

《海外便り》

米国先端研究大学における大学院教育について —CMUロボット工学研究所におけるPh.D.プログラム—

藤 吉 弘 亘

1 はじめに

2005年9月から2006年9月までの1年間、中部大学海外長期研修として米国ピッツバーグにあるカーネギーメロン大学ロボット工学研究所 (Carnegie Mellon University (CMU), The Robotics Institute) にてコンピュータビジョンの研究に取り組んでいる。ピッツバーグに住むのは今回が2度目で、中部大学大学院博士後期課程を修了した後の27歳のときに、CMUにポスドクというポジションで研究員として雇われたのが1度目の米国での研究生活だった。27歳で渡米した直後、ロボット工学研究所のPh.D.コースの学生達と話した際に、自分より年上の学生が多いことに気づいた。さらに、先に日本の大学で博士号を取得した自分より多い研究成果を挙げていた事実には驚かされた。これは、米国社会でのPh.D.の扱いと超一流の研究者を育てるというロボット工学研究所の大学院教育の違いから生じるものである。

本稿では、ロボット工学の分野で全米一として認められているCMUロボット工学研究所における大学院教育の事例として、Ph.D.を取得するまでのプロセスについて報告し、どのように一流の研究者を育てているかを概観していく。

2 CMUロボット工学研究所

CMUは、米国ペンシルベニア州ピッツバーグ市に、鉄鋼王アンドリュー・カーネギーによって1900年に設立された総合大学である(図1)。ロボット工学、機械工学、情報工学、コンピュータサイエンス学部等と工学系が優秀なだけでなく、ビジネスや、社会政策、心理学、哲学等の人文科学系もまた非常に優れた教育を行っている。特にCMUのコンピュータサイエンスは全米大学ランキング一位で、ライコス (Lycos) やJAVAの開発者を輩出していることで有名である。

私がお世話になっているロボット工学研究所¹⁾は、コンピュータサイエンス学部の一機関として、1979年にロボット工学の基礎・応用研究を目的として設立された。ロボット工学研究所では、視覚・自律システムセンターをはじめとする7つのセンターから構成され、その中には現在36のラボ・グループが存在する。研究内容は、Robot, Human, Virtual worldとインタラ

クションがあるもの全てを扱うため、その範囲は人工知能、モバイルロボット、産業応用、医療応用、制御&システム、宇宙ロボット、画像・知覚・センサー、そしてグラフィックス&視覚化と幅広く、現在、200以上の研究プロジェクトが進行している。現在の常勤のメンバーは教授陣、スタッフ、大学院生合わせて約470人になり、95名の大学院生がPh.D.に向けて日夜研究に励んでいる(表1参照)。

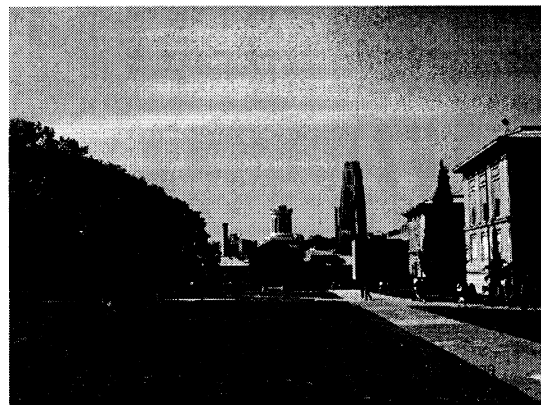


図1 CMUのキャンパス

表1 ロボット工学研究所のメンバー構成 [人]

教授陣(常勤)	48
研究スタッフ	185
ポスドク	16
事務スタッフ	24
訪問研究員	50
Ph. D. コースの学生	95
Master コースの学生	48
非常勤研究員	28
合計	494

(2005年11月現在)

2005年度の研究費は\$40 million (約47億円) であり、そのスポンサーには米国政府関連として国防総省の研究開発機関である高等研究計画局 (DARPA)、NASA、国立科学財団 (NSF) や、ロボット関連及び、自動車・医療・航空・農業・鉱山等の企業等が挙

げられる。さらに、私のように世界各国の大学や研究機関から学生、研究員を受け入れ、グローバルな研究交流が盛んである。

3 Ph.D.プログラム

CMU ロボット工学研究所は、既に100名以上のPh.D.を社会に送りだしている。以下では、Ph.D.プログラムの流れおよび、大学院生の環境やサポートについて述べる。

