

「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」

(グリーン IT プロジェクト)

事業原簿【公開版】

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 エネルギー対策推進部 (旧 省エネルギー技術開発部)
-----	--

## —目次—

概要 .....	i
プロジェクト基本計画.....	iv
プログラム基本計画 .....	viii
プロジェクト用語集 .....	xix
I事業の位置づけ・必要性について .....	I-1
I.1    NEDOの関与の必要性・制度への適合性 .....	I-1
I.1.1    NEDOが関与することの意義.....	I-1
I.1.2    実施の効果.....	I-1
I.2    事業の背景・目的・位置付け.....	I-2
I.2.1    事業の背景.....	I-2
I.2.2    事業の目的、意義.....	I-2
I.2.3    事業の位置付け.....	I-3
II    研究開発マネジメントについて .....	II-1
II.1    事業の目標.....	II-1
II.2    事業の計画内容.....	II-1
II.2.1    研究開発の内容.....	II-1
II.2.2    研究開発の実施体制.....	II-7
II.2.3    研究開発の運営管理.....	II-12
II.2.4    研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性 .....	II-15
II.3    情勢変化への対応.....	II-15
II.4    中間評価結果への対応.....	II-19
II.5    評価に関する事項.....	II-19
III    研究開発成果について .....	III-1
III.1    事業全体の成果（平成22年6月現在） .....	III-1
III.1.1    事業の目標（再掲） .....	III-1
III.1.2    研究開発の内容.....	III-4
III.2    研究開発項目毎の成果.....	III-7
III.2.1    将来の進化を想定した低消費電力アーキテクチャーの開発 .....	III-7
III.2.2    ストレージシステム向け省電力技術の開発 .....	III-12
III.2.3    クラウド・コンピューティング技術の開発 .....	III-16
III.2.4    冷却ネットワークとナノ流体による集中管理型先進冷却システムの研究開発..	III-21
III.2.5    集熱沸騰冷却システムの開発.....	III-26
III.2.6    データセンタの電源システムと最適直流化技術の開発 .....	III-29
III.2.7    データセンタのモデル設計と総合評価 .....	III-37
III.2.8    IT社会を遠望した、情報の流れと情報量の調査研究 .....	III-41
III.2.9    社会インフラとしてのネットワークモデル設計と総合評価 .....	III-43
III.2.10    情報のゲイミッフル測定と分析ツール及び省エネルギー型ルータ技術の開発..	III-544
IV実用化の見通し.....	IV-1
別紙	
特許論文リスト.....	1
事前評価書 .....	①

概要

作成日	平成22年7月						
プログラム名	エネルギーイノベーションプログラム						
プロジェクト名	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 (グリーンITプロジェクト)	プロジェクト番号	P08017				
担当推進部/担当者	エネルギー対策推進部(旧 省エネルギー技術開発部) / 内條 秀一						
0. 事業の概要	IT機器の電力消費が今後急増することが予想される中、「エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術」及び「革新的省エネルギーネットワーク・ルータ技術」に関する研究開発を行い、IT機器の省エネルギー化に加え、データセンタやネットワークシステム全体で効果を発揮する革新的な省エネルギー技術を開発する。						
I. 事業の位置付け・必要性について	持続的なIT利活用を可能とするためには、IT機器のエネルギー消費量を抜本的に削減する技術の確立が喫緊の課題であるとともに、我が国が得意とする省エネルギー技術をベースにIT産業の国際競争力の強化にも寄与する。						
II. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	①データセンタの年間消費電力量を30%以上削減可能なエネルギー利用の最適化を実現するデータセンタに関する基盤技術、②ネットワーク部分の年間消費電力量を30%以上削減する革新的な省エネルギー化を可能とするネットワーク・ルータに関する要素技術を開発する。						
事業の計画内容	主な実施事項	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	
	将来の進化を想定した低消費電力アーキテクチャーの開発	調査 →	→	→	→	→	
	ストレージシステム向け省電力技術の開発	→	→	→	→	→	
	クラウド・コンピューティング技術の開発	→	→	→	→	→	
	最適放熱方式の検討とシステム構成の開発	→	→	→	→	→	
	データセンタの電源システムと最適直流化技術の開発	調査 →	→	→	→	→	
	データセンタのモデル設計と総合評価	→	→	→	→	→	
	IT社会を遠望した、情報の流れと情報量の調査研究	→	→	→	→	→	
	情報のダイナミックフロー測定と分析ツール及び省エネルギー型ルータ技術の開発	→	→	→	→	→	
	社会インフラとしてのネットワークのモデル設計と総合評価	→	→	→	→	→	
開発予算 事業費実績額 単位：百万円 ( )は見込み	会計・勘定	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	総額
	一般会計	0	0	0			
	特別会計(需給)	1219	1917	(1450)			
	総予算額	1219	1917	(1450)			
	委託、助成別	委託	委託	委託			
開発体制	経産省担当原課	商務情報政策局 情報通信機器課					
	プロジェクトリーダー(PL)	PL: 松井俊浩 (独) 産業技術総合研究所 サブPL: 西川克彦 富士通(株) サブPL: 橋本雅伸 日本電気(株) サブPL: 西村信治 (株) 日立製作所 サブPL: 林 剛久 アラクサラネットワークス(株)					

	委託先	富士通株式会社、株式会社日立製作所、独立行政法人産業技術総合研究所、九州大学、宇都宮大学、株式会社SOHKi、日本電気株式会社、筑波大学、エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社、名古屋大学、アラクスネットワークス株式会社、横河電機株式会社、株式会社NTTファシリティーズ、三菱電機株式会社、株式会社I I Jイノベーションインスティテュート
情勢変化への対応	<p>【研究開発項目の変更】平成 21 年度          新しいコンピューティング技術としてクラウド・コンピューティング環境下でのサーバアーキテクチャーの開発を想定し、研究開発項目名の変更と研究開発項目を追加した。</p> <p><u>項目名の変更</u></p> <p>① エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発          旧) a) データサーバの最適構成と進化するアーキテクチャーの開発          新) a) サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発</p> <p><u>新規追加項目</u></p> <p>① エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発          a) サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発、ウ) クラウド・コンピューティング技術の開発</p> <p>【研究開発項目の追加実施】平成 21 年度          平成 20 年度の調査研究で、開発すべき技術内容と課題が明確になった研究開発項目について追加公募を実施し（平成 21 年 5 月～7 月）、平成 21 年 7 月 16 日の採択審査結果を受け、新たに次の 3 つの研究開発項目について委託研究を開始した。</p> <p>①将来の進化を想定した低消費電力アーキテクチャーの開発          ②クラウド・コンピューティング技術の開発          ③データセンタの電源システムと最適直流化技術の開発</p> <p>【ステージゲート方式の実施】平成 20 年度          研究開発項目①「エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発 b) 最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発」において、ステージゲート方式を導入した。平成 20 年度第 1 ステージを実施してきた 5 つの各開発テーマのうち、2 つの開発テーマを平成 21 年度以降の「第 2 ステージ」に移行させ、3 つの開発テーマは「第 1 ステージ」で終了とした。</p>	
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>これまでの開発進捗状況と平成 22 年度中間目標に対する達成見込みについて纏める。</p> <p>研究開発項目① エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>データセンタの年間消費電力量を 30%以上削減可能なエネルギー利用の最適化を実現するデータセンタに関する基盤技術の中で、「サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発」については、筐体内光接続技術やストレージシステム向け省電力技術、クラウド・コンピューティング技術の開発により、平成 22 年度末には理論モデルで従来比 50%以上の消費電力削減効果を検証できる見込みである。</li> <li>「最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発」、「データセンタの電源システムと最適直流化技術の開発」、「データセンタのモデル設計と総合評価」については、平成 22 年度末までに、データセンタ及びサーバの空調・冷却効率を 50%以上改善可能な、高効率冷却システム技術に必要な要素技術を開発し、その省電力効果と実用性を検証できる見込みである。また、電源負荷状態に応じて電源やサーバ構成機器・デバイスをコントロールすることを可能とする各要素技術を開発し、電源を含めた IT 機器全体の消費電力を 20%以上削減可能な最適直流化技術と電源のアダプティブマネジメント技術の省電力効果について検証できる見込みである。データセンタのモデル設計と総合評価においては、本プロジェクトで得られたエネルギー利用最適化データセンタに関する技術成果を取り入れ、データセンタ及びサーバシステムトータルの省エネルギー性を評価できる指標の確立と、データセンタ・サーバの最適配置に関するモデル設計を行う見込みである。</li> </ul>	

III. 研究開発成果について	<p>研究開発項目②「革新的省エネルギーネットワーク・ルータ技術の研究開発」</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ネットワーク部分の年間消費電力量を30%以上削減する革新的な省エネルギー化を可能とするネットワーク・ルータに関する開発項目として、「情報のダイナミックフロー測定と分析ツール及び省エネルギー型ルータ技術」、「社会インフラとしてのネットワークのモデル設計と総合評価」について、平成22年度末までに次の成果を得る見込みである。</li> <li>・将来の社会／生活スタイル等を想定し、ネットワーク上を流通する情報の流れや量、ネットワークに対する社会ニーズ等を予測して、省エネ型ネットワークに必要なとされる技術を捉える。</li> <li>・40Gbpsレベルの高速回線を収容するルータにおいて、情報量に応じてルータの性能を動的に変化させるために必要な、数秒～数分の短期変動に対応してダイナミックに入出力情報量を観測・予測する技術を開発し、その省エネ性を検証する。</li> <li>・ネットワーク、ルータの消費電力をリアルタイム、アベレージ、ピークなどの情報として取得する技術、そのためのサーバとルータ間のインターフェース技術やユーザインターフェース技術などを開発し、リアルタイム電力可視化技術を検証する。</li> <li>・消費電力モードの切替時間が1ms以下で、性能を4段階以上の粒度で変化させる転送性能制御技術を開発し、情報量のダイナミックな観測・予測技術と組み合わせた評価において省エネ性を検証する。</li> <li>・省エネ型ネットワークアーキテクチャーに必要な、ネットワークトポロジやシステム構成機器の最適化など、省エネネットワーク・ルータシステムをモデル設計する。</li> </ul>	
	投稿論文	「査読付き」23件、「その他」28件
	特許	「出願済」30件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願 件）
IV. 実用化の見通しについて	現在、各実施機関で実用化検討のシナリオを作成中である。	
V. 評価に関する事項	事前評価	平成19年度実施 担当部 省エネルギー技術開発部
	中間評価以降	平成20年度1月 「最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発」に対するステージゲート方式の適用 平成22年度7月 中間評価実施予定 平成25年度 事後評価実施予定
VI. 基本計画に関する事項	作成時期	平成20年3月 作成
	変更履歴	平成20年5月 研究開発項目名等に軽微な変更。 平成20年7月 イノベーションプログラム基本計画の制定により改訂。 平成20年9月 プロジェクトリーダー及びサブプロジェクトリーダーの委嘱による実施体制の軽微な変更。 平成21年3月 研究開発項目名称の変更

(エネルギーイノベーションプログラム)  
(大項目) 「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  
(グリーンITプロジェクト)」基本計画

省エネルギー技術開発部

### 1. 研究開発の目的・目標・内容

#### (1) 研究開発の目的

現在、ブロードバンドの普及やIT機器の高度化・設置台数の急激な増加に伴い、ネットワークやIT機器が扱う情報量は増大傾向にある。ITの活用による環境負荷低減への貢献が期待されているが、情報量の増大に伴い、ネットワーク機器、サーバ、ストレージ、PC及びディスプレイなどのIT機器の個々の電力消費も膨大なものになると想定されている。試算によると、ネットワーク機器やサーバ、ストレージ等、これらIT機器全体では2025年には現在の5倍、2050年には12倍になるとされている。

一方、海外においては、低消費電力化に向けてIT関連企業の垣根を越えたコンソーシアムの動きが活発化しており、今後は消費電力低減が新たな競争軸になりつつあり、IT機器に関する省エネルギー技術の開発は、産業競争力の観点からも重要な要素となっている。

そのため、平成19年10月29日に開催された第70回総合科学技術会議において、IT各機器の省エネルギーに加えて、ネットワーク全体で効果を発揮する省エネルギー技術を中心とした、データセンタ、サーバ、ネットワーク機器に対する中長期を見据えた革新的省エネルギー技術の研究開発アプローチが期待されている。新・国家エネルギー戦略(平成18年5月)では、30%以上のエネルギー消費効率を改善していくための方策として、長期的視点に立った省エネルギー技術戦略を策定し、省エネルギー技術開発及び支援の重点化を行うことが示され、2030年に向けて、省エネルギー技術戦略2007がとりまとめられている。省エネルギー技術戦略2007には、省エネ型生活情報空間創生技術が重点技術分野とされ、通信機器等そのものの省エネルギー化と、大容量・高速通信を低消費電力で実現するためのネットワーク関連技術の研究開発が重点技術課題として取り上げられている。

また、平成19年度に提案されたCool Earth 50では、世界全体のCO<sub>2</sub>の排出を現状から2050年までに半減という長期ビジョンとその達成のための革新的技術開発として、「Cool Earth — エネルギー革新技術計画」の策定が行われ、重点的に取り組むべきエネルギー革新技術として「省エネ型情報機器・システム」がうたわれている。

このような背景の下、本プロジェクトでは、省エネルギー型生活情報空間創生技術による環境調和型IT社会の構築を目的とし、エネルギーイノベーションプログラムの一環として、中期(2013年以降のポスト京都議定書)・長期(2030年)・超長期(2050年)までを視野におき、「エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術」及び「革新的省エネルギーネットワーク・ルータ技術」について研究開発を実施する。

本技術の確立により、データセンタ及びネットワークの30%以上の年間消費電力量が低減されるのみならず、共通基盤技術の形成、産業競争力の強化、新規産業の創出にも資する。

## (2) 研究開発の目標

データセンタの年間消費電力量を30%以上削減可能なエネルギー利用の最適化を実現するデータセンタに関する基盤技術と、ネットワーク部分の年間消費電力量を30%以上削減する革新的な省エネルギー化を可能とするネットワーク・ルータに関する要素技術を、平成24年度までに確立する。最終目標及び中間目標の詳細については、別紙研究開発項目のとおり。

## (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。なお、研究開発項目の一部について「ステージゲート方式」を採用する。

### [委託事業]

- ① エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発
  - a) サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発
  - b) 最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発
  - c) データセンタの電源システムと最適直流化技術の開発
  - d) データセンタのモデル設計と総合評価
- ② 革新的省エネルギーネットワーク・ルータ技術の研究開発
  - a) IT社会を遠望した、情報の流れと情報量の調査研究
  - b) 情報のダイナミックフロー測定と分析ツール及び省エネルギー型ルータ技術の開発
  - c) 社会インフラとしてのネットワークのモデル設計と総合評価

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO技術開発機構」という。）が、単独ないし複数の原則、本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関（原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等（大学、研究機関を含む）の特別の研究開発能力、研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。）から公募によって研究開発の委託先を選定後、委託して実施する。各委託先がそれぞれの強みを生かした最適な共同研究体制を構築するとともに、必要に応じて再委託先を設定するものとする。また、各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、プロジェクトリーダー独立行政法人産業技術総合研究所 研究コーディネータ 松井俊浩を置くとともに、研究開発項目①エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発にサブプロジェクトリーダー富士通株式会社 アウトソーシング事業本部 インテグレーションマネジメント統括部

統括部長付 西川克彦及び日本電気株式会社 システム実装研究所 研究所長 橋本雅伸を、研究開発項目②革新的省エネルギーネットワーク・ルータ技術の研究開発にサブプロジェクトリーダー株式会社日立製作所 中央研究所 情報システム研究センターネットワークシステム研究部 部長 西村信治及びアラクサラネットワークス株式会社 CTO 林剛久を置き、密接な関係を維持するとともに、それぞれの研究開発項目における達成目標を実現すべく研究開発グループごとに研究開発を実施する。

## (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及びプロジェクトリーダー等と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らして、実施期間、研究開発項目及び実施体制の見直しを含めて適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させるほか、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

また、プロジェクトリーダー等は、当該報告等を踏まえ、研究開発グループに対し、適宜指導・助言を行う。さらに研究実施主体が競争的に研究開発を行うことによりイノベーションを加速させることを目的として、研究開発項目の一部について「ステージゲート方式」を導入する。具体的には、複数の研究開発グループから異なる原理、方式等の提案があり、現段階ではその性能、機能等が実証されておらず、かつ必ずしもそれらの優劣が明確でない場合には、その研究開発項目については複数の研究開発グループに委託を行うこととするが、プロジェクト実施期間の最初にフィージビリティスタディを行う「第1ステージ」（平成20年度）と後半の「第2ステージ」（平成21～24年度）に分け、「第1ステージ」の最終段階に、絞り込み評価を実施する。絞り込み評価では、研究開発目標に対する「達成度」等を踏まえ、定性的・定量的に評価する。絞り込み評価を踏まえ、「第2ステージ」（平成21年度以降）では、高く評価された研究開発に絞り、これらを継続して本格的な研究開発に移行させる。絞り込みに当たっては、原則、研究開発項目ごとに、1グループに絞ることとする。また、「第2ステージ」に移行するに当たり、研究開発の進捗状況を踏まえ、必要に応じて、研究開発項目及び実施体制を見直すこととする。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成20年度から平成24年度までの5年間とする。ステージゲート方式を導入する場合は、「第1ステージ」の期間を平成20年度、「第2ステージ」の期間を平成21年度から平成24年度までとする。

## 4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成22年度、事後評価を平成25年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じてプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

また、上記中間評価とは別に、ステージゲート方式を導入した研究開発項目については「第1ステージ」の最終段階に絞り込み評価を実施し、「第2ステージ」（平成21年度以降）に移行させる。

## 5. その他の重要事項

### (1) 研究開発成果の取扱い

#### ①共通基盤技術の形成に資する成果の普及

得られた研究成果については、NEDO技術開発機構、実施者とも、普及に努めるものとする。

#### ②知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、必要に応じ知的基盤整備又は標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準情報（TR）制度への提案等を積極的に行うとともに、ISO等の国際標準の提案にも努めることとする。

#### ③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

### (2) 基本計画の変更

NEDO技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

### (3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第一号ハ及び同条同項第六号に基づき実施する。

## 6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成20年3月 制定。

(2) 平成20年5月 研究開発項目名等に軽微な変更。

(3) 平成20年7月 イノベーションプログラム基本計画の制定により改訂。

(4) 平成20年9月 プロジェクトリーダー及びサブプロジェクトリーダーの委嘱により、研究開発の実施体制に軽微な変更。

(5) 平成21年3月 研究開発項目名称の変更。

## エネルギーイノベーションプログラム基本計画

### 1. 目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。

エネルギー安全保障の確立や、世界全体の温室効果ガスを2050年までに半減するという長期目標を達成するため、以下に政策の柱毎に目的を示す。

#### 1-I. 総合エネルギー効率の向上

1970年代以来、官民をあげて省エネルギーに取り組み、産業構造の転換や新たな製造技術の導入、民生機器の効率改善等により世界最高水準の省エネルギーを達成している。今後、「新・国家エネルギー戦略」に掲げる、2030年までにGDPあたりのエネルギー利用効率を約30%向上を実現していくためには、産業部門はもとより、全部門において、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進する。

#### 1-II. 運輸部門の燃料多様化

ほぼ100%を石油に依存する運輸部門は、我が国エネルギー需給構造上、最も脆弱性が高く、その需給構造の次世代化は、将来に向けた早急な対策が不可欠な課題となっている。

「新・国家エネルギー戦略」に掲げる目標（2030年に向け、運輸部門の石油依存度が80%程度となることを目指す）の実現のためにも、官民が中長期的な展望・方向性を共有しつつ、技術開発と関連施策を推進する。

#### 1-III. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーは、エネルギー源の多様化や地球温暖化対策の観点から重要である。しかし、現時点では経済性や出力安定性といった普及へ向けての課題が存在する。

そのため、これらの課題解決に向けた技術開発の推進及び新エネルギーの導入促進のための関連施策の実施により、更なる新エネルギーの普及を推進する。

#### 1-IV. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

原子力発電は供給安定性に優れ、運用時にCO<sub>2</sub>を排出しないクリーンなエネルギー

源である。安全確保を大前提に核燃料サイクルを含む原子力発電を着実に推進する。

#### 1-V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

化石燃料資源の大宗を輸入に依存する我が国にとって、その安定供給の確保は国家安全保障に直結する課題である。このため、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、我が国企業による資源国における資源開発等に対する支援等の施策を進めるとともに、その有効かつクリーンな利用を図る。

### 2. 政策的位置付け

#### ○ 低炭素社会づくり行動計画（2008年7月閣議決定）

2008年6月の福田総理（当時）のスピーチ「福田ビジョン」等を受け、我が国が低炭素社会へ移行していくための具体的な道筋を示すため、国全体を低炭素化へ動かす仕組みや革新的な技術開発、国民一人ひとりの行動を促すための取組について策定。

「環境エネルギー技術革新計画」や「Cool Earth－エネルギー革新技術計画」等に示された革新的技術の開発に5年間で300億ドル程度を投入するという具体的な目標が示された。

#### ○ 環境エネルギー技術革新計画（2008年5月）

温室効果ガスの大幅な削減を目指すだけでなく、エネルギー安全保障、環境と経済の両立、開発途上国への貢献等を考慮し、以下の戦略等を策定。

1. 低炭素社会実現に向けた我が国の技術戦略
2. 国際的な温室効果ガス削減策への貢献策
3. 革新的環境エネルギー技術開発の推進方策

#### ○ Cool Earth－エネルギー革新技術計画（2008年3月）

2007年5月の総理イニシアティブ「クールアース50」を受け、世界全体の温室効果ガスの排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を達成するため、エネルギー分野における革新的な技術開発について検討をおこない、21の技術を選定。

#### ○ エネルギー基本計画（2007年3月閣議決定）

重点的に研究開発のための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及びその施策として、

1. 総合エネルギー効率の向上に資する技術
2. 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保に資する技術
3. 運輸部門のエネルギー多様化に資する技術
4. 新エネルギーに関する技術
5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用に資する技術

以上が位置づけられている。

#### ○ 新・国家エネルギー戦略（2006年5月）

世界最先端のエネルギー需給構造の実現を図るため

1. 省エネルギーフロンランナー計画

2. 運輸エネルギーの次世代化計画
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画

以上の計画が位置づけられている。また、資源外交、エネルギー環境協力の総合的な強化を図るため、「総合資源確保戦略」が位置づけられている。

○ 第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発課題を重視して研究開発を推進する「推進4分野」であるエネルギー分野、分野別推進戦略（2006年3月総合科学技術会議）における「推進4分野」であるエネルギー分野に位置づけられている。

○ 経済成長戦略大綱（2006年7月財政・経済一体改革会議）

資源・エネルギー政策の戦略的展開として

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 次世代自動車・燃料イニシアティブ等による運輸エネルギー次世代化
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画
5. 資源外交、環境・エネルギー協力等の総合的な強化

以上が位置づけられている。

○ 京都議定書目標達成計画（2005年4月閣議決定）

「京都議定書の約束を達成するとともに、更に「脱温暖化社会」に向けて長期的・継続的な排出削減を進めるには、究極的には化石燃料への依存を減らすことが必要である。環境と経済の両立を図りつつ、これらの目標を達成するため、省エネルギー、未利用エネルギーの利用等の技術革新を加速し、効率的な機器や先進的なシステムの普及を図り、世界をリードする環境立国を目指す。」とされている。

### 3. 達成目標

#### 3-I. 総合エネルギー効率の向上

転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス効率向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」などにより、GDP当たりのエネルギー消費指数を2030年度までに少なくとも30%改善することを目指す。

#### 3-II. 運輸部門の燃料多様化

バイオマス由来燃料、GTL、BTL、CTLなどの新燃料、電気自動車や燃料電池自動車などの導入により、現在ほぼ100%の運輸部門の石油依存度を2030年までに80%程度とすることを目指す。

#### 3-III. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーの技術開発や燃料電池など革新的なエネルギー高度利用を促進することにより、新エネルギー等の自立的な普及を目指すことで、エネルギー源の多様化及び地球温暖化対策に貢献する。

### 3-IV. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

2030年以降においても、発電電力量に占める比率を30～40%程度以上とすることを旨とするため、高速増殖炉サイクルの早期実用化、既設軽水炉代替へ対応する次世代軽水炉の開発、軽水炉技術を前提とした核燃料サイクルの確立、放射性廃棄物対策などの技術開発を推進する。

### 3-V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

石油・天然ガスの化石燃料の安定供給確保を目指し、資源獲得能力の強化に資する先進的な技術開発を推進するとともに、環境負荷低減のために化石燃料の効率的かつクリーンな利用を促進するための技術開発・導入を目指す。

## 4. 研究開発内容

### 4-I. 総合エネルギー効率の向上

(中略)

#### 4-I-iv. 省エネ型情報生活空間創生技術

##### (1) グリーンITプロジェクト(運営費交付金)

###### ①概要

情報化社会の進展に伴うIT機器の消費電力の大幅な増大に対応し、抜本的な省エネを実現するため、サーバ、ネットワーク機器等の各装置の省エネに加え、省エネ型の巨大コンピューティング技術(グリーン・クラウドコンピューティング技術)、パワーエレクトロニクス技術を開発する。

###### ②技術目標及び達成時期

2012年度までに、IT機器・システムのエネルギー消費効率を2倍に向上させる基盤技術を開発する。

###### ③研究開発期間

2008年度～2012年度

##### (2) 次世代高効率ネットワークデバイス技術開発(運営費交付金)

###### ①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、ネットワークで伝送されるデータ量の爆発的増加に伴い、関連機器の消費エネルギーが増大している中で、ネットワーク全体の消費電力量を抑制することが喫緊の課題であり、消費エネルギーの低減に大きく貢献するルータ・スイッチの高速化のための研究開発を実施するとともに、機器そのものの消費エネルギーを低減するための研究開発を実施する。

###### ②技術的目標及び達成時期

2011年度までに、1チャンネルあたり40Gbps超の通信速度に対応するトラフィック計測・分析・管理技術や40Gbpsのインターフェース、さら

なる通信速度向上（100Gbps超）を実現するハードウェア技術、SFQ（単一磁束量子）スイッチに関する実現を可能とするための基盤技術を開発する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(中略)

6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金による実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したものは、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

また、事業名に（採択テーマ）と記載された事業は、提案公募事業により採択されたテーマを記載したものであり、その採択や評価等は、提案公募事業の実施機関の責任の下、実施されるものである。

7. 改訂履歴

(1) 平成16年7月7日付け、省エネルギー技術開発プログラム基本計画、新エネルギー技術開発プログラム基本計画、燃料技術開発プログラム基本計画、電力技術開発プログラム基本計画、原子力技術開発プログラム基本計画制定。固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用プログラム基本計画（平成16・02・03産局第6号）は、新エネルギー技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。

(2) 平成17年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第8号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第10号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第12号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第11号）、原子力技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第13号）は、廃止。

(3) 平成18年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第14号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第9号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第17号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第12号）、原子力技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第13号）は、廃止。また、次世代低公害車技術開発プログラム基本計画（平成17・03・29産局第2号）は、省エネルギー技術開発プログラム基本計画及び燃料技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。

(4) 平成19年4月2日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成17・03・31産局第19号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成18・03・31産局第15号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成18・03・31産局第18号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成18・03・31産局第17

号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第16号)は、廃止。

(5) 平成20年4月1日付け、エネルギーイノベーションプログラム基本計画制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・26産局第1号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・20産局第4号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成19・03・19産局第7号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・16産局第3号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・23産局第2号)は、本プログラム基本計画に統合することとし、廃止。

(6) 平成21年4月1日付け制定。エネルギーイノベーションプログラム基本計画(平成20・03・25産局第5号)は廃止。

プロジェクト用語集

	用語	説明
A	AWG	Arrayed Waveguide Grating。アレイ導波路回折格子。波長分割多重技術において平面光導波回路技術を活かして、複数の波長の光をまとめたり、またその光を分けるための機能を有する装置。
B	bps	bit per second。通信性能を表す単位で1秒間にやり取りされるビット数を表す
	BTL	Biomass-To-Liquid。植物固体などを熱分解ガス化し、液体合成で作ridす燃料。
C	Cool Earth 50	世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を「美しい星50（クールアース50）」として提案したもの（平成19年5月）。これを受けて、経済産業省は平成20年「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」を策定し、重点的に取り組むべき革新技術として「21」技術を選定し各技術ロードマップを提示した。
	CTL	Coal-To-Liquid。石炭から作られる液体燃料。軽油代替燃料のひとつでディーゼルエンジン向けである。
E	ExpEther	PCI-Express/バスをEthernetを活用してネットワーク上に展開したインターフェース。ExpEtherを介することで、筐体外に接続されたPCI-Express対応のハードウェアをEthernet越しにアクセスすることが可能となる。
G	GTL	Gas-To-Liquid。天然ガスから、化学反応によって製造されたナフサ、灯油及び軽油等の石油製品。
I	ITリソース	ここでは、ITに関する資源という意味。ソフトウェアやハードウェア機器さらには動作に必要なCPUの処理速度やメモリ容量などIT機器の性能までを含む。
J	Java	サン・マイクロシステムズ社が開発したオブジェクト指向言語。
L	LINPACK	コンピュータの性能計測を行うための連立一次方程式の解を求めるプログラム。主に浮動小数点演算処理の性能を比較することができる。スーパーコンピュータの性能を比較するための標準ベンチマークとして採用される。
M	MapReduce	分散システムに格納されているデータを並列処理するためのフレームワーク。分散システムにデータ処理を分配するMapフェーズと、Mapフェーズ後に処理結果を統合するReduceフェーズからなる。
	MCCB	遮断機。
N	NAT	Network Address Transiation。LAN内のプライベートIPアドレスとグローバルIPアドレスを相互に1:1で変換するルータの機能。
O	OXC装置	Optical Cross Connect。光クロスコネクト装置。信号を光のまま経路変更するWDM（波長分割多重）伝送路向けの中継装置。
P	PaaS	アプリケーションソフトが稼動するための実行環境やOSなどの基盤（プラットフォーム）一式を、インターネット上のサービスとして遠隔から利用できるようにする事業モデル。
	PCI-Express	I/Oインターフェースの転送速度不足解消のため、2002年にPCI-SIGによって策定されたI/Oシリアルインターフェース（拡張バス的一种）。
	PSU	power supply unit。筐体内部に装着されている電源供給装置。交流電源から受電し直流に変換して各部品に電力供給する役割を果たす。
	PUE	Power Usage Effectiveness。データセンターやサーバー室のエネルギー効率を示す指標の1つ。データセンター全体の消費電力を、サーバーなどのIT機器の消費電力で割った値である。
	Python	プログラミング言語のひとつで、Perlなどと同じくコンパイルを必要としないスクリプト言語に属する。文法が簡易で可読性に優れる一方、拡張モジュールが豊富に用意されており、多様なアプリケーションの開発に利用されている。
Q	QoS	Quality of Service。コンピュータネットワークにおいて、ある特定の通信のための帯域を予約し、一定の通信速度を保証する技術。通信品質確保のためにルータやレイヤー3スイッチに実装される技術のひとつでサービス品質とも呼ばれる。
	Query	データベース管理システムに対する処理要求（問い合わせ）。データの検索や更新、削除などの命令をシステムに発行するのに使われる。

