

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「情報システムの超低消費電力化を
目指した技術革新と統合化技術」
研究課題「ULP ユビキタスセンサのITシステム電力
最適化制御への応用」

研究終了報告書

研究期間 平成19年10月～平成25年3月

研究代表者：前田 龍太郎
((独)産業技術総合研究所
集積マイクロシステム研究センター・研究センター長)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

情報機器が集積したデータセンター (DC) を主な対象とし、その省電力化を機器稼働時の“運用効率化”により実現する。具体的には、ULP ユビキタスセンサによる消費電力量やサーバ周辺温湿度環境の“可視化”データを活用し、仮想化技術による計算機資源運用の効率化および自然換気を導入した空調レス化により大幅な省電力化を狙った。

高速なライブマイグレーション技術の開発により可能となった低負荷状態のサーバの停止、および自然換気による排熱の最大限の活用による空調消費電力の削減により、現在主流である PUE = 1.5~2.0 の DC に比較して、50%に近い消費電力量削減が可能であることを明らかにした。これらの削減効果は、実運用中のクラウドへの仮想化技術の適用や、実スケールのモジュール型 DC 模型での排熱実験で得られた成果をもとに導出したものである。さらにこれら技術の実用化における“ディペンダビリティ”への懸念は、AIST スーパークラスタで 4 ヶ月間実施した約 100 台のサーバを用いた電源 ON-OFF 繰返しや高温環境下での稼働実験により、ある程度払拭した。また、自然換気による排熱の安全性を高めること、また仮想化技術との組み合わせを考えた場合、サーバ自身の稼働状況や周辺の温湿度変化を細かくモニタリングして、環境を最適に制御する必要がある。この制御に、ユビキタスセンサを用いた。ユビキタスセンサでは、間欠送信により低消費電力化 (10 μ W レベル) を実現したプロトタイプで、大規模な社会実証実験を行い、その実用性を明らかにした。このクランプメータでは、1.5V のボタン電池で 2 年間動作することを、実際のコンビニエンスストア店舗で確認した。この実験の間、センサの改良を進め、最終的には 1 μ W レベルの端末を試作した。通常の無線センサの消費電力は 100 μ W ~ 1mW のレベルなので、1/100 から 1/1000 の低消費電力化を実現したことになる。これを実用化すれば、10,000 個以上の単位で社会に実装された端末のバッテリー交換は事実上不要となる。

機器単体の消費電力量からビジネス運用 (シンクライアント/基幹系) の DC 全体の消費電力量まで計測することで、DC での電力消費構造を、空調等を含めて明らかにした。このデータを基に、本テーマで検討する省エネ対策 (仮想化技術、モジュール構造/空調レス) の有効性と、現在から将来にわたる削減貢献目標を 200 億~400 億 kWh と定めた。この削減長期目標は、シナリオ・プランニング手法を用いて「2025 年わが国の情報社会像」を描写し、現状のトレンド (機器稼働台数、消費電力等) と整合する形で求めたものである。仮想化技術では、ライブマイグレーションの方法を大きく改善し、負荷増加の予測なしに短時間 (従来の数十秒を 1 秒未満に短縮) で仮想サーバの移動、ストレージデータを含めた移動、および IP アドレスを保持した移動などの技術を開発し、データセンターをまたがった移動も可能とした。これらの技術を用いて、負荷に合わせて運用するサーバ台数を最適化するグリッドデータセンター運用システムを開発し、数台のシステムを用いた試験的な Web サイトに適用し、30%以上の省エネ効果が得られることを確認した。これらの革新的な省エネ技術では、機器の電源を落とすことも行うため、“ディペンダビリティ”の担保が鍵となる。大規模計算機システムを用いて電源の ON/OFF を繰り返す実験を行い、故障発生頻度を僅かな増加に抑える運用が可能であることを明らかにした。

また、DC 電力消費の約半分を占める空調の消費電力削減を目的に、レイアウトの最適配置方法の検討を行い、サーバの暖気と冷気側の隔離により最大空調の 20%程度の削減があることを明らかにした。また、将来の空調レス・データセンターの要素技術として、建て屋壁面からの熱通過や自然換気による排熱の可能性を検討した。自然換気による排熱については、実験設備を用いた計測とともに、実験データに基づいて数値シミュレーションを行い、様々な条件での排気の検討を行い、換気を促進するデータセンターモジュールの設計と、換気による排熱が適用できる限界条件などの知見を得た。換気による排熱では、発熱量や外気温度の変化を把握して適切な排熱モードを選ぶことが必要であり、ユビキタスセンサによる温度や電力 (電流) のモニタリングデータを利用したシステムを構築した。自然換気のみで排熱が十分にできない場合、機械換気に切り換える必要があるが、自然換気モードでは排熱に要するエネルギーをゼロにすることができる。

ULP ユビキタスセンサについては、プロトタイプ無線電力センサ端末を数百台規模で開発し、社会実証実験を行った。国内最大のコンビニエンスストアでの実験では、60 店舗実験において、消

費電力削減だけでなく売り上げ増加につながる可能性が高く評価された。また、平均消費電力1 μW レベルの無給電型無線センサ端末の開発に成功した。さらに、将来の普及型センサ端末を構成する基幹要素部品である超小型コイルに関し、専用のパターンニング装置を開発するとともに、ガラスチューブを基材として用いて銅メッキコイルのパターニングを行ってから、パーマロイの線材をガラスチューブに通すという製造プロセス・コイル構造を提案し、コイル線幅 30 μm 、コイル高さ 5.6 μm 、ピッチ 40 μm の銅メッキ微小コイル構造を試作することができた。

(2) 顕著な成果

1. ユビキタスセンサによるコンビニエンスストアでの電力モニタリング

概要: 本プロジェクト内で実施した約 60 店舗(600 個のユビキタスセンサ)での電力モニタリング実験・分析結果がベースとなり、大手コンビニエンスストア国内全店(約 14,000 店)へのモニタリングシステムの実装が進展した(2012 年 10 月完了)。このうち 2,000 店舗が、本プロジェクトで試作したセンサシステムの改良版である(NEDO 事業で実施)。また、本システムの海外展開を開始した。またバッテリー交換が不要となる端末の開発に成功した。

2. ULP 社会像の普及

概要: プロジェクトメンバーおよび外部有識者ととも、ユビキタスセンサが普及した将来社会像を、集団発想法を用いて描写した。これら社会像と、本プロジェクトチームで得られたソフト的・ハード的省エネ対策方法を合わせて、日刊工業新聞社より書籍として出版した。環境に関する世界規模の国際会議 EcoDesign2009 において、4つのチームの成果を発表するセッションをつくり、各チームの成果を世界に向けて発信した。

3. 高速ライブマイグレーション機構の開発

概要: 仮想マシンを片寄せして電源を落とすために必要となるライブマイグレーションにおいて、瞬間的(1秒未満)に実行ホスト切り替える機構を開発した。複数のカンファレンスにおいて論文賞、デモンストレーション賞、最優秀ポスター賞など、多くの賞を受賞した

4. 換気型 DC モジュールを実物大設備により検証

概要: 換気による排熱を行うことで、DC の排熱エネルギーを大きく削減する DC モジュールを実スケールの設備で実証した。DC モジュールは換気の切換にユビキタスセンサで得られる情報を活用した統合システムである。

§ 2. 研究構想

(1) 当初の研究構想

本研究では、超低消費電力ユビキタスセンサ端末を開発することにより、家庭/オフィス、DC(データセンター)における情報機器の消費電力測定・可視化を計るとともに、前記データ利用したソフト(運用の適正化等)およびハード(機器省エネ化)の統合的対策により、情報システムの低消費電力化を実現することを基本コンセプトとする。さらに、社会実験を通して対策の消費電力削減効果を実証し、ULPデザイン手法としてまとめることを狙う。情報システムを対象とした、ハードからソフトまで、個別機器からシステムまでの、総合的な消費電力削減の研究は、他に例を見ない。

このコンセプトを実現するため、以下の 4 つの要素について研究を実施する。

1) ULP ユビキタスセンサの開発

情報機器の消費電力および周囲温度を無給電(バッテリーレス)・非接触で測定する無線センサ端末を、ナノインプリント技術を応用したマイクロマシニングによる高効率超小型コイルを開発し実現するとともに、各機器の消費電力と環境の温度・熱流分布を可視化するネットワーク測定システムを開発する。

2) 消費電力を削減するグリッドデータセンター運用管理システムの研究

地理的に分散された複数の DC を仮想的に統合し、DC 間で資源を共有した上で、利用者の要求に応じたサービスを最小限の計算機で運用することにより、資源の利用効率向上を図るとともに電力消費量の削減を実現する“グリッドデータセンター”の運用管理システムの研究開発を行う。

3) ULP 情報システムのデザイン

わが国の情報システムの総消費電力量の現状と将来動向を推定と、ユビキタスセンサによる情報機器等の消費電力の“可視化”と、可視化による消費電力量削減の可能性を検証する。

4) DC 電力モニタリングおよび省エネ施策実証実験

実運用中の DC のデータ(消費電力/運用状況/情報処理量など)の収集・分析と、消費電力・費用など多様な視点より将来 DC のあるべき姿を明らかにする。

これらの成果を、統合し融合させることにより、

- i) モジュラー型省エネ DC: 既存 DC への導入が容易で、稼働変化に対応した迅速管理が可能な DC プロトタイプの実現;
 - ULP ユビキタスセンサを利用した学習システム、フィードバック制御の実装
 - 局所的対応(ユビキタス温度センサと効率的な局所冷却等)による高効率冷却技術の開発
 - 負荷分散最適化を目指した仮想技術(SW)の開発(電力上限値制御、ジョブ制御)
- ii) ユビキタスセンサによる“消費電力の可視化”とソフトハード対策による削減(一桁);
- iii) 実計測にもとづく情報システムの消費電力把握と、シナリオに基づく将来予測;

などの最終成果を狙う。

(2) 新たに追加・修正など変更した研究構想

中間評価(総括)

「全体として今後の成果を期待できる内容になっている。基本的な要素技術開発は評価できる。センサーのより高性能化が期待できる。実用的展開に向けたコスト、応用分野、技術発展などの検討を深め、サービス展開を考えた開発を考えるフェーズに来ている。産業的成果に結びつけるためのシナリオを適切に描いた研究方針を立てる必要がある。」

ご指摘を踏まえ、産業的成果に結びつけるため、中間評価以降に次のような活動を実施した。

- 1) NEDOの「グリーンセンサネットワーク技術の開発」プロジェクト(H23.7～)において、本ULPで試作したユビキタスセンサを改良して、大手コンビニエンスストア国内 2,000 店舗に約 17,000 個のセンサを実装した。また本プロジェクトでの「多様な情報(温湿度、ドアの開閉など)と電力プロファイルを合わせ高度分析が、効果的な省エネのために必要である」という成果を基に試作した環境センサを、現在 NEDO のプロジェクトでコンビニ 60 店舗に実装し、さらに高度分析システム(電力プロファイリングシステム)を開発中である。
- 2) 本プロジェクトの最終年度で、米国ハワイ店でのモニタリング実験まで到達した。今後、産総研でハワイ全店での電力モニタリングシステムの実装を目指す。ハワイ店で成功すれば、米国 7,500 店舗への展開が現実のものとなる。そうすると、無線ユビキタスセンサ約 10 万個を米国に実装することになり、グローバルで開発が盛んなスマートグリッド構想等に大きな影響を与えることができる。中国や東南アジアへの展開を合わせて実施すれば、ユビキタスセンサの社会普及が一挙に進むこととなり、これに伴う新ビジネス、新技術の開発が加速される。

§ 3 研究実施体制

(1)「ユビキタスセンサ」グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
前田 龍太郎	(独)産業技術総合研究所 集積マイクロシステム研究センター	研究センター長	H19.10～H25.3
伊藤 寿浩	同上	副研究センター長	同上
高橋 正春	同上	副研究センター長	H19.10～H24.3
松本 壮平	同上	研究チーム長	H21.4～H25.3
廣島 洋	同上	副研究センター長	H19.10～H25.3
銘苺 春隆	同上	主任研究員	同上
小林 健	同上	主任研究員	同上
張 毅	同上	主任研究員	H20.4～H25.3
松本 純一	同上	主任研究員	H21.4～
岡田 浩尚	同上	研究員	H22.4～H25.3
藤本 淳	同上(千葉工業大学)	招聘研究員(教授)	H23.4～H25.3
李 東健	同上	特別研究員	H20.6～H22.10
小幡 實	同上	契約職員	H20.4～H22.3
松本 光崇	(独)産業技術総合研究所 サービス工学研究センター	研究員	H19.10～H25.3

② 研究項目

IT 機器の消費電力を無給電(バッテリーレス)・非接触で測定する平均消費電力 $1\mu\text{W}$ レベルの無線センサ端末およびネットワークシステムを開発するため、以下の研究項目を実施する。

- ・高効率超小型コイル開発
- ・超低消費電力専用回路開発
- ・無線センサ端末の開発
- ・ネットワーク測定システム開発
- ・社会実証試験の実験計画

H22年度でエコデザイングループを解消し、H23年度以降は、以下二つの研究項目も本グループにて実施。

- ・ユビキタスセンサによる民生部門での消費電力把握(社会実証実験)
- ・ULP 情報システムのデザイン

(2)「グリッド」グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
伊藤 智	産業技術総合研究所情報技術研究部門	研究部門長	H19.10～H25.3
関口 智嗣	産業技術総合研究所情報通信エレクトロニクス分野	研究副統括	H19.10～H24.3
中田 秀基	産業技術総合研究所情報技術研究部門	研究グループ長	H19.10～H25.3
竹房 あつ子	産業技術総合研究所情報技術研究部門	研究員	H19.10～H25.3
小川宏高	産業技術総合研究所情報技術研究部門	主任研究員	H19.10～H23.4 H24.6～H25.3
広渕 崇宏	産業技術総合研究所情報技術研究部門	研究員	H19.10～H25.3
横井 威	産業技術総合研究所情報技術研究部門	契約職員	H20.4～H22.3
浜西 貴宏	産業技術総合研究所情報技術研究部門	研究補助員	H19.10～H24.9
穂山 空道	産業技術総合研究所情報技術研究部門	研究補助員	H23.7～H23.8

(広瀬は H22.3 まで特別研究員であり、人件費の支出を行った)

② 研究項目

地理的に分散された複数の DC を仮想的に統合し、DC 間で資源を共有することにより、設備の過剰投資抑制および資源の利用効率向上を実現しつつ、電力消費量を最適化可能な“グリッドデータセンター”の運用管理システムの研究開発を行う。

- ・運用決定モジュールの開発
- ・仮想クラスタ構築システムの開発
- ・仮想計算機システムの開発
- ・運用管理システムの開発
- ・グリッドデータセンターの実証
- ・ディペンダビリティの検討
- ・遠隔マイグレーションの開発

(3)「エコデザイン」グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
藤本 淳	東京大学先端科学技術研究センター	特任教授	H19.10～H23.3 この後産総研
河本 薫	大阪ガス 情報通信部	課長	H19.10～H23.3
柴田 善朗	住環境計画研究所	主席研究員	H19.10～H23.3
室田 泰弘	湘南エコノメトリクス	代表取締役社長	H19.10～H23.3
佐竹 正臣	京セラ(株)	2係責任者	H22.10～H23.3
後藤 亮	京セラ(株)	研究員	H22.10～H23.3

② 研究項目

情報機器の消費電力の実測値を活用し、わが国の情報システムの総消費電力量を試算することで、情報システムの省エネ施策立案に資する。わが国の民生部門からの二酸化炭素排出量削減(電力由来)を目的に、ユビキタスセンサを用いた電子・電気製品の消費電力の“可視化”の社会実証試験を実施する。

- ・情報システムの消費電力量の現状と将来動向の推定
- ・ユビキタスセンサによる民生部門での消費電力把握(社会実証実験)
- ・ULP 情報システムのデザイン

本グループは H22 年度までに完了し、これらの研究項目は H23 年度以降、ユビキタスセンサグループで推進

(4)「システム実験」グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
田村 徹也	日本電気株式会社 エネルギー事業開発本部	グループマネージャー	H19.10～H25.3
安達 隆	日本電気株式会社 マネージドサービス事業部	マネージャー	H19.10～H20.3
江田 由則	日本電気株式会社 マネージドサービス事業部	マネージャー	H19.10～H23.3
安達 忠史	日本電気株式会社 ニューソリューション開発本部	マネージャー	H19.10～H20.3

