

戦略的創造研究推進事業 CREST

研究領域「情報社会を支える新しい高性能情報処理技術」

研究課題「自律連合型基盤システムの構築」

# 研究終了報告書

研究期間 平成 15 年 10 月～平成 21 年 3 月

研究代表者：加 藤 和 彦

筑波大学大学院 システム情報工学研究科 教授



## § 1 研究実施の概要

### ■ 研究の構想

インターネットは、ローカルなネットワークを相互接続するネットワークとして発展してきたものであるが、単に地球規模で広域的かつ巨大なネットワークの相互接続網であるだけでなく、以下のような特色を持っている。一般に個々のネットワーク単位ごとに、運用ポリシーを定める管理者(あるいは管理者グループ)いて、そのネットワークに接続を許可するコンピュータを定め、ローカルネットワーク内のネットワークおよびコンピュータ運用ポリシーを定める。この運用ポリシーは、運用時間や故障・障害時における対応も含む。定められた運用ポリシーを持つネットワーク単位を、以下、自律ネットワークと呼ぶ。個々の自律ネットワークの管理者権限は、自律ネットワーク内で閉じていることが一般的であり、他の自律ネットワークに対しては管理権限が及ばない。インターネットというシステムは、巨大数の自律ネットワークの、微妙とも言える協調・連合によって維持された、中央管理者や中央管理ポリシーのない分散システムと見ることができる。

さらにインターネットは成長する、複雑ネットワーク(complex network)の一種である。何らかの全体計画的な設計の元で成長していくのではなく、ローカルに隣接するネットワーク管理者の同意に基づき、総体として成長していく。当初は情報閲覧・交換システムに過ぎなかった Web システムが、Web サービスという形で一般化され、本研究を計画した 2002～2003 年頃からは、その適用範囲が拡大していく時代であった。

本研究代表者らは以前より、インターネット環境を一つの分散システム環境と捉え、その上で動作することを前提とした分散システム構築基盤技術に興味をもっており、先行研究において、仮想計算環境をインターネット上で移動させる技術、および、仮想計算環境技術を用いてインターネット環境におけるソフトウェア実行をセキュアに行う技術の開発を行っていた。それらの先行研究を進める中で、個々の計算機サイトや計算機ネットワークの自律的管理と、他サイト・他ネットワークとの連携・連合という、相反する可能性のある課題を両立させる方法論として、計算資源を仮想計算環境として仮想化することにより、ローカル計算環境の管理ポリシーを徹底させつつ、他サイトとの連合を可能とし、持続性を有するサービスを提供することが可能であろうとの着想を得ていた。不安定性を有する物理的なインターネット環境を、仮想計算環境技術により安定性のあるものとし、持続性を有するサービスを提供可能とする。

以上のような背景と着想に基づき、本研究プロジェクトは、インターネットを一つの分散システム環境と見なし、その上で分散サービスを構築・提供するための基盤技術の開発を行った。基盤ソフトウェアを構成する、オペレーティングシステムとミドルウェア層、ネットワーク層、データインターオペラビリティ層、プログラミング言語層の 4 層に渡って、今後の情報社会の発展に寄与し得ると考えられる技術開発を総合的に行った(図 1 参照)。

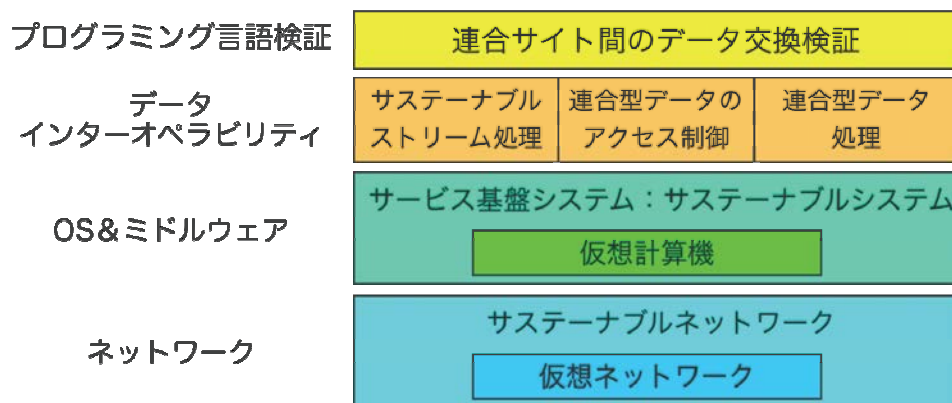


図 1 自律連合型基盤システムの概要

### ■本研究開発の対象範囲

前述したように、本研究開発は、広範に利用はされてはいるものの、先に述べたような意味での特殊性を有する「インターネット」環境上で、分散システム、分散サービスを構築することを支援する基盤システム技術の開発を行った。本研究が直接的には対象としない領域は、閉じたネットワーク環境であり、例えば、銀行・金融や航空会社等の専用ネットワーク回線および専用機器によって構築されたクローズな情報システムがその典型である。幅広く、任意の分散システム、分散サービスの支援を目指す技術開発ではなく、前述のようなオープンな動的特性を有するインターネット環境上でサービスの提供を行う分散システムの支援をターゲットとし、それらに対して前述の 4 層に渡って総合的に研究を進めるというアプローチをとった。ただし、ここで開発した要素技術が、メインターゲットではない領域についても適用可能である可能性は大いにあり得ると考えられる。

我々がメインターゲットとしたインターネット環境上の分散システム、分散サービスは、我々が本研究に着手して以降、大きな展開を見せた。現在広く知られるようになった「Web 2.0」は、第 1 回 Web 2.0 Conference(2004 年 11 月)や、提唱者のティム・オライリーによる 2005 年 5 月に発表された文章(What Is Web 2.0)によって、人々に認知されるようになった。また、そして最近では SaaS (Software as a Service)と呼ばれる、ソフトウェアやサーバをローカルサイト側にインストールするのではなく、インターネットを介してマルチテナント型のサーバがサービスを提供する情報処理形式が大きな注目を集めている。さらに昨年秋頃からはクラウドコンピューティングといった言い方で、インターネット上のサービスシステムを汎用的に構築するシステム構築方法論が注目を集め、今日に至っている。これらは正に、我々が当初から想定したインターネット上のシステム、サービス構築の方向性である。

### ■研究の実施

研究の実施においては、図 1 に示したような 4 層に渡る総合的な研究であるが、自律連合のための基盤技術を新たに作るという目標と方法論について、頻繁に議論を重ね、各層におい

てどのようにしてそれを実現すべきかに関して意思統一を図り、研究を進めた。5 年間の研究期間の間には、各研究グループ・研究室において、人の異動があり、さまざまな事情の変化がある。また、この分野の進展は学术界、産業界ともに進歩と変化が早く、随時それらとの関係を考慮しながら研究の遂行を行った。それらを代表者が総合的にとりまとめ、調整を行いながら、5 年間に渡って徹頭徹尾、自律連合型基盤システムを作るというテーマを貫いた。そのような変化に対応するために、必要な場合にはメンバーの交代も行った。

本研究チームは、研究計画時より、各分野における日本のトップレベルの研究者を結集させると共に、ベテラン研究者と若手研究者のバランスをうまく組み合わせたチーム編成を行った。また、学術的な研究成果を上げるだけでなく、実際的なソフトウェアシステム作りをも重視し、常に実社会に貢献し得ることを念頭において研究実施を行った。

## ■ 研究の成果

前述したように本研究プロジェクトは、自律連合型基盤システムに関する技術開発を、基盤ソフトウェアを構成する、オペレーティングシステムとミドルウェア層、ネットワーク層、データインターオペラビリティ層、プログラミング言語層の 4 層に渡って総合的に行った。これら 4 層における研究成果を以下にまとめる。

### I オペレーティングシステムとミドルウェア層

広域分散環境を想定した仮想計算機のためのサービス基盤を構築した。本手法は自律と連合に基づいており、単一故障点を避けつつ、複数拠点の連合や大規模システムに対応する。本研究の代表的な成果は以下のようにまとめられる。

- 仮想計算機を利用した特定のサービスによらない障害対策手法を開発した。研究期間初期の段階で、インターネット環境における自律連合システムのための サステナブルサービス という概念の着想に至り、その着想に基づいたサステナブルツールキットの設計と実装を行った。後期においては、同ツールキットをプロトタイプとし、より本格的なシステム構築を行った。このシステムは 2007 年秋頃から巷においてクラウドコンピューティングシステムと呼ばれるシステムに相当するものであり、結果、我々が後期で構築したシステムは クラウドコンピューティング基盤 の一つとすることができる。他のクラウドコンピューティング基盤に比して、サステナブルシステムという明確なシステム設計モデルをもつこと、計算拠点の連合により、ネットワーク障害(分断)までの考慮を行っていることを大きな特徴としている。
- 広域分散アーカイブストレージに関する研究を進めた。前期においては、複雑ネットワークの一種であるスモールワールドモデルに基づいた広域分散アーカイブストレージの設計と、その基本的な性質の評価を行った。後期においては、より理論的なアプローチの各データ配置が持つ耐性を理論的に導出する方法を研究し、いくつかの理論的な性質の導出を行った
- 提案自律連合システムの要素技術となる 仮想計算機技術を開発した。具体的には、軽量仮想機械モニタである Scrap Book User-Mode Linux (SBUML)、および、ネットワークで結合された複数の計算機を、仮想的な一つの並列計算機と OS に認識させることができる並列仮想

計算機モニタを開発した。これらはいずれも極めて高いスキルをもつ開発者(前者はリチャード・ポッター氏, 後者は金田憲二氏)の参加があつて, 初めて可能になったもので, 国際的に見ても高い水準を有するソフトウェアである。両者のソフトウェアはいずれもオープンソース公開している。

- 自律連合のためのアクセス制御法として, ケーパビリティの概念に基づいたアクセス制御法とそれに基づいたシステムの実現を行った。現状では, 分散型システムにおいても, 集中型システムと同様, アクセス制御リストに基づいたアクセス制御法が主流であるが, 自律性と連合性の共存を図るためにはケーパビリティの概念が適していることを提唱し, 数種類のシステムの試作によってその有効性を検証した。
- プロセスレベル仮想化技術を用いて, 現実の分散アプリケーションの動作テスト・性質調査を可能とするシステムを開発した。20 台の PC クラスタ上で, 実際の P2P アプリケーションを 6000 個の仮想ノードで立ち上げ, 稼働させることができる。
- OS 環境をインストールした仮想ディスクをネットワーク上のサーバに置き, インターネットを介して OS をブートするシステムの開発を行った。インターネットのレイテンシーを考慮し, ディスクブロックの最適転送手法, 近くのサーバ検索により, 高速ブートを可能とする最適化手法を開発した。また, 仮想ディスクを管理するサーバをサステナブルシステムとして稼働させるシステムの開発も行った。

## II ネットワーク層

- L3 レベルでネットワークを仮想化し, 一台もしくは複数台のコンピュータ上に, 計算機資源が許す限りの任意個の仮想ルータを生成し, 仮想的なインターネットを構築することを可能とするシステムの開発を行った。インターネットポロジを自在に設計するための GUI ツールの開発も行った。後期には, 通信遅延, ジッタ, パケットロスの発生機能も組み込み, より実環境に近いインターネットエミュレーションを可能としている。これらはフリーソフトウェアとして公開の予定である。
- サステナブルシステムの概念に基づき, ストリーム通信の中継サービス機能を提供するサーバシステムを開発した。このシステムにより, NAT やプロキシのために, 通常は外部からは直接にはアクセスすることができず, サーバとすることができないコンピュータ上でサーバを稼働させることができる。本システムは, 当初, 筑波大内のシステム試験運用を一般ユーザ向けに行い, さまざまなデータ収集やシステムの完成度向上を行った後, 商用化することに成功した。
- ネットワークレイヤでサステナビリティを提供するために, DDoS(分散サービス拒否攻撃)に対する耐性を有する仮想ネットワーク技術 Burrows/overfort の提案を行った。
- 耐障害性を向上させるネットワークレイヤ技術として, one-hop source routing を用いて, ルータで一度だけパケットを反射させることによってリンク障害を回避する AIRONE というシステムの開発を行った。
- サステナビリティを(仮想)ネットワークレイヤで提供するための基盤フレームワークとして

SORA システムの開発を行った。通信経路制御の選択をオーバーレイネットワーク技術により自在に制御することを可能とする。

- ネットワークの性能を効率的に推定することを支援する技術の開発を行った。ソフトウェア的な圧縮技術により高速なパケット収集を行う技術、時間的な解像度を変更しながらトラフィック解析を行うシステムを開発した。

### III データインターオペラビリティ

- 自律した連合サイト間でストリームデータ(センサー情報, 位置情報, カメラ映像等)の分散処理を行うシステム StreamSpinner 開発を行うと共に, そのシステムと OS・ミドルウェア研究で開発したサステナブルシステムの技術を統合して, 耐障害性を有しながらストリームデータ処理を行うシステムの開発を行った。分散環境中の各マシンに故障が発生した場合にも問合せ処理を継続的に実行するため, StreamSpinner ではミドルウェアレベル方式と仮想マシンレベル方式の 2 種類の高信頼化方式を実現した。ミドルウェアレベル方式は, StreamSpinner 自身による高信頼化であり, メインとバックアップの 2 台の StreamSpinner の間で内部状態を定期的に同期することにより, 障害に備える。仮想マシンレベル方式では, 自律連合システムグループが開発中のサステナブルシステムを用いており, 複数ノード上でサステナブルシステムを起動し, サステナブルシステムの提供する仮想マシンの中で StreamSpinner が動作する。
- 自律的に運用されるサイト群における統合データモデルに基づいた分散処理を行なう「水平方向」のセキュアなメディアーション処理と, アダプタを介して各種情報源から統合データモデルへの変換を行なう「垂直方向」のセキュアなラッピング処理について研究を行った。問合せ発行者のみならず, 処理に参加する各自律サイトについてもデータアクセス権を設定するものとし, それら全てに違反しないような問合せ最適化手法を実現した。問合せ発行者のみならず, 処理に参加する各サイトについてもデータアクセス権を設定するものとし, それら全てに違反しないような問合せ最適化手法を実現した。提案手法は, 分散問合せ処理過程におけるデータ保護まで考慮している点で従来手法と比べて独創性を有する。
- 構造型 P2P ネットワークの一種である分散ハッシュ表(DHT)を対象に, 汎用の XML データ検索・格納機構を開発した。DHT は, 数千規模の巨大な自律マシン間 P2P ネットワークを構築可能である反面, 検索としてはキーによる完全一致しか扱うことができないため, XML データのような複雑な構造を持つデータを直接扱うことができない, そこで, XML データから構造情報とテキストノードだけを抽出し DHT に格納することによって, XPath による問合せを可能にする手法を提案した。

### IV プログラミング言語検証

- Web システムのサーバ側システムとクライアント側システムは, 独立した自律サイトの連合と考えられるが, それが根本的な原因となって, SQL イジェクション, クロスサイトスクリプティング脆弱性等の, 発見が非常に難しく, かつ, 深刻な問題を発生させ, 大きな問題となっている。

本研究では、プログラム解析の技術を Web プログラムに適用し、Web システムを構成するシステム間で生じる不整合を検証する技術を確立し、堅牢で安全な Web システムの開発を可能にするプログラム支援・検証システムの開発を行った。プログラムの文字列出力を、文脈自由文法を用いて保守的に近似するプログラム解析(文字列解析)を開発した。このプログラム解析をサーバサイド・プログラムに適用することで、生成される Web ページの近似を得ることができ、サーバサイド・プログラムの脆弱性の検出や生成される Web ページの妥当性検証が可能になる。この解析をサーバサイド・プログラミング言語 PHP に対して実装し、Web 上で公開した。この解析器を用いてフリーソフトウェアを検査し、妥当性等のプログラムの誤りを発見することに成功した。

- サーバサイド・プログラムが生成する Web ページが常に文法的に正しいか(妥当であるか)を文字列解析を用いて検証する研究を行った。プログラムの文字列出力の安全性や妥当性の検証は、文字列解析によって得られる文脈自由言語と仕様を表す形式言語との間の包含関係の検査として実現できる。しかし、Web ページの妥当性の問題を考えると、仕様となる形式言語は正則言語では表現できず、文脈自由文法が必要となる。一方、文脈自由言語の包含関係は決定不能問題であり、既存のアルゴリズムを用いて検査を実現することができない。しかし、XML 形式で表現される XHTML を考えると、その仕様は制限された文脈自由文法で表現できる。その制限を考慮に入れることで、妥当性検証に必要となる包含関係の検査アルゴリズムを開発した。
- カリフォルニア州立大学デービス校の Wassermann と Su は、我々が開発した文字列解析と情報流解析を融合することで SQL イジェクションを検出する枠組みを提案し、我々の PHP 文字列解析器を拡張することでその実装を行った。現在、彼らの方法を独立に PHP 文字列解析器に実装し、クロスサイトスクリプティング脆弱性を検出する研究を進めている。比較的規模の大きなフリーソフトウェアに対する予備的な実験においては単純なクロスサイトスクリプティング脆弱性の検出に成功している。クロスサイトスクリプティングの場合には、攻撃の形態が非常に多様であり、より精密な検査を可能とする技術の開発を行っている。

## § 2 研究構想及び実施体制

### (1) 研究構想

本研究プロジェクトは、インターネットを一つの分散システム環境と見なし、その上で分散サービスを構築・提供するための基盤技術の開発を行った。基盤ソフトウェアを構成するオペレーティングシステムとミドルウェア層、ネットワーク層、データインターオペラビリティ層、プログラミング言語層の 4 層に渡って、今後の情報社会の発展に寄与し得ると考えられる技術開発を総合的に行った。幅広く、任意の分散システム、分散サービスの支援を目指す技術開発ではなく、前述のようなオープンな動的特性を有するインターネット環境上でサービスの提供を行う分散システムの支援をターゲットとし、それらに対して前述の 4 層に渡って総合的に研究を進めるというアプローチをとった。



研究期間の前期3年間においては、主として要素技術を深めること、自律連合型基盤システムとはいかなるものかについて洞察を深めながら、プロトタイピングシステム、後期の基礎となる技術、システム作りを行った。OS・ミドルウェア層の研究グループにおいては、仮想機械技術の開発として、SBUML および並列VMMの開発、サステナブルシステムのコンセプト設計とそれに基づいたプロトタイプシステムの設計と実装、広域分散アーカイブストレージの設計、ケーパビリティに基づくアクセス制御、インターネットから自律連合的にブートする OS サービスの実装等を行った。ネットワーク層の研究グループにおいては、仮想ネットワークシステムの設計と実装を行った。データインターオペラビリティ層の研究グループにおいては、自律連合システムのためのデータ処理手法として、データストリーム、XMLシステム、アクセス制御を考慮した分散データ処理、自律連合的なデータ検索方としてP2P型のデータ検索法について研究を行った。プログラミング言語検証層の研究グループは、問題理解を深めるために、インターネットが自律連合システムであるがゆえに発生し、対処が非常に難しいクロスサイトスクリプティング問題の分析から着手した。分析を進める中で、スクリプト言語で書かれたプログラムを静的に分析して、スクリプトプログラムを実行しなくとも、近似的に実行予測を行えるシステムの着想が行われ、その線ですべて、着実な研究成果の積み上げを行うこととなった。

3年目に中間成果の発表を行うCRESTシンポジウムが開催されたが、そのシンポジウムをターゲットとして、サステナブルシステムを仮想インターネット上で稼働させ、また、データインターオペラビリティ層におけるストリームデータ処理システムをサステナブルシステム上で稼働させるシステム開発を行った。プログラミング言語検証グループでは、PHPプログラムを静的に検証するデモを行えるようにした。

後期2年間においては、前期3年間の研究経験に基づき、より本格的な研究開発を推進した。前期のサステナブルシステム開発の経験と反省をもとに、スケーラビリティを有し、実用に耐えるレベルのシステム実装をスクラッチから作り直した。幸い、新たに加わった新メンバーの杉木氏によるシステム設計・実装力が大いなる貢献となり、後期の1年目で新サステナブルシステムの基盤部分が動作し始め、以後はこれをOS・ミドルウェア層の中心的な研究の一つに据えて、研究開発を推し進めた。また、仮想機械モニタとしては、オープンソースコミュニティで広く使われるようになったXenシステムのサポートにも着手した。仮想ネットワーク層においては、仮想インターネット技術をより成熟したものにする開発を推し進めると共に、新メンバーとして、実インターネット上にオーバーレイネットワーク技術によって仮想ネットワークを作る研究を行っている中尾彰宏氏(東京大学)を研究メンバーに加え、実際のインターネット上でサステナブルなシステムコンセプトについて研究を推進することとした。データインターオペラビリティ層の研究グループは、前期における研究をさらに押し進め、サステナブルシステムと組み合わせる時に発生する問題の分析とその克服法を開発した。また、前期3年に行った研究を推し進め、自律連合システムにおいてデータインターオペラビリティを達成する技術の開発を総合的に行った。プログラミング言語検証層の研究グループは、理論面と実装面の双方で、着実に研究の進化を行い、XHTMLやHTMLを生成するスクリプトコードの分析を系統的に行えるようになり、クロスサイトスクリプティング問題への対処へもほぼ道筋を付けるレベルに達した。

(2)実施体制

グループ名	研究代表者又は主たる共同研究者氏名	所属機関・部署・役職名	研究題目
自律連合システムグループ	加藤 和彦	筑波大学大学院 システム情報工学研究科 教授	自律連合型分散システムの構築
ネットワーク環境サブグループ	廣津 登志夫	豊橋技術科学大学 情報メディア基盤センター 准教授	自律連合型基盤のためのネットワーク環境
セキュアな実行環境サブグループ	大山 恵弘	電気通信大学 電気通信学部情報工学科 准教授	自律連合型基盤のための仮想計算環境
自律的に起動可能なネットワーク OS サブグループ	須崎 有康	産業技術総合研究所 主任研究官	Internet からの OS 起動に関する研究
仮想インターネットサブグループ	登 大遊	ソフトイーサ株式会社 代表取締役会長	仮想インターネットの設計と実装
仮想計算環境グループ	米澤 明憲	東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授	自律連合型基盤のための仮想計算環境
広域ネットワーク環境グループ	中尾 彰宏	東京大学 大学院情報学環 准教授	自律連合型基盤のための広域ネットワーク環境の構築
データ・インターオペラビリティグループ	北川 博之	筑波大学大学院 システム情報工学研究科 教授	自律連合型基盤のためのデータ・インターオペラビリティと自律連合型情報システム
分散コンピューティングの言語と検証グループ	井田 哲雄	筑波大学大学院 システム情報工学研究科 教授	Web プログラミングのモデル化, スクリプト言語のプログラム解析

## § 3 研究実施内容及び成果

### 3.1 自律連合型分散システムの構築(筑波大学 加藤グループ)【I OS とミドルウェア層】

#### (1)研究実施内容及び成果

最近になって再び注目された仮想計算機は、現在の環境における多くの問題を解決できる可能性がある。仮想計算機はメインフレームや大型 UNIX サーバで従来から見られる技術であるが、従来は高価な計算機を共有するための方式であったのに対して、現在はソフトウェアの配布や実行状態の移送など、複数の物理計算機を効率的に管理するための方式としても注目されている。

コモディティなサーバ上で仮想計算機を利用したサービス基盤が求められているが、現在の基盤の多くは LAN 環境に閉じており、集中管理方式で実現している。これらの基盤は LAN 内では高い可用性を実現している反面、① 拠点自身がネットワークから分断される状況や、② 拠点が自然災害や電力障害により稼働できなくなった状況などには対処することはできない。

本研究では、広域分散環境を想定した仮想計算機のためのサービス基盤を構築した。本手法は自律と連合に基づいており、単一故障点を避けつつ、複数拠点の連合や大規模システムに対応する。本研究では主としてウェブ上のサービスを対象とし、従来からの金融系システムなどのエンタープライズシステムは対象としない。ウェブサービスは極度の時間やコスト制約の中で開発されており、多様性も大きく、新しいアプローチが必要であるのに対して、エンタープライズシステムはある程度障害対策手法が確立されていたからである。本研究の成果は大きく以下の 3 つである。

- ① 仮想計算機を利用した特定のサービスによらない障害対策手法の確立
- ② ネットワーク分断などの大規模障害への対処手法の確立
- ③ 多数の物理計算機に分散した仮想計算機の効率的な管理手法の確立

これらの成果によって、情報社会を支える安心、安全で流動性の高いサービス基盤を実現することができるかと期待している。

研究期間の前半では、サステナブルサービスを実現するためのツールキットの開発を行った。仮想機械技術と Peer-to-Peer 技術を基礎としている。また、要素技術として広域分散アーカイブストレージ Sustor の開発、軽量仮想機械モニタ Scrap Book for User-Mode Linux の改良を行った。

本プロジェクトは今日では有名な仮想計算機として知られる Xen が登場する以前から研究を開始しており、研究環境が大きく変化してきている。研究期間の後半では、Web 2.0、クラウドコンピューティングなど時代環境の変化に応じて再設計を行い、複数のサービスに対応したクラウドコンピューティング基盤として開発を行った。クラスタ技術に Peer-to-Peer 技術の成果を導入し、高信頼分散システム技術を組み合わせ実現した。

## ■ サステナブルサービス実現のためのツールキット

本プロジェクトの前期では、サステナブルサービスのコンセプトを具体化するプロトタイプングとして、サステナブルサービスツールキットを実現した。サステナブルサービスツールキットとは、既存のサーバソフトウェア(電子メールサーバ、HTTP サーバ+ウェブアプリケーションなど)を、必要最小限の改変のみでサステナブル化することを可能にするツールキットである。サーバソフトウェアは仮想計算機上にセットアップされ、その仮想計算機は複数ある協力サイトのうちのいずれかで実行される。仮想計算機を実行している計算機(マスターサイト)は、定期的、もしくはサーバソフトウェアの要求によって仮想計算機の実行状態スナップショットを取得し、その複製を他の協力サイト(バックアップサイト)のいくつかへ配置する。マスターサイトが障害のために動作しなくなったことが検出されると、バックアップサイト群のうちのいずれかが代わりにマスターサイトになる。その際、仮想計算機の復元に必要なスナップショットを他のバックアップサイトから必要に応じて取得する。ネットワーク障害等のために協力サイト群が分断されてしまうようなケースでは、それぞれのグループ毎にマスターサイトが選出されるというケースが起きうる。その場合は、分断解消後に一貫性維持のための同期作業を複数のマスターサイト間で行う必要が生じた。

我々は、後述の SBUML を用いてサステナブルサービスツールキットを実現し、その上で電子メールサーバの Postfix を動作させる試みを行った。その結果、約 14 万行のコードからなる Postfix に対して、約 1 千行の制御プログラムおよび約 80 行の同期作業用スクリプトだけでサステナブル化することができた。また、限界性能の約 80%の負荷をかけ続けた状態で継続

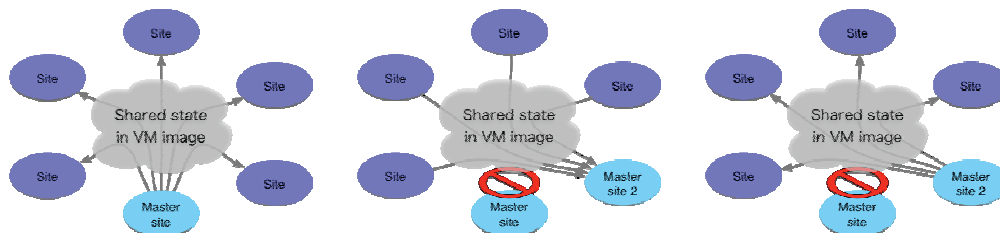


図 2: マスターサイトに障害が発生した場合の動作. 左の図はマスターサイトがスナップショットをバックアップサイトに配布する様子を、中央の図はマスターサイトに障害が発生し次期マスターへスナップショットが集められる様子を、右の図は次期マスターサイトがスナップショットをバックアップサイトへ配布する様子を示している。

動作試験を行い、スナップショット取得間隔を 20 秒とした場合でも正常に継続動作可能であることを確認した。

## ■ 広域分散アーカイブストレージ

サステナブルサービスツールキットの基礎的要素として、広域分散アーカイブストレージ Suster の実現を行った。サステナブルサービスツールキットにおける Suster の役割は、マスターサイト上で動作する仮想計算機の実行状態スナップショットを、バックアップサイト群にまたがって保存することである。Suster における挑戦は、ネットワーク障害に対する高い耐性の

実現, および, 各ノードに保存されるデータ量の削減という, 相反する目標を良いバランスで実現することである. それに対する我々のアプローチは, 各サイト間を結ぶオーバーレイネットワークの構造として, スモールワールドモデルを参考にして設計されたトポロジを利用することである. スモールワールドモデルは, 人間関係のネットワークを説明するために考えられた複雑ネットワークモデルの一種であり, 頂点間の平均最短経路長が短いこととクラスタ構造(ある3つの頂点が相互に接続された構造)が規則的に多数含まれるという二つの特徴を併せ持ったモデルである. 平均最短経路長が短いことは, ある二つの頂点間の通信を中継する頂点が少ないことを意味し, オーバーレイネットワークの頑健性を高めることに貢献する. また, 規則的なクラスタ構造を利用することで, 少ない複製数で耐故障性の良いデータ配置を実現することが可能である. また, 複製数が少なくて済むということは, データの配布が完了するまでの時間を短くすることにも貢献する. 我々は, ネットワークシミュレータを用いて, Sustor の持つ耐故障性やデータ転送完了時間を評価した.