3.1 出願から入学

博士課程の学生になるには、まず出願書類と一緒にGRE (Graduate Record Examination) とTOEFLのスコアと3通の推薦状も提出しなければならない。出願書類はPDFで提供されており、世界各国からの受験者はオンラインで出願手続きを行う。Ph.D.プログラムの出願時において、正式には修士号を必要としないが、受験者の多くは既に修士号を取得したことが多い。それ故に、Ph.D.を取得する頃には30歳前後となる。これは、定員20名に対して約30倍の難関を通過するには、修士号やそれまでの研究成果が有利に働くからである。

表2に、2005年度に在籍する国別の大学院生数を示す。出身国は、米国が52%と約半数であり、インド、カナダ、ドイツ、中国と続く。約20カ国から優秀な学生が集まってくるのが分かる。約8%はアジア出身(中国3%, 韓国2%, 台湾2%, 日本1%)であり、その比率は増加傾向にある。残念ながら、日本からの入学者数は約25年間で3人のみである。男性120名、女性23名であり、女性の割合は約16%となっている。また、2005年度の入学者143名のうち、22名(約15%)がCMUの学部卒であり、残りは外部の大学を卒業した学生である。

3.2 Ph.D.プログラム

Ph.D.プログラムを修了するには、大学院生の研究進度によって異なるが、通常は5から6年を必要とする。図2にPh.D.プログラムの流れを示す。1年間は秋学期(8月下旬~12月上旬)と春学期(1月上旬~5月上旬)の2学期から成る。

Ph.D.プログラムへの入学が許可されると、1週間に渡るオリエンテーションが開催される。オリエンテーションでは、新入生に対して、教授全員が約1時間の研究内容のプレゼンを行う。ピクニック等の活動を通じて、教授陣との親睦を深める行事が用意され、その後、新入生は研究内容等を考慮して希望する指導教授一覧を委員会に提出する。委員会は、各教授の意見を考慮して学生とのマッチングを行い、指導教授を決定

する。一部の学生は2人の指導教授となる場合もある。もし、Ph.D.プログラムの途中で、研究テーマの関心が変わった場合、正規の手続きを経ていつでも指導教授を変更することが可能となっている。

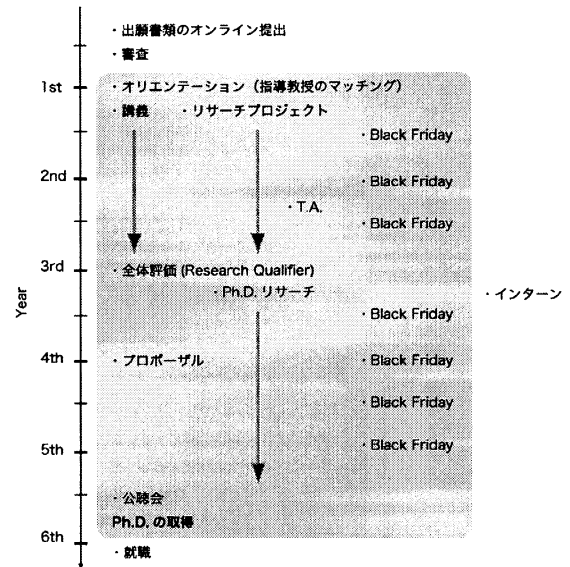


図2 Ph.D.プログラムの流れ

最初の1, 2年では、各学期に二つの講義科目(1科目週に2コマ)を履修する。また、指導教授が担当する既存プロジェクトに参加し、その研究に半分、講義に半分の時間を費やすことになっている。研究成果は、2年時が修了するまでに学会もしくは学内にて口頭発表を行う。2年生になると、必ずティーチング・アシスタント(T.A.)を1度経験する。厳しい講義とリサーチプロジェクトを通じて、研究に対する基礎理解力を向上させる。

2年の終了時に、それまでの大学院における活動状況についてResearch Qualifierと呼ばれる評価が実施される。Research Qualifierは、最初の2年間におけるパフォーマンスを、指導教授、同じ研究分野の教授(2人)、学生がT.A.を担当した講義の担当者、シニアの大学院生の5人が下記の4項目について、評価するものである。

