

## 高信頼性組込みソフトウェア構築技術

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 片山卓也

研究分担者 早稲田大学理工学部 コンピュータネットワーク工学科 中島達夫

研究分担者 京都大学 湯浅太一

研究分担者 国立情報学研究所 中島震

協力企業 トヨタ自動車, NEC, 松下電器産業, Nokia, オムロン, オムロンソフトウェア

### 1. プロジェクトの背景

組込みソフトウェアは、家電製品、自動車、携帯端末、制御機器などのあらゆる工業製品の心臓部に組み込まれ我々の生活を支えており、その機能や品質はこれら製品や機器の価値を決める最も重要な要素である。特に、ソフトウェアの不具合による経済損失などが報告される現在、高信頼性は組込みソフトウェアに対する最も重要かつ緊急な要求である。

従来、組込みソフトウェアはそのサイズが余り大きくなかったこと、また、比較的単純な機能の実現を行えば良かった事などもあって、その開発には最新のソフトウェアテクノロジーが用いられてこなかった。しかしながら、現在では、高度なユーザインタフェースや通信機能など製品に要求される機能が高度化すると同時に、利用可能なCPUやメモリなどのハードウェア資源に対する制約が緩和したことなどによって、組み込まれるソフトウェアが大規模化・複雑化し、これまでのソフトウェア開発方法論が十分に機能しなくなりつつある。最新のソフトウェア開発技術を組込みソフトウェアの開発に投入し、組込みソフトウェア開発を前進させることが強く求められている。

本プロジェクトでは、このような観点から高信頼組込みソフトウェア構築の問題を、(1) 構築環境、(2) 実行環境、(3) 実行基盤の3つの視点から総合的に解決することを目的とし、企業との密接な連携のもと、プロジェクト終了時に産業界への技術移転を目標に、以下の課題に関する研究開発を行っている。

- (1) 組込み用オブジェクト指向分析設計技術  
(北陸先端科学技術大学院大学)
- (2) 組込みシステム向け基盤ソフトウェア  
(早稲田大学)
- (3) 組込み用実時間Java技術  
(京都大学)

### 2. 組込み用オブジェクト指向分析設計技術

ソフトウェア開発上の問題の多くが分析・設計などの上流工程で作りこまれ、それが全体の生産性や品質に支配的な影響を及ぼしていることはよく知られている。(1)では、組込みソフトウェアの特性を適切に扱うことが可能で、上流工程

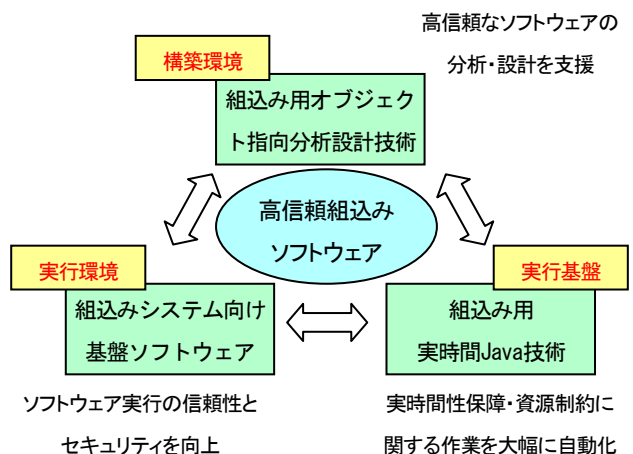
段階から正しさを確認・検証しながら組込みソフトウェアを構築できる方法論とそれを支える環境の実現に関する研究開発を行っている。具体的には、UMLによる記述、モデル検査や定理証明技術による検証、製品系列やアスペクト概念による設計などを可能にする環境の実現を目標としている。

### 3. 組込みシステム向け基盤ソフトウェア

携帯電話やデジタルテレビ、あるいはこれから登場する先進情報アプライアンスにより様々な新しいサービスが提供されることが予想される。これらの次世代の情報端末や情報アプライアンスには、高度な通信や協調動作、セキュリティ、センシングなど多くの機能が要求されるが、(2)では、これらを実現する高信頼コンポーネントやミドルウェア、それらを動作させるオペレーティングシステムなどの基盤ソフトウェアの研究開発を行っている。

### 4. 組込み用実時間Java技術

組込みソフトウェアでは、一定の限られた時間内にレスポンスを返すこと、また、限られたメモリで動作することなど、動作時間や利用可能資源などに厳しい制約がついているのが普通である。従来はプログラマが細心の注意を払って、職人芸の技術によってこの問題を解決しており、開発コストおよび品質の両面で大きな問題となっていた。(3)では、これらの作業を最大限に自動化し、信頼性の高い組込みソフトウェアの生産性を高めるための研究開発を行っている。



# 組込み用オブジェクト指向設計技術

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 岸知二, 青木利晃, 片山卓也

国立情報学研究所 中島震

協力企業 トヨタ自動車, NEC

<http://kt-www.jaist.ac.jp/project/esociety/index.htm>

## 1. ねらい

本プロジェクトでは、組込みソフトウェアの信頼性の向上に関し、分析・設計といった開発の上流工程に焦点をあてて取り組んでいる。ソフトウェアの問題の多くが上流工程において作りこまれることはよく知られており、本プロジェクトでは高信頼性ソフトウェア開発のための分析・設計の手法や環境を研究している。

研究にあたっては、ソフトウェア開発に関する最新の工学的、科学的成果を、実際の組込みソフトウェア開発に適用することを試みている。たとえば、主としてワークステーションやパソコン上のソフトウェア開発を対象として研究や適用がなされているオブジェクト指向開発やアスペクト指向開発、製品系列開発に適用されるプロダクトライン開発といった工学的成果を、組込みソフトウェアの開発に応用する。また従来宇宙・航空・軍事といった分野でのみ利用されてきた、高度だが高コストで利用の難しかった形式的手法やシミュレーションなどの科学的成果を、家電製品のような民需分野での組込みソフトウェア開発に適用可能にしようと研究を進めている。

## 2. アプローチ

こうしたねらいを達成するためには、実際の組込みソフトウェア開発上の問題や要素技術の特性を把握し、問題解決に必要な技術が実際のソフトウェア開発に適用可能となるように、適用手法や環境を整備しなければならない。そのためにわれわれは、以下の研究領域を設定して、トップダウン・ボトムアップ双方から信頼性の問題に取り組んでいる。

- 事例研究：具体的な事例に基づく問題の明確化、ソフトウェアや開発の特性の特定と把握。
- 開発手法：現実の開発の中で技術が有効に活用されるスキームの検討。製品系列開発への適用など。
- モデリング技法：設計検証に必要なモデルや、その間の関係の管理技術と手法。
- 確認・検証：解決すべき問題に適した確認・検証技術と適用方法の検討。
- ツール・環境：開発手法、モデリング、確認・検証に必要な支援ツール・環境の整備。

## 3. 科学的手法と工学的手法の組込み開発への適用

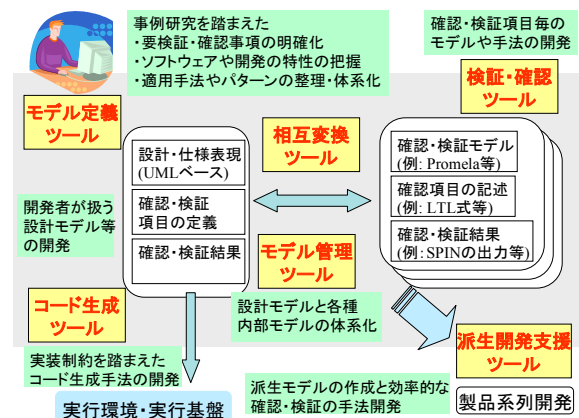
ソフトウェアの正しさは、通常人手でのレビューとテストによって確認するが、それには大変な手間がかかり、また不完全である。形式的手法を適用すると、より厳密で機械的な確認が可能になると期待されている。たとえばモデル検査とよばれる技術を用いると、システムが取りうる様々な状態を網羅的に探索し、システムの性質を厳密に確認することができる。

しかしながら、こうした科学的手法の適用は、通常のソフトウェア開発とは異なったスキルや作業が必要となり、高コストである。現実の組込みソフトウェア開発に適用するためには、実際のソフトウェア開発のあり方を踏まえ、ソフトウェア工学の成果を取り入れながら、運用可能な手法や環境を実現する必要がある。

一例として、形式的手法を用いて検証する際には、検証したい項目に応じて必要な情報を設計から取り出し、不要部分を捨て去る作業が必要になる。この作業にアスペクト指向技術を活用することで、設計者にとって理解しやすい形で形式的手法を適用できると考えている。またプロダクトライン開発に適用する事で、高コストな検証モデルを、複数の開発に流用することが期待される。

## 4. ツール化と適用・評価

本プロジェクトではこうした高度な分析・設計作業を実際に行いやすくするための手法、ツール、それを統合した環境を開発する。図は現在検討している環境の将来イメージ例である。開発された手法・ツール・環境はソフトウェア開発に適用して評価し、順次リファインを進めていきたい。



# 組込みシステム向け基盤ソフトウェア

早稲田大学理工学部 コンピュータネットワーク工学科 中島達夫

協力企業 松下電器産業, Nokia

<http://www.dcl.info.waseda.ac.jp/>

## 1. 次世代組込み環境と情報アプライアンス

携帯電話や車載端末, デジタルテレビなどの組込み機器は, 現在大きな転換点を迎えている. 従来の組込みシステムでは, ソフトウェアはハードウェアのおまけのようなものであったが, 現在では立場が逆転しつつあり, ソフトウェアが組込み機器の付加価値を提供する重要な地位を占めるようになってきている. それとともに, 組込みシステム向けのソフトウェアの規模は巨大化し, ソフトウェアの信頼性やセキュリティを向上するための新しい方法論が必要とされている.