R	RDB	Relational Database。2次元の表を基礎として、この表中の要素の論理的な結合によってデータの相互関係を表現するデータベース。
	ROADM	reconfigurable optical add/drop multiplexer。波長多重方式とパス管理の技術を組み合わせて、超高速・大容量の伝送ネットワークを運用するための技術。
S	SaaS	ソフトウェアをユーザー側に導入するのではなく、ベンダー（プロバイダ）側で稼働し、必要とするソフトウェアの機能をユーザーがネットワーク経由で活用する形態。SaaS 専業社として米セールスフォース・ドットコムなどが有名。
	SFQスイッチ	超電導体の中にだけ存在する磁束量子一個（SFQ）を情報媒体として利用するスイッチ。100GHzを越える超高速性と超低消費電力性が両立できるため、大容量ルータなどへの展開が期待されている。
	SPEC Power	各種のベンチマーク・プログラム開発を手がけるSPEC (Standard Performance Evaluation Corporation) が策定した、サーバの電力効率を測定するための性能評価基準。
	SPECweb2009	標準ベンチマークの開発を手がけるSPEC (Standard Performance Evaluation Corporation) がリリースしている、Webサーバの性能評価に用いるベンチマークツール。2005年のリリース版のアップデート版に当たるもので、パフォーマンスだけでなく消費電力も評価基準に加えている。
	SSD	Solid State Drive。記録媒体としてフラッシュメモリを用いるドライブ装置。ハードディスクと同じ接続インターフェースを備える。
U	UPS	uninterruptible power supply。無停電電源装置。入力電源が断になった場合も一定時間、接続されている機器に対して電力を供給し続ける電源装置。
1	1Uサーバ	19 インチラックで厚さ 1.75 インチ(約 44.5mm)を1ユニットとする寸法に収まる筐体サイズのサーバ。
あ	アーキテクチャー	ここでは、サーバの構造と機能を明確にする体系。
	アクセス、メトロ、コアネットワーク	コアネットワークは基幹系のネットワーク、メトロネットワークは各データセンタと基幹系との間のネットワーク、アクセスネットワークは家庭内とデータセンター内のネットワークである。
	アダプティブ・マネージメン	ここでは、情報や電力の変動に応じて、迅速に応答する能力、技術。
い	イーサネット	Ethernet。コンピュータネットワークの規格のひとつで、世界中のオフィスや家庭で一般的に使用されているLAN (local Area Network) の技術規格。現在のLANは、主に物理的な規格である「イーサネット」と、通信内容を取り決めた「TCP/IPプロトコル」の組み合わせからなる。
	インターポザー	チップや電子デバイスとパッケージや回路基板などとの接続に用いられる構造体。ここでは、超高速な光信号伝送性能を有する接続体の意味。
	インテグレーション	ここでは、目的に合わせてシステムを統合すること。
	インテンシブ・ベンチマーク	コンピュータのハードウェアやソフトウェアの処理能力を、専門的な統計処理ソフトを使って計測する試験方法。
え	エージェント	ITの分野では、ユーザの代理や他の要素との間の仲介として機能するソフトウェアなどを指す。
	エミュレータ	対象とする装置の動作ロジックを再現するもの。単に動作の結果のみを再現するものはシミュレータとして区別される。
お	オブジェクト指向	データと操作を記述したクラスを、階層的に構成してプログラムを作る方法。オブジェクトとは、データ（属性）と操作（メソッド）を一つの処理単位としたもの。
	オブジェクトストレージ基盤	オブジェクトをデータの管理単位とするデータストレージ。
か	カットスルー・ルーティング	ルーターを利用して実現していた異なるネットワーク間の通信において、データリンク層レベルで直結し上位層を使わずに通信を実現する手法。
き	キーバリューストア	クラウドサービスなどで利用されるデータ格納技術。クラウドサービスにおいて大量の不定型データを管理するために、データの格納先を一意に特定するキーを定義し、キーに対応するバリューとしてデータを関連付けて保存することにより、データの管理を簡略化することが可能となる。

	キャッシュ	一度参照したデータを保存しておく装置。アクセス時間の短縮とトラフィックの軽減が目的である。
	キャッピング	ここでは、ホットアイルの熱がコールドアイルに伝わるショートサーキット現象を防止するための方法。
く	クラウド・コンピューティング	従来は手元のコンピュータで管理・利用していたようなソフトウェアやデータなどをインターネットなどのネットワークを通じてサービスの形で必要に応じて利用する方式。IT業界ではシステム構成図でネットワークの向こう側を雲(cloud)のマークで表す慣習があることから、このように呼ばれる。
	グリーンIT推進協議会	日本の主要IT関連業界団体を発起人に2008年2月に発足した地球温暖化対策の推進団体。具体的な取り組みとして、新技術の社会への導入、電子情報技術の環境への貢献、環境IT経営の啓発普及などがあげられる。
	クロソイド曲線	緩和曲線の一つ。
け	ゲートウェイ	GATEWAY。応用層などの異なったプロトコルを変換し、LANやWANを接続する装置。
	ケラレ	開口数による光の導波ロス。中心部と周辺部で明るさの差が発生した状態。
こ	コア/クラッド	光導波路において光路となるコア部位とコアを取り囲むクラッド部位を指す。コアとクラッドでは屈折率が異なり、境界面で全反射を起こして光はほぼロスなく進行する。
	コンシステントハッシング	consistent hashing。スケールアウトのための主要技術の一つで、キー・バリュ型データを複数のサーバに分散格納させるための代表的なアルゴリズム。
さ	サーバ	コンピュータネットワークにおいて、クライアントコンピュータに対し、自身の持っている機能やデータを提供するコンピュータのこと。
	サーマルパッド	熱伝導シート。
し	冗長性	障害が発生しても予備の機材や構成要素によって、システム全体の機能が継続できるように保たれる方式。
す	スケーラブル	コンピュータシステムの持つ拡張性を指す言葉。システムの利用者や負荷の増大に応じて、柔軟に性能や機能を向上させられることを意味する。スケーラビリティと同義。
	ストリーミング転送	ネットワーク環境で音声や映像などのマルチメディアコンテンツをリアルタイムで配信するための技術の一つ。すべてのデータを受信する前に、ある程度のデータを蓄積しながら再生を開始できる。
	ストレージ	データやプログラム等を記憶する装置。メインメモリと異なりCPUからは内容を直接読み書きすることができない。
	スプレダ	ここでは、サーバ内のCPUなど部品から発生する熱を効率的に放出するための金属板のこと。スプレッタとも表記する。ヒートシンクや冷却ファンをヒートスプレダに密着させて効率よく放熱することができる。
そ	相変化冷却	冷媒が液体から気体に変化する際の熱の移動を利用する冷却方法。
た	ダイナミックフロー測定	ここでは、情報量の変動に合わせて、柔軟にデータを選択、測定する手法。
ち	逐次化	記憶装置にアクセスする手法の一つで、データを先頭から順番に読み込み、あるいは書き込みを行なう方法。
	直流給電	サーバなどIT機器の電源はこれまでは主に交流が用いられてきたが、サーバ内では交流から直流に変換し使用されているため、最初から直流で供給する給電方式。
て	データセンタ	インターネットへの接続回線や保守・運用サービスなどを提供する施設。「インターネットデータセンター」(IDC)とも呼ばれる。
	データ・セントリック分散シ	データ管理をシステム管理の中心として位置づけて運用管理される分散システム。
	電力可視化	電力使用量を表示すること。見える化とも言う。全体の消費電力のほか、時間単位ごと、機器ごとの消費電力を把握することを可能にする。
	デプロイ	外部からネットワーク経由で利用されるソフトウェアやアプリケーション、Webサービスなどを利用可能な状態にすること。

と	トラフィック (トラヒック)	一定時間に通信回線上に伝送されるデータ量。
	トランスポンダ	Transponder。 TRANSMITTER (送信機) と RESPONDER (応答機) からの合成語で、受信した電気信号を中継送信したり、受信信号に何らかの応答を返す機器の総称。
	トランザクション	Transaction。 関連する複数の処理を一つの処理単位としてまとめたもの。一連の作業を全体として一つの処理として管理するために用いられる。
な	ナノ流体	ナノサイズの粒子を液体に懸たくさせたもので、冷媒などに用いられる。
ね	ネゴシエーション	2台の機器が通信を確立する際に、通信速度などの情報を相互に交換しながら通信設定を決定していくこと。
	ネットワークトポロジ	コンピュータネットワークの接続形態。各端末や制御機器がどのような形態で接続されるかをあらわす用語。代表的なトポロジには、スター型ネットワーク、バス型ネットワーク、リング型ネットワークなどがある
の	ノード	ネットワークを構成する一つ一つの要素のこと。通信ネットワークではコンピュータやハブ、ルータなど一台一台の通信機器がノードに当たる。
は	抜熱方式	発熱部位を冷却するため、熱量を移動させる技術
	バタワース型フィルタ	フィルタの特性として最も一般的なもの。最大平坦型(max flat)と表記されているものもある
	バックプレーン	ここでは、サーバシステムにおいて、複数の回路基板をコネクタを介して相互接続するを構成する際に用いられるバス回路基板の一種。
	ハッシュ値	与えられた原文から固定長の疑似乱数を生成するハッシュ関数によって生成する値。ハッシュ関数は不可逆的な一方関数を含むため、ハッシュ値から原文を再現することはできず、また同じハッシュ値を持つ異なるデータを作成することは極めて困難である。
	パフォーマンス・カウンタ	システム状況のチェックおよび性能計測するため計数機。比較判断に役立つ。
	パワー・エレクトロニクス	電力用半導体素子を用いた電力変換や電力開閉に関する技術。広義では、電力変換と制御を中心とした応用システム全般の技術を指す。
ひ	光インターコネクション	光を用いた配線技術。コンピュータ間の通信、基板間の配線、基板内にある各チップ間の配線、LSIチップ内の素子間配線などいろいろな階層で用いられる。
	光インターポーザー	光デバイス素子に接続・中継する部品や回路。
	光導波路	光を伝送、伝搬させることを目的とした配線路。特に伝送する際の損失が少ないことが特徴。
	光トランシーバ	送られてきた変調光を、元の電気信号へと複調変換するもの
	光パラメトリック増幅	非線形媒質に強いポンプ光とともに弱いシグナル光を入射すると、シグナル光はポンプ光からエネルギーをもらって増幅し、それと同時にアイドラー光が発生する。この過程を光パラメトリック増幅(OPA)と言う。これは縮退四光波混合の効果によるものである。
	ビットエラーレート	通信チャネルの伝送効率を図る尺度の一つであり、送信された総ビット数に対するエラービット数のパーセンテージで示す。
	ヒートパイプ	熱伝導性の高い材質からなるパイプ中に揮発性の液体を封入したもので、パイプ中の一方を加熱しもう一方を冷却することで、作動液の蒸発(潜熱吸収)と作動液の凝縮(潜熱放出)のサイクルが発生して熱が移動する。
ふ	ファシリティー	ここでは、データセンタの建物や設備のこと。これら設備や物理的空間などを最も効率的に管理し運用する方法までを含めることがある。
	ブルームフィルタ	Bloom Filter。要素が集合に含まれるかどうか判定するための空間効率の高い索引手法。ブルームフィルタではデータセットはビット列として表現され、ある要素がデータセットに含まれているかどうかを論理積演算のみで判定することが可能である。

	プロトコル	通信を行う上での取り決め、通信規約。TCP/IPなど。
	プロトタイプ	ここでは、新技術・新機構の検証や量産前での問題点の洗い出しのために、設計・仮組み・製造される装置や回路、ソフトウェアを指す。
	フロリナート	粘性が低く無色透明で熱的・化学的に非常に安定した完全フッ素化液体。ここでは、すぐれた電気特性と熱特性をもつことから冷媒としての活用。
	分散キャッシュ	大規模ネットワークにおける制御された複数キャッシュサーバの連携。
ほ	保護協調	電力系統に事故が発生した場合、すみやかに事故区間を切り離し、他の健全回路を守るための仕組み。異常を検出、処理する過程において他の健全回路が誤って動作しないよう保護機能が相互に協調をとりながら健全回路へ給電を継続する。
	ホットアイル/コールドアイル	データセンタ内のエアフローにおいて、冷房機からの冷気が通る道をコールドアイル、機器から排出された熱が通る道をコールドアイルと呼ぶ。データセンタの冷却設計においてこの両者を明確に分離することが空調の電力消費改善に繋がる。
ぽ	ポリマー導波路	基板上に形成した回路に屈折率の違いなどを利用して光信号を導くことができるようにした光の配線板で、従来の石英ガラスに代わりポリマーを用いたもの。原理は光ファイバと同じで、光ファイバが繊維状であるのに対しポリマー導波路は平面構造である。
ま	マルチパスルー	ルータが持つ機能の一つで、LAN内のネットワークに接続された機器に一意に割り当てられたIPアドレスから、外部に複数の回線を張ることができる機能。
	マルチプロトコル	複数の通信回線を同時並行で用いることで、より通信速度を高める技術。
み	ミドルウェア	OSなどの基本ソフトウェアを補完して、さらに高度な機能を利用できるようにするシステムソフトウェア。基本ソフトウェアと応用ソフトウェアの中間で動作し、OSの差を吸収してコンピュータを利用しやすくする機能を応用ソフトウェアに提供する役割を持つ。
め	メタデータ	データそのものではなく、データを効率的に管理したり検索したりするためのデータに関する重要な情報のこと。例えば、データの作成日時やデータ形式など。
ゆ	ユニキャスト、マルチキャスト	ユニキャストとは、ネットワーク内で単一のアドレスを指定して特定の相手にデータを1対1で通信すること。複数の相手を指定して同じデータを送る通信はマルチキャストと呼ばれる。
ら	ラベルスイッチング方式	パケットを運ぶ方式のひとつで、ラベルと呼ばれる目印によって伝送経路の中継先を選択し、転送の高速化と経路の使い分けを実現する方式。
り	リッチWEBアプリケーション	ユーザインターフェースにFlashやJavaアプレット、Ajaxなどを用い、HTMLで単純に記述されたページよりも操作性や表現力に優れるWebアプリケーションのこと。
	リファレンスモデル	比較参照するための基本モデル。
ろ	ローパスフィルタ	フィルタ回路の一種で、低周波を良く通し、ある遮断周波数より高い周波数の帯域を通さない（減衰させる）フィルタ
わ	ワークロード	Work load. 計算機資源の利用状況を示す抽象的な指標。ここでは、サーバの負荷、仕事量のこと

## I 事業の位置づけ・必要性について

### I.1 NEDOの関与の必要性・制度への適合性

#### I.1.1 NEDOが関与することの意義

高度情報化社会の到来に伴いIT機器の消費電力は増大の一途をたどり、IT機器の低消費電力化の推進や、IT機器を利活用して社会インフラやシステム全体の省エネルギー化を図る技術・システムの開発が喫緊の課題となっている。最近、政府や企業によるIT機器の消費電力削減を目指す動きが活発化し、米国においてはここ1～2年、The Green Grid などデータセンタの消費電力削減を目指し企業間を跨ぐ複数の取組みがスタートしている。

我が国においても2008年2月にグリーンIT推進協議会が設立され、企業間での連携が進められているが、IT機器類の価格・性能競争は激しく、IT機器やネットワーク機器の国際競争力が低下している我が国にとって、抜本的な省エネルギー技術開発を行うための研究開発を企業だけで行うことは困難である。また、高額なIT機器やネットワーク機器を多量に集約・集積するデータセンタやネットワークビジネスにおいて、機器投資額と電力料金を含む運用コストの面やエネルギー管理や情報管理などミッション・クリティカル性を重要視する面から、省エネルギー技術の開発や普及が必ずしも市場原理だけで進むとは限らず時間を要する可能性があり、早期にエネルギー消費の削減を進める上で国の支援が必要である。

また、膨大な情報量が流れるIT化社会の到来に供え、IT設備や機器の消費電力を適切かつ合理的にするデータセンタやネットワーク技術の先行的研究開発を、産学官の共同研究体制を構築しNEDO事業として実施することは、英知の結集を必要とする地球温暖化防止への貢献、および消費電力削減を新たな競争軸とする国際的競争力向上の両面において非常に大きな意義がある。

#### I.1.2 実施の効果

本プロジェクトでは、中期（2013年以降のポスト京都議定書）・長期（2030年）・超長期（2050年）までを視野におき、「エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術」及び「革新的省エネルギーネットワーク・ルータ技術」について研究開発を実施する。

データセンタの年間消費電力量を30%以上削減することが可能なエネルギー利用の最適化を実現する基盤技術の開発は、データセンタ消費電力の大幅な削減をもたらし、今後のITの利活用に伴う消費電力量増大の早期抑制に貢献することができる。また、本研究開発への国の支援は、コスト競争力があって我が国の重要なインフラ基盤となるデータセンタビジネスに繋がる効果をもたらす。

また、ネットワーク部分の年間消費電力量を30%以上削減できる革新的な省エネルギー化を可能とするネットワーク・ルータに関する要素技術の開発は、ネットワークの大幅な省エネルギー化をもたらすとともに、ITの利活用拡大に伴う消費電力量増大の抑制に貢献する。また、一般にネットワーク機器は処理能力の向上に商品価値が置かれることが

多く、本研究開発への国の支援は、省エネルギー型ネットワーク・ルータ機器の実現と社会への普及を通じて、省エネルギー型ネットワーク社会の早期実現に繋がる効果をもたらす。

## 1.2 事業の背景・目的・位置付け

### 1.2.1 事業の背景

地球温暖化問題は、世界全体で早急に取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を実現するための画期的な技術革新が求められている。

現在、ブロードバンドの普及やIT機器の高度化・設置台数の急激な増加にともないネットワークやIT機器が扱う情報量の急増に対して、ITの活用による環境負荷低減への貢献が期待されているものの、ネットワーク機器やサーバ、ストレージ、ディスプレイなどのIT機器が消費する電力も膨大なものになると見込まれている。経済産業省の試算では、我が国のIT機器消費電力は2006年の470億kwhに対して2025年には2400億kwhへ急増し、国内総発電量に占める割合も5%から20%に達することが想定されており、IT機器の省エネルギー化は重要な課題となっている。

この社会で取り扱う情報量の増大に対し、ネットワークの利用が急増し、ネットワーク通信速度の増大や通信コストの低下によりデータセンタへのサーバの集中・集約が進み、今後、情報流通の核となる大量のサーバを配置した大規模データセンタの増加が予想される。

このような背景の下、2007年10月29日に開催された第70回総合科学技術会議において、IT機器の省エネルギーに加えて、ネットワーク全体で効果を発揮する省エネルギー技術を中心とした、データセンタ、サーバ、ネットワーク機器に対する中長期を見据えた革新的省エネルギー技術の研究開発アプローチが期待されている。

### 1.2.2 事業の目的、意義

本プロジェクトでは、省エネルギー型生活情報空間創生技術による環境調和型IT社会の構築を目的とし、エネルギーイノベーションプログラムの一環として、中期（2013年以降のポスト京都議定書）・長期（2030年）・超長期（2050年）までを視野におき、「エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術」及び「革新的省エネルギーネットワーク・ルータ技術」について研究開発を実施する。

本技術の確立により、データセンタ及びネットワークの30%以上の年間消費電力量が削減されるのみならず、共通基盤技術の形成や省エネ技術の高付加価値化、企業のITコスト低減や電力消費最適化による新ITサービス・プロダクト産業のグローバル競争力強化など産業競争力への貢献、更には環境負荷の低い情報インフラの実現や社会システム全体の効率化に寄与する新規産業の創出などが期待できる。

### 1.2.3 事業の位置付け

新・国家エネルギー戦略（2006年5月）では、30%以上のエネルギー消費効率を改善していくための方策として、長期的視点に立った省エネルギー技術戦略を策定し、省エネルギー技術開発及び支援の重点化を行うことが示され、2030年に向けて、省エネルギー技術戦略2007がとりまとめられている。

省エネルギー技術戦略2007では、省エネ型生活情報空間創生技術が重点技術分野とされ、通信機器等そのものの省エネルギー化と、大容量・高速通信を低消費電力で実現するためのネットワーク関連技術の研究開発が重点技術課題として取り上げられている。

また、世界全体のCO<sub>2</sub>の排出量を現状から2050年までに半減するという長期ビジョン「Cool Earth 50」が2007年度に掲げられ、その達成のための革新的技術開発として「Cool Earth — エネルギー革新技術計画」が策定された。この中で重点的に取り組むべきエネルギー革新技術として「省エネ型情報機器・システム」がうたわれている。

しかしながらこれまで、IT機器やITサービス・プロダクトを取り扱う産業分野においては、技術の開発や普及、衰退があまりにも速過ぎるため、長期的な視野に基づく省エネルギー化に対して具体的な組織的な取り組みが十分とは言えない状況であった。

本プロジェクトでは、省エネルギー型生活情報空間創生技術による環境調和型IT社会の構築を目的とし、エネルギーイノベーションプログラムの一環として、中期（2013年以降のポスト京都議定書）・長期（2030年）・超長期（2050年）までを視野におき、「エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術」及び「革新的省エネルギーネットワーク・ルータ技術」について研究開発を実施するが、このように中期から超長期にわたる省エネを目標とした研究開発を行うことは、この業界の技術革新を促す意味で妥当なものである。

## II 研究開発マネジメントについて

### II.1 事業の目標

本プロジェクトにおける事業の目標は、平成24年度までに、

- ①データセンタの年間消費電力量を30%以上削減可能なエネルギー利用の最適化を実現するデータセンタに関する基盤技術
- ②ネットワーク部分の年間消費電力量を30%以上削減する革新的な省エネルギー化を可能とするネットワーク・ルータに関する要素技術の開発である。

### II.2 事業の計画内容

#### II.2.1 研究開発の内容

上記目標を達成するため、以下の研究開発項目について実施機関を公募し、委託事業として実施する。

[委託事業]

#### ① エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発

- a) サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発

(平成20年度までは「データサーバの最適構成と進化するアーキテクチャーの開発」で実施。平成21年度から名称変更。後述)

- b) 最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発
- c) データセンタの電源システムと最適直流化技術の開発
- d) データセンタのモデル設計と総合評価

#### ② 革新的省エネルギーネットワーク・ルータ技術の研究開発

- a) IT社会を遠望した、情報の流れと情報量の調査研究
- b) 情報のダイナミックフロー測定と分析ツール及び省エネルギー型ルータ技術の開発
- c) 社会インフラとしてのネットワークのモデル設計と総合評価

[研究開発の具体的内容]

実施機関を公募し委託事業を実施するに当たり、開発が必要と思われる項目および技術として以下の内容を設定する。

#### ① エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発

- a) サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発

将来の進化を想定した低消費電力なサーバのアーキテクチャーに関する基盤技術を確立するため、以下の要素技術を背景にこれらのインテグレーションを行う。

- ア) 筐体内光接続技術(筐体内高密度光配線・コネクタ技術等)

- イ) ストレージシステム向け省電力技術（データ配置自動最適化技術、格納効率最適化技術、逐次メディア利用技術等
- ウ) クラウド・コンピューティング技術（ITシステムやITリソースの統合・集約・共通化技術、ITリソースのスケラブル化・インテグレーション技術等）

b) 最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発

データセンタ及び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、以下の要素技術を開発する。

- ・高効率冷却システム技術（高効率冷却・集熱・伝熱・放熱技術等）

c) データセンタの電源システムと最適直流化技術の開発

データセンタ及びサーバの低消費電力化につながる電源システムに関する基盤技術を確立するため、以下の要素技術を開発する。

- ・サーバにおける情報と電力のダイナミックフロー分析技術（情報処理量の高速・動的な観測技術、消費電力量の高速・動的な観測技術、情報処理量と消費電力量との高速・動的な分析技術等）
- ・電源のアダプティブマネジメント技術（サーバ構成機器・デバイスの情報処理状態に応じた電源コントロール技術、電源負荷状態に応じたサーバ構成機器・デバイスのコントロール技術、電源システム最適設計技術等）
- ・データセンタ及びサーバの電源システム最適直流化技術（システム最適化設計技術、直流を利用する上での信頼性・安全性確保に必要な技術等）

d) データセンタのモデル設計と総合評価

エネルギー利用最適化データセンタの実現可能性と有効性を評価、確認するために、以下内容の設計、試作を行い、トータルなデータセンタ・サーバシステムとしての技術の総合評価を行う。

- ・次世代データセンタ・サーバシステムの最適化指標・最適配置の検討、システム・インフラ基本設計
- ・次世代データセンタ・サーバシステムの熱と消費電力のシミュレーション、検証モデルの試作と評価

## ② 革新的省エネルギーネットワーク・ルータ技術の研究開発

情報量に応じた動的な性能増減実現のために、情報のダイナミックフロー測定と分析ツール技術の開発、省エネルギー型ルータ技術の開発に加え、IT社会を遠望した情報の流れと情報量の調査研究も併せて行う。また、これらの技術開発や調査研究を通じて得られた成果から、社会インフラとしてのネットワークのモデル設計と総合評価を行い、トータルなネットワーク・ルータシステムとしての技術を評価する。具体的には以下の技術を開発する。

a) IT社会を遠望した、情報の流れと情報量の調査研究

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、以下の要素技術を調査、研究する。

- ・情報化社会未来予測調査（中・長・超長期的な将来における技術、社会、生活スタイル等の予測、ネットワークの利用形態及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等）
- ・次世代、次々世代ネットワーク調査研究（中・長・超長期的な将来における、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、構成及び技術等の予測等）

b) 情報のダイナミックフロー測定と分析ツール及び省エネルギー型ルータ技術の開発

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上で不可欠なネットワーク上を流通する情報量のダイナミックな観測、予測技術並びに転送性能制御技術を確立するため、以下の要素技術を開発する。

- ・トラフィック観測・予測・最適性能予測技術（ルータの入出力トラフィック量、ネットワークのトラフィック量を動的かつ高速に観測する技術、観測トラフィック量に基づき、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、予測トラフィック量に基づき、ルータの最適な転送性能を予測する技術等）
- ・電力可視化技術（ネットワーク、ルータの消費電力のリアルタイム、アベレージ、ピークなどの情報取得技術、サーバールータ間のインターフェース技術、ユーザインターフェース技術等）
- ・データ流量適応型性能制御技術（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ー、回路技術、性能増減に起因する通信品質劣化を防止する通信品質確保技術等）

c) 社会インフラとしてのネットワークのモデル設計と総合評価

社会インフラとしての革新的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、以下の要素技術の開発及びトータルなネットワーク・ルータシステムとしての技術の総合評価を行う。

- ・電力最適化ネットワークアーキテクチャー技術（ネットワークトポロジ策定、システム構成機器の機能分担の最適化の検討、ネットワーク・ルータシステムのモデル設計等）
- ・ネットワーク消費電力の総合評価（ネットワーク・ルータシステムの評価モデル開発、負荷変動に対するネットワーク・ルータシステムの消費電力計測、省エネルギー効果評価等）

[達成目標]

開発が必要と思われる項目と技術に対する目標として以下を設定する。

① エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発

【最終目標（平成24年度）】

データセンタの年間消費電力量を30%以上削減可能な、エネルギー利用の最適化を実現するデータセンタに関する基盤技術を確立する。そのために、データセンタ・サーバシステムトータルとしてエネルギー利用最適化を図ることが可能な、以下の要素技術を確立する。

a) サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発

- ・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年間消費電力量を30%以上削減可能とする、光電気集積インターポーザーや筐体内光接続技術及びストレージシステム向け省電力技術、クラウド・コンピューティング技術のような要素技術を背景に、これらのインテグレーションを行い、低消費電力なサーバのアーキテクチャーに関する基盤技術を確立、その省電力効果と実用性を実証する。

b) 最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発

- ・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年間消費電力量を30%以上削減可能な高効率冷却システム技術を開発し、データセンタ及びサーバにおける最適抜熱方式に関する基盤技術を確立、その省電力効果と実用性を実証する。

c) データセンタの電源システムと最適直流化技術の開発

- ・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年間消費電力量を30%以上削減可能な、サーバにおける情報処理量と消費電力量のダイナミックな測定、分析技術と、サーバ構成機器・デバイスの情報処理状態および電源負荷状態に応じて電源並びにサーバ構成機器・デバイスをコントロールする技術を開発する。もって電源のアダプティブマネジメント技術を確立、その省電力特性と実用性を実証する。
- ・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年間消費電力量を30%以上削減可能な、データセンタ及びサーバの電源システム最適直流化システムを確立する。

d) データセンタのモデル設計と総合評価

- ・上記a)～c)の開発成果を統合し、データセンタ・サーバシステムトータルとしてエネルギー利用最適化が図れる次世代データセンタ・サーバシステム

ムの検証モデルを設計、試作し、データセンタ及びサーバにおける年間消費電力量30%以上の削減を実証する。

【中間目標（平成22年度）】

- a) サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発
  - ・光電気集積インターポーターや筐体内光接続技術、ストレージシステム向け省電力技術、クラウド・コンピューティング技術のような要素技術を用いてこれらのインテグレーションを検討し、従来比50%以上の消費電力削減が可能なサーバアーキテクチャーの省電力効果と実用性を検証する。
  
- b) 最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発
  - ・データセンタ及びサーバの空調・冷却効率を50%以上改善可能な、高効率冷却システム技術に必要な要素技術を開発し、その省電力効果と実用性を検証する。
  
- c) データセンタの電源システムと最適直流化技術の開発
  - ・電源のアダプティブマネジメントを実現する上で不可欠な、サーバにおける情報処理量と消費電力量の高速・動的な測定、分析に必要な要素技術を開発する。それとともに、レスポンスタイムへの影響が実用上問題ないレベルで、サーバ構成機器・デバイスの情報処理状態及び電源負荷状態に応じて、電源並びにサーバ構成機器・デバイスをコントロールすることを可能とする各要素技術を開発し、電源を含めたIT機器全体の消費電力を20%以上削減可能な電源のアダプティブマネジメント技術の省電力効果と実用性を検証する。
  - ・データセンタ及びサーバの電源システム最適直流化設計を行い、従来の交流・直流システムに比べデータセンタの消費電力を20%以上削減可能なことを検証するとともに、電源システム最適直流化に必要な要素技術を開発し、その実用性を検証する。
  
- d) データセンタのモデル設計と総合評価
  - ・データセンタ・サーバシステムトータルの省エネルギー性を評価できる指標を確立する
  - ・エネルギー利用最適化が図れる次世代データセンタ・サーバシステムの最適配置・システム・インフラに関する基本設計を完了する。

研究開発項目「革新的省エネルギーネットワーク・ルータ技術の研究開発」

【最終目標（平成24年度）】

- a) IT社会を遠望した、情報の流れと情報量の調査研究

- ・中・長・超長期的な将来における、ネットワークに対する社会ニーズを満たすネットワークシステム、機器、構成及び技術等を予測し、将来のネットワーク・ルータのあるべき姿を具体的に仕様づける。

b) 情報のダイナミックフロー測定と分析ツール及び省エネルギー型ルータ技術の開発

- ・40Gbps レベルの高速回線を収容するルータから成るネットワーク上を流通する情報量の数秒～数分の短期変動に対応可能な、情報量のダイナミックな予測が可能なことを実証する。
- ・ネットワーク上を流通する情報量の長期変動に加え、数秒～数分の短期変動に対応可能なダイナミックな電力可視化技術を確立する。
- ・消費電力モードの切替時間が1 m s 以下で、性能を1 6段階以上の粒度で増減可能な転送性能制御技術を開発し、データ流量適応型性能制御技術の有効性を実証する。

c) 社会インフラとしてのネットワークのモデル設計と総合評価

- ・上記 a) 及び b) の開発成果を統合し、ネットワーク・ルータトータルとして消費電力の最適化が可能なネットワークアーキテクチャーを構築するとともに、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3 0 %以上の削減を検証する。

【中間目標（平成2 2年度）】

a) I T社会を遠望した、情報の流れと情報量の調査研究

- ・中・長・超長期的な将来における技術、社会、生活スタイル等の予測、ネットワークの利用形態及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等、情報化社会未来予測調査を完了する。
- ・中・長・超長期的な将来における、ネットワークに対する社会ニーズ等の予測を行う。

b) 情報のダイナミックフロー測定と分析ツール及び省エネルギー型ルータ技術の開発

- ・ネットワーク・ルータの情報量に応じた動的な性能増減を実現する上で不可欠な、4 0 G b p s レベルの高速回線を収容するルータに入出力する情報量の長期変動に加え、数秒～数分の短期変動に対応可能な、ダイナミックな情報量の観測、予測技術を開発し、その実用性を検証する。
- ・ネットワーク、ルータの消費電力のリアルタイム、アベレージ、ピークなどの情報取得技術、サーバルータ間のインターフェース技術、ユーザインターフェース技術等の各要素技術を開発するとともに、サーバ・ルータ機能をインテグレートに実装した装置を試作し、リアルタイム電力可視化技術を実証する。
- ・消費電力モードの切替時間が1 m s 以下で、性能を4段階以上の粒度で増減

可能な転送性能制御技術を開発するとともに、情報量のダイナミックな観測、予測技術との結合評価実験により、その実用性を検証する。

c) 社会インフラとしてのネットワークのモデル設計と総合評価

- ・消費電力最適化ネットワークアーキテクチャー技術の確立に向け、ネットワークトポロジの策定、システム構成機器の機能分担の最適化の検討、ネットワーク・ルータシステムのモデル設計を完了する。

