

3. 研究活動報告

3.1 研究開発部

3.1.1 概要

○ネットワーク研究部

東北大学総合情報ネットワークシステム TAINS は、本学のキャンパスネットワークとして全学的な情報流通やコンピューティングの基盤であり、最先端のネットワークの整備、安定した運用管理、及び有効利用のために必要な技術の研究開発が必要不可欠である。ネットワーク研究部は、このような TAINS の整備・運用管理・研究開発に積極的に取り組んでいる。

(1) 学内共通情報基盤の企画・運用管理・利活用

2008 年度末に導入された第四世代の TAINS である StarTAINS は、主要な各建物を 2 本の 1Gbps でスター状に結ぶ幹線ネットワークであり、学内共通情報基盤の根幹を成すものであり、情報部情報基盤課ネットワーク係が中心となって運用および管理にあたっている。このStarTAINSの運用や利用を高度化するため、ネットワーク係を技術的に支援し、部局ネットワークの効率的な収容やホスティングサービスの利用促進、あるいは TAINS 無線 LAN システムの拡大などに貢献した。特に、本学において初となる全学ファイアウォールの導入において中心的役割を果たし、その計画立案から運用開始に至るまで幅広く貢献し、本学のネットワークセキュリティ向上に資することができた。

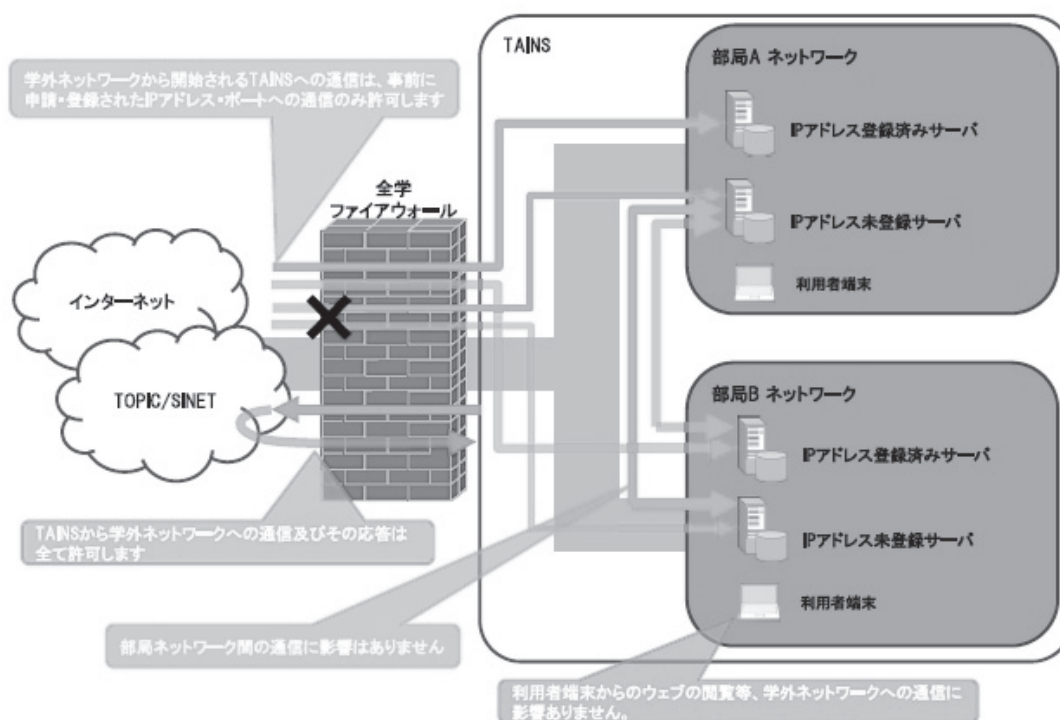


図3.1 全学ファイアウォールのイメージ

また、DNS サーバや NTP サーバを始めとする重要インフラサーバについて、ネットワーク研究部では、ネットワーク係と協同してこれらのサーバの安定運用のための技術開発を行うとともに、TAINSのネットワークサービスを構成するTAINS メール、VPN (PPTP, OpenVPN, SSL-VPN) サービス、ウイルス対策ソフト配布サービス、部局メールサーバ向けスパムメール対策データベースの提供などについて、

技術的支援を行い、サービスの安定運用に貢献した。加えて、従前の「UPKIオープンドメイン証明書自動発行検証プロジェクト」に引き続き、国立情報学研究所の「UPKI 電子証明書発行サービス」に参加するための種々の準備を進めた。

さらに、情報シナジー機構の下に置かれたネットワークワーキンググループにおいて中心的役割を果たし、TAINS の利用促進活動を行った。また、ネットワーク利用とセキュリティに関する講習会を実施するとともに、広報紙 TAINS ニュース 43 号の発行作業の中心的な役割を担い、学内におけるネットワーク活用の啓発活動を継続的に行っている。さらに上述のように、当該年度において全学ファイアウォールが導入されたが、これは副学長の下に置かれた「全学ネットワークのセキュリティ強化検討プロジェクト・チーム」の報告を受けたものであり、そのプロジェクト・チームにも参画している。

(2) 東北地区の学術研究ネットワークの発展への貢献

TOPIC は、東北地区において学術研究・教育活動を支援するコンピュータネットワーク環境の発展に貢献するための組織である。ネットワーク研究部では、TOPIC 事務局スタッフや技術部幹事として、講習会や研修会の企画・運営、あるいは東北地区の大学・高专等に対するネットワーク接続やドメイン管理等の技術的支援などを通じて、積極的に東北地区のネットワークの発展に貢献している。また、SINET を接続するノードとして、国立情報学研究所と連携し、東北地域のネットワーク環境を維持するとともに、各大学等の SINET4 データセンターへの移行等をネットワーク係とともにサポートした。特に、SINET5の運用開始が近づいてきていることを踏まえ、TOPIC仙台NOCセミナーを企画するなど、関係各所との連携をさらに深める活動を推進した。

(3) 最先端学術情報基盤の構築に係わる研究開発

大学や企業におけるネットワーク利用について、セキュリティと情報倫理の規定や制度に関する問題が重要になっている。「高等教育機関における情報セキュリティポリシー推進部会」における活動で得た知見を活かし、情報シナジー機構の下に置かれた情報セキュリティ関連規程ワーキンググループとの協同により、これまで

「国立大学法人東北大学における情報システムの運用及び管理に関する規程」、

「情報システムの運用及び管理に関する細則」、

「情報システムの利用に関する細則」、

「情報システムの非常時行動計画等に関する細則」、

「情報の格付け及び取扱制限に関する細則」

を策定してきた。今年度は

「国立大学法人東北大学におけるアプリケーションソフトウェアの技術に関する細則」

の策定において中心的な役割を果たすなど、昨年度に引き続き、よりブレイクダウンした実施手順やガイドラインの策定に向けての作業を行った。

また、長距離の超高速ネットワークの利用技術と、分散コンピューティングの技術は、ともに開発途上であり、当センター等における実証的研究が期待されている。大阪大学とともに、大学間超高速ネットワークである SINET4 を用いた遠隔分散可視化のためのネットワーク方式の実験的研究を行うとともに、仙台高等専門学校からの協定研究員との協働により、大規模・広域かつ超高速のネットワークを効果的で効率的に運用し応用するためのアプリケーション指向型運用管理技術について、分散処理、多点配信、情報収集統合化などのシステムを開発し運用する実証的研究をしている。

加えて、全国共同利用情報基盤センター長会議のもと、コンピュータ・ネットワーク研究会や認証研究会に参加し、共同研究を実施している。また、本学情報シナジー機構に置かれた認証ワーキンググループやポータルワーキンググループに参加し、東北大学における認証システムを始めとする情報基盤の確立に向けて協力した。

(4) 情報ネットワークの環境電磁工学(EMC)に関わる信頼性評価および計測方式

情報ネットワークシステムにおいて、電磁ノイズによる妨害のために情報伝送の信頼性が損なわれることがある。電磁妨害の抑制のために、放電や接触障害などの発生源と伝送ケーブルなどの伝搬路の現象を調査し、信頼性評価と計測方式を研究している。また、情報通信システムの電磁的情報漏洩の機構を解明するとともに、電磁情報セキュリティ問題へ展開し、暗号装置や PC 等の情報システムからの情報漏洩を実験的実証及び理論解析し、新分野を先導している。

今年度も昨年度に引き続き、暗号ハードウェアから秘密情報が遠方まで漏洩するメカニズムの解明やモデル化を行うとともに、能動的な情報漏洩だけでなく、故障を注入することにより、暗号ハードウェアの誤動作を誘発させ、格納されている秘密鍵などの機密情報を奪取する攻撃に関する研究を行い、その対策技術などの検討を広範に進めた。

(5) 情報セキュリティに関する基礎的研究

情報ネットワークシステムにおいて、セキュリティ確保の問題は極めて重要であり、セキュリティ確保のために広く利用されている暗号について、基礎的研究を行っている。無制限の計算能力をもつ盗聴者に対しても安全な暗号系の構築を目指し、実現が可能なための条件の解明などが検討課題である。

今年度もカードを用いた安全な計算を実現するプロトコルの効率化に取り組み、任意の関数に対する汎用的なプロトコル構成法などを開発し、成果を公表した。また、カスタムメイドのカード組の作成に取り組み、オープンキャンパスなどにおいて一般市民の方々に実際にプロトコルの実験を体験してもらっている。

(6) その他

ネットワーク研究部では、ネットワークのための基礎研究および先端情報ネットワーク環境に関する研究開発を行うとともに、大学院情報科学研究科の協力講座として教育にあたっている。

○スーパーコンピューティング研究部

スーパーコンピューティング部門は、全国共同利用設備として世界最高クラスの大規模科学計算システムの運用・管理と、本システムを最大限に活用したプログラムの高速化技法や新しいシミュレーション技術の研究・開発を行っている。さらに、次世代スーパーコンピューティングシステムとその応用に関する研究をアーキテクチャレベルから応用レベルの広範囲に渡って行っている。そして、得られた成果を国内外の学術論文誌論文、国際会議論文、招待講演、展示等を通じて発表し、社会に還元している。以下に、本研究部の本年度の研究教育活動について述べる。

(1) 大規模科学計算システムの整備・運用に関する取り組み

平成26年11月から平成27年1月に掛けて更新を行った新スーパーコンピュータを含む大規模科学計算システムの利用環境構築に取り組み、平成27年2月より運用を開始した。新スーパーコンピュータSX-ACEは2560ノードから構成され、その理論演算性能は707TFlop/s、総メモリ帯域は650TB/secを有する。ま

た、スーパーコンピュータの新たな評価指標として注目を集めているHPCGを用いた新システムの一部（512ノード）を用いたSX-ACEの性能評価を行い、演算性能で18位、実行効率で世界第1位の性能と世界第2位の電力効率を有することを示した。また、文部科学省の学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点を構成するセンター、HPCIの構成拠点としての活動、当センターの自主事業による民間利用の促進等に取り組み、大規模科学計算システムの更なる利用促進、新規利用者の獲得に努めた。さらに、他の基盤センターとの連携のもと設計、構築を進めてきたHPCIの運用に取り組むなど、我が国の次世代の高性能計算基盤構築に貢献している。また、世界最大規模の高性能計算に関する国際会議SC14において、SX-ACEの性能評価に関する成果発表、大規模科学計算システムに関する運用・研究開発成果の展示など国際的な広報活動を行った。



