

**福井大学大学院  
工学研究科  
研究報告**

**Vol.56** 2008 MARCH

目 次

小型ロボットに用いるマイクロコンピュータの放射線耐久実験 — 極限下でのレスキューロボットの開発に向けて — .....大場 公隆 武藤 啓太郎 玉川 洋一 平田 隆幸	1
画像処理技術説明のためのキャラクター捜しアミューズメントデモンストレーションシステムの実装 — 研究テーマの理解を促すアミューズメントデモンストレーションシステム作成プログラムを受講して — .....小枝 兼二 黒岩 丈介 小倉 久和 小高 知宏 白井 治彦	9
連文節に基づく辞書にない読みで入力された単語の検出アルゴリズム — 日本語初学者における日本語入力及び日本語学習支援システム — .....劉 棋 張 小剛 黒岩 丈介 小倉 久和 小高 知宏 白井 治彦	15
管理者の負担軽減のためのLDAPを用いた研究室LANの構築 — 小倉研究室LAN構築 — .....瀧澤 崇 小倉 久和 黒岩 丈介 小高 知宏 白井 治彦	23
圧センサを用いた歩行器利用者の利用姿勢推定 — 知的歩行器実現に向けて — .....友永 佳希 白井 治彦 黒岩 丈介 小高 知宏 小倉 久和 吉川 日和子 月田 佳寿美 磯美 智恵 岩田 浩子	33
初学者を対象にした組み込み開発学習教材の製作 — H8を搭載したマイコンボードYOSIMAX-3664の設計と開発 — .....吉岡 正博 小高 知宏 白井 治彦 黒岩 丈介 小倉 久和	41
オブジェクト指向プログラミングを支援するリアルタイムシミュレーションシステム .....寺尾 剛 白井 治彦 黒岩 丈介 小高 知宏 小倉 久和	53
トラフィックの常時監視に基づくネットワークセキュリティの向上 — DTI ハブの設計と実装 — .....富田 陽祐 白井 治彦 黒岩 丈介 小高 知宏 小倉 久和	61
携帯情報端末における例文に基づく日本語入力方式 .....野田 隆裕 白井 治彦 黒岩 丈介 小高 知宏 小倉 久和	69
極性官能基を置換基に含むビニルエーテルのカチオン重合における副反応の検証： 官能基の種類と数の影響 .....市村 健太 橋本 保	77

CONTENTS

<b>Damages tests of microcomputers under <math>\gamma</math>-rays. –Development of a rescue robot that works under an extremely severe situation –</b> .....	1
.....Masataka OHBA, Keitarou MUTOU, Youichi TAMAGAWA, Takayuki HIRATA	
<b>The Implementation of the Character Search Amusement Demonstration System for the Purpose of Explaining Image Processing Techniques –Attending PBL Lecture “Construction of Amusement Demonstration System in Promoting Investigation”–</b> .....	9
.....Kenji KOEDA, Jousuke KUROIWA, Hisakazu OGURA, Tomohiro ODAKA, Haruhiko SHIRAI	
<b>The Detection Algorithm of a Word Input by a Different Reading Based on Compound Clauses – Japanese Input in the Japanese Abecedarian and a Japanese Learning Support System –</b> .....	15
.....Ki RYU, Syougo TYO, Jousuke KUROIWA, Hisakazu OGURA, Tomohiro ODAKA, Haruhiko SHIRAI	
<b>Establish Laboratory LAN Based on LDAP for the Purpose of Reducing Network Administrative Task – LAN Establishing in Ogura Laboratory –</b> .....	23
.....Takashi TAKIZAWA, Jousuke KUROIWA, Haruhiko SHIRAI, Tomohiro ODAKA, Hisakazu OGURA	
<b>Evaluation of User's Situation through Pressure Sensors –Realizing the Intelligent Assisted Walking Support Device –</b> .....	33
.....Yoshiki TOMONAGA, Haruhiko SHIRAI, Jousuke KUROIWA, Tomohiro ODAKA, Hisakazu OGURA, Hiwako YOSHIKAWA, Kasumi TUKITA, Tomoe ISOMI and Hiroko IWATA	
<b>Development of the Teaching Materials for Embedded Instrument – Manufacturing a Microcomputer Board named "YOSIMAX-3664" that is Mounted H8 Processor –</b> .....	41
..... Masahiro YOSHIOKA, Tomohiro ODAKA, Haruhiko SHIRAI, Josuke KUROIWA, Hisakazu OGURA	
<b>Real-Time Simulation System that Educates Object Oriented Programming</b> .....	53
.....Go TERAOKA, Haruhiko SHIRAI, Jousuke KUROIWA, Tomohiro ODAKA, Hisakazu OGURA	
<b>Network Security System Based on the Constant Monitoring of Traffic – Designing and Implementation of the DTI Hub –</b> .....	61
..... Yosuke TOMIDA, Haruhiko SHIRAI, Josuke KUROIWA, Tomohiro ODAKA, Hisakazu OGURA	
<b>The Japanese Input Method Based on the Example for a Personal Digital Assistant</b> .....	69
.....Takahiro NODA, Haruhiko SHIRAI, Josuke KUROIWA, Tomohiro ODAKA, Hisakazu OGURA	
<b>Identification of Side Reactions in Cationic Polymerization of Vinyl Ethers with Polar Functional Groups in Their Substituents: Effect of Sort and Number of Functional Groups</b> .....	77
.....Kenta ICHIMURA and Tamotsu HASHIMOTO	

## 小型ロボットに用いるマイクロコンピュータの放射線耐久実験 - 極限下でのレスキューロボットの開発に向けて -

大場 公隆\* 武藤 啓太郎\*\* 玉川 洋一\*\* 平田 隆幸\*

### Damages tests of microcomputers under $\gamma$ -rays. - Development of a rescue robot that works under an extremely severe situation -

Masataka OHBA\*, Keitarou MUTOU\*\*,  
Youichi TAMAGAWA\*\* and Takayuki HIRATA\*

(Received January 30, 2008)

The damage tests of microprocessors were carried out under  $\gamma$ -rays. The PIC microprocessors produced by Microchip Technology Inc are inexpensive and popular CPU, so that they are used in autonomous small robots. Under  $\gamma$ -rays, we tested the reliability of the PIC12F675 and PIC16F84A that belonged to mid-range of the 8-bit PIC microprocessor's family. The source of  $\gamma$ -rays was Cesium 137. The source of  $\gamma$ -rays was mounted on the PIC directly. The PIC's plastic package was scraped by 0.7 mm in order to increase the exposure dose of the  $\gamma$ -rays to silicon chip in the plastic package of PIC. The LEDs connected to I/O Ports of the PIC were blinked by programs, which was monitored by video camera. Seven days radiation of  $\gamma$ -rays did not affect the function of PIC microprocessors.

*Key words* : Radioactive, Small autonomous robots, Microcomputer, Reliability, Damage,  $\gamma$ -rays

#### 1. 緒言

惑星探査ロボットや災害救助ロボットの可能性として、自律分散型の群ロボットの研究が注目をあつめている。<sup>1)</sup> 自律分散型の群ロボットの特徴の一つとして、頑健さ (robustness) を挙げることができる。複数台のロボットが協力することで、複雑な仕事を達成する自律分散型の群ロボットは、アクシデントにより数台のロボットが故障したとしても大きな影響を受けずに、仕事を達成することができる。このシステムとしての頑健さは、惑星探査ロボットや災害救助ロボットに求められる特質の一つである。また、一般的に、群ロボットは小型ロ

ボットから構成されており、輸送が容易でありかつ通路が狭い状況においても機能するなど、惑星探査ロボットや災害救助ロボットに必要な条件を兼ね備えている。さらに、プログラムを変えるだけでさまざまな状況に対応できるので、惑星探査ロボットや災害救助ロボットとしての期待は大きい。

さて、群ロボットの大きな特徴の一つは、ある割合のロボットが故障しても仕事に差し支えないという頑健さをもっていることであるが、大部分のロボットが故障してしまうと達成すべき仕事をこなせなくなってしまう。群ロボットの使用が想定される惑星探査や深海底探査や災害救助においては、非常に過酷な状況が考えられる。例えば、惑星探査や宇宙空間での作業においては、高レベルの放射線が存在しているもとでの作業が要求される。また、災害救助における大きなニーズの一つに、原子力発電所の事故現場での救助ロボットあるいは原子力発電システムへの修復ロボットの開発がある。原子力発電所の事故において、一番の問題点は言うまでもなく、放射

\* 大学院工学研究科知能システム工学専攻

\*\* 大学院工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻

\* Human of Artificial Intelligent Systems Course,  
Graduate School of Engineering

\*\* Nuclear Power and Energy Safety Engineering  
Course, Graduate School of Engineering

表1 放射線の種類と遮断材。

放射線	主な線源のエネルギー	遮蔽素材
$\alpha$ 線	約 5[MeV]	紙
$\beta$ 線	0.018~2.27[MeV]	アルミ
$\gamma$ 線	0.00591.17[MeV]	鉛, コンクリート
中性子	—	水

線の存在である。それゆえ、宇宙空間や原子力発電所の事故現場などの高レベルの放射線が存在する極限状況下でも、動作する小型ロボットの開発が必要とされる。

高レベルの放射線下で作動する小型ロボットの開発においては、ロボット自体の被爆の問題もあるが、自律分散型の知能をにやう CPU が放射線により誤動作あるいは破壊されて、動かなくなる点が一番大きな問題である。

ここでは、放射線下での CPU の耐久性を調べた。Microchip Technology 社の PIC マイクロコンピュータは小型でコストパフォーマンスが良いため、群ロボットの CPU として用いられることが多いマイクロコンピュータである。そこで、PIC マイクロコンピュータの中でも広く使用されている 16F84A と 12F675 の  $\gamma$  線への耐久性を調べた。

## 2. 放射線と回路素子

放射線には、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、X、陽子、中性子線がある<sup>[2][3]</sup>。 $\alpha$  線は He の裸の原子核、 $\beta$  線は電子、 $\gamma$  線と X 線は電磁波、陽子線は陽子、中性子線は中性子である。 $\gamma$  線と X 線は発生のしかたが異なり、一般に  $\gamma$  線のほうが高エネルギーである。 $\gamma$  線は原子核の  $\beta$  崩壊後に原子核から発生し、X 線は外部からエネルギーを吸収し励起した電子から発生する。また、放射線は電荷を持つ荷電粒子と電荷を持たない非荷電粒子に分類できる。 $\alpha$ 、 $\beta$ 、陽子線は荷電粒子に、 $\gamma$ 、X、中性子線は非荷電粒子に分類される。荷電粒子は原子からクーロン力をうけるため透過力は低い。表1に、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、中性子線の代表的なエネルギー、一般に遮蔽に用いられる物質をまとめておく。ここでは透過力が強かつ放射線としての取り扱いが比較的容易な  $\gamma$  線に注目して、耐久試験をおこなった。

$\gamma$  線は放射性物質から得ることができる。放射性物質は自発的な核反応を起こす物質であり、放射線の種類によって  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  線源に分類される。本研究では、 $\gamma$  線源としてセシウム 137 ( $^{137}_{55}\text{Cs}$ ) (0.662MeV) をもちいた。セシウム 137 はウランの核分裂によって得られる。ウラ

ン (U) が核分裂を起こすと、質量数が 90~100 の原子核と 135~145 の原子核の 2 つに分裂する場合が多い。これらの原子には中性子が多く不安定である、そこで遅発中性子の放出や中性子が陽子と電子に分裂し電子を放出する  $\beta$  崩壊を行うことで安定しようとする。核分裂片にテルル 137 が生じると、 $\beta$  崩壊を繰り返しヨウ素 137、ゼノン 137、セシウム 137 の順に変化する<sup>[4]</sup>。

### 2.1 放射線による集積回路へのダメージ

放射線による回路素子のダメージを考える。ガンマ線と物質の相互作用としてトムソン散乱、光電効果、コンプトン効果、電子対生成、光核反応が知られている。トムソン散乱は電磁波が物質の軌道電子にあたり方向を変える現象である。このとき電磁波はエネルギーを失わず、電子は影響を受けない。光電効果は光電吸収とも呼ばれ電磁波が原子に吸収される。吸収された電磁波のエネルギーは軌道電子にうけわたされ軌道を外れる。コンプトン効果は電磁波と軌道電子との相互作用である。軌道電子は電磁波のエネルギーの一部を受け取り原子の軌道から外れる。一方、電磁波はエネルギーを失った分波長が長くなり散乱される。電子対生成は高エネルギーの電磁波が物質中で一対の電子と陽電子に変化する現象である。この現象には陰陽電子 2 個分のエネルギー 1.02[MeV] 以上が必要である。さらに 10[MeV] の強力な電磁波は原子核の団結を断ち切る光核反応を引き起こす。

今回使用した線源ではトムソン散乱、光電効果、コンプトン効果が集積回路の内で発生することが考えられる。集積回路では 1 次的なデータの保存に RAM を使用する。RAM は情報の保存を電荷の蓄積で行っている。光電効果、コンプトン効果の結果、電子が放出されると RAM などの bit 化けを起こす可能性がある。

## 3. 放射線源の較正実験

実験に使用した線源の放射能の強さを正確に求めるために、放射能線源の較正実験をおこなった。放射線の強さが分かっている基準線源と比較することで放射線源の放射能の強さを求めた。具体的には、線源から一定距離に  $\gamma$  線観測装置を設置し、対象線源と基準線源で同一時間カウントし、その比率から放射能の強さを計算した。図1に実験の模式図と実物の写真を示す。線源とシンチレータを 30cm 離して設置し 600 秒間カウントした。シンチレータは蛍光体封入管、光電子増倍管 (PMT)、多

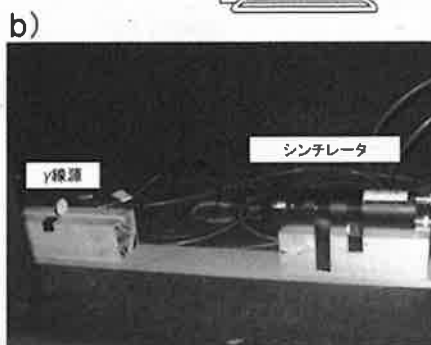
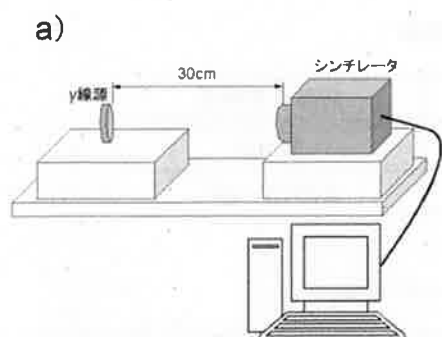


図1 放射線源の校正実験. a) 模式図, b) 実験装置の写真.

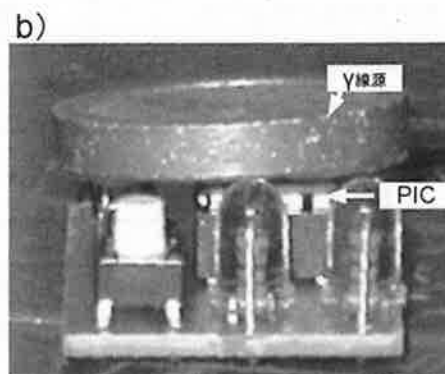
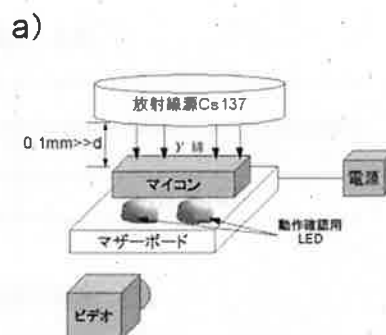


図2  $\gamma$ 線照射実験. a) 模式図, b) 実験装置の写真.

重パルス高分析器から構成され、 $\gamma$ 線が入射すると蛍光体原子が励起される。蛍光体は吸収したエネルギーに応じて光を発する。この光は光電子増倍管で電気信号に変えられ、多重パルス高分析器に送られ、放射線量がカウントされる。実験は外光が入らないように暗室でおこなった。使用した放射能線源の強さは  $2.3173 \times 10^5$  [Bq] であった。

#### 4. マイクロコンピュータ (PIC) への照射実験

マイクロコンピュータとしては、PIC (Peripheral Interface Controller) とよばれる CPU をもちいた<sup>[5]</sup>。今回使用した PIC は、Microchip Technology 社製の 8 ビットマイクロコンピュータの一種であり、主に周辺機器をコントロールするマイクロコントローラに分類され、小型ロボットなどの制御にも使われる。PIC には、ベースラインシリーズ (命令長 12 ビット)、ミッドレンジシリーズ (命令長 14 ビット)、ハイエンドシリーズ (命令長 16 ビット) など多様なレンジのマイクロコンピュータが存在する。(さらに 16 ビット 32 ビットの物も存在する。) ここでは、ミッドレンジシリーズに属する PIC12F675 と PIC16F84A を用いた<sup>[6][7]</sup>。PIC は、演算処理ユニットのみならず、プログラムメモリ、データメモリ、入出力ポート (I/O Ports) などを内蔵しており、電源を供給するだけで動作する。表 3 に今回もちいた PIC の性能を

まとめておく。

$\gamma$ 線を照射したとき、PIC が正常に動作するかをモニターする実験をおこなった。PIC が正常に動作しているかどうかは、PIC に LED を接続し、LED を一定間隔で順番に点滅させるプログラムを走らせ、LED の点滅をビデオでモニターする方法で判断した。また、 $\gamma$ 線の照射は線源を PIC の上に直接置いておこなった。(図 2 を参照)

パッケージの表面を 0.7mm 削った PIC を照射実験に用いた。これは、パッケージを削ることにより、トランジスタ部分により多くの  $\gamma$ 線を照射できるようにするためである。削る量は、パッケージ内の配線を傷つけずかつ、最大になるように決定した。

LED を点滅させるために使用した PIC マイコン (PIC12F675, PIC16F84A) 用マザーボードの回路をそれぞれ図 3, 図 4 に示す。この回路は PIC マイコン、振動子 (セラロック 20MHz)、LED から構成される。回路は接触不良による誤動作をなくするためにプリント基板で作成した。パーツをマザーボードに実装した実験用回路 (12F675, 16F84A) の写真をそれぞれ図 5, 図 6 に示す。

4つの LED を順番に点滅させるプログラムは、C 言語を用いてプログラミングした。動作確認用のプログラムを付録に示す。コンパイラは PICCLite バージョン 9.50PL2 を使用した。PICCLite は HI-TECH Software

表2 実験に用いた放射線源の放射能。

	基準線源	計測対象線源
パルスカウント数	28474	21162
放射能 [Bq]	$3.118 \times 10^5$	$2.3173 \times 10^5$

表3 実験に使用したマイクロコンピュータの性能。

マイクロコンピュータ	16F84A-20/P*	12F675-1/P*
最大動作周波数 (MHz)	20	20
フラッシュメモリ (ワード)	1024	1024
データメモリ (byte)	68	64
動作電圧 (V)	2~6	2~5.5
動作温度 (°C)	0~70	-40~85

\*20/P は 20MHz までの動作が確認されたもので他に 04P (4MHz まで動作) などがある。I は温度レンジを示す (-40~85 °C, -のときは 0~70)。また P は PDIP (プラスチックパッケージ) を意味している。

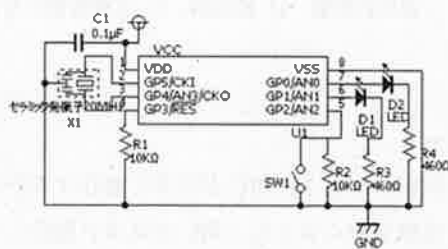


図3 12F675用のマザーボードの回路図。

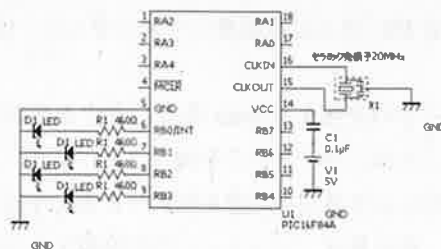


図4 16F84Aのマザーボードの回路図。

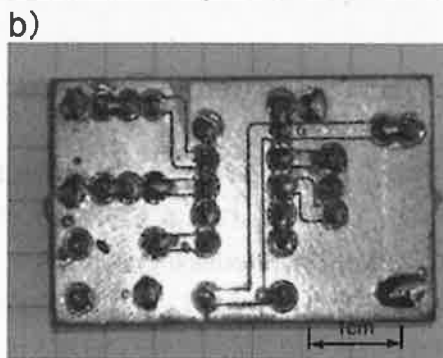
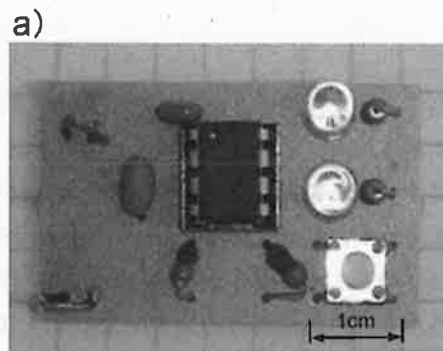


図5 PIC12F675用マザーボード。a) 部品を実装した面、b) パターン面。

社のC言語用コンパイラであり、これは商用のPICCの機能を限定し、無料で使用できるようにしたものである。なおPIC12F675とPIC16F84Aに関しては制限なしで使える。実行ファイルはPIC12F675が799バイト、PIC16F84Aが1079バイトであった。

γ線をPIC12F675、PIC16F84Aにそれぞれに連続1週間照射して、4つのLEDが順番に点滅しなくなる誤動作が生じないかを調べた。プログラムによって、LEDを連続点滅させているので回路素子の一部にダメージを

受けると、プログラムの暴走によりLEDの点滅が見られなくなると考えられる。ここでは、4つのLEDが順番に点滅しているときは、PICはダメージを受けていないとみなしている。さらに、回路が正しく動作しているかを正確にチェックするため、初日と最終日を含む5日分のビデオ撮影した3分間の動画を詳細に調べた。実



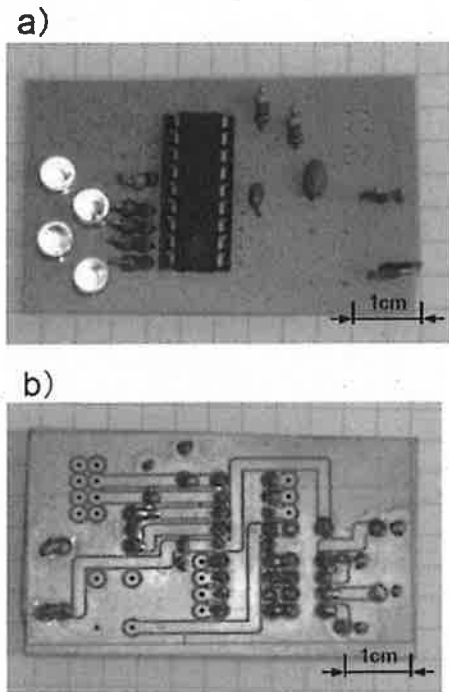


図6 PIC16F84A 用マザーボード。a) 部品を実装した面、b) パターン面。

験を記録したビデオを解析したが順番の逆転等の誤動作は確認できなかった。

## 5. まとめと展望

ロボットに搭載するマイクロコンピュータに放射線をあて動作を観察した。マイクロコンピュータは Microchip Technology 社の PIC12F675I/P と PIC16F84A-20/P を使用した。マイクロコンピュータの動作を確認するための簡単な回路とプログラムを作成した。回路には LED を搭載し、これを順に点灯させることでマイクロコンピュータの動作確認をおこなった。実験に使用した  $\gamma$  線源は較正実験を行い放射能の強さを測定した。測定はあらかじめ放射能の強さがわかっている別の線源と比較する方法をとった。実験に使用した放射線源は  $6.26303905[\mu\text{Ci}]$  であった。この実験ではマイクロコンピュータの故障および誤動作は確認できなかった。

誤動作がみられなかった要因として 1) 放射線の出力が足りなかった 2) マイクロコンピュータの全ての機能が正常に動作しているかをチェックするプログラムになっていないなどが考えられる。1) について、今回使用した放射線源は  $6.26[\mu\text{Ci}]$  で胸部レントゲンの  $0.1[\text{mCi}]$  と比べて小さい。2) について、今回の実験ではマイクロコンピュータの単純な動作について調べており、加算

演算、ビットシフト演算を行い IO ポートに出力するというものであったため、使用したメモリが少なくビット化けがあっても正常に動作しているようにみえる可能性がある。今後マイクロコンピュータの全ての機能を使用するようにプログラムにも改良の余地がある。

救助ロボットが活動する場面は人間が立ち入れない極限状態が想定される。今回の実験では、限られた実験条件ではあるが極限状態の一種である放射線照射下でロボットの頭脳にあたる CPU が正常に動作することを確認できた。しかし今回の実験は、特定のマイクロコンピュータへの  $\gamma$  線照射実験であった。PIC は集積度がそれほど高くないので、より集積度が高く誤動作を起こしやすい CPU (例えば Intel Core2 Duo) や  $\gamma$  線以外の放射線によるマイクロコンピュータの誤動作を調べる実験をおこないたい。また、今回はマイクロコンピュータに直接  $\gamma$  線を照射する実験であったが、より現実的な状況 (救助ロボットへ CPU を搭載した状況) での放射線下でのロボットへの影響を調べることも必要であろう。さらに、惑星探査ロボットなどを視野に入れた場合、振動や温度・湿度によるロボットへの影響を調べることも重要である。今後、様々な極限状況下で活躍できる群ロボットの開発のための基礎データを収集したいと考えている。

## 謝辞

較正実験を手伝っていただいた前川祐希君、さまざまな議論をしてくださった西川嗣雄教授、田中ダン講師、知能システム工学科非線形科学研究室、原子力工学専攻放射線粒子物理実験室のメンバー皆様に感謝します。

## 参考文献

- [1] F. Mondada, L. M. Gambardella, D. Floreano, S. Nolfi, J.-L. Deneubourg, and M. Dorigo: IEEF Robotics & Automation Magazine, 12-2,21 (2005).
- [2] 安西育郎: 図解雑学放射線と放射能, ナツメ社 (2007)
- [3] 竹田敏一: 図解雑学原子力, ナツメ社 (2002).
- [4] 日本アイソトープ協会: アイソトープ便覧, 丸善 (1984).
- [5] 後関哲也: 電子工作のための PIC 活用ガイドブック, 技術評論社 10-13(2000).
- [6] Microchip Technology: PIC12F629/675 Data Sheet, Microchip Technology (2003).



[7] Microchip Technology: PIC16F84A Data Sheet, Microchip Technology (2001).



Micrograph of a PIC16F84A microcontroller chip. The chip is a square integrated circuit with a central square area containing a grid of small, dark, rectangular features, likely representing the die or internal circuitry. The surrounding area is lighter and shows some surface texture.

Micrograph of a PIC16F84A microcontroller chip. The chip is a square integrated circuit with a central square area containing a grid of small, dark, rectangular features, likely representing the die or internal circuitry. The surrounding area is lighter and shows some surface texture.

Micrograph of a PIC16F84A microcontroller chip. The chip is a square integrated circuit with a central square area containing a grid of small, dark, rectangular features, likely representing the die or internal circuitry. The surrounding area is lighter and shows some surface texture.

Micrograph of a PIC16F84A microcontroller chip. The chip is a square integrated circuit with a central square area containing a grid of small, dark, rectangular features, likely representing the die or internal circuitry. The surrounding area is lighter and shows some surface texture.

Micrograph of a PIC16F84A microcontroller chip. The chip is a square integrated circuit with a central square area containing a grid of small, dark, rectangular features, likely representing the die or internal circuitry. The surrounding area is lighter and shows some surface texture.

Micrograph of a PIC16F84A microcontroller chip. The chip is a square integrated circuit with a central square area containing a grid of small, dark, rectangular features, likely representing the die or internal circuitry. The surrounding area is lighter and shows some surface texture.

Micrograph of a PIC16F84A microcontroller chip. The chip is a square integrated circuit with a central square area containing a grid of small, dark, rectangular features, likely representing the die or internal circuitry. The surrounding area is lighter and shows some surface texture.

Micrograph of a PIC16F84A microcontroller chip. The chip is a square integrated circuit with a central square area containing a grid of small, dark, rectangular features, likely representing the die or internal circuitry. The surrounding area is lighter and shows some surface texture.

Micrograph of a PIC16F84A microcontroller chip. The chip is a square integrated circuit with a central square area containing a grid of small, dark, rectangular features, likely representing the die or internal circuitry. The surrounding area is lighter and shows some surface texture.

Micrograph of a PIC16F84A microcontroller chip. The chip is a square integrated circuit with a central square area containing a grid of small, dark, rectangular features, likely representing the die or internal circuitry. The surrounding area is lighter and shows some surface texture.

## 付録1 PIC12F675 動作プログラム

```

#include<pic.h>
#include"delay.h"
__CONFIG(UNPROTECT & BOREN & MCLRDIS & PWRTEN & WDTDIS & INTIO);
__IDLOC(0100);
ioport(){
    TRIS0=0;
    TRIS1=0;
    ANSEL=0x00; /*all is digital_IO*/
}
main(){
    char i=0;
    ioport();
    while(1){
        for(i=0;i<4;i++){
            GPIO=i;
            DelayMs(500);
            DelayMs(500);
            GPIO=0;
            DelayMs(500);
        }
    }
}

```

## 付録2 PIC16F84A 動作プログラム

```

#include<pic.h>
#define DILAY 25000000
__CONFIG(UNPROTECT & PWRTEN & WDTDIS & HS);
main(){
    int i,j;
    TRISA=0xff;
    TRISB=0x00;
    while(1){
        PORTB=0x01;
        for(i=DILAY;i>0;--i);
        for(i=DILAY;i>0;--i);
        for(i=DILAY;i>0;--i);
        for(i=DILAY;i>0;--i);
        for(j=0;j<4;++j){
            PORTB<<=1;
            for(i=DILAY;i>0;--i);
            for(i=DILAY;i>0;--i);
            for(i=DILAY;i>0;--i);
            for(i=DILAY;i>0;--i);
        }
    }
}

```



画像処理技術説明のためのキャラクター捜し  
アミューズメントデモンストレーションシステムの実装  
- 研究テーマの理解を促すアミューズメントデモンストレーションシステム  
作成プログラムを受講して -

小枝 兼二\* 黒岩 丈介\* 小倉 久和\* 小高 知宏† 白井 治彦\*\*

The Implementation of the Character Search Amusement Demonstration  
System for the Purpose of Explaining Image Processing Techniques

- Attending PBL Lecture "Construction of Amusement Demonstration  
System in Promoting Investigation"-

Kenji KOEDA\* , Jousuke KUROIWA\* ,  
Hisakazu OGURA\* , Tomohiro ODAKA† and Haruhiko SHIRAI\*\*

(Received January 31, 2008)

In this paper, we construct the character search amusement demonstration system in explaining basic image processing techniques for the PBL lecture. At the Graduate School of Engineering, University of Fukui, new program for graduate student, PBL, starts on last October. One of lectures at the Department of Human and Artificial Intelligent Systems opens a course, "Construction of amusement demonstration system in promoting an investigation" as one part of PBL. The main purpose of the lecture is to construct an amusement demonstration system which helps better understand into our investigation for people. My major field is in medical image processing, and especially, I investigate 3D filter design for CT images in improving visibility of RI capsules in prostate cancer treatment. Then, in explaining my study for undergraduate students, it is important to induce interest in image processing techniques. Therefore, we construct the character search amusement demonstration system. Through the lecture for 1st degree undergraduate students, I introduce my major field by means of the system. The system is quite useful to explain and almost students exhibit interest in my major field.