- 研究能力
- コミュニケーション能力
- ライティング能力
- ティーチング能力

表2 ロボット工学研究所における国別の学生数（2005年度）

Robotics Students By Country of Origin	MASTERS		MASTERS Total	PHD		PHD Total	Grand Total	Total %
Country	Female	Male		Female	Male			
USA	1	13	14	11	49	60	74	52%
India	5	16	21		9	9	30	21%
Canada	2	1	3		3	3	6	4%
Germany		1	1		4	4	5	3%
P.R. of China				3	1	4	4	3%
Korea		2	2		1	1	3	2%
R.O.C. Taiwan				1	2	3	3	2%
Unkown		1	1		2	2	3	2%
Chile		2	2				2	1%
Colombia					1	1	1	1%
France					1	1	1	1%
Ghana					1	1	1	1%
Israel		1	1				1	1%
Japan		1	1				1	1%
Mexico					1	1	1	1%
Peru					1	1	1	1%
R.O.S. Singapore		1	1				1	1%
Romania					1	1	1	1%
Russia					1	1	1	1%
Slovakia					1	1	1	1%
Turkey					1	1	1	1%
United Kingdom		1	1				1	1%
Grand Total	8	40	48	15	80	95	143	100%

このResearch Qualifierでは、一流の研究者を育てるために、研究能力だけでなくT.A.でのティーチング能力が評価の一対象となっており、この点は日本の大学院教育における評価基準と大きく異なる。3年の終わりまでに、このResearch Qualifierをパスすることができない場合、Ph.D.プログラムから外れること（退学勧告）になる。

3年目からは、自身の研究テーマを決定し、研究を担当教授の指導の下に進める。研究成果は逐次、国際会議等や技術報告等を通じて発表する。また、この時期に3、4ヶ月間、企業でのインターンに参加する学生もいる。研究成果が上がり、Ph.D.までの道筋が見えた時点で、Ph.D.のプロポーザルを口頭発表する。通常、4年目にプロポーザルを行う場合が多い。その後はプロポーザルに基づいて研究を推進し、博士論文、公聴会（Ph.D. Defense）を経て、Ph.D.の取得となる。このように、最初の2年間は研究者としての基礎力培い、その後、自身の研究テーマを指導教授と供に行う。その研究進捗は、各学期の終わりに必ずブラック・フライデーと呼ばれる会議が開催され、全教授が参加し

て評価される。ブラック・フライデーについては、3.7で、その評価内容等の詳細について述べる。

3.3 大学院の講義

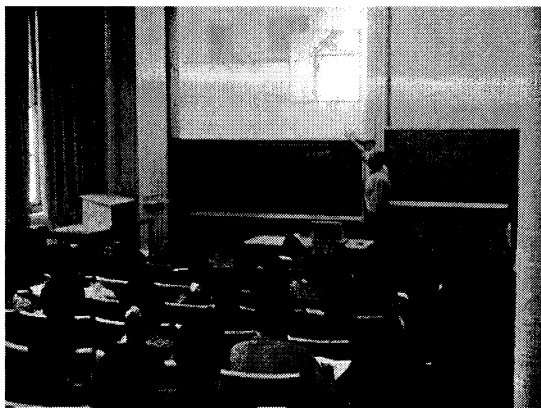
Ph.D.プログラムには、表3に示すコアコースが設定されており、各コースから最低1科目の5科目以上を履修する。残り3科目は、他の専門科目約40科目の中から選択する。

1学期に選択できる科目数は、2科目までと制限がある。1科目につき、2コマ開講されるので、大学院生は週に4コマ分（1コマ80分）の講義に出席することになる。各講義科目の単位数は12単位であり、Ph.D.に必要となる96単位を取得するには、2年間かかる。成績は、A/B/Cの3段階であり、コア科目の5科目はB以上である必要がある。単位を取るには、講義への出席と多くの課題を提出しなければならない。従って、土日も課題を終わらせるために、通学する忙しい大学院生が多い。