図3.2 SC14におけるブース展示

(2) 大規模科学計算システムにおけるプログラムの高速化に関する研究・開発

これまで蓄積されたベクトル化、および並列化に関するプログラム高速化技術を基に、サイバーサイエンスセンター・スーパーコンピューティング研究部門の教員は、共同利用支援係、共同研究支援係の技術職員と、ユーザ、およびシステム導入業者であるNECと共同で、ベクトル型スーパーコンピュータ（SX-9、SX-ACE）、並列コンピュータ（LX406Re-2）、4PBの共有ストレージシステムと三次元可視化装置から構成される大規模科学計算システムを用いた大規模・高速・高精度シミュレーション技術の研究・開発を行っている。特に、平成26年度からは新たに設立された高性能計算技術開発(NEC)共同研究部門と密に連携しながら、当センターの大規模科学計算システムで実行されているアプリケーション最適化より得られた臨床学的な知見と、これまで当研究部で取り組んで来た高速・低消費電力な高性能計算システムアーキテクチャ設計に関する研究成果に基づき、次期システムを見据えたアプリケーション・システムの協調設計に取り組んでいる。これにより、スーパーコンピュータシステムとシミュレーション技術の高度化とその応用に関する研究を強力に推進しながら、将来の計算機科学と計算科学の発展を担う人材育成を行う研究・教育環境の整備を行った。また、サイバーサイエンスセンター共同研究や、JHPCN 6件、HPCI 13件とそれぞれの採択課題等に計算機科学者として参画する等、計算科学者との共同研究を積極的に推進した。

さらに、スーパーコンピューティングに関する国際的な学際研究を活性化させる場として、平成27年2月18日（水）～2月19日（木）の両日、第21回Workshop on Sustained Simulation Performance（東北大学・シュツガルト大学高性能計算センター・日本電気共同・独立行政法人海洋研究開発機構主催、学際大規模情報基盤共同利用共同研究拠点・HPCIコンソーシアム共催）を企画・開催した。本年度は、Michael J Flynn スタンフォード大学教授、小柳義夫神戸大学教授をはじめ、計算機科学および計算科学分野で国際的に活躍する国内外の研究者・技術者24名を招聘し、分野を越える研究者・技術者・学生（述べ約159名）の間で活発な議論が交わされた。



図3.3 第21回Workshop on Sustained Simulation Performanceの様子

(3) 高性能計算システムとその応用に関する研究

本研究部門の教員は、大学院情報科学研究科の協力講座「超高速情報処理論」を担当し、大学院学生の研究・教育に従事するとともに、工学部機械知能・航空工学科機械システムデザインコース担当教員として学部教育にも貢献している。以下に、本年度の研究成果を示す。

➤ 次世代ベクトル型プロセッサアーキテクチャとその応用に関する研究

近年注目を集めているTSV(Through Silicon Via)を用いたシリコンダイの垂直積層技術に着目し、2.5次元と3次元積層を適材適所で利用する5.5次元積層を用いたベクトルスーパーコンピュータの高性能・低消費電力設計に取り組んでいる。垂直積層技術を用いることで、2次元実装を超える高い集積度が達成可能になるばかりでなく、既存のマイクロプロセッサの性能向上の阻害要因となっている長配線によるレイテンシや電力の問題を解決することが期待されている。本年度は、プロセッサの基本構成要素である浮動小数点加算回路・乗算回路の設計を行い、大規模な演算回路の3次元設計には多くのTSVが必要となり、これにより演算回路全体の電力が増加することを明らかにした。この課題に対して3次元設計において必要となるTSV数を抑制しながら演算回路の高速化を実現可能な回路分割手法を提案し、シミュレーションによりその有効性を示している。本研究の成果は3次元積層技術に関する国際会議であるIEEE 3DICで発表し、高い評価を受けている。

➤ 高信頼マイクロプロセッサに関する研究

近年のマイクロプロセッサの製造技術の微細化に伴うトランジスタの欠損、ソフトエラーによるビット反転に伴うマイクロプロセッサの信頼性の低下が問題となっている。そこで、3次元積層技術によって搭載可能となる潤沢なオンチップ資源に着目し、その資源を信頼性向上のための冗長化

に用いるディペンダブル機構の基本設計と評価を行った。3次元積層技術ではマイクロプロセッサ上に大容量DRAMを積層できるため、大量のメモリをオンチップで搭載することが可能になる。そこで、本機構は通常実行に利用するメモリ（通常メモリ）と冗長データを保存するためのメモリ（冗長メモリ）をマイクロプロセッサに積層し、ある時点で通常メモリに保存されている全システムのメモリーイメージを冗長メモリに定期的にバックアップする。このようなバックアップのオーバーヘッドは通常実行に対して大きいのが知られているが、本機構では3次元積層メモリにより実現される高速なデータ転送や、更新されたデータのみ冗長メモリに転送する機構を実現することにより、低いオーバーヘッドでのバックアップを実現できることを明らかにした。本研究の成果は3次元積層技術に関する国際会議である3DICで発表している。

➤ マルチメディアアプリケーション向けのベクトル拡張に関する研究

次世代マルチメディアアプリケーションが要求する高いデータ処理能力を低消費電力で実現することを目的に、スーパーコンピュータの要素技術であるベクトル処理技術を取り入れたメディアプロセッサの設計に取り組んでいる。具体的には低消費エネルギーかつ高バンド幅を実現するキャッシュ機構のハードウェア構成に関する検討を行った。本キャッシュ機構では、データ転送の単位であるブロックサイズの小さいキャッシュと同等の高バンド幅を実現しつつ、ブロックサイズの大きいキャッシュ並みに消費電力エネルギーを削減するために、複数バンクのデータアレイを単独のタグアレイで管理する。これによりタグアレイに使用されるハードウェア量と消費電力を削減できる。また、本キャッシュ機構を含むマイクロプロセッサの設計空間の探索を行い、プロセッサ全体としてより消費エネルギーを削減可能な設計を少ない算出コストで割り出せることも明らかにした。本研究の成果を電子情報通信学会論文誌や低消費電力マイクロプロセッサに関する国際会議C00L Chipsにて発表し、高い評価を受けている。

➤ 高性能低消費電力プロセッサアーキテクチャの研究

マイクロプロセッサの高性能化・低消費電力化へ向けて、キャッシュメモリの効率的な資源管理に取り組んでいる。このような資源管理は、キャッシュメモリ上で発生するスレッド間資源競合による性能低下の抑制や、キャッシュメモリ資源の適応的な割当による消費電力の削減を可能とする。本年度は、並列プログラムにおける共有データの管理に新たに着目した。共有データは他のデータと比較して再利用される可能性が高く、性能向上への寄与が大きい。そこで、キャッシュ上で全コアから共有されるデータを保護する機構を提案した。本機構は、キャッシュメモリを2つの領域に分割し、一方の領域に専有データ、もう一方の領域に共有データを保存する。これにより、共有データが専有データに追い出されることを防ぎ、共有データを保護することができる。本研究の成果は、電気関係学会東北支部連合大会で発表した。また、昨年度に引き続き、再利用されないデータの早期追い出しを行うデータ管理ポリシーの検討を継続し、その成果は電子情報通信学会論文誌に採録（27年度発刊予定）されるなど、高い評価を受けている。

➤ 高性能計算アプリケーション開発環境に関する研究

近年、高性能計算システムの複雑化と多様化が急速に進んでいる。その結果、特定の高性能計算システムを強く意識したプログラミング(性能最適化)をしない限り、そのシステム上で高い実行性能を達成することが困難となった。アプリケーションプログラムを中長期的に保守管理するためには、特定のシステム向けに性能最適化されたプログラムを他のシステム向けに書きなおす必要があ

り、そのために多大な労力を要することが深刻な問題となっている。このため、特定のシステム向けの性能最適化をプログラムとは切り離して記述することで、複数のシステムで高性能を達成するための研究開発を行っている。本年度は、XML(eXtensible Markup Language)とその関連技術に基づいて、性能最適化に必要なコード修正をアプリケーションプログラムから切り離して記述するためのプログラム環境としてXevolverを開発した。また、特定のコードパターンの自動検出や独自のコンパイラ指示行を定義するためにも、Xevolverが有用であることを明らかにした。これらの成果が高性能計算に関するトップカンファレンスであるISC2014やIEEE HiPCなど、招待講演や採択論文となるなど、今後の展開が期待されている。

➤ 大規模科学技術計算のためのHPCリファクタリングに関する研究

年々複雑化が進む高性能計算システムにおいて、大規模科学シミュレーションコードの高い性能可搬性の維持を可能とする HPC リファクタリングに関する研究に取り組んでいる。実アプリケーションへのチューニング事例の収集、解析、評価を通じて、性能可搬性の高いコードが具備すべき要件を明らかにし、高い性能可搬性を実現するためのガイドラインであるリファクタリングカタログの構築に取り組んでいる。また、既存の大規模科学技術アプリケーションを速やかに将来のシステムに移植し、高速に実行を実現することを目的として、既存のコンパイラを最大限に活用したOpenMP 化支援ツールの開発を行っている。これらの成果の一部を高性能・高効率大規模科学計算に関する WSSP や研究会、国際会議等で発表している。

➤ 高機能文書認識システムに関する研究

人間と同様に環境中のあらゆる文字情報をコンピュータが獲得できるような、高機能で汎用的な文書認識システムの実現を目指して、文書認識に関する様々な手法の研究・開発を行っている。

本年度は、視覚障害者の文字情報利用支援のための研究開発を継続し、ウェアラブルな文字認識視覚補助デバイスの実現を目指して、看板や文書等のシーン文字のリアルタイム検出やトラッキング(追跡)、リアルタイム高速文字認識などの要素技術の開発を進めた。

シーン文字検出・トラッキングについて、SURFを用いた文字領域マッチングと、特徴量の短期記憶(キャッシュ)を導入することで、カメラの視野から一時的に外れた文字領域も正しく元の文字領域として追跡継続できる機能を実現した。これにより、同じ文字情報の重複した提示を削減することができ、デバイスの利便性向上につながる。本年度はこの成果を論文にまとめて、障害者支援のためのコンピューティングに関する国際会議ICCHP2014で発表した。

視覚障害者が自力で環境中の看板などを見つけ、文字情報を利用できるようにするため、文字の位置を音響信号によって提示する仕組みと、文字認識および音声合成を組み合わせた「文字読み上げカメラ」の開発を継続し、プロトタイプを「仙台eye eye福祉機器展2014」に出展し、また、「仙台ロービジョン勉強会 (26. 12. 10)」に講師として参加し、利用者の意見を収集した。

ビデオレートのリアルタイム文字認識を実現するために、多クラス判別分析(LDA)と二分探索木を用いて、文字認識の高速化手法の改良を推し進めた。昨年度の手法では、中国語簡体字の手書き文字データ(HCL2000)に対して性能低下が見られたが、本年度は、日本語・中国語双方で高い性能が得られる、改良型の高速文字認識手法を開発した。次元削減処理にも従来の主成分分析(PCA)の代わりにLDAを導入することで、改良前の高速化手法からさらに約20%の速度向上が得られることを実験的に示した。

○情報通信基盤研究部

本研究部は、大学運営の基盤となる、全学的に統合・一元化された情報通信基盤の提供と、その高度な利用に関する研究開発を行うことを主たる任務としている。本年度は、センサベース情報環境に対応した情報通信基盤の強化、センサネットワークを含めた情報通信基盤の高度利用、グリーン ICT への展開、サイバーリアルコンピューティング等に焦点を当て研究開発を推進した。その概要は以下のとおりである。