**Key words :** Character Search, Amusement Demonstration System, Image Processing Techniques, PBL

## 1. はじめに

大学では、毎年オープンキャンパスを開催している。我々の研究室でもどのような研究を行っているのかを紹介しているが、一般の人に専門的な話しをしても十分な理解が得られるとは考えにくい。どんなに研究紹介者の説明が優れたものであったとしても限界がある。本年度より、本学では、PBLという講義がいくつか行われており、自分の研究を受講学生に分かりやすく説

\*工学研究科知能システム工学専攻

†工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻

\*\*工学部技術部

\*Department of Human and Artificial Intelligent System

†Nuclear Power and Energy Safety Engineering Course

\*\*Department of engineering

明することを目的としたアミューズメントデモンストレーションシステムを用いて研究室紹介をする講義が開講された。

自分の研究は、医用画像の劣化している部分をフィルタリング処理により画像を改善させることで医師を支援するというものである。自分の研究を紹介する際、口頭で画像処理のアルゴリズムを説明しても、十分な理解を得られるとは考えにくく、なかなか興味を持って聞いてもらうのは難しい。そこで、一般的によく目にする画像合成処理手法を紹介した方が興味を引けるのではないかと考えた。よって、自分の研究を理解してもらうことを第一とはせず、画像処理に興味を持ってもらうことに最重点をおいたアミューズメントデモンストレーションシステムを作成することとした。

本報告では、この講義の一部として実施している、知能システム工学入門セミナーの研究室紹介において、自分の研究を受講学生に分かりやすく説明するために作成したアミューズメントデモンストレーションシステムの実装方法を説明し、そのシステムを使用しての成果を報告する。

## 2. アミューズメントデモンストレーションシステムの実装方法

### 2.1 システムの作成までの経緯

自分の研究は、医療機関で実際の治療に用いられている医用画像を対象にしている。自分の研究対象の医用画像は、前立腺癌治療の小線源療法で扱われているもので、医師はその画像を用いて放射線源カプセルの配置と個数の調査を行っている。画像撮影の際、アーチファクトが発生し、画像に悪影響を与え、医師の作業を困難なものにしている。研究内容は、フィルタリング処理によりこのアーチファクトを軽減し、画像を改善させることで医師を支援するというものである。

自分の研究を紹介する際、パネル盤を用いて口頭でフィルタリング処理の詳細・研究目的を説明しても、十分な理解を得られるとは考えにくく、研究に対する興味を持ってもらうことは期待できない。それよりも、一般に身近でよく見られる画像合成処理を紹介した方が、より画像処理技術についての興味を引けるのではないかと考えられる。よって、ここでは、自分の研究を理解することを第一とはせず、画像処理に興味を持ってもらうことを最重点としたアミューズメントデモンストレーションシステムを作成することとした。

### 2.2 システムの作成方針

自分の研究で扱っている画像は、CT 医用画像でモノクロ画像である。聞く人によっては、医用画像に抵抗を

持つ人がいることも考えられる。またモノクロ画像よりカラー画像の方が聞く人の興味を引くのではないかという考えから、アミューズメントデモンストレーションシステムでは RGB カラー画像を扱う。なお、display 環境の関係から最大階調値は 255 である<sup>[1]</sup>。

アミューズメントデモンストレーションシステムで説明する内容は、最も馴染のあると思われる画像の合成を用いる<sup>[2]-[4]</sup>。ただ合成するだけでは面白みに欠けるため、合成する際、合成する画像の画像濃度を下げる。画像濃度を下げることで、合成した画像が背景画像にあたかも隠れているように錯覚させる合成画像を作成することが可能となる。これにより、指定の画像がどこに隠れているのかを捜す「マーフィを捜せ」のようなキャラクター探しゲームが完成する。このような、キャラクター探しゲームを行いながら、どのようにしてこのような画像生成を実現したかを説明することで、画像合成手法についての理解、ひいては画像処理への興味を深めてもらうことを狙いとしている。

### 2.3 画像の合成方法

一般に、デジタル画像は、画素値と呼ばれる画素の色を数値変換したもので表現されている。モノクロの場合、0 は黒を表し、255 (最大階調値が 255 の場合) は白を表す。カラーの場合、画素の色は赤、緑、青の三つの画素値の組み合わせで構成される<sup>[5], [6]</sup>。例を挙げると、赤の画素値が 255、緑の画素値が 255、青の画素値が 0 の場合は黄色を表し、赤の画素値が 255、緑の画素値が 0、青の画素値が 255 の場合は紫を表す。

背景画像の合成したい位置の画素値と合成したい画像の画素の和を取ることで画像の合成を実現するが、ただ単純に和を取るだけでは合成画像は作成できない。なぜなら、合成位置の画素値は必ずしも 0 ではないため和を取ったとき、その位置の画素値が最大階調値を超えてしまい、和の値が本来の意味を持たなくなる可能性があるからである。ゆえに次のような前処理が必要になる。

1. 合成したい画像にエッジ抽出フィルタをかけ、画像の輪郭を明らかにして輪郭の外側を 0 に設定する。画像によっては画像の輪郭が明らかになりにくいものがあるが、本システムでは輪郭が比較的はっきりしているものを扱う<sup>[7]</sup> (図 1 参照)。
2. 1 の方法で処理した画像にエッジ抽出フィルタをかけ、画像の輪郭を明らかにして輪郭の内側を 255 に設定する (図 2 参照)。
3. 2 の方法で処理した画像の画素値と背景画像の合成位置の画素値の和を取る。このとき、合成位置の

画素値は255以上になっているため、合成位置の画素値をすべて0にする。

以上の前処理を行うことで、合成したい画像の画素値と背景画像の合成位置の画素値の和を取るだけで合成画像を作成することができる。

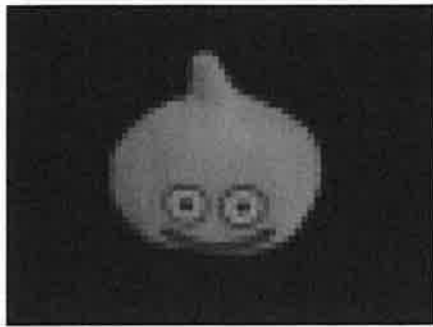


図1: 合成手順1の方法で処理した画像

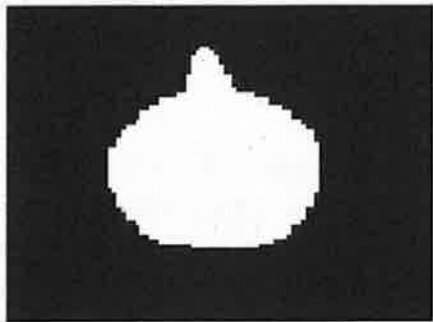


図2: 合成手順2の方法で処理した画像

#### 2.4 目の錯覚を利用したキャラクターの隠し方

合成する画像の濃度は任意のパラメータ  $s, t$  を使って次式で与えられる。

$$F(x) = (s \times G(x) + t \times H(x)) / (s + t) \quad (1)$$

$F(x)$  : 合成画像の画素値,

$G(x)$  : 合成する画像の画素値,

$H(x)$  : 背景画像の合成位置の画素値

式(1)において  $s = 0, t = 1$  と設定すると背景画像のみが写った画像が得られ、 $s = 1, t = 0$  と設定すると1対1の割合で合成した単純合成画像が得られる。このことは式から容易に理解できる。 $s$  と  $t$  が共に0ではないとき、合成した画像が背景画像に隠れているように見える。なぜなら、例えば一面に一色で塗られた画像があるとす。この画像の画素値を  $f(r, g, b)$  とす。  $r$  は赤の画素値、 $g$  は緑の画素値、 $b$  は青の画素値を表

す。  $f(r, g, b) = f(r+0, g+0, b+0)$  より一面一色に塗られた画像は一面黒の画像(黒の画素値は赤、緑、青ともに0)に合成した画像であると考えることができる。赤、緑、青の画素値を一定の割合で下げていくと色が濃くなっているように見えるが、実際には画素値は下がっている。これは、合成する画素値の割合を下げることで(実際はそうではないが)、背景画像の画素値の割合が高くなることにより、目の錯覚が起こったためである。この錯覚を用いて合成した画像が背景画像に隠れているように見せる。これにより、キャラクター画像を、あたかも背景画像に隠れているように見せかけることが可能となり、キャラクター探しゲームとなる。

パラメータによっては、合成した画像が見えやすかったり、見えにくかったりすることがあるため、2つのパラメータは、セミナーの際の受講学生の反応や、キャラクター探しの成績を見てその都度変更を行う。

#### 2.5 画像合成の処理手順

以下に、具体的画像合成処理手法を与える。

1. 背景画像、合成する画像に前処理した2つの画像(2.3参照)をそれぞれ読み込む。
2. 合成画像濃度をコントロールするパラメータ  $s, t$  の値を決定する。
3. ランダム関数を用いて合成位置を決定する。その際、一つ、一つのキャラクターの合成位置が一切重ならないようにする。
4. 背景画像に対象画像を、2.2節及び、2.3節の手法を用いて合成する。
5. 合成した画像を結果として出力する。

### 3. 実装結果

#### 3.1 作成したキャラクター探しアミューズメントデモンストレーションシステム

システムには図5のようなRGBカラー画像を用いる。この画像に11種類のキャラクターを合成する。画像濃度を1対1の割合にして合成すると図6のような画像が得られる。また、画像濃度を5対1の割合にして合成すると図7のような画像が得られる。こうすることで、背景画像に合成した画像があたかも隠れているように思わせる合成画像を作成することが可能である。

入門セミナーでは、背景画像に対して、合成画像の画像濃度を下げて合成した画像を用いて、作成したシステムを体験してもらう。



図 3: 対象画像



図 4: 単純に合成した画像



図 5: 画像濃度を下げて合成した画像

### 3.2 入門セミナーでの運用

入門セミナーは週1回の計7回行い、受講学生の反応を見ることにより自身のプレゼンテーション、システムの成果を毎週の進捗報告会で担当教官に報告し、改善が必要ならば改善を行った。以下は、入門セミナーを7回行った際の受講学生の反応から得られたものである。なお作成したシステムは研究内容を簡潔に説明した後に実際に画像処理に触れるといった形で行った。

自分の研究内容を紹介したところ、医用画像の存在、フィルタリング処理を知っている学生はほとんどおらず、自分の研究を簡潔に説明してもただ聞いているだけで、研究に対する理解はほとんど得られなかったと思われる。アミューズメントデモンストレーションシステムで扱った画像合成処理は、受講学生にはやはり馴染のあるものだったらしく、処理前のカラー画像を紹介しただけでかなり学生の反応に著しい変化が見られた。処理後の画像にも非常に興味を示し、システム(キャラクター探し)をかなり夢中になって体験してくれていたように思われた。

### 4. 考察

今回、研究に興味を持ってもらうことを第一として、キャラクター探しアミューズメントデモンストレーションシステムを作成した。作成したシステムを入門セミナーの中で実際に運用することで、受講学生に興味を持ってもらえた。

プレゼンテーション能力が向上したかは定かではないが、回を重ねることでコミュニケーション能力の向上が見られた。また改めて無からシステムを作成することで、新しいシステムの設計方法や実現方法を考えるきっかけが得られた。

回を重ねるごとにコミュニケーション能力、プレゼンテーション能力は確かに向上すると思われるが、系統的教育とは異なり、少人数のグループに分けて行うため、均質な学習効果が与えられることが困難である。また、受講学生からの評価を聞く場がもうけられなかったため、改善すべき点を、自分の判断のみでしか行うことができなかった。

実装したシステムにおいて、合成そのものに問題は生じなかったが、システムの難易度の点で問題があった。難易度は画像濃度を変更することで実現した。画像濃度を変更する点では問題は生じなかったが、問題となったのは合成位置であった。画像位置はランダム関数を用いて決定しているため、どこに合成されるかをあらかじめ知る方法はない。そのため背景画像によっては入り組んだ位置に合成されることがあり、合成キャラクターが見に



くくなるといった事象が発生する。それにより本来想定していた難易度よりも難易度が上がる可能性がある。つまり難易度は画像濃度だけでは計ることはできないのである。結局この問題は解決することができず、課題として残ることとなった。

#### 参考文献

- [1] 渡辺孝志：カラー画像を 256 色で近似表示するための高速なアルゴリズム，電子情報通信学会論文誌 D j70-D-4， pp.720-726， (1987).
- [2] 苗村健，金子正秀，原島博：光線記述に基づく仮想光源画像の合成，映像情報メディア学会誌 52-9， pp.1328-1335， (1998).
- [3] 富山雅光，村上伸一：D-11-109 人物と背景画像の合成法に関する一検討，電子情報通信学会総合大会講演論文集，情報・システム， 2001-2， 109 (2001).
- [4] 細村宰，長谷川泰敏：高周波成分に着目したマルチセンサ画像の融合，電子情報通信学会総合大会講演論文集，情報・システム， 1995-2， 148 (1995).
- [5] 富永昌治：カラー画像の色分類と分割，情報処理学会論文誌 31-11， pp.1589～1598， (1990).
- [6] 高橋圭子，阿部圭一：ISODATA クラスタリング法を用いたカラー画像の領域分割，電子情報通信学会論文誌 D j82-D2-4， pp.751-762， (1999).
- [7] 井上誠喜：画像合成のための対象物抽出法，電子情報通信学会論文誌 D j74-D2-10， pp.1411-1418， (1991).

...the ... of ...  
...the ... of ...  
...the ... of ...

...

...the ... of ...  
...the ... of ...

...the ... of ...  
...the ... of ...

...the ... of ...  
...the ... of ...

...the ... of ...  
...the ... of ...

...the ... of ...  
...the ... of ...

...the ... of ...  
...the ... of ...

...the ... of ...  
...the ... of ...

## 連文節に基づく辞書にない読みで入力された単語の検出アルゴリズム

— 日本語初学者における日本語入力及び日本語学習支援システム —

劉 棋\* 張 小剛\* 黒岩 丈介\* 小倉 久和\* 小高 知宏† 白井 治彦\*\*

### The Detection Algorithm of a Word Input by a Different Reading Based on Compound Clauses

—Japanese Input in the Japanese Abecedarian and a Japanese Learning Support System—

Ki RYU\* , Syougo TYO\* , Jousuke KUROIWA\* ,  
Hisakazu OGURA\* , Tomohiro ODAKA† , Haruhiko SHIRAI\*\*

(Received January 31, 2008)

There are too many Japanese kanjis which have more than 2 ways to read. For a foreign Japanese learner, it is difficult to remember all the ways to read the kanji. When the foreign Japanese learners want to input a word which they don't know the way to read, they have to input the kanji by transferring it from another word which include the same kanji but another way to read, or by looking up a paper dictionary. It is unfavorable for them to cost so much in Japanese study. In order to solve these problems, we provide the inputers a Japanese input assistant system to give a suggestion when they input a word which is not defined in the dictionary of the system. In this study, both the matters in the process of studying Japanese and problems of Japanese input system for foreign learners were discussed. In order to solve these problems, we proposed an algorithm for present Japanese input and study-support systems. This algorithm distinguishes the spellings of compound clauses, which cannot be found in dictionaries, and what is more, the validity of it is tested and verified by simulation experiments.

**Key words :** Foreign Learners, Beginner, Japanese Input, Study-Support System, Algorithm

#### 1. はじめに

現在, 日本への海外からの留学生はますます増加している。更に, パソコンとインターネットが急速に普及することによって, 日本国内の外国人がパソコンで日本語を入力する機会が増えている。特に, 留学生の場合は, ほとんどのレポート及び論文をパソコンを用いて日本語で作成する。日本語を入力する際には, キーボードを用いる。キーボード以外にも, ライトペン, タッチパネル, 音声入力システムなど様々あるが, まだ, キーボードが最も有力な入力装置である。キーボードを用いた日本語入力方式には, 主にカナ文字入力とローマ字入力があり, 読みを分かっている人にとっては, 効率的な入力方式と言える [1]。しかしながら, 漢字は, その読み方を知らないと入力することができない。更に, 漢字系言語を母国語としている人にとっては, 漢字を含む単語個々の母国語での読みは分かるが, その単語全体としての日本

\*工学研究科知能システム工学専攻

†工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻

\*\*工学部技術部

\*Department of Human and Artificial Intelligent System

†Nuclear Power and Energy Safety Engineering Course

\*\*Department of engineering

語読みを知らない単語が多数存在する。このような場合に、パソコンで所望の漢字単語を入力するためには、通常は母国語もしくは異なる日本語での読みで個々の漢字を入力し、目的の単語入力を完成する。このように、非常に労力の要る作業となる。つまり、読み方による入力方式は、留学生日本語学習者にとっては必ずしも便利な入力方式とは言えない。むしろ、日本語の漢字の読み方がよく分からない日本語初学者にとっては非常に難しい方法である。

例えば、「生物」を入力する際に、辞書に記載している読みである「せいぶつ」が分からないものとする。このような状況では、漢字「生」と漢字「物」を読み「なま」と「もの」で別々に入力し、目的の単語「生物」が得られる。また、単語「時間」の読み「じかん」が分かるが、単語「間」の読み「あいだ」を知らないとする、「時間」を入力して、「時」を消して「間」を残す。このような辞書にない読みで入力するといった不適切な方法は大変手間がかかるだけでなく、その単語あるいは漢字の辞書読みが分からないまま、入力が終わってしまう。漢字の単独の読みあるいは単語の読みを覚えるまで、同じように手間のかかる方法で入力しなければならないため、日本語学習の面でも好ましい状況ではない。

日本語には漢字が複数の読みを持つという特徴があるので、留学生のような日本語初学者は漢字のすべての読みを覚えることは困難である。このような問題を解決するための一手法として、我々は日本語初学者が日本語を入力する際、単語漢字の本来の読みと異なる読みで入力した場合、その単語あるいは漢字の本来の読みを入力者に提示し、正しい読みを学習しながら記憶してもらい、後で同じ単語あるいは漢字を入力する際に、本来の読みで入力できるように支援するシステムを提案し、実装してきた [2]。

しかし、このシステムに使用されているアルゴリズムの判断対象は、最後に入力された二つの単語に制限したことが原因で、辞書にない読みで入力された単語を検出できないこともある。そういった問題を解決するため、本研究では入力された文章のうちの連文節を対象に、連文節の情報に基づく辞書にない読みで入力された単語を検出アルゴリズムを提案する。更に、シミュレーション実験により、本アルゴリズムの有効性を確認する。

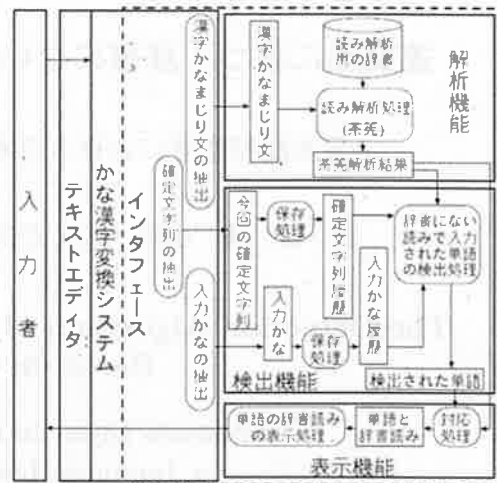


図1: システムの詳細構成図

## 2. 日本語初学者における日本語学習支援システム

### 2.1 我々が実装した学習支援システム

#### 2.1.1 システムの概要と構成

辞書にない読みで入力された日本語単語の検出・読み表示システムは、入力者に入力された単語について辞書読みで入力されたかどうかを確認する。辞書にない読みで入力された単語に対して、辞書読みを入力者に提示する。これにより、その辞書読みを覚える機会を入力者に与え、外国人日本語学習者の日本語入力及び日本語学習を支援するシステムである。

本システムの機能を図1に示す。我々が実装したシステムは、図1の点線で囲った部分に対応し、テキストエディタ、かな漢字変換システムとのインタフェースを介して動作する。図に示すように本システムは、「読み解析機能(以下「解析機能」と呼ぶ)」、「辞書にない読みで入力された単語の検出機能(以下「検出機能」と呼ぶ)及び「単語の辞書読みの表示機能(以下「表示機能」と呼ぶ)」、以上3つの機能を持つ。本システムは、UNIX上で動作し、エディタ Emacs とかな漢字変換システム Canna と連携している。システムの主要部分は、Perlで記述した。

本システムでは、辞書にない読みで入力された単語を検出するために、「インタフェース」を介して必要なデータを集め、その一部を「解析機能」で分析し、保存する。そして、これらのデータと現時点までに入力されたデータを用いて、辞書にない読みで入力された単語を「検出機能」で検出し、「表示機能」を通して辞書読みを入力者に表示する。

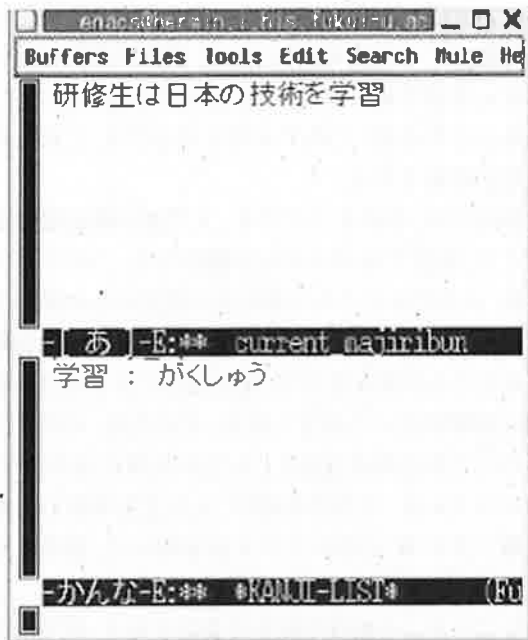


図 2: 単語の辞書読みを表示する画面

本システムを組み込んだ「Emacs」で日本語を入力する際、入力者は、入力した文字列を確定するために、リターンキーを押すと、本システムが起動される。確定された文字列には、辞書にない読みで入力された日本語単語を含んでいれば、図 2 のように「Emacs」の入力ウィンドウが二つに分かれ、辞書にない読みで入力された日本語の単語と、辞書読みが下のウィンドウに表示される。次の文の入力が始まったら、入力のさまたげにならないように下の表示ウィンドウは自動的に閉じられるようにしてある。

図 2 に示すように、本システムが起動されると、まずシステムは漢字仮名交じり文と確定された文字列（以下、確定文字列と呼ぶ）、及び入力された読み（以下「入力かな」と呼ぶ）を受け取る。漢字仮名交じり文は、テキストエディタに入力されたすべての文字のことである。確定文字列は、入力者が確定操作をしてテキストエディタにわたす文字列とする。この時、キーボードから入力された記号列すべてではなく、漢字かなまじり文を生成するのに使われた文字列だけを用いる。エスケープ記号などの制御記号は含まない。「入力仮名」は、仮名漢字変換前の文字列である。

次に、システムは、それまでに入力され確定された漢字仮名交じり文に対し形態素解析を実行して、形態素の列を生成する。本システムでは、形態素解析に「茶筌」[3]を利用する。以下では、この形態素解析システムより得られた形態素のことを、簡単のため「単語」と呼ぶ。形態素解析の対象となる漢字かなまじり文は、エディタ

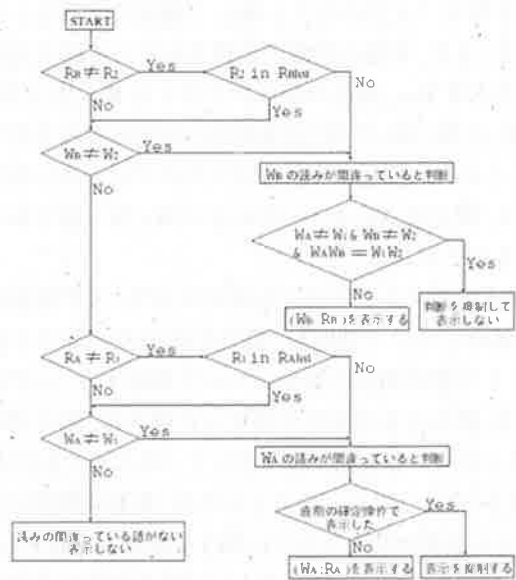


図 3: 最後の 2 語を対象とするアルゴリズムの処理の流れ

に入力されているすべての文字を対象としている。

最後に、システムは、単語ごとの辞書読みを入力かなと比較し、確定文字列の履歴を利用して入力文中の辞書にない読みで入力された単語を検出して、辞書読みを表示する。

### 2.1.2 システムに使われた辞書にない読みで入力された単語の検出アルゴリズムの説明及び問題点

前述のシステムを実現するためには、辞書にない読みで入力された単語を検出するアルゴリズムが必要となる。そのアルゴリズムは、入力者が、入力し変換した文字列を確定するためにリターンキーを押す（以下、確定操作と呼ぶ）たびに、検出処理を行う。これまでに用いていた検出アルゴリズムは、以下の通りである。

この判断アルゴリズムでは、確定操作時における最後の 2 つの語（形態素）を対象とする。具体的には、茶筌が入力文を形態素解析して出力した最後の 2 つの語とその読み、および、入力者の入力した最後の 2 つの確定文字列と入力かな文字列である。

茶筌の出力する最後から 2 つ目の語を「語 A」（以下、記号で  $W_A$  と書く）、最後の語を「語 B」（ $W_B$ ）とする。また、茶筌が出力する語 A と語 B の読みを「読み A」（ $R_A$ ）、読み B」（ $R_B$ ）とする。入力者の入力したかな文字列とそれを変換・確定した確定文字列についても、確定操作直後の最後とその 1 つ前を対象とする。最後から 1 つ前のものを「入力かな 1」（ $R_1$ ）、「確定文字列 1」（ $W_1$ ）、最

後のものを「入力かな 2」( $R_2$ ), 「確定文字列 2」( $W_2$ ) とする。また、茶筌の辞書に登録されている語 A の読みのリストを  $R_{Alist}$ , 語 B の読みのリストを  $R_{Blist}$  とする。なお、 $W_A$  と  $W_1$ ,  $W_B$  と  $W_2$  は基本的には対応するものであるが、この対応関係は一般には入力のプロセスに依存しており、例えば、 $W_1$  と  $W_2$  がともに  $W_B$  の一部であったりすることがある。

読み判断アルゴリズムを図 3 に示す。まず最後の語 B の部分について判断し、語 B の部分が一致する場合には、1 つ前の語 A の部分について判断する。いずれの場合も、読みと入力かなが異なった場合は、例えば単語「明日」について茶筌は読みとして「あした」を出す、「あす」「みょうにち」も正しいため、茶筌の辞書に登録されている語の読みリストにおける有無も考慮する。つまり、登録されている語 A あるいは語 B の読みをすべて検索し、 $R_1$  あるいは  $R_2$  とマッチする読みがあるかどうかチェックする。 $W_B$  が  $W_1$  と  $W_2$  の接続  $W_1W_2$  と等しい場合は、 $R_1$  と  $R_2$  の接続  $R_1R_2$  のかな文字列についてもチェックする。

しかし、このアルゴリズムは最も後で入力された辞書にない読みで入力された一つの単語のみ表示するので、入力者にとって覚えやすいが、最後の 2 回の確定情報しか判断対象としないので、辞書にない読みで入力された単語を検出できないことがある。日本語初学者は日本語入力際、文法的に不適切な方法で入力することがよくある。格助詞とその後の文を区切りせず連続で入力することが、その代表例の一つとなる。例えば、「魚をさばく」を入力する際、さかな」の読み方を分からずに「きんぎょ(金魚)」「をさばく」の区切りで入力してから「金魚」の「金」を削除し、目的の入力を完了する。最後の 2 語を対象とする検出アルゴリズムでは判断対象を入力直後の最後の二つの単語に制限したため、 $W_A$ ,  $W_B$  の語の境界が  $W_1$ ,  $W_2$  の境界とずれてしまい、システムは正しく動作しない。

## 2.2 本研究で提案した連文節に基づく辞書にない読みで入力された単語の検出アルゴリズム

これまでの検出手法としては、入力直前の文字のみ対象とし、仮名変換処理ごとに検出処理が行われるが、検出判断対象を最後の二つの単語に制限したことが原因で、辞書にない読みでの入力を検出できないこともある。このような問題を解決するために、今回は、入力された文(連文節)に基づく検出アルゴリズムを提案する。

入力者が日本語文書を入力する際、いろいろな方法が考えられる。単語を入力する度に確定する入力方法もあるし、単語とその後の助詞を入力し、変換してから確定

する入力方法もあるし、長いかな列を入力して一度に変換して確定する方法もある。また、読みの分からない単語あるいは漢字を入力する時、ほかの単語を借りて、入力することもある。このアルゴリズムでは、これらの状況に対応可能とする。

具体的には、次のようにする。入力者が確定操作をするごとに、検出アルゴリズムは動作する。このアルゴリズムは、入力するところと最も近い読点からの間の文を対象にし判断を行う。入力者の習慣によって、確定操作をするところが異なるので、確定操作による入力かなの分割は意味がないと考えられる。そのため、その文のすべての入力かな列を接続し、入力かな列 C を作成する。アルゴリズムは、入力かな列 C, 入力文を解析した結果の単語リスト W と読みリスト R を用いて、辞書にない読みで入力された単語を検出する。

アルゴリズムの処理手続きを要約すると、以下のような流れになる。

1. 句読点を使って、Emacs と Canna それぞれから入力された文章から最後の文(対象文 A)(入力した最新文)と入力読み(C)を取り出す。
2. 対象文 A を ChaSen で解析し、単語リスト(W)と辞書読みリスト(R)を生成
3. W 中の連続仮名を連結し、ひとつの文字列にする。(連続仮名が存在しない場合、単独の仮名文字をマッチング)
4. 作業 3 で作成した仮名文字(列)の中で、一番長いかつ C の中で同じ仮名文字(列)が一つしかない仮名文字(列)をマッチングし、それを使って A と C を分割。(分割する仮名文字(列)は文の最初と最後にある場合、文から分割する仮名文字(列)を省く)
5. 作業 4 で分割された文の各節の中で一番長いかつ C の中で一つしかない仮名文字(列)をマッチングし、それを使ってさらに A と C を分割する(二次分割)
6. 分割された各節の中に仮名文字(列)が存在しないまであるいは文の中に仮名文字(列)が存在するが、対応する C の中に同じ仮名文字(列)が一つではなく複数存在するまで、分割し続ける
7. 分割された A の各節の中に対応する C の各節の中の各単語の辞書読み R をマッチングする。なかった場合、正しくない読みで入力されたと判断し、その単語と正しい読みを入力者に表示する

例えば、入力者は「強盗は車を盗み出してから速やかに逃走した」を入力しようとして、アルゴリズムは以下のような手続きで動く。

1. 句点で文を区切り、「強盗は車を盗み出してから速やかに逃走した」の文を取り出し、対応する入力読み (C)、辞書読みリスト (R) と単語リスト (W) を検出

Canna から読み込んだ入力読み (C): つよいぬすむはしゃをぬすみだしてからはやいやかににげるはしるした. \* : □中の文字は入力後削除されるもの Emacs から読み込んだ入力結果を Chasen で解析し辞書読みリストを生成 (R): 「ごうとう」, 「は」, 「くるま」, 「を」, 「ぬすみだし」, 「てか」, 「ら」, 「すみやか」, 「に」, 「とうそう」, 「し」, 「た」 Emacs から読み込んだ入力結果を Chasen で解析し単語リストを生成 (W): 「強盗」, 「は」, 「車」, 「を」, 「盗み出し」, 「てか」, 「ら」, 「速やか」, 「に」, 「逃走」, 「し」, 「た」.

2. 「てか」と「ら」, 「し」と「た」を連結し, 「てから」, 「した」にする
3. W 文の中の一番長いかつ C の中に一つしかない純かな文字列「てから」で対象文 W, C を分割. W は「強盗」, 「は」, 「車」, 「を」, 「盗み出し」(前半 W1 とする) と「速やか」, 「に」, 「逃走」, 「した」(後半 W2 とする) の 2 部分となる. C は「つよいぬすむはしゃをぬすみだし」(前半 C1 とする) と「はやいやかににげるはしるした」(後半 C1 とする) の 2 部分となる
4. 分割された C の各節の中で一つしかない純かなを使って, さらに C と W を分割. 分割された W 1 の中に C1 に一つしかない純かな「は」, 「を」を使って, W 1 を「強盗」, 「車」, 「盗み出し」と分割し, 対応的に C1 を「つよいぬすむ」, 「しゃ」と「ぬすみだし」と分割. 同様に, W2 中の C2 に一つしかない純かな「に」, 「した」を使って, W2 を「速やか」, 「逃走」, 「した」と分割し, 対応的に「はやいやか」, 「にげるはしる」と分割
5. 4 で分割された各漢字単語の入力読み (C) と対応的な単語リスト (W) の辞書読み (R) と比較し, 同じかどうかを判断する

W	対応	C	比較	R	結果
「強盗」	→	「つよいぬすむ」	⇔	「ごうとう」	×
「車」	→	「しゃ」	⇔	「くるま」	×

「盗み出し」→「ぬすみだし」⇔「ぬすみだし」○  
「速やか」→「はやいやか」⇔「すみやか」×  
「逃走」→「にげるはしる」⇔「とうそう」×  
マッチングした結果としては「盗み出し」以外の単語は全部辞書読みではない読みで入力したことが考えられる。

6. C に対応する節に R でないかなであれば, 正しい読み方で入力したと判断し, その漢字と正しい読みを表示する.

ごうとう　くるま　すみやか　とうそう  
強盗　,　車　, 速やか　, 逃走

このアルゴリズムは入力文の前から単語単位で検出する仕組みなので, より自然的な検出手法となる. また, 入力文が長くても短く分割することができ, 検出精度が向上することができると考えられる。

### 3. 実験

実際日本語初学者が日本語入力する際, 不適切な入力方法での入力はどの程度で利用されるのか, またこのような入力方法は入力者の日本語能力とどのような関係があるのかを, 実験を通して明らかにする. また, 提案したアルゴリズムの有効性を確認するため, 漢字圏出身の外国人日本語学習者である本学の留学生を対象に評価実験を行った. 実験目的は次の 2 点である.

(1) 日本語初学者を対象に日本語を入力する過程を観察し, 不適切な入力方法をどの程度行うのか, 更には, 不適切な入力方法は入力者の日本語能力とどのような関係があるのかを明らかにする.

(2) 本研究で提案した連文節に基づく辞書にない読みで入力された単語を検出アルゴリズムの検出機能の効果を示す.

#### 3.1 実験方法

5 人の外国人留学生学習者である本学の留学生の協力を得て, 300 - 400 文字で 50 句程度のテキストを入力する実験を行った. 5 人の日本語学習時間 100 時間から 1200 時間までそれぞれなので, 日本語能力も差がある.

実験では, 各入力者がテキストエディタで実験入力文を入力する. 入力する際, 入力者はどのような手法で入力したのかを観察し記録する. 図 4 で示している入力例文のように, 下線が引いてある文は不適切な入力で入力される可能性がある文であり, 不適切な入力方法で入力した場合はその回数を計算して, 最終的に入力者の全員



1. 日本人の朝食は主に和食、洋食となる
2. 日本ではごみを捨てるのに、一定のルールがある
3. 自動販売機はいたるところにある
4. この映画は最近話題となっている
5. 我々にとって地球は唯一のものとなる
6. 日本の街はどこを歩いても清潔と、外国人観光客は驚く
7. 来日した外国人は外国人登録の手続きをするべきである
8. 特筆すべき日本の店に「100円ショップ」がある

...

全文に対して不適切な入力は何割あったのかを計測

図 4: 入力文例

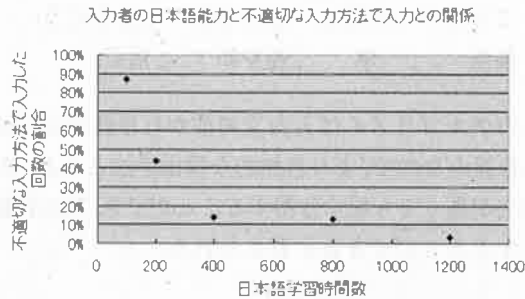


図 5: 入力者の日本語能力と不適切な入力方法で入力との関係

と比較しその日本語能力との関係を分析する。なお、実験では、外国人日本語学習者の日本語入力の実際の状況と近い結果を得るため、単語やそれに含まれる個々の漢字の読みが分からない場合は入力者個人の習慣により、紙製の辞書或は電子辞書（以下では両方とも括弧つきの「辞書」と表記する）で調べてもよいこととした。

また、本アルゴリズムの有効性を示すために、シミュレーション評価実験を行った。今回の実験は今までのシステム対応できなかった辞書にない読みで入力した単語の検出を重点として計画し、手入力で行った。

### 3.2 実験結果と評価

得られた結果は5人のもので、かつ、数百文字という小さなデータであるから、評価結果は断定的なものではない。しかし、この中には多くの外国人日本語学習者が抱えている日本語における問題が多数現れており、彼らに対する日本語学習支援機能の充実の必要性を示していると考えられる。

また、入力者である日本語初学者に入力によるストレスを極力発生させないようにするため、本実験で用いた実験用文の例文を図4に示すように日本での生活常識で構成し、彼らの興味を引くものにした。

入力者の日本語能力と不適切な入力方法での入力の関係を図5に示す。図5の横軸は入力者の日本語学習時間数で、縦軸は不適切な入力方法で入力した回数の割合である。図の一番左側の日本語学習時間数100時間し

かない入力者は不適切な入力方法で入力した回数は全体の70箇所のうち61箇所、全体の90%近くとなり、ほぼ不適切な入力方法で実験文章を入力したと言える。それと逆に、図の一番右側の日本語学習時間数1200時間の入力者の不適切な入力状況は全体の70箇所に対して2箇所しかなかったため、わずか全体の3%である。本実験では5人のデータを収集し、断定的なものではないが、入力者の日本語能力と不適切な入力方法で入力した回数の割合とは負の相関を有していると考えられる。

本研究で提案したアルゴリズムはまだシステムに実装レベルまで達していないため、今回は実験で使われた対象文を手入力により入力し、うち不適切な入力が起こりうる70箇所を全部不適切な入力方法で入力した。そのうち、66箇所の不適切な入力が検出し、わずか4箇所の不適切な入力が検出できなかった。不適切な入力を検出できなかった理由は、その四つの文ともいずれも長文であり、本アルゴリズムは茶筌解析結果と入力仮名文字列を分割するのに、使う純仮名单語のほとんどは「は」、「が」、「に」、「を」のような単文字助詞である。しかし、長い日本語文にそのような単文字助詞と同じ仮名が他の単語に存在する比率が高い。その場合、細かく入力文を分割できない。まして、一回も分割できないこともある。そういった場合では、辞書にない読みで入力された単語の検出精度が低くなり、検出できないこともある。

### 4. 考察と課題

本研究で提案したアルゴリズムを使用することによって、比較する節を短く分割することができ、システムの検出精度が高くなり、辞書にない読みで入力された単語のほとんどを検出することができると考えられる。また、日本語初学者がよく使われる不適切な入力による辞書にない読みで入力された単語の検出ができ、より有効的に日本語初学者における日本語入力及び学習の支援になることが期待できる。

しかし、本アルゴリズムは長い日本語の中の辞書にない読みで入力された単語を検出する時に、分割できないことがあり、検出精度が低くなって、辞書にない読みで入力された単語を検出できないことがある。また、本アルゴリズムを使用したシステムは入力文を文ごとに検出処理を行うため、一文の中のすべての検出された辞書にない読みで入力された単語の辞書読みを表示するので、入力者に負担をかけてしまい、学習効果が落ちる恐れがある。そのため、今までの検出処理の上にさらに入力文ごとに辞書にない読みで入力された単語の再検出する機能は今後の課題となる。

## 参考文献

- [1] 土屋 順一：外国人のための日本語キーボード入力支援システムの母語別カスタマイズ，電器通信普及財団研究調査報告書第15号，98-01044
- [2] 張 小剛：日本語入力及び学習支援機能の検討と構成，福井大学大学院工学研究科博士論文，2007年3月
- [3] 奈良先端大学開発 形態素ツール「茶筌」：  
<http://cactus.aistnara.ac.jp/lab/nlt/NLT.html>

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records and the role of the auditor in this process. It highlights the need for transparency and accountability in financial reporting.

2. The second part of the document focuses on the specific requirements for the audit process, including the selection of auditors and the scope of the audit. It emphasizes the need for a clear understanding of the audit objectives and the responsibilities of the audit committee.

3. The third part of the document addresses the challenges faced by auditors and the need for ongoing professional development. It discusses the importance of staying up-to-date on the latest accounting standards and regulations.

4. The fourth part of the document provides a summary of the key findings and recommendations from the audit. It highlights the areas where the company is performing well and the areas where improvement is needed.

## 管理者の負担軽減のための LDAP を用いた研究室内 LAN の構築 - 小倉研究室内 LAN 構築 -

瀧澤 崇\* 小倉 久和\* 黒岩 丈介\* 小高 知宏\*\* 白井 治彦††

### Establish Laboratory LAN Based on LDAP for the Purpose of Reducing Network Administrative Task

#### - LAN Establishing in Ogura Laboratory -

Takashi TAKIZAWA, \*Jousuke KUROIWA, \*Haruhiko SHIRAI, \*  
Tomohiro ODAKA, \*and Hisakazu OGURA\*

(Received January 31, 2008)

In this paper, we report the process in constructing our laboratory LAN, which enables us to share user's information and network resources. In our laboratory, three types of operating system(OS), Linux, Windows and Mac, are employed on computers, being difficult to administrate users's information through all the computers. In order to overcome the difficulty, we employed LDAP protocol, which provides directory service. In collaborating with LDAP and the other services, it is possible to unify the management of user's information, for instances, 'Login Shell', 'User Password', 'Mail Address', 'Mount Map' and so on. Finally, the management of user's information becomes simple.