また, ユビキタス時代の到来により, 様々な日用品にコンピュータを組み込んだ情報アプライアンスが多数出現するものと思われる. 情報アプライアンスは単体で機能するのではなく, それらを組み合わせることにより多様な新しいサービスを作り出す可能性を秘めている.

しかし, 情報アプライアンスのソフトウェアは巨大なものとなり, ソフトウェアのバグによりシステム自体の信頼性を保証することが困難である. また, 情報アプライアンスはインターネットに接続されるため, 様々なセキュリティに関する脅威からシステムを守る必要がある. 組込みシステムは従来のエンタープライズシステムと異なり, コンピュータの専門家以外の人でも容易に扱える必要があるため, 従来の手法と異なる新しい技術の開発が必要となる.

現在, モデルベースの開発手法や形式的手法など, 様々なソフトウェアの開発手法を用いてバグがないソフトウェアの構築が検討されているが, 次世代の組込みシステムでは多くの既存のソフトウェアを利用する必要がある. また, 高信頼なアプリケーション開発を容易にするためには, 開発ツールだけではなく, アプリケーションドメインに特化した抽象化を提供するミドルウェアが必要不可欠である.

## 2. 本プロジェクトの概要

我々のプロジェクトでは, 前節の問題を解決するために 2 つのシステムの開発をおこなう. 1 番目のシステムは組込みシステム向けのオペレーティングシステムである. 2 番目のシステムは携帯端末向けのミドルウェアである. 以下では, これら 2 つのシステムの概要に関して紹介する.

我々が開発するオペレーティングシステムは, ハードウェア

抽象化レイヤとオペレーティングシステムレイヤの 2 つのレイヤから構成される. ハードウェア抽象化レイヤはメモリ管理機能などのハードウェアに特有の機能を抽象化する. オペレーティングシステムレイヤはハードウェア抽象化レイヤ上に構築される. また, ハードウェア抽象化レイヤは複数のオペレーティングシステムの稼働を可能とする. これにより, 信頼性やセキュリティを大幅に強化する可能性を提供する.

本プロジェクトでは, アプリケーションの様々な要求に応じてオペレーティングシステム自体を最適化することを可能とするため, ライブラリベースのオペレーティングシステムを構築する. ライブラリ OS はコンポーネントフレームワークを用いて構造化されるため, アプリケーションが必要とするコンポーネントのみを利用することで使用するリソースを大幅に減少させることが可能となる. また, コンポーネントをアプリケーションに応じて変更することにより, アプリケーションに適したアルゴリズムを用いたリソースの管理が可能となる.

次に, 我々が開発する携帯機器向けミドルウェア (パーソナルホームサーバ) は, ユーザの近くにある様々な情報アプライアンスを制御することを可能とする. パーソナルホームサーバはユーザの近くにある情報アプライアンスに関する情報を収集する. パーソナルホームサーバはそれらの情報を利用して, 近くにある情報アプライアンスを制御するためのユーザインタフェースを自動的に生成する. 生成されたユーザインタフェースは近くにあるディスプレイ上に表示され, ユーザはそのユーザインタフェースを介して情報アプライアンスを制御することが可能となる. また, パーソナルホームサーバは写真や音楽ファイルなどの様々な個人用の情報を管理している. それらの情報を統合することにより, 複数ユーザの情報共有を利用した様々なアプリケーションを容易に開発することを可能とする. 以上の理由から, パーソナルホームサーバは携帯端末を利用した様々な新しいサービスの提供を格段に容易にする.

我々が開発する 2 つの基盤ソフトウェアを利用することにより, 高信頼な携帯端末向けサービスを容易に構築することが可能となる.

# 組込みシステム用実時間 Java 技術

京都大学 湯浅太一

協力企業 オムロン, オムロンソフトウェア

<http://www.yuasa.kuis.kyoto-u.ac.jp/>

## 1. 目的と目標

本プロジェクトは、オブジェクト指向言語 Java によって記述される組込み実時間アプリケーションの開発を効率化するための諸技術を開発するものであり、次の三つのサブテーマから成る。

- ・実行基盤の開発 (平成 15 年度～16 年度)
- ・実証実験 (平成 17 年度)
- ・要求仕様検証技術との統合 (平成 18 年度～19 年度)

### 1.1. 実行基盤の開発

実時間組込みソフト固有の開発コストを軽減するための、自動化機能を備えた Java 処理系実装方式を開発し、試験的実装を行う。これによって、従来はプログラマの職人芸に頼っていた手作業の開発から脱却し、開発コストと開発期間の大幅な削減を目指す。

### 1.2. 実証実験

上記実行基盤を使用することによって、開発効率がどの程度向上するかを、実用レベルの組込みシステムの開発を対象として実証実験を行う。この実証実験の結果に基づいて、「真の実時間組込み」Java 処理系を構築する。

### 1.3. 要求仕様検証技術との統合

他のプロジェクトで開発される要求仕様検証のための基本的技術を、具体的には上記自動化機能を備えた処理系に適用し、要求仕様検証技術を確立する。これによって、仕様記述および検証労力の大幅な削減を目指すとともに、検証技術の実用化、安心して使える組込みソフトの実現を目指す。

## 2. 実行基盤の重要課題

Java による組込み実時間アプリケーション開発においては、「ごみ集め」による停止時間とメモリ制約の2点が、特に重要な研究課題である。

### 2.1. ごみ集めによる停止時間

Java はオブジェクト指向言語であり、アプリケーションの実行中に、データを動的に生成する。実行が進むと、メモリ領域が満杯となるために、不要なデータを回収して再利用する「ごみ集め」の処理が必要となる。通常の Java 処理系の場合は、アプリケーションを一時的に中断し、ごみ集め処理を行う。しかしこの方法では、中断時間の予測が難しくアプリケーションの実時間性を保証できない。また、メモリ管理の方

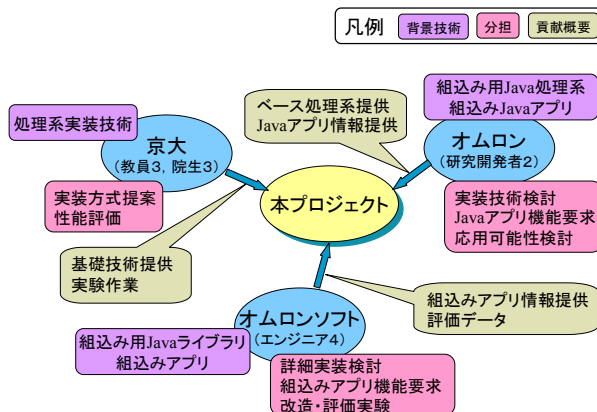
法によっては、データの生成時にも実時間性が問題となることがある。この問題に対応するために、拡張した「実時間対応」機能を備えた処理系を利用することがある。たとえば、ごみ集めの対象とならないメモリ領域を利用して一括廃棄するといった機能である。しかし、このようなプログラミングは、基本的に手作業で行われ、バグの原因となる可能性が高いうえに、作業工数が増加するという問題があった。これらを解決するために、本プロジェクトでは、「実時間対応」機能を使わないでも実時間性が保証できる実装技術を開発する。

### 2.2. メモリ制約

組込みシステムの搭載メモリ量は増加する傾向にあるが、通常の計算機のような仮想記憶は期待できない。限られたメモリ容量内で効率よくアプリケーションを実行する必要がある。メモリを有効利用するために、コード（クラス情報やメソッド本体など）やデータ表現を縮小する努力は必要であるが、これらの方法によるメモリ使用量の改善には限界がある。本プロジェクトでは、メモリを上手に「やりくり」することによって、与えられたメモリを有効利用する技術を開発する。従来は、この点でもプログラマの勘と試行錯誤に頼っていたのが実情であるが、アプリケーションに応じたメモリのやりくりを自動化することによって、職人芸に頼らない開発を可能にし、開発コスト削減と安定した組込みソフトの提供が期待できる。

## 3. 実施体制

本プロジェクトは、オムロン(株)およびオムロンソフトウェア(株)と共同で実施する。その概要を次の図に示す。



# 次世代高性能コンピュータシステム上の 高信頼ソフトウェアシステムの開発支援技術

東京大学 大学院情報理工学専攻 コンピュータ科学専攻 石川 裕  
<http://www.il.is.s.u-tokyo.ac.jp/esociety/>

## 1. 次世代高性能コンピュータシステム

ブレードサーバに代表される、複数のプロセッサや I/O 機器が動的に接続/拡張可能なハードウェアを有する次世代高性能アーキテクチャが出現した。近い将来、これら機器は 10Gbps の性能を有する高速 LAN で接続されるようになる(図 1)。このようなアーキテクチャは従来のサーバコンピュータにとって変わることが可能となる。しかし、当該アーキテクチャ上で高信頼性を実現するためのシステムソフトウェアが未整備であり、現状、当該アーキテクチャの利用形態は限られたものとなっている。次世代高性能コンピュータシステム上で高信頼性を実現するためには、プロセッサ間通信機構、オペレーティングシステム、運用ツール等、多岐に渡りシステムソフトウェアを開発しなければならない。このようなソフトウェア開発のための支援技術および基盤ソフトウェアモジュールが求められている。

