

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19500044  
 研究課題名（和文）  
 計算機の内部構造・動作を可視化するビジュアルシミュレータの開発と評価  
 研究課題名（英文）  
 Development and Evaluation of Visual Simulator for Understanding of Internal Structure and Behavior of Computer  
 研究代表者  
 今井 慈郎（IMAI YOSHIRO）  
 香川大学・総合情報センター・准教授  
 研究者番号：40141931

## 研究成果の概要：

計算機アーキテクチャ教育支援ツール、ビジュアルシミュレータ VisuSim は、コンピュータの内部構造や動作を視覚的に示すことで、学習者(特に初心者)の理解を促すことができる。その効果を具体的に評価し、結果を国内学術雑誌(情報処理学会論文誌、電子情報通信学会論文誌D)などに掲載し、また欧州や北米で開催された国際会議などでも積極的に研究発表したことで、一定の評価を得ることができた。また、学会発表を通じて、欧米の先進的研究を行っている研究者・教育者との密接な情報交換が可能となり、より進んだ研究を今後も継続していくための貴重な知見を得ることができた。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,400,000	420,000	1,820,000

研究分野： 情報工学、情報システム、教育工学

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード： 計算機アーキテクチャ（計算機シミュレータ、可視化、教材）

## 1. 研究開始当初の背景

コンピュータの高機能化により、一方では、ブラックボックス化を進展させ、初学者においてコンピュータ理解が容易ではない状況を深化させた。これは、計算機の原理を理解しないで、その応用にのみ傾注しても必ずしも教育効果が期待通りではない状況にも影響が現れている。

そこで、コンピュータ教育（特に、計算機アーキテクチャ教育）を効果的に支援し、教

育の質的向上に資する教材作成と、学習者理解度の個人差を如何に把握し、対応した教育をどのように実施するかが、計算機アーキテクチャ教育における重要課題となっていた。

## 2. 研究の目的

e-Learning 一般においても、その実現が大きなテーマである2つの機能：すなわち、「可視化機能」と「個別理解度対応機能」をどのように実現し、実際に活用できる形で、ユー

に提供できるか、研究の目的となった。また、このような開発を通じて、得られた知見を国内外との研究者・教育者と情報交換することで、研究の質的向上を果たすことも目的とした。

特に、これら2つの機能を具備した計算機アーキテクチャ教育用 e-Learning ツールの開発、実際の教育現場への適用、そこからのフィードバック、適用を通じての具体的な機能評価、および国内外への報告・広報活動を行い、計算機アーキテクチャ教育への貢献が本研究の目的となっている。

### 3. 研究の方法

採用した研究方法は次のようなステップから構成される。すなわち、

1) 開発した現行プロトタイプ of 機能評価と評価に基づく他研究者との議論と問題点の抽出と修正。

2) 可視化機能や個別理解度対応機能を有し、学習者の理解レベルに応じた効率の良い計算機アーキテクチャ教育用 e-Learning ツールの開発 (現行プロトタイプ of 改善) とそのシステム環境の構成。

3) e-Learning 環境を実際の教育現場へ適用することを通じての機能評価。

である。ここで重要な観点は、国内外の研究者・教育者と情報交換しながら、問題点を抽出していくことと、実際の教育現場への適用を通じて、機能評価や微調整を行って、利便性の高いツールを作り上げていくことである。

このような方法を通じて、開発・適用・評価した、計算機アーキテクチャ教育用 e-Learning ツールは、国内外での発表(論文誌や国際会議 Proceedings への投稿・掲載)を通じて、研究成果を公表してきた。そして、関連分野の研究者との議論と情報交換。研究成果を論文の形でとりまとめしてきた。

### 4. 研究成果

計算機アーキテクチャ教育支援ツール(教育用 e-Learning ツール: ビジュアルシミュレータ VisuSim)は、Java プログラミング言語で実装・開発し、Web ブラウザ上のアプレットとしても、Java インタープリタ上のアプリケーションとしても使用できる。

研究目的の1つである「可視化機能」として、モデル計算機の内部構造や動作を可視化して示すことができるので、学習者(特に初学者)のコンピュータに対する理解度を促すことができる。これにより、計算機の基本原理を視覚的に理解することが可能となる。

ビジュアルシミュレータ VisuSim の実行画面を図1に示す。これは、コンピュータの基

本であるノイマン型コンピュータを図示すると共に、のレジスタ・トランスファーレベルの動作を可視化している。また、数個のボタン操作で、ビジュアルシミュレータを簡単に動作させることができるため、初学者にも容易に理解できる。