また, Sustor の更なる改良に向けて, 広域分散アーカイブストレージに関する基礎研究も行った. まず, 限られた複製数だけでネットワーク障害に対する高い耐性を実現するデータ配置を探るために, 各データ配置が持つ耐性を理論的に導出する方法について検討を行った. 我々の方法は, データ配置が持つ代数的構造に着目し, そこから耐性を直接計算する. 各サイトが持つ複製数が高々2の場合, ある一つのデータ配置を置換群の元として解釈すると, そのデータ配置が持つ障害耐性はその元に内包される互いに素な巡回置換の構造によって決まる. そして, 互いに素な巡回置換の構造は, サイト数の整数分割の形で表される. 我々は,

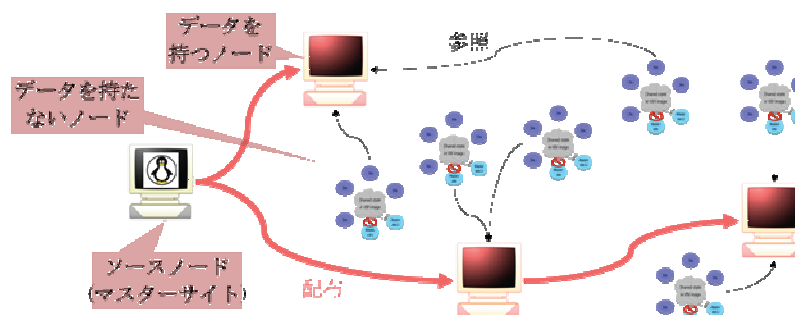


図 3: Sustor の動作概要図. マスターサイトから配布されたデータはいくつかのノード上に分散配置される. データを持たないノードは必要に応じて他のノード上のデータを参照する.

ある整数分割を入力として障害耐性を計算する関数を導き出した. 次に, AS レベル(インターネットサービスプロバイダや企業グループなどの組織レベル)のインターネット障害に関して, ある AS の規模(他の AS への接続数)と, その AS で障害が発生した場合にもたらされる障害の規模(任意の2つの AS 間の通信が寸断される確率)の間に相関があることを示した. また, 実際のインターネットを観測して得られた AS 間ネットワークの構造を用いて, 実際のインターネットにもそのような相関があることを示し, また, 実際のインターネットにおいて AS の規模と障害の規模の相関を表す相関係数を具体的に算出した.

## ■ 軽量仮想機械モニタ

Scrap Book for User-Mode Linux (SBUML)は軽量仮想機械モニタである。SBUMLはUser-Mode Linuxを元に作成しており、実行中の仮想計算機から複数のスナップショットを作成することができる。ここでの軽量という意味は、① OSレベルより上位の浅い仮想化であるためスナップショットのサイズと取得時間が小さい、② 特殊なハードウェアやOSを必要としないため、Linuxがインストールされていればどこでも動作可能である点の2点である。この特徴は、XenやVMwareをはじめとする他の多くの仮想計算機の特徴とは異なる。これらの仮想計算機はハードウェア層から仮想化を行い、高速に動作する反面、特殊なOSカーネルを必要とする。

SBUML自身は以前より開発していた技術であるが、自律連合基盤システムに対応するためのさまざまな改良を進めた。主な改良は、① スナップショット機能の高速化とCopy-on-Writeディスクイメージ、② ソフトウェア配布と組み合わせられたデマンドフェッチ、③ VMストリーミングと呼ぶプリフェッチの3点である。スナップショット機能の高速化は、ディスクイメージの変更差分のみを保存することによる工夫と各種圧縮方式の評価を行った。デマンドフェッチは初期起動時に最小限のディスクブロックのみを配布し、必要なブロックを順次取得することによってソフトウェアの配布を容易にした。さらに、デマンドフェッチのみでは実行時の性能に影響を与えるため、VMストリーミングにより投機的に必要なページを予め転送する方式を開発した。

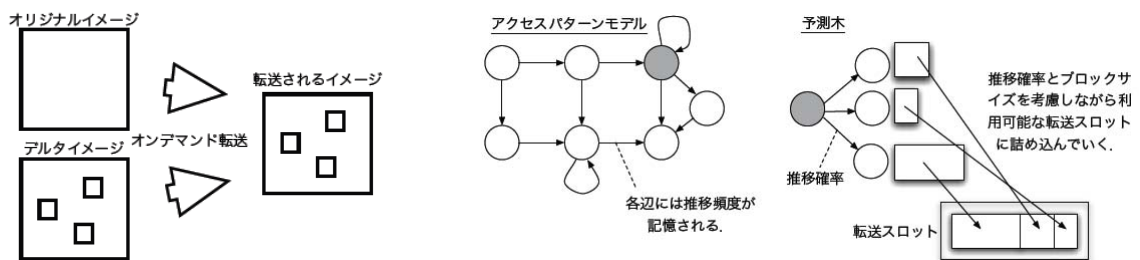


図 4: Scrap Book for User-Mode Linux

## ■ クラウドコンピューティング基盤

本研究は、広域分散環境を想定して作成した仮想計算機に基づくクラウドコンピューティング基盤である。サステナブルツールキットの成果を元に、複数からなる仮想計算機の同時稼働に対応し、コンセプトを生かしつつ発展させた。SaaS (Software as a Service), SOA (Service Oriented Architecture), マッシュアップなどの Web 2.0 をはじめとするサービス提供方式の変化を取り込み、データセンターの複数拠点化などサービス提供環境の広域分散化にも対応している。本基盤は拠点内クラスタなどの特定の環境に特化せず、Content Delivery Network, データセンターの連合などを統一的に扱うことを目指しており、部品の入れ替えによってそれぞれ特定の環境に適用していく。

既存のサービス基盤、特に LAN 内のサービス基盤である VMware Infrastructure などや、単一企業が提供するサービス基盤 Amazon EC2 などとは、自律連合的である点で異なる。自律

連合が有利とされるのは、主に ① 人手の管理能力を超えてシステムが大規模である場合、② 異なる複数の管理ドメインによって管理される場合の 2 つである。また、本研究は広域分散環境を当初より想定しており、離れた拠点間での複製を行うことができる。

本クラウドコンピューティング基盤の概要を図 5 に示す。参加者の役割は ① 計算機資源提供者、② サービス提供者、③ サービス利用者の 3 つである。まず、計算機資源提供者が物理計算機の提供を行い、統一的な資源ビューを自動的に構築する。計算機資源提供者は物理計算機を任意のタイミングで参加、離脱させることができる。サービス提供者は仮想計算機でサービスをカプセル化し、自由にインストールすることができる。仮想計算機の複製方式やインスタンス数はサービスごとにポリシーで自由に設定することができる。サービス利用者はサービスが本基盤上で提供されているか全く意識せず、高いサービスの可用性を享受することができる。

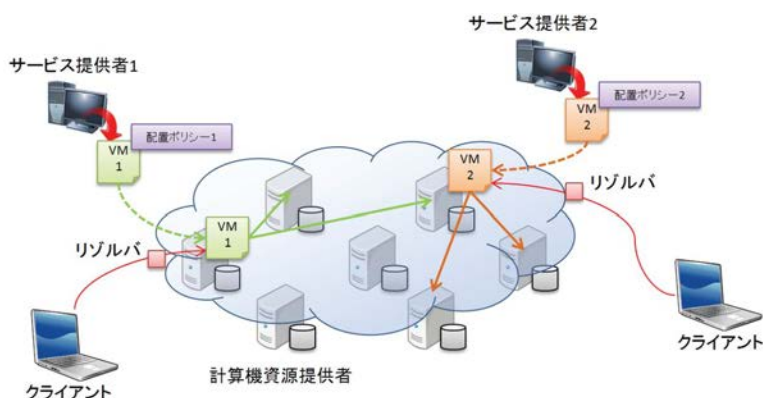


図 5: クラウドコンピューティング基盤

技術的には、Peer-to-Peer 技術と高信頼分散システム技術の融合によって実現している。システム内部を大きく 2 層で構成しており、下層は Peer-to-Peer 技術をベースとして物理計算機のメンバシップ管理を行い、上層は高信頼分散システム技術を利用して仮想計算機の複製処理を行う。下層では Gossip プロトコルで物理計算機とその上で動作する仮想機械の死活を管理している。上層では仮想計算機の複製方式として ① レガシーモデル、② スケーラブルモデルの 2 つを提供する。レガシーモデルは Paxos アルゴリズムを利用し、仮想計算機のスナップショットを定期的に複製し、障害発生時に一貫性がとれた最新の状態から回復することを保証する。レガシーモデルは単一インスタンスと同等のスケラビリティに制限されるが、従来のサービスをそのまま高信頼化することができる。スケラブルモデルはインスタンスに状態を持たせないかわりに、複数インスタンスを稼働させ、スケラビリティを実現する。スケラブルモデルでネットワーク分断が発生する場合の状態管理については、ネットワーク分断に対応したアプリケーション層分散データ構造を継続的に開発している。

実装は Java を利用し、2 万 5 千行程度で構成している。複数の仮想計算機に少量のコード追加で対応することが可能であり、現在、SBUML と Xen の 2 つをサポートしている。

## ■ケーパビリティに基づくアクセス制御による自律と連合の実現

現在主流のアクセス制御の方式は、アクセス制御リスト(Access Control List, ACL)に基づくものである。この方式では、単一の閉じたシステムでは、有効に機能するが、分散システムにおいて自律と連合を実現しようとした時には、様々な問題が生じる。たとえば、アクセスの主体が明確に定義できないような開いた環境では、ACL を記述することができない。また、アクセス制御の前段階に必須となる利用者認証も、連携する組織が増えていくと連合させることが困難になり、また、その場合の ACL の記述も困難になる。本研究では、これらの ACL に基づくアクセス制御の問題を、ケーパビリティに基づくアクセス制御を利用することで解決した。本研究では、利用者の集合をあらかじめ明確に規定できないような開いた環境においてケーパビリティに基づくアクセス制御を実現し、資源アクセスに対する自律と連合を実現する。ケーパビリティの概念に基づき、主として三つの技術開発を行った。

第一に、ネットワークに対する外向きアクセス制御(egress access control)に関する技術開発を行った。研究対象は、組織内と組織外の間にはルータがあり、個々の利用者が個人用計算機でクライアントを動作させ、そのルータを超えて外部のサーバを利用するような環境である。このような環境において、管理者による強制アクセス制御(mandatory access control)を実現するために、組織のネットワークの管理者が、組織の利用者に対して外部のサーバにアクセスする権利をケーパビリティとして配布する仕組みを開発した。個々の利用者は、ケーパビリティを持っていれば、組織の内外を隔てるルータを超えて外部のサーバへアクセスすることができる。本研究では、ケーパビリティを配布する方法として、DNS (Domain Name System)のキャッシュ・サーバを用いた。クライアントは、受け取ったケーパビリティを IPv4 の IP オプション・ヘッダに埋め込み、ルータに送る。ルータは、ヘッダにケーパビリティを持ったものだけを通過させる。

第二に、XML Web サービスのマッシュアップを安全に実現するためのケーパビリティに基づくアクセス制御を実現した。マッシュアップ(mash-up)とは、複数のサーバに存在する XML Web サービスのコンポーネントを組み合わせて利用することである。従来のマッシュアップでは、単一の利用者には属する資源については、トークンを交換することで、コンポーネントを連合させて動作することができた。たとえば、Flicker API では、1人の利用者は、Web ブラウザを経由して、写真資源をもっているコンポーネントからトークンを取り出し、印刷サービスを提供しているコンポーネントによる印刷サービスを受けることはできる。しかしながら、複数の利用者で資源を共有することはできない。

第三に、XML Web サービスのコンポーネントをケーパビリティに基づくアクセス制御により保護する仕組みを実現した。具体的には、ケーパビリティを、内部の URL 部分に乱数を含むような WSDL (Web Services Description Language) の記述として表現した。これより、WSDL 記述を受け渡すことで、ケーパビリティを受け渡しと複数人での資源の共有を可能にした。さらに、制限されたケーパビリティ(restricted capability)を実現するために、堆積可能オブジェクト(stackable object)を用いる方法を提案した。提案したアクセス制御の仕組みを用いて、カレンダー・アプリケーションを構築した。その結果、少人数のプロジェクトにおいて、リーダー



は他の人にアクセス制御の設定のための仕事を委譲することが可能になり、リーダーの負担を下げる事ができることを示した。

## (2)研究成果の今後期待される効果

本研究では、仮想計算機技術に基づくサービス基盤を実現した。本基盤ソフトウェアは自律連合技術を基にしており、非集中型で自動運用される。物理計算機を任意のタイミングで参加、離脱させることが可能であり、複数の仮想計算機でカプセル化した複製方式の異なるサービスを同時に稼働させることができる。

また、要素技術となる広域分散アーカイブストレージ Sustor や、軽量仮想機械モニタ SBUML の開発を行った。Sustor はスケールフリーネットワーク技術に基づき、耐故障性に優れた広域分散ストレージである。SBUML はスナップショット機能を備えた軽量仮想機械モニタであり、自律連合型基盤に求められる要件に応じて改良を行っている。

現在、自律連合型基盤システムの中核機能が実現できた段階にあり、今後、この基盤システム上でさまざまな応用技術を展開する。自律連合基盤上でのセキュアな資源管理方式の開発、複数の仮想計算機を効率的に管理するためのスクリプト言語環境の構築、より信頼性の高いサービスの実現に向けた仮想計算機の改良などが考えられる。

また、ケーパビリティに基づくアクセス制御により、分散システムにおける資源に対するアクセスの側面から自律と連合を実現した。ケーパビリティに基づくアクセス制御は、主体の認証が不要であり、また、制限された権利を他人に渡すことができるという特徴を持つ。この特徴により、様々な主体が内部の自律性を保ちつつ、協調作業を容易にする事ができる。本研究では、DNS を使ってケーパビリティを配布する手法と XML Web サービスのコンポーネントをケーパビリティにより保護する手法を実現した。

ケーパビリティに関する今後の課題は、個人が所有するケーパビリティの管理を容易にする仕組みを実現することである。これにより、ある個人が、様々な立場で様々な組織に属しているという状況になったとしても、それらに属する資源をケーパビリティで保護し、安全にアクセスすることが可能になる。また、ケーパビリティにより保護できる対象を増やしたいとも考えている。具体的には、機械系のコンポーネント、TCP/IP の接続、無線 LAN を考えている。

## 3.2 自律連合型基盤のための仮想計算環境(電気通信大学 大山グループ, 東京大学 米澤グループ)【I OS とミドルウェア層】

### (1)研究実施内容及び成果

物理的かつ論理的に急速に一般社会に受け込みつつある情報システムを構築するための基盤技術として、仮想化技術の研究が近年活発化している。インターネット上のサービス提供を持続可能とするサステナブルシステムの研究においても、仮想化はまさに中心技術である。仮想化技術の分野には長い歴史があり、ある程度確立された技術が存在する。しかし、伝統的な仮想化技術を、複雑さと巨大さを極める現在の情報システムにどのように応用していくか、どのように組み合わせれば有用なシステムおよびサービスが構築できるか、どういう形で導

入るとどの程度の性能や利便性が得られるのか、といったことについては、まだ十分には知見が集まっておらず、多くの研究が行われている。

そこで、本グループでは、仮想化技術を要素として用いて有用な応用システムを構築する研究を行った。さらに、そのようなシステムの構築を支援する技術の研究も行った。サステナブルシステムを含む自律連合型システムの構築にあたっては、様々な要素技術、知見、性能評価、開発支援ツールが必要となるが、それらの一部を提供することを本グループは狙っている。広い視点では、仮想化技術の応用分野を広げることや、仮想化技術を人々が利用する敷居を下げることに貢献する知見を提供することを目指している。

### ■プロセスレベル仮想化技術を用いた分散アプリケーションテストベッド

プロセスレベル仮想化技術を用いた自律連合型基盤の要素技術の研究を行った。その要素技術を用いて、プロセスレベル仮想化技術を用いた、分散アプリケーションの開発・デバッグ支援システムを構築した。本システムは、自律連合型システムなどの大規模な分散アプリケーションの開発、テスト、デバッグの手間を下げることに貢献する。

本システムでは、ファイルやネットワークのビューが仮想化された空間をプロセスごとに提供する。各仮想空間どうしは基本的には隔離されており、個々の仮想空間を分散アプリケーションのノードにみたくて分散アプリケーションを実行することができる。

本システムのユーザは設定ファイルによって、仮想的なノードの設定とそれらをつなぐ通信路の設定を与える。仮想的なノードの設定としては、たとえば、割り当てる IP アドレスや、内部のファイルシステムの構成などの情報を与えることができる。通信路の設定としては、トポロジや通信遅延などの情報を与えることができる。

本システムを実行すると、設定ファイルにしたがって、1台(複数台も可)のPC上に多数の仮想実行環境が作られる。さらに、各仮想実行環境とその間の通信路のトポロジを示す図がGUI上に現れる。仮想実行環境の上で動いているアプリケーションどうしが通信を行うと、その通信の様子がGUI上に示される。

ユーザが本システムにシナリオを与えると、シナリオに書かれた通りに仮想実行環境上で実行が行われる。たとえば、多数の仮想実行環境を動的に生成したり、指定のコマンドを各仮想実行環境上で自動的に実行させることができる。シナリオの機構により、テストやデバッグの手間を大きく下げることができる。

本システムにはデバッガの機構も含まれている。仮想実行環境上で動く分散アプリケーションがエラーを発生させたときには自動的にデバッガのシェルが起動する。ユーザはそのシェルを通じて実行状態の表示や実行の制御ができる。このデバッガでは、多数の仮想実行環境上で動く多数のプロセスに対して一括してデバッグコマンドを送ることや、それらのプロセスからの多数の出力を一つの端末に表示させることなどができる。

本システムはプロセスレベル仮想化技術を用いているので、1個の仮想ノードあたりの消費資源が極めて少なく、仮想化による性能へのオーバーヘッドも小さい。本システムでは、アプリケーションを構成する各プロセス(アプリケーションプロセス)を ptrace によって別のプロセス(モ

モニタプロセス)が監視する。モニタプロセスはアプリケーションプロセスによるシステムコール呼び出しを捕捉し、引数を適切に更新することによって仮想実行環境を実現する。

本システムは Linux/x86 (32bit, 64bit) 上に実装されている。本システムは完全にユーザレベルで動作するシステムであり、ユーザにとって利用の敷居が低い。また、カーネルにコードを入れないため、ポータビリティが高い。

Gtk-Gnutella, Mutella, DB Hub, microdc2 などの現実的な P2P ソフトウェアを利用して本システムの実験を行った。20 台からなる PC クラスタ上に、仮想実行環境(仮想ノード)を全部で 6000 個立ち上げて実験を行った。その結果、P2P ソフトウェアが、仮想的な環境(仮想的な IP アドレスを持つノードと仮想的なトポロジの通信路からなる分散環境)上において、現実的な性能で問題なくファイル交換を行うことが確認できた。

### ■ 並列仮想マシンモニタ(並列 VMM)

ネットワークで結合された複数の計算機上に仮想的な一つの並列計算機を作るための仮想マシンモニタソフトウェア Virtual Multiprocessor の開発を行った。Virtual Multiprocessor を用いることにより、N 台の 1-CPU マシン上に、仮想的な N-CPU マシンを構築することができる。Virtual Multiprocessor はインテル社 IA-32 CPU アーキテクチャの命令レベルで、CPU、メモリ、I/O デバイスなどのハードウェアをソフトウェアでエミュレーションする。IA-32 上で動く既存のアプリケーションは、修正することなく Virtual Multiprocessor 上で実行させることができる。仮想的な並列計算機上で走っている OS 上で複数のプロセスを立ち上げると、それらのプロセスは、その OS のスケジューラによって、それぞれ異なる仮想 CPU に割り当てられる。そして最終的にはその仮想 CPU が対応づけられた物理 CPU 上で実行されることになる。Virtual Multiprocessor は CPU の命令レベルでの仮想化を行うので、共有メモリ並列計算機向けプログラム(OpenMP プログラムなど)を無修正で、PC クラスタ上で並列実行させることができる。また、共有メモリ並列計算機用に作られた OS カーネルを使うと、逐次プログラムを複数個実行したときに、それらを自動的に複数の物理 PC 上で実行させることができる。たとえば仮想的な並列計算機上で並列 make を実行すれば、各々の実計算機に負荷を分散させる形で各ソースプログラムをコンパイルすることができる。Virtual Multiprocessor は、分散した自律的な計算資源を連合させて一つの仮想的な計算主体を構築する際、CPU およびメモリのレベルで極めて密に計算資源を連合させるという一つの極端な資源管理方式を体現したものとなっている。

### ■ 仮想計算機を用いたサーバ管理基盤

仮想計算機上でサーバを運用するための要素技術について研究を行った。本研究では QEMU という仮想化ソフトウェアを対象として、仮想マシンを実マシン間で移動させることを可能にするシステム、Quasar の設計と実装を行った。QEMU は CPU エミュレータと呼ばれる種類の仮想化ソフトウェアであり、実 CPU 上で別の CPU を仮想的に実現することができる。Quasar によって、仮想マシン上で動いている OS の実行状態をそのまま保持しながら、別の実マシンに移動

させることができる。Quasar では、CPU やデバイスが仮想化されているので、実マシンのハードウェアの差異にほとんど影響されないポータブルな仮想計算環境を作ることが可能である。Quasar は、QEMU という既存の仮想化ソフトウェアに、二つの要素技術で付加価値を与えている。一つ目は、仮想マシンの移動を支援する仮想ネットワークである。二つ目は、仮想マシンの移動に伴う OS 停止時間を最小限に抑える、仮想マシンイメージ多段転送機構である。

サステナブルシステムを含む自律連合型システムの構築にあたっては、どのような仮想化ソフトウェアを用いてどのような処理を行うと、どの程度の性能が出るのかというのが重要な考慮事項となる。Quasar の研究は、CPU エミュレータという種類の仮想化ソフトウェアを用いて、仮想マシンの実マシン間移動などのサステナビリティ向上のための処理を実現した場合に、どの程度の性能が出るのかという問題を扱っていると位置付けることができる。

### ■ 仮想マシンの外側から仮想マシンの内側のプログラムを制御する技術

仮想マシンの外側から仮想マシンの中の処理を監視、制御してセキュリティを高めるシステムを設計、実装した。サステナブルシステム、自律連合型システムを含む分散システムではセキュリティの確保は極めて重要である。セキュリティを高めるには、サステナブルシステムも積極的に用いている仮想マシンの仕組みによって実行環境を隔離することが一つの有効な手段である。しかし、仮想マシンは実行環境を粗い粒度で隔離するだけであり、各プログラムの動作を意識して細かい粒度で実行を制御する用途には必ずしも向いていない。

本システムを用いると、ある仮想マシン内の OS 上で実行されるシステムコールの動作を、別の仮想マシン内の OS 上で動くセキュリティシステムが監視、制御することが可能になる。セキュリティシステムがどのようにシステムコールの実行を制御するかは、ユーザがセキュリティポリシーによって設定できる。システムコールの動作を制御するセキュリティシステムは過去に多くあったが、それらと比べて本システムが独自である点は、OS の内側からではなく外側から監視、制御を行う点である。これにより、もしプログラムが攻撃者に乗っ取られても、そのプログラムがセキュリティシステムを攻撃するなどの悪意の行動を行うことは極めて困難になっており、セキュリティが向上している。一般に、仮想マシンの外側で取得できるイベントや実行状態は、レジスタやメモリの値のようなハードウェアレベルのものに限られるが、本システムでは、ハードウェアレベルの実行状態からプログラムの実行状態を復元する技術を利用している。本システムは仮想マシンモニタ Xen を改造して実装され、IA-32 および AMD64 アーキテクチャの計算機上で動作している。

### (2) 研究成果の今後期待される効果

仮想化技術の応用に関する技術についての研究を行った。具体的には、(1) プロセスレベル仮想化を用いて分散アプリケーションをシミュレーション実行する技術、(2) 複数の実計算機を連合させて一つの共有メモリ並列計算機を構築する技術、(3) CPU エミュレータを用いてサーバ管理を行う技術、(4) 仮想マシンの外側から仮想マシンの内側のプログラムを制御する技術を構築した。(1)は、広範囲の分散アプリケーションの開発に適用でき、サステナブル

システムなどの自律連合型システムの構築にも有用であると考えられる。(2)と(3)は、サステナビリティ向上のための処理を実現する多様な方式の空間中の、一つの極端に近い方式を体現したシステムであると位置づけることが可能である。そういった方式を採用した場合に性能や利便性はどうかを本研究ではある程度明らかにしている。(4)は、サステナブルシステムなどの仮想マシンを積極的に用いるシステムにおいて、安全性を向上させるための一つの新しい手法を示していると位置づけられる。

### 3.3 Inetnet からの OS 起動に関する研究(産業技術総合研究所 須崎グループ)【I OS とミドルウェア層】

#### (1)研究実施内容及び成果

近年、CPU の高性能化やハードディスクの大規模化により、OS およびアプリケーションが大規模、且つ高機能になったが、OS の管理は PC のコモディティ化によりユーザーに移譲されるようになった。また、高速インターネットの普及により、セキュリティの脅威や頻繁なアプリケーションのバージョンアップが繰り返されるようになり、各ユーザーは定期的なアップデートを要求される。しかし、個々のアプリケーションの依存関係は複雑であり、あるアプリケーションをアップデートしてしまうとライブラリの更新も要求され、今まで使うことができた他のアプリケーションが正しく動作しなくなることも多い。各ユーザーが使いやすく、且つ安全なOS実行環境を維持するのは難しくなっている。

本開発では高速インターネットで共通に使うことのできる仮想ディスクを作成し、各ユーザーの PC から仮想ディスク上の OS を起動できるようにする。OS は正しく保守管理されるばかりでなく、古い OS バージョンも効率的に残す仕組みを開発し、ユーザーは簡単に以前の OS 環境に戻れるようにする。この仮想ディスクはPCの二次記憶にキャッシュ可能にして、ネットワーク接続のないモバイル環境でも継続利用できるようにする。

#### ■OS Circular の開発

インターネットで効率的に共有できる仮想ディスク“Trusted HTTP-FUSE CLOOOP”の開発、およびその仮想ディスクから OS 起動可能な実行環境“OS Circular”と“InetBoot”を作成した。インターネット対応の仮想ディスクは CREST 以前に作成していたが、H16 年 10 月からの CREST 参加により高性能化、高信頼化を行った。H18 年以降はワールドワイドに展

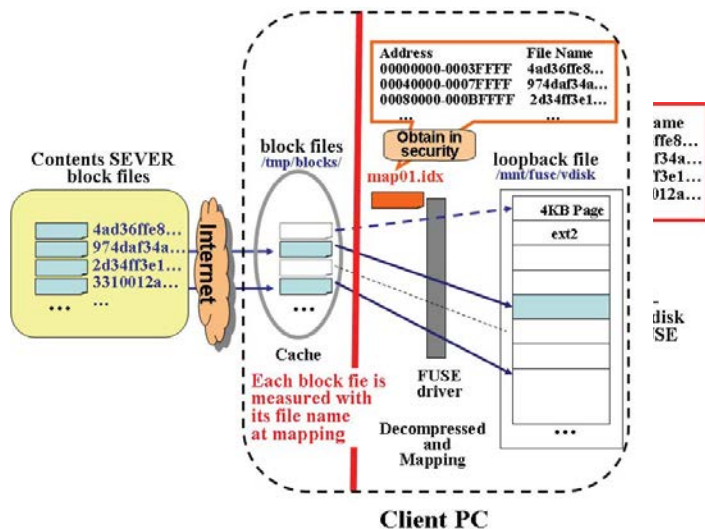


図 7: 仮想ディスクの再構成

開するための最適化を行い、日本、北米、欧州に配置したサーバから配信可能になった。

開発した仮想ディスクは CAS: Content-Addressable Storage の技術を活用した。CAS では通常のブロック番地によるアドレス検索ではなく、ブロック内容による検索を行う。各ブロック(現状では 256KB 単位)の内容をファイルに保存し、そのファイル名を SHA1 値とする。同一内容ならファイルは共有できるため総容量を減らすこともできる。ディスクの更新が起こった場合には、変更があった部分のブロックファイルを新しい SHA1 ファイル名で追加し、マッピングテーブルを更新する。古いマッピングテーブルを使えば古い OS が起動し、新しいマッピングテーブルを使えば新しい OS が起動する。ブロックファイルの作成を図 6 に示す。

ブロックにアクセスする場合はブロック番地と SHA1 ファイル名のマッピングテーブルから検索を行い、ブロック内容を仮想ハードディスクに割り当てる。通常、ブロックファイルは Internet の HTTP サーバからダウンロードされるが、マッピングテーブルとブロックファイルは二次記憶に保存することができ、ネットワークが切れても使い続けることができる。図 7 には仮想ハードディスクの再構成を示す。

この仮想ディスクを使って OS が実計算機上で起動する“InetBoot”と仮想計算機(Xen, KVM, QEMU)で起動する“OS Circular”を作成した。InetBoot では任意のPCで起動できるようにデバイスの自動認識に優れている KNOPPIX を起動対象 OS とした。OS Circular では仮想計算機がデバイス環境を統一し、任意の OS を起動可能にした。

### ■ ネットワークレイテンシを考慮した最適化手法

OS 起動を通して作成したインターネット仮想ディスクはネットワークレイテンシが長い環境(海外サーバからの起動など)では極端にバンド幅が落ちることが判明したため、最適化技術を開発した。起動プロファイルによるディスクイメージの最適化手法(Ext2optimizer)や先行ダウンロードの方式(DLAHEAD: Download ahead)を開発することでレイテンシに強くした。さらに近いサーバを検索する DNS Balance の機能を付加し、大陸を越えるダウンロードが起こらないようにした。現状では図 8 に示すように日本、北米、欧州のレンタルサーバを配置し、その地域内の負荷分散できるサービスを提供している。

