていることがわかった。他方、電力消費効率の動的な測定には、仕事量（負荷）を動的に測定することが必要であり、課題解決の方策を見出す為に、引き続き実証実験を推進することが重要である。なお、電力消費効率等の動的測定においては、目的にあった精度や測定粒度を設定することが重要と考えられる。また同時に、評価基準を共通化してグローバルな効率評価技術（主に測定手法）を確立することが重要である。

なお、1.2 節で述べた 3 段階の省エネ推進（①交換、②見える化、③最適化）における最適化の先進事例が実用化され始めているが、まだ一部の IT 機器・システムであることがわかった。3.1 節で触れた通り通信トラフィック量を計測して通信トラフィック量に応じて省電力機能を自動的に制御する機能を搭載した通信機器が一部で実用化されており、動的な仕事量の測定技術を取り入れた高効率化技術の事例と言える。今後このような電力消費効率を動的に最適化する技術の適用が他の IT 機器や IT システムへ拡大されることが期待され、その早期実用化のための研究開発の推進が望まれる。

また、昨今の低炭素化社会の実現に向けて企業内でもエネルギーマネジメント(EEMS:

Enterprise Energy Management System)によるエネルギー利用効率の最適化を目指した取組みが進んでいるが、IT機器やその複合体であるITシステム(データセンタ等)がEEMS等と連携を深めることが予想される。そこで重要となる技術も、本報告で取り上げた電力消費効率の動的な評価技術(見える化技術)とそれに基づいた適応制御(最適化技術)であると考えている。今後もIT機器自身の省エネ(Green of IT)技術研究開発をさらに強化すべきと考える。

第2部

ITによる企業活動の見える化技術
～EEMS 適用の際のポイント～

(技術検討委員会 WG2/Green by IT)

— 第2部 要旨 —

平成22年度技術検討委員会WG(タスクフォース)が活動の対象とした事業者エネルギー管理システム(EEMS: Enterprise Energy Management System)とは、従来、事業者内で個別に行われてきたエネルギーの管理を事業者という単位で捉え、種々のエネルギー関連アプリケーションを実現するためのシステム技術である。

一昨年度および昨年度(平成20~21年度)技術検討委員会活動では、「日本の低炭素社会の実現に向けた情報通信機器技術開発の提言」として、省エネ法の改正や、ISO50001の動向からみて、事業者としての統合的なエネルギー管理システムが将来必要になることから、EEMS(Enterprise Energy Management System)の考え方を議論し、おおむね5年先をイメージした事業者に必要なエネルギー関連サービスを構築するためのシステム技術に着眼し、特に見える化などで代表されるエネルギーの情報化システムについて議論を行った。

本年度は、EEMSの議論をより深化させ、EEMSにもとめられる見える化技術(エネルギーの情報化)に焦点をあてて、その将来像について議論を行った。

将来像を実際の事例から検討を行うために、①省エネルギーセンター(以降、ECCJと記載)によるエネルギー管理の実際、②ISO50001でのエネルギー管理の検討状況、③ユーザ事例として、コクヨ株式会社、東大グリーンICTプロジェクト、④IEC Energy Efficiencyの状況、⑤2010年グリーンITアワード受賞の三菱電機の事例について講演をいただいた。講演者を交えてあらためてEEMSのアーキテクチャ、フレームワークのブラッシュアップ、EEMSの普及に向けたポイントの抽出等を行ったうえで、前年度提言したEEMSの4つの視点やアーキテクチャの概念を深化させて、フレームワークの詳細な定義を明確にした。

また、最終年度としてEEMS適用の際に必要なと想定される「良いKPI」、「やる気をだせる見える化」、「普及のためのサービス」、「EEMSの役割と利害関係」という4つのポイントについて提言を行った。

今回とりまとめをしたフレームワーク詳細や事例、そして提言がEEMSの導入や開発にあたっての参考になれば幸いである。

技術検討委員会 WG2

— 目次 —

1. 背景と目的.....	136
1.1. EEMS のあるべき姿と適用されるアプリケーション	137
1.2. 本年度 WG での取り組み	140
2. EEMS のフレームワーク	142
2.1. EEMS の視点.....	142
2.1.1. ECCJ より提案された事業者内での各レベル（事業者内での視点）	142
2.1.2. 4つの EEMS 活用者の視点.....	142
2.1.3. EEMS 活用者の定義と業務および目的	143
2.2. EEMS のアーキテクチャ	147
2.2.1. EEMS の概要.....	147
2.2.2. 概念的な EEMS アーキテクチャの検討.....	147
2.2.3. 各レイヤの検討	149
2.3. フレームワークの詳細.....	159
3. 事例	164
3.1. ISO50001 と事業者視点のエネルギー管理	164
3.2. 省エネ法と事業者視点のエネルギー管理	171
3.3. IEC Energy Efficiency	182
3.4. EEMS に関連する技術：コクヨエコライブオフィス	186
3.5. EEMS に関連する技術：東大グリーン ICT プロジェクト	190
3.6. EEMS に関連する技術：三菱電機.....	197
4. EEMS 適用の際のポイント.....	204
4.1. 良い KPI とは？	204
4.1.1. 検討ポイントの概要と重要性.....	204
4.1.2. EEMS 適用に向けて	204
4.1.3. まとめ	206
4.2. やる気を出せる見える化とは？	208
4.2.1. 検討ポイントの概要と重要性.....	208
4.2.2. EEMS 適用に向けて	210
4.2.3. まとめ	211
4.3. EEMS の普及に向けたサービスとは？	212
4.3.1. 検討ポイントの概要と重要性.....	212
4.3.2. EEMS 適用に向けて	213

4.3.3.	まとめ	214
4.4.	EEMS の役割と利害関係の整理	216
4.4.1.	検討ポイントの概要と重要性.....	216
4.4.2.	関係者間での共通認識をもつこと.....	217
4.4.3.	データの測定に関する認識の共通化.....	217
4.4.4.	まとめ	217
5.	まとめ～EEMS 普及について～	219
5.1.	EEMS の機能と構成について.....	219
5.2.	EEMS 構築にあたり考慮すべき項目	219
5.3.	おわりに.....	220

1. 背景と目的

エネルギーをめぐる様々な取り組みが、国内外で活発化してきている。我が国では、2008年に改正省エネ法（正式名：エネルギーの使用の合理化に関する法律）が成立し、今までの工場といった単位でのエネルギーの管理の方法から、事業者全体でのエネルギーの管理の重要性が認識されてきた。また、国際的な動きとしては、2011年7月に発行を目指して、ISO50001 国際規格が審議中であり、ISO50001 の制定をまって JIS 化される予定である。ISO50001 は「組織のエネルギーパフォーマンスおよびマネジメントシステムを継続的に改善するマネジメントシステム規格」であり、組織がエネルギーパフォーマンスの改善に必要なシステムプロセスを確立できることを目的としている。

本ワーキンググループ（以降、WG と記載）では、IT 技術を積極活用することによって、このような組織全体としてエネルギーの使用の諸課題を情報の視点から解決をはかるエネルギー管理システム（EMS:Energy Management System）の EEMS フレームワークの検討を進めてきた。事業者エネルギー管理システム（EEMS : Enterprise Energy Management System）とは、従来、事業者内で個別に行われてきたエネルギーの管理を事業者という単位で捉え、様々なエネルギー関連アプリケーションを実現するためのシステム技術である。上記で説明した省エネ法の改正や ISO50001 の動向からみて、数年後には個別の EMS ではなく、様々な課題の解決をめざした EEMS の考え方が必要となると考えている。図 1-1 に EEMS の概念について示す。

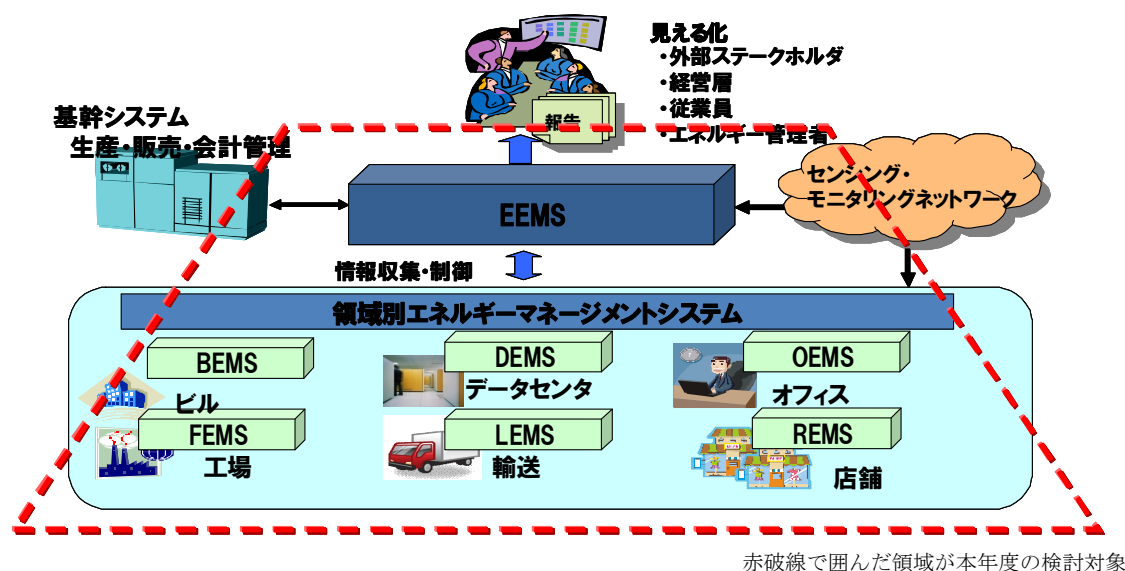


図 1-1 EEMS の構成

EEMS は図 1-1 に示すように、様々なエネルギー管理システム（xEMS*1）を統合するエネルギー管理システムである。EEMS では、単に xEMS の集約をする EMS ではなく、xEMS を包含しつつ、情報システムや経営システムと連携することによって様々なエネルギー管理を

実現する概念である。

*1 xEMSの種類について下記に示す。

- ・ BEMS(Building EMS:ビルディングエネルギー・管理システム)
- ・ DEMS(Data Center EMS:データセンタエネルギー・管理システム)
- ・ OEMS(Office EMS:オフィスエネルギー・管理システム)
- ・ FEMS(Factory EMS:工場エネルギー・管理システム)
- ・ LEMS(Logistic EMS:輸送に関わるエネルギー・管理システム)
- ・ REMS(Retail EMS:店舗エネルギー・管理システム)

1.1. EEMSのあるべき姿と適用されるアプリケーション

ここでは、前年度取りまとめた、事業者のエネルギー管理システムとして重要であると考える3つの要件とアプリケーションについて説明する。

<事業者のエネルギー管理システムとして重要であるとする3つの要件>

(1) 事業者の目的に合わせたインフラであること

EEMSの目的で述べたように、事業者のエネルギー関連ニーズに対応し多彩なアプリケーションが出現すると考えられる。金融取引に関連するもの、製品の特性に関連するもの、行政や社内環境システム、イントラネットやインターネットとの連携など様々な企業サービスに対応できるインフラであることが求められる。

(2) 事業者としての最適化が可能なこと

個々のエネルギーの合理化は、領域別のエネルギー管理システムによって実現可能であるが、事業者としてのエネルギーの合理化の視点から複数の領域に渡る最適化が必要になる場合がある。例えば、A工場の生産、B営業所の営業活動および顧客までのロジスティックを考えると、工場の合理性だけで比較するとより合理的なA工場ではなく、合理的とはいえないD工場で生産したほうが、総合的にみると効率的な場合もある。このような問題を見つけ、適切なフィードバックを意思決定者や領域別エネルギー管理システムにすることが求められる。

(3) 見える化に4つの視点をもつこと

EEMSは、従来エネルギー管理者のためのシステムであったエネルギー管理システムを、事業者全体のためのエネルギー管理システムへと転換したものである。このために、事業者の4つの視点に対応できることが重要である。

・外部ステークホルダ

株主や製品やサービスを使う顧客、省エネ法の報告をする監督諸官庁など、様々な目的が考えられる。

・経営者

将来、事業者のエネルギー施策の重要度が増してくる。このために、エネルギーの使用状況を経営指標の一部として表現する必要がある。

・従業員

エネルギーの使用の合理化をするためには、設備の改善だけでなく人手の運用による改善も重要な施策である。一般の従業員にわかりやすいエネルギー利用の可視化、継続的に運用していくための仕組みが必要である。

・エネルギー管理者

より高度なエネルギー使用の最適化を実施するために、様々な分析手法の提供が必要である。

<EEMS のアプリケーション>

事業者における、エネルギー管理にはエネルギーの使用の合理化に加えて、図 1-2 に示すようにさまざまな目的やアプリケーションが考えられる。これらアプリケーションには、生産活動に関わるエネルギーの視点だけでなく、CO2 など温暖化ガスに関する管理も主要な目的となってくる。

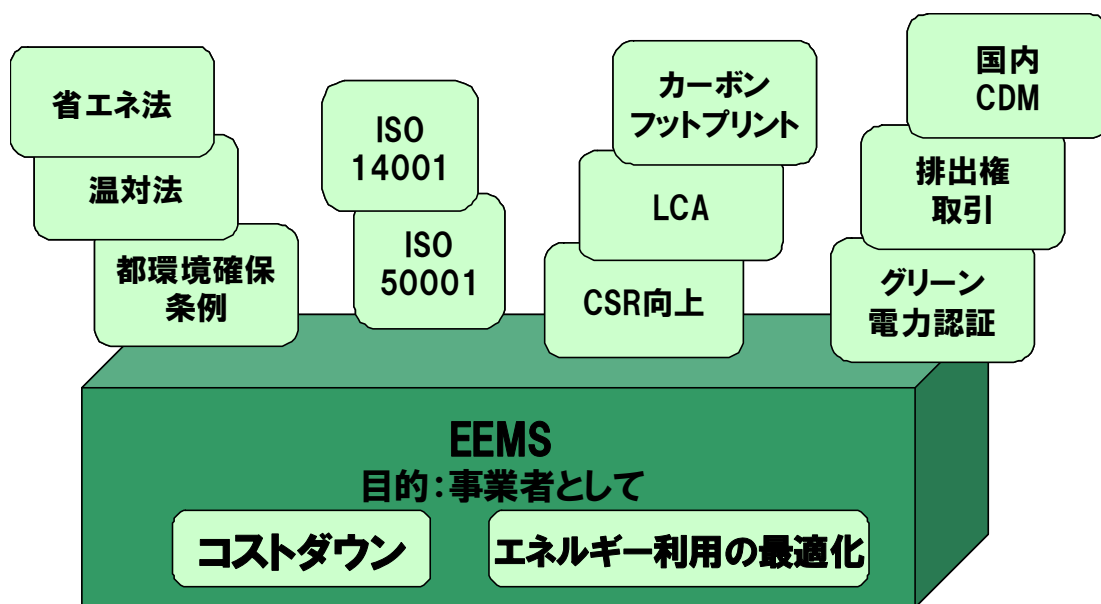


図 1-2 EEMS のアプリケーション例

(1) 事業者全体のエネルギー利用の最適化

EEMSの基本とも言えるアプリケーションである。事業活動におけるエネルギー利用の最適化やCO2削減は、それぞれの工場やロジスティックの改善など様々な方法によって個別の課題が改善されてきている。しかしながら、たとえばA工場で生産する場合と、B工場で

生産する場合とをライフサイクルアセスメント(LCA)的な観点から比較した上での改善など、相互関係を考慮した事業全体の最適化をすることが必要になる。

(2) 地球温暖化に関連する法律や条令に対する対応

事業者においては、省エネ法で規定する、事業者としてのエネルギー使用中長期計画、エネルギー使用に関する報告、また温対法(正式名:地球温暖化対策の推進に関する法律)のCO₂排出に関する報告業務などがある。また東京都では環境確保条例が施行されている。これらエネルギー管理では、IT技術を活用した「エネルギー使用状態の把握」や制御のみならず帳票化などの「プレゼンテーション機能」も必要となってくる。

(3) ISO14001、ISO50001

ISOの環境やエネルギーの管理システムでは、組織における体制や仕組みを明確化し、その実施が求められる。そのための組織運営、PDCA(Plan-Do-Check-Act)サイクルに対するサポート、組織を構成する人に対する「見える化」、エネルギー使用合理化システムを導入する場合の効果の分析、資金計算に関するサポート等も必要となる。

(4) カーボンフットプリント、ライフサイクルアセスメント

商品やサービスを製造・提供に関する事業活動でどの程度の温室効果ガスが排出しているかを「見える化」することをカーボンフットプリントと呼んでいる。

事業者は、消費者や株主などの要望に対して、企業の社会的責任(CSR ; Corporate Social Responsibility)を果たすために開示をすることがある。このためにはライフサイクルアセスメントの一環として、様々な事業活動のCO₂排出量を算出し商品やサービスに分配することが必要となる。

(5) 国内 CDM

京都議定書において、先進国が開発途上国に支援を行い、温室効果ガス排出削減できた排出量の一定量を先進国の削減分の一部に充当するクリーン開発メカニズム(CDM)が制定された。これを、国内で中小企業などを対象に実施するのが国内CDMである。この実施にあたっては、CO₂の削減量を予測し、実施後のCO₂削減量を認証することが必要となる。

(6) その他

太陽電池等の再生可能エネルギーを導入した場合のグリーン電力認証や排出権取引など、今後さまざまなアプリケーションが考えられる。

1.2. 本年度 WG での取り組み

前年度の WG の活動は、1.1 節で述べた、EEMS のあるべき姿および想定されるアプリケーションを念頭において、全体像を俯瞰するための EEMS フレームワークを作成した。EEMS のフレームワークは、3 つのサブシステムから構成される。

(1) エネルギー情報システム (EIS)

エネルギー情報システム (EIS ; Energy Information System) は、後述する EMP がセンサ・設備機器・xEMS から収集蓄積したデータを分析し、その分析結果を、外部ステークホルダ、経営者、従業員及びエネルギー管理者に対して、最適な形で情報提供する機能の枠組みである。

(2) エネルギー制御システム (ECS)

エネルギー制御システム (ECS ; Energy Control System) は、EIS におけるデータ分析の結果や外部ステークホルダによる要請に基づき、エネルギー使用制御を行う機能の枠組みである。

(3) エネルギー管理共通基盤 (EMP)

エネルギー管理共通基盤 (EMP ; Energy Management Platform) は、EIS の分析・見える化と ECS のエネルギー制御のための共通基盤を提供する。EMP には、各種センサ／設備機器、他 EMS を接続するための「ネットワーク」、そのネットワーク上でデータ交換・制御指示を行うための「通信プロトコル」と「データ・フォーマット」が含まれる。

図 1-3 にその EEMS フレームワークの全体構成を示す。

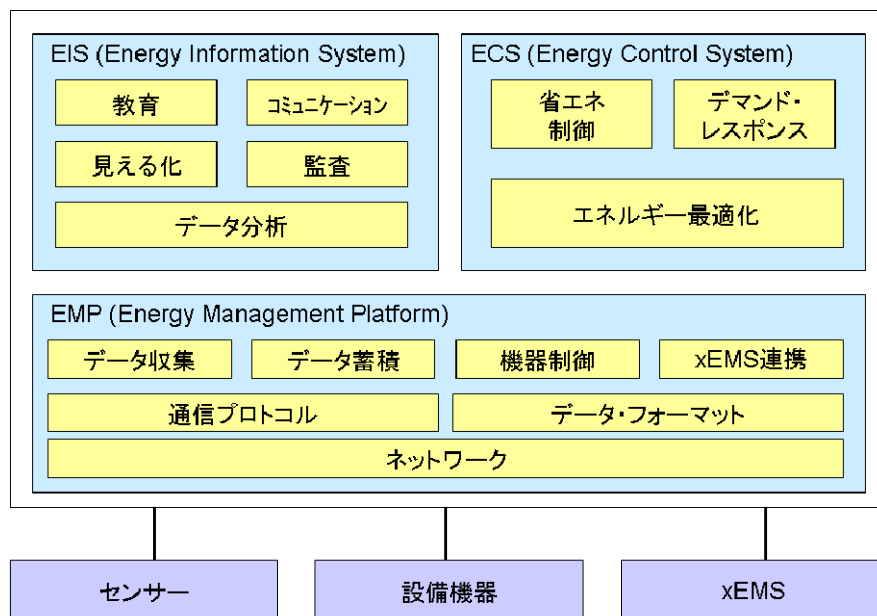


図 1-3 EEMS フレームワークの全体構成

前年度のWGでは、これら3つの構成要素の中で特にエネルギーの情報化について、詳細なフレームワークを定義した。

本年度は上記を踏まえて、特にEEMSに求められる「見える化」の将来像について検討を行った。実際の事例をベースとした議論を行うために、①省エネルギーセンター（以降、ECCJと記載）によるエネルギー管理の実際、②ISO50001でのエネルギーマネジメントの検討状況、③ユーザ事例として、コクヨ株式会社、東大グリーンICTプロジェクト、④IEC Energy Efficiencyの状況、⑤2010年グリーンITアワード受賞の三菱電機の事例について講演をいただき、講演者を交えてあらためてEEMSのアーキテクチャ、フレームワークのブラッシュアップ、EEMSの普及に向けたポイントの抽出等を行った。

2章では、EEMSの視点やアーキテクチャの概念を深化させて、フレームワークの詳細な定義について報告する。3章では、各事例についてまとめを報告する。4章では、見える化を実現するための、4つの適用ポイントについてまとめた。

2. EEMS のフレームワーク

2.1. EEMS の視点

前年度の検討の中で EEMS のあるべき姿として、「(1) 事業者の目的に合せたインフラであること」、「(2) 事業者としての最適化が可能なこと」に並んで「(3) 見える化に 4 つの視点をもつこと」という 3 つの要件が挙げられた。

具体的には、EEMS は、従来エネルギー管理者のためのものであったエネルギーマネジメントシステムを、事業者全体のためのエネルギーマネジメントシステムへと転換したシステムであることから

- ・外部ステークホルダ
- ・経営者
- ・従業員
- ・エネルギー管理者

の 4 つの EEMS 活用者の視点を設定して EEMS のフレームワークを検討する際に利用した。

本年度の検討の中でも、EEMS 活用者の視点という考え方は重要な検討項目として認識され、ECCJ より提案された事業者内での各レベルなどを参考に、より具体的に、また詳細に各 EEMS 活用者の視点の定義、省エネに関わる業務、その業務の目的を検討した。結果を以下に記述する。

2.1.1. ECCJ より提案された事業者内での各レベル（事業者内での視点）

ECCJ の提案では Top Management、Section Management、Real Time Management & Control という 3 つのレベルが提案されている。この 3 つのレベルは、いずれも Management 側のレベルであり一般従業員は管理対象として位置付けられていると考えられる。本 WG では従業員も EEMS の中で主体的に活動すべきと捉えており、従って一つの EEMS 活用者の視点を構成すると考える。一方、前年度設定した 4 つの視点では、Management 側の視点としては経営者とエネルギー管理者という 2 つの代表的 EEMS 活用者の視点を設定したが、ECCJ の提案のレベルにあるように、事業者内の管理構造はこの 2 つの視点で代表できるほど簡単でない。そこで、EEMS 活用者の視点を明確にする目的で前年度の 4 つの視点を ECCJ の提案のレベルを取り込む形で再構成した。

2.1.2. 4 つの EEMS 活用者の視点

あらためて 4 つの EEMS 活用者の視点を次のように設定する。

- ・経営者
- ・エネルギー管理者
- ・従業員
- ・外部ステークホルダ

結果的に、前年度と同じ名称を与えているが、それぞれの定義はECCJの提案を取り込むなどでより具体的になっている。

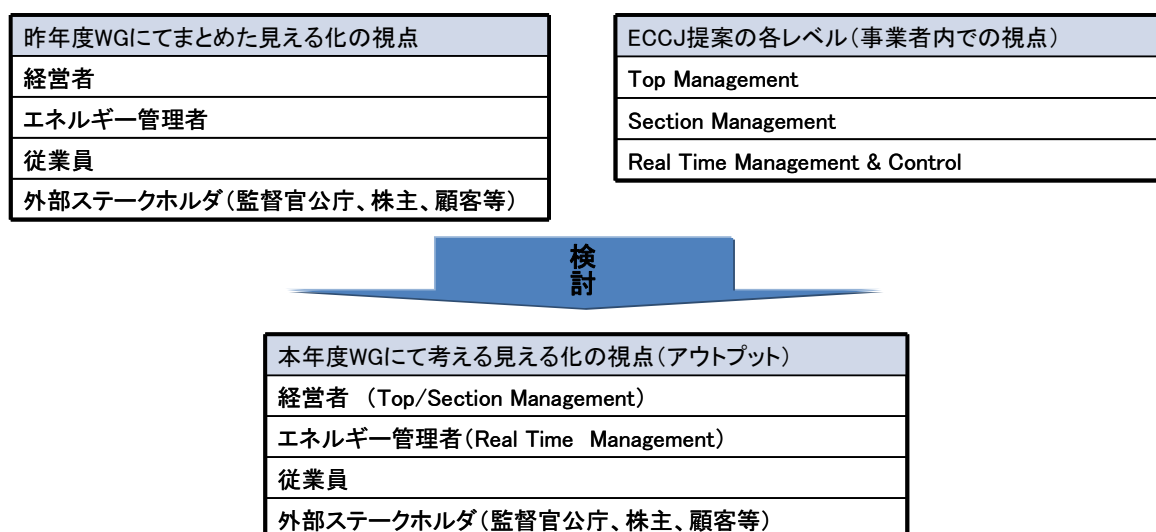


図 2-1 4つの視点

図 2-1 に示すように、経営者の視点にはECCJの提案のTop ManagementとSection Managementのレベルを含め、事業者としての方針策定などの役割を持つものとする。

エネルギー管理者はECCJの提案のレベルのReal Time Management & Controlに含まれると考え、名称は変えていないが事業者としての方針を受けて、担当範囲の目標設定やコントロールなどの管理を行う視点と位置付ける。外部ステークホルダの視点については、前年度は監督官庁や株主のような事業者の活動を監視・評価する視点として考えていたが、本年度の議論の中で、新たに事業者の活動に協力するパートナーの視点も含めることとしている。