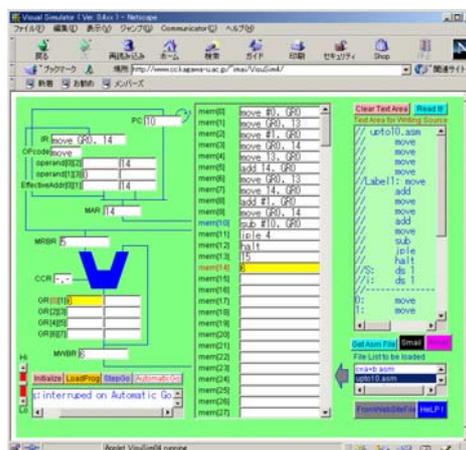


図1: ビジュアルシミュレータの起動画面

次に、もう一方の研究の目的として挙げた「個別理解度対応機能」の実現について述べる。e-Learning ツールでも重要視される機能であるが、計算機アーキテクチャ教育においても学習者がどのようなレベルの理解度にあるかを、指導者が把握することが大変重要である。そのためには、両者間での確かなコミュニケーションが必要となる。以下は、ビジュアルシミュレータ VisuSim に装備した組み込みメール機能の説明である。

シミュレータ VisuSim には2つのメール機能が組み込まれており、学習者は指導者とメール交換を行い、より適切な指導(個別指導&遠隔指導)を受けることが可能となっている。この結果、シミュレータ VisuSim は、誰でも、何時でも、利用できる Web ベースの教育ツールであると同時に、個別の学習者の理解レベルを指導者が的確に把握し、理解度に応じた指導を実施できる教材としての特徴を持たせることが可能となった。

具体的には、学習者からのサーバを介しての指導者への質問メール送信する操作(第1メール機能、図2を参照)と、指導者が同じくサーバを介して学習者から寄せられた質問メールを解読する操作(第2メール機能、図3を参照)からなる。

例えば、学習者はシミュレータ VisuSim を起動してコンピュータの内部動作を理解するための問題を解く。もし、問題が当該学習者にとって簡単に理解できない場合、シミュレータ VisuSim の第1メール機能を使用して、学習者の状況を指導者へ送信する。この際に、組み込み型メール機能の特徴を活かして、学習者は自身の実行環境(内部状態)を、指導者に、

サーバを通じてメール送信することができる。図2に、第1メール機能を示す。

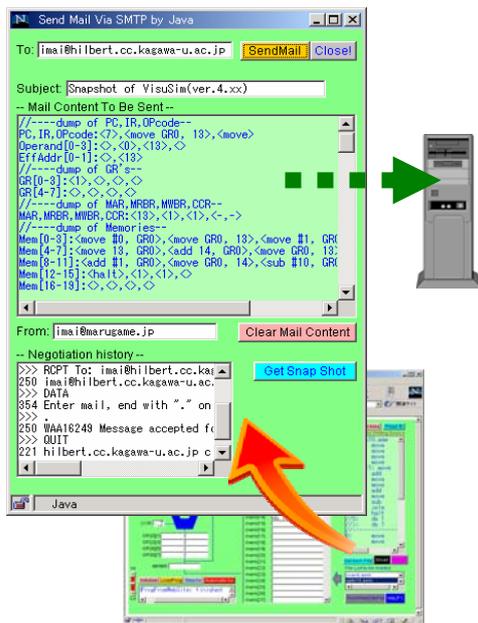


図2: 学習者からサーバへのメール送信

一方、指導者は、学習者の実行環境(すなわち、学習者の内部状態)を、前述のサーバを通じて、メール受信することができ、自身のシミュレータ上で再現することができる。これにより、指導者は学習者からの質問内容をより具体的に把握でき、学習者の理解度を勘案した、よりの確な指導を行うことができる。

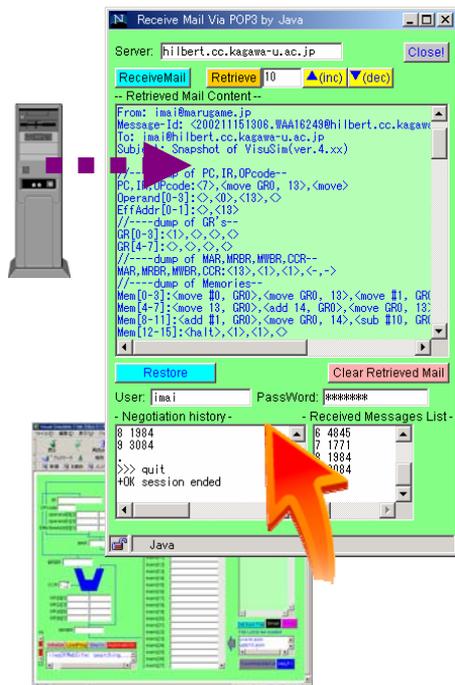


図3: サーバから指導者へのメール受信

図3に、第2メール機能を示す。

その効果を具体的に評価し、結果を国内学術論文誌への論文掲載や国際会議発表を通じて、国内・欧米の先進的研究を行っている研究者と情報交換することで、より進んだ研究を行うための知見を得ることができた。