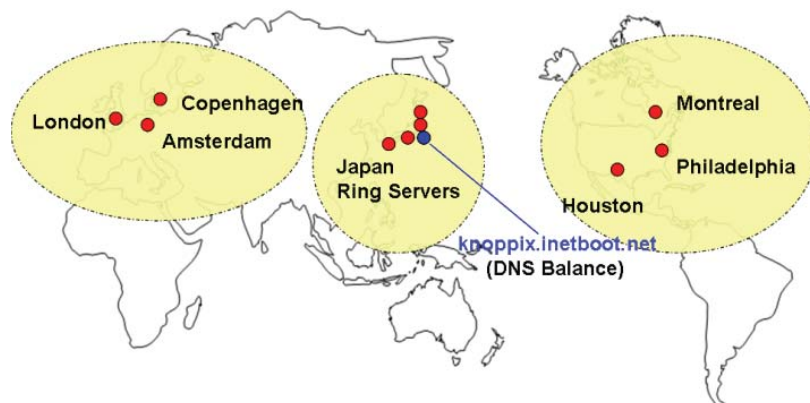


図 8: 仮想ディスクイメージの配信サーバ配置

## (2) 研究成果の今後期待される効果

Internet 環境の機能的側面は充実しつつあるが、性能的には不安定であり信頼性に欠ける。CREST で開発された自律連合型基盤システムと連携することで、安定した OS 起動サービス提供を可能にし、ユーザが保守管理に煩わされない OS 環境を提供したい。

本方式により今までの公開された OS をいつでも手元の PC で利用可能になる OS アーカイブの構築を検討している。実験的な OS やサポートが終わってハードウェアと共に消えてしまった OS を仮想計算機と組み合わせることで、手元の PC で動態展示できる OS の博物館を目指したい。

## 3.4 仮想インターネットの設計と実装(ソフトイーサ株式会社 登グループ)【II ネットワーク層】

### (1) 研究実施内容及び成果

#### ■サステナブルなストリーム中継システム

インターネット上で、NAT やプロキシ等の、内側から外側に対する方向のみが可能なルータ等を経由してコンピュータを接続することが多くある。NAT 越えやプロキシ越えなどの複雑な処理が必要となるが、これらの処理をアプリケーションごとに個別に実装するのは効率が悪い。

複数台のコンピュータが NAT 等の内側にあっても、コンピュータ間で TCP のような双方向のストリームコネクションを確立し、自由に通信できれば、アプリケーションを開発する上で効率が良い。

本研究では、従来の関連する各種通信技術等について検証し、これらの問題点を解消するため、新しいクライアントサーバ型ストリーム中継システムを設計する。このシステムは、中継ゲートウェイ、サーバおよびクライアントの 3 つのモジュールに分かれており、中継ゲートウェイはスケーラビリティを確保するため、負荷分散を実現する形で実装する。サーバおよびクライアントは、ソケットと同等の API を提供するライブラリとして実装する。その後、性能測定等の実験を行う。また、実装した各モジュールの利用例として、新しいリモートデスクトップツールを実装する。

本システムでは、インターネット上で問題となる NAT 越え、ファイアウォール越えなどの処理を自動的に行い、固定グローバル IP アドレスの取得や DDNS サービスの利用などを必要とせず、インターネットに接続された特定の 2 台のコンピュータ同士を接続して、自由な双方向ストリーム通信を可能とする。また、本システムによって通信を行うアプリケーションを開発する際は、既存のソケット API を利用して TCP 通信を行う際と同等のプログラミングを行うことができ、利用が容易である。

本システムの特徴は以下のとおりである。

- ①コネクション型の双方向ストリーム通信を実現する。
- ②ソケット API と互換性があり、同期モードおよび非同期モードをサポートする。
- ③通信相手をシステム全体で一意的なホスト名で識別する。
- ④すべての通信は、ゲートウェイシステムによって中継される。

⑤ゲートウェイシステムは重要であるため、複数のノードで構成され、ロードバランスする。また、一部のノードで障害が起きた場合、自動的に別のノードに処理を引き継ぐ。さらに、各ノードを別々の物理拠点に設置することも可能とする。

⑥ゲートウェイシステムを介したすべての通信は、暗号化および電子署名によって保護される。

システムの実装は、C、C# および SQL 言語によって行った。実装したプログラムによる遅延測定実験の結果は、本システムによる通信遅延はごくわずかであり、通常のネットワーク上で固定的に発生する遅延と比較するととても小さく問題とはならないことを示している。また、スループット測定実験の結果は、本システムを用いずに TCP 通信を行う場合と比較

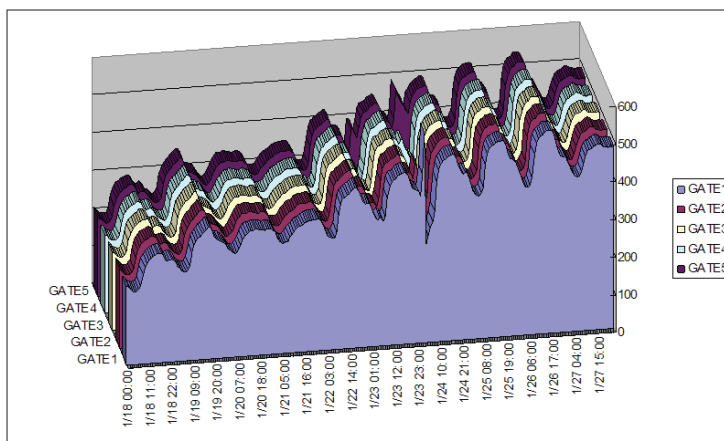


図 9: 測定結果

して、低下率は 10%~30%であることを示している。従って、本実装は、インターネットで利用する場合、十分実用に耐えうるシステムである。

最後に、実装した本システムを利用してデスクトップのリモート操作を行う通信アプリケーションを開発し、インターネット上で配布して、多数のユーザに利用してもらったことにより、登録サーバーコード数 6,000 が程度、同時接続セッション数が 2,700 程度の状態で安定して動作すること、および動作中のゲートウェイシステムを構成する数台のコンピュータのうち一部が停止しても、システム全体は動作し続けることを示すことができた。この実証実験の結果は、本システムがスケーラビリティとアベイラビリティを有することを示している。

本研究成果のうち、通信ライブラリ（以下「Tunnel.dll」という）は、Windows 上で動作し、C 言語および Microsoft .NET から呼び出すことが可能である。Tunnel.dll は、<http://utvpn.tsukuba.ac.jp/> で公開する予定である。本研究成果のうち、ゲートウェイシステムは、Windows 上でシステムサービスとして動作する。上記の Tunnel.dll の公開と同時に、筑波大学内に常時稼働させる実験用のゲートウェイノードを複数台設置する予定である。いずれも、時期は今秋を目標としている。

本研究成果のサステナビリティが十分確認できたため、本システムを、ソフトイーサ株式会社が開発中であった商用のアプリケーションサービス（SaaS）である「Desktop VPN」（<http://www.desktopvpn.net/>）に組み込み利用した。このサービスは 2007 年 9 月から日本 SGI 株式会社と提携し、また 2008 年 5 月から NEC BIGLOBE 社およびソフトバンク BB 社と提携して市場に投入している。稼働から 1 年近く経過したが、本システムの一部であるゲートウェイシステムのトラブルは無く、安定稼働することが確認できた。



## ■仮想インターネット実験システム

インターネット上で動作する通信ソフトウェアを開発する場合、動作検証等のため、複数のルータや L3 スイッチ等によって構成された IP ネットワーク内で通信試験を行いたい場合がある。そのような試験のために、物理的なルータ等を机上に設置し接続するためにはコストがかかる。また、机上の機材で構築したネットワークでは、遅延・ジッタ・パケットロスほとんど発生しない。インターネット上ではこれらが発生するため、机上で開発を行う場合でも、常に遅延・ジッタ・パケットロスが発生する環境において通信試験ができることが望ましい。

本研究では、ソフトウェアによって数個～数千個のルータやスイッチを計算機上に仮想的に作成して相互に接続し、複雑な IP ネットワークトポロジを構築して稼働させるための実験システムを構築することを目標とする。また、トポロジ内の任意の箇所、遅延・ジッタ・パケットロスを意図的に発生させることができるようにする。さらに、これらの構築・設定操作を、GUI によってマウス操作で絵を描くように行うことができるようにする。これらが実現すれば、高価なネットワーク回線や機器を多数用意することなく、インターネット上で動作するソフトウェアの開発等が容易になり、品質向上にも寄与できる。

本研究では、ソフトウェアによって数個～数千個のルータやスイッチを計算機上に仮想的に作成して相互に接続し、複雑な IP ネットワークトポロジを構築して稼働させるための実験システムを構築することを目標とする。また、トポロジ内の任意の箇所、遅延・ジッタ・パケットロスを意図的に発生させることができるようにする。さらに、これらの構築・設定操作を、GUI によってマウス操作で絵を描くように行うことができるようにする。これらが実現すれば、高価なネットワーク回線や機器を多数用意することなく、インターネット上で動作するソフトウェアの開発等が容易になり、品質向上にも寄与できる。

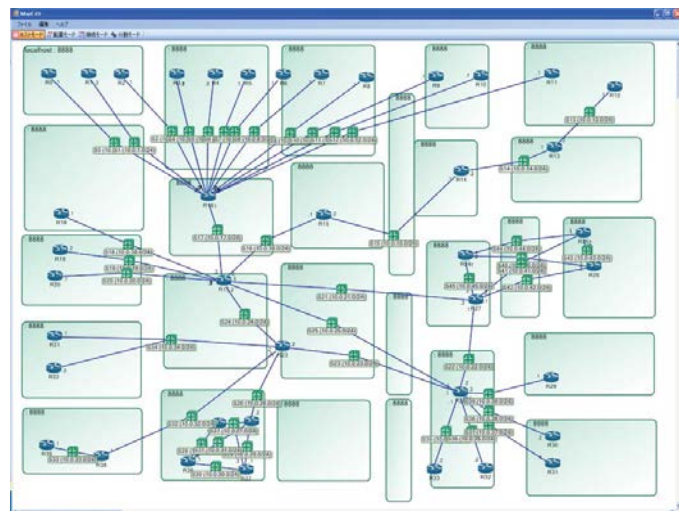


図 10:仮想インターネット実験システム

本研究で構築するシステムは、以下のように設計した。

**仮想ルータ:** 複数のインターフェイスを持つ IP パケットのルーティング機能を持ったモジュールである。入力された IP パケットを適切なインターフェイスの先にあるネットワークにルーティングする。仮想ルータはソフトウェアで実現されるので、システムを稼働させる PC のハードウェア性能の上限に達するまで、複数個作成することができる。

**仮想ルータ間のリンク:** 仮想ルータのインターフェイス間をリンクにより 接続することで、イン

ターネットのような IP ネットワークを作成する。

**ルーティングテーブル:** 複数個の仮想ルータによってトポロジが構築されると、ダイクストラ法により、各ルータから自分以外の全ルータの持つインターフェイスの属する IP ネットワークに対するルーティングテーブルが計算される。

**アプリケーションノードからの接続:** 本システムによって構成される IP ネットワークには、アプリケーションノードとなる計算機（実計算機または VM）をつなぎ込んで通信させることができる。アプリケーションノード上の OS としては、Windows または Linux を使用できる。OS 上には、仮想ネットワークインターフェイス（NIC）を作成する。仮想 NIC と仮想ルータのインターフェイスとの間を VPN によって接続する。これにより、本システムを用いて、既存の OS やその上で動作する通信ソフトウェアを修正することなく、実験を行うことが可能である。

**通信遅延・ジッタ・パケットロスの発生:** 指定した仮想ルータの仮想インターフェイスにおいて、通信遅延とパケットロスの発生を行わせることができる。通信遅延は 10 ミリ秒単位で、パケットロスは 0~100% の間で指定することができる。ジッタは ±0%~100% の間で、一様分布で発生させることができる。

**トラフィック量のモニタとトラフィックデータの複製:** 本システム内の指定した仮想ルータのインターフェイスを流れるトラフィック量（データ量およびパケット数）をモニタすることができる。また、指定した仮想ルータを流れるすべてのパケットを複製し、実験者の持つ PC 上に作成した仮想 NIC で取り出して、Tcpdump 等の一般的なパケット解析ソフトウェアに入力することが可能である。

**ネットワークトポロジの定義:** 本システムを稼働させるために、実験者は作成したい IP ネットワークトポロジを与える必要がある。トポロジの定義には、設定ファイル（XML）を外部のプログラムで作成する方法と、本システムの GUI のトポロジ作成支援シールによって、仮想ルータを配置してその間を線でつなぐ操作をグラフィカルに行う方法の 2 通りが利用できる。GUI のトポロジ作成支援ツールは Windows 上で動作する。

**スケーラブルな IP ネットワークの構築:** 多数の仮想ルータとそれらが連なった IP ネットワークトポロジが 1 台の PC 上に形成された場合、通信パケットのルーティング処理が CPU 時間を消費するため、動作が遅くなる。そこで、利用可能な PC が複数台ある場合、実験者が定義したトポロジを複数のエリアに分割し、それぞれのエリアを各 PC に割り当てることにより、負荷分散を実現することができるようにする。

本研究によって開発したシステムのうち、IP ネットワーク部分は、Windows, Linux, FreeBSD, Solaris および Mac OS X 上で動作する。仮想 NIC は Windows および Linux 上で動作する。また、GUI ツールは Windows 上でのみ動作する。

システムは、ソフトイーサ株式会社の PacketiX VPN 2.0 をプラットフォームとし、そのソースコードに機能追加する形で実装した。しかし、PacketiX VPN 2.0 は商用ソフトウェア製品であり、無償で利用することはできない。

そこで、PacketiX VPN 2.0 のうち本システムに係る部分を抽出し、権利処理した後、本システムと共に、無償で利用可能なフリーウェアとして、インターネット上で配布することを予定して

いる。ソフトウェアの名称は「UT-VPN (University of Tsukuba)」とする予定である。今秋頃に、<http://utvpn.tsukuba.ac.jp/> で公開する予定である。

## (2)研究成果の今後期待される効果

本研究では、インターネット上で動作するソフトウェアの通信処理に利用することができるスケーラブルなクライアント/サーバ型ストリーム中継システムを実現した。これにより、NAT 越え、ファイアウォール越えを考慮せずに開発者はソケット API と同等の API を用いてソフトウェアを開発できる。すべての通信はインターネット上に設置したゲートウェイを通過するが、ゲートウェイのサステナビリティは実験および SaaS サービスの一部としての提供により、長期安定稼動することが確認できた。

サーバセッションが接続されているゲートウェイが停止した場合は、一旦そのサーバセッションは切断された後、コントローラを介して別のゲートウェイに接続されるが、この際に、セッション内で確立されているコネクションが一旦切断される、という課題がある。これを、サーバセッションが別のゲートウェイに移動しても、内部のコネクションは切断されずそのまま通信が継続できるような仕組みを実現したい。

## 3.5 自律連合型基盤のための広域ネットワーク環境の構築(東京大学 中尾グループ)【II ネットワーク層】

### (1)研究実施内容及び成果

広域サービスを提供するサステナブルシステムを構築するためには、ネットワーク部分の堅牢性、耐攻撃性を高める必要がある。広域サービスの実現には、地理的に広範囲に広がるインターネット基盤を利用する必要があることは明らかであるが、インターネット自体に手を加えることは、世界規模の基盤を改善することを意味するため、困難であると考えられている。

そこで、本研究では、ネットワーク仮想化(インターネット上にオーバーレイネットワークを構築し、ネットワークを仮想化する仕組み)を用いて、インターネットの経路制御の可用性・耐攻撃性を高める要素技術を研究開発することにより、サステナブルシステムの構築基盤技術に応用することを考える。つまり、本研究の狙いは、広域ネットワークに起こり得るさまざまな障害に対して耐性を備え高い可用性を実現するサステナブルシステム基盤のための要素技術の研究開発にある。

本研究グループの研究内容は、サステナブル自律連合サービス基盤を構築する全体の目的を達成する構成要素、ネットワーク基盤のサステナビリティの高度化である。具体的には、以下に挙げる3つの要素技術を研究開発する。(1) 耐攻撃性(Robustness)を向上する要素技術の研究開発。特に、分散 DoS 攻撃に耐えうるサービスを実現するため、ネットワーク仮想化技術を応用し、コンピュータ資源が少なくても耐攻撃性を高度化する要素技術の研究開発を行う。(2) 耐障害性(Availability)を向上する要素技術の研究開発。特に、ネットワーク障害時に経路制御情報の収束を待つことなく、オーバーレイによる One-Hop Indirection

を用いて迅速に障害回避する要素技術の研究開発を行う。(3) 耐攻撃性・耐障害性, および, 通信効率を向上する複数経路基盤技術の研究開発. 上記の要素技術を実現, また, 通信効率の飛躍的向上を統合的に実現する, 複数経路によるデータ配信基盤技術を実現する研究開発を行う.

以下, 各研究項目について成果を報告する.

## ■ 耐攻撃性(Robustness)の向上技術

耐攻撃性(Robustness)を向上する要素技術であるが, DDoS 攻撃の防御を目的とした仮想ネットワーク burrows/overfort を提案した. 基本的なアイデアとしては, (a)サーバを複製するのではなく, 仮想ネットワーク上にサーバを配置し, 仮想ネットワークへのゲートウェイを複製することで, より少ない資源によりサーバを DDoS 攻撃より防御する. (b) 仮想ネットワークゲートウェイへのアクセスを DNS を用いて制御することで, 攻撃者をすばやく検知し攻撃を未然に防ぐことにある. 図 11 に示すように, BlueServer に対して, オーバーレイネットワークを構築し, ユーザの DNS の検索を黄色の丸で示した複数のゲートウェイのアドレスに解決することで, あたかも複数のサーバが存在するのと同様の効果を与える. しかも, DNS リクエストをしたユーザと

### (1)耐攻撃性を向上する要素技術

- サーバを複製するのではなく, 仮想ネットワーク上にサーバを配置し, **仮想ネットワークへのゲートウェイを複製**することで, より少ない資源によりサーバをDDoS攻撃より防御する
- 仮想ネットワークゲートウェイへの**アクセスをDNSを用いて制御**することで, 攻撃者をすばやく検知し攻撃を未然に防ぐ

プロジェクト:Burrows/Overfort

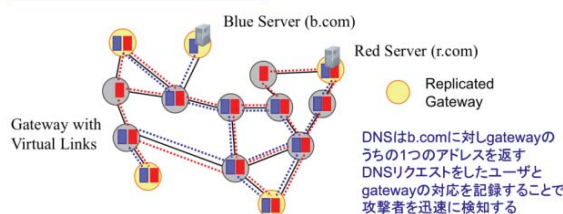


図 11: DDoS 攻撃に対する耐攻撃性を向上するシステム Burrows/Overfort

ゲートウェイの対応を記録することで攻撃者を迅速に検知し, アクセスを制限する.

問題は, (r1)用意すべきゲートウェイの個数, (r2) 攻撃者を疑陽性を少なく特定できるか, であるが, シミュレーションを行うことによりこれらの観点からシステムが DDoS 攻撃を防ぐために有益なアイデアを提案していることが示せた. 具体的には, (r1)に関しては, 世の中の local DNS サーバが  $N_{LDNS}=130000$  個あると見積もって, あるサーバに対するアクセスの 3%が攻撃者である場合 ( $R=0.97$ ), 必要な物理的なゲートウェイの数は 200 で済むことが示せた. (世の中の半分が攻撃を起こした場合 ( $R=0.5$ ), 必要なゲートウェイの数は 37500 であるが, このような攻撃は非現実である). 近年の DDoS 攻撃を起こす botnet の数が約 2 万であり, 5 つの bot が一つの local DNS サーバを共有すると仮定すれば,  $R=0.97$  は妥当な見積もりと言える. (r2)

に関しては、ほぼ疑陽性なしで攻撃の起こった local DNS を特定することが可能であることが示せた。

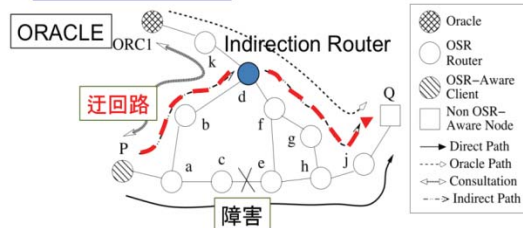
### ■耐障害性(Availability)の向上技術

耐障害性(Availability)を向上する要素技術の研究開発であるが、ここでは、One-Hop Source Routing を用いて、Router でパケットを一度だけ反射させることで、リンク障害を回避する AIRONE という仕組みを提案した。図 12 に示すように、ORACLE と呼ばれる、インターネット上で「その地点からあらゆる地点への経路情報を取得している」サーバの存在を利用し、反射させる地点を効率良く探すアルゴリズムを提案した。この仕組みを用いることで、インターネット内部のリンク障害を 8 割以上の確率で回避することが可能となる。ORACLE は既存の traceroute.org にある traceroute のサーバを用いることが可能である。図 13 に示すように、ORACLE の数を増やすことで、障害回避の確率を改善することができ、任意に与えられた経路の両端(発信点を 0%とし、到着点を 100%として正規化した場合)から 30%-80%の部分における障害回避の確率は 8 割以上となることがわかる。また、エンドシステムで反射させるよりもルータで反射させる方が、回避の確率も、また全体のホップカウントも向上することが示された。

## (2)耐障害性を向上する要素技術

・インターネット上のネットワーク障害時に、経路制御の収束を待つことなく、One-Hop Indirectionと呼ばれるオーバーレイルーティングの手法を用いて迅速な障害回避を実現する

プロジェクト: AIRONE



ホップ数の少ない迂回路を効率的に探索する  
8割強の障害を回避可能と期待される

図 12: One-Hop Indirection を用いて耐障害性を向上するシステム AIRONE

AIRONE: The more oracles, the better...

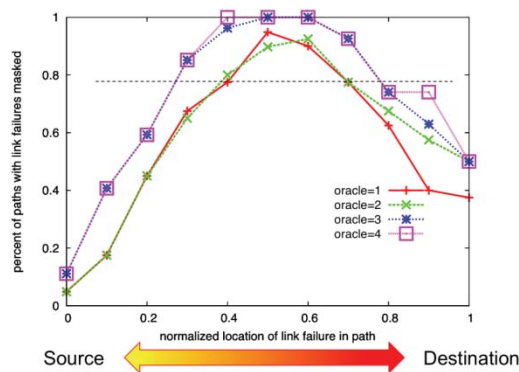


図 13: ORACLE の増加に伴う障害回避の確率の改善(AIRONE)

### ■耐攻撃性, 耐障害性, 通信効率を向上する経路基盤技術

耐攻撃性・耐障害性, および, 通信効率を向上する複数経路基盤技術の研究開発では, 通信効率の飛躍的向上を統合的に実現する, ユーザが通信経路を自由に選択できるデータ配信基盤技術(オーバーレイネットワークを用いて)を実現した. 特に, 耐障害性・耐攻撃性, および, 高効率な通信が期待される, 複数経路の通信を可能にする技術に焦点を当て, そのツールキットである SORA を開発した. SORA では, 図 14 に示すように経路制御をオーバーレイ上で, Source Routing で行うことにより, 複数経路制御を簡単に実現することが可能である. また, このシステムを用い, ネットワーク層で, 複数経路制御を行うことで, TCP のスループットを透過的に, また, 飛躍的に向上することができることを示した.

### (2)研究成果の今後期待される効果

CDN, 大規模ファイル転送(ビデオコンテンツ配信), クラウドコンピューティング, SaaS, PaaS などのウェブサービスなど, 広域にインターネットにおいて, サステナブルなネットワークサー

### (3)複数経路基盤技術

- 通信効率の飛躍的向上を統合的に実現する、**ユーザが通信経路を自由に選択できるデータ配信基盤技術**を(オーバーレイネットワークを用いて)実現する
- 特に、耐障害性・耐攻撃性、および、高効率な通信が期待される、**複数経路の通信**を可能にする技術に焦点を当てる

#### プロジェクト: SORA (Scalable Overlay Routing Architecture)

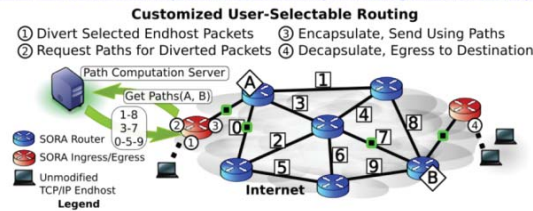


図 14: 複数経路基盤技術を開発するためのツールキット SORA

ビスを展開するためには、ネットワークの堅牢性、耐攻撃性の高度化が不可欠である。インターネットそのものを改善することは困難を極める状況で、本研究で示したように、できるだけ複雑化せず、実装可能な方法で、これらの目的を達成することは非常に重要であり、今後も、この目標を達成するよう研究を進めていきたい。

### 3.6 自律連合型基盤のためのネットワーク環境(豊橋技術科学大学 廣津グループ) 【II ネットワーク層】

#### (1)研究実施内容及び成果

ネットワークをまたがって安全に協調した処理を行う基盤としての仮想化ネットワークとその制御技術について研究を進めた。ネットワークを越えた自律連合基盤では、各エンドノードで稼動する環境間を安全・安定的に接続しつつ、自律的に制御を行うことが必要となる。そこで、それまで単層構造であったネットワークを仮想化して、実ネットワーク上に個別化された仮想ネットワークを複数実現し、自律連合する環境ごとに仮想ネットワークを利用させることで、安全な自律連合型分散環境を実現することを前提とし、仮想化ネットワークの観測・制御技術の研究を行った。これ以前に低オーバーヘッドの仮想ネットワークを提供しその利用を強制する技術として、OS 内部でのプロトコルスタックの仮想化による実現と、ユーザ空間でのシステムコール監視による実現の二つのアプローチを取って、数%程度の低いオーバーヘッドで仮想ネットワークを提供する技術を有していたので、この自律連合型分散環境を安定的かつ効率良く稼働させることを目指して、

- ① ネットワークの構造や性能に関する観測技術
- ② 仮想化ネットワークのトポロジ管理と制御、
- ③ 連合間で共有が必要なデータの効率良い交換、
- ④ ネットワーク上での効率の良い分散配置、

といった基盤技術の研究開発を行った。

### ■高速パケット収集統計解析ツール

ネットワークの性能を推定する技術を開発する際には実ネットワークデータの効率のよい収集と解析が必要となる。ネットワークの性能データについては、アプリケーションレベルでアクティブに測定する手法や、パケット収集による手法、ネットワーク機器から取得される統計情報を用いる方法が上げられる。ここでは、高速にパケット収集を可能にする技術と、ネットワーク機器から取得される統計情報を解析するツールを実現した。パケット収集に関しては、データ保存の I/O スループットを確保するために、ソフトウェア的に圧縮しながら収集することが可能となった。また、トラフィック状況の解析のために、CISCO 社性の高機能ルータで提供されている NDE (Netflow Data Export) により取得される統計情報を用いて、多解像度でのトラフィック変動の解析を可能とするビューアを実現した。従来のトラフィック統計ツールでもグラフィカルな表示を行うものはあったが、時間軸方向の解像度は固定であった。このビューアでは時間軸方向に解像度を変更しながら解析することが可能で、大局的なトラフィック状況の把握と特定部分の特徴的変動の詳細解析を連携して行うことが可能となっている。これにより、ネットワーク環境の負荷をあまりかけずに効率良くデータを収集するとともに、時相的な解析によりトラフィック変動の影響をより詳細に解析できるようになった。これらのツールを元に、実際の分散した多地点間での帯域変動を学習し予測する技術の開発を進めている。

### ■冗長トラフィックの同定手法

仮想化ネットワークのトポロジ的な制御を行うためには、仮想ネットワークと実ネットワークのトポロジーミスマッチの発見が必要である。そこで、実際の仮想化されたネットワークのトラフィック観測データを用い、パケットヘッダの特定情報の対応から冗長トラフィックを同定とした。ここでは、ハードウェアレベルの仮想化を用いた比較的自由度の小さい仮想化ネットワークにおいても 10~15%の冗長トラフィックが出ていることが確認された。この技術を広域のオーバーレイトラフィックに適用すれば、冗長トラフィックの中継点を同定しその配置を制御することで、通信の効率化が可能となる。

### ■分散環境における効率のよいタスク配置手法

分散環境での効率良い配置技術については、ネットワークから得られる情報を学習することにより、制御を行う手法の開発を行った。ここでは、分散環境でのタスク配置の決定のために、全域情報を用いず局所情報によりタスク配置を行う。具体的には、ネットワーク基盤から得られる状態の変動を学習しつつヒューリスティックベースで処理を制御することで、集中管理をせずに分散・自律的に処理の配置が可能とした。このアルゴリズムを、実ネットワークのトポロジを模したネットワークトポロジに対してシミュレーションを用いて評価し、ネットワーク状況の学習を行わないヒューリスティック手法と比べて、タスク完了までの処理時間を短縮することが可能となった。

## (2)研究成果の今後期待される効果



大規模な分散環境が現実的に利用できるようになってきた今日に於いて、分散環境のリソースをどのように選択・配置し効率的な情報処理基盤を提供するかは重要であり、その分散された計算リソースを接続する仮想化されたネットワークの制御技術はますます重要になると考えられる。今後は、ここで研究してきた制御の基礎技術をより広域かつ実際のネットワーク環境に応用していくことが必要となっていくと考えられる。

### 3.7 自律連合型基盤のためのデータ・インターオペラビリティと自律連合型情報システム(筑波大学 北川グループ)【III データインターオペラビリティ層】

#### (1)研究実施内容及び成果

自律性を有するシステム群の連合処理を実現するためには、システム間のデータの相互運用が必須である。本グループは、オープン環境におけるデータベース、Web サイトなどの大規模データを保有するシステム(情報源)の連合を主な対象として、シームレスなデータ相互運用を実現するためのデータ基盤技術、動的情報源連合のための知識獲得技術、自律連合型基盤上でのデータインターオペラビリティ実現に関する研究開発を行った。