氏名	所属	役職	参加時期
鹿島 崇宏	日本電気株式会社 CSR 推進本部環境推進部	主任	H19.10～H23.3
宮永 弘之	NEC コンピューターテクノ株式会社 アウトソーシングセンター	センター長	H19.10～H23.3
村上 夏樹	日本電気株式会社 マネージドサービス事業部	主任	H19.11～H23.3
秦 智之	日本電気株式会社 IT プラットフォームソリューション事業部	主任	H20.5～H23.3
秦 智之	日本電気株式会社 IT プラットフォームソリューション事業部	主任	H23.4～H25.3
中本 信也	日本電気株式会社 IT プラットフォームソリューション事業部	マネージャー	H20.10～H22.8
中原 良文	日本電気株式会社 IT プラットフォームソリューション事業部	エキスパート	H23.4～H25.3
阿部 裕哉	NEC フィールドディング株式会社 ソリューション事業開発本部 システム展開推進部	担当	H23.4～H25.3
菅原 甚人	NEC フィールドディング株式会社 サービス技術本部 環境技術部	主任	H23.4～H25.3
鈴木 聡	NEC フィールドディング株式会社 サービス技術本部 環境技術部	環境技術部長	H23.4～H25.3
西澤 修一	NEC フィールドディング株式会社 サービス技術本部 環境技術部	技術マネージャー	H23.4～H25.3
平山 祐一	NEC フィールドディング株式会社 ソリューション事業開発本部 システム展開推進部	主任	H23.4～H25.3
松原 聡	NEC フィールドディング株式会社 LCM 事業推進本部	本部長代理	H23.4～H23.9
安本 勝彦	NEC フィールドディング株式会社 事業企画本部 サービス開発部	シニアエキスパート	H23.4～H25.3
山崎 亮三	NEC フィールドディング株式会社 サービス技術本部 環境技術部	技術マネージャー	H23.4～H25.3
久賀 義昭	NSK 株式会社 営業本部 営業第二部	部長	H23.4～H23.12
塚本 章	NSK 株式会社 営業本部 営業第二部	スペシャリスト	H23.4～H23.12
平井 浩二	NSK 株式会社 営業本部 営業第二部	スペシャリスト	H23.4～H25.3
土本 良司	NSK 株式会社 営業本部	本部長	H24.1～H25.3
金野 良紀	NSK 株式会社 営業本部 営業第二部	部長	H24.1～H25.3
竹内 仁哉	東洋熱工業株式会社 技術統轄本部 技術研究所 研究開発課	主事	H23.4～H25.3
田中 英夫	東洋熱工業株式会社 技術統轄本部	技術顧問	H23.4～H25.3
南雲 俊雄	東洋熱工業株式会社 技術統轄本部 エンジニアリング G エネルギーソリューション部	技術顧問	H23.4～H25.3
安河内 秀喜	東洋熱工業株式会社 技術統轄本部	副本部長兼エネルギーソリューション第一部長	H23.4～H25.3
柳原 茂	東洋熱工業株式会社 技術統轄本部 エンジニアリング G エネルギーソリューション部	担当課長	H23.4～H25.3

氏名	所属	役職	参加時期
吉野 一	東洋熱工業株式会社 技術統轄本部 技術研究所 研究開発課	担当課長	H23.4～H25.3

② 研究項目

- ・省エネを実現するモジュラー型データセンターのコンセプト立案
- ・データセンターの消費電力実態調査、消費電力モニタリング
- ・ユビキタスセンサを利用したデータセンターの省エネ施策の開発と実証実験
- ・省エネ施策に関する調査
- ・DC 省エネ化コンセプトの立案
- ・実験用ミニ DC の構築
- ・DC の電力モニタリング、省エネ施策の効果検証
- ・モジュール型省エネ DC の設計
- ・ユビキタスセンサを利用したモニタリング・分析・制御
- ・グリッド技術の適用
- ・モジュール型省エネ DC の提案
- ・ディペンダビリティの検討

§ 4 研究実施内容及び成果

4.1 ULP ユビキタスセンサの開発(産業技術総合研究所 ユビキタスセンサグループ)

(1) 研究実施内容および成果

本研究では、IT 機器の消費電力を無給電(バッテリーレス)・非接触で測定する平均消費電力1 μ W レベルの無線センサ端末、およびネットワークシステムを開発するため、1) 高効率超小型コイル開発、2) 超低消費電力専用回路開発、3) 超低消費電力無線センサ端末の開発、4) ネットワーク測定システムの開発、5) 社会実証実験の実験計画策定を行った。

図 1-1 に示すような高効率超小型コイル作製専用パターンニング装置を開発した。コイル形状のリソグラフィーを行う際には、まずアライメント用 He-Ne レーザにより、整列した両端の回転ステージとワイヤ回転偏心防止機構を通して、円形断面基材を設置する。そして、設計コイル寸法から生成された自動制御プログラムにしたがって基材が回転されるとともに、He-Xe 光源から出た光が狭帯域干渉フィルタ、マスク、組みレンズ B、鏡、結像レンズ C を透過して、1/2 に縮小されたマスク像が基材表面に結像されて、所要の微細コイルパターンのリソグラフィーが行える仕組みになっている。

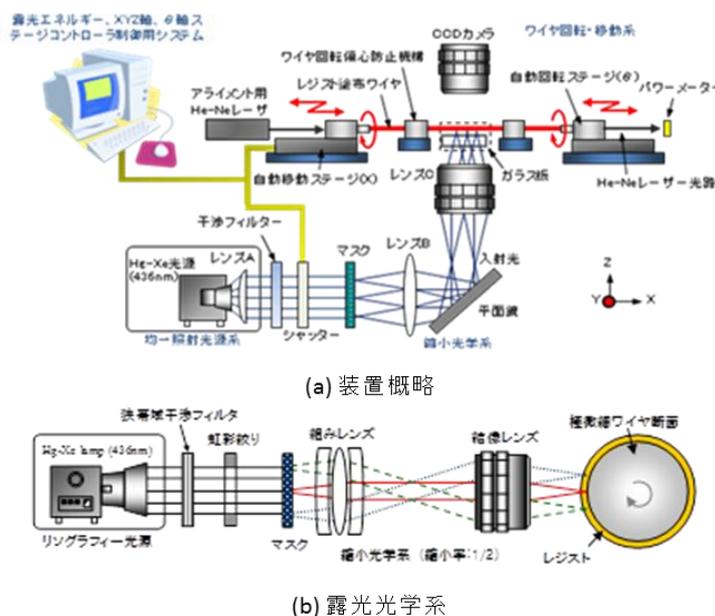


図 1-1 高効率超小型コイル作製専用パターンニング装置

この装置を用いて、エポキシ樹脂で表面被覆したパーマロイ芯材に直接銅メッキ微小コイルパターンを形成したものと、ガラスチューブ芯材表面に微小コイルパターンを形成したものの2種類のコイルを製作することができた。まず前者については、図1-2に示すように、コイル線幅約 $30\ \mu\text{m}$ 、コイル高さ $5\ \mu\text{m}$ 、ピッチ $40\ \mu\text{m}$ 、内径約 $630\ \mu\text{m}$ 、コイル長さ 8mm 、両端電極部 2mm 、コイル巻き数200の銅メッキ微小コイルを作製することができた。この構造では、径 $630\ \mu\text{m}$ のパーマロイを芯材として用いたが、この芯材は曲がりやすいため歩留まりが悪く、またコイルの実装時に破損しやすいという問題が生じていた。この問題を解決するため、図1-3に示すように、外径 1mm 、内径 $600\ \mu\text{m}$ のガラスチューブを基材として用いて銅メッキコイルのパターニングを行い、作製後にパーマロイの線材をガラスチューブに通すという製造プロセス・コイル構造を採用することにした。銅メッキプロセスについては、シード層としてAu膜をコイル形状にパターンニングし(図1-4)、その後Auシードパターン上に直接銅メッキを行った。図1-5にガラスチューブ上に形成した、コイル線幅 $30\ \mu\text{m}$ 、コイル高さ $5.6\ \mu\text{m}$ 、ピッチ $40\ \mu\text{m}$ の銅メッキ微小コイル構造を示す。従来は円形断面基材へのパターンニングは、一筆書き的な描画や、複数回露光を用いていたため、生産性に難があったが、本研究のように、円形断面基材に数 $10\ \mu\text{m}$ 以下の微細構造を連続的にパターンニングする生産加工技術は世界でも例がない。

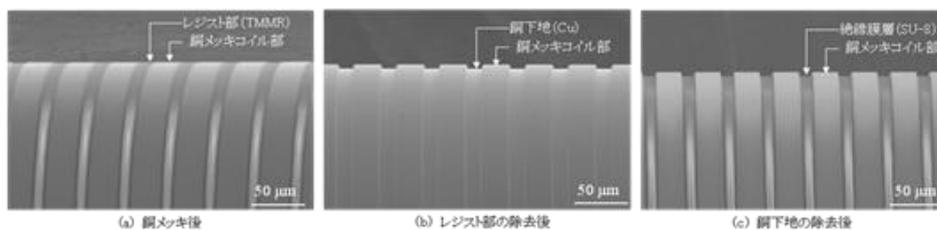


図 1-2 パーマロイ芯材上に形成した銅メッキ微小コイル

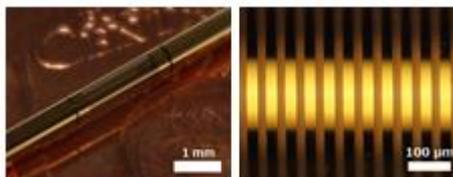
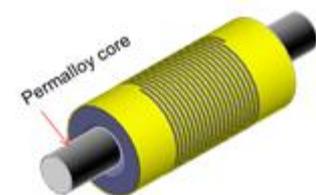


図 1-4 ガラスチューブ上に形成した Au コイルパターン

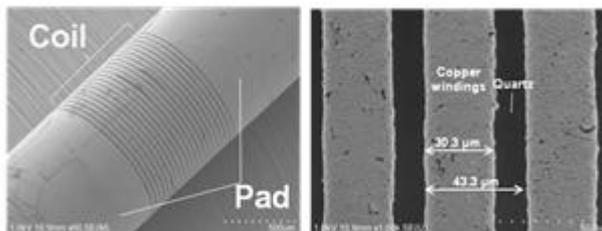
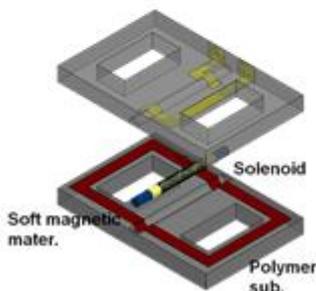


図 1-5 ガラスチューブ上に形成した銅メッキ微小コイル

図 1-3 ガラスチューブを使った微小コイル構造とそれを用いた電流センサの構造

また、電磁界シミュレーションを用いた高効率超小型コイルの最適化設計を行い、商用電源周波数でもセンサ端末における発電に十分な誘導電圧が得られること、形状としては実質上ギャップを生じないようなコア構造を採用する必要があること、コア材料・形状の最適化が重要であることなどが明らかとなった。

電磁界シミュレーションした解析例を図 1-6 に示す。解析モデルは電源プラグの片方に巻き数 200、長さ 5mm の四角形コイルを芯材 Mn-Zn 系フェライト($\mu=8000$)の四角形状 1mm×2mm に位置させ(図 1-6 (a)、(b))、芯材の切断部がないタイプ (Type A)とそれぞれ切断部が片方、両方にあるタイプ(Type B、C)に分けて(図 1-6 (c))、コイルでの誘導電圧および電流の解析を行った。その結果を図 1-6 (d) に示した。図 1-6 (d) から分かるように、芯材の切断部がない方が、切断部があるタイプより、誘導電圧が最大5倍も増大することが分かり、切断部のわずかなギャップによってもセンサの性能が大幅に損なわれることが分かり、この結果から芯材の切断部がないセンサが理想的であると言える。このような方式のセンサやギャップの狭小化により高感度センシングの可能性が分かることが分かった。

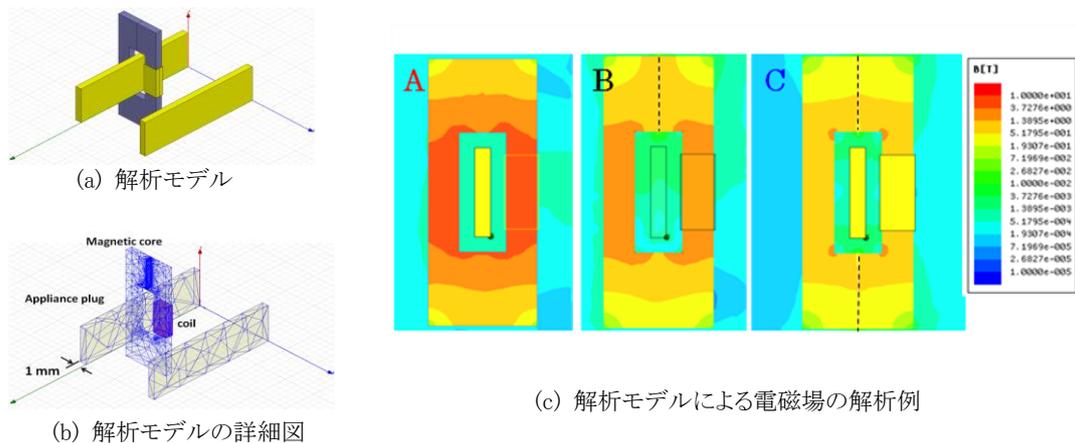


図 1-6 電磁界シミュレーションによる解析

この設計結果に基づいて、実際の検証を行うため、センサ検出部のプロトタイプ的设计、試作および誘導電圧の検出を行った結果を図 1-7 に示す。試作品では、コイルの保持、検出感度、検出部の強度、使用便利性・安全性などを考慮した結果、検出部はコンセントの端部に入れ(図 1-7 (a))、コイルはその保持のため検出部の中央にコイルを位置させることにした(図 1-7 (c))。実際の設置写真を図 1-7 (b)に示す。この際、コイルは直径 600 μ m の芯材(パーマロイ)の表面に 50 μ m ピッチで、直径 30 μ m の被覆銅線をそれぞれ 100、200 回手巻きで作ったものであった。このコイルを用い実際測定した結果を図 1-7 (d) に示した。この結果から、巻き数が 100、200 回である際、誘導電圧はそれぞれ約 3、8mV であることが分かった。この測定値は、消費電力測定に利用できるレベルであり、さらに微細な銅メッキ微小コイルを検出部に利用することで、より高精度の測定が可能になる。

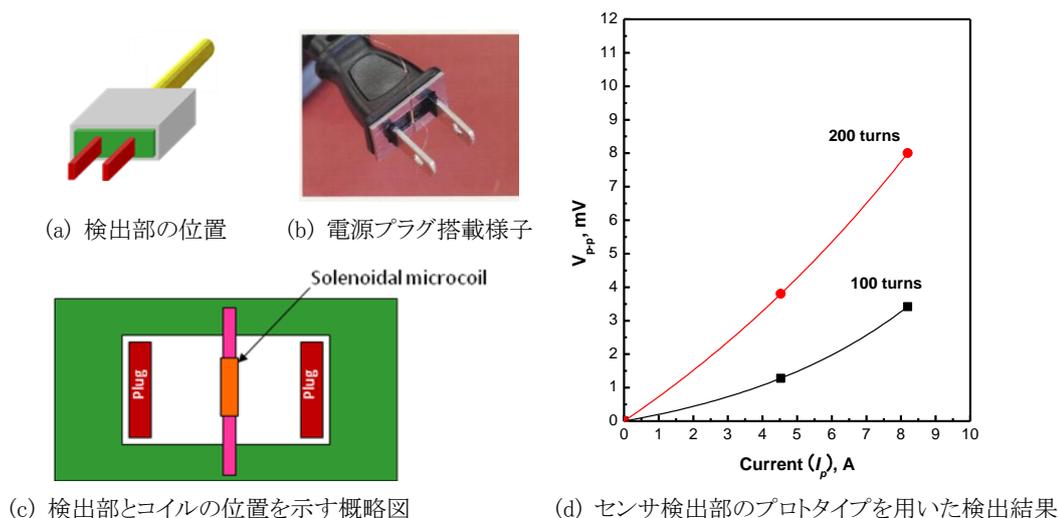


図 1-7 電流検出部のプロトタイプ的设计・試作および誘導電圧の検出結果

小型クランプ型コイルを用いた温度センサ付きプロトタイプ電力測定無線センサ端末(図 1-8)の開発・改良を行って、10 秒に1回の測定・データ送信で平均消費電力 $10 \mu\text{W}$ が可能な端末を実現するとともに、データセンターやオフィス・家庭において空調制御と組み合わせた電力制御への応用を視野に入れ、図 1-9 に示すように、携帯情報端末からもアクセス可能なネットワーク測定システムの試作を行った。また、本領域の各チームに対し配付可能な、端末 10 台からなる無線電力・温度測定システムを実現した。さらに、無線センサ端末を用いた社会実証実験に向けて、エコデザイングループと連携して実験計画を具体化した。