2.1.3. EEMS 活用者の定義と業務および目的

本年度行った事例調査や国際規格調査の中で、具体的に見えてきた活動主体を参考に4つのEEMS活用者の定義と業務および目的をまとめると次のようになる。

表 2-1 EEMS 活用者の定義と業務および目的

見える化の視点	視点の定義	省エネに関わる業務	省エネに関わる業務目的
<p>経営者 (対象者：経営層、工場長・事業部長、エネルギー管理統括者、エネルギー管理企画推進者、総務部長)</p>	<p>経営的視点を踏まえた取り組み方針・中長期計画の策定</p>	<p><対内業務></p> <ul style="list-style-type: none"> ・事業場・事業者全体の省エネ取り組み方針、エネルギー利用効率合理化目標策定 ・中長期計画策定 ・経営資源の割り当て・投資計画 ・管理体制、事業場管理体制、組織整備 ・事業者・事業場全体管理規定策定 ・エネルギー合理化関連設備の維持・新設・改良・廃棄の決定 ・事業所・事業場全体への方針・目標・規程の徹底 ・期、年毎の全社実績管理、原単位管理 ・省エネの取り組み、エネルギー利用効率合理化進捗管理 ・事業場・事業者全体に関わる省エネの取り組みでの課題の抽出と対策立案 <p><対外業務></p> <ul style="list-style-type: none"> ・事業者の法・規制対応（省エネ法、温対法など） <ul style="list-style-type: none"> - 報告書作成・監査対応 ・取り組みの IR 情報への掲載 ・調達先の選定方針の策定 ・排出権取引の方針決定 ・カーボンフットプリント、LCA の取り組み方針決定 	<p><経営目標の達成></p> <ul style="list-style-type: none"> ・経営リスクの早期発見と対応 ・年次エネルギー使用量の把握、予測 ・エネルギー使用状況の経営指標への取り入れ ・企業の環境貢献度の外部ステークホルダーへの周知 ・省エネ関連法令の遵守
<p>エネルギー管理者 (対象者：エネルギー管理者、エネルギー管理員、省エネ推進者)</p>	<p>取り組み方針・中長期計画を踏まえた実施計画・管理標準の設定・運用</p>	<p><対内業務></p> <ul style="list-style-type: none"> ・事業場・事業者全体の省エネの取り組み方針、エネルギー利用効率合理化目標の詳細化・具体化（担当範囲内で） <ul style="list-style-type: none"> - 実施計画と達成目標、管理標準策定 - 中長期計画の詳細化・具体化 ・担当範囲内で省エネの取り組みの実施 <ul style="list-style-type: none"> - 実施計画・達成目標・管理標準の徹底 - 教育・訓練の実施 - 月、期、年毎の実績管理、事業場原単位管理 - 実施計画進捗管理 - 個別設備の維持・新設・改良・廃棄の監督 - 個別設備管理標準の遵守の徹底 ・省エネの取り組みでの課題抽出と対策の立案 <p><対外業務></p> <ul style="list-style-type: none"> ・法・規制対応（自治体レベル） ・調達先選定基準の策定 	<p><実施計画の着実な進捗></p> <ul style="list-style-type: none"> ・月次エネルギー使用量の把握、予測 ・省エネの問題個所の特定と改善計画の策定 ・高度なエネルギー使用のための最適化 ・PDCA サイクルによる省エネの取り組みの改善
<p>従業員</p>	<p>業務の中での実施計画の実行・管理標準の遵守</p>	<p><対内業務></p> <ul style="list-style-type: none"> ・担当する業務内での省エネの取り組み実践 	<p><業務の中での実施計画遂行></p> <ul style="list-style-type: none"> ・日常の業務活動におけるエ

		<ul style="list-style-type: none"> - 各職場管理体制整備 - 実行計画の実践・管理標準の遵守 - 時間、日、週毎の実績管理 - 最適操業、運転管理、職場原単位管理 - 個別設備の維持・新設・改良・廃棄の実施 - 個別設備管理標準に基づく管理、計測・記録、保守、点検の実施 - 省エネに向けた業務の改善提案とその実施 - 省エネ意識向上・自己啓発活動への参加 <p><対外業務></p> <ul style="list-style-type: none"> ・調達における選定基準の遵守 ・カーボンフットプリント・LCAのためのデータ収集と算出 	<p>エネルギー使用状況の把握</p> <ul style="list-style-type: none"> ・日常的なエネルギー使用合理化 ・省エネ意識向上・自己啓発による省エネの取り組みへの積極的参加
外部ステークホルダ (監督官公庁、株主、顧客、納入先、省エネのパートナー等)	省エネの取り組みの妥当性(適法性・社会的責任・合理性)の把握	<ul style="list-style-type: none"> ・企業の環境貢献度の把握 ・企業の省エネ努力の評価 ・同業他社や業界平均との比較 ・監督官庁による法令等遵守状況確認 	<p><省エネの取り組み妥当性の確認></p> <ul style="list-style-type: none"> ・投資対象としての妥当性確認(株主) ・適法性の確認、国家目標達成の観点からの省エネ努力評価(監督官公庁) ・自社省エネ取り組みとの関連(納入先) ・省エネ意識の充足(顧客)
	省エネの取り組みのパートナー	<ul style="list-style-type: none"> ・協力に向けた、企業の取り組み方針の調査検討 - 排出権取引の方針 - カーボンフットプリント、LCAの取り組み方針 - 調達先選定基準 ・省エネに向けた取り組みへの協力 - 技術・ノウハウの提供 	<p><省エネの取り組みのパートナーとしての協力></p> <ul style="list-style-type: none"> ・企業の省エネの取り組みの実現を支援(ノウハウ提供者) ・消費エネルギーの削減(省エネ活動協働実施者)

(1) 経営者

経営者の視点を「経営的観点を踏まえた取り組み方針・中長期計画の作成」と定義し、経営トップだけでなく、工場長・事業部長・エネルギー管理統括者・エネルギー管理企画推進者・総務部長などを含めることとする。

活動の目的を「経営目標の達成」と定義し、エネルギー使用状況を適切な形で経営指標に取り入れ、エネルギー使用量を年次単位などの長期的視野で予実管理を行った上で、省エネ関連法令の遵守や企業の環境貢献度の外部ステークホルダへの周知を通じて経営リスクの早期発見と対応を図るものとする。このような目標を達成するために対社内業務、対社外業務を遂行するのに必要な見える化を実現する。

(2) エネルギー管理者

エネルギー管理者の視点を「経営者視点で作成された取り組み方針・中長期計画を踏まえた実施計画・管理標準の設定・運用」と定義し、エネルギー管理者にエネルギー管理員・省エネ推進者をも含めたものとする。多くの中間管理層もこの中に含まれる。

活動の目的を「実施計画の着実な進捗」とし、省エネ問題箇所の特定制と改善計画の作成、高度なエネルギー使用のための最適化など、担当分野に固有な対応を行う中で月次エネルギー使用量の予測・把握を行って PDCA サイクルによる省エネ取り組みの改善を行うこととする。このような目的を達成するために対社内業務、対社外業務を遂行するのに必要な見える化を実現する。

(3) 従業員

従業員の視点を「業務中での実施計画の実行・管理標準の遵守」と定義する。

活動の目的を「業務中での実施計画の遂行」と定義し、日常の業務活動におけるエネルギー使用状況を把握する中でエネルギー使用の合理化を図ることとする。省エネ意識向上・自己啓発を促すような見える化を実現し、従業員の省エネの取り組みへの積極的参加を求める。対社内業務、対社外業務を行うための見える化は、それぞれの業務により多岐に渡ると考えられる。従業員自身による見える化の工夫も求められる。

(4) 外部ステークホルダ

外部ステークホルダの視点を「省エネの取り組みの妥当性（適法性・社会的責任・合理性）の把握」と「省エネの取り組みのパートナー」という2つの立場から定義した。妥当性の把握を行う外部ステークホルダとしては、監督官庁、株主、顧客、納入先などがある。環境問題に注目している NGO などにもここに含めて考えることができる。これらの外部ステークホルダは順法性の確認、省エネ努力の評価などを目的として、企業の環境貢献度の把握・同業他社や業界平均との比較などを行う。これらの外部ステークホルダに提供する情報を見える化技術を利用して適切に用意・提供する必要がある。パートナーとなる外部ステークホルダは、省エネに関するノウハウを提供したり、省エネ活動を共同実施する。これらの外部ステークホルダに対して、企業のエネルギー使用状況を正しく認識させるような見える化を考える必要がある。

2.2. EEMS のアーキテクチャ

2.2.1. EEMS の概要

EEMS は、一つの事業者が運営している、オフィス、店舗、工場などの領域別のエネルギーを一括して管理するシステムである。前年度の活動では、3つのサブシステムから構成される EEMS フレームワークを策定した（その概要は 1.2 節を参照されたい）。また、EEMS フレームワークの EIS における情報の可視化では、外部ステークホルダ、経営者、従業員、エネルギー管理者の 4つの視点が重要であることを提案した（その概要は 1.1 節を参照されたい）。

2.2.2. 概念的な EEMS アーキテクチャの検討

本年度 WG の活動では、EEMS 中のエネルギー情報システム (EIS) の機能であるエネルギーの情報化に関する検討を行った。様々な分野の有識者へのヒアリングと意見交換を行いながら、前年度策定した EEMS フレームワークと、「2.1EEMS の視点」の検討を考慮した概念的な EEMS アーキテクチャを検討した。図 2-3 に EEMS のエネルギー情報システム (EIS)、およびエネルギー管理共通基盤 (EMP) を中心にした概念的な EEMS アーキテクチャを示す。

概念的な EEMS アーキテクチャは、EMS データ層、データベース層、アプリケーション層の 3 階層で構成される。

(1) EMS データ層

EMS データ層は、EEMS で必要とするデータを取得する階層である。事業者内のそれぞれの拠点でエネルギー管理を行う xEMS との連携や、センサや設備機器との連携で構成され、そこで得た情報は、ネットワークを經由してデータベース層に伝えられる。

(2) データベース層

データベース層は、EIS のアプリケーションサービスを実現するために、EMS データ層で取得した情報を整理し、データベースとして蓄積する階層である。このデータベース層は、各拠点の xEMS から得た情報、センサや設備機器から得た情報、およびネットワークを介して EEMS と連携する外部システムの情報を蓄積するデータベースである。

(3) アプリケーション層

アプリケーション層は、データベース層のデータベースを参照したり、必要に応じて外部システムと連携しながら、エネルギー管理に関する様々な情報を分析し、その結果の見える化を行う。ここでは、外部ステークホルダ、経営者、従業員、エネルギー管理者の 4つの視点で分析とその結果の見える化を行う。

・ 経営者の視点

経営的視点を踏まえた取り組み方針、中長期計画を策定するために必要な情報を見える化し提供する。経営者が、エネルギーの使用状況を経営指標の一つとしてとらえ、判断するために必要な情報として表現する必要がある。

・ エネルギー管理者の視点

経営者が設定した取り組み方針、中長期計画を踏まえ、実施計画や管理標準の策定、運用に必要な情報を見える化し提供する。さらに、より高度なエネルギー使用の最適化を実施するために、様々な分析手法の提供が必要である。

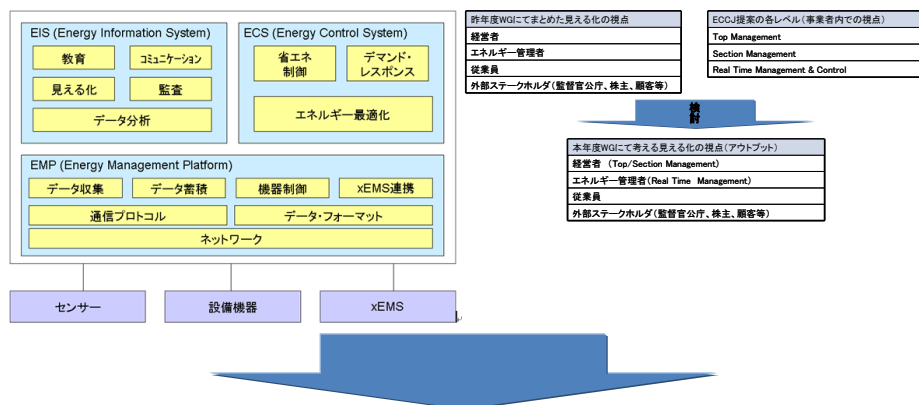
・ 従業員の視点

業務の中での実施計画の実行・管理標準を守るために必要な情報を見える化し提供する。エネルギーの使用の合理化をするためには、設備の改善だけでなく人手の運用による改善も重要な施策である。一般の従業員の行動がどのように省エネにつながっているかをわかりやすく見える化し提供する必要がある。また、エネルギー管理に関する教育、コミュニケーション環境などを継続的に提供していくための仕組みが必要である。

・ 外部ステークホルダの視点

エネルギーマネジメント活動への取り組みに対し、適法性、社会的責任、合理性などを把握するために必要な情報を提供する。また、株主、製品やサービスを使う顧客、省エネ法や ISO50001 などの報告をする監督諸官庁や監査機関、および省エネに協力するパートナー企業などへの情報提供を行う。

■ 昨年度WGにて想定したEEMSの概念図 ■ 本年度WGにて想定する見える化の視点



● 4つの視点を組み込んだEEMS概念図を検討

図 2-2 4つの視点を組み込んだ EEMS 概念図の検討

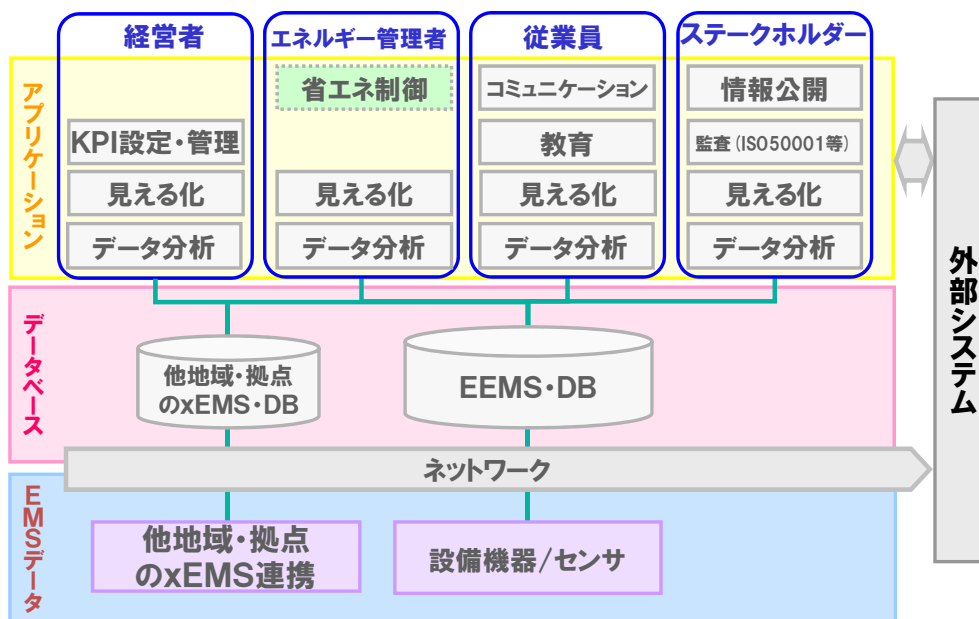


図 2-3 概念的な EEMS アーキテクチャ

2.2.3. 各レイヤの検討

概念的な EEMS アーキテクチャを図 2-4 のように上位レイヤと下位レイヤに分けて検討した。上位レイヤは、アプリケーションのコンテンツ、機能などを検討し、下位レイヤは、IT 基盤技術について 5 年後のあり方を想定したシステム構成上の技術的課題を検討した。

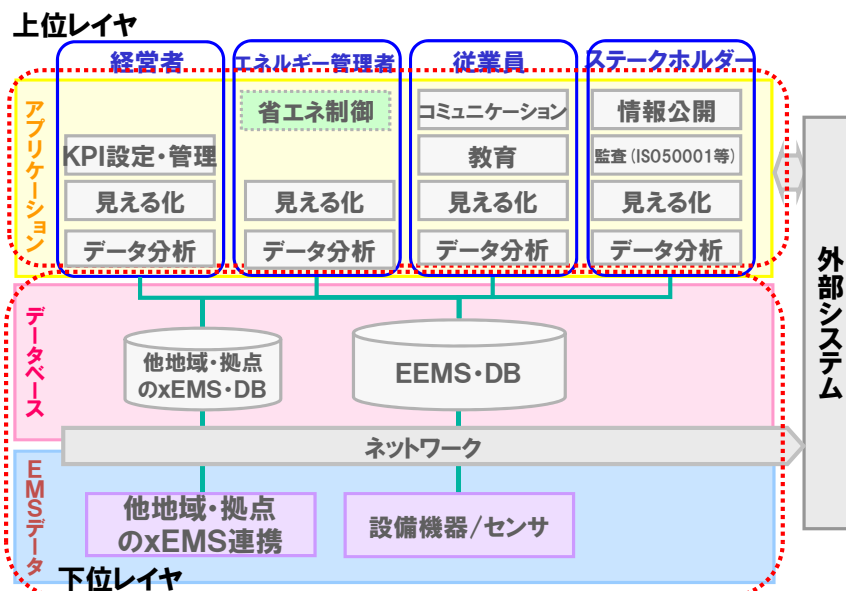
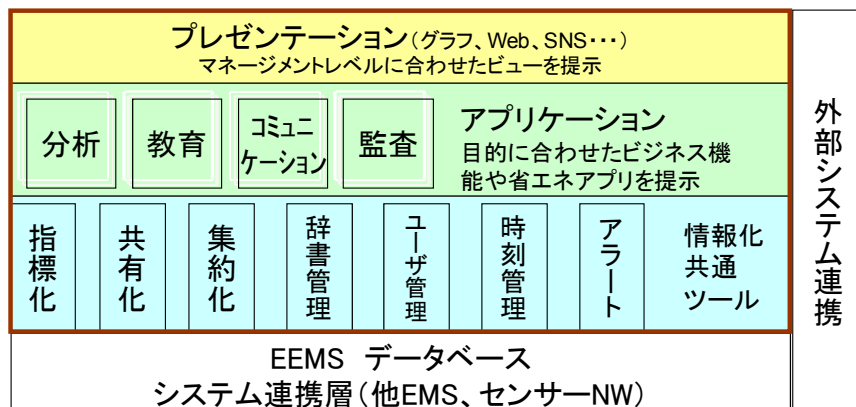


図 2-4 概念的な EEMS アーキテクチャのレイヤ構成

(1) 上位レイヤの検討

概念的な EEMS のアーキテクチャをもとに、アプリケーション側からみた EEMS の上位レイヤの構成について検討を行った。図 2-5 に上位 EEMS アーキテクチャを示す。



指標化: 取得した情報を比較可能にするために、各種指標化(2次情報化)する
 共有化: 情報を、必要な対象に公開するために共有化する
 集約化: 情報をまとめる
 辞書管理: システム内にどのような情報があるか、などメタ情報を管理する
 ユーザ管理: 人に対する見える化(情報化)のレベルを管理する
 時刻管理: 情報に関する取得時期、処理時期などを管理する
 アラート: 情報に閾値を届け人やシステム通知をする

図 2-5 上位アーキテクチャ図

この図は EEMS 内の EIS (エネルギー情報システム) 部分を中心としたアーキテクチャの詳細を示したものである。EIS の外部インターフェースは大きく 4 つのインターフェースが存在する。ひとつは EMP (エネルギー管理共通基盤) とのインターフェースである。EMP は各 xEMS との連携やデータベース、センサなどの連携などエネルギー情報源とのインターフェースである。エネルギー情報取得からみた EEMS のアーキテクチャに関しては次節の下位レイヤの検討で詳細を説明する。

2 つめのインターフェースは、ECS (エネルギー制御システム) とのインターフェースである。ECS 自身が、EMP とのインターフェースをもつため、通常の制御 (特にリアルタイム性があるもの) は直接 EMP と ECS がインターフェースを持つ。EIS と ECS のインターフェースは分析、教育や監査等の目的でどのような制御が過去に行われたかの情報 (ECS から EIS へ) などを想定している。また、将来 EIS の分析結果などを自動的に ECS の制御に反映させることなどが想定できる。

3 番目のインターフェースは外部システムとの連携である。たとえば分析を行うために地域の気象情報を外部から得る。エネルギー管理の方法を変更した場合に与えるインパクトの分析のために経営情報を得る。教育システムとの連携などが想定できる。

4 番目のインターフェースは、EEMS を利用する人に対するインターフェースである。EIS で加

工したデータを、本WGで提言している4つの視点にあわせた形で視覚化を実施する。

EISを構成する要素として、3つのレイヤに整理し検討した。

①プレゼンテーション

最上位に位置するレイヤをここでは、プレゼンテーションと呼んでいる。WebによるGUIや表示共通要素としてのグラフ表示や掲示板やSNSなどのコミュニケーションツールとの連携も重要である。

②アプリケーション

このレイヤは1章で既に説明したEEMSとして必要な様々なアプリケーションを実施する部分である。アプリケーションは目的によって様々なものが想定されるため、EISに内包すべき共通的なアプリケーションと、外部との連携をすることで実施されるアプリケーションが存在する。

図2-5では、フレームワーク上で特に重要と考えられるものを掲載しているが、内包すべきものはこれ以外にも存在する。

③情報化共通ツール

このレイヤでは、エネルギーの情報化（見える化）をする上で共通の要素となるべき情報ツールの集まりである。表2-2に共通要素の内容を示す。

表 2-2 共通要素

機能	機能の概要	(技術的) 課題
指標化	取得したデータを比較可能にするために、加工して見せる	・有効な指標をどう提示できるか（例えば、1人当たり）
共有化	データを、必要な対象に公開するために共有化する	・セキュリティの問題（社内外） ・用途に応じてどのような基準で公開範囲を決めるのか（社内外）
集約化	データをまとめる	・データの取捨選択の基準が必要 ・データの加工の仕方に様々な問題がある。そのため、雛形の作成が望まれる（原単位、原油換算等） ・データを集約するコストをどれだけ少なくできるか ・集約しようとするデータ（EEMS以外）のありか、取得方法、プロトコルなどが問題 ・他システム（人事システム等）からデータを持ってくる際の取り決め、セキュリティ等 ・収集タイミングの異なるデータの集約
辞書管理	システム内にどのようなデータがあるか、などメタデータを管理する	・データと、実際に使用したエネルギーとの紐付け（例えば、社員IDをかざして電気を使う等） ・エネルギーの使われ方と、消費エネルギーとの紐付け ・レイアウト変更に対応したデータの紐付け

機能	機能の概要	(技術的) 課題
		<ul style="list-style-type: none"> データの開示範囲の管理
ユーザ管理	ユーザに対する見える化 (情報化) のレベルを管理する	<ul style="list-style-type: none"> 異動・組織変更に伴うシステムの追従性 (社内システム全般の課題でもある) 役職、習熟度、興味などを勘案した情報の見せ方 いかに見せるか、どのように見たいのかの両面からの人の管理
時刻管理	データに関する取得時期、処理時期などを管理する	<ul style="list-style-type: none"> ひとつひとつ表示周期 (時間間隔) 等を設定しなくてはならない 複数データの収集タイミングを調整すること データを補完したり、後でデータを更新したりする機能
アラート	データに閾値を設けユーザやシステム通知をする	<ul style="list-style-type: none"> 確実に対処してもらえるアラートの出し方 全社で見えるか、1事業者で見えるかで、アラートの閾値が異なる

・ 指標化

収集したデータを比較するために必要な 2 次コンテキストへの変換を行う。例えば、エネルギーの原単位化や、省エネ活動への状況を判断するための KPI (Key Performance Indicator) を求める。KPI を作成するにあたって、実態を十分に反映される指標を選択する必要がある。これについては、4.2 節で述べる。

・ 共有化

2 次コンテキスト (KPI など) を必要な相手に公開するために共有化を行う。セキュリティやアクセス権などの配慮が必要である。

・ 集約化

拠点ごとの集計や、業務内容や製品による横とおしの集約など収集したエネルギーデータを分析のための集約化を行う。集約化の実施にあたっては、データの取捨選択の方法などの課題がある。また、様々なデータの取得にあたっては次に説明する辞書管理と連携が必要になる。

・ 辞書管理

収集するエネルギーデータは、場所やセンサの種別、そもそもの測定条件などによって情報処理の方法が異なってくることが想定される。データベース等と同様に管理項目やその値の意味を統一化する必要がある。またデータ間の相互関係がわかるように紐付けを行う。アプリケーションで各拠点にあるエネルギーデータを共有するには、辞書管理が必要になる。

・ ユーザ管理

ユーザに対応する見える化（情報化）のレベルを管理する。ユーザの種類が見える化の4つの視点のどれに相当するかの情報や、セキュリティ確保のための情報。また、見える化を効果的にするには、見える化に関するユーザの感度に関する情報も管理する必要がある。たとえば、役職・習熟度・興味やどのように見たいのかなどの情報もあわせて管理することが望ましい。

・ 時刻管理

データの取得時期や、処理時期などを管理する。また、リアルタイム性が必要なデータの場合は、各データ間で同じ時刻を示すようなサブシステム間での時刻同期か、時刻補正が重要になる場合もある。また取得タイミングによっては、データを補正するようなことも求められる。

・ アラート

データに閾値を設け人やシステムに通知するものである。たとえば、デマンド管理では30分ごとのエネルギーの使用量が一定量を超えた場合にアラームを出力する。

それ以外にもつけ忘れ、消し忘れなどを検出して対応する人へアラームを出力するなどの方法が考えられる。

(2) 下位レイヤの検討

概念的な EEMS アーキテクチャに基づいて、5 年後を想定した EEMS の IT 基盤を検討した。想定したアーキテクチャを図 2-6 に示す。

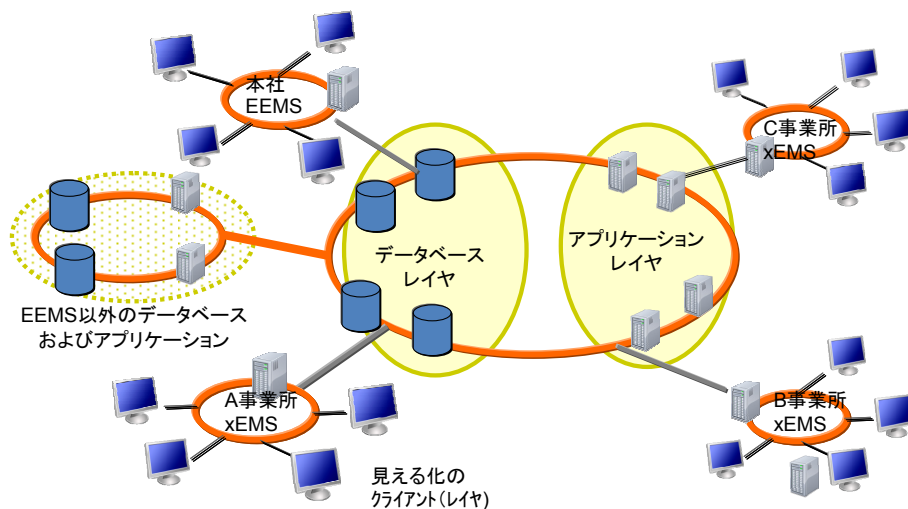


図 2-6 EIS から見たデータベース/ネットワークアーキテクチャ将来図

アーキテクチャを実現する上での必要な技術項目を表 2-3 にまとめた。

表 2-3 EEMS を構成する IT 基盤に必要な技術項目

必要となる事項	その概要	技術的課題
高速ネットワークの実現	<ul style="list-style-type: none"> ・エンドツーエンドでの遅延の無いネットワーク ・収集データをそれぞれのアプリケーションの要求する速度での伝送 	<ul style="list-style-type: none"> ・遅延時間の防止（効率的な電力制御の実施） ・帯域幅の確保、QoS の確保、適切な伝送媒体の選択（無線、有線） ・デバイス、DB、サーバなどの接続機器とのインターフェース、物理的な接続特性
ネットワークの信頼性確保	<ul style="list-style-type: none"> ・障害、ゼロパケットロス、QoS ・ネットワーク稼働率の向上 ・国際標準による認証機器使用 	<ul style="list-style-type: none"> ・細かな優先度制御 ・多重化方式、フェールセーフ方式、異常検知方式、予兆の検知と分析、ネットワークパフォーマンス/キャパシティ予測管理 ・認証システム構築
情報セキュリティの確保	<ul style="list-style-type: none"> ・盗聴などの防止 ・外部からの情報への不正アクセスの防止 ・管理、アクセス権の考え方とその概要 ・暗号技術の高度化・符号化技術 ・個人認証の高度化 	<ul style="list-style-type: none"> ・暗号化方式（キーの管理方法等） ・利用者認証方式（認証方式、ID 管理等） ・セキュリティ管理単位の定義（対象、対象範囲、リスク）とアクセス権の管理 ・個人情報（パスワードではなく生体）認証したもののみの情報発信される仕組み
耐障害性	<ul style="list-style-type: none"> ・障害からの短期間での復旧。縮退運転など ・ディザスタリカバリ 	<ul style="list-style-type: none"> ・システムの多重化、回線二重化 ・異常箇所の早期特定、予防保全監視機能の組み込み ・データのバックアップ、分散化