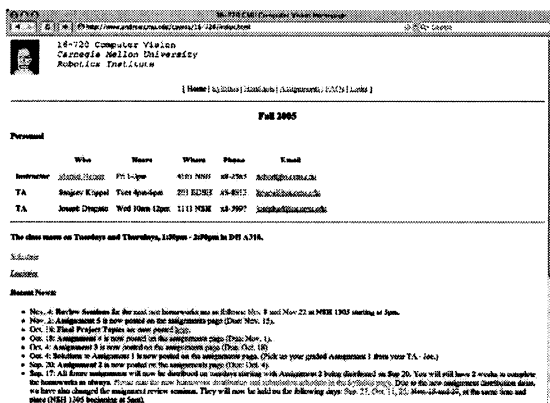
表3 コア科目

コアコース	講義名
Perception	Computer Vision Advanced Perception Sensing and Sensors
Cognition	Advanced AI Concepts Machine Learning
Action	Mechanics of Manipulation Kinematics, Dynamic Systems, and Control
Math Foundations	Math Fundamentals for Robotics

また、多くの講義担当者は、シラバスや講義で使ったプレゼン資料等、講義に関する情報をwebページで公開している（図3参照）。



(a) 講義16-720: Computer Vision



(b) 講義16-720のwebページ

(<http://www.andrew.cmu.edu/course/16-720/>)

図3 大学院講義の様子

3.4 Ph.D.の条件と審査

ロボット工学研究所におけるPh.D.の取得条件を以下に示す。

- コア5科目を含む96単位
- 最低一回以上のティーチング・アシスタント経験
- 研究デモンストレーション（口頭発表、会議論文）
- ロボット工学分野におけるオリジナルな研究成果

日本の多くの大学と大きく異なる点は、学術誌論文数が何編という、数字による条件はないことである。これは、論文の数でなく質を求めており、ロボット工学研究所の場合、査読論文が一件なくてもPh.D.を取得することができる。Ph.D.の審査には、指導教授とロボット工学研究所の他の教授2名、さらに外部の専門研究者1名の4名が担当する。公聴会はThesis Defenseと呼ばれ、“Defense”という言葉の通り、約1時間に渡る口頭発表の後、激しい質疑応答が繰り広げられる。また、公聴会は上記の取得条件を満たした際に逐次開催されるため、毎年何月といった時期は決まっていない。図4に、2005年11月に開催されたThesis Defenseの告知ポスターを示す。この時は、外部の審査員はインターネットでの参加であった。

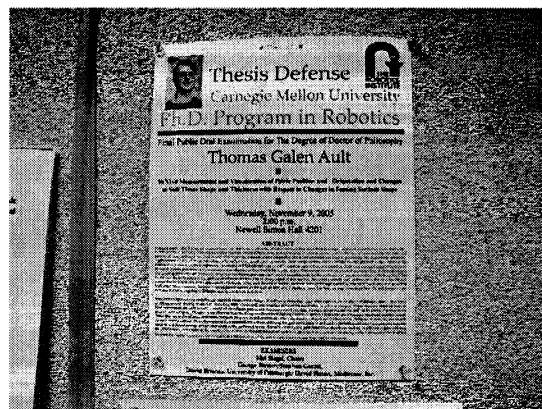


図4 Thesis Defenseの告知ポスター

3.5 研究環境

ここでは、ハードウェアを中心とした研究設備面からではなく、大学院生の本分である研究活動に対するサポートや、一流の研究者によるセミナー等の大学院生を取り囲む環境について紹介する。

- コンピュータ環境とサポート

コンピュータサイエンスの分野で全米大学ランキング1位であるCMUのコンピュータ設備が充実しているのは当然であるが、特筆したいのはそのサポートにある。CSヘルプデスクという技術スタッフは、24時

間体制で様々なサービスを提供している。日本の大学の研究室では、研究用に購入したコンピュータのアカウントやネットワーク等各種の設定を大学院生が担当している場合が多く、そのメンテナンスに貴重な研究時間を削られているのが現状である。CSヘルプデスクでは、このような手間のかかるコンピュータの購入からセットアップ、さらにはファイルのバックアップサービスまで行っている。また、アカウントさえ取得すれば、キャンパスのどこからでも無線LANに接続が可能であり、いつでもどこからでもインターネット上の研究資料を扱うことができる。また、充実した本や文献等を所蔵する図書館は、平日は午前8時から夜中の午前3時まで利用できる。さらに土日も開館している。