詳細な内容は、次節の主な発表論文などに示しているが、このような研究活動を通じて、報告者は学位論文を取り纏めることができ、またその有効性を示すことも可能となった。このような活動に対して、情報処理学会誌「情報処理6月号」(2009年)に、特集「研究会推薦博士論文速報」なる企画で報告者の論文が「コンピュータと教育(CE)」研究会から推薦論文として掲載される予定となった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

① 今井慈郎・金子敬一・中川正樹、計算機アーキテクチャ教育支援システムの開発と協調学習への適用、電子情報通信学会論文誌D、Vol.J91-D、pp.188-199、2008、査読有り

② Imai,Y., Hori,H. Kaneko,K., Nakagawa,M., A Web-based Computer Simulator with Visualization and Communication Support、Proc. of ED-MEDIA2008・World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications、CD-ROMに掲載、2008、査読有り

③ Imai,Y., Hori,H. Kaneko,K., Nakagawa,M., DESIGN OF WEB-BASED EDUCATIONAL TOOL OF ASSEMBLY PROGRAMMING IN A COLLABORATIVE LEARNING ENVIRONMENT、Proc. of the 7th IADIS Int'l Conf. WWW/Internet 2008(ICWI2008 @ Freiburg)、Vol.1、pp.43-50、2008、査読有り

④ Imai,Y., Kaneko,K., Nakagawa,M.: "Design of a Web-based Visual Simulator and its Evaluation based on some cases of Real Computer Education," Proceedings of the 1st International Conference on Simulation Tools and Techniques for Communications, Networks and Systems (Marseille, France), CD-ROMに掲載、2008、査読有り

⑤ Imai,Y., Kaneko,K., Nakagawa,M.: "A Web-based Visual Computer Simulator with Communication Facility between Learner and Instructor," Proceedings of International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce (iawtic2008@Vienna), CD-ROMに掲載、2008、

査読有り

⑥ 今井慈郎・金子敬一・中川正樹、計算機アーキテクチャ教育用ビジュアルシミュレータの組込みメール機能、情報処理学会論文誌、Vol.48、pp.2748-2758、2007、査読有り

⑦ Imai,Y., Kaneko,K., Nakagawa,M.、A Web-based Visual Simulator with Communication Support and its Application to Computer Architecture Education、Proc. of the 7th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT2007@Niigata)、Vol.1、pp.147-151、2007、査読有り

⑧ Y. Imai, K. Kaneko, M. Nakagawa: "A Graphical User Interface of a Visual Simulator for Computer Literacy and Architecture Education," Proc. of E-Learn 2007-World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare & Higher Education, pp.7144-7149, Oct. 2007、査読有り

⑨ Imai,Y., Hori,H. Kaneko,K., Nakagawa,M.、"A WEB-BASED VISUAL COMPUTER SIMULATOR AND ITS EVALUATION THROUGH A REAL EDUCATION," : Proc. of the 6th IADIS Int'l Conf. WWW/Internet 2007(ICWI2007@Vila Real), Vol.2, pp.18-23, 2007、査読有り

⑩ Imai,Y., Kaneko,K., Nakagawa,M. "A WEB-BASED EDUCATIONAL TOOL OF COMPUTER SYSTEM AND ITS APPLICATION TO REAL EDUCATION," : Proc. of the 3rd IADIS Int'l Conf. Applied Computing (AC2007@Salamanca)pp.213-220, 2007、査読有り

〔学会発表〕(計 1 件)

① 林雅也・今井慈郎・堀幸雄・林敏浩、計算機教育用可視化シミュレータの運用サーバ環境、電子情報通信学会 E T (教育工学)研究会、2009年3月7日、香川大学

〔図書〕(計 1 件)

① 板倉・木全・今井・大西・河内、白桃書房、ネットワークによる地域力、2009、189頁

## 6. 研究組織 (1) 研究代表者

今井慈郎 (IMAI YOSHIRO)  
香川大学・総合情報センター・准教授  
研究者番号：40141931