必要となる事項	その概要	技術的課題
		<ul style="list-style-type: none"> 自己診断機能の組み込み 常時監視の実現
異機種ネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> 複数のネットワーク内での通信 (ZigBee, WiFi, PLC、公衆網 (3G、WiMAX など)、インターネット、専用網) 	<ul style="list-style-type: none"> 複数ネットワークでの信頼性、シームレスな QoS の確保
ネットワーク管理	<ul style="list-style-type: none"> 運用上の負担を軽減し、拡張性ある管理系が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 自動構成認識、コネクション設定などの整合性
データベース	<ul style="list-style-type: none"> 大量データベース 	<ul style="list-style-type: none"> 複数のデータにアクセスするための API の標準化 原単位、組織単位、個人単位、製品単位などでの見える化を見越した DB 構造
データ統合	<ul style="list-style-type: none"> 異種データの統合管理 	<ul style="list-style-type: none"> メタデータの付与・管理方式 フォーマット変換方式 保存データの抽象化レベル
大容量データの管理	<ul style="list-style-type: none"> 大量のデータを蓄積、管理、アクセス方法 	<ul style="list-style-type: none"> 分散保存方式 データへの共通アクセス方式 データの圧縮方式、データのサマライズ 測定データの保存場所 (ノードにもたすか、DB にもたすか)
ストリーミング	<ul style="list-style-type: none"> 大量センサデータの処理 	<ul style="list-style-type: none"> 低遅延 データのフィルタリング API の標準化
センサ	<ul style="list-style-type: none"> 様々なセンサを共有して活用 	<ul style="list-style-type: none"> 新しいセンサ アプリケーションを柔軟に構築するための API の標準化
プライバシー保護	<ul style="list-style-type: none"> 保存データに対するプライバシーの保護 	<ul style="list-style-type: none"> データ精度の低下方式 個人データのマスク

表 2-3 の技術的留意点の各項目について簡単に説明する。

・高速ネットワークの実現

EEMS は各事業所単位の xEMS のデータを扱い、全社員および外部ステークホルダに対してエネルギー関連データの見える化を行う。企業の規模と業種、エネルギーを管理するレベルにもよるが、大規模商業ビルでテナントごとにエネルギー使用量を課金する場合や大規模工場を持つ場合は、1 事業所で扱うエネルギー関連データは 10 万点程度に上ると考えられる。また工場では省エネ解析のために秒単位のデータが必要な場合がある。EEMS 全体では、多量なデータを必要な速度で通信できるだけの高速ネットワークの構築が必要である。

・ネットワークの信頼性確保

EEMS が扱うエネルギー関連データは法律/規制や監査で使用し、また省エネを検討する際の基礎データである。そのためネットワーク障害によるデータ欠落や一時的なネットワーク負荷によるデータ遅延などが起きてはならない。EEMS を構成するネットワーク全体で十

分な信頼性を確保する必要がある。

・情報セキュリティの確保

エネルギー使用量は、企業レベルで考えると重要なコスト情報の一つであり、個人レベルでは個人情報の一つと考えられる。(プライバシー保護の項目を参照) また商業ビルでは、テナントに対するエネルギー費の課金データとなる。そのためデータに対する改ざんや盗聴、不正アクセス対策などの情報セキュリティ対策が必要である。

・耐障害性

ネットワークの信頼性確保の項目で説明したように、エネルギー関連のデータは企業により重要である。データの保護、継続性を確保するため、システムの障害発生に対して二重化、機能縮退、予防保全などによる対策が必要である。

・異機種ネットワーク

EEMS は、センサネットワークから社内 LAN、拠点間の専用回線/公衆回線を含むシステムである。この中では、さまざまなネットワークが使用されている。例えば現時点で考えると、センサネットワークでの ZigBee や PLC ネットワーク、データベースとアプリケーション間の社内 LAN や専用/公衆回線、アプリケーションとクライアント PC 間の WiFi などである。今後さらに多くの新技術、規格が出てくることが考えられるが、EEMS を構成する異機種ネットワーク間で信頼性、QoS (Quality of Service) が確保されなければならない。

・ネットワーク管理

EEMS では、システム構築後の運用維持の負荷が高い。EEMS の修正/変更が必要となる企業活動の例を示す。

①一般的に企業で起こるもの

人事異動や、レイアウト変更によるデータ収集/集計の修正/変更

②ビルのオーナー企業で起こるもの

ビルのテナント変更/入れ替えによるデータ収集/集計の修正/変更

③製造業で起こるもの

生産品目の変更、製造ラインの変更、製造方法の変更によるデータ収集/集計の修正/変更
ここでデータ収集の修正/変更とは、センサ、発信機の追加/削除や既にあるセンサ/発信機の使用部/使用部署の変更への対応を想定している。

データ集計の修正/変更とは、センサ/発信機側の変更/修正をデータベースやアプリケーション側に反映することを想定している。

システム維持のための負荷を下げるために、ネットワークやデータベースの自動構成認識

などが必要である。例えば、データ収集/集計の修正/変更について考えてみると、センサネットワークでは ZigBee の自動認識による無線ネットワークの構築のような技術がある。

・ データベース

EEMS のデータベースレイヤは、全社のエネルギー管理に関するデータとともに、KPI（原単位、個人単位、製品単位）を算出するためのデータなどをアプリケーションレイヤに提供しなければならない。アプリケーションの構築、維持を容易にするために、アプリケーションから標準的にデータアクセスできる API の標準化が必要である。

・ データ統合

EEMS では、xEMS のデータを統合して扱えなければならない。またエネルギー管理に必要な各種のデータや KPI の算出に必要なデータも統合管理する必要がある。各種データ間のフォーマット変換やメタデータの付与・管理方式などが必要である。

・ 大容量データの管理

EEMS では上位レイヤのアプリケーションから論理的には統合されたエネルギーデータベースを提供しなければならない。アプリケーションに対して、標準化された共通 API によるデータアクセスを提供する必要がある。また法律/規制や監査、省エネの効果検証などのためにデータの長期保存が必要である。データの圧縮、サマライズ、外部メディアへの保存とリプレイなどが提供されなければならない。またセンサ/発信機のデータの保存については xEMS と EEMS 間で機能分担し、合理的な切り分けを行わなくてはならない。

・ ストリーミング

大量のセンサデータを収集、記録し按分(配布)計算、集計計算、KPI の計算などを行う。そのために低遅延やデータフィルタリングなどを行い、高速化を図る必要がある。

・ センサ

エネルギーの使用や関連する様々なデータを計測するために、多種多様なセンサが使用される。また今後各種設備（照明、移動用設備：エレベーター、エスカレーター、各種生産設備など）が、エネルギー使用に関するデータを直接データベースや ECS の制御アプリケーションなどに提供する機能を備えていくことが考えられる。効率良くアプリケーションを構築するには、標準化された API によるセンサデータへのアクセスなどが必要である。

・ プライバシー保護

個人レベルでのエネルギー使用量を管理しようとする、詳細なエネルギーデータにより誰が、いつ、どこで、何をした、などの個人情報解析できる。本人以外が詳細データ

を利用することを禁止する、個人データにマスクをかけて精度を落とすなどの対策が必要である。

2.3. フレームワークの詳細

前年度のWGでは、EEMSの全体像を俯瞰する「EEMSフレームワーク」を策定し、EEMSの機能分析を行った。EEMSフレームワークは、EEMSが具備すべき機能を洗い出し、分類整理したものであり、エネルギー管理に取り組む事業者に対して、構築するエネルギーマネジメントシステムの範囲と機能を検討する際の指針とすべく策定したものである。

前年度の検討では下表の細字部分にあたる事項を抽出し整理を行った。本年度はWGで実施したいくつかの事例に関する講演をもとに、EEMSの重要な要求事項に関してさらなる洗い出しを行い、表2-4の太字部分の項目を新たに重要要求事項として追加した。さらにこれらの事項を分析し、その視点や必要技術などを表の形に整理した。

表 2-4 本年度作成した EEMS フレームワーク

	要求事項				
	見える化	データ分析	教育	コミュニケーション	監査
経営者	<ul style="list-style-type: none"> ・製品、事業部別などで管理ができること ・業界内での水準が理解できること ・経営判断に活用できること ・KPIの設定 ・「エネルギー効率」を明確化・定義づけ ・PDCA (Plan-Do-Check-Act) サイクルがまわせること 	<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー効率を工程別、製品サービス別、事業所別に把握し計画予算や過去の実績との対比 ・消費分布を正確に把握するためのセンサ等の計量器の適切な配置 ・把握する情報の範囲や精度の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー管理方針や手順などの閲覧 ・責任及び役割の提示 ・エネルギー効率改善によるメリット/デメリットの提示 	<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー効率についての内部のコミュニケーションの 手順を確立・実施・維持 ・省エネのプロセスの認識及び、従業員の参加を確実にするための機能の用意 	<ul style="list-style-type: none"> ・予め計画された時間間隔での内部監査を実行 ・監査に必要なデータを提供維持する仕組み ・適切なベースラインを設定する機能
エネルギー管理者	<ul style="list-style-type: none"> ・問題箇所の特定と優先順位づけができること ・PDCA (Plan-Do-Check-Act) サイクルがまわせること ・省エネ意識・自己啓発的な活動を高められること ・目標と現在の達成度がわかるような見せ方ができること ・KPIの設定 ・「エネルギー効率」を明確化・定義づけ 	<ul style="list-style-type: none"> ・同列に比較できるような情報の加工 ・エネルギー源と機器に関するコストを工程別、製品サービス別、事業所別に把握し固定費と変動費として認識できること ・エネルギーコスト配賦では消費分布に応じた原価計算との連携がとれること 	<ul style="list-style-type: none"> ・改善事例の蓄積・収集とその開示 ・KPIの値に影響を与える個々の従業員の具体的な取り組みについての教育 ・教育プログラムの改善(水準向上)を促す仕組み 	<ul style="list-style-type: none"> ・外部ステークホルダとのコミュニケーションを円滑に行うための機能の用意 ・省エネのノウハウを有する外部企業などにおいて、企業の情報利用が促進されるためのルール策定 	
従業員	<ul style="list-style-type: none"> ・エネルギーに関する素人でも量的に把握できること ・省エネ意識・自己啓発的な活動を高められること ・部門目標と現状に関する情報が共有化できること ・PDCA (Plan-Do-Check-Act) サイクルがまわせること 	<ul style="list-style-type: none"> ・省エネ機器の導入コストとその効果について見積もり削減効果を算定できること ・エネルギーの計測ポイント(タグ)と照明、空調の物理的な位置との対応付 		<ul style="list-style-type: none"> ・管理者と従業員の双方向コミュニケーションツール ・省エネ意識・自己啓発的な活動を高めら 	

外部ステークホルダ (監督官公庁、株主、顧客等)	<ul style="list-style-type: none"> ・企業の環境貢献度のポジショニングが明確になること ・株主や顧客へのプレゼンテーションに活用できること ・監督官公庁への報告に活用できること ・PDCA (Plan-Do-Check-Act) サイクルがまわせること 	けを容易にする機能 <ul style="list-style-type: none"> ・KPI の設定 ・エネルギーの削減施策による、削減効果を把握すること ・データ分析のスキルを持った人材の養成 		れること	
-----------------------------	---	--	--	------	--

前年度の WG での検討では EEMS のフレームワークの機能として「コミュニケーション」「教育」「監査」が挙げられた。しかし、本年度の調査でこれらがどのようなものであるかの定義があいまいであるとの認識が生まれ、それぞれについて下記のような定義を行うこととした。

コミュニケーション欄:

省エネ法や ISO50001 等の省エネを推進する際のコミュニケーション活動(情報共有化)を効率的・効果的に実施するために、EEMS が支援すべき機能、あるいは EEMS が備えるべき要件。

教育欄:

省エネ法や ISO50001 等の省エネを推進する際の教育活動を効率的・効果的に実施するために、EEMS が支援すべき機能、あるいは EEMS が備えるべき要件。

監査欄:

省エネ法や ISO50001 等の監査対応を効率的・効果的に実施するために、EEMS が支援すべき機能、あるいは EEMS が備えるべき要件。

①見える化

「見える化」については ISO 等の規格や省エネ法などを遵守する上での重要性から「KPI の設定」、「問題箇所の特特定と優先順位付け」が新たに重要項目として挙げられた。また、省エネ取り組みの事例から、従業員をはじめとするステークホルダがやる気を起こすような見える化の仕組みが重要との知見が得られた。

表 2-5 フレームワークの見える化に関わる項目

視点	項目	理由	必要となる技術等
経営者 エネルギー管理者	KPI の設定 (測定可能で分かりやすい KPI 群の設計もしくは既存の KPI の採用)	KPI の改善に向かって、全社が活動するという観点から見ると KPI の設定がすべての活動のベースとなる	法律及びその参照規格、ベストプラクティスの知識。コンサルタント各社などのパートナーのノウハウ

視点	項目	理由	必要となる技術等
経営者 エネルギー管理者	「エネルギー効率」の 明確化・定義づけ (エネルギーマネジメント、経営判断、生産管理などに有効に機能し得る指標)	任意に設定可能な部分と、ある程度決められている部分とがある状況の中で、大きな業界/会社では自主的な行動を期待できるが、それ以外の企業等では、どう対処していくかという指針、最善のものを選出する努力、要件の考え方が必要。	—
経営者 従業員 エネルギー管理者 外部ステークホルダ	PDCA (Plan-Do-Check-Act) サイクルがまわせること (フィードバック:アクション結果の反映、成果、実績を評価)	社内外のステークホルダ全員の参加意識と改善意識が最も重要。	—
エネルギー管理者	問題箇所の特定と優先順位づけができること	省エネに向けた実際の取り組みを考えるには問題箇所の特定が必須。	問題箇所を放置することによる結果を予測するツール、問題箇所の改善策についてコスト・効果・確実性を相互に比較するためのツールが必要。
従業員	省エネ意識・自己啓発的な活動を高められること	・人をやる気にさせる IT 技術は、これからの byIT 技術で重要な項目。 ・エコポイント等のランキング表示により、自分の努力が反映される仕組みが必要。省エネ活動のモチベーションとなる。	やる気にさせる見える化、モチベーションを上げる見える化等、人間の感情を考慮したヒューマンインタフェース技術の例として、アニメやビデオゲームの技術が活用できそう。
エネルギー管理者 従業員	省エネ意識・自己啓発的な活動を高められること (自己啓発を促す仕組み。従業員レベルでの省エネ動向分析・貢献度の見える化など)	最終的には、従業員レベルでのエネルギー使用時間の削減意識が課題。	—

②分析

「分析」については、企業における省エネ目標の設定とその達成のための活動で必要とされる機能が重要項目として挙げられた。特に実際の事例から職場単位への省エネ目標のブレイクダウンに必要な「計測ポイントと照明・空調などの物理的な位置との対応付け」が非常に煩雑との問題点が明確になり、オフィスレイアウトの変更などの際にこの対応付け作業をサポートする機能が重要との認識を得た。他に分析に当たる人材の育成も重要項目として挙げられた。

表 2-6 フレームワークの分析に関わる項目

視点	項目	理由	必要となる技術等
全て	KPI の設定 (エネルギー使用の適正／不適が容易に判断でき、不適正な場合に原因究明できる指標 (KPI) の設定)	エネルギー使用量は最も単純な KPI と言えるが、KPI が不明であれば、省エネの管理が行えない。ただし、エネルギー使用量も、総量は分かっても、部門などの管理単位まで詳細に把握している企業は少ないのが現実	センサ技術、データ解析技術
エネルギー管理者	エネルギーの削減施策による、削減効果を把握すること	省エネの規制、CO2 排出権取引、CDM など省エネの効果を検証、証明しなければならない状況が今後多くなるため	シミュレーションやデータ分析の技術
エネルギー管理者	エネルギーの計測ポイント(タグ)と照明、空調の物理的な位置との対応付けを容易にする機能	オフィスレイアウト変更など組織が物理的に移動した場合、省エネ活動を行う単位である組織とその組織が消費するエネルギーを管理するセンサ等の計器の対応づけが必要となる。そのあたりの作業を容易にアップデートできる仕組みが必要。	—
エネルギー管理者	データ分析のスキルを持った人材の養成	経営者への報告のベースとなるが、多くの種類の生データの分析には相当のスキルが要求される。	学習機能・人工知能

③教育

省エネ活動においては、取り組みが長期間になればなるほど、大きな改善を見込めるポイントが少なくなり、エネルギー削減が困難になることが指摘された。これを打開する手段の一つとして改善事例の横展開が指摘された。そのため、エネルギー管理者が自社に展開可能な事例を検索できるデータベースなどのツールへの期待が示された。

また、全社の省エネに向けて各々の従業員がどのような取り組みを行うべきかについての教育の重要性も指摘された。

表 2-7 フレームワークの教育に関わる項目

視点	項目	理由	必要となる技術等
エネルギー管理者	改善事例の蓄積・収集とその開示	個々の企業・組織が一から省エネの仕組みを作り上げるのではなく、良い事例が早く・広く展開していけば、結果として省エネが促進される	ナレッジ DB 化技術。情報管理・共有技術
エネルギー管理者 従業員	KPI の値に影響を与える個々の従業員の具体的な取り組みについて	—	—

	での教育		
経営者 エネルギー管理者	教育プログラムの改善 (水準向上)を促す仕 組み	従業員教育で提示する要件の記 載はあるが、教育プログラムの改 善(水準向上)を促すような仕組 みがあってもよい	—

④コミュニケーション

「コミュニケーション」については、事例紹介より従業員の省エネ意識向上の取り組みが重要との結論を得た。具体的には各個人が取るべき省エネ行動の指針の明示と各個人の目標達成度のフィードバックである。

表 2-8 フレームワークのコミュニケーションに関わる項目

視点	項目	理由	必要となる技術等
外部ステークホルダ	省エネのノウハウを有する外部企業などにおいて、企業の情報利用が促進されるためのルール策定	—	—
エネルギー管理者 従業員	管理者と従業員の双方向コミュニケーションツール (目標と達成度を個人別にブレイクダウンした双方向コミュニケーションツール(指標)が必要)	オフィスの場合には、個人の省エネ活動が重要でありその意識を持続させるためのツールが必要。	非接触カードやRFIDによる行動パターン認識
従業員	省エネ意識・自己啓発的な活動を高められること (従業員に訴えかける工夫、収集データをフィードバックするガイダンス的機能、やる気を出す仕組み、多様なユーザインタフェースが必要)	全体の状況だけを見ても、各個人がどういった行動に向かえば良いのかがわかりにくい。個人向けの省エネガイダンス的な情報を提供すれば、各自の行動改善につなげやすくなる。また、努力の継続性という観点からも、個人向け情報を整理する工夫は有効	個人の行動分析とエネルギー消費の関係を明確化するためのデータの整理手法が重要

⑤監査

「監査」については、法規制の遵守を適切に行うためのベースライン設定の必要性が挙げられた。

表 2-9 フレームワークの監査に関わる項目

視点	項目	理由	必要となる技術等
エネルギー管理者	適切なベースラインを設定する機能	—	—

3. 事例

本年度 WG では、EEMS の検討を進める上で参考とするために、外部識者招聘による講演会を開催し、EEMS に関連する各種取り組みや事例について情報を収集した。講演会の実施概要は表 3-1 の通りである。

表 3-1 講演会の実施概要

講演テーマ	概要	講演のポイント
ISO50001と事業者視点のエネルギー管理	ISO50001の規格化に向けた取り組み状況および、同規格により求められるようになる事業者のエネルギー管理について情報を収集した。	「エネルギー原単位管理」→「改善効果の見える化」→「見える化データを活用した需要と供給のミスマッチによる無駄を削減」というステップが重要
省エネ法と事業者視点のエネルギー管理	改正省エネ法の概要と、それにより事業者のエネルギー管理に求められる事項について情報を収集した。	EEMSフレームワークにおいて、「トップマネジメントレベル」、「工場長、セクションマネージャレベル」、「現場の制御だけではなく、トップマネジメントの制御」という視点を加えることも重要
IEC Energy Efficiency	Energy Efficiencyに関する具体的な取り組み、Energy Efficiencyを向上させるためのKPIの設定方法について情報を収集した。	各事業者においては、自社の状況にあった良いKPIを設定することが重要
EEMSに関連する技術 :事例 コクヨエコライブオフィス	企業のオフィスにおける省エネに着目し、コクヨエコライブオフィスの取り組みについて情報を収集した。	企業活動の効率化、質の向上、使用するリソースの削減等を通じて、「(企業活動の成果) / (消費エネルギー)」を高めることが重要
EEMSに関連する技術 :事例 東大グリーンICTプロジェクト	同プロジェクトでの「『させられる』環境対策から『やりたくなる』環境対策へ」に関する取り組みについて情報を収集した。	利用者の自律的なエネルギーマネジメントを実現するためには、組織や個人の、カイゼンPDCAサイクルの取り組みと定着が重要
EEMSに関連する技術 :事例 三菱電機	三菱電機グループにおける工場の省エネ、オフィスの省エネの取り組みについて情報収集した。	単に見える化するだけではなく、少なくとも3つの点の分析すること、データ分析結果をもとにどのような対策をするか考えることが重要

本章では、講演会で収集した情報について、制度や組織での取り組み事例の背景・目的と概要をまとめた。

3.1. ISO50001 と事業者視点のエネルギー管理¹

(1) 背景・目的

ISO50001 は、エネルギーマネジメントシステムの国際規格であり、2011年7月の発行を目指し、ISO/PC242において審議されている。2010年8月時点では、国際規格案 DIS という段階であり、これから最終国際規格案 FDIS となる予定である²。したがって、内容としてはまだ確定しておらず、変更となる可能性もある。ちなみに、同規格の議長国は米国である。

ISO50001 は、「組織のエネルギーパフォーマンス及びマネジメントシステムを継続的に改善するマネジメントシステム規格」であり、ISO9001、ISO14001 と同様のマネジメント規格

¹ 本事例における記載内容は、「JEITA 代表の ISO/PC242 国内審議委員会 WG 委員」の個人的な解釈に基づくものであり公式見解ではない。

² 2011年3月時点で最終国際規格案 FDIS が発行された。FDIS の投票時のコメントを処理し、IS 発行は2011年7月から8月頃と想定されている。IS の発効後半年以内に JIS も発行される予定である。

である。組織がエネルギーパフォーマンス改善に必要なシステムやプロセスを確立することを可能とする規格である。ここで、エネルギーパフォーマンスとは、エネルギー効率、使用、消費量やエネルギー強度等を示している。

また、同規格の効用としては、エネルギーコスト及び温室効果ガス他の環境影響の低減を誘導すること、エネルギーの効率的な使用、競争強化、温暖化防止への貢献などが挙げられる。特に、途上国の中小企業においても利用できるよう配慮されており、世界的な温暖化防止に貢献することも重要なポイントである。

(2) 制度や取り組み等の概要

<適用範囲>

地理的、文化的、社会的な相違によらず全ての組織に適用できる規格である。

<実施>

同規格の効果的な適用に際しては、各組織の最高経営層及び全ての要員のコミットが必要である。また、規格はPDCAによる継続的改善を求める。

<位置づけ>

同規格は、マネジメントシステムの審査登録、自己宣言の基準となるが、組織のコミット以上のパフォーマンスレベルを要求しない。また、同規格は、品質、環境、安全など他のマネジメントシステムとの統合が可能である。

<ISO50001 を用いたエネルギー管理>

基本要件と最高経営層の役割

同規格では下表のような基本要件と最高経営層の役割が規定されている。

表 3-2 要求事項について

	要求事項(要約)
一般 要求事項	<ul style="list-style-type: none"> エネルギーマネジメントシステムを確立し、文書化し、実施し維持すること。適用範囲と境界を決定し文書化すること。エネルギーパフォーマンスおよびマネジメントシステムの継続的改善を達成するために、要求事項をどのようにして満たすかを決定し文書化すること
経営層 の責任	<ul style="list-style-type: none"> 最高経営層は、エネルギーマネジメントシステム及びその有効性の継続的改善に対するコミットメント及び支援を以下により示すこと。 エネルギー方針確立／実施／維持。管理責任者任命。チーム設立承認。EnMS の確立から維持改善に必要な資源を用意。適用範囲と境界を特定。EnMS の重要性を組織に伝える。エネルギーパフォーマンスの目的、標的を確立。EnPI を組織に適切なものにする。長期計画にエネルギーへの配慮。結果は測定され報告されること。マネジメントレビューを実施。
役割、責任 及び権限	<ul style="list-style-type: none"> 最高経営層は適切な技能、力量を備えた者を他の責任に関係なく次の責任・権限を持つ管理責任者として任命すること。 EnMS を確立／実施／維持し継続的に改善すること。EnMS のパフォーマンスを最高経営層に報告すること。エネルギーパフォーマンスの変化を最高経営層に報告すること。責任

	者のマネジメント活動を支援する要員を特定すること。組織のエネルギー方針の実現に向け活動を計画・実施すること。有効なマネジメントの実現のために責任・権限を決定、通知すること。EnMS の運用管理の有効性を確実にするための基準、方針を決定すること。
--	--

出所：ISO/PC242 国内審議委員会 WG 委員作成資料より

エネルギーレビュー

エネルギーレビューは、「改善の機会の特定を導くデータ及びその他の情報に基づく、組織のエネルギーパフォーマンスの状態を決定すること」と定義される。要求事項の要約として下記が挙げられる。

- ・ エネルギーレビューを作成し記録し維持すること
- ・ 作成の方法論と評価基準は文書化すること
- ・ 組織は下記を行うこと
 - ✓ エネルギーの使用を測定及びその他のデータに基づき解析
 - ✓ エネルギー使用の解析に基づき、著しいエネルギー使用及び消費の領域を特定
 - ✓ 可能であれば潜在的なエネルギー資源等、エネルギーパフォーマンス向上の機会を特定、記録
- ・ エネルギーレビューは定められた時間間隔で更新するとともに、設備、装置、システム又はプロセスの主要な変更の際に更新すること

上記のような実施事項の中で、各種のツールを用いて現状を分析し、著しいエネルギー使用の特定と、関連する変数の特定がポイントとなる。

エネルギーベースラインの決定

エネルギーベースラインは、「エネルギーパフォーマンスの比較の根拠を提供する定量的な基準」と定義される。要求事項の要約として下記が挙げられる。

- ・ エネルギーベースラインは、適切なデータ期間を考慮し、初期エネルギーレビューの情報を用いて確立すること
- ・ ベースラインの調整は、次の条件で行うこと
 - ✓ EnPI が組織のエネルギー使用を反映しなくなった場合
 - ✓ プロセス、操業パターン又はエネルギーシステムに大きな変更があった場合
 - ✓ あらかじめ定めておいたベースラインの調整方法による場合

EnPI (Energy Performance Indicator) の決定

EnPI は、「組織によって決められたエネルギーパフォーマンスの定量的な値、または評価」と定義される。要求事項の要約として下記が挙げられる。

- ・ エネルギーパフォーマンスの監視と測定に適切な EnPI を特定すること
- ・ EnPI の定義及び更新に用いた方法は記録し定期的にレビューすること
- ・ EnPI はレビューされ、定期的にエネルギーベースラインと比較すること

なお、EnPI は、継続的に改善を行っていくと、部署ごと、設備ごと、生産品目ごと等と、より詳細化が必要となる。

エネルギー管理方針の決定

エネルギー方針とは、「トップマネジメントによって公式に表明されたエネルギーパフォーマンスに関する組織の全体的な意図及び方向付け」と定義される。要求事項の要約とし

て下記が挙げられる。

- エネルギーパフォーマンスの改善を達成するための組織のコミットメントを明言すること
- トップマネジメントはエネルギー方針が以下になることを確実にすること
 - ✓ 組織のエネルギー使用の性質、規模などに適切で、継続的改善へのコミットメントを含み、目的と目標を達成するための情報や資源が確実に入手できるようにするコミットメントを含み、法的及びその他の要求事項を遵守するコミットメントを含み、エネルギー目的と目標を設定しレビューするための枠組みを用意し、エネルギー効率に優れた製品やサービスの購入を支援し、組織内で文書化され、周知され、理解され、定期的にレビューされ必要に応じて更新されていること