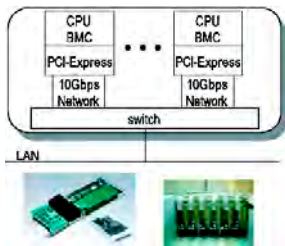


図 1 次世代高性能コンピュータシステム

本研究では、次世代高性能コンピュータシステム上で信頼性を実現するシステムソフトウェアを高信頼かつ効率的に開発することを可能とするため、計算機ハードウェアやネットワークの障害等を模擬するためのソフトウェア環境を構築する。保守・運用ツールなどの基盤ソフトウェア開発に必要な基本通信機構として、保守・監視系のための通信機構、OS 核間で使用する高速通信機構の開発を行う。これにより、従来、高信頼ソフトウェアの動作検証に有していた時間を 1/10 以下に短縮することを可能とする。

## 2. 管理保守ソフトウェア&故障模擬ソフトウェアシステム

近年の PC サーバでは、IPMI と呼ばれる規格に基づいたハードウェア障害をモニタリングするプロセッサ(BMC)がボード上に搭載されている。IPMI 機能を利用することにより、ハードウェア障害状況に応じた耐故障機能を組み込んだ高信頼システムソフトウェアが実現可能となる。このような高信頼システムソフトウェアが設計通りに実現されているかをテストするために、ハードウェアの故障模擬ソフトウェアシステ

ムを開発している。

IPMI 規格に基づくハードウェア障害情報を集約するソフトウェアモジュールの設計およびプロトタイプを開発し、高信頼システムを支援する保守監視系ツールのプロトタイプを開発している(図 2)。本ツール開発において、ハードウェア障害を検知した時の対処を記述できる新しいスクリプト言語および GUI を設計開発している。

## 3. 高速通信機構&故障模擬・開発支援システム

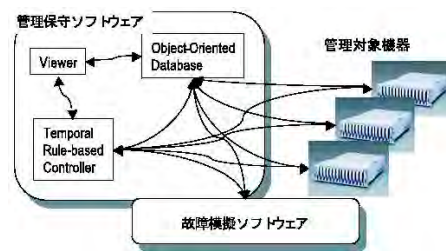


図 2 管理保守ソフトウェアおよび故障模擬システム

10Gbps 級 LAN では、1.5Kbyte 長パケット(Ethernet のパケット長は 1.5Kbyte)が 1.2 マイクロ秒で到着することになる。ネットワークプロトコル処理を従来のように 1.2 マイクロ秒毎にホストプロセッサで処理すると、その処理のオーバーヘッドが高くなり、物理ネットワーク性能を生かすことができなくなる。このため、ネットワークカード側でプロトコル処理を行なうとともに、リモートメモリ間通信機能を実現している。

通信機器の故障に対応可能な高信頼ネットワークプロトコル処理ソフトウェアを実現するためには、通信機器の故障によるパケット喪失、CRC エラーなどを模擬し、通信ソフトウェアが頑強に、かつ性能を極端に劣化することなく故障に対処することを確認する必要がある。このような開発支援システムは、ソフトウェアだけでは実現できないため、パケット喪失、CRC エラーなどを生成可能とするハードウェアを開発する(図 3)と共に、そのハードウェアを使用した支援ツールを開発している。



図 3 開発した通信機器故障模擬ハードウェア

# プログラム自動解析に基づく高信頼ソフトウェアシステムの構築技術

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 大堀 淳

研究分担者 東京大学 米澤明憲

研究分担者 東京工業大学 渡部卓雄

協力企業 沖電気工業, 日立製作所, 算譜工房

<http://www.jaist.ac.jp/~ohori/e-society/>

## 1. 高信頼言語技術の必要性

今実現しつつある高度情報化社会は、社会の制御機構の中核が、多様で膨大なソフトウェア群によって担われる社会である。このような社会が、従来通りの信頼性と安全性を確保しながら発展していくためには、社会基盤としての高信頼ソフトウェアシステムを効率よく構築する技術を確立する必要がある。特に、以下の2点の実現が緊急に求められている。

- ・ 高信頼ソフトウェアを効率よく生産する開発環境
  - ・ ウイルス等の攻撃に耐える高安全ソフトウェア開発環境
- これらの機能の実現には、従来のソフトウェア開発手法を越えた新たな技術革新を必要とする。その最も有望な基盤技術が、型理論に基づくプログラムの自動解析技術である。

## 2. 本課題の具体的な目標と実施体制

本課題の目的は、プログラムの自動解析技術を用いて、上記2点の課題の実現に寄与する新しいプログラミング言語および関連する基盤ソフトウェアを開発することである。具体的には、上記2点の課題それぞれに対応し、以下の実現を目指す。

### (1) 高信頼言語および高信頼プログラム開発環境

コンパイルされたコードの型安全性が保証され、Javaなどの既存言語と組み合わせて使用可能な高信頼言語 SML# (仮称) および、SML#のサポートを含む高信頼プログラム開発環境を構築する。この項目は北陸先端大が担当する。プログラム開発の一部は、沖電気工業(株)および算譜工房(有)と、プログラム開発環境の方式の構築は東京工業大学と共同で実施する。

### (2) 安全なシステム記述言語および高信頼 OS

メモリ漏洩などの安全性上の問題を解決する高安全C言語および高安全 C++ 言語を開発する。さらに、高安全・高信頼な OS の構築のための型付きアセンブリ言語を開発し、それを用いて、高安全・高信頼な OS の核を開発する。この項目は東京大学が担当する。プログラム開発の一部は、日立製作所との共同で実施する。

## 3. 高信頼言語および高信頼プログラム開発環境

本項目の第一の目標である SML# 言語は、Standard ML を包摂し、さらに以下の特徴を備えた次世代言語である。

- ・ オブジェクトなどを表現の基礎とする多相型レコード演算
- ・ ランク 1 多相性に基づく柔軟性の高い多相型システム
- ・ Java および C との相互運用性

これらの機能はいずれも、我々が独自に構築した基礎理論を

基に実現する、世界的にみても新規性の高いものである。平成 15 年度は、基礎理論を実現する実装技術の詳細の構築とプロトタイプの実装に取りかかり、

- ・ パーサ
- ・ レコード多相, ランク 1 多相を含む型推論アルゴリズム
- ・ パターンマッチングコンパイラ
- ・ 多相型レコード演算コンパイラ

を含むコンパイラのフロントエンド, およびごみ集めモジュールを含むバイトコード処理系のプロトタイプを開発した。

第2の課題である高信頼プログラム開発環境に関しては、SML プログラムのドキュメント自動生成ツールと清書プログラムの自動生成ツールの開発に加え、ソフトウェア生産現場で役に立つ多言語開発環境の実現を目指し、必要なツール機能や仕様の決定のための調査を目的として、実際に行われた Web アプリケーションの大規模システム開発事例を分析し、高信頼化のための部品間の整合性解析に関する基礎データを取得した。

## 4. 安全なシステム記述言語および高信頼 OS

第二の目標は、型システムを利用してメモリの操作の安全性を保証するというアプローチに基づいた、ANSI 規格に準拠した C 言語および C++ 言語のコンパイラを実装することにある (また、低レベルの言語に型システムを導入し、高信頼な OS を実現するための研究開発を行う予定である)。我々の研究成果による型システムに基づくアルゴリズムを用いて、C 言語プログラムを機械語コードにコンパイルする段階で、安全性を検査するコードを自動的に挿入する。

本年度は、以下のような機能や構成をもつ C 言語のコンパイラの比較的大きなプロトタイプを実装した。

- ・ パーサ (構文解析器) — 型情報を伝播・保存
- ・ SSA (Static Single Assignment) 言語への変換器
- ・ 型情報・制御情報の解析器
- ・ 安全性を保証するコードの挿入
- ・ GCC コードへの変換器 (多段)

この実装の段階で、コンパイラの大きさは OCaml 言語で 30,000 行程度あり、SPEC CPU 2000 ベンチマーク中の約 1,800 行の最適化問題のプログラムのコンパイルが可能である。さらに、重要な結果として、メールサーバ sendmail 中のモジュールのある部分を攻撃してサーバを乗っ取る**実在の C プログラム**に対し、そのモジュールを我々のコンパイラでコンパイルすると乗っ取り防止ができることをデモンストレーションした。

# データ収集に基づくソフトウェア開発支援システム

奈良先端科学技術大学院大学 鳥居宏次

研究分担者 大阪大学 井上克郎

協力企業 日立公共システムエンジニアリング, 日立システムアンドサービス,  
NTT ソフトウェア, SRA 先端技術研究所

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

## 1. はじめに

ソフトウェアの高度化, 大規模化とこれに伴う開発コストの増大に伴い, ソフトウェア開発において, 生産性の向上と信頼性の確保が重要な課題となっている. これに対し, 様々な技法, システム, ツール等を用いたアプローチが試みられてきたが, 十分な評価も行われないうまま, その多くは消え去り, 未だ経験的なノウハウやその場しのぎ的な手法・ツールに依存しているというのが現状である.