・大学院生に割り当てられたスペース

大学院生には、各自に机（幅約2メートル）、椅子（市場価格では12万相当）、収納スペースが割り当てられる。研究室（ラボ）と呼ばれる部屋は実験用であり、大学院生用の場所は指導教授用に割り当てられた部屋ではなく共用スペースに確保される（図5参照）。大学院生の机の周りにはホワイトボードが設置され、所属する研究室が異なる学生間での議論も活発に行われている。また、一息いれることができるラウンジが各階に必ず用意されており、簡単な食事が可能なテーブルやソファに冷蔵庫やコーヒーマシン等が提供されている。

・頻繁に開催される研究セミナー

ロボット工学研究所が主催する研究セミナーが、毎週金曜日の午後3時30分から開催されている。セミナーには、クッキーと飲み物が用意され、聴講者はクッキーをかじりながらアットホームな雰囲気の中、一流の研究者の講演を聴講する。1学期間に16回のセミナーが予定されており、半分は外部から著名な研究者を招待し、残り半分は内部の研究者がロボット工学に関連する研究について講演する。また、ロボット工学は多岐に亘るため、七つに分かれたセンター（専門分野）毎に別のセミナーが開催されている。従って、大学院生は最低でも週に2回のセミナーを通じて一流の研究者の講演を肌で感じ、議論を交わすことができる。

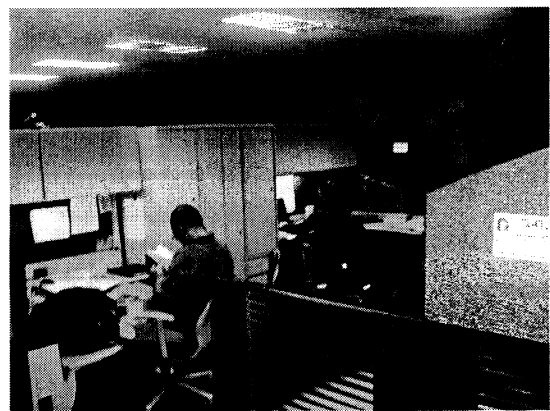
・研究旅費

大学院生は、指導教授の承認が得られれば、本人の研究に関連する会議に参加することができる。その際、交通費等全ての費用が支給される。もし、指導教授の承認が得られない場合は、共通の予算から、最大で会議に参加のみの場合は会議の登録代にプラス\$200、

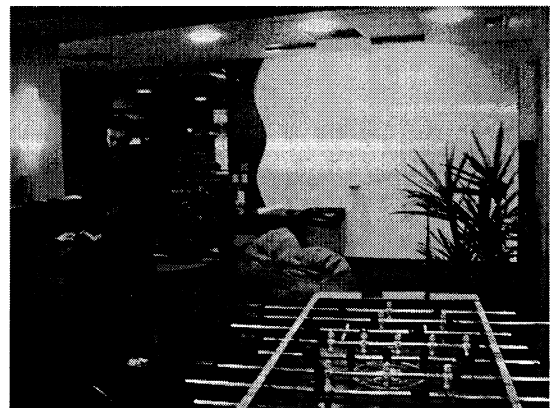
研究発表する場合はプラス\$600が支給される。

・インターンによるキャリアアップ

Ph.D.プログラムにおいてインターンは必須ではないが、多くの学生がキャリアアップのために参加する人が多い。通常のインターンは3、4ヶ月間、企業の研究所（例えばマイクロソフト・リサーチ等）に勤める。職業訓練というよりは、実際の研究職と同様の仕事が割り当てられ、その報酬は月\$5,000から\$6,000である。インターンの期間は、3.6で述べるロボット工学研究所からの奨学金は支給されない。また、Ph.D.取得後に、インターン先の研究所に就職する場合も多い。



(a) 大学院生のスペース



(b) 遊び心溢れるラウンジ（奥の壁はホワイトボード）

図5 大学院生の研究環境

3.6 学費と経済的なサポート

米国の有名私立大学の中には、非常に学費の高い大学が多い。CMUも同じく、Ph.D.コースの学費は、1学期\$14,500であり、年間約\$30,000（約340万円）と中部大学の倍以上と非常に高額である。しかし、ロボット工学研究所では、優秀な若い才能を経済的な理由で諦めることがないように配慮されており、大学院生の