また、目的、目標及び行動計画としての要求事項の要約として下記が挙げられる。

- 組織内の関連する組織やレベルにおいて文書化したエネルギー目的と目標を確立し、実施し、維持すること。エネルギー目的と目標はエネルギー方針に整合し、目標は目的と整合すること
- 目的と目標をレビューするときには、法的等の要求事項、著しいエネルギー使用、エネルギーパフォーマンスの改善の機会を考慮すること。財務、事業の状況、技術上の選択肢、利害関係者の見解に配慮すること
- 目的と目標を達成するための行動計画を確立し、実施、維持すること。行動計画は、責任の指定、個別目標を達成するための方法とタイムフレーム、エネルギーパフォーマンスの改善を評価するための手法、行動計画の結果を検証するための手法の記述を含めること
- エネルギーマネジメント行動計画は文書化され期待した間隔で更新すること

運用管理の規則決定

運用管理の規則決定に関する要求事項の要約として、下記が挙げられる。

- 力量、教育訓練、自覚→ISO14001と同様
- 文書→ISO14001と同様
- 運用管理
 - ✓ 著しいエネルギー使用に関する運用が、特定された条件で準備及び実行されることを確実にするために、エネルギー方針、目的、目標と整合するように特定し計画すること
- コミュニケーション
 - ✓ 役割に応じたコミットメント、自覚、理解をさせること。EnMSの改善提案を誰にでもさせることを含む。外部へのコミュニケーションをとるかを決定し、取るなら方法を確立すること
- 設計
 - ✓ 設備、システム、プロセスについてエネルギーパフォーマンスに著しい影響を与える新設、変更、修繕の設計をする際には改善機会を考慮すること。評価の結果は仕様作成、設計、調達に組み込むこと
- エネルギーサービス、製品、機器及びエネルギーの調達
 - ✓ 著しいエネルギーに影響を及ぼす／可能性がある調達の場合、エネルギーパフォーマンスに基づいて評価されることをサプライヤに伝えること。評価の基準を定義すること。

パフォーマンスの評価

パフォーマンスの評価としては、EnPIの確認（計測）と施策フィードバックが求められる。

また、監視、測定、解析については、要求事項の要約として下記が挙げられる。

- エネルギーパフォーマンスを決定する運用の鍵となる特性について、計画された時間間隔で、監視、測定、分析すること
- 鍵となる特性は少なくとも下記を含むこと
 - ✓ エネルギーレビューのアウトプット
 - ✓ 著しいエネルギー使用
 - ✓ 著しいエネルギー使用と消費に、関連する変数の関係
 - ✓ EnPI

- ✓ 目的と目標を達成する行動計画の有効性
- 鍵となる特性の監視、測定結果は記録すること

チェックとアクション

内部監査については、要求事項概要は ISO14001 と同等である。「不適合、是正、予防措置」については、要求事項概要は ISO14001 と同等であるものの、注意点としては、EnPI の数値目標の不達成は不適合となることが挙げられる。

また、マネジメントレビューについては、要求事項概要は ISO14001 と同等であるが、インプットには、エネルギーパフォーマンスのレビュー、EnPI、次期予測などが含まれる。そのアウトプットには、エネルギー方針の変更、EnPI の変更、目的・目標の変更などが含まれる。

継続的な改善

当初は、省エネ法相当のエネルギー原単位管理で十分である。しばらくは、運用の工夫（電灯消灯）や、設備単位のリプレースで対応が可能である。

しかし、次のステップでは「見える化」が必要である。無駄に見えるように、競争原理を活用できるように、改善効果が見えるようにすることが重要である。ポイントは下記の通り。

- エネルギーに関連する「変数」の選択が無駄の発見のためのポイント
- 設備ごと、装置ごとの EnPI（原単位等）連続計測が有効
- 部署ごとの EnPI の公開、相互比較などの競争原理が有効
- 改善効果が見えるようにして達成感

さらに次のステップとして、上述のステップで収集した見える化データを活用し、「設備同士の相互最適運転」など、需要と供給のミスマッチによる無駄を削減することが重要となる。

<海外での取り組み>

米国事例

米国では、ISO50001 を利用したエネルギーマネジメントのスキームを国家として整備中である。認証と支援の体制が充実していることが特徴である。

具体的には、基盤となるツールとして ISO50001 を利用した SEP (Superior Energy Performance) が準備されている。エネルギー原単位改善の条件を満たした組織は、ANSI より認証を取得できる。また、Save Energy Now LEADER program として、10 年で 25%以上の原単位改善を誓約すると ISO50001、SEP 取得のため DOE (エネルギー省) から技術支援を受けられる。

ANSI 認定の ISO50001 認証の概要として、認証方法には「自己宣言」「リモート認証（書

類、電話ベース)」「オンサイト認証 (ANSI 認定)」があり簡便な方法となっている。エネルギー原単位改善度合いとしては、シルバー・ゴールド・プラチナの3つのくくりがある。なお、認証時のエネルギー原単位改善の仕方により2種類の方法がある。1つ目は、3年間のエネルギー原単位の改善率を判断する「Energy Intensity Pathway」。2つ目は、10年間のエネルギー原単位改善の総合的スコアで判断する「Mature Energy Pathway」。

欧州事例

(EN16001:2008)

2009年7月に発行しており、ISO14001をベースに開発された規格である。その特徴は、エネルギー方針の公開、エネルギー側面による管理対象の特定にある。EN16001の認証は欧州各国で進んでいる。英国では、2009年11月時点で10以上の認証機関が準備を完了し、登録を開始している。

(ISO50001)

2011年のISO50001発行後には、EN16001からISO50001への移行が進む。英国のBSIでは、規格発行後に認証事業を正式に開始予定。

日本と欧米との違いとして留意すべき点は、日本では「相対値管理指向、原単位管理が主体であり、長年の実績がある」のに対して、欧米では「絶対値管理指向であり、消費量の予測値と実績値の比較管理が主体である」ことである。

<ITの貢献、可視化の次のステップ>

EnPIの可視化の目的は、「最高経営層」、「エネルギー管理責任者と管理チーム」、「著しいエネルギー使用の設備等の管理者、オペレータ」、「各組織の責任者、メンバー」ごとに表3-3の通り。

表 3-3 EnPIの可視化の目的

主体	可視化の目的
最高経営層	組織全体のEnPIの管理状態の把握
エネルギー管理責任者と管理チーム	各階層における適切なEnPIの選択と妥当性の確認。組織全体のEnPIやエネルギー使用目的別、組織別のEnPIの監視、分析と対策確認
著しいエネルギー使用の設備等の管理者、オペレータ	「設備等の生産量や運転状態」と「エネルギー使用」の相関を考慮した管理指標(EnPI)の維持確認と逸脱の把握、原因究明、対策確認。設備等の維持管理
各組織の責任者、メンバー	同等組織と自組織のEnPIの相互比較と対策確認

出所：ISO/PC242 国内審議委員会WG委員作成資料より

特に、EnPIの選択が重要な課題であり、EnPIの目的が「無駄の発見」、「対策効果の確認と維持」であることを認識し、各利用者の目的に合わせた可視化が必要となる。

可視化の次のステップを考える際には、省エネルギー対策には3つの段階があることを理解することが重要である。可視化段階ではEnPIを駆使して無駄を見つけ対策を実施することにとどまるが、さらに進むには、全体最適の視点で需要と供給の合理性を見直す必要がある。

表 3-4 可視化のステップ

段階	ポイント
省エネタイプ設備へのリプレース	部分負荷では高いエネルギー効率が得られないこともあり、一定の効果は出るが期待した効果が出ないことが多い
可視化で無駄発見&対策	無駄が見つければ対策は容易なことが多い。部署ごと、設備ごと、生産品目ごとなど、詳細化したEnPIの変動要因を探れば無駄を発見できる
全体最適の視点での改修	需要と供給のギャップ解消で最大効果。「連携制御」の導入が効果的である。

出所：ISO/PC242 国内審議委員会 WG 委員作成資料より

3.2. 省エネ法と事業者視点のエネルギー管理

(1) 背景・目的

我が国の省エネルギーの法律の歴史は古く、始めて施行されたのが昭和26年（1951年）の「熱管理法」である。石炭の有効利用を目的に施行された法律である。その後、昭和47年（1972年）に省エネルギーセンターの前身である（社）日本熱エネルギー技術協会が設立され、昭和53年（1978年）に現在の（財）省エネルギーセンターが設立されている。そして、昭和54年（1979年）に、石炭だけではなく電気の取り組み等も含めて、制定されたのが「省エネ法」である。

過去を振り返ると、省エネ法は、3～5年で改正が繰り返されてきた法律である。比較的大きな改正が行われたのが、平成17年（2005年）に改正、平成18年（2006年）に施行された法律であり、従来、熱と電気の管理が別々に求められていたが、この改正により、熱源と電気の一体管理が求められるようになった。そして、平成20年（2008年）に成立し、平成22年（2010年）に施行された改正省エネ法は、過去の中で最も大きな改正が行われた。

この改正省エネ法とあわせて、温暖化対策基本法、エネルギー基本計画なども出てきており、CO₂の25%削減という目標のもとで、これから省エネ法をめぐる政府の規制が厳しくなってくると考えられる。

また、次の省エネ法の改正の検討も始まっている。温暖化対策基本法が成立すると、排出権取引の制度を検討しなくてはならず、排出権取引により省エネ法を抜本的に改正しなくてはならないためである。

省エネ法改正の概要として、エネルギー使用の合理化に関する法律の目的は、「我が国のエネルギーをめぐる経済的社会的環境に応じた燃料資源の有効な利用の確保」「工場・建築物・機械器具についてのエネルギーの使用の合理化を総合的に進めるための措置を講じること」にある。したがって、エネルギーを使用して事業を営む者はすべて法に基づき適切なエネルギー使用の合理化に努めなければならない、ということになっている。

なお、省エネ法におけるエネルギー消費量把握率としては、平成20年度のエネルギー管理指定工場数で言えば、工場数14,783（第1種7,797、第2種6,986）である。また、省エネ法に基づくエネルギー使用量は原油換算で200,555千kl（除くエネルギー転換部門）であり、その内訳は、第1種186,426（そのうち製造部門が180,850、90.2%）、第2種14,129（そのうち業務部門が19,705、9.8%）である。

最終エネルギー消費に対する省エネ法での把握率としては、総合エネルギー統計による最終エネルギー消費に対する割合で、産業部門約96%、業務部門約14%となっている。

(2) 制度や取り組み等の概要

<適用範囲>

法規制分野

省エネ法規制分野には大きく分けて次の4つの分野がある。

- ・ 工場・事業場
- ・ 輸送
- ・ 住宅・建築物
- ・ 機械器具

「工場・事業場」については、省エネ法発足当時から対象とされている分野であり、ほとんどのエネルギーが産業界、特に製造業において消費されていたという背景がある。「輸送」については、貨物・旅客の輸送を業として行う者としての輸送事業者、及び自ら貨物を輸送事業者へ輸送させる者としての荷主が対象となる。「住宅・建築物」に関しては、建築時、大規模改修時の際に対象となる。「機械器具」に関しては、エネルギーを消費する機械器具の製造事業者・輸出事業者が対象となる。

改正省エネ法での対象は、主に「工場・事業場」である。

省エネ法の対象エネルギー

平成22年に施行された省エネ法の対象エネルギーは、「燃料」、「熱」、「電気」の3つである。なお、基本的には、省エネ法は化石燃料に関するエネルギーの合理化を目的としているため、廃棄物発電等は省エネ法の対象外であり、また風力発電・太陽光発電などの再生可能エネルギーも対象外である。

表 3-5 省エネ法の対象エネルギー

対象エネルギー	要求事項(要約)
燃料	<ul style="list-style-type: none">・ 原油及び揮発油(ガソリン)、重油、その他石油製品・ 可燃性天然ガス・ 石炭及びコークス、その他石炭製品・ 燃焼その他の用途に供するもの
熱	<ul style="list-style-type: none">・ 上記に示す燃料を熱源とする熱(蒸気、温水、冷水など)
電気	<ul style="list-style-type: none">・ 上記に示す燃料を起源とする電気

出所：ECCJ 講演資料より

<実施>

改正省エネ法は、平成20年(2008年)に過去の中で最も大きな改正が行われた法律であり、平成22年(2010年)4月に施行された。

<位置づけ>

省エネ法はエネルギー使用量を制限するといった規制法ではなく、エネルギーを使用し

事業を営む事業者が、限られた化石エネルギーを効率的に利用しエネルギー使用の合理化を推進しようとするものである。

<省エネ法に基づいたエネルギー管理>

省エネ法におけるエネルギー使用量のとらえ方

省エネ法において定期報告書で報告するエネルギー使用量とは、購入蒸気（熱）、燃料、購入電力であり、原材料として使う化石エネルギーは対象とならない。ただしこれが製品製造過程で副生エネルギーを発生しこれを使用した場合は対象としなければならない。

なお、原単位については、エネルギー使用量から外販エネルギーを控除し、エネルギー使用に密接に関係する項目（例えば生産量など）で除して算出し、報告することが求められている。

事業者として留意すべき点

（工場・事業場単位から事業者単位規制へ）

今般の改正省エネ法では、工場・事業場単位から事業者単位規制となったことがポイントである。つまり、従来の工場等事業場単位の規制に加え、事業者単位のエネルギー管理を導入することにより、事業全体のエネルギー使用効率改善を行うことが求められるようになった。

求められる管理体制としては、事業全体のエネルギー管理を統括する者を、経営責任を有する者の中から選任（管理統括者）することが挙げられる。また、エネルギー管理を統括する者を実務面から補佐し、エネルギー管理の実務を担当する者を本社等から選任（管理企画推進者）することが挙げられる。

求められる実績報告等については、事業者毎に毎年、前年のエネルギー使用実績とエネルギー使用合理化に関する中長期計画を取りまとめ、国に報告することが挙げられる。

なお、事業者単位規制となることで、事業者が特に留意すべきポイントをまとめると下記である。

- ・ 事業者として管理すべき範囲
- ・ オーナーとテナント問題
- ・ 管理統括者等の役割

事業者単位の規制は、法人格単位で管理することが求められるということであり、例えば関連会社であっても法人格が別であるならば、別途管理することになる。

（連鎖化事業者規制）

連鎖化事業者として指定される可能性のある事業としては、下記が挙げられる

- | | |
|------------|--------------|
| ・ コンビニチェーン | ・ 写真店 |
| ・ 外食チェーン | ・ ガソリンスタンド |
| ・ クリーニング | ・ リサイクルショップ |
| ・ 塾 | ・ スポーツクラブ など |
| ・ 理容、美容 | |

なお、具体的な連鎖化事業者の定義は下記である。

【特定連鎖化事業者の指定】

定型的な約款に基づき特定の商標、商号を使用させ商品の販売、役務の提供を指定し経営を指導している事業であり、加盟するものが、設置しているエネルギー使用の条件に関する事項として省令で定めるものに係る定めがあるものを行うものうち、年度エネルギー使用量が政令で定める数値以上のもの。

つまり、フランチャイズチェーンのような事業形態に関して、エネルギー使用の条件として、本部と加盟店の間で何らかの管理上の約款が約款上に規定されている場合、本部は加盟店の状況を含めて国に報告しなくてはならないということである。

なお、連鎖化事業者規制として、事業者が特に留意すべき点は下記である。

- ・エネルギー面からの本部の加盟店へのかかわり
- ・事業者として管理すべき範囲
- ・オーナーとテナント問題
- ・管理統括者等の役割

(ベンチマーク規制)

従来から、国が求めていたのは工場・事業場毎のエネルギー使用合理化推進であり、この進展度合いを原単位の対前年度比により、国がチェックしていた。平成 22 年施行の省エネ法改正により、これを事業者単位で実施することとなった。

上記に加え今回新たに規定されたベンチマークとは、同様の業種毎に設定した基準となる数値と比較することにより、省エネの取り組みが遅れている事業者に、一層の省エネ推進を促そうとすることが狙いである。逆に言えば、従来まで合理化を積極的に進め、省エネ改善余地が少なくなった事業者に対して、必ずしも 1%の原単位改善が達成できなくても正しい評価を与えることができる仕組みとも言える。

エネルギーを多く消費している産業から、エネルギー指標を設定しており、平成 22 年時点では 10 事業分類で設定されている。表 3-6 は、経済産業省告示第 66 号、69 号により示されているエネルギー指標である。

表 3-6 ベンチマーク指標

区分	事業	ベンチマーク指標	目指すべき水準
1 A	高炉による製鉄業（高炉により鉄鉄を製造し、製品を製造する事業）	高炉による鉄鋼業におけるエネルギー使用量を粗鋼量にて除した値	0.531k1/t 以下
1 B	電炉による普通鋼製造業（電炉により鉄鉄を製造し、圧延鋼材を製造する事業（高炉による製鉄業を除く））	①と②の合計量 ①電炉により粗鋼を製造する過程におけるエネルギー使用量を粗鋼量にて除した値 ②鋼片から普通鋼圧延鋼材を製造する過程におけるエネルギー使用量を圧延量にて除した値	0.143k1/t 以下
1 C	電炉による特殊鋼製造業（電炉により鉄鉄を製造し、特殊鋼製品（特殊鋼圧延鋼材、特殊鋼熱間鋼管、冷けん鋼管、特殊鋼冷間仕上鋼材、特殊鋼鋸鋼品、特殊鋼鋸鋼品）を製造する事業（高炉による製鉄業を除く））	①と②の合計量 ①電炉により粗鋼を製造する過程におけるエネルギー使用量を粗鋼量にて除した値 ②鋼片から特殊鋼製品（特殊鋼圧延鋼材、特殊鋼熱間鋼管、冷けん鋼管、特殊鋼冷間仕上鋼材、特殊鋼鋸鋼品、特殊鋼鋸鋼品）を製造する過程におけるエネルギー使用量を出荷量（販売量）にて除した値	0.36k1/t 以下
2	電力供給業（電気事業法第2条第1項第1号に定める一般電気事業又は同項第3号に定める卸電気事業のうち、エネルギーの使用の合理化に関する法律第2条第1項の電気を供給する事業）	当該事業を行っている工場の火力発電設備（低稼働のもの等を除く。）における定格出力の性能試験により得られた発電機熱効率を定格出力の設計効率で除した値を各工場の定格出力によって加重平均した値（熱効率標準化指標） 当該事業を行っている工場の火力発電設備における発電機電力量の合計値を、その合計値を発生させるのに要した燃料の保有発熱量（高位発熱量）で除した値（火力発電熱効率）	熱効率標準化指標において 100.3%以上
3	セメント製造業（ポルトランドセメント（JIS R 5210）、高炉セメント（JIS R 5211）、シリカセメント（JIS R 5212）、フライアッシュセメント（JIS R 5213）を製造する事業）	①から④の合計量 ①原料工程におけるエネルギー使用量を原料部生産量にて除した値 ②焼成工程におけるエネルギー使用量を焼成部生産量にて除した値 ③仕上げ工程におけるエネルギー使用量を仕上げ部生産量にて除した値 ④出荷工程等におけるエネルギー使用量を出荷量にて除した値	3891MJ/t 以下
4 A	洋紙製造業（主として木材パルプ、古紙その他の繊維から洋紙（印刷用紙（造工印刷用紙及び製版工印刷用紙を除く）、情報用紙、包装用紙及び新聞用紙）を製造する事業（雑紙等の特殊紙及び衛生用紙を製造する事業を除く））	洋紙製造工程におけるエネルギー使用量を洋紙生産量にて除した値	8532MJ/t 以下
4 B	板紙製造業（主として木材パルプ、古紙その他の繊維から板紙（段ボール原紙（ワイナー及び巾しん紙）及び紙器用板紙（白板紙、黄板紙、色板紙及びチップボールを含む））を製造する事業（建材原紙、電気絶縁紙、食品用原紙その他の特殊紙を製造する事業を除く））	板紙製造工程におけるエネルギー使用量を板紙生産量にて除した値	4944MJ/t 以下
5	石油精製業（石油の備蓄の確保等に関する法律第2条第5項に定める石油精製業）	石油精製工程におけるエネルギー使用量を、当該工程に含まれる装置ごとの運転量に当該装置ごとの世界平均等を踏まえて適切であると認められる係数を乗じた値の総和として得られる標準エネルギー使用量にて除した値	0.876 以下
6 A	石油化学系基礎製品製造業（一貫して生産される誘導品を含む）	エチレン等製造設備におけるエネルギー使用量をエチレン等の生産量（エチレンの生産量、プロピレンの生産量、ブタン-ブタン留分中のブタジエンの含有量及び分解ガソリン中のベンゼンの含有量の和）にて除した値	11.9 GJ/t 以下
6 B	ソーダ工業	①と②の合計量 ①電解工程におけるエネルギー使用量を電解槽出力カセイソーダ重量にて除した値 ②濃縮工程における蒸気使用熱量を液体カセイソーダ重量にて除した値	3.45 GJ/t 以下

出所：ECCJ 講演資料より

第 66 号、69 号では、製造部門のベンチマーク指標が告示されているが、業務部門も検討されている最中であり、今後製造部門と同様にベンチマーク指標が告示されることとなるであろう。

なお、ベンチマーク規制として、事業者が特に留意すべき点は下記である。

- ・対象業種、指標とすべき項目
- ・原単位管理とベンチマークとの関係

（共同省エネ事業の評価）

従来は、エネルギーを閉じられた事業所内で有効に活用することが求められていたが、一定以上の省エネの取り組みが進むと、1 社だけではなく複数社共同で、また大企業が中小企業とともに省エネルギーを推進することが必要である、という考えに基づき検討されている。このような取り組みを実施しているところを評価するという趣旨である。

(判断基準構成、内容の改正、技術指針の改正)

企業がエネルギーの合理的な使用を推進する際の基準として、政府が定めた「エネルギーの使用の合理化を測るための基準」がある。これは、熱管理法の時代から定められており、今回の省エネ法改正の際に抜本的に改正された。

事業者としての判断基準を設けたこと、今回の改正の背景である「業務部門のエネルギー使用量が増加してきた」ことに鑑み業務部門にとってエネルギー使用の合理化を進めやすいような判断基準を提示すること、従って事務所部門と工場部門を分けて設定したことがポイントである。また、特定事業者になると中長期計画を作成する必要があるが、その際の「技術的な指針」も国より告示として提示された。

<事業者視点でのエネルギー管理>

事業者として行わなければならないこと

省エネ法第3条第1項に基づき、経済産業大臣は、エネルギー使用合理化のための基本方針を定めることになっている。事業者はまずこれを認識しなければならない。平成21年3月経済産業省告示第57号に、例えば次のような記載がある。

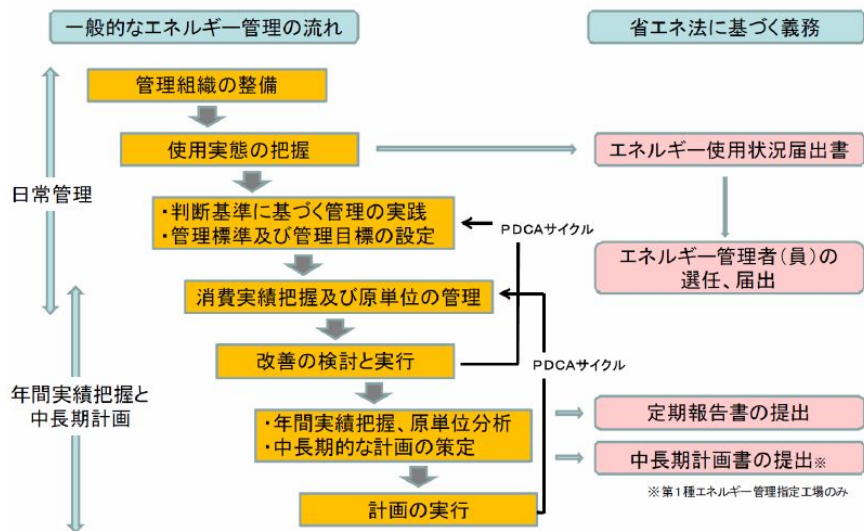
【工場等において事業を行うもの】では、例えば次の項目

- ・実態の把握
- ・取組方針の設定
- ・管理体制の整備
- ・設備の新設、更新、改造にあたってより効率的な使用が可能となるものを導入
- ・判断基準に基づく適切な管理の実施
- ・社外をふくめた効率的なエネルギー利用の検討

【建築物所有者等】では、例えば次の項目

- ・エネルギー設備の設置、更新、改造によるエネルギー消費効率の向上
- ・建築物、空調設備等の適正な維持、改修の検討
- ・管理標準の設定等による適切な管理、テナントとの連携エネルギー管理体制の充実

事業者が取り組むべき一般的なエネルギー管理の流れは図 3-1 の通りである。事業者がエネルギー使用合理化を推進するにあたって理解しなければならない事項としては、上記基本方針と平成21年3月経済産業省告示第66号で規定された“工場等に関するエネルギー使用合理化のための判断の基準”の前段部分に新たに規定された6項目である。これらを踏まえた適切なエネルギー管理が求められる。



出所：ECCJ 講演資料より

図 3-1 事業者が取り組むべき一般的なエネルギー管理の流れ

【工場等に関するエネルギー使用合理化のための判断の基準】

I エネルギーの使用の合理化の基準

<前段>

- 事業者が設置している工場等及び連鎖化事業者加盟社の工場等全体を俯瞰して取り組む内容として下記アからカまでの6項目を規定。
 - 工場等单位、設備単位のエネルギー管理徹底
 - 連鎖化事業者に対し加盟店を含めたエネルギー使用合理化を求める。

- ア. 事業者はその設置している工場等について、全体として効率的かつ効果的なエネルギーの使用の合理化を図るための管理体制を整備すること。
- イ. ア. で整備された管理体制には責任者(特定事業者及び特定連鎖化事業者にあつては「エネルギー管理統括者」)を配置すること。
- ウ. 事業者は、その設置している工場等におけるエネルギーの使用の合理化に関する取組方針(以下「取組方針」という。)を定めること。その際、取組方針には、エネルギーの使用の合理化に関する目標、設備の新設及び更新に対する方針を含むこと。
- エ. 事業者は、その設置している工場等における取組方針の遵守状況を確認するとともに、その評価を行うこと。なお、その評価結果が不十分である場合には改善を行うこと。
- オ. 取組方針及び遵守状況の評価手法については、定期的に精査を行い必要に応じ変更すること。
- カ. 事業者は、その設置している工場等に係る名称、所在地及びエネルギー使用量を記載した書面を作成、更新、保管することにより、状況を把握すること。

II エネルギーの使用の合理化の目標及び計画的に取り組むべき措置

<前段>

- 原単位1%削減努力
- 指標(ベンチマーク)達成に向けての努力
- 連鎖化事業者努力義務、
- 賃貸事業者と賃借事業者が共同して省エネに取り組む、費用の負担方法の仕組みの構築に努力

なお、「工場等に関するエネルギー使用合理化のための判断の基準」は、「基準」と「目

標」という大きく分けて2つの部分から構成されており、「基準」の部分は絶対に守らなくてはならない事項、「目標」の部分は中長期的な方向性としての目標を示す部分である。

ここで注意すべき点は、エネルギー使用合理化に関する上記の規定は、特定事業者だけが遵守するだけでなく、エネルギーを使用し事業を営む者はすべて含まれるということである。

エネルギー使用量の把握

(エネルギー使用量を把握しなければならない工場等)

改正省エネ法においては、工場等におけるエネルギー使用量を把握しなければならないとされている。工場等については「一定の区画を所有または賃貸契約によって借り受け、継続的かつ反復的に事業活動を行っているところ」と定義されている。

ここで、エネルギー使用量を把握する主体について、勘違いしやすい例として、コンビニエンスストアに配置されているATMの例が挙げられる。つまり、銀行がエネルギーの管理を行うべきなのか、それともコンビニエンスストアが管理すべきなのかといった点が挙げられる。この例については、「一定の区画を所有または賃貸契約によって借り受けていない」ため、コンビニエンスストアがエネルギーの管理を行うこととなる。

上記以外にも、工場内に設置されている自動販売機、複数台のATMが設置されたビルの一角など、エネルギー使用量を把握する主体が誰なのかが判断しにくい例もあり、判断しにくい場合は各経済産業局に問い合わせる必要がある。