## 11.2.2 研究開発の実施体制

本プロジェクトは、NEDOが、企業、民間研究機関、独立行政法人、大学等（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別の研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な部分はこの限りではない。）から公募によって研究開発の実施機関を選定後、委託して実施する。

各実施機関はそれぞれの強みを生かした最適な共同研究体制を構築するとともに、必要に応じて再委託先を設定するものとする。

各研究開発項目における実施テーマ名と実施機関および具体的な実施項目について次ページに実施体制図として纏める。

各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルを最大限活用し、より効率的に研究開発を推進する観点から、プロジェクトリーダーとして独立行政法人産業技術総合研究所 研究コーディネータ 松井俊浩を置く。また、研究開発項目①エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発 のサブプロジェクトリーダーとして富士通株式会社 アウトソーシング事業本部 インテグレーションマネジメント統括部 統括部長付 西川克彦および日本電気株式会社 システム実装研究所 研究所長 橋本雅伸を、研究開発項目②革新的省エネルギーネットワーク・ルータ技術の研究開発 のサブプロジェクトリーダーとして株式会社日立製作所 中央研究所 情報システム研究センタネットワークシステム研究部部长 西村信治およびアラクサラネットワークス株式会社 CTO 林剛久を置き、各実施機関がそれぞれの研究開発項目の中で密接な関係を維持し確実に目標達成できる体制を目指す。

プロジェクト発足時の平成20年度実施体制、「最適抜熱方式の検討とシステムの開発」に関するステージゲート評価結果および基本計画と実施方針の策定を反映した平成21年4月からの実施体制、研究開発の追加実施を受けた平成21年8月からの実施体制、更に実施機関の撤退に伴う平成22年度4月からの実施体制は、次の通りである。（後述のⅡ-3章 情勢変化への対応 で体制変更内容を記載する）

【プロジェクト発足時の実施体制 平成20年度】

「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(グリーンITプロジェクト)」  
実施体制図









### II.2.3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及びプロジェクトリーダー等と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らして、実施期間、研究開発項目及び実施体制の見直しを含めて適切な運営管理を実施する。

#### (プロジェクトリーダー、サブプロジェクトリーダーの設置)

NEDOが実施・管理を行う本プロジェクトの、より効率的な研究開発の推進を図る観点から、更には参画する各実施機関の有する研究開発ポテンシャルを取りまとめ最大限活用する目的で、プロジェクトリーダー（PL）として独立行政法人産業技術総合研究所 研究コーディネータの松井俊浩を置き、本プロジェクトを推進する。プロジェクトリーダーは、各種委員会や実施機関およびサブPLからの報告等を踏まえ、研究開発の進捗状況を把握する。また、基本計画に記載された技術目標や研究開発の内容等に基づき、技術的観点から、目標の到達度や研究手法の具体的内容、研究開発の方向性等について判断・指導を行い、研究開発の推進に必要な施策等について適宜NEDOに具申する。

また、自ら実施機関として研究開発テーマを推進するとともに、所属する研究開発項目の実施機関グループ内において、技術的観点のみならず技術目標の更なる詳細化や研究手法の具体的内容、研究開発の方向性（場合によっては、技術目標の見直し等を含む）等についてPLを補佐して判断・指導を行う目的で、サブプロジェクトリーダーを置く。

プロジェクトリーダーおよびサブプロジェクトリーダーは表1の通りである。

表1 プロジェクトリーダーおよびサブプロジェクトリーダー

プロジェクトリーダー	松井俊浩 独立行政法人産業技術総合研究所 研究コーディネータ
サブプロジェクトリーダー 担当：研究開発項目①	西川克彦 富士通株式会社 アウトソーシング事業本部
サブプロジェクトリーダー 担当：研究開発項目①	橋本雅伸 日本電気株式会社 システム実装研究所
サブプロジェクトリーダー 担当：研究開発項目②	西村信治 株式会社日立製作所 中央研究所
サブプロジェクトリーダー 担当：研究開発項目②	林 剛久 アラクサラネットワークス株式会社

#### (ステージゲート方式の採用)

研究実施機関が競争的に研究開発を行うことによりイノベーションを加速させることを目的として、研究開発項目の一部について「ステージゲート方式」を導入する。「ステージゲート方式」を導入した研究開発項目については、プロジェクト実施期間の最初にフィージビリティスタディを行う「第1ステージ」（平成20年度）と後半の「第2ステージ」（平成21～24年度）に分け、「第1ステージ」の最終段階に絞り込み評価を実施する。

絞り込み評価では研究開発目標に対する「達成度」等の評価し、高く評価された研究開発テーマを「第2ステージ」（平成21年度以降）に移行させ、本格的な研究開発を実施する。

具体的には、複数の研究開発グループから異なる原理、方式等の提案があり、提案段階ではその性能、機能等が実証されておらず、かつ必ずしもそれらの優劣が明確でない場合には、その研究開発項目については複数の研究開発グループに委託を行うこととし、本プロジェクトでは、研究開発項目①エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発 b) 最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発について「ステージゲート方式」を導入した。詳細については、II-3章の情勢変化への対応 で記述する。

#### (技術委員会の設置)

本プロジェクトにおいて外部有識者からなる技術委員会を設置し、四半期に一回程度、プロジェクトリーダーからプロジェクト進捗状況について報告を受けるほか、各実施機関から進捗状況などについて報告を受け、結果をプロジェクトの運営管理に反映させる。また、外部有識者の意見を各研究開発の実施に反映させるほか、開発技術や成果の評価などに活用する。

表2 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技術委員

委員	所属	委員期間
荒川泰彦	東京大学 先端科学技術研究センター 教授	2008.10～
射場本忠彦	東京電機大学 未来科学部 建築学科 教授	2008.10～
笠原博徳	早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 情報理工学科教授	2008.10～
二宮保	長崎大学 工学部 TDK 寄付講座 エネルギーエレクトロニクス学講座 教授	2008.10～
佐川直人	有限会社 FOECEP 代表取締役代表	2008.10～
合田憲人	大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所 特任教授	2009.07～
日高一義	北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究所 教授	2009.12～

また、「最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発」においては、研究開発の進捗状況や開発成果を確認し開発技術の展開等について討議し、早期事業化の推進を図るため、専門的な知識・技術を有する有識者による「現地技術委員会」を設けた。

さらに、開発項目の着実な実施と中間目標の確実な達成に向け、平成22年度の委託契約延長に際し、NEDOおよび実施者、プロジェクトリーダー間で実施内容や目標設定を修正、検討する会議を設けた。また、平成21年度の研究開発項目の追加実施において、プロジェクト目標の共有化や他の開発項目との技術的な整合性をはかるため、NEDO、プロジェクトリーダーと実施機関で、実施計画の内容や目標設定などを検討する会議も設けた。

表3 技術委員会

開催日	委員会名	場所	内容
2008. 11. 11	第1回技術委員会	NEDO	キックオフ、目標及び実施内容の検討
2009. 03. 19	第2回技術委員会	NEDO	計画研究・進捗状況の確認
2009. 06. 11	第3回技術委員会	NEDO	計画研究・進捗状況の確認 調査報告
2009. 08. 20	追加実施案件の検討会議	NEDO	実施計画への提案技術の反映
2009. 12. 16	第4回技術委員会	NEDO	研究計画・進捗状況の確認
2010. 02. 08 ～02. 24	平成22年度実施計画検討会議	NEDO	平成22年度実施計画・内容の検討
2010. 04. 02	現地技術委員会	産総研つくば	抜熱に関する開発技術の確認など
2010. 04. 02	現地技術委員会	日本電気	抜熱に関する開発技術の確認など
2010. 06. 14	第5回技術委員会	NEDO	研究計画・進捗状況の確認
2010. 06. 23	第6回技術委員会	NEDO	研究計画・進捗状況の確認

## (実施機関による委員会の設置)

研究開発項目①および②それぞれにおいて、各実施機関が定期的集まり、プロジェクトリーダーやサブプロジェクトリーダー参加の下、進捗状況や開発成果に関する技術討論や省エネ技術などの評価・測定法の共有化、更には実用化検討などビジネス出口などの方向性を議論するグループ会議を実施した。

表4 実施機関間のグループ会議

開催日	委員会名	場所	内容
2008. 12. 15	第1回ネットワーク会議	産総研	キックオフ、実施内容の紹介と意見交換
2009. 02. 09	第2回ネットワーク会議	産総研	進捗状況の共有、ルータの電力動向議論
2009. 06. 26	第3回ネットワーク会議	産総研	情報共有と技術討論
2009. 8. 26	第1回データセンタ会合	NEDO	キックオフ、モデル評価とストレージの省エネ議論
2009. 10. 26	第2回データセンタ会合	NEDO	モデル評価と抜熱技術の省エネ議論
2009. 12. 16	第3回データセンタ会合	産総研	モデル評価と直流化、クラウド技術の省エネ議論
2010. 02. 08	第4回データセンタ会合	産総研	データセンタ全体の省エネ議論 評価指標の議論
2010. 02. 19	第5回データセンタ会合	産総研	消費電力測定環境構築の議論
2010. 05. 24	第6回データセンタ会合	産総研	消費電力測定の実験内容レビュー
2010. 06. 22	第4回ネットワーク会議	産総研	トラフィック量に対する省エネ効果量と実用化検討に対する議論

#### (知的財産権等の取り扱い)

開発成果に対する取り扱いとして、委託事業の成果に関わる知的財産権等については原則として、すべて実施機関に帰属させることとする。実施機関においては、我が国の省エネルギー技術を基盤とする産業競争力の強化に資するべく、開発した技術や成果の特徴を踏まえた知的財産マネジメントを実施する。知的財産マネジメントとして、例えば、技術成果の公開や権利化を通して安定的に省エネルギー効果を普及させるためのマネジメントや、開発技術や研究成果をオープンソースとして公開し技術の普及や浸透を目指すマネジメントなど、各実施機関のマネジメント戦略に基づく取り扱いを行う。

### II.2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

本プロジェクトで得られた開発成果を普及および促進させるため、各実施機関は本プロジェクト終了後あるいは本プロジェクトと並行して実用化検討に向けた取り組みを実施する。実用化検討への取り組みは、NEDOと各実施機関それぞれの役割を十分に考慮したものとし、例えば、NEDOは開発技術や成果について標準情報（TR）制度への提案やISO等の国際標準の提案など、必要に応じて知的基盤整備又は標準化等との連携を図るためのマネジメントを実施する。また、我が国が優位にある省エネルギー技術を基盤とするITサービス・プロダクト産業の国際的産業競争力の強化や環境負荷を低減させる社会システム全体の効率化など、社会的に必要とされる施策を行うため積極的なマネジメントを実施する。

### II.3 情勢変化への対応

#### (調査研究の実施)

平成20年度3月策定のプロジェクト基本計画において、ますます強まるデータセンタの低消費電力化への要請に対応していくため、サーバのアーキテクチャーおよびデータセンタの電源システムについて、エネルギー使用の効率化の観点から、システム全体で最適化が図れる要素技術の開発を挙げている。データセンタの省電力化を実現するには、単なる直流給電の導入や省エネ型サーバの開発のみならず、システム運用や機器使用効率における革新的な電源アーキテクチャーやサーバアーキテクチャーの開発が課題である。そこで、この課題に対するニーズや技術シーズがどの程度存在するのか調べ、データセンタ及びサーバの省電力化に今後必要とされる要素技術や課題を抽出し把握することを目的に、平成20年9月～平成21年3月に下記3つの項目について調査委託事業を実施した。調査項目、調査概要、実施機関は以下の通りである。

調査項目「データセンタ及びサーバの電源システム最適直流化、直流を利用する上での信頼性・安全性確保に必要な要素技術」に係わる調査研究

データセンタ及びサーバ機器類の電源システム最適直流化、直流を利用する上で

の信頼性、安全性確保に必要な要素技術に係る技術動向、技術課題、研究対象を明らかにすることを目的に、データセンタの最適直流化、信頼性・安全性確保に必要なとされる要素技術についての調査研究、さらに省エネルギー性に見合う経済的メリットを享受・許容するための補助支援制度、仕組み、また方式普及に向けた法令・規格標準化の整備などに関する調査研究を実施した。

(実施機関) 株式会社NTTファシリティーズ

(再委託機関) 日本電信電話株式会社

調査項目「サーバにおける情報と電力のダイナミックフロー観測技術、電源のアダプティブマネージメントの要素技術及び電源システムの最適設計」に係わる調査研究

データセンタの電源システムと最適直流化技術、特に、サーバにおける情報と電力のダイナミックフロー観測技術、電源のアダプティブマネージメントの要素技術及び電源システムの最適設計の確立に係わる技術動向、技術課題について調査研究し、技術課題や研究対象を明らかにした。

(実施機関) みずほ情報総研株式会社

(実施機関) 独立行政法人産業技術総合研究所

調査項目「将来の進化を想定した低消費電力アーキテクチャー」に係わる調査研究

サーバの低消費電力アーキテクチャーを実現するに際し、処理を実行するために直接関係する要素技術およびソフトウェア周辺技術それぞれについて、現在の技術動向と今後の技術開発の方向性を把握することにより2030年までの低消費電力化の予測を行った上で、サーバの低消費電力化に係わる研究開発課題、さらにネットワークの高速・大容量化に対応しサーバ筐体内のボード間やボード内等の短い距離の信号伝送に適用する技術「光インタコネクション」の導入による電力削減効果に係る研究開発課題について調査研究を実施した。

(実施機関) 株式会社三菱総合研究所

(実施機関) 日本電気株式会社

#### (研究開発項目の変更)

昨今、膨大なコンピューティング能力を背景に、OSやサーバなどのITリソースやアプリケーションなどの情報サービスを意識することなく、必要な時に必要な機能を必要な分だけサービスを利用できるクラウド・コンピューティング環境が急激な展開を見せている。電源やIT機器がデータセンタ内に極度に多数配置されるクラウド・コンピューティング環境においては、ITリソースの仮想化技術や共通化技術などを用いるIT機器の利用効率改善やエネルギー利用の最適化が期待できる。

そこで今後、より大きな省エネルギー効果が期待できるクラウド・コンピューティング環境下でのサーバアーキテクチャーの開発を想定し、研究開発項目の項目名を変更すると共に、新たな研究開発項目を追加した。

## 項目名の変更

### ①研究開発項目「エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発」

旧) a) データサーバの最適構成と進化するアーキテクチャーの開発

新) a) サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発

## 新規項目の追加

### ①研究開発項目「エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発」

a) サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発

ウ) クラウド・コンピューティング技術の開発

## (研究開発項目の追加実施)

調査研究により、開発すべき技術内容と課題が明確になった研究開発項目について、平成20年3月にNEDOで追加実施が決定され、基本計画および平成21年度実施方針にもとづき、開発項目に関する具体的な提案内容の追加公募を実施した(平成21年5月～7月)。応募案件について、平成21年7月16日に下記採択審査委員により審査を行い、採択審査結果を受け、NEDOは次の実施機関を委託事業者として選定し、新たに下記3つの研究開発を開始した。

採択審査委員は、

東京大学 ナノ量子情報エレクトロニクス研究機構機構長 教授	荒川 泰彦
早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 情報理工学科 教授	笠原 博徳
横浜国立大学 大学院工学研究院 教授	河村 篤男
国立情報学研究所 リサーチグリッド研究開発センター 特任教授	合田 憲人
株式会社日本総合研究所 技術価値創造戦略グループ 研究員	吉田 浩之

である。

新たに研究開発を開始した項目と実施機関は、

研究開発項目①エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発

a) サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発

ア) 将来の進化を想定した低消費電力アーキテクチャーの開発

(実施機関) 日本電気株式会社

研究開発項目①エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発

a) サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発

ウ) クラウド・コンピューティング技術の開発

(実施機関) 日本電気株式会社

(実施機関) 独立行政法人産業技術総合研究所

(実施機関) 株式会社 I I J イノベーションインスティテュート

研究開発項目①エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発

c) データセンタの電源システムと最適直流化技術の開発

(実施機関) 株式会社NTTファシリティーズ

(実施機関) 三菱電機株式会社

(ステージゲート方式の実施)

研究開発項目①エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発 b) 最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発においてステージゲート方式を導入し、第1ステージを実施してきた5つの開発テーマについて、平成21年1月9日にステージゲート評価分科会による評価を実施した。高い評価を得た2つの開発テーマを「第2ステージ」(平成21年度以降)に移行させ、3つの研究テーマについては「第1ステージ」で終了とした。

表5 ステージゲート評価分科会委員

井場本 忠彦	東京電機大学 未来科学部建築学科 教授
佐川 直人	有限会社 FOE CEP 代表取締役 代表

表6 第2ステージ(平成21年度以降)を実施するテーマ

研究テーマ名	実施機関
冷却ネットワークとナノ流体伝熱による集中管理型先進冷却システムの開発	独立行政法人産業技術総合研究所 株式会社SOHK i 国立大学法人九州大学 国立大学法人宇都宮大学
集熱沸騰冷却システムの開発	日本電気株式会社

表7 第1ステージ(平成20年度)で終了するテーマ

研究テーマ名	実施機関
吸着式冷凍機による廃熱利用冷却システムの開発	富士通株式会社、 (再委託先) 国立大学法人名古屋大学
気化冷却システム及び自然熱利用省エネ空調システムの開発	株式会社日立製作所 株式会社日立プラントテクノロジー
データセンタ向けポンプレス水冷システムの開発	三菱電機株式会社

(実施機関の変更)

研究開発項目① d) 「データセンタのモデル設計と総合評価」において、共同実施機関の(株)IDCフロンティアが平成22年3月末で委託事業を辞退し、平成22年4月からの実施機関は、独立行政法人産業技術総合研究所と筑波大学、株式会社エヌ・ティ・ティコミュニケーションズに変更となった。

#### 11.4 中間評価結果への対応

今回が中間評価であるため記述なし

#### 11.5 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成22年度、事後評価を平成25年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

### III 研究開発成果について

#### III.1 事業全体の成果（平成22年6月現在）

##### III.1.1 事業の目標（再掲）

平成24年度までに、データセンタの年間消費電力量を30%以上削減可能なエネルギー利用の最適化を実現するデータセンタに関する基盤技術と、ネットワーク部分の年間消費電力量を30%以上削減する革新的な省エネルギー化を可能とするネットワーク・ルータに関する要素技術を確立する。

#### ① エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発

##### 【最終目標（平成24年度）】

データセンタの年間消費電力量を30%以上削減可能な、エネルギー利用の最適化を実現するデータセンタに関する基盤技術を確立する。そのために、データセンタ・サーバシステムトータルとしてエネルギー利用最適化を図ることが可能な、以下の要素技術を確立する。

- a) サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発
  - ・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年間消費電力量を30%以上削減可能とする、光電気集積インターポージャーや筐体内光接続技術及びストレージシステム向け省電力技術、クラウド・コンピューティング技術のような要素技術を背景に、これらのインテグレーションを行い、低消費電力なサーバのアーキテクチャーに関する基盤技術を確立、その省電力特性と実用性を実証する。
- b) 最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発
  - ・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年間消費電力量を30%以上削減可能な高効率冷却システム技術を開発し、データセンタ及びサーバにおける最適抜熱方式に関する基盤技術を確立、その省電力特性と実用性を実証する。
- c) データセンタの電源システムと最適直流化技術の開発
  - ・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年間消費電力量を30%以上削減可能な、サーバにおける情報処理量と消費電力量のダイナミックな測定、分析技術と、サーバ構成機器・デバイスの情報処理状態および電源負荷状態に応じて電源並びにサーバ構成機器・デバイスをコントロールする技術を開発する。もって電源のアダプティブマネジメント技術を確立、その省電力特性と実用性を実証する。
  - ・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年間消費電力量を30%以上削減可能な、データセンタ及びサーバの電源システ

ム最適直流化システムを確立する。

d) データセンタのモデル設計と総合評価

- ・上記 a) ～ c) の開発成果を統合し、データセンタ・サーバシステムトータルとしてエネルギー利用最適化が図れる次世代データセンタ・サーバシステムの検証モデルを設計、試作し、データセンタ及びサーバにおける年間消費電力量30%以上の削減を実証する。

【中間目標（平成22年度）】

a) サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発

- ・光電気集積インターポージャーや筐体内光接続技術、ストレージシステム向け省電力技術、クラウド・コンピューティング技術のような要素技術を用いてこれらのインテグレーションを検討し、従来比50%以上の消費電力削減が可能なサーバアーキテクチャーの省電力特性と実用性を検証する。

b) 最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発

- ・データセンタ及びサーバの空調・冷却効率を50%以上改善可能な、高効率冷却システム技術に必要な要素技術を開発し、その省電力特性と実用性を検証する。

c) データセンタの電源システムと最適直流化技術の開発

- ・電源のアダプティブマネージメントを実現する上で不可欠な、サーバにおける情報処理量と消費電力量の高速・動的な測定、分析に必要な要素技術を開発する。それとともに、レスポンスタイムへの影響が実用上問題ないレベルで、サーバ構成機器・デバイスの情報処理状態及び電源負荷状態に応じて、電源並びにサーバ構成機器・デバイスをコントロールすることを可能とする各要素技術を開発し、電源を含めたIT機器全体の消費電力を20%以上削減可能な電源のアダプティブマネージメント技術の省電力特性と実用性を検証する。
- ・データセンタ及びサーバの電源システム最適直流化設計を行い、従来の交流・直流システムに比べデータセンタの消費電力を20%以上削減可能なことを検証するとともに、電源システム最適直流化に必要な要素技術を開発し、その実用性を検証する。

d) データセンタのモデル設計と総合評価

- ・データセンタ・サーバシステムトータルの省エネルギー性を評価できる指標を確立する
- ・エネルギー利用最適化が図れる次世代データセンタ・サーバシステム

の最適配置・システム・インフラに関する基本設計を完了する。

研究開発項目「革新的省エネルギーネットワーク・ルータ技術の研究開発」

【最終目標（平成24年度）】

- a) IT社会を遠望した、情報の流れと情報量の調査研究
  - ・中・長・超長期的な将来における、ネットワークに対する社会ニーズを満たすネットワークシステム、機器、構成及び技術等を予測し、将来のネットワーク・ルータのあるべき姿を具体的に仕様づける。
  
- b) 情報のダイナミックフロー測定と分析ツール及び省エネルギー型ルータ技術の開発
  - ・40Gbps レベルの高速回線を収容するルータから成るネットワーク上を流通する情報量の数秒～数分の短期変動に対応可能な、情報量のダイナミックな予測が可能であることを実証する。
  - ・ネットワーク上を流通する情報量の長期変動に加え、数秒～数分の短期変動に対応可能なダイナミックな電力可視化技術を確立する。
  - ・消費電力モードの切替時間が1ms以下で、性能を16段階以上の粒度で増減可能な転送性能制御技術を開発し、データ流量適応型性能制御技術の有効性を実証する。
  
- c) 社会インフラとしてのネットワークのモデル設計と総合評価
  - ・上記a)及びb)の開発成果を統合し、ネットワーク・ルータトータルとして消費電力の最適化が可能なネットワークアーキテクチャーを構築するとともに、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30%以上の削減を検証する。

【中間目標（平成22年度）】

- a) IT社会を遠望した、情報の流れと情報量の調査研究
  - ・中・長・超長期的な将来における技術、社会、生活スタイル等の予測、ネットワークの利用形態及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等、情報化社会未来予測調査を完了する。
  - ・中・長・超長期的な将来における、ネットワークに対する社会ニーズ等の予測を行う。
  
- b) 情報のダイナミックフロー測定と分析ツール及び省エネルギー型ルータ技術の開発
  - ・ネットワーク・ルータの情報量に応じた動的な性能増減を実現する上で不可欠な、40Gbpsレベルの高速回線を収容するルータに入出力する情報量の長期変動に加え、数秒～数分の短期変動に対応可能な、

- ダイナミックな情報量の観測、予測技術を開発し、その実用性を検証する。
- ・ネットワーク、ルータの消費電力のリアルタイム、アベレージ、ピークなどの情報取得技術、サーバールータ間のインターフェイス技術、ユーザインターフェイス技術等の各要素技術を開発するとともに、リアルタイム電力可視化技術を実証する。
  - ・消費電力モードの切替時間が1 m s 以下で、性能を4段階以上の粒度で増減可能な転送性能制御技術を開発するとともに、情報量のダイナミックな観測、予測技術との結合評価実験により、その実用性を検証する。

c) 社会インフラとしてのネットワークのモデル設計と総合評価

- ・消費電力最適化ネットワークアーキテクチャ技術の確立に向け、ネットワークトポロジの策定、システム構成機器の機能分担の最適化の検討、ネットワーク・ルータシステムをモデル設計する。

### III.1.2 研究開発の内容

各研究開発項目の開発概要は以下の通りである。詳細内容については、「III.2 研究開発項目毎の成果」の章で記述する。

#### ① a) ア) 「将来の進化を想定した低消費電力アーキテクチャーの開発」

##### 開発内容

- ・筐体内のボード間信号伝送に光配線を用いることで、バックプレーンを小型化して排熱効率を高め、サーバの冷却電力を従来比30%削減する新しい筐体のアーキテクチャーを開発する。開発する技術は、筐体内光接続に関する技術、筐体内高密度・大容量接続を適用した省電力筐体技術である。

#### ① a) イ) 「ストレージシステム向け省電力技術の開発」

##### 開発内容

- ・データセンタで利用されるストレージシステムの消費電力を削減するために、ストレージの物理的な使用量を少なくとも30%削減する技術の開発を行う。具体的には、データセンタのストレージプールを構成するストレージの中から同一のデータを発見して削除する冗長性除去技術を開発し、さらにデータ圧縮を施すことでストレージの使用量を削減する。これらの冗長性除去とデータ圧縮により可変長となるデータを高速で格納するために必要な、ディスクへのランダムアクセスを逐次化する技術も開発する。また、冗長性除去の効果を検証するための評価手法も確立する。

### ① a) ウ) 「クラウド・コンピューティング技術の開発」

#### 開発内容

- ・大量データの移動・蓄積・処理に要する消費電力を削減するためのクラウド・コンピューティング技術および運用・システム技術を開発する。具体的には、①新しい管理空間によるデータ管理技術（統合情報空間管理）、②新しい分散処理を用いた大量情報処理技術（データ・アフィニティ処理基盤）、③データ・セントリック分散システム制御による高効率制御技術（データ・セントリック分散システム制御）、④サーバ・ストレージ・ネットワーク統合による動的制御技術（ネットワーク統合制御）、⑤クラウド・コンピューティング技術を利用した新たな分散キャッシュ・システムによるデータセンタの省エネ化理論モデル（分散キャッシュ・システム）、を開発する。さらにこれらを統合するシステムを構築し、データセンタ・サーバシステムトータルの年間消費電力量を削減する。

### ①- b) (最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発)

#### 「冷却ネットワークとナノ流体伝熱による集中管理型先進冷却システムの開発」

#### 開発内容

- ・空冷方式に替わり、サーバラックに設けた冷却用ソケットにフレキシブル構造の熱移動ケーブルをプラグイン接続し、熱移動ケーブルを介して供給される冷却媒体によってサーバ内のCPUを直接あるいは間接に液冷することが可能な先進冷却ネットワークシステムを開発する。この廃熱の集中管理によって、サーバ室内環境への廃熱放出が大幅に削減され、サーバラーム・データセンタの空調消費電力が大幅削減される。具体的には、1) プラグイン式冷却ネットワーク技術、2) 単相流あるいは沸騰 2 相流を用いた直接液冷技術、3) 高性能薄型ヒートパイプスプレダ技術、4) ナノ流体による伝熱促進技術、5) 冷却ネットワークシステム技術を開発する。

### ①- b) (最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発)

#### 「集熱沸騰冷却システムの開発」

#### 開発内容

- ・複数の発熱源からの熱を、シームレスな伝熱経路を介して、効率的に放熱できる場所に集める集熱沸騰冷却システム技術を開発し、IT機器の冷却電力を削減してデータセンタの空調電力を削減する。この開発に向け、相変化冷却技術、機器のレイアウト変更に制限を受けない柔軟接続技術、組立て性を向上させる接触伝熱技術などを開発する。

### ①- c) 「データセンタの電源システムと最適直流技術の開発」

#### 開発内容

- ・最適直流化技術として、直流給電方式による電力変換段数削減に加えて、直流

給電方式の特長を生かし消費電力に応じて直流電源装置や PSU の運転台数を動的に制御する電源アダプティブマネジメントを開発する。低負荷運転状態における電力変換効率の低下が解消できる省電力電源システムを開発する。

#### ①－d)「データセンタのモデル設計と総合評価」

開発内容

- ・本プロジェクトの研究開発項目 a) サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発、 b) 最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発、 c) データセンタの電源システムと最適直流化技術の開発、で個別に得られる技術成果を統合してデータセンタの年間消費電力の削減について検証する。そのために、サーバシステムやデータセンタの消費電力をモデル化し、省エネルギー性の評価が可能な指標を開発する。

#### ②－a)「IT社会を遠望した、情報の流れと情報量の調査研究」

開発内容

- ・将来の省エネルギーネットワークアーキテクチャーの設計に必要なトラフィックの量と質に関する知見を得る。

#### ②－b)「情報のダイナミックフロー測定と分析ツール及び省エネルギー型ルータ技術の開発」

開発内容

- ・情報量の減少に応じて動的に省電力モードに切り替わる、革新的な省エネルギーネットワーク・ルータ技術を開発するため、1) トラフィック観測・予測・最適性能予測技術、2) データ流量適応型性能制御技術、3) 電力可視化技術、の要素技術を確立し、これら要素技術を活用しない場合と比較してネットワーク部分の年間平均消費電力量を30%以上削減する。

#### ②－c)「社会インフラとしてのネットワークのモデル設計と総合評価」

開発内容

- ・複数方式のルータを組み合わせるネットワークモデル検討において、サービスとトラフィック特性に応じたマルチレベルパスによる省エネ化トラフィック制御技術、カットスルーティンギング・ノードシステムによる省電力効果技術、アプリケーションに応じてエネルギー消費の小さいルーティング方式を選択する技術の設計と評価を行い、省エネルギー型ネットワークのモデル設計を行う。

## III.2 研究開発項目毎の成果

研究開発の目標、開発成果の要約、現時点における中間目標の到達状況、成果の意義、最終目標達成に向けた取り組みは、以下の通りである。

### III.2.1 将来の進化を想定した低消費電力アーキテクチャーの開発

日本電気（株）

#### (1) 研究開発の目標

筐体内のボード間信号伝送に光配線を用いることにより、バックプレーンを小型化して排熱効率を高め、それにより省電力化を実現する新しい筐体のアーキテクチャーを提案し、既存のシステムに対するその優位性を明らかにする。

##### (1)-1) 中間目標（平成22年度）：

サーバ冷却の消費電力を従来比30%削減する筐体構造、部品配置をシミュレーションで見出す。さらに、ボード間10Gbps伝送に必要とされるボード間光接続の損失合計10dB以下が可能な目安を得るため、ボード間光接続損失15dB以下が可能なことを実証する。

##### (1)-2) 最終目標（平成24年度）：

筐体プロトタイプを試作を行い、冷却に係る消費電力30%削減が可能なことを実証する。さらに、ボード間光接続損失10dB以下が可能なこと及び10Gbpsの信号伝送を実証する。

#### (2) 開発成果の要約

本事業では、筐体内のボード間信号伝送に光配線を用いることにより、バックプレーンを小型化して排熱効率を高め、それによりサーバの冷却電力を従来比30%削減する新しい筐体のアーキテクチャーの研究開発を目的とした。この研究開発を遂行するには、まず、提案する筐体のアーキテクチャーを確立することが最も重要な課題になる（本開発では10Gbpsの伝送を想定）。次に、提案する筐体を実現するために不可欠な要素技術である、筐体内光接続技術の開発が重要である。さらに、提案する筐体の省電力性を実証することが重要である。そのため、前期3年間では、(i) 筐体内高密度・大容量接続を適用した省電力筐体のアーキテクチャーの検討、(ii) 筐体内高密度・大容量接続技術の開発2つのテーマに従って研究開発を進めた。