本プロジェクトでは, ソフトウェア開発の分野において, 他の科学, 工学分野と同様に, 計測, 定量化と評価, そしてフィードバックによる改善という実証的手法(エンピリカルアプローチ)の実践を目指す. プロジェクトの目標は次のとおり.

- ・エンピリカル環境の構築
- ・エンピリカル環境の配布・実プロジェクトへの適用
- ・エンピリカルデータやその分析による知見の蓄積
- ・適用先組織の生産性, 品質の向上

## 2. エンピリカル環境

本プロジェクトで実現を目指すエンピリカル環境では, 次の3つのフェーズを繰り返すことで, ソフトウェアの生産性と品質の向上を目指す(左図).

- (1) 収集: 日々の開発作業をリアルタイムに記録する. 作業内容については構成管理履歴(CVS)に, 発生した問題等については障害履歴(GNATS)に, 電子メールでのやり取りはメール履歴(mailman)に, プロジェクト別に記録する. なお, このデータ収集における開発作業者の負担はごく

わずかである.

- (2) 分析: 得られたプロジェクトのデータをもとに, メトリクス計測, プロジェクト分類, 協調フィルタリング, コードクローン検出, ソフトウェア部品検索などの各種の最新ツールを活用して, 段階的に分析環境の実現を図る.
- (3) 改善: 分析結果や結果から導き出される改善案を実際のプロジェクトにフィードバックし, ソフトウェア開発の生産性・信頼性の向上の実現につなげていく.

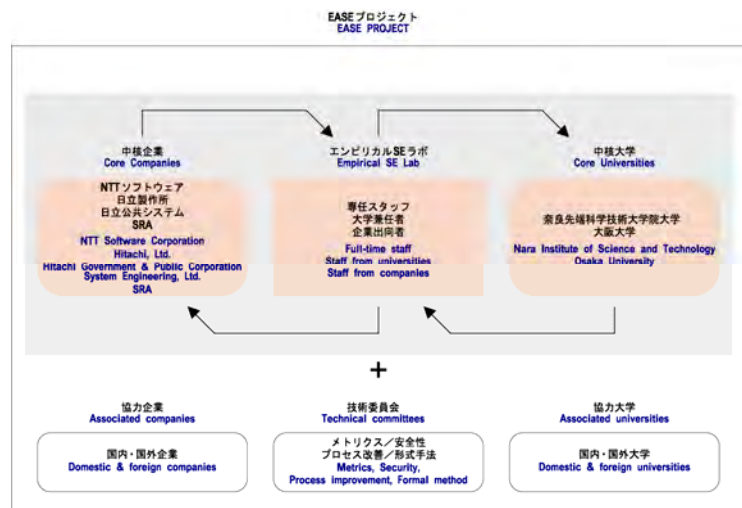
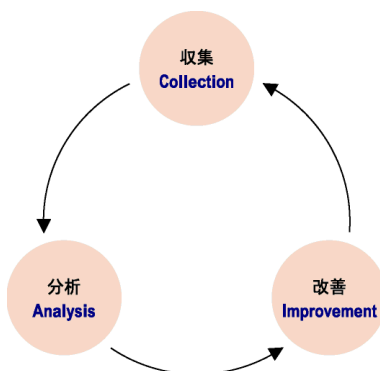
## 3. エンピリカル環境導入のメリット

エンピリカル環境の導入により, 生産性の向上や品質の確保につながる次のようなメリットを, ソフトウェア開発の現場等にもたらす.

- ・既存の開発環境と連携して, 手軽にプロジェクトをモニタできる.
- ・プロジェクトの知識・経験の蓄積が容易に行える.
- ・全社的に統一的なデータをリアルタイムで揃えられるようになる.
- ・エンピリカルデータの統合により情報の共有や再利用が自動的に行えるようになる.

## 4. 実施体制

産学官連携体制のもと, 企業等からのデータと大学の持つ知見, 分析ノウハウ等を基にして, ベストプラクティスの実現・実証を行うとともに, ソフトウェア開発の生産性・信頼性向上につながるフィードバックを企業等に行っていく(右図).



## 高信頼構造化文書変換技術

東京大学 情報理工学系研究科 武市正人

協力企業 ジャストシステム

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

### 1. 高信頼構造化文書変換技術の概要

電子的な構造化文書情報の蓄積と効果的な情報利用技術は、インターネットを含む広範な情報の交換・流通にとってきわめて重要な位置を占めている。XML に代表されるこれらの技術は、発展の著しい Web による情報環境に向けて既存の技術の延長線上で実務的に開発されたものであり、事実上の標準となつてはいるがその言語的な概念が十分には整理されていない。このような体系的な処理技術の欠如が今後の情報交換の発展を阻害し、既存技術による個別的対処や人手による個別対応では、一般性を欠く文書情報を蓄積することとなつており、この問題を解決することが重要な課題となっている。

このような構造化文書構造はプログラミング言語のデータ構造と類似しており、関数型言語によるアルゴリズム記述が文書処理に適している。そこで、プログラムを手続的に扱うソフトウェアによって文書の信頼性を高め、情報流通を高度化することが可能となる。Programmable Structured Document (PSD) は、プログラムの記述を含む文書を対象として、構造化文書処理を効果的に実現しようとするものである。すなわち、構造化文書をプログラミングにおける構造化データであるとみなし、プログラミング言語に関する理論を適用することによって、安全かつ信頼性の高い処理を実現する。また、処理を行うコードは対象文書に埋め込まれており、これによって文書の高い可搬性を実現している。

### 2. PSD の技術課題

PSD 実現のために必要となる基盤技術としては、(i) 構造化文書に必要な準構造データの概念を型として捉える形式的枠組みの定義および、データ型に基づく効率的変換手法、(ii) PSD のための計算機構を組み込んだ構造化文書の実現手法、(iii) 関数型言語におけるデータ型の理論を発展させ、準構造データに適した型の理論を構築 —これは、代数的プログラム変換（演算）の成果を構造化文書に適用し、自己参照による文字変換や変換戦略を文書自体に付随させるという演算随伴機構に関する理論を含む— から構成される。

以上の基盤技術に立脚した PSD を実際に操作するための「PSD 処理システム」は、(i) ワープロ等、オフィス系ソフトウェア開発技術をもとに、構造化文書の編集から発信にいたる処理の技術開発を行なうとともに、PSD 手法を適用して製品開発に適用することを可能とする、(ii) 構造化文書を変換するためのプログラムの自動生成を可能とする、等の優れた

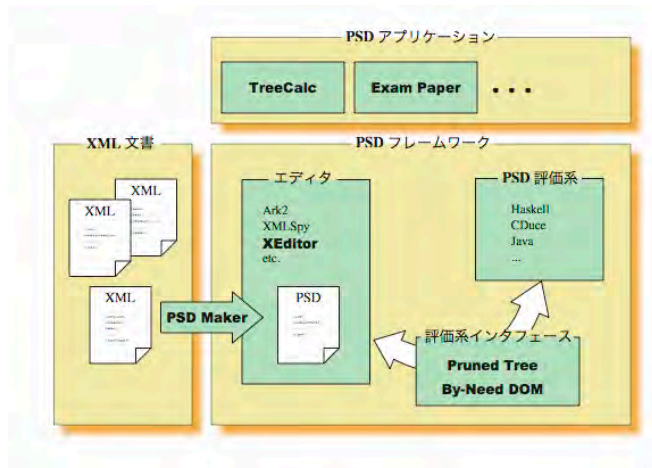
特徴を持ち、Web 環境のための基本ソフトウェアとして位置付けることができる。

### 3. PSD の成果物

本プロジェクトでは、構造化文書に対する PSD 構造化手法と変換（演算）規則の体系化を行い、ソフトウェアの信頼性確保の基礎となる参照用文書（言語仕様・設計仕様）を作成する。

その成果物として、「一般の文書作成者が利用できる高信頼性の PSD 汎用ソフトウェアパッケージ。構造化文書の定義機能を備え、PSD を容易に作成できるソフトウェア」および「PSD 構造化文書を対象とした各種アプリケーションを開発するためのプログラミングシステム」が挙げられる。このシステムによって、自動的に効率のよいアプリケーションが生成できる。これは、主として、アプリケーションソフトウェアの開発者向けのものとなる。

これらの成果物により、再利用が可能で、あらたな価値を付与できるような文書を作成することが可能となる。このような再利用可能な文書は、作成時から文書を構造化しておく必要がある。そこで「統合的構造化文書処理システム」では、これを単独に、また、これまでのワープロ等のソフトウェアと連携して利用する。本システムは付加価値の高い文書、コンテンツの作成、発信のツールとして、個人、オフィスでの利用が期待できる。特にオフィス系ソフトウェアにおける XML 関連ソフトウェアの比率は大きくなってきており、「構造化文書変換プログラム生成システム」の利用は、このようなプログラムの開発の効率を高めることになる。