(事業者単位規制による使用量把握方法の変更)

改正省エネ法により、すべての事業所について、エネルギーの管理を行い、それらをすべて取りまとめ、定期報告として国に報告する必要がある。ただし、その際に、工場内に子会社等が運用する部分等がある場合、また業務部門がテナントとしてオーナーがいるビルに入居している場合などについて、多少事情が異なる。

前者に関しては、特例措置があり、従来から工場全体の管理を一体として実施しており、子会社等はその工場の一部を借り受けているだけという取り決めがあれば、親会社が一体としてエネルギーの管理を行うことで良い。ただし、親会社で一体として管理しなくてはならないということではないため、親会社と子会社等で別々に管理しても問題はない。

後者については、従来、テナントがエネルギー管理権限（機器の更新をする権利が在り、かつ計量することが出来る）のある機器を有している場合、ビルの全エネルギー使用量から、テナントがエネルギー権限を有する機器のエネルギー使用量を控除したエネルギー使用量が、ビルのオーナーがエネルギーの管理を行うべき対象であった。一方、テナント側はエネルギー管理権限を有する機器のエネルギー管理のみを行えばよかった。

今回の改正省エネ法においては、ビルのオーナー側には変更はないが、テナント側では、使用しているものの、エネルギー管理権限がない機器（例えば、テナントの照明やコンセ

ント等)も含めて管理することとなった。また、ビルの共用部分についても、従来はテナント側において管理する必要がなかったが、適切な比率(占有面積等の比率から算出、実績 吸排気温度差等から推定等によりテナント部を特定)を乗じてテナント側で一定の割合で管理することが求められるようになった。このように、オーナーとテナントにおいて、共用部分においては、エネルギー使用量の把握が二重計上されることとなった。これは、ビルの省エネは、オーナーのみ、テナントのみでは、なかなか進まないという考えに基づいている。

なお、業務用ビルの省エネ推進にあたり、オーナー側・テナント側から意見対立もあり、その解消のためには「テナントエリアのエネルギーがどのくらいなのかを把握できる計量システムを整備し、テナントに提示すること」、「テナントのエネルギー消費量に応じた料金請求を行うシステムに改善すること」の必要性が唱えられている。具体的には、「①安価な計量システムとエネルギー使用がモニタできるナビゲータ」「②共用部分、特にセントラル空調方式におけるテナント部分のエネルギー量をある程度の精度で簡易に算出できるシステム」などが求められている。

国では、計量システムを整備することが重要だとし、オーナーからテナントへのエネルギー使用量に関する情報提供を規定し、さらにエネルギーの計量を整備するような支援を実施していくことを考えている。なお、計量が整備されるまでは、簡易な計算により使用量を算出する方法をとっても良いということになっている。

エネルギー原単位管理 9つのポイント

エネルギー原単位とは、ある期間のエネルギー使用量合計を、この使用量と密接に関係する値で除した数値であり、事業者のエネルギー使用効率をあらわす指標と考えれば良い。

省エネ法ではエネルギー使用合理化に関する基本方針の中で、エネルギー消費原単位の改善を求めている。具体的には事業者は、事業者全体又は工場等毎に中長期的に、年平均1%の原単位改善を目標としなければならない。

以下に、エネルギー原単位管理 9つのポイントを示す。

- ①エネルギー消費効率を把握するには原単位管理しかない
- ②原単位を定期的、継続的に管理することによりエネルギーの使い方の巧拙、省エネ推進のポイント、省エネ対策の効果、設備の異常、操業上の変化などがわかる。
- ③原単位管理は、国への報告を求められている事業者単位、工場・事業場単位だけではない。例えば、重要度に応じ主要プロセス単位、設備単位、フロア単位などきめ細かい管理が有効であり、管理頻度と共に基準化しこれに基づく管理が必要。
- ④原単位の分母として何が最も適切かを探し出すことが事業者としてまず行うべきこと。これには自社のエネルギー使用実態と需給構造を分析することが重要。今回、事業者単位規制となったことに伴い、複数の製品あるいは事業を展開している事業者にとっては何を原単位の分母にするべきか迷うところ。
- ⑤国は事業者の原単位の絶対値ではなく、対前年に対するどの程度改善されたかを見る。従って複数の性格の異なる事業を展開しているため事業者全体の原単位が出せない場合は、事業分類ごと(日本標準産業分類4桁コード)に算出した原単位の対前年度比変化率を事業分類ごとのエネルギー使用量で加重平均した値を報告すればよい。
- ⑥法的には原単位の分母に何を使用するかの規定はない。補正数値であってもかまわない。

- ⑦一度設定した原単位の分母は毎年かえるべきではない。やむを得ず変えた場合には国への報告(定期報告書)において、この理由を記載すると共に、過去にさかのぼった修正が必要である。
- ⑧国へ報告する原単位計算において使用するエネルギー使用量は外販エネルギーは控除できる。
- ⑨原単位結果は正しく分析し、対前年との変化要因を定期報告で説明することが必要である。年に1度の国への報告のためだけでなく、較差要因分析を定常化しエネルギー使用合理化の道筋をつけることが何よりも重要。

(原単位較差要因分析)

原単位は、どんなにエネルギー使用量と密接に関わる分母を選んだとしても、完全な原単位はなく、その時の生産条件などさまざまな要因で原単位は変化する。そのため、自身のエネルギー管理をする上でも、国への報告の際にも、十分な分析をすることが必要である。表 3-7 のような点について、分析を行うことがポイントとなる。

表 3-7 分析のポイント

ポイント	概要
生産条件変化	・ 量の変化、品種または数の変化
操業に係る体制や条件	・ 稼働体制の変化、営業、操業時間の変化、原材料の変化、故障率の変化等
外的要因の変化	・ 気温、湿度の変化、環境条件の変化
エネルギー管理に関する変化	・ エネルギー運用の変化(管理体制や運用の強化等)、省エネ対策の実施(ハード、ソフト両面)

出所：ECCJ 講演資料より

(各業種で採用している原単位分母の例)

各業種で採用している原単位分母について、採用の多い例としては、表 3-8 が挙げられる。

表 3-8 各業種の原単位分母の例

業種	原単位分母
百貨店、総合スーパー	延べ床面積×営業時間(81%) 延べ床面積(17%)
自動車部品製造業	売上金額(53%) 生産個数、台数(24%) 生産トン数(14%)
一般病院	延べ床面積(73%) 床面積(5%) 病床数(4%) 空調面積(3%)
集積回路製造業	生産個数、枚数(49%) 売上金額(37%) ウエハ面積(3%)

出所：ECCJ 講演資料より

＜エネルギー管理に対するIT技術への期待＞

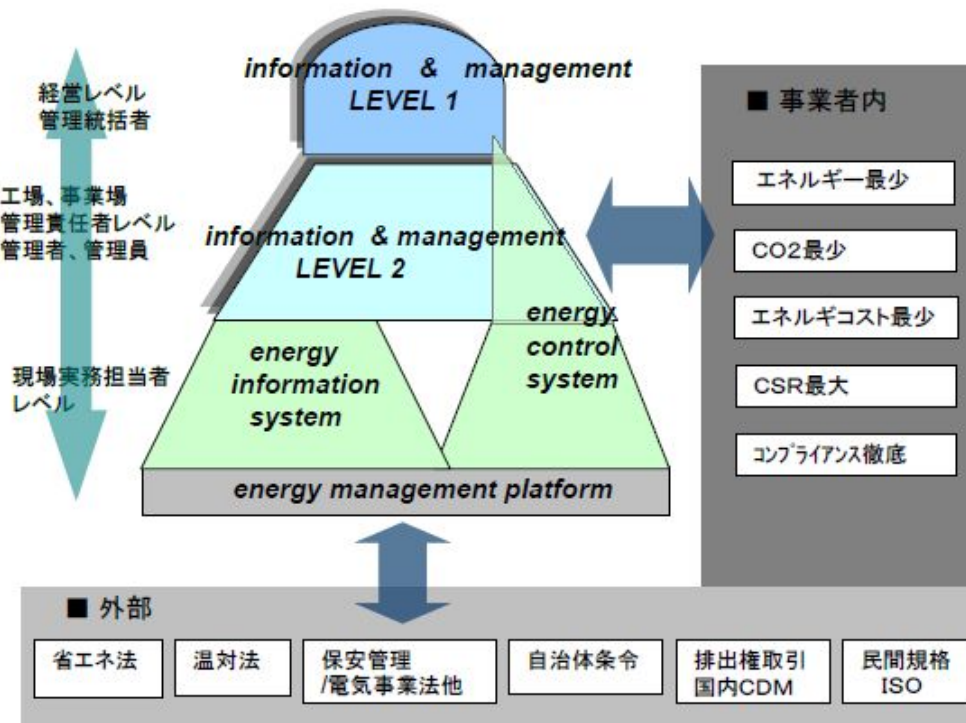
図 3-2 に示す通り、技術検討委員会において策定された EEMS フレームワーク（energy information system、energy control system、energy management platform）に加え、次のような部分も必要だと考えられる。

- ・ information & management Level 1（トップマネジメントレベル）
- ・ information & management Level 2（工場長、セクションマネージャレベル）
- ・ energy control system（現場の制御だけではなく、トップマネジメントの制御も）

特に、会社によっては、会社全体での集中のデマンド管理をしているところもある。また将来、CO2 の取引、エネルギーの外販、エネルギーの市場調達にも取り組まなければならない。このことを考えると、工場長、セクションマネージャレベルだけではなく、トップマネジメントレベルでの最適制御も必要となってくると思われる。

これらの仕組みを通じて、事業者内で、エネルギー最少、CO2 最少、エネルギーコスト最少、CSR 最大、コンプライアンス徹底に取り組んでいくことになる。

さらに、外部とのかかわりの中で、エネルギーの使用効率に関して「保安管理」が重要となってくる。この「保安管理」の部分フレームワークとしても取り組むことが重要だと考える。設備の管理と一体となり、エネルギーの管理を行っていくことが重要だと考える。



出所：ECCJ 講演資料より

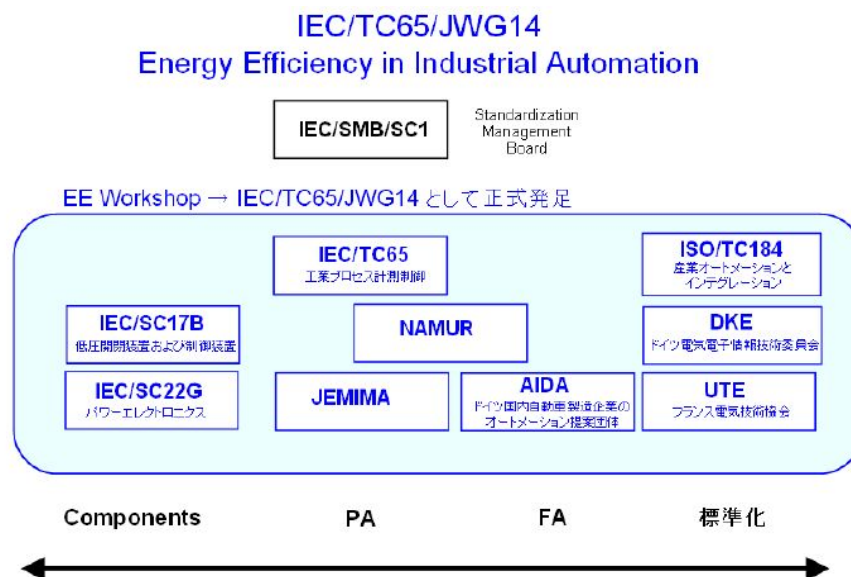
図 3-2 フレームワークの拡張イメージ

3.3. IEC Energy Efficiency

(1) 背景・目的

Energy Efficiency に関する国際的な取り組みには、IEC SMB/SG1、IEC/TC65/JWG14、ICT4EE、ISO50001 等がある。その中で IEC/TC65/JWG14 では、Energy Efficiency に関するテクニカルレポート (Energy Efficiency in Industrial Automation) を作成しており、エネルギー効率標準化のガイドラインとして 2011/10 に発行予定である。日本の窓口は IEC/TC65/JWG14 国内委員会が担当している。

産業オートメーションにおける Energy Efficiency は幅広い分野に関連することもあり、IEC/SMB/SC1 からの要請を受けて、IEC/SC17B、IEC/SC22G、IEC/TC65、NAMUR、JEMIMA、AIDA、ISO/TC184、DKE、UTE 等から検討メンバーが招集され、2010 年 2 月から検討が開始された。本テクニカルレポートでは、エネルギー効率の定義、測定項目、向上のための方法論などが検討されている。



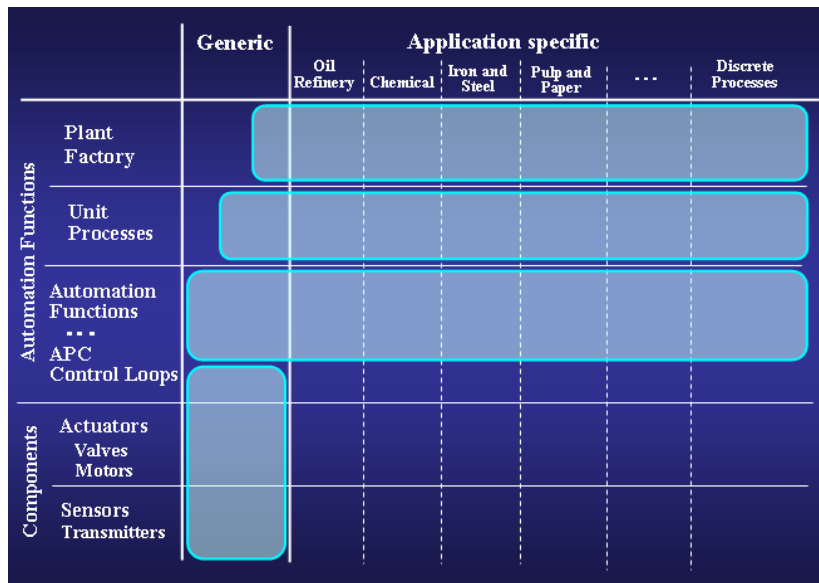
出所：IEC/TC65/JWG14 国内委員会委員作成資料より

図 3-3 IEC/TC65/JWG14 発足時の委員構成

(2) 制度や取り組み等の概要

<Energy Efficiency を向上させるための KPI>

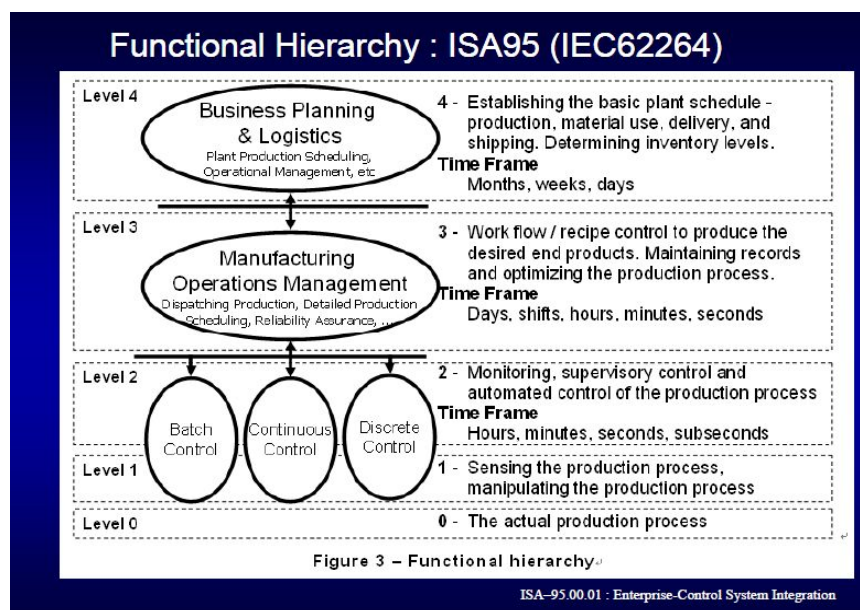
図 3-4 は、インテグレーションのレベルを縦軸に、用途を横軸に示しており、その中の各領域において、それぞれの状況に応じた KPI (Key Performance Indicator) の設定が必要となっている。このような広範な分野において、それぞれ個別の KPI を設定することが必要となるため、IEC/TC65/JWG14 等の場で 1 つ 1 つの KPI について議論を行えるわけではない。そこで、IEC/TC65/JWG14 では、KPI を設定するための、方法論について検討を進めている。



出所：IEC/TC65/JWG14 国内委員会委員作成資料より

図 3-4 KPIを設定するための、方法論

また、ISA95 (IEC62264) では、Functional Hierarchy として、製造業における機能別（ビジネス計画&物流、製造運転&管理、バッチ/連続/離散系制御など）の階層モデルを提示している（図 3-5）。下位の Level 0 から上位の Level4 それぞれについて、その層での Time Frame（例えば、Level2 では時間、分、秒単位での取り組み、Level4 では月、週、日単位での取り組み）等もモデリングしている。これらの階層モデルは、KPI の設定の際に参考となる。



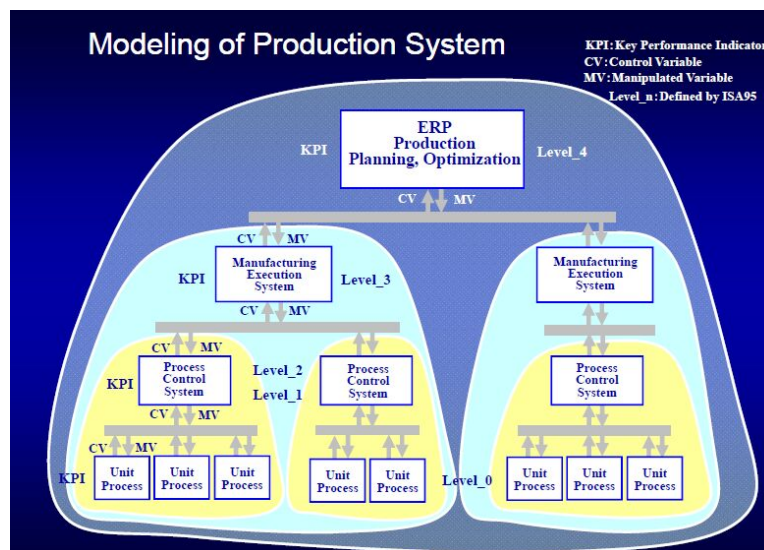
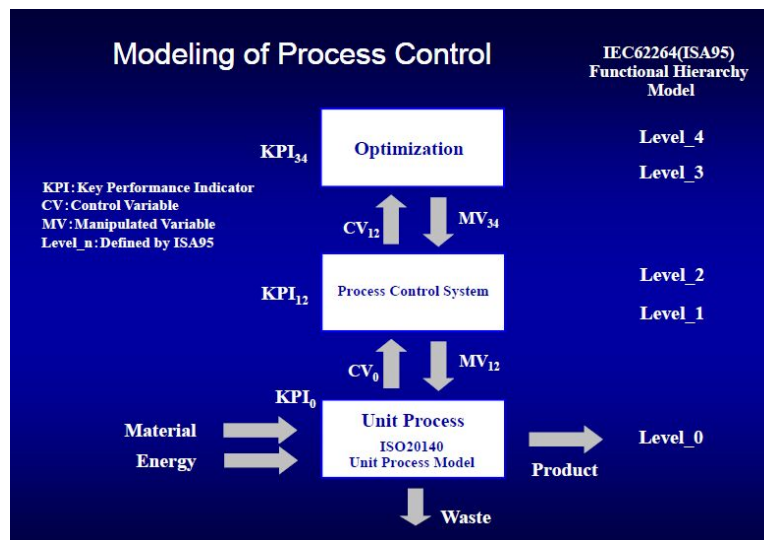
出所：IEC/TC65/JWG14 国内委員会委員作成資料より

図 3-5 製造業における機能別の階層モデル

この階層モデルに従って、KPI、CV (Control Variable)、MV (Manipulated Variable) の関係を示すのが図 3-6 である。

製造プロセスの一連の流れとして、材料とエネルギーがインプットされ、各種プロセスを経たのちに、廃物と製品が生み出されることを示している。その中で、CV が Unit Process から Process Control System、Optimization へと伝達されることで、製造プロセスの最適化のための方針が決定でき、その方針のもとで、Process Control System、Unit Process へと MV が伝達され製造プロセスの制御が実施される。

このような製造プロセスを考え、実際に取り組む際には、KPI、CV (Control Variable)、MV (Manipulated Variable) のようなデータの標準化が必要となる。



出所：IEC/TC65/JWG14 国内委員会委員作成資料より

図 3-6 生産システムの階層と KPI、CV、MV の関係

<KPI(Key Performance Indicator) Template>

現在、KPI を作成する際のテンプレートとして、ISO22400 の検討が進められている。KPI のテンプレートは、現時点では図 3-7 のような項目（表側の項目）からなっており、各企業等において KPI を設定する際には、このテンプレートのフォーマットにしたがいつつ、個別に必要な項目等を追記していく形での活用が想定されている。現在、このテンプレートの項目が標準化されようとしているところである。

KPI Template (ISO 22400)	
Name / Title of index.	Comprehensive Energy Consumption
Description	
Benefit / Application:	Comprehensive Energy Consumption is the ratio between all the energy consumed in a production cycle and produced quantity.
Time behavior	demand-oriented, periodic
Definition and Calculation	
Formula:	$e = E/PQ = (\sum Mi \cdot Ri + Q) / PQ$ e: unit energy consumption of statistical object, standard quantity / ton E: comprehensive energy consumption, standard quantity Mi: actual consumption of certain kind of energy, ton (kilowatt hour) Ri: conversion coefficient of certain kind of energy, standard quantity / ton Q: algebraic sum of effective energy exchanges with environment, standard quantity PQ is expressed in tons
Unit/Dimension:	standard quantity / ton
Rating:	Min: 0 Max: related to product Trend: the lower, the better
Analysis / Drill Down:	Related to product, to statistics unit
Remarks	
Notes / Explanation:	Energy consumption is an important factor impacting the production costs and final profits.
Corporate level	Worker, Master, Chief, Management
Effect model:	To be determined
Production type:	continuous, batch, discrete

ISO22400 : Manufacturing operations management — Key performance indicators —
Part 2: Definitions and descriptions of KPIs

出所：IEC/TC65/JWG14 国内委員会委員作成資料より

図 3-7 KPI のテンプレート(ISO22400)

3.4. EEMSに関連する技術：コクヨエコライブオフィス

(1) 背景・目的

コクヨ株式会社では、オフィスにおけるCO₂排出量を削減するとともに、環境を意識しながら創造性・生産性を高めることを目指す実験オフィス「エコライブオフィス品川」を2008年11月20日より開設し、検証実験を開始している。

エコの取り組みとして、従来から、オフィス内でルールを決め、光熱費などを削るといった方法等がある。しかし、同社の取り組みの根本には、「最も大切なことはルールより人の意識（感情）であり、働く人が積極的に取り組まなければ大きな効果は期待できない」という考え方がある。

そこで同社では、CO₂削減の取り組みを行いつつ、いかに働く人のエコ意識（感情）と生産性を高められるかに焦点を当て、「エコ+クリエイティブ」というコンセプトのもと、より創造的にエコを実践できる仕組み作りを行っている。

(2) 制度や取り組み等の概要

<実施目標>

2008年11月より、各種省エネルギー設備の導入、新たなワークスタイルの実践、エネルギー使用量を常に意識した行動と工夫等を行うことで、エコライブオフィスでのCO₂排出量を同社従来比で年間約41.5%削減（CO₂56t/年）を目標として取り組みが開始された。その後1年間の検証の成果として、CO₂排出量年間43.6%削減（CO₂58.8t/年）を達成している。

<コンセプト>

同社のエコライブオフィスの取り組みのコンセプトは「エコ+クリエイティブ」である。企業活動の成果を高めるか、もしくは消費するエネルギー量を減らすかという二者択一的な考え方ではなく、成果を得るための企業活動の効率化、質の向上、使用するリソースの削減などを通じて、「(企業活動の成果) / (消費エネルギー)」を高める取り組みを目指している。また、ものづくりプロセス改革、タイムマネジメント、省スペース・ペーパーレス、エコ意識・コミュニケーションの4つの観点でオフィス環境の整備を進めている。

<実施概要>

実験オフィス「エコライブオフィス」では、オフィスにおける省エネルギー設備に加え、オフィスの快適性よりも環境負荷の軽減を重視した新たな環境配慮のワークスタイルを取り入れている。

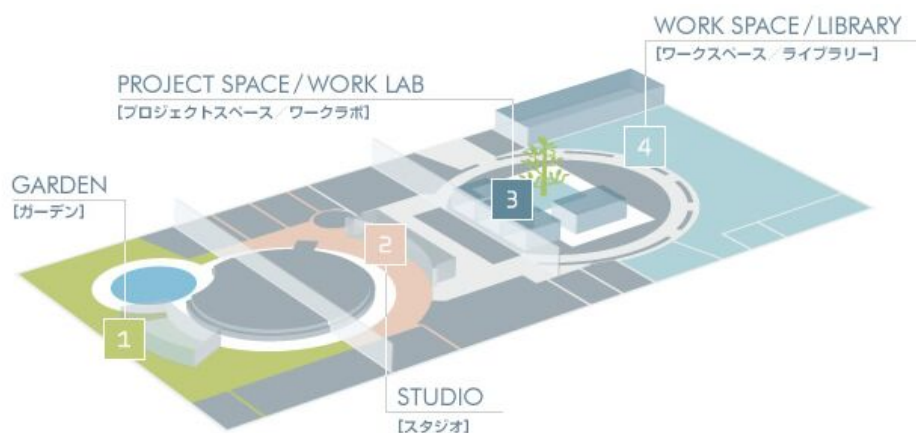
エコライブオフィスでは、環境を意識した「エコワーカー」への意識変革を導く執務環境のなかで、自社社員が被験者となり、自らの工夫で創造性や生産性をより向上させなが

ら、CO2 排出量の削減を行える仕組みを作っている。

省エネルギー設備として、省エネルギー空調／照明システム、エネルギー監視システムなどを導入している。さらに、オフィス内に自然採光と自然換気を取り入れ、屋上に植栽や水盤など自然環境を取り入れた執務エリアを設けて、オフィス全体の消費電力量の削減を行っている。

<エコライブオフィスの概要>

同社のエコライブオフィスは、自由な席で仕事ができるワークスペース、交流の場であるスタジオ、屋外のガーデンなど、エコライブオフィスは様々な区画から構成されている。



出所：コクヨ株式会社 Web サイトより

図 3-8 エコラブオフィスの概要

【ガーデン】

エコライブオフィス内のガーデンは、四季を身近に感じながら働くスタイルで、社員が積極的に環境負荷を軽減出来る空間である。



出所：コクヨ株式会社 Web サイトより

図 3-9 ガーデンの概要

【スタジオ】

スタジオは、屋外とつながっている。セミナーや研修会で社内外の人が集い、交流する場でもある。



出所：コクヨ株式会社 Web サイトより

図 3-10 スタジオの概要

【プロジェクトスペース ワークラボ】

プロジェクトスペース、ワークラボは、仕事に応じて照明や家具などを自由に配置できる。また、遠隔地ともリアルタイムで情報を共有することが可能な空間である。



出所：コクヨ株式会社 Web サイトより

図 3-11 プロジェクトスペース・ワークラボの概要

【ワークスペース ライブラリ】

ワークスペース、ライブラリは、人との出会いや日々変化する情報との出会いなど、常に「感じとる」ことができるオフィス空間である。



出所：コクヨ株式会社 Web サイトより

図 3-12 ワークスペース・ライブラリ

＜エコな行動を促す仕組み＞

具体的な取り組みとして、例えば、ダーツシステムを導入している。オフィスで働くワーカーは、予め自分が使うデスクの利用時間を設定し、その時間の中でオフィス環境を利用する仕組みである。この取り組みを通じて、効率的に業務を遂行することを促している。