##### (2)-1) 筐体内高密度・大容量接続を適用した省電力筐体のアーキテクチャーの検討

サーバ冷却の消費電力を従来比30%削減する筐体構造、部品配置をシミュレーションで見出すことを目的とした。

省電力筐体のアーキテクチャーを見いだすため、ブレード型筐体を対象として解析モデルを構築し（図1-1）、排気用スペースの配置、大きさ、吸気口の配置、大きさ、冷却ファンの配置、能力、LSI等熱源の配置をパラメータとして、筐体内の熱流体解析を行った。表1-1にファンの消費電力（冷却能力）を一定としたときの、従来モデルと上記パ

ラメータを変更した複数の光インターコネクション適用モデルにおける CPU 近傍の流量解析結果を示す。光インターコネクション適用モデルにおけるモデル H2 では従来モデルであるモデル H1 より流量が 40% 向上し、さらにモデル H5 では 56% 向上することを確認した。さらに、ファンの消費電力（冷却能力）を変えたときの、モデル H1 とモデル H2 のファンの発生流量を図 1-2 に示す。ボード当たりの発熱量を 200W とするとモデル H1 に比較しモデル H2 ではファンの消費電力が 30% 削減されることを確認した。

表 1-1 CPU 近傍の流量解析結果

	従来モデル		光インターコネクション適用モデル		
	モデルH1	モデルH2	モデルH3	モデルH4	モデルH5
CPU①	14.6	20.7	11.2	8.6	15.3
CPU②	19.7	27.6	15.5	15.5	38.5
平均	17.2	24.2	13.4	12.1	26.9

同一ファン容量比較でCPU近傍の流量が増大

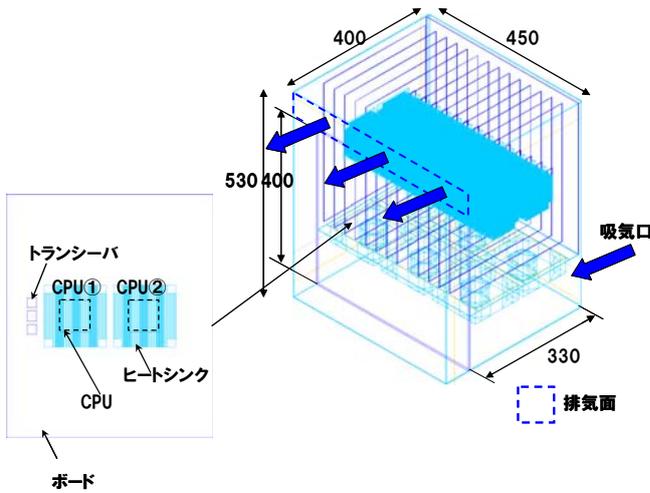


図 1-1 解析モデル

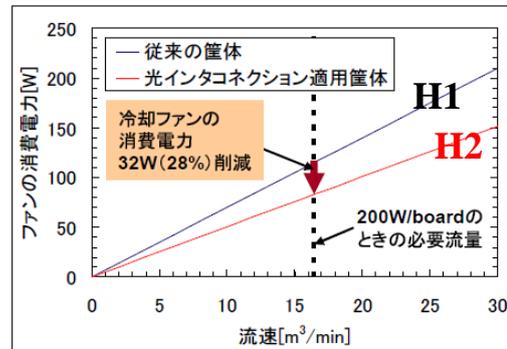


図 1-2 冷却ファンの消費電力比較

(2)-2) 筐体内高密度・大容量接続技術の開発

同一筐体に搭載されるボード間の光接続の損失合計を 15dB 以下にすることが可能なことを実証することを目的とした。光接続の内訳は図 1-3 に示すように、ボード上に配置されるポリマ導波路部で 1dB 以下、ポリマ導波路とボード間配線用光ファイバ間部で 3dB 以下、ポリマ導波路と光トランシーバ（光源/受光素子）間部で 3.5dB 以下とした。

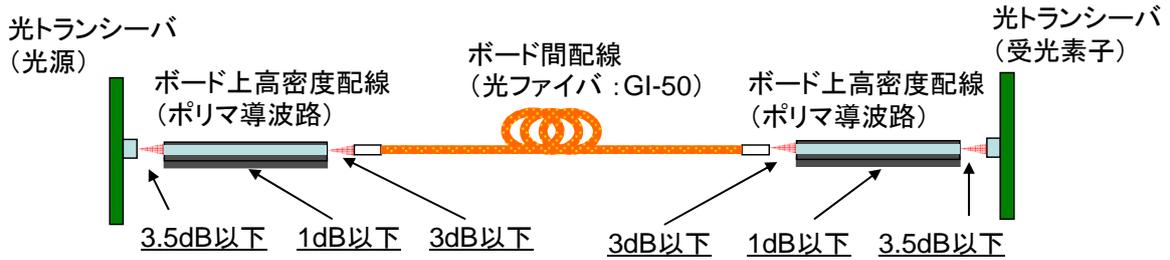


図 1-3 ボード間伝送における光接続損失の割り振り

(2)-2)-①ボード上高密度配線の検討

ボード上光配線の設計指針を見いだすため、様々な材料、製造プロセスで作られるポリマ導波路について、サンプル試作及び評価を行った。具体的には、異なった材料で作られた 3 社のポリマ導波路について、直線部及び曲線部での損失評価を行い、基礎データの収集を行った。さらに、コア/クラッドの屈折率差の異なるサンプルを評価し、高屈折率差を有するポリマ導波路では小さい曲げ半径領域で損失が小さくなることを確認した。さらに、曲率半径を次第に小さくするクロソイド曲線を曲線部に利用することで曲線部の損失が改善されることを確認した。上記の結果から、ポリマ導波路の配線長を約 10cm 以下、曲がり部半径を 5mm 以上とすることにより挿入損失 1.0dB 以下を達成可能であることを確認した。

表 1-2 ポリマ導波路の挿入損失比較

	材質	屈折率差 (%)	損失(直線部) (dB/cm)	損失(曲線部) (dB/cm @半径5mm)	曲線部での損失立ち上がり半径(mm)
A社	エポキシ	3.4	0.21	1.73	1
		2.0	0.08	1.14	2
B社	エポキシ	2.7	0.06	0.38	4
C社	エポキシ	1.4	0.1	—	—

(2)-2)-②ボードと筐体の接続技術の開発

ボード上ポリマ導波路は材料が樹脂、コア形状が四角形で作られているが、ボード間配線用ファイバは材料がガラス、コア形状が円形と材料及びコア形状が異なる。特に、ポリマ導波路は NA (Numerical Apature) が 0.31 で汎用の光ファイバの 0.21 に対して高く、ポリマ導波路から入射する導波成分のうち放射角の大きな光成分が光ファイバに結合しないため、結合損失の大きな要因となると考えられる。また、結合位置におけるアライメントずれも結合損失の大きな原因となる。そこで、放射角が大きな光源及び放射角の小さな光源を用い、そのときのポリマ導波路と光ファイバの実装条件 (面内方向のアライメント精度) を数値解析及び実験により確認した (図 1-4)。上記の結果から、放

射角の小さな光源を用いた場合、アライメント精度±15um 以内では、結合損失 3dB 以下を達成可能であることを確認した。

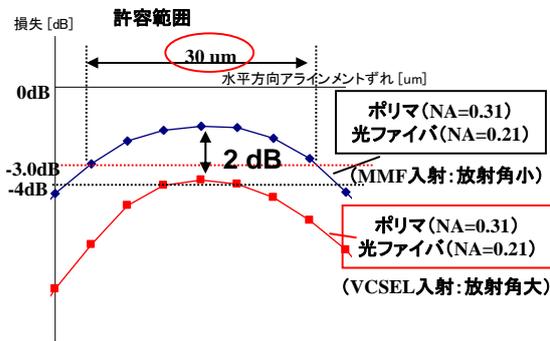


図 1-4 ポリマ導波路と光ファイバの結合損失結果 (A 社 NA=0.31)

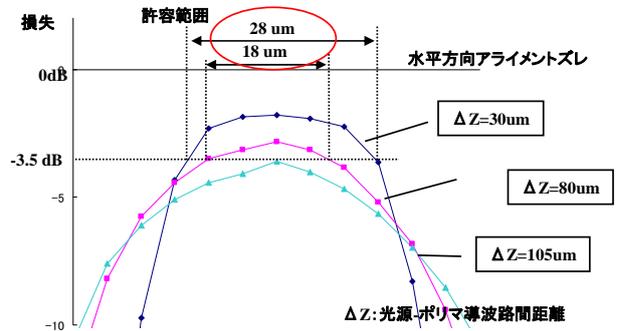


図 1-5 光源とポリマ導波路の結合損失評価結果 : 直接結合 (A 社 NA=0.31)

## 2)-2)-③ボードとトランシーバの高効率結合技術の開発

ボード上ポリマ導波路とトランシーバ間の光結合方式では、ボード上ポリマ導波路にトランシーバの出射面を極力近づけ空隙を少なくする直接実装構造、光の広がりを集光するレンズ結合構造、コア/クラッドから構成される縦型の導波路をボード上ポリマ導波路とトランシーバ間に形成する光ビア構造等様々な構造がある。本開発では、データセンタに配置される汎用サーバに適合した低コスト実装方式である直接結合構造を初期モデルとして結合構造の検討を行った。トランシーバに配置される光源とポリマ導波路の NA はほぼ等しく放射角に起因した光成分のケラレは少なく、実装精度に起因した結合損失が支配的となる。そこで、面内方向のアライメント精度及び光源とポリマ導波路の距離をパラメータとして結合損失を実験により確認にした (図 1-5)。上記の結果から、光源とポリマ導波路間距離 80um 以下の条件下で、光源とポリマ導波路との水平方向アライメント精度を 18um 以下とすることにより結合損失 3.5dB 以下が達成可能であることを確認した。

さらに、図 3 におけるすべての要素を結合して伝送性能を確認した。図 1-6 は結合点における水平方向アライメントズレに対する結合損失の実験結果である。各結合点を理想的な結合としたアライメントズレ 0 ではリンク全体の損失合計は 6.2dB、各結合点でアライメントズレを 10um とすると損失合計が 9.0dB となる。このときの伝送性能を図 1-7 に示す。損失合計 9.0dB でもイーサネットの規格で規定されているビットエラーレート 10<sup>-12</sup> 以下を満足しており、最終目標である損失合計 10dB 以下であれば 10Gbps 伝送が可能なが確認された。

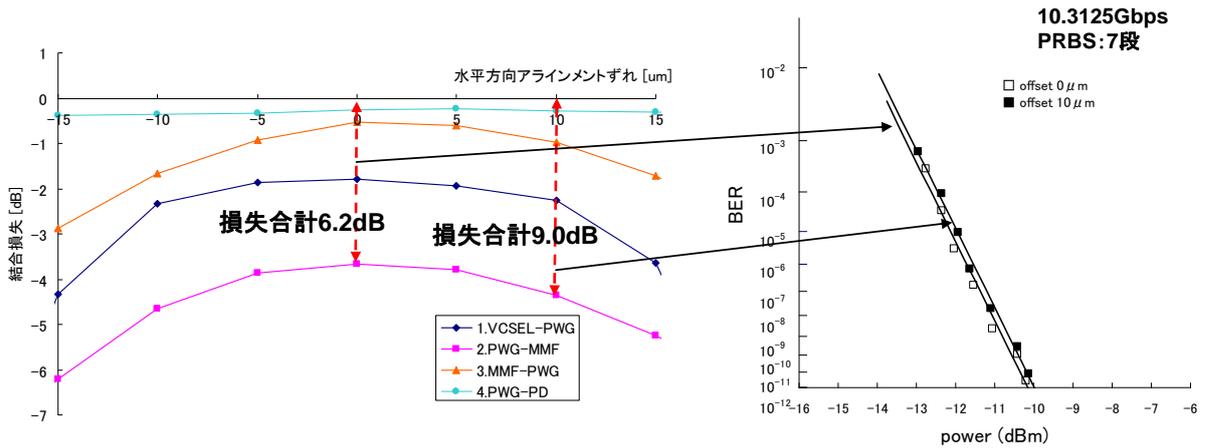


図 1-6 各結合点における結合損失

図 1-7 伝送性能(ビットエラーレート)

### (3) 中間目標の達成度

中間目標であるサーバ冷却の消費電力を従来比 30%削減する筐体構造／部品配置を数値解析により見いだすこと及びボード間光接続の損失合計 15dB 以下を達成見込みである。

### (4) 成果の意義

本研究で得られる成果は、サーバだけでなく、その他の IT 機器、ネットワーク機器 全般に適用可能であり、広く IT/NW 機器の消費電力削減に寄与する波及効果の大きな技術である。

### (5) 最終目標達成の可能性 (今後実施予定項目、内容)

ポリマ導波路の低ロス化、光ファイバの NA 低減、実装ズレ低減等の改良により損失合計 10dB 以下を実現するとともに、プロトタイプを試作評価により、最終目標である冷却に係る消費電力 30%削減の実証とボード間 10Gbps 伝送の実証を達成見込みである。

### III.2.2 ストレージシステム向け省電力技術の開発

富士通（株）

#### (1) 研究開発の目標

データセンタで利用されるストレージシステムの消費電力を削減するために、ストレージの物理的な使用量を少なくとも30%削減する技術の開発を行う。具体的には、データセンタのストレージプールを構成するストレージの中から同一のデータを発見して削除する冗長性除去技術を開発し、さらにデータ圧縮を施すことでストレージの使用量を削減する。これらの冗長性除去とデータ圧縮により可変長となるデータを高速で格納するために必要な、ディスクに対するランダムアクセスを逐次化する技術も開発する。また、冗長性除去の効果を検証するための評価手法の確立も実施する。

##### (1)-1) 中間目標（平成22年度）：

###### ① 逐次化方式の開発

冗長性除去に必須である、逐次化されたストレージシステムを開発する。ランダム書き込みの性能値がローカルディスクに対して10倍となることを目標とする。

###### ② 冗長性除去方式の開発

単一ノードで動作するデータの読み書きに対して処理オーバーヘッドが小さく、スケールアウトが可能な冗長性除去方式を開発する。

###### ③ 評価解析手法の確立

冗長性除去を考慮したベンチマーク手法を開発する。

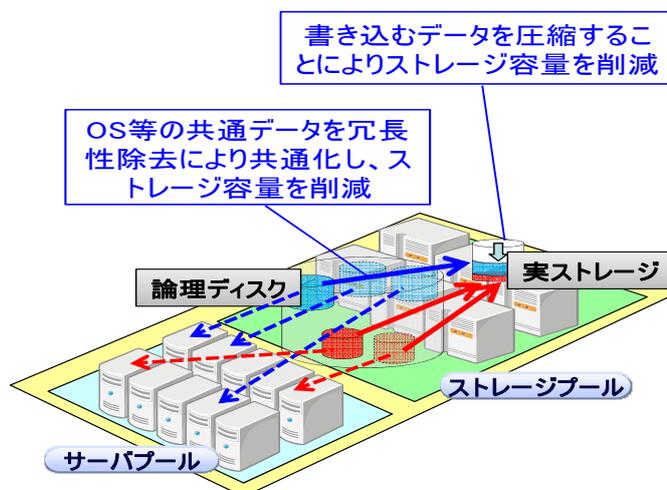
##### (1)-2) 最終目標（平成24年度）：

ストレージの逐次化技術を確立させ、データ圧縮を含む冗長性除去技術を確立する。

① データセンタ規模（100PB）の大量データを対象とし、複数処理ノード間に分散して冗長性除去を行なう技術を開発する。

② アクセス性能は実利用において従来のストレージ装置と同等のものを指すものとする。

③ アクセス性能とストレージ使用量削減効果の基本評価の実施に必要な評価プログラムの試作や改良を行い、ストレージ使用量の削減率30%を目標とする。



## (2) 開発成果の要約

それぞれの研究項目に対して、下記のような成果をあげた。

### (2)-1) 逐次化方式の開発

ディスクへの書き込みを逐次化し、汎用プロトコルである iSCSI 経由でアクセス可能なブロックストレージを開発した。本技術は、冗長性除去・圧縮により可変長になるデータを効率良く管理するため、データの物理位置と論理位置を対応付けるものである。

### (2)-2) 冗長性除去方式の開発

冗長性除去は、以前に記録したことがあるデータと同じデータは二度記録しないことにより、ストレージの使用量を減らす技術である。一般にバックアップ用のストレージは、毎日フルバックアップをとるならば、データの配列は前日とほぼ同じであることが予想される。したがって、バックアップ向けの冗長性除去システムではデータの配列が同等であることに依存した最適化が行われる。つまり探索する過去のデータの範囲を制限することによる処理速度の向上がそれである。ファイルサーバなどに使用するプライマリストレージでは、ストレージへのアクセスはブロック単位に、ランダムに行われるものと想定しなければならない。このため、バックアップの場合とはまったく異なる方法をとる必要がある。

冗長性除去方式は、過去に保存したデータのハッシュ値とデータのアドレスの対応をハッシュテーブルの上に記録し、ハッシュ値を用いてデータが新規かどうかを判定するものである。プライマリストレージへの適用を目指すため、高速な方式として、ブルームフィルタというデータ構造を多段に活用する方式を新たに開発した。その結果、以下のようなデータ容量削減率及びアクセス性能を達成した。

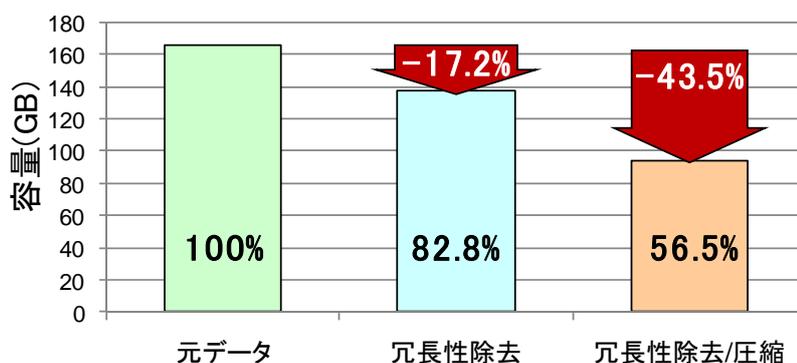


図 2-1 冗長性除去の効果

表 2-1 本技術によるアクセス性能の評価

(従来のディスクの性能に対する倍率)

	ランダム書込	ランダム読出	連続書込	連続読出
目標値	10倍	1倍	0.07倍	0.01倍
実験結果	1.4~10倍	1.2~15倍	0.04倍~0.13倍	0.7倍~1.4倍

### (2)-3) 評価解析手法の確立

本研究の成果物がデータセンタにおける実際のディスクアクセスに対して実用的な性能を発揮し、実際のデータに対して目標の圧縮率を達成できることを確認することが目的である。平成20年度は成果物の性能評価を行うために、実際のデータセンタにおけるディスクにアクセスするデータの大きさやデータの読み出しと書き込みの比率の調査を行ったが、平成21年度は、部門内のファイルサーバのデータを調査し、圧縮と冗長性除去の方式がどの程度のデータを削減できるか評価し、目標である30%削減が充分可能であることを確認した。また、削減効果を監視する仕組みを開発した。前述のデータ削減率及びアクセス性能は、本解析手法により取得したものである。

### (3) 中間目標の達成度

それぞれの研究項目に対して下記のような達成度である。

#### (3)-1) 逐次化方式の開発

逐次化されたストレージシステムを開発し、目標とした性能を達成することができた。

#### (3)-2) 冗長性除去方式の開発

単一ノードで動作する画期的な冗長データ検索方式を考案し、それに基づいた冗長性除去方式を開発し、中間目標は達成した。今後は複数ノード間での冗長性除去技術を開発し、さらなる冗長性除去率の向上を実現する。

#### (3)-3) 評価解析手法の確立

アクセス傾向に基づく冗長性除去を考慮したベンチマーク手法を考案し、中間目標を達成した。今後は、試作したストレージシステムでの評価を実施する。

### (4) 成果の意義

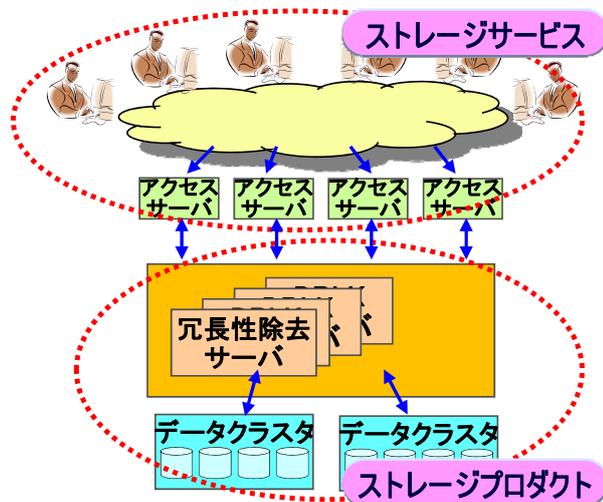
本研究で開発した技術は、アプリケーションに特化せず汎用的であるため、以下のような産業上の応用が可能である。

#### ① サービスへの適用

データセンタのストレージサービス基盤に応用することにより、データ量を削減し、より低消費電力、低コストでストレージサービスを提供することが可能

#### ② プロダクトへの適用

本技術は、用途を特定アプリケーションに限定していないため、サーバなどにソフトウェアとして組み込むこと及び汎用のストレージ製品への適用が可能



(5) 最終目標達成の可能性（今後実施予定項目、内容）

それぞれの研究項目に対して下記のような研究を今後実施する予定である。

(5)-1) 逐次化方式の開発

達成済みである。

(5)-2) 冗長性除去方式の開発

圧縮と合わせてすでに目標である容量30%削減は達成済みである。さらにさまざまな利用形態においても容量削減の効果を発揮するため、今後は複数ノード間での冗長性除去技術を開発する予定である。予備的に実施したシミュレーションでは、一般的なファイルサーバに適用した場合に約50%の冗長性除去率向上が得られるとの結果が出ている。

(5)-3) 評価解析手法の確立

今後は、試作したストレージシステムをデータセンタに適用した環境下での評価を実施し、評価手法の有効性を示す予定である。

### III.2.3 クラウド・コンピューティング技術の開発

日本電気（株）、（独）産業技術総合研究所、（株）IIJイノベーションインスティテュート

#### (1) 研究開発の目標

本研究開発では、ますます強まるデータセンタの低消費電力化への要請に対応していくため、エネルギー利用の最適化を実現するデータセンタに関する基盤技術の確立を目指す。具体的には、サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発、特に、クラウド・コンピューティング技術の研究開発を行う。

データセンタの年間消費電力量に対しては、IT 機器が消費する電力と電源や空調などの非 IT 機器が消費する電力がある。非 IT 機器は、大まかには IT 機器が消費する電力に比例して電力を消費すると考えられるため、本研究開発では IT 機器、すなわち、データセンタ・サーバシステムトータルによる年間消費電力量を 30%以上削減可能とする技術の確立を目的とする。

##### (1)-1) 中間目標（平成 22 年度）：

理論モデルを統合し従来比 50%以上の省電力特性を理論検証する。

##### (1)-2) 最終目標（平成 24 年度）：

統合システムを構築し従来比 30%以上の省電力特性と実用性を実証

#### (2) 開発成果の要約

##### (2)-1) 新しい管理空間によるデータ管理技術の研究開発（統合情報空間管理）

###### ① 運用管理に関連する要素技術調査及び運用管理に関わる電力消費量調査

データの運用管理における消費電力動向を確認するため消費電力調査を実施し、長期的視点では、データの蓄積により定常的にかかる電力消費量の削減、短期的視点では、データの I/O 処理効率を高めることによるリソース占有時間の短縮が、省電力効果を得るためのアプローチであることを確認した。また、上記を踏まえた要素技術の観点では、データ蓄積コストの削減処理のアプローチとデータ I/O 処理の効率化のアプローチはトレードオフの関係となりうることを確認した。

###### ② データ特性に基づく重複排除型データ格納手法の理論モデルの検討と設計

実運用されている業務ファイルサーバに格納されているデータ種別調査結果から、容量比率の大きい文書コンテンツ系のデータの重複排除の可能性を検討した。上記を踏まえて、データの重複検出精度を高めるべく、コンテンツ内に埋め込まれている画像オブジェクトに着目した重複検出手法を考案し、重複検出精度の検証を行った。本検証結果を元に、前記重複検出手法の適用を含め、サービスレベルに応じたデータ格納手法のモデル化を完了した。

###### ③ データ配置・構造最適化技術を実現する制御モデル検証プログラムの検討と設計

データ配置・構造最適化を検証する手法の検討及び設計を行った。まず、現在のクラウド環境のモデル化を行い、クラウド環境を 3つのモデル（ミドルウェア、ハード

ウェア、ワークロード) で表現することとした。これら3つのモデル表現を組み込み、ワークロードに対する性能と消費電力量についてシミュレーションを行うことが出来る制御モデル検証プログラムの概要設計を完了した。

(2)-2) 新しい分散処理を用いた大量情報処理技術の研究開発 (データ・アフィニティ処理基盤)

①半導体ストレージを用いたクラウド・コンピューティング処理基盤開発環境の導入

半導体ストレージを用いたクラウド・コンピューティング処理基盤開発環境の設計を行い、導入した。近い将来のデータセンタにおける標準的な仕様を想定し、PCI-Express に直結する高速な半導体ストレージと、10Gbit イーサネットを用いた。これにより、実装及び評価の基盤となる環境を確立した。

②実証システムのプロトタイプ設計と実装

高速な MapReduce を行う実証システムの設計に関して知見を得るため、Python 及び Java による実証システムのプロトタイプ設計及び実装を行った。MapReduce の基盤となる分散ストレージとしては、既存のキーバリューストアをコンシステントハッシングで分散化したものを用いた。プロトタイプ実装の結果、中間結果の分散ストレージへの書き込みが高速実行の際のボトルネックとなることを確認し、基盤となる分散ストレージの要件を明確化した。

(2)-3) データ・セントリック分散システム制御による高効率制御技術の研究開発 (データ・セントリック分散システム制御)

①オブジェクトストレージ基盤の設計と試作

分散システムを構成する分散ストレージシステムとして、100ノード規模でスケラブルに拡張可能なオブジェクトストレージ基盤の設計と試作を行った。オブジェクトの格納先は、メモリへの格納を優先して行うようにした。オブジェクトに同時に複数から書き込みがされた場合にも一貫性が保たれるようオブジェクト単位のバージョン制御を導入し、一貫性の確保を実現した。メタデータのデータベースは RDB で実現し、メタデータを、オブジェクトの識別子 (Object ID) のリストオブジェクトとして格納することで、Query コマンドによるメタデータの入出力を実現した。

②分散リモート処理基盤の設計と試作

分散システムを構成するデータ処理基盤として、小粒度の処理単位で処理を実行するノードが変更可能な分散リモート処理基盤の設計と試作を行った。Java オブジェクトの Method をリモート呼び出しする機能と、スクリプトで書かれたプログラムをリモート呼び出しする機能を設計、試作した。これにより、複数オブジェクトに対する Method 呼び出しを並列で行えることを確認した。

③システム制御を想定した運用基盤の設計

1,000ノード規模のシステムを効率的に管理するための運用基盤の設計を行った。各ノードでエージェントが動作し、システム全体を管理するマスタノードと通信を行い、死活監視を行えるようにした。管理者はマスタノードから、全ノードの状態を管理し、ストレージ基盤への参加/離脱の制御を可能とした。

#### (2)-4) サーバ・ストレージ・ネットワーク統合による動的制御技術の研究開発（ネットワーク統合制御）

##### ①高速ストレージのリモート接続ネットワーク構築の調査

従来はサーバのローカルバスにくくりつけられていたPCI Express直結の高速SSDを、ExpEtherの制御チップを用いてネットワーク越しに共有するシステムを実機で構築した。本システムを従来のストレージアクセス手法とベンチマークしたところ、Readでは性能劣化はなくWriteでは性能劣化が起きた。この原因はハンドシェイクの遅延にあり、上記SSDのドライバのRequest同時発行機能のパラメータを修正することにより高速SSDをネットワークに置いて十分な性能が得られる事が判明した。

##### ②高速ストレージのリモート接続ネットワークシステムの設計

データセンタ・サーバシステムに対して、ネットワーク技術を活用した動的最適化・効率化の手法として、高価で消費電力の高い専用のストレージネットワークを敷設するのではなく、サーバ間通信で用いる汎用のイーサネットをネットワークを集約し、複数のマシンからストレージを共有する方式の検討を行った。その結果、ストレージを共有するためのゲートウェイ装置とサーバ間通信機能を導入するのみで、本方式が実現できることが判明した。

#### (2)-5) クラウド・コンピューティング技術を利用した新たな分散キャッシュ・システムによるデータセンタの省エネ化（分散キャッシュ・システム）

##### ①自律分散型キャッシュシステムの設計と実装

自律分散型キャッシュシステムの設計では、独立して動作可能な静的コンテンツを対象とするキャッシュシステムと協調キャッシングを行うため分散ハッシュテーブルを利用したキャッシュ状態共有機構からなるアーキテクチャーを考案し、それに基づく実装を行った。これにより、最も単純なアルゴリズムによる協調キャッシングが動作した。

##### ②データセンタ外部アクセス特性の調査

一般的なウェブ・アクセスは、定常的負荷とFlash Crowd（一時的に発生する過大なアクセス負荷）からなるモデル・パターンであると定義し、SPECweb2009を利用して同様の負荷を再現するシステムを構築した。本システムは、最大18,000コネクションのウェブ・アクセス負荷が再現でき、定常状態とその3倍のFlash Crowdからなる再現シナリオを実行可能とした。

#### (2)-6) 研究取り纏め／全体統合

サブテーマの成果及びシステム全体での検証目的とした、約130台からなる分散システムを構築した。また、分散システム上に搭載するOS、ミドルウェア、アプリケーション等のソフトウェア環境を効率的にデプロイする仕組みを導入することで、用途に合わせた検証環境の構築を迅速に実行できるようにした。さらに、分散システムとしての電力消費量を測定するために、ノード単位で消費電力量の計測を可能とする環境を構築した。

### (3) 中間目標の達成度

それぞれのサブテーマにおいて、個別の省電力に繋がる技術要素の現時点での検証とそれらを一つのシステムと見たときの省電力効果の概算見積もりを行った（テーマ⑥全体統合）。これらの検証は平成22年度に於いて予定の物全てを網羅した物では無いが、約40%程度の省電力効果が得られることが見込まれており、本年度残りで更に検証を進めることで中間目標である理論値50%の達成見込みである。

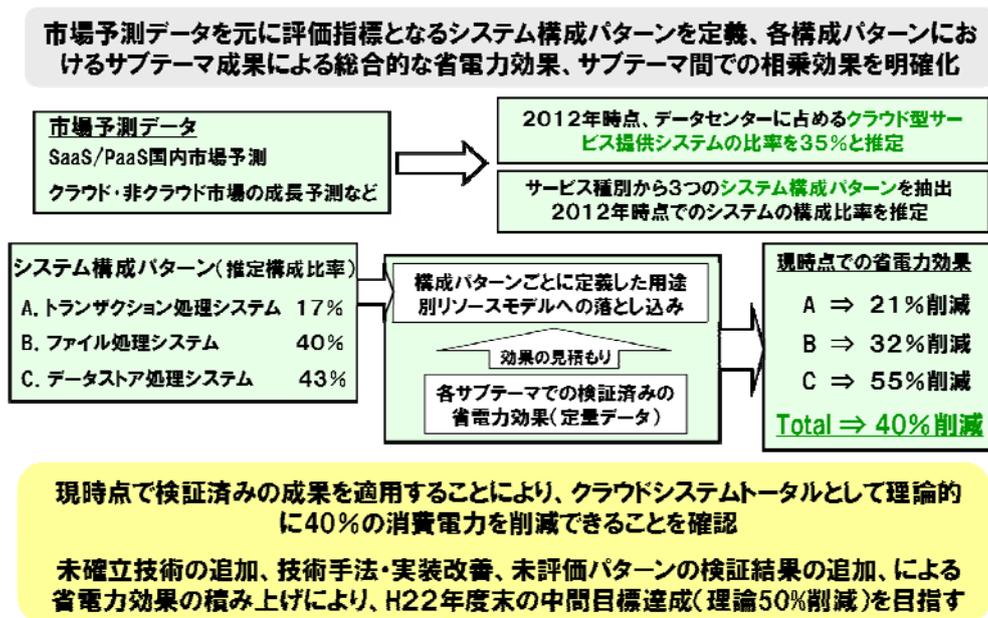


図 3-1 「クラウドを前提とするデータセンターでの省電力評価」

### (4) 成果の意義

本プロジェクトを開始した時点（平成21年度8月時点）では、クラウドを前提とするデータセンターのシステムモデル化が一般的になされておらず、省電力を考慮したシステムモデルや評価手法に関しても皆無であった。また、データセンター全体を統合的に構築・制御することで省電力を目指す手法についても皆無であった。これらの課題へ対処する為、データセンターの運用に大きな実績のあるIIJの研究組織であるIIJ-II、クラウドやコンピューティング技術一般の研究を行っている産総研、またデータセンターで用いられる、サーバやストレージの個別製品や、システムインテグレート技術を持つNECそれぞれの知見