*Key words* : LocalAreaNetwork(LAN), LDAP, User Administration, Network Security

#### 1. はじめに

本稿では、研究室内 LAN の構築について報告する。近年、組織内で LAN を構築する事例が増えているが、本研究室内も例外ではない。LAN を導入するメリットはいくつかある。一つ目は情報の共有である。LAN 内で各 PC に保存されている実験データや研究資料を簡単に共有でき、作業効率が上がる。また研究室内の連絡も LAN

で行うことが可能であり、本研究室内においても実際に研究室内でのコミュニケーション促進を目的とした支援システムを開発し運用している [1]。また、各 PC に分散されたデータを共有するだけではなく、データを一ヶ所にまとめて利用するということも可能になる。もう一つは、ネットワークリソースの共有である。LAN を構築することによって、LAN 内に存在する PC だけでなく、ネットワークに接続されたプリンタやスキャナを共有することや、複数の PC で外部への接続回線を共有できる。これらが、LAN 構築の大きなメリットといえる。特に、本研究室内の研究は、そのほとんど実験環境として PC を用いるので、LAN 構築のメリットは非常に大きい。

LAN は非常に有用であるが、ネットワークを構築すると、それを管理する人間が必要となる。例えば外部ネットワークに接続できない、研究室内のサービスが利用できなくなったなどの各種トラブルシューティングだ

\* 大学院工学研究科知能システム工学専攻

\*\* 大学院工学研究科原子力エネルギー工学専攻

†† 工学部技術部

\* Human and Artificial Intelligent Systems Course,  
Graduate School of Engineering

\*\* Nuclear Power and Energy Safety Engineering  
Course, Graduate School of Engineering

†† Technical Support Division

けではなく、ネットワークやそのサービスを日常から監視し、不具合や異常の兆候があれば異常が発生する前に対処することも求められる。トラブル以外にも、ネットワークを利用するユーザーの管理や新しいネットワーク機器導入の検討なども必要で、これらの仕事が管理者にとって大きな負担となる。本研究室のネットワークは50台以上のPCで構成されているため、ネットワークの管理は容易ではない。

その他、本研究室独自ともいえる問題もある。本研究室はLinux・Windows・MacOSが混在する混在環境である。前述のとおり、日々の研究をPCで進めるため、トラブルが発生した場合を考えて、同じOS同士では、最低限同じ実験環境で且つ研究室の全メンバーが利用できる状態である必要がある。その際、問題となる1つがユーザー管理である。ユーザー管理や重要なデータの管理などは、ユーザーの人数や管理対象の数に比例して負担が大きくなる。そこで、本研究室ではLDAPというプロトコルを採用した。LDAPはネットワーク上にディレクトリサービスを提供するプロトコルである。これを用いることで、ネットワーク上の資源とその属性を定義して一纏めにすることが可能である。LDAPは他のアプリケーションとの連携も容易である。メールサービスを提供するためのPostfixを例とすると、LDAPを用いて、ユーザー管理やネットワークリソースの管理を一元化し、リソースの管理の負担を減らすことが可能となる。

その他にも、LANではいくつか注意すべき点がある。LANは外部ネットワークに接続するため、セキュリティに気を配らなくてはならない。外部からの侵入を許してしまうとデータの消失や、侵入されたサーバーを他のネットワークへの踏み台とされ、別のネットワークへも影響を及ぼすこととなってしまう。メールサーバを運用する場合スパムメールの問題は避けることができない。大量に送信されてくるスパムメールはディスクを圧迫するだけでなく、ウイルスメールを含むこともある。メールサーバについても、場合によってはスパムメールの中継点とされてしまうこともあるため注意しなくてはならないなどの諸般の問題がある。

この様に、LAN構築には計画時に考えるべき事項と実際に運用し始めてから起こる問題と両方を考慮する必要がある。本稿では、LDAPを用いたユーザー管理を中心に、研究室LANの構築過程について報告する。その際、考えられるトラブルをできるだけ回避してトラブル時にも被害を最小限にでき、できるだけ管理者の負担とならないようなLANを設計し構築した。

## 2. ネットワークの概要

### 2.1 研究室LANの必要要件

今節では、研究室LANにおける必要要件について述べる。研究室にはデスクトップPC、ノートPCが約70台、その他プリンタなどのネットワーク機器があり、それら全てを研究室LANに接続する。そして、研究室に所属するユーザは研究室内の一部サーバー群を除いた全てのマシンを利用できる必要がある。当研究室の研究テーマはそのほとんど実験環境としてPCを用いるものであるため、PCが故障した場合においてもデータがあれば別のPCにて実験をすることが可能である。そのため、ユーザーは研究室全てのPCにログインすることができ、ログインしたPCにおいて自分の研究データ等を利用できるということが、ユーザーが研究を進めていく上で非常に有用であり、これが最重要要件であると考えられる。また、このような構成にすることによって、学生が卒業・修了した後にその研究データを管理し、継続研究では次の学生に伝えるということが容易になる。その条件を満たすために、全ユーザーのアカウントを一元管理するためのアカウント管理サーバーや、各ユーザーの研究データを保存するためのファイルサーバーが必要となる。

その他、研究室に所属するユーザーにメールサービスを提供するためのSMTPサーバーや、外部に研究室の情報を発信するためのWEBサーバー、日常でユーザーが利用、管理を行うクライアントPCを管理するためのDHCPサーバー、研究室LANと外部ネットワークとの入り口に配置し、セキュリティを高めるためにFireWallを設置したゲートウェイマシン等もそれぞれ必要である。

また、研究データを含めた各種バックアップも必要である。特に、ファイルサーバでは研究データを管理するため、そのファイルサーバ自体に何かしらのトラブルが発生したときに、そこに保存されている研究データを利用できなくなったり、研究データ自体を失ってしまうということも考えられる。そこで、前述のサーバー群を中心に、バックアップを作成するための体制を整える必要がある。

まとめると、本研究室での必要要件は以下の通りである。

- 環境に依存しないユーザー管理

- データを集中管理するファイルサーバ
- DHCP サーバ, DNS サーバ
- メールサーバ
- Web サーバ
- ネットワークセキュリティの確保
- 定期的なバックアップ体制

特にユーザー管理, ファイルサーバは本研究室独自の要件と言える。これらを満たすネットワークを計画, 構築していく。

## 2.2 ユーザー管理構築の方針

前節で述べた要件を満たすネットワークを構築する上で, 解決しなくてはならない問題がある。一つ目は研究室には多数の PC があるが, 全てが同一の環境というわけではなく, Windows/MacOS/Linux という複数の OS が混在しているという点である。研究テーマによっては, 「Linux では可能だが, Windows では難しい」というものや, その逆となるものもある。そのため, 研究室内のクライアント PC の環境を同一にすることは難しく, どうしても混在環境となってしまう。これより, 前述のような「全ユーザーが研究室内の全クライアントマシンへログイン可能」という要件を満たすことは非常に困難になると考えた。各サーバ, クライアントそれぞれにユーザー情報を持たせるという解決策も考えられるが, 研究室のような多くの PC マシンを管理しなくてはならない状況では, 非常に大きな負担となる上, ユーザー情報が分散してしまうために全体を管理することが困難となる。OS 毎にユーザー管理をし, 各 OS 用のアカウントサーバを用意したとしても, 全クライアントが個別に管理する場合ほどではないが, 同じ状況が発生すると考えられる。

また, ユーザー管理が必要なのはログイン時だけではなく, メールの送受信やファイルサーバを利用する場合にもアカウントによる制限が必要である。特にファイルサーバにおいては, ユーザー管理だけではなくサーバに保存されている研究データを異なる OS でも自由に読み書きすることができ, 違うマシンを利用した場合においてもユーザーが普段使っているような環境を再現できるような状態にする必要がある。もちろん, これらのサービス毎にユーザー管理することも可能であるが, やはりユーザー情報が分散し管理の負担が増大する。

そこでこれらの問題点を解決するために, LDAP を用いてユーザー情報を一元管理する方法を採用した。

LDAP とはディレクトリサービスにアクセスするためのプロトコルで, LDAP を用いるネットワークの管理方法は近年各所で採用され, 広がりつつある方法である。

## 3. ディレクトリサービスと LDAP の概要

LDAP は, "Lightweight Directory Access Protocol" の略である。RFC1777 等で定義されているインターネット標準のプロトコルで, TCP/IP 上にディレクトリサービスを提供するためのプロトコルである [2]。ディレクトリサービスとは, ネットワーク上に存在する資源とその属性とを記憶して, 容易に検索できるようにまとめたものである。ここで言う資源とは, ネットワークを利用するユーザや組織に関する情報や, 利用可能なサーバと提供しているサービス, プリンタやスキャナなどのネットワークを介して利用できる機器等のことを指す。

LDAP は, もともと X.500 ディレクトリアクセスプロトコル (DAP) を改良して作られたプロトコルである。このプロトコルは, 世界中の情報を集めたディレクトリサービスを実現しようとするものであったが, そのために非常に多くのコンピュータリソースを必要としたために普及しなかった。これに対して, LDAP は, TCP/IP 上で軽快に動作することを目的として作成されたディレクトリサービスである。軽快でありながら, X.500 が提供する多くの重要な機能の多くを引き継いでいる。

LDAP にはもともと人名録や住所録という意味合いがあるため, 様々なデータを保管しておき, それを調べるために利用される場合が多い。つまりデータベースの一種として考えることもできる。しかし, 人名やメールアドレスなどは頻繁には変更されないデータであり, それらを大量に保管してその中から一定の条件で検索を行うという利用方法が多い。LDAP はリレーショナルデータベースではなく, トランザクションの概念も持たないため, 動的で複雑なデータを扱う分野では不向きである。データの相関関係ではなく, 物 (オブジェクト) を管理しようとする。そのため, 本研究室のように, ユーザーのアカウント管理に使うというような利用方法には向いていると考えられる。

LDAP を利用する理由として, 様々なアプリケーションとの連携が可能という点が挙げられる。LDAP は他アプリケーションとの連携を目標の一つにしており, 現在では多くのアプリケーションが LDAP をサポートしている。これらのアプリケーションでは, LDAP をユーザーの認証情報の管理に利用することが多い。ユーザー

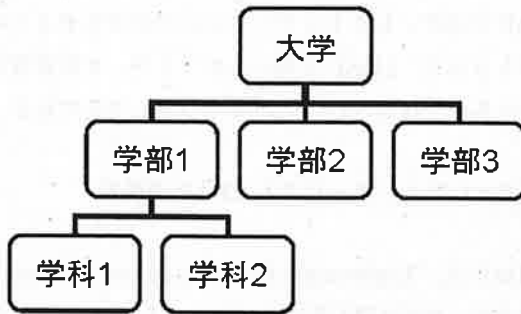


図1 LDAP ツリーのイメージ

名とパスワードを必要とするシステムは非常に多いが、それらを用途毎に記憶することが困難であると同時に、対象が多いと定期的なパスワード変更などが困難になる。LDAP を用いることによってそれらの一元管理が可能になる。

LDAP では、データの管理単位をエントリと呼び、そのデータに関する様々な情報を登録することができ、属性という単位で管理する。図1は、LDAP ツリーのイメージである。例えば、「福井大学」というエントリに対して、「所在地」という属性があれば属性値は「福井県福井市」となる。これらのエントリは、ディレクトリインフォメーションツリーと呼ばれる階層構造で管理される。大学を例にとると、大学の中に学部という階層があり、それぞれの下に学科やコースといった階層が存在し、さらにその下に学年という階層がある。学生個人のデータは、これらの階層を使って管理される。

各階層のエントリの管理には、階層の中で他の項目と識別するために利用する一意の識別名 (Relative Distinguished Name, RDN) を定義する。そして、ツリー中のエントリは各階層の RDN を連結したもので識別する。

以上が、LDAP の概要である。本研究室では、LDAP の特徴である「ユーザーアカウント管理に向いている」という特性と、様々なアプリケーションとの連携が可能という点に着目し、管理システム中心部に LDAP を採用した。また、一言に LDAP といっても多くの製品があるが、本研究室では OpenLDAP[3] を採用した。OpenLDAP はフリーの LDAP サーバーで、多くの Linux ディストリビューションで採用されているため、様々な解説書もあり、導入が簡単であるという利点がある。

表1 posixAccount クラス

属性	解説
cn	一般名称
uid	ユーザ名
uidNumber	ユーザ番号
gidNumber	グループ番号
homeDirectory	ホームディレクトリ
userPassword	ログインパスワード
loginShell	ログインシェル

表2 inetOrgPerson クラス

属性	解説
displayName	表示名
mail	メールアドレス

## 4. LDAP を用いたネットワーク

### 4.1 Linux アカウント管理

LDAP を導入する準備として、LDAP ツリーを設計する。本研究室では、主に Linux のログインアカウント管理に用いる。LDAP には、オブジェクトクラスというエントリに登録されるべき属性に関する取り決めが存在する。様々なオブジェクトクラスが存在し、複数のオブジェクトクラスを一つのエントリに関連付けることも可能である。Linux のログインユーザを管理するために「People」という識別名を定義し、エントリを追加していく。エントリのオブジェクトクラスには表1のような posixAccount クラスを用いた。

posixAccount クラスには Linux のログイン時に必要な情報に関する属性が定義されている。これらの属性は、Linux においてアカウントの詳細が記述されている /etc/passwd ファイルと同じ内容である。posixAccount クラスは単独で使うことができないため、同時に inetOrgPerson クラスを定義する。これはインターネット上で組織に所属する個人を管理するためのオブジェクトクラスである。このオブジェクトクラスには必ず使用しなくてはならない必須属性はなく、すべてオプション属性として定義されている。ここでは利用した属性についてだけ表2に示す。

inetOrgPerson クラスは、LDAP をアドレス帳として利用するような場合に必要な属性は定義されているが、



表3 posixGroup クラス

属性	解説
cn	一般名称
gidNumber	グループ ID
memberUid	グループのメンバー

表4 他アプリケーションとの連携

サービス	アプリケーション cc
メールユーザの管理	postfix, courier-imap
Windows ユーザの管理	samba
NFS マウントマップの管理	autofs

Linux のユーザー管理とは直接関係ない。"mail" 属性については、後述するメールサービスでの認証に利用する。

ユーザーアカウントと同様、ユーザーグループについても LDAP にて管理する。グループの管理には表3の posixGroup クラスを利用する。グループはユーザーアカウントに関連付けるのではなく、ユーザーアカウントとは別の識別名を持つ。そして、"memberUid" 属性の属性値がグループに所属するユーザーのアカウントとなるように定義する。

#### 4.2 メールサーバとの連携

LDAP を他アプリケーションと連携させることで、複数サービスの集中管理が可能となる。本研究室では、以下のサービスと LDAP を連携させる。

初めに、メールサーバについて述べる。メールサーバと LDAP を連携させることによって、メールを利用するユーザー情報も Linux ユーザー情報と統合して管理することが可能となる。本研究室では、SMTP サーバーに Postfix、IMAP サーバーに courier-imap を採用した。両アプリケーションとも、LDAP と連携が可能である。メールサーバには大きく分けて POP サーバーと IMAP サーバーの2つがあるが、メールをサーバー上のメールボックスで管理できる IMAP を選択し、メールボックス形式は Maildir 形式を選択した。Maildir 形式ではメール一通二体して一つのファイルを作成してメールを管理するため、IMAP サーバーと合わせることでメールを失う危険性を大幅に軽減できると考えた。courier-imap では、実際に IMAP の処理を行

うプログラムとユーザー認証を行うプログラムは分離している。認証に LDAP を利用する場合でも、特定のオブジェクトクラスを前提としておらず、posixAccount 等のオブジェクトクラスで構成されたユーザーアカウント情報を利用することができる。そこで、本研究室では、inetOrgPerson に含まれる "mail" という属性の属性値を IMAP サーバーへのログイン ID とした。これにより、IMAP サーバー認証のために新たな属性を定義する必要がなくなる。courier-imap の認証部はこのユーザー ID を元に LDAP を検索し、パスワード/ユーザー番号/グループ番号/Maildir を引き出す。

Postfix では、検索テーブルやメール配送の多くの機能で LDAP と連携可能である。そのため、システムユーザーメールユーザーとを完全に分離し、メールの仮想ユーザーを作成することが可能である。今回はメールの仮想ユーザーを利用していないが、今後システムを変更する場合を考慮して Postfix を利用することとした。

#### 4.3 Linux 以外でのユーザー管理

前述した通り、本研究室は様々な OS が混在する環境である。前節までに Linux でのユーザー管理について述べたが、Windows ではまた別のユーザー管理が必要となる。通常、それぞれの PC にて管理することが多いが、これではユーザー情報を持つマシンが分散してしまい管理者にとって負担となる。そこで、本研究室では Samba[4] を用いる。Windows ではファイル共有に Common Internet File System(CIFS) を利用しているが、Samba はそれを Linux で実現するアプリケーションである [5]。これを利用することで、Linux-Windows 間のファイル共有を実現するだけでなく Windows のドメインコントローラを構築することができ、Linux でも Windows ユーザーを管理することが可能になる。しかし普通に管理した場合、結局 Linux のユーザーとドメインコントローラのユーザーが別になってしまう。この問題を、Samba と LDAP の連携で解決する。

LDAP には表5にのような SambaSamAccess というオブジェクトクラスが用意されている。sambaSamAccess クラスには、ユーザー ID やパスワード以外にも登録されているユーザーのアクセス権の制御・ホームディレクトリへのパス・ネットワークドライブ名等を定義するための属性が用意されている。これを Linux ユーザーの管理で用いた posixAccount と併用して、ユーザー管理を一元化した。また、samba で用いるホームディレクトリを Linux のホームディレクトリと同

表5 sambaSamAccess クラス

属性	解説
sambaSID	一般名称
sambaAcctFlags	ユーザーに関するフラグ
sambaHomeDrive	ドライブ名
sambaHomePath	ホームディレクトリのパス
sambaLMPassword	Lan Manager 用パスワード
sambaNTPassword	NT パスワード
sambaProfilePath	プロファイルへのパス

一にすることで、ユーザーが Windows にログインする場合でも自分のホームディレクトリを簡単に参照・利用できるようにした。さらに、ホームディレクトリにプロファイルが存在すれば、ユーザーは Linux の個人設定だけではなく、Windows の個人設定についても同じホームディレクトリで保存・管理が可能となる。これらによって、ユーザーは環境を気にすることなく複数のマシンにログインしての作業が可能になり、Windows でない動かないアプリケーションなども気にすることなく利用できる。管理者側から見てもユーザー情報が一つにまとまるメリットは非常に大きい。

#### 4.4 Autofs との連携

本研究室では、ユーザーのホームディレクトリの実体はファイルサーバーに存在し、クライアントマシンにログインする際に NFS によってホームディレクトリを各クライアントにマウントする。そのマウントには Autofs というアプリケーションを利用する。ファイルシステムを自動的に任意の位置にマウントする automount デモンというプログラムがあるが、Autofs はそれを制御するためのプログラムである。Autofs を用いると、ユーザーがディレクトリにアクセスしようとした時だけファイルシステムをマウントし、一定時間が経過すると自動的にアンマウントを行うようになる。これを NFS で利用することで、ユーザーの実験データ等を一つのファイルサーバにまとめることができる。しかし、ファイルサーバの異常等でサーバを変更したり、ユーザーのホームディレクトリの位置を変えたい場合等に、全クライアントマシンの設定を変更する必要がある。これはクライアントマシンの台数が増えれば増えるほど管理者の負担になってしまう。そこで、Autofs と LDAP を連携させることによって、この問題を解消する。

通常 Autofs のマウントマップは各クライアントマシ

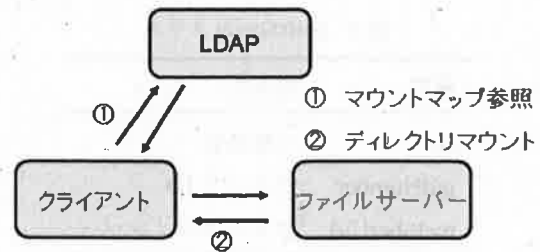


図2 LDAP ツリーのイメージ

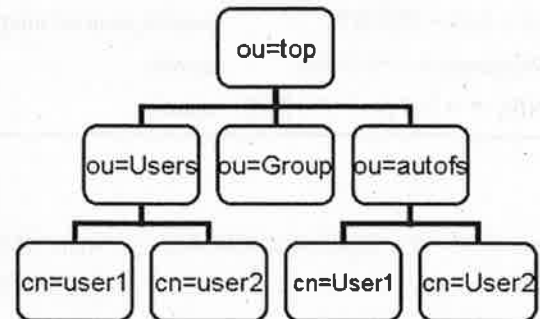


図3 本研究室での LDAP ツリー

ンが管理する。しかし、このマウントマップを LDAP で管理することで、クライアントマシンは図2のように LDAP を参照してマウントポイント等の情報を引き出し、実際のマウントを行う。このようにしてマウントマップを一ヶ所で管理することが可能になり、ファイルサーバーの変更等の場合でも、管理者は一つのマウントマップを変更することで対応可能となる。

以上が、本研究室で構築する LDAP ツリーの概要である。これを元に構築した LDAP ツリーが図3である。

トップドメインの下階層に "Users", "Groups", "autofs" という RDN が存在し、その下に各種エントリが属するという形になる。"Users" に含まれるエントリには、Linux でのユーザー情報、Windows ドメインでのユーザー情報、メールアドレスやフルネーム等の個人情報についての属性が定義されている。"Group" では、Linux でのグループや研究室で新たに定義したグループのエントリが登録され、それぞれグループのメンバーに関する属性が定義されている。そして "autofs" は、各ユーザー毎にエントリを作り、エントリには各ユーザーのマウントポイントが定義されている。クライアントマシンはこのツリーから必要な情報を引き出す。

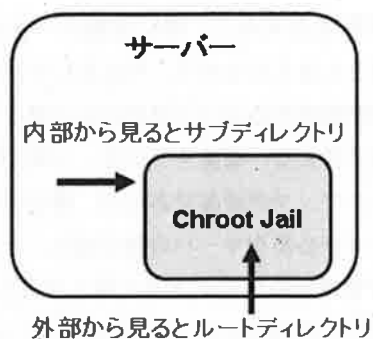


図4 Chroot Jail

## 5. 平時の管理

ネットワークを構築する時のことだけでなく、構築後のことも考慮しなくてはならない。今節ではネットワーク構築後のセキュリティやバックアップについて述べる。

### 5.1 ネットワークセキュリティ

ネットワークを構築する際、当然セキュリティについても考慮しなくてはならない。特に、メールや研究室の Web サイトなどは外部ネットワークとの接触があるので注意が必要である。今節では、それらのセキュリティについて述べる。

初めに Web について述べる。本研究室でも研究室 Web サイトを公開したり研究室メンバー個人の Web サイトを公開することが可能になっている。実験等を行う場合もあるので、ここでは基本的に CGI の制限などはしていない。場合によっては、ユーザーが作った CGI に潜むセキュリティホールからサーバー本体の情報を見られてしまったり、何かしらのトラブルによってサーバー自体の root 権限を奪われてしまうということも考慮しなくてはならない。そこで、本研究室では Web サーバーを“Chroot Jail”という領域の内部で動作させることとした。Chroot Jail とは表 4 のように、システム内のサブディレクトリを仮想的なルートディレクトリとして見せかけるものである。

これにより、Web サーバーや CGI のセキュリティホールを通過して侵入されても侵入者からはサブディレクトリがルートディレクトリに見えるため、侵入者を“檻 (Jail)”に閉じ込めることが可能になり、被害を最小限に食い止めることができる。

次にメールについて述べる。メールでは 2 つの点に

表6 スпам・ウイルスメール対策

アプリケーション	説明
glaylisting	一時的な受信拒否
spamassassin	スパムメールチェック
clamAV	ウイルスメール対策

ついて考慮しなくてはならない。一つ目はウイルスメールの予防、もう一つは迷惑メールの処分である。もしウイルスメールを受信して間違っで開いてしまった場合、研究室内 LAN に接続するマシン全てに影響を及ぼす恐れがある。迷惑メールについても、ひとつひとつのサイズはそれほどでもないが、大量に受信するとそれだけでディスク容量を圧迫する恐れもある。本研究室では IMAP サーバーを採用しており、メールは各ユーザーのホームディレクトリに一ファイルずつ保存されるため、ディスクを圧迫した場合他のユーザーにも迷惑がかかる。そこで本研究室では表 6 のアプリケーションを用いてこれらに対策することとした。

まず、送られてきたメールは glaylisting により、そのホストから初めて送られてきたかどうかを確かめ、初めての場合は一度受信を拒否する。この対策は SMTP サーバーの性質によるものである。SMTP サーバーは一度送信が失敗するともう一度再送する。しかし、スパムメールのホストは再送を行わないという性質があるため、これによっていくつかのスパムメールは拒否できる。この glaylisting を通過したメールは、clamAV に送られてウイルスメールかどうかチェックされる。clamAV は多くの Linux ディストリビューションで採用されているウイルスチェックソフトで、スキャンが高速である点が優れている。このフィルタを通過すると、最後に spamassassin によってスパムかどうかを確かめられる。spamassassin では、そのメールの送り元ホストから以前スパムメールが届いたことがあるか、NG ワードが含まれているか等を点数化し、一定以上の点数となったそれをスパムと判断する。スパムと判断されたメールの行方に関してはメールサーバの管理者が設定することができるが、本研究室ではメールタイトルに“SPAM”と付与するだけとした。スパムメールをサーバで拒否または削除してしまった場合、万が一必要なメールでスパムと判断されたときにユーザーに届かない恐れがあるからである。タイトルにスパムであるという情報を付与することでユーザー自身で最後の確認ができたり、本当に必要な

ければメールクライアントソフトでブロックすることもできる。また、spamassassin はスパム学習機能も備えている。そこで、各ユーザーのメールボックスにスパム専用のディレクトリを作り、スパムと判断された場合自動的にそこに移動するようにした。これにより、スパム学習をメールユーザー全員のスパムボックスで行うことが可能となる。これにより、スパムメール・ウイルスメールは概ねブロックすることができる。

## 5.2 バックアップ

研究室 LAN を運用する上で、バックアップ体制は非常に重要である。例えば LDAP サーバーにトラブルがあった場合、研究室のユーザーはどのマシンにも一般ユーザーでのログインができなくなってしまう。また、研究室では、各ユーザーのホームディレクトリや研究室 OB のディレクトリをファイルサーバーにて一括管理している。もしファイルサーバーでトラブルがあった場合は、中に保存されている研究データやメールなどを失ってしまう。本研究室では、主要サーバのバックアップ機を準備し、一定時期にメインサーバと同期をとるようにした。同期で利用するのは Unix コマンドの ssh コマンドと rsync である。rsync とはファイル同期アプリケーションの一つで、ディレクトリ間の同期を行うことができ、ネットワークでの利用もできる。また rsync は新旧ディレクトリ間の差分をとって同期を行うので、比較的高速なバックアップが可能で優れている。本研究室では、ssh 用の公開鍵と秘密鍵のペアを作り、それぞれのサーバーに置くことで、バックアップ機へのユーザーパスワードの入力なしでのログインを可能にし、Linux に標準で用意されている cron コマンドで同期を自動化した。これにより、管理者が同期を忘れるというのを防ぎ、どちらのサーバも常に最新の状態を保つことができる。サーバー群に何かトラブルが発生した場合、最終的にはメインサーバとバックアップサーバを入れ替えることで通常のサービスを提供することができる。

## 6. 考察

本研究室のネットワーク構築の際に、各種サービスのバックエンドとして LDAP を用いることで、ユーザーアカウントなどの様々なデータを一ヶ所にて集中管理できるようになった。またユーザーの実験データや個人のメールなどもファイルサーバで管理することで、各種

データの保存性を高めた。特に実験データは研究室にとって財産とも言えるもので、それを一ヶ所で集中管理することで継続研究において研究の引き継ぎも非常に容易にできると考える。重要データも一ヶ所で保存しているためバックアップが重要であるが、集中管理によってバックアップが必要なサーバの数が減り、それを自動化することで管理者の負担を大きく減らすことができた。外部メディアへのバックアップについても一台のファイルサーバから外部メディアへのバックアップだけでいいので、複数台から外部メディアへバックアップしなくてはならない場合よりも作業を簡略化できる。研究室内のデータをできるだけ集中して管理することで、ある程度大きなネットワークにおいても管理者の負担を大きく減らすことができる。

今後の課題として、各種管理ツールの導入を検討する必要がある。現在ユーザー管理は全て管理者で行っているが、これによって管理者でなくてもいい作業が増えていると考える。例えば、ユーザーのログインシェルの変更はその一つである。ユーザーがログインシェルを変更したいとしても、現在の状態では全て管理者に依頼する必要がある。気軽に変更ができないユーザー側にとっても、仕事が増える管理者にとっても得策であるとは言いがたい。研究室内で利用する PC についても同様で、その時使用していた PC と交換して新しい PC を利用しようとしても、管理者に依頼が必要になってしまう。ユーザーは必ず一つ以上の PC を利用しているため、一人一台は無条件に許可という方法をとっても問題ないはずである。しかし、管理ツールを導入することでこれらを解決できる。ユーザー情報の変更等、管理者が行っている作業の一部をユーザーができるになれば管理者の負担はさらに減少するだろうと考える。

## 7. まとめ

本稿では小倉研究室の研究室内 LAN の構築について、主に LDAP を用いたユーザー管理を中心に述べた。また、LAN を運営する際の平時の管理についても、起こりうる例を挙げてその解決方法について述べた。本稿では LDAP を主にユーザー管理で用いたが、その他ネットワーク上に存在する様々な情報を整理して管理することも可能である。前節まで述べたとおり、ネットワーク管理者にかかる負担は大きい。しかしその負担を減らすことで設定ミスなどを減らし、ネットワーク自体の堅牢性も高まると考える。今後も負担減少と堅牢性の強化につ

いては検討していく。

#### 参考文献

- [1] 山上浩司: 工学部教育支援システムの開発 -研究室配属及び研究室内活動の支援を目指して-, 福井大学平成 18 年度卒業論文,2007.02.
- [2] デーゼット: 入門 LDAP/OpenLDAP ディレクトリサービス導入・運用ガイド, 秀和システム (2007)
- [3] OpenLDAP: <http://www.openldap.org>
- [4] Samba: <http://www.samba.org>
- [5] 武田安真: 徹底解説 Samba LDAP サーバ構築 (2004).

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that proper record-keeping is essential for the success of any business and for the protection of the interests of all parties involved.

The second part of the document outlines the specific procedures to be followed in the event of a dispute or disagreement between the parties. It states that all disputes shall be resolved through arbitration, and that the arbitrator's decision shall be final and binding on all parties.

The third part of the document contains the signatures of the parties to the agreement, along with their respective titles and addresses. It is signed by [Name], [Title], [Address], and [Name], [Title], [Address].

The fourth part of the document is a declaration of the parties, stating that they have read and understood the terms and conditions of the agreement and that they have entered into this agreement voluntarily and without any duress or coercion.

The fifth part of the document is a statement of the date and place where the agreement was signed. It is dated [Date] and signed at [Place].

## 圧センサを用いた歩行器利用者の利用姿勢推定

– 知的歩行器実現に向けて –

友永 佳希\* 白井 治彦\*\* 黒岩 丈介\* 小高 知宏† 小倉 久和\*  
吉川 日和子† 月田佳寿美† 磯見 智恵† 岩田 浩子†

### Evaluation of User's Situation through Pressure Sensors – Realizing the Intelligent Assisted Walking Support Device –

Yoshiki TOMONAGA\*, Haruhiko SHIRAI\*\*,  
Jousuke KUROIWA\*, Tomohiro ODAKA†, Hisakazu OGURA\*,  
Hiwako YOSHIKAWA†, Kasumi TUKITA†, Tomoe ISOMI† and Hiroko IWATA†

(Received January 31, 2008)

In the paper, we investigate an advanced and sophisticated walking support device for physically handicapped people caused by aging, which is referred as "an intelligent walking support device". The intelligent walking support device provides safety and ease of mind for the users. At first step, in the paper, we investigate the method of evaluating the situation of the users through the pressure sensor system in order to control the walking device being at appropriate position. Therefore, the purposes of the paper is investigate several kind of the walking states of the users with the walking support device through the pressure sensor system.

**Key words:** Intelligent Assisted Walking Support Device, Estimation of User State, Estimation through Pressure Sensor

#### 1. はじめに

現在の日本社会は、高齢化現象という先進国にとって共通で決して無視することのできない問題を抱えている。それによって、医療分野や介護分野の社会的な役割は、非常に高まっている。また、医療分野における技術の発展により、国民の平均寿命が高くなってきたこともあり、高齢者が高齢者を介護する老々介護となるケー

スが深刻化している。そのような社会背景を受けて、近年、医療分野や介護分野では、介護の負担軽減や介護を必要とすることを回避するために高齢者の自立支援を目指した機器の研究・開発・生産が積極的に行われている<sup>[1]-[4]</sup>。代表的なものの例として、移動補助具の電動化が挙げられる。移動補助具の代表的なものとしては、車椅子が挙げられる。しかしながら、病院・デイケアセンタ等の医療・介護施設では、車椅子よりも歩行器<sup>[5]</sup>を利用することの方が多。

歩行器は、自主歩行を補助する歩行補助具であり、利用者に対して、安定した立位の獲得と保持・転倒の防止等の補助を行い、歩行に対する自信を持たせることを目的として利用されている。しかし、このような目的で利用されているにもかかわらず、現在利用されている歩行器は、歩行補助という目的を実現しているとはいいがたい。なぜならば、歩行器は、車椅子とは異なり残存している歩行機能を自立歩行が行えるように改善することを

\* 工学研究科知能システム工学専攻

† 工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻

\*\* 工学部技術部

‡ 医学部看護学科

\* Graduate course of Human and Artificial Intelligent Systems

† Graduate course of Nuclear Power and Energy Safety Eng.