また、照明灯の省エネルギー化（照明のLED化等）や、ワーカー自らの照度調節（各自が必要な照度に調節）、空調運転時間の短縮や外気導入も実施している。紙削減の取り組みとしては、プリンタに印字データをプールしておき、本当に必要なもののみプリンタの場所に行って、実際に印字する取り組みなどがなされている。

運用による省エネルギーとしては、ノー残業デーの設定、毎日夜7時の消灯、出張の削減等も行っている。

社員のエコな行動を促す仕組みとして、エコアクションポイント制度を運用している。この制度は、エコな行動をした社員にその行動に応じたポイントを付与し、その累積ポイント数を見える化する仕組み（ポータルサイト）である。

この制度では、累計取得エコポイントが高い社員を表彰したり、逆にポイントが少ない社員に対してペナルティを設けたりするなどして、様々な人々のエコに対する感情を盛り上げる仕組みとして利用している。

働き方の見直しの一環として、フリーアドレスを導入しているが、その際には、仕事の仕方自体の新たなリテラシを身につける必要があるため、社員教育が重要となる。

3.5. EEMS に関連する技術：東大グリーン ICT プロジェクト

(1) 背景・目的

東大グリーン ICT プロジェクトは、『情報』を用いた『知/智的』環境対策環境の構築、『させられる環境対策からやりたくなる環境対策へ』というコンセプトのもと、東京大学大学院情報理工学系研究科 江崎浩教授が中心となり、推進されている産学共同プロジェクトである。

2008年6月に同プロジェクトの産学連携型コンソーシアムは発足し、現在では45組織(32企業、13団体)による取り組みとなっている。コンソーシアム発足から現在(2010年)までの2年間、東京大学工学部2号館をテストベットとし、約30の実証実験が取り組まれている。また、それと同時にビルのファシリティ通信の標準化に向けて、FIAP(Facility Information Access Protocol) アーキテクチャが提唱されている。

東大グリーン ICT プロジェクトでは、「インターネット技術を用いたオープン環境・省エネ対策」、「『させられる』環境対策から『やりたくなる』環境対策へ」という2つの狙いを掲げ、推進されているプロジェクトである。

具体的には、「インターネット技術を用いたオープン環境・省エネ対策」という狙いのもと、通信プロトコルと共通データベースのオープン化を図り、データをユーザが自由に利用できる環境を作るために、同プロジェクトでは FIAP(Facility Information Access Protocol) を策定し、そのプロトコルを世界標準にするための活動を進めている。

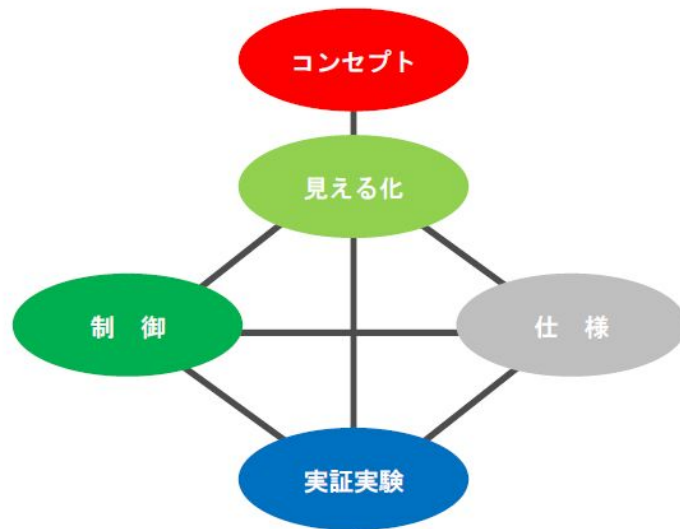
また、「『させられる』環境対策から『やりたくなる』環境対策へ」を実現するために、“やりたくなる”組織・個人の行動様式の創生(PDCA サイクルをいかに環境・省エネ行動にしていくか)、“やりたくなる”技術環境(次世代 UI)の創造、(BEMS に対して)自律的制御技術の開発に取り組んでいる。

(2) 制度や取り組み等の概要

<プロジェクトの実施体制>

東大グリーン ICT プロジェクトは、「コンセプト」、「見える化」、「制御」、「仕様」、「実証実験」という5つのワーキンググループから構成されており、ワーキンググループでは、「既存の仕組みから新しい仕組みに低コストで移行する」という狙いのもと、次のような取り組みを各ワーキンググループで分担して実施している。

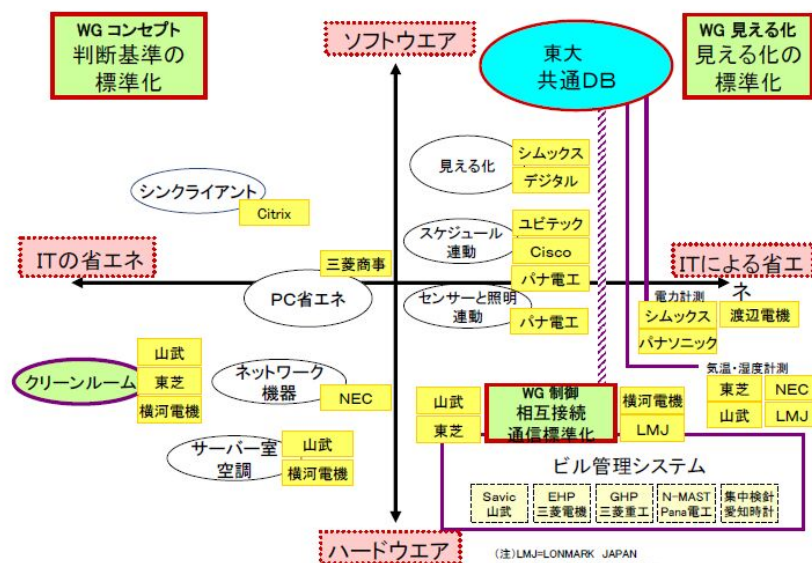
- ・ ビルの中の機器の相互接続とデータベースのオープン化
- ・ マネジメントできる仕組みの構築(見える化と計測の仕組み作り)
- ・ 動態管理と機器制御の連動
- ・ ユーザ指導による建物における標準購買仕様作り
- ・ 資源生産性と時間生産性の組織デザイン



出所：東大グリーン ICT プロジェクト コンセプト WG 作成資料より

図 3-13 プロジェクトのワーキンググループの構成

また、2008 年度の同プロジェクトの各ワーキンググループと実証実験の構造は図 3-14 のとおりである。



出所：東大グリーン ICT プロジェクト コンセプト WG 作成資料より

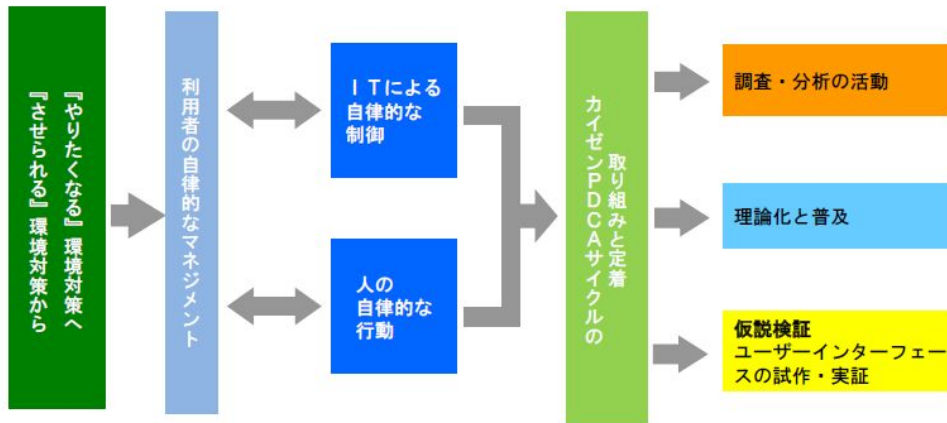
図 3-14 実証実験の構造図

<コンセプトワーキンググループの位置づけ>

同プロジェクトの中で、2009 年度のコンセプトワーキンググループでは、『『させられる』環境対策から『やりたくなる』環境対策へ』というプロジェクト全体の狙いのもとで、利用者の自律的なマネジメントの実現を目指して活動を実施している。

具体的に、利用者の自律的なマネジメントの実現のために、同ワーキンググループでは、「ITによる自律的な制御」と「人の自律的な行動」に着目し、組織や個人の、カイゼン PDCA サイクルの取り組みと定着に向けて、下記の3つの取り組みを実施している。

- ・ 調査・分析の活動
- ・ 理論化と普及
- ・ 仮説検証（ユーザインタフェースの試作・実証）

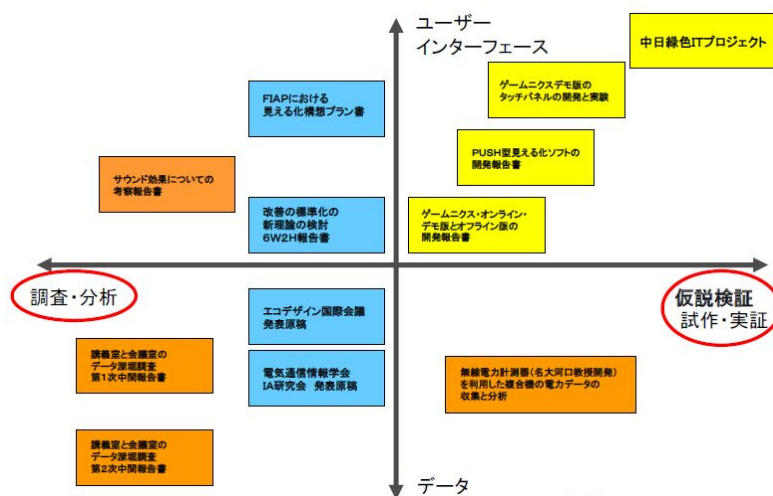


出所：東大グリーン ICT プロジェクト コンセプト WG 作成資料より

図 3-15 組織や個人の、カイゼン PDCA サイクルの取り組みと定着に向けての取り組み

<コンセプトワーキンググループの活動と成果の概要>

同プロジェクト 2009 年度のコンセプトワーキンググループでは、前述の通り、「調査・分析の活動」、「理論化と普及」、「仮説検証（ユーザインタフェースの試作・実証）」の3つの取り組みを行っている。



出所：東大グリーン ICT プロジェクト コンセプト WG 作成資料より

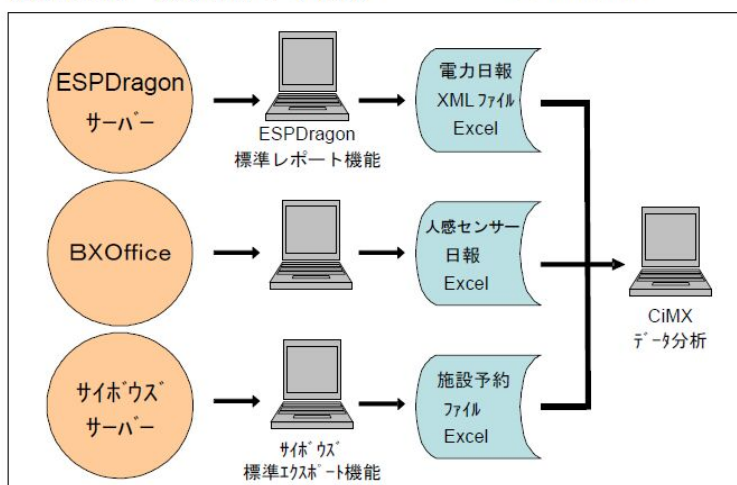
図 3-16 コンセプトワーキンググループの取り組み

調査・分析の活動

「調査・分析の活動」としては、無線電力計測器（名古屋大学開発）を利用した複合機の電力データの収集と分析を行うとともに、講義室と会議室のデータ深掘調査も実施しており、これについては第1次中間報告書、第2次中間報告書を作成している。また、あわせてサウンド効果についての考察も行っており、報告書としてまとめている。

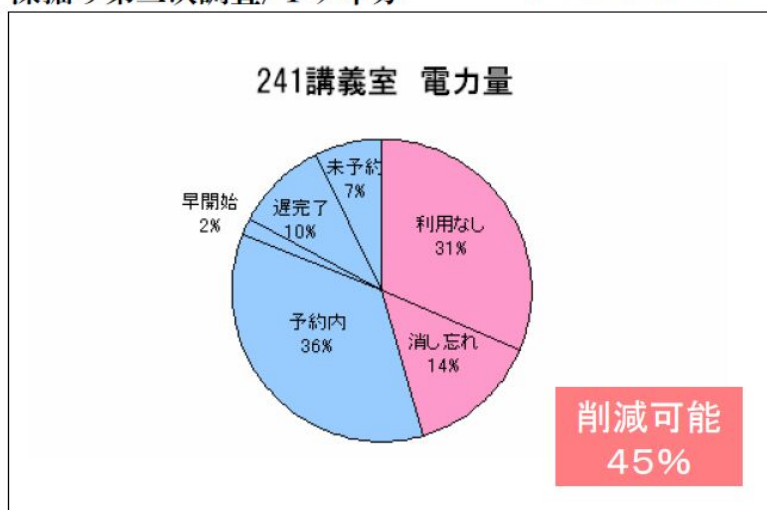
深掘り第一次調査/ 1ヶ月分

対象: 2009年7月分



深掘り第二次調査/ 1ヶ年分

対象: 2009年1月分～12月分



出所: 東大グリーン ICT プロジェクト コンセプト WG 作成資料より

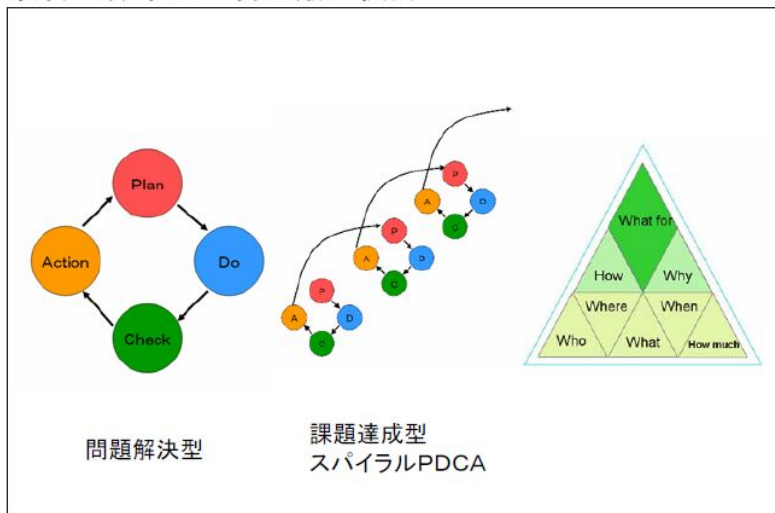
図 3-17 調査・分析の活動結果

理論化と普及

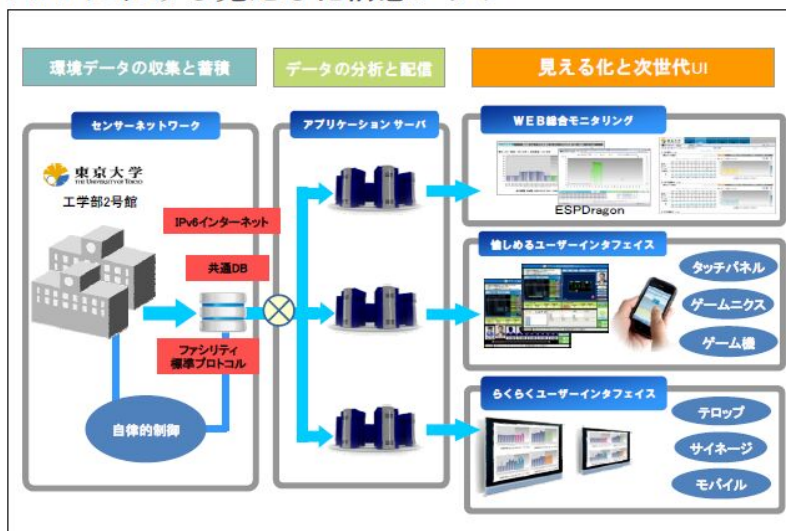
「理論化と普及」については、改善の標準化の新理論の検討を行い、6W2H 報告書としてまとめている。FIAP における見える化構想プラン書も作成している。また、普及といった

観点では、エコデザイン国際会議発表原稿、電気通信情報学会 IA 研究会発表原稿の作成にも取り組んでいる。

改善の標準化の新理論の検討 6W2H



FIAPにおける見える化構想プラン



出所：東大グリーン ICT プロジェクト コンセプト WG 作成資料より

図 3-18 理論化と普及の考え方

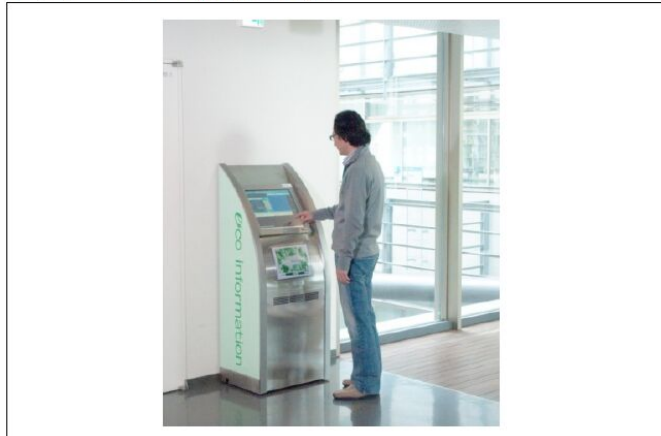
仮説検証(ユーザインタフェースの試作・実証)

「仮説検証 (ユーザインタフェースの試作・実証)」については、ゲームニクス・オンライン・デモ版とオフライン版の開発を開発し報告書としてまとめている。PUSH 型見える化ソフトも開発し報告書としてまとめている。また、ゲームニクスデモ版のタッチパネルを開発し、その実証的な実験にも取り組んでいる。

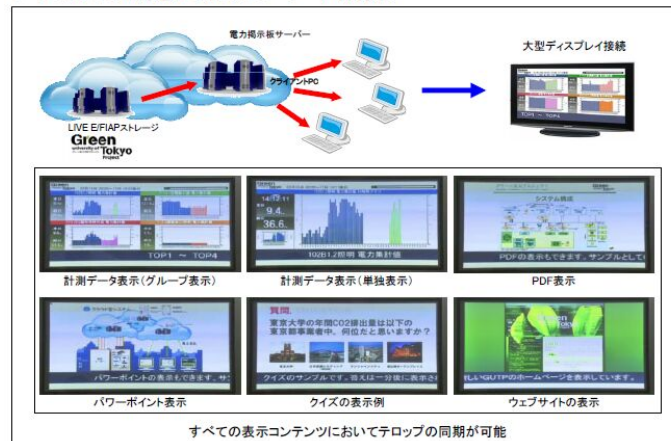
次世代UI デモソフト



タッチパネルの開発と実験



PUSH型見える化ソフト開発



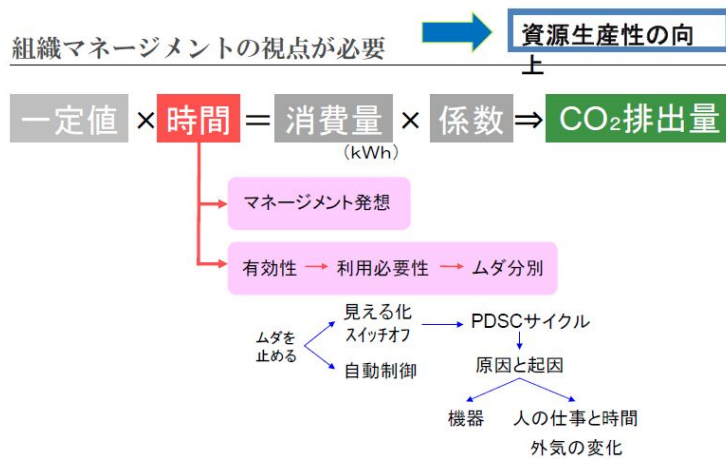
出所：東大グリーン ICT プロジェクト コンセプトWG 作成資料より

図 3-19 ユーザインタフェースの試作・実証の概要

<課題の整理>

コンセプトワーキンググループでは、2009年度の取り組みの成果を通じて、「組織マネジメントの視点の必要性」、「従来の改善（5W1H）からスパイラルPDCA」、「6W2Hの必要性」が今後の取り組みとして重要であるとしている。

「組織マネジメントの視点の必要性」としては、資源生産性を向上させる際の様々なパラメータの中で「時間」のファクターがポイントであり、無駄をなくすことでCO2排出量削減につながるとしている。

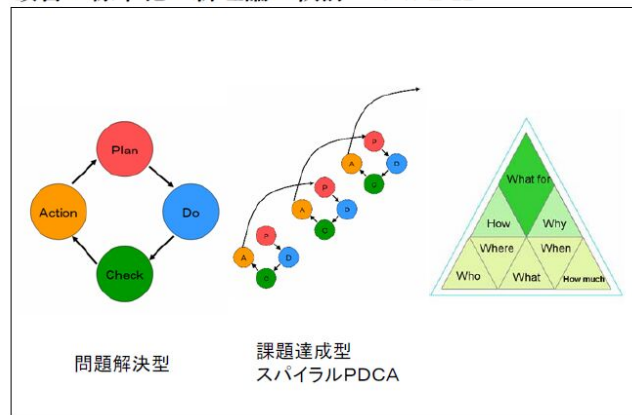


出所：東大グリーン ICT プロジェクト コンセプト WG 作成資料より

図 3-20 組織マネジメントの視点

「従来の改善（5W1H）からスパイラルPDCA」、「6W1Hの必要性」については、従来の問題解決型のPDCAではなく、状況に応じて解決すべき課題自体が変わっていくことも念頭に置いた課題達成型のスパイラルPDCAが必要であるとしている。また、あわせて従来は改善の際の視点が5W1Hであったが、そこに「What for」、「How Much」という2つの新たな視点も必要であるとしている。

改善の標準化の新理論の検討 6W2H



出所：東大グリーン ICT プロジェクト コンセプト WG 作成資料より

図 3-21 課題達成型のスパイラルPDCA

3.6. EEMS に関連する技術：三菱電機

(1) 背景・目的

改正省エネ法を契機として、三菱電機株式会社においては、省エネに向けた取り組みに一層の力を入れている。従来ならば、工場の設備等ハードウェアを新しく入れ替えることで相応の省エネ効果が得られていたが、改正省エネ法により、それらの対応のみでは不足し、従来よりも極め細かい対応が必要となっていることが大きな理由である。

なお、工場における省エネについては、三菱電機グループ 2 社が「平成 16 年度エネルギー管理優良工場等表彰」の各賞を受賞、オフィスの省エネの取り組みについても同社は積極的に取り組んでおり、その結果として、2010 年度グリーン IT アワードのグリーン IT 推進協議会 会長賞を受賞している。

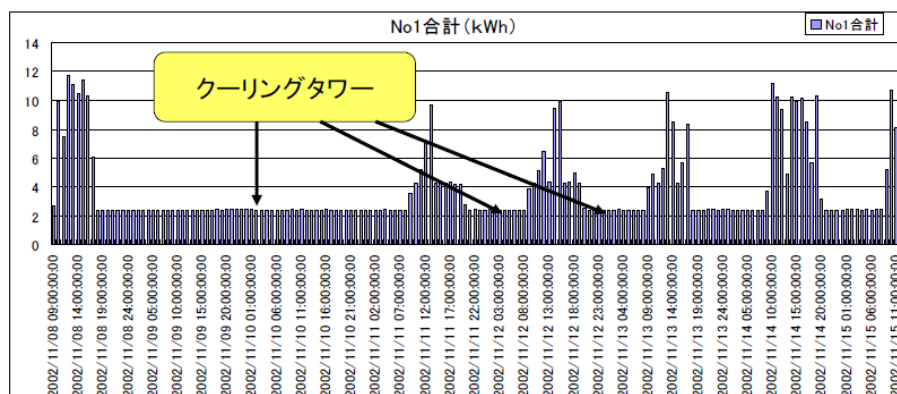
三菱電機株式会社では、グループ全体でのエネルギー消費量に対して、本社と支社のオフィスでのエネルギー消費量は 5%にも満たない状況である。エネルギー消費量の大半は工場の生産の際に消費されている。このような状況もあり、「エネルギー管理システムによるロス見える化」として、主として工場での省エネの取り組みを行っている。また、今後、オフィスでの省エネも重要となると考えられることから、試行的にオフィスでの省エネの取り組みにも着手している。

(2) 制度や取り組み等の概要

<エネルギー管理システムによるロス見える化活動事例－工場編－>

三菱電機の工場では、例えば、レーザー加工機ラインにおいて、構内 LAN とデジタル計測盤を備えた電力系を設置し、1 ヶ月間の日々のラインでのエネルギー消費量を収集・集計している（図 3-22）。このような活動を通じて、どこにエネルギー使用の無駄が発生しているのかを把握することが可能となっている。

レーザー加工機ライン



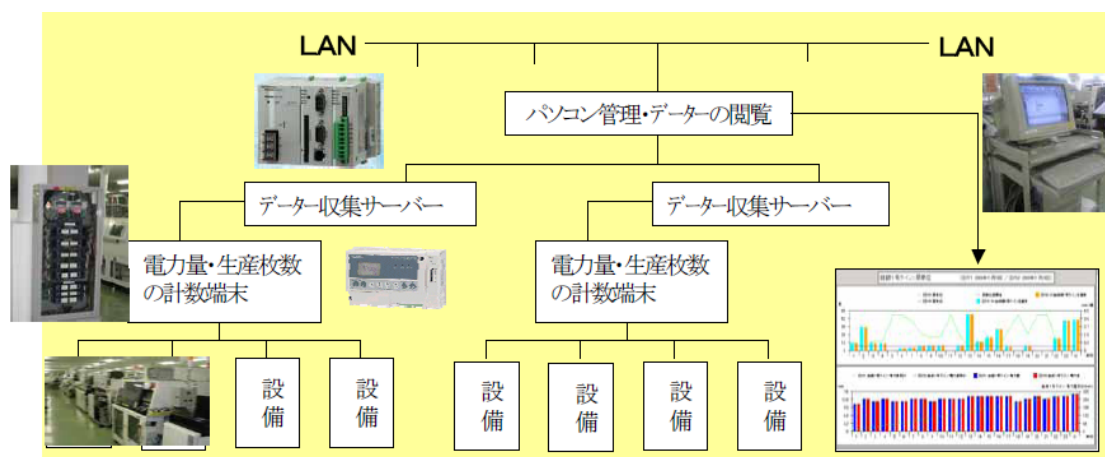
出所：三菱電機株式会社講演資料より

図 3-22 1 ヶ月間の日々のラインでのエネルギー消費量を収集・集計例

具体的には、ラインでのエネルギー消費結果の集計により、無駄が発生していると予想される箇所を特定している。例えば、図 3-22 グラフ中の「クーリングタワー」と記載された部分では、工場が稼動していないが、エネルギーが一定程度消費されていることが分かる。その理由を工場関係者で調べたところ、凍結防止のために「クーリングタワー」が動作していたという事実が判明した。

これに対して、ポンプ電源をインバータ化し、凍結防止程度の回転数制御とすることで、 $2,150\text{kWh}/\text{台年} \times 22\text{台} = 47,300\text{kWh}/\text{年}$ のエネルギー消費の削減が可能となっている。さらには、この取り組みを全工場に展開することで、 $946,000\text{kWh}/\text{年}$ のエネルギー消費量の削減ポテンシャルがあることが分かっている。

また同社グループ会社では、従来の月単位の使用電力量把握では、1ヶ月間での詳細なエネルギー使用の内容は把握できないことから、エネルギー消費量の情報を収集し、設備毎、時間別の原単位グラフを作成するためのエネルギー管理システムを導入している。