まず、各基盤技術を載せるための土台として、障害への耐久性の高い分散データ処理を実現する持続型情報統合基盤の研究開発を、自律連合システムグループとの連携のもとに行った。そして、そのようなオープンな環境におけるデータ相互運用技術として、アクセス制御を統合したデータベースの XML へのラッピング処理や、情報源のセキュリティポリシーを考慮したメタディエーション処理等の研究、P2P ネットワークにおける XML データ管理手法等の XML によるデータ相互運用に関する研究を行った。知識発見を用いた情報源連合に関しては、ノイズ除去を統合しデータベースと連携したテキスト情報源の知識抽出や情報探索手法を開発した。

#### ■ 持続的情報統合基盤

本研究では、分散環境において柔軟かつ高信頼な情報源連合を実現するための情報統合基盤 StreamSpinner の開発を行った。StreamSpinner では、データベース、Web、XML 文書等の情報源に加え、センサーや位置情報、カメラ映像などのストリーム型情報源を統合対象として扱うことができる。また、データベース等で用いられている従来型の問合せ処理方式だけでなく、時間とともに新しいデータが次々到着するストリーム型の情報源に対して、データ到着などのイベントに連

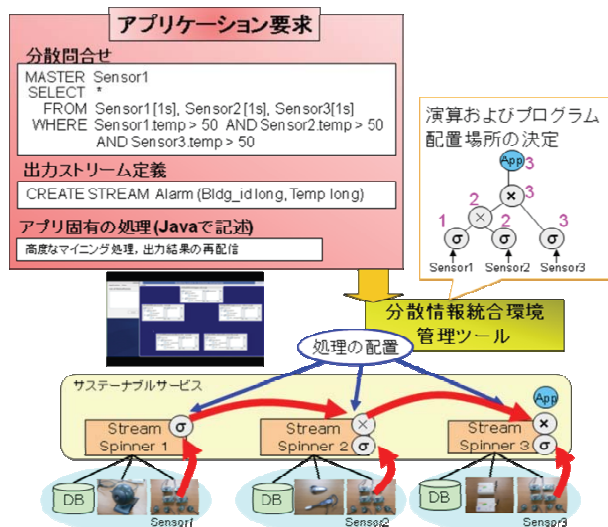


図 15: StreamSpinner

動して演算評価を繰り返し行う連続的な問合せ処理方式を採用している。

広域分散環境における情報統合では、各サイトで管理されているデータを取得し、途中経路上でデータをフィルタリング・統合・加工し、利用者へ届けなければならない。しかし、データの転送経路や各演算処理を行うマシンなどを利用者に設計させることはコストが高い。StreamSpinner では、分散環境の複雑さを意識させない情報統合アプリケーションの開発支援のためのフレームワークを提供している。このフレームワークでは、利用者は自身のアプリケーションプログラムと一緒に、アプリケーションプログラムへの入力データを取得するための処理要求を SQL ベースの問合せとしてシステムに登録する。システム側では、問合せを解析し、分散環境内のネットワーク遅延情報をもとに、ネットワーク帯域使用量が最少となるようなデータ転送経路および演算配置を決定する。従来の分散データベースにおける分散問合せ最適化と異なり、ストリーム型情報源を含んだ情報統合処理は長期にわたって実行され続けるため、ネットワーク遅延の長期変化などを考慮した演算配置を決定し、実行中に適応的な演算再配置を行っている。比較実験により、ネットワーク遅延の変化に対して従来手法よりもネットワーク帯域使用量を抑えられることを示した。

分散環境中の各マシンに故障が発生した場合にも問合せ処理を継続的に実行するため、StreamSpinner ではミドルウェアレベル方式と仮想マシンレベル方式の 2 種類の高信頼化方式を実現した。ミドルウェアレベル方式は、StreamSpinner 自身による高信頼化であり、メインとバックアップの 2 台の StreamSpinner の間で内部状態を定期的に同期することにより、障害に備える。仮想マシンレベル方式では、自律連合システムグループが開発中のサステナブルシステムを用いており、複数ノード上でサステナブルシステムを起動し、サステナブルシステムの提供する仮想マシンの中で StreamSpinner が動作する。サステナブルシステムが実行中の仮想マシンのスナップショットを定期的にネットワーク上の他のノードへ配布することで、障害発生時にも別のノードで仮想マシンを復旧することが可能である。一般にアプリケーション処理は複雑かつ多様であり、システムが提供する標準演算に加え、アプリケーション固有の処理を組み入れる必要がある。仮想マシンレベル方式では、利用者定義の任意の処理と連携するようなアプリケーションが実行されている場合でも、それらの内部状態を含めて復旧可能であるという利点がある。ストリーム型情報源を含む情報統合において、仮想マシン技術との連携による持続型処理の実現は本研究が最初である。また StreamSpinner では、システムの復旧後に上流のノードからデータ再送を行うことで、障害発生中に流れていたデータの損失を防ぐことができる。これまでに、プロトタイプシステムを完成させると共に、それを用いた評価実験により、2 方式の比較実験等を行った。

## ■セキュア情報統合基盤

本研究では、オープンな分散環境におけるセキュアかつ効率的なデータ相互運用・情報統合を実現するための基礎技術を開発した。特に、自律的に運用されるサイト群における統合データモデルに基づいた分散処理を行なう「水平方向」のセキュアなメディアーション処理と、アダプタを介して各種情報源から統合データモデルへの変換を行なう「垂直方向」のセキュア

なラッピング処理について研究を行った。

現在のオープンシステム連携に加え、今後は本課題が実現を目指す自律連合型基盤システムや、グリッド・P2P・VM 技術により計算機資源を必要に応じて再配分するユーティリティコンピューティングの普及が予想される。分散処理に利用可能な計算機（サイト）群は、複数の管理主体から提供される。

メディアーション処理では、関係データモデルを対象とし、オープンな分散環境でのセキュアな問合せ処理を実現する。一般に、分散問合せ処理では、部分処理を各サイトに割り当て、全体処理効率の最適化を図る。既存手法では、問合せ発行者が情報源サイトのデータベースに対してアクセス権を持つことのみを前提としていた。しかし、本研究で想定するオープン環境では、管理主体の異なるサイト群が関わるため、機密性のあるデータは、第三者による窃取を避けるために信頼できるサイトで限定的に処理すべきである（図 16）。

この問題に対し、本研究では、問合せ発行者のみならず、処理に参加する各サイトについてもデータアクセス権を設定するものとし、それら全てに違反しないような問合せ最適化手法を実現した。提案手法は、分散問合せ処理過程におけるデータ保護まで考慮している点で従来手法と比べて独創性を有する。本手法は、System R\* の手法をベースとしたボトムアップな動的プログラミングによって最適化を行なうが、データ移送時にアクセス権を持つサイトのみを移送先候補とすることでデータ保護上の安全性を高めている（図 16）。

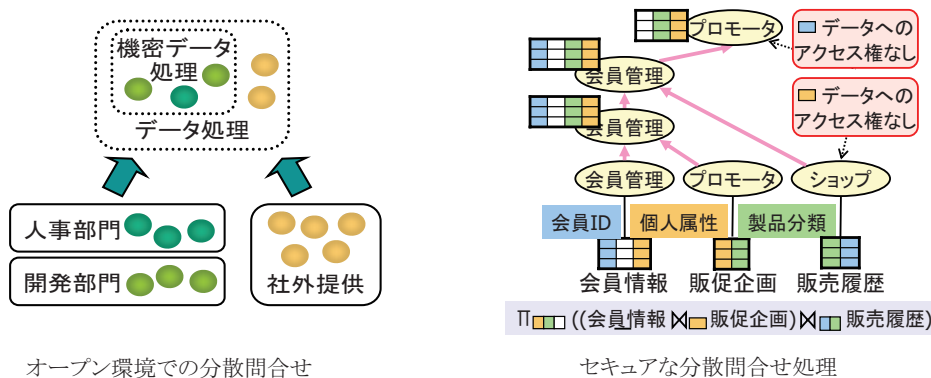


図 16:セキュア情報統合基盤

更に、アクセス制限が厳しく安全な問合せ処理戦略が存在しないが、一部の結果だけでも取得したい場合が存在する。この要求を実現可能な手法の検討も、上記提案手法をベースとして行なってきた。必要に応じて、問合せ記述者が必須と注記した部分以外のデータを諦めることで、アクセス制御の制約を緩め、部分的な結果を得られるようにする。

これまで、基礎的な問合せ処理手法を設計し、実装・検証を行ってきた。本成果を基礎として高度な問合せ要求に対応させることで、オープンな分散環境、特に自律連合型基盤システムやユーティリティコンピューティングに適したセキュアなデータベース技術を実現することが期待される。

一方、セキュアなラッピング処理は、リレーショナルデータから XML への変換および問合せ処理（XML 出版）におけるアクセス制御を考慮するものである。XML 出版はデータ統合の重

要な技術の一つであり、XML ビューへの変換と XML ビューに対する問合せを統一的に扱うことで効率的な処理を実現する。

一般に、データ保護のために、XML ビューに対してアクセス制御が施される。これは、変換・問合せの間に割り込む形で適用される。XML 部分暗号化・電子署名も同様である。従来手法ではこれらを考慮していないため、変換、アクセス制御、部分暗号化・電子署名、問合せの各手順を独立して、段階的に処理する。本研究では、これらの処理を統一的に扱える体系へと従来方式を拡張し、最適化可能とした。同様の検討は他に見られない。

### ■ P2P 環境情報利用基盤

計算機の性能向上とネットワークのブロードバンド化に伴い、インターネット等、既存のネットワークの上に特定の応用向きに構築される仮想的なネットワークである「オーバーレイネットワーク」が注目されている。オーバーレイネットワークは、自律分散システムを実現するための重要な基盤技術である。その中でも、

Peer-to-Peer (P2P) ネットワークは、オーバーレイネットワークにおける中核技術の一つであり、近年活発な研究・開発が進んでいる。

本研究では構造型 P2P ネットワークの一種である分散ハッシュ表 (DHT) を対象に、汎用の XML データ検索・格納機構を開発することを目的とする。DHT は、数千規模の巨大な P2P ネットワークを構築可能である反面、検索としてはキーによる完全一致しか扱うことができないため、XML データのような複雑な構造を持つデータを直接扱うことができない。そこで、XML データから構造情報とテキストノードだけを抽出し DHT に格納することによって、XPath による問合せを可能にする手法を提案した。また、プロトタイプシステムを実装し実験による性能評価を行った結果、関連研究である XP2P に比べ高い検索性能を示すことを示した。本提案手法を用いることで、オーバーレイネットワーク (DHT) 上で、XML データによって記述された (メタ) データを効率的に流通させることが可能となる。

最終年度は、さらに XML のキーワード検索を可能にする手法を検討した。これは基本的には XML データから転置リストを抽出し、これを DHT に格納する。検索時には、与えられたキーワードを包含するような最小の部分木を効率よく求める、そのための検索アルゴリズムおよびブルームフィルタに基づく通信量の削減手法を開発した。本手法と前述した XPath 検索手法を組み合わせることにより、XML データの検索言語である XPath Fulltext の主要な機能を DHT 上で実現することが可能となる (図 17)。

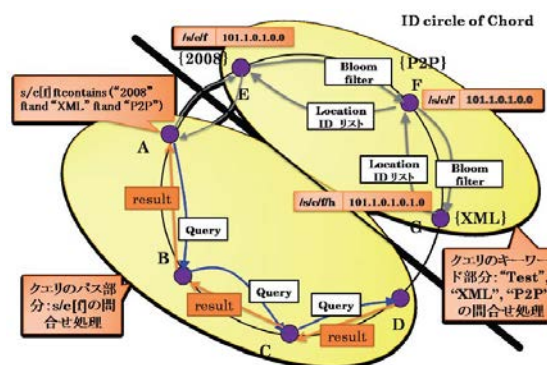


図 17: P2P 環境利用基盤

## ■知識抽出に基づく情報源連合の高度化

今日のネットワーク社会においては、膨大なデータが散在しており、また、日々新たに生み出されている。ネットワーク上に分散した情報源を連合することにより、付加価値を持った新たな情報を創出するような機能が求められている。しかし、ネットワーク上に存在するデータはその内容・形式ともに多種多様であり、また、ノイズや誤りを含んでいたり、表記のゆれ等も存在する。このため、

情報源の連合のためには、データの異種性やノイズに対処可能な手法をとる必要がある。本研究では知識抽出手法の活用により、この問題に取り組んできた。

具体的には、ウェブを中心とする大規模テキスト情報源からのレコード情報抽出に関する研究を行った。以下の2つのサブテーマについて手法の開発を進めた。

- ① 例示とフィードバックを用いたテキスト情報源からのレコード抽出(図18参照)
- ② データクリーニングのプロセスを統合したテキスト情報源からのレコード抽出

両者は密接に関係しており、どちらも大量のテキスト情報源の中からレコード形式のデータ(例:企業名とその所在地のペア)を抽出することを目的としている。今回の研究期間においてはサブテーマ①を中心に進め、それを補う形でサブテーマ②の研究開発を進めた。最終的には、②は①に統合する形で手法の実現を図った。

本研究の基礎となるものはブートストラップ型と呼ばれるレコード抽出のアプローチである。このアプローチでは、最初に例示レコード集合を与えておき、テキスト情報源から例示レコードを探索した後、例示レコードを抽出するための抽出ルール(パターン)を学習する。次のステップでは学習したルールに基づいて再度テキスト情報源からレコードを抽出する。このような処理の繰り返しにより、徐々に獲得するレコードとルールを増やしていく点が特徴である。また、既に存在するデータベースのデータを、信頼できるレコード情報として例示レコードの作成やフィードバック処理へ活用することとしている。

ブートストラップ型のレコード抽出手法は、大量のテキストデータからの半自動的な情報抽出に適しているが、必ずしもその質は高くないという問題がある。特に、抽出したいレコード集合に対して特別な要求がある場合(例:IT関連企業について企業名と所在地のペアを選択)、既存の手法では対象のトピックに関連ない無駄なレコードの抽出が行われてしまい、抽出後にユーザによるフィルタリングが必要となる。そこで、研究①では、レコード抽出の過程においてユーザから提示されたレコードのトピックの合致について、システムにフィードバックを行うア

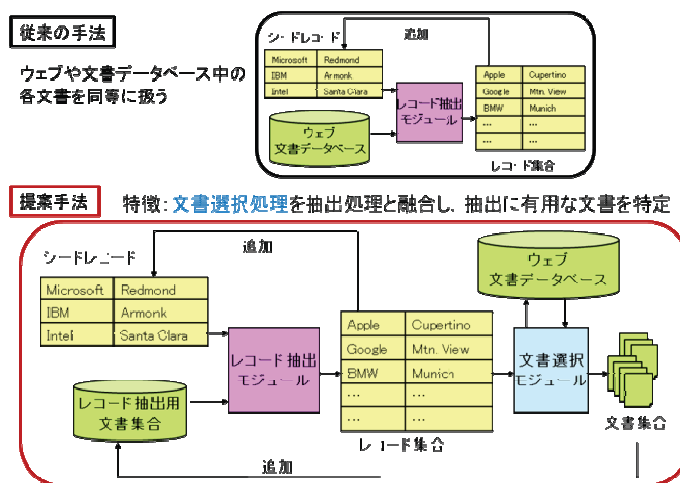


図18: 知識抽出に基づく情報源連合

アプローチを提案している。関連が深い文書群を中心に選択しパターンを学習することにより、より高速に目的とするレコード群を獲得することを目指している。実装に基づく評価を行い、その有効性に関する検証を行った。

研究②では、レコード抽出処理とデータクリーニングのプロセスを統合することを目的としている。レコード抽出結果には一般に多くのノイズが含まれる。ノイズを含む大量のデータからノイズを検出・除去するための研究としてデータクリーニングが進められている。本テーマの特徴は、データクリーニングのプロセスをレコード抽出処理の内部に統合する点にある。ユーザとの対話的処理により、早い時点でノイズデータを除去することにより、ノイズが波及して抽出結果や抽出ルールが質が悪化することを早期に防ぐことを目的とする。こちらについては、結果的には①の研究と融合し、レコード抽出処理の一つのプロセスとして位置づけることで実現を図った。

## (2)研究成果の今後期待される効果

自律連合型データ・インターオペラビリティグループの研究開発活動概要について述べた。上記に述べた各研究項目は図 19 のように相互に関係している。今後、本研究で得られた研究成果物のオープンソース化等を進めると共に、本研究で得られた知見を発展させることにより、より高水準なデータインターオペラビリティやモバイル・ユビキタス環境における高次の情報コンテンツ活用を実現するための研究開発に取り組んでいきたい。

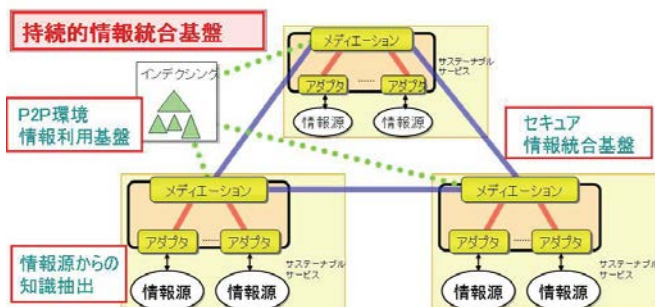


図 19: インターオペラビリティグループの成果

## 3.8 Web プログラミングのモデル化, スクリプト言語のプログラム解析(筑波大学 井田グループ)【IV プログラミング言語層】

### (1)研究実施内容及び成果

Web システムは、サーバ側で動作する Web サーバと、クライアント側で動作する Web ブラウザによって構成され、サーバ側とクライアント側では独立したプログラミング言語処理が行われる。サーバサイドのプログラムは実行時に、クライアント側システムのための、サーバサイドとは全く異なる体系のプログラムコードを生成する必要がある。さらに Web サーバはしばしば、計算サーバやデータベースサーバ等の複数サーバを連携させて構築することが行われる。つまり Web システムは、それを実現しているソフトウェアシステムの構造が、自律したシステムの連合となっている。このように自律連合が Web システムの基盤となっている一方、その連合で生じる不整合

に起因する SQL イジェクション、クロスサイトスクリプティング脆弱性等のさまざまな問題が露見している。

本研究では、プログラム解析の技術を Web プログラムに適用し、Web システムを構成するシステム間で生じる不整合を検証する技術を確立し、堅牢で安全な Web システムの開発を可能にするプログラム支援・検証システムを開発することを目指した。

### ■文脈自由言語に基づく文字列解析

プログラムの文字列出力を、文脈自由文法を用いて保守的に近似するプログラム解析(文字列解析)を開発した。このプログラム解析をサーバサイド・プログラムに適用することで、生成される Web ページの近似を得ることができ、サーバサイド・プログラムの脆弱性の検出や生成される Web ページの妥当性検証が可能になる。

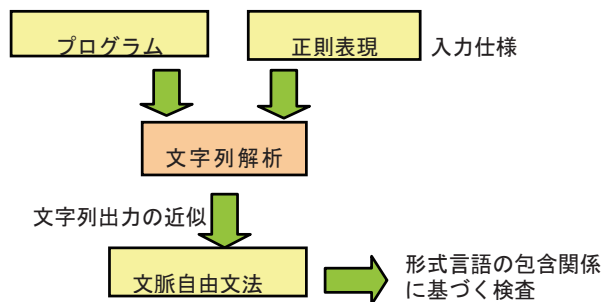


図 20: 文字列解析器

文字列解析器には、図 20 のようにプログラムと正規表現で表されたそのプログラムに対する入力文字列の仕様を与える。解析器は、それらの入力に対して、プログラムが出力する可能性がある文字列を表現する文脈自由文法を計算する。この解析に基づき、妥当性や安全性を検査するためには、それらの性質を正規言語や文脈自由言語で表し、解析によって得られた文脈自由言語との包含関係を検査すればよい。

この解析をサーバサイド・プログラミング言語 PHP に対して実装し、Web 上で公開した。この解析器を用いてフリーソフトウェアを検査し、妥当性等のプログラムの誤りを発見することに成功している。

### ■文字列解析によるサーバサイド・プログラムの妥当性検証

サーバサイド・プログラムが生成する Web ページが常に文法的に正しいか(妥当であるか)を文字列解析を用いて検証する研究を行った。プログラムの文字列出力の安全性や妥当性の検証は、文字列解析によって得られる文脈自由言語と仕様を表す形式言語との間の包含関係の検査として実現できる。しかし、Web ページの妥当性の問題を考えると、仕様となる形式言語は正規言語では表現できず、文脈自由文法が必要となる。一方、文脈自由言語の包含関係は決定不能問題であり、既存のアルゴリズムを用いて検査を実現することができない。しかし、XML 形式で表現される XHTML を考えると、その仕様は制限された文脈自由文法で表現できる。その制限を考慮に入れることで、妥当性検証に必要となる包含関係の検査アルゴリズムを開発した。具体的には、包含関係を判定する二つアルゴリズムを開発した。

①文脈自由言語と XML-文法の言語の包含問題

②文脈自由言語と正規生垣文法(Regular Hedge Grammar)の言語の包含問題

XML-文法、正規生垣文法は、それぞれ XML スキーマ言語 DTD, Relax NG のモデルとなっ

ており、この包含関係の判定アルゴリズムを用いて、XML スキーマに対する妥当性検証が可能になる。XHTML の仕様は DTD で与えられており、また、XML-文法は正則生垣文法のサブクラスになっていることから、どちらのアルゴリズムを用いても XHTML に対する妥当性検証は可能である。XML-文法、正則生垣文法に対するアルゴリズムは、それぞれ指数関数時間、二重指数関数時間の計算量を持つ。これらのアルゴリズムに基づき、PHP 文字列解析器上に XML スキーマに対する妥当性検証を実装した。PHP で書かれたフリーソフトウェアにこの妥当性検証を適用する実験を行い、妥当性に関するプログラムの誤りの検出に成功した。

さらに、HTML に対する妥当性検証アルゴリズムを開発した。XHTML と HTML は非常に近い文書形式であるが、XHTML が XML に基づいている一方、HTML が SGML に基づいておりタグの省略が可能である点で大きく異なる。また、SGML には形式言語によるモデルがないため、その仕様が明確でない点も妥当性検証アルゴリズムを開発する上で問題となった。本研究では、SGML DTD が表す言語を、正則生垣文法とトランスデューサ(出力付きオートマトン)を用いて定式化し、さらに HTML の DTD を含む制限されたサブクラスに対して、正則生垣文法への変換を与えることで妥当性検証を実現した。

また、妥当性検証に必要となるアルゴリズムの計算量を理論的に分析する研究を行い、二つの結果を得た。第一に、与えられた文脈自由文法が生成する文字列がすべてバランスが取れているかを判定するアルゴリズムの研究を行った。これまでに知られていたアルゴリズムは指数関数時間のアルゴリズムであり、PHP 文字列解析器でも指数関数時間のアルゴリズムを採用している。この判定に SLP(Straight Line Program)と呼ばれる非常に制限された文脈自由文法に関するアルゴリズムを応用することで、この問題を多項式時間で判定するアルゴリズムを開発した。PHP 文字列解析器を用いたプログラムの検査では、この判定が全体の検査時間の大きな部分を占めることはなかったが、理論的には大きな改善であると言える。第二に、文脈自由言語と正則生垣言語との間の包含関係の判定問題が、二重指数時間完全であることを証明した。これは、すなわち、本研究で開発した文脈自由言語と正則生垣言語の包含を判定するアルゴリズムが計算量の点で最適であることを意味している。

## ■文字列解析によるクロスサイトスクリプティング脆弱性の検出

文字列解析は、サーバサイド・プログラムにしばしば見られる SQL インジェクション、クロスサイトスクリプティングなどの脆弱性を静的に検出する技術の基礎となる。カリフォルニア州立大学デービス校の Wassermann と Su は文字列解析と情報流解析を融合することで SQL インジェクションを検出する枠組みを提案し、PHP 文字列解析器を拡張することでその実装を行った。大規模な PHP プログラムについても高い精度で脆弱性が検出できることが報告されている。Wassermann と Su の方法はクロスサイトスクリプティング脆弱性の検出にも応用できる。現在、彼らの方法を独立に PHP 文字列解析器に実装し、クロスサイトスクリプティング脆弱性を検出する研究を進めている。比較的規模の大きなフリーソフトウェアに対する予備的な実験においては単純なクロスサイトスクリプティング脆弱性の検出に成功している。しかし、クロスサイトスクリプティングの場合には、攻撃の形態が非常に多様であり、精密な検査にはこれまでの手法の



みでは不十分であり、妥当性検証の技術と組み合わせてより精密な検査を実現することが今後の課題となっている。

## (2)研究成果の今後期待される効果

文字列解析アルゴリズムの改良及び既存のプログラム解析技術との融合により解析精度を高めることが、文字列解析による検証の実用性を高めるために非常に重要である。また、検証に適したプログラミング言語、プログラミングフレームの開発により検証を支援することも重要であり、今後、プログラム解析・検証技術とプログラミング言語・フレームワークの両面から研究を進め、ウェブプログラムの検証技術の確立を目指す。

#### §4 研究参加者（○ 代表者 \* CREST 研究費による雇用者）

##### ①自律連合システムグループ(自律連合型分散システムの構築の研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	加藤 和彦	筑波大学	教授	自律連合システムの構築	H15.10 ~ H21.3
	板野 肯三	筑波大学	教授	自律連合システムの構築	H15.10 ~ H21.3
	新城 靖	筑波大学	准教授	自律連合システムの構築	H15.10 ~ H21.3
	品川 高廣	筑波大学	講師	自律連合システムの構築	H19.4 ~ H21.3
*	リチャード・ポッター	筑波大学	CREST 研究員	自律連合システムの構築	H16.4 ~ H20.3
*	杉木 章義	筑波大学	CREST 研究員	自律連合システムの構築	H19.2 ~ H21.3
*	伊藤 千晴	筑波大学	チーム 事務員	自律連合システムの構築	H16.1 ~ H21.3
	中村 理	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H15.10 ~ H17.3
*	シュラーニ・ペーテル	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H15.12 ~ H20.3
*	岡 瑞起	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H15.10 ~ H20.3
	鈴木 与範	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H15.10 ~ H18.1
	長井 志郎	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H16.3 ~ H16.7
*	エミル・メン	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H16.3 ~ H20.7
	星野 厚	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H16.3 ~ H21.3
*	小磯 知之	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H16.4 ~ H18.3

*	鈴木 勝博	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H17.4 H19.3	～
*	榮樂 英樹	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H17.4 H19.3	～
*	馬淵 充啓	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H17.4 H21.3	～
*	塚田 大	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H17.4 H19.3	～
*	池嶋 俊	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H17.4 H20.3	～
*	川崎 仁嗣	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H17.4 H20.3	～
*	吉野 純平	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H17.4 H20.3	～
*	石川 宗寿	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H17.4 H21.3	～
	三津江 敏之	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H19.4 H20.3	～
*	横田 竜二	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H18.4 H21.3	～
	韓 氷	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H18.4 H19.3	～
	大宮 正大	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H18.4 H21.3	～
	中川 毅夫	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H19.4 H21.3	～
	安田 博之	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H19.4 H20.3	～
*	横川 晃	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H19.4 H21.3	～
*	大和崎 啓	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H19.4 H21.3	～
	羽鳥 貴之	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H20.4 H21.3	～
*	小長谷 秋雄	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H20.4 H21.3	～

	ホアン・カルロス・ポランコ・ア グイラー	筑波大学	研究生	自律連合システムの構築	H20.4 H21.3	～
	忠鉢 洋輔	筑波大学	学部生	自律連合システムの構築	H20.4 H21.3	～
	宮澤 和徳	筑波大学	学部生	自律連合システムの構築	H20.4 H21.3	～
	山田 佳樹	筑波大学	学部生	自律連合システムの構築	H20.4 H21.3	～
	内川 智樹	筑波大学	学部生	自律連合システムの構築	H20.4 H21.3	～
*	丹羽 達也	筑波大学	学部生	自律連合システムの構築	H20.4 H21.3	～
*	鈴木 真一	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H16.4 H18.3	～
	大木 薫	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H18.4 H19.3	～
	五明 将幸	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H18.4 H21.3	～
	高橋 由直	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H18.4 H21.3	～
	塚田 孝太郎	筑波大学	学部生	自律連合システムの構築	H18.4 H21.3	～
	松井 慧悟	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H18.4 H21.3	～
	土生 陽平	筑波大学	学部生	自律連合システムの構築	H18.4 H19.3	～
	山本 悠輔	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H19.6 H21.3	～
	高田 真吾	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H19.6 H21.3	～
	豊岡 拓	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H19.6 H21.3	～
	アハマド・シャ ヒル	筑波大学	学部生	自律連合システムの構築	H15.10 H21.3	～

	杉本 卓哉	筑波大学	学部生	自律連合システムの構築	H19.6 ~ H20.3
	岡田 直巳	筑波大学	学部生	自律連合システムの構築	H19.6 ~ H20.3
	白石 光隆	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H19.6 ~ H21.3
	小沢 健史	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H20.6 ~ H21.3
	上川 大介	筑波大学	大学院生	自律連合システムの構築	H20.6 ~ H21.3
	金子 直矢	筑波大学	学部生	自律連合システムの構築	H20.6 ~ H21.3
	齋藤 剛	筑波大学	学部生	自律連合システムの構築	H20.6 ~ H21.3
	松山 竹次郎	筑波大学	学部生	自律連合システムの構築	H20.6~ H21.3

②ネットワーク環境サブグループ(自律連合型基盤のためのネットワーク環境研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	廣津 登志夫	豊橋技術科学大学	准教授	仮想ネットワーク環境	H15.10 ~ H20.10
	阿部 洋丈	豊橋技術科学大学	助教	仮想ネットワーク環境	H15.10 ~ H21.3
	小林 思無邪	豊橋技術科学大学	大学院生	仮想ネットワーク環境	H17.4 ~ H19.3
	河野 智一	豊橋技術科学大学	大学院生	仮想ネットワーク環境	H17.4 ~ H20.3
	下村 佳生	豊橋技術科学大学	大学院生	仮想ネットワーク環境	H17.4 ~ H20.10
	廣瀬 博昭	豊橋技術科学大学	大学院生	仮想ネットワーク環境	H17.4 ~ H20.3
	黒田 大陽	豊橋技術科学大学	大学院生	仮想ネットワーク環境	H18.4 ~ H20.10