を集めることで、省電力化手法のみならず、クラウドを前提とするデータセンタのシステムモデル化、また省電力の評価手法の確立に目処をたてたことは大きな成果であると考え

(5)最終目標達成の可能性（今後実施予定項目、内容）

中間年度（平成22年度末）での50%の省電力効果の理論値を検証すべく、さらなる省電力手法の検討の実施の予定、さらに平成23年度からの統合実証に備え、プロトタイプの開発を継続して進める。それぞれのサブテーマの実施予定内容は下記の通り。サブテーマ1)新しい管理空間によるデータ管理技術の研究開発(統合情報空間管理)については、技術の適用先となるデータ・システムモデルを拡大する機能追加・改善により、さらなる省電力効果を向上手法の検討。サブテーマ2)データアフィニティ処理基盤についてはキーバリューストア部分の機能改善により、細粒度アプリケーションに対応への対応。サブテーマ3)データ・セントリック分散システム制御による高効率制御技術の研究開発(データ・セントリック分散システム制御)についてはサブテーマ1)新しい管理空間によるデータ管理技術の研究開発(統合情報空間管理)、2)新しい分散処理を用いた大量情報処理技術の研究開発(データ・アフィニティ処理基盤)との連携を前提とした処理分配制御及び稼働状態制御により、全体システムとして最適なりソース配分制御を実現することによる効率化向上を目指す。サブテーマ4)サーバ・ストレージ・ネットワーク統合による動的制御技術の研究開発(ネットワーク統合制御)についてはデバイス共有ネットワークの実現により、コンピューティング・ストレージリソースの最適化利用が可能となり、他サブテーマでのリソース効率利用を高める技術として開発を行う。サブテーマ5)クラウド・コンピューティング技術を利用した新たな分散キャッシュ・システムによるデータセンタの省エネ化(分散キャッシュ・システム)については現在10%程度のキャッシング対象コンテンツを、マルチプロトコル・キャッシングにより50%以上までに効果を高める予定。サブテーマ6)研究取り纏め/全体統合については、先ほど述べた様に理論モデルでの目標、50%電力削減の見通しはほぼたっており、来年度以降のテーマ間での連携技術の確立による最終目標達成(30%削減)に向け、実証環境の整備や評価手法の整備を引き続き進める予定。

### III.2.4 冷却ネットワークとナノ流体による集中管理型先進冷却システムの研究開発

(独) 産業技術総合研究所、宇都宮大学、九州大学、(株) SOHki

#### (1) 研究開発の目標

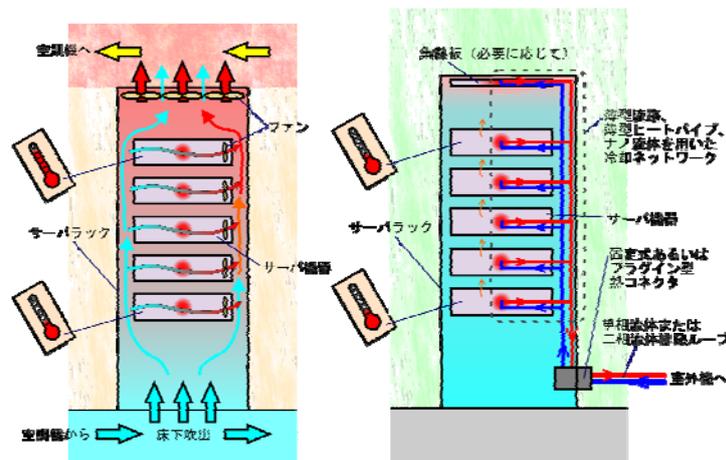
本研究開発では、データセンタにおける従来の空冷方式に替わり、サーバラックに設けた冷却用ソケットにフレキシブル構造の熱移動ケーブルをあたかも LAN ケーブルを接続するようにプラグイン接続し、熱移動ケーブルを介して供給される冷却媒体によって、サーバに内蔵されたデバイス、具体的には CPU を直接あるいは間接液冷すると共に、ネットワーク化した冷却系によって集約された廃熱を集中管理することにより、室内環境への廃熱の放出の大幅削減、サーバラック、データセンタの消費電力の大幅削減を可能とする先進冷却システムを開発する。

##### (1)-1) 中間目標 (平成22年度) :

データセンタ及びサーバにおける空調・冷却効率を50%以上改善可能な、高効率冷却システム技術に必要な要素技術を開発し、その省電力特性と実用性を検証する。

##### (1)-2) 最終目標 (平成22年度) :

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年間消費電力を30%以上削減可能な高効率冷却システム技術を開発し、データセンタ及びサーバにおける最適抜熱方式における基盤技術を確立し、その省電力特性と実用性を実証する。



(a) 現行冷却方式 (b) 冷却ネットワーク方式

図 4-1 サーバの冷却方式の比較

#### (2) 開発成果の要約

本プロジェクトでは上記目標を達成すべく、以下の5つの課題について、産業技術総合研究所、九州大学、宇都宮大学、(株) SOHki の合計4機関が、下記の5つの課題を分担し

て研究開発を実施している。

- 1) プラグイン式冷却ネットワーク技術に関する研究開発
- 2) 直接液冷技術に関する研究開発
  - ① 単相流
  - ② 沸騰 2 相流
- 3) 高性能薄型ヒートパイプスプレダ技術に関する研究開発
- 4) ナノ流体による伝熱促進技術に関する研究開発
- 5) 冷却ネットワークシステムの実証に関する研究開発

実用段階におけるユーザの幅広い要求を満たすべく、CPUの冷却方式として

- ① 単相流による直接冷却技術
- ② 沸騰 2 相流による直接冷却技術
- ③ 薄型ヒートパイプを介した単相流間接冷却技術

の 3 方式を並行開発している。

①の単相流は実用に最も近い技術であり、消費電力 150W 程度までの CPU の冷却に対処可能である。さらに CPU の発熱が高いハイエンド・サーバ、高性能コンピュータ、スーパーコンピュータ等ケースには②の沸騰 2 相流を適用し、最大で 300W 低度の冷却が可能となる。一方、サーバ中枢部の水冷を許容しないユーザが 83%に達するという 2005 年の米国での調査結果がある。このようなユーザに対応するため、CPU からの発熱を一旦薄型ヒートパイプで熱輸送し、ヒートパイプ凝縮部を液冷する、間接液冷方式も採用している。また、冷却媒体、ヒートパイプ作動媒体としてナノ流体を用いて冷却性能を向上させる試みも実施している。

主な成果は以下のようなになる。

単相流液冷システムで、各段 200W の発熱量を有する 1 Uサーバ 36 段を搭載したラックを想定し、体の均等な配分を図り各段の冷却特性を計測している。さらに、消費電力 80W の CPU を 2 ヶ搭載した実機サーバを改造して単相流液冷システムを取り付けた実機サーバ 10 段をラックに搭載し、CPU の冷却実験を実施した。空冷では 60°C 近い高温に達する CPU が 30°C 程度にまで冷却され、また CPU 発熱量の 95% 以上を除熱できることがわかった。



	空冷ファン 12W × 6	空冷ファン 12W × 6	空冷ファン 全停止
CPU-1	57°C	29°C	29°C
CPU-2	58°C	29°C	29°C

図 4-2 36 段ラック      図 4-3 10 段ラック      表 4-1 10 段ラック上での CPU 冷却結果

沸騰 2 相流冷却技術では、多流路構造の独自の冷却デバイスを考案し、フロリナートを作動媒体としたデータとしては世界最高値である熱流束  $30\text{W}/\text{cm}^2$  を超える除熱能力を実証した。

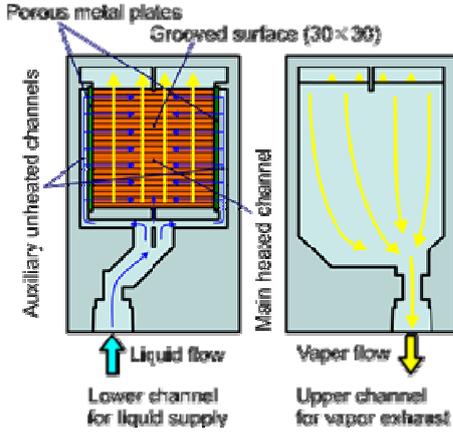


図 4-4 2 相流冷却器流路構造

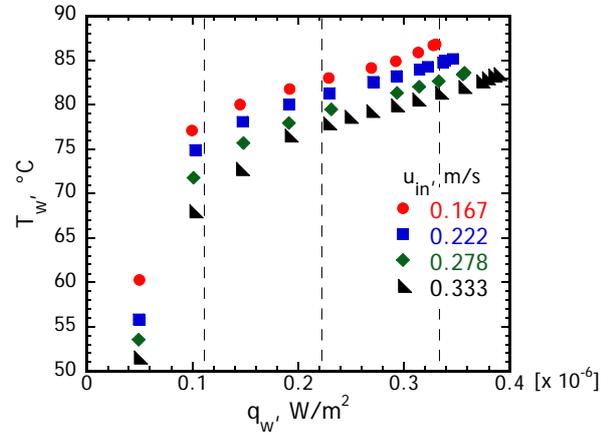


図 4-5 FC-72 を用いた沸騰冷却特性

薄型ヒートパイプを用いた間接液冷技術では、厚さ  $1.5\text{mm}$  のヒートパイプで  $100\text{W}$  を超える熱輸送能力を実証し、これは、従来のヒートパイプの能力を数倍上回る世界最高値である。また、薄型ヒートパイプの作動流体として、ナノ流体も使い、熱輸送特性のバラツキが小さくなる効果を確認した。さらに、薄板の圧接による薄型プレートタイプのヒートパイプの開発も開始し、有望な結果を得ている。一方、消費電力  $80\text{W}$  の CPU を 2 ヶ搭載した実機のサーバの冷却システムを薄型ヒートパイプを用いた間接液冷システムに改造し、サーバ冷却実験も実施し、本冷却システムにより CPU が所定温度以下に冷却できることを確認した。



図 4-6 ヒートパイプによる CPU 冷却

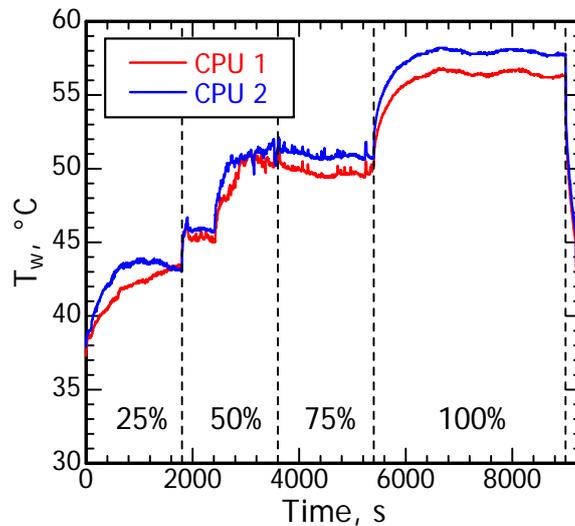


図 4-7 CPU 負荷率を変えた冷却実験結果

伝熱促進を支援するナノ流体技術においては、分散性に優れたマイクロ波ポリオール法による合成技術の成熟度を格段に高めることができ、合成流体中のナノ粒子の寸法、形状を任意に制御できることを、世界に先駆けて実証した。これらナノ流体中のナノ粒子は容易に濃縮、再分散をさせることができるため、高熱伝導性ペースト、シート等への応用が期待される。またサーバ冷却液体であるフッ化炭素系液体でのナノ流体の合成についても、世界で初めて成功した。

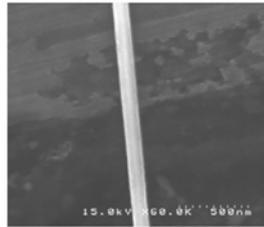
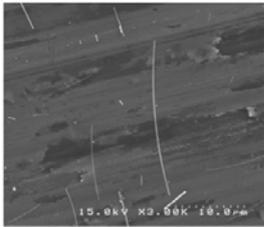


図 4-8 選択的に合成された銀ナノワイヤ

図 4-9 濃縮された銀ナノ流体

### (3) 中間目標の達成度

現在、独立空調された断熱ブース（図 4-10、4-11）を用い、従来の空冷によるサーバ冷却からの空調電力の削減効果を精度よく把握するための実験を目下実施中であり、空調電力の50%以上の削減の実証までは至っていないが、これまでに得られた実験データに基づいた推算結果によると、63～72%の削減が可能である。従って、本プロジェクトの中間目標は十分に達成できるものと考えている。



図 4-10 独立空調型断熱ブース（外観）

図 4-11 独立空調型断熱ブース（内部）

### (4) 成果の意義

これまでの本研究開発で得られた成果の意義を以下に列記する。

#### ① 省エネ型サーバの実証

- ・フルラック規模での単相流冷却システム実証

②次世代型冷却技術の具体化

- ・ 小型高性能沸騰 2 相流冷却デバイスの開発
- ・ IT 機器用沸騰 2 相流冷却技術の具体化への大幅な前進

③高性能汎用冷却デバイスの実現

- ・ 薄型ヒートパイプの大幅な高性能化
- ・ 用途拡大が期待される薄型ヒートパイプのプレート化
- ・ ヒートパイプ併用液冷技術の実証

④伝熱促進支援のナノ流体技術の具体化

- ・ ナノ流体合成技術の大幅な改善
- ・ ナノ流体内粒子寸法、形状の制御技術の確立
- ・ 薄型ヒートパイプでのナノ流体の実証
- ・ フッ化炭素系液体ベースのナノ流体の合成

(5)最終目標達成の可能性（今後実施予定項目、内容）

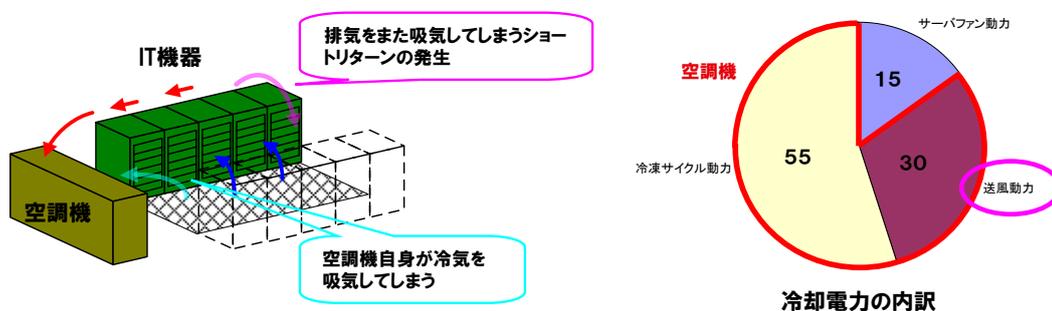
サーバールームの空調電力を 60%削減できると、通常のデータセンタの消費電力における空調電力の割合を考慮すると、本プロジェクトの最終目標であるデータセンタ・サーバシステムトータルとしてデータセンタの年間消費電力の 30%以上の削減が十分に可能になると考えられる。高効率冷却システム技術は既に開発過程であり、データセンタ及びサーバにおける最適抜熱方式における基盤技術の確立、その省電力特性と実用性は本プロジェクト期間内に実証される。

### III.2.5 集熱沸騰冷却システムの開発

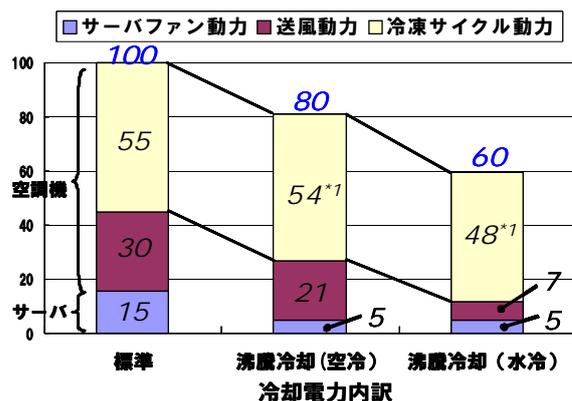
日本電気（株）

#### (1) 研究開発の目標

市場規模が年率10%以上で急成長しているデータセンタ内で消費される電力の約1/2は、IT機器の冷却装置と、IT機器の排熱を冷却するための空調設備が消費している（以下、冷却電力と記載する）という実態がある。データセンタにおいて冷却電力が大きくなる要因の一つとして、データセンタのように大きな部屋の気流を制御することは困難であり、空調機はIT機器に必要な風量以上に送風しなければならず、その送風電力が大きな割合を占めるためである。



本研究では、IT機器側を低風量で冷却することで、空調機の送風量を減らし、ファシリティ側の変更をしなくても、データセンタの冷却電力を削減する技術を確立し、冷却電力を20%削減することを目標としている。またファシリティ側の対策と合わせることにより、40%の冷却電力を削減することを目標とする。



IT機器側を低風量で冷却するための手段として、相変化を利用した集熱沸騰冷却システムを研究開発する。

#### (2) 開発成果の要約

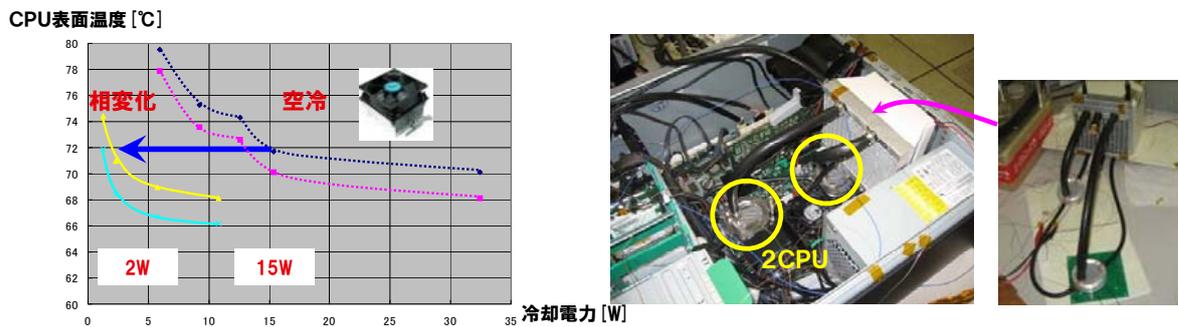
集熱沸騰冷却システムをIT機器に適用し、冷却電力を削減するために、①省エネ効果

を上げる相変化冷却の性能向上開発、②機器のレイアウト変更に限制を受けない柔軟接続チューブ構造開発、③組立て性を向上する接触伝熱構造開発を行い、④実際にIT機器に組み込み、冷却電力削減効果の検証を行った。

データセンタ内の冷却電力を20%削減するためには、IT機器における冷却電力は65%削減が必要となる（上図参照）が、3Uの2CPUサーバに集熱沸騰冷却システムを組み込み、CPUの規定温度を基準とした場合において、従来の空冷方式と比較して80%の冷却電力が削減できることを検証した。

これを実現するために、沸騰の気泡を発生させる核を形成する表面粗度の最適化と、冷媒が循環する系の圧損低減による沸点上昇の抑制により、相変化冷却の性能向上を行った。

#### AMD Opteron 2220 2.8GHz (TDP=95W、Tc<72℃) の冷却電力比較



また、水冷方式のサーバとも比較し、冷却電力が60%削減できることを検証した。この結果により、相変化冷却を使った集熱沸騰冷却システムは、あらゆるIT機器の冷却方式において最も冷却電力を小さくすることができることを検証した。



柔軟接続チューブ構造開発では、集熱沸騰冷却システムの長期の連続運転試験を実施（継続中）し、冷媒の抜けやチューブ材との反応による温度上昇を生じずに、安定した冷却性能が得られることを確認した。接触伝熱構造開発では、従来のグリースと比較し40%の熱抵抗を低減するサーマルパッドを開発し、5年分の加速条件下でのパワーサイクル試験後でも性能に問題ないことを確認した。

### (3) 中間目標の達成度

IT機器側を低風量で冷却することにより空調機の送風電力を削減するため、まず3U

のサーバに集熱沸騰冷却システムを適用し、I T機器単体での冷却電力削減目標の65%を上回る、80%の冷却電力が削減できることを検証した。

またI T機器側を低風量にすることで、実際にデータセンタの送風量が減らせるのかを確認するため、データセンタのモック評価（風洞実験）とデータセンタの気流シミュレーションによる検証を進めている。

#### (4) 成果の意義

相変化冷却方式は、一般的な空冷や水冷といった冷却方式の中で最も冷却電力を低くできる可能性があることが分かった。この集熱沸騰冷却システムは、蒸発部と凝縮部を柔軟なチューブで接続できる構造を採用することで、装置の仕様やレイアウトの変更に容易に対応できる低コストなモジュールとすることを目指している。この相変化冷却技術を様々な機器に汎用展開できるようなモジュール化技術を育成することで、広くI T機器に適用し、I T機器全般の省エネに貢献することができる。

#### (5) 最終目標達成の可能性（今後実施予定項目、内容）

相変化冷却のモジュール化による実用化を目指し、ボリュームゾーンかつ冷却の難易度、つまり冷却電力の大きいブレードサーバや1Uサーバ、ルータ等のネットワーク装置のような薄型装置向けの薄型集熱沸騰冷却システムを開発する。また、チューブの接続部の信頼性と製造性を確保し、低コストモジュールの実用性の検証を行う予定である。

また、データセンタに適用した際の省エネ効果を予測するため、現在進めているデータセンタのモック評価と、実際のデータセンタにおける風量測定データを元に、気流シミュレーションデータとの整合を図り、気流シミュレーション技術を確立し、集熱沸騰冷却システムをI T機器に組み込み、I T機器を低風量で冷却することで、データセンタ内の冷却電力を20%削減できることを検証する予定である。

### III.2.6 データセンタの電源システムと最適直流化技術の開発

(株)NTTファシリティーズ、三菱電機(株)

再委託：(独)産業技術総合研究所

#### (1) 研究開発の目標

現在、ICT 装置（サーバ、ストレージ、ルータ等）に電力を供給する方式は、交流給電方式が主流である。データセンタでは、企業の基幹システムが多く運用されており、一瞬たりとも電力供給を停止することが許されないため、無停電電源装置（UPS：uninterruptible power supply）により高信頼な交流電力を供給している。UPS は、停電・瞬時電圧低下対策用の蓄電池への充電のため、交流電力を一度直流電力に変換し、さらに交流電力に変換して ICT 装置に電力供給している。ICT 装置内では、最終的には直流電力が必要となるため、ICT 装置に搭載されている電源（PSU：power supply unit）により、UPS から供給された交流電力を直流電力に変換している。このように、交流給電方式においては、必要な電力変換を行う度に、電力変換損失が発生している。また、UPS や PSU は、それらの機器に障害が発生しても、可能な限り ICT 装置への給電を継続されるように、冗長化や二重化といった高信頼な構成となっている。そのため稼働計画と実際の稼働状況との差や ICT 装置における消費電力の設計値と実際の消費電力との差、さらに ICT 装置の情報処理状況に応じた消費電力量の変化といった実運用上の理由により、電源容量と ICT 装置の実際の消費電力には乖離が発生し、UPS や PSU は低負荷運転状態となる。一般的に UPS や PSU は、低負荷運転状態では電力変換効率が低下するため、こうした状態における電源システム全体の給電効率は低効率なものとなる。

一方、直流給電方式は、電源装置出力から ICT 装置入力までの配電システムの母線電圧を直流とすることで電力変換段数が交流から直流への一段となり、電力変換段数の削減による電力変換損失の削減が可能となる。さらにバックアップのための蓄電池を母線に直結する、シンプルな電源システム構成が実現でき、高い給電信頼度の確保が可能である。そのため、高効率・高信頼が求められるデータセンタに適した給電方式であり、国内外で特に注目されている。

本研究開発では、直流給電方式を用いてデータセンタの電源システムの更なる省エネ化とあるべき姿を実現するための、最適直流化技術の開発と、本研究開発の実施とその成果により、データセンタにおける直流化技術分野での我が国の先導的な位置づけを確固たるものとするを目的とする。

最適直流化技術として、直流給電方式による電力変換段数削減に加えて、直流給電方式の特長を生かし、消費電力に応じて直流電源装置、PSU の運転台数を動的に制御（電源アダプティブマネージメント）することにより、低負荷運転状態による電力変換効率の低下を解消し、従来の交流給電方式と比較して、ICT 装置及び電源システムで消費される電力量を30%以上削減可能とする電源システムを開発し、実機によりその効果を実証することを本研究開発の最終的な目標とする。

(1)-1) 中間目標（平成22年度）

①電源アダプティブマネージメントシステム設計技術の研究

- ・電源アダプティブマネージメント方法を導出した。
- ・500、2,000 kW 高電圧直流電源システム構成（蓄電池の容量、配置、接続方法等）を導出する。
- ・電源アダプティブマネージメントシステム設計指標（電源アダプティブマネージメント方法、電源システム構成、各装置に求める機能・性能・条件等）を策定する。

②電源アダプティブマネージメントに最適な電源装置の研究

- ・500、2,000 kW 高電圧直流電源装置モデル（100 kW、500 kW 高電圧直流電源モジュールモデル、装置構成等）を策定する。
- ・高効率・高信頼な運転方法を導出する。
- ・適用効果（効率、信頼性等）を算出する。
- ・電源装置試作機の仕様を策定する。
- ・試作機（電氣的、構造部）を設計する。

③電源アダプティブマネージメントに最適なPSUの研究

- ・デジタル制御を用いた安定かつ高速なPSU制御方法を導出する。
- ・PSU試作機の仕様を策定する。
- ・導出したデジタル制御方式による制御回路部と直流入力に対応する主回路部との組合せまでの試作を行う。

④システム制御技術の研究

- ・制御フローおよび各装置動作条件を策定する。
- ・電源アダプティブマネージメント用制御システム試作機の仕様を策定する。
- ・監視・制御対象とする装置との通信を模擬するシミュレータ及び制御システム用ソフトウェアの試作を行う。

⑤給電仕様の検討

- ・給電電圧・電圧変動範囲を決定する。

⑥信頼性・安全性確保に必要な要素技術の研究

- ・現行遮断機器・技術を用いた遮断構成を導出する。
- ・直流遮断機構を導出する。
- ・接地方式・漏電検出方法を決定する。
- ・不完全接続部での異常発熱や間欠的放電現象検出方法を導出する。
- ・保護システム試作機の仕様を策定する。

⑦データセンタ及びサーバ電源システム最適化効果の検証

- ・検討・比較対象とするモデル（負荷、交流給電方式）を策定する。
- ・電源アダプティブマネージメントシステムによる消費エネルギー削減効果シミュレーションを行い効果の見通しを確認する。

【消費電力量削減効果目標30%】

(1)-2)最終目標 (平成24年度)

①電源アダプティブマネジメントシステム設計技術の研究

- ・電源アダプティブマネジメントシステム設計指標 (電源アダプティブマネジメント方法、電源システム構成、各装置に求める機能・性能・条件等)を策定する。

【電源アダプティブマネジメントによる消費電力削減効果目標20%】

②電源アダプティブマネジメントに最適な電源装置の研究

- ・電源アダプティブマネジメント用直流電源装置を開発する。

【定格時変換効率95%】

③電源アダプティブマネジメントに最適なPSUの研究

- ・電源アダプティブマネジメント用直流入力対応PSUを開発する。

【定格時変換効率90%】

④システム制御技術の研究

- ・電源アダプティブマネジメント用制御システムを開発する。

⑤給電仕様の検討

- ・給電電圧・電圧変動範囲を決定する。

⑥信頼性・安全性確保に必要な要素技術の研究

- ・データセンタ向け300~400V直流給電方式用保護システムを開発する。

⑦データセンタ及びサーバ電源システム最適化効果の検証

- ・実機による消費電力量削減効果を検証する。【消費電力量削減効果目標30%】

(2)開発成果の要約

(2)-1) 電源アダプティブマネジメント技術の研究

データセンタ用の電源システムとして直流給電方式による電源アダプティブマネジメントを実現するため、本研究では電源システム全体の設計方法、電源アダプティブマネジメント動作を実現する各装置(直流電源装置、PSU)の研究開発及びシステム制御方法の研究開発を実施している。

(2)-1)-①電源アダプティブマネジメントシステム設計技術の研究

データセンタにおける給電距離、蓄電池保持時間及び研究開発項目⑤(給電仕様の検討)で決定したICT装置入力インタフェース条件より、データセンタにおいて実用的な500、2,000kW高電圧直流電源システム構成を導出した。

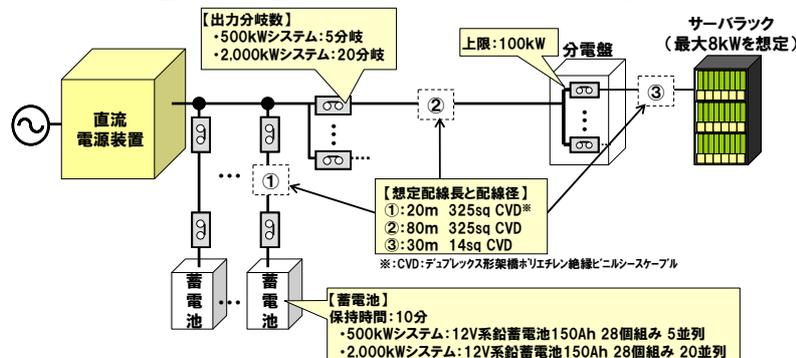


図 6-1 電源システム構成

(2)-1) -②電源アダプティブマネジメントに最適な電源装置の研究

500、2,000 kW高電圧直流電源装置を実現するため、既存回路技術を活用した100、500 kW 高電圧直流電源モジュールモデルを策定した。シミュレーションにより、100 kWモジュールでは95.1%、500 kWモジュールでは95.3%の電力変換効率が算出された。また、運転台数制御時における最適な電源モジュール構成・運転方法を導出するため、100 kWモジュール [20+1] 台並列運転構成と 500 kWモジュール [4+1] 台並列運転構成における運転台数制御時における効率、信頼性を比較し、後者の優位性を確認した。