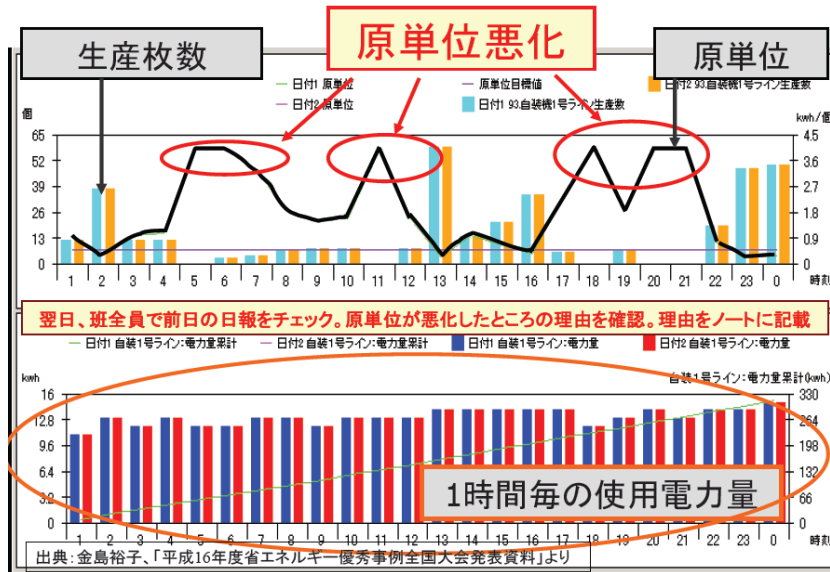


出所：三菱電機株式会社講演資料より

図 3-23 設備毎、時間別の原単位グラフを作成するためのエネルギー管理システム

また、取得した工場のエネルギー消費のデータをもとに、同社では数量原単位管理を行っている。例えば、原単位として「消費電力」/「生産数」を採用し、図 3-24 のようなグラフ化を行っている。

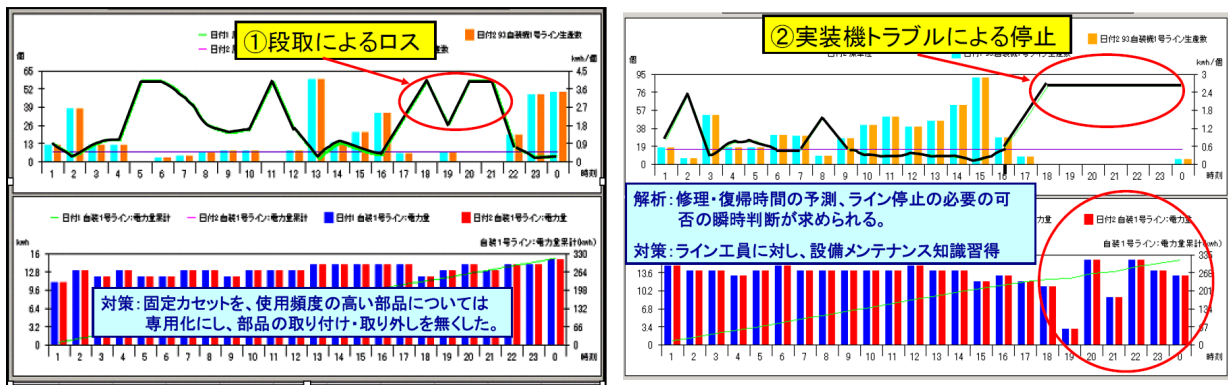
工場の各ラインのデータについては、班長が前日のラインのエネルギー消費のデータをまとめてグラフ化し、朝礼にて各社員に共有している。また、このデータと前日の日報をつき合わせ、原単位悪化の原因を把握している。このような取り組みを省エネ管理者ではなく、工場のラインの班長が中心となって実施し、様々な観点から分析して、改善の方針を考えている。



出所：三菱電機株式会社講演資料より

図 3-24 原単位（「消費電力」／「生産数」）のグラフ化の例

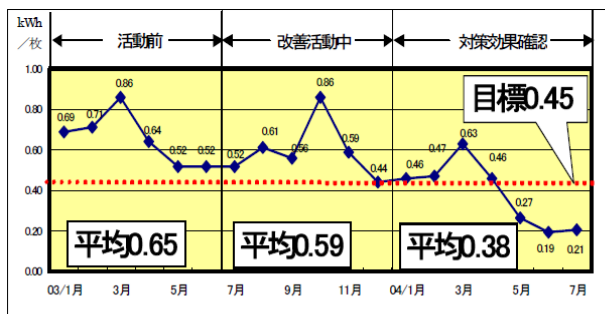
その他に、段取りロスによる無駄なエネルギー消費、実装機トラブルによる工場停止の際の無駄なエネルギー消費などにも、分析と対応を行っている（図 3-25）。



出所：三菱電機株式会社講演資料より

図 3-25 無駄なエネルギー消費などの分析例

このような取組みを通じて、ある工場では、原単位改善として、平均 0.65kWh/枚から平均 0.38kWh/枚へと 42%の削減に成功している。また、電力削減量では、70MWh/年（126万円/年、CO2 は 29.5t/年）の削減に成功している（図 3-26）。



副次的メリット

定時退社可能に
残業減少
主婦パート喜び

原単位改善：平均0.65kWh/枚→0.38kWh/枚(42%削減)

電力削減量：70MWh/年(126万円/年、29.5t-CO2/年)削減

【生産性向上】

一人当たりの生産性：1,815枚/月人 → 2,710枚/月人(49%向上)

段取り時間短縮：40分/回 → 20分/回 (50%向上)

設備稼働率：75% → 87% (16%向上)

出所：三菱電機株式会社講演資料より

図 3-26 ある工場での原単位改善例

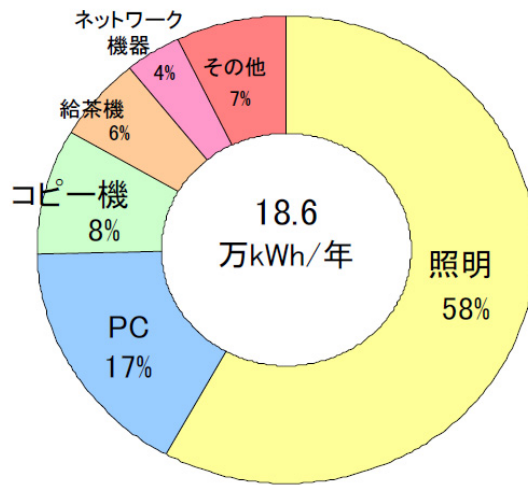
なお、同社が考えるデータの見える化（グラフ化）のポイントとしては、単に作るだけではなく、作ったグラフについて、少なくとも3つの点を分析することである。グラフを出し「効果がある」というだけでは次の改善につながらないため、そこからもう一歩、さらに何かできないかを考えることが大切であるという。

また、データを分析し、次にどのような対策をしなくてはならないかを考える力、データをどう読み込み、データをどのように使いこなせるか、その辺りの能力が社員に必要とされる事項である。一方、現在は、グループ会社内の各工場でそれぞれ独立に現場で改善を考えながら取り組んでいることもあり、各現場で出てきた成功事例を本社で集約し、全ての工場で共有できるような仕組みの構築が検討課題となっている。

＜エネルギー管理システムによるロスの見える化活動事例－オフィス編－＞

省エネ法の対象が事業所から事業者となったことを契機として、同社ではオフィスの省エネにも力を入れている。オフィスの省エネの取り組みの先事例が十分ではない中でも、これまでに培ってきた工場における省エネの取り組みの知見を活かし、オフィスの省エネに取り組んでいる。

同社では、200名程度のオフィスについて、試行的に省エネの取り組みを実施している。取り組みを始める段階で、当該オフィスで使用している電力量の内訳を示しているのが図3-27である。半分以上が照明による電力消費であることが分かっている。

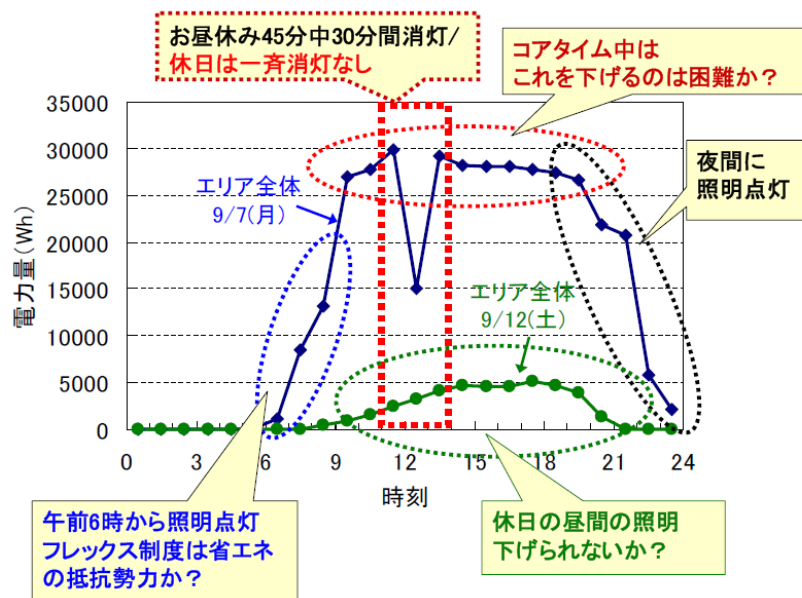


注: 空調エネルギーは、共益費に含まれ、空調単独のエネルギーは把握できていない

出所: 三菱電機株式会社講演資料より

図 3-27 オフィスで使用している電力量の内訳

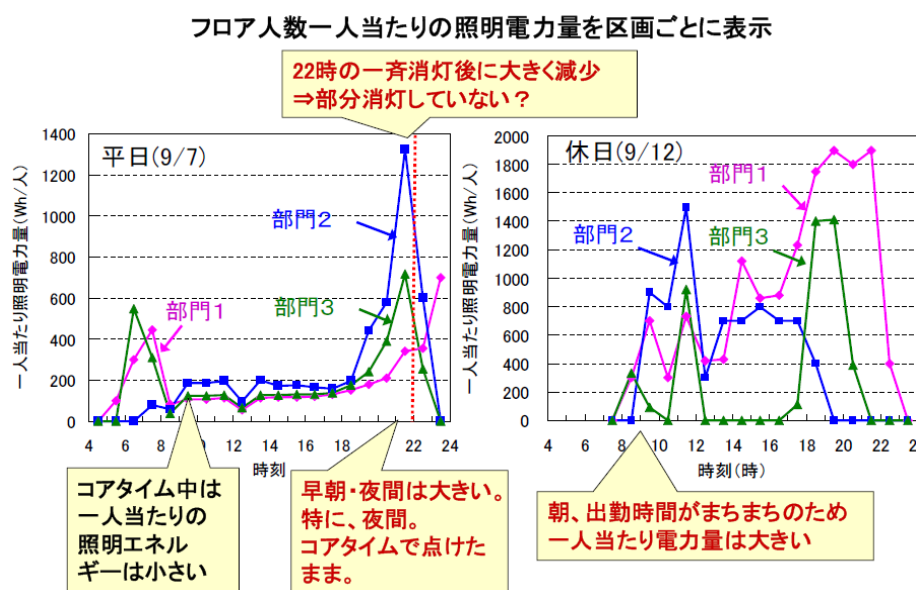
そこで同社では、機器別のエネルギー使用量の分析として、まず照明に焦点を当てた取り組みを実施している (図 3-28)。平日のオフィスについては、9時から20時のコアタイム中の使用電力を下げるのは難しいと分析する一方で、午前6時から9時までの早朝、22時以降の夜間の照明の使用電力を下げるのが可能ではないかと分析している。



出所: 三菱電機株式会社講演資料より

図 3-28 時系列のオフィスのエネルギー使用量

例えば、フロア人数一人当たりの照明電力量を区画ごとに表示し、早朝・夜間での部分消灯の不徹底の状況が把握できている（図 3-29）。例えば、夜間 22 時に一斉消灯を行い、その後、電力量が大きく減少するというデータが得られており、夜間に不要な照明が点灯していた可能性があるかと判断している。また、各フロアでは照明のボタンが一箇所にブロック化されているため、自分の周りの照明だけではなく、一斉に全ての照明を点灯させる習慣があるのではないかと分析している。



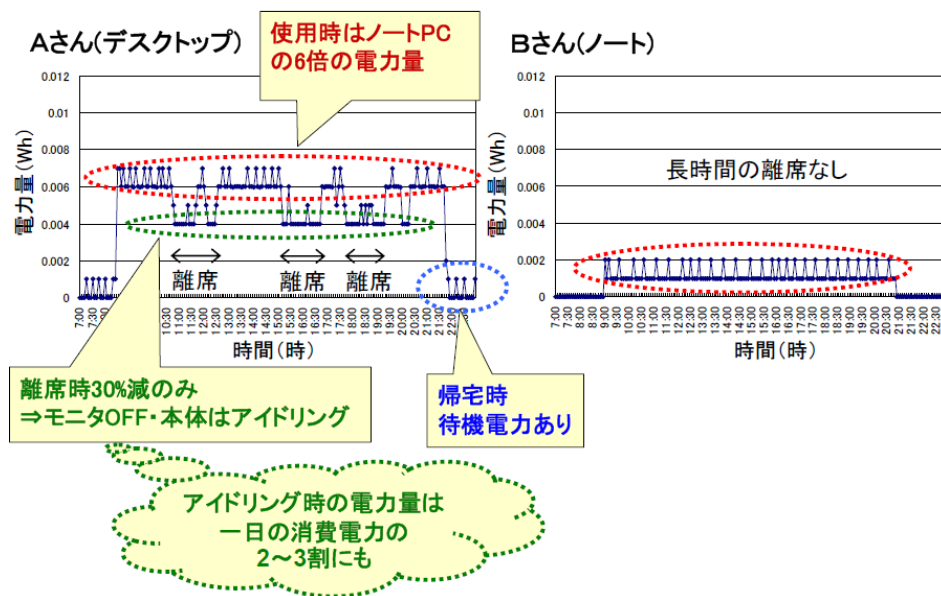
出所：三菱電機株式会社講演資料より

図 3-29 フロア人数一人当たりの照明電力量のグラフ化

照明の他に、パソコンの消費電力量の分析も行っている（図 3-30）。オフィス内のパソコンは、消費電力の多いデスクトップから、消費電力の少ないノート PC へと移行しているものの、現状ではデスクトップの方が多くいる状況である。

パソコンの消費電力量の分析結果としては、従業員が離席した際のアイドル状態での消費電力が多いと分析されている。この結果を受け、同社では、30 分以上離席する場合には、シャットダウンすることを従業員に勧めている。

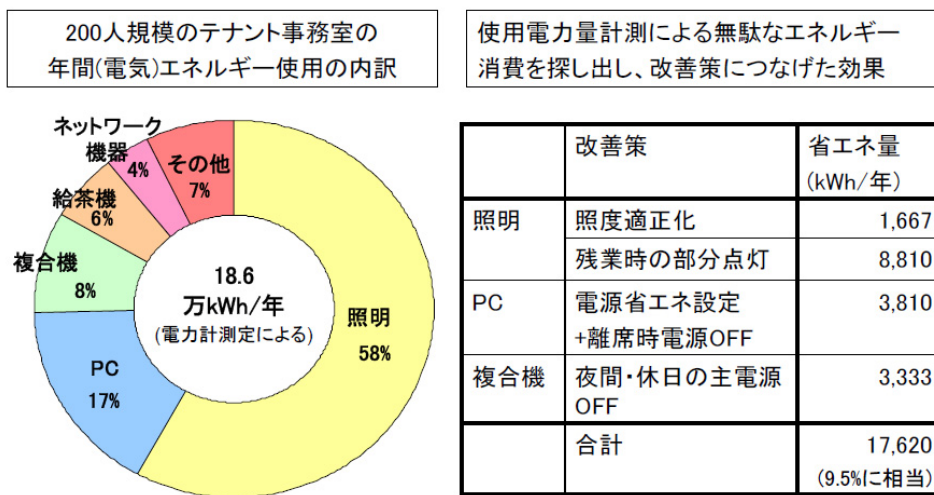
また同社では、パソコンの電源を切ったとしても、ハードウェアとしては待機電源を消費することを考え、電源の切り替えスイッチの付いた電源タップを配備することも想定している。



出所：三菱電機株式会社講演資料より

図 3-30 オフィスのパソコンのエネルギー資料量

上記のような取り組みの効果として、同社の 200 名規模のオフィスでの省エネ効果として、(図 3-31) のように試算 (従来の 9.5%に相当) している。



空調のエネルギーは、賃貸料の共益費として請求されるため、計測できず。

出所：三菱電機株式会社講演資料より

図 3-31 省エネ効果の例

4. EEMS 適用の際のポイント

本年度 WG では、EEMS アーキテクチャ／フレームワークのブラッシュアップの結果を踏まえ、EEMS の普及に向けたポイントとして、「良い KPI とは?」、「やる気を出せる見える化とは?」、「EEMS の普及に向けたサービスとは?」、「EEMS の役割と利害関係の整理」の 4 つを抽出した。

以下では、その 4 つのポイントについて検討した結果をまとめる。

4.1. 良い KPI とは?

4.1.1. 検討ポイントの概要と重要性

エネルギーの使用に関する性能指標である KPI(Key Performance Indicator)を設定し管理することが EEMS の重要な機能の一つである。

省エネ法でもエネルギー消費原単位を管理することを求めている。ISO50001 でも EnPI (Energy Performance Indicator) を設定し管理、改善を行なわなければならない。これらはまさに KPI として機能する。しかし、エネルギーの改善を行なうための指標としてはこれだけでは十分ではない。実際の EEMS では、エネルギーの改善を行なうための指標としてさまざまな KPI を設定している。

本章ではエネルギーの使用に関する KPI として「どのようなものが適切か」というポイントについて検討し、KPI を設定するに当たってどのような基準に従って設定すればよいのか、つまり、良い KPI とはどのようなものなのかについて述べる。

事例の IEC TC65/JWG14 で検討されている Energy Efficiency で紹介された「Modeling of Production System」(図 3-6)での KPI に示されるとおり、KPI も階層毎に決められることになる。各階層はその使用者や目的が異なるため良い KPI の基準も異なってくる。ここでは KPI に求められる要件を「①組織や活動の能力を客観的に示すこと」と、「②異常を検出して改善に結び付けられること」の 2 点に着目して、それぞれにとって良い KPI の基準について述べている。①はどちらかという上位の階層において、経営判断や CSR に必要な KPI の基準となり、②は下位の階層において現場の省エネ活動で必要となる KPI の基準となる。

4.1.2. EEMS 適用に向けて

EEMS 構築に当たっては、システムが表示する KPI を、良い KPI の基準に従って決定する必要がある。KPI に求められる要件としては、先に述べた、「①組織や活動の能力を客観的に示すこと」と、「②異常を検出して改善に結び付けられること」の 2 点に着目し、以下にそれぞれの基準とさらに 2 点に共通の基準について述べる。

なお、良い KPI の基準の検討結果を表 4-1 にまとめる。

表 4-1 良い KPI の基準の検討結果

KPI に求められる要件	良い KPI の基準
①組織や活動の能力を客観的に示すこと	<ul style="list-style-type: none"> ・ 求め方が明確で誰が求めても同じ基準で比較できること ・ 生産量や気象条件などの経年変化に対して安定して求められること
②異常を検出して改善に結び付けられること	<ul style="list-style-type: none"> ・ 指標悪化の原因究明に活用できること ・ 改善周期を短くするため、求める時間的周期が短くリアルタイムに分かること
③その他共通の要件	<ul style="list-style-type: none"> ・ データの取得が容易であること

(1) 組織や活動の能力を客観的に示すこと

事例の中では、省エネ法などで報告されるエネルギー消費原単位や ISO50001 で示される EnPI などが該当するものであり、求められる KPI の客観性、データの継続性が重要になる。

省エネ法では、企業ごとに計算方法が異なっていれば不公平が生じ、また ISO50001 では計算方法の継続性が無ければ客観的に改善活動が行なわれていることを第三者に証明することはできない。

したがってこの場合の良い KPI の基準は

- ・ 求め方が明確で誰が求めても同じ基準で比較できること
- ・ 生産量や気象条件などの経年変化に対して安定して求められること

が挙げられる。

もし上記ポイントを踏まえずに KPI を決めてしまうと、考えられる影響としては、ベンチマークとして利用できなかつたり、第三者が理解できなかつたりするものとなってしまう。

(2) 異常を検出して改善に結び付けられること

もう 1 つの視点としては、日々の改善に利用できることが重視される。もし KPI に異常があればその原因がすぐに特定でき改善活動に結び付けられることが、良い KPI の基準となる。

- ・ 指標悪化の原因究明に活用できること
- ・ 改善周期を短くするため、求める時間的周期が短くリアルタイムに分かること

となる。

三菱電機の工場での事例を見ると、結果がすぐに分かることが重要である。1 日前のことは覚えていても、1 週間、1 ヶ月と日が経つと忘れてしまつて、改善につながらなくなってしまう。問題が発生したらすぐに原因を究明して改善することが、確実に PDCA を回すことにつながる。

原因究明に活用できる KPI は、その組織が有するエネルギーを使用するプロセスの構成に大きく依存することになる。したがって他者の KPI を真似ても役に立たないという懸念がある。(1) の要件とは異なり他者の KPI を適用するときには注意が必要である。

(3) その他共通の要件

さらに(1)、(2)に共通した良いKPIの基準として

- ・ データの取得が容易であること

などが挙げられる。

データの取得の容易性は、計測の難しさという観点もあるが、KPIを計算して求めるにあたって、必要なデータが容易に取得可能かどうか、つまり必要なデータが計測されていたとしても、ネットワークなどを介してそれらを得ることができるかどうかという点も考慮しなければならない。三菱電機のオフィスでの改善例における照明の点灯量とフロアの在席人数ではデータを計測しているシステムが異なるため、これまでのビルシステムではデータを得ることができなかった例である。

4.1.3. まとめ

最後に、良いKPIを設定するために求められる事項について、企業、業界、技術の観点から検討しまとめた。その概要を表4-2に示す。

表 4-2 良いKPIを設定するために企業、業界、技術に対して求められる事項

項目	求められる事項
企業	・ それぞれのKPIの目的を明確にして、適切な基準に従って設定する必要がある。
業界	・ 各業種の業界ごとに共通で使用できるKPIの設定が望まれ、これによって他社との比較や、自社の目標設定に利用できるようになる。
技術	・ KPIの目的や種類に応じて、KPIを計測、計算する周期や頻度を設定できるようにする必要がある。 ・ KPIは各階層で異なる目的で使われることになるため、EEMSはKPIを階層的に管理できるようにしなければならない。

(1) 企業に求められる事項

EEMSを構築するにあたっては、それぞれのKPIの目的を明確にして、適切な基準に従って設定する必要がある。外部に公表することが目的である場合と、社内で省エネの改善を行なうことが目的である場合では要求される基準が大きく異なる。

(2) 業界として求められる事項

省エネ法ではエネルギー消費の大きな業界ごとに、セクタ別ベンチマークなどの数値が公示されているが、全ての業種について設定されているわけではない。各業種の業界ごとに共通で使用できるKPIの設定が望まれる。これによって他社との比較や、自社の目標設定に利用できるようになる。また、第三者が見てどちらの企業がどのくらい良いのか判断することができるようになる。

(3) 技術に対して求められる事項

KPI の目的や種類に応じて、KPI を計測、計算する周期や頻度を設定できるようにする必要があります。特に改善が目的である場合には、改善活動の結果がすぐに分かるようにすることが PDCA を効果的に回すキーとなる。

また、KPI は各階層で異なる目的で使われることになるため、EEMS は KPI を階層的に管理できるようにしなければならない。これはアクセス権やセキュリティを含めて考慮する必要があります。

4.2. やる気を出せる見える化とは？

4.2.1. 検討ポイントの概要と重要性

EEMS は、企業内における経営者、エネルギー管理者、従業員の全ての社員が日常業務の中で利用することを想定している。その際、EEMS に求められる重要な機能の一つが、利用者の省エネ意識を高揚させる仕組みである。

本節では、システム利用者に向けてより創造的にエコに取り組み、その効果を実証したコクヨ株式会社の実験オフィスを参考に、EEMS の IT の視点だけではなく利用者の視点から「やる気を出せる見える化」について検討を進めた。

<背景>

コクヨ株式会社では、オフィスにおける CO2 排出量の削減をするとともに、環境を意識しながら創造性・生産性を高めることを目指す検証実験を開始している。同社の取り組みでは、「最も大切なことはルールより人の意識（感情）であり、働く人が積極的に取り組まなければ大きな効果は期待できない」という考え方を重視している。エコライブオフィス品川では、CO2 削減の取り組みを行いつつ、いかに働く人のエコ意識（感情）と生産性を高められるかに焦点を当て、「エコ+クリエイティブ」というコンセプトのもと、より創造的にエコを実践できる仕組みを作った。その結果、各種省エネルギー設備の導入、新たなワークスタイルの実践、エネルギー使用量を常に意識した行動と工夫等を行うことで、1年後には CO2 排出量を同社従来比で年間約 43.6%削減（CO2 58.8t/年）を達成している。

<検討のポイント>

コクヨの取り組みを積極的に取り入れ、EEMS でより大きな省エネ効果を得るためには、管理項目から要求される「見える化」機能を単にシステム上で実現するだけではなく、システムを利用する全ての社員が積極的・創造的に省エネ活動を常に意識して取り組むことの出来る仕組み、すなわち「やる気を出せる見える化」の実現が重要となる。そこで、（1）エネルギー管理者の視点、（2）従業員の視点、（3）利用者全員の視点で整理し、EEMS における「やる気を出せる見える化」の機能を検討した。

表 4-3 「やる気を出せる見える化」の検討

検討のポイント	検討内容	EEMS 適用に向けて
(1) エネルギー管理者の視点	・エネルギー管理業務の負荷を低減するための支援機能	・効果予測を行うためのシミュレーション機能、データベース・人工知能・学習機能の実現 ・費用対効果が出せるコストで提供できるかどうか
	・管理者が見たくなるような表示画面(グラフ表示、ランキング表示)	・最新の Web コミュニケーション形式(ブログ、ツイッター、等)を利用したユーザインタフェースの工夫

(2) 従業員の視点	・省エネとは別に従業員に直接的メリットを示しやすい取り組みと合わせて見える化を行う複合的マネジメント	・生産性向上、働きやすさと連動した省エネの実現 ・他システムとの連動、業務基幹系システム（人事、勤務管理、セキュリティ）との連携による相乗効果
	・個人の行動の見える化によるモチベーション・アップ	・コクヨの事例にあったようなエコポイント機能の実現 ・個人単位での見える化を実現するための省エネガイドダンス機能の実現
(3) 利用者全員の視点	・意識向上を目的とした教育プログラムの導入	・利用者の省エネ意識レベルに合わせた教育システム

(1) エネルギー管理者の視点

エネルギー管理者は、多種・多量のエネルギーマネジメントの生データを迅速かつ正確に分析するスキルが要求される。そこで EEMS は、管理業務の負荷を出来るだけ低減し業務を支援するための高度な機能が重要となる。例えば、問題箇所を特定し省エネ対策による効果予測（シミュレーション）を行う機能や、対策・改善メニューを検討するためのデータベース・人工知能・学習機能等が考えられる。その他、経営者への報告、対外的な監督官庁や監査機関への報告を支援するためのドキュメント生成機能も効果的である。

また、エネルギー管理者は、EEMS を利用する頻度が高いため、ユーザインタフェースを重視した個人が見たくなる具体的な見せ方の工夫も重要なポイントである。例えば、数値だけの表示ではなく、目標と実績、進捗度合いが一目見て理解できるような、グラフ化やメータ化などのグラフィック表示や、ランキング表示などを多用すべきである。さらに、やる気を出せるためにはエネルギー管理者個人の好みに合わせて表示形式をカスタマイズできる機能も重要である。