図 1-8 プロトタイプ電力測定無線センサ端末

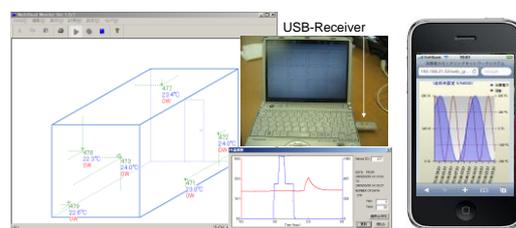


図 1-9 ネットワーク測定システムの試作

また図 1-10 の回路を開発して、実質無給電型・バッテリー交換レス(端末寿命は基準電圧参照用電池の自然放電寿命で決定)、理論平均消費電力 $1 \mu\text{W}$ 以下の無線電流センサ端末を実現した。この端末は、クランプセンサを介してコンデンサに電荷を貯め、送信可能な電圧が出力できるようになった時点で1回送信するというように動作するもので、通信頻度が、クランプセンサが挿む電線に流れる電流に比例することを利用して電力モニタリングを行う新しいタイプのセンサ端末である。通常の昇圧回路では、消費電流が mA レベルとなるため、コッククロフト・ウォルトンの倍電圧整流回路を使用するとともに、消費電力が高いタイマー素子(例えば LMC555 等では 50mA)も RC とダイオードを使用した簡単な回路で代替している。参照電圧には電池を利用しているが、平均消費電力 $10 \mu\text{W}$ 程度を許容すれば、完全バッテリーレスの端末も実現することができる。平均消費電力 $10 \mu\text{W}$ 以下の無給電無線センサ端末も世界でも例がなく、本研究が世界に先駆けて実現したものである。

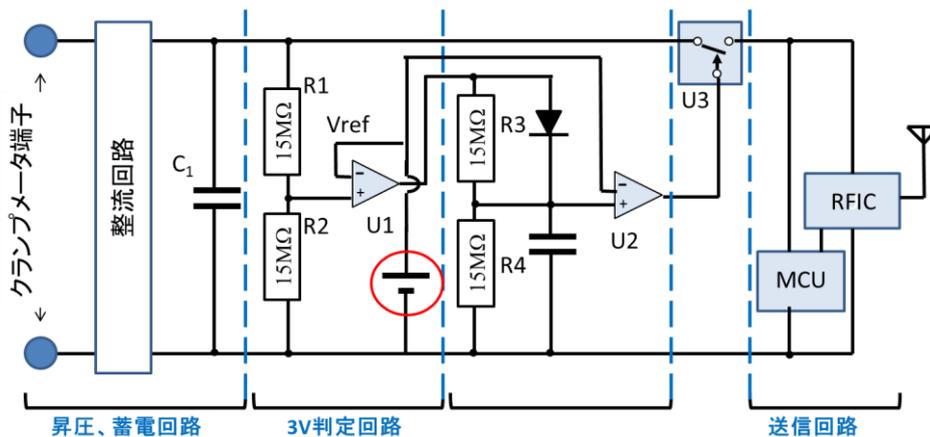


図 1-10 平均消費電力 $1\mu\text{W}$ 以下の無給電型(バッテリー交換レス)無線電流センサ端末

(2) 研究成果の今後期待される展開

開発したプロトタイプ電力測定無線センサ端末(無線クランプメータ)は、本プロジェクトでのコンビニエンスストア11店舗での社会実証実験がきっかけとなり、既に約 2,000 店舗に実装されているが、今後も海外店舗や工場での実証実験が予定されている。電力測定無線センサ端末からのデータは、省エネだけでなく、店舗や工場のマネージメントにも有効であることが実証されつつあり、今回の高効率微小コイルを使った端末が量産できるようになって、端末の低コスト化が進めば、一般家庭への普及なども視野に入っていると思われる。

また、微小コイル作成技術については、円形断面基材への微小パターン形成技術として、広く応用が可能な技術であり、例えば、温度センサプローブといったバイオ応用デバイスへの展開も可能であると考えている。

無給電型無線センサ端末については、メンテナンスフリーの電力測定センサとして有望であると考えているが、回路技術は無線センサ端末の自立電源にも応用が可能である。

4. 2 消費電力を削減するグリッドデータセンター管理システムの研究(産業技術総合研究所 グリッドグループ)

(1) 研究実施内容および成果

地理的に分散された複数の DC を仮想的に統合し、DC 間で資源を共有することにより、設備の過剰投資抑制および資源の利用効率向上を実現しつつ、電力消費量を最適化可能な“グリッドデータセンター”の運用管理システムの研究開発を行った。

データセンターにおける情報機器の稼働率は 20~30%とも言われている。近年のサーバは、負荷のかかっていない、いわゆるアイドル状態での消費電力が大きく、消費電力あたりの負荷量(仕事量)は効率的とは言えない状況である。本研究では、図 2-1 に示すように、仮想化技術を活用し、演算処理をなるべく少ないサーバで高い稼働率で動かし、使用していないサーバの電源を落とすことで、データセンターの電力消費量を削減した。このようなシナリオにより、仮想化を前提としてサーバシステムを運用するグリッドデータセンターにおいて、消費電力を最小化するための運用管理システムを開発した。

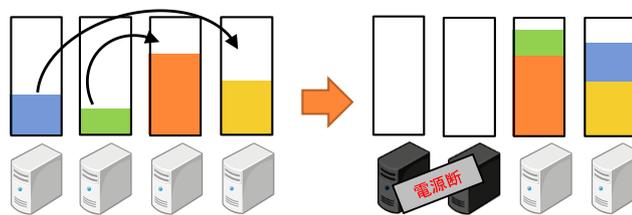


図 2-1 グリッドデータセンターの省エネ運用シナリオ

VMware、Xen、KVM など、仮想化技術は市場においても利用可能であり、上記のシナリオを実現するために、これらの仮想化技術を用いることは可能だが、サーバ単体の仮想化のみを扱っていること、仮想サーバのマイグレーションにかかる時間が長いこと、などから、効率的な消費電力の低減を行うことは難しい。そこで我々は、

グリッドデータセンターの消費電力削減を目的として、サービスの提供中に資源の利用状況や消費電力に応じて仮想クラスタの構成を変更するグリッドデータセンター運用管理システムの研究開発を行った。具体的には、(1)サービスの要求および運用方針に基づいてグリッドデータセンター内から適切に資源を選択し、システムの運用中に資源の利用状況や消費電力に基づいて構成変更を判断する運用決定モジュール、(2)運用決定モジュールの指示に従って仮想クラスタの構築・構成変更を実施する仮想クラスタ構築システム、(3)稼働中のジョブのマイグレーションを実現する仮想計算機システムの研究開発を行った。(4)その上で、これらの要素モジュールの高度化と共に、統合することによりグリッドデータセンター運用システムを開発した。(5)最終的に、これらの技術を実システムとして運用し、その効果を実証した。また、計画推進中に新たな課題として出てきた項目として、次の二つの課題について取り組んだ。(6)ディペンダビリティの検討では、サーバ電源のON/OFFを繰り返すことにより故障が増加する可能性について調査・検討した。(7)遠隔マイグレーションの開発では、遠隔地へのサーバのマイグレーションを効率化するためのプレキャッシュ機能を開発した。以下、個々の研究テーマ毎に述べる。

(1-1) 運用決定モジュールの開発

運用決定モジュールは、利用可能な計算機群の情報を保持しておき、省エネ運用のシナリオに基づいて、集約させる仮想サーバと、それらを集める物理サーバを選択し、そのリストを仮想クラスタ構築システムに渡す役割を果たす。本ソフトウェアの開発では、遺伝的アルゴリズムを用いた実装の他、整数線形計画法、およびヒューリスティックなグリーディ手法を用いた実装を行った。遺伝的アルゴリズムによる実装では、仮想サーバと物理サーバの組み合わせを遺伝子とみなし、使用する物理サーバの台数、マイグレーションのコストを評価関数として加味した。遺伝的アルゴリズムの場合、有限の時間で最適解が得られる保証はないが、十分最適に近い解が得られることが分かった。各物理マシンの消費電力を、アイドル時の固定的な消費電力量とCPU使用量に比例する部分の和としてモデル化した上で、システムの総消費電力量を最小化するため整数線形計画法とヒューリスティックなグリーディアルゴリズムの二通りで実装した。グリーディアルゴリズムにより、現実的なスケジューリング時間で消費電力削減効果の高いパッキングが可能であることを示した。

(1-2) 仮想クラスタ構築システムの開発

仮想クラスタ構築システムは、運用決定モジュールに指定された物理サーバを対象に、クラスタとしての環境を構築する役割を果たす。本システムの開発では、サンディエゴスーパーコンピュータセンターで開発されているクラスタ構築システム Rocks とサーバ仮想化ソフトウェアを組み合わせで実装した。同一ドメイン内において、複数の仮想クラスタを構築した場合に、クラスタ間で相互に接続されることが起きないように、VLAN でネットワークを排他制御した。また、Open VPN を用いて、複数サイトに跨った仮想クラスタを構築することも可能とした。

(1-3) 仮想計算機システムの開発

仮想計算機システムでは、運用決定モジュールが決定した消費電力削減のシナリオに従って、仮想サーバをマイグレーションし、不要となった物理サーバは電源を落とし、必要となる物理サーバは電源を起動する役割を果たす。従来のマイグレーションは、移動元のメモリ内容を全てコピーしてから移動先に切り替えるため 10 秒以上(場合によっては数十秒)かかっていた。本研究では、図 2-2 に示すように、レジスタやデバイス状態など、必要最小限のデータを移動先

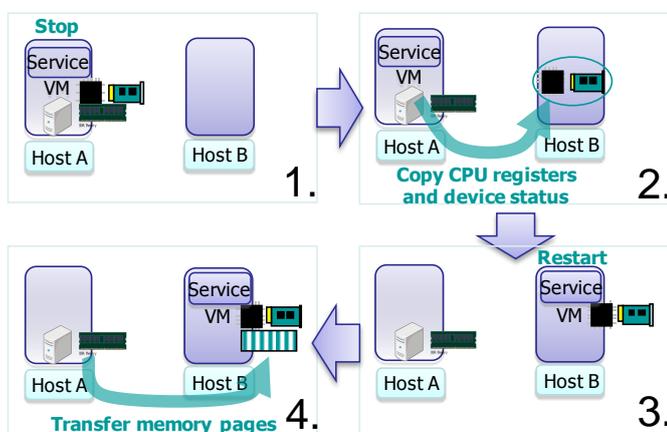


図 2-2 高速マイグレーションの動作手順

にコピーして、仮想サーバを切り替えた後にメモリをコピーする手法を提案している。この方法では、1秒未満で仮想サーバを切り替えることができるだけでなく、最終的なメモリコピーにかかる時間の短縮と仮想サーバの性能低下を抑えることが可能である。また、仮想サーバをデータセンターに跨った環境でマイグレーションするためには、仮想サーバがアクセスするストレージのデータも転送しなければならない。本研究においては、仮想サーバの移動後に、ストレージデータをインクリメンタルに転送する技術を開発し、異なるサイトへも仮想マシンをマイグレーションすることが可能となった。この手法は、仮想サーバを利用する際に広く採用されている QEmu/kvm をベースに開発しており、コミュニティにもソースを公開した。

(1-4) 運用管理システムの開発

運用管理システムは、上記三つのモジュール、運用決定モジュール、仮想クラスタ構築システム、および仮想クラスタシステムを統合し、省エネ運用を可能とするシステムである。運用管理システムは、サーバからセンサやツールを利用して、消費電力、CPU 負荷などの情報を取得し、それに基づき、各モジュールを呼び出すことで、消費電力を削減する運用を実現した。

計画当初は、グリッドデータセンター運用システムの研究開発は4年度目からを予定していたが、開発を加速するべく、3年度目から開始した。その結果、仮想マシンが必要とする CPU リソース量の情報に基づいて、可能な限り少ない物理サーバ上に集約し、不要な物理サーバの電源を落とすことを可能とした。図 2-3 に、4 台の物理サーバ(1台を倉庫サーバ、残り3台をワーカーと呼ぶ)上で7つの仮想マシンを運用した様子を示す。仮想マシンの負荷が少ない場合は、一つの物理サーバ(倉庫サーバ)上ですべての仮想マシンが動作し、残りのワーカーの電源は落とされ消費電力が削減される。負荷が大きくなって、倉庫サーバの持つリソースでは不足した場合、使われていない物理サーバの電源が立ち上げられ、負荷の高くなった仮想マシンが立ち上がった物理サーバにマイグレーションされる。再度負荷が低下すると、仮想マシンは倉庫サーバに戻され、使われていた物理サーバの電源は落とされる。本運用管理システムを、数台のシステムを用いた試験的な Web サイトに適用し、30%以上の省エネ効果が得られることを確認した。システム構築においては ACPI の S3 スリープモードが使えるマシンを使用している。

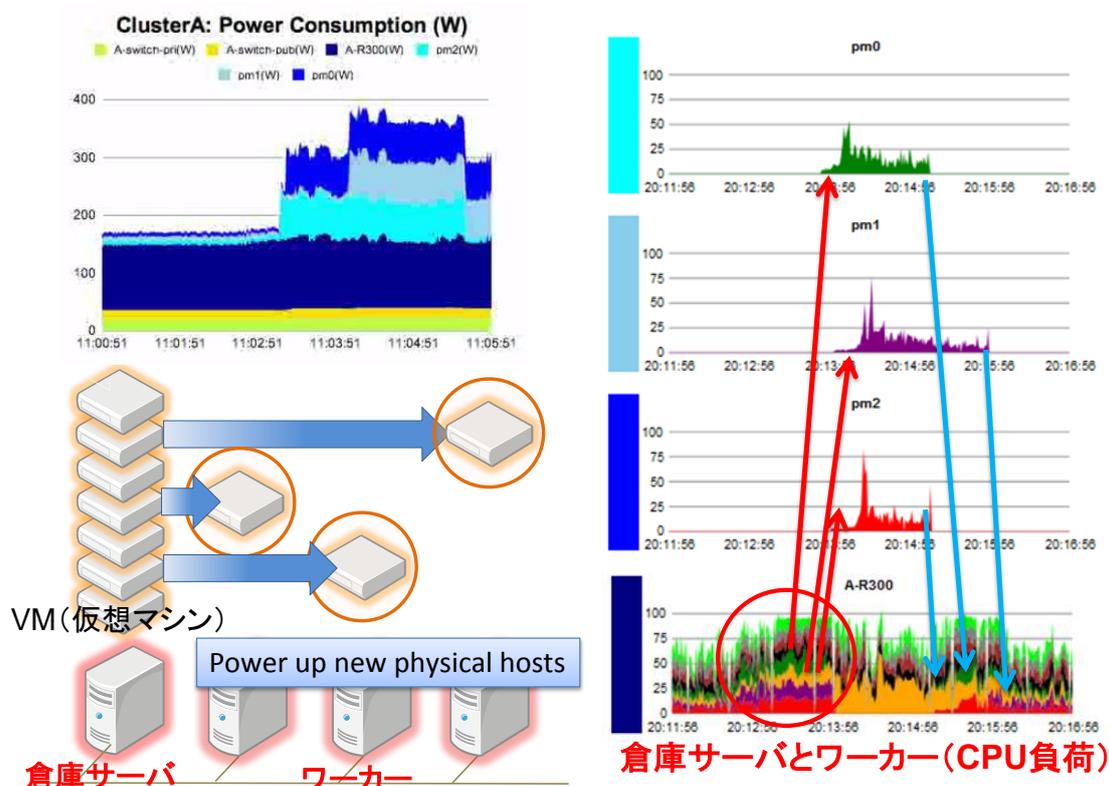


図 2-3 運用管理システムによる配置再編成の概要図

(1-5) グリッドデータセンターの実証

平成 23 年度には、グリッドデータセンター運用システムを構築するために必要なソフトウェアのパッケージ化を行った。平成 24 年度には、産総研内で運用するクラウド環境に、本パッケージを適用し、電源を落としたり、立ち上げたりすることによる影響を含めて、実運用での評価を行った。

産総研内では、1ノード8コアのマシンを16ノード備えたブレードシステム8筐体を、画像解析や様々なタスクの実行に用いている。今回、このタスクを実行するためのリソースとして、1台2コアのマシン8台を追加した。この追加した8台のマシンに、グリッドデータセンター運用システムを導入した。

これらのリソースの稼働率は70-80%程度(確認中)であるため、通常は8台のマシンが全て稼働していたが、タスクが途切れた時や少ない時には、何台かのマシンは電源を落とし、消費電力の削減が可能であり、実運用上問題ないことが分かった。

(1-6) ディペンダビリティの検討

グリッドデータセンターの省エネ運用シナリオでは、稼働していないマシンをなるべく多くし、電源を落とすことで消費電力の削減を図ろうとしている。一方で、停電後の復旧時にマシンが良く故障する、という通説があり、電源を落とすことは提供者として損失につながるため、積極的に電源を落とす操作はするべきではない、との考えもある。そこで、破棄することが予定されているマシンを使用して、高負荷を与えた場合のマシンの故障率を評価する実験を平成 22 年度に追加で実施した。図 2-4 に実験に使用した計算機とその様子を示す。2004 年度に導入した AIST スーパークラスの一部として 100 台程度のマシンを活用した。電源に電流センサを、ラックのフロントとリアに温度センサを設置した。

測定では、電源

ON/OFF を 1 時間、4 時間、24 時間毎に切り替えるマシン 10 台単位でグループ化し、4ヶ月以上に渡って実験を繰り返した。測定結果を分析した結果、電源 ON/OFF を繰り返す回数が多いと、故障を起こす確率が増えることを示すデータが得られた。そこで、データセン