	西谷 信之介	豊橋技術科学大学	大学院生	仮想ネットワーク環境	H18.4 ~ H20.10
	大高 信太郎	豊橋技術科学大学	大学院生	仮想ネットワーク環境	H18.4 ~ H20.10
	石橋 崇	豊橋技術科学大学	大学院生	仮想ネットワーク環境	H19.4 ~ H20.10
	片山 忠和	豊橋技術科学大学	大学院生	仮想ネットワーク環境	H19.4 ~ H20.10
	塩野 祐輔	豊橋技術科学大学	大学院生	仮想ネットワーク環境	H19.4 ~ H20.3
	森下 達夫	豊橋技術科学大学	大学院生	仮想ネットワーク環境	H19.4 ~ H20.10
	野澤 直城	豊橋技術科学大学	学部生	仮想ネットワーク環境	H18.4 ~ H19.3
	李 忠翰	豊橋技術科学大学	大学院生	仮想ネットワーク環境	H18.4 ~ H20.10
	片山 忠和	豊橋技術科学大学	大学院生	仮想ネットワーク環境	H19.4 ~ H20.10
	齋藤 義文	豊橋技術科学大学	大学院生	仮想ネットワーク環境	H20.4 ~ H20.10

③セキュアな実行環境サブセキュアな実行環境サブグループ(自律連合型基盤のための仮想計算環境研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	大山 恵弘	電気通信大学	准教授	セキュアな実行環境の構築	H15.10 ~ H20.10
	安達 悠	電気通信大学	大学院生	セキュアな実行環境の構築	H19.6 ~ H20.10
	大田原 渉	電気通信大学	大学院生	セキュアな実行環境の構築	H19.6 ~ H20.10
	神山 貴幸	電気通信大学	大学院生	セキュアな実行環境の構築	H19.6 ~ H20.10
	木村 将	電気通信大学	大学院生	セキュアな実行環境の構築	H19.6 ~ H20.10

	山崎 大輔	電気通信大学	大学院生	セキュアな実行環境の構築	H19.6 ~ H20.10
	井上 翔大	電気通信大学	大学院生	セキュアな実行環境の構築	H20.4 ~ H20.10
	野元 励	電気通信大学	大学院生	セキュアな実行環境の構築	H20.4 ~ H20.10
	星 洋平	電気通信大学	大学院生	セキュアな実行環境の構築	H20.4 ~ H20.10

④自律的に起動可能なネットワーク OS サブグループ (Internet からの OS 起動に関する研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	須崎 有康	産業技術総合研究所	主任研究官	自律連合システムの構築	H16.7 ~ H20.10

⑤仮想インターネットサブグループ (仮想インターネットの設計と実装研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	登 大遊	ソフトイーサ株式会社/ 筑波大学	代表取締役 役会長	仮想インターネットの 設計と実装	H17.4 ~ H21.3
	杉山 哲男	ソフトイーサ株式会社	取締役	仮想インターネットの 設計と実装	H17.9 ~ H21.3
	清水 超也	ソフトイーサ株式会社	技術開発 部員	仮想インターネットの 設計と実装	H18.4 ~ H21.3
	桑名 潤平	ソフトイーサ株式会社/ 筑波大学	技術開発 部員	仮想インターネットの 設計と実装	H17.4 ~ H21.3
	伊藤 隆朗	ソフトイーサ株式会社/ 筑波大学	技術開発 部員	仮想インターネットの 設計と実装	H20.2 ~ H21.3
	新妻 浩光	ソフトイーサ株式会社/ 筑波大学	技術開発 部員	仮想インターネットの 設計と実装	H20.2 ~ H21.3

⑥セキュアな実行環境サブグループ(自律連合型基盤のための仮想計算環境研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	米澤 明憲	東京大学	教授	仮想計算環境の構築	H15.10 ~ H19.3
*	サイエドアハ マドハレド	東京大学	CREST 研究員	仮想計算環境の構築	H17.10 ~ H19.3
	前田 俊行	東京大学	助教	仮想計算環境の構築	H16.4 ~ H19.3
	小林 義徳	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H15.10 ~ H19.3
	増山 隆	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H15.10 ~ H19.3
	末永 幸平	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H15.10 ~ H19.3
	尾上 浩一	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H15.12 ~ H19.3
	立沢 秀晃	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H15.12 ~ H19.3
	遠藤 侑介	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H16.4 ~ H19.3
	横山 陽介	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H16.4 ~ H19.3
	吉野 寿宏	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H16.4 ~ H19.3
	佐藤 秀明	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H17.4 ~ H19.3
	島本 大輔	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H17.4 ~ H19.3
	山崎 孝裕	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H17.4 ~ H19.3
	頓 楠	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H17.4 ~ H19.3



	西川 賀樹	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H17.4 ~ H19.3
	大住 裕之	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H18.4 ~ H19.3
	山下 諒蔵	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H18.11 ~ H19.3
	小田 泰	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H18.11 ~ H19.3
	佐藤 春旗	東京大学	大学院生	仮想計算環境の構築	H18.11 ~ H19.3

⑦広域ネットワーク環境グループ(自律連合型基盤のための広域ネットワーク環境の構築研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	中尾 彰宏	東京大学	准教授	自律分散システムのための広域ネットワーク環境の研究	H19.4 ~ H21.3
	ジョン・ラッセル・レーン	東京大学	大学院生	自律分散システムのための広域ネットワーク環境の研究	H19.4 ~ H21.3
*	スーン・ヒン・コー	東京大学	大学院生	自律分散システムのための広域ネットワーク環境の研究	H16.10 ~ H20.3
	松山 祐司	東京大学	大学院生	自律分散システムのための広域ネットワーク環境の研究	H19.4 ~ H21.3
	岩瀬 義昌	東京大学	大学院生	自律分散システムのための広域ネットワーク環境の研究	H19.4 ~ H21.3
	富田 優子	東京大学	大学院生	自律分散システムのための広域ネットワーク環境の研究	H19.4 ~ H21.3

*	ビン・ソウ	東京大学	大学院生	自律分散システムのための 広域ネットワーク環境 の研究	H19.4 ~ H21.3
*	松田 駿一	電気通信大 学	大学院生	自律分散システムのための 広域ネットワーク環境 の研究	H20.9 ~ H20.10
*	阿部 敏和	電気通信大 学	大学院生	自律分散システムのための 広域ネットワーク環境 の研究	H20.9 ~ H20.10

⑧データ・インターオペラビリティグループ(自律連合型基盤のためのデータ・インターオペラビリティと自律連合型情報システム研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	北川 博之	筑波大学	教授	データ・インターオペラビ リティ	H15.10 ~ H21.3
	石川 佳治	筑波大学	教授	データ・インターオペラビ リティ	H15.10 ~ H21.3
	森嶋 厚行	筑波大学	准教授	データ・インターオペラビ リティ	H15.10 ~ H21.3
	天笠 俊之	筑波大学	講師	データ・インターオペラビ リティ	H17.4 ~ H21.3
	品川 徳秀	東京農工大 学	准教授	データ・インターオペラビ リティ	H16.4 ~ H21.3
	川島 英之	筑波大学	講師	データ・インターオペラビ リティ	H15.10 ~ H21.3
	渡邊 陽介	東京工業大 学	助教	データ・インターオペラビ リティ	H16.4 ~ H21.3
	竹 翠	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビ リティ	H16.4 ~ H18.3
	濱本 雅史	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビ リティ	H16.4 ~ H20.3
	宮坂 集策	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビ リティ	H16.4 ~ H17.3

	張 建偉	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビリティ	H16.4 ~ H20.3
	崔 春花	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビリティ	H16.4 ~ H17.3
	町田 陽二	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビリティ	H17.4 ~ H18.3
	キー・ソポン	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビリティ	H17.4 ~ H21.3
	成田 和世	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビリティ	H17.4 ~ H21.3
	山田 真一	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビリティ	H18.4 ~ H19.3
	城戸 健太郎	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビリティ	H18.4 ~ H19.3
	呉 俊輝	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビリティ	H18.4 ~ H19.3
	秋山 亮	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビリティ	H19.4 ~ H20.3
	稲守 孝之	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビリティ	H19.4 ~ H21.3
	李 曉晨	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビリティ	H19.6 ~ H21.3
	大喜 恒甫	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビリティ	H19.6 ~ H21.3
	ブーケレフ・ジ ェツルール	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビリティ	H20.8 ~ H21.3
	キット・チャント ラ	筑波大学	大学院生	データ・インターオペラビリティ	H20.8 ~ H21.3

⑨分散コンピューティングの言語と検証グループ (Web プログラミングのモデル化, スクリプト言語のプログラム解析研究)

	氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
○	井田 哲雄	筑波大学	教授	研究全体の遂行	H15.10 ~ H20.10

	南出 靖彦	筑波大学	講師	プログラム解析・検証	H15.10 ~ H20.10
	大堀 淳	東北大学	教授	プログラム言語・解析	H15.10 ~ H18.3
	乙井 信男	筑波大学	大学院生	プログラム解析・検証	H17.9 ~ H18.3
*	松本 宗太郎	筑波大学	大学院生	プログラム解析・検証	H17.3 ~ H20.10
	ファドア・ゴウ ラビ	筑波大学	大学院生	Web プログラミング	H19.1 ~ H20.10
	ナイファ・アブ デル・モネム	筑波大学	特別研究 学生	Web プログラミング	H19.1 ~ H19.6
	アセム・カセム	筑波大学	大学院生	Web プログラミング	H19.4 ~ H20.10
	横田 健太郎	筑波大学	大学院生	Web プログラミング	H19.4 ~ H20.3
	西山 拓也	筑波大学	大学院生	プログラム解析・検証	H19.4 ~ H20.10
	安田 峰悠	筑波大学	大学院生	プログラム解析・検証	H19.4 ~ H20.10

## § 5 招聘した研究者等

氏名(所属、役職)	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Jeff Dike (Addtoit.com, Engineer)	技術交流	東京大学	H15.11.24 ~ H15.11.29
Aloni Dan (Israeli Open University, Associate professor)	技術交流	筑波大学	H16.9.12~H16.9.25
Younggyun Koh (Georgia Institute of Technology, Ph. D Student)	技術交流	筑波大学	H17.1.4~H17.1.9
Wang Wie (安交通大学, research assistant)	技術交流	筑波大学	H17.4.11~H17.4.15

Khaled Sayed Ahmed (Ain Shams University, Associate Professor)	研究打合せ	東京大学	H17.6.20～H17.6.24
Joshua Thomas LeVasseru (The University of Karksruhe, Research Staff)	研究打合せ	東京大学	H17.9.21～H17.9.30
Manuel MT Chakravarty (University of New South Wales, Senior Lecturer)	共同研究	筑波大学	H17.11.1～H17.11.6
Adel Bouhoula (SupCom, 准教授)	研究打合せ	筑波大学	H19.4.2～H19.4.8
Adel Bouhoula (SupCom, 教授)	研究打合せ	筑波大学	H20.2.15～H20.2.20

## § 6 成果発表等

### (1)原著論文発表 (22 件)

- [1] Tomoaki Kajino, Hiroyuki Kitagawa, and Yoshiharu Ishikawa, “Requirement Specification and Derivation of ECA Rules for Integrating Multiple Dissemination-Based Information Sources”, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E87-D, No. 1, pp. 3-14, January 2004.
- [2] 阿部 洋丈, 大山 恵弘, 岡 瑞起, 加藤 和彦, “静的解析に基づく侵入検知システムの最適化”, 情報処理学会論文誌:コンピューティングシステム, Vol. 45, No. SIG 3 (ACS 5), pp. 11-20, 2004 年 5 月. (平成 16 年度論文賞)
- [3] 渡辺 陽介, 北川 博之, “連続的問合せに対する複数問合せ最適化手法”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J-87-D-I, No. 10, pp. 873-886, 2004 年 10 月.
- [4] 阿部 洋丈, 加藤 和彦, “Aerie: WWWのための完全分散型プロキシ”, 情報処理学会論文誌:コンピューティングシステム, Vol. 46, No. SIG 3 (ACS 8), pp. 51-61, 2005 年 1 月.
- [5] 品川 徳秀, 北川 博之, “バイナリデータに対する XML ビューの実現”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J88-D-I, No. 3, pp. 604-616, 2005 年 3 月.
- [6] Shinichi Suzuki, Yasushi Shinjo, Toshio Hirotsu, Kazuhiko Kato, Kozo Itano, “Capability-based Egress Network Access Control by using DNS Server”, Journal of

Network and Computer Applications, (JNCA), page 12, 2006.

- [7] 清水 奨、風間 一洋、廣津 登志夫、後藤 滋樹, “リアルタイム圧縮によるパケットキャプチャの高速化”, 情報処理学会論文誌: コンピューティングシステム, 47(SIG7), pp.183-193, 2006.
- [8] 金田 憲二, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “単一システムイメージを提供するための仮想マシンモニタ”, 情報処理学会論文誌: コンピューティングシステム, Vol. 47, No. SIG 3(ACS 13), pp. 27-39, 2006 年 3 月.
- [9] 島本 大輔, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “System Service 監視による Windows 向け異常検知システム機構”, 情報処理学会論文誌 コンピューティングシステム, Vol. 47, No. SIG 12(ACS 15), pp. 420-429, 2006 年 9 月.
- [10] 塚田 大, 鈴木 勝博, 阿部 洋丈, 加藤 和彦, “インターネットを介した協調作業のためのファイル同期システム”, 情報処理学会論文誌: コンピューティングシステム, Vol. 47, No. SIG 12(ACS 15), pp. 368-376, 2006 年 9 月.
- [11] 福田 健介, 佐藤 進也, 明石 修, 廣津 登志夫, 栗原 聡, 菅原 俊治, “ネットワークポロジの次数情報に着目した, サーバ・クライアント負荷分散方式の提案と評価”, コンピュータソフトウェア(日本ソフトウェア科学会) , Vol. 24, No. 4, pp. 78-87, 2007.
- [12] 小磯 知之, 阿部 洋丈, 池嶋 俊, 石川 宗寿, リチャード ポッター, 加藤 和彦, “サステナブルサービスのための基盤ツールキットの設計”, 情報処理学会論文誌: コンピューティングシステム, Vol. 48, No. SIG 3(ACS 17), pp. 13-26, 2007 年 2 月.
- [13] 石川 佳治, 町田 陽二, 北川 博之, “マルコフ連鎖モデルに基づく移動ヒストグラムの動的構築法”, 電子情報通信学会論文誌”, Vol. J90-D, No. 2, pp. 311-324, 2007 年. (平成19年度論文賞)
- [14] 山田 真一, 渡辺 陽介, 北川 博之, 天笠 俊之, “データストリーム管理システム Harmonica の設計と実装”, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol. 48, No. SIG14 (TOD35), pp. 91-106, 2007 年 9 月.
- [15] Mizuki Oka and Kazuhiko Kato, “Anomaly Detection Using Integration Model of Vector Space and Network Representation”, IPSJ Journal, Vol.48, No.6, pp.2118-2128, 2007.
- [16] 川崎 仁嗣, 阿部 洋丈, 加藤 和彦, “プロセストレース機構の多重化法”, 情報処理学会論文誌: コンピューティングシステム, Vol.1 No.1 pp.133-143, 2008 年.
- [17] 松本宗太郎, 南出靖彦, “多相レコード型に基づく Ruby プログラムの型推論”, 情報処理学会論文誌: プログラミング, Vol.49, No. SIG 3, PRO 36, pp.39-54 2008 年.
- [18] Asem Kasem and Tetsuo Ida, “Computational origami environment on the web”, Frontiers of Computer Science in China, 2(1), pp. 39-54, 2008.

- [19] Richard Potter and Kazuhiko Kato, “SBUML: Multiple Snapshots of Linux Runtime State”, JSSST Computer Software. To appear.
- [20] Peter Suranyi, Yasushi Shinjo and Kazuhiko Kato, “Name-based Address Mapping for Virtual Private Network”, IEICE Trans, Vol. E92-B, No. 01, 10 pages, January 2009. To appear.
- [21] 高田 真吾, 佐藤 聡, 新城 靖, 中井 央, 板野 肯三, “認証デバイスを用いた OS の起動・終了制御”, 情報処理学会論文誌, Vol. 50, No. 3, 11 ページ, 2009 年 3 月.
- [22] M. B. Song and H. Kitagawa, “Managing Frequent Updates in R-trees for Update-Intensive Applications”, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. To appear.

#### レター誌論文(10 件)

- [1] 品川 徳秀, 北川 博之, “バイナリデータ上の XML ビュー機構と XPath 処理の提案”, 日本データベース学会 Letters, Vol. 2, No. 3, pp. 49-52, 2003 年 12 月.
- [2] 福田 健介, 廣津 登志夫, 明石 修, 菅原 俊治, “イベントに基づく BGP トラフィックの解析”, 情報科学技術レターズ (Information Technology Letters), Vol. 3, pp. 329-332, 電子情報通信学会/情報処理学会, 2004 年.
- [3] 岡 瑞起, 小磯 知之, 加藤 和彦, “Eigen Co-occurrence Matrix (ECM) : 時系列データからの多層ネットワーク特徴抽出手法の提案”, 日本データベース学会, Letters Vol3., No.2, pp.9-12, 2004 年 9 月.
- [4] 石川 佳治, 宮坂 集策, 北川 博之, “RDB 上の XSLT 実体化ビューのインクリメンタルな更新手法”, 日本データベース学会 Letters, Vol. 3, No. 3, pp. 25-28, 2004 年 9 月.
- [5] 張 建偉, 石川 佳治, 北川 博之, “空間情報ハブ抽出のためのウェブリンク解析手法”, 日本データベース学会 Letters, Vol. 3, No. 3, pp. 9-12, 2004 年 12 月.
- [6] 品川 徳秀, 北川 博之, “セキュリティを考慮した RDB の XML 出版の提案”, 日本データベース学会 Letters, Vol. 4, No. 1, pp. 109-112, 2005 年 6 月.
- [7] 呉 俊輝, 天笠 俊之, 北川 博之, “構造型 P2P ネットワークにおける負荷分散を考慮した XML データ処理”, 日本データベース学会 Letters, Vol. 6, No. 1, pp. 93-96, 2007 年 6 月.
- [8] 渡辺 陽介, 北川 博之, “分散ストリーム処理環境における持続型問合せ処理方式”, 日本データベース学会 Letters, Vol. 6, No. 2, pp. 41-44, 2007 年 9 月.
- [9] 渡辺 陽介, 秋山 亮, 大喜 恒甫, 北川 博之, “映像ストリームのための映像情報

統合基盤システムの提案”, 日本データベース学会 Letters, Vol. 6, No. 4. pp.13-16, 2008年3月.

- [10] 李 曉晨, 天笠 俊之, 北川 博之, “HTML 構造型 P2P ネットワークにおけるキーワードを含む XPath による XML 文書検索”, 日本データベース学会論文誌, Vol. 7, No. 3, pp. 67-72, 2008年12月.

## (2)学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

### 招待講演(国際会議 7 件, 国内会議 7 件)

- [1] Tetsuo Ida, “Computational Origami, Interaction of Solving, Proving and Computing (Invited Talk)”, World Conference on 21st Century Mathematics 2004, Lahore, Pakistan, March 18 – 20, 2004.
- [2] 井田 哲雄, “Symbolic Computing Grid for Computational Origami”, 7th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing, ルーマニア, 2005年9月.
- [3] Hiroyuki Kitagawa, “Stream-based Real-time Real World Data Management”, 23rd National Database Conference, Guangzhou, China, November 2006.
- [4] 加藤和彦, “第3期科学技術基本計画に関する講演会: 科学の発展と絶えざるイノベーションの創出”, 主催:内閣府・筑波大学, パネルディスカッションパネラー, 2006年7月14日.
- [5] Kazuhiko Kato, “Modeling and Virtualization for Secure Computing Environments”, 20th Annual Asian Computing Science Conference (ASIAN 2007), Doha, Qatar, December 11, 2007.
- [6] Hiroyuki Kitagawa, “Stream Data Management Based on Integration of a Stream Processing Engine and Databases”, IEEE International Workshop on Frontier of Data-Driven Engineering (FDDE 2007), Dalian, China, September 16, 2007.
- [7] Tetsuo Ida, “Medeling Origami and Beyond”, 9th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing, Timisoara, September 29, 2007.
- [8] 加藤 和彦, “サステナブル社会構築には何が必要か”, 日本セキュリティ・マネジメント学会 第22回大会パネル, 工学院大学 新宿キャンパス, 2008年6月22日.
- [9] 加藤 和彦, “情報処理で社会を守る”, 情報処理学会&電子情報通信学会 FIT2008 公開パネル討論, 慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス, 2008年9月3日.
- [10] 加藤 和彦, “サステナブルシステム:自律・連合・仮想化の時代へ向けて”, ビジネス



グリッド推進コンソーシアムセミナー:ビジネスグリッドからクラウドコンピューティングへ,  
富士通本社, 2008年10月27日.

- [11] Kazuhiko Kato, “Green IT, its trends and problems”, ISO/IEC JTC1 Technology Watch Workshop, Invited Talk, 奈良県新公会堂, 2008年11月13日.
- [12] 加藤 和彦, “自律・連合・仮想化の時代へ向けて(仮題)”, 第20回情報処理学会コンピュータシステムシンポジウム, キャンパス・イノベーションセンター東京, 2008年11月13日.
- [13] 加藤 和彦, “仮想計算機技術の動向”, 日本ソフトウェア科学会 ディペンダブルシステム研究会 第5回システム検証の科学技術シンポジウム, 筑波大学 大学会館国際会議室, 2008年11月19日.
- [14] 加藤 和彦, “仮想計算機技術とセキュリティ”, 「組込みシステム向け情報セキュリティ技術の最新動向」シンポジウム, 文部科学省科学技術振興調整費 重要解決型研究等の推進 組込みシステム向けセキュリティ技術研究 主催, 秋葉原ダイビル・コンベンションホール, 2008年12月16日.

## 口頭発表

### 査読付き国際会議(55件)

- [1] Tetsuo Ida, Mircea Marin and Hidekazu Takahashi, “Constraint Functional Logic Programming for Origami Construction”, The First Asian Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS 2003), LNCS 2895, pp. 73–88, 2003.
- [2] Koji Okuma and Yasuhiko Minamide, “Executing Verified Compiler Specification”, The First Asian Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS 2003), LNCS 2895, pp.178–194, 2003.
- [3] Hirotake Abe, Kazuhiko Kato, “Security Policy Descriptions through the Use of Control Structure in a Target Program”, In proceedings of the 3rd International Symposium on Software Security (ISSS 2003), Tokyo, 4th November 2003.
- [4] Ryo Matsushita, Hiroyuki Kitagawa, and Yoshiharu Ishikawa, “Feature-based Distributed Object Search Using Signatures in Peer-to-Peer Environments”, Proc. 19th Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2004), Nicosia, Cyprus, pp. 729–734, March 2004.
- [5] Yousuke Watanabe and Hiroyuki Kitagawa, “A Multiple Continuous Query Optimization Method Based on Query Execution Pattern Analysis”, Proc. 9th International Conference on Database Systems for Advanced Applications (DASFAA

- 2004), LNCS 2973, Jeju Island, Korea, pp. 443–456, March 2004.
- [6] Atsuyuki Morishima, Hiroyuki Kitagawa, and Akira Matsumoto, “A Machine Learning Approach to Rapid Development of XML Mapping Queries”, Proc. 20th IEEE International Conference on Data Engineering (ICDE 2004), Boston, pp. 276–287, March 2004.
- [7] M. Oka, Y. Oyama, H. Abe, K. Kato, “Anomaly Detection Using Layered Networks Based on Eigen Co-occurrence Matrix”, In proceedings of the Seventh International Symposium Recent Advances in Intrusion Detection(RAID), Springer, LNCS-3224, 2004, pp. 223–237., Sophia Antipolis, France, September, 2004.
- [8] M. Oka, T. Koiso, K. Kato, “Extracting Features of Patients using the Eigen Co-occurrence Matrix Algorithm”, In proceedings of ECML/PKDD Discovery Challenge 2004, pp.86–97, Pisa, Italy, September, 2004.
- [9] Richard Potter “One-Click Distribution of Preconfigured Linux Runtime State”, in Proceedings of the 3rd Virtual Machine Research and Technology Symposium (VM04), May 2004. (WIP session)
- [10] Norihide Shinagawa, Hiroyuki Kitagawa, “Constructing XML Views over Binary Data”, Proc. 8th International Database Engineering and Applications Symposium (IDEAS’04), Coimbra, Portugal, pp. 470–474, July 2004.
- [11] Tetsuo Ida, Dorin Tepeneu, Bruno Buchberger, Judit Robu, “Proving and Constraint Solving in Computational Origami”, Proceeding of the 7th International Symposium on Artificial Intelligence and Symbolic Computation (AISC 2004), Lecture Notes in Artificial Intelligence 3249, pp. 132–142, 2004.
- [12] Dorin Tepeneu, Tetsuo Ida, MathGridLink, “Connecting Mathematica to “the Grid””, Proceedings of the 6th International Mathematica Symposium (IMS 2004), 2004.
- [13] Hidekazu Takahashi, Dorin Tepeneu, Tetsuo Ida, “A System for Computational Origami-progress report”, Proceedings of the 6th International Mathematica Symposium (IMS2004), 2004.
- [14] P. Suranyi, H. Abe, T. Hirotsu, Y. Shinjo, K. Kato, “General Virtual Hosting via Lightweight User-level Virtualization”, The 2005 Symposium on applications and the Internet (SAINT’05), Trento, Italy, pp. 229–236, Jan–Feb 2005.
- [15] Nobuo Otoi, Yasuhiko Minamide, “Validating Dynamically Generated XHTML Documents”, The Third Asian Symposium on Programming Languages and Systems, November, 2005.

- [16] Yoshihiro Oyama, Koichi Onoue and Akinori Yonezawa, “Speculative Security Checks in Sandboxing Systems”, In Proceedings of The 1st International Workshop on Security in Systems and Networks (SSN2005), IEEE Computer Society Press, Denver, USA, April 2005.
- [17] Jianwei Zhang, Yoshiharu Ishikawa and Hiroyuki Kitagawa, “Extended Link Analysis for Extracting Spatial Information Hubs”, Proc. International Workshop on Challenges in Web Information Retrieval and Integration (WIRI 2005), pp. 17–22, Tokyo, Japan, April 2005.
- [18] Jianwei Zhang, Yoshiharu Ishikawa, Sayumi Kurokawa, and Hiroyuki Kitagawa, “LocalRank: Ranking Web Pages Considering Geographical Locality by Integrating Web and Databases”, Proc. 16th International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA 2005), LNCS 3588, pp. 145–155, Copenhagen, Denmark, August 2005.
- [19] Yasuhiko Minamide, “Static Approximation of Dynamically Generated Web Pages”, Proceedings of the 14<sup>th</sup> International World Wide Web Conference, Chiba, Japan, May 10–14, pp. 432–441, 2005.
- [20] Tetsuo Ida, Mircea Marin, Hidekazu Takahashi. “Computational Origami of a Morley’s Triangle” The 4th International Conference on Mathematical Knowledge Management, LNAI 3863, pp. 267 – 282, 2005.
- [21] Shinichi Suzuki, Yasushi Shinjo, Toshio Hirotsu, Kazuhiko Kato, Kozo Itano, “Name-Level Approach for Egress Network Access Control”, The 4th International Conference on Networking (ICN’05), Proceedings, Part II P.284–296, Reunion Island, France, April 17–21, 2005.
- [22] Shinichi Suzuki, Yasushi Shinjo, Toshio Hirotsu, Kazuhiko Kato, Kozo Itano, “Capability-based Egress Network Access Control for Transferring Access Rights”, The International Conference on Information Technology and Applications (ICITA–2005), pp.488–495, Sydney, July 4–7, 2005.
- [23] Kenji Kaneda, Yoshihiro Oyama, Akinori Yonezawa, “A Virtual Machine Monitor for Utilizing Non-dedicated Clusters”, In Work-in-Progress Session of 20th ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP 2005), Brighton, UK, October 2005.
- [24] Yoshinori Kobayashi, Eric Y. Chen, Yoshihiro Oyama, Akinori Yonezawa, “Protecting Web Servers from Octopus Attacks”, In Proceedings of the 2006 International Symposium on Applications and the Internet (SAINT 2006), Phoenix,

USA, January, 2006.

- [25] Kuniyasu Suzaki, Toshiki Yagi, Kengo Iijima, Kenji Kitagawa, Shuichi tachiro, “HTTP-FUSE Xenppix”, Linux Symposium 2006, Ottawa, July 2006.
- [26] Tetsuo Ida, Hidekazu Takahashi, Mircea Marin, Fadoua Ghourabi and Asem Kasem, “Computational Construction of a Maximal Equilateral Triangle Inscribed in an Origami”, Proceedings of the Second International Congress on Mathematical Software – ICMS 2006, LNCS 4151, pp. 361–372, September 2006.
- [27] Yasuhiko Minamide, Akihiko Tozawa, “XML Validation for Context-Free Grammars”, Proceeding of the Fourth ASIAN Symposium on Programming Languages and Systems, LNCS 4279, pp. 357–373, 2006.
- [28] Mizuki Oka, Hirotake Abe and Kazuhiko Kato, “Extracting Topics From Weblogs Through Frequency Segments”, The 3rd Annual Workshop on the Weblogging Ecosystem, Edinburgh, UK, May 2006.
- [29] Hirotake Abe and Kazuhiko Kato, “Sustor: Distributed Storage for Disaster Recovery Using the Small-World Model”, The Sixth IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT’06), p. 60, Seoul, Korea, September 2006.
- [30] Koichi Onoue, Yoshihiro Oyama, Akinori Yonezawa, “A Virtual Machine Migration System Based on a CPU Emulator”, Proc. the First International Workshop on Virtualization Technology in Distributed Computing (VTDC 2006), held in conjunction with SC06, Tampa, Florida, November, 2006.
- [31] Fadoua Ghourabi, Tetsuo Ida, Hidekazu Takahashi, Mircea Marin and Asem Kasem, “Logical and Algebraic View of Huzita’s Origami Axioms with Applications to Computational Origami”, Proceedings of the 22nd ACM Symposium on Applied Computing. ACM Press, pp. 767–772, 2007.
- [32] Akihiko Tozawa and Yasuhiko Minamide, “Complexity Results on Balanced Context-Free Languages”, Proceedings of the Tenth International Conference on Foundations of Software Science and Computation Structures, LNCS 4423, pp. 346–360, 2007.
- [33] Jianwei Zhang, Yoshiharu Ishikawa, and Hiroyuki Kitagawa, “Record Extraction Based on User Feedback and Document Selection”, Proc. Joint Conference of 9th Asia-Pacific Web Conference and 8th International Conference on Web-Age Information Management (APWeb/WAIM 2007), HuangShan, China, June 2007.