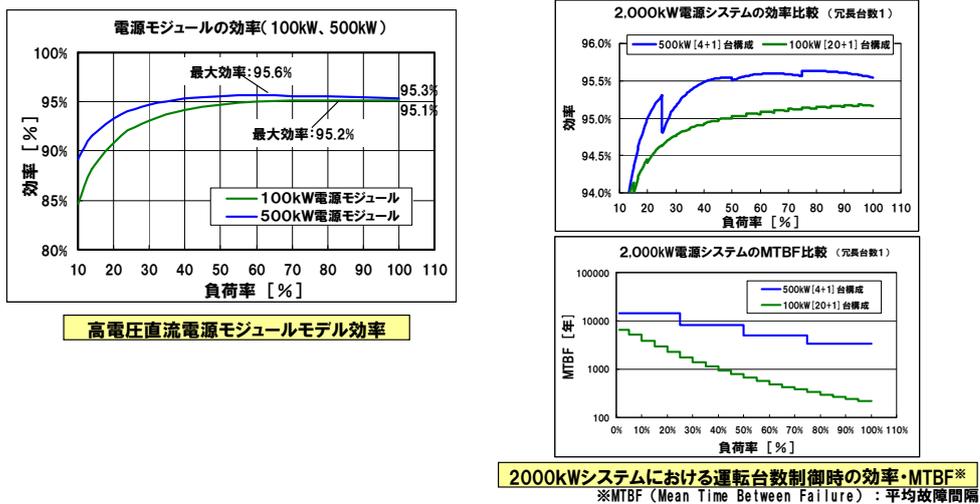


図 6-2 高電圧直流電源モジュールモデル効率、構成・運転方法による効率・信頼性

(2)-1) -③電源アダプティブマネジメントに最適な P S U の研究

電源アダプティブマネジメントにて P S U に求められる高速かつ安定した動作を実現するデジタル制御方式を導出した。

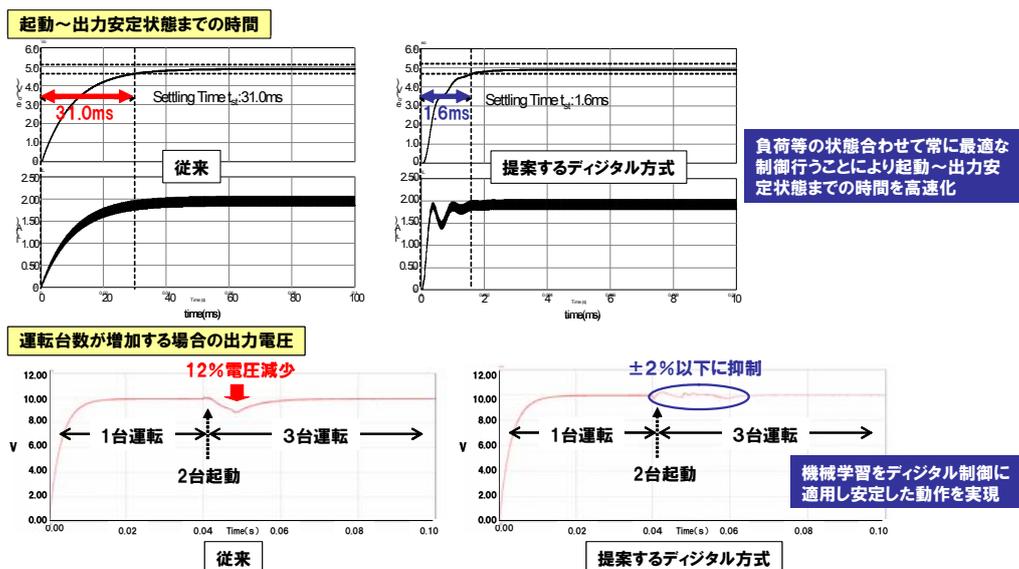


図 6-3 デジタル制御方式による高速かつ安定した動作

(2)-1) -④システム制御技術の研究

負荷の変化、システムの状態に合わせて、直流電源装置、PSUにおける各モジュール、ユニットで3つの動作状態（運転・待機・完全停止）を適切に制御することにより、高効率かつ高信頼な電源アダプティブマネジメントを実現する手法を導出した。

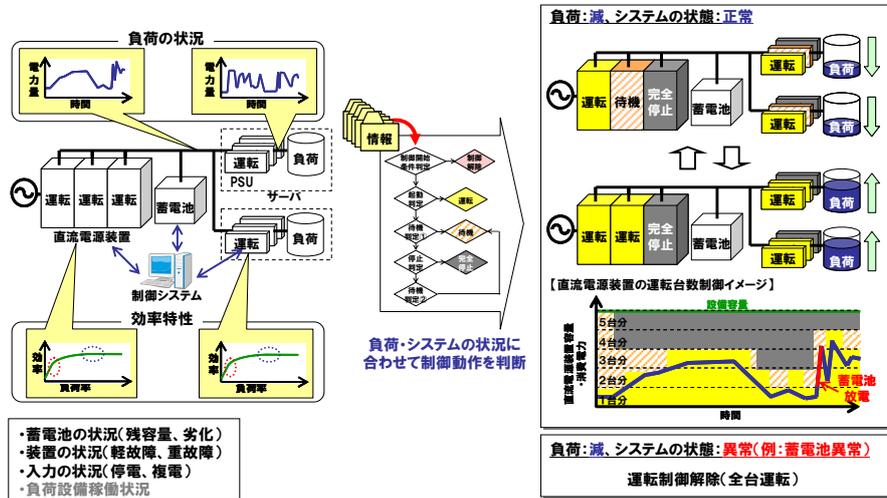


図 6-4 高効率かつ高信頼な電源アダプティブマネジメントの実現

(2)-2) 直流を利用する上での信頼性・安全性確保に必要な要素技術の研究

直流給電システムをデータセンタ用の電源システムとして実用化可能なものとするためには、信頼性・安全性の確保が必要不可欠である。本研究においては、給電仕様の検討及び信頼性・安全性確保に必要な要素技術の研究を実施している。

(2)-2)-①給電仕様の検討

法・規格、部品、海外動向等を加味した実効性の高いICT装置入力インタフェース条件を決定した。

番号	項目	電圧	時間	根拠
①	定格電圧	380V	—	国内外の規格動向、鉛蓄電池の接続数、部品の耐圧
②	電圧範囲	260~400V	連続	ETSIDラフ案*、蓄電池電圧
③	過渡電圧変動	600V	500us	部品のサージ耐量(暫定値)
④		480V	10ms	部品の耐圧(メカヒアリング)
⑤	瞬時停電	0V	10ms	ICT機器搭載のコンデンサ容量(メカヒアリング)

\*: European Telecommunications Standards Institute (欧州電気通信標準化機構)

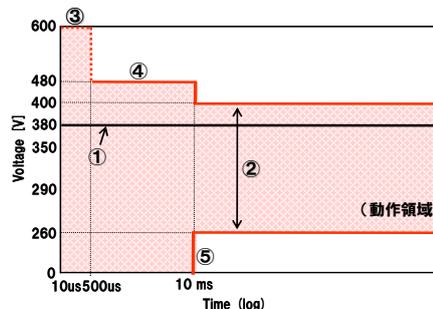


図 6-5 ICT装置入力インタフェース条件

(2)-2)-②信頼性・安全性確保に必要な要素技術の研究

既存の遮断器（MCCB）を用いた遮断構成及び短絡電流に対して保護協調を実現するMCCBを選定した。

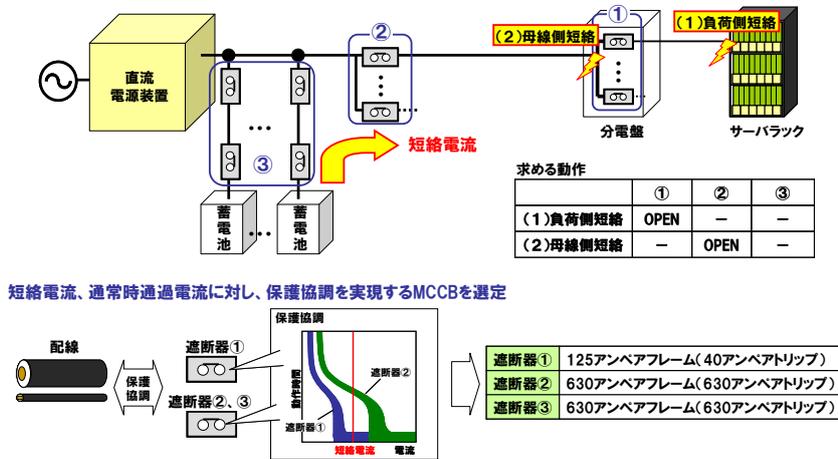


図 6-6 既存の遮断器（MCCB）を用いた遮断構成の導出

(2)-2)-③データセンタ及びサーバ電源システム最適化効果の検証

本研究における目標として、サーバ及び電源システムでの消費電力量を30%以上削減可能とする電源システムを開発することとしている。実機の開発に向け、前述の各検討結果を基に、シミュレーションによる消費電力量削減効果を試算した。結果、従来の交流給電システムと比較し、30%の消費電力量削減効果が得られる見通しがついた。

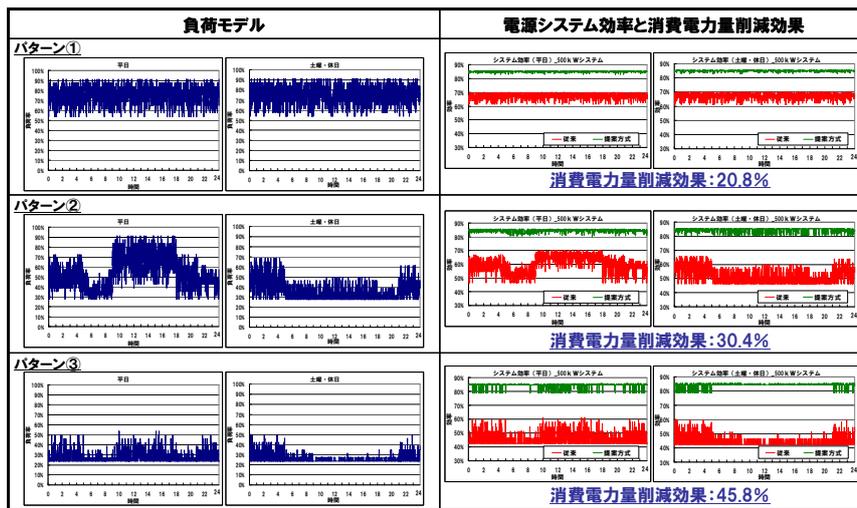


図 6-7 消費電力削減効果

(3) 中間目標の達成度

中間目標の達成度については表1のとおりである。

表 6-1. 中間目標の達成度

研究開発項目	目標(中間)	成果	達成度
① 電源アダプティブマネージメントシステム設計技術の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電源アダプティブマネージメント方法の導出</li> <li>・500、2,000kW高電圧直流電源システム構成の導出(蓄電池の容量、配置、接続方法等)</li> <li>・電源アダプティブマネージメントシステム設計指標の策定(電源アダプティブマネージメント方法、電源システム構成、各装置に求める機能・性能・条件等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電源アダプティブマネージメント方法の導出</li> <li>・500、2,000kW高電圧直流電源システム構成の導出(蓄電池の容量、配置、接続方法等)</li> <li>・電源アダプティブマネージメントシステム設計指標の策定(電源アダプティブマネージメント方法、電源システム構成、各装置に求める機能・性能・条件等)</li> </ul>	○
② 電源アダプティブマネージメントに最適な電源装置の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・500、2,000kW高電圧直流電源装置モデルの策定(100kW、500kW高電圧直流電源モジュールモデル、装置構成等)</li> <li>・高効率・高信頼な運転方法の導出</li> <li>・適用効果(効率、信頼性等)の算出</li> <li>・電源装置試作機仕様策定</li> <li>・試作機設計(電氣的、構造)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・500、2,000kW高電圧直流電源装置モデルの策定(100kW、500kW高電圧直流電源モジュールモデル、装置構成等)</li> <li>・高効率・高信頼な運転方法の導出</li> <li>・適用効果(効率、信頼性等)の算出</li> <li>【定格時変換効率95%確認】</li> <li>・電源装置試作機仕様策定</li> <li>・試作機設計(電氣的、構造)</li> </ul>	○
③ 電源アダプティブマネージメントに最適なPSUの研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・デジタル制御を用いた安定かつ高速なPSU制御方式の導出</li> <li>・PSU試作機仕様策定</li> <li>・導出したデジタル制御方式による制御回路部と直流入力に対応する主回路部との組合せまでの試作</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・デジタル制御を用いた安定かつ高速なPSU制御方式の導出</li> <li>・PSU試作機仕様策定</li> <li>・導出したデジタル制御方式による制御回路部と直流入力に対応する主回路部との組合せまでの試作</li> </ul>	○
④ システム制御技術の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・制御フローおよび各装置動作条件の策定</li> <li>・電源アダプティブマネージメント用制御システム試作機仕様策定</li> <li>・監視・制御対象とする装置との通信を模擬するシミュレータ及び制御システム用ソフトウェアの試作</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・制御フローおよび各装置動作条件の策定</li> <li>・電源アダプティブマネージメント用制御システム試作機仕様策定</li> <li>・監視・制御対象とする装置との通信を模擬するシミュレータ及び制御システム用ソフトウェアの試作</li> </ul>	○
⑤ 給電仕様の検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・給電電圧・電圧変動範囲の決定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・給電電圧・電圧変動範囲の決定</li> </ul>	◎
⑥ 信頼性・安全性確保に必要な要素技術の研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現行遮断機器・技術を用いた遮断構成の導出</li> <li>・直流遮断機構の導出</li> <li>・接地方式・漏電検出方法の決定</li> <li>・不完全接続部での異常発熱や間欠的放電現象検出方法の導出</li> <li>・保護システム試作機仕様策定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現行遮断機器・技術を用いた遮断構成の導出</li> <li>・直流遮断機構の導出</li> <li>・接地方式・漏電検出方法の決定</li> <li>・不完全接続部での異常発熱や間欠的放電現象検出方法の導出</li> <li>・保護システム試作機仕様策定</li> </ul>	○
⑦ データセンタ及びサーバ電源システム最適化効果の検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・検討・比較対象とするモデル(負荷、交流給電方式)の策定</li> <li>・電源アダプティブマネージメントシステムによる消費エネルギー削減効果シミュレーション【消費電力量削減効果目標30%】</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・検討・比較対象とするモデル(負荷、交流給電方式)の策定</li> <li>・電源アダプティブマネージメントシステムによる消費エネルギー削減効果シミュレーション【消費電力量削減効果30%達成の見通し】</li> </ul>	◎

本研究における目標として、消費電力量を30%以上削減可能とする電源システムを開発することとしている。中間目標段階では、表1のとおり、目標達成の見込みである。

(4) 成果の意義

データセンタにおける消費電力の大幅な増加が進んでいる昨今、データセンタの電源システムについては、高電圧直流給電方式による高効率・高信頼化の検討やSiC、GaNといった新素子開発による高効率化の検討が進められている。

高電圧直流給電方式の技術動向としては、現在、100kW級の電源システム規模において研究開発、実証試験がなされている段階であり、また、高効率化については、直流化による電力変換段数の削減によるものである。本研究開発においては、現在のデータセンタにおける実用的な規模としてMW級の電源システムを開発するとともに、直流化による電力変換段数の削減に加えて、直流給電方式の特長を利用した電源アダプティブマネージメント

による、更なる高効率化を実現する。また、本研究開発は電力変換段数の削減と運用方法による高効率化技術の研究開発であるため、SiC、GaNといった新素子がデータセンタの電源システムで利用できるレベルまで実用化された場合、本電源システムへ適用することで、更なる高効率化が実現される。

本実証研究においては、主に通信用電源としての直流給電システム(48V)の開発・設計・運用及び高電圧直流電源装置の研究開発を実施してきたNTTファシリティーズ、データセンタ用の無停電電源装置の研究・開発において国内外問わずに実績のある三菱電機の2社を委託先として研究開発体制を編成した。世界初の「データセンタのための高電圧直流電源システム」の開発を、2011～2012年度の2年間、この委託先2社を中心とした研究開発チームにて、国家プロジェクトとして推進する。これにより、日本発の「直流技術」を確立することとする。

(5)最終目標達成の可能性(今後実施予定項目、内容)

現在、シミュレーションにて、本電源システムにより30%の消費電力削減効果が得られる見通しがついた。今後、シミュレーション上での結果を実機にて実現すべく、現時点で得られた各項目の成果を基にし、試作する各装置の仕様検討及び試作機開発を進めていく。最終的には、開発した試作機によりその効果を実証する。

### III.2.7 データセンタのモデル設計と総合評価

(独) 産業技術総合研究所、筑波大学、エヌティティコミュニケーションズ(株)

#### (1) 研究開発の目標

本研究開発においては、①「エネルギー利用最適化データセンタ基盤技術の研究開発」の a) サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発、 b) 最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発、 c) データセンタの電源システムと最適直流化技術の開発、の三つの独立したプロジェクトの成果として個別に得られる成果を統合することで、グリーン IT プロジェクト全体の効果として、データセンタにおいて年間消費電力量を 30%以上削減することが可能であることを検証する。

##### (1)-1) 中間目標 (平成 22 年度) :

データセンタ・サーバシステムトータルの省エネルギー性を評価できる指標及びモデルを確立する。

##### (1)-2) 最終目標 (平成 24 年度) :

平成 23 年度に設計構築した実証評価環境を用い、 a) サーバの最適構成とクラウド・コンピューティング環境における進化するアーキテクチャーの開発、 b) 最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発、 c) データセンタの電源システムと最適直流化技術の開発、各プロジェクトの開発成果を統合し、データセンタとしての電力消費量及び定量的な効果を測定・評価する。

#### (2) 開発成果の要約

1) 【評価指標】サーバシステムの評価指標、2) 【評価指標】データセンタの評価指標、3) 【最適化システム】、(iv) 【実証評価】の 3 テーマの開発を行っている。

##### (2)-1) 【評価指標】サーバシステムの評価指標

このテーマでは、データセンタにおいて、最も重要な要素であるサーバシステムの消費電力に関するモデル化を行い、省エネルギー性を評価可能な指標を策定する。

サーバシステムの省エネルギー性は、単純に定常的な消費電力量だけでは測ることができず、電力を供給することによって可能となるサーバの性能やサービスの質を加味する必要がある。SPEC Power、SPEC web、LINPACK などは性能部分の指標候補であるが、単一の既存の性能ベンチマークでは、視点が偏ってしまうという問題がある。処理の種類や QoS を考慮する必要があり、これらを総合的に検討していく必要がある。また、電力消費量の詳細な測定と分析を行い、サーバシステムを構成するコンポーネントから制御可能なパラメータを抽出し、サーバシステムをモデル化することについて検討した。具体的には、プロセッサのパフォーマンスカウンタやディスクアクセス、ネットワークアクセスなどのカウンタを取得して、これを同時に取得した電力データ

と対応付けて、カウンタに対応したコンポーネントに対する電力性能モデリングを試みた。これらの基礎的なカウンタと電力データの情報を簡便に取得するためのシステムを構築し、基礎データの取得を行った。CPU、メモリ、ネットワーク、ディスクそれぞれのインテンシブベンチマークを用いての基礎的な評価を行い、誤差 20%程度で消費電力の予測が可能とする目処を得た。

(2)-2) 【評価指標】 データセンタの評価指標

項目	基準	プロジェクト効果							削減後消費電力
		消費電力	ストレージ	クラウド	ハード	光インコネ	抜熱 NEC	抜熱 AIST	
IT機器	NWスイッチ	0,000	—	効率化	—	—	—	—	0,000
	ストレージ	0,000	容量削減	容量削減	—	—	—	—	0,000
	サーバアイドル	0,000	—	効率化	—	—	FAN消費電力削減	FAN消費電力削減	PSUロス削減
	サーバ可変部	0,000	—	台数削減	—	—	—	—	
	ブレードアイドル	0,000	—	効率化	—	—	FAN消費電力削減	FAN消費電力削減	
	ブレード可変部	0,000	—	台数削減	FAN、NW消費電力削減	FAN消費電力削減	FAN消費電力削減	—	—
	IT機器合計	00,000	—	—	—	—	—	—	0,000
空調設備	0,000	← ×〇〇%	← 0,000	← 0,000	← 送風低減	← 消費削減	← —	0,000	
電源設備	0,000	← ×〇〇%	← 0,000	← 0,000	← —	← —	← ロス削減効率化	0,000	
消費電力総合計	00,000	← 設備が必要とする電力比率		← 0,000	← 0,000	← 0,000	← 0,000	0,000	
PUE	2.xx								1.xx

図 7-1 データセンタの削減効果評価の枠組み

このテーマでは、サーバシステムの省エネルギー性を評価可能な指標を拡張して、データセンタの省エネルギー性を評価可能な指標を策定する。サーバシステムと同様、データセンタに電力を供給することによって実行される仕事量を加味する必要がある。サーバシステムによる処理性能の他、ストレージによるデータ I/O 性能、ネットワークによる通信性能を複合的に組み合わせなければならない。このような指標によって、IT 機器の省エネ性、設備の効率性、データセンタの運用方法などを評価することが可能であり、異なる条件で省エネルギー性が評価されても、ある程度の範囲では規格化して比較が可能となる。

また、グリーン IT プロジェクト全体による消費電力削減効果を評価しなければならないが、各プロジェクトが行っているのは要素技術開発であり、その開発成果を用いた場合に、データセンタ全体でどれだけの削減効果が得られるかは明らかではない。個別の貢献度合いを明確にし、全体での貢献を定量的に評価するためには、データセンタの消費電力を構成要素（装置、機器）に分割するモデル化が必要である。また、

消費電力の30%以上削減が可能であることを検証するためには、100%となる基準を定めた上で、定量的な評価の枠組みを策定する必要がある。

2009年よりデータセンタ会合を開催し、各プロジェクトの実施内容を共有しつつ削減を貢献する要素を特定していった。その結果、IT機器、空調装置、電源装置など、装置単体のレベルだけでなく、サーバ内のファン、インターコネクト、電源ユニット、といった部品のレベルで削減効果が現れることがわかった。これに基づいて、図7-1に示すような削減効果を策定する枠組みを開発した。この枠組では、2012年のデータセンタ全体の消費電力を構成要素毎の消費電力の和で表し基準とする。各プロジェクトの削減効果を基準値に乗じることで最終的な削減量を得ることができる。運用によって効率向上を図り、効果として台数を削減するもの、サーバ内のファンの電力及び室内の空調機が消費する電力を削減するもの、サーバ内の電源ユニット及び電源装置が変換によってロスする電力を削減するものがある。各実施者からの削減見込みの数値を得て、中間年度におけるプロジェクト全体の削減量の試算を行い、目標の30%を大きく上回る39%の見込みを得た。

#### (2)-3) 【最適化システム】

各実施者の開発成果を組み合わせることで大きな消費電力削減効果を得ようと思った場合、装置や機器の配置や運用方法が適切でないと、不必要に消費電力を増大させてしまう可能性がある。不必要な消費電力の発生を抑えるような構成要素の配置と運用方法を、データセンタのリファレンスモデルとして策定し、全体の評価を行う際に適用する。ホットアイルとコールドアイルを分離するキャッピングや、ラックの隙間にフィルターを張ることによる無駄な冷気の流れの防止などはその候補である。2009年度に国内の主要なデータセンタの設備を調査し、考慮が不可欠な設備条件、運用条件を抽出した。2010年にはドラフト版を完成する。

#### (2)-4) 【実証評価】

このテーマでは、全体の削減効果を評価するために必要となる実測を行うための環境の設計、構築及び測定を行う。前期3年間では、各プロジェクトの成果を評価環境に持ち込む場合に配慮が必要な事項の整理、プロジェクト計画時点(2007年)のIT機器を用いた基準データ取得の環境構築及びデータ測定などを行った。本環境は、他プロジェクトの成果を持ち込んで効果を評価するための環境としても活用する予定であり、2010年度には一部の実施者が、シミュレーション評価に必要なデータ取得を行った。

最終年度には、全てのプロジェクトを統合した場合の評価を行うが、全ての開発成果を集めることは物理的に困難であるため、開発成果を個別に評価し、仮想的に統合することで成果全体による効果を算出することになると考えている。

#### (4) 成果の意義

各要素技術の開発プロジェクトでは、達成目標を独自の条件下で設定し、効果を評価

しがちである。従来技術に対する削減比率で表す場合に、対象となる領域を狭く見れば見るほど、開発成果の効果は大きく見えてしまう。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の目標は、データセンタ全体での消費電力削減であり、各開発プロジェクトに共通の条件を設定し、効果を適切に見える化することが、極めて重要である。

また、中間年度において、プロジェクト全体での削減効果が、目標数値を上回っていることを示せたことで、プロジェクト全体の実施の意義をアピールすることができた。

(5)最終目標達成の可能性（今後実施予定項目、内容）

(5)-1)【評価指標】サーバシステムの評価指標

意図的に性能を落とした省エネ運用を行う場合の対応、複数の業務（アプリ）を組み合わせる比率の策定方法、信頼性のための冗長性の考慮、が課題として残っているが、基本的なアイデアはあるので、実装と検証を繰り返すことで解決可能である。また、サーバシステムのモデル化はほぼ完了しており、メーカーに依存しない一般化と、評価用ツールを開発することで、最終年度までに目標達成可能であると考ええる。

(5)-2)【評価指標】データセンタの評価指標

サーバシステムと同様、意図的に性能を落とした省エネ運用を行う場合の対応、複数の業務（アプリ）を組み合わせる比率の策定方法、信頼性のための冗長性の考慮、が課題として残っているが、基本的なアイデアはあるので、実装と検証を繰り返すことで解決可能である。また、枠組みのプロトタイプは完成しており、客観性を高めるデータの取得と、評価用ツールを開発することで、最終年度までに目標達成可能であると考ええる。

(5)-3)【最適化システム】

リファレンスモデルのドラフトは今年度完成予定である。今後、各プロジェクトの成果の情報及び実証評価の結果をリファレンスモデルにフィードバックすることで完成の見通しである。

(5)-4)【実証評価】

プロジェクト全体を評価する枠組みに基づき、それぞれのプロジェクトによる削減効果の算定方法及び統合方法を策定しなければならない。2010年度中に、約半分のプロジェクトと連携し、評価方法の議論を進めた。引き続き残りのプロジェクトとも、個別に議論していくことで最終年度までには目標達成可能であると考ええる。

### III.2.8 IT社会を遠望した、情報の流れと情報量の調査研究

(独) 産業技術総合研究所

#### (1) 研究開発の目標

##### (1)-1) 中間目標 (平成22年度) :

トラフィックの量と性質に関して、ファイル交換ソフト利用実態調査、動画サイトアクセス実態調査、スーパーハイビジョンなどの高精細映像の技術情報や、ビデオ・オン・デマンドなど映像配信技術の調査を行う。また、ルータや光ネットワーク機器などの消費電力を中心とした動向調査を行う。これらの基礎データから中間報告をまとめる。

##### (1)-2) 最終目標 (平成24年度) :

平成20年度の調査時点からの技術や利用形態の変化を調査する。技術及び利用形態の変化に関するデータの収集を行い。中間報告で行った予測がどの程度正確であったかの追跡評価を行うとともに、調査報告の見直しを行い、最終報告をまとめる。

#### (2) 開発成果の要約

トラフィックの量と性質に関して、以下の調査を、NTT コミュニケーションズ、NTT 東日本、NTT 西日本、KDDI、ソフトバンクテレコム、USEN、JPNAP、NSPIXP、アクセリア、iTSCOM、IIJ 研究所、国立情報学研究所のヒアリングなどを通じて実施した

##### 1) 映像技術及び配信サービスによる現状と将来の展望

##### 2) インターネット上のトラフィック及び利用者あたりのコネクション数

この結果、P2P が依然として多くのトラフィックを占めているが、映像配信サービスに基づくと思われるトラフィックの伸びは大きいこと、また、利用者が特定の動画系サイトに集中するサイトの寡占化がすすんでいることが明らかになった。さらに、利用者あたりのコネクション数は Google Map に代表されるリッチ web アプリケーションによって増加傾向にあるものの、NAT に関する知見などから現状は 50 コネクション以内に 90% の利用者が分布するものと推定されることがわかった。

また、トラフィックの量と性質に関して、以下の調査等を実施した。

##### 1) ファイル交換ソフト (P2P) 利用実態と送受信量の調査 :

2006～2008年の5月、11月のP2P利用者数、交換ファイル数、ファイルの大きさに関する実態調査、ISP別及び県別利用者数調査

##### 2) 動画サイトアクセス実態調査 : 動画ダウンロードによるトラフィック調査のために50の動画サイトアクセスに関する時系列調査及び上位8サイトの詳細調査

##### 3) 光通信機器の実態調査 : 調査会社による調査資料の取得

この結果、P2Pによるインターネットトラフィックの推定値、ISPによるP2P利用制限状況及びP2P利用の地域的特性に関する知見を得た。また、上位8動画サイトによるトラフィックが全動画サイトの95%以上と推定されることがわかった。さらに、

装置レベルでもネットワークレベルでも、低消費電力が市場における差別化要因として認識され始めていることがわかった。

平成21年度は情報の流れと情報量に関して以下の調査を行い、本研究で検討している従来のパケット交換網と光パス網などの新しいルーティング方式を組み合わせる方式における国内消費電力の削減効果の定量的な評価を行った。特に、定量的な評価にあたっては、Google Chrome のテスト版で収集されたコネクションあたりの転送量データを用い、それぞれのルーティング方式における単位通信量あたりのエネルギー消費、コネクションあたりの通信量分布、それぞれについてモデル化と2030年までの変動予測を行った。ルーティング方式は、パケット交換網、光パス網及びCDN 網について、アクセス、メトロ、コアについて単位通信量消費電力のモデル化と2030年までの推移の予測を行った。予測にあたっては、利用者あたりのアクセス網の消費電力は一定とし、メトロ、コア領域においては年率10%の消費電力改善を考慮、回線交換網のパケット交換網に対する電力削減効果は83%と保守的な値を選択した。

これらのルーティング方式の組み合わせによる消費電力削減効果の評価を四つの組み合わせについて行った。すなわち、大容量データ転送時のみ回線交換網を選択、大容量データのみCDN 網を選択、コアを回線交換網と置き換える、そして従来のパケット交換網である。

ルーティング方式毎の単位通信量あたりのエネルギー消費とコネクションあたりの転送量分布を用いて総消費電力の評価を行った。ここで、ルーティング方式を選択する方式におけるしきい値は1MBとした。アクセス網の消費電力の占める割合が大きい2009年では削減効果は、10%以下にとどまっている。コア・メトロの割合がトラフィックとともに増大することで、2030年にはいずれの方式でも数割の消費電力削減効果が得られた。とくに、大容量通信時に回線交換網を選択する方式では、パケット交換網の総消費電力の2/3の削減効果が得られた。

### (3) 中間目標の達成度

上記成果に基づき、将来のネットワークの消費電力を算出するモデルを策定しそれに基づく中間報告を取りまとめており、基本計画に定義された中間目標は達成している。

### (4) 成果の意義

特に、コネクションあたりの転送量に注目した調査は他に存在せず、将来のネットワークアーキテクチャーの設計に寄与する重要な知見が得られた。

### (5) 最終目標達成の可能性（今後実施予定項目、内容）

今後は平成23、平成24年度にこれまでにを行った調査研究のフォローアップを予定している。既に基礎データは得られており、これを項目c)の成果や、中間報告後の技術動向を踏まえて修正するもので、達成可能である。

### III.2.9 社会インフラとしてのネットワークモデル設計と総合評価

(副題：複数方式のルータを組み合わせて用いるネットワークモデルの検討)」

(独) 産業技術総合研究所、名古屋大学、日本電気 (株)

ア. サービスとトラフィック特性に応じたマルチレベルパスによる省エネ化トラフィック制御技術の評価 (名古屋大学)

#### (1) 研究開発の目標

中間目標 (平成22年度) :

インターネットトラフィック特性 (変動速度及び変動幅) に適合した制御パス粒度を検討する。各種のトラフィックデータについて多数の数値実験を行い、パス制御の制御粒度と制御頻度の関係を定量的に導く。単一リンク上におけるトラフィック特性に応じたマルチレベルパス制御基本アルゴリズムを開発する。この特性に見合ったノード基本構成及びその実現技術の初期検討を開始する。

最終目標 (平成24年度) :

多様なパス制御を可能にするノード構成並びに機能条件を明確化する。マルチレベルパス制御を可能とする 10 Tb/s 以上のスループットを有するノード基本構成を明らかにする。開発した簡易な計測に基づくネットワーク全体のトラフィック変動を捉える手法を評価し、同手法とマルチレベルパス制御アルゴリズムとの連携を図る。ノード数 100 以上の大規模ネットワークについて、これまでに開発した各要素技術について統合動作確認要素実験を実施し、他の施策とあわせて 10 年後のトラフィックに対する 1/10 以下の低消費電力化が達成可能であることを検証する。