図 2-4 ディペンダビリティの検討で用いた計算機

ターで運用するサーバの故障確率を考慮した電源 ON/OFF 管理の方式を検討した。サーバを構成するコンポーネントの故障を定式化した上で、導入後の運用実績を加味すると、現時点のサーバの故障確率を推定することが可能である。この情報に基づいて、電源 ON/OFF を行う候補サーバを選定することにより、省エネ運用時に電源 ON/OFF によって故障する確率を通常運用時の故障確率より低く抑えることが可能である。

また、ラック周囲の温度を 30~40 度の高温にした状態でマシンを運用した場合の性能、消費電力、故障率などについても測定を行った。今回実測に用いた計算機では、温度が高くても性能に劣化はないが、アイドル時の消費電力が高くなることが分かった。また、温度が高いことによる故障率の増加傾向は見られなかった。

なお、この検討は、「システム実験」グループと共同実施している。

(1-7) 遠隔マイグレーションの開発

遠隔地のデータセンターへ仮想マシンのマイグレーションを行う場合に、仮想マシンの OS が IP アドレスを維持したまま透過的に通信を継続可能とする Mobile IP v6 トンネリング機構を検討し、プロトタイプ実装を行った。提案機構は正しく動作し、トンネリングオーバーヘッドが僅かであることを

確認した。これにより、専用線や VPN などにより同一ドメインの環境を用意しなくても、仮想マシンの IP アドレスを変更することなく、遠隔地にマイグレーションすることが可能となった。さらに、以前 VM を動かしていたことのあるマシンに、再度マイグレーションを行う場合、メモリ内容が残っていた場合にそれを再利用することにより、マイグレーション時間を短縮することが可能であることを示した。

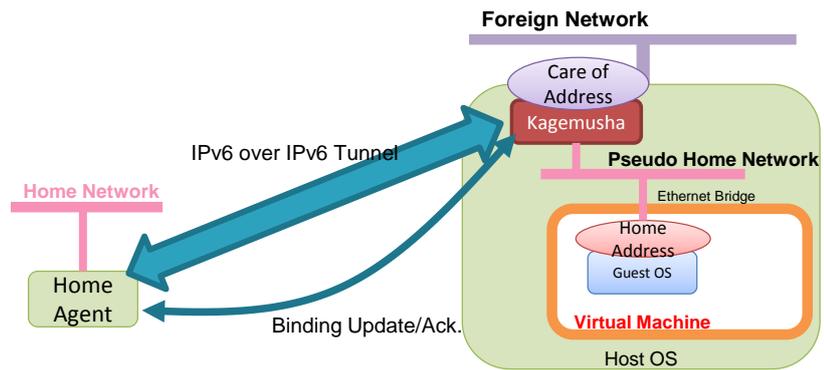


図 2-5 IP アドレスを維持した遠隔マイグレーションの機構

また、遠隔地へのマイグレーションにおいて、ストレージの全てのデータをマイグレーション時にコピーすると、マイグレーションにかかる時間が長くなってしまいう問題がある。そのため、マイグレーションに先立って、ある程度のデータを移動先に写しておく、プレキャッシュを併用することが、マイグレーションを効率的に実行するための方法として有効である。通常時は、データの更新分を、ネットワーク帯域の一部を使いながら遠隔地に順次コピーを行っておき、マイグレーションの実行時に、残りの差分を転送する方法により機能を実現した。

また、遠隔地へのマイグレーションにおいて、ストレージの全てのデータをマイグレーション時にコピーすると、マイグレーションにかかる時間が長くなってしまいう問題がある。そのため、マイグレーションに先立って、ある程度のデータを移動先に写しておく、プレキャッシュを併用することが、マイグレーションを効率的に実行するための方法として有効である。通常時は、データの更新分を、ネットワーク帯域の一部を使いながら遠隔地に順次コピーを行っておき、マイグレーションの実行時に、残りの差分を転送する方法により機能を実現した。

(2) 研究成果の今後期待される展開

今回のプロジェクトで開発した仮想マシンのマイグレーションを行うソフトウェアについては、仮想マシンを構築するソフトウェアとして広く利用されている kvm に組み込むことを目指して、コミュニティへのインプットを進めている。単独のソフトウェアとして公開するよりも、より多くのユーザに活用されることが期待される。

4.3 ULP 情報システムのデザイン(東京大学、産総研エコデザイングループ)

(1) 研究実施内容および成果

【研究の狙い】

情報機器の消費電力の実測値を活用し、わが国の情報システムの総消費電力量を試算することで、情報システムの省エネ施策立案に資する。わが国の民生部門からの二酸化炭素排出量削減(電力由来)を目的に、ユビキタスセンサを用いた電子・電気製品の消費電力の“可視化”の社会実証試験を実施し、省エネ施策を明らかにするとともに、“将来のスマートグリッド”構築に向けた情報システムの技術課題を考察する。

【研究実施方法】

わが国の情報システムからの総電力量の試算では、多種のパソコン/サーバ/データセンターの消費電力量を動作モードや機器構成を変化させて測定するとともに、統計データや機器のカタログを調査し、試算のための数値を収集した。また、将来の消費電力量の試算では、デバイスからシステムまでの情報システムの動向をヒアリングや文献により取得し整理した後、シナリオ・プランニング手法を用いて将来の情報社会像を描写し、各社会象に沿った機器台数を推定し電力量を求めた。さらに、ユビキタスセンサグループが試作した無線電力センサのプロトタイプを用いた社会実証試験を、民生業務部門(事務所(データセンターを含む)、家庭、および店舗)を対象に実施した。

【得られた成果】

わが国の情報システム総消費電力量の推定を、PC・サーバの稼働時の消費電力量の計測、および既存の DC の消費電力量調査・測定データをもとに実施した。現状(2008 年)の情報システム消費電力量は約 492 億 kWh で、わが国の電力需要(9000 億 kWh 弱)の約 6%であることを明らかに

にした。また PC およびサーバで動作モードを変えた消費電力測定より、アイドル状態の消費電力は、スタンバイや休止状態に比較して電力消費が大きく、また CPU の高負荷状態との差が小さいこと(10~30%増)、実稼働のサーバの CPU 稼働率が 10%程度低いこと(実測で確認)より、本チームで研究開発している空調運用最適化や仮想化技術の適用が進めば、DC やオフィスのマシンルームでの電力消費の無駄を排除することが可能となり、200 億 kWh 前後の削減が可能となる。この数値が、本研究の貢献目標となる。

将来の情報社会像を「シナリオ・プランニング」という思考法を活用して描写した。社会像の作成に参加した 18 名のメンバーにより、将来の情報社会像形成に大きな影響を与えかつ不確実性が大きなファクターとして、「IT の安全性・信頼性技術の進展(セキュリティ・ウイルス・品質)」と「ネットワークセンサー普及の行方」の 2 項目を選び、それらを「データやプロセッシングがどこにあるか?」、および「センサーネットワーク社会のあり様はどうなっているか(利用目的の多様化)」とそれぞれ具体化して、「主要な変化ドライバー」(シナリオの軸)として用いた。この 2 つの不確実性の現れ方によって、2×2 で 4 つの着地点(社会像)があることになる。各社会像は、4~5 名のメンバーによる集団発想法(ブレインストーミング (Brainstorming))で描写した(図 3-1)。

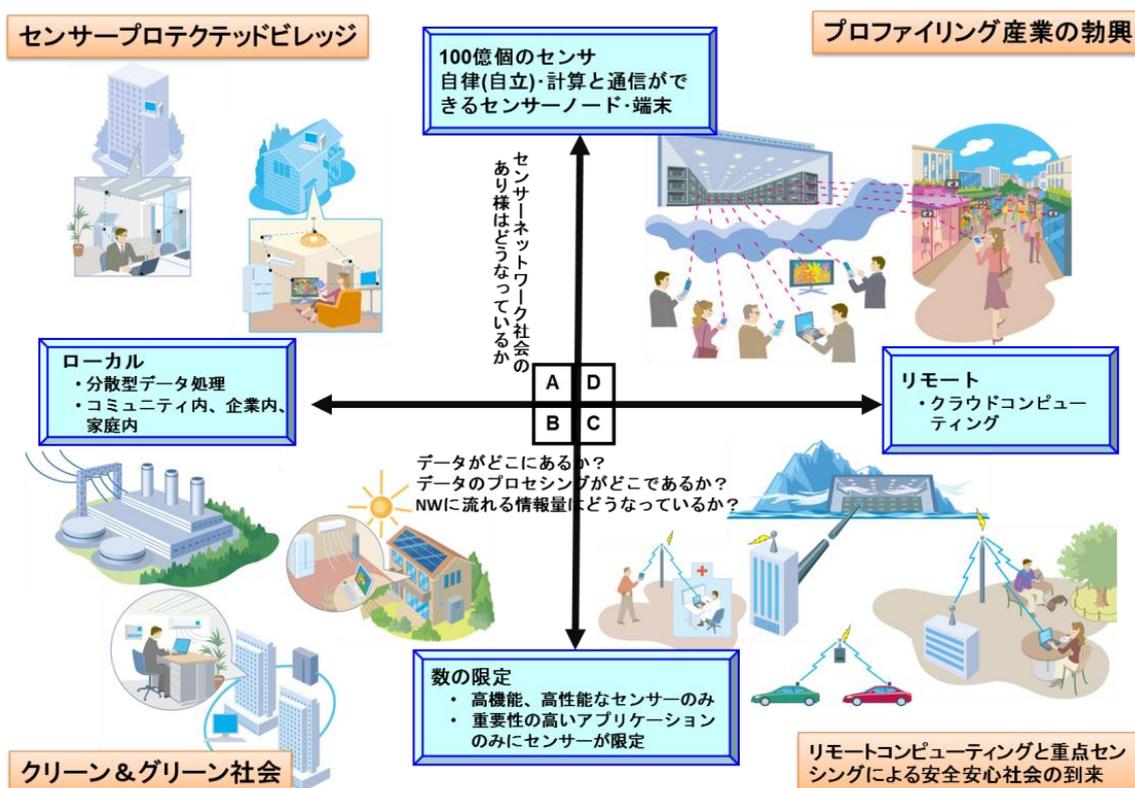


図 3-1 2025 年情報社会像

2025 年における情報通信からの電力消費量は、サーバやルータなどの稼働台数変化を各社会像で想定し、過去の出荷台数実績と整合をとり決定した。試算においては、技術進歩は“ない”と仮定した。2025 年のわが国情報機器からの消費電力量は、800~900 億 kWh であり、2008 年度の 2 倍程度、現状の総電力需要量の約 10%となった。この数値は、Green IT Initiative 等(経済産業省)での 2025 年の予測値、2,400~2,550 億 kWh の 1/2 以下となった。

社会像において、ユビキタスセンサが 100 億個以上普及し、家庭やオフィス等の EMS(Energy Management System)が社会全体で統合・最適化された SEMS(Social EMS: 需要側からのスマートグリッド)が実現された「センサープロテクトドビレッジ」/「プロファイル産業の勃興」社会では、歴大なセンサデータの流通や処理により、消費電力量が 30~90 億 kWh 増加していた。センサの普及においては、そのセンサデータの流通や処理の効率化が重要となる。このようなシナリオベース

の将来消費電力量の予測は、他にあまり例を見ないものである(予測値の後にシナリオを加えたものは存在するが)。

また、この2025年情報社会像と、システム実験グループなどの他グループの成果をまとめ、書籍として出版した(「データセンター・情報機器の電力消費のムダを切る」日刊工業新聞社、2010年9月末刊)。

無線電力センサの社会実証実験は、21年度の後半より開始した。テストオフィスでの3週間の試験で、プロトタイプの実験の安定性等やデータ処理方法等の課題を抽出し改善した後、オフィス、家庭および小型店舗など約100カ所で消費電力量のモニタリングを実施した。この内、大手コンビニエンスストアでは、60店舗に約600個の無線センサを実装し(図3-2)、現在までに16ヶ月から28ヶ月間モニタリングを継続している。また、2012年の9月より米国ハワイの店舗での実験を開始した。



図 3-2 実装した無線センサと受信機

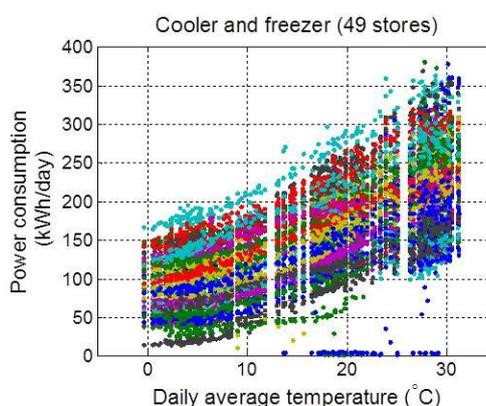


図 3-3 コンビニでの冷蔵ディスプレイの消費電力量と気温との関係(京都49店舗)

これら広範囲な社会実証実験で得られた知見を以下に示す。

1. 小型無線センサの有用性:市場に多くの測定システムが存在するが、それらに比較してシステム設置が遥かに容易であり、社会普及の実現性が高い。
2. 電力可視化の有用性:人の省エネ行動の監視だけでなく、設備機器の劣化やメンテ不良による増エネを防止できる可能性が高い(図3-3参照)。
3. 電力プロファイリングシステムの必要性:データ処理量が莫大であるだけでなく、各店舗での消費電力「個別性」より明らかなように(図3-4)、効果的な省エネ対策のためには多くのパラメータ(機器の種類・使い方・環境)を考慮する必要がある。効率的な省エネを実現するためには、大量・高度分析システム(電力プロファイリングシステム)の開発が必要となる。
4. 省エネのためのコピキタスセンサネットワークの概念:前3項に

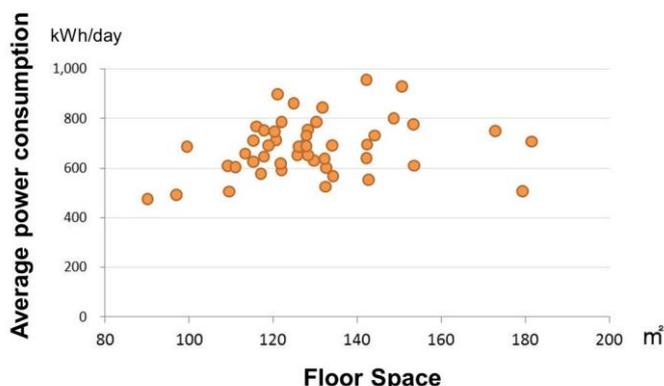


図 3-4 コンビニでの店舗面積と消費電力量(2011年8月の1日平均:京都店)

関連するが、電力変動に関係するパラメータを取得するシステムがなければ、効果的な省エネは難しい。よって”省エネ”のための”ユビキタスセンサシステム”は、電力を中心に温湿度/加速度/気圧など多様なセンサが、大量・高度分析が可能なネットワークシステムと連結された姿となる。

なお、西東京地域のコンビニでは、2010年7月より、モニタリングを実施している。電力の可視化により省エネ対策を立案し実施したところ、図 3-5 に示すように 2011 年の 8 月は 2010 年 8 月に比較して平均 10.6%の省エネを実現できた(動力系の消費電力)。

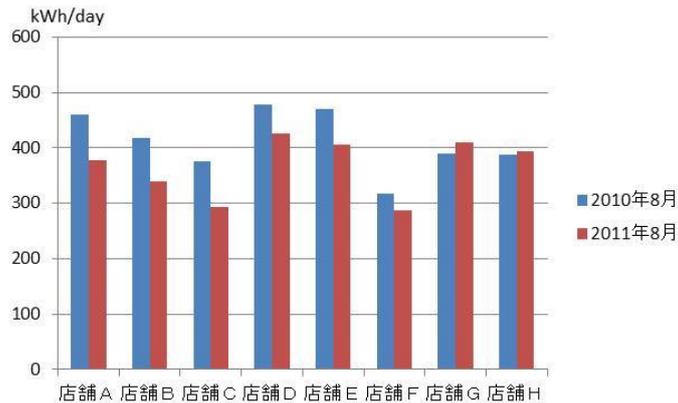


図 3-5 西東京コンビニ 8 店舗の 8 月における動力系消費電力量の比較

項目4. を受け、遠距離通信が可能な 950MHz 無線の“環境センサ”を試作し、コンビニの店内温湿度、室外機周辺の温度、ウォークイン冷蔵庫のドアの開閉のモニタリングを実施した。また、システム実験グループのデータセンサの温・湿度制御のためのツールとして供給した。

(2) 研究成果の今後期待される展開

現在までに、2,000 店舗のコンビニエンスストアに約 18,000 個のユビキタスセンサ(電力、環境)を実装した(NEDO グリーンセンサネットワークプロジェクト)。現在、多様なデータを分析して、増エネ要因を明らかにする「電力プロファイリングシステム」の開発を行っている。ユビキタスネットワークと電力プロファイリングシステムの実現により、わが国の省エネに大きく貢献できると考える。また、米国ハワイのコンビニエンスストアで実験を開始したが、この実験で一定の成果が得られれば、米国 7,500 店舗への展開が現実のものとなる。そうすると、無線ユビキタスセンサ約 10 万個を米国社会に実装することになり、グローバルに進められているスマートグリッド構想等に大きな影響を与えることができる。中国や東南アジアへの展開を合わせて実施すれば、グリーンセンサの社会普及が一挙に進むこととなり、これに伴う新ビジネスや新技術の開発が加速される。