(1) 多元情報通信基盤の高度化に関する研究

多元情報通信基盤における設計開発方法論に関する研究として、センサデータを共有するサービスを動的に構築できるソフトウェアプラットフォーム環境の実現を目指した研究開発を進めている。具体的には本年度は、利用者要求を満たすセンサデバイスを動的に発見して即時的にサービスを構成し、周囲の環境の変化に伴ってその構成を動的かつ柔軟に変更可能とする、コンポーネント間の契約の概念に基づくサービスモデルの理論と、それに基づくソフトウェア設計開発環境に関する研究開発を推進した。

多元情報通信基盤における無線ネットワークの高度化に関する研究として、低可用・不安定な無線ネットワーク環境における資源の自律的・効果的な利用技術、およびネットワーク管理技術の高度化の研究開発を進めている。具体的には本年度は、Software Defined Network (OpenFlow) によるネットワークの柔軟な構成法に関する研究を推進し、複数のインターネット無線アクセス回線を柔軟に切り替える方式検討、アーキテクチャ設計、詳細設計を行った。また、複数のシナリオにおいてシミュレーション実験を実施して本方式の有効性を検証した。

M2M に関する研究として、M2M プロキシサーバに関する研究開発を進めた。具体的には本年度は、機器のマルチサービス接続性を実現する手法として M2M プロキシ通信方式の負荷に関する課題を解決するための負荷分散方式を提案した。提案方式は、OpenFlow を基盤として、プロキシサーバへの機器接続の分散と、プロキシサーバにおける機器とアプリケーションサーバの接続マッチングにより、効果的な負荷分散を実現している。

センサネットワークに関する研究として、センサノードの発信する電波の強度に基づくセンサノードの位置推定に関する研究開発を推進した。具体的には、ユーザ位置からみた無線センサノードの存在方向を電波強度から推定する機能と、地磁気・加速度センサを用いてユーザの移動した方向と距離を推定する機能を組み合わせ、ユーザに対する無線センサノードの相対位置を推定する手法を提案し、実験によりその有効性を確認した。

(2) 多元情報通信基盤の高度利用に関する研究

多元情報通信基盤の高度利用に関する研究として、本年度は主に、グリーン ICT、耐災害 ICT システム、共生空間システム、分散ストレージ技術、AR への応用等について研究開発を推進した。

➤ グリーン ICT

多元情報通信基盤を利用したグリーン ICT に関する実証的研究として、昨年度終了した総務省 ICT グリーンイノベーション推進事業 (PREDICT) 委託研究「情報システムの省電力化を実現する次世代ネットワーク管理技術の研究開発」を発展させた研究開発を推進した。具体的には、スマートタップ等の電力観測装置を用いずに、ネットワーク情報から消費電力を高精度に推定する手法の改良を行った。

また、電力観測装置を用いずに ICT 機器の消費電力を推定する技術の国際標準化を進めるために、

インターネット標準規格の策定機関である IETF における EMAN ワーキンググループにおいて、ドラフト標準規格の改定案の提案を行った。同ワーキンググループにおいて議論を継続して行っており、国際標準獲得に向けた標準化活動を引き続き展開している。

以上の委託研究の一連の研究成果については、プロジェクト終了報告として報道発表を行い、テレビのニュース番組で報道されるなど、一般からも高い関心を得ている。

➤ 共生空間システム

多元情報通信基盤の U/I 技術として、現実空間と仮想空間を感覚的に統合・融合するための基盤技術に基づく新たな 3 次元仮想空間の構成法を提案している。本年度は、本基盤技術により実現される「共生型 3 次元仮想空間」において、利用者に現実空間と仮想空間の融合を感じさせるツールである「共生感提供機能」の中の、空間提示機能の高度化に焦点を当て研究開発を進めた。

空間提示機能の高度化に関しては、具体的には、従来のミラー型インタフェースの他に、ユーザによる携帯が容易なフレーム型インタフェースや、ユーザが直接装着するグラス型インタフェースなど、多様な形態で空間提示を実現するための研究開発を行っている。また、これまで現実空間と仮想空間の融合に焦点を当てていた「共生型 3 次元仮想空間」のモデルを、遠隔の複数現実空間と、複数仮想空間を組み合わせる融合可能なモデルへと拡張した。また、空間融合型アプリケーションの効率的な設計開発のための方法論として、MPCS (Model/Presenter/Controller/Space) モデルを新たに提案した。MPCS モデルに従って鏡型空間共有システム (図 3.4) などの設計・開発を行い、同モデルの効果を検証した。



図 3.4 鏡型空間共有システムの動作例（通研公開 2014 におけるデモンストレーション）

➤ 高機能高価用性情報ストレージ技術

災害に強い情報ストレージ技術に関する研究開発として、文部科学省「イノベーション創出を支える情報基盤強化のための新技術開発」の支援を受け、電気通信研究所村岡教授らと共同で「高機

能高可用性情報ストレージ基盤技術の開発」に関するプロジェクトを推進している。具体的には、ネットワーク上に分散したストレージ機器間の通信経路を、SDN の技術を使用してソフトウェアで適応的に制御する手法を研究開発し、データ転送の並列・高速化を実現する。本年度はシミュレーションおよび実機による予備実験を実施して、提案方式における適応的制御と多重経路制御により、データ転送において最大で従来手法の 4 倍の高速化が可能であることを検証した。さらに、災害時のリスクを考慮した経路選択アルゴリズムを設計し、本手法に導入した。また、実機による学内ネットワークを利用した実証実験用ネットワークの構築を引き続き行っている。

➤ ビッグデータのタウンマネジメントへの応用技術

総務省 SCOPE 国際連携型研究開発に採択された「プライバシーに配慮した情報提供を可能にする高度知識集約プラットフォームの研究開発」において、ヨーロッパの IT 企業数社、University of Surrey (イギリス)、University of Oulu (フィンランド) などと共同で、センサ等から収集されたビッグデータの管理と、それらのプライバシーに配慮した活用に基づくスマートシティサービスモデルのためのプラットフォームに関する国際共同研究を開始した。具体的には仙台市田子西地区を実証フィールドとし、地区に設置されたセンサから得られる環境情報を蓄積して、そのデータに基づき地区の住みやすさを改善するための管理業務に対する支援を行うアプリケーションシステムを構築する。本年度は田子西地区におけるタウンマネジメントアプリケーションのユースケースシナリオの定義を行った。

(3) 多元情報の応用に関する研究

本研究部では、各種センサを用いて人物の動作・行動を認識するための手法、および、それらの手法を用い実用的認識システムを構築するための技術に関する研究を進めている。本年度は、具体的な応用を視野に入れ、以下の項目を中心とした研究・開発を行った。

➤ 映像からの対象領域抽出手法に関する研究

人物や車両など移動する対象の領域を時系列画像から抽出する手法として背景差分が現在広く用いられている。背景差分は、過去に観測された画像に基づく背景モデルと、新たに観測された入力画像とを比較し、入力画像中で見掛けが背景モデルと異なる箇所を対象領域として抽出する。このため、抽出対象に関する事前知識が不要という利点を持つ一方、映像撮影環境の変動など対象の動き以外の要因で画像の見掛けが変化すると、対象領域の抽出精度が大きく低下するという問題を持つ。本研究テーマは、従来とは異なるアプローチ「単純な構成の背景モデルで入力画像との比較を柔軟に行う」で背景差分の前述の問題の解決を図り、撮影環境の変動に頑健な実用的対象領域抽出を実現することを目的として、昨年より研究を開始したものである。

本研究テーマに関し、本年度は、過去に観測された画像の集合を背景モデルとして用いることで画像の見掛けの小刻みな変化に対処する手法の提案を行った。本手法では、背景モデルの構成が単純になるため、入力画像の状況に応じ比較単位のコストを動的に変更でき、入力画像との柔軟な比較による対象領域抽出の安定性向上が可能となる。本手法については、機能を一部実装し従来手法 (CDW — 背景差分手法の比較評価が行われる国際会議、隔年開催 — で最も優秀な成績を収めた背景差分手法等) との比較実験を行った結果から、処理量は増加するものの抽出精度が大幅に改善できることを確認している。

また、画像情報を対象とした背景差分だけでなく、深度情報や 3 次元情報を対象とした背景差分

を実現することで、人物が物体を持ち／移動し／離す動作の認識を行うための基礎的な検討も行った。

➤ ユーザ状態の獲得手法に関する研究

各種のセンサを用いてユーザの状態を高精度に推定する手法・システムの実現を目指している。本年度は、実際のアプリケーションでの利用を視野に入れ、携帯端末に内蔵された複数のセンサの出力に基づきユーザの位置・姿勢・動きを推定する手法の高度化を進めた。具体的には、携帯端末で撮影・表示する現実世界の映像へ、仮想のオブジェクトや情報等を重ね合わせる AR (Augmented Reality) アプリケーションを対象に、ユーザ（および、ユーザが携帯する携帯端末）の位置・姿勢・動きに基づき映像とオブジェクトを重ね合わせる際の精度の向上を図るための検討を行った。

また、人物の行動の詳細な推定を可能とするために、カメラネットワーク等で撮影した映像から人物と物体のインタラクション（人物が物体を持ち／移動し／離す動作）を検出する新たな手法を提案し、その効果の検証を行った。インタラクションを検出するための従来手法では、未知の物体に対する人物のインタラクションや、複数の人物が隣接する環境でのインタラクションを検出困難という問題があった。これに対し、提案手法では、個々の人物の前腕領域および周辺領域の見え方の変化を利用することで、未知の物体に対するインタラクションの検出を図り、映像の階層的な解析により個々の人物の前腕を特定することで、人物が隣接する状況への対応を図っている。本提案手法は、従来手法とは大きく異なるアプローチに基づいており、実際の映像を対象とした検証実験により、従来手法よりも多様な物体、多様な環境でのインタラクション検出への対応が可能であることが実証できた。

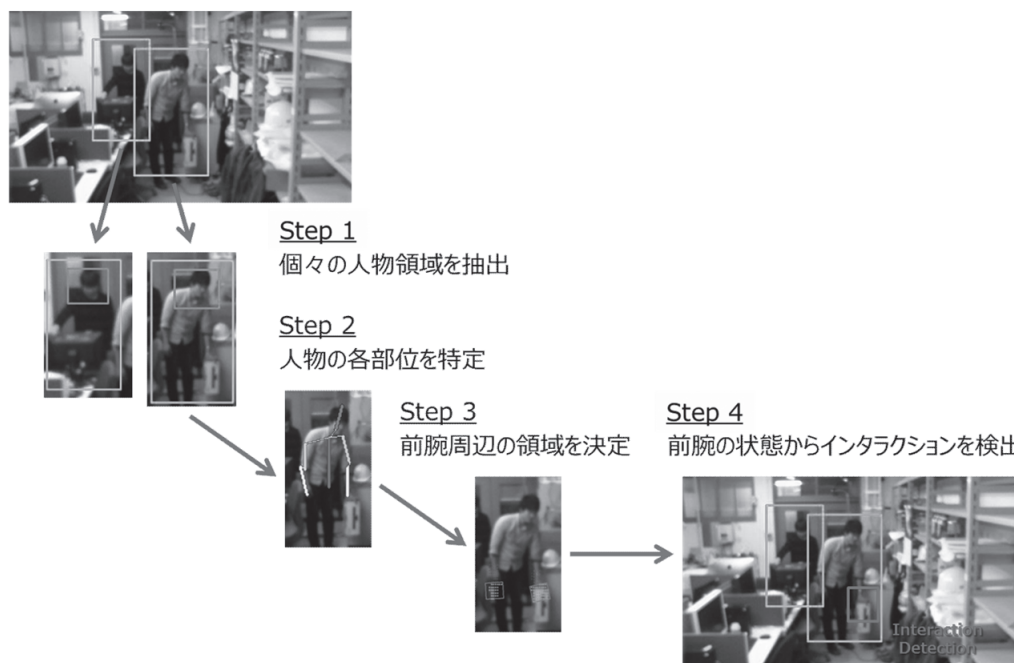


図 3.5 映像の階層的解析によるインタラクション検出

○先端情報技術研究部

本研究部は、教育・研究環境に対する最適な情報技術（IT）の利用支援と IT 利用技術に関する研究開発を行うことを主たる任務としている。この任務に関し、特に医学における教育・研究分野への情報通信技術 ICT の応用に関する研究開発を行い、「サイバー医療」の推進を行った。その概要は次のとおりである。