- [34] Toshiyuki Amagasa, Chunhui Wu, and Hiroyuki Kitagawa, “Retrieving Arbitrary XML Fragments from Structured Peer-to-Peer Networks”, Proc. Joint Conference of 9th Asia-Pacific Web Conference and 8th International Conference on Web-Age Information Management (APWeb/WAIM 2007), HuangShan, China, June 2007.
- [35] Tomohiro Shioya, Yoshihiro Oyama and Hideya Iwasaki, “A Sandbox with Dynamic Policy Based on Execution Contexts of Applications”, In Proc. of the 12th Annual Asian Computing Science Conference (ASIAN ’07), Vol. 4846 of LNCS, Doha, Qatar, pp. 297–311, December 2007.
- [36] Jianwei Zhang, Yoshiharu Ishikawa and Hiroyuki Kitagawa, “Record Extraction Based on User Feedback and Document Selection”, In Proc. of Joint Conference of 9th Asia-Pacific Web Conference and 8th International Conference on Web-Age Information Management (APWeb/WAIM 2007), LNCS 4505, pp. 574–585, HuangShan, China, June 2007.
- [37] Toshiyuki Amagasa, Chunhui Wu and Hiroyuki Kitagawa, “Retrieving Arbitrary XML Fragments from Structured Peer-to-Peer Networks”, In Proc. of Joint Conference of 9th Asia-Pacific Web Conference and 8th International Conference on Web-Age Information Management (APWeb/WAIM 2007), LNCS 4505, pp. 317–328, HuangShan, China, June 2007.
- [38] Yousuke Watanabe, Shinichi Yamada, Hiroyuki Kitagawa and Toshiyuki Amagasa, “Integrating a Stream Processing Engine and Databases for Persistent Streaming Data Management”, In Proc. of 18th Int’l Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA2007), Regensburg, Germany, LNCS 4653, pp. 414–423, Sept. 2007.
- [39] Tetsuo Ida, Hidekazu Takahashi, Mircea Marin and Fadoua Ghourabi, “Modeling Origami for Computational Construction and Beyond”, In Proc. of the International Conference on Computational Science and Its Applications, LNCS 4706, pp.653–665, 2007.
- [40] Yasuhiko Minamide, “Verified Decision Procedures on Context-Free Grammars”, In Proc. of the 20th International Conference on Theorem Proving in Higher Order Logics, LNCS 4732, pp. 173–188, 2007.
- [41] Soon Hin Khor, Nicolas Christin, Tina Wong and Akihiro Nakao, “Power to the People: Security the Internet One Edge at a Time”, ACM SIGCOMM 2007 Workshop on Large-Scale Attack Defense (LSAD), 2007.
- [42] Kuniyasu Suzaki, Toshiki Yagi, Kengo Iijima, and Nguyen Anh Quynh,

“OS-Circular”: A Framework of Internet Client with Xen”, Xen Summit Spring 2007, April 2007.

[http://www.xen.org/files/xensummit\\_4/XenSummit07Spring-Suzaki.pdf](http://www.xen.org/files/xensummit_4/XenSummit07Spring-Suzaki.pdf)

- [43] Hiroyuki Kitagawa and Yousuke Watanabe, “Stream Data Management Based on Integration of a Stream Processing Engine and Databases”, In Proc. of IFIP International Conference on Network and Parallel Computing Workshops, pp. 18–22, Dalian, China, Sept. 2007 (Invited paper).
- [44] Monem Naifer, Asem Kasem and Tetsuo Ida, “A System of Web Services for Symbolic Computation”, In Proc. of Fifth Asian Workshop on Foundations of Software, Xiamen, June 1–3, 2007.
- [45] Tetsuo Ida, Asem Kasem, Hidekazu Takahashi, “WebOrigami: A System for Origami Construction and Proving on the Web”, In Proc. of International Conference on Systems Research, Informatics and Cybernetics, Baden–Baden, July 30 – August 4 , 2007.
- [46] John Russell Lane and Akihiro Nakao, “SORA: A Shared Overlay Routing Architecture”, The 2nd International Workshop on Real Overlays And Distributed Systems (ROADS), In cooperation with ACM SIGCOMM, Jul 2007.
- [47] Akiyoshi Sugiki, Kei Yamatozaki, Richard Potter and Kazuhiko Kato, “A Platform for Cooperative Server Backups based on Virtual Machines”, 5th International Service Availability Symposium 2008, LNCS 5017, pp. 129–141, 2008.
- [48] Mitsuhiro Mabuchi, Yasushi Shinjo, Akira Sato and Kazuhiko Kato, “An Access Control Model for Web–Services that Supports Delegation and Creation of Authority”, 7th International Conference on Networking (ICN’08), 2008.
- [49] Koichi Onoue, Yoshihiro Oyama and Akinori Yonezawa, “Control of System Calls from Outside of Virtual Machines”, In Proc. of the 23rd Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2008), Ceara, Brazil, pp. 2120–2125, March 2008.
- [50] Soon Hin Khor and Akihiro Nakao, “Overfort: Combating DDoS with Peer–to–peer DDoS Puzzle”, The 4th International Workshop on Security in Systems and Networks (SSN 2008), 22nd IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2008), 2008.
- [51] Yousuke Watanabe, Ryo Akiyama, Kousuke Ohki and Hiroyuki Kitagawa, “A Video Stream Management System for Heterogeneous Information Integration Environments”, In Proc. of 2nd International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (ICUIMC 2008), pp. 219–224, Suwon, Korea,

January, 2008.

- [52] Hideki Eiraku, Yasushi Shinjo, Calton Pu, Younggyun Koh, Kazuhiko Kato: “Fast Networking with Socket-Outsourcing in Hosted Virtual Machine Environments”, ACM Symposium on Applied Computing (SAC2009), March 2009. To appear.
- [53] Xiaochen Li, Toshiyuki Amagasa and Hiroyuki Kitagawa, “Searching XML Documents by Keywords in Structured P2P Networks”, 3rd International Workshop on XML Data Management Tools and Techniques (XANTEC 2008), pp. 274-278, Turin, Italy, September 1 - 5, 2008.
- [54] Boukhelef Djelloul and Hiroyuki Kitagawa, “Multi-ring infrastructure for Content Addressable Networks”, 16th International Conference on Cooperative Information Systems(CoopIS 2008), LNCS 5331, pp. 193-211, Monterrey, Mexico, November 12 - 14, 2008.
- [55] Kosuke Ohki, Yousuke Watanabe, and Hiroyuki Kitagawa, “Evaluation of a Framework for Dynamic Source Selection in Stream Processing”, International Workshop on Data Management for Information Explosion in Wireless Networks (DMIEW 2009), Fukuoka, Japan, March 16 - 19, 2009. To appear.

#### 査読付き国内会議(38 件)

- [1] 阿部 洋丈, 大山 恵弘, 岡 瑞起, 加藤 和彦, “静的解析に基づく侵入検知システムの最適化”, 情報処理学会 第 15 回コンピュータシステムシンポジウム, 茨城県つくば市, 2003 年 12 月 11 日. (平成 16 年度山下記念研究賞)
- [2] 阿部 洋丈, 加藤 和彦, “Aerie: WWW のための完全分散型匿名プロキシ”, 情報処理学会 第 15 回コンピュータシステムシンポジウム, 茨城県つくば市, 2003 年 12 月 11 日.
- [3] Mizuki Oka, Yoshihiro Oyama, Kazuhiko Kato, “Eigen Co-occurrence Matrix Method for Masquerade Detection”, 第 7 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA 2004), 長野県諏訪市, 2004 年 3 月 2 日.
- [4] 高鶴 哲也, “P2P アルゴリズムの視覚化に関する研究”, 第 7 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA 2004), 長野県諏訪市, 2004 年 3 月 2 日.
- [5] Peter Suranyi, “General Virtual Hosting with SoftwarePot”, 第 7 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA 2004), 長野県諏訪市, 2004 年 3 月 2 日.

- [6] 吉野 寿宏, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “自己修復型リファレンスモニタの設計と実装”, 第 7 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA 2004), 長野, 2004 年 3 月.
- [7] 品川 徳秀, 北川 博之, “バイナリデータの XML ビューにおける DOM 更新サポートの検討”, 電子情報通信学会第 15 回データ工学ワークショップ(DEWS2004), 2004 年 3 月.
- [8] 渡辺 陽介, 北川 博之, 内山 大悟, “問合せ最適化機構を備えたデータストリーム統合システムの開発”, 電子情報通信学会第 15 回データ工学ワークショップ (DEWS2004), 2004 年 3 月.
- [9] 松下 亮, 須藤 雅則, 北川 博之, 石川 佳治, “P2P 環境におけるシグネチャを用いたオブジェクト検索機構の設計と実装”, 電子情報通信学会第 15 回データ工学ワークショップ(DEWS2004), 2004 年 3 月.
- [10] 毛利 隆軌, 北川 博之, “Hidden Web サイトからの 新規トピック文書抽出におけるプロービングの効率化”, 電子情報通信学会第 15 回データ工学ワークショップ (DEWS2004), 2004 年 3 月.
- [11] 宮坂 集策, 石川 佳治, 北川 博之, “XSLT によって定義された XML 実体化ビューのインクリメンタルな管理手法”, 電子情報通信学会第 15 回データ工学ワークショップ(DEWS2004), 2004 年 3 月.
- [12] 中村 理, 大山 恵弘, 阿部 洋丈, 加藤 和彦, “ソフトウェア流通実行システム SoftwarePot におけるアクセス制御機構の実現”, 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム論文集, Vol. 2004, No. 13, pp. 65-74, 2004.
- [13] 大山 恵弘, 米澤 明憲, “システムコール引数の暗号化によるコード注入攻撃の防止”, 第 16 回コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys 2004), 2004 年 11 月 16 日.
- [14] 尾上 浩一, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “Quasar: CPU エミュレータ QEMU を利用した移動計算システム”, 第 8 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA2005) 論文集, 2005 年 3 月.
- [15] 小林 義徳, “オクトパス攻撃から Web サーバーを防御する手法”, 第 8 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA2005), 2005 年 3 月 8 日.
- [16] 張 建偉, 石川佳治, 黒川沙弓, 北川博之, “地域ウェブ情報源の収集のためのクロール手法の提案”, 電子情報通信学会第 16 回データ工学ワークショップ (DEWS2005), 2005 年 2 月.
- [17] 渡辺 陽介, 北川 博之, “セルフチューニングによる連続的問合せの適応的問合せ



- 最適化”, 電子情報通信学会第 16 回データ工学ワークショップ(DEWS2005), 2005 年 2 月.
- [18] 山田 真一, 渡辺 陽介, 北川博之, “ストリーム統合システムを用いた実世界情報の統合利用”, 電子情報通信学会第 16 回データ工学ワークショップ(DEWS2005), 2005 年 2 月.
- [19] 品川 徳秀, 北川 博之, “セキュリティを考慮した RDB の XML ビュー機構の検討”, 電子情報通信学会第 16 回データ工学ワークショップ(DEWS2005), 2005 年 2 月.
- [20] Peter Suranyi, Yasushi Shinjo, Hirotake Abe, Kazuhiko Kato, “System Support for Software Updates on Virtual Private Servers”, 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム論文集, pp.21-28, 2005 年 11 月.
- [21] 今里 邦夫, 新城 靖, 鈴木 真一, 板野 肯三, 加藤 和彦, “メッセージの記録と再生によるインターネットエミュレーションの実現”, 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム論文集, pp.65-72, 2005 年 11 月.
- [22] 金田 憲二, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “単一システムイメージを提供するための仮想マシンモニタ”, 情報処理学会第 17 回コンピュータシステム・シンポジウム, pp. 3-12, 筑波大学, 2005 年 11 月. (若手/学生論文賞, 平成 18 年度山下記念賞)
- [23] 須崎 有康, 八木 豊志樹, 飯島 賢吾, 北川 健司, 田代 秀一, “ネットワークに対応した分割圧縮ループバックデバイス HTTP-FUSE-CLOOP とそれから起動する Linux”, Internet Conference 2005, 2005 年 10 月.
- [24] 塚田 大, 鈴木 勝博, 阿部 洋丈, 加藤 和彦, “インターネットを介した協調作業のためのファイル同期システム”, 日本ソフトウェア科学会 第 9 回 プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA 2006), 2006 年 3 月.
- [25] 張 建偉, 黒川 沙弓, 石川 佳治, 北川 博之, “情報源の選択に基づくウェブからのレコード抽出手法”, 電子情報通信学会第 17 回データ工学ワークショップ (DEWS2006), 2006 年 3 月.
- [26] 呉 俊輝, 天笠 俊之, 北川 博之, “P2P 環境における構造概要を利用した XML データの検索”, 電子情報通信学会第 17 回データ工学ワークショップ (DEWS2006), 2006 年 3 月.
- [27] 小磯 知之, 阿部 洋丈, 鈴木 与範, Richard Potter, 池嶋 俊, 加藤 和彦, “サステナブルサービスを実現する基盤ソフトウェアの設計”, 先進的計算基盤システムシンポジウム (SAC SIS 2006), 2006 年 5 月.
- [28] 島本 大輔, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “System Service 監視による Windows 向け

- 異常検知システム機構”，先進的計算基盤システムシンポジウム (SAC SIS 2006), pp. 505-514, 大阪, 2006 年 5 月.
- [29] 呉 俊輝, 天笠 俊之, 北川 博之, “構造型 P2P ネットワークにおける負荷分散を考慮した XML データ処理”, 電子情報通信学会第 18 回データ工学ワークショップ (DEWS2007), 2007 年 2 月.
- [30] 山田 真一, 渡辺 陽介, 北川 博之, 天笠俊之, “ストリーム管理システムにおける複数永続化要求最適化手法”, 電子情報通信学会第 18 回データ工学ワークショップ (DEWS2007), 2007 年 2 月.
- [31] 張 建偉, 石川 佳治, 北川 博之, “データベース連携による文書情報源からのレコード抽出”, 電子情報通信学会第 18 回データ工学ワークショップ (DEWS2007), 2007 年 2 月.
- [32] 稲守 孝之, 渡辺 陽介, 北川 博之, 天笠 俊之, “分散ストリーム処理環境のための運用管理システムの提案”, 電子情報通信学会第 18 回データ工学ワークショップ (DEWS2007), 2007 年 2 月.
- [33] 大宮 正大, 品川 高廣, 加藤 和彦, “ファイル名の接頭辞を用いた簡易アクセス制御”, 第 19 回コンピュータシステムシンポジウム, pp.97-105, 2007 年 11 月.
- [34] 黒田 大陽, 廣津 登志夫, 天海 良治, 盛合 敏, “NILFS CPviewer の設計と実装”, 第 19 回コンピュータシステムシンポジウム, pp.153-160, 情報処理学会, 2007 年 11 月.
- [35] 秋山 亮, 渡辺 陽介, 大喜 恒甫, 北川 博之, “実世界情報管理基盤システムにおける大規模映像データ統合方式”, 情報処理学会 データベースと Web 情報システムに関するシンポジウム(DBWeb2007), 2007 年 11 月.
- [36] 稲守 孝之, 渡辺 陽介, 北川 博之, 天笠 俊之, 川島 英之, “広域分散ストリーム処理環境における演算の配置最適化手法の評価”, 電子情報通信学会第 18 回データ工学ワークショップ(DEWS2008), 2008 年 3 月.
- [37] 大喜 恒甫, 渡辺 陽介, 秋山 亮, 北川 博之, 天笠 俊之, 川島 英之, “ストリーム処理における情報源の動的選択機能の評価”, 電子情報通信学会第 18 回データ工学ワークショップ(DEWS2008), 2008 年 3 月.
- [38] 杉木 章義, 大和崎 啓, 加藤 和彦, “広域分散環境のための仮想機械を利用したサービス協調複製機盤”, 第 20 回コンピュータシステムシンポジウム (ComSys 2008), 2008 年 11 月 (掲載予定). (若手論文賞受賞決定済み)

## 査読なし国内会議(78件)

- [1] SURANYI, Peter , Toshio Hirotsu , Kazuhiko Kato, “General Virtual Hosting with SoftwarePot”, 情報処理学会 第 95 回 システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 岡山県岡山市, 2004 年 2 月 27 日.
- [2] 大山 恵弘, 加藤 和彦, 米澤 明憲, “仮想計算環境における最適化を支援するための API”, 日本ソフトウェア科学会第 21 回大会論文集, 2004 年 9 月.
- [3] 横山 陽介, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “SoftwarePot へのチェックポイント機構の導入”, 情報科学技術フォーラム (FIT 2004) 論文集, pp. 171-172, 2004 年 9 月.
- [4] 尾上 浩一, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “サンドボックスシステムにおける投機的な安全性検査”, 情報処理学会第 96 回 システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会 論文集, pp. 1-6, 2004 年 6 月.
- [5] 新城 靖, 阿部 聡, 板野 肯三, “XML Web サービスのための大域的ファイル・サービスの提案”, 情報処理学会研究会報告 2004-OS-96-03, pp. 15-22. 2004 年 6 月.
- [6] 榮樂 英樹, 新城 靖, 加藤 和彦, “ユーザレベル OS のためのユーザレベルネットワーク機能”, 情報処理学会 第 3 回情報科学技術フォーラム (FIT2004), B-028, pp. 161-162 , 2004 年 9 月.
- [7] 今里 邦夫, 新城 靖, 鈴木 真一, 板野 肯三, 加藤 和彦, “ネットワークアプリケーションをテストするための通信記録再生機能”, 情報処理学会 第 3 回情報科学技術フォーラム (FIT 2004), B-032 , 2004 年 9 月.
- [8] 中川 孔人, 萩谷 昌己, ポッター リチャード, “SBUML を用いた OS レベルでの Undo の実現とその応用”, 日本ソフトウェア科学会第 21 回大会, 2004 年 9 月.
- [9] 岡 瑞起, 小磯 知之, 加藤 和彦, “時系列データからの多層ネットワーク特徴抽出手法の提案: Eigen Co-occurrence Matrix (ECM)”, 夏のデータベースワークショップ(DBWS 2004)プログラム, 松山, 2004 年 7 月.
- [10] 尾上 浩一, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “CPU エミュレータ を利用した移動計算システム”, 日本ソフトウェア科学会第 21 回大会, 2004 年 9 月 16 日.
- [11] 張 建偉, 石川 佳治, 北川 博之, “空間情報ハブ抽出のためのウェブリンク解析手法について”, 電子情報通信学会 2004 年総合大会, 2004 年 3 月.
- [12] 渡辺 陽介, 北川 博之, “連続的問合せを用いたテキストストリームに対する類似検索”, 夏のデータベースワークショップ DBWS2004, 情報処理学会研究報告 Vol.2004, No.71 (2004-DBS-134(I)), pp. 237-244.電子情報通信学会技術研究報告 Vol.104, No.176, pp. 187-192, 2004 年 7 月.

- [13] 張 建偉, 石川 佳, 北川 博之, “空間情報ハブ抽出のためのウェブリンク解析手法の開発”, 夏のデータベースワークショップ DBWS2004, 情報処理学会研究報告 Vol.2004, No.72 (2004-DBS-134(II)), pp. 403-410.電子情報通信学会技術研究報告 Vol.104, No.177, pp.93-98, 2004 年 7 月.
- [14] 宮坂 集策, 石川 佳治, 北川 博之, “RDB 上の XSLT 実体化ビューのインクリメンタルな更新について”, 夏のデータベースワークショップ DBWS2004, 情報処理学会研究報告 Vol.2004, No.71, 2004-DBS-134(I)-31, pp. 229-236.電子情報通信学会技術研究報告 Vol.104, No.176, DE2004-40, pp. 181-186, 2004 年 7 月.
- [15] 岡 瑞起, 中村 理, 加藤 和彦, “Web ページにおける非セマンティック特徴分析”, 第 2 回 Web インテリジェンスとインタラクション研究会, 電子情報通信学会主催, 2005 年 3 月.
- [16] 中川 孔人, ポッター リチャード, 山本 光晴, 萩谷 昌己, “SBUML と GDB の連携によるマルチプロセスアプリケーションのモデル検査”, 第 2 回ディペンダブルソフトウェアワークショップ (DSW'05), 2005 年 1 月.
- [17] 小林 義徳, Eric Y. Chen, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “オクトパス攻撃から Web サーバーを防御する手法”, 第 2 回ディペンダブルソフトウェアワークショップ (DSW '05) 論文集, pp. 87-95, 2005 年 2 月.
- [18] 鈴木 与範, 阿部 洋丈, 小磯 知之, 加藤 和彦, “Sustainable Service の実現構想”, 情報処理学会研究報告, Vol.2005, No. 48, pp. 9-14, 2005 年 5 月.
- [19] 塚田 大, 鈴木 勝博, 阿部 洋丈, 加藤 和彦, “インターネットを介した協調作業のためのファイル同期システム”, 情報処理学会研究報告, Vol.2005, No. 79, pp. 33-40, 2005 年 8 月.
- [20] Richard Potter, Mizuki Oka, Kazuhiko Kato, “Virtual Machine Streaming and its Applications”, 情報処理学会第 101 回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 2006 年 2 月.
- [21] 大山 恵弘, 米澤 明憲, “仮想実行環境を管理するためのライブラリ”, 第 99 回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 情報処理学会研究報告 2005-OS-99, pp. 163-164, 沖縄, 2005 年 5 月.
- [22] 横山 陽介, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “サーバの透過的な移動のための OS 拡張”, 情報処理学会 第 99 回 システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 情報処理学会研究報告 2005-OS-99, pp. 77-83, 2005 年 5 月, 沖縄.
- [23] 尾上 浩一, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “セキュリティシステム保護のためのサンドボックスシステム”, 日本ソフトウェア科学会第 22 回大会, 2005 年 9 月, 東北大学.

- [24] 乙井 信男, 南出 靖彦, “動的に生成される文書の XHTML 妥当性検査”, 日本ソフトウェア科学会第 22 回大会, 2005 年 9 月, 東北大学.
- [25] 町田 陽二, “移動軌跡ストリームデータのためのインクリメンタルなヒストグラムの管理手法”, 夏のデータベースワークショップ(DBWS2005), 2005 年. (学生研究発表奨励賞)
- [26] Khy Sophoin, “An Experimental Evaluation of a Novelty-based Incremental Document Clustering Method”, 夏のデータベースワークショップ(DBWS2005), 2005 年. (学生研究発表奨励賞)
- [27] 張 建偉, 石川 佳治, 黒川 紗弓, 北川 博之, “例示データに基づく選択的ウェブクロウリング手法について”, 情報処理学会研究報告 Vol.2005, No.68(2005-DBS-137(II)), pp.337-344, 2005 年.
- [28] 品川 徳秀, 北川 博之, “RDB 分散問合せ処理へのサイト間アクセス制御の導入”, 情報処理学会研究報告 Vol.2005, No.68(2005-DBS-137(II)), pp.437-444, 2005 年.
- [29] 吉野 純平, 阿部 洋丈, 加藤 和彦, “障害復旧のための広域分散ストレージ”, 2006 年並列/分散/協調処理に関する「高知」サマーワークショップ(SWoPP2006), 2006 年 8 月.
- [30] 川崎 仁嗣, 阿部 洋丈, Richard Potter, 加藤 和彦, “仮想計算環境の効率的な転送法に関する研究”, 2006 年並列/分散/協調処理に関する「高知」サマーワークショップ(SWoPP2006), 2006 年 8 月.
- [31] 呉 俊輝, 天笠 俊之, 北川 博之, “P2P 環境における構造概要を利用した XML データの検索手法の実装について”, 夏のデータベースワークショップ DBWS2006, 情報処理学会研究報告 Vol.2006, No.77(2006-DBS-140(I)), pp.63-70, 2006 年 7 月.
- [32] 張 建偉, 黒川 紗弓, 石川 佳治, 北川 博之, “フィードバックを利用した文書の選択に基づくレコード抽出手法”, 夏のデータベースワークショップ DBWS2006, 情報処理学会研究報告 Vol.2006, No.78(2006-DBS-140(II)), pp.291-298 2006 年 7 月.
- [33] 石川 佳治, 黒川 紗弓, 張 建偉, 北川 博之, “データクリーニングを統合した情報抽出システムの提案”, 夏のデータベースワークショップ DBWS2006, 情報処理学会研究報告 Vol.2006, No.78(2006-DBS-140(II)), pp. 399-406, 2006 年 7 月.
- [34] 渡辺 陽介, 山田 真一, 北川 博之, “分散環境におけるストリーム処理の高信頼化”, 夏のデータベースワークショップ DBWS2006, 情報処理学会研究報告 Vol.2006, No.78(2006-DBS-140(II)), pp.261-268, 2006 年 7 月.

- [35] 山田 真一, 渡辺 陽介, 北川 博之, 天笠 俊之, “ストリーム管理システムにおける永続化要求の妥当性評価”, 夏のデータベースワークショップ DBWS2006, 情報処理学会研究報告 Vol. 2006, No. 78(2006-DBS-140(II)), pp. 277-284, 2006年7月.
- [36] Asem Kasem, Tetsuo Ida, Hidekazu Takahashi, Mircea Marin, Fadoua Ghourabi, “E-Origami System Eos”, 日本ソフトウェア科学会第23回大会, 東京大学, 2006年9月.
- [37] Fadoua Ghourabi, Tetsuo Ida, Hidekazu Takahashi, Mircea Marin, and Asem Kasem, “Logical and Algebraic Formulation of Origami Axioms”, 日本ソフトウェア科学会第23回大会, 東京大学, 2006年9月.
- [38] 松本 宗太郎, 南出 靖彦, “多相型レコードに基づく Ruby オブジェクトの型推論に関する考察”, 日本ソフトウェア科学会第23回大会, 東京大学, 2006年9月.
- [39] 榮楽 英樹, 新城 靖, 加藤 和彦, “カーネル・レベル・コードによるユーザ・レベル VMMの移植性の向上”, 第104回情報処理学会研究会報告 2007-OS-104(3), pp. 17-24, 2007年1月. (最優秀学生発表賞, コンピュータサイエンス領域奨励賞)
- [40] 川崎 仁嗣, 鈴木 勝博, 阿部 洋丈, 加藤 和彦, “リファレンスモニタの多重化法の提案”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2007, No. 10, pp. 49-56, 2007年1月.
- [41] 松井 慧悟, 佐藤 聡, 新城 靖, 板野 肯三, 馬淵 充啓, 加藤 和彦, “Web ページに対するケーパビリティを用いたアクセス制御のプロキシによる実現”, 情報処理学会研究会報告 2007-OS-105(13), 2007年4月.
- [42] 西川 賀樹, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “OS 資源ビューの仮想化を用いた分散システムテストベッド”, 第6回情報科学技術フォーラム (FIT 2007), pp. 383-386, 2007年9月. (FIT2007 論文賞)
- [43] 尾上 浩一, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “仮想マシンモニタによる仮想マシン内プロセスの制御”, 2007年並列/分散/協調処理に関する『旭川』サマー・ワークショップ (SWoPP 旭川 2007), 情報処理学会研究報告 2007-OS-106, Vol. 2007, No. 83, pp. 31-38, 2007年8月.
- [44] 塩谷 知宏, 大山 恵弘, 岩崎 英哉, “実行コンテキストに応じたポリシー指定が可能なサンドボックス”, 情報処理学会研究報告 2007-OS-105, Vol. 2007, No. 36, pp. 87-93, 2007年4月.
- [45] 渡辺 陽介, 北川 博之, “仮想マシン技術を用いた持続型ストリーム処理環境の評価”, 夏のデータベースワークショップ 2007 (DBWS 2007), 2007年7月. 電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 107, No. 131, pp. 339-344.