4. 4 DC 電力モニタリングおよび省エネ施策実証実験(日本電気株式会社 システム実験グループ)

(1) 研究実施内容および成果

(1-1) 実際に運用されている DC の電力モニタリング、DC における省エネ施策の調査

モニタリングデータから DC の稼働状況が明らかになってしまうことから、DC のモニタリングデータはあまり公開されることがなく、DC の省エネ施策検討を行うため、本研究でモニタリングを実施した。シンクライアント用サーバシステム(図 4-1)、基幹業務用システムの電力(図 4-2)やラック吸気温度のモニタリングを行った。基幹業務用システムでは、空調機の消費電力と外気温度の計測も合わせて実施した。

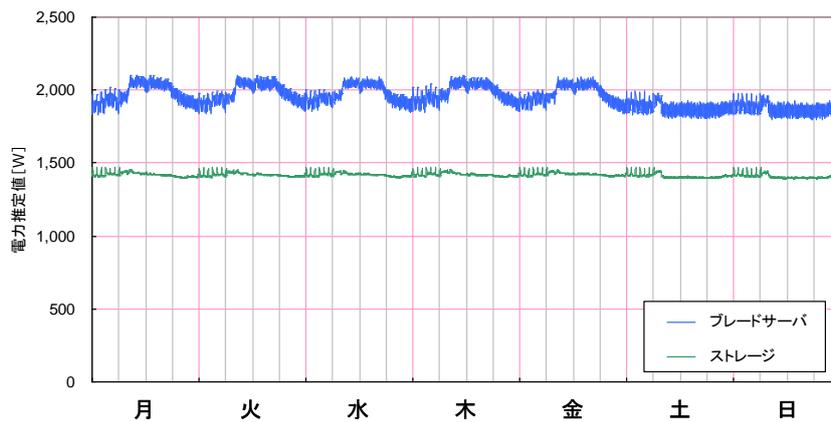


図 4-1: シングライアント用システムの消費電力

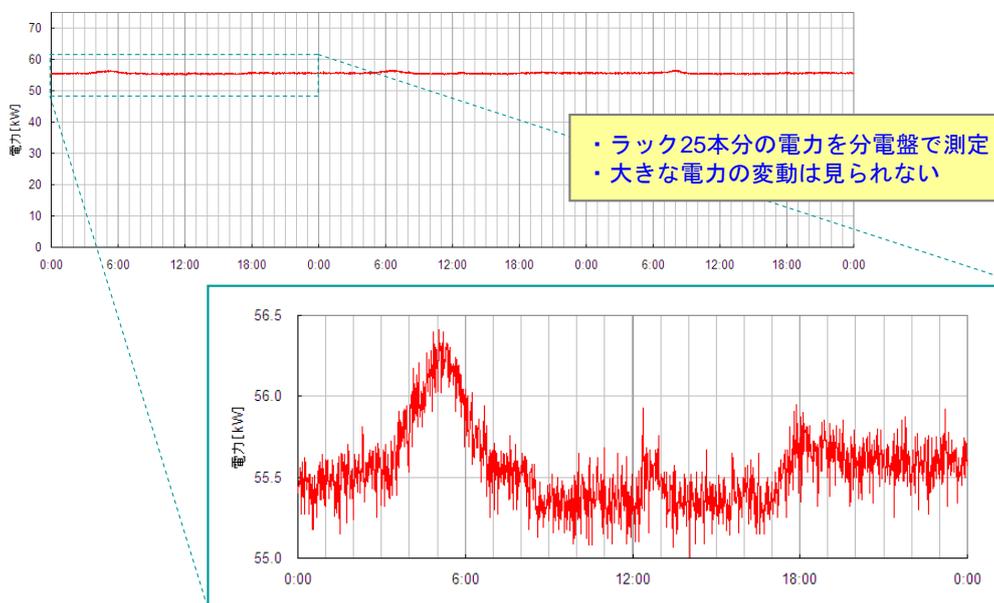


図 4-2: 基幹業務系システムのフロアの消費電力

研究開始時点では、マシン室の温度や電力消費の変動が大きく、センサを使ったモニタリングと IT 機器や空調装置の制御に省エネの可能性があると想定していたが、現状の運用に限れば、分電盤での電力の計測が容易なラック数本分の機器群単位では電力の変動は小さいことがわかった。また、空調機が稼動している状況では、温度ムラがある状態でも、ラックの吸気側の温度の変動も小さいことがわかった。

2008 年から 2009 年の時点で、社内外の DC で PUE (Power Usage Effectiveness、DC 全体の消費電力を IT 機器の消費電力で除した値で計算される) を調べたところ、1.5～2.3 で幅があり、IT 機器以外のエネルギー消費が大きいことが確認された。多くの DC で冷媒と空気の熱交換を行うパッケージ型エアコンが導入されており、空調への対策により省エネが可能であることが確認された。ヒアリングや現地調査から、DC における省エネ対策として、ラックの吸気側(冷気)と排気側(暖気)を分離するラック列の構成や、ブランクパネルの設置などが広く採用されていることがわかった。

(1-2) 機器の電力消費の特性の確認

DC には、サーバ、ストレージ、ネットワーク機器などが設置される。これらの機器では、機器の構成により消費電力に違いがあり、稼動状況により電力消費が変動する。特にサーバの電力消費は

稼働率(CPU 使用率)に応じて変動が大きい。図 4-3 に示すように、CPU の世代更新ごとにアイドル時の消費電力は小さくなってきてはいるが、サーバ仮想化技術やサーバ統合によりアイドル状態のサーバを減らすことで、消費電力の削減が可能である。また、メモリやストレージの搭載量が増えると消費電力が大きくなるため(図 4-4)、省電力化の観点では、用途に応じて必要最小限の構成にすることが望ましい。

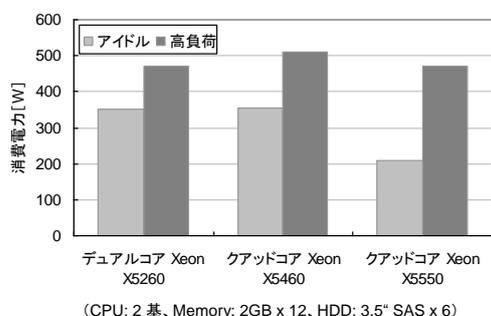


図 4-3: CPU タイプと消費電力の違い

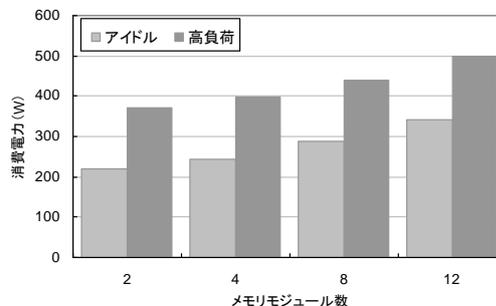


図 4-4 メモリ搭載量による消費電力の違い

(1-3) サーバルームの空調に関する検討

データセンターの消費電力のうち、空調の消費電力が占める割合が大きい。フリークーリングや外気空調が導入できるファシリティは限られており、大きな設備変更をとまなわない空調について、フロア内のエアフローの改善の可能性の観点から、数値シミュレーションを用いて検討した(図 4-5)。

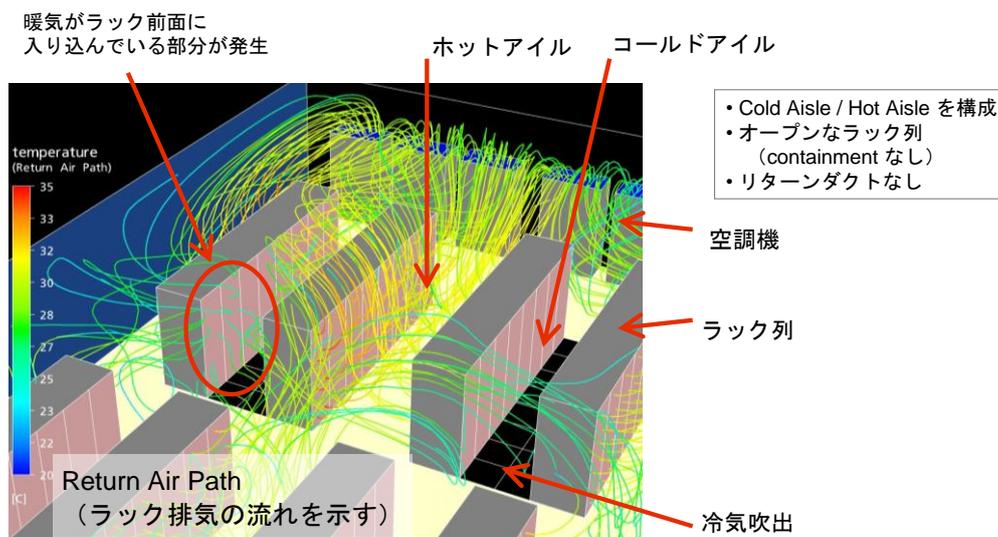


図 4-5: 数値シミュレーションによるフロアのエアフローの検討

ラック列の囲い込みや、フロアファンの制御などによりラック前面の温度ムラを小さくできれば、冷気供給温度の設定を上げ、空調機の負荷を下げることができ、省エネルギーにつながる。冷気と暖気を物理的に分離することは有効な対策であるが、フロアの圧力のコントロールが難しくなる場合もある。

DC のマシンフロアは、床面積や天井の高さにかなりばらつきがあり、また設置される IT 機器も様々であるため、空調改善には個別対応が求められる。これらのばらつきを減らす方法として、標準的な構成単位(モジュール)を決め、モジュールの組合せでDCを構築する方法の適用を想定した。この方法では、ITシステムの規模、発熱量、空調効率、構築コスト、運用などの観点から適切なモジュールのサイズを決めることが重要である。標準的なDCの定義が困難であることから、汎用の

省エネ DC モジュールの設計を検討できていないが、排熱方式の観点からの DC モジュールの検討を行うこととした。

(1-4) DC における排熱方法の検討

DC の消費電力を大きく削減するため、空調を見直すこととした。本研究では、DC におけるエネルギーを使用しない排熱方法を目指し、密閉して境界面からの熱通過のみによる排熱の可能性と、換気による排熱の可能性を検討した。6~8 ラック程度を格納できるフロアサイズの DC モジュールを想定し、サイズを 1/10 に縮小したモデルと、数値シミュレーションを併用し、排熱の可能性を検討した。熱通過のみで発熱量と同量の熱量を排出する平衡状態では、マシン室内が IT 機器の動作保証温度を超えて高温になる。熱放射やフィンによる放熱面の拡大で平衡状態でのマシン室内温度を下げることはできる。一方、換気による排熱では、DC モジュールに適切な開口部を設け、モジュール内部で暖気がラックの吸気側に回り込まないようにすることで、サーバで暖められた排気の上昇を利用して、サーバの排熱を DC モジュールの外に出すことができることがわかった。図 4-6 に数値シミュレーションでの仕切板の効果の検討例を示す。本研究では換気による排熱を中心に検討を進めることとした。

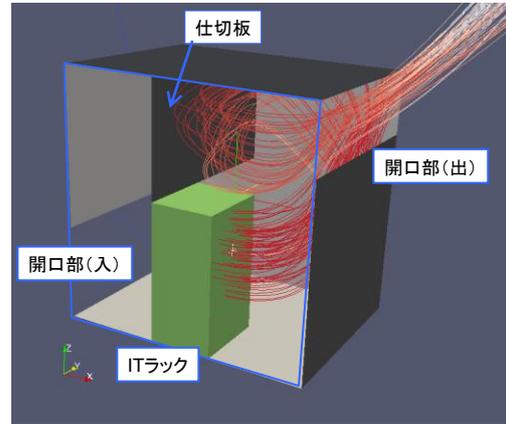


図 4-6: 数値シミュレーション結果(ラック背面からの排気の流線を表示したもの)
ラック上部の仕切りにより、暖気の回りこみを抑制している。

(1-5) 換気による排熱を可能にするモジュールの検討

数値シミュレーションのみではモデルの検証が困難であり、また動的な条件の変化も再現できないため、実スケールの実験装置を構築し(図 4-7)、サーバの発熱・排気を再現する模擬負荷を設置して換気による排熱の実験を行った。実験結果と数値シミュレーションのモデルの整合性を高め、数値シミュレーションの精度を高めることで、様々な内部の条件などを検討した。

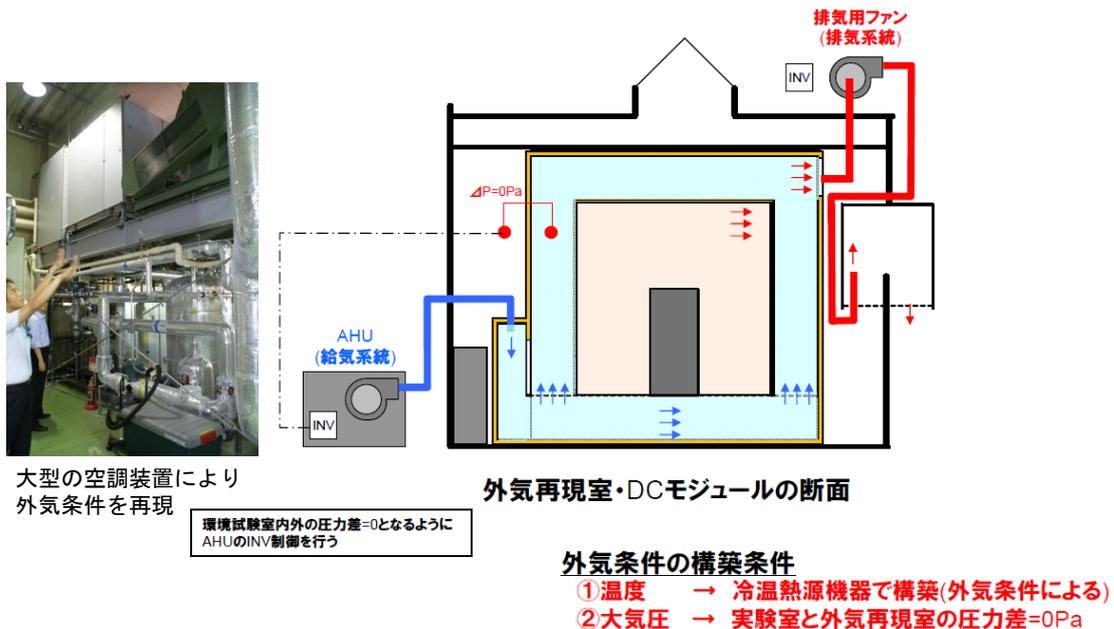


図 4-7: 実験設備の構築

DC モジュールの天井高さが 4m 程度確保でき、開口部の抵抗がない、ラックあたり発熱量が 6kW(ラック 6 本設置)という換気に有利な条件では、外気温度のみを条件に適用期間を算定すると、年間の 50%以上の時間で自然換気のみで排熱できる可能性がある(図 4-8)。適切な仕切板の設置により、さらに適用可能時間を延ばすことができるが、IT 機器の動作条件を満たすには、湿度や塵埃の影響を回避することが必要であるから、フィルタや除湿などの対策が必要である。フィルタによる通気抵抗増により換気量は大きく低下してしまう。

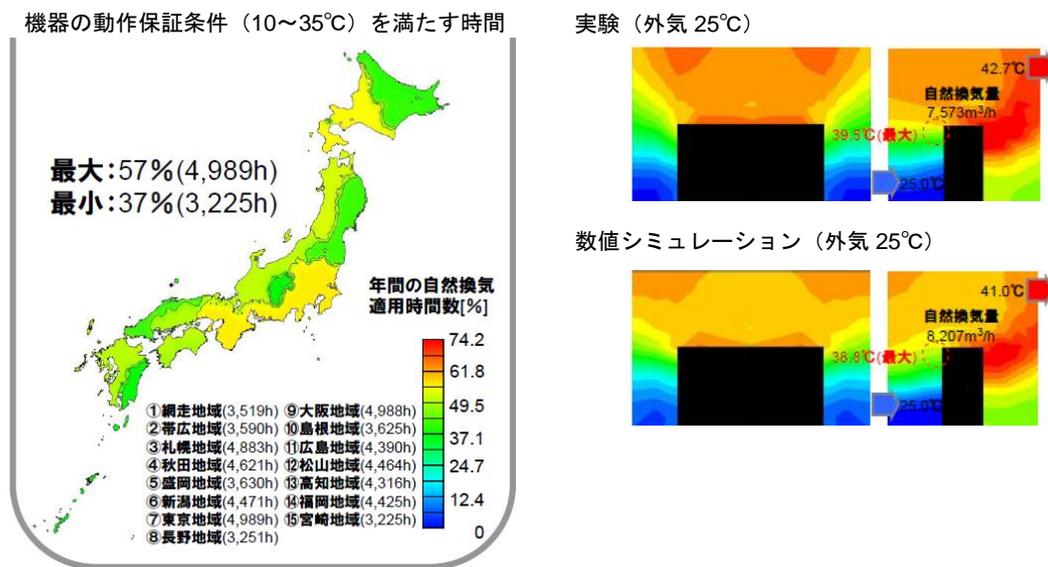


図 4-8: 自然換気で排熱可能な年間の時間数と外気温 25°Cでの温度分布

開口部が開放状態では抵抗が小さいが、実運用を想定してフィルタを設置すると通気抵抗が大きくなり、換気量が落ち、内部の温度が上昇する。また、天井の高さは 4m 程度あるほうが換気効率がよい。発熱量が大きい場合、換気のみでは排熱しきれず、ラック上部でサーバの動作保証温度を超える状況が発生する(図 4-9)。