(1) 在宅看取り用遠隔心電図監視システムの開発

情報通信技術は、超高齢化した日本における在宅医療の充実に大きく貢献する可能性がある。本研究では、平成 24 年度～26 年度科学技術振興機構（JST）復興プログラム（マッチング促進）「在宅末期見守り用小型無線式省電力心電計の開発」の成果として、民間企業（株式会社リアルデザイン、株式会社イメージワン）と共同し、在宅における終末期医療に有用な遠隔心電図監視システムを実用化した。

このシステムは、図 3.6 のような、無線式心電図送信器から伝送された心電波形を、スマートフォンを中継器としてインターネット経由でサーバーに伝送し、遠隔地にいる医師がスマートフォンやタブレット PC などの在宅医用モニターを使って、「いつでも、どこでも」リアルタイムに確認できるものである。従来の無線式心電図送信器は最長でも 2 日間程度しか電池が持たなかったのに対し、このシステムでは電池交換なしで連続 7 日間の使用が可能となった。これによって、医師や看護師の巡回の周期に合わせた連続使用が可能となり、現場のニーズに合致したシステムを提供することができた。また、心電図の異常時にはアラームを表示画面やメールで通報する見守り機能があり、終末期患者の在宅での看取りも可能となるシステムとなっている。

株式会社イメージワンは、平成 25 年から始めた日本各地の医療機関での検証試験を経て医療機器認証を取得し、平成 26 年 12 月に商品名 Duranta®として商品化に成功した。また、日本と同様に高齢者先進国であるフィンランドの医療機器販売企業と共同して、欧州各国への事業展開もスタートしている。

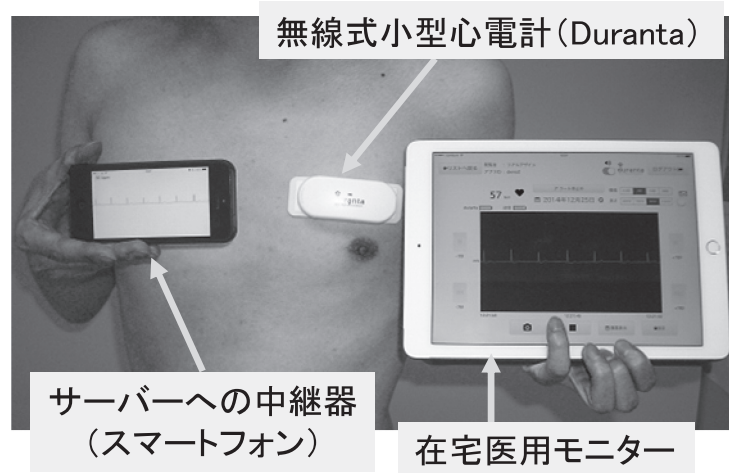


図 3.6 在宅看取り用遠隔心電図監視システム

(2) 映像信号からの脈波情報の抽出

日常生活における運動や精神的負荷などによる突然の血圧変化を、非接触計測によって検出するために、本研究室では、カメラ映像を用いた血圧変動推定手法の提案を行った。

提案手法では、血圧変動と相関を持つ情報を得るために、心臓に近い側と末梢に近い側の 2 箇所に関心領域 (region of interest: ROI) を設定し、ROI 内の映像から映像脈波 (image photoplethysmography: iPPG) を取得した。具体的には、設定した ROI 内の全画素における緑色輝度値の平均を映像の 1 フレー

ム毎に算出し、心拍と同期した拍動性信号を抽出した。次に、2箇所 ROI それぞれで得られた iPPG 信号に対してヒルベルト変換を用いて瞬時位相を求め、その差分を取ることで瞬時位相差 (phase difference: PD) を計算した。この PD は 2 つの iPPG 間における遅延時間に相当することから血圧変動情報として用いることができると考えられる。

iPPG から求められる PD の有効性を検証するために、20 名の健康成人被験者 (22.8 ± 1.1 歳) に対し、座位で 5 分間安静状態を保ってもらい、その中で 1 分間呼吸停止を行う実験を実施した。実験中、ビデオカメラを用いて被験者の顔面と手掌を撮影すると同時に、心電図、指尖の近赤外光容積脈波 (irPPG)、連続血圧の波形それぞれについても測定を行った。ビデオカメラで得られた映像からは提案手法である PD、心電図と irPPG からは従来法による脈波伝播時間 (pulse transit time: PTT)、連続血圧波形からは 1 拍毎の収縮期血圧 (systolic blood pressure: SBP) を計算した。

図 3.7 に、SBP と irPPG から得た従来の PTT、及び SBP と iPPG から得た PD について、全被験者 ($n=20$) の相関係数の平均値を示す。従来の PTT と SBP の相関係数は -0.42 であった。一方で、額と手の iPPG から得た PD と SBP の相関係数は 0.63 であり、正負を除いて相関係数の大きさだけを比べた場合、PD の相関係数の方が有意に高い結果となった。額と手の iPPG から得た PD と SBP とが正の相関を示したという結果は、これまでにない新しい知見であり、生理学的にも興味深い結果となった。加えて、提案手法は既存の方法よりも相関が強く、有効性が高いと言える。

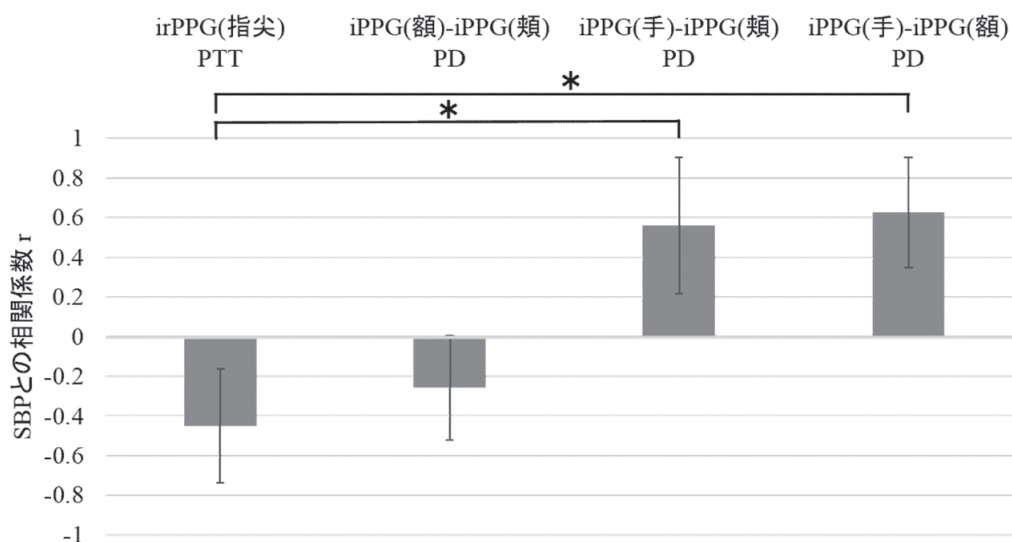


図 3.7 脈波伝播時間 (PTT) 及び各部位の映像脈波 (iPPG) から得た瞬時位相差 (PD) について収縮期血圧 (SBP) との相関係数を全被験者 ($n=20$) で平均した結果 * $p < 0.05$

(3) 心電図計測が不要な補助人工心臓の心拍同期制御法の開発

近年、遠心ポンプ型補助人工心臓 (VAD) の回転数を自己心に同期させる制御手法が提案され、その影響について検討が行われている。一般に、心拍同期制御には心電計を用いる。しかしこの方法では、生体に電極を取り付ける必要があるばかりでなく、心室の拡張期・収縮期の境界を直接的に知ることが困難である。そこで本研究では、遠心ポンプ型 VAD に搭載されているセンサから得られる回転数および消費電流の情報から、自己心の拍動成分を抽出することを目的とした。

一般に、遠心ポンプ型 VAD では、回転数が一定となるように自動制御した場合、回転数を乱す外乱である自己心の拍動の影響を排除するように瞬時回転数 $N(k)$ [rpm] および消費電流 $I(k)$ [A] が変動する。この現象を利用すれば拍動のタイミングを知ることは容易である。しかし、心拍同期制御のように目標

回転数 $N_r(k)$ [rpm] を任意に変化させるような場合、これらの情報は目標回転数の変動によっても変化するため、拍動のタイミングを知ることは困難になる。そこで、本研究では、回転数および消費電流の情報から瞬時回転数を推定する多項式カーネルおよびガウシアンカーネルを用いた非線形動的モデルを構築し、その推定値と実測値の誤差を拍動成分として抽出する方法を提案した。

提案手法によって心拍動成分が抽出できることを示すため、5 秒間隔で拍動・無拍動を繰り返させた模擬循環回路上において VAD の目標回転数をランダムに変化させるような実験を行った。

図 3.8 は、目標回転数 $N_r(k)$ [rpm]、瞬時回転数 $N(k)$ [rpm]、消費電流 $I(k)$ [A]、モデルから推定される回転数と実際の回転数の間の推定誤差 $e(k) = N(k) - \hat{N}(k)$ 、および、収縮期を表す信号 *BeatSignal* である。同図から明らかのように、模擬循環回路に拍動を与えた箇所において推定誤差 $e(k)$ の振幅が大ききとして拍動性信号を確認できた。線形モデルに比較して、ガウシアンカーネルを用いた非線形動的モデルの回転数の推定誤差が小さく、拍動成分をより正確に抽出できることが明らかとなった。

模擬循環系においては実際に心拍同期が可能であることが確かめられた。また、動物実験においては部分的同期が可能であったが、この方法で用いた閾値の調整をリアルタイムに行うべきことが明らかになった。