\*\* Technical Support Division

‡ School of Nursing



目的として利用されている。しかしながら、歩行器を利用している利用者は、残存している歩行機能が決して高いとはいえず、立位を維持することですら酷であるというのが現状である。従来の歩行器では、その問題に対応しておらず、歩行機能を補うための機能しか実現されていないことが、その1つの要因となっている。

そこで本研究では、歩行器利用者が安全に安心して、歩行器を利用できるための機能を、パソコン・センサ・ネットワーク等の技術を用いて、知的な動作を行う歩行器を実現させることを最終目標とする。

## 2. 危険回避に向けた歩行器の提案

前章での述べたように、従来の歩行器には、歩行を補助する機能しか実現されていない。それにより、転倒といった危険がよく見られる。まず従来の歩行器での問題・危険性を明らかにし、転倒危険を回避・軽減する手法を提案する。

### 2.1 従来の歩行器の問題・危険性

実際、病院やデイケアセンターの看護師等の介護者、利用者である要介護者の両方からの視点にて、歩行器に対する問題点を明らかにするために調査研究を行った。その際得られた結果を以下に与える<sup>6)</sup>。

#### 1. 介護者から見た問題点

- 軽すぎて安定感がない
- 利用者が歩行器のスピードについていけない時がある
- 段差等でひっかかり転倒しそうなきがある

#### 2. 要介護者から見た問題点

- 移乗するときに歩行器が不安定で転倒しそうなきがある
- 歩行器の速度についていけない
- 操作性が悪い

このように、介護者・要介護者ともに似かよった問題を感じている。特に、歩行器の速度に関する問題と転倒の危険性に関する問題については、両者とも多数が不安に思っていた。更に、このような問題を解決するために、介護者・要介護者ともに歩行器のスピードを制御する機能を主として、危険を回避するための機能を歩行器に付加することを希望している。

### 2.2 利用中に起こる利用姿勢

前節より、歩行器の移動速度や操作が転倒の主な原因となっていると考えられる。また、これらを原因として利用者が転倒する場合、利用者の利用姿勢は大きく分けて、2種類のパターンで変化する。以下に、利用中に起こる利用姿勢として、これらの危険な利用姿勢と通常に利用する姿勢について説明する。

#### 2.2.1 通常利用姿勢

通常利用姿勢は、膝・背筋は利用者にとって違和感なく立った状態で、腕をパッドの上に軽く置き、グリップは軽く握るようにした利用姿勢とする(図1)。この利用姿勢は歩行器を利用する上で理想と思われる利用姿勢である。

#### 2.2.2 歩行器先行姿勢

転倒に繋がる危険な利用姿勢として挙げられる姿勢のひとつが、歩行器先行姿勢である。歩行器先行姿勢では、歩行器が簡単に加速を行うため、利用者が歩行器の速度についていけず、歩行器と身体との距離が徐々に離れていき、最終的には転倒につながる。

本研究では、両足が歩行器の後輪よりも後方にあり、歩行器に対して前に進むように体重をかけて、グリップをしっかりと握っている利用姿勢として定義する。この定義した利用姿勢は、利用者が通常利用姿勢に復帰できる限界の姿勢であり、実際には、この姿勢になる過程も含む。

#### 2.2.3 自重支持不可姿勢

転倒に繋がるもうひとつの危険な利用姿勢は、利用者が自身の体重を両足で支えきれなくなって、姿勢を崩してしまう利用姿勢である。この利用姿勢は、利用者が下半身の筋力が低下しているお年寄りがほとんどであり、移動中に突然自身の体重が支えきれなきなることが、原因となっている。



図1 通常利用姿勢

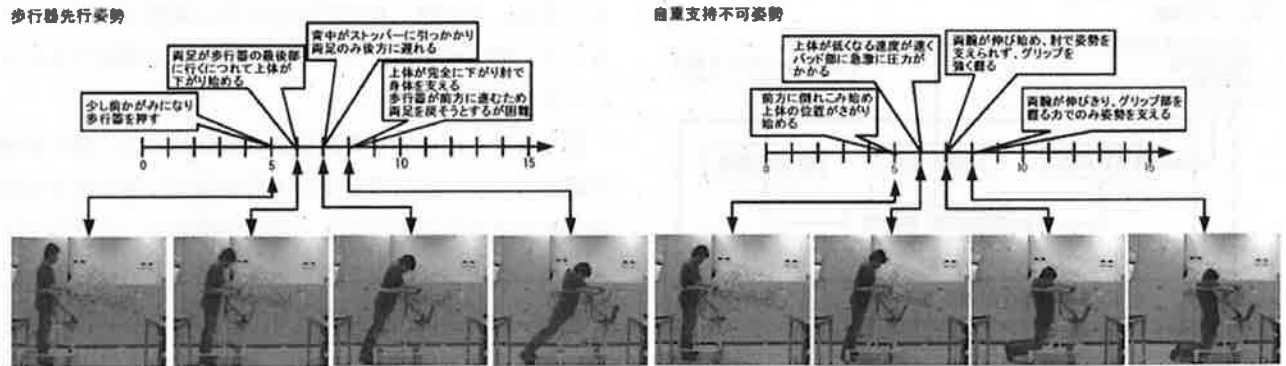


図2 危険な利用姿勢の比較

自重支持不可姿勢は、両足の位置は通常利用姿勢と同じ位置で、膝を曲げて、上半身を肩口がパッドと同じ位の高さに来るまで下げた利用姿勢として定義する。定義した利用姿勢は、歩行器先行姿勢同様この姿勢になる過程も含む。

### 2.3 各利用姿勢変化検証

前節から転倒の危険は利用姿勢変化と高い関連性を持つと考えられる。そこで、転倒の危険を回避には、利用者と利用姿勢変化を、どの箇所で、どのようにして測定し、何を制御することが必要かの検討を行うために、以下のような予備実験を行った。

危険な利用姿勢をとる場合、利用者の姿勢が、時間の経過につれてどう変化しているのかを動画像として記録する。その後、各利用姿勢における、利用者の動きや歩行器に対する力のかけ方を検証した。2種類の危険な利用姿勢の動画像を1[s]間隔ごとに並べたものとその姿勢変化を1[s]間隔で検証したものを図2に示す。また、それぞれの利用姿勢において定性的には、以下のような傾向が見られた。

#### ● 通常姿勢

- 利用者は前方に出している足と反対方向に身体を少し傾げる様にして歩行するため、上半身は揺れながら進む
- 歩行中の両足はかかととは浮くが基本的につま先は地面にすりながら歩行する。

#### ● 歩行器先行姿勢

- 利用姿勢が変化し始めるとき、利用者は歩行器を押しだすように動かしている
- 利用者の歩幅より、歩行器が利用者によって押されて進む距離の方が多く進む

#### ● 自重支持不可姿勢

- 歩行中に前方につまづくようなかたちで倒れこ

み、その際に歩行器のグリップ部を離さないように強く握る

- 肩の位置が歩行器のパッド部に対して、同じかそれよりも低い位置にくるため、利用者の腕がパッド部からはずれる可能性がある

### 2.4 知的歩行器

本研究では、利用者が安全に安心して利用するために、必要とされている機能を付加した歩行器を知的歩行器とする。知的歩行器の機能を実現するには、

1. 情報感知部：利用者の状態や周囲の環境をセンシングする
2. 情報処理・判断部：取得した情報を処理し、結果に応じた制御を判断する
3. 動作制御部：情報処理・判断部の判断内容により動作して歩行器を制御する
4. 情報表示部：周囲の情報を利用者に伝えたり、利用者の状態を介護者に伝えたりする
5. 外部通信部：利用者の緊急事態等を遠方にいる介護者に通知する

なるサブシステムを構成する必要がある。これら5つのサブシステム間の情報の流れを図3に示す。

これらのサブシステムを実現して、利用者が安全に利用できるようになることを考えた場合、必要と考えられるのは、「動作制御部」において、何を制御の対象とし、対象をどう制御するのかということになる。また、動作制御部における制御に応じて、「情報感知部」でのセンシング対象と「情報処理・判断部」での処理・判断内容を変更する必要がある。

今回の研究では、歩行器利用時の転倒を回避することを目的としている。前節より、転倒の危険に陥る場合

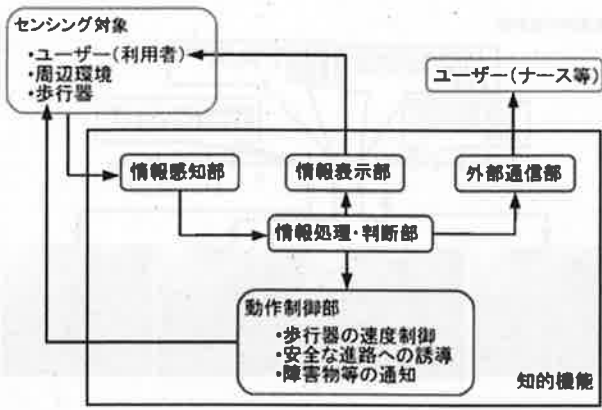


図3 知的歩行器構成

には、利用姿勢が通常歩行とは違った姿勢となることが分かった。転倒の危険を回避するには、歩行器利用者の利用姿勢をセンシング対象とし、歩行器の速度を制御対象とすることで、転倒の危険を回避・軽減できるの考えた。本研究では、利用姿勢を推定し、その結果に応じて歩行器の速度を制御することを、研究の主要目的として、研究を行っている<sup>[7],[8]</sup>。

### 3. 利用姿勢推定

#### 3.1 利用姿勢測定装置

本研究において製作した利用姿勢測定装置について説明する。測定装置全体を上から見た図を図4に示す。また、図4のセンサ基盤、A/Dボード、PCについて、詳細を示したものを図5に示す。まず、歩行器と利用者との接触面である左右パッド部とグリップ部の4箇所に圧センサを取り付ける。この圧センサは、かけられた圧力の強さに応じて、抵抗値が低下する可変抵抗となっている。パッド部の圧センサは、最も体重がかかる肘のあたりに集中的に取り付ける。グリップ部の圧センサは、引く力と押す力を力のかかる方向に関係なく測定できるように、グリップの周囲に90°間隔で取り付け

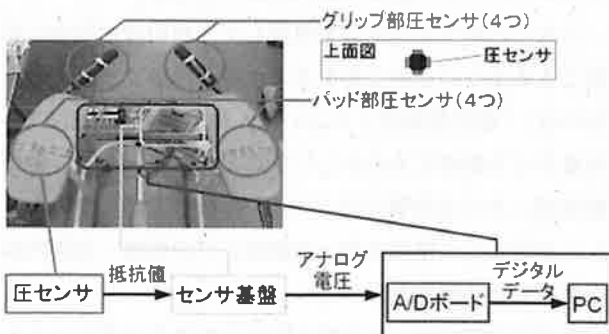


図4 利用姿勢測定装置

る。また、その際に利用者の持ち方に関係なく測定できるように固定せずに、スライドして高さを調節できるように取り付ける。

取り付けした圧センサの抵抗値の変化は、力-電圧変換回路を用いて、圧力の変化の出力を適切な単位付きの数値で出力できるようにする。回路の構成は、トランジスタを用いた増幅回路を2つ直列に接続した回路となっている。この回路は、1つの圧センサにおける回路の構成で、今回は圧センサを16個取り付けているので、前述の回路を16個製作し、電源とGNDに対して並列に接続している。電源は、通常は5Vの定電源に接続して利用するが、単三電池を4本用いて、ワイヤレスでの利用も可能となっている。また測定するためのA/D変換器は、2つ目の増幅回路のエミッタ-GND間の電圧値を測定するように、並列に接続してある。

力-変換回路から出力された電圧値は、端子台にて信号を一つにまとめて、PCIカード型のA/D変換器を介し、ノートPCにて専用のソフトウェアを用いて測定、記録を行っている。

これらの測定機器は、図にあるように利用者の歩行に対して、邪魔にならないように歩行器の前方部の足が入らないと思われる箇所に取り付けている。

#### 3.2 利用姿勢測定実験

今回製作した利用姿勢測定装置を用いて、各利用姿勢での測定値の違いと通常利用姿勢から危険な利用姿勢へと利用姿勢が変化する際の圧力の変化が、今回製作した利用姿勢測定装置において、電圧の変化として測定できているかどうかについて検証するために、2種類の測定実験を行った。

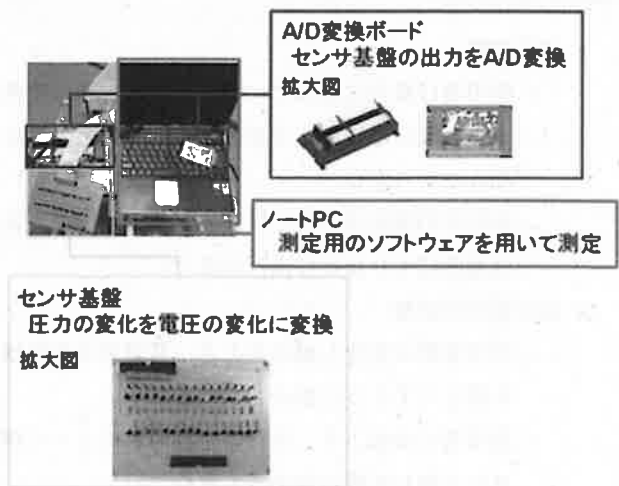


図5 利用姿勢測定装置概要

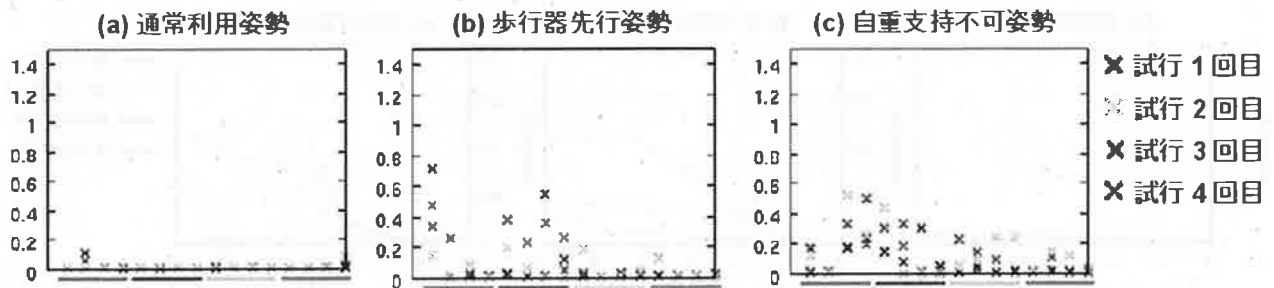


図6 静止時における各利用姿勢での平均電圧値

### 3.2.1 測定対象

今回の測定実験では、製作した利用姿勢測定装置を用いて、歩行器利用者の利用姿勢の変化を測定できるのか及び、各利用姿勢変化での測定値の違いを検証することを目的としている。そのため、測定対象は歩行機能に障害のない健康な20代の男性を、測定の対象としている。

### 3.2.2 測定実験1

まず、静止時での通常利用姿勢と歩行器先行姿勢、自重支持不可姿勢において、利用者が歩行器を加圧している時の電圧値を各センサについて測定する。測定は以下のような方法で行う。

1. 測定開始後の10秒間を準備期間として、歩行器にふれない
2. 10秒後、利用者に測定姿勢を25秒間維持する
3. データの精度向上のため、1, 2を4回繰り返す

### 3.2.3 測定結果

測定結果を図6に示す。このグラフは縦軸は電圧を、横軸は各センサの位置を表している。各センサに関しては横軸の下にある下線のうち、赤が右パッド部、青が左パッド部、緑が右グリップ部、ピンクが左グリップ部にあるセンサの測定結果の値を時間平均した値を表示しており、下線上の4つのポイントは、それぞれの箇所に設置された圧センサの値の平均値を示している。また、ポイントの色は試行ごとに異った色で表示している。

通常利用姿勢では、圧力の変化がほとんど見られなかった。これは、通常利用姿勢を本研究での基準の利用姿勢としているためである。この場合、圧センサの抵抗値は無限大となり、パッド部・グリップ部共に圧力の変化は極微小な変化のみとなった。

歩行器先行姿勢では、左右のパッド部に圧力が強くかかっていることがわかる。グリップ部の測定値に変化がないのは、歩行器を固定して、測定を行ったため、歩行器が不安定にならず、無理に歩行器を安定させる必要があったからであると考えられる。また、各測定値のばらつきは、利用姿勢をとった際に、腰が肩と脚を結んだ

直線より、上か、直線上か、下かや身体を曲げた角度によって、パッド部を加圧する強さが変化しやすいためにこのような結果になると考えられる。

自重支持不可姿勢では、左右パッド部、グリップ部ともに圧力がかかっていることが計測された。静止している場合でもこの姿勢では、自身の体重を足で支えてはいないので、自身の腕の力のみで姿勢を維持しなければならないことになる。そのため、パッド部、グリップ部の両方で強い圧力が計測されたと考えられる。

### 3.2.4 測定実験2

静止した通常利用姿勢から、通常利用姿勢で歩行した時と各危険姿勢へと利用姿勢が変化する際の圧力の時間的変化を測定する。測定方法は、以下のような方法でおこなう。

1. 測定開始後、静止した通常利用姿勢で5秒間待機する
2. 待機後、測定対象の利用姿勢をとる
3. 危険な利用姿勢に関しては、転倒直前の姿勢で止める
4. 上記3つを1サイクルとして利用姿勢と待機を4サイクル行う

### 3.2.5 測定結果

測定結果の一部を図7に示す。このグラフは、縦軸は電圧、横軸は時間でプロットしている。グラフの線に関しては、赤が右パッド部、緑が左パッド部、青が右グリップ部、ピンクが左グリップ部に設置された圧センサの4つの平均値を表示している。

通常利用姿勢では、圧力の変化はほとんど測定されなかった。また動画像でも、接触面では軽く触れている程度に見える部分が多く、強く歩行器に身体を預けるような動作は見られなかった。歩行器先行姿勢では、利用者と歩行器の間の距離が離れるにつれて、パッド部にかかる圧力が上昇し、同時にグリップ部の圧力を少し上昇した。歩行器と利用者の間の距離が一定以上離れると、歩

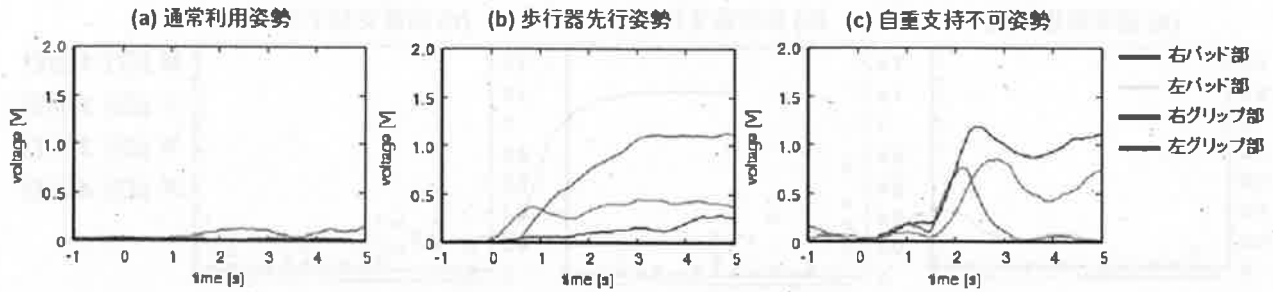


図7. 利用姿勢変化時の圧力の時間的变化

行器後部のストッパーにより、上半身が下がることができなくなり、徐々に両足のみが歩行器から離れることになり、通常利用姿勢に戻ることは困難となる。

自重支持不可姿勢では、主にグリップ部で強い圧力が測定された。圧力の変化傾向としては、パッド部には、利用者が立位の維持や歩行の疲れにより、自身の体重を支えることができなくなり、崩れ落ちてしまった場合に利用者の体重がかかる。また同時にグリップ部は、反射的に姿勢を維持しようとして、強く握った分の圧力がかかる。崩れ落ちた後は、腕が肩よりも上の位置にくるので、腕に力をいれづらくなり、腕が伸びきって多少浮いてしまうこともあるため、圧力が弱くなることがあると考えられる。

#### 4. 考察

##### 4.1 測定実験全体の考察

歩行器利用者の姿勢推定を行うために、静止状態における各利用姿勢での圧力の強さにどのような違いがあるのか、検証を行った。また通常利用姿勢での歩行と通常利用姿勢から各危険姿勢への変化を、動画像として撮影し、動画像から描写した時系列データと利用姿勢測定装置を用いて測定した時系列データと比較し、利用姿勢変化と圧力変化の関係性を検証し、利用姿勢推定が可能かを検証した。

通常利用姿勢において、測定実験1から圧力が変化していないことが確認された。それにより、歩行機能の低下した利用者での場合では、全体的に歩行器に身体を預ける形になると考えられ、パッド部の測定値が健常者の場合よりも高い測定値になると考えられる。

また、測定実験2から、特に目立った姿勢の変化は見られず、上半身が左右に少し揺れながら、歩行することが特徴として挙げられるくらいである。

歩行器先行姿勢では、測定実験1より、主にパッド部に圧力がかかる利用姿勢であるという結果が得られた。

歩行機能の低下した利用者の場合、パッド部で腕が伸びきって、肘が浮いてしまったり、測定箇所を大きくはずれてしまう可能性が高い。そのため、始めは健常者より高い測定値で、同様の変化をするが、利用姿勢変化後には測定値が不安定になると考えられる。逆にグリップ部は、利用姿勢が悪化するほど強く握られるので、健常者よりも高い測定値となると考えられる。

また、測定実験2より、通常利用姿勢から歩行器先行姿勢へと利用姿勢を遷移させた場合には、姿勢変化開始から約2秒間は、利用者が歩行器に運れることで両脚が後方に下がり、上体の位置が低くなるので、パッド部において圧力の上昇が見られる。2秒後以降は、背中が後ろのストッパーにあたり、上半身が下がれなくなる。そのため、両脚のみが遅れ、さらに姿勢が崩れ、両腕が伸び始め、パッド部の圧力の変化が不安定になることになったと考えられる。

自重支持不可姿勢では、測定実験1より、パッド部での測定結果のばらつきは、歩行器先行姿勢と同様に自重支持不可姿勢へと利用姿勢が変化した時に、腕が伸びきってしまいパッド部から浮いたり、はずれてしまうことがあるからである。また、グリップ部での測定値が他の利用姿勢より、高い測定値となるのは、パッド部が上記の理由から不安定になるため、グリップ部を強く握り姿勢を安定させようとするためであると考えられる。歩行機能の低下した利用者の場合でも、この利用姿勢では、健常者と同様な姿勢変化を経て、最終的に崩れ落ちることになると思われるので、パッド部・グリップ部ともに健常者での測定値よりも、多少高くなる程度で、測定値の変化傾向はほぼ変わらないと考えられる。

また、測定実験2より自重支持不可姿勢へと利用姿勢を遷移させた場合には、姿勢変化開始から約1.5秒間は前方に倒れこみ、歩行器先行姿勢に似た姿勢になる。このとき、歩行器に身体を預けることがあり、パッド部の測定値が上昇することがある。その後、約1秒間で腕が

伸びパッド部の測定値が減少して、代わりに姿勢を安定させようとしてグリップ部での測定値が上昇する。腕が伸びきった後では、パッド部での測定値がグリップ部での測定値より低くなり、グリップ部の測定値が高い値で安定する。これは、腕の位置が肩よりも高い位置にあるため、姿勢を安定させるのに、グリップ部を強く握るためでないかと思われる。

#### 4.2 転倒に繋がる利用姿勢の制御に向けて

前節の結果を用いて、転倒危険に繋がる利用姿勢の回避・軽減を考えた場合、歩行器先行姿勢、自重支持不可姿勢ともに、利用者がまだ、通常利用姿勢に自力で戻ることができる利用姿勢のうちに歩行器の制御を行う必要があると考えられた。利用者が自力で姿勢を戻すことのできる利用姿勢は、歩行器先行姿勢では、両脚が後方に下がりきる前の姿勢変化開始から約2秒後の間での利用姿勢が制御対象に該当すると考えられる。同様に自重支持不可姿勢では、前方に倒れ込むような姿勢をとる姿勢変化開始後から約1.5秒間の間の利用姿勢が制御対象に該当すると考えられる。

これらの制御対象となる利用姿勢になった場合に、転倒の危険を回避・軽減するには、歩行器の速度を制御し、利用姿勢を整えることが最も有効であると考えられる。

#### 5. まとめ

今回、本研究では、圧センサを用いた歩行器利用者の利用姿勢測定装置を製作し、本測定装置を実装した歩行器において、各利用姿勢における時系列的な圧力変化を測定した。

静止時での各利用姿勢の測定結果から、それぞれの利用姿勢において利用者が加圧する箇所とその平均的な強さを求めることができた。また、通常利用姿勢での静止状態からそのまま歩行すること、各危険な利用姿勢へと遷移する、利用姿勢の時系列的な変化の測定では、製作した利用姿勢測定装置が圧力の変化を、電圧の変化へと変換して測定することを可能とした。そして、利用姿勢の時系列的な変化に合わせた圧力の時系列的な変化から各利用姿勢での圧力の変化傾向の違いを、測定時に撮影した動画像での姿勢の変化と比較することで、判別するための基準を決定する要素として利用することが可能となった。

ただし、今回の測定では、通常利用姿勢と各危険な利用姿勢との判別は可能となったが、各危険な利用姿勢の細かな判別をすることは困難であった。また、知的歩行

器として、利用者の危険姿勢への利用姿勢の変化を回避するには、利用姿勢が変化し始めた直後における測定値の変化で、利用姿勢を推定することが必要になると考えられる。

このため、測定実験2から得られた時系列データの各利用姿勢での測定値変化の立ち上がりを解析することから、各利用姿勢での違いを検証すること、別センサを用いて、利用姿勢変化を別の角度から測定を行い、その測定結果と今回の測定装置での測定結果を合わせての各利用姿勢の差異を比較することによる判別を検証すること、健常者でない歩行機能の低下した人での測定を行い、健常者との測定の違いを検証することの3つの事柄が今後の課題として挙げられる。

#### 参考文献

- [1] 竹内郁雄, 柄川索, 小関篤志, 藤江正克, 田村俊世: 高齢者用電動アシスト歩行支援機の開発, ライフサポート学会誌 17 巻 1 号, 22-28, 2005
- [2] 平田泰久, 原麻美, 小菅一弘: パッシブロボティクス概念に基づいた知的歩行支援機の開発, 日本ロボット学会誌 Vol.24 No.2, pp.270~276, 2006
- [3] 矢入郁子, 猪木誠二: 高齢者・障害者の自立支援移動を支援する Robotic Communication Terminals(2), 人工知能学会誌 17 巻 2 号 SP-C, 2002
- [4] 田村俊世: 高齢者の自立のための支援機器- 身体拘束廃止と支援機器の役割-, 日本老年学会誌 40, 590-592, 2003
- [5] 松原勝美: 移動補助具 杖・松葉杖・歩行器・車椅子, 金原出版株式会社 (2000).
- [6] 金西美奈, 磯見智恵, 吉川日和子, 正木友梨, 岩田浩子: 歩行器利用者と看護師の歩行器使用の認識, 第37回日本看護学会論文集 - 成人看護 II-(2007).
- [7] 友永佳希, 白井治彦, 高橋勇, 黒岩丈介, 小倉久和, 吉川日和子, 月田佳寿美, 磯見智恵, 岩田浩子: 知的歩行器実現のための利用者の姿勢推定, 電気関係学会北陸支部連合大会 F-83(2006).
- [8] 友永佳希, 白井治彦, 高橋勇, 黒岩丈介, 小倉久和, 吉川日和子, 月田佳寿美, 磯見智恵, 岩田浩子: 知的歩行器における知的機能の検討 - 歩行器利用者の転倒軽減に向けて -, 電気関係学会北陸支部連合大会 F-44(2007).

Faint, illegible text in the top left column, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

2174

Main body of faint, illegible text in the left column, continuing from the top left.

Faint, illegible text in the top right column, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

Main body of faint, illegible text in the right column, continuing from the top right.

Main body of faint, illegible text in the right column, continuing from the middle right.

Faint, illegible text at the bottom of the right column.

## 初学者を対象にした組み込み開発学習教材の製作 - H8を搭載したマイコンボードYOSIMAX-3664の設計と開発 -

吉岡 正博\* 小高 知宏\* 白井 治彦\*\*  
黒岩 丈介\*\*\* 小倉 久和\*\*\*

### Development of the Teaching Materials for Embedded Instrument - Manufacturing a Microcomputer Board named "YOSIMAX-3664" that is Mounted H8 Processor -

Masahiro YOSHIOKA\*, Tomohiro ODAKA\*, Haruhiko SHIRAI\*\*  
Jousuke KUROIWA\*\*\* and Hisakazu OGURA\*

(Received January 25, 2008)

We developed the microcomputer board named YOSIMAX-3664 (YM-3664). The processor of a YM-3664 microcomputer board is H8/3664. The YM-3664 has many input-and-output devices. For example, it includes the speaker, the data entry switch, the light-emitting-diode, the liquid-crystal-display, the servomotor, and the expansion input-output.

The purposes which developed YM-3664 microcomputer board is to use for the teaching materials for beginners. In addition, the YM-3664 also can be used as an embedded development environment. This paper describes the feature and usage of YM-3664.

**Key words :** Engineering Education, Embedded System, H8/3664, H8/Tiny

#### 1. はじめに

近年、携帯電話やハイテク家電など、いわゆる組み込み業界では市場の急速な拡大および開発期間の短縮や大規模化により、組み込み技術者の不足が懸念されている<sup>[1]</sup>。また、新卒者の組み込み開発に対する意識も、つらい業界であるとか、ソフトウェア開発は経験があるがハードウェア開発の知識が無く不安といった、マイナスの印象が多い<sup>[2]</sup>。

これらの問題を解決する一つの方法として、大学における組み込み開発の基礎教育が必要である。組み込み開発はハードウェアとソフトウェア双方の知識が必要であり、技術者教育としても非常に有意

義な分野であるといわれている<sup>[3]</sup>。そこで今回、福井大学工学部知能システム工学科の実験IIにおいて、組み込み開発を題材とした実習を行いその教材として、初学者でも親しみやすい組み込み開発体験教材を開発した。教材の製作にあたり、ハードウェアはマイコンボードの形式で自主開発しYOSIMAX-3664 (以下YM-3664)とした。本ボードを用いることで、組み込み開発の学習ができ、組み込み機器開発の試作に用いることも可能である。このYM-3664は16ビットマイコンをメインとした学習ボードである。ボード上にはLEDやスピーカやスイッチといった、入出力デバイスを実装しており、開発から実行までをボード単体で行えるという特徴がある。これにより初学者であっても組み込み開発の流れを把握しやすくした。

本論文では、2章と3章でYM-3664の設計と製作について記し、4章で実際にYM-3664を用いた結果を記す。なおYM-3664の詳しい機能やファームウェアなどについては付録とした。

\* 大学院工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻

\*\* 工学部技術部

\*\*\*大学院工学研究科知能システム工学専攻

\* Nuclear Power and Energy Safety Engineering Course,  
Graduate School of Engineering

\*\* Dept. of Technology, Dept. of Engineering

\*\*\*Human and Artificial Intelligent Systems Course,  
Graduate School of Engineering



## 2. YM-3664の設計仕様

YM-3664の主な設計方針は以下の3点である。

- ▶ 初学者を対象にした組み込み開発教育における、親しみやすい教材であること。
- ▶ 基礎学習後さらに応用したい場合にも、対応できる様な拡張性を持つこと。
- ▶ 教育以外の利用として、汎用のマイコン開発ボードの機能を有すること。

そして、これらの条件を満たすために、具体的な仕様を決めた。

まず、親しみやすさの面として直感的にわかりやすいインタフェースを採用するべきと考え、ボード上にLEDと液晶とスピーカを実装することを検討した。さらに手で触ると変化が起こるインタフェースとして、温度センサやつまみ入力の実装を考えた。

開発におけるソフトウェア的な配慮としては、開発言語が問題となる。組み込み開発で一般的な言語はC言語であるため、C言語で開発できるCPUが必須条件となる。その上で、開発環境はフリーソフトウェアの形で手に入り、環境構築の容易なものを検討した。さらに、ハードウェアを直感的に制御できるような関数も多数用意した。これにより、組み込み開発の初学者であっても、ごく初歩のC言語の知識さえあれば、ひととおりの機能を試すことができるようにした。

次に、基礎の学習が終了し応用へ進む場合にも、同じボードで対応できるような工夫を検討する。これはボード上のスイッチやスピーカ等で使用していない入出力ピンは全て拡張入出力として、拡張ピンの形式で実装することで実現可能である。これにより、YM-3664と外部機器を接続することでボードに実装されていない機器の制御も行うことが可能である。

最後に、教育用途以外の使用方法として、インタフェースを実装済みの汎用マイコンボードとしても機能するように設計するため、入出力の数を増やすことを検討した。ボード上に数個の入力スイッチ、出力として数個のLEDとスピーカ等を実装し、外部拡張インタフェースも実装すれば汎用の入出力としては十分な数と考えた。

また中心となるCPUモジュールはコネクタによる取り外しを可能とすることで、YM-3664上で動作を確認した後に、別システムにそのまま組み込むことができる考えた。このような設計にしておくと、組み込み機器の試作時にその都度試作機を製作する必要が無く、そのままYM-3664を使うか、あ

るいは追加回路のみ製作すればよいため開発期間の短縮になると思われる。

以上の3点の方針を満足する設計について、その詳細をハードウェアとソフトウェアに分けて以下に述べる。

### 2.1 ハードウェア

メインとなる処理部にはルネサス テクノロジ社の16bit CPUであるH8/3664<sup>14)</sup>を用いた(図1)。

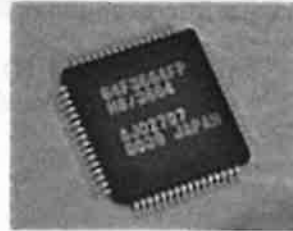


図1 ルネサス テクノロジ製 H8/3664

H8シリーズは採用実績も多く参考資料の入手性も良い。また開発言語は一般的なC言語に対応しており、開発環境もフリーウェアで対応できるためコスト面で有利である。このCPUは図2の様に秋月電子から扱いやすいモジュール<sup>15)</sup>として販売されている。これは図1のような表面実装部品で提供されるH8/3664を、扱いやすい汎用ピンの形式に変換し、さらに水晶発振子とシリアル通信用の電圧レベル変換チップを搭載した商品である。

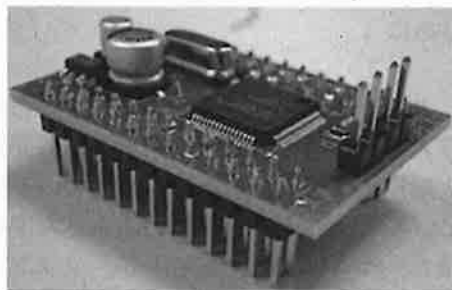


図2 秋月電子製 H8/3664モジュール

YM-3664はこのCPUモジュールに対応するマザーボードの形式で図3の回路図のように設計した。構成要素となる入出力デバイスは表1にまとめた。

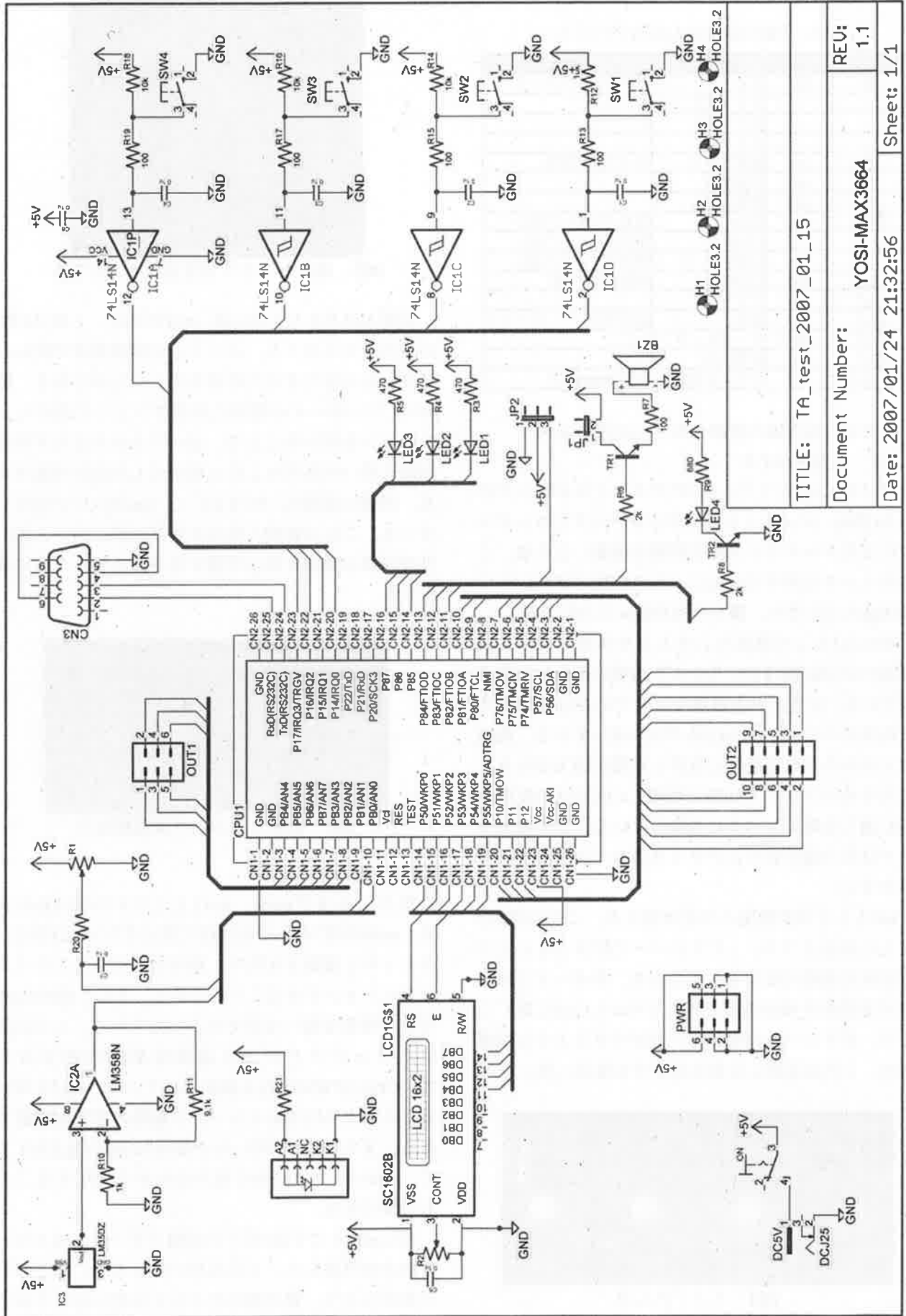


図3 YM-3664の全回路図

表1 YM-3664の入出力デバイス

IN/OUT	module	element	備考
IN	in0	スイッチ1	タクティルスイッチ
-	-	スイッチ2	-
-	-	スイッチ3	-
-	-	スイッチ4	-
IN	in1	温度センサ	オペアンプ併設
IN	in2	可変抵抗	
IN	ext0	拡張入力	
OUT	out0	LED1	発光ダイオード(赤)
-	-	LED2	発光ダイオード(黄)
-	-	LED3	発光ダイオード(緑)
OUT	out1	LED4	PWM動作可能
OUT	out2	ブザー	
OUT	out3	液晶	16文字2行バックライト
OUT	out4	サーボモータ	
OUT	ext1	拡張出力	
IN, OUT	sci0	シリアル通信	D-SUB9pinメス