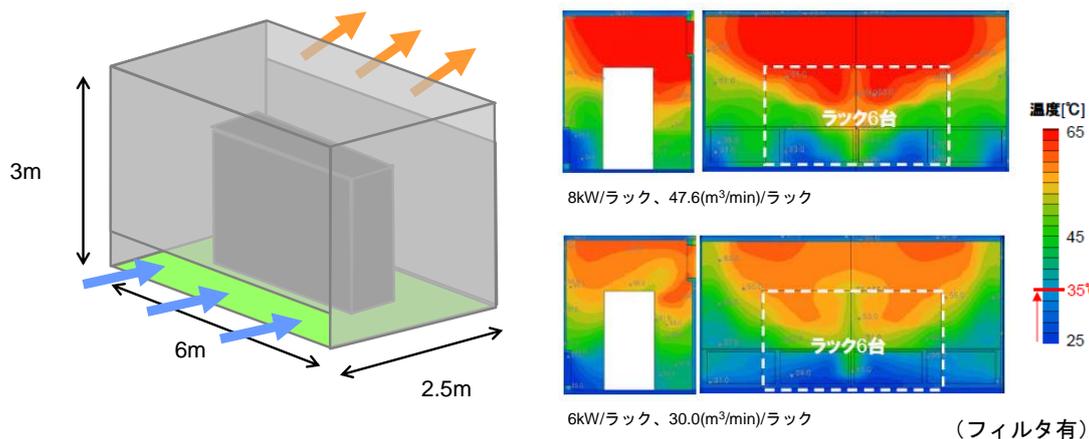
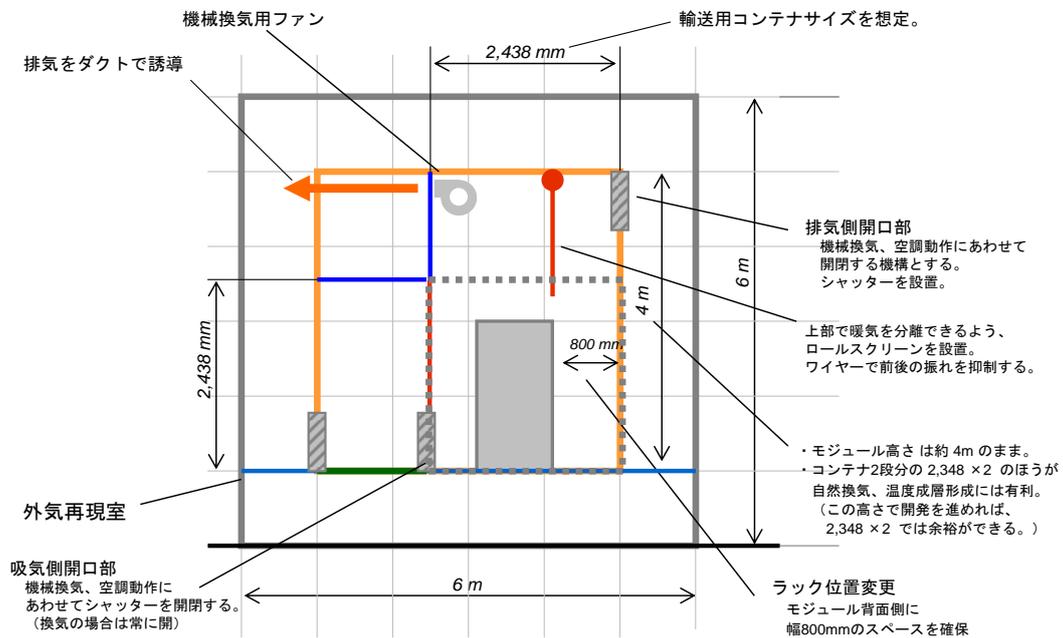


図 4-9: 自然換気のみで排熱した場合の温度分布

これらの状況から、(1) 換気による排熱を促進するように仕切板などによるエアフロー改善を行う、(2) 自然換気だけで排熱できない場合に機械換気(換気ファン使用)に切り換える(図 4-10、4-11)、という 2 つの対策を検討した。(1) ではラック前面の工夫やラック上部の仕切りの効果を検討し、ラッ

ク前面の工夫について特許を出願した。(2)では、モジュール内部の温度や外気温湿度のモニタリングにユビキタスセンサグループの研究成果である無線センサを利用した制御系を構築した。



サーバ前面、外気などの設定ポイントそれぞれで基準温度を超えたら、自然換気から機械換気への切替プロセスを起動する

ダクトのダンパ：開
(機械換気の通気経路)

ファンを最大風量で起動
(ラック風量 < ファン風量)

排気側のシャッターを徐々に閉める

ファンの風量を絞る
(ラック風量 = ファン風量)

(1) 自然換気
シャッター A：開
シャッター B：開
ダクト：閉

(2) 機械換気
シャッター A：閉
シャッター B：開
ダクト：開

図 4-11: センサ情報を活用した換気モードの切替

電力センサを利用してサーバ群の電力消費をモニタリングすることで、モジュール内部の発熱量を把握することができ、適切な換気モードを選択できる。また、サーバの発熱量の変動に起因するモジュール内部の温度の変化に先行して、換気モードを切り換えにも発展させることができる。換気モードの切替条件などの調整は必要であるが、センサと DC モジュールの換気モードの切替を連携させた省エネ運用システムを構築することができた。

また、グリッドグループのシステム運用技術の適用により IT 機器の発熱量が変動するが、発熱量

に対応した換気モードを選択することで、消費電力を大きく削減することができる。発熱量を抑えられる場合には自然換気の可能性が高まるが、機械換気で排熱できる発熱量の上限を超えないようにシステムの稼働状況に上限を設定することもできる。

年間を通して自然換気と機械換気の組合せだけで DC 運用が可能な地域は限定されるが、換気による排熱が可能な期間は DC の pPUE ($(\text{排熱の電力} + \text{IT 機器電力}) / \text{IT 機器の電力}$) を 1.0 に近い値で運用することができる。空調機により排熱する DC では pPUE を 1.2~1.4 程度とすると、20~30%程度の省エネとなる。

(2) 研究成果の今後期待される展開

本研究の開始と同時期に The Green Grid が設立され、DC の電力効率指標である PUE (Power Usage Effectiveness) が標準的な指標として広まるとともに、様々な省エネルギー対策や成功事例も共有されるようになった。また、グリーン IT 推進協議会や日本データセンター協会でも、DC の省電力化の取組みや方策が共有されるようになってきている。また、コンテナ型 DC やモジュール型 DC、外気空調なども広まっており、DC の省エネに関する状況は大きく変化した。

本研究では、ファンを使用しない換気による排熱方式により、大幅な DC の省電力の可能性を確認できたが、DC を設置できる条件を拡大するため、低温期に暖気をモジュール内部に戻す機構や、高温度・高湿度の場合に空調との連携を行うシステムを完成させる方向で研究開発を継続しており、DC の構築オプションの一つとしてビジネスへの展開を図る。

§ 5 成果発表等

(1) 原著論文発表 (国内(和文)誌 23 件、国際(欧文)誌 24 件)

1. 広淵崇宏, 横井威, 江原忠士, 谷村勇輔, 小川宏高, 中田秀基, 田中良夫, 関口智嗣, 複数サイトにまたがる仮想クラスタの構築手法, 第 6 回先進的計算基盤システムシンポジウム(SACSIS2008), 情報処理学会, pp.333-340, Jun 2008
2. Takahiro Hirofuchi, Takeshi Yokoi, Tadashi Ebara, Yusuke Tanimura, Hirotaka Ogawa, Hidemoto Nakada, Yoshio Tanaka, and Satoshi Sekiguchi, A Multi-Site Virtual Cluster System for Wide Area Networks, In Proceedings of the First USENIX Workshop in Large-Scale Computing, Jun 2008
3. 中田秀基, 横井威, 江原忠士, 谷村勇輔, 小川宏高, 関口智嗣, 仮想クラスタ管理システムの設計と実装, 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム(ACS19), 情報処理学会, pp.13-24, Aug 2008
4. 広淵崇宏, 小川宏高, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想クラスタ遠隔ライブマイグレーションにおけるストレージアクセス最適化機構, 情報処理学会研究報告(2008-HPC-116), 情報処理学会, pp. 19-24, Aug 2008
5. 小川宏高, 中田秀基, 広淵崇宏, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想クラスタのステートレス化のための Rocks 5 ディスクレス化機構, 情報処理学会研究報告(2008-HPC-116), 情報処理学会, pp. 31-36, Aug 2008
6. Takahiro Hirofuchi, Takeshi Yokoi, Tadashi Ebara, Yusuke Tanimura, Hirotaka Ogawa, Hidemoto Nakada, Multi-Site Virtual Cluster: A User-Oriented, Distributed Deployment and Management Mechanism for Grid Computing Environments, In Middleware Technologies for Enabling Next-generation Network Services and Applications (Proceedings of the Fourth IEEE/IFIP International Workshop on End-to-end Virtualization and Grid Management), pp.203-216, Sep. 2008
7. J. Fujimoto, T.Hata, T.Tamura, T.Kashima, Assessment of Power Consumption from ICT in Current and Future States, Proceedings of Electronics Goes Green 2008, pp339-344, Sep. 2008
8. 広淵崇宏, 小川宏高, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想クラスタ遠隔ライブマイグレーションにむけた仮想計算機ストレージの透過的再配置機構の評価, 情報処理学会研究報告(2008-HPC-117), 情報処理学会, pp. 7-12, Oct 2008

9. Dongkeon Lee, Harutaka Mekar, Hiroshi Hiroshima, Sohei Matsumoto, Toshihiro Itoh, Masaharu Takahashi, Ryutaro Maeda “3D replication using PDMS mold for microcoil”, *Microelectronic Engineering*, 86, pp.920-924, 2009.
10. 広瀬崇宏, 中田秀基, 小川宏高, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想計算機遠隔マイグレーションに対応するストレージ提供手法の比較検討, 情報処理学会研究報告(2009-HPC-119), 情報処理学会, pp. 73-78, Feb. 2009
11. Takahiro Hirofuchi, Hirotaka Ogawa, Hidemoto Nakada, Satoshi Itoh and Satoshi Sekiguchi, A Live Storage Migration Mechanism over WAN for Relocatable Virtual Machine Services on Clouds, *International Workshop on Cloud Computing (Cloud 2009)*, May 2009
12. Takahiro Hirofuchi, Hidemoto Nakada, Hirotaka Ogawa, Satoshi Itoh and Satoshi Sekiguchi, A Live Storage Migration Mechanism over WAN and its Performance Evaluation, *Proceedings of the 3rd International Workshop on Virtualization Technologies in Distributed Computing (VTDC2009)*, pp. 67-74, ACM Publishing, Jun 2009
13. Hidemoto Nakada, Takahiro Hirofuchi, Hirotaka Ogawa, and Satoshi Itoh, Toward Virtual Machine Packing Optimization based on Genetic Algorithm, *Distributed Computing, Artificial Intelligence, Bioinformatics, Soft Computing, and Ambient Assisted Living (Proceedings of International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence 2009)*, pp. 651-654, Springer, Jun 2009
14. 広瀬崇宏, 小川宏高, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想計算機遠隔ライブマイグレーションのための透過的なストレージ再配置機構, 情報処理学会論文誌:コンピューティングシステム, pp. 152-165, Vol.2, No.SIG2(ACS26), 情報処理学会, Jul 2009
15. 広瀬崇宏, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想計算機メモリの遅延再配置による高速ライブマイグレーション, 情報処理学会研究報告(2009-OS-112), 情報処理学会, Aug. 2009
16. 広瀬崇宏, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 瞬間的な実行ホスト切り替えを可能とする仮想マシンの高速ライブマイグレーション機構, 日本ソフトウェア科学会研究会資料シリーズ No.62, pp. 57-66, 日本ソフトウェア科学会, インターネットカンファレンス 2009, Oct. 2009
17. Y. Zhang, J. Lu, H. Hiroshima, T. Itoh, R. Maeda, Simulation and design of micro inductor for electromagnetic energy scavenging at low AC frequency in wireless sensor network, *Power MEMS 2009, Technical Digest, The 9th International Workshop on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications*, pp. 253-256, Dec. 2009
18. Dongkeon Lee, Harutaka Mekar, Hiroshi Hiroshima, Sohei Matsumoto, Toshihiro Itoh, Masaharu Takahashi, Ryutaro Maeda, 3D UV-microreplication using cylindrical PDMS mold, *Microsystem Technology*, 16, pp.1399-1411, 2010.
19. Takahiro Hirofuchi, Hidemoto Nakada, Satoshi Itoh and Satoshi Sekiguchi, Enabling Instantaneous Relocation of Virtual Machines with a Lightweight VMM Extension, *The 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid2010)*, pp. 73-83, IEEE Computer Society, May 2010.
20. 広瀬崇宏, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 既存 VMM への適用が容易でゲスト透過なポストコピー型仮想マシン再配置機構, 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム, 情報処理学会, Aug.2010.
21. 広瀬崇宏, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 高速マイグレーションを利用した仮想マシン配置最適化システムの検討, 情報処理学会研究報告(2010-OS-115), Aug. 2010.
22. 中田秀基, 竹房あつ子, 広瀬崇宏, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想計算機パッキングへの最

- 適化 手法の適用, 電子情報通信学会技術研究報告コンピュータシステム (SWoPP2010), 電子情報通信学会, Aug. 2010
23. Takahiro Hirofuchi, Hidemoto Nakada, Hirotaka Ogawa, Satoshi Itoh, Satoshi Sekiguchi, Eliminating Datacenter Idle Power with Dynamic and Intelligent VM Relocation, Distributed Computing and Artificial Intelligence (7th International Symposium), pp. 645--648, Springer, Sep 2010
 24. 広淵崇宏, 横井威, 江原忠士, 谷村勇輔, 小川宏高, 中田秀基, 工藤知宏, 田中良夫, 伊藤智, 関口智嗣, 複数拠点にまたがる e-Science アプリケーション環境構築を目的としたソフトウェア導入・管理機構, 電子情報通信学会和文論文誌, Vol. J93-D, No.10, 電子情報通信学会, Oct 2010
 25. Y. Zhang, D. K. Lee, H. Hiroshima, T. Itoh and R. Maeda, Soft Photolithography-based Fabrication Process of On-Chip Solenoid-type Micro Inductor for Micro Energy Application, Power MEMS 2010, Technical Digest, Proceedings of the 10th International Workshop on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications, pp.179-182, Nov., 2010.
 26. J. Fujimoto and T. Hata, Power Consumption Monitoring Using Wireless Sensor Nodes in Residential, Commercial, and Business areas for Achieving Low Carbon Society, Proceedings of Going Green Care Innovation 2010, paper No.3.8.2, Nov., 2010
 27. Dongkeon Lee, Hiroshi Hiroshima, Yi Zhang, Toshihiro Itoh, Ryutaro Maeda, Cylindrical projection lithography for microcoil structures, Microelectronic Engineering 88 (2011) 2625-2628.
 28. Toshihiro Itoh, Jun Fujimoto, Ryutaro Maeda, Application of Wireless Sensor Nodes to Commercial Power Consumption Monitoring, Proceedings of Symposium on Design, Test, Integration, & Packaging of MEMS/MOEMS (Aix-en-Provence, France, 11-13 May 2011), 227-230.
 29. 藤本淳, 秦智之, 伊藤寿浩, 無線ユビキタスセンサを用いた電力モニタリング第一報: 社会実証実験とセンサの普及課題, Journal of Japan Society of Energy and Resources, Vol. 32, No. 3, pp. 9-15, May, 2011.
 30. 藤本淳, 三谷庸, 伊藤寿浩, 前田龍太郎, 無線ユビキタスセンサを用いた電力モニタリング第二報: コンビニエンス・ストアへの応用, Journal of Japan Society of Energy and Resources, Vol. 32, No. 3, pp. 16-23, May, 2011.
 31. Takahiro Hirofuchi, Hidemoto Nakada, Satoshi Itoh and Satoshi Sekiguchi, Reactive consolidation of virtual machines enabled by postcopy live migration, Proceedings of the 5th International Workshop on Virtualization Technologies in Distributed Computing (VTDC2011), pp. 11--18, ACM Publishing, Jun 2011.
 32. 竹房あつ子, 中田秀基, 広淵崇宏, 伊藤智, 関口智嗣, 省電力化にむけた仮想計算機パッキングアルゴリズムの提案, 電子情報通信学会技術研究報告コンピュータシステム (SWoPP2011), pp. 73-78, 電子情報通信学会, Aug 2011.
 33. Takahiro Hirofuchi, Hidemoto Nakada, Satoshi Itoh, Satoshi Sekiguchi, Making VM Consolidation More Energy-efficient by Postcopy Live Migration, CLOUD COMPUTING 2011: The Second International Conference on Cloud Computing, GRIDs, and Virtualization, pp. 195--204, IARIA, Sep 2011.
 34. 広淵崇宏, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想マシンの広域ライブマイグレーションを実現するゲスト透過な Mobile IPv6 トンネリング機構, 日本ソフトウェア科学会研究会資料シリーズ, pp. 101-110, 日本ソフトウェア科学会, インターネットカンファレンス 2011, Oct 2011.
 35. 梶山空道, 広淵崇宏, 高野了成, 本位田真一, 都鳥: メモリ再利用による連続するライブマイグレーションの最適化, 情報処理学会論文誌: コンピューティングシステム, pp. 74-85, 情報処理学会, Mar 2012.