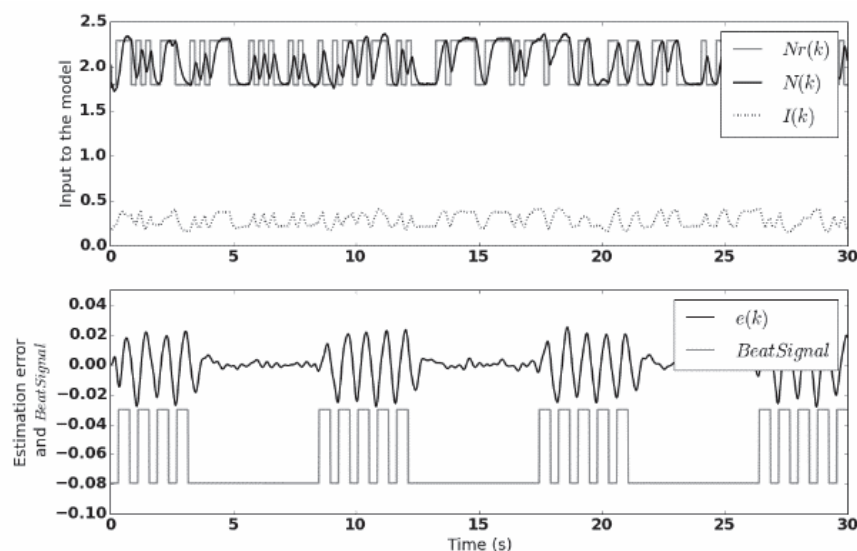


図 3.8 模擬循環回路における心拍動信号の推定結果

(4) 人工的立体映像視聴の生体影響評価

近年、人工的な立体視が可能となるテレビやゲーム機が普及し、子供から高齢者までが家庭でも人工的立体映像を長時間視聴する機会が増えつつある。しかし、人工的な立体視による眼精疲労やいわゆる 3D 酔いのような望ましくない生体影響が懸念されている。

これらの生体影響については、人工的立体視時に眼の焦点調節系と輻輳系との間に生じる矛盾に加え、視聴者の頭部が垂直面に対して傾いていることにより生じる垂直視差なども要因として考えられる。偏光メガネなどを用いて人工的な立体映像を見る場合、頭部の軸の傾きが存在しなければ両眼視差は両眼方向に対して水平な水平視差のみが存在する。しかし、家庭で寝ころびながら立体視コンテンツを視聴しようとする場合や、テーマパークの体感型アトラクションなどの揺れが発生する状況下で立体視を行おうとする場合、ディスプレイの縦方向に対して頭部の軸が傾いてしまう状態になり、水平視差の他に両眼方向に垂直な垂直視差が生じてしまう（図 3.9）。

本研究では、この垂直視差の影響を調べるため、垂直視差量を任意に設定することができる実験系を構築した（図 3.10）。実験映像としてランダムドットステレオグラムを使用し、被験者に対して片目の

みでなく正しい立体視を行わなければ達成できないようなタスクを課した。このタスクを実施した前後の状態を、映像視聴による自覚症状を評価できるシミュレータ酔いアンケート(simulator sickness questionnaire: SSQ)および、精神的疲労の把握に有効であるとされているフリッカー値を使用することで評価した。

15 人の被験者を対象として実験を行った結果、垂直視差量が 0.6 度を超える映像でタスクを行った場合、それ以下の垂直視差量の場合と比べてタスク前後でのフリッカー値の変化量が有意に上昇する結果が得られた。一方、主観的評価指標である SSQ では有意な結果は得られなかったが、垂直視差量が大きくなるにつれ、目の疲れ、ふらつき感などのスコア増加量が大きくなる傾向がみられ、人工的立体視時における垂直視差に起因する生体影響の存在が示唆される結果となった。

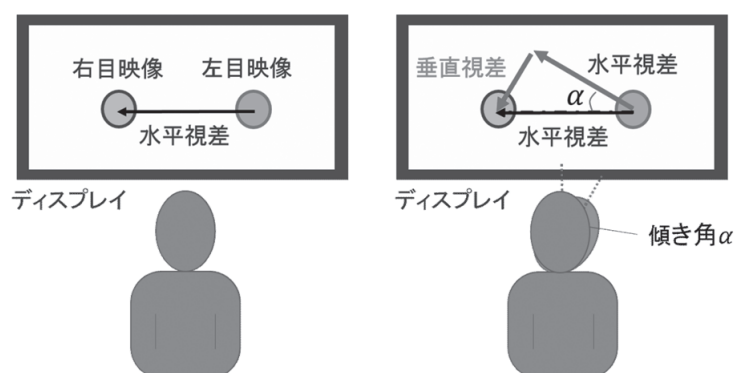


図 3.9 通常の人工的立体視（左）と垂直視差が生じる人工的立体視（右）

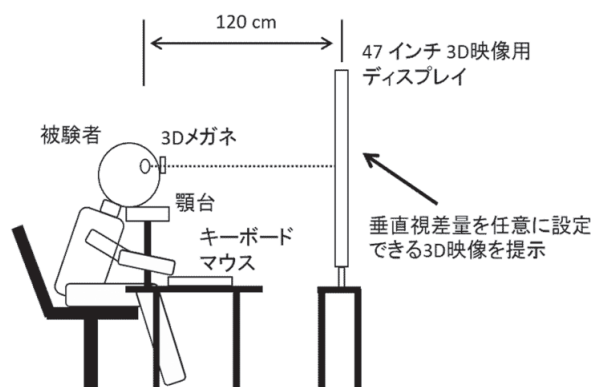


図 3.10 垂直視差の生体影響を調べる実験

(5) バーチャルリアリティを用いた足こぎ車いす訓練システムの開発

足こぎ車いすは、脳卒中片麻痺患者などの歩行困難者が健常側の足で漕ぐタイプの車いすであり、手で漕ぐ通常の車いすより負担が少なく、かつ速く移動を行うことが可能である。また、普段動かさない麻痺側の脚を積極的に使うことで、廃用症候群などを防止する効果があるとされている。本研究室では、コンピュータによって作成した仮想的空間やインターネットで公開されている立体地図を用いて足こぎ車いすの走行を体験できるシステムを開発し、高齢者や障害者が安全かつ効率的に足こぎ車いすの訓練を行える環境の提供を目指している。

障害を持った人や体力が低下した高齢者などが足こぎ車いすで外出する場合、坂道や段差のような箇所に注意をしなければならず、走行技能や体力を無視した外出を行うと途中で立ち往生してしまう危険性がある。この問題に対して本研究室では、事前に走行したルート 환경을仮想現実(Virtual

Reality: VR)によって再現するシステムを考案した。これにより、坂や段差を実際の経路に近い状態で一連の流れの中で訓練できる。このシステムを実現するためには、走行ルートにおける坂の傾斜や段差の高さといった情報を得る必要がある。そこで本研究では、足こぎ車いすにトルクや加速度を測定するセンサを取り付け、これらで得られる情報から坂道や段差の高さを推定するアルゴリズムの開発を行った。

まず、トルクセンサと GPS センサを取り付けた足こぎ車いすで実際の歩道を走行する試験を行い、得られたトルク波形から平均トルクを算出して国土地理院で公表されている標高値と比較した(図 3. 11)。その結果、国土地理院の標高値で通常の上りや下り坂と表示される箇所において、平均トルクでは急峻な波形(図中矢印)や振幅が連続的に大きい波形(図中丸印)が現れることがあった。前者は歩道と車道を接続する歩道特有の急な上り傾斜面と下り傾斜面、後者は施設に入るためのスロープを走行した際に生じている。これらは足こぎ車いす走行において特に立ち往生しやすい箇所であり、平均トルクを用いることでそれらを検出できていることがわかる。

この情報から段差の高さを推定するには、瞬間的な現象を反映できる物理量を用いる必要がある。その1つとして本研究ではトルク面積(=力積)に着目した。トルク面積はトルク波形を時間積分することで得られるため、正確な値を出すためには段差に衝突した時間を正確に把握する必要がある。そこで、初めに正確な段差乗り上げタイミングを求めるアルゴリズムの開発を行った。アルゴリズムでは、足こぎ車いすに搭載した加速度センサとトルクセンサの情報それぞれを組み合わせ、段差乗り上げタイミングを推定する。このアルゴリズムで求めた段差乗り上げ時間をカメラ撮影によって求めた真の時間と比較した結果、平均二乗誤差は0.1s未満であった(図 3. 12)。

次に、前述のアルゴリズムで得られたタイミングを用いてトルク面積を算出し、乗り上げた段差の高さ推定を行った。図 3. 13 に、高さの異なる段差に乗り上げた際のトルク面積値を示す。ただし、この結果では図右上に示した範囲のクランク角で段差に乗り上げた場合のみについて平均をとっている。統計解析の結果、高さ16mmと22mmとの間に有意差がみられ、この程度の差があれば高さ推定を行えることが示された。一方、図で示したクランク角度範囲外で段差乗り上げを行った場合は有意差がみられず、高さ推定が不可能であることが分かった。これは、現在用いているトルクセンサの特性によるものであり、クランク角度に依らず正しいトルク面積を取得するためにはペダル自体に歪ゲージを取り付けるなどの改良が必要である。