#### (2) 開発成果の要約

本研究開発では様々なパス制御法に共通する基本的な手段を導出する為、インターネットトラフィックに対して、ローパスフィルタで短周期変動を除去し一定の余裕度を見込んだ容量を確保するシンプルなパス制御法を採用した。トラフィック変動の低周波、すなわち長周期の成分を抽出する為、観測トラフィック量の系列にバターワース型 IIR フィルタを適用し、フィルタ出力を次時刻のトラフィック予測値とした。様々なトラフィックに対し、パス制御粒度に対する未使用回線容量及び制御回数との関連性を明らかにするため、企業向け、一般家庭向け、大学向けの 3 種の回線における実トラフィック系列 (各 288 サンプル) を用いた。本研究開発では簡単のため、単一のリンクのみを考える。正規化パス容量  $C$  と各時刻における平均パス操作回数及び平均残余容量 (回線容量からトラフィック値を差し引いた量の単純平均) との関連性を図 10-1 に示す。トラフィック系列が異なるにも関わらず全てが同様の傾向を示していることを見出した。特に平均パス操作回数については、最大トラフィックの 0.1 倍程度のパス容量で効果的に低く抑えられていることを明らかにした。一方で平均残余容量は一次関数的に増加する為、パス制御の粒度としては、前述の値以上となる範囲内で小さな値に抑えることが効果的である。様々なトラフィックに対して、ダイナミックなパス制御におけるパス容量ならびに高周波成分の転送を担保するための余裕度の適切な値を評価した。その結果トラフィック系列への依存性が小さく、ほぼ共通の手法で設計が可能であることを明らかにした。

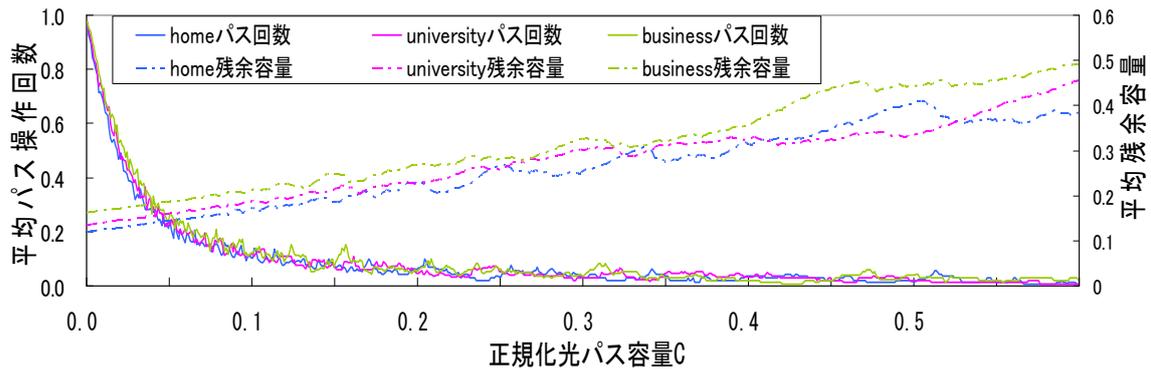


図 10-1 正規化光パス容量 C と操作回数・残余容量の関係

単一リンク上におけるトラフィック特性に応じたマルチレベルパス制御の基本アルゴリズムを開発し、この特性に見合ったノード構成及びその実現技術の初期検討に関して以下の成果を得た。

- 1) トラフィック変動の超高周波成分を見込んだパス制御技術を開発しその有効性を検証した。
- 2) パスレベル制御に階層化パスノード構成が有効であることを実証した。

以下各々について成果の要点を示す。

- 1) トラフィック量の急激な瞬時変動は各ルータのバッファにより一定量まで許容可能であるが、基本的には各時刻で要求される最大トラフィックを収容可能なパス容量を設定しなくてはならない。

そのため、インターネットのトラフィック変動に対し、低周波成分に高周波成分の標準偏差の定数倍を加えて最大トラフィックの予測値を導出するシンプルな手法を開発した。5分間隔でサンプリングされた、様々な特性を有するトラフィックデータに対して、各予測値からの超過割合に共通性があることを見出した。

超過期間の連続性を評価する為、パス制御間隔に比べて細かなサンプリング間隔のトラフィックデータに対する超過割合を評価した。数値実験においては 100ms 間隔でサンプリングされた 3 種の実トラフィックデータを用い、様々なサンプリング間隔のデータを生成して予測値からの超過割合の評価を行った。この結果、サンプリング間隔の対数と超過割合との間に単純な関連性があることを明らかにした。特に、時間間隔の対数に応じ、超過率は線形的に減少することを見いだした (図 10-2 参照)。これは時間間隔が粗い領域での違反率から、細かい領域での値を概算可能であることを示しており、これにより要求品質に応じた制御間隔の設定が容易になる。

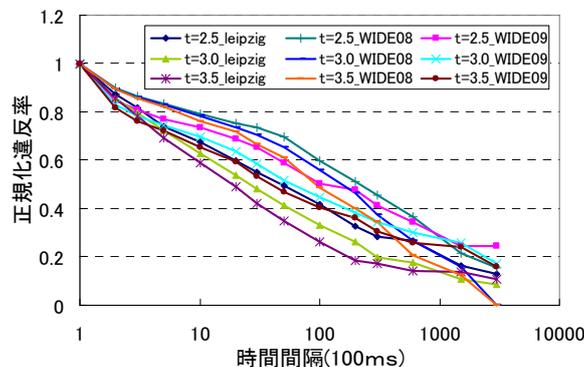


図 10-2 サンプリング間隔に対する超過率の変動

2) パスレベル制御において、物理レイヤの階層並びにパスレベルの階層化が有効であることを実証した。結果の一例を図 10-3 に示す。階層化の導入により、ネットワークコスト、シグナリングコスト（シグナリングが必要なノードの数）ともに削減可能なことが示された。

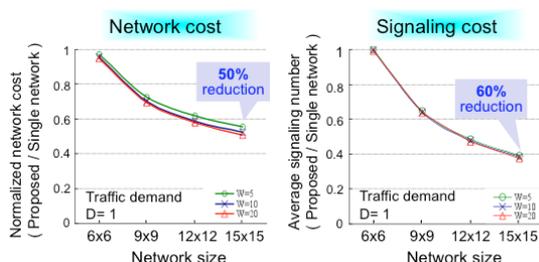


図 10-3 物理レイヤ並びにパスレベルの階層化の有効性

### (3) 中間目標の達成度

正規化パス容量と各時刻における平均パス操作回数及び平均残余容量（パス容量から実トラフィック値を差し引いた量の平均）との関連性を定量化し、パス制御の制御粒度と制御頻度の関係を定量的に導出することに成功した。

単一リンク上における、トラフィック変動の超高周波成分を見込んだパス制御技術を開発し、各種の実トラフィックデータを用いて必要なパス数（容量）を  $1/3$  以下に削減可能であることを検証した。さらに光パスレベル制御を実現する方式として、階層化パスノード構成により、ネットワークコストを  $2 \sim 4$  割削減可能であることを示した。

基本計画に定義された中間目標は達成している。

### (4) 成果の意義

これまでは超低消費電力化パス制御を目的としたインターネットトラフィックに対するパス制御の検討は殆ど行われていなかった。本検討ではいち早くその重要性を認識し、今回、制御の基本手法の開発と効果の検証に成功したことは、最終目標を達成するうえで重要なマイルストーンとなる。ネットワークの超低消費電力化を達成するためには、是までの技術の延長だけではなく、パラダイムの変革をもたらす技術開発が必要であるが、本成果はその重要な基盤技術となる。

### (5) 最終目標達成の可能性（今後実施予定項目、内容）

平成 22 年度前半までに達成した、消費電力を大幅に削減するマルチレベルパスによる省エネ化トラフィック制御基本アーキテクチャーをベースとし、平成 23 年度中に、省エネルギーに最適化されたノードアーキテクチャー基本構成を明らかにする。平成 24 年度には、最終目標であるこれらノードで構成されたネットワーク上でのマルチレベルパス網の動的最適化を実現する。最終目標の確実な達成が可能と考えている。

#### イ. カットスルーレーティング・ノードシステムによる省電力効果の検討と評価（日本電気）

##### (1) 研究開発の目標

中間目標（平成 22 年度）：

省電力効果を図る観点からカットスルーティング・ノードシステムの基本方式検討及びノードアーキテクチャーの実現性の検討を行う。小規模の波長パス数の運用時における省電力効果を定量評価し、カットスルーティング・ノードシステムによる基本的な省電力化を確認する。

最終目標（平成24年度）：

カットスルーティング・ノードシステムにおいて、待機系リソースを含むノード装置全体のトータル省電力効果の検証及び波長パス再構成により実現される省電力効果の検証を行う。

トランスポンダ・プール化装置構成・装置制御技術について要素技術の部分試作を実施し、1)共有型プロテクション方式により複数の運用トランスポンダに対して共有予備トランスポンダを配備することが可能であること、2)トランスポンダ障害発生時に通信遮断時間が100ms以内で障害復旧ができることを確認するための基本機能及び性能を検証することを目標とする。また、トランスポンダ・プール化装置構成・装置制御技術を導入することにより、トランスポンダ部全体の消費電力を、従来構成に対し60%以下に低減することを目標とする。

これまでに開発した各要素技術について統合動作確認実験を実施し、他の施策とあわせて10年後のトラフィックに対するスループット当たりの消費電力削減率1/10以下の妥当性を検証する。

## (2) 開発成果の要約

カットスルーティング・ノードシステムの基本方式検討及びノード装置アーキテクチャーの実現性の検討を行った。今回検討したノード装置アーキテクチャーは、小規模のマトリクス光スイッチと周回性AWGの組み合わせで構成されるノードサブ装置と波長可変フィルタ、そして、それに接続される複数の波長可変トランスポンダより構成される。このモジュラー構成単位(トランスポンダアグリゲータ)を増設の基本単位とし、トラフィック・波長パスの需要に応じてスケラブルに増設・減設が可能となる。また、N x N周回性AWGには入出力波長とポートの関係が一意に決まる特性を有しており、トランスポンダの出力波長を変更する、もしくは光スイッチの切替により出力方路を切り替えることができる。また柔軟な装置冗長構成をとることが可能になり、トランスポンダアグリゲータ単位での1 : N冗長構成をとることが可能になる。以上より、省電力化に寄与するノードシステム基本方式検討、実現性検討を完了した。なお、本ノードサブ装置及びシステムの制御方法は特願2009-233510及び特願2009-153655で出願済みである。

収容トラフィック規模（実現可能なファイバあたりの最大波長パス数及び最大対応方路数）の見積検討を行った。消費電力評価を行う上で必要となるノード装置の拡張規模に関するデータを取得する観点から、収容トラフィックの最大規模の見積検討を行った。本見積を実施する上で、考慮すべきパラメータは、1)光ファイバにおいて波長多重される波長数、波長間隔、2)AWGの波長間隔、ポート数、3)光スイッチのポート数、4)WSS(Wavelength Selective Switch)の波長数、波長間隔、ポート数である。現在の商用デバイスのパラメータなどを参照して、本検討で前提とする収容トラフィックの最大規模は、方路(光ファイバ)当り100GHz間隔40波、最大対応方路数8、とし、対応方路数に対して100%波長パスを設定できるトランスポンダを配備するものとする。最大方路対応数8に対する最大波長数(トランスポンダ数)は320となる。また、将来的に50GHz間隔80波も視野に入れる。以上より、収容トラフィック規模に関する見積検討を完了した。

カットスルーティング機能実証として、ノードサブ装置の導入、必要な制御の検討とその制

御ボードを試作、その基本動作を確認した。基本動作はノードでの光 ADD/DROP 動作とし、任意の方路・波長選択を実現できることとした。これは、既存の ROADM、OXC 装置では方路・波長選択に制限があり、以下の2つの課題があるためである。1つ目は、伝送線路の周波数効率が低減するだけでなく、複雑なネットワーク経路制御が必要となるなど、実用化に大きな課題が生じる点である。2つ目は、例えば、障害回復用にトランスポンダを過剰に待機させて方路・波長選択制限の解消をする必要があり、ノードの消費電力も増加する点である。

光 ADD/DROP 動作での任意の方路・波長選択を実現するため、以下の2つを行った。まず、ノードサブ装置にアグリゲーション機能を追加した。理由は以下のとおりである。ノードサブ装置は光スイッチの周回性 AWG の組み合わせで構成され、ノードでの方路と波長の選択が可能である。しかし、周回性 AWG のポートとスイッチによる経路とが1対1でしか対応できず、任意の方路に多重できない波長があったためである。アグリゲーション機能を実現することで、スイッチ部による経路選択時に周回性 AWG ポートでの波長多重が可能となり、光 ADD/DROP 制御時の方路・波長選択における制限を無くす事ができた。そして、このアグリゲーション機能を考慮したノードサブ装置を用いた光 ADD・DROP 制御ボードを FPGA の設計により実現した。本制御ボードによりノードサブ装置をノード装置に組み込む事が出来、光 ADD・DROP 動作において任意の方路・波長選択を実現した。

次に、カットスルーレーティング・ノードシステムによる消費電力低減効果を示す。カットスルーレーティング・ノードシステムでは光パス設定時に中継ノードでの OEO 変換不要となるため、ADD/DROP 率低減、すなわち使用トランスポンダ数の低減が可能である。そこで、収容トラフィック規模の見積もりで導出したノード構成での消費電力の ADD/DROP 率依存性を見積もった（図 10-4 参照）。本結果は、カットスルーレーティング機能実証時に評価した消費電力結果を用いている。図 3 に示すように、消費電力は ADD/DROP 率にほぼ比例し、ADD/DROP 率 0.3 を実現することで従来比 40% の消費電力低減が可能であることがわかった。ADD/DROP 率低減が可能なカットスルーレーティング・ノードシステムが省エネに適したシステムであることがわかる。

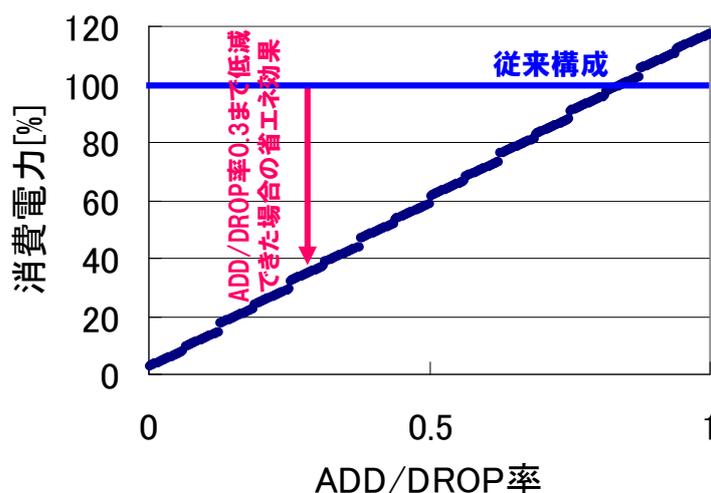


図 10-4 カットスルーレーティング・ノードシステム導入による消費電力低減効果  
(従来構成との比較)

### (3) 中間目標の達成度

「カットスルーティング・ノードシステム」及び「モジュラー型スケーラブル構成技術」についてノードシステム、ノード装置アーキテクチャーの実現性及び基本検討を完了した。

カットスルーティング機能として必要なサブノード装置の実現とその制御ボードを試作、その基本動作を実証した。本実証をもとに、カットスルーティング・ノードシステムの省電力効果の定量評価を実施し、その省エネ効果を確認した。ADD/DROP 率 0.3 を実現することで従来比 40% の消費電力低減が可能である。

上記により、基本計画に定義された中間目標は達成している。

### (4) 成果の意義

これまで超低消費電力化に向けたカットスルーティング・ノードシステム実現のためのノード技術についてほとんど検討が行われていなかった。そのため、その省エネ効果に関する定量的な検討がなされていなかった。本検討でその実現性を示したことで、今後実用化に向けたシステム開発が加速されると期待できる。また、その消費電力を実証したことで、今後のネットワーク全体での消費電力低減効果について精度の向上が期待できる。さらに、本成果をノード装置の要素技術とし、リソース最適化ノード制御方式技術導入することで、最終目標実現に向けた更なる消費電力低減が可能である。

### (5) 最終目標達成の可能性（今後実施予定項目、内容）

最終目標達成には、平成 23 年度以降のリソース最適化ノード制御方式技術の実現が重要である。中間審査の時点でノード構成方式の基本原理確認とその実証は一部前倒して実施済みであり、リソース最適化ノード制御方式技術の実現に向けて平成 22 年度にその検討を前倒して開始した。これにより、平成 23 年度でのリソース最適化ノード制御方式技術の実証を確実に実施出来ると考えており、平成 24 年度でのカットスルーティング・ノードシステムでの省エネ検証において最終目標の確実な達成が可能と考えている。

#### ウ. 光パス網用光信号再生技術の調査（産総研）

##### (1) 研究開発の目標

中間目標（平成 22 年度）：

光信号再生技術による伝送特性向上の調査を実施。光信号の品質指標である Q 値の改善効果 3dB 以上を実現する技術を同定する。

最終目標（平成 24 年度）：

光パス網主要構成要素の省電力効果評価実施及び最適化検討を実施する。光信号再生効果 3dB 以上を実験で確認し、光パス網の電力消費モデルとその最適化検討を実施する。光パス網の普及シナリオの同定と省電力化の検証を実施する。省電力効果 30% 以上の検証を目標とする。

(2) 開発成果の要約

光信号再生技術を用いた光パス網の伝送特性・省電力効果を検討するため、シリコン光導波路及び高非線形ファイバ (HNLF) を利用する光信号再生技術に絞り込み、検討を完了、光パラメトリック増幅効果を利用できる高非線形ファイバ (HNLF) による光信号再生方式を採用し、シミュレーションにて光信号再生 (2R) 効果を確認した。自然放射光増幅ノイズの影響から光再生信号のQ値が3 dB 以上改善できるシミュレーション結果を得た。図 10-5 にその改善効果である光信号入力パワーに対する非線形出力応答とQ値の変化を示す。

また、実際の電力消費見通しを立てるため、光パス網用伝送特性評価周回実験系を準備 (図 10-6)。高速応答光増幅器以外は納入済みとなり、実験環境の構築をほぼ完了させた。特定の信号パターンを光スイッチで切り替えながら光ファイバループを経由させ、光パス網伝送中の信号劣化、上記 2R 効果の実験評価へ展開する予定である。

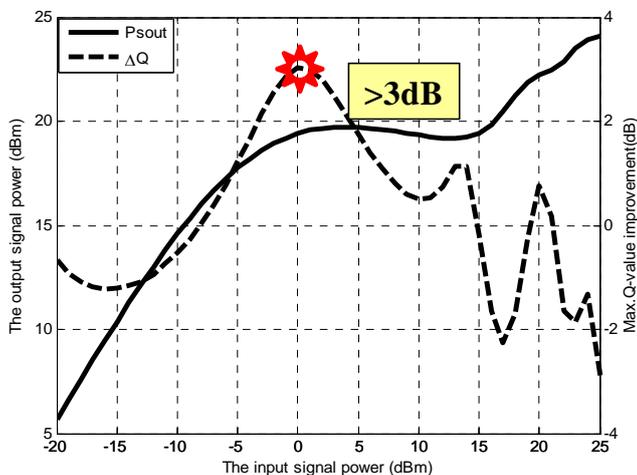


図 10-5 光信号入力パワーに対する非線形出力応答とQ値の変化 (10Gb/s、DPSK 信号)

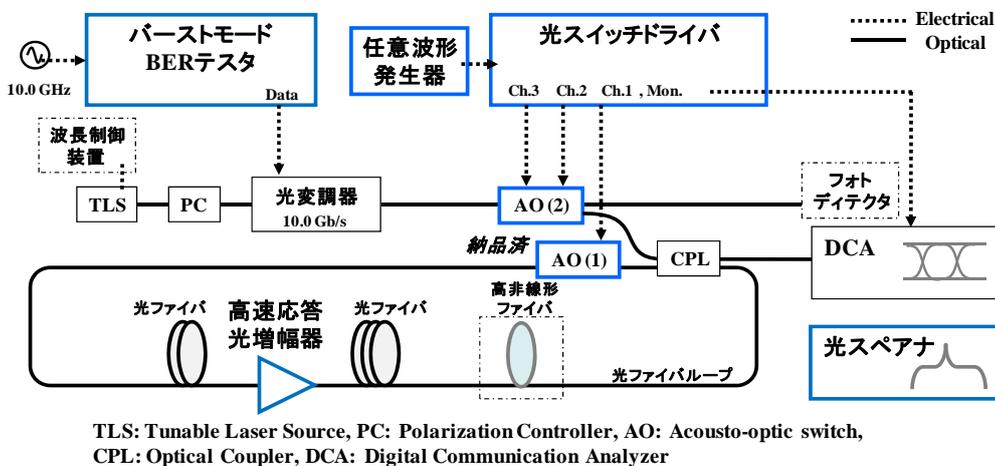


図 10-6 光パス網の伝送特性評価用 周回実験系

(3) 中間目標の達成度

光信号再生技術による伝送特性向上の調査を実施し、シミュレーションにおいて光再生信号の品質指標であるQ値の3dB以上の改善を確認した。

(4) 成果の意義

光パス網の実現と普及には光伝送の高性能化が不可欠であり、Q値3dB以上の改善により伝送距離を4倍以上にでき、光パス網適用範囲を拡大可能となる。

(5) 最終目標達成の可能性（今後実施予定項目、内容）

光パス網の伝送特性評価系の実験環境がほぼ整っており、実験結果を基に省電力効果検証ができ、目標達成可能。

エ. アプリケーションに応じてエネルギー消費の小さいルーティング方式を選択する技術の検討と評価（産総研）

(1) 研究開発の目標

中間目標（平成22年度）：

webベースのアプリケーションを対象に、トラフィック量、転送レートなどの要求要件をネゴシエーションするプロトコルについて、調査・検討する。また、トラフィックを適切なルーティング方式のネットワークを用いるように振り分ける仕組みについて、技術要件と既存技術の検討を行う。技術要件と既存技術を取りまとめる。

ネゴシエーション及びルーティング方式の切り分けを行うプロトタイプシステムの設計・実装を行う。ルーティング方式切り分けのフェジビリティを示すことを目標とする。また、簡易ラベルスイッチングの方式検討を行い、エミュレータの実装について検討する。エミュレータ実装の設計を終える。

最終目標（平成24年度）：

ネットワークのルーティング方式を設定するための、下位レイヤのネットワーク制御方式の技術進捗状況について調査し、プロトタイプシステムとネットワーク制御レイヤとの連携を可能にする。また、簡易ラベルスイッチのエミュレータを実装する。プロトタイプやエミュレータを組み合わせ、サブ項目(オ)と連携して省エネルギー効果の評価を行う。アプリケーションからのルーティング方式選択による省エネルギー効果をまとめる。

(2) 開発成果の要約

Webベースのアプリケーションを対象に、トラフィック量、転送レートなどの要求要件をネゴシエーションするプロトコルについて、既存技術を調査した。マルチメディアコンテンツへのアクセスに使われるメタファイルを用いたストリーミング転送方式を、トラフィックの要求要件やルーティング方式のセットアップに必要な情報を交換する仕組みへ応用する方式について調査検討を行った。

また、トラフィックを適切なルーティング方式のネットワークに振り分ける仕組みに関して、フロー単位にルーティングするフロールータの調査を行った。さらにエンドユーザ側で VLAN タグやパケットにマーキングすることで既存技術を用いてルーティングする場合の必要な機能について検討した。

次に、既存のルーティング方式として、DRAGON (Dynamic Resource Allocation via GMPLS Optical Networks) の評価環境を構築し、その方式を調査した。また、ドメイン間連携を実現する OSCARS (On-demand Secure Circuits and Advance Reservation System) の評価環境を構築し、方式調査を行った。TMF (Telemangement Forum)で検討されている NGOSS (New Generation Operations Systems and Software) フレームワークをルーティング方式の制御の観点から調査した。

さらに、ルーティング方式をセットアップするパスコーディネータとエンドユーザ側と web サーバ側でルーティング方式を選択するパスセレクターの連携に関して、必要な機能やセキュリティ要件を検討した。エンドユーザと web サーバ間でトラフィックの性質のネゴシエーションを行うプロトコルとして、既存プロトコル RSVP を拡張したプロトコルを用いた。このプロトコルによりパスコーディネータとパスセレクターを制御するプロトタイプを開発した。

アプリケーションから通信経路を確保する方式として、GLIF で検討されている Fenius と G-lambda プロジェクトで検討されている GNS-WSI3 (Grid Network Services - Web Services Interface ver. 3) のトランスレータを実装し、各種方式の相互接続の実証テストを行った。Fenius を使用して、複数のネットワークサービスに跨った経路を確保するコーディネータ機能や確保した経路の状態を目視できるモニタリング機能を実装し、GLIF ワークショップ 2009 では G-lambda、Internet2 DCN、Phosphorus Harmony、KISTI DynamicKL 間で実ネットワークの制御は行わないソフトウェアレベルでの相互接続性を検証し、さらに国際会議 SC2009 では G-lambda、JGN2plus DCN、Internet2 ION 間で実ネットワークを用いた相互接続の検証を行った。

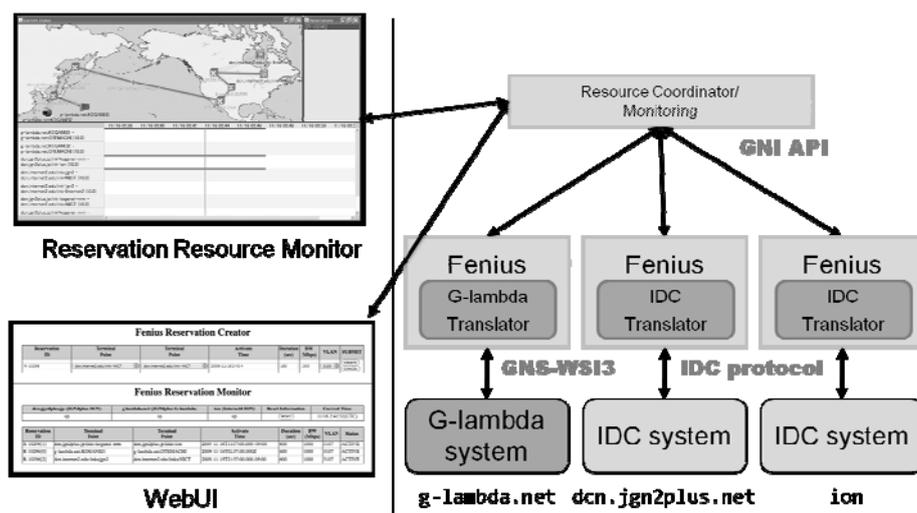


図 10-7 Fenius デモ画面とデモシステム構成

下位レイヤのネットワーク制御方式として、OpenFlow ルータの利用を検討した。OpenFlow は OpenFlow コンソーシアムが規定している新しいパケット経路選択方式である。現在のネットワーク

スイッチやルータでは、MAC アドレスや IP アドレスによってルーティングが定まるが、OpenFlow では、パケット内のいろいろなフィールドの値及びそれらの組み合わせによってルーティングを制御することができる。これにより同じ IP アドレスでも、ポート番号によってルーティングを変えるなど柔軟なルーティングが実現できる。OpenFlow ルータは現在開発中の方式であり、まだ対応した製品は販売されていないが、仕様が公開されている。この仕様(Ver. 0.9.0)に基づき、産総研で開発したネットワークテストベッド GtrcNET-10 上の FPGA に対して、OpenFlow のスイッチ部の設計を行った。

これまで GtrcNET-10 ではパスは静的に決められていたので、パケットスイッチを実現するためのデータパスの変更や、OpenFlow の仕様に基づいたパケットマッチングを行うための CAM(連想記憶)の実装などを行った。STP プロトコルの実装やフロー毎の統計情報の取得、OpenFlow コントローラとの接続など一部仕様については未実装である。パケットマッチングの設定によりパケットルーティングが正しく変更されることを確認する機能検証を行うと共に、各ポートに他のポート宛のトラフィックを分散して流してスイッチ部のスループットを測定することにより性能検証を行い、RFC 2544 にある各パケットサイズで 10GbE のワイヤレート転送を行えることを確認した。

### (3) 中間目標の達成度

ネゴシエーション及びルーティング方式の切り分けを行うプロトタイプシステムの設計・実装を行い、ルーティング方式切り分けのフィージビリティを示すことが目標であるが、既に既存プロトコル RSVP を拡張し、ネゴシエーションとルーティング方式の切替を行う機構の実装を終えている。また、ラベルスイッチング方式として OpenFlow を検討し、これに基づくエミュレータの設計を行った。また、OpenFlow の仕様に基づいたパケットマッチング方式により、フロー単位にルーティング方式の切り分けを行う機構を設計し、プロトタイプの実装を間もなく終える予定である。

一部のストリーミングで用いられるメタファイル交換を、他のアプリでも用いればネゴシエーションが可能であることも明らかになっており、中間目標は達成する見込みである。

### (4) 成果の意義

ネットワークがトラフィックの状況を監視して自律的に適応するトラフィックエンジニアリング技術に加えて、アプリケーションレイヤからこれから発生するトラフィックの性質をネットワーク制御機構に伝えることにより、より最適なルーティング方式の選択が可能になる。本テーマは、このような機構のモデル設計を行い、フィージビリティを示すもので、エネルギー効率の高いルーティング方式の選択確率を上げることができる。

### (5) 最終目標達成の可能性 (今後実施予定項目、内容)

基本方式の策定とプロトタイプの開発をこれまでにほぼ完了しており、目標達成可能

オ. ルータによる省エネルギー効果の評価 (産総研)

#### (1) 研究開発の目標

中間目標 (平成 22 年度) :

平成23年度から実施予定

最終目標（平成24年度）：

他のサブテーマ及び研究項目 b)での研究成果から得られる省エネルギーに関するデータを集約する。実際に省エネルギー効果を測定するための環境を構築し、省エネルギー効果を実測する。研究項目 b)及び c)によって達成されるシステム全体での省エネルギー効果の評価をまとめる。

(2) 開発成果の要約

平成23年度から実施予定のため、なし

(3) 中間目標の達成度

平成23年度から実施予定のため、なし

(4) 成果の意義

平成23年度から実施予定のため、現在の成果はなし

(5) 最終目標達成の可能性（今後実施予定項目、内容）

各項目の成果を合わせて評価を実施することにより目標達成可能

### III. 2. 10 情報のダイナミックフロー測定と分析ツール及び省エネルギー型ルータ技術の開発

アラクサラネットワークス（株）、横河電機（株）、（株）日立製作所  
再委託：九州工業大学

#### (1) 研究開発の目標

情報量の減少に応じて動的に省電力モードに切り替わる、革新的な省エネルギーのネットワーク・ルータ技術につながる要素技術として 1) トラフィック観測・予測・最適性能予測技術、2) データ流量適応型性能制御技術、3) 電力可視化技術、を 2012 年度（平成 24 年度）までに確立する。これら要素技術の活用により、これら要素技術を活用しない場合と比較してネットワーク部分の年間平均消費電力量を 30% 以上削減することを目的とする。

#### (1)-1) 中間目標（平成 22 年度）

##### ① トラフィック観測・予測・最適性能予測技術

40Gbps レベルの高速回線を収容するルータに入出力する情報量の長期変動に加え、数秒～数分の短期変動に対応可能なダイナミックな情報量の観測、予測技術を開発し、その実用性を検証する。

##### ② データ流量適応型性能制御技術

消費電力モードの切替時間が 1ms 以下で、性能を 4 段階以上の粒度で増減可能な転送性能制御技術の開発と情報量のダイナミックな観測、予測技術との結合評価実験による実用性を検証する。

##### ③ 電力可視化技術

千台規模のルータシステムにおいて、長期変動に加え、数分の短期変動に対応可能な電力の収集・表示技術を確立する。

#### (1)-2) 最終目標（平成 24 年度）

##### ① トラフィック観測・予測・最適性能予測技術

40Gbps レベルの高速回線を収容するルータから成るネットワーク上を流通する情報量の数秒～数分の短期変動に対応可能な情報量のダイナミックな予測が可能なことを実証する。前記実証、実用性の検証においては試作ルータや試作サーバによるシステム評価を実施する。

##### ② データ流量適応型性能制御技術

消費電力モードの切替時間が 1ms 以下で、性能を 16 段階以上の粒度で増減可能な転送性能制御技術を開発する。情報量に対応して転送性能（消費電力）を制御することで、制御を行わない場合と比較してネットワーク部分の年間平均電力消費量を 30% 以上削減できることを実証する。

##### ③ 電力可視化技術

サーバルルータ間のインタフェース技術を共通基盤技術として確立した上で、標準化のための情報を定義する。そして、ネットワーク上を流通する情報量の長期変動に加え、数秒～数分の短期変動に対応可能なダイナミックな電力可視化技術を完成する。

#### (2) 開発成果の要約

##### (2)-1) トラフィック観測・予測・最適性能予測技術

・長期変動対応アルゴリズム

トラフィック解析にて得られた知見であるバーストトラフィックが大きな揺らぎを生んでいることに着目し、各時間帯のバーストトラフィック量を自動検知し、そのトラフィック量に応じて平均値からの余剰な転送性能を見積もるバースト検知アルゴリズムを考案した。

収集した47日間の平日のトラフィックサンプルデータのうち、初日から40日間を転送性能の予測に使用し、その後の7日間の平日のトラフィックサンプルデータをバースト検知アルゴリズムの評価に使用した。

図9-1にパケット廃棄率を0.01%以下とする際に必要な転送性能を、サンプルデータの収集日毎(41日目～47日目)に示す。実トラフィック量に対する簡易アルゴリズムによる余剰な転送性能をバースト検知アルゴリズムは36%低減している。

この転送性能はエンジン性能の最大値：2.976Mpps に対して平均0.745%であり、目標である70%以下を達成した。さらに、エンジンの性能を、最長パケット長1500byteのパケットが最大帯域(2Gbps)で入力することを想定した場合にも、エンジン性能の最大値である164kpps(2Gbps÷(1500byte+20byte)÷8)に対して、判定した転送性能は平均13.5%であり、目標である70%以下を達成した。

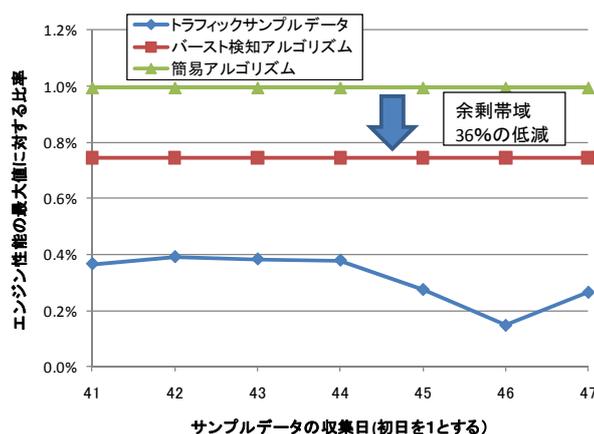


図 9-1 長期変動アルゴリズムの適用例

・短期変動アルゴリズム

開発したバースト検知アルゴリズムによる転送性能を、リアルタイムのキュー長に応じて修正・最適化する短期変動対応アルゴリズムを考案した。キュー長の監視間隔は20ミリ秒であり、数秒レベルのトラフィックの短期変動に対応可能である。本アルゴリズムを、収集したトラフィックサンプルデータにより、(a)エンジン性能向けトラフィックシミュレーション評価システムまたは、(b)疑似ルータ装置とトラフィック出力・解析装置を用いて評価した。

(a)による評価では、ある特定の一日のトラフィックサンプルデータについて0時15分から1時間毎に1分間のデータを抽出し、エンジン性能向けトラフィックシミュレーション評価システムを用い評価を実施した。図9-2に代表的な評価結果を示す。図の横軸はデータの抽出開始時間、縦軸は実トラフィック(pps)と転送性能(pps)を表す。本図の通り、本アルゴリズムを適用した短期変動対応アルゴリズムは、長期変動対応アルゴリズムに対して、余剰の転送性能が77%低減されている。この転送性能はエンジン性能の最大値：2.976Mpps に対して平均1.0%であり、目標である6

0%以下を達成した。さらに、エンジンの性能を、最長パケット長 1500byte のパケットが最大帯域 (2Gbps) で入力することを想定した場合にも、エンジン性能の最大値である 164kpps (2Gbps ÷ (1500byte+20byte) ÷ 8) に対して、判定した転送性能は平均 18.3% であり、目標である 60% 以下を達成した。

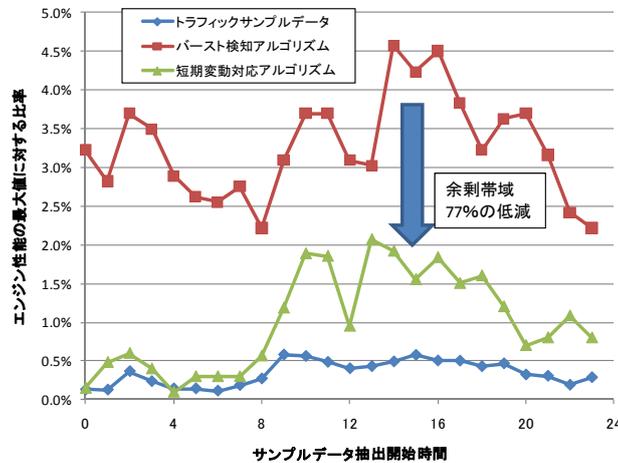


図 9-2 短期変動対応アルゴリズムの適用例

・回線帯域予測

平成 20 年度に開発したトラフィック推定手法に基づき、入出力回線の回線帯域を対象として、トラフィック量の時間変動を考慮した動的な転送性能制御を開発した。平成 20 年度に開発した極値理論を利用したピークスループット分布の推定手法について、平日・日中における 1 時間分の推定を行った結果より、転送性能を 70% 以下に低減可能であることを確認した。この推定手法を応用して短期的な変動に対応するためのコア・スイッチを対象とした転送性能予測手法を開発した。開発手法では、到着トラフィックに応じてスイッチ間の転送性能を動的に制御するために、ネットワークの幹線で転送性能向上のために広く利用されているリンク集約技術を用いる。

実トラフィックを利用して開発手法を評価した結果、図 9-3 に示すように、通信品質の低下を避けながら、リンク本数によって表される転送性能をその最大値に対して 60% 以下 (8 本のリンクに対して 4.8 本以下) に低減可能であることを確認した。

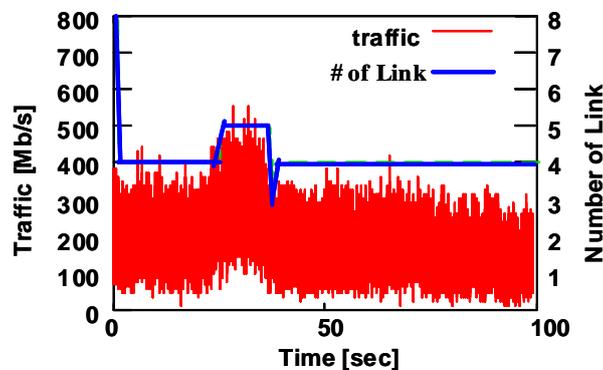


図 9-3 実トラフィックによる性能評価例

## (2)-2) データ流量適応型性能制御技術

従来のルータ・スイッチに必要とされる機能を、ON/OFF 及び性能を多段階に変更可能とし、さらにパイプライン処理化してパケット処理に必要な部分のみ活性化する LSI を搭載する評価ボードを試作し、ルータ・スイッチとしての動作確認及び消費電力評価を完了した。

省電力モードとして試作・評価を行った SERIALizer/DESERIALIZER 及び連想メモリを利用し、周波数変更、動作モード変更、電源 ON/OFF 等について LSI としての動作を評価ボードにより確認した。また、LSI としての動作周波数及び外部接続デバイスの動作周波数を変更する動作、LSI 内部をパケット処理順序で細かく分割し、パケットを処理している部分のみ活性化する動作を評価ボードにより確認した。更に、エンジンの ON/OFF 及び性能を多段階に変更する場合の消費電力低減効果、負荷が低い場合の LSI の消費電力低減効果を確認した。

図 9-4 にパケット処理負荷に応じた消費電力低減効果の評価結果を示す。図の横軸はパケットの処理負荷の相対値、縦軸は消費電力の相対値を表す。負荷 100% 時の消費電力を 100% として、負荷を 67%、33%、0% と変更すると、消費電力は 81%、63%、44% と低減できることを確認した。

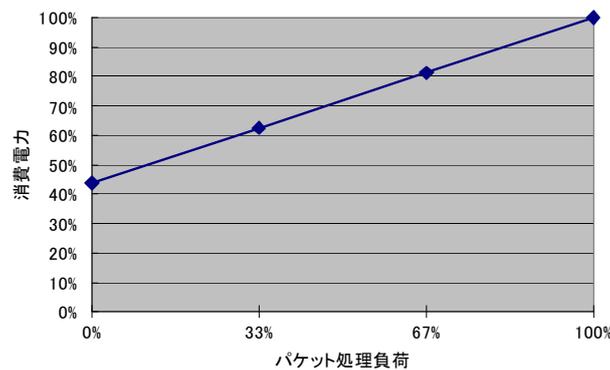


図 9-4 消費電力低減効果

機能確認項目としては経路検索、フロー検索、ユニキャスト/マルチキャスト処理、帯域制御、統計収集等のルータ・スイッチに必要とされる機能について、各種動作モードにおける動作を評価ボードにより確認した。

また、コマンドあるいはスケジュール指定により再起動すること無く省電力モードに切り替える制御機能に加えて、エンジン性能を多段階に増減して転送性能制御する制御粒度向上版ソフトウェアの試作を行い、評価を完了した。

これらにより、エンジン性能を 4 段階以上の粒度で増減可能な転送性能制御技術を確立した。

## (2)-3) 電力可視化技術

### ・消費電力取得技術

短期変動の対応に向けた技術課題を明らかにするため、ルータ 2,000 台から 1 分単位での情報収集を想定した収集処理性能の測定を行い、実装を改善しつつ、本方式で性能上限を確認した。

その結果、ルータ 2,000 台規模のネットワーク環境においても、10 秒オーダーの短期変動までであれば、情報収集が可能であることが確認された。性能上限の確認は、シミュレータによる仮想ネットワーク環境を構築し、その環境においてモニタリングの周期を取得処理のエラーが発生するまで徐々に短くしていくことにより行った。

#### ・サーバールータ間のインタフェース技術

電力可視化のシステムに適用するサーバールータ間の通信プロトコルを決定するため、これまで検討を進めてきた Simple Network Management Protocol (SNMP) だけでなく NETCONF 等の他方式についても調査を行い、比較検討した。その結果、消費電力情報の特性と汎用性といった観点から SNMP を適用することとした。

次に、ユーザが省電力効果を正しく認識・評価するために必要となる情報及びルータ上での実現可能性といった観点から、前年度にサーバールータ間のインタフェースとして定義した消費電力情報の Management Information Base (MIB) を再検討しブラッシュアップを行った。

そして、サーバールータ間のインタフェースの標準化に向けて消費電力情報の MIB を Internet-Draft として構成し、IETF の Operations and Management Area Working Group (OPSAWG) において提案と議論を開始した。

#### ・ユーザインタフェース技術

トラフィック量に応じて動的にルータ性能を切り替える省電力機能によって消費電力を削減する省エネルギー型ルータシステムにおいて、ユーザが省電力効果を正しく認識・評価するための見せ方の枠組みについての仕様を策定した。仕様では、3 種類の指標とそれらを 3 つの視点から表示する画面を定義し、それらの組み合わせにより見せ方の枠組みを実現することとした。

まず 3 種類の指標として、電力消費状態の現状を把握するための「消費電力量」など、電力の削減効果の達成度を示す「電力削減率」など、そして、電力削減効率の改善を検討するための「転送余力」などを定義した。最後の「転送余力」は、トラフィック量とルータ性能状態の相関から、過剰なルータ性能（ムダ）を示すと共に、ムダを省き過ぎた場合に発生しうるルータ性能の不足のリスクを示すことを目的としている。

また、3 つの視点から表示する画面として、ルータ群を 1 つのまとまりとして全体を見る「システム全体の視点」、ルータ群を並べて見る「ルータ群の視点」、個々のルータの詳細を把握する「ルータ単体の視点」といった全体から個々にいたる視点毎に画面が定義され、それぞれの視点では、各指標をリアルタイム、アベレージ、ピークといった値で表示する。

次に、策定したユーザインタフェースの仕様を評価するとともに平成 22 年度に実施予定である実環境での評価実験に向けて、試作システムの実装を行った。

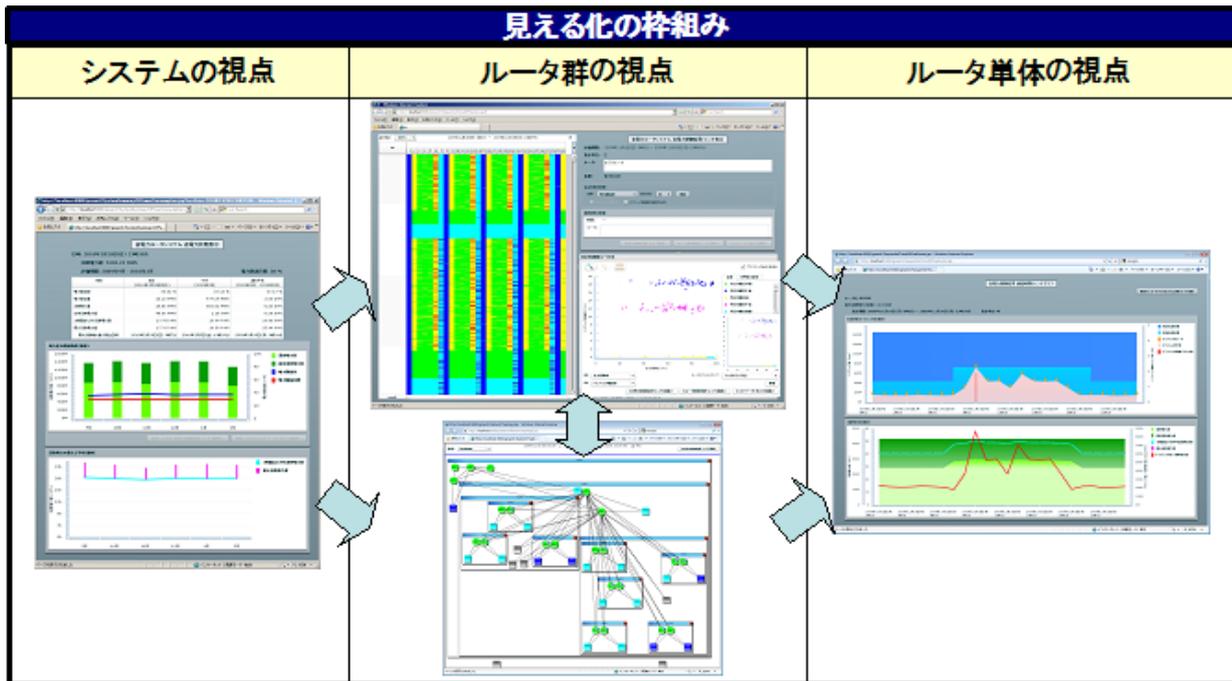


図 9-5 試作システムの画面イメージ

### (3) 中間目標の達成度

#### (3)-1) トラフィック観測・予測・最適性能予測技術

トラフィック量の変動を予測して転送性能を判定する推定アルゴリズムを開発し、判定される転送性能をその最大値に対して60%以下に低減するに足る判定精度を達成した。試作ルータ及び試作サーバを用いた推定アルゴリズムの実用性の検証を行うことで、中間目標は達成の見込みである。

#### (3)-2) データ流量適応型性能制御技術

試作した LSI を用いてルータを試作し、エンジン性能を制御するソフトウェアの研究開発により、性能を4段階以上の粒度で増減可能な転送性能制御技術を確立した。トラフィック観測・予測・最適性能予測技術及び電力可視化技術との連携技術の研究開発と結合評価実験による実用性の検証を行うことで、中間目標は達成の見込みである。

#### (3)-3) 電力可視化技術

見える化の枠組みを試作サーバとして実装し、エミュレータ環境で1分/千台規模の動作を確認した。今後、試作サーバと試作ルータとの結合を行いサーバールータ間インタフェースの検証を行うことで、中間目標は達成の見込みである。

また、標準化のための情報定義として、電力情報の取得インタフェースをIETFにInternet-Draftとして提案した。

### (4) 成果の意義

#### (4)-1) トラフィック観測・予測・最適性能予測技術

良好な精度で転送性能を予測することが可能となり、予測結果に基づいた適切な転送性能制御により、電力消費を削減することが可能となる。

(4)-2) データ流量適応型性能制御技術

待機電力低減に向けた研究推進は世界に先駆けた取組みである。部品レベルでの省電力技術には限界があり、ネットワーク機器の省エネ化にはアーキテクチャーレベルでの省電力技術が必須である。

(4)-3) 電力可視化技術

ユーザが省電力効果を把握するとともに、さらなる消費電力削減を実現するためには、ネットワーク上のルータからダイナミックに情報を収集し、可視化する技術が必須である。

(5) 最終目標達成の可能性（今後実施予定項目、内容）

(5)-1) トラフィック観測・予測・最適性能予測技術

実環境で計測したトラフィックを用いた評価により、提案するトラフィック予測技術は、転送性能をその最大値に対して60%以下に低減可能であることは既に確認済である。予測精度及び、短期的なトラフィックの変動への対応能力を向上させることで、目標を達成できる見込みである。

(5)-2) データ流量適応型性能制御技術

16段階の粒度で増減可能な転送制御技術の基本原則確認はできており、試作ルータによる実証、実用性の確認を行うことで、消費電力削減効果も含めて目標を達成できる見込みである。

(5)-3) 電力可視化技術

1分/千台規模までは対応済みであり、数秒/千台規模の対応に向けてイベント等の活用を含めた方式を検討することで目標達成が可能である。IETF に対して電力情報の取得インタフェースを提案し、WG アイテム化に向けた活動が進んでいる。

#### IV 実用化の見通し

各実施機関が、中間目標の達成度に合わせて、それぞれ実用化検討を開始している。  
平成 22 年 6 月 30 日現在未記載とする。

## 別紙：特許、論文等

### 1. 研究開発項目①－a)－ア)「将来の進化を想定した低消費電力アーキテクチャーの開発」

実施機関：日本電気株式会社

特許、論文、外部発表などの件数 (実績) 2010/6/15 現在

区分	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表など)
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
H20FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H21FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H22FY	1 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件

特許リスト

番号	出願人	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	日本電気 (株)	特願 2010-098710	国内	2010/04/22	公開	半導体パッケージ	橋本義仁他

### 2. 研究開発項目①－a)－イ)「ストレージシステム向け省電力技術の開発」

実施機関：富士通株式会社

特許、論文、外部発表などの件数 (実績) 2010/6/15 現在

区分	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表など)
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
H20FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H21FY	1 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H22FY	3 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件

特許リスト

番号	出願人	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	富士通	特許 2010- 53795	国内	H22. 3. 10	未登録	データ管理装置及びデータ 管理方法	土屋芳浩他
2	富士通	特許 2010-104013	国内	H22. 4. 28	未登録	検索プログラム、検索装置、 および検索方法	渡辺高志他
3	富士通	特許 2010-104014	国内	H22. 4. 28	未登録	管理プログラム、管理装置、 および管理方法	渡辺高志他
4	富士通	特許 2010-104015	国内	H22. 4. 28	未登録	管理プログラム、管理装置、 および管理方法	渡辺高志他

### 3. 研究開発項目①-a)ーウ)「クラウド・コンピューティング技術の開発」

実施機関：日本電気株式会社

独立行政法人産業技術総合研究所

株式会社 IIJ インベーションインスティテュート

特許、論文、外部発表などの件数 (実績) 2010/6/15 現在

区分	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表など)
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
H20FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H21FY	7 件	0 件	0 件	1 件	1 件	1 件
H22FY	4 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件

#### 特許リスト

番号	出願人	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	NEC	特願 2009-293082	国内	2009. 12. 24	出願	スケジューリング装置、スケ ジューリング方法及びプログラム	小林 大
2	NEC	特願 2010-049473	国内	2010. 3. 05	出願	並列データ処理システム、並列 データ処理方法及びプログラム	小林 大
3	NEC	特願 2010-050042	国内	2010. 03. 08	出願	送信情報制御装置、方法及び プログラム	上村 純平 柏木 柏木 岳彦
4	NEC	特願 2010-074384	国内	2010. 03. 29	出願	データベース管理方法、デー タベースシステムプログラム及び データベースのデータ構造	柏木 岳彦 上村 純平
5	NEC	特願 2010-053231	国内	2010. 03. 10	出願	情報処理システム、情報処理方法 及びプログラム	宮田 美知太郎
6	NEC	特願 2010-075514	国内	2010. 03. 29	出願	分散ストレージシステムにおける データアクセス場所選択システム、 方法およびプログラム	菅 真樹
7	NEC	特願 2010-075766	国内	2010. 03. 29	出願	ファイルストレージ装置、デー タ格納方法およびデータ格納 プログラム	山川 聡
8	NEC	特願 2010-103859	国内	2010. 04. 28	出願	ストレージシステムの制御方式	鳥居隆史
9	NEC		国内	出願手続中		遠隔手続き呼び出しシステム、 遠隔手続き呼び出し方法および 遠隔手続き呼び出し用プログラム	荒木 拓也
10	NEC		国内	出願手続中		データ検索装置、システム、方法、 およびプログラム	成田 和世
11	NEC	特願 2010-132719	国内	2010. 06. 10	出願	ストレージシステムの制御方法	山川 聡

#### 論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表雑誌名 ページ番号	査読	発表年
1	小川 宏高、他	産総研	高速フラッシュメモリに 適したキーバリューストア の予備的評価	情報処理学会 HPC 研究会 Vol. 2010-HPC-124 No. 14	有	2009 年度

2	菅、他	NEC	スケーラビリティと高効率性を備えたクラウド基盤を実現するデータセンタリック分散制御	第2回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム論文集 C2-2	無	2009年度
---	-----	-----	---	------------------------------------	---	--------

発表リスト

番号	発表者	所属	タイトル	イベント名	発表年
1	藤田 昭人	IIJ-II	オープンソース・クローンを活用したプライベート・クラウドの取組み	IIJ TECHNICAL WEEK 2009	2009年度

4. 研究開発項目①ーb)「最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発」

(冷却ネットワークとナノ流体伝熱による集中管理型先進冷却システムの開発)

実施機関：独立行政法人産業技術総合研究所

九州大学

宇都宮大学

株式会社SOHK i

特許、論文、外部発表などの件数 (実績)

2010/6/23 現在

区分	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表など)
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
年度						
H20FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H21FY	1 件	0 件	0 件	4 件	10 件	1 件
H22FY	0 件	0 件	0 件	4 件	14 件	2 件

投稿論文

平成21年度

番号	発表者	所属	タイトル	発表雑誌名 ページ番号
1	Y. Abe 他	産業技術総合研究所	Advanced integrated cooling systems for thermal management in data centers	Proc. InterPACK 2009
2	Y. Shinmoto 他	九州大学	Development of advanced high heat flux cooling systems for power electronics	Proc. InterPACK 2009
3	M. Sato 他	宇都宮大学	Anomalous temperature dependence of the surface tension in polyol processes-synthesized silver nanofluids with higher alcohols	Pro. 17th Thermophysical Properties
4	M Sato 他	宇都宮大学	Thermal performance of self-wetting heat pipe containing dilute solutions of silver nanoparticles synthesized by microwave-polyol process	6 th Interdisciplinary transport phenomena conference

平成22年度

番号	発表者	所属	タイトル	発表雑誌名 ページ番号
1	Y. Abe 他	産業技術 総合研究所	Heat pipes with self-rewetting fluids and nano self-rewetting fluids	Proc. 15th International Heat Pipe Conf.
2	R. Savino 他	ナポリ大学	Self-rewetting fluids and brines for thermal energy management	Proc. 15th International Heat Pipe Conf.
3	Y. Abe 他	産業技術 総合研究所	Development of advanced cooling network systems for data centers	Prod. 14 th International Heat Transfer Conf.
4	K. Iimura 他	宇都宮大学	Mechanisms of temperature dependency of surface tension of gold nanoparticles-dispersed alcohol aqueous solution	Proc. International Conf. of Nanoscopic Colloid and Surface Science

5. 研究開発項目①ーb)「最適抜熱方式の検討とシステム構成の開発」

(集熱沸騰冷却システムの開発)

実施機関：日本電気株式会社

特許、論文、外部発表などの件数 (実績)

2010/6/15 現在

区分	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表など)
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
年度						
H20FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H21FY	1件	0件	0件	0件	1件	0件
H22FY	3件	0件	0件	0件	0件	1件

特許リスト

番号	出願人	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	日本電気株	特願 2009-224082	国内	2009/09/29	届出	電子機器装置の熱輸送構造	吉川実
2	日本電気株	特願 2010-079619	国内	2010/03/30	届出	電子機器の冷却装置及び冷却システム	吉川実他
3	日本電気株	特願 2010-076126	国内	2010/04/27	届出	相変化冷却及びこれを備えた電子機器	坂本仁他
4	日本電気株	特願 2010-115539	国内	2010/04/28	届出	沸騰冷却器	松永有仁

投稿論文

平成21年度

番号	発表者	所属	タイトル	発表雑誌名 ページ番号
1	稲葉賢一他	日本電気株	フィンを有する面平均蒸発熱伝達係数の実験整理式による予測手法の確立	第24回エレクトロニクス実装学会講演大会

6. 研究開発項目①-c)「データセンタの電源システムと最適直流技術の開発」

実施機関：株式会社 NTT ファシリティーズ  
三菱電機株式会社

(共同実施) 長崎大学

(共同実施) 名古屋大学

(再委託) 独立行政法人産業技術総合研究所

特許、論文、外部発表などの件数 (実績) 2010/6/23 現在

区分	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表など)
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
H21FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	1 件
H22FY	0 件	0 件	0 件	3 件	0 件	0 件

投稿論文

平成 22 年度

番号	発表者	所属	タイトル	発表雑誌名 ページ番号
1	黒川 不二雄	長崎大学	A New Digitally Controlled Switching Power Supply for Green IT	IPEC-Sapporo 2010
2	黒川 不二雄	長崎大学	A New Digital Control Circuit for Green Switching Power Supply	EVER-Monaco 2010
3	黒川 不二雄	長崎大学	A Novel Digital PID Controlled DC-DC Converter	SPEEDAM 2010

7. 研究開発項目①-d)「データセンタのモデル設計と総合評価」

実施機関：独立行政法人産業技術総合研究所

筑波大学

エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社

特許、論文、外部発表などの件数 (実績) 2010/6/15 現在

区分	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表など)
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
H20FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	3 件
H21FY	0 件	0 件	0 件	1 件	2 件	1 件
H22FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	0 件

投稿論文

平成 21 年度

番号	発表者	所属	タイトル	発表雑誌名 ページ番号
1	今田 貴之、佐藤 三久、 英明	筑波大学	“仮想計算機環境における省電力化を目的としたサーバ資源制御”	情報処理学会研究報 2009-HPC-121 No. 36, pp. 1-8

2	Takayuki Imada、 Mitsuhisa Sato、 Hideaki Kimura	筑波大学	Power and QoS Performance Characteristics of Virtualized Servers	Energy Efficient Grids, Clouds and Clusters Workshop (E2GC2) in 10th IEEE GRID 2009, pp.232-240,
3	児玉祐悦、高野了成、 岡崎史裕、工藤知宏、 伊藤智	産総研	ネットワーク転送時における ノード消費電力削減	情報処理学会研究報告ハイ パフォーマンスコンピュー ティング、 2009-HPC-123 No.5, pp.1-7

平成22年度

番号	発表者	所属	タイトル	発表雑誌名 ページ番号
1	Hideaki Kimura、 Takayuki Imada、 Mitsuhisa Sato	筑波大学	Runtime Energy Adaptation with Low-Impact Instrumented Code in a Power-scalable Cluster System”	10th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGRID2010), pp.378-387,

8. 研究会開発項目②-a)「IT社会を遠望した、情報の流れと情報量の調査研究」

実施機関：独立行政法人産業技術総合研究所

9. 研究会開発項目②-c)「社会インフラとしてのネットワークのモデル設計と総合評価」

実施機関：独立行政法人産業技術総合研究所

名古屋大学

日本電気株式会社

特許、論文、外部発表などの件数 (実績)

2010/6/15 現在

区分	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表など)
	国内	外国	PCT出願	査読付き	その他	
H20FY	0件	0件	0件	1件	0件	3件
H21FY	2件	0件	0件	4件	0件	21件
H22FY	0件	0件	0件	1件	0件	1件

特許リスト

番号	出願人	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	(株)日本電気	特願 2009-233510	国内	2009/10/07	出願	光信号送信装置、光信号 受信装置、波長多重分離光 通信装置および波長パス システム	坂内正宏他
2	(株)日本電気	特願 2009-153655	国内	2009/06/29	出願	ノード装置、通信システム、及 割当方法	坂内正宏

投稿論文 平成20年度

番号	発表者	所属	タイトル	発表雑誌名 ページ番号
1	小林克志	産総研	Flexible arrays of inexpensive network (FAIN): toward global parallelism in the internet to satisfy future traffic growth	International Conference On Emerging Networking Experiments And Technologies Proceedings of the 2008 ACM CoNEXT Conference Article No.63, ISBN:978-1-60558-210-8

平成21年度

番号	発表者	所属	タイトル	発表雑誌名 ページ番号
1	佐藤	名古屋大学	Future directions of optical networking technology development -Optical fast circuit switching and multilevel optical routing	Proceedings of Photonics in Switching 2009, WeIII-2
2	小川他	名古屋大学	Evaluations on Physical and Optical Path Level Hierarchical Networks to Implement Optical Fast Circuit Switching	Proceedings of ACP 2009 (Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition 2009)
3	伊藤他	名古屋大学	Impact of path granularity and operation interval on dynamic path network control	Proceedings of ACP 2009 (Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition 2009)

平成22年度

番号	発表者	所属	タイトル	発表雑誌名 ページ番号
1	佐藤	名古屋大学	Role and opportunities of photonics in future networks	Proceedings of IEEE Photonics Society Winter Topicals 2010
2	水谷健二	(株)日本電気	Demonstration of Multi-Degree Color/Direction-Independent Waveguide-Based Transponder-Aggregator for Flexible Optical Path Networks	Proceedings of European Conference on Optical Communications

10. 研究開発項目②- b) 「情報のダイナミックフロー測定と分析ツール及び省エネルギー型ルータ技術の開発」

実施機関：アラクサラネットワークス株式会社  
株式会社日立製作所  
横河電機株式会社  
(再委託) 九州工業大学

特許、論文、外部発表などの件数 (実績) 2010/6/15 現在

区分	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表など)
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
年度						
H20FY	2件	0件	0件	0件	0件	8件
H21FY	4件	0件	0件	3件	0件	15件
H22FY	1件	0件	0件	0件	0件	7件

特許リスト

番号	出願人	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	横河電機(株)	特願 2009-051733	国内	2009/3/5	出願	動作状態監視装置 およびこれを用いた 動作状態監視システム	川俣創 野口哲

2	横河電機(株)	特願 2009-054967	国内	2009/3/9	出願	システム表示装置	櫻庭祐一
3	アラカサ ネットワークス(株)	特願 2009-159826	国内	2009/7/6	出願	通信装置および経路 テーブルの生成方法	矢野 大機
4	アラカサ ネットワークス(株)	特願 2009-208291	国内	2009/9/9	出願	ネットワーク中継装置 及びメモリ制御方法	菅原健太郎
5	アラカサ ネットワークス(株)	特願 2010-042131	国内	2010/2/26	出願	パケット中継装置	小高 英男
6	(株)日立製作所	特願 2010-054230	国内	2010/3/11	出願	ネットワーク装置、 及び、転送方法	山田雅毅 日高稔
7	(株)日立製作所	特願 2010-122446	国内	2010/5/28	出願	パケット転送装置の 制御方法及び 制御装置	日高稔 矢崎武己

## 投稿論文

### 平成21年度

番号	発表者	所属	タイトル	発表雑誌名 ページ番号
1	山田、矢崎 松山、林	(株)日立製作所 アラカサ ネットワークス(株)	Power Efficient Approach and Performance Control for Routers	Green Communications, IEEE ICC 2009
2	福田、池永、 田村、内田、 川原、尾家	九州工業大学	Dynamic Link Control with Changing Traffic for Power Saving	IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN)
3	福田、池永、 田村、内田、 川原、尾家	九州工業大学	Performance Evaluation of Power Saving Scheme with Dynamic Transmission Capacity Control	2nd International Workshop on Green Communications