36. Takahiro Hirofuchi, Hidemoto Nakada, Satoshi Itoh, Satoshi Sekiguchi,, Reactive Cloud: Consolidating Virtual Machines with Postcopy Live Migration, IPSJ Transactions on Advanced Computing Systems, pp. 86--98, Information Processing Society of Japan, Mar 2012.
37. Takahiro Hirofuchi, Hidemoto Nakada, Satoshi Itoh, Satoshi Sekiguchi, Kagemusha: A Guest-Transparent Mobile IPv6 Mechanism for Wide-Area Live VM Migration, Proceedings of the IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium 2012 (IFIP/IEEE International Workshop on Cloud Management (CloudMan2012)), pp. 1319--1326, IEEE, Apr 2012
38. 広淵崇宏, マウリシオ・ツガワ, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想マシンの超広域ライブマイグレーションにむけたベストエフォート型状態同期機構の試作, 情報処理学会研究報告(2012-OS-121), pp. 1-8, 情報処理学会, May 2012
39. 高橋里司, 竹房あつ子, 繁野麻衣子, 中田秀基, 工藤知宏, 吉瀬章子, 省電力化のためのマッチングに基づく仮想計算機パッキングアルゴリズム, 先進的計算基盤システムシンポジウム SACSIS2012, pp. 333-340, 情報処理学会, May 2012
40. Soramichi Akiyama, Takahiro Hirofuchi, Ryousei Takano, Shinichi Honiden, MiyakoDori: A Memory Reusing Mechanism for Dynamic VM Consolidation, IEEE Fifth International Conference on Cloud Computing, pp. 606--613, IEEE, Jun 2012
41. Jun Fujimoto, Shingo Furusawa, and Akio Suzuki, Power Monitoring Using Wireless Sensor Nodes as an Effective Contribution to Power Saving in Convenience Stores, Electronics Goes Green +2012, B.4.1, Sept. 9-12, 2012
42. 広淵崇宏, 中田秀基, 工藤知宏, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想マシンに対して透過的な Client Mobile IPv6 トンネリング機構, 電子情報通信学会論文誌 B, pp. 1239-1252, Vol. J95-B, No.10, 電子情報通信学会, Oct 2012
43. 広淵崇宏, 山幡為佐久, 伊藤智, 準仮想化ページフォルトを用いたポストコピー型ライブマイグレーションの性能向上手法, コンピュータシステム・シンポジウム(ComSys2012), 情報処理学会, Dec 2012 [その他]に入るものがあるかも
44. S. Uchiyama, A. Toda, Z. Q. Yang, Y. Zhang, M. Hayase, H. Takagi, T. Itoh and R. Maeda, Novel MEMS-based fabrication technology of micro solenoid-type inductor for micro energy application, Technical Digest, The 12th International Workshop on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (in press).
45. S. Uchiyama, Z. Q. Yang, Y. Zhang, M. Hayase, H. Takagi, T. Itoh and R. Maeda, Fabrication of solenoid-type inductor by cylindrical projection lithography for micro energy application, Proc. Symposium on Design, Test, Integration and Packaging of MEMS/MOEMS 2012 (in press)
46. 松本光崇, 藤本 淳, 古澤真吾, 鈴木章夫, 無線ユビキタスセンサを用いた電力モニタリング 第三報: コンビニエンス・ストアの省電力対策への応用, Journal of Japan Society of Energy and Resources (to be published)
47. Satoshi Takahashi, Atsuko Takefusa, Maiko Shigeno, Hidemoto Nakada, Tomohiro Kudoh and Akiko Yoshise, Virtual Machine Packing Algorithms for Lower Power Consumption, Proc. IEEE CloudCom 2012, Dec 2012 (To appear).

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. T. Itoh, Y. Zhang, M. Matsumoto, R. Maeda, "Wireless Sensor Network for Power Consumption Reduction in Information and Communication Systems", Proc. IEEE Sensors 2009, Christchurch (New Zealand), Oct.25-28, 2009, pp.572-575.
2. J. Fujimoto and T. Hata, Assessment of Power Consumption from ICT in Future States based on "2025 ICT Society Scenarios", Proc. Of EcoDesign2009,

- Japan Society of Mechanical Engineers (Japan), Dec. 7-9, 2009, pp. 837-842
3. T. Hata, S. Nakamoto, T. Tamura and J. Fujimoto, Approaches for Reducing Energy Consumption in Data Centers, Proc. Of EcoDesign2009, Japan Society of Mechanical Engineers (Japan), Dec. 7-9, 2009, pp. 843-846
 4. S. Itoh, H. Nakada, T. Hirofuchi, H. Ogawa and S. Sekiguchi, Contribution of Virtualization Technologies to Reducing Data Center Power Consumption, Proc. Of EcoDesign2009, Japan Society of Mechanical Engineers (Japan), Dec. 7-9, 2009, pp. 847-852
 5. T. Itoh, Y. Zhang, M. Matsumoto and R. Maeda, Wireless Sensor Nodes for Monitoring the Power Consumption of Information and Communication Devices, Proc. Of EcoDesign2009, Japan Society of Mechanical Engineers (Japan), Dec. 7-9, 2009, pp. 853-856
 6. 秦智之, 中本信也, データセンターの省エネサービス, 精密工学会誌, Vol. 76, No. 3, 2010, pp. 272-275 (特集「環境サービスイノベーション」解説記事)
 7. Takahiro Hirofuchi, Itoh Satoshi, Green by virtualization (Improvement of Energy Efficiency in Cloud Computing), AIST TODAY International Edition, pp. 15-16, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Jun 2010
 8. 藤本淳(編集), CREST-ULP 前田チーム著, データセンタ・情報機器の電力消費のムダを切る, 日刊工業新聞社, Sept. 2010.
 9. S. Uchiyama, A. Toda, Z. Q. Yang, Y. Zhang, M. Hayase, H. Takagi, T. Itoh and R. Maeda, Novel MEMS-based fabrication technology of micro solenoid-type inductor for micro energy application, Proc. the 3rd Japan-China-Korea Joint Conf. on MEMS/NEMS, Shanghai, China, Sept. 22-24, 2012, pp. 108-109.

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

- ① 招待講演 (国内会議 4 件、国際会議 1 件)
 1. 広瀬崇宏, Morphing Cloud ～やわらかなクラウド提供基盤の開発～, グリッド協議会第28回ワークショップ, 12 月, 2009
 2. 藤本淳, ICT と環境問題: ICT 社会のエコデザイン, 電子情報通信学会 2009 年ソサイエティ大会, 9 月, 2009
 3. 伊藤智, 産総研のグリーンクラウドを支える技術, IDG ジャパン, Green Cloud Solutions 2010, 3 月, 2010
 4. Jun Fujimoto, Energy management in retailing business, GDMS 2011 (International Workshop on Green Devices and Micro Systems), Tsukuba, 2 月 9 日, 2011
 5. 藤本淳, ワイヤレスセンサネットワークシステムは省エネの救世主か?, 第 19 回 MEMS 講習会「ワイヤレスセンサネットワークシステム及びデバイスの最前線」, 2012 年 10 月
- ② 口頭発表 (国内会議 20 件、国際会議 25 件)
 1. Takahiro Hirofuchi, Hidemoto Nakada, Rocks-based Virtual Cluster Management System: GriVon, Open Source Grid & Cluster Conference, California, USA, May 12-16, 2008
 2. 広瀬崇宏, 横井威, 江原忠士, 谷村勇輔, 小川宏高, 中田秀基, 田中良夫, 関口智嗣, 複数サイトにまたがる仮想クラスタの構築手法, 第 6 回先進的計算基盤システムシンポジウム(SACSIS2008), 情報処理学会, つくば, 2008 年 6 月 11 日～13 日
 3. Takahiro Hirofuchi, Takeshi Yokoi, Tadashi Ebara, Yusuke Tanimura, Hirotaka Ogawa, Hidemoto Nakada, Yoshio Tanaka, and Satoshi Sekiguchi, A Multi-Site Virtual Cluster System for Wide Area Networks, In Proceedings of the First USENIX Workshop in Large-Scale Computing, Boston, USA, June 22-27, 2008
 4. 広瀬崇宏, 小川宏高, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想クラスタ遠隔ライブマイグレー

- ションにおけるストレージアクセス最適化機構, SWoPP 2009, 情報処理学会, 佐賀, 2008年8月4日~6日
5. 小川宏高, 中田秀基, 広渕崇宏, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想クラスタのステートレス化のための Rocks 5 ディスクレス化機構, SWoPP 2009, 情報処理学会, 佐賀, 2008年8月4日~6日
 6. J. Fujimoto, Assessment of Power Consumption from ICT in Current and Future States, Electronics Goes Green 2008+, Berlin, Germany, September 8-10, 2008
 7. Takahiro Hirofuchi, Takeshi Yokoi, Tadashi Ebara, Yusuke Tanimura, Hirotaka Ogawa, Hidemoto Nakada, Multi-Site Virtual Cluster: A User-Oriented, Distributed Deployment and Management Mechanism for Grid Computing Environments, In Middleware Technologies for Enabling Next-generation Network Services and Applications, the Fourth IEEE/IFIP International Workshop on End-to-end Virtualization and Grid Management, Samos Island, Greece, September 22-26, 2008
 8. 広渕崇宏, 小川宏高, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想クラスタ遠隔ライブマイグレーションにむけた仮想計算機ストレージの透過的再配置機構の評価, 第 117 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究発表会, 情報処理学会, 東京, 2008年10月15日
 9. 秦智之(NEC, CREST), 田村徹也(NEC), 藤本淳(東大), 日本における ICT の総消費電力量の推計と分析, エコデザイン 2008 ジャパンシンポジウム, 東京ビッグサイト, 2008年12月11日~12日
 10. 秦智之(NEC, CREST), 田村徹也(NEC), 藤本淳(東大), 熱バランスに基づくデータセンターのエネルギー消費の分析, エコデザイン 2008 ジャパンシンポジウム, 東京ビッグサイト, 2008年12月11日~12日
 11. 広渕崇宏, 中田秀基, 小川宏高, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想計算機遠隔マイグレーションに対応するストレージ提供手法の比較検討, 第 174 回計算機アーキテクチャ・第 119 回ハイパフォーマンスコンピューティング合同研究発表会(HOKKE-2009), 情報処理学会, 北海道, 2009年2月26日~28日
 12. Dongkeon Lee, Ubiquitous MEMS for Green IT Applications, MicroTechnology (Forum Innovations for Industry), Hannover, Germany, Apr. 20-24 2009.
 13. Takahiro Hirofuchi, Hirotaka Ogawa, Hidemoto Nakada, Satoshi Itoh and Satoshi Sekiguchi, A Live Storage Migration Mechanism over WAN for Relocatable Virtual Machine Services on Clouds, International Workshop on Cloud Computing (Cloud 2009), Shanghai, China. May 18-21, 2009
 14. Hidemoto Nakada, Takahiro Hirofuchi, Hirotaka Ogawa, and Satoshi Itoh, Toward Virtual Machine Packing Optimization based on Genetic Algorithm, Distributed Computing, Artificial Intelligence, Bioinformatics, Soft Computing, and Ambient Assisted Living (Proceedings of International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence 2009), Spain, 10-12, Jun 2009
 15. Takahiro Hirofuchi, Hidemoto Nakada, Hirotaka Ogawa, Satoshi Itoh and Satoshi Sekiguchi, A Live Storage Migration Mechanism over WAN and its Performance Evaluation, Proceedings of the 3rd International Workshop on Virtualization Technologies in Distributed Computing (VTDC2009), Barcelona, Spain, 15, Jun 2009
 16. Hidemoto Nakada, Takahiro Hirofuchi, Hirotaka Ogawa, and Satoshi Itoh, Toward Virtual Machine Packing Optimization based on Genetic Algorithm, Korea-Japan E-Science Symposium 2009, Sendai, Aug. 3, 2009
 17. 広渕崇宏, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想計算機メモリの遅延再配置による高速ライブマイグレーション, 情報処理学会 OS 研究会 SWoPP 2009, 仙台, 2009年8月4-6日

18. 広渕崇宏, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 瞬間的な実行ホスト切り替えを可能とする仮想マシンの高速ライブマイグレーション機構, インターネットカンファレンス 2009, 京都, 2009年10月26-27日
19. J. Fujimoto and T. Hata, Assessment of Power Consumption from ICT in Future States based on “2025 ICT Society Scenarios”, EcoDesign2009, Sapporo, Japan, Dec. 9, 2009
20. T. Hata, S. Nakamoto, T. Tamura and J. Fujimoto, Approaches for Reducing Energy Consumption in Data Centers, EcoDesign2009, Sapporo, Japan, Dec. 9, 2009
21. S. Itoh, H. Nakada, T. Hirofuchi, H. Ogawa and S. Sekiguchi, Contribution of Virtualization Technologies to Reducing Data Center Power Consumption, EcoDesign2009, Sapporo, Japan, Dec. 9, 2009
22. T. Itoh, Y. Zhang, M. Matsumoto and R. Maeda, Wireless Sensor Nodes for Monitoring the Power Consumption of Information and Communication Devices, EcoDesign2009, Sapporo, Japan, Dec. 9, 2009
23. Takahiro Hirofuchi, Hidemoto Nakada, Satoshi Itoh and Satoshi Sekiguchi, Enabling Greener Cloud Datacenters with Advanced Virtualization Technology, The 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid2010), Best Demonstration Award, Melbourne, Australia, May 17-20, 2010.
24. 広渕崇宏, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 高速マイグレーションを利用した仮想マシン配置最適化システムの検討, 情報処理学会研究報告, SWoPP2010, 情報処理学会, 金沢, 2010年8月4日
25. 中田秀基, 竹房あつ子, 広渕崇宏, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想計算機パッキングへの最適化手法の適用, 電子情報通信学会技術研究報告コンピュータシステム, SWoPP2010, 電子情報通信学会, 金沢, 2010年8月5日
26. J. Fujimoto and T. Hata, Power Consumption Monitoring Using Wireless Sensor Nodes in Residential, Commercial, and Business areas for Achieving Low Carbon Society, Care Innovation 2010, paper No.3.8.2, Vienna Austria, Nov. 2010
27. 竹房あつ子, 中田秀基, 広渕崇宏, 伊藤智, 関口智嗣, 省電力化にむけた仮想計算機パッキングアルゴリズムの提案, 電子情報通信学会技術研究報告コンピュータシステム (SWoPP2011), 情報処理学会, 鹿児島, 2011年7月29日
28. 広渕崇宏, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想マシンの広域ライブマイグレーションを実現するゲスト透過なMobile IPv6 トンネリング機構, 日本ソフトウェア科学会研究会資料シリーズ, pp. 101-110, 日本ソフトウェア科学会, インターネットカンファレンス 2011, 福岡, 2011年10月28日
29. Toshihiro Itoh, Jun Fujimoto, Rytaro Maeda, Application of Wireless Sensor Nodes to Commercial Power Consumption Monitoring, Symposium on Design, Test, Integration, & Packaging of MEMS/MOEMS, Aix-en-Provence, France, May 12, 2011
30. Takahiro Hirofuchi, Hidemoto Nakada, Satoshi Itoh and Satoshi Sekiguchi, Reactive consolidation of virtual machines enabled by postcopy live migration, Proceedings of the 5th International Workshop on Virtualization Technologies in Distributed Computing (VTDC2011), San Jose, USA, Jun 8, 2011
31. Takahiro Hirofuchi, Hidemoto Nakada, Satoshi Itoh, Satoshi Sekiguchi, Making VM Consolidation More Energy-efficient by Postcopy Live Migration, CLOUD COMPUTING 2011: The Second International Conference on Cloud Computing, GRIDs, and Virtualization, Rome, Italy, Sep. 29, 2011
32. Takahiro Hirofuchi, Hidemoto Nakada, Satoshi Itoh, Satoshi Sekiguchi, Kagemusha: A Guest-Transparent Mobile IPv6 Mechanism for Wide-Area Live