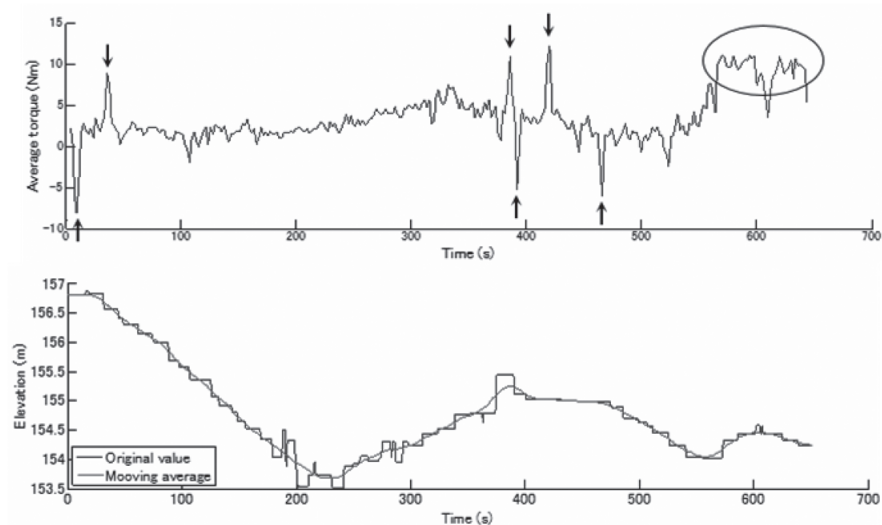


図 3. 11 足こぎ車いすで外を走行した際の平均トルク(上)と国土地理院標高値(下)の比較

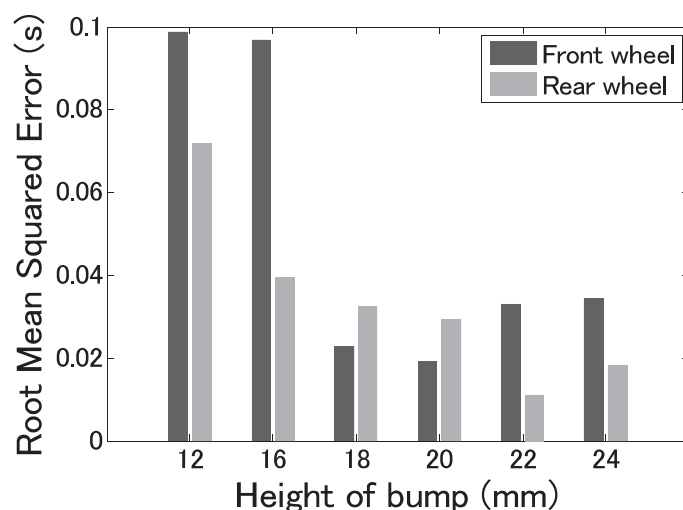


図 3.12 提案アルゴリズムによる段差乗り上げ推定時刻（タイミング）の平均二乗誤差

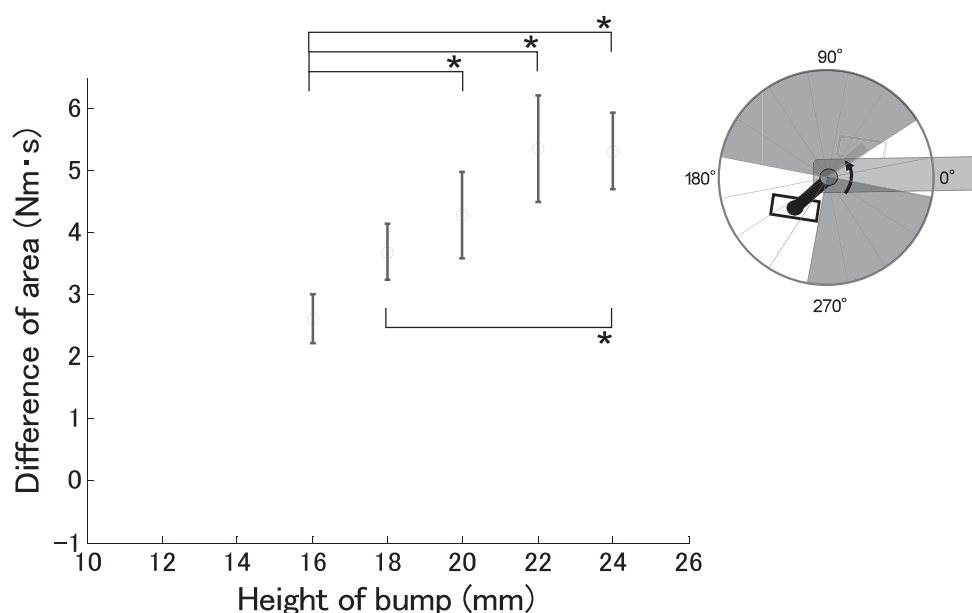


図 3.13 ある範囲のクランク角度（右上）で段差に乗り上げた場合のトルク面積（* $p < 0.05$ ）

(6) 安全な次世代型 4 次元放射線治療装置の開発

本研究では、胸部並びに腹部など体幹部の放射線治療時における腫瘍等の複雑な動きを、X 線透視（画像シーケンス）により正確かつ高精度に計測して腫瘍のみに追尾照射を行い、治療効果向上とともに周辺組織への副作用を劇的に低減し、かつ照射時間の短縮や腫瘍定位金属マーカ刺入リスク回避などにより患者負担を軽減可能な、次世代型 4 次元放射線治療装置を開発している。X 線画像計測における課題の一つは、対象が軟部組織の場合のコントラスト不足である。とくに、骨などの高コントラスト組織と透過的に重畳した場合、腫瘍などの軟部組織は専門医でも視認が困難である。このため、対象腫瘍以外の背景輝度成分を除去することで、腫瘍のコントラストを向上させる手法の開発を進めてきた。

本年度は、X 線画像シーケンスにおける移動体輝度成分の透過的重畳の特性を考慮した新たな背景差分アルゴリズムを開発した。この手法では、X 線画像シーケンスの各ピクセル値を、それぞれ異なるパラメータをもつ正規分布に従う複数の確率変数の和としてモデル化する。また、X 線画像シーケンスの

観測値の確率密度関数を混合正規分布モデルにより近似し、観測値に含まれる背景成分の割合を確率的に推定することで背景差分処理を行い、腫瘍輝度の画像シーケンスを分離・抽出する。

肺がん患者の体内構造を模した物理ファントムを 3D プリンタにより作成し、その動きを X 線透視装置で撮影したデータに開発した手法を適用した。その結果、図 3.14 のように、物理ファントムの構造（肋骨および腫瘍ファントム）に対応した画像シーケンスに分離可能なことが確認された。さらに、分離後の画像シーケンスを用いて腫瘍ファントムを追跡したところ、分離・抽出なしの場合よりも計測誤差が低減されることも確認された。

本手法は、X 線画像シーケンスに含まれる追跡対象の動態を確率モデルに基づき強調する新たな手法であり、現在国際特許を出願中である。

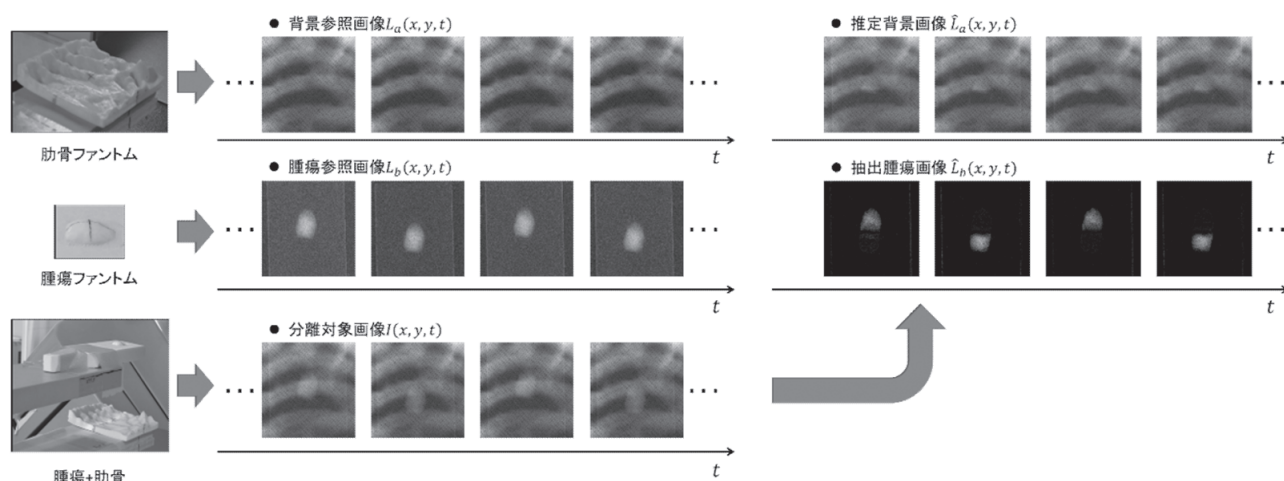


図 3.14 3D プリンタで作成した物理ファントムの X 線画像シーケンスとその分離・抽出結果 左列：肋骨を模したファントム（上段）、腫瘍を模したファントム（中段）、および肋骨・腫瘍の重なった状態のファントム（下段）。右列：左列下段の画像シーケンスより抽出した肋骨画像シーケンス（上段）および腫瘍画像シーケンス（下段）

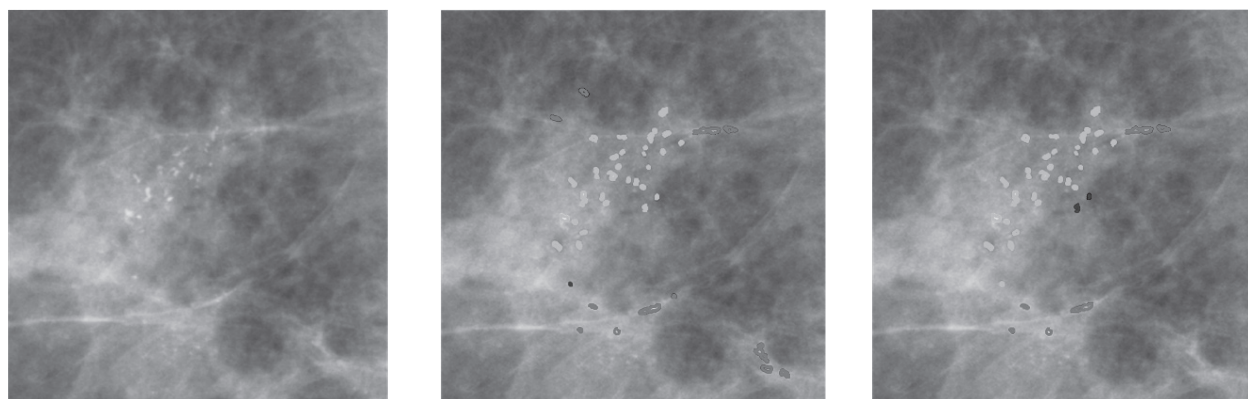
(7) 医師の診断論理を用いた高性能な計算機支援診断システムの開発

本研究では、医用画像診断の計算機による支援(computer-aided diagnosis: CAD)システムを用いて、医師の読影業務負担軽減と、それによる医療費削減を目的としている。このために、従来の画像処理ならびにパターン分類技術に、医師の高度な専門知識に基づく診断論理を反映させた、新しい高性能な画像診断アルゴリズムを開発している。本年度は、女性の部位別がん罹患率第 1 位の乳癌の早期発見に有効なマンモグラフィを対象に、乳癌の典型的な画像所見の一つである微小石灰化群を検出する新しい手法を提案した。

微小石灰化群を構成する石灰化は他の所見に比べ画像的な特徴が明確で定量化しやすいことから、そのような特徴量に基づく単純な検出法でも比較的高い性能を達成可能である。また、微小石灰化群が存在する領域の検出を目的とする場合は、領域内に存在する全ての石灰化を検出する必要はなく、その一部を検出すれば十分であった。しかし、単なる領域検出のみを目的とするのではなく、より診断に有用な情報を提示可能な CAD システムが求められている。そこで本研究では、がんの進行度を示す指標であるカテゴリ分類に着目し、そのような分類を行うための 2 つの特性、すなわち石灰化群の空間的分布特性と個々の石灰化の形態特性の解析を可能とするような CAD システムの開発を試みた。とくに、従来の典型的な石灰化単独の特徴量だけではなく、石灰化群としての空間的分布特性と輝度特性

を統計的にモデル化し、与えられたデータ群の統計的性質に合致する特性を最尤推定で求める新しい検出法を提案した。

臨床データを用いて微小石灰化群を構成する個々の石灰化の検出実験を行ったところ、提案法は先行手法に比べ、群の統計的性質に合致しない偽陽性候補を効果的に削除することで約 40%低減することに成功し、より真の微小石灰化群に近い空間分布を得ることが可能であった。これにより、提案法の有効性が示唆された。



微小石灰化群領域

検出結果（先行点過程モデル）

検出結果（提案点過程モデル）

図 3.15 石灰化検出結果比較画像例。緑枠：真陽性検出、赤枠：偽陽性検出、青枠：検出見逃し

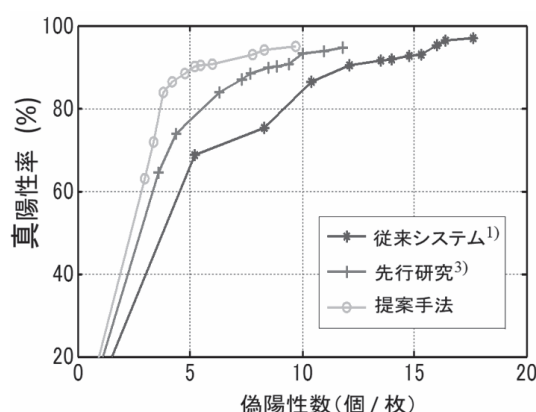


図 3.16 FROC 曲線による性能比較結果

(8) 方向統計学に基づく高精度信号マッチングのための技術開発

本研究は、位相限定相関 (POC: Phase-Only Correlation) 関数を用いた信号マッチング技術に関して、その理論的な妥当性および性能限界を明らかにすることを目指している。さらに、「方向統計学」という新しい方法論に基づく POC 関数の統計的解析法の確立を目指している。本手法では、2 つの信号間の位相スペクトル差を確率変数と仮定し、POC 関数の期待値と分散を理論的に導出することにより、位相スペクトル差の変化に対する POC 関数の挙動を解析している。さらに、方向統計学の考え方を導入し、位相スペクトル差が角度データであることを考慮した上での統計的解析を行っている。