## 高信頼 WebWare 生成技術

名古屋大学 情報科学研究科 阿草 清滋

研究分担者 和歌山大学 デザイン情報学科 鯨坂 恒夫

研究分担者 愛知県立大学 情報科学部 山本 晋一郎

協力企業 富士通研究所, 富士通プライムソフトテクノロジー, 野村総合研究所

<http://www.agusa.i.is.nagoya-u.ac.jp/research/webware/index.xhtml>

### 1. はじめに

WebWareはHTMLなどのコンテンツ記述やXSLTなどのレンダリング技術、サーバサイドプログラム、クライアントサイドプログラムなどから構成される、大規模でヘテロジニアスな分散ソフトウェアである。近年、WebWareを基幹業務にも使用する動きがあるため、WebWareの信頼性を確保することは社会的課題である。

本研究の目標は、WebWareの信頼性と安全性を保証しつつ、エンジニアが行なうWebWare作成作業と、デザイナーとエンジニアの協調作業の両方を支援することが可能な、統合的WebWare開発環境を構築することである。

### 2. WebWare のテスト支援環境

平成15年度は、WebWare開発支援の中心となる解析器とリポジトリを作成し、これらを利用するWebWareのテスト技術の基礎としてページ遷移モデルを定義した。また、WebWareのテスト手法として構造カバレッジに基づくテスト手法を提案した。

ページ遷移モデルでは、WebWareをそのページとアクションおよびそれらの間の遷移に着目してグラフとしてモデル化する。WebWareを自動的に解析しページ遷移を抽出することによって、デッドリンクやデッドページ、到達ルート、最短経路、未使用フォワードを検出することが可能となる。

構造カバレッジに基づくテストでは、動的に生成されるページを、ページ生成の際に基本となるHTMLコード断片から構成される文書とみなし、この文書の制御構造に基づいて生成されるページを有限個のページに分類する。これらの分類されたページから遷移先を調べることで、動的なページから動的なページへの遷移を有限個の遷移系列として抽出することが可能となった。

この遷移系列に基づきページに着目してカバレッジを定義することにより、ページ中のスタイルやフォーマットなどの

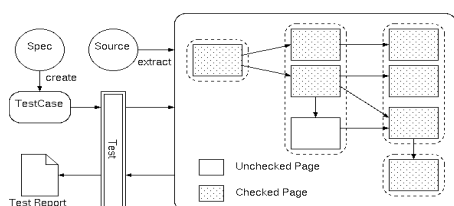


図1 ページカバレッジテスト

プレゼンテーションを変化させるプレゼンテーションロジックに対するテストにおいて、条件分岐の網羅性を測定することが可能となった(図1)。同様に、遷移に着目してカバレッジを定義することで、ページ間の遷移に対するテストにおいてページ遷移の網羅性を測定することが可能となった。

### 3. ユーザ視点の独立性を高める

#### WebWare 作成支援

WebWareにおいてデザイナーは、アプリケーションの実行に必要なエンドユーザ情報の一覧を基に、それらの情報を適切に配置することが求められる。この配置を記述するためのスタイル記述を対象とし、モジュール化する事により、デザイナーのための構造化文書作成支援を実現する。このモジュール管理のためにはスタイル記述要素の解析が必要不可欠である。スタイル記述要素の一つであるJavaScriptの解析手法を提案する。

具体的な構造化文書の管理事例を調査した結果、データ主導、機能主導の文書構造が存在し、相互の構造変換を用いた操作体系が有効であることを確認した。また、WebWare内部で実行される情報処理の分類を行った結果、三つのフェーズに分割し、各フェーズで独立した処理ロジックの誘導が可能になることを確認した。このフェーズ間の橋渡しは、情報の構造変換によって実現することで、情報変更の波及解析ができることを確認した。このフェーズ分割に基づいたWebWareのためのフレームワークを図2に示す。

### 4. おわりに

今年度は、三つの成果(1)WebWareのテスト技術の基礎となるページ遷移モデルの策定、(2)構造カバレッジに基づくテスト手法の提案、(3)フェーズ分割に基づいたWebWareのためのフレームワーク、を得た。

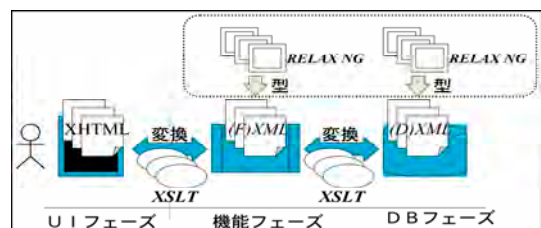


図2 スタイル変換技術に基づくWebWareフレームワーク

# インターネット上の知識集約を可能にするプラットフォーム構築技術

早稲田大学 理工学部 村岡洋一

協力企業 富士通, アクセラテクノロジー, NTT 未来ねっと研究所

<http://www.yama.info.waseda.ac.jp/~yamana/e-society/>

## 1. 目的

インターネット上の WWW サーバから発信される情報量は膨大であり、2004年4月時点で、テキストデータだけでも92.5億ページと推測される。現在の全世界の人口が約64億人であることから、一人当たり換算すると平均1.4ページのデータを発信していることになる。また、2002年～2003年の増加傾向をみると、Web ページは今後も1年間におよそ10億ページずつ増加を続けると予想される。このような膨大な Web 上には、人間が一生かかっても学ぶことのできない情報、知識、ノウハウが凝縮されていると言っても過言ではない。

これまで、これらの情報の検索には、いわゆる検索エンジンが用いられてきた。しかし、検索エンジンがカバーする情報量は全世界の Web ページの50%未満であり、また、検索の結果得られる情報も必ずしも最新の情報ではない。さらに、ユーザは、特定のキーワードに対応した検索結果のみを利用するだけである。このように、検索エンジンは、Web の限られた利用法を提供しているに過ぎない。

これに対して本プロジェクトでは、全世界の Web ページを網羅的に、かつ、最新の情報を収集・解析することにより、これまで実現不可能とされていた新しいビジネス - 各種のトレンド解析、ある商品や企業の評判解析、誹謗中傷監視など - を創造することを目指している。たとえば、現在、テレビの視聴率はサンプリングにより算出を行っているが、テレビで放映された内容が最近流行の Blog (ブログ) でどのくらい話題になっているかの方が視聴率より重要ではないだろうか。

## 2. 研究課題

本プロジェクトでは、最終的に119億の Web ページを対象に、(1) 平均して1ヶ月以内に新しいデータに更新することを可能とする WWW クローラーを開発すると共に、(2) 利用者の検索目的に応じて必要となる情報を抽出する知識フィルタリング技術の開発を目指している。

初年度である2003年度は、国内3箇所に WWW クローラーを設置し、10億 URL の Web ページ収集を行い、得られたデータのリンク情報の解析を行った。プロジェクト開始3年後の2005年度までには、120億の Web ページの収集および解析を実現させる予定である。

### 2.1. 新鮮度平均1ヶ月以内のデータ収集

Web ページの平均容量を15KBと仮定すると、120億の Web

ページは180TB (未圧縮時) に相当する。仮にバックボーンの帯域として3拠点合計で常に50Mbps を利用できたとしても、収集に約1年が必要となる。つまり、すべての Web ページを順番に更新した場合、次の更新は1年後になる。

これに対して、本プロジェクトでは、Web ページの新鮮度を1ヶ月以内にすることを目標としている。新鮮度とは、インターネット上で実際に公開されている Web ページの内容が、収集済の Web ページの内容から更新された時点からの経過日数である。

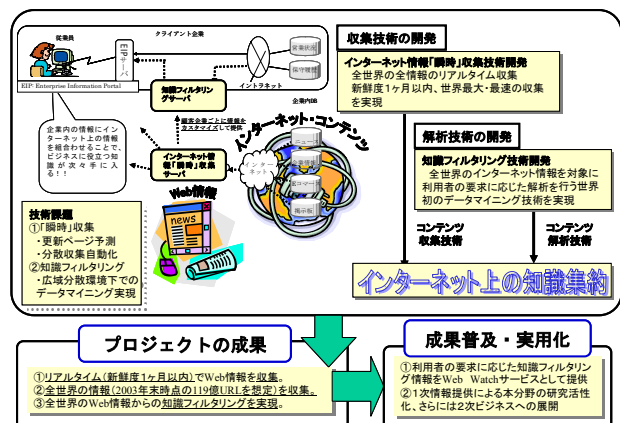
### 2.2. 120億のデータを対象としたデータマイニング

本プロジェクトが対象とする解析データの規模は、おおよそ180TBになる。このため、これらの膨大なデータを一か所に集めて解析することは事実上不可能であり、知識フィルタリングを複数拠点で分散処理する技術の開発を行う。具体的には、標準的な通信ライブラリである MPI(Message Passing Interface)の Grid 環境への対応や耐故障機能の搭載などを行い、従来のデータマイニング手法をクラスタ上で高速化する技術をベースに、拠点間でのデータ通信によるオーバーヘッドを小さくするためにデータ構造を圧縮させることにより、Grid 環境下でも適用できる仕組みの開発を行う。