- VM Migration, The IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium 2012 (IFIP/IEEE International Workshop on Cloud Management (CloudMan2012)), IEEE, HAWAII, USA, Apr. 20, 2012
33. S. Uchiyama, Z. Q. Yang, Y. Zhang, M. Hayase, H. Takagi, T. Itoh and R. Maeda, Fabrication of solenoid-type inductor by cylindrical projection lithography for micro energy application, DTIP 2012, Cannes, France, Apr. 25-27, 2012
 34. 仮想マシンの超広域ライブマイグレーションにむけたベストエフォート型状態同期機構の試作, 広瀬崇宏, マウリシオ・ツガワ, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 情報処理学会研究報告(2012-OS-121), 情報処理学会, 沖縄, 2012年5月8日
 35. 省電力化のためのマッチングに基づく仮想計算機パッキングアルゴリズム, 高橋里司, 竹房あつ子, 繁野麻衣子, 中田秀基, 工藤知宏, 吉瀬章子, 先進的計算基盤システムシンポジウム SACSIS2012, 情報処理学会, 神戸, 2012年5月18日
 36. Isaku Yamahata, Takahiro Hirofuchi, Yabusame: Postcopy Live Migration for QEMU/KVM, LinuxCon Japan 2012, Yokohama, Japan, 2012年6月7日
 37. 竹内仁哉(東洋熱工業株式会社), 倉渕隆, 吉野一, 李時桓, 小笠原岳, 竹内綾, 落合宏, 藤間久秀, 自然換気併用型データセンターにおける省エネルギー効果に関する研究(その4)成層効率を用いた評価モデルの適用と年間消費エネルギーの検討, 平成24年度空気調和・衛生工学会大会, 札幌, 2012年9月7日
 38. Jun Fujimoto, Shingo Furusawa, and Akio Suzuki, Power Monitoring Using Wireless Sensor Nodes as an Effective Contribution to Power Saving in Convenience Stores, Electronics Goes Green +2012, B.4.1, Berlin, Germany, Sept. 9-12, 2012
 39. 竹内仁哉(東洋熱工業株式会社), 倉渕隆, 吉野一, 李時桓, 小笠原岳, 落合宏, 竹内綾, 藤間久秀, 自然換気併用型データセンターにおける省エネルギー効果に関する研究 その1 成層効率を用いた評価モデルの検討, 2012年度日本建築学会大会, 名古屋, 2012年9月14日
 40. 藤間久秀(東京大学大学院), 倉渕隆, 吉野一, 竹内仁哉, 李時桓, 小笠原岳, 落合宏, 竹内綾, 自然換気併用型データセンターにおける省エネルギー効果に関する研究 その2 実験室実験による評価モデルの適用と年間消費エネルギーの検討, 2012年度日本建築学会大会, 名古屋, 2012年9月14日
 41. S. Uchiyama, A. Toda, Z. Q. Yang, Y. Zhang, M. Hayase, H. Takagi, T. Itoh and R. Maeda, Novel MEMS-based fabrication technology of micro solenoid-type inductor for micro energy application, JCK MEMS 2012, Shanghai, China, Sept. 22-24, 2012
 42. S. Uchiyama, Z. Q. Yang, Y. Zhang, M. Hayase, H. Takagi, T. Itoh and R. Maeda, Development of novel cylindrical projection lithography technology, IUMRS-International Conference on Electronic Materials 2012, Yokohama, Japan, Sept. 23-28, 2012
 43. S. Uchiyama, A. Toda, Z. Q. Yang, Y. Zhang, M. Hayase, H. Takagi, T. Itoh and R. Maeda, Novel MEMS-based fabrication technology of micro solenoid-type inductor for micro energy application, Power MEMS 2012, Atlanta, USA, Dec. 2-5, 2012
 44. 広瀬崇宏, 山幡為佐久, 伊藤智, 準仮想化ページフォルトを用いたポストコピー型ライブマイグレーションの性能向上手法, コンピュータシステム・シンポジウム(ComSys2012), 情報処理学会, 東京, 2012年12月6日(予定)
 45. Satoshi Takahashi, Atsuko Takefusa, Maiko Shigeno, Hidemoto Nakada, Tomohiro Kudoh and Akiko Yoshise, Virtual Machine Packing Algorithms for Lower Power Consumption, IEEE CloudCom 2012, Dec 2012 (To appear).

③ ポスター発表 (国内会議 13件、国際会議 13件)

1. Takahiro Hirofuchi, A Relocatable Storage I/O Mechanism for Live-Migration

- of Virtual Machines over WAN, 2008 USENIX Annual Technical Conference, Boston, USA, June 22-27, 2008
2. Dongkeon Lee, Harutaka Mekar, Hiroshi Hiroshima, Sohei Matsumoto, Toshihiro Itoh, Masaharu Takahashi, Ryutaro Maeda, "3D replication using PDMS mold for microcoil", 34th International Conference on Micro and Nano Engineering 2008 (MNE2008), Athens, Greece, 15-18 September, 2008
 3. D. K. Lee, S. W. Youn, I. Terada, T. Itoh, M. Takahashi, R. Maeda, "A 3D Micropatterning for Cylindrical Microcircuits Based on UV Imprinting Combined with PDMS Molding Process", The 7th International Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technology (NNT08), Kyoto, October 13-15, 2008
 4. 広瀨崇宏, 小川宏高, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 遠隔ライブマイグレーションに対応した仮想計算機ストレージ再配置機構, 第 20 回コンピュータシンポジウム (ComSys2008), 東京, 2008 年 11 月 12 日~13 日
 5. Hidemoto Nakada, Takahiro Hirofuchi, Takeshi Yokoi, Hirotaka Ogawa, Satoshi Itoh and Satoshi Sekiguchi, Clusters on a "Cloud", SC08 Exhibition, Austin, USA, November 17-20, 2008
 6. 広瀨崇宏, 一歩進んだグリーン IT を実現するフレキシブル・データセンタ, TX テクノロジー・ショーケース in つくば 2009, つくば, 2009 年 1 月 23 日~24 日
 7. 李東建, 廣島洋, 伊藤寿活, 高橋正春, 前田龍太郎, PDMS モールドを用いたマイクロコイルの作製に関する研究, 2009 年度精密工学会春季大会, 東京, 2009 年 3 月 11 日~13 日
 8. 広瀨崇宏, 中田秀基, 小川宏高, 伊藤智, 関口智嗣, 第 7 回先進的計算基盤システムシンポジウム(SACSIS2009), 情報処理学会, 広島, 2009 年 5 月 28-29 日
 9. 広瀨崇宏, 産総研産業変革研究イニシアティブ「ダイナミックなクラウドを実現する仮想クラウド管理システムの開発」, 産総研オープンラボ, つくば, 2009 年 10 月 15-16 日
 10. Takahiro Hirofuchi, Hidemoto Nakada, Hirotaka Ogawa, Satoshi Itoh and Satoshi Sekiguchi, Morphing Cloud, SC09, 16-19, Nov. 2009
 11. 広瀨崇宏, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想マシンの瞬間的な実行ホスト切り替えを可能とする ポストコピー型ライブマイグレーション機構, コンピュータシステム・シンポジウム 2009 (ComSys2009), 情報処理学会, 最優秀ポスター賞, つくば, 2009 年 11 月 26-27 日
 12. Y. Zhang, J. Lu, H. Hiroshima, T. Itoh, R. Maeda, Simulation and design of micro inductor for electromagnetic energy scavenging at low AC frequency in wireless sensor network, Power MEMS 2009, Washington DC, USA, Dec. 1-4, 2009
 13. T. Itoh, Y. Zhang, M. Matsumoto, R. Maeda, "Wireless Sensor Network for Power Consumption Reduction in Information and Communication Systems", IEEE Sensors 2009, Christchurch, New Zealand, Oct. 26, 2009
 14. Dongkeon Lee, Harutaka Mekar, Hiroshi Hiroshima, Sohei Matsumoto, Toshihiro Itoh, Masaharu Takahashi, Ryutaro Maeda, 3D UV-microreplication using cylindrical PDMS mold, 8th International Workshop on High Aspect Ratio Micro Structure Technology (Harmst2009), Saskatoon, Canada, Jun.25-28, 2009.
 15. 広瀨崇宏, 他, 「クラウドデータセンタの省エネ化一歩進んだ省エネを実現する次世代データセンタ技術」, 情報処理学会創立50周年記念全国大会 デモ展示企画 今ドキッの IT @ 御殿下記念館 2010, 情報処理学会, 東京, 2010 年 3 月 8-12 日
 16. 広瀨崇宏, 中田秀基, 小川宏高, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想マシン技術とサーバー一時停止技術を利用した省エネデータセンタシステムの開発, 第 8 回先進的計算基盤システムシンポジウム(SACSIS2010), 情報処理学会, 奈良, 2010 年 5 月 27-28 日
 17. Takahiro Hirofuchi, Hidemoto Nakada, Satoshi Itoh and Satoshi Sekiguchi, Enabling Greener Cloud Datacenters with Advanced Virtualization Technology,

- The 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid2010), Best Demonstration Award, Melbourne, Australia, May 17-20, 2010.
18. D. K. Lee, H. Hiroshima, Y. Zhang, T. Itoh, and R. Maeda, Development of a cylindrical projection lithography equipment with a line scan method for patterning a solenoidal microcoil structure, The 1st Japan-China-Korea joint seminar on MEMS/NEMS for Green & Life Innovation, Tsukuba, Aug.30-31, 2010
 19. D. K. Lee, H. Hiroshima, Y. Zhang, T. Itoh, and R. Maeda, Cylindrical projection lithography for microcoil structure, Genoa, Italy, Sep.20-23, 2010
 20. 広瀨崇宏, 伊藤智, 一歩進んだ仮想化による省エネデータセンタの実現, 産業技術総合研究所オープンラボ, つくば, 2010年10月14-15日
 21. 広瀨崇宏, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想マシンの高速マイグレーション機構を利用した動的なサーバ集約システムの提案, 日本ソフトウェア科学会研究会資料シリーズ No.66, pp. 141-142, 日本ソフトウェア科学会, インターネットカンファレンス 2010 (デモンストレーション), 東京, 2010年10月25-26日
 22. 広瀨崇宏, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想化マシン技術とサーバー時停止技術を利用した省エネデータセンタ研究テストベッドの開発, コンピュータシステム・シンポジウム 2010(ComSys2010), 大阪, 2010年11月29-30日
 23. Y. Zhang, D. K. Lee, H. Hiroshima, T. Itoh and R. Maeda, Soft Photolithography-based Fabrication Process of On-Chip Solenoid-type Micro Inductor for Micro Energy Application, Power MEMS 2010, Leuven, Belgium, Nov.30 - Dec. 3, 2010
 24. 広瀨崇宏, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想マシンの高速マイグレーション機構を利用した動的なサーバ集約システムの提案, 日本ソフトウェア科学会研究会資料シリーズ, pp. 139-140, 日本ソフトウェア科学会, インターネットカンファレンス 2011 (デモンストレーション), 福岡, 2011年10月27-28日
 25. 準仮想化ページフォルトによるポストコピー型ライブマイグレーションの性能向上手法, 広瀨崇宏, 伊藤智, 先進的計算基盤システムシンポジウム SACSIS2012, pp. 36-37, 情報処理学会, ポスター, May 2012, 神戸市, 2012年5月16日
 26. Satoshi Takahashi, Atsuko Takefusa, Maiko Shigeno, Hidemoto Nakada, Tomohiro Kudoh and Akiko Yoshise, Matching-based Virtual Machine Packing Algorithm for Lower Power Consumption, SC12, IEEE ACM, ポスター, Nov. 2012 (To appear).

(4)知財出願

①国内出願 (2件)

1. (発明の名称)IT 機器用ラック, (発明者)倉瀨隆, 秦智之, 中原良文, 安本勝彦, 吉野一, 竹内仁哉, (出願人)東京理科大学, 日本電気株式会社, NEC フィールドディング株式会社, 東洋熱工業株式会社, (出願日)2012年8月22日, (出願番号)特願2012-183653
2. (発明の名称)IT 機器用ラック, (発明者)倉瀨隆, 秦智之, 中原良文, 安本勝彦, 吉野一, 竹内仁哉, (出願人)東京理科大学, 日本電気株式会社, NEC フィールドディング株式会社, 東洋熱工業株式会社, (出願日)2012年9月26日, (出願番号)特願2012-211739[特願2012-183653に基づく優先権主張での出願]

②海外出願 (0件)

③その他の知的財産権

なし

(5)受賞・報道等

①受賞

1. 2008年度ナノプリント・ナノインプリント国際会議(NNT'08) 最優秀ポスター賞
D. K. Lee, S. W. Youn, I. Terada, T. Itoh, M. Takahashi, R. Maeda, "A 3D Micropatterning for Cylindrical Microcircuits Based on UV Imprinting Combined with PDMS Molding Process", The 7th International Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technology (NNT08), Kyoto, Oct. 2008
2. 日本ソフトウェア科学会, インターネットカンファレンス 2009 論文賞
広淵崇宏, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 瞬間的な実行ホスト切り替えを可能とする仮想マシンの高速ライブマイグレーション機構, 日本ソフトウェア科学会研究会資料シリーズ No.62, pp. 57--66, 日本ソフトウェア科学会, インターネットカンファレンス 2009, Oct. 2009
3. 日本ソフトウェア科学会, インターネットカンファレンス 2009 デモンストレーション賞
広淵崇宏, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 瞬間的な実行ホスト切り替えを可能とする仮想マシンの高速ライブマイグレーション機構(デモンストレーション), インターネットカンファレンス 2009, Oct. 2009
4. 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム 2009(ComSys2009) 最優秀ポスター賞
広淵崇宏, 中田秀基, 伊藤智, 関口智嗣, 仮想マシンの瞬間的な実行ホスト切り替えを可能とするポストコピー型ライブマイグレーション機構, コンピュータシステム・シンポジウム 2009(ComSys2009), 情報処理学会, 最優秀ポスター賞, Nov 2009
5. Takahiro Hirofuchi, Hidemoto Nakada, Satoshi Itoh, Satoshi Sekiguchi, Enabling Greener Cloud Datacenters with Advanced Virtualization Technology, The 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid2010), Best Demonstration Award, May 2010

②マスコミ(新聞・TV等)報道

1. NECの最新のデータセンター省エネソリューションのデモサイトであるReal IT Coolプラザの開設のプレスリリース(2008年11月4日)にて, Real IT CoolプラザでもCRESTの省エネ実証実験をしていくことを公表したところ, 新聞各紙で報道された。

◎日経産業新聞(2008年11月5日)NEC;本社内にデモ拠点省エネデータセンターサーバー・冷却装置を検証

◎日刊工業新聞(2008年11月5日);DCの省エネ化推進NECが検証施設

◎電波新聞(2008年11月5日);NECが「REAL IT COOLプラザ」開設省エネデータセンターデモ次世代センターの検証も

2. 日本経済新聞(2010年11月2日朝刊:全国版)「セブンイレブン 空調などのムダ監視する新型センサーで店舗電力1割減を計画」大手コンビニエンスストアでの無線センサを使った省エネ活動について
3. 日経新聞(2010年12月28日朝刊:首都圏版)「省エネ無料診断、立川商工会議所、市内CO2削減へ」立川商工会議所での無線センサを活用した電力見える化の活動について
4. サンケイビズ(2011年1月13日)「ムダあぶり出すセンサー開発 セブンイレブン・ジャパン」
5. 読売新聞(2011年6月23日朝刊:多摩版)「電力見える化」で省エネ、立川商工会議所での無線センサを活用した電力見える化の活動について
6. 朝日新聞(2011年8月3日朝刊:多摩版)「電力使用、見て節電」、無線センサを活用した銀行の節電活動に関して

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開

- ・無線電力センサ端末を小型かつ安価に開発する技術を企業にライセンスし、少量ではあるが試作商品の販売にこぎつけた。
- ・大手コンビニエンスストアの西東京地区と京都市内店舗の約 60 店舗で、無線ユビキタスセンサを活用した省エネ活動を実施した(2010 年 7 月 14 日から 2012 年 7 月中旬まで)
- ・開発したプロトタイプ電力測定無線センサ端末(無線クランプメータ)は、NEDO 共同研究「グリーンセンサ・ネットワークシステム技術開発」プロジェクトのスマートコンビニ、スマートファクトリ実証実験において展開中。

②社会還元的な展開活動

- ・本研究で得られた、既存のデータセンター省エネのノウハウを、書籍にまとめ出版した。(「データセンタ・情報機器の電力消費のムダを切る」日刊工業新聞社、2010 年 9 月末刊)。

§ 6 研究期間中の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2010 年 10 月 1 日	前田チーム成果公開シンポジウム「スマートグリッドとグリーンイノベーション」	東京国際 フォーラム	約 100	前田チームのこれまでの成果をグループ毎に発表
2010 年 11 月 26 日	研究成果公開シンポジウム「グリーン IT が創る豊かな社会と強い産業」	秋葉原 UDX	約 100	前田チームのデモによる成果発表