- [46] 稲守 孝之, 渡辺 陽介, 北川 博之, 天笠俊之, 川島英之, “分散ストリーム処理環境におけるアプリケーション配置最適化手法”, 夏のデータベースワークショップ 2007 (DBWS 2007)電子情報通信学会技術研究報告 Vol. 107, No. 131, pp. 345-350, 2007 年 7 月.
- [47] 西谷 信之介, 廣津 登志夫, “分散環境における履歴に基づいたジョブ・スケジューリング方式”, 日本ソフトウェア科学会第 24 回大会, 4B-1, 奈良先端技術大学院大学, 2007 年 9 月.
- [48] 李 曉晨, 天笠 俊之, 北川 博之, “構造型 P2P ネットワークにおける転置リストを利用した XML 文書検索”, 電子情報通信学会第 18 回データ工学ワークショップ (DEWS2008), 2008 年 3 月.
- [49] Yasuhiko Minamide, “Overview of the PHP String Analyzer”, プログラム解析ワークショップ, IBM 東京基礎研究所, 2007年 8 月.
- [50] Fadoua Ghourabi, Hidekazu Takahashi, Tetsuo Ida, “Analysis of Layers of Faces in Computational Origami Modeling”, 日本ソフトウェア科学会第 24 回大会, 奈良先端科学技術大学院大学, 2007 年 9 月.
- [51] Asem Kasem, Hidekazu Takahashi, Mircea Marin, Tetsuo Ida, “webOrigami2 : A System for Origami Construction and Proving Using Web 2.0 Technologies”, 日本ソフトウェア科学会第 24 回大会, 奈良先端科学技術大学院大学, 2007 年 9 月.
- [52] Emil Meng, Toshiyuki Mitsue, Hideki Eiraku, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato, “Live-upgrading Hypervisors: A Study in Its Applications”, 情報処理学会研究報告(2008-OS-107(3)), pp.17-24, 2008 年 1 月.
- [53] 池嶋 俊, 品川 高廣, 杉木 章義, 加藤 和彦, “耐ネットワーク分断性を持つインターネットサービス向け分散オブジェクト”, 情報処理学会研究報告 2008-OS-107(4), pp.25-32, 2008 年 1 月.
- [54] 馬淵 充啓, 池嶋 俊, 川崎 仁嗣, 吉野 純平, 松井 慧悟, 新城 靖, 佐藤 聡, 加藤 和彦, “既存の Web 資源に対するケーパビリティの管理・配布を行うサーバの実現”, 情報処理学会研究報告(2008-OS-107(6)), pp.41-48, 2008 年 1 月.
- [55] 杉木 章義, Richard Potter, 加藤 和彦, “仮想機械のスナップショット機構を利用したサービスの高信頼なパッシブ複製手法”, 情報処理学会研究報告 2008-OS-107 (11), pp.79-86, 2008 年 1 月.
- [56] 星野 厚, 岡瑞起, 加藤 和彦, “位置情報を用いたブログサービス「ろぐの細道」, 第 70 回情報処理学会全国大会”, 2008 年 3 月.
- [57] 吉野 純平, 阿部 洋丈, 加藤 和彦, “広域ネットワークにおける大規模データ転送

- 手法の検討”, 第 70 回情報処理学会全国大会, 2008 年 3 月. (学生奨励賞)
- [58] 山本 悠輔, 新城 靖, 榮樂 英樹, 板野 肯三, 佐藤 聡, 中井 央, 加藤和彦, “仮想計算機におけるデバイスエミュレーションの特化による高速化”, 情報処理学会研究会報告 2008-OS-107(14), pp.103-110, 2008 年 1 月.
- [59] 山本 悠輔, 新城 靖, 榮樂 英樹, 板野 肯三, 佐藤 聡, 中井 央, 加藤 和彦, “仮想計算機におけるデバイスエミュレーションの部分評価を用いた高速化”, 第 70 回情報処理学会全国大会, 1P-1, 2008 年 3 月.
- [60] 高橋 由直, 新城 靖, 榮樂 英樹, 板野 肯三, 中井 央, 佐藤 聡, 加藤 和彦, “モード遷移削減による仮想計算の高速化”, 第 70 回情報処理学会全国大会, 1P-2, 2008 年 3 月.
- [61] 五明 将幸, 新城 靖, 白石 光隆, 佐藤 聡, 中井 央, 板野 肯三, “協調型仮想計算機におけるホスト呼び出し機構”, 第 70 回情報処理学会全国大会, 1P-6, 2008 年 3 月.
- [62] 白石 光隆, 新城 靖, 五明 将幸, 板野 肯三, 佐藤 聡, 中井 央, “協調型仮想計算機のための二重 OS シェル”, 第 70 回情報処理学会全国大会, 1P-7, 2008 年 3 月.
- [63] 豊岡 拓, 新城 靖, 佐藤 聡, 中井 央, 板野 肯三, “仮想計算機のゲスト OS におけるファイルアクセスに対する高水準リンクの実現”, 第 70 回情報処理学会全国大会, 1P-8, 2008 年 3 月.
- [64] 登 大遊, 加藤 和彦, 新城 靖, 板野 肯三, 佐藤 聡, 中井 央, “PC 上で動作するスケーラブルな IP ネットワーク実験システム”, 第 70 回情報処理学会全国大会, 1Y-8, 2008 年 3 月. (大会奨励賞)
- [65] 高田 真吾, 佐藤 聡, 新城 靖, 中井 央, 板野 肯三, “USB トークン認証を用いた OS の安全な起動制御”, 第 70 回情報処理学会全国大会, 2Y-7, 2008 年 3 月.
- [66] 杉本 卓哉, 新城 靖, 松井 慧悟, 佐藤 聡, 中井 央, 板野 肯三, “電子メールに対するケーパビリティに基づくアクセス制御の実装”, 第 70 回情報処理学会全国大会, 3ZB-1, 2008 年 3 月.
- [67] 松井 慧悟, 新城 靖, 杉本 卓哉, 佐藤 聡, 中井 央, 板野 肯三, “ケーパビリティに基づくアクセス制御のためのケーパビリティ管理機構”, 第 70 回情報処理学会全国大会講演論文集, 3ZB-2, 2008 年 3 月.
- [68] Syahir Ahmad, Yasushi Shinjo, Kozu Itano, Akira Sato and Hisashi Nakai, “An Internet File-system for Random-access to protected data”, 70th National Convention of IPSJ (Information Processing Society of Japan), 5Y-4, May 13-15,



2008.

- [69] 高田 真吾, 佐藤 聡, 新城 靖, 中井 央, 板野 肯三, “認証デバイスを用いた OS の安全な起動制御”, 情報処理学会研究会報告 2008-IOT-001-14, Vol. 2008, No. 37, pp. 77-82, 2008 年 5 月 1 日.
- [70] 高田 真吾, 佐藤 聡, 新城 靖, 中井 央, 板野 肯三, “認証デバイスを用いた OS の起動・終了制御システムにおける起動時間の短縮”, 情報処理学会研究会報告 2009-IOT-004, 6 ページ, 2009 年 3 月 5 日.
- [71] 馬淵 充啓, 小沢 健史, 高田 真吾, 豊岡 拓, 松井 慧悟, 佐藤 聡, 新城 靖, 加藤 和彦, “持ち込み PC を対象としたネットワーク利用許可権限の委譲を可能にするアクセス制御メカニズムの実現”, 情報処理学会研究会報告 2009-IOT-004, 6 ページ, 2009 年 3 月 5 日.
- [72] 石橋 崇, 小宮 常康, 廣津 登志夫, “Web アプリケーションにおける JavaScript 計算の移送機構”, 情報処理学会第 70 回全国大会, 2008 年 3 月. (学生奨励賞)
- [73] 松山 祐司, 中尾 彰宏, “VMM Framework による PlanetLab の統合的拡張”, BS-2-5 新世代を拓くオーバレイネットワーキング技術, 電子情報通信学会総合大会, 2008 年 3 月.
- [74] Djelloul Boukhelef, Hiroyuki Kitagawa, “RCAN: A Multi-ring Content Addressable Network”, iDB フォーラム 2008, 2008 年 9 月 21 日～23 日. (iDB フォーラム 2008 Excellent Paper Award 受賞)
- [75] 李曉晨, 天笠俊之, 北川博之, “構造型 P2P ネットワークにおけるキーワードを含む XPath による XML 文書検索”, iDB フォーラム 2008, 2008 年 9 月 21 日～23 日. (iDB フォーラム 2008 学生発表奨励賞受賞)
- [76] 安達 悠, 大山 恵弘, “プロセスレベルの仮想化を用いたマルウェアの挙動解析システム”, コンピュータセキュリティシンポジウム 2008 (CSS 2008), pages 259-264, 沖縄コンベンションセンター, 2008 年 10 月. (学生論文賞)
- [77] Djelloul Boukhelef and Hiroyuki Kitagawa, “Multi-ring Infrastructure for Content Addressable Networks”, iDB フォーラム 2008, 2008 年 9 月 21 日～23 日. (Excellent Paper Award)
- [78] 大喜 恒甫, 渡辺 陽介, 秋山 亮, 北川 博之, 天笠 俊之, 川島 英之, “対象情報源の動的変化を考慮した分散ストリーム処理最適化手法の提案”, iDB フォーラム 2008, 情報処理学会研究報告 Vol. 2008, No. 88, pp. 265-270, 2008 年 9 月 21 日～23 日.

## ポスター発表（国際会議 3 件, 国内会議 72 件）

- [1] 岡 瑞起, 阿部 洋丈, 大山 恵弘, Emil Meng, 加藤 和彦, “プログラムの静的解析に基づく侵入検知システム”, 情報処理学会 第 15 回コンピュータシステムシンポジウム ポスター発表, 茨城県つくば市, 2003 年 12 月 12 日.
- [2] 阿部 洋丈, 加藤 和彦, “Aerie: WWW のための完全分散型匿名プロキシ”, 情報処理学会 第 15 回コンピュータシステムシンポジウム ポスター発表, 茨城県つくば市, 2003 年 12 月 12 日.
- [3] 高鶴 哲也, 加藤 和彦, “P2P アルゴリズム学習用アニメータ”, 情報処理学会 第 15 回コンピュータシステムシンポジウム ポスター発表, 茨城県つくば市, 2003 年 12 月 12 日.
- [4] 鈴木 真一, 今里 邦夫, 新城 靖, 板野 肯三, “既存のファイルシステムと親和性の高い世界 OS の Linux Kernel における実現”, 日本ソフトウェア科学会第 6 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ(SPA 2003), ポスターセッション, 長野県 上諏訪温泉, 2004 年 3 月 1-3 日.
- [5] 今里 邦夫, 鈴木 真一, 新城 靖, 板野 肯三, “動的リンクとパケットフィルタを用いた世界 OS のネットワーク機能の実現”, 日本ソフトウェア科学会第 6 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ(SPA 2003), ポスターセッション, 長野県 上諏訪温泉, 2004 年 3 月 1-3 日.
- [6] 尾上 浩一, “VM に関する性能評価”, 第 7 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA 2004), ポスターセッション, 長野, 2004 年 3 月.
- [7] 大山 恵弘, “侵入検知システムのデータベースの内容を実行時間情報から推測するためのツール”, 第 7 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA 2004), ポスターセッション, 長野, 2004 年 3 月.
- [8] 新城 靖, “XML Web サービスのための大域的メール・ファイル・システム”, 日本ソフトウェア科学会第 3 回プログラミングおよび応用のシステムに関するサマーワークショップ(SPA-SUMMER 2004), ポスターセッション, 2004 年 8 月.
- [9] Legendre Arnaud , Yasushi Shinjo, “Implementation of Mediators for XML Web Services”, Japan Society for Software Science and Technology (JSSST) The Third Summer Workshop on Systems for Programming and Applications (SPA-SUMMER 2004), Poster Session, 2004.
- [10] 奥山 航平, 新城 靖, 板野 肯三, “Web アプリケーションと接続指向アプリケーションにおいてシングルサインオンを実現するための利用者認証方式”, 日本ソフトウェア科学会第 3 回プログラミングおよび応用のシステムに関するサマーワークショップ

- (SPA-SUMMER 2004), ポスターセッション, 2004 年 8 月.
- [11] 大山 恵弘, “仮想計算環境とアプリケーションの協調による最適化”, 第 3 回 SPA サマールークショップ (SPA-SUMMER 2004), 2004 年 8 月 23 日.
  - [12] 尾上 浩一. “仮想計算機を利用した移動計算システムの構築”, 第 3 回 SPA サマールークショップ (SPA-SUMMER 2004), 2004 年 8 月 23 日.
  - [13] 横山 陽介, “SoftwarePot へのチェックポイント機構の導入”, 第 3 回 SPA サマールークショップ (SPA-SUMMER 2004), 2004 年 8 月 23 日.
  - [14] 吉野 寿宏, “自己修復ツールキットライブラリ”, 第 3 回 SPA サマールークショップ (SPA-SUMMER 2004), 2004 年 8 月 23 日.
  - [15] 小林 義徳, “DDoS 攻撃下での Web サーバーの負荷測定”, 第 3 回 SPA サマールークショップ (SPA-SUMMER 2004), 2004 年 8 月 23 日.
  - [16] 奥山 航平, 新城 靖, 板野 肯三, “Web アプリケーションおよび接続指向アプリケーションの両者に対応したシングルサインオンの実現”, 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム(ComSys2004), ポスターセッション, 2004 年 11 月.
  - [17] Yasushi Shinjo, “Capability-based Access Control for Networks with DNS”, The 2nd US-Japan Experts Workshop on Critical Information Infrastructure Protection (CIIP05), Poster Session, Tokyo June 26-27, 2005.
  - [18] SURANYI Peter, 馬淵 充啓, 阿部 洋丈, 大山 恵弘, 廣津 登志夫, 加藤 和彦, “分散システム用通信プロファイラの実現と応用”, 日本ソフトウェア科学会 ソフトウェアシステム研究会 主催, 第 8 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ, ポスターセッション, 2005 年 3 月.
  - [19] 岡 瑞起, Richard Potter, 加藤 和彦, “Virtual Machine Streaming using Speculative Prefetching”, 日本ソフトウェア科学会 ソフトウェアシステム研究会 主催, 第 8 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ, ポスターセッション, 2005 年 3 月.
  - [20] 榮樂 英樹, 新城 靖, 加藤 和彦, “ユーザレベル OS のためのユーザレベルネットワーク機能”, 日本ソフトウェア科学会 ソフトウェアシステム研究会 主催, 第 8 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ, ポスターセッション, 2005 年 3 月.
  - [21] 塚田 大, 鈴木 勝博, 阿部 洋丈, 加藤 和彦, “更新機能を有する Peer-to-Peer 型ファイル共有システムに関する研究”, 日本ソフトウェア科学会 ソフトウェアシステム研究会 主催, 第 8 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ, ポスターセッション, 2005 年 3 月.

- [22] 阿部 洋丈, 鈴木 与範, 小磯 知之, 加藤 和彦, “Sustainable Service の実現構想”, 日本ソフトウェア科学会 ソフトウェアシステム研究会 主催, 第 8 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ, ポスターセッション, 2005 年 3 月.
- [23] 中川 孔人, Richard Potter, 萩谷 昌己, 加藤 和彦, “SBUMLを用いた OSレベルでの Undo 機能の実現及びその応用”, 日本ソフトウェア科学会第 12 回インタラクティブシステムとソフトウェア(WISS2004), ポスターセッション, 2004 年 12 月.
- [24] SURANYI Peter, 阿部 洋丈, 大山 恵弘, 廣津 登志夫, 加藤 和彦, “ユーザレベル仮想化による広域分散システム開発の支援”, 情報処理学会システムソフトウェアとオペレーティングシステム研究会主催, 第 16 回コンピュータシステムシンポジウム, ポスターセッション, 2004 年 11 月.
- [25] 榮樂 英樹, 新城 靖, 加藤 和彦, “LilyVM: ユーザレベル OS のための軽量 VM”, 情報処理学会システムソフトウェアとオペレーティングシステム研究会主催. 第 16 回コンピュータシステムシンポジウム, ポスターセッション, 2004 年 11 月.
- [26] Richard Potter, Mizuki Oka, and Kazuhiko Kato, “A Demonstration of Virtual Machine Streaming”, 第 16 回 コンピュータシステム・シンポジウムシステム, ポスターセッション, 2004 年 9 月.
- [27] 島本 大輔, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “Windows における System Service 監視ソフトウェアの開発”, 先進的計算基盤システムシンポジウム(SAC SIS 2005), ポスターセッション, つくば, 2005 年 5 月.
- [28] 山崎 孝裕, “柔軟性と拡張性を備えた大規模多人数オンラインゲームのための枠組み”, 先進的計算基盤システムシンポジウム(SAC SIS2005), ポスターセッション, つくば, 2005 年 5 月.
- [29] 横山 陽介, “プロセスの監視によるプロセスマイグレーションのための適切な環境の構築法”, 第 4 回 SPA サマーワークショップ, ポスターセッション, 石和, 2005 年 8 月.
- [30] 尾上 浩一, “侵入防止システムのための自己保護”, 第 4 回 SPA サマーワークショップ, ポスターセッション, 石和, 2005 年 8 月.
- [31] 島本 大輔, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “System Service 監視による Windows 用異常検知システムの開発”, 第 17 回 コンピュータシステム・シンポジウム, ポスターセッション, 筑波大学, 2005 年 11 月.
- [32] 榮樂 英樹, 新城 靖, 加藤 和彦, “複合ハイパバイザによる仮想計算機の高速化”, 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム, ポスターセッション, 2005 年 11 月. (OpenSolaris Challenge 最優秀発表賞)

- [33] 小磯 知之, “サステナブルサービスを実現する基盤ソフトウェアの設計”, 第 9 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA2006), 塩原, 2006 年 3 月.
- [34] 池嶋 俊, “AsagumoWeb:P2P 技術を利用した Web システム”, 第 9 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA2006), 塩原, 2006 年 3 月.
- [35] 川崎 仁嗣, “仮想計算環境の効率的な転送法に関する研究”, 第 9 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA2006), 塩原, 2006 年 3 月.
- [36] 吉野 純平, “障害復旧のための広域分散ストレージ”, 第 9 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA2006), 塩原, 2006 年 3 月.
- [37] 馬淵 充啓, 新城 靖, 加藤 和彦, “ケーパビリティに基づくアクセス制御を持つスケジュール管理アプリケーション”, 第 9 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA2006), 塩原, 2006 年 3 月.
- [38] 小林 思無邪, “ログ構造化ファイルシステムによるリモートミラーリング機構の研究”, 第 9 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA2006), 塩原, 2006 年 3 月.
- [39] 河野 智一, “OpenSSH の接続元による認証方式の切り替え機構”, 第 9 回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA2006), 塩原, 2006 年 3 月.
- [40] 横山 陽介, “アプリケーションに特化した計算移動やチェックポイントイングのための仮想環境”, 第 9 回 プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA2006), 塩原, 2006 年 3 月.
- [41] Jianwei Zhang, Yoshiharu Ishikawa, Sayumi Kurokawa, and Hiroyuki Kitagawa, “LocalRank: A Prototype for Ranking Web Pages with Database Considering Geographical Locality”, 8th Asia Pacific Web Conference (APWeb 2006) (Demo paper), LNCS 3841, pp. 1209–1213, Harbin, China, January 2006.
- [42] 吉野 純平, 阿部 洋丈, 加藤 和彦, “障害回復のための広域分散アーカイバルストレージ”, 第 10 回 プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA X), ポスターセッション, 2006 年 8 月.
- [43] 馬淵 充啓, 新城 靖, 加藤 和彦, “ケーパビリティに基づくアクセス制御を持つスケジュール管理アプリケーションのクライアント”, 第 10 回 プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA X), ポスターセッション, 2006 年 8 月.
- [44] 川崎 仁嗣, 阿部 洋丈, Richard Potter, 加藤 和彦, “仮想計算環境の効率的な転送法”, 第 10 回 プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ (SPA X), ポスターセッション, 2006 年 8 月.

- [45] 川崎 仁嗣, 鈴木 勝博, 阿部 洋丈, 加藤 和彦, “リファレンスモニタの多重化に関する研究”, 情報処理学会第 18 回コンピュータシステム・シンポジウム, ポスターセッション, 2006 年 11 月.
- [46] 塚田 大, 鈴木 勝博, 阿部 洋丈, 加藤 和彦, “協調作業のファイル同期システムにおけるトラックの分散化について”, 情報処理学会第 18 回コンピュータシステム・シンポジウム, ポスターセッション, 2006 年 11 月.
- [47] 岡 瑞起, 吉野 純平, 加藤 和彦, “Personal Color Coordinating System”, 情報処理学会第 18 回コンピュータシステム・シンポジウム, ポスターセッション, 2006 年 11 月.
- [48] 石川 宗寿, 池嶋 俊, 阿部 洋丈, 加藤 和彦, “サステナブルサービスを構築するためのフレームワーク”, 情報処理学会第 18 回コンピュータシステム・シンポジウム, ポスターセッション, 2006 年 11 月.
- [49] 尾上 浩一, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “ハードウェア仮想化技術を用いた仮想計算機モニタの構築に向けて”, 第 18 回コンピュータシステム・シンポジウム, ポスターセッション, 2006 年 11 月.
- [50] 西川 賀樹, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “資源ビューの仮想化を用いた分散システムテストベッド”, 第 18 回コンピュータシステム・シンポジウム, ポスターセッション, 2006 年 11 月.
- [51] Shinichi Yamada, Yousuke Watanabe, Hiroyuki Kitagawa, and Toshiyuki Amagasa, “Location-based Information Delivery Using Stream Processing Engine StreamSpinner”, 7th International Conference on Mobile Data Management (MDM 2006), Nara, Japan, May 2006.
- [52] 黒田 大陽, 廣津 登志夫, “NILFS Checkpoint Viewer の設計と実装”, 第 18 回コンピュータシステムシンポジウム, ポスターセッション(P11), 情報処理学会, 名古屋国際会議場, 2006 年 11 月.
- [53] 小林 思無邪, 廣津 登志夫, “ログ構造化ファイルシステムにおける効率的なリモートバックアップ手法”, 第 5 回 SPA スプリングワークショップ, 鬼怒川, 2007 年 3 月.
- [54] 黒田 大陽, 廣津 登志夫, 天海 良治, 盛合 敏, “NILFS CPviewer の機能拡張”, 第 5 回 SPA スプリングワークショップ, 鬼怒川, 2007 年 3 月.
- [55] 李 忠翰, 廣瀬 博昭, 廣津 登志夫, “多解像度トラフィックビューアーの開発”, 第 5 回 SPA スプリングワークショップ, 鬼怒川, 2007 年 3 月.
- [56] 野澤 直城, 廣津 登志夫, 菅原 俊治, “センサネットワークの空間に基づいた動

- 的グループピング”，第5回 SPA スプリングワークショップ，鬼怒川，2007年3月。
- [57] 杉木 章義，加藤 和彦，“サステナブルサービスのためのサービス基盤”，第11回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ(SPA 2007)，ポスター発表，2007年8月。
- [58] 石川 宗寿，加藤 和彦，“インターネットサービスのためのデータ複製管理手法”，第11回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ(SPA 2007)，ポスター発表，2007年8月。
- [59] 大宮 正大，加藤 和彦，“ファイル名の接頭辞を用いた簡易アクセス制御”，第11回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ(SPA 2007)，ポスター発表，2007年8月。
- [60] Emil Meng, Kazuhiko Kato, “The Dynamic Virtual Machine Monitor”，第11回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ(SPA 2007)，ポスター発表，2007年8月。
- [61] 五明 将幸，新城 靖，白石 光隆，佐藤 聡，中井 央，板野 肯三，“ホスト OS と協調して動作する仮想計算機の提案”，情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム(ComSys2007)，ポスター発表，2007年11月。
- [62] 大田原 渉，大山 恵弘，“異なる計算機間で正常動作情報を共有する異常検知システム”，第19回コンピュータシステム・シンポジウム(ComSys 2007)，ポスター発表，2007年11月。
- [63] 山崎 大輔，大山 恵弘，“コールスタック検査による Windows 版異常検知システム”，第19回コンピュータシステム・シンポジウム(ComSys 2007)，ポスター発表，2007年11月。
- [64] 木村 将，“仮想化を利用したリモートデバイス実現手法の提案”，日本ソフトウェア科学会第24回大会，ポスター発表，2007年9月。
- [65] 安達 悠，大山 恵弘，“仮想実行環境に配置する資源の選択を自動化する手法”，第11回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ(SPA 2007)，ポスター発表，2007年9月。
- [66] 神山 貴幸，大山 恵弘，“脆弱性に基づいたアプリケーション監視ツール”，第11回プログラミングおよび応用のシステムに関するワークショップ(SPA 2007)，2007年9月。
- [67] 松山 祐司，中尾 彰宏，“オーバレイネットワーク実験環境のためのVMMフレームワーク”，第5回QoSワークショップ，コミュニケーションクオリティ(CQ)研究会，電子情報通信学会，2007年11月。

- [68] John Russell Lane, 中尾 彰宏, “SORA: Towards a Multipath-Aware Network Layer”, 第5回QoSワークショップ, コミュニケーションクオリティ(CQ)研究会, 電子情報通信学会, 2007年11月(優秀ポスター賞).
- [69] 白石 光隆, 新城 靖, 五明 将幸, 佐藤 聡, 中井 央, 板野 肯三, “協調型仮想計算機におけるホスト OS のファイルへのアクセス”, 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム(ComSys2008), ポスターセッション, 2008年11月12-13日.
- [70] 齊藤 剛, 新城 靖, 榮樂 英樹, 佐藤 聡, 中井 央, 板野 肯三, “仮想計算機におけるアウトソーシングのためのゲスト-ホスト間 RPC”, 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム(ComSys2008), ポスターセッション, 2008年11月12-13日.
- [71] 松山 竹次郎, 新城 靖, 佐藤 聡, 中井 央, 板野 肯三, “ファイルの世代管理による情報流制御の提案”, 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム(ComSys2008), ポスターセッション, 2008年11月12-13日.
- [72] 金子 直矢, 新城 靖, 佐藤 聡, 中井 央, 板野 肯三, “インスタントメッセージを用いたネットワークファイルシステムの実現”, 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム(ComSys2008), ポスターセッション, 2008年11月12-13日. (研究奨励賞)
- [73] 小沢 健史, 齊藤 剛, 英樂 英樹, 新城 靖, 佐藤 聡, 中井 央, 板野 肯三, “ホスト型仮想計算機におけるタイマ精度向上手法の提案”, 情報処理学会コンピュータシステム・シンポジウム(ComSys2008), ポスターセッション, 2008年11月12-13日.
- [74] Kosuke Ohki, Yousuke Watanabe, and Hiroyuki Kitagawa, “Dynamic Source Selection to Handle Changes of User’s Interest in Continuous Query”, 16th International Conference on Cooperative Information Systems, LNCS 5333, pp. 6-7, Monterrey, Mexico, November 12 - 14, 2008.
- [75] 大喜 恒甫, 山口 卓郎, 渡辺 陽介, 北川 博之, 川島 英之, 塩川 浩昭, “異種データストリーム統合基盤:StreamSpinner”, Webとデータベースに関するフォーラム(WebDB Forum 2008), 2008年12月1日~2日.

### (3)特許出願

#### ①国内出願 (2件)

1.発明の名称: 時系列データ判定方法

発明者: 岡瑞起, 加藤和彦, 大山恵弘

出願人: 独立行政法人科学技術振興機構

出願日: 2004年9月1日

出願番号: 特願 2004-254856



2. 発明の名称:時系列データ判定方法

発明者:岡瑞起, 加藤和彦

出願人:独立行政法人科学技術振興機構

出願日:2004年9月10日

出願番号:特願 2004-264758

②海外出願 (1件)

1. 発明の名称:Sequential Data Examination Method

発明者氏名:Mizuki OKA, Kazuhiko KATO

出願人:Japan Science and Technology Agency

出願日:2005年7月12日

出願国:アメリカ

出願番号:第 11/179838 号

(4)受賞等

①受賞(20件)

- [1] 阿部 洋丈, “静的解析に基づく侵入検知システムの最適化”, **情報処理学会 山下記念研究賞**, 平成 16 年 12 月
- [2] 阿部 洋丈, 大山 恵弘, 岡 瑞起, 加藤 和彦, “静的解析に基づく侵入検知システムの最適化”, **情報処理学会 平成 16 年度論文賞**, 平成 17 年 5 月.
- [3] 町田 陽二, “移動軌跡ストリームデータのためのインクリメンタルなヒストグラムの管理手法”, **夏のデータベースワークショップ(DBWS2005)学生研究発表奨励賞**.
- [4] Khy Sophoin, “An Experimental Evaluation of a Novelty-based Incremental Document Clustering Method”, **夏のデータベースワークショップ(DBWS2005)学生研究発表奨励賞**.
- [5] 榮樂 英樹, “複合ハイパバイザによる仮想計算機の高速度化”, **情報処理学会第 17 回コンピュータシステム・シンポジウム OpenSolaris Challenge 最優秀発表賞**, 平成 17 年 11 月.
- [6] 金田 憲二, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “単一システムイメージを提供するための仮想マシンモニタ”, **情報処理学会第 17 回コンピュータシステム・シンポジウム 若手ノ学生論文賞**, 平成 17 年 11 月.
- [7] 金田 憲二, “単一システムイメージを提供するための仮想マシンモニタ”, **情報処理学会 平成 18 年度山下記念研究賞**, 平成 17 年 11 月.