また、知識フィルタリングの対象として、評判や誹謗中傷情報の抽出、トレンド分析などを行い、「○○○Watch システム」の提供を目指している。

## 3. 実施体制

本プロジェクトは、プロジェクトリーダー村岡洋一 (早大・理工)、サブリーダー山名早人 (早大・理工) のもと、富士通株式会社、アクセラテクノロジー株式会社、NTT 未来ねっと研究所、国立情報学研究所と共同で実施している。



## 先進的なストレージ技術

東京大学 生産技術研究所 戦略情報融合国際研究センター 喜連川 優  
 協力企業 日立製作所, NTT プラットフォーム研究所  
<http://www.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp/project/e-society/>

### 1. はじめに

情報通信技術の革新が進む中で、IT システムの一層の高信頼化、高性能化が求められている。とりわけ 9.11 テロ以降、災害時にもデータを失うことなく業務を継続させることができるディザスタリカバリ技術が注目を集めている。また、爆発的に増加し続けるデータを高速に検索するためには、ストレージの高性能化が必須である。本研究では、ストレージをサーバ上のアプリケーションと融合させる次世代ストレージ技術 (Storage Fusion) の確立を目指す。戦略的競争力を実現すべく、上記の課題の解決に焦点を絞って研究を進めている。

平成 15 年度は、広域災害時にもデータを保証する独自の高度ディザスタリカバリ機構、各種知識を利用することにより大幅に I/O 性能を向上させる新しいストレージ超高速アクセス機構を開発した。

### 2. 高度ディザスタリカバリ機構

広域災害時にもデータ欠損なしを保障するために、同期リモートコピーと非同期リモートコピーを組み合わせたハイブリッド転送方式を開発した (図 1)。広域災害に対応するため、データを非同期転送でコピーし、正サイトのオンライン性能を確保する。ログは同期転送するため、災害時に送信されていないデータが存在してもログによるデータベース回復が可能である。正サイトのオンライン性能に関して、回線シミュレータを利用したシミュレーション環境での実験を実施した。

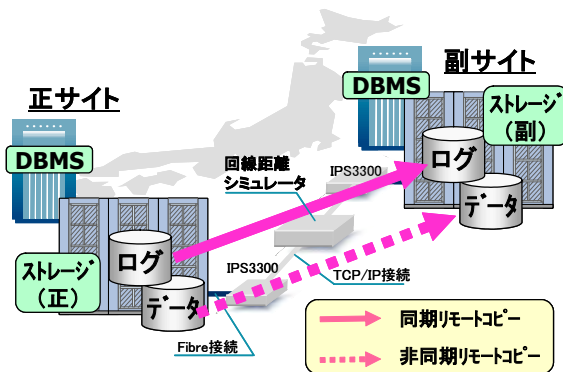


図 1 ハイブリッド転送方式概要及び実験環境

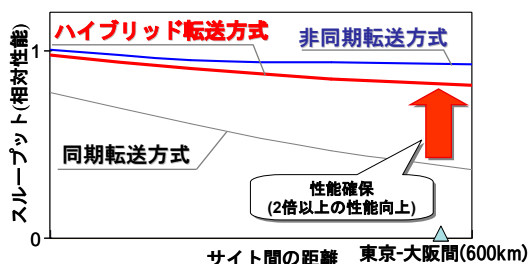


図 2 正サイトのオンライン性能のシミュレーション結果

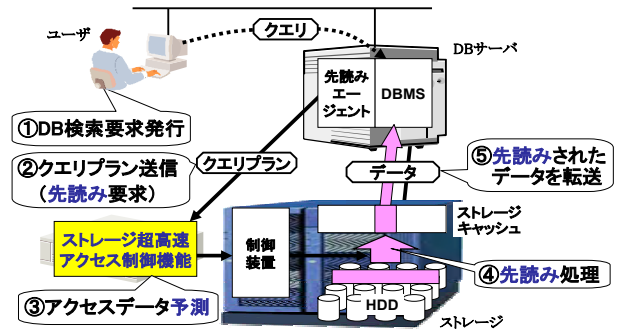


図 3 クエリプラン利用先読み技術の基本概念

その結果、東京-大阪間の距離で想定される転送遅延時間に対して同期転送方式の 2 倍以上の性能を確保することが確認できた (図 2)。

### 3. ストレージ超高速アクセス機構

ストレージ超高速アクセス機構として、クエリプラン利用先読み技術の基本検討を実施した。本技術は、DBMS が作成する処理の内部実行計画であるクエリプランを基にこれからアクセスされるデータを予測・先読みすることにより、従来では得られない高い I/O 性能を得るものである (図 3)。基本検討によりシステム構成を明確化し、先読み方法を考案した。また、考案した先読み方法による先読み効果を検証する予備評価実験を実施した。図 4 に示す如く、TPC-H Q19 ベンチマークを用い本技術による大幅な処理性能の向上が確認できた。

### 4. まとめ

ストレージとデータベースアプリケーションを融合することにより高信頼かつ高性能なデータ格納プラットフォームを実現する技術を開発した。高度ディザスタリカバリ機構においては、広域災害対応とデータ保護という 2 つの課題を同時に解決するハイブリッド転送技術を開発した。次年度以降、ハイブリッド方式の実用化を進めると共に、回線コストを削減可能なディザスタリカバリ方式の検討を進める。ストレージ超高速アクセス機構においては、本年度の成果により、I/O 性能を向上させ大幅な処理性能向上を達成するクエリプラン利用先読み技術の実現に目処が立った。来年度以降、プロトタイプシステムを構築し、本技術の詳細な評価を実施する計画である。

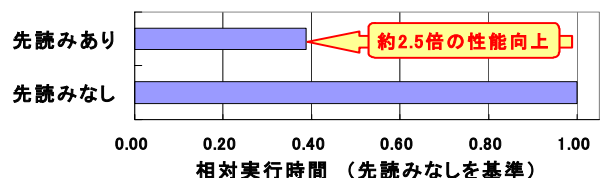


図 4 先読み方法の予備評価結果 (TPC-H Q19 Benchmark)

## 先進的な Web 解析技術

東京大学 生産技術研究所 戦略情報融合国際研究センター 喜連川 優

協力企業 三菱電機

<http://www.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp/project/e-society/>

### 1. はじめに

Web 上では企業や省庁、個人による情報発信が刻々と行われており、それらはハイパーリンクの複雑な網の目を形成し、互いに強く影響を与え合っている。Web の大域的な構造を把握し、その変化を追跡することは、実社会に起こる事象の背景や予兆を探る上で極めて有効と考えられるが、現状の検索エンジンによる近視眼的な検索方法ではその目的を達することはできない。

本プロジェクトでは、日本国内 Web 情報の過去から現在に到る履歴を蓄積する Web アーカイブを構築し、リンク解析およびテキスト解析（自然言語処理）を核とした分析技術により、Web の空間構造および時系列変化の分析を可能にする新たなツールの実現を目的とする。

### 2. Web アーカイブ基盤の構築

Web アーカイブ基盤は、日本国内 Web のスナップショットを随時大容量ストレージに蓄積し縦横なアクセスを可能としたものであり、Web 時空間解析のプラットフォームを提供する。平成 15 年度はアプリケーションインタフェースの検討に重点を置き、基本機能を持つプロトタイプの開発を行った。

Web ページコンテンツと文字コード名などのメタデータは独自に構築したライブラリにより管理する。各コンテンツは URL と時刻に基づいてアクセスできるほか、検索エンジンと同様の全文検索機能も実現した。これにより、過去の時点での Web 空間のブラウズや検索が可能となった。

また、スナップショット内における Web ページ間のリンク関係を効率的に格納したリンクデータベースを作成し、バックリンクの検索や次に述べる Web コミュニティ抽出に利用した。

### 3. Web 空間解析

互いに関連する Web ページは直接あるいはリンク集など

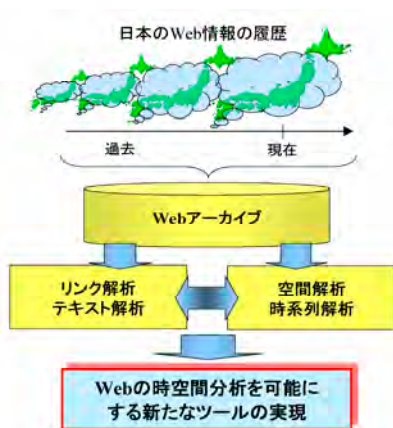


を介して間接的にリンクされる傾向にあり、この特徴を利用して Web 空間からリンクが稠密な部分を抽出すると Web コミュニティと呼ばれる関連ページの集合が得られる。さらにコミュニティを Web のスナップショットから網羅的に抽出し、それらを互いの関連度に従って配置することにより、コミュニティを単位とした Web 空間の俯瞰図（コミュニティチャート）を作成した。コミュニティチャートは十数万の要素を含むため、大規模高精細ディスプレイウォールを用い、対話的に表示範囲を調整可能な閲覧システムを開発した(上図)。

また、自然言語処理技術により判定した Web ページのテキスト類似度をリンク関係と併用する方式の予備評価を行い、コミュニティの抽出精度向上や新規コミュニティの発見を目指した方式検討を進めている。