平成 26 年度では、当グループが以前に提案した、方向統計学に基づく POC 関数の統計的解析法をもとにして、位相スペクトル差が von-Mises 分布に従う場合の実信号間の POC 関数の統計的性質を明らかにした。von-Mises 分布は、平均方向と集中度によって記述される確率密度関数を持ち、方向統計学で広く用いられる代表的な円周確率分布のひとつである。POC 関数の期待値と分散の理論式を導出し、位

相スペクトル差の集中度の変化に対する POC 関数の期待値と分散の変化について明らかにした。集中度の増加に伴い、POC 関数のピークの期待値は単調増加し、分散は単調減少することを示した。集中度は、位相スペクトル差のばらつき度合を表しており、集中度が小さければ位相スペクトル差のばらつきが大きいため位相スペクトル差のエネルギーは大きく、逆に集中度が大きければ位相スペクトル差のエネルギーは小さい。その結果、集中度が増加するに従い、POC 関数はより鋭いピークをもつようになる。この成果は、これまで経験的に知られてきた POC 関数の統計的性質について、理論的な根拠を与えている。

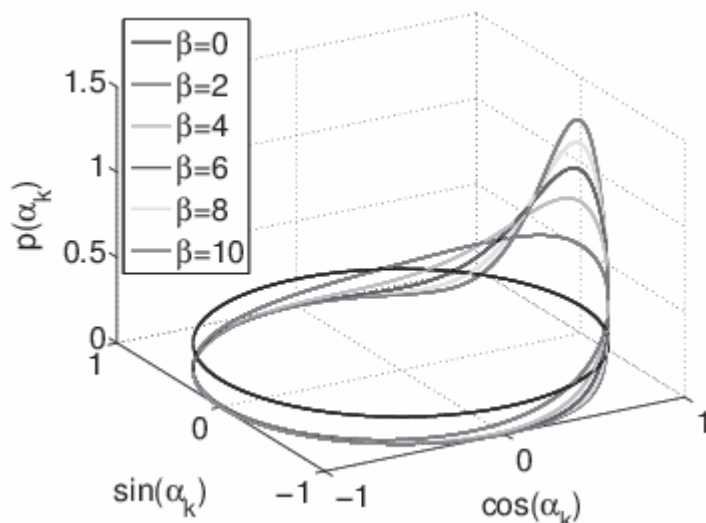


図 3.17 von-Mises 分布(平均方向 0[rad]、集中度 β)の確率密度関数

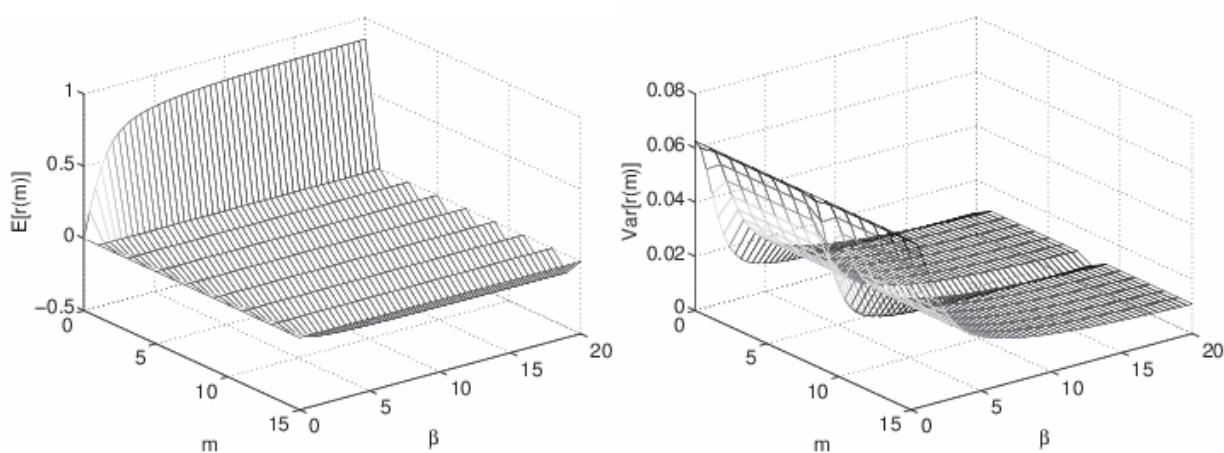


図 3.18 位相スペクトル差の集中度 β の変化に対する POC 関数の期待値 $E[r(m)]$ と分散 $Var[r(m)]$ の変化

○高性能計算技術開発（NEC）共同研究部門

高性能計算技術開発（NEC）共同研究部門は、高性能計算に関する産学研究拠点として、平成 26 年度に設立された研究部門である。本研究部門では、本センター教職員・利用者・システムベンダーの技術者が連携することで、アプリケーション・システムの協調設計を推進している。これにより、スーパーコンピュータシステムとシミュレーション技術の高度化とその応用に関する研究を強力に推進しながら、将来の計算機科学と計算科学の発展を担う人材育成を行う研究・教育環境の整備を目的としている。また、これらの取り組みを通して得られた成果を国内外の学術論文誌論文、会議論文、招待講演、展示等を通じて発表を行い、広く世に展開していくことで社会に還元している。以下に、本研究部門の本年度の研究教育活動について述べる。

(1) プログラムの高速化技術に関する研究・開発

本部門では、利用者・本センターの教職員・NEC の技術者が密に連携した高速化支援体制・共同研究体制の下、ユーザコードの高速化支援に取り組み、臨床学的な知見に基づいたプログラム高速化技術に関する研究に取り組んでいる。具体的には、利用者との打ち合わせを重ね、本研究に携わる者がこれらを理解しながら、大規模科学計算システムに適したアルゴリズム、プログラミング、データ構造について提案している。平成26年度は、スーパーコンピューティング研究部の教員と共に本センターで実行されているアプリケーションの大規模並列化に取り組み、表3. 1に示す通り9件のプログラムに対して6件については単体性能で平均約10倍、5件については並列性能で平均約8倍と向上させている。また、平成27年2月には高速化推進研究活動報告第6号を発刊し、得られた知見を利用者に還元し、シミュレーションコードの高度化に大きく貢献している。

表3. 1 平成26年度高速化実績

プログラム番号	主な改善点	性能向上比	
		単体性能	並列性能
1	ファイルアクセスの効率化 インライン展開によるベクトル化の促進 作業配列の導入によるベクトル化の促進 MPI による並列化	49 倍	23 倍 (32 並列)
2	指示行によるベクトル化の促進 指示行による並列性能の向上		9.4 倍 (4 並列)
3	インライン展開の促進による高速化	1.5 倍	
4	多重ループの一重化によるベクトル長の拡大 内側ループの手動展開によるベクトル長の拡大 ループ分割・入れ換えによるベクトル化の促進 手動インライン展開による重複演算の削除	6.5 倍	
5	MPI 通信の最適化		4.0 倍
6	多重ループの一重化によるベクトル長の拡大 ループ分割・入れ換えによるベクトル化の促進 自動インライン展開によるベクトル化の促進	2.7 倍	
7	コンパイルオプションの変更によるベクトル化の促進	1.1 倍	
8	メモリ確保/開放タイミング、使用メモリ領域の最適化 確保したメモリ領域の再利用		2.4 倍 (4 並列)
9	ループ最適化	1.2 倍	1.1 倍 (256 並列)

また、本センターで実行されている実アプリケーションを用いた新システムSX-ACEの性能評価を行い、この成果は当該分野における第一線の国際会議であるSC14に採択されている。併せて、次世代のスパコンの性能指標となることが期待されているHPCGの解析に取り組み、スーパーコンピュータSX-ACEに向けた最適化技術の開発と性能評価を行い、世界最高の実行効率10.9%を達成した。平成26年11月時点で、実行効率10%を超えた唯一のシステムであったことから、内外から高く評価され、高いメモリバンド幅の有用性を定量的に明らかにしている。このほかにもユーザコードの最適化に関する計算科学者との共同研究成果を国内会議、国際論文誌、国際会議の招待講演等で積極的に発表している。

(2) アプリケーションとの協調設計に基づく高性能計算システム開発

前述のアプリケーションの最適化を通して将来のスーパーコンピュータシステムに求められる性能要件の明確化と、次世代スーパーコンピュータシステムが設計される時代のデバイス技術等の調査に取り組み、次世代の大規模科学計算システムのアプリ・システムの協調設計を行っている。本年度は、特に防災・減災、ものづくりを目的としたシミュレーションコードの解析に基づき、演算性能とバランスの取れた高いメモリバンド幅を実現するためのメモリシステムに関する検討を行った。具体的には、大規模科学計算システムにおける詳細なメモリアクセスの振る舞いを解析可能な環境の開発・整備とデバイストレンドの精査に取り組み、平成25年度までに実施してきた文科省の公募事業「将来のHPCIシステムのあり方調査研究」を通して得られた高メモリバンド幅を有する将来のHPCIシステムの基本設計の詳細化を検討した。これらの成果はEuroMPI等の招待講演として発表している。

(3) 社会インフラとしてスーパーコンピュータ応用に関する研究

総務省「G空間シティ構築事業」のプロジェクトである「G空間情報と耐災害性ICTを活用した津波減災力強化ーリアルタイム津波浸水・被害予測・災害情報配信による自治体の減災力強化の実証事業」に参画し、本センターのスーパーコンピュータを用いて、図3.19に示す世界初となるリアルタイム津波浸水被害予測システムの開発とその実証実験に取り組んだ。本取り組みは、多数のメディアに取り上げられ、被災地における基盤センターの取り組みとして内外から注目されているばかりでなく、国際会議、特許申請など学術と技術の両面で高く評価されている。

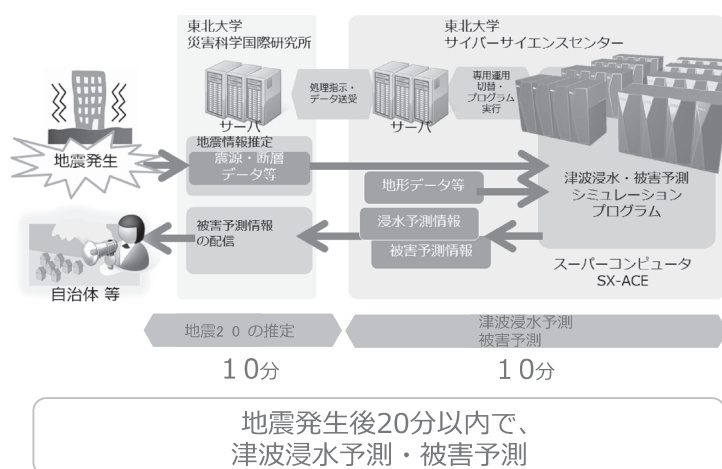


図3.19 リアルタイム津波シミュレーションシステム

○最先端学術情報基盤研究室

最先端学術情報基盤研究室(CSI 研究室)は、国立情報学研究所(NII)による最先端学術情報基盤(CSI)構築のための委託事業を主に担当する研究室として平成 18 年に設置された。委託事業終了後に同 CSI 構築のための支援を主に担当する研究室として存続し、平成 26 年度は以下の研究開発業務を行なった。