- [8] 榮楽 英樹, 新城 靖, 加藤 和彦, “カーネル・レベル・コードによるユーザ・レベル VMMの移植性の向上”, 第104回情報処理学会 システムソフトウェアとオペレーティングシステム研究会 最優秀学生発表賞, 平成19年1月.
- [9] 榮楽 英樹, “カーネル・レベル・コードによるユーザ・レベル VMM の移植性の向上”, 情報処理学会 コンピュータサイエンス領域奨励賞, 平成19年11月.
- [10] 西川 賀樹, 大山 恵弘, 米澤 明憲, “OS 資源ビューの仮想化を用いた分散システムテストベッド”, FIT2007 論文賞, 第6回情報科学技術フォーラム (FIT 2007), 平成19年9月.
- [11] 石川 佳治, 町田 陽二, 北川 博之, “マルコフ連鎖モデルに基づく移動ヒストグラムの動的構築法”, 電子情報通信学会平成19年度論文賞, 平成19年2月.
- [12] 吉野 純平, 阿部洋丈, 加藤和彦, “広域ネットワークにおける大規模データ転送手法の検討”, 情報処理学会第70回全国大会学生奨励賞, 平成20年3月.
- [13] 石橋 崇, 小宮 常康, 廣津 登志夫, “Web アプリケーションにおける JavaScript 計算の移送機構”, 情報処理学会第70回全国大会学生奨励賞, 平成20年3月.
- [14] 登 大遊, 加藤 和彦, 新城 靖, 板野 肯三, 佐藤 聡, 中井 央, “PC 上で動作するスケーラブルな IP ネットワーク実験システム”, 情報処理学会第70回全国大会大会奨励賞, 平成20年7月.
- [15] 高田 真吾, 佐藤 聡, 新城 靖, 中井 央, 板野 肯三, “USB トークン認証を用いた OS の安全な起動制御”, 情報処理学会第70回全国大会学生奨励賞, 平成20年3月.
- [16] Djelloul Boukhelef, Hiroyuki Kitagawa, “RCAN: A Multi-ring Content Addressable Network”, iDB フォーラム 2008, Excellent Paper Award , 平成20年9月21日~23日.
- [17] 李曉晨, 天笠俊之, 北川博之, “構造型 P2P ネットワークにおけるキーワードを含む XPath による XML 文書検索”, iDB フォーラム 2008, 学生発表奨励賞受, 平成20年9月21日~23日.
- [18] 安達 悠, 大山 恵弘, “プロセスレベルの仮想化を用いたマルウェアの挙動解析システム”, コンピュータセキュリティシンポジウム 2008 (CSS 2008), pages 259-264, 学生論文賞, 2008年10月.
- [19] 杉木 章義, 大和崎 啓, 加藤 和彦, “広域分散環境のための仮想機械を利用したサービス協調複製基盤”, 情報処理学会第20回コンピュータシステム・シンポジウム 若手論文賞, 平成20年11月.
- [20] Djelloul Boukhelef and Hiroyuki Kitagawa, “Multi-ring Infrastructure for Content

Addressable Networks”, iDB フォーラム 2008 Excellent Paper Award, 2008 年 9 月 21 日～23 日.

## ②新聞報道

[1] 日経バイト 2005 年 11 月号(No.270), 「仮想化の正体」, pp. 32-33.

[2] IT Pro 記者の眼「“合体”するコンピュータは強いのか」, 2005 年 10 月 31 日.

## ③その他

### (5)その他特記事項

#### 展示会出展

1. イノベーションジャパン 2005(主催:JST, NEDO, 開催日:2005 年 9 月 27～29 日, 場所:東京国際フォーラム)にて, 「自律連合型分散システム」という展示タイトルでブース展示を行った.
2. イノベーションジャパン 2005(主催:JST, NEDO, 開催日:2005 年 9 月 27～29 日, 場所:東京国際フォーラム)にて「時系列ストリームデータ統合利用システム」という展示タイトルでブース展示を行った.
3. イノベーションジャパン 2006(主催:JST, NEDO, 開催日:2006 年 9 月 13～15 日, 場所:東京国際フォーラム)にて, 「サステナブルシステム」という展示タイトルでブース展示を行った.
4. イノベーションジャパン 2006(主催:JST, NEDO, 開催日:2006 年 9 月 13～15 日, 場所:東京国際フォーラム)にて「ストリーム処理による実時間実世界情報基盤システム」という展示タイトルでブース展示を行った.
5. イノベーションジャパン 2007(主催:JST, NEDO, 開催日:2007 年 9 月 12～14 日, 場所:東京国際フォーラム)にて「大規模センサーデータのための連合型情報基盤システム」という展示タイトルでブース展示を行った.
6. イノベーションジャパン 2008(主催:JST, NEDO, 開催日:2008 年 9 月 16～18 日, 場所:東京国際フォーラム)にて「大規模センサーデータ処理のためのデータストリーム管理基盤」という展示タイトルでブース展示を行った.

#### ソフトウェア公開

本研究プロジェクトでは、学術的な研究と並行して、実際的なソフトウェア作りを行った。ソフトウェア[1], [2], [3]は既にオープンソースとして公開している。

[1] Richard Potter, Scrapbook User-Mode Linux.

<http://sbuml.sourceforge.net/>

[2] 金田 憲二, 並列仮想機械モニタ.

<http://web.yl.is.s.u-tokyo.ac.jp/~kaneda/vmp/>

[3] 榮楽 英樹, 軽量仮想機械モニタ.

<http://lilyvm.sourceforge.net/>

[4] 南出 靖彦, PHP String Analyzer

<http://www.score.is.tsukuba.ac.jp/~minamide/phpsa/>

さらに本年中に、下記のソフトウェアのオープンソース公開を予定している。

[5] 池嶋 俊 他, サステナブルシステムフレームワーク 1.0.

[6] 杉木 章義 他, サステナブルシステムフレームワーク 2.0.

[7] 渡辺 陽介 他, StreamSpinner.

[8] 登 大遊, 仮想インターネットシステム.

これらのソフトウェアはいずれも、非常に高いレベルの知識とスキルを必要とし、本研究プロジェクトにおける技術開発、および、ソフトウェア作者の特殊な開発力量なしには実現し得ない類のソフトウェアである。

また、登氏らによるサステナブルなストリーム中継システムは、当初、筑波大学内のサイトにサーバーを設置し、2007年1月に学外一般にサービス公開を行った。その際に71,741人のユーザが利用した。2007年9月からは、ソフトイーサ社が日本SGI株式会社、メディアエクスチェンジ株式会社の協力を得て商用サービス展開を行っている。2008年5月からは、NECビッグローブ株式会社、ソフトバンクBB株式会社もこのサービス提供に参加している。

## §7 研究期間中の主な活動

### ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2006年6月9日	第1回 自律連合型基盤システムに関するシンポジウム	秋葉原コンベンションホール	81名	当研究チームの研究概要を紹介する公開シンポジウムを行った

2008年9月8日	CREST シンポジウム:自律・連合・仮想化時代のインターネット基盤技術	富士ソフトウェア キバプラザ	85名	当研究チームの研究概要を紹介する公開シンポジウムを行った
-----------	--------------------------------------	-------------------	-----	------------------------------

## 第1回 自律連合型基盤システムに関するシンポジウム

主催 独立行政法人 科学技術振興機構 CREST 領域

「情報社会を支える新しい高性能情報処理技術」

日時:2006年6月9日(金曜)10:20～ 17:10 (10:00 開場)

場所:秋葉原コンベンションホール 5A 室(秋葉原ダイビル 5階, JR 秋葉原駅前)

<http://www.akibahall.jp/>

URL:<http://www.oss.cs.tsukuba.ac.jp/kato/afcs2006.html>

参加費:無料

開催趣旨:インターネットはオープンなネットワークであると共に、自律したネットワークの連合体という性質を有しています。これらの性質は人間社会と同じものであり、インターネットが人間社会に広く浸透するに伴い、その重要性は増大していると考えられます。巷を賑わすセキュリティ上のさまざまな問題も、本質を辿れば、これらの性質に起因するものと考えられます。我々は科学技術振興機構 CREST 研究として、自律性を有しながら連合することができるシステムの構築原理の追求を目指して研究開発を進めています。これまでの研究成果と今後の方向性を議論することを目的として、本シンポジウムを開催いたします。

### ●プログラム

- (1) 自律連合型基盤システムとサステナブルシステム (10:20-11:00)  
加藤和彦(筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授)
- (2) 障害復旧のための連合型広域分散アーカイブ (11:00-11:30)  
阿部洋丈(科学技術振興機構 研究員)
- (3) 仮想機械ストリーミングとその応用 (11:30-12:00)  
(原題:Virtual Machine Streaming and its Applications)  
Richard Potter(科学技術振興機構 研究員)
- (4) 複数の計算機を有効に利用するための仮想マシン技術(13:30-14:00)  
大山 恵弘(電気通信大学情報工学科 助教授)
- (5) 効率的なサービス発見のための自律ランデブー型オーバーレイネットワーク (14:00-14:30)  
(原題:An Autonomic Rendezvous Overlay Network for Efficient Service Discovery)  
Khaled Ragab(科学技術振興機構 研究員)
- (6) 自律連合型基盤システムにおけるデータインターオペラビリティ (14:50-15:20)  
北川博之(筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授)

(7) 知識発見を用いた情報源連合(15:20-15:50)

石川佳治(名古屋大学 情報連携基盤センター 教授)

(8) 文字列解析によるサーバサイドプログラムの静的検査(16:10-16:40)

南出靖彦(筑波大学大学院システム情報工学研究科 講師)

(9) リアルタイム通信が可能な仮想インターネットシステムの実装 (16:40-17:10)(ビデオ・プレゼンテーション)

登大遊(筑波大学第三学群情報学類/ソフトイーサ社代表取締役会長)

## ●発表概要

(1) 自律連合型基盤システムとサステナブルシステム

講演者:加藤和彦(筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授)

概要:自律性を有しながら連合することができるシステムの研究を概説する。膨大性・多様性・開放性を有する計算環境を、仮想計算機の集合によってモデリングすることにより、各仮想計算機が自律性を有しながら、なおかつ、連合性を有した処理を行うことができる。この概念に基づいて開発したシステムとして、ハードウェアの障害のみならず、ソフトウェアやネットワークの障害にまで対処して、自律的に生き延びる性質を持ったサステナブルシステムの概要を紹介する。

(2)障害復旧のための連合型広域分散アーカイブ

講演者:阿部洋丈(科学技術振興機構 研究員)

概要:大規模なネットワーク障害が起こると、サーバ計算機自体が動作していても、サービスにアクセスできないクライアントが大量に発生する。本発表では、ネットワーク障害発生時における素早いサービス復旧のために、サーバの状態を複製して待機計算機に拡散させる広域分散アーカイブの実現について述べる。我々の方式は、スモールワールドモデルを参考にして設計されたオーバーレイネットワークを介して計算機同士が連合することで、省スペース性と耐故障性を両立している。

(3)仮想機械ストリーミングとその応用(英語講演)

原題:Virtual Machine Streaming and its Applications

講演者:Richard Potter(科学技術振興機構 研究員)

概要:Streaming Virtual Machines by using demand fetching and prefetching gives users the advantages of large standardized software distributions with greatly reduced download times, so these advantages become practical for new applications such ubiquitous computing, sustainable computing, and flexible Web-based active content.

(4) 効率的なサービス発見のための自律ランデブー型オーバーレイネットワーク(英語講演)

原題: An Autonomic Rendezvous Overlay Network for Efficient Service Discovery

講演者: Khaled Ragab (科学技術振興機構 研究員)

概要: An Autonomic Community Computing Infrastructure (ACCI) is proposed as an agile platform for simultaneously hosting multiple autonomic cooperative services. ACCI exploits the resources (e.g. processor, memory, storage, etc.) of the end-users. Moreover, it allows both smaller and medium retailers regardless they have no/ shortage of resources to outsource their web-services to highly available and skilled end-users nodes. Therefore, a Rendezvous Overlay Network (RVON) is required to publish the advertisements and to discover the services associated with these advertisements. The main goal of this talk is to discuss various autonomic construction schemes of RVON.

(5) 複数の計算機を有効に利用するための仮想マシン技術

講演者: 大山 恵弘 (電気通信大学情報工学科 助教授)

概要: 複数の計算機を連合させて効果的に利用するための 2 つの 仮想マシン技術について発表する. 第一に、ネットワークで結合された 複数の実計算機上に仮想的にマルチプロセッサ計算機を構築する仮想マ シンモニタ Virtual Multiprocessor について述べる. 第二に、多様な CPU・OS の計算機間で実行環境を高速に移動すること を可能にするシステム Quasar について述べる.

(6) 自律連合型基盤システムにおけるデータインターオペラビリティ

講演者: 北川博之 (筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授)

概要: データインターオペラビリティグループで進めている研究の概要 を報告する. 特に、セキュリティを考慮したデータ相互運用・情報統合 基盤技術, P2P 環境における XML 情報探索, 障害耐久性の 高い持続型情報源連合等に関する研究について述べる.

(7) 知識発見を用いた情報源連合

講演者: 石川佳治 (名古屋大学 情報連携基盤センター 教授)

概要: ウェブ上に分散して存在する多様な情報源を連合して有用な情報 を生み出すため、知識発見の技術を用いた情報源の発見および統合に関 する研究を進めている. 本発表では特に、大規模なテキスト情報源を統 合するための基盤技術である情報抽出に関する取り組みについて報告す る. データベースとの連携やデータクリーニング技術の併用などにより、効率と精度のよい手法の開発を目指している.

(8) 文字列解析によるサーバサイドプログラムの静的検査

講演者: 南出靖彦 (筑波大学大学院システム情報工学研究科 講師)

概要: サーバサイドプログラムによって動的に生成されるウェブページ の妥当性や安全性を静的に検査するために、プログラムの文字列 出力を文脈自由文法を用いて近似するプログ

ラム解析を提案する。この解析によって得られた文脈自由文法と安全性や妥当性を表す形式言語との包含関係を検査することで、それらの性質の静的検査が可能となる。このプログラム解析をスクリプト言語 PHP に対して実装し、実用的な PHP プログラムの検査が可能であることを示す。

#### (9) リアルタイム通信が可能な仮想インターネットシステムの実装

講演者: (筑波大学第三学群情報学類/ソフトイサー社代表取締役会長)

概要: インターネットのような多数のルータやネットワークが複雑に絡み合っている IP ネットワークを、数十～数百台程度のクラスターコンピュータ上に仮想的に構築する研究の中間成果として、仮想レイヤ2 ネットワークおよび仮想レイヤ3スイッチを自由自在にクラスター内に配置し巨大なネットワークポロジを作成可能なシステムの実装を解説する。インターネットシミュレータソフトウェア等と異なり、実際にリアルタイムで通信可能な論理的なネットワークを作り出し、物理的なコンピュータをもVPN経由で参加させることができるという特徴を持つ。

### CREST シンポジウム: 自律・連合・仮想化時代のインターネット基盤技術 開催案内

共催 独立行政法人 科学技術振興機構

国立大学法人 筑波大学大学院システム情報工学研究科

日時: 2008年9月8日(月) 10:30～17:20 (10:00 開場)

場所: 富士ソフト アキバプラザ セミナールーム 1 (JR 秋葉原駅近く)

会場 <http://www.fsi.co.jp/akibaplaza/cont/plaza/seminar.html>

アクセス <http://www.fsi.co.jp/akibaplaza/cont/info/access.html>

定員: 80名 (先着登録制, 下記 Web ページより登録願います)

参加費: 無料

Web ページ: <http://www.oss.cs.tsukuba.ac.jp/sustainable/>

#### ●開催趣旨

インターネットは自律性を有するネットワークの連合体として生まれ、今日まで成長してきました。自律性を有するものが連合するという、画期的と言っても良いこのパラダイムは、地球規模のネットワークワークを破綻なく今日の規模成長させる源となると共に、SNS のように人間同士の自律連合を喚起する技術や、Web 2.0 やクラウドコンピューティングといったネットワークサービスの新しい方向性を産み出しています。近年の仮想化技術の目覚ましい発展と相乗し、今後の IT システムは、ハードウェアとソフトウェアという「モノ」を作って組み合わせていく時代から、ネットワークサービスという仮想的な機能と、それらの組み合わせによってシステム構築を行っていく時代にシフトしつつあると考えられます。

当研究グループでは、今後のインターネット上のシステム構築の肝要は、仮想化技術を活用しながら、自律性と連合性を自在に制御できるサービス基盤技術の開発にあると考え、2003年度より5年間に渡って、OS、ネットワーク、データベース、プログラミング言語といった基盤ソフトウェア技術の各層において、自律性と連合性を支援する基盤技術の開発を行って参りまし



た. 研究推進に当たっては, ここで開発した技術が単に学術研究の一つとして留まるのではなく, 今後の IT システムの基盤技術として実社会に寄与することを目指して研究開発を進めて参りました. 本シンポジウムでは, 私共が開発してきた基盤技術の成果を紹介すると共に, 今後の発展の可能性について議論したいと思います.

#### ●プログラム

10:30-10:40 開会挨拶

10:40-11:20 自律・連合・仮想化の時代へ向けて:プロジェクト概要

加藤和彦(筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授)

11:20-12:00 広域サステナブル・ネットワーキング

中尾彰宏(東京大学情報学環 准教授)

13:00-13:40 サステナブルなストリーム情報統合基盤

北川博之(筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授)

13:40-14:20 クラウドコンピューティング基盤:Sustainable Framework 2.0

杉本章義(科学技術振興機構 研究員)

14:20-15:00 仮想インターネット実験システムとサステナブルなストリーム中継システム

登 大遊(ソフトイーサ(株)会長/筑波大学大学院システム情報工学研究科)

15:20-16:00 インターネットブート技術 "OS Circular"

須崎有康(産業技術総合研究所 主任研究員)

16:00-16:40 広域分散アプリケーションのためのシミュレーションシステム

大山恵弘(電気通信大学電気通信学部情報工学科 准教授)

16:40-17:20 文字列解析による Web プログラムの検証

南出靖彦(筑波大学大学院システム情報工学研究科 准教授)

#### ●発表概要

題目:自律・連合・仮想化の時代へ向けて:プロジェクト概要

講演者:加藤和彦(筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授)

概要:インターネット環境上で, 自律性と連合性を自在に制御するための IT 基盤技術開発の概要を解りやすく説明する. 仮想化技術を活用して, 自律性と連合性を制御するための方法論, オペレーティングシステム, ネットワーク, データベース, プログラミング言語といった基盤ソフトウェア技術の各層において, 得られた研究成果を概説する. また, ネットワークそのものの障害も含めて, インターネット上で起こり得るさまざまな障害を自律的に克服しながら持続的サービスの提供を目指すサステナブルサービスシステムの概要を説明する.

題目:広域サステナブル・ネットワーキング

講演者:中尾彰宏(東京大学情報学環 准教授)

概要:自律性を有しながら広域で連合する分散ネットワークシステムを支える基盤技術の研究を概説する. インターネットは元来自律性を有しているが, 分散ネットワークシステムによっては

十分な耐障害性を有しているとは言えない場合がある。本講演では、主に広域ネットワークにおける分散ネットワークシステムの耐障害性を向上するための基盤技術の研究開発について報告を行う。

題目:サステナブルなストリーム情報統合基盤

講演者:北川博之(筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授)

概要:自律性を有するシステム群の連合処理を実現するためには、システム間のデータの相互運用が必須である。我々は、オープン環境におけるデータベース、Web サイト、さらに各種センサーストリームなどの多様な情報源の連合を対象に、シームレスなデータ相互運用を実現するための情報統合基盤技術の研究を行ってきた。本講演では、これまで研究開発を行ったサステナブルなストリーム情報統合基盤システムの概要、各種応用、分散ストリーム処理等について紹介する。概要:自律性を有するシステム群の連合処理を実現するためには、システム間のデータの相互運用が必須である。我々は、オープン環境におけるデータベース、Web サイト、さらに各種センサーストリームなどの多様な情報源の連合を対象に、シームレスなデータ相互運用を実現するための情報統合基盤技術の研究を行ってきた。本講演では、これまで研究開発を行ったサステナブルなストリーム情報統合基盤システムの概要、各種応用、分散ストリーム処理等について紹介する。

題目:クラウドコンピューティング基盤:Sustainable Framework 2.0

講演者:杉木章義(科学技術振興機構 研究員)

概要:データセンターの多拠点化やマッシュアップなどのサービス環境の変化に対応するため、広域分散環境を想定して作成された次世代型のサービス基盤が必要である。本発表では、異なる管理ドメインのホストを有機的に連合し、仮想化技術に基づいてサービス環境を構築する Sustainable Framework 2.0 について述べる。その応用例として Peer-to-Peer 型のサービス協調複製技術とクラウドコンピューティングに向けたアプローチについて示す。

題目:仮想インターネット実験システムとサステナブルなストリーム中継システム

講演者:登 大遊(ソフトイーサ(株)会長/筑波大学大学院システム情報工学研究科)

概要:仮想インターネットシステムは、1〜複数台のコンピュータ上に多数の仮想ルータや仮想スイッチを配置し、複雑な IP ネットワークを構築して実験可能である。サステナブルなストリーム中継システムは、インターネットを経由して、ファイアウォールや NAT の内側にある任意のコンピュータ同士でソケット通信をすることができるシステムで、データセンター上に設置した、冗長化されたゲートウェイシステムをすべての通信が経由する。これらの技術について解説とデモンストレーションを行う。

題目:インターネットブート技術 "OS Circular"

講演者:須崎有康(産業技術総合研究所 主任研究員)

概要: OS Circular はインターネット上で公開されているディスクイメージから OS を起動するフレームワーク技術である。通常のシンクライアントと異なり、ディスクイメージのキャッシュを行なうことでネットワークが切れても OS を利用し続けることを可能とする。この起動技術とサステナブルネットワークと組み合わせることで高効率／高信頼性を確保できるようになる。

題目: 広域分散アプリケーションのためのシミュレーションシステム

講演者: 大山恵弘(電気通信大学電気通信学部情報工学科 准教授)

概要: 大規模な広域分散アプリケーションを、1 台から数十台の計算機上で手軽にシミュレーション実行するためのシステムを説明する。本システムにより、P2P アプリケーション等の分散アプリケーションを、修正を加えることなく、仮想的なインターネット環境上で動かすことができる。実験では、20 台の計算機の上に 6000 台の仮想的な計算機を構築し、実際の分散アプリケーションのシミュレーションを問題なく行えたことを確認した。

題目: 文字列解析による Web プログラムの検証

講演者: 南出靖彦(筑波大学大学院システム情報工学研究科 准教授)

概要: プログラム解析を用いて Web プログラムを検証する技術として、プログラムが出力しうる文字列を文脈自由文法を用いて近似するプログラム解析(文字列解析)を開発した。このプログラム解析をサーバサイドプログラムに適用することで、サーバサイドプログラムの妥当性や安全性を検証できる。本発表では、スクリプト言語 PHP に対する文字列解析の実装について解説し、妥当性や安全性の検証に関する実験結果について説明する。

## § 8 結び

### (1) 研究の目標等から見た達成度、得られた成果の意義等の自己評価

我々が取り組んだ研究内容は、インターネットを自律システムの連合体とみなしてモデリングを行い、OS およびミドルウェア、ネットワーク、データインターオペラビリティ、プログラミング言語検証の 4 分野に渡って総合的な研究を行うというアプローチである。このようなモデリングとアプローチは斬新であり、5 年経った今でも、研究テーマ設定は陳腐化していない。その証左の一つは、最近になってよく聞かれるようになった SaaS (Software as a Service)、そして、昨年秋より急に巷で言われるようになったクラウドコンピューティングというキーワードである。我々が本研究の計画当初から目指していたのは、インターネット上の分散サービス基盤であり、それは SaaS、クラウドコンピューティングという言葉で、産業界と接続していると考えられる。最近、多くの招待講演を依頼されるようになったが(最近の加藤分だけで下記 6 件)、5 年の研究期間を経てやっと、少なくとも国内においては、学会と産業界の双方で認知されるようになってきたと実感している。

[1] 加藤和彦, 日本セキュリティ・マネジメント学会 第 22 回大会パネル「サステナブル社会

構築には何が必要か」(2008/6/22, 工学院大学 新宿キャンパス)

[2] 加藤和彦, 情報処理学会&電子情報通信学会 FIT2008 公開パネル討論:情報処理で社会を守る (2008/9/3, 慶應義塾大学 湘南藤沢キャンパス)

[3] 加藤和彦, 「サステナブルシステム:自律・連合・仮想化の時代へ向けて」, ビジネスグリッド推進コンソーシアムセミナー:ビジネスグリッドからクラウドコンピューティングへ (2008/10/27, 富士通 本社)

[4] 加藤和彦, 自律・連合・仮想化の時代へ向けて(仮題), 第20回情報処理学会コンピュータシステムシンポジウム, (2008/11/13, キャンパス・イノベーションセンター東京)

[5] 加藤和彦, 仮想化ソフトウェア技術の動向(仮題), 日本ソフトウェア科学会 ディペンダブルシステム研究会 第五回システム検証の科学技術シンポジウム(2008/11/19, 筑波大学 大学会館国際会議室)

[6] Kazuhiko Kato, “Green IT, its trends and problems”, ISO/IEC JTC1 Technology Watch Workshop, Invited Talk (2008/11/11, 奈良県新公会堂)

#### 論文の質と量の観点

§6 で記載したように, 十分な質と量の論文を発表することができたと自負している. 中でも, WWW 2005 [1], FOSSACS 2007[2]はトップクラスの国際会議である. また, 本研究の主要成果の一つであるサステナブルシステムに関する論文は, 世界の Service Availability の専門家が集まる国際会議でフルペーパーとして採録された[3]. また論文[4, 5]は論文賞を受賞した.

[1] Yasuhiko Minamide. “Static Approximation of Dynamically Generated Web Pages” Proceedings of the 14th International World Wide Web Conference, pp. 432-441, Chiba, Japan, May 10-14, 2005.

[2] Akihiko Tozawa and Yasuhiko Minamide, “Complexity Results on Balanced Context-Free Languages”, Proceedings of the Tenth International Conference on Foundations of Software Science and Computation Structures, LNCS 4423, pp. 346-360, 2007.

[3] Akiyoshi Sugiki, Kei Yamatozaki, Richard Potter, Kazuhiko Kato, “A Platform for Cooperative Server Backups based on Virtual Machines”, 5th International Service Availability Symposium, 2008, Springer LNCS 5017, pp. 129-141, 2008.

[4] 阿部 洋丈, 大山 恵弘, 岡 瑞起, 加藤 和彦, “静的解析に基づく侵入検知システムの最適化”, 情報処理学会論文誌:コンピューティングシステム, Vol. 45, No. SIG 3 (ACS 5), pp. 11-20, 2004年5月. (平成16年度情報処理学会論文賞)

[5] 石川佳治, 町田陽二, 北川博之, “マルコフ連鎖モデルに基づく移動ヒストグラムの動的構築法”, 電子情報通信学会論文誌”, Vol. J90-D, No. 2, pp. 311-324, 2007年. (平成19年度論文賞)

## 実的なソフトウェアの開発

本研究プロジェクトでは、学術的な研究と並行して、実的なソフトウェア作りを行った。ソフトウェア[1], [2], [3]は既にオープンソースとして公開している。

[1] Richard Potter, Scrapbook User-Mode Linux.

<http://sbuml.sourceforge.net/>

[2] 金田 憲二, 並列仮想機械モニタ.

<http://web.yl.is.s.u-tokyo.ac.jp/~kaneda/vmp/>

[3] 榮楽 英樹, 軽量仮想機械モニタ.

<http://lilyvm.sourceforge.net/>

[4] 南出 靖彦, PHP String Analyzer

<http://www.score.is.tsukuba.ac.jp/~minamide/phpsa/>

さらに本年中に、下記のソフトウェアのオープンソース公開を予定している。

[5] 池嶋 俊 他, サステナブルシステムフレームワーク 1.0.

[6] 杉木 章義 他, サステナブルシステムフレームワーク 2.0.

[7] 渡辺 陽介 他, StreamSpinner.

[8] 登 大遊, 仮想インターネットシステム.

これらのソフトウェアはいずれも、非常に高いレベルの知識とスキルを必要とし、本研究プロジェクトにおける技術開発、および、ソフトウェア作者の特殊な開発力量なしには実現し得ない類のソフトウェアである。

また、登氏らによるサステナブルなストリーム中継システムは、当初、筑波大学内のサイトにサーバーを設置し、2007年1月に学外一般にサービス公開を行った。その際に71,741人のユーザが利用した。2007年9月からは、ソフトイーサ社が日本SGI株式会社、メディアエクスチェンジ株式会社の協力を得て商用サービス展開を行っている。2008年5月からは、NECビッグロブ株式会社、ソフトバンクBB株式会社もこのサービス提供に参加している。

## 受賞

本研究に関連して、論文賞2件を含む15件の受賞があり、少なくとも国内の研究コミュニティにおいては高く評価されていると考えられる。

## **(2) 今後の研究の展開**

SaaS やクラウドコンピューティングという流れは、分散システムの研究開発に20年以上携わってきた研究者の目から見れば、分散システムの自然な進化の過程であって、特別な変化ではない。残念なことに我が国の産業界は、SaaS やクラウドコンピューティングについて、米

国由来の技術のフォローに懸命であるが、本研究開発を実用レベルにまで持っていき、我が国独自の SaaS, クラウドコンピューティング基盤として育てていくことを考えており、産業界や他の研究者らと実際的な計画交渉を進めているところである。

また最近では、サステナブルシステム概念が、省エネルギー、省資源の分散システムの構築に使えるとの着想を得ており、グリーン IT と呼ばれる研究分野においても研究の展開を行いつつある。

### **(3) 研究代表者としてのプロジェクト運営について(チーム全体の研究遂行、研究費の使い方、若手研究者の育成等)**

チーム内のグループ間の意見交換を頻繁に行うように努力し、自律連合およびサステナブルシステムという概念、仮想計算機技術の活用等の概念は、全グループを通じてよく理解されたと思う。研究費の多くを、若手研究員の雇用に充てたが、彼らは多くの論文発表、ソフトウェア開発を行ってくれ、また学生との共同研究も積極的に行ってくれた。それらが、多くの論文発表、ソフトウェア開発、受賞となって実を結んだ。

### **(4) その他戦略的創造研究推進事業に対する意見**

研究代表者を中心とする研究グループを組織し、5年間という比較的長い研究期間において、研究を有機的・総合的に行うことを可能にする戦略的創造研究推進事業は、素晴らしい研究支援事業であると確信している。日本の研究スタイルで、欧米に対して弱い点は、研究グループをうまく作り、推進する習慣が十分とは言えない点である。私も、グループメンバーも、領域総括とアドバイザーの先生方の厳しい叱咤激励を糧としつつ、グループによる研究というものを試行錯誤しながら、その進め方を身につけていった。半年に1回以上の頻度で行われたヒアリング、シンポジウム、サイトビジットのために、息つく暇もないほどの5年間であったが、振り返ってみれば、極めて充実した研究生生活を送ることが出来た。多忙な時間を割いて、私達の研究の進行に対して多くの的確なコメントを下された領域総括とアドバイザーの先生方に心から感謝を申し上げたい。また、領域事務所の暖かなサポートも有り難く、感謝申し上げます。