### 4. まとめ

Web 時空間分析の実現に向け、Web アーカイブ基盤と Web 空間分析に重点を置いたプロトタイプ開発を行った。日本国内 Web のスナップショットに対して空間構造の分析が可能になった。今後は複数スナップショットの統合的な管理や Web コミュニティの時系列変化の解析・可視化、およびテキスト解析技術との融合による高品質なコミュニティ抽出に取り組むと共に、分析の有効性を評価する実証システムを検討する予定である。



# ユーザ負担のない話者・環境適応性を実現する自然な音声対話処理技術

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 鹿野清宏

協力企業 松下電器, 旭化成, 日立製作所, 松下電工, ASTEM, オムロン

<http://isw3.aist-nara.ac.jp/IS/Shikano-lab/home.html>

## 1. プロジェクトの目標

携帯電話, 携帯端末 (PDA), PCの入出力, カーナビ, 家電制御, 秘書ロボットなどを, 誰でも容易に利用できることが望まれる。これらを実現するには, 人と機械との自然な対話として, 音声認識・合成技術が有望である。本格的に利用されるためには, 頑健かつ高精度の音声認識基盤ソフトウェアを開発して, かつ廉価に利用できるようにすることが不可欠である。この音声認識・合成技術の基盤ソフトウェアの普及により, 誰もが気軽に, 情報機器の利用ができるようになり, デジタルディバイドの社会問題の軽減, IT市場の活性化につながる。

このプロジェクトでは, 大語彙連続音声認識プログラム, 話者環境適応プログラム, ハンズフリー音声認識プログラム, ハンズフリー音声収録チップ, 大語彙連続音声認識プログラムのマイコン上への実装を行う。また, 音声合成では, 多様な音声合成プログラムを作成する。これらのプログラムは, 単に開発するだけでなく, 実環境での応用システムでの実証試験による評価も行って改善をはかる。さらに, 音声認識技術の利用法のノウハウも蓄え, 音声対話システムの普及に貢献する。

## 2. プロジェクトの概要

音声認識を本格的な商用化につなげるには, 頑健な音声認識システムとして, 以下の技術を研究開発することが有効である。(i) **利用環境およびユーザに対する負担をかけない適応技術**, (ii) **マイクを意識しない自然なハンズフリー音声認識技術**, (iii) **高精度連続音声認識プログラム**および音声認識システム研究開発ワークベンチが必要となる。これらのソフトウェアを研究開発し, 廉価に誰もが利用できるプログラム, あるいはDSP/マイコンとして提供する。さらに, 開発したソフトウェアを用いて, (iv) **人と機械の音声対話の実証実験**を行い, プログラム, システムの評価を行うとともに, 利用に関するノウハウを蓄積する。音声合成では, (v) **多様な声質**を実現できることが重要であり, 高精度音声分析合成系 STRAIGHT を用いた声質変換プログラムを開発する。

本プロジェクトの研究開発の概要を図1に示す。さらに, 研究開発項目ごとの中間目標, 最終目標を表1にまとめる。

## 3. H15年度の進捗

研究項目ごとに H15 年度の進捗をまとめておく。

- ・教師なし話者適応プログラム: 雑音に頑健な音声認識アルゴリズムと HMM 十分統計量に基づく教師なしアルゴリズム

が雑音環境下でも動作することを確かめた。PDA 環境, 家庭内環境の評価データを収集して, アルゴリズムの評価を行った。

- ・大語彙連続音声認識ソフトウェア: 音声認識プログラム Julius の機能強化を行った。子供から大人までカバーする音韻モデル, 幅広いタスクをカバーする言語モデルを作成した。

- ・マイクロフォンアレイによるハンズフリー音声認識: 遅延和アレイの他に, 空間サブトラクションアレイを提案した。マイクロフォンアレイを用いて, 実環境音声データを収録して, データベース化を行った。

- ・音声認識のフィールドテスト: 音声情報案内システムを設置して, 音声データの収録を行うとともに, システムの改良を行った。車内情報案内システムを構築して, ユーザインタフェースの評価方法について検討した。

- ・多様な音声合成プログラム: 高精度音声分析合成 STRAIGHT に基づく音声モーフィングアルゴリズムを検討した。声優による感情付音声データベースを収集して, データベース化した。

表 1 研究開発の目標の概要

研究開発項目	中間目標	最終目標
ユーザ負担の少ない話者・環境適応	教師なしオンライン話者適応	ハンズフリー環境・話者適応プログラム
大語彙連続音声認識ソフトウェア	丁寧な話し言葉認識, マイコンに実装	話し言葉認識ソフトの完成と普及
ハンズフリー音声認識	ハンズフリー音声収録プログラム	ハンズフリー音声収録 DSP
実環境の音声対話システムの構築	各種実環境音声対話システムの構築	実環境音声対話システムの運用と評価
多様な声質の音声合成ソフトウェア	多様な音声変換プログラム	多様な音声変換プログラムの普及

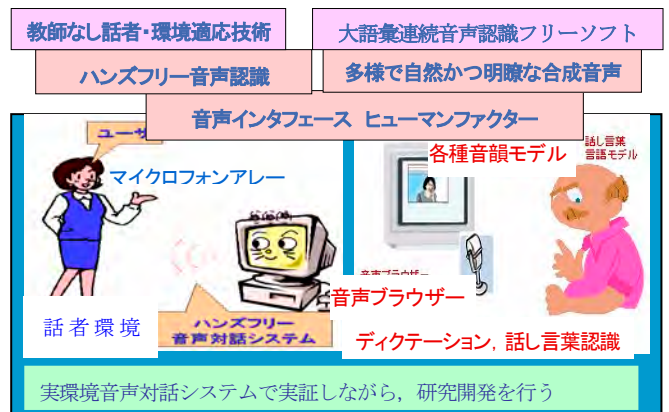


図 1 人にやさしい自然な音声インターフェース

## 教師なし話者・環境適応技術

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 鹿野清宏  
<http://isw3.aist-nara.ac.jp/IS/Shikano-lab/home.html>

### 1. ねらい

人と機械との自然な対話を実現するためには、高精度な音声認識技術が必須である。さらに本格的な商用化につなげるには、頑健な音声認識システムとして、利用環境およびユーザへの適応技術が必要で、かつ、ユーザに負担をかけない適応技術が望まれる。このような環境と話者への適応を実現するために、教師なし話者・環境適応技術に関して研究開発を行う。

### 2. 研究の概要

雑音環境下で、任意の1文発声に基づくユーザに負担をかけない教師なし話者適応アルゴリズムの研究開発を進める。具体的には、雑音に頑健な音声認識アルゴリズムとHMM(隠れマルコフモデル)十分統計量に基づく教師なし話者適応アルゴリズムの研究開発を行う。最終的には、従来の教師あり適応アルゴリズムの10文発声の性能を上まわり、かつ、オンラインで動作する話者・環境適応プログラムを完成させる。

### 3. H15年度の進捗

平成15年度における研究進捗を以下に示す。

- (i) 生駒市北コミュニティセンターに常設した音声情報案内システム「たけまるくん」(図1参照)により、実利用環境での10万発話音声データを収集し、音声データベースを構築した。特に、従来データが少なかった子供の音声データが収集できた。
- (ii) 雑音環境下での教師なし話者適応アルゴリズムの性能評価をPDAおよび家庭内環境を想定して行い、提案手法が良好に動作することが確かめられた。
- (iii) 教師なし話者適応アルゴリズムの高速化について研究を行った。話者選択の高速化とプログラムの高速化により、数秒以内で適応できる目処が立った。
- (iv) 複数のHMM音韻モデルを高精度に合成するアルゴリズムの研究と性能評価を行い、高い認識性能が得られることが確認できた。



図1 音声情報案内システム「たけまるくん」

## ハンズフリー音声認識

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 猿渡洋  
<http://isw3.aist-nara.ac.jp/IS/Shikano-lab/home.html>

### 1. ねらい

ユーザに負担をかけない自然な音声入力系として、ハンズフリー音声認識システムを構築する。特に、マイクロフォンアレイによる音声収録技術に着目し、音声認識性能の向上を目指す。また、コンパクトかつ廉価なマイクロフォンアレイアルゴリズムの開発を行う。

### 2. 研究の概要

ユーザからの距離1m以下で高性能に動作するハンズフリー音声認識システムを、8チャンネル以下のマイクロフォンアレイを用いて開発する。認識性能は、1m離れた音声入力、従来の接話マイクとほぼ同等の認識性能を目指す。さらに、マイクロフォンアレイのコストを20分の1以下にするため、ハンズフリー音声収録チップを開発する。

### 3. H15年度の進捗

平成15年度における研究進捗を以下に示す。

- (i) 異なる形状のマイクロフォンアレイによる実音声・実雑音データベースの収録を行い、ハンズフリー音声認識システム用音声データベースを構築した(図2に直線状マイクロフォンアレイの例を示す)。
- (ii) 従来の遅延和型およびGriffith-Jim 適応型マイクロフォンアレイ信号処理アルゴリズムの音声認識性能評価を行い、残響が含まれている通常の室内環境ではそれら性能が著しく劣化することを確認した。
- (iii) Griffith-Jim 型適応アレイの改良型の空間スペクトル減算アレイSSA(Spatial Subtraction Array)を考案し、予備実験によりアルゴリズムが良好に動作することを確認した。ここでは、通常の室内残響下においても、SSAは従来の遅延和アレイやGriffith-Jim 型適応アレイよりも優れた雑音抑圧性能を示した。