学費は教授陣が獲得した研究費から全額支払われることが保証されている。従って、大学院生の学費負担はゼロであり、学費を工面する必要がない。さらに、全学生に対して研究の進捗等の評価結果に関係なく月\$2,000の奨学金が生活費として支給される。一月に\$2,000あれば、比較的生活費の安いピッツバーグでは、贅沢さえしなければ一家族が生活することが十分に可能である。そのため、ロボット工学研究所の大学院生は、一度働いてから再度大学に戻ったケースや、既婚者や家族（子供）を養っている者も多い。このように、経済的なサポートが優れており、学びたい・向上したいという学生の熱意とエネルギーを継続させる環境の提供が実現できている。このような学生に対する手厚いサポートは、常に顕著でかつ多くの研究成果を出力するロボット工学研究所だからこそ莫大な研究費を獲得できているためであり、CMUの全学科でこのようなサポートが行われているわけではない。

3.7 学生の評価（ブラックフライデー）

各学期の終りに開催される学生を評価するための会議「ブラック・フライデー」は、大恐慌を引き起こした1929年10月24日のブラック・サザデー（魔の木曜日）をもじったものである¹⁰。年に2回、学期の終りに教授陣全員が一室に集まり、大学院生を全員一人ずつ評価する。ブラック・フライデーでは、まず学生の名前が読み上げられ、その写真と経歴等の情報がスクリーンに表示される。そして、指導教授が、学生のその学期における研究成果から生活面にわたる活動全般について報告する。その報告に対して、その学生の活動を知っている他の教官からの印象が告げられる。議論の結果、Ph.D.に向け、満足のいく進歩をとげているかどうか、さらに様々な注意やアドバイスを手紙にして学生に伝えられる。日本の大学院教育では、実質的に指導教授が学生の運命を一人で握っている場合が殆どであるが、このブラック・フライデーの基本的な考えは、学生の運命を一人の教授で決定するのは不公平であり、教官全体で正しく評価すべきであるというポリシーに基づいている。

また、教授陣による学生の評価が著しく良くない場合は、次の学期までの結果によっては退学勧告することを示唆し、最悪の場合は退学を勧告する。このような否定的な結論の場合、学生の一生に関わる重大事を決定するわけなので、会議は長時間に渡ることがある。このような退学勧告は、研究者としての適正がない場合、無理にPh.D.プログラムを続けさせるのではなく、

早く別の道を探させる方が本人のためである、という考え方に基づいている。従って、約30倍の難関をくぐり抜けてきた優秀な学生であっても、毎年約20名の入学した学生の内、Ph.D.を取得するのは15名程度であるという厳しい現実もある。従って、こちらの大学院生は、Ph.D.に向け猛烈に勉強している。

3.8 Ph.D.取得後の進路

1990年にロボット工学研究所Ph.D.第一号が出てから15年間に計115名（2005年10月現在）のPh.D.を取得し、社会へと活躍の場を変えている。その進路先は、国の研究所（NASA等）に6名、大学関連機関に51名、企業の研究所等に55名となっている。米国の企業では、年齢に関係なく実践力のあるPh.D.を多く採用する傾向があり、約半数は企業で活躍している。また、就職後実力を養ってさらに条件の良い会社に転職したり、ベンチャー企業を立ち上げている卒業生が多い。

4 おわりに

本稿では、CMUのロボット工学研究所における大学院教育としてPh.D.取得までの流れとその環境を取り上げた。ロボット工学研究所の教授陣は未来を担う若い研究者を育てているという自負の下、大学院教育を実践している。本稿で紹介したPh.D.プログラムは非常に効率よく機能しており、それ故に多くの優秀なPh.D.を輩出し続けている。

謝辞

中部大学長期海外研究員として貴重な機会を与えて戴きました中部大学ならびに関係各位に謝意の意を表すとともに、情報工学科教職員の皆様と藤吉研究室の学生の協力を頂き、このような機会を得ることができたことに深く感謝の意を表します。執筆にあたり、CMUの金出武雄教授(U.A. Helen Whitaker University Professor), Janine Pischke氏, Raju S. Patil氏、伊是名有樹さんからデータを提供して頂いた。ここに重ねてお礼を申し上げる。

参考文献

- [1] CMU-RI web site : <http://www.ri.cmu.edu/>
- [2] The Robotics Graduate Programs at Carnegie Mellon University
- [3] 金出武雄：“素人のように考え、玄人として実行する”，PHP研究所，2003.

（助教授 工学部 情報工学科）