(1) eduroam の運用・開発

平成 18 年度に国立情報学研究所ネットワーク運営・連携本部認証作業部会 eduroam グループ(主導は東北大学)が主体となって日本に導入した国際無線 LAN ローミング基盤 eduroam について、国内運用の責任機関として運用実務と研究開発を継続し、以下の成果を得た。なお、一部の活動については NII の客員教員の活動、および、NII 共同研究「大学間無線 LAN ローミング eduroam の耐災害性・耐障害性・大規模化を実現する認証連携基盤の開発」と連携した。

➤ eduroam の運用強化と国内機関の eduroam 接続支援

eduroam 及び国内の eduroam JP の運用について、eduroam JP トップレベル RADIUS サーバの管理・運用を行うとともに、安定運用に向けてサーバのソフトウェア更新や冗長性確保を行なった。新規接続機関をサポートして、平成 26 年度末までに前年度の約 2 倍にあたる 42 機関を新規接続し(総数 108 機関)、国内の学術情報基盤の高度化に貢献した。また、ウェブサイト <http://www.eduroam.jp/> にて eduroam 対応キャンパス無線 LAN システム構築のための技術情報や、端末設定マニュアルなどの情報公開を行なった。

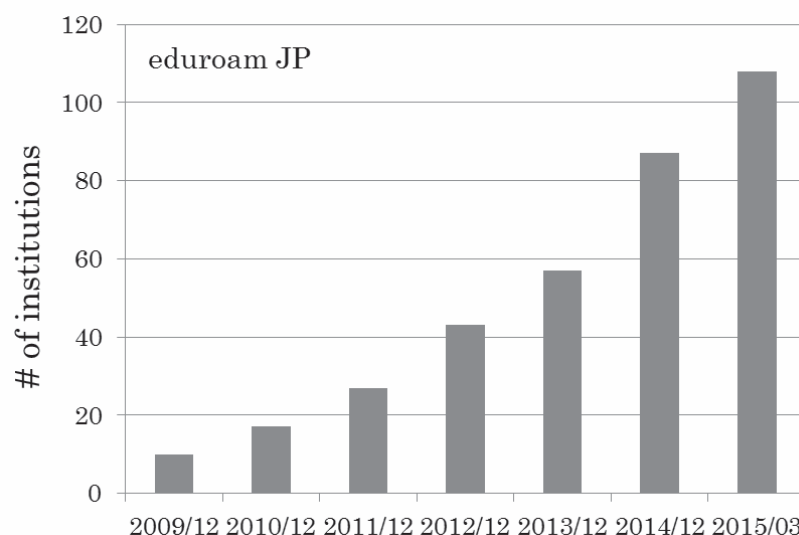


図 3.20 eduroam JP 参加機関数の推移 (2009～2014 年, 2015 年 3 月)

➤ eduroam / eduroam JP の国内外への情報展開・教育活動

38th APAN meeting (8 月, 台湾南投県)、39th APAN meeting (3 月, 福岡)、および、eduroam の開発元 GÉANT Association (旧 TERENA) が主催の会議 TF-MNM (12 月, ウィーン) に参加して、研究開発および運用に関して諸外国との情報交換と報告および議論を行なった。

日本をはじめアジア各国には国内に千以上の大学を抱える国が多く、欧州諸国の大学数と比べて

桁違いに多いため、欧州発祥の eduroam の仕組みそのままでは導入・運用が困難とされ、運用管理性も大きく異なる。日本は eduroam の大規模化や運用コスト低減を実現する技術の開発で中心的な役割を担っており、上記の会議等を通じて、技術提案・供与を行なった。

GEANT Association (旧 TERENA) の Global eduroam Governance Committee (GeGC、2010 年 11 月発足) に本年度も引き続きアジア太平洋州の代表として参加(選出による、二期目)して、eduroam の国際運用に貢献した。

大学 ICT 推進協議会年次大会および各種学会大会等にて講演するなど、キャンパス無線 LAN ローミングの運用と開発に関して情報展開と普及啓発活動を行なった。

(2) eduroam 代理認証システムの機能拡張

平成 20 年度に実証実験としてサービス提供開始した eduroam 代理認証システムは、機関ごとに RADIUS サーバを設置しなくても容易に利用でき、eduroam 利用の裾野を大きく広げる役割を担っている。代理認証システムや eduroam の利便性・安全性を向上させ、より多くの機関にとって使いやすくなるように、平成 26 年度もその機能拡張を継続した。

代理認証システムの改良の一環として、前年度には「オンラインサインアップシステム」と「クライアント証明書発行システム」の 2 つのプロトタイプを開発、実装した。このうち後者はまだ運用方法を調整中であるが、前者を代理認証システムに組み込み、平成 26 年 12 月にサービス提供を開始した。オンラインサインアップシステムは、エンドユーザがウェブ画面から eduroam アカウントを申請できるようにするものである。当システムでは、機関の構成員(学生、教職員)が自機関のメールアドレスを有していることを前提に、メールアドレスによるフィルタリングと間接的な利用者認証を経て、機関管理者の承認操作の後に eduroam アカウントが発行される。機関管理者は承認または拒絶の操作を行うが、アカウントの配布はシステム上で電子的に行われるため、手間の削減につながると期待される。この機能は各機関の管理者が有効・無効を選択できる。公開から間もない年度末時点で、二大学がこの機能を有効にしている。

(3) 会議向け機関限定 eduroam アカウントの試行

代理認証システムは、一部の機関においてゲストアカウントの発行に利用されている。本年度は、当システムの性質を利用して、国際会議等の学会会議のゲストアカウント発行にも利用できるように、その実現のための技術と実施要項を検討し、5 月の実証実験を経て、7 月に「会議向け期間限定 eduroam アカウントの試行」を開始した。

国際会議では、参加者がネットワークを利用できるように、一時的に基地局を設置したり、既設の基地局のためのゲストアカウントを用意したりするのが通例である。このようなサービスは、外国からの参加者など、現地の携帯電話網を利用しにくい人々にとって重要である。会議情報やプロシーディングス等を閲覧する目的でも、高速な無線 LAN は利便性が高い。大規模なイベントでは、参加者が持ち込むモバイルルータによる混信が原因で、大勢がネットワークを利用できなくなる問題もある。より快適な基地局を会場で提供し、それに誘導することが望ましい。

会議ごとに基地局を立てる方法は、機材の調達や技術者の確保はもちろん、会場との調整も必要になり、実現にかかるコストが大きい。会場に大容量の基地局が既設であれば、混信等のトラブルも少なく、安定なサービスを提供しやすい。国内で eduroam サービスが利用できる大学施設や会議場が増加したのに伴って、会場の無線 LAN サービスを会議参加者に提供するというニーズが見えてきた。

会場に eduroam 対応の基地局がある場合、参加機関の利用者は各自のアカウントでそのままネット

ワークが利用できる。しかし、国内外ともに eduroam に未参加の機関もまだ多く、企業の研究所のように eduroam に参加できない機関からの参加者も多い。会議運営者が eduroam 参加機関の構成員であるとは限らず、参加機関であってもアカウントの発行には責任が伴い、ゲスト用に発行するのが難しいという側面もある。会議で eduroam 対応基地局を利用するためには、会議運営者が自身の責任の下でゲストアカウントを容易に取得、配布できる仕組みが必要である。

ゲストアカウントの発行には、前述のとおり、代理認証システムを用いた。会議主催者を仮想的な機関とみなして、同システムの「機関」として一時的に登録し、アカウント発行権を会議運営者に渡す仕組みである。代理認証システムの利用者 ID には、通常は“<大学名>.eduroam.jp”の形式のレルム名が付くが、ゲストアカウントを一般の機関のものと区別するために、会議名と年を基本とする会議略称に conf/symp/mtg などを付加したものをレルム名とするルールを課した。例えば会議略称が EMC14 の場合、レルム名を“emc14-conf.eduroam.jp”のようにする。会議主催者が事前に、会議の正式名称、主催者名、責任者名、実務担当者、会議ウェブサイト、会議期間、アカウント有効期限と発行見込み数などの情報を記入した申請書を代理認証システム管理者に送付し、承認を受けることにより、当サービスを利用できるものとした。eduroam のアカウント発行はその主体となる機関の責任の下で行われるが、国内の eduroam 運用については eduroam JP にも部分的に責任が及ぶ。このため、当サービスの利用は国内の会議施設・大学施設などで開催される国際会議・国内会議を当面の主な対象として、提供条件を定めた。

このサービスは、年度内に 7 つの会議で利用された。試行の過程で、会議主催者が学会のような組織ではなく、実行委員会という一時的な組織である例も多いことが判り、提供条件緩和の声も聞かれた。今後、さらに試行の様子を見ながら、提供条件等について検討を続ける予定である。

国外で開催される会議については、現時点で有効なゲストアカウント配布の仕組みはない。会議用ゲストアカウントは国内独自の運用であり、eduroam の責任分界の観点でも、会議開催地で発行するのが妥当と考えられる。早期に eduroam が行き渡った欧州をはじめ、世界のほとんどの国々では、集中型アカウントサービスを持っていない。ゲストアカウント発行のシステムを運用しているのは、日本の他にはオランダが知られている程度である。このため、世界の eduroam でゲストアカウントを発行する仕組みをどのようにするかについて、TF-MNM の関係者などで議論が行われている段階である。世界に先行する事例として、本研究の成果を大学 ICT 推進協議会年次大会および TF-MNM で発表した。また、アジア各国の eduroam サポートのために、APAN 内で立ち上げた TF-IAM (Task Force on Identity and Access Management) に資料提供した。

(4) 耐災害・耐障害 eduroam の開発と関連技術の調査

東日本大震災の経験より、認証システムの耐災害性の重要性が明らかになってきた。一方で、世界的な RADIUS プロキシ・ツリーを利用する eduroam の現行の認証システムでは、特に長距離での利用において認証が不安定になったり、中間のプロキシの障害によって利用不可能になったりするなど、安定性や耐障害性の面で問題がある。また、大規模災害において所属機関の認証システムが被災したり、大規模停電などで利用不能に陥ったりした場合は、ネットワーク上のアイデンティティが失われることにより、ネットワークや各種サービスの利用が困難になる。前年度は、代理認証システムの耐災害性・耐障害性向上に取り組んだが、本年度もこれを継続した。

前年度には、eduroam の耐災害性と耐障害性の向上が同様の仕組みで達成できることに着目して、総務省委託研究(平成 23 年度補正予算)「情報通信ネットワークの耐災害性強化のための研究開発(大規模災害においても通信を確保する耐災害ネットワーク管理制御技術の研究開発)」の成果を応用して、耐

災害性と耐障害性を有する新しい eduroam のアーキテクチャを開発した。本アーキテクチャを eduroam の実システムに取り入れるために、クライアント証明書・CA 証明書の配布方法を中心に、運用のための技術的課題について検討した。前年度に開発の「クライアント証明書発行システム」は、EAP-TLS 認証をサポートするものであり、エンドユーザにクライアント証明書をオンラインで配布できることから、耐災害・耐障害システムでも有用である。平成 26 年度は、クライアント証明書発行システムのプログラムを実運用の代理認証システムに組み込むところまで実現しているが、CA 証明書の管理・配布方法については検討中であり、同システムのサービス提供開始は今後の課題である。

eduroam に限らず公衆無線 LAN も含めた、一般の無線ネットワークサービスの耐災害性・耐障害性向上を目指して、特に大規模認証連携下における認証連携ネットワークの安全で効率的な構築方法について、関連技術の調査を行った。メッシュネットワークでも利用できるような認証連携基盤の実現のために、今後、その実現方法の検討、アーキテクチャの設計、実証実験システムの構築、および、評価を行っていく予定である。