それぞれの要素の詳細を以下に記述する。

### 2.1.1 入力デバイス

はじめにin0として、4つのタクティルスイッチがある(図4)。シュミットトリガインバータとコンデンサによるチャタリング除去回路も実装したため、このスイッチを押すとCPUにパルスが出力されCPUではHigh入力となり、離した場合Low入力となる。

次にin1として温度センサ入力を用意した。これは図5の左端のIC3というシルク印刷の部分に実装されている。IC化された温度センサであるLM35DZ<sup>[6]</sup>と汎用オペアンプのLM358<sup>[7]</sup>から成っている。温度センサからは周辺温度に依存した電圧出力があり、これをオペアンプで10倍に増幅しCPUのA/D変換回路に適した電圧レベルに変換している。この温度センサは出力電圧がリニアライズされており非常に扱いやすい。

in2として可変抵抗入力を実装した。これは図5の右上にあるような、+ドライバーで回すことにより抵抗値を連続可変するものである。本ボードではこの可変抵抗を補助抵抗を挟んでVccとGndに繋ぐことで、ボリュームの様な使い方ができるように配慮した。これは連続した変化をさせる場合に用いる。

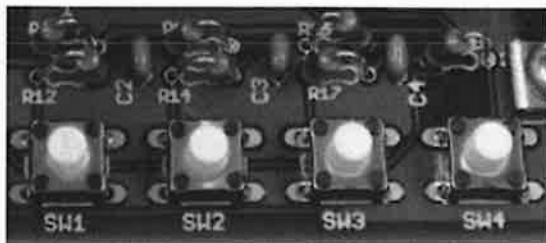


図4 スイッチ入力



図5 温度センサと可変抵抗とスピーカ

拡張入出力としてはext0, ext1がある。これはCPUの入出力ピンのうち、ボード上の構成要素で使われてないものをできるだけ引き出したものである。図6のようにボードの背面に汎用ピンとして設けた。このピンを用いることで、ボード上のみならず外部回路も用いた応用をしたい場合にも対応が可能である。同様に電源も+5Vを2ピン、Gndを4ピン出力している。これは拡張入出力を外部回路に用いる際、外部回路の電源を別に用意する手間を省くために設置した。



図6 拡張入出力と外部電源出力

### 2.1.2 出力デバイス

出力にはまずout0, out1として4つのLEDがある。out0は図7のような汎用に扱える3つのLEDで、スイッチと連動させたり、組み合わせることでイルミネーションさせることができる。そして図8がout1であり特殊な扱い方ができるLEDである。このLEDはトランジスタによる高輝度駆動回路を介して、CPUのPWM出力と接続されている。out1を用いることによりLEDのインバータ駆動の学習が可能である。またPWMを用いない場合は汎用のLEDとして、out0の3つのLEDと組み合わせて使用することも可能である。

次にout2として図5右下の電磁ブザーによるスピーカ出力を用意した。これを用いることで、電子ピアノを作ったり、警告用のサイレンに用いることができる。応用製作にエンターテイメント性を加えるこ

とが可能となり、初学者に親しみやすい環境が期待できる。



図7 汎用LED3個とサーボモータ出力ピン



図8 インバータ駆動用LED

標準出力としてout3には液晶を実装した。この液晶は16文字x2行の計32文字表示が可能で、文字は半角カナと英数字を表示できる。その他にも8文字まで自作データを表示させることができる。製品ではコピー機やレジキャッシャー、自販機などのあらゆる製品に組み込まれており、安価で採用実績の多い表示素子である。本ボードではこの液晶を用いて、メッセージを表示したり、デバッグの際の補助に用いる。

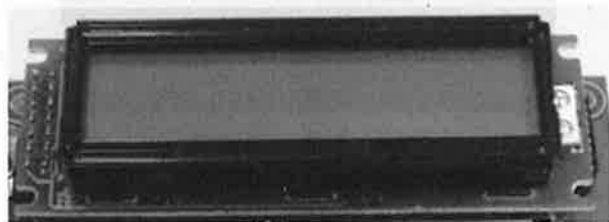


図9 16文字x2行表示の液晶

最後の出力要素としてout4のサーボモータがある。これは3ピンの端子で、順に信号出力、+5V出力、Gndとなっている。市場には主に2種類のピン配置のサーボモータが販売されており、本ボードでは向きを変える事でどちらにも対応している。このサーボモータ出力により、サーボモータをライトレーサ等の操舵に用いたり、ロボットの関節駆動の学習用に用いることができる。

その他に特殊な要素として、sci0というシリアル通信要素を実装した。これは図10のような9ピン汎用D-subメスコネクタと、CPUモジュール上に実装

された電圧レベル変換ICから成る。クロス開発時にはこのコネクタを用い、開発以外ではシリアル通信のコネクタとして利用できる。これによりコンピュータとRS-232Cでのシリアル通信を行ったり、外部回路との通信を行うことができ、複雑な制御にも対応可能である。



図10 シリアル通信用コネクタ

以上がYM-3664の全入出力デバイスの詳細である。これら要素を駆動させるために、電源は安定化された5V単一電源が必要となる。電源容量はサーボモータ使用時には数A必要になることもあるが、サーボモータを使わない限り数100mAあれば全機能を動かせるのに十分である。以上の構成要素を図11の様に、CPUを中心とした入出力要素として初学者に理解しやすくまとめた。組み込み開発で重要なのは、開発しようとするシステムにどのような入力と出力があるのか、その働きや関係を把握することである。YM-3664の開発にあたり、入出力を明確にすることで、表1のような入出力を図11の様に把握して開発ができるように工夫した。

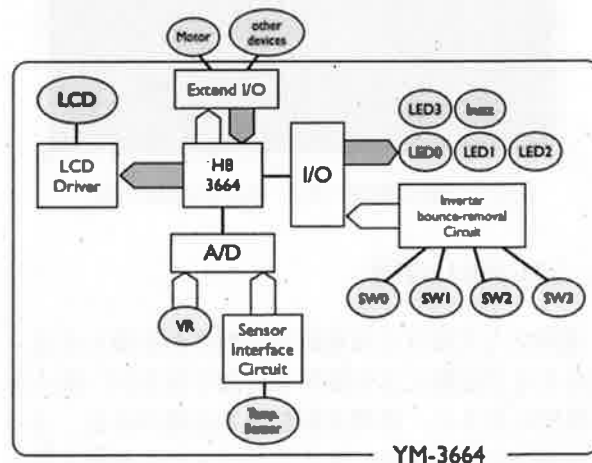


図11 YM-3664の構成図

## 2.2 開発環境

開発言語はアセンブリ言語かC言語を用いる。本ボードでは基本的なC言語の素養があれば、全機能

を扱えるよう設計した。細かい修正などはアセンブリ言語で対応可能であるが、基本的にはC言語での開発となる。

開発の流れは図12のとおりである。まずC言語でソースとなるプログラムを記述し、コンパイラでアセンブリ言語に変換される。次にアセンブラにより機械語に変換され、リンカによりその他のファイルと結合され実行可能ファイルが完成する。

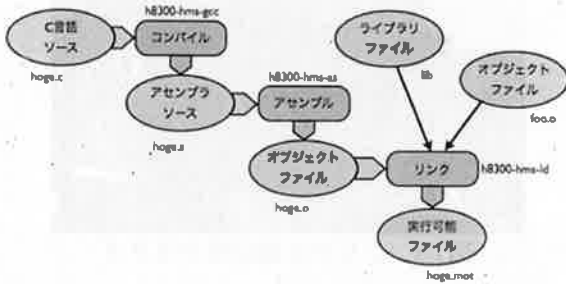


図12 開発フロー

この一連の開発を行うのが、開発環境である。今回は、実験で用いる際、OSとしてLinuxを用いる必要があったため、GPLライセンスで無償配布されているgccツールスイートを用いた。Windowsを用いる場合には、図13であげているGCC Developer Lite<sup>®</sup>のようなGUI環境も用いることができる。



図13 開発環境 GCC Developer Lite

### 3. YM-3664の製作

教材として使うには複数台の製作が必要となる。数台なら手配線による製作も可能であるが、数十台の規模になると、専用基板を作る必要がある。よって本製作に移る前に、まずユニバーサル基板を用いて図14のような試作をした。この試作により、大体の構成要素のテスト動作を検証する事ができた。

次に試作した回路を回路CADにて、電子図面として記述した。専用基板を作る際、訂正箇所があると

その都度コストと期間がかさむため、完成度を高めるための作業である。

そして、電子図面が完成したらモックアップとして、専用基板を印刷したものをボール紙に貼付け、実際に部品を仮実装する作業を行った。これにより、部品間の干渉などのミスを防ぐことができた。

最後に基板製造会社への発注を行った。届いた基板が図15のものである。そして、全部品を実装して完成したものが図16である。

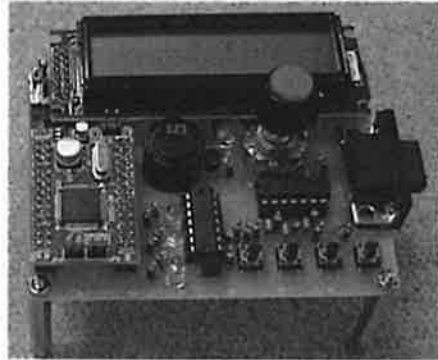


図14 YM-3664の試作版

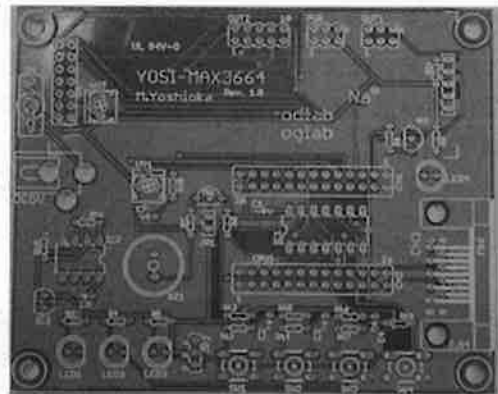


図15 YM-3664基板

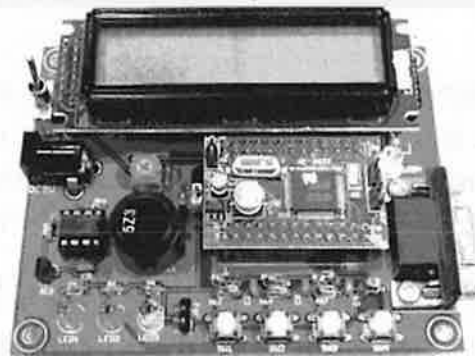


図16 YM-3664完成版

### 4. YM-3664の適用例

YM-3664には、CPUにH8/3664を搭載し、シリアル通信、LEDやスイッチ等の各種I/O、デバッグや表示用に用いる液晶が全て実装されており、組み込み開発の教育に用いる学習教材や、組み込み機器の試作に用いることが可能である。

本章では、学習ボードとして用いる例に、知能システム工学科の知能システム工学実験IIをとりあげた。また、試作に用いる例として研究室の入退室管理システムの試作例を示した。

#### 4.1 学習ボードとして用いた例 (知能システム工学実験II)

福井大学工学部知能システム工学科2年生の実験「知能システム工学実験II -組み込み用マイコンによるリアルタイム制御-」に於いて図17のようにYM-3664を用いた実習を行った。この実習は、前年度まではPICマイコンによるアセンブリ言語による実習であったが、本年度からはYM-3664を用い、C言語による開発を行った。



図17 実験に用いたYM-3664

実験内容は表2の通りである。各3時間ずつ第1週と2週に分かれており、第1週でまず基本を学び、第2週で応用として各自オリジナルの動作プログラムを組み込んだ製作を行う。

まず第1週では組み込み開発の背景について触れ、開発目的の理解をさせる。そして、各自のコンピュータ上で開発環境の構築をした。このコンピュータはOSがFedoraCore3というLinux系OSであるため、開発環境にはGNUライセンスのgccツールスイートを用了。開発環境が整ったところで、あらかじめ教材として用意しておいたサンプルプログラムの実行を含め実習に移る。

YM-3664のボード上には入力スイッチや温度センサ、LED、スピーカなどの入出力が実装されており、以上の(1)~(5)のような実習内容をYM-3664単体で行うことができた。また多種の回路を組み合わせることなくYM-3664単体で開発が進められると

いうことは、直感的に開発状況が理解できると考えられ、学生の組み込み開発への親しみやすさが向上すると思われる。

表2 実験内容

	内容
(1) デモプログラム	入力としてスイッチ1~4, 可変抵抗, および温度センサ, 出力として液晶, LEDおよびスピーカを用いる。各スイッチが割り込みの発生源となっており, スイッチに応じて動作するプログラムが切り替わる。プログラム内容は, 1つ目が可変抵抗の操作量に応じてLEDの輝度が高低するものであり, 2つ目が同様にスピーカから出力される音の音程が高低するものである。3つ目はLEDのイルミネーションであり, 最後が温度センサによる室温の液晶への表示である。
(2) 入出力	組み込み開発の基本は, どのような入力に大してどう出力するかである。ここではスイッチを入力としてLEDを出力とした簡単な環境に限定して, マイコンの入出力についてのプログラムを作成する。さらにスイッチのチャタリング現象についても各自調査をさせる。
(3) タイマ制御	組み込み機器ではタイマによる時間制御が必須である。例えばPWM機能を用いるにもタイマが必要であるし, 目覚まし機能を実装するにもタイマが必要となる。ここでは, LEDの点滅間隔をタイマで制御するプログラムを用意し, その間隔の変更をさせる。
(4) A/D変換	声や温度といった, 自然界に存在するあらゆるアナログ情報を組み込み機器で扱うには, いったんデジタル情報に変換する必要がある。ここではそれについて考察を含め, ボード上の温度センサをA/D変換して液晶に表示させるプログラムを各自で改造させた。さらにセンサを扱う上で重要となるオペアンプ回路についても, その動作を実際にデジタルマルチメータを用いて測定することで理解を深める。



	内容
(5) オリジナル	(1)~(4)をひととおり終えたあとに、応用として各自で考えた動作を盛り込むオリジナルのプログラムを作成させた。これは各自が仕様の決定からコード開発およびデバッグまですべての段階を体験するため、組み込み開発の一連の作業が簡単ではあるが理解できると考えている。

#### 4.2 組み込み機器の試作に用いた例 (入退室管理システム)

研究室の入室と退室を管理するシステムを製作する際に、試作段階にてYM-3664を用いた。本システムは研究室内部に操作パネルを配置し、廊下に面したドア部分設置した表示BOXに内部の状況を表示するものであり、構成図は図17である。

今回は表示BOX部分 (図17白黒反転部分) の試作について記す。

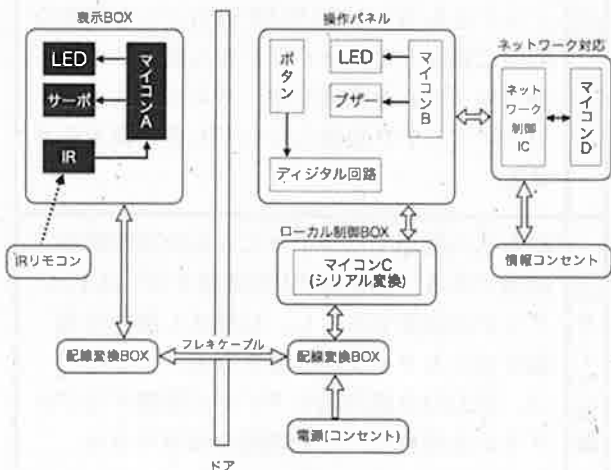


図17 入退室管理システムの構成図

図18が実際の開発の様子である。右奥に見えるのが表示BOXで、左手前がYM-3664である。

このような機器を開発する際には、その都度ユニバーサル基板やブレッドボードを用いて試作回路を製作するのが一般的である。だがYM-3664を用いる事により、ある程度の回路規模なら試作回路の製作を省く事ができる。もし回路規模が大きくなった場合でも、YM-3664には外部拡張が実装されているため、拡張部分だけ外付けの回路にすれば良い。今回の試作では、入力として数個のボタン、出力としてLEDとサーボモータ駆動ができれば良かったため、ボード単体で十分に開発できた。

また、デバッグに於いても、高価なデバッガを使わない限りは、コンピュータとシリアル通信を可能にする回路を特別に作り、コンピュータのコンソールでデバッグするのが一般的である。YM-3664には液晶が実装されており、簡単なデバッグならボード単体で十分可能であった。

最終的に試作が成功し、本製作に移る場合に於いても、YM-3664からCPUモジュールを抜いて、そのまま用いる事ができる。このように、組み込み機器の開発にはYM-3664が非常に便利である。

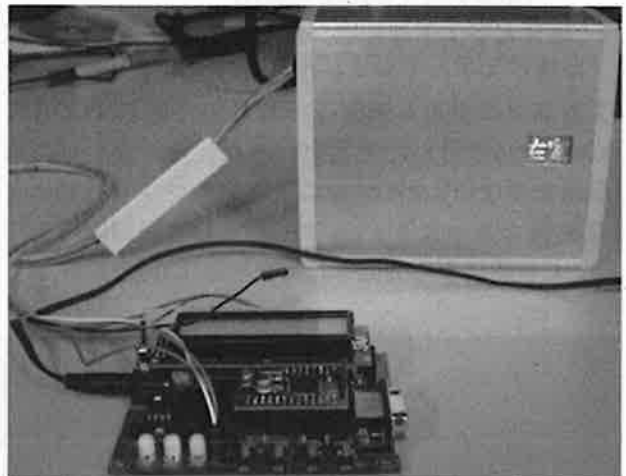


図18 同システムの試作状況

#### 5. 考察とまとめ

初学者を対象にした、組み込み開発の学習教材として16bitマイコンを搭載したマイコン開発ボードを開発しYOSIMAX-3664と名付け複数台製作した。教育用としては15台を製作し、知能システム工学科に納めた(場所は総合情報棟I 3F ロボット工房)。このボードには複数の入出力が搭載されており、学習用に向いているうえに、汎用開発ボードとしても使用可能である。その実証として学部生の実験教材としての使用と、組み込み機器の開発をする場合でも、入退室管理システムの試作に、YM-3664を実際に使用し効果的であることを確認した。

YM-3664を用いた実験の考察として、今回は初めてであるため、教育効果としての蓄積はまだわずかではあるが第1週目のデモプログラムの動作においては楽しそうにスイッチ操作や可変抵抗を回し、どのような動きをするのか確かめている学生が多く見受けられた。また第2週目のオリジナルプログラムの作成では個々の学生が真剣に自分のプログラムを完成させ、確認とデバッグをしていた。その場の実習の雰囲気は良いものであった。使用できるライ

ブラリやシステムコール群を追加し、初学者により親しみやすい改良をしていきたいと考えている。また時間の制約もあり、割り込みの学習も含めたかったが、説明だけにとどめざるを得なかった。次回からは内容を練り直す必要がある。

また知能システム工学実験IIは4時限分の使用であり、簡単な実習のみでYM-3664の機能を十分発揮できなかった。今後、授業15時限分を使う機会があれば、組み込み開発の基礎から実習まで一環した教育が可能であると考えている。今期の実験における反応をまとめ、次期の利用に役立てると共に、より多くの研究を補助するためのマイコン開発環境として、本稿に加え詳細マニュアルを用意するなど、使いやすさの追求を続けていく予定である。

## 参考文献

- [1] 社団法人 組込みシステム技術協会：  
<http://www.jasa.or.jp/top/index.html>
- [2] 技術者を応援する情報サイト Tech-On：  
<http://techon.nikkeibp.co.jp/>
- [3] 組込みソフトウェア管理者・技術者育成研究会 (SESSAME)：<http://www.sesame.jp/>
- [4] 株式会社ルネサス テクノロジ：H8/3664グループハードウェアマニュアル(2006)
- [5] 株式会社秋月電子通商：AKI-H8/3664Fモジュール単品(通販コードK-159),  
<http://akizukidenshi.com>
- [6] 株式会社National Semiconductor：LM35DZ  
データシート
- [7] 株式会社National Semiconductor：LM358  
データシート
- [8] 株式会社ベストテクノロジー：GCC Developer Lite, <http://besttechnology.co.jp>

## 付 録

C言語の初学者にも理解しやすい様、さらに組み込みに容易に馴染める様に、入出力デバイスの初期設定と動作は関数化し、入力の判定はマクロ定義した。少ないプログラム行数でデバイス操作が可能である。以下にそれらの一例をあげた。表3が入出力デバイスの設定関数例で、表4がそれを用いたプログラム例である。



表3 入出力デバイス設定関数

	関数名	引数	機能
[1]	in0_init()	引数なし	SW1, 2, 3, 4を使用可能にする
[2]	out0_init()	引数なし	LED1, 2, 3を使用可能にして消灯で待機
[3]	out1_init()	引数なし	ブザーを使用可能にする
[4]	out2_init()	引数なし	LED4を使用可能にして消灯で待機
[5]	wait(int ms)	引数なし	時間待ち
[6]	led1_on() と led1_off() led2_on() と led2_off() led3_on() と led3_off() led4_on() と led4_off()	引数なし	LED1,2,3,4を点灯/消灯する
[7]	buz_on() buz_off()	引数なし	ブザーを鳴動/停止する
[8]	SW1_ON と SW1_OFF SW2_ON と SW2_OFF SW3_ON と SW3_OFF SW4_ON と SW4_OFF		SW1,2,3,4の状態を判断する
[9]	LCD_init(16)	引数なし	液晶を使用可能にする
[10]	LCD_disp(unsigned char* str, int line)	str : 表示させたい内容 line : 液晶の表示行, 1か2	液晶に文字列を表示
[11]	LCD_char(unsigned char dat)	dat : 表示させたい内容	液晶に1文字表示
[12]	LCD_locate(int line, int col)	line : 行を指定, 1か2 col : 列を指定 0~15	液晶の表示位置を指定

表4 プログラム例

	動作	プログラムコード	説明
[1]	もしSW1がonなら LED1を点灯させる	<pre> out0_init(); in0_init();  while(1) {   if(SW1_ON) {     led1_on();   } } else led1_off(); </pre>	SW1とLED1を使用するため、in0とout0を初期化する。無限ループで、SW1がONのときだけLED1をONにする。

	動作	プログラムコード	説明
[2]	LED4(out2)を500msおきに点滅させる	<pre>out2_init(); while(1) {   LED4_ON;   wait(500);   LED4_OFF;   wait(500); }</pre>	LED4を使用するため、out2を初期化する。無限ループで、LEDのONとOFFを500msごとに行う。
[3]	液晶に文字"A"を表示	<pre>LCD_init(16); unsigned char buf = 'A'; LCD_char(buf);</pre>	液晶を使用するためLCDを初期化する。LCDにAと表示する。
[4]	液晶1行目の3列目からHALと表示	<pre>LCD_init(16); LCD_locate(1, 3); LCD_char('H'); LCD_locate(1, 4); LCD_char('A'); LCD_locate(1, 5); LCD_char('L');</pre>	液晶を使用するためLCDを初期化する。LCDの1行目の3列目からHALと表示する。
[5]	液晶1行目に文字列を表示	<pre>LCD_init(16); LCD_disp("キョウハ10グッズ", 1);</pre>	液晶を使用するためLCDを初期化する。LCDの1行目から文字列"キョウハ10グッズ"を表示する。
[6]	液晶に温度センサの値を表示	<pre>unsigned int value; unsigned char temp[] = "0";  LCD_init(16); LCD_disp("Temperature", 1); LCD_disp(" /100°C", 2);  while(1) {   while( (ADCSR &amp; 0x20) == 0x20 );   value = (ADDRB&gt;&gt;6) * 4.4;   itoa(temp, value);   LCD_disp(temp, 2);   ADCSR  = 0x20; }</pre>	液晶を使用するためLCDを初期化する。無限ループで温度センサの値をA/D変換にて取得し続け、液晶に表示する。

<p>1. 2019年12月31日</p> <p>2. 2020年12月31日</p> <p>3. 2021年12月31日</p> <p>4. 2022年12月31日</p>		<p>2020年12月31日</p> <p>2021年12月31日</p> <p>2022年12月31日</p>
<p>5. 2023年12月31日</p> <p>6. 2024年12月31日</p> <p>7. 2025年12月31日</p> <p>8. 2026年12月31日</p>		<p>2023年12月31日</p> <p>2024年12月31日</p> <p>2025年12月31日</p> <p>2026年12月31日</p>
<p>9. 2027年12月31日</p> <p>10. 2028年12月31日</p> <p>11. 2029年12月31日</p> <p>12. 2030年12月31日</p>		<p>2027年12月31日</p> <p>2028年12月31日</p> <p>2029年12月31日</p> <p>2030年12月31日</p>
<p>13. 2031年12月31日</p> <p>14. 2032年12月31日</p> <p>15. 2033年12月31日</p> <p>16. 2034年12月31日</p>		<p>2031年12月31日</p> <p>2032年12月31日</p> <p>2033年12月31日</p> <p>2034年12月31日</p>
<p>17. 2035年12月31日</p> <p>18. 2036年12月31日</p> <p>19. 2037年12月31日</p> <p>20. 2038年12月31日</p> <p>21. 2039年12月31日</p> <p>22. 2040年12月31日</p>		<p>2035年12月31日</p> <p>2036年12月31日</p> <p>2037年12月31日</p> <p>2038年12月31日</p> <p>2039年12月31日</p> <p>2040年12月31日</p>

## オブジェクト指向プログラミングを支援するリアルタイム シミュレーションシステム

寺尾 剛\* 白井 治彦\*\* 黒岩 丈介\*\*\* 小高 知宏\* 小倉 久和\*\*\*

### Real-time Simulation System that Educates Object Oriented Programming

Go TERAO\*, Haruhiko SHIRAI\*\*, Josuke KUROIWA\*\*\*  
Tomohiro ODAKA\* and Hisakazu OGURA\*\*\*

(Received January 31, 2008)

We constructed the system that supported the computer language education. It supports the education of object-oriented programming. This system targets object-oriented programming beginners. The support system is a game base. That name is RFG (Robot Fight Game). Learner makes the agent by using the Java. It studies by making the agent. Because the system is a game, it is possible to study easily. The system can be repeated and be used, It is possible to use it for a long time. The system was evaluated by the experiment and the questionnaire. The experimental subjects are six people. As a result, the effectiveness of the system was confirmed.

**Key words :** Simulation System, Education System, Agent System, Object Oriented Programming

#### 1. はじめに

近年、ソフトウェアシステムの規模の拡大に伴いオブジェクト指向の概念が生まれた。この考え方は計算機言語教育でも重要な要素になってきた。ゲームをベースにした教育支援システムやアニメーションを用いた教育システム [1],[2],[3] はこれまでも提案されているが、オブジェクト指向の理解を中心としたシステムは確立されているとはいえない。そこで、本研究では初めてオブジェクト指向プログラミングを行う人がオブジェクト指向の概念を理解できるゲームベースの教育支援システムの作成を行った。

様々なシステムで、多機能化やユーザーに使いやすい

システムの開発が進んできた。それによって、システムの規模はますます拡大し、プログラムを作るのに必要な知識も増え、プログラムも複雑化してきた。その結果、オブジェクト指向という概念が生まれた。オブジェクト指向とはどう処理を行うかではなく、どのような処理をさせたいかということに注目する考えかたであり、またすべてのものをオブジェクトにとらえオブジェクトによって構成しているという考え方である。

教育機関の教育方法として、教師が学習者に課題を提出し、学習者がその課題を行うという方法がとられている。この方法を使用することによって、多くの人に教育を行うことが可能となっている。しかし、個々の実力に合わせた学習が難しい、与えられる課題をこなすだけとなりやる気がでないなどの問題点も考えられる。

そこで学習者自身が自主的な学習を行えるような、また、個々の実力に合わせた学習ができるような教育システムの構築が急務といえる。

そこで、本研究ではオブジェクト指向を理解させる一つの支援システムの構築を目的とした。構築の際には学習者が自主的に学習が行え、オブジェクト指向の概念を理解し、既存のクラスを利用したプログラミングを行

\*工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻

\*\*技術部

\*\*\*工学研究科知能システム工学専攻

\* Nuclear Power and Energy Safety Engineering Course,  
Graduate School of Engineering

\*\* Dept. of Technology

\*\*\* Human and Artificial Intelligent Systems Course,  
Graduate School of Engineering

えるようなシステムの構築を行うことも目的とした。

ここではシステムにリアルタイムシミュレーションシステム（ゲーム）を取り入れることによって実現している。リアルタイムシミュレーションシステムを用いることで次のようなことが考えられる。結果がすぐに得られ、得られた結果より、自分が行ったことがどのように反映されたかが、すぐにわかる。また、このシステムを使用した学習者が何度も使用でき、なおかつゲームを楽しませながら教育支援を行うことによって、従来行われていた教育方法よりもより学習者が自主的に学習が行える環境を与えることができるようになるのではないかと考えた。

本研究ではオブジェクト指向の概念と java で使われている一部の機能を使用するリアルタイムシミュレーションシステムを用いたロボット対戦ゲーム RFG (Robot Fight Game) を作成した。RFG によってオブジェクト指向の概念を学習者に理解させることで OOP (オブジェクト指向プログラミング) が行えるようにすることが本研究の目的である。さらに、このシステムを用い、オブジェクト指向の学習における 1 つの学習方法を提案することも目的のひとつである。

また、構築した RFG によって学習者の理解にどのように反映されるか評価実験を行った。

## 2. シミュレーションシステムの構築

### 2.1 シミュレーションシステムの設計

現在さまざまな教育機関によって、計算機言語教育が行われている。この学習においてはプログラミングの基礎である構造化という考えを中心に学習が行われている。その結果、構造化の考え方を学習するために教材やシステムは多くの種類があり、学習者にあった教材を選ぶことが可能である。しかし、オブジェクト指向などの概念を理解できるような教材やシステムは構造化に関する教材などに比べ少ないと考えられる。そこでオブジェクト指向の概念を理解させる学習支援システムの構築を行った。

システムの構築にあたり現在の学習における問題点や重要な要素を考え、設計の基本方針とした。

現在、計算機言語教育にあたり、教師が生徒に基礎を教え、教師に教わった基礎を用いた課題をこなし提出を行うという過程を置いて教育が行われている。この教育方法は多くの人を教育するにおいて有効であるといえる。しかし、教師が生徒に課題を与えるという形態をとっているため、生徒はやらされている感が強くやる気が向上しないという問題点も考えられる。また、課題に面白みがなく学習者のやる気を促すのが難しいという

問題も挙げられる。

このようにいくつかの問題点が存在する。そこで問題点を解決する方法として、構造化の考えをメインにした課題をこなすのではなくオブジェクト指向の特徴が顕著に現れたプログラムについて学習することによって、オブジェクト指向の教育を進めるようにする。

また、生徒のやる気を向上させる方法として、次のことを考えてシステムの作成を行う。単純に課題を解かせるしていくのではなく、ゲーム性や娯楽性のある教育システムを作成する。これによって学習者が楽しみつつまた、持続性の高い学習環境を作成することが可能であると考えた。

その他として、学習者が行った作業によりどのような結果が反映されるかが一目でわかる必要がある。反映された結果がすぐに確認できるということも重要な要素であると考えられる。

また、プログラムを初めて勉強する人、またはオブジェクト指向プログラミングを行ったことのない人のための教育支援を基本としてシステムを構築する。

オブジェクト指向の概念を理解を促すにはオブジェクト指向の概念に対応するプラットフォームを作成することによって解決できると考えシステムの構築を行った。

### 2.2 RFG の構築

本研究により作成されたシステムは、プログラムを初めて勉強する人、またはオブジェクト指向プログラミングを行ったことのない人に向けて作られた計算機言語教育を支援するシミュレーションシステムである。オブジェクト指向という概念には多くの概念がある。そこでこのシステムではオブジェクト指向の概念の一部であるクラス、インスタンス、メソッド、継承の概念の学習支援が行えるシステムの構築を行った。構築を行ったシステムは RFG (Robot Fight Game) である。

RFG はオブジェクト指向の概念に対応しているプラットフォームを形成している。このシステムでは学習者が一体のエージェント（ロボット）を作成することとなる。エージェントの作成においてオブジェクト指向の概念を用いることとなり、このシステムを使用することにオブジェクト指向の概念が理解できるようになっている。RFG では学習者がエージェントを作成することとなるが、エージェントの作成方法として学習者がプログラミングを行い作成することとなる。

RFG ではオブジェクト指向の概念に対応するプラットフォームを形成しているが、学習者がエージェントやエージェントのパーツを個々のオブジェクトと認識することによってオブジェクトはオブジェクトによって構成していることを理解する。システムではエージェント

のパーツをクラス、パーツの装着、実装をインスタンス、パーツにさせる行動や機能をメソッドとしてオブジェクト指向に対応させることによりオブジェクト指向のクラス、インスタンス、メソッドを理解させる。また、継承の概念はシステム内に用意してあるパーツ（クラス）から新たな機能（メソッド）を付け加えることで特徴を受け継いだパーツ（クラス）を作成することに対応している。

RFG は java によって構成されている。システムは図 1 のように構成されている。インターフェイスでは学習者がエージェントの際に必要なエディタを開き、エージェントのプログラミング終了の際にはテキストファイルの拡張子を .java に自動に変更する。ここで拡張子を変更するのは学習者が作成したエージェントのクラスがそのままの形でシステムに反映されるためである。さらに変更された java ファイルをインターフェイスを通すことで java のコンパイラでコンパイルにかけ、コンパイルにかけられることによって学習者が作成したエージェントのクラスを使用できるようになる。コンパイル後インターフェイスを通してプログラムが実行されることとなる。これによってエージェントを管理するシミュレータ部でシミュレーションが行われる。学習者はシミュレーション上での結果をインターフェイスを返して確認する。

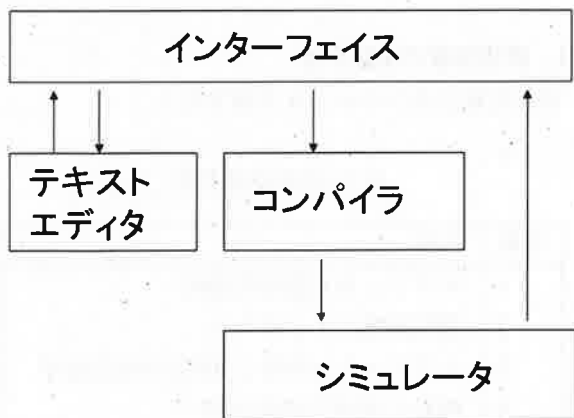


図 1: システムの構成

### 2.3 RFG を用いた学習

現在大学等で行われている計算機言語教育では最初に講師が教科書や教材を使い、概念やプログラミング方法の説明を行う。その後に課題を与えて理解を促すという形態である。RFG を用いた学習においてはここで課題を与える代わりに RFG を使用することで、理解を促すことになる。RFG は学習者がロボット（エージェン

ト）を組み立て、そのロボットの戦術を作成し、作成したロボットとその動作（戦術）を行うプログラムを用いてロボット同士を戦わせるシステムであり、エージェントの作成や行動ルールの作成には付録 A にある表 5 のエージェント記述言語を用いる。この記述言語は java の一部の機能だけを使用した記述言語であり、学習者は実際の環境に近い形でオブジェクト指向プログラミングの学習を行うこととなる。エージェント同士の戦闘をさせるまでにはエージェントとその行動ルールを何度も作成することになり、理解させることができる。

RFG を用いた学習の流れを表 1 に示す。手順 1 では大学等で行われる学習同様にオブジェクト指向の概念やプログラミング方法の説明を行う。手順 2 ではオブジェクト指向の概念が RFG にどのように対応しているかを説明する。手順 3 では RFG の使用方法を説明する。手順 4 では RFG による学習を行う。

表 1: RFG を用いた場合の学習の流れ

手順	内容
1	オブジェクト指向の説明
2	オブジェクト指向と RFG の対応説明
3	RFG の使用方法の説明
4	RFG による学習

ここでは手順 4 で行われた RFG の学習の流れを詳しく説明する。

手順 4 の RFG 使用による学習の流れを表 2 に示す。

表 2: 学習の流れ

手順	内容
4-1	エージェントの設計
4-2	エージェントの作成
4-3	エージェントの行動ルールの作成
4-4	コンパイル
4-5	エージェントの動作確認

手順 4-1 では学習者はエージェントの設計を行い、エージェントを何のパーツによって構成するかを考える。

手順 4-2 ではエージェント記述言語を用いて、プログラミングによってエージェントの作成を行う。エージェントの作成の際には図 2 の A の部分にエージェントのパーツを記述言語を用いて表す。例としてプログラムの `Missile weaponUnit1 = new Missile();` の文に注目する。これは表 5 の番号 3 のルールを使っている。<クラス名>は番号 4 のルールから<Weapon クラス>を選

```

public class Robot {
    Missile weaponUnit1 = new Missile();
    Sword weaponUnit2 = new Sword();
    WalkUnit moverUnit = new WalkUnit();
    ShortSensor sensorUnit1 = new ShortSensor();
    MiddleSensor sensorUnit2 = new MiddleSensor();

    public void go () {
        weaponUnit1.ready();
        weaponUnit2.ready();
        sensorUnit1.ready();
        sensorUnit2.ready();
        moverUnit.ready();
        moverUnit.setspeed(100);

        moverUnit.setdirection(sensorUnit1.getdirection());
    }
}

```

図 2: 学習者が作成するプログラム例

んでいる。さらに< Weapon クラス>では番号5のルールからは Missile を選ぶ。続いて<オブジェクト名>のルールでは学習者が名を自由につければよいのでここでは weaponUnit1 とつける。

このように記述ルールに従うと Missile weaponUnit1 = new Missile(); のような文が構成される。

この文によって weaponUnit1 という名の Missile をエージェントが持つこととなる。同様な操作を何度か繰り返しエージェントを作成する。

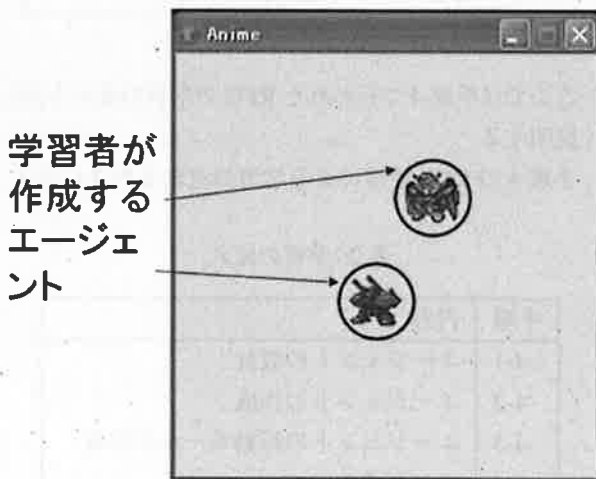


図 3: シミュレーション画面

手順4.3のエージェントの行動ルールの作成では作成されたエージェントの行動ルールを作成する。行動ルールの記述場所は図2のBの部分である。行動ルールの作成もエージェントの作成と同様に記述ルールに従って記述することとなる。このように何度も記述ルールに従ってプログラミングを行うことによって学習者は学習していくこととなる。

また、手順4.4では作成されたエージェントとその行動ルールをコンパイルすることになる。ここで実際にエージェントと行動ルールの作成方法に間違いがなかったかどうかを確認することとなる。

最後に手順4.5ではコンパイルされたエージェントの動作を確認し、学習者が考えたエージェントが作成され、学習者が予期した行動をとるかどうかの確認を行う。図3はRFGを実際に運用した画像である。このような画像からエージェントが予期した行動かどうかを学習者が判断することとなる。

### 3. RFG の評価実験

本システムはオブジェクト指向の学習を行ったことのない人を対象としている教育支援システムである。それらの人に対してシステムが有効であるかを検証するために評価実験を行った。

この実験の被験者はオブジェクト指向の学習をしたことのない大学3~4年生を対象とし行った。被験者の人数は6名である。被験者はC言語などのオブジェクト指向ではない計算機言語教育を受けたことのある学生で、初等のプログラミング技術を有している。この実験では6名の被験者を2つのチームに分けて実験を行った。各チーム内でエージェントを一体作成するものとする。また、実験の期間は1週間である。

#### 3.1 評価実験の実験手順

評価実験は表3のような手順で行う。

表 3: 評価実験手順

手順	内容
1	オブジェクト指向の説明
2	選択問題によるテスト
3	オブジェクト指向とRFGの対応説明
4	RFGの使用方法の説明
5	RFGによる学習
6	テストとアンケート

手順1では被験者はオブジェクト指向の学習を受けたことがないので、オブジェクト指向の概念がどのようなものかを知ってもらうために行った。説明の際には通常の教育機関で行う講義形式で説明を行った。手順2では2択の選択問題を被験者に解いてもらい先ほどの説明で理解度を調査した。選択問題は文章で書かれている問題を「はい」か「いいえ」で答えるもので表4に示すように全14項目である。選択問題は被験者すべての

学生に対して行った。手順3ではオブジェクト指向の概念がRFGではどのように対応しているかの説明を行った。手順4ではRFGの使用方法を説明した。手順5ではRFGを使用した。試用期間の最後には各チームで作成したエージェント同士を対戦させた。手順6では2で行った2択の選択問題を再び解き、理解度（正答率）が向上しRFGがオブジェクト指向の学習に有効であるか検証した。また、被験者にはアンケートを行い、RFGのゲームとして楽しめたか、システムは使いやすかったかなどいくつかのシステムに関する感想を調査した。

表4: 理解度評価問題

問題の内容
オブジェクト指向はデータやその集合を現実世界のモノになぞらえた考え方である
オブジェクト指向とは計算機言語特有の考え方である
オブジェクト指向とはデータを中心としてそのデータに対する操作として手続きを書いていくのではなく、手続きを中心に考えていく考え方である
オブジェクトはいくつかのオブジェクトで構成されていてもよい
オブジェクトは1つのオブジェクトからしか構成されない
インスタンスによってクラスからオブジェクトが生成される
インスタンスによってオブジェクトからクラスが生成される
1つのクラスからは1つのオブジェクトしか生成できない
クラスとは設計図みたいなものである
クラスとオブジェクトは同意義である
メソッドとは物体全体に対する命令である
メソッドとはあるオブジェクトに対する命令である
継承とはそのオブジェクト特有の機能だけを引き継ぐものである
あるオブジェクトを継承した場合継承したオブジェクトは継承したオブジェクトに類似する

### 3.2 評価結果

システム運用前に行った選択問題に対する正答率を図4に示す。また、システム運用後に行った選択問題に

対する正答率を図5に示す。質問項目は14問あり、システム運用前では68%の正答率に対してシステム運用後の回答では82%と正答率の向上につながった。また、システム運用前と運用後の正答率では継承やメソッドに対する問題の正答率が大きく向上していた。これはRFGのシステム内でエージェントに動作させる際に他の多くの機会メソッドを使用することになるためであると考えられる。また、継承に関してはもとのパーツから新たなパーツを作る際にもとのパーツにあるメソッドが継承してもそのまま使えるということプログラミングをすることによって理解したためと考えられる。

システムの運用前と運用後の選択問題のテストでは運用後の方がほとんどの項目で正答率が向上した。しかし、「1つのクラスからは1つのオブジェクトしか生成できない」の問いに対しては向上が見られなかった。これはRFGのシステムの特性上エージェントのプログラミングを行う際に1つクラスから2つ以上のオブジェクトを作成することがないためと考えられる。

システムの特性上すべての概念を理解するにはいたらなかったが、システム運用前とシステム運用後では問いに対する正答率の向上が見られた。これらのことからRFGを用いることでオブジェクト指向の概念を学習支援するのにある一定の有効性があることがわかった。

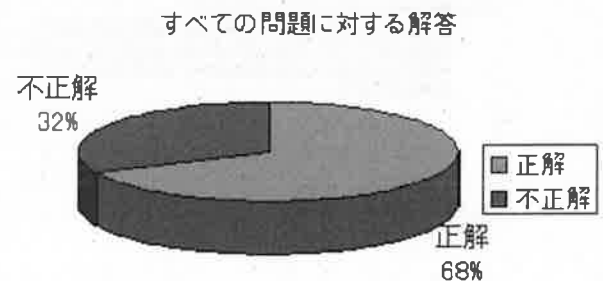


図4: システム運用前に行った選択問題に対する正答率

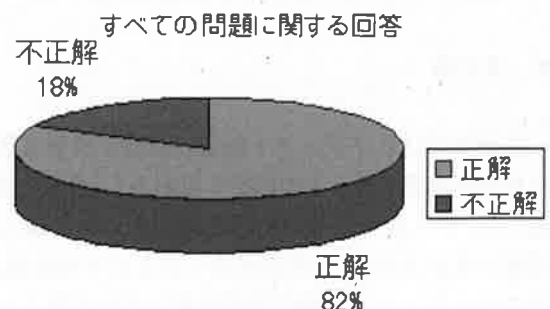


図5: システム運用後に行った選択問題に対する正答率



図6は学習者が実際に作成プログラムである。プログラムでは記述ルールに従いエージェントとその行動ルールが作成されていることが確認できる。また、`ver3 boos = new ver3();`の文はエージェントの作成で`ver3`をエージェントのパーツとしていることがわかる。そして、番号3の記述ルールを使用し、クラス名は`ver3`であるがシステムでは`Weapon`クラスの`Laser`, `Bomb`, `Missile`, `Shield`, `Sword`もしくは`Sensor`クラスの`ShortSensor`, `MiddleSensor`, `LongSensor`か`Mover`クラスの`Booster`, `WalkUnit`の各クラスしか用意していない。このことから学習者はシステムであらかじめ用意してあったクラスを継承し、学習者独自のクラスを作成していることが確認できる。このように学習者はシステムの機能を利用しオブジェクト指向プログラミングが行えていたことが分かった。このことからシステムを運用することでオブジェクト指向の学習に対して有効であることが考えられる。

```
public class RoboR {
    ver3 boos= new ver3();
    MiddleSensor middlesensor = new MiddleSensor();
    bom bomb2 =new bom();

    public void go(Anime field){

        middlesensor.setfield(field);
        middlesensor.ready();
        boos.firstset(field);
        bomb2.firstset(field);
        boos.setspeed(100);
        bomb2.setdistance(middlesensor.getdistance());

        if(middlesensor.getdistance(>100){
            boos.setdirection(middlesensor.getdirection());
            bomb2.setdirection(middlesensor.getdirection());
            bomb2.setdistance(middlesensor.getdistance());
            bomb2.fire();
        }
    }
}
```

図6: 学習者が作成したプログラム

また、アンケートでの感想として、javaのコンパイラをそのまま利用しているため、どの部分でプログラムが間違っているかが解りにくい。継承ではなく完全なオリジナルのクラスを作成できるようにし欲しいなどの多くの要求があり、これらが今後の課題となった。

#### 4. まとめ

本研究ではオブジェクト指向の概念を理解できるような教育支援システムの構築を目的とし、目的の達成にあたり、ゲームベースの教育支援システムを導入した。支援システムでは、学習者にエージェントの作成、またそのエージェントの動作を学習者にプログラミングさせるというアイデアを導入した。学習者がプログラミングを行う際には既存のクラスのメソッド呼び出しなど、オブジェクト指向の機能を用いることにより、実践

的で効果的な支援ができたと考えられる。ロボットはいくつかのパーツを組み合わせることで作成できるようにした。これにより学習者のオリジナルティをだすことができ、より楽しめるようなシステムが作成できた。

オブジェクト指向の一部である既存のクラスを利用してプログラミングを行うという点について注目した。エージェントのパーツをクラス、エージェントの作成(パーツの実装)をインスタンス、パーツに動作をさせる命令をメソッドとおき、学習者がもともとあるパーツから新たなパーツを作成するを継承におきかえることによりゲーム内でのモデルとオブジェクト指向の考えとうまく対応することができた。それによりゲームを行いながら、オブジェクト指向のクラス、インスタンス、メソッド、継承などの概念を学習者に理解させることができた。また、システムを使うことで従来の学習方法とは違う、オブジェクト指向の学習方法を提案することができた。

オブジェクトを利用したプログラミングの一部を本システムを使うことで理解できるが、まだ多くの課題が残されている。例として挙げられるのが自作クラスの作成といった機能についてである。特にオブジェクト指向を行う上で自作クラスの作成は必須であり、多くの場面で使われている。今後は学習者が作成したクラスがRFG内で使えるようにするなどの拡張が必要である。

本研究ではオブジェクト指向という幅の広い概念を支援するシステムを構築したため多数の課題を残したが、今回の研究においてオブジェクト指向の一部を理解できるようなシステムを構築することができた。また、本システムを用いたオブジェクト指向の学習方法が提案できた。

#### 参考文献

- [1] 松田 武, 斎藤 健司, 斎藤 一, 前田 隆: 学習者の興味を引き出す学習支援環境について, 報処理学会全国大会講演論文集 Vol.67th, No.4, pp429-430. (2005)
- [2] 長 慎也, 日野 孝昭, 前島 真一, 小田嶋 祐介, 佐々木 康太郎, かけひ 捷彦: プログラミングの入門に適した, 支援システムとコースデザイン, 情報処理学会研究報告 Vol.2004, No.100(CE-76) (2004)
- [3] 税所 幹幸: プログラミング教育に利用する再起プログラム学習支援, アドミニストレーション Vol.11, No.1-2, 45-55 (2004)

## 付録 A

表 5: RFG の記述ルール

番号	要素	記述方法
1	<プログラム>	→ public class <エージェント名> { <インスタンス>* public void go() {< Action >*}}
2	<エージェント名>	→ RoboL    RoboR
3	<インスタンス>	→ <クラス名> <オブジェクト名> = new <クラス名> ();
4	<クラス名>	→ < Weapon クラス>    < Sensor クラス>    < Mover クラス>
5	< Weapon クラス>	→ Laser    Bomb    Missile    Shield    Sword    <継承クラス>
6	< Sensor クラス>	→ ShortSensor    MiddleSensor    LongSensor    <継承クラス>
7	< Mover クラス>	→ Booster    WalkUnit    <継承クラス>
8	<継承クラス>	→ 学習者が作成したクラス
9	<オブジェクト名>	→ 学習者が自由につける
10	< Action >	→ <メソッド呼び出し>;
11	< Action >	→ if(<条件>) <メソッド呼び出し>;
12	<メソッド呼び出し>	→ <オブジェクト名>.<メソッド名> (<式>,...)
13	<メソッド呼び出し>	→ <メソッド名> (<式>,...)
14	<メソッド名>	→ 各オブジェクトにより決定
15	<式>	→ <式><四則演算子><式>
16	<式>	→ <項><四則演算子><項>
17	<式>	→ <項>
18	<項>	→ 整数
19	<項>	→ <オブジェクト名>.<変数名>
20	<式>	→ <変数名>
21	<変数名>	→ 各オブジェクトにより決定
22	<四則演算子>	→ +    -    *    /
23	<条件>	→ (<項><比較演算子><項>)
24	<比較演算子>	→ >=    >    =    <    <=



# トラフィックの常時監視に基づくネットワーク セキュリティの向上 - DTI ハブの設計と実装 -

富田 陽祐\* 白井 治彦\*\* 黒岩 文介\*\*\* 小高 知宏\* 小倉 久和\*\*\*

## Network Security System Based on the Constant Monitoring of Traffic - Designing and Implementation of the DTI Hub -

Yosuke TOMIDA\* , Haruhiko SHIRAI\*\* , Josuke KUROIWA\*\*\*  
Tomohiro ODAKA\* and Hisakazu OGURA\*\*\*

(Received January 31, 2008)

We propose a network security system that separates the machine that causes abnormality. We developed the Dynamic Traffic Inspection (DTI) hub that autonomously cut off the machine emitting abnormality from the network. Firewall and Intrusion Detection System (IDS) that exist as defense methods are not suitable for defense of the attack from the inside on the network. We designed the DTI hub that intend to prevent the attack from the inside on the network. The attack that cannot be prevented by firewall and IDS can be prevented by using the DTI hub. We experimented the performance of the DTI hub about some network attacks. As a result, we confirmed the availability of the DTI hub. The security of the network is expected to improve by combining the DTI hub with firewall and IDS that exist as defense methods.

**Key words :** Network Security, Traffic, DTI Hub, Firewall, Intrusion Detection System

### 1. 緒 言

ネットワークセキュリティの管理は、昨今の社会にとって重要な課題となっている。特にインターネットの普及や情報技術の活用は、生活の利便性を向上させる一方で、社会のネットワーク攻撃に対する脆弱性を増大させている [1],[2]。それらの問題に対してファイアウォールやネットワークの不正行為を検知し通知するシステムである IDS(侵入検知システム) といった対策

が施されてきた [1]。しかし、それらの防御対策だけではネットワークの内側からの攻撃に対しては不十分である。ネットワーク攻撃の知識に乏しいエンドユーザがワーム等に感染した PC を内部ネットワークに接続した場合、ネットワークに感染が蔓延し多大な被害を出す恐れがある。さらには、本来被害者であるエンドユーザが第三者の加害者になってしまう危険性がある。

本研究では、ネットワーク装置であるハブにおいて、エンドユーザから送信されるパケットを監視し、異常を検出した場合に異常元をネットワークから切断する機能を有する新しいネットワークセキュリティ機器を提案する [3]。この機器は、ネットワーク装置として、自律的に異常元を完全に切り離すというこれまでにないシステムを組み込んだハブであるので、システム名の Dynamic Traffic Inspection の頭文字をとって DTI ハブと呼ぶことにする [3]~[5]。本稿では、DTI ハブの設計と実装を行い、動作実験を行う。

\*工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻

\*\*技術部

\*\*\*工学研究科知能システム工学専攻

\*Nuclear Power and Energy Safety Engineering Course,  
Graduate School of Engineering

\*\*Dept. of Technology

\*\*\*Human and Artificial Intelligent Systems Course,  
Graduate School of Engineering

DTI ハブを用いることで、ファイアウォールやIDSといった既存の防御策では防ぐことができないネットワークの内側からの攻撃に対応することができ、よりセキュアなネットワークが構築できるとともに、本来被害者であるエンドユーザが第三者の加害者になることを防ぐことができると考えられる。

## 2. 既存防御策での問題点

### 2.1 ファイアウォールを用いた対策での問題

ファイアウォール<sup>[1]</sup>とは、外部のネットワークから不正なアクセスによる攻撃を防御するための全てのメカニズムである。ファイアウォールの防御方法の仕組みとしては、パケットフィルタリングとアプリケーションゲートウェイの二つに分類できる。

パケットフィルタリングは送信元や送信先のIPアドレス、ポート番号などによって通信データを通過させるかどうかを判断する方式である。しかし、一般的なパケットフィルタリングでは、パケットが正常に受信されたことを意味するACK信号は通過させている。これを利用することでパケットフィルタリング機能を無効化した不正アクセスが問題となっている。この問題に対応すべく最近では、LAN側から送信したデータをセッションログとして保存しておき、WAN側から到着したパケットがセッションログと矛盾しないかを確認する、ステートフルインスペクションと呼ばれる方式を使用する製品もある。

アプリケーションゲートウェイは、通信を中継するプロキシプログラムを使用することで、内部ネットワークとインターネットを切り離して、内部ネットワークのマシンが外部と直接接続することなく、セキュリティ的に安全にサービスを利用することができる。

しかし、ステートフルインスペクションを採用した高性能なファイアウォール製品でないかぎり、ワームが送り込んでくる異常なパケットをすべてチェックすることは不可能である。例えば、不正なHTTPリクエストという形で侵入するNimdaのようなワームを遮断することはできない。また、ファイアウォールは、外部ネットワーク(インターネット)と内部ネットワーク(内部LAN)との境界に設置するが、図1に示す様に、内部ネットワーク外でワームに感染したパソコンをそのまま内部ネットワークに接続した場合にはファイアウォールを通過しないので、内部ネットワークにワームが拡散してしまうことになる。

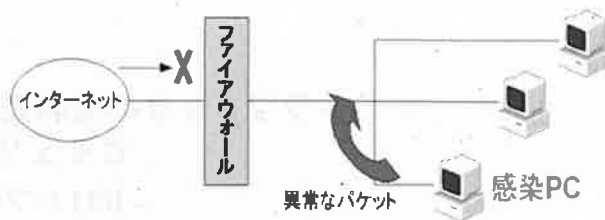


図1: 内部ネットワーク内でのワーム感染拡大

### 2.2 IDSを用いた対策での問題

IDSはIntrusion Detection Systemの略で、侵入検知システムとよばれ、コンピュータやネットワークに対する不正行為を検出し、通知するシステムである。さまざまな製品が市場に出回っているが、IDSは侵入検出の方法により、不正検出と異常検出に分類できる。

不正検出は、あらかじめ登録されたシグネチャと呼ばれる侵入手口のパターンとマッチングさせることにより検出する手法であり、既知の攻撃に対しては検出が可能である。

一方、異常検出は、通常とは異なる振る舞いを検出する方法である。ログイン時刻や使用コマンド、ネットワークのトラフィック状況などから判断することで未知の手法による攻撃も発見できる。また、設置方法からホスト型とネットワーク型の二つに分類できる。ホスト型IDSは、保護したいコンピュータにインストールし、ログファイルやファイルの改竄の監視を行う。ネットワーク型IDSは、接続しているネットワークのセグメントのトラフィックをすべて監視するものである。しかし、IDSは、異常をネットワーク管理者に通知するだけであり、異常な通信を防ぐことはできない。

現在のIDSは検知機能の他に遮断機能を実装したものも多い。IDSに実装された遮断機能は、TCPを用いた攻撃であった場合、TCPリセットパケットを送信してそのTCPセッションを切断したり、ファイアウォールの設定を動的に変更することによってその送信元IPアドレスからの通信を遮断したりするものである。図2は、IDSによるTCPリセットを使用したセッション切断の仕組みを示している。IDSがTCPを使用した攻撃を検知すると、そのパケットの送信元と宛先の両方に対してTCPリセットパケットを送信する。これにより、攻撃に使用されているTCPセッションを切断することができる。図3は、ファイアウォールと連携することによって攻撃を遮断する仕組みを示したものである。IDSが攻撃を検知すると、ファイアウォールのフィルタリングルールを動的に追加して、その攻撃ホストからのアクセスを一定時間受け付けないように設定す

る。これにより、あとに続く攻撃ホストからのアクセスを遮断することができる。

しかし、IDS に実装されている遮断機能は完璧とはいえない。IDS が攻撃を検知したときにはすでに不正なデータの入ったパケットは宛先に届いており、その後に TCP リセットパケットを送信したり、ファイアウォールの設定を変更したとしても、その間に攻撃が成功しており、手遅れになる場合がある。また、IDS の不正検出や異常検出は、外部ネットワークからの攻撃を対象に設定されているので、内部ネットワーク内からの攻撃に関しては、防御機能が優れているとはいえない。

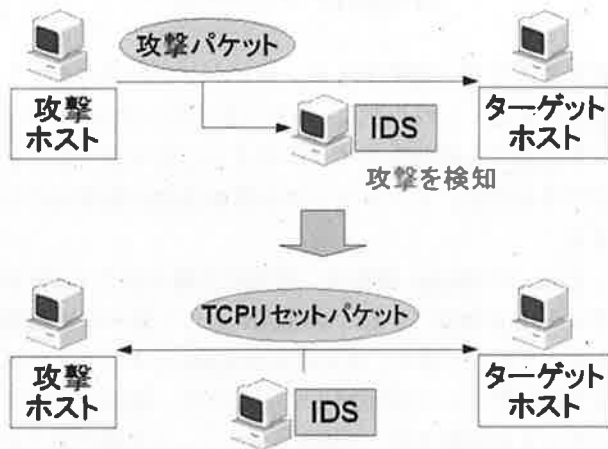


図 2: TCPセッションを使用した切断の仕組み

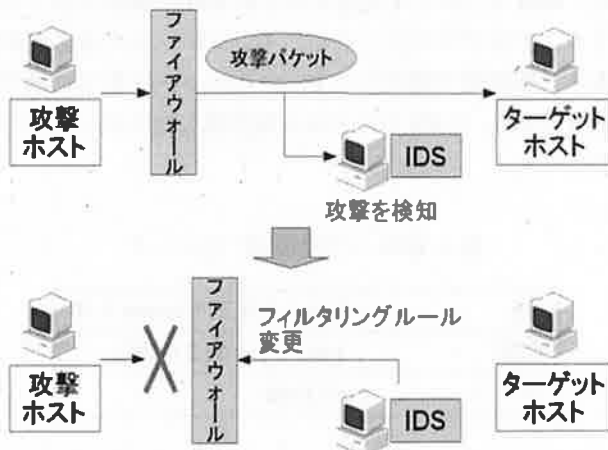


図 3: ファイアウォールと連携した遮断の仕組み

### 3. DTI ハブの設計

#### 3.1 DTI ハブに要求される機能

前節では、既存の防御策であるファイアウォールやIDSの問題点を指摘した。本研究では、それらの問題

点を考慮し、新たなセキュリティ機器としてDTIハブの設計を行った。ファイアウォールやIDSは外部ネットワークの攻撃を対象とした防御策であり、内部ネットワーク内からの攻撃の防御には向いていない。したがってDTIハブでは、内部ネットワークからの攻撃を対象とした防御機能が要求される。以下にDTIハブに要求される機能をあげる。

- ネットワーク装置のハブとしてパケットを取得、解析

エンドユーザのパケットを監視対象とするので複数のポートを監視でき、ネットワークのトラフィックを監視できるネットワーク型の接続方法を用いる。そこで、内部ネットワークのセグメント間に手軽に設置できるネットワーク装置であるハブにおいて常時パケットを監視、解析する。接続ポイントは通常のスイッチングハブが使用される位置であり、エンドユーザの使用するPCから物理的に一番近い位置に接続する。

- 異常と判断した場合に異常元を切断

異常があると判断した場合には、異常元をネットワークから切断する。異常かどうかの判定はinspectionルールによって判定を行う。DTIハブのinspectionルールは、異常検出の方法を用い、パケット流量の統計に基づいて切断判定を行う。したがって、DTIハブを導入するネットワークのトラフィックを事前に調査する必要がある。DTIハブは、事前のトラフィック調査によってそのネットワークに合ったinspectionルールを設定できるようになっている。図4に、DTIハブを導入したネットワークを示す。これらの機能を持ったDTIハブをネットワークに導入することで、攻撃を起こしているPCをネットワークから切断し、被害拡大を防ぐことが可能であると考えられる。

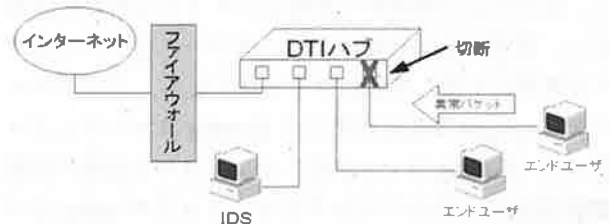


図 4: DTI ハブの設置

#### 3.2 inspection ルールの設定

inspectionルールの設定において、異常を判断する方法として以下のような方法を用いる。過去の一定時間のトラフィック状態を正常な状態としたときに、次の

時間に観測されたトラフィック状態が正常状態からの程度のゆらぎがあるかにより、正常であるか異常であるかを判断する [6]。

各種の攻撃は大量のパケットをネットワーク上に出力するが、Web アクセスやファイル転送など正常通信時も同様にトラフィックが増加する。しかし、エンドユーザの PC からパケットを常に出し続ける状況は正常な通信時には考えにくい。本研究では、パケットの流量を一秒毎に測定し、一定時間内においてパケットが流れていない回数を測定する。この回数が正規分布に従うとして、有意水準  $\alpha = 5\%$  において判定を行う。本稿では、300 秒間のパケット流量が 0(byte) である回数を測定し、そのネットワークにおいて 30 秒間でのパケット流量が 0(byte) になる回数を有意水準 5% で異常判定を行う。

#### 4. DTI ハブの実装

##### 4.1 システムの実装

本研究で作成した DTI ハブは PC をハブのように機能させ、プログラムを組み込んだものである。プログラムは、異常なトラフィックを検出し、切断するプログラムで pcap ライブラリを利用している。pcap ライブラリは Van Jacobson 氏らの開発したライブラリで、このライブラリを用いることで、ネットワークインタフェースが手に入れることができるすべてのパケットを、データとして得ることが可能である。

##### 4.2 システムの構成

本研究で作成したシステムは図 5 に示すような流れになっている。システムが実行されると、ネットワークインタフェースを取得する。そこからパケットを取得し、次にパケットからヘッダ情報を取り出す。ここで、取り出した情報から異常なパケットであるかを判定し、異常がある場合は、ネットワークインタフェースを無効にする。無効にする方法として、プログラム内から system 関数を利用して ifconfig コマンドにより行った。ifconfig コマンドは、ネットワーク環境の状態確認/設定のためのコマンドでオプションの down をつけることで、指定したネットワークインタフェースを停止することができる。

##### 4.3 DTI ハブハードウェア構成

本研究で設計した DTI ハブのハードウェア構成は、Linux の Bridge 機能を使用することで PC をスイッチングハブの役割を果たすものとした。

スイッチングハブは、パケットの伝送先をハブが解

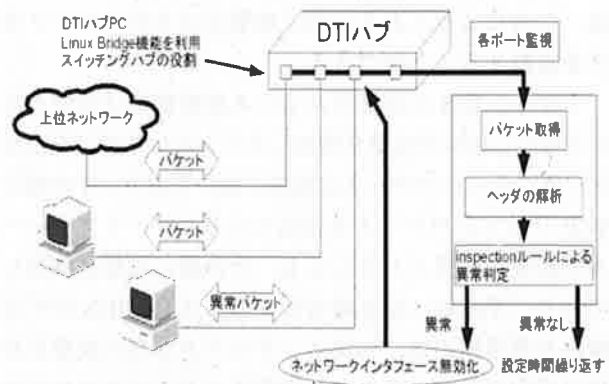


図 5: DTI ハブシステム

析することで、関係するコンピュータにだけパケットを伝送する。このように、スイッチングハブは、パケットを伝送する経路をスイッチのように切り替えることができるので、ネットワーク全体の通信が効率的に行える。

Linux の Bridge 機能は、複数の分離された LAN セグメントを接続し、単一の LAN として働かせる機能をもっている。また、それぞれの LAN セグメントにある MAC アドレスを管理しているので、適切な経路でパケットを伝送させ、不要なトラフィックを避けることができる。

Bridge 機能を使用するためには、Bridge 機能をもったカーネルで PC を起動させ、これを有効にする。また、brctl コマンドを使用するため bridge-utils からソフトウェアをダウンロードし、インストールする必要がある。本研究で使用した PC のスペックは表 1 に示す通りであり、LAN カードを 3 枚搭載した 3 ポートのハブとした。

表 1: DTI ハブ使用 PC スペック

OS	Linux 2.6.22 Ubuntu 7.10
CPU	Intel Celeron 2.8GHz
メモリ	512MB

##### 4.4 DTI ハブソフトウェア構成

本研究で作成したプログラムは図 6 に示す構成になっている。

main 関数内では、設定時間内に sig\_alarm 関数が呼び出される。sig\_alarm 関数は、パケット流量の標準出力と inspection ルールによる切断判定を行う役割を持つ。ここで、異常なパケットと判断された場合は system 関数よりネットワークインタフェースを停止するコマン

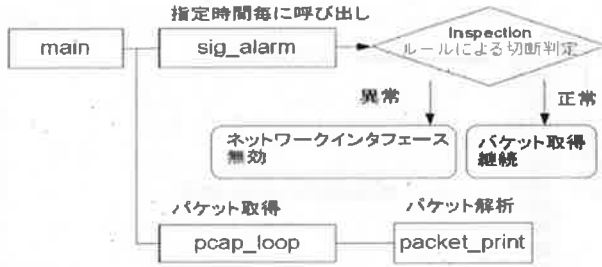


図 6: 関数構造

ドが呼び出される。次に、pcap ライブラリで用意されている pcap\_loop 関数を呼び出す [7]。pcap\_loop 関数は pcap によるパケット取得を繰り返し実行する関数である。更に、pcap\_loop 関数は packet\_print 関数を呼び出す。packet\_print 関数は、パケットの大きさを取り出し、パケットの合計を計算する。このようにして合計されたパケットの流量は、設定された時間毎に呼び出される sig\_alarm 関数によって inspection ルールによる切断判定が行われる。正常なパケットと判断された場合は sig\_alarm 関数は改めてアラームをセットし、パケット流量を標準出力に書き出す。最後に変数をクリアした上で標準出力をフラッシュする。

5. DTI ハブ動作実験

5.1 ネットワークの構成

DTI ハブ動作実験でのネットワークの構成を図 7 に示す。DTI ハブからの接続は、eth1 の LAN ポートからは上位ネットワーク (インターネット), eth0 の LAN ポートからは実験 PC1, eth2 の LAN ポートからは実験 PC2 へとそれぞれ接続されている。eth0 と eth2 は、それぞれエンドユーザを想定した同一のセグメントに繋がっているものとする。使用した実験 PC の構成は表 2, 3 に示す通りである。DTI ハブと実験 PC との間はクロスケーブルで接続している。

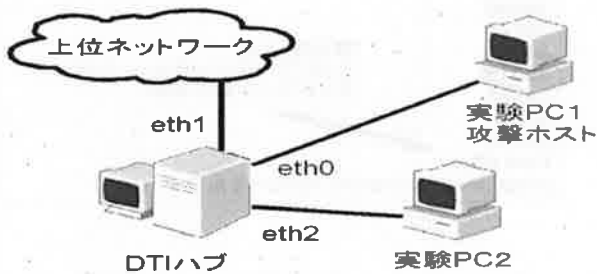


図 7: ネットワーク構成図

表 2: 実験 PC1 スペック

OS	Linux 2.6.22 Ubuntu 7.10
CPU	Intel Pentium4 3.0GHz
メモリ	1GB

表 3: 実験 PC2 スペック

OS	Linux 2.6.22 Ubuntu 7.10
CPU	Intel Celeron 2.8GHz
メモリ	512MB

5.2 inspection ルール設定の予備実験

inspection ルールの設定のための実験 PC1 のトラフィック調査の結果を図 8 に示す。調査時間は 300 秒とし、その間のパケット流量が 0(byte) となる回数を調べた。その結果、離散的にパケットが発生していることが確認できる。このネットワークにおいて 30 秒間でのパケット流量が 0(byte) になる回数は、有意水準 5% で考えると、11 から 21 回の間で観測されると考えられる [8]。したがって、パケット流量が異常と判断できるのは、30 秒間にパケット流量が 0(byte) である回数が 10 回より少ない場合となる。

前述から、30 秒間でパケット流量が 0(byte) となる回数が 10 回だと異常とみなしているので本研究では、20 秒連続してパケットを観測した時点で異常が発生したものとみなし、inspection ルールを設定した。

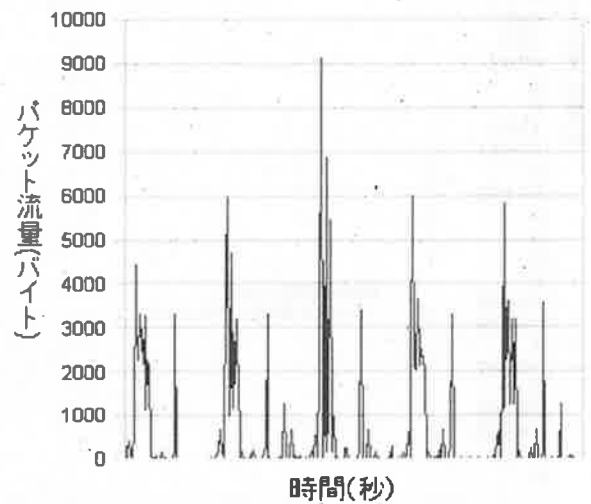


図 8: トラフィックの特徴



### 5.3 DoS 攻撃に対する動作実験

本研究で行った動作実験は、攻撃ホストである実験 PC1 からターゲットホストである実験 PC2 に DoS 攻撃を行った。DoS 攻撃には、ICMP Flood 攻撃を用いた。ICMP Flood 攻撃は、ping コマンドより膨大な数の ICMP Echo 要求パケットを送信する攻撃方法である [1]。攻撃者側がターゲットホストよりも処理能力が優れていた場合、ターゲットホストの処理が追いつかずサービスが停止してしまう。

本実験での DTI ハブの監視ポートは、攻撃ホストである実験 PC1 が接続されている eth0 に注目して動作を確認した。

図 9 に正常な通信時の DTI ハブの eth0 監視画面を示す。図 9 では、バースト的なトラフィックが生じているが、これは Web ページの閲覧により一時的にパケット流量が増加したものである。しかし、パケットは離散的に発生しているので、inspection ルールにおいて異常と判断されない。したがって、DTI ハブは監視を継続的に行う。

図 10 は、攻撃ホストである実験 PC1 からターゲットホストである実験 PC2 への ICMP Flood 攻撃を模倣した時の DTI ハブの動作画面である。パケット流量は、多くはないが断続的にパケットが発生している。本実験での inspection ルールでは、20 秒連続してパケットを観測した場合異常とみなしている。20 秒目を観測した瞬間にネットワークインタフェースを無効にすることで、異常元をネットワークから切断したことを確認した。

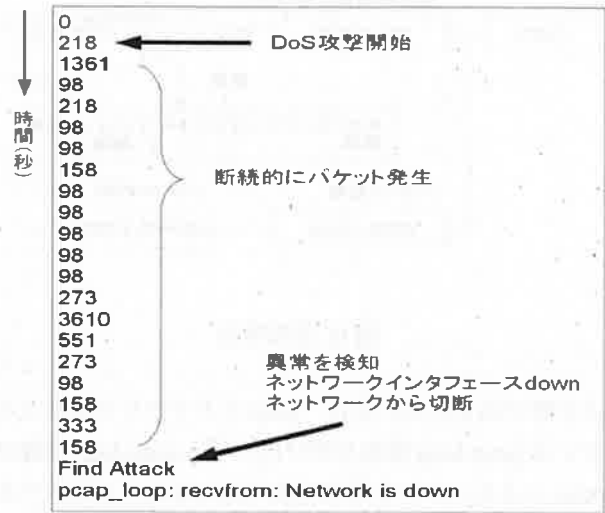


図 10: DoS 攻撃時の DTI ハブ動作

### 5.4 ポートスキャンに対する動作実験

2 つめの動作実験として、攻撃ホストである実験 PC1 からターゲットホストである実験 PC2 へのポートスキャンを行ったときの動作実験を行った。ポートスキャンは、クラッカーやワームが不正侵入を試みる際に、セキュリティホールを探るために行うものである。

動作画面を図 11 に示す。ポートスキャンが実行されると、大量のパケットが断続的に観測される。inspection ルールにより、20 秒連続してパケットを観測した場合、異常が発生しているとみなしているため、異常元をネットワークから切断している。

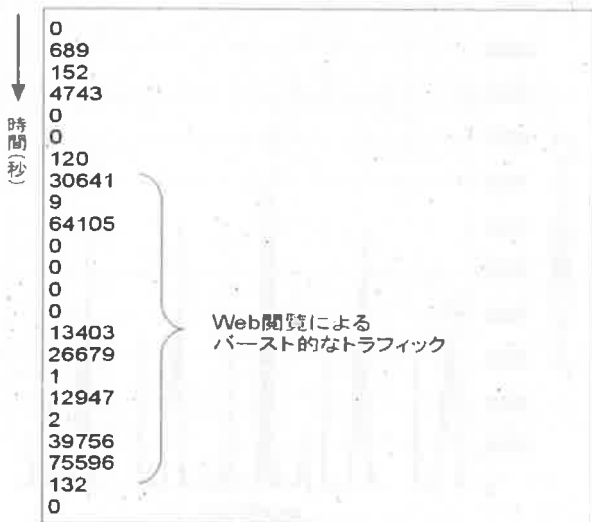


図 9: 正常時の DTI ハブ動作

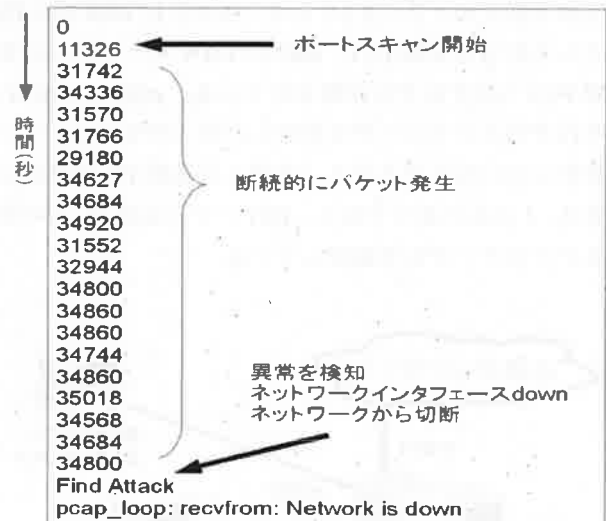


図 11: ポートスキャン時の DTI ハブ動作

### 5.5. ワームに対する動作実験

ワーム検出の動作実験は、実際のワームを用いずに、ワームの挙動を ping によりシミュレートしたパケットを攻撃ホストである実験 PC1 からターゲットホストである実験 PC2 に送信した場合の動作確認を行った。

動作画面を図 12 に示す。ワームが送り出すパケットを模倣した攻撃が実行されると、大量のパケットが断続的に観測され、DTI ハブが異常元をネットワークから切断することを確認できた。

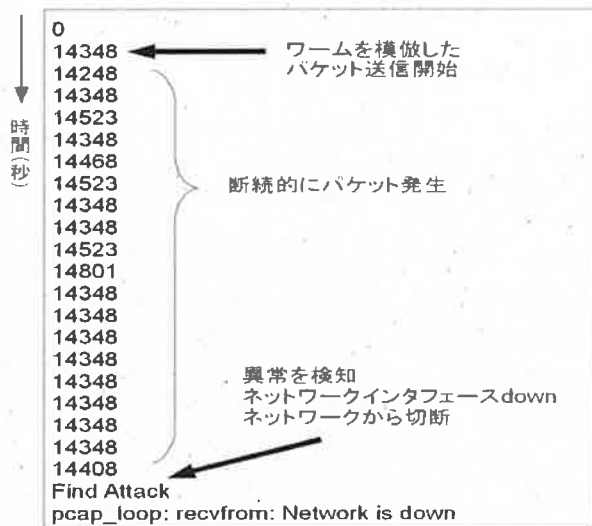


図 12: ワームの検出時の DTI ハブ動作

## 6. 考察

動作実験より、DTI ハブが異常なパケットを送信する PC を検知し、すばやくネットワークから隔離することが確認できた。IDS と違い、ネットワークから自律的に切断することでネットワークに及ぼす影響を最小限に抑え、ネットワーク管理者の負担を軽減できるとともに、エンドユーザが第三者の加害者になることを防ぐことができると考えられる。また、ネットワークから切断され、使用できなくなることで、エンドユーザのセキュリティ意識の向上にもつながると考えられる。

inspection ルールにおいては、異常の検出方法にパターンマッチングではなく、トラフィックの統計に基づく検出方法で設定した。これにより、パターンマッチングのようにシグネチャを常に最新版に更新する手間が省けるとともに、未知の攻撃にも対応できると考えられる。

今回は DoS 攻撃、ポートスキャン時の動作実験、ワームの動作をシミュレーションした場合の動作実験を行っ

たが、大量のパケットを送信するような攻撃に対しても十分防御可能であると思われる。ネットワークのリソースを枯渇させる目的の攻撃には非常に有用であるといえる。しかし、インターネットから大容量のデータをダウンロードする場合や、P2P 通信でデータをやりとりする場合には、本研究で提案した inspection ルールでは誤検知してしまうことが予想され、さらなる inspection ルールの改良が必要と考える。また、本実験では DoS 攻撃とポートスキャンが行われた時の動作実験を行ったが、さまざまな攻撃に関しても、動作実験を行い、inspection ルールの検討を行う必要がある。

## 7. 結言

本研究では、ネットワーク装置であるハブにおいて、エンドユーザから送信されるパケットを監視し、異常を検出した場合に異常元をネットワークから切断する機能を有する DTI ハブの設計と実装を行った。DTI ハブをファイアウォールや IDS といった既存の防御策と組み合わせて導入することで、導入したネットワークのセキュリティを向上できると考えられる。

## 参考文献

- [1] Ipusiron: ハッカーの教科書 完全版, データハウス (2001)
- [2] S. Northcutt, M. Cooper, M. Fearnow, K. Federick: ネットワーク侵入解析ガイド-侵入検知のためのトラフィック解析法-, Pearson Education (2001).
- [3] 富田陽祐, 白井治彦, 黒岩丈介, 小高知宏, 小倉久和: セキュリティ機能を有したハブにおける実装方法の検討 -DTI ハブ装置の実現-, 平成 19 年度電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集, E-26 (2007).
- [4] 永山健太郎, 白井治彦, 高橋勇, 黒岩丈介, 小高知宏, 小倉久和: 分散サービス妨害に対するネットワークセキュリティの検討と実装 -DTI ハブの設計と導入-, 平成 17 年度電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集, E-29 (2005).
- [5] 永山健太郎, 白井治彦, 高橋勇, 黒岩丈介, 小高知宏, 小倉久和: 分散サービス妨害に対するネットワークセキュリティの検討と実装, 電気情報通信学会技術研究報告, 105-396, 23-26 (2005).
- [6] 中村信之, 中井敏久: トラフィック内部状態変化を利用したネットワーク異常検知, 電子情報通信学会技術研究報告, 105-12, 17-20 (2005).
- [7] 小高知宏: 基礎からわかる TCP/IP アナライザ作成とパケット解析, オーム社 (2004).

[8] 和田三樹, 十河清: キーポイント確率・統計, 岩波書店 (2001).

この本は、キーポイントの確率と統計について、基礎から応用まで詳しく解説している。特に、キーポイントの定義、その重要性、そして確率論を用いた解析方法が中心となっている。著者は、この分野の専門家であり、豊富な経験に基づいた解説が期待できる。

要約

本書は、キーポイントの確率と統計に関する基礎知識を体系的に提供する。まず、キーポイントの概念を明確にし、その確率的性質を説明する。次に、具体的な統計手法を用いて、キーポイントの分布や変動性を分析する方法を紹介する。最後に、実際の応用事例を通じて、本書の理論がどのように活用されるかを示す。

結論

本書は、キーポイントの確率と統計の理解に非常に役立つ。特に、基礎的な概念と応用事例の両方をカバーしている点が、本書の大きな特徴である。

著者の豊富な経験と専門知識が、本書の質を大幅に向上させている。読者は、本書を通じて、キーポイントの確率と統計の奥深い世界を探索できる。

本書は、キーポイントの確率と統計の理解に非常に役立つ。特に、基礎的な概念と応用事例の両方をカバーしている点が、本書の大きな特徴である。著者の豊富な経験と専門知識が、本書の質を大幅に向上させている。読者は、本書を通じて、キーポイントの確率と統計の奥深い世界を探索できる。

本書は、キーポイントの確率と統計の理解に非常に役立つ。特に、基礎的な概念と応用事例の両方をカバーしている点が、本書の大きな特徴である。著者の豊富な経験と専門知識が、本書の質を大幅に向上させている。読者は、本書を通じて、キーポイントの確率と統計の奥深い世界を探索できる。

本書は、キーポイントの確率と統計の理解に非常に役立つ。特に、基礎的な概念と応用事例の両方をカバーしている点が、本書の大きな特徴である。著者の豊富な経験と専門知識が、本書の質を大幅に向上させている。読者は、本書を通じて、キーポイントの確率と統計の奥深い世界を探索できる。

本書は、キーポイントの確率と統計の理解に非常に役立つ。特に、基礎的な概念と応用事例の両方をカバーしている点が、本書の大きな特徴である。著者の豊富な経験と専門知識が、本書の質を大幅に向上させている。読者は、本書を通じて、キーポイントの確率と統計の奥深い世界を探索できる。

本書は、キーポイントの確率と統計の理解に非常に役立つ。特に、基礎的な概念と応用事例の両方をカバーしている点が、本書の大きな特徴である。著者の豊富な経験と専門知識が、本書の質を大幅に向上させている。読者は、本書を通じて、キーポイントの確率と統計の奥深い世界を探索できる。



図1: キーポイントの確率と統計の推移を示すグラフ。

このグラフは、キーポイントの確率と統計の推移を示しています。横軸は時間、縦軸は確率を示しています。データは、時間とともに確率が上昇していく傾向を示しています。

本書は、キーポイントの確率と統計の理解に非常に役立つ。特に、基礎的な概念と応用事例の両方をカバーしている点が、本書の大きな特徴である。著者の豊富な経験と専門知識が、本書の質を大幅に向上させている。読者は、本書を通じて、キーポイントの確率と統計の奥深い世界を探索できる。

本書は、キーポイントの確率と統計の理解に非常に役立つ。特に、基礎的な概念と応用事例の両方をカバーしている点が、本書の大きな特徴である。著者の豊富な経験と専門知識が、本書の質を大幅に向上させている。読者は、本書を通じて、キーポイントの確率と統計の奥深い世界を探索できる。

本書は、キーポイントの確率と統計の理解に非常に役立つ。特に、基礎的な概念と応用事例の両方をカバーしている点が、本書の大きな特徴である。著者の豊富な経験と専門知識が、本書の質を大幅に向上させている。読者は、本書を通じて、キーポイントの確率と統計の奥深い世界を探索できる。

本書は、キーポイントの確率と統計の理解に非常に役立つ。特に、基礎的な概念と応用事例の両方をカバーしている点が、本書の大きな特徴である。著者の豊富な経験と専門知識が、本書の質を大幅に向上させている。読者は、本書を通じて、キーポイントの確率と統計の奥深い世界を探索できる。

## 携帯情報端末における例文に基づく日本語入力方式

野田 隆裕\* 白井 治彦\*\* 黒岩 丈介\*\*\* 小高 知宏\* 小倉 久和\*\*\*

### The Japanese Input Method Based on the Example for a Personal Digital Assistant

Takahiro NODA\*, Haruhiko SHIRAI\*\*, Josuke KUROIWA\*\*\*  
Tomohiro ODAKA\* and Hisakazu OGURA\*\*\*

(Received January 31, 2008)

The purpose of this research is to decrease the complicated selection operation in the Japanese input of a Personal Digital Assistant by using the Classified Examples Dictionary. Miniaturization technology for the Personal Digital Assistant using an interface without a keyboard has progressed. However, the method of a Japanese input is a problem. The Personal Digital Assistant has a characteristic interface using a small touch panel. Some techniques exist to help input characters. For example, the Graffiti, prediction conversion including POBox, etc. However, for any technique's writing a Japanese long sentence, especially a Japanese e-mail document, it becomes a big burden for a user. In many cases, e-mail documents are constituted combining certain sentences. So it is significant, if the dictionary which arranged many examples is drawn up and Japanese is inputted using that dictionary. In this paper, it is called The Classified Examples Dictionary. The purpose of this research is to ease a user's burden by using the dictionary.

**Key words :** Input Method, Japanese Input Method, PDA, Human Interface, E-mail

### 1. 緒言

本研究では、例文分類辞書を用いることで、携帯情報端末の日本語入力における細かな選択操作を減少させるための手法を提案し、その有効性を示す。

昨今の小型化技術により、様々な用途においてペンタッチやタッチパネルなど、キーボードレスのインタフェースを用いた携帯情報端末が利用されているが、その際に問題となるのが日本語入力の手段である。

携帯情報端末は小型のタッチパネルを用いる特徴

的なインタフェースを持っていて、その文字入力には Graffiti<sup>[1]</sup> などの独自手法や、あるいは POBox<sup>[2]</sup> を始めとする予測変換を流用した手法など様々な方式が存在するが、いずれの手法も日本語の長文、特にメール文書を書くにはユーザにとって大きな負担となる。

メール文書などの長文は、その段落の意図ごとによく使う文を用意し、それを組み合わせて構成されることが多い。そこで、あらかじめ多くの例文を整理して登録した例文分類辞書を作成してマップ状に配置し、それを利用して日本語入力を行うことで、携帯情報端末における日本語入力の際のユーザ負担を軽減する方法を検討する。

以下、2章では、携帯情報端末における現状の日本語入力の手法を示し、その問題点を検討する。

3章では、携帯情報端末のインタフェースの特徴を考察し、システムを設計するために必要な要素を考案する。また、どのようにしてシステムの設計に必要な要素を実現するかを述べ、実現に必要なシステム独自

\*工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻

\*\*技術部

\*\*\*工学研究科知能システム工学専攻

・Nuclear Power and Energy Safety Engineering Course,  
Graduate School of Engineering

\*\*Dept. of Technology

\*\*\*Human and Artificial Intelligent Systems Course,  
Graduate School of Engineering

の辞書である例文分類辞書の特徴と作成手法について示す。

4章では、動作例の画面を示すことで、実際にどのようにしてシステムを実装したかを述べる。

5章では、作成したシステムを実際に利用してみることで、携帯情報端末における日本語入力の際の細かな選択操作を減少することができたかどうかを評価する。

6章では、本システムと既存の携帯情報端末における日本語入力システムとを比較することで、本システムの有効性を示す。

最後に7章では、まとめとして、今後のシステムの方向性などを述べる。

## 2. 携帯情報端末における日本語入力

### 2.1 従来の方法の問題点

携帯情報端末とは、スケジュール、ToDo、住所録、メモなどの情報を携帯して扱うための小型機器であり、Personal Digital Assistant (又は Personal Data Assistance) を略して、PDA と一般に呼ぶことが多い。一般的には、通信機能を付加して、eメールの受信、インターネットサイトの閲覧、他のパーソナルコンピュータとの通信などを行えるモバイルコンピュータとして使われる。

この携帯情報端末を含む、持ち運び可能なモバイルコンピュータは、外出先でもオフィスと同じ環境での作業を可能にすることが最終目標となる<sup>[3]</sup>。そういったモバイルコンピュータにおいて、最も問題になることの一つに入力がある。

携帯情報端末におけるユーザインタフェースは主にタッチパネル、すなわち感圧センサーを用いた液晶画面に対してのペン入力インタフェースを用いる<sup>[4]</sup>。このペン入力インタフェースによって文字や絵などの符号を入力するには、筆記パターンの機械認識を用いるのが普通である。パターン認識は、ペン先の位置座標を一定時間間隔でサンプリングすることによって、筆記されたパターンを認識する手法であり、筆順もしくは筆画数を登録した専用の辞書と筆記されたパターンを照合して文字や記号といった符号を抽出する方法である。

しかし、日本語は、アルファベットのように記号の数の少ない言語と異なり、平仮名、片仮名、漢字と大量の記号が存在する。そのため、その筆画パターンは莫大になり、ユーザの意図した記号が入力されない確率は、アルファベットの誤認率と比べると非常に高い。結果的にユーザは細々とした修正作業を繰り返すこと

になり、操作の手間は増え、テンポのいい入力が行えない。

また、ソフトウェアキーボードと呼ばれる入力手法も存在する。これは、画面上にキーボードを再現するようにボタンを配置し、選択させることで入力する手法である。しかし、携帯情報端末の画面は携帯性を重視するために小さく、大画面タイプでもせいぜい4インチ、つまり横幅が約6センチ、縦幅でも約8センチというサイズである。通常のキーボードの幅が20センチ以上であるため、ボタンのサイズを大幅に圧縮する必要があり、ペンでごく小さいボタンを正確に選択しなくては記号を入力することができない。このため、ユーザにとって大きな負担になる。

あるいは、機種によっては内蔵された小型キーボードを補助的に併用することで入力を行うこともできる。しかし、携帯情報端末は手帳のように、縦長の画面状態で利用するように各種ソフトウェアが製作されているが、小型の内蔵キーボードはその幅から横長の画面状態で利用するように設置されている。そのため、ソフトウェアにとって最適の状態での入力が行えず、また入力の度に画面を縦長の状態、横長の状態に切り替えて利用するのはユーザにとって大きな手間となる。

この他に外部キーボードを持ち歩いて接続する方法も考えられるが、携帯情報端末の携帯性を大きく損ない、立ちながらの操作が行えないなど利便性も失うことになる。

これらの方式と問題点を纏めたものが表1になる。このように、携帯情報端末における日本語入力は、現状においてユーザの大きな負担となる。そこで、本研究では、携帯情報端末のインタフェースに特化し、ユーザの負担を軽減できるような独自のシステムを作成し、システムに適した独自の辞書を作成することで、携帯情報端末における日本語入力の問題を解決することを目的とする。

### 2.2 携帯情報端末におけるメール文書に特化した入力システムの提案

本研究では、特にメール文書の作成を意識した日本語入力システムを考案することで、携帯情報端末における日本語入力の負担を減らすことを目指す。何故なら、携帯情報端末における日本語入力の負担を最も感じる事柄の一つがメール文書の作成する場合である、と考えられるからである。

携帯情報端末は多機能な目的に利用できる機械であり、従って携帯情報端末において日本語入力を行う目的も多数に渡る。例えば、住所録に相手の名前やメールアドレスを入力するときや、メモ帳の様にと

表 1: 携帯情報端末における日本語入力方式と問題点

手法	問題点
パターン認識	日本語は文字の種類が多く誤認識も多くなる
ソフトウェアキーボード	ボタンが小さく精密な操作が必要
小型の内蔵キーボード	画面の縦横を切り替える必要がある
外部キーボードの接続	携帯性と利便性を大きく損なう

したメモを書くとき、あるいはインターネットのブラウジングの際にアドレスや検索ワードを打ち込むときなど、いくつも挙げられる。その中でも、特に日本語の長文を書く必要がある事柄が、メール文書を入力するときだろう。

携帯情報端末でメールを受け取る機会が多い。特に、最近の主流となっている、スマートフォンと呼ばれる音声通話機能及び通信機能をもった携帯情報端末ではいつでもどこでもメールを送受信することが可能である。そのため、外出時でメールボックスを確認でき、緊急の用事ならば即座に返信しなければならないこともある。

こうした外出時でもメール閲覧、および返信が行えるという事は携帯情報端末を利用する上で主目的となる事柄の一つといえる。しかしその一方で、先述した通り、携帯情報端末における日本語入力は、普段パーソナルコンピュータでメール文書を書いているユーザにとって非常に手間なものとなる。長文になることもある普通のメール文書はもちろん、「後で返信します」といった簡単な定型文ですら入力には大きな手間がかかる。これでは、折角の通信環境を生かすことができず、携帯情報端末の利点を打ち消してしまう。

メール文書などの長文は、その文章を一から考えて入力したりせず、その段落の意図ごとによく使う文をあらかじめ自分の中で用意しておき、それを組み合わせる構成されることが多い。同じユーザのメールからは同じ冒頭の書き出しや締めめの署名、あるいはお誘いのメールには決まった文など、同じ文をたびたび出てくると思われる。そのため、あらかじめよく使う文を内容や状況に応じて分類・整理してマッピングしておき、選択操作のみで必要な文を次々と取り出し、組み合わせることで文書を構成することができれば、メール文書の入力の負担を軽減でき、長文の入力や文

章内容の発想も簡単にできるのではないかと考えられる。

そこで、本研究では、以前に利用したよく使う文や定型文を整理して格納できるシステムを作成する。よく使う文は過去のメール文書などから抽出する。また、ユーザ自身のメール文書だけでなく様々なユーザのメール文書、あるいはウェブの文書データやコーパスなど、抽出する文書の幅を広げることで、より定型文などのより汎用的な例文を抽出する。

また、格納する際は、ユーザが求める例文を検索しやすいように、その例文がもつ目的、あるいは題目といった文の要素を元に木構造のような階層構造を持った辞書へと整理する。そして、格納した例文を携帯情報端末上に表示し、ユーザは検索、および選択操作で文を入力することで、本システムは携帯情報端末における日本語入力の負担を軽減する。

その際、携帯情報端末の画面は小さく、またペンインタフェースを採用しているため、携帯情報端末のインタフェースの特性を考え、それに適したシステムのインタフェースを考案する必要がある。

これらのシステム及び辞書の作成方法、インタフェースの工夫は次章で述べる。

### 3. システムの設計方針

本システムでは、携帯情報端末のインタフェースに特化した、選択操作のみでメール文書を作成に特化したシステムを作成する。

そこで、本章では携帯情報端末のインタフェースの特徴を考察し、システムを設計するために必要な要素を考案する。また、どのようにしてシステムの設計に必要な要素を実現するかを延べ、実現に必要なシステム独自の辞書である例文分類辞書の特徴と作成手法について示す。

#### 3.1 例文分類辞書の作成

本研究では、例文分類辞書という独自の辞書を作成し、携帯情報端末のインタフェースに特化した入力システムに利用する。

例文分類辞書は、マインドマップ<sup>[6]</sup>のような、木構造に似た階層構造になっていて、大まかな概念や分類を上位に、題目や例文といった詳細な内容を下位に配置する。例えば、図1のような構成になる。

このような構造を持った辞書を作成することで、少ないボタン数でもユーザの意図とする例文を検索しやすい、と本研究では考えている。すなわち、携帯情報端末の画面には、一度に選択されたノードとその一つ

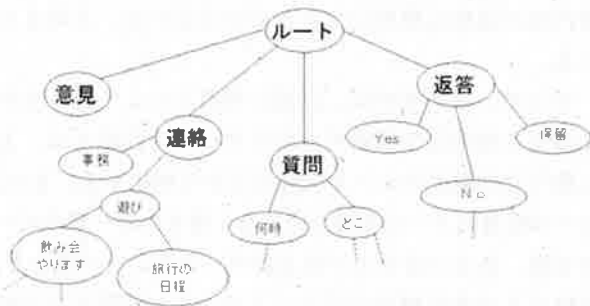


図 1: 例文分類辞書の構成例。

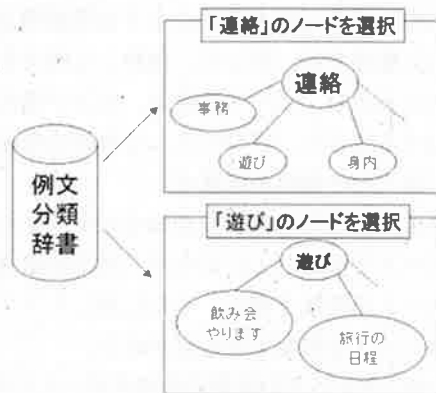


図 2: 選択したノードと表示される画面

下の子ノードのみを表示する。例えば、大元のルートとその下のたまかな意図を示したいくつかの項目である。そして、ユーザが一つ下の子ノードを選択すれば、ソフトウェアボタンの特性を生かし、今度は選択したノードを親ノードとして選択したノードの一つ下の子ノードを表示する、というように、図2のように全体の本構造の一部、親子の関係の部分のみを表示していく。この手法ならば、表示できるノードの個数が少なくても、全体図を見失わなくて済み、ユーザは提示された選択肢の中から自分の意図に合いそうな選択をしていくことで、全体図を把握していなくても容易に求める例文であるリーフへとたどり着くことができる、と考えられる。

辞書の作成に必要な、実際に日本語入力に使用される例文は、その例文の題目より KWIC<sup>[6]</sup> を利用して登録される。KWIC は、文書中から指定したキーワードに加え、その前後の文脈を取り出す手法である。KWIC を用いる利点として、膨大な文書群から題目を直接含む文章になるため、ある程度長い文でありながら、題目との内容の関連性が高い例文を得られることが挙げられる。

また、KWIC に利用される検索元のテキストデータ

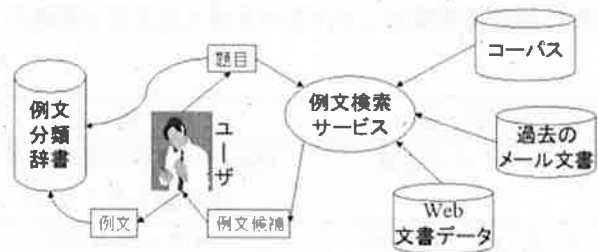


図 3: 辞書登録のシステム図

を変更することで、様々な用途の例文を得ることができる。例えば、Blog のテキストデータからはメール文書に適した、口語的でくだけた内容の例文を得ることができるし、青空文庫などの学術的なコーパスからは正式な文書に用いるような例文を得ることができる。

そして、辞書に新しく題目や例文を登録したい場合は、携帯情報端末のネットワーク機能を利用し、外部のテキストデータから KWIC を利用して例文を探し出し、登録することができる。図3に新たな例文を例文分類辞書に登録する、辞書登録のシステム図を示す。

### 3.2. ソフトウェアボタンの特性に合わせたシステムのデザイン

携帯情報端末において従来の日本語入力方式の手法が利用しにくい原因として、選択操作にタッチパネルを用い、ソフトウェアボタンを表示して選択させる、というインターフェースが挙げられる。

ソフトウェアボタンは自由度が高く、大きさ、場所、数などを利用するシステムにあわせて設定でき、また変更することも容易である。しかしその一方、ハードウェアボタンと違い、触感やクリック感がない。このため、ボタンとボタンの境界が曖昧で、ボタンを確実に押したという感覚がなく、誤操作が多くなりがちである。また、上記のタッチパネルの特性により、ボタンを連打あるいはボタン上で指を滑らせるということが行いにくい。このため、携帯電話のような、数字ボタンごとに子音が割り当てられ押した回数によって母音を決定する日本語入力方式は、タッチパネルの入力方式としては使いづらい。

このことも考慮して、ボタンを連打して候補を選ぶというインターフェースは避ける必要がある。また、操作しやすくするために、ハードウェアボタンよりもボタンを大きめに、ボタンとボタンとの間隔を大きめに取る必要がある。

また、前述した携帯情報端末の画面領域の小ささに加え、片手のみで携帯情報端末を操作することを視野

にいれるとなると、親指の稼動域にボタンを収めることも必要になる。

現在主流となっている折りたたみ式の携帯電話のボタン数を見てみると、矢印ボタンが4個、その周りがある機能ボタンが4個、数字をはじめとする電話機能のボタンが横3個×縦5個の15個という配置が一般的である。このボタン数が最適といえるかどうかは個人差があると思うが、親指の稼動域という観点からいうと、横に並べられるボタンは3個が、縦に並べられるボタンは3個から5個程度までが限界だと考えられる。

以上のことから、画面に配置できるボタンは、9個から多くても15個、といったところだろう。このため、ボタン数が少なくても、日本語入力に利用する以前に利用した文などを探しやすい工夫が必要となる。

そこで、本研究では、そういったインタフェースの特性にあわせて、自分の入力したい例文を探しやすくするために、マインドマップのようなツリーの階層構造をもった例文分類辞書を作成し、そのツリーの一部を表示領域に表示する。そして、選択操作で表示領域を変えていき、末端に至ることで求める例文を探す方法を提案する。

#### 4. システムの実装

システムは Visual C # および .NET Compact Framework を利用して、Windows Mobile 用のソフトウェアとして作成し、図4のように携帯情報端末におけるインプットメソッドの一種として実装した。

表示される画面はノード位置表示部と子ノードボタン表示部に分けられる。ノード表示位置部ではユーザが現在いるノードを表示し、またどのノードを辿ってきたかという履歴を表示する。また、子ノードボタン表示部では、ユーザの現在いるノードの一つ下の子ノードのラベルのついたソフトウェアボタンを表示する。

子ノードボタン表示部に提示されたボタンを押すと、図5のようにボタンが切り替わり、選択したノードを親ノードとして、その一つ下の子ノードのラベルがついたソフトウェアボタンを表示する。こうして自分の入力したい例文の属性や要素にあったボタンを次々に選択していき、自分の意図する内容の例文を絞りこんでいく。また、意図する要素や題目がそのノードになかった場合、ノード位置表示部に組み込まれたノード位置制御ボタンで一つ上のノードに戻ったり、大元のルートに戻ったりすることで検索操作をやり直し、入力したい例文を検索する。

そしてリーフに到達すると、文字数の多い例文でも見やすいように画面のボタンはリストボックス状に変

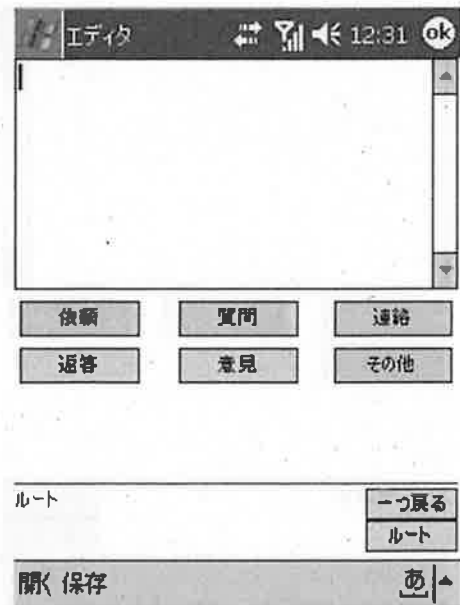


図4: システムの動作画面

化し、その題目に登録された例文の候補を選択することで、図6のように文の入力を行うことができる。入力が終わったら、それに続く文をまたルートから探し出していき、このような選択操作を繰り返していくことで、本システムは文書を完成させる。

#### 5. システムの実装結果

実際に例文分類辞書を作成し、本システムを利用することで、本システムが携帯情報端末の日本語入力に有用であるかを評価した。

KWIC の検索元のテキストデータは Blog の本文を利用し、実際に友人とやりとりするメール文書にシステムを利用して入力を行った。必要な語は適宜新しく登録したり、短い固有名詞や単語は既存の日本語入力の手法を併用して直接に入力を行った。

実験として、「ごめん、バイトがあつていけない。」という簡単なメール文書を入力する際、既存の入力手法と本システムの入力手法で入力時間、及びペンストローク回数を計測した。

本システムでは、「ごめん、バイトがあつていけない。」という文を入力する場合、あらかじめ辞書に登録してあるため、図4のような最初の選択画面から「返答」を選択し、切り替わっていく表示画面を「No」「バイト」と選択、表示されたリーフ群から「ごめん、バイトがあつていけない。」という文を選択することで入力する。

従来手法の場合、ソフトキーボードでは小さい画面に表示された QWERTY キーボードをローマ字入力で



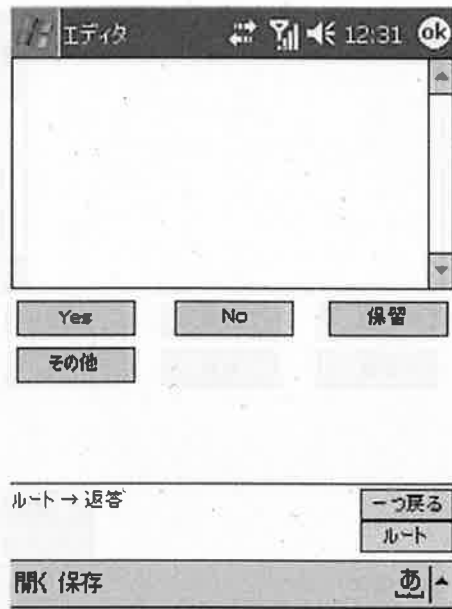


図 5: 選択後のシステムの画面

選択していき、変換を行ってカタカナを入力する。また、パターン認識では、認識画面に次々とひらがなで入力していき、単文節ごとに変換を行って入力していく。誤認識をした場合でも続けて入力していき、入力が完了した時点で誤認識をした場所まで戻り、訂正して再度変換を行う。

各手法において、計測の結果を表2に示す。なお、入力時間及びペンストローク回数には誤入力訂正も含んでいる。

表 2: 各手法における入力時間とペンストローク回数

手法	入力時間	ペンストローク回数
本システム	2秒	4回
ソフトキーボード	1分13秒	45回
パターン認識	45秒	42回

固有名詞などは従来の手法に頼ってしまうが、よく使う文であれば従来手法と比べて遥かに高速で入力できる。また、他の入力手法ではよく発生する、誤認識による訂正操作が少ないのは、主視ではあるが、ユーザの負担軽減に大きく役立っていたと感じた。加えて、本システムは片手のみで操作し、他のシステムは片手でペンを、もう片手で携帯情報端末を持つ両手で操作したことを考えると、本システムは利便性も高いといえる。

メール文書における日本語入力全体としては、語調

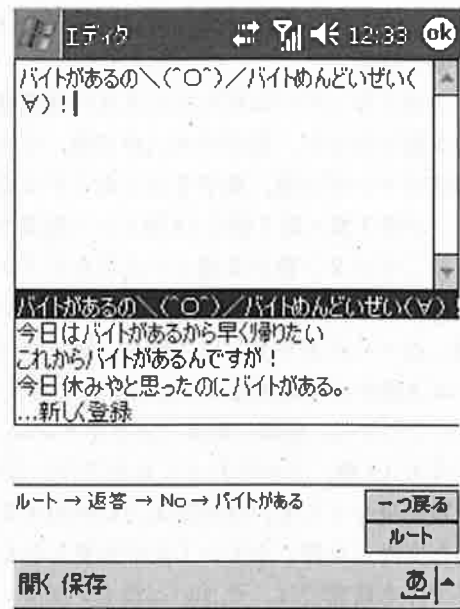


図 6: リーフ選択時の入力結果

が統一されていないものの、意味的には通じる文書を多く作成できた。選択の手間があるが、細かな操作を大幅に減らすことができたため、従来の日本語入力の手法と異なり、立った状態や片手での操作でも問題なく日本語入力を行うことができた。

## 6. 考察

実験から、メール文書における日本語入力の際のよく使う定型文の入力に、本システムは非常に有意であるということが出来る。

また、携帯情報端末で利用できる日本語入力方式はいくつか提案されているが、そのほとんどがペンインタフェースを利用したもので、ペンに比べて非常に曖昧なポインティングとなってしまう、指による選択操作を活用できるような方式はほとんど存在しない。本システムを用いることで、携帯情報端末において煩雑となる長文の入力を曖昧なポインティングでも行えるため、ユーザにとっての負担を軽減することができる、と考えられる。

他の研究と本システムを比較すると、類似した入力システムにPOBoxなどの予測変換を用いた日本語入力手法がある。しかし、予測変換では、文字列の一部を従来の手法で入力しなくてはならないため、結局のところ細かな選択操作を省くことはできない。そのため、片手で操作する状態でもある程度の形となった文書を作成できる本システムの方が、優れた状況もあると考えられる。

## 7. まとめ

本システムを用いることで、メール文書における日本語入力の際のよく使う定型文の入力において、ひいては携帯情報端末におけるメール文書の入力操作全体において、ユーザの負担を軽減することができた、と考えられる。

問題としては、辞書がそれぞれのユーザに特化したものになるため、汎用的な辞書の構築が難しい、ということが挙げられる。各ユーザにとってよく使う例文はそれぞれ異なるため、ある程度は仕方ないと言えるが、木構造の要素や例文登録方法の指針を示したり、過去のメール文書などを元に辞書の一部を自動的に生成するなど、辞書作成を支援するようなシステムがあればもっと利用しやすいシステムになるのではないかと考えられる。

## 参考文献

- [1] I. MacKenzie and X. Zhang: Proceedings of Graphics Interface '97, 1-129, 129-137 (1997).
- [2] 増井俊之: 日本ソフトウェア科学会 WISS'96, 1-51, 81-86 (1996).
- [3] 宮澤弦, 椎葉宏, 片岡俊行, 新上幸二, 横山隆治, 手嶋浩己, 木暮祐一: Mobile 2.0, インプレスジャパン (2006).
- [4] 田村博: ヒューマンインタフェース, オーム社 (1998).
- [5] トニー・ブザン: ザ・マインドマップ, ダイアモンド社 (2005).
- [6] M. Fischer: American Documentation, 17-57, 57-70 (1966).

1. 在下列各数中，找出所有质数，并指出哪些是偶数，哪些是奇数。  
 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100.

练习 10.1

1. 在下列各数中，找出所有质数，并指出哪些是偶数，哪些是奇数。  
 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100.

極性官能基を置換基を含む  
ビニルエーテルのカチオン重合における  
副反応の検証：官能基の種類と数の影響

市村 健太\* 橋本 保\*

Identification of Side Reactions in Cationic Polymerization of Vinyl Ethers  
with Polar Functional Groups in Their Substituents:  
Effect of Sort and Number of Functional Groups

Kenta ICHIMURA\* and Tamotsu HASHIMOTO\*

(Received January 25, 2008)

To study effects of the sort and number of functional groups of vinyl ether monomers on the tendency of the side reaction in the HCl/ZnCl<sub>2</sub>-initiated controlled cationic polymerizations, 2-(2-vinyloxyethoxy)ethyl phenylcarbamate (VEEPC) and 2-[2-(2-vinyloxyethoxy)ethoxy]ethyl phenylcarbamate (VEEPC) with both an oxyethylene chain and a urethane group were polymerized in CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> at -30°C. Along with the formation of the long-lived polymers, the oligomeric products were produced during the polymerizations. The HCl/ZnCl<sub>2</sub>-initiated polymerization of 2-(2-methoxyethoxy)ethyl vinyl ether (MEEVE) with an oxyethylene chain and *n*-butyl vinyl ether (NBVE) were carried out under the same reaction conditions, where MEEVE formed a small amount of the similar oligomeric products, but NBVE did not form any oligomeric side products: the order of the amount of oligomers formed VEEPC > VEEPC > MEEVE > NBVE(no oligomers). NBVE also induced perfect living polymerization even in the presence of the urethane model compound CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-O-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-O-CO-NH-C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> under otherwise the same reaction conditions. Therefore, the side reaction occurred only when the functional groups were incorporated in the vinyl ether monomers. The reason for the side reaction are most likely due to the destabilization of growing carbocations by electron-withdrawing functional groups in their side chain and/or intramolecular through-space effects of the pendant functional chains.

**Key Word** : Cationic polymerization, Living polymerization, Side reaction, Vinyl ether, Urethane, Oxyethylene

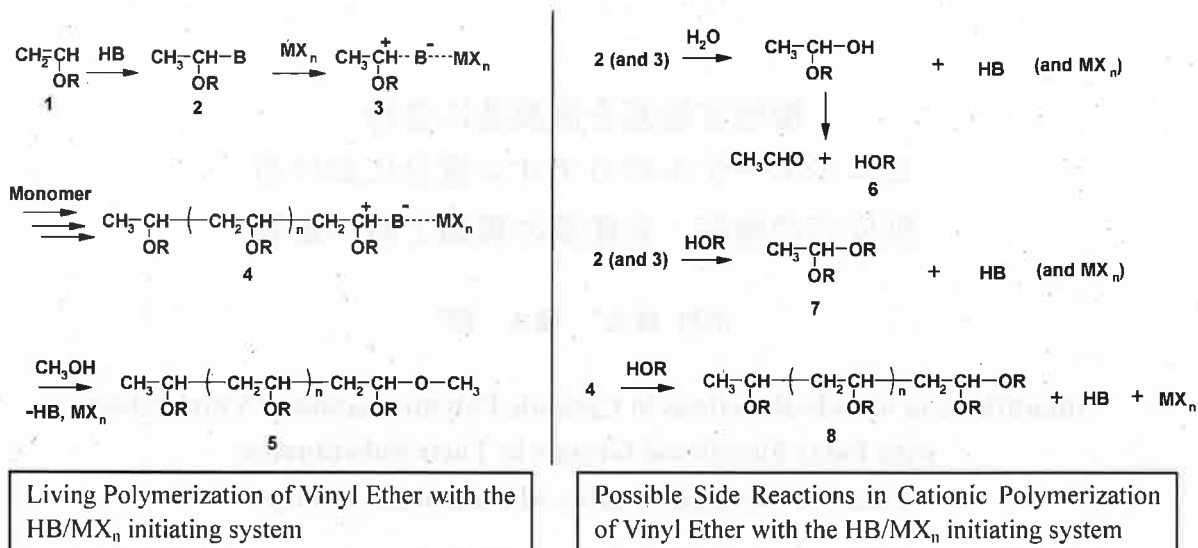
## 1. 緒言

カチオン重合は、ルイス酸やプロトン酸などの酸

性の開始剤を用いるイオン重合の一種であり、多くのビニル化合物がカチオン重合を起こしポリマーを生成する。<sup>[1][2]</sup> カチオン重合において、連鎖移動反応や停止反応などの副反応がないリビング重合は、プロトン酸/ルイス酸の組み合わせによる2成分開始剤系を用い、ビニルエーテルをモノマーとして初めて達成された。<sup>[3]</sup> リビングカチオン重合を起こすビニルエーテルには、*n*-ブチルビニルエーテル(NBVE)

\*工学研究科材料開発工学専攻

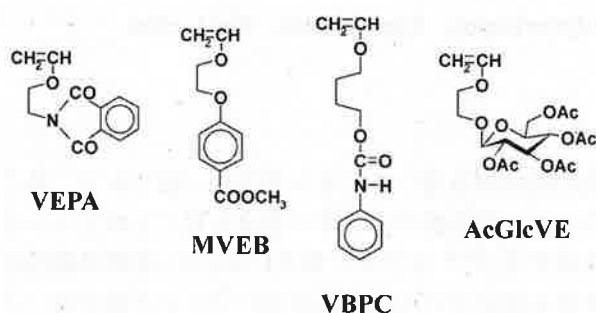
\*Materials Science and Engineering Course, Graduate School of Engineering



**Scheme 1** Reaction mechanism of the living polymerization of vinyl ether ( $\text{CH}_2=\text{CH-OR}$ ) and the formation of low-molecular-weight side products with the HB/MX<sub>n</sub> initiating system.

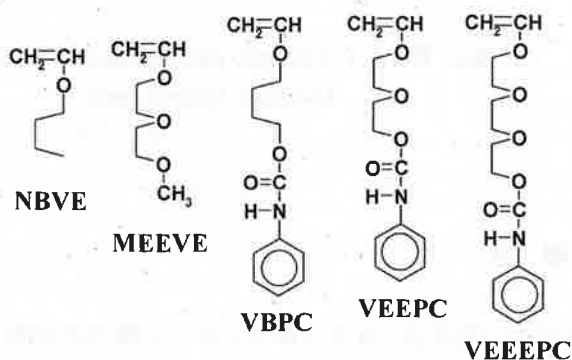
のような単純なアルキルビニルエーテルだけでなく、2-アセトキシエチルビニルエーテル(AcOVE)や2-メトキシエチルビニルエーテル(MOVE)などのエステルやエーテル官能基を有するビニルエーテルがある。<sup>[4]~[7]</sup>

しかし、リビング重合の挙動が見られる重合でも、2-ビニロキシエチルフルタリミド(VEPA)、4-(2-ビニロキシエトキシ)安息香酸メチル(MVEB)、フェニルカルバミン酸 4-ビニロキシブチル(VBPC)、および 1-O-(2-ビニロキシ)エチル-2,3,4,6-テトラ-O-アセチル-β-D-グルコシド(AcGlcVE)をモノマーとして用いた重合系ではわずかに副反応が含まれていることが知られている(Scheme 2)。<sup>[8]~[11]</sup>その副反応の提案されている機構を Scheme 1 に示す。<sup>[9][10]</sup>重合系中に不純物として存在する水が成長末端に反応してヘミアセタールを生じ、さらにそれが分解してアルコールを生成した後、このアルコールが成長末端に反応してアセタールを生成するものである。

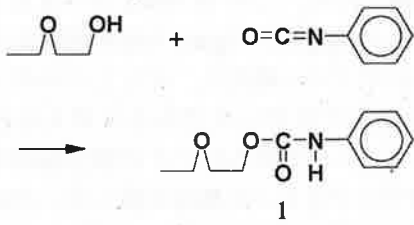


**Scheme 2** Reported examples of vinyl ether monomers to form the oligomer 7 shown by scheme 1.

しかし、どのようなビニルエーテルがこの副反応を起こしやすいのかはまだよく分かっていない。そこで本研究では、オキシエチレン鎖とカルバメート(ウレタン)基をともに有するフェニルカルバミン酸 2-(2-ビニロキシエトキシ)エチル(VEEPC) とフェニルカルバミン酸 2-[2-(2-ビニロキシエトキシ)エトキシ]エチル(VEEPEC)をビニルエーテルモノマーに用い、そのカチオン重合挙動を詳しく検討し、複数の官能基を有するビニルエーテルの起こす副反応の検証を行った。また、オキシエチレン鎖またはカルバメート基のみを持つビニルエーテルや単純なアルキルビニルエーテルと重合挙動の比較を行い、副反応の起こりやすさに及ぼす官能基の種類と数の影響を検討した(Scheme 3)。



**Scheme 3** Vinyl ether monomers for the investigation of tendency for the side reactions in this study.



**Scheme 4** Synthesis of urethane model compound (1)

## 2. 実験

### 2.1 試薬

VEEPC と VEEEPC は、以前に報告した方法で合成した。<sup>[12]</sup> ウレタンモデル化合物(1)はエトキシエタノールとイソシアネ酸フェニルとの反応により合成し、生成物を分子蒸留(bp 90°C/<10<sup>-4</sup> mmHg)により精製した(Scheme 4)。*n*-ブチルビニルエーテルは、10wt%炭酸ナトリウム水溶液、イオン交換水の順で洗浄後、炭酸カリウムにより一晩乾燥した後、水素化カルシウム上で2回蒸留した。塩化メチレン(和光、一級)は、10wt%炭酸ナトリウム水溶液、イオン交換水の順で洗浄後、塩化カルシウムにより一晩乾燥した後、水素化カルシウム上で2回蒸留した。ジエチルエーテル(和光、一級)は、塩化カルシウムにより一晩乾燥した後、水素化カルシウム上で2回蒸留し、褐色アンブルに小分けした。テトラリン(和光、一級)は、硫酸、イオン交換水、10wt%水酸化ナトリウムの順でそれぞれ3回ずつ洗浄した後、イオン交換水で中性になるまで洗浄し、塩化カルシウムで一晩乾燥した。その後、水素化カルシウム上で2回減圧蒸留(76°C/10mmHg)し、褐色アンブルに小分けした。ヘプタン(和光、一級)は、硫酸、イオン交換水、10wt%

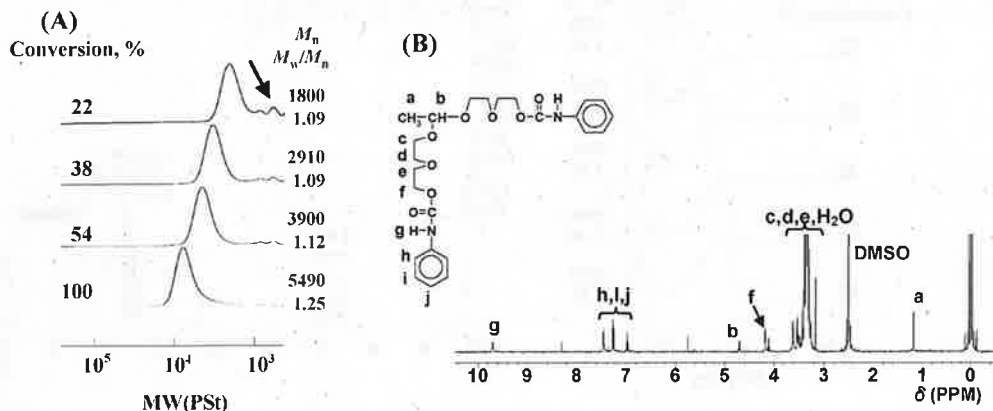
水酸化ナトリウムの順でそれぞれ3回ずつ洗浄した後、イオン交換水で中性になるまで洗浄し、塩化カルシウムにより一晩乾燥した。その後、水素化カルシウム上で2回蒸留し、褐色アンブルに小分けした。塩化水素 4.0M 1,4-ジオキサン溶液(Aldrich)は、褐色アンブルに小分けし、冷蔵庫に保存した。塩化亜鉛 1.0M ジエチルエーテル溶液(Aldrich)は、褐色アンブルに小分けし、冷蔵庫に保存した。その他の試薬は市販品をそのまま使用した。

### 2.2 重合操作

重合はヒートガンにより約 400°Cでベーキングした三方コックを付けたナス型フラスコまたはシュレンク管中、窒素雰囲気下で行った。あらかじめ重合温度に冷やした塩化水素溶液(0.5mL 塩化メチレン溶液)と塩化亜鉛溶液(0.5mL エーテル溶液)を、この順番でモノマー溶液(4.0mL 塩化メチレン溶液)に加えることにより重合を開始した。重合の停止は、アンモニア水を含むメタノールを2.0mL加えることにより行った。反応溶液は、塩化メチレンを加えて希釈し、イオン交換水で洗浄し、エバポレーターで溶媒を除去し、さらに減圧乾燥して生成物と未反応のモノマーの混合物を回収した。

### 2.3 測定

モノマーの重合率は、VEEPC, VEEEPC をモノマーに用いた場合は、回収物の <sup>1</sup>H NMR スペクトルにおいて、残存モノマーのビニルエーテルメチン基のピークと全回収物のフェニル基のピーク強度比により求め、NBVE, MEEVE をモノマーに用いた場合は、ガスクロマトグラフィー(GC)により求めた。ポリマーの分子量分布は、4つのポリスチレンカラム(Shodex K-805L 1本と K-804 3本)と、示差屈折計(島



**Fig. 1** (A) GPC trace of the products (B) <sup>1</sup>H NMR spectrum of the lowest-molecular-weight product [shown in Fig.1(A)] by the polymerization of VEEPC with HCl/ ZnCl<sub>2</sub> in CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> at -30°C: [VEEPC]<sub>0</sub> = 0.30M; [HCl]<sub>0</sub> = 5.0mM; [ZnCl<sub>2</sub>]<sub>0</sub> = 2.0mM.

津 RID-6A)および UV 検出器(日立 L-7400) を取り付けた島津 LC-10AD を用いたゲルパーミエーションクロマトグラフィー(GPC)により 40°Cで溶媒にクロロホルム(流速 1.0mL/min)を用い測定した。数平均分子量( $M_n$ )と多分散度[重量平均分子量/数平均分子量( $M_w/M_n$ )]はポリスチレン換算により求めた。生成物中のポリマーとオリゴマーの相対的な量は、生成物中の GPC 曲線の各ピークの面積比を測定することによって評価した。分取 GPC による生成物の分離は、室温で溶媒にクロロホルム(流速 3.0mL/min)を用いポリスチレンゲルカラム(Shodex Megapak GEL 201)と示差屈折計(Shodex RI SE-31)を取り付けた Jasco Tri Rotar-II クロマトグラフにより行った。 $^1\text{H}$ (500MHz)および  $^{13}\text{C}$ (125MHz) NMR スペクトルは、内部標準にテトラメチルシラン、溶媒に DMSO- $d_6$ を用い日本電子 LA-500 により測定した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 フェニルカルバミン酸 2-[2-(2-ビニロキシエトキシ)エチル](VEEPC)のカチオン重合

モノマーに VEEPC を用い、塩化水素/塩化亜鉛開始剤系、塩化メチレン中、 $-30^\circ\text{C}$ で重合を行うと、Figure 1(A)に示す生成ポリマーの GPC カーブに見られるように低分子量側にオリゴマーのピークが見られた。<sup>[12]</sup>このオリゴマーを分取 GPC により分取し、 $^1\text{H}$  NMR スペクトルにより構造を検討した。その  $^1\text{H}$  NMR スペクトルを Figure 1(B)に示す。メチル基の吸収 a, および、アセタール結合のメチン基の吸収 b が観測され、さらに、オキシエチレン鎖の吸収 c, d, e, f, g, h, ウレタン結合の吸収 i, フェニル基の吸収 j, k, l が観測された。このため、ここで生成するオリゴマーの構造は、VEEPC の重合の場合と同様な、1つのモノマー単位と、もう1つのモノマーの側鎖からなるアセタールであると考えられる。 $^1\text{H}$  NMR スペクトル中の各ピークの積分強度比とこの構造に基づくプロトンの数

i, j が観測された。この  $^1\text{H}$  NMR スペクトルから、オリゴマーの構造は、Figure 1(B)の図中に示すような、1つのモノマー単位と、もう1つのモノマーの側鎖からなるアセタールであると考えられる。 $^1\text{H}$  NMR スペクトル中の各ピークの積分強度比とこの構造に基づくプロトンの数を比較した。その値を以下に示す(括弧の値はプロトンの数)。ピーク a: 3.03(3); b: 1.01(1); f: 4.24(4); g: 2.03(2); h, i, j: 10(10)となった。このように各々の観測されたピークの積分強度比は、考えられる構造によく一致した。以上のことより、ここで生成したオリゴマーは Scheme 1 に示す副反応により生成したと考えられる。

#### 3.2 フェニルカルバミン酸 2-[2-(2-ビニロキシエトキシ)エトキシ]エチル(VEEPC)のカチオン重合

Figure 2(A)に塩化水素/塩化亜鉛開始剤系を用いた VEEPC の重合結果を示す。<sup>[12]</sup>この生成ポリマーの GPC 曲線より、低分子量体にオリゴマーが生成していることが分かる。VEEPC の重合の場合と同様に、オリゴマーを分取 GPC により分取し、 $^1\text{H}$  NMR スペクトルにより構造を検討した。Figure 2(B)に示すように、メチル基の吸収 a, および、アセタール結合のメチン基の吸収 b が観測され、さらに、オキシエチレン鎖の吸収 c, d, e, f, g, h, ウレタン結合の吸収 i, フェニル基の吸収 j, k, l が観測された。このため、ここで生成するオリゴマーの構造は、VEEPC の重合の場合と同様な、1つのモノマー単位と、もう1つのモノマーの側鎖からなるアセタールであると考えられる。 $^1\text{H}$  NMR スペクトル中の各ピークの積分強度比とこの構造に基づくプロトンの数

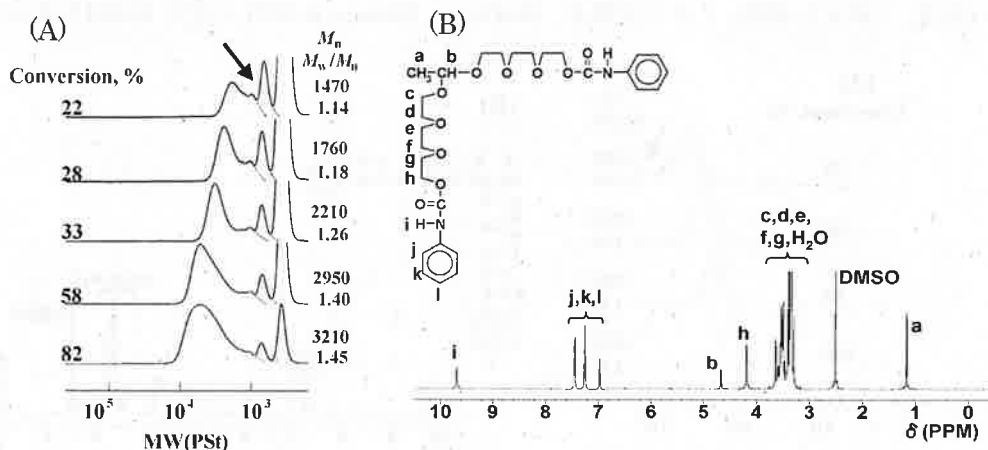


Fig. 2 (A) GPC trace of the products (B)  $^1\text{H}$  NMR spectrum of the lowest-molecular-weight product [shown in Fig.2(A)] by the polymerization of VEEPC with HCl/ZnCl<sub>2</sub> in CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> at  $-30^\circ\text{C}$ : [VEEPC]<sub>0</sub> = 0.30M; [HCl]<sub>0</sub> = 5.0mM; [ZnCl<sub>2</sub>]<sub>0</sub> = 2.0mM.

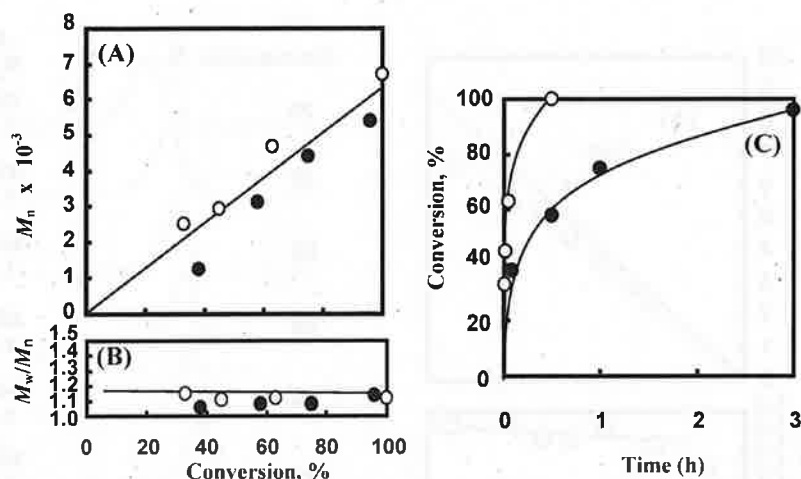


Fig. 3 Polymerization of NBVE with HCl/ZnCl<sub>2</sub> in CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> at -30°C in the presence (●) or absence (○) of the model compound 1: [NBVE]<sub>0</sub> = 0.30M; [1]<sub>0</sub> = 0.30M; [HCl]<sub>0</sub> = 5.0mM; [ZnCl<sub>2</sub>]<sub>0</sub> = 2.0mM. (A)  $M_n$  vs. conversion plots; (B)  $M_w/M_n$  vs. conversion plots; (C) time-conversion curves.

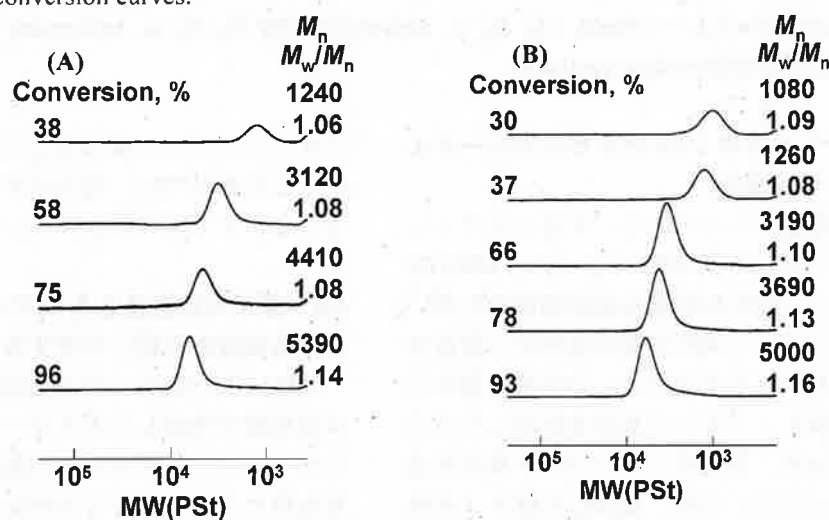


Fig. 4 GPC trace of the products obtained by the polymerization of NBVE with HCl/ZnCl<sub>2</sub> in CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> at -30°C: (A) presence of the model compound 1; (B) absence of the model compound 1; [NBVE]<sub>0</sub> = 0.30M; [1]<sub>0</sub> = 0.30M; [HCl]<sub>0</sub> = 5.0mM; [ZnCl<sub>2</sub>]<sub>0</sub> = 2.0mM.

を比較した。その値を以下に示す(括弧の値はプロトンの数)。ピーク a: 3.07(3); b: 1.09(1); h: 4.02(4); i: 2.09(2); j, k, l: 10(10)となった。このように各々の観測されたピークの積分強度比は、考えられる構造によく一致した。また、生成ポリマーのGPC曲線より判断すると、VEEPCのポリマーよりテーリングが大きく分子量分布がより広いことがわかる。これは、Scheme 1で示したリビングポリマー-4とアルコールHORの反応に基づく連鎖移動反応がより活発に起こっているためと考えられる。

### 3.3 ウレタンモデル化合物 1 存在下での *n*-ブチルビニルエーテル(NBVE)のカチオン重合

VEEPCの極性官能基と同じくオキシエチレン鎖とカルバメート基をともに持つウレタンモデル化合

物1の存在下でのNBVEのカチオン重合を塩化水素/塩化亜鉛開始剤を用いて、塩化メチレン中、-30°Cの重合条件下で行った。Figure 3に示すように、モデル化合物存在下でのNBVEの重合は、非存在下での重合と比較して、重合は遅くなったが、生成ポリマーの分子量、分子量分布ともに大きな差はなかった。さらに、生成ポリマーの分子量は重合率に比例して増加し、分子量分布は $M_w/M_n$ の値が1.1前後と狭かった。またFigure 4に示すように、GPC曲線の低分子量側にオリゴマーの生成も見られなかった。VEEPCの重合ではオリゴマーが生成したが、1の存在下でのNBVEの重合では生成しなかったことから、成長末端側鎖の極性官能基が成長炭素カチオンをより不安定にし、水との反応性を誘発しやすくしているのではないかと考えられる。



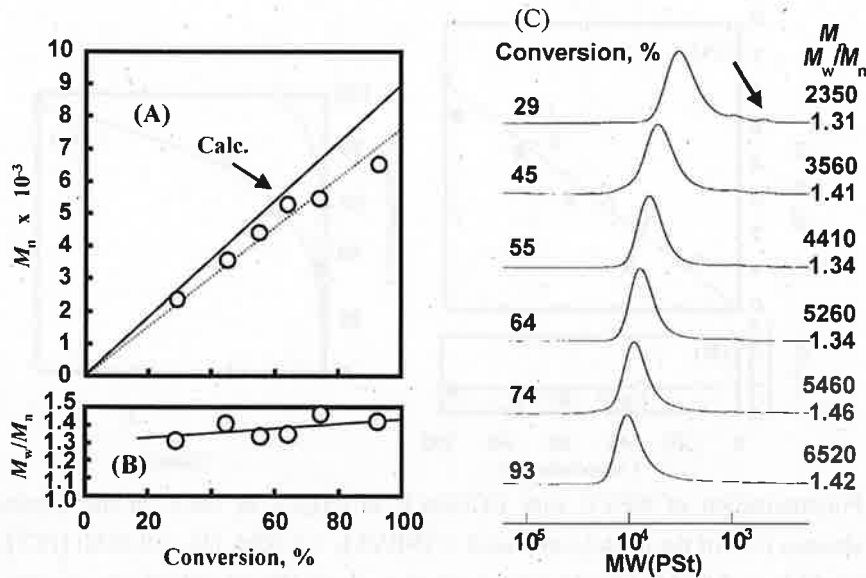


Fig. 5 Polymerization of MEEVE with HCl/ZnCl<sub>2</sub> in CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> at -30°C: [MEEVE]<sub>0</sub> = 0.30M; [HCl]<sub>0</sub> = 5.0mM; [ZnCl<sub>2</sub>]<sub>0</sub> = 2.0mM. (A)  $M_n$  vs. conversion; (B)  $M_w/M_n$  vs. conversion and (C) GPC traces of polymerization products.

### 3.4 2-(2-メトキシエトキシ)エチルビニルエーテル (MEEVE)のカチオン重合

次に、極性官能基が一つである、オキシエチレン鎖を持つカルバメート基を持っていない MEEVE をモノマーに用い、塩化水素/塩化亜鉛開始剤を用いて、塩化メチレン中、-30°Cの重合条件下で重合を行った。Figure 5(A)に示すように、分子量は重合の進行とともに増加し、リビング重合を仮定した分子量によく一致したが、生成ポリマーの分子量分布は重合の進行とともに広くなり、 $M_w/M_n$ の値が 1.4 程度と広がった。また Figure 5(C)に示すように、生成ポリマーの GPC 曲線の低分子量帯にオリゴマーが生成していることを示すピークが若干見られた。

### 3.5 フェニルカルバミン酸 4-ビニロキシブチル (VBPC)のカチオン重合

これまでに検討された、カルバメート基を有する

がオキシエチレン鎖は有していない VBPC の同条件下での重合では、若干のオリゴマーが生成していることがすでに報告されている。<sup>110)</sup>

### 3.6 種々の官能基をもつビニルエーテルの重合における副反応の起こりやすさ

Table 1 に今回行った各重合において、重合率がほぼ同程度で生成したポリマーの GPC 曲線より求めたオリゴマーとポリマーの面積比を示す。極性官能基を持たない NBVE では副反応は全く起こらなかった。一方、極性官能基を一つだけ有する、オキシエチレン鎖を含むがウレタン基を含まない MEEVE では、ポリマーに対するオリゴマーの生成割合が 0.02 となり若干の副反応が起こっていることが分かる。オキシエチレン鎖とウレタン基の両方を側鎖に有する VEEPC では 0.11、より長いオキシエチレン鎖を有する VEEPC では 0.59 であり、鎖長が長くなるこ

Table 1. Tendency for Side Reactions

Monomer	Conversion (%)	Oligomer/Polymer	$M_n$	$M_w/M_n$	Side Reaction <sup>a)</sup>
NBVE	30	0	1080	1.09	×
NBVE + 1	38	0	1240	1.06	×
MEEVE	29	0.02	2350	1.31	△
VEEPC	22	0.11	1800	1.09	○
VEEPC	22	0.59	1470	1.14	◎

a) Based on the reaction of the propagating terminals with adventitious water (see Scheme 1).

**Table 2.** Relationship between tendency for the side reactions and electron density of  $^{\beta}\text{CH}_2=$  of  $\text{CH}_2=\text{CH-OR}$

Monomer	Oligomer/ Polymer	$^{13}\text{C NMR}^a)$
		Chemical shift of $^{\beta}\text{CH}_2=$
NBVE	0	86.4
NBVE + 1	0	—
MEEVE	0.02	86.7
VEEPC	0.11	86.8
VEEEPC	0.59	86.8

a) In DMSO at room temperature.

とでより多くの副反応が起こるようになった。

次に、副反応の起こりやすさと各ビニルエーテルの $\beta$ 炭素の電子密度の関係を検討した。Table 2にオリゴマーとポリマーの面積比と、各モノマーのビニルエーテル基のメチレン炭素( $^{\beta}\text{CH}_2=$ )の $^{13}\text{C-NMR}$ 化学シフトを示す。極性官能基を持たないNBVEは化学シフトの値が86.4ppmであり、極性官能基を一つ持つMEEVEは86.7ppm、極性官能基を複数持つVEEPC、VEEEPCは86.8ppmであった。したがってこれらの極性官能基を持つことでビニルエーテルの $\beta$ 炭素の電子密度は減少し、官能基を二つ以上持つことでさらに減少することを示している。しかし、極性官能基を二つ以上持つもの同士での差は見られなかった。以上のことから副反応が起こる原因として、まず第一に、側鎖官能基の電子吸引力により成長末端の炭素カチオンが不安定化し、重合系中の不純物である水との反応を起こしやすくさせていることが考えられる。第二に、極性官能基を二つ以上持つビニルエーテルであるVEEPCとVEEEPCでは、成長末端側鎖の多数の極性部位が成長炭素カチオンに対して空間を通して直接作用し、水のような極性物質との反応を促進していることが考えられる。

#### 4. 結論

極性官能基を持たないNBVEでは副反応は起こらなかったが、VBPCやMEEVEなどの極性官能基を一つ持つビニルエーテルは若干の副反応を起こし、オキシエチレン鎖とウレタン結合の両方を持つVEEPCでは副反応がより起こることがわかった。側鎖のオキシエチレン鎖長がより長いVEEEPCでは副反応がさらに起こりやすかった。以上のことから、モノマーが多数の極性官能基を持つことで副反応をより誘発しやすくなることがわかった。

#### 参考文献

- [1] 東村敏延：カチオン重合，化学同人，6章(1971)。
- [2] J. P. Kennedy, and E. Marechal: Carbocationic Polymerization, John Wiley & Sons, New York, Chapter 3 (1982).
- [3] M. Miyamoto, M. Sawamoto, and T. Higashimura: *Macromolecules*, **17**, 265 (1984).
- [4] M. Sawamoto, *Cationic Polymerizations: Mechanisms, Synthesis, and Applications*: K. Matyjaszewski, Ed., Marcel Dekker, New York, Chapter 5 (1996)
- [5] 高分子学会：高分子機能材料シリーズ 1 高分子の合成と反応(1), 共立出版, 2章(1992)。
- [6] S. Aoshima, T. Nakamura, N. Uesugi, M. Sawamoto, and T. Higashimura: *Macromolecules*, **18**, 2097 (1985).
- [7] S. Aoshima, H. Oda, and E. Kobayashi: *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **30**, 2407 (1992).
- [8] T. Hashimoto, H. Ibuki, M. Sawamoto, and T. Higashimura: *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **26**, 3361 (1988).
- [9] S. Rahman, T. Hashimoto, and T. Kodaira: *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **38**, 4362 (2000).
- [10] T. Namikoshi, T. Hashimoto, and T. Kodaira: *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **42**, 2960 (2004).
- [11] K. Yamada, K. Yamaoka, M. Minoda, and T. Miyamoto: *Polym. Int.*, **50**, 531 (2001)
- [12] K. Ichimura, and T. Hashimoto: *Mem. Grad. Eng. Univ. Fukui*, **55**, 1 (2007)

Table 1. Summary of the results of the regression analysis.

Variable	Parameter	Standard Error
Intercept	1.00	0.05
Age	0.02	0.01
Gender	0.05	0.02
Education	0.01	0.01
Income	0.03	0.01
Health	0.04	0.02
Marital Status	0.02	0.01
Religion	0.01	0.01
Occupation	0.02	0.01
City	0.01	0.01
State	0.01	0.01
Country	0.01	0.01

Note: All variables are standardized.

The regression analysis revealed that the dependent variable is significantly predicted by the independent variables. The overall model is significant,  $F(10, 115) = 2.15, p < 0.001$ . The adjusted  $R^2$  is 0.15, indicating that 15% of the variance in the dependent variable is explained by the independent variables. The regression equation is as follows:

$$\text{Dependent Variable} = 1.00 + 0.02(\text{Age}) + 0.05(\text{Gender}) + 0.01(\text{Education}) + 0.03(\text{Income}) + 0.04(\text{Health}) + 0.02(\text{Marital Status}) + 0.01(\text{Religion}) + 0.02(\text{Occupation}) + 0.01(\text{City}) + 0.01(\text{State}) + 0.01(\text{Country})$$

The regression coefficients and standard errors are presented in Table 1. The regression coefficients represent the change in the dependent variable for a one-unit change in the independent variable, holding all other variables constant. The standard errors represent the standard deviation of the regression coefficients. The regression coefficients for Age