(2) 従業員の視点

EEMS では、従業員に対し積極的な行動を促すための直接的なメリットを提示することは難しく、省エネとは別に直接的メリットを示しやすい取り組みと複合的に見える化することが必要となる。仮に従業員に対して「やる気の出せる見える化」効果が小さいと、省エネ行動が消極的な行動（働かないことが究極の省エネ行動）へ向かい、EEMS の本来の機能を失いかねない問題となる。コクヨの事例に見られるように「働きやすい職場づくり」の取り組みを通じて、積極的な行動で効率的に省エネ効果を上げるような仕組みを EEMS に取り込むことも重要である。フリーアドレスによる業務の効率化を実現するためのデスク利用予約システム、個人単位の照度調節システムなどとの連動などが考えられる。

オフィスなどの環境では自分の行動が全体のエネルギー消費にどう関わってくるのか見えにくい。そこでエコな行動を促す仕組みとしては、社員に対してその行動に応じたポイントを付与して、その累積ポイント数を EEMS で見える化することもできる。累積エコポイントが高い社員を表彰したり、逆にポイントが少ない社員に対してペナルティを設けたりするなどして、自分の行動や努力が反映されることでエコに対する感情を盛り上げる工夫

が必要である。

その他、EEMS で収集した情報（データ）を活用して、個人の行動にフィードバックする省エネガイダンス的な機能も効果的である。各自の行動改善につながりやすく、継続性の観点からも効果があると思われる。

(3) 利用者全員の視点

利用者全員の意識向上を図るために、システム利用者の教育プログラムも検討する必要がある。常に教育水準の維持・向上を促すためには、レベルの異なる利用者に対して、それぞれの省エネ意識レベルに合わせた教育を実施することが出来るかがポイントとなる。

4.2.2. EEMS 適用に向けて

・効果予測を行うためのシミュレーション機能、データベース・人工知能・学習機能の実現

スキルの高いエネルギー管理者の分析技術をシステム化することが重要である。例えば省エネ分析に必要なデータの取得方法、データの整理方法、データの見える化、分析評価手法の一般化がポイントとなる。課題としては、普通であれば高額となるこれらの機能を、費用対効果が出せるコストで提供できるかどうかである。

・ユーザインタフェースの工夫

従来の業務用のユーザインタフェースだけでは飽きられることもあるため、最新の Web 技術を活用することも重要な機能となる。例えば動画の活用やブログ、ツイッターといった最近の Web コミュニケーション形式を取り入れることも工夫の 1 つである。

・他システムとの連動

フリーアドレスによる業務の効率化を実現するためのデスク利用予約システム、個人単位の照度調節システムなど、業務改善のためのシステムとの親和性の確保、組織やレイアウト変更に伴うシステム変更の容易性も必要となる。そのためには、業務系の基幹システムである人事システム、セキュリティシステム、ビル管理システムとの連携も想定される。

・エコポイント機能の実現

システムとしては比較的容易に適用することは可能であるが、競争心を煽るためエコな行動とそれに付与するポイントの妥当性をいかに担保するかが課題である。また多くのエコな行動とポイントを管理するデータベースのメンテナンス(項目の追加や、ポイントの修正、等)や、個人へのポイントの付与の仕方などを準備することが出来るかどうかポイントである。

・省エネガイダンス機能の実現

個人単位の見える化が重要となり、省エネガイダンスのデータベース構築、ガイダンスを従業員に提示するための仕組みが必要となる。特に、個人に対してタイムリーに省エネガイダンスを提示することが効果的であることは予測できるが、個人の行動のトレースの仕組みや、その行動から無駄なエネルギーを導出する仕組み等を実現できるかが課題となる。

・利用者の省エネ意識レベルに合わせた教育システム

従業員の興味・関心・理解・賛同・参加のステージにあわせて、的確な教育コンテンツを準備できるかが、意識向上と維持を実現するための鍵となる。eラーニングやWebサービスを駆使した教育システムの実現が望まれる。例えば、Webサービスを活用して省エネ効果の実績を挙げた事例を速やかに従業員に展開を図る仕組みが考えられる。

4.2.3. まとめ

以上、ここでは、従業員に向けてより創造的にエコに取り組みより効果的なEEMSを実現するため、ITの視点だけではなく利用者の視点から「やる気を出せる見える化」について検討を行った。ただし、ここでの検討はほんの一例であり、業務の異なる企業もしくは組織ごとに「やる気を出せる見える化」を十分に検討して、EEMSに反映させることが不可欠である。その際、参考となる事例は現状では非常に少ないため、これらの情報を企業間で共有し、より効果の高いEEMSを実現するための仕組みづくりが、業界や国に求められる。

4.3. EEMS の普及に向けたサービスとは？

4.3.1. 検討ポイントの概要と重要性

EEMS は、経営者、エネルギー管理者主体から、従業員、外部ステークホルダといった広い階層まで含めた新しいエネルギーマネジメントシステムである。EEMS の構築、普及に向けては様々な問題が生じてくる可能性がある。

ここでは、EEMS の社内への導入・普及促進に効果的と考えられるサービスについて検討を行った結果を紹介する。ここでいうサービスとは、EEMS の運用上の利便性を向上させるシステムの機能や、これを提供する仕組みなどを指し、(1) 各階層の省エネ活動の分析／支援、(2) EEMS 運用支援、(3) EEMS のデータを活用した付加価値提供、の3つの視点から検討を進め、そのポイントを以下にまとめた。

表 4-4 EEMS の普及に向けたサービスについての検討まとめ

検討の際の視点 (サービス)	検討結果
(1) 各階層の省エネ活動の解析／支援の視点	① 個人の省エネ貢献度算出機能の提供 ② 他社・他部署のベストプラクティス事例の紹介／参照機能
(2) EEMS 運用支援に関する視点	③ エネルギー消費異常の通知機能 ④ EEMS 構築時リスクを回避するスケーラブル導入支援 ⑤ システムメンテナンス支援 ⑥ 他システムとの連携支援
(3) EEMS のデータを活用した付加価値提供の視点	⑦ 法規制対応事務処理支援機能 ⑧ 事例やシミュレーションを活用した計画立案支援機能 ⑨ 設備メンテ管理など、省エネ以外の目的へのデータ活用支援 ⑩ 自社の環境貢献度の PR、キャップ性導入などを視野にいれたコスト管理との連携機能

(1) 各階層の省エネ活動の分析／支援

EEMS を全社的かつ継続的に運用するためには、従業員レベルの省エネ活動の意識を高揚させ、いかに継続させていくかが重要となる。省エネ活動に関するモチベーションの維持には、エネルギー使用量や省エネに向けた活動が、組織・個人の次元で分析・見える化され、個人がその貢献度を実感できることが非常に大切である (表 4-4 中の①)。さらに、次に起こすべき行動の指針が、他社や他部署の事例、ベストプラクティスなどを踏まえて提示される機能・サービスが備わると一層効果的である (表 4-4 中の②)。

(2) EEMS 運用支援

表 4-4 中の③は EEMS の運用上得られるエネルギー消費量の分析データをもとに、エネルギー消費の異常を検知し、これを関連部門に通知するなど、EEMS と xEMS との連携を支援するサービスである。

表 4-4 中の④は、EEMS を全社的に構築する際に、スケーラビリティを持たせたサービス・

機能である。EEMS を一度に導入する場合、各事業所間システムの連携などで不具合を生じるリスクがあり、これを回避するために EEMS を部分的に導入していくことができると都合がよい。

表 4-4 中の⑤メンテナンス支援は個人／組織／物を関連づける機能である。個人／組織レベルでのエネルギー使用状況／貢献度などが見える化する際、人／物の移動があると空間的な把握が困難となり、システムの運用が難しくなる。個人／組織／物を関連づける機能の提供は、EEMS 普及に有効である。

表 4-4 中の⑥他システムとの連携支援とは、EEMS 以外のシステムとのデータベースの共有などを指す。エネルギー原単位や KPI の算出においては生産状況・資材の調達状況などを把握するための生産システム、エネルギーの利用者や組織の特定、オフィス内の人員把握などでは人事システムと、また、CO2 排出取引など経営的な視点では経理システムなどと、EEMS 以外のシステムとのデータベースの共有などとの連携が有効である。連携システムの構築は複雑であり高コスト化するため、費用対効果の検討が必要である。

(3) EEMS のデータを活用した付加価値提供

これは、EEMS で得られたデータを他システムで活用することにより、省エネ活動以外の作業を効率化し付加価値を創出することで、EEMS の普及を促進するサービス・機能である。

表 4-4 中の⑦の事務処理支援機能については、様々な報告書類に対し、EEMS のデータを編集し、エネルギー管理者の負荷軽減する機能である。事業者では各法規制それぞれに対応して報告書類を作成する必要があり、事業者側の負担が大きいため、この機能は非常に有効である。使用実績類などの編集自動化は比較的容易に実現できる。

表 4-4 中の⑧の削減計画立案支援機能は、従来の書類作製上、自動化が困難であった削減計画立案を支援する機能である。例えば、室温を 0.5 度下げればどの程度、省エネルギーにつながるか、などをシミュレートするツールが考えられる。既存シミュレーションツール/コンサルタントも存在するが、利用するレベルにマッチした低コストのシミュレーション機能を提供できるかが重要である。

表 4-4 中の⑨の省エネ以外の目的への活用支援については、例えば設備管理ツールで、エネルギー効率の監視データや KPI などの推移を管理するだけでなく、設備のメンテナンス時期や清掃・部品交換のタイミングなどの察知などにも活用できることを指す。

表 4-4 中の⑩の自社の環境貢献度の PR を推進するための各種機能などを指す。

これらのサービス・機能は、会社の規模や形態により、EEMS 普及促進効果が異なり、各社が最適なサービスを見極めていくことが重要であると思われる。

4.3.2. EEMS 適用に向けて

これらのサービス・機能を実現するためには、政策・業界的な取り組みや技術的な観点からのアプローチが必要となる。例えば、従業員レベルでも容易に過去の事例検索が可能

であり、情報量も多い省エネ事例データベースを整備することは EEMS の普及に非常に効果的である。

さらに、既存のデータベースを活用する際にも、従業員レベルで活用できるようなインタフェースの整備が望まれる。業界を超えた事例・ノウハウなどを積極的に収集し、データベース化するためには、各社にどう情報提供を行ってもらうか、そのインセンティブ付与の仕組みを整えることがポイントとなる。

技術的な観点では、個人の省エネ貢献度評価に向け、人の移動、機器の移動に対する自動認識機能、効果算出プログラムなどが必要であり、いかに低コストで整備できるかが大きなポイントである。

業界ごとに必要とされるサービスを共有化し、情報・技術の横展開を図ることも必要となってくる。また、情報を共有する際には、情報の粒度（測定方法の統一など）や、省エネ効果のベンチマーク方法などにも注意を払う必要がある。

なお、表 4-5 に、ここでの検討結果をまとめた。

表 4-5 EEMS 適用に向けての検討結果

項目	検討結果
検討ポイントを踏まえて何をすべきか	<ul style="list-style-type: none"> 従業員レベルでの省エネ事例集、ベストプラクティスなどノウハウの検索が容易なデータベース、およびインタフェースの整備 データベースの規模確保。積極的に情報提供を行うためのインセンティブ付与システムの構築 情報の横展開、省エネ活動結果のベンチマークに向けた情報取得粒度の共通化（電力測定方法の統一等） 業界ごとに必要とされるサービスの共有化、これによるシステム構築コストの削減 システムの維持、やる気持続のための施策
技術に対してもとめられる事項	<ul style="list-style-type: none"> 個人や組織別の省エネ貢献度の見える化に向け、所属変更やレイアウト変更後のデータの連続性を確保するための自動識別機能など システムの拡張性、スケーラビリティ 他システムとの連携機能。例えば、KPI を算出するために生産量、人事情報等のデータを入手する際の技術的ハードルの解決、低コストでのシステム化技術

4.3.3. まとめ

ここで紹介した EEMS 普及に向けたサービス・機能はその一例であり、事業ごとに有効な機能は様々である。経営者が省エネ効果とコスト効果とのバランスを考慮して選択し、強い意思を持ってシステムの導入を進めていくことが重要である。特に、省エネデータベースの従業員レベルでの利便性向上は、EEMS の継続的な運用においては重要なサービスと思われる。

また、EEMS と他の全社的なシステムとを連携するサービス・機能については、技術的・コスト的な面での課題が多いものの、EEMS による省エネ効果を高めつつ、それ以外の付加価値についても提供できるという意味で興味深い機能である。

前述したとおり、これらのサービス・機能実現を、1社のみで行うことは難しく、業界な

ど広い分野での連携が大きなポイントとなる。

なお、最後にここまで検討した結果として、企業、業界、技術に対して求められる事項を表 4-6 にまとめた。

表 4-6 企業、業界、技術に対して求められる事項まとめ

項目	求められる事項
企業	<ul style="list-style-type: none">・ 経営層の強い導入運用意志・ 企業毎／部署毎に必要な機能、サービスの明確化
業界	<ul style="list-style-type: none">・ ベンチマーク（基準値）方法の作成、データの共有
技術	<ul style="list-style-type: none">・ 低コストでのサービス実現
その他	<ul style="list-style-type: none">・ これらの機能、サービスを誰が提供するか・ エネルギーマネジメントに加え、新たな付加価値を提供するシステムの検討

4.4. EEMS の役割と利害関係の整理

4.4.1. 検討ポイントの概要と重要性

企業や組織が省エネルギー活動を実施するとき、その活動はその企業、組織だけでなく、他企業や同一企業における他施策と関連性が生じ、それらに影響を及ぼすこととなる。企業間の例としては、ビル所有者と入居者との関係や、グリーン購入など環境への配慮された製品材料の購入などがある。また、省エネルギー活動について、株主が企業価値の判断材料として見たり、国や自治体が法律等の遵法性を確認するための情報として、提供を求められる場合もある。組織内であっても、環境と職場の快適性や利便性とのバランス、他の目標達成のための施策間の調整が必要になることもある。

このように、省エネルギー活動を実施するに当たっては、幅広い関係者との利害関係を整理していく必要がある。各種データを計測、取得したときに、そのデータについての、関係者間での共通的な認識を持つことで、データの示す意味について合意ができ、その上で双方の利害関係について調整していくことが可能になる。

また、データの測り方についても精度や測定対象量の整理が必要となる。さらに、計測に当たっては対象設備が同じ条件で計測できるとはかぎらないため（例えば古い設備と新しい設備では同じ条件で測定が困難）、測定ができない場合の推定方法の取り決めも必要となる。これまでの測定方式だけでなく、新たな測定方式（例えば画像を活用するなど）について関係者間で共通認識も必要となる。

そこで、本年度 WG では、EEMS を構築する際に求められる下記の事項について、その要件を検討した。

- ①EEMS にて取り扱うデータについて、関係者間で共通認識ができるものであること
- ②データの測定に関して共通化された方法であること

なお、WG での検討結果概要は表 4-7 の通りである。

表 4-7 検討結果の概要

項目	検討結果概要
EEMS にて取り扱うデータについて、関係者間で共通認識ができるものであること	<ul style="list-style-type: none">・ 取得データに対する評価も共通的にできる仕組みが望ましい・ ただし、企業、組織間では、情報を利害関係者にどこまで開示するか、秘密情報といかにバランスさせるかを考慮する必要がある・ 企業内では、実施状況の共有化による省エネルギー施策への参画意識向上、インセンティブ付与によるモチベーション向上等の工夫も必要となる
データの測定に関して共通化された方法であること	<ul style="list-style-type: none">・ データの計測では、精度を上げることで外部提供時等の正確性は高まるが、そのための情報量や利用コストが増大する。また、データを利用する側と測定する側では、求める精度、範囲が異なることがある・ 計量の仕組みを共通化、標準化することで、例えば、料金体系や課金方法が共通のものとなり、システム導入がしやすくなることも期待される

4.4.2. 関係者間での共通認識をもつこと

計測に当たっては、統一的な方法で行われ、取得できたデータに対する評価についても共通的に認識できる仕組みがあることが望ましい。統一的な計測手法、取得するデータ、各種指標などについて、関係者間で共通認識ができることで、利害関係の調整に繋がると考えられる。

企業、組織間であれば、情報や事例を提供し、それを共有化することで、共通化が進むと考えられる。この場合、情報を利害関係者にどこまで開示するか、秘密情報といかにバランスさせるかを考慮する必要がある。

また、企業内であれば、省エネ推進者と従業員間で省エネ理解を高めるため、実施状況の共有化による省エネルギー施策への参画意識向上や、インセンティブを与えることでモチベーションにつなげる工夫も必要となる。

したがって、関係者間で共通認識を持つためには、情報や事例を共有化できる仕組みを作り上げていくことが容易にできることが求められる。

4.4.3. データの測定に関する認識の共通化

計測するデータは、精度を上げることで外部提供時等の正確性は高まるが、そのための情報量や利用コストが増大することになる。データを利用する側と測定する側では、求める精度、範囲が異なることがある。

例えば、テナントビルにおいては、ビル所有者から入居者へエネルギー使用量を提供するにあたり、計量する範囲の粒度、共通部分の使用量分の配賦方法など、ビル内の計量の仕組みの構築とその負担を誰がすべきかについての考え方について、共通化を図っていくことが求められる。また、計量の仕組みが共通化、標準化されることで、その結果料金体系や課金方法が共通のものになり、システムも導入しやすくなると考えられる。

組織内においては、省エネルギー施策は、コスト削減と関連して実施されることが多い。その実施においては、職場環境における快適性と利便性と両立させることが望まれる。一方で快適性や利便性を測るための方法が標準化されたり、確立する等されていないため、今後の測定方法も求められる。

4.4.4. まとめ

最後に、ここまで検討した結果を踏まえ、企業、業界、技術に対して求められる事項を以下に示す。

(1) 企業に求められること

企業において省エネルギーを実施する場合には、職場の快適性についても考慮した取り組みとする必要がある。例えば、インセンティブを与えるなど、省エネ施策へのモチベーションを高める工夫が必要である。

(2) 業界に求められること

企業や組織がそれぞれ実施している省エネの取り組みについて、情報を共有する仕組みをつくり、そこからデータの計測手法や、その標準化をさらに推進していく必要がある。情報の共有にあたっては、その情報所有者の定義、機密情報の取り扱いについても制度化していくことが求められる。

(3) 技術に求められること

計量するための技術については、特に新たな設備については、すでに多様な手法が確立されているが、既存設備などでは、それらの方法を採用するとコストが高くなることが多い。そのため、EEMS の導入につながらなくなることも多いと考えられる。そのためにも、低コストで実現できる計測、計量し、情報を収集する技術開発が求められる。また、他の観測データから、求めたい情報を推計する技術も求められる。

なお、上記の企業、業界、技術に対して求められる事項について、一覧表としてまとめたものが表 4-8 である。

表 4-8 企業、業界、技術に対して求められる事項まとめ

項目	求められる事項
企業	<ul style="list-style-type: none">省エネルギーを実施する場合には、職場の快適性についても考慮した取り組みとする必要がある
業界	<ul style="list-style-type: none">情報を共有する仕組みをつくり、そこからデータの計測手法や、その標準化をさらに推進していく必要がある
技術	<ul style="list-style-type: none">低コストで実現できる計測、計量し、情報を収集する技術開発が求められる他の観測データから、求めたい情報を推計する技術も求められる

5. まとめ～EEMS 普及について～

前年度と本年度の2年間にわたり、IT技術を積極活用することにより組織全体としてエネルギーの使用の諸課題を情報の視点から解決をはかるエネルギー管理システム構築の指針とすべく、EEMSフレームワークの検討を進めてきた。

今後企業は、改正省エネ法への対応や国際規格として審議中のISO50001がJIS化された場合の対応など、様々なエネルギー関連のアプリケーションを企業全体で実現するために、EEMSを構築すると考えられる。EEMS普及のために、EEMSの構築にあたり重要な点をまとめた。

5.1. EEMSの機能と構成について

事業所レベルのエネルギー管理システムxEMSは、エネルギー管理者や従業員によるエネルギー使用量の見える化（グラフ化）や省エネのための支援機能、設備の制御機能を備えるものが多い。しかしEEMSは事業者全体のエネルギー管理システムのため、例えば見える化についても経営者や外部ステークホルダからの視点や機能要求にも答える必要がある。これらのEEMSに要求される省エネに関わる業務や業務目的を2.1節にまとめた。またEEMSの重要な機能である見える化、データ分析、教育、コミュニケーション、監査について、各機能の重要要求項目を2.3節にまとめた。特に見える化については、フレームワークの4つの視点（経営者、エネルギー管理者、従業員、外部ステークホルダ）から分析を行った。システムの仕様を検討する際の参考にしていきたい。

EEMSに対して期待される各種の機能を4.3節にまとめた。導入する企業の状況によりEEMSに期待される機能は異なる。ここでは考えられる一例を紹介している。EEMSに各種機能を要求され、そのために様々な他システムとの連携が膨大、複雑になると、システムがいたずらに高コスト化する。この点は注意が必要である。

システムの姿としてEEMSの備えるべき機能の概念的な配置と具体的な構成例を2.2節に示した。ここではシステムが提供すべき共通的な機能も解説している。また機能の配置についてはアーキテクチャを参照していただきたい。

5.2. EEMS構築にあたり考慮すべき項目

3章の事例のヒアリング結果より、EEMS構築に対して考慮すべき点を簡単に紹介する。

(1) エネルギー効率を表す指標について

省エネ法、ISO50001、IEC Energy Efficiencyの講演で共通して指摘されたのは、原単位のようなエネルギー効率を表す指標（KPI）によるエネルギー管理の重要性である。ISO50001におけるEnPIの考え方や、継続的な改善に関する考え方を参考にしていきたい。また3.2節において改正省エネ法における原単位の考え方や原単位差異分析など較差要因分析を解説している。具体的な省エネ業務で参考にしてほしい。KPIについてはISO50001や省

エネ法でも簡単に触れられているが、3.5 節 IEC Energy Efficiency で述べているように KPI は事業者全体の管理だけでなく、そこから各部門や設備、機器といったレベルまで分解して管理することが重要である。KPI として省エネ法の原単位を使用する場合は、その対象毎にエネルギー使用に関連した値を見つけ出す必要がある。

KPI 選定にあたり具体的に考慮すべき点を 4.1 節にまとめた。より良い KPI の備えるべき要点として「①組織や活動の能力を客観的に示すこと」、「②異常を検出して改善に結び付けられること」について解説を行っている。

(2) 情報の見える化について

具体的な EEMS 構築にあたり考慮すべき事項としては、3.3 節 コクヨの事例にあるように関係者が積極的に取り組むような環境を作り出すことである。達成感を持ち、各個人が省エネ活動を進めるには、各個人に対して取るべき省エネ行動の指針を明示し、各個人への目標達成度をフィードバックすることが重要である。また 3.4 節 東大グリーン ICT プロジェクトで示されたように、関係者が見たくなるような画面の工夫も重要である。見た情報をどう扱うかについては、3.5 節 三菱電機の事例が示唆に富んでいる。同社では省エネを進める中で、情報を見える化（グラフ化）するだけでなく、作ったグラフについて、少なくとも 3 つの点を分析することを進めている。これによりグラフを出し「効果がある」で終わらず、さらに次の改善につなげることが重要である。

やる気を出させる見える化については、エネルギー管理者、従業員、利用者全員の視点からまとめたので 4.2 節を参照していただきたい。

5.3. おわりに

エネルギーをめぐる環境は、今後も変化し続け企業に対する要求も変わっていくであろう。それに答えるべく EEMS が備えるべき機能/アプリケーションも変化していくであろう。このような変化の激しい中で、省エネを進め、エネルギー関連のアプリケーションを実現する上で、本 WG の調査結果が EEMS を検討、構築する際の一助となれば幸いである。

— おわりに —

本報告書では、技術検討委員会の 2010 年度の活動成果について、当委員会 WG 活動に沿って 2 つのテーマに分けてまとめた。

第 1 部の(Green) of IT 技術関連では、前年度に引き続き IT システム・機器、キーデバイス(半導体等)の各レイヤ観点での国内外動向を調査し、特に「電力消費効率評価技術」の実態調査に基づき、同技術に関わる課題と方向性をまとめた。「電力消費効率評価技術」をテーマとして取り上げたのは、「of IT 省エネ技術」は IT システム・機器の電力あたりの仕事量(電力消費効率)を最大化することが目的であり、その為には仕事量(負荷)と電力を定量的に評価する技術が重要な為である。電力消費効率最大化には負荷等の状況に応じた IT システム・機器の動的な制御(適応制御)が最終的に必要となるが、そのための測定・評価技術まだ一部の IT 機器に組込まれているにとどまり、今後の研究開発をさらに強化すべきと考える。また、IT 機器が集約しているデータセンタの電力効率向上には外気冷却などファシリティ設備を含めた効率化が進んでおり、今後効率的な企業としてのエネルギー管理の為に EEMS(Enterprise Energy Management System)」との連携も重要になるだろう。

第 2 部の(Green) by IT 技術関連でも、前年度の活動を引継いで企業単位のエネルギー管理のための「EEMS(Enterprise Energy Management System)」に関する検討を行い、見える化技術に焦点をあてた EEMS 構築時の指針となる EEMS フレームワークを見直した。業務部門の省エネ化取り組みを含む 6 つの事例に関する講演・意見交換を通して、アーキテクチャや 4 階層の視点を含む EEMS フレームワークの定義を詳細化し、EEMS 適用の際の 4 つのポイント「良い KPI」「やる気を出せる見える化」「普及のためのサービス」「EEMS の役割と利害関係」についてまとめた。

第 1 部と第 2 部に共通して言えることは「見える化」技術の重要性である。省エネ(省電力)技術の適用は一般的には 3 段階で進められる。1 段階目は先進省エネ技術が組み込まれた「最新型機器・システムへのリプレース」、2 段階目は「エネルギー消費の見える化の導入」、そして 3 段階目は動的に見える化したデータを活用した「機器・システムの最適化」である。第 1 部では、IT システム・機器について、3 段階目での最適化による省エネ効果を出す為にはその前提となる 2 段階目の「見える化」である電力消費効率に関する各種評価技術が重要であることを述べた。また、第 2 部では、企業のエネルギー管理について、特に業務部門において省電力に対する人の意識改革が必要であり、それを実現するためには自らの活動に伴うエネルギー消費動向に関する現状あるいは対策効果の適切な「見える化」がやはり重要であることを述べた。

「見える化」の重要性は、近年、業務部門と共に電力消費が増加傾向にある家庭部門でも同様である。また、業務や生活の現場に居る各個人への適切な「見える化」を確実に進め、ワークスタイル、ライフスタイルを各個人が改めて見直すべき時期となっている。国

策としてのエネルギー基本計画の見直しと併行して、我々個人が意識改革していくことが、未曾有の被災状況からの強力で迅速な日本復興にも繋がると考える。本報告書が復興推進の一助にもなれば幸いである。

なお、今回、各テーマでの検討を進めるにあたり、経済産業省、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、産業技術総合研究所には、最新の情報をご提供頂きました。また、技術検討委員会外の関係企業・団体の多くの方々におかれましても、ご講演や意見交換、情報提供などにて多大なご協力を頂きました。この場を借りまして、心より深く感謝の意を表したいと思います。

今後とも、国内外のグリーン IT 技術について調査検討を継続実施し、当協議会他委員会、及び、国内外他団体との連携を深めながら、IT・エレクトロニクスによる経済成長と環境保護の両立に貢献する活動を推進していく所存であり、関係企業・団体におかれましても、継続して当協議会の活動に対してご指導・ご協力を賜れば幸いです。

グリーン IT 推進協議会(GIPC)技術検討委員会幹事一同

— 禁 無 断 転 載 —

**2010 年度 グリーン IT 推進協議会
技術検討委員会 報告書**

発行日 2011 年 6 月

編集・発行 **グリーン IT 推進協議会 技術検討委員会**
事務局(一般社団法人電子情報技術産業協会 グリーン IT 推進室)
〒100-0004 東京都千代田区大手町 1-1-3 大手センタービル
TEL: (03) 5218-1055
<http://www.greenit-pc.jp>