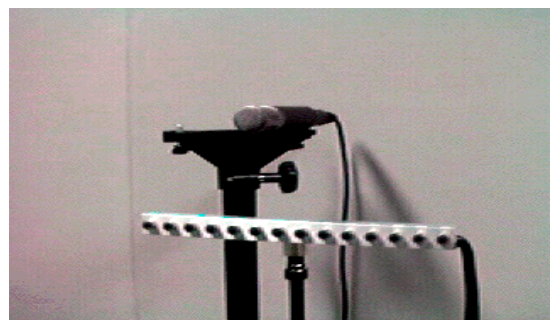


図2 直線状マイクロフォンアレイ

# 大語彙連続音声認識プログラム

京都大学 学術情報メディアセンター 河原達也  
<http://www.ar.media.kyoto-u.ac.jp/>

## 1. ねらい

ユーザに負担のない自然な音声対話を実現するには、音声認識システムが、できるだけ広範な話者層や言い回し、特に話し言葉に対応できる必要がある。このような大語彙連続音声認識を行うオープンソースのプログラムを開発する。また、これを組み込み機器にも利用できるように、マイコンへの実装も行う。

## 2. 研究の概要

これまでのディクテーションシステムは主に成人の読上げ音声を対象としていたが、話し言葉を対象として発展させる。音韻モデルについて、小児から高齢者までを網羅する多様な話者、および対話調の音声に対応できるようにする。言語モデルについて、丁寧な話し言葉に対応できるようにする。さらに、認識プログラム Julius についても音声対話システム向けの機能強化を行うとともに、マイコンに移植できるような効率化を図る。

## 3. H15 年度の進捗

平成 15 年度における研究進捗を以下に示す。

- (i) 小児から高齢者まで多様な話者に対応できる不特定話者音韻モデルを作成した。
- (ii) Web リソースを利用して幅広いカバーエッジを実現する言語モデルを作成した。
- (iii) 音声認識エンジン Julius に、クラス N-gram 対応、信頼度計算などの機能を追加し、API への対応も行った。
- (iv) 音声認識ソフトウェアを、利用者のニーズに応じて容易にカスタマイズ・適応できるツールを設計した。
- (v) マイコンへの実装の予備的な検討を行った。
- (vi) ソフトウェアの普及のための講習会を行った。

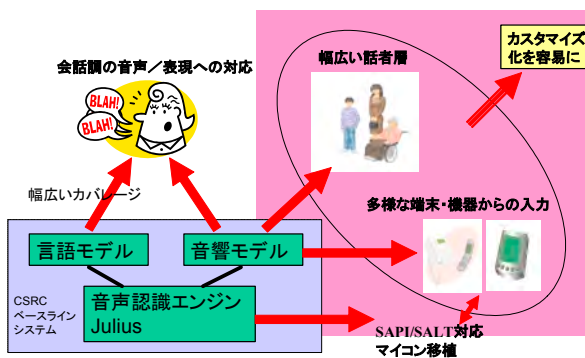


図 1 大語彙連続音声認識プログラムの開発概

# 音声認識システムのフィールドテスト

名古屋大学 情報科学研究科 武田一哉  
<http://www.itakura.nuee.nagoya-u.ac.jp/>

## 1. ねらい

ユーザにとっての音声対話システムの性能は、認識性能だけでなく、様々なヒューマンファクタに支配されている。開発したプログラムやモデルを実環境下で運用することで、開発成果の検証を行うとともに、運用結果からユーザ負担の少ない音声対話システムの設計指針を得る。

## 2. 研究の概要

開発した音声認識プログラム、各種モデルを用いて、実環境下での音声対話システムのフィールドテストを行い、システムの使い方の教示方法や学習効果など、音声認識利用のヒューマンファクタに関するノウハウを蓄積する。さらに得られたノウハウを整理して、音声対話システム構築のためのガイドラインを作成する。

## 3. H15 年度の進捗

平成 15 年度における研究進捗を以下に示す。

- (i) 京都市バス運行情報案内システム、公共情報案内システム、車内情報検索システムの構築・運用を行い、実環境下のデータ収集を行なった。
- (ii) 楽曲検索を対象とした音声対話システムを用いて、音声対話システムの利用に関する被験者実験を行い、利用者の発話や動作を詳細に記録するとともに、被験者アンケートを行い、音声対話システムの利用ガイドラインを検討した。
- (iii) レストラン検索を対象とした 500 人規模の車内音声対話データの分析を行い、対話システムに対する発話と、人間に対する発話との性質の違いを比較分析した。

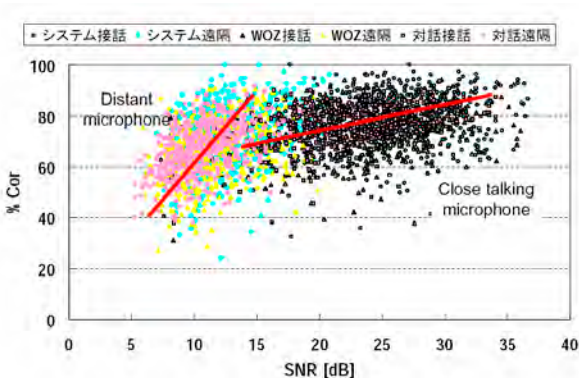


図 2 車内音声対話実験により得られた 500 名の音声認識率の分布

# 多様な音声合成プログラム

和歌山大学 システム工学部 河原英紀  
<http://www.wakayama-u.ac.jp/~kawahara/>

## 1. ねらい

人間の音声には、文字で表すことのできる言語情報だけではなく、話し手の感情やその人らしさなどを反映する情報が含まれている。文字で書くと同じ内容であっても、危険を避けるために警告する時と、初めての人に機器の使い方を説明するときとでは、人は違った声質を使う。本プロジェクトでは、機械と人間との対話を自然なものとするために、人間のように多様な声質を有する音声を合成することのできるプログラムを開発する。

## 2. 研究の概要

多様な声質の合成音声を作成するためには、そもそも人間の肉声に匹敵する品質の良い音声を合成でき、操作できる技術が必要である。そのための基盤として、本プロジェクトでは、我々の開発した高精度音声分析合成系 STRAIGHT を用いる。STRAIGHT は、人間の音声を (1) 声の高さを表す基本周波数, (2) 音韻や音色に関連するスペクトル, (3) 有声音や無声音を区別する音源情報に精密に分解し、加工・再合成を可能とする方法である。このような研究手段を用いて、まず、話し手による声質の違いや話し手の感情や話し方による声質の違いを取り出すためのデータベースを整備する。これらのデータベースの解析結果を利用して、様々な声質を合成音声に付与することの出来るプログラムを開発する。開発するプログラムは、高品質で精密な声質の付与が可能ではあるが非リアルタイムのものと、品質には制限があるがリアルタイムで動作するものの二系統とし、合成音声の声質制御に必要なソフトウェアツールも併せて整備する。

## 3. H15 年度の進捗

多様な声質を付与するための基本となる「音声モーフィングアルゴリズム」を検討した。本年度は、STRAIGHT に基づくモーフィングアルゴリズムにより、同じ話者が異なった感情で発声した音声同士であれば、肉声の有する自然性を損なわずに自由にモーフィングできることを実証した。多様な声質の実現のためには、様々な話者が様々な声質で話した音声の事例を蓄積しておくことがまず必要となる。本年度は、まず、声優によるデータベースの作成を進めた。

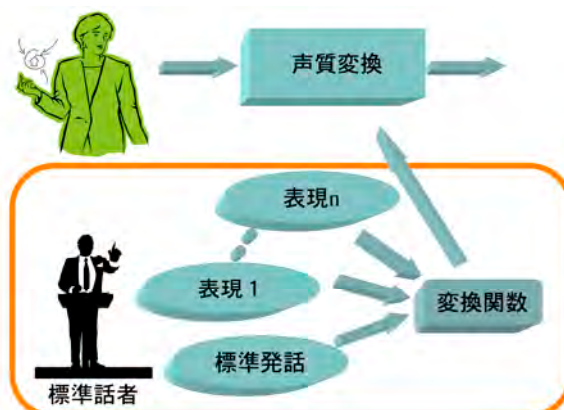


図1 多様な声質の付与

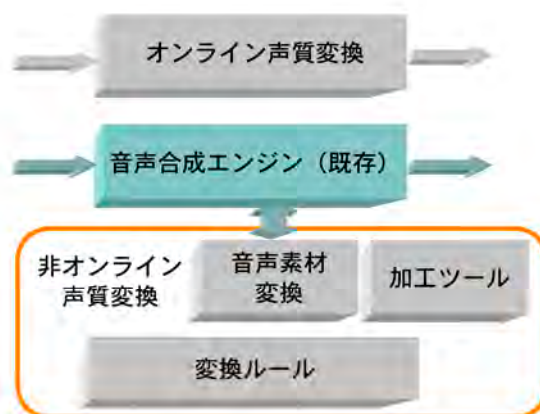


図2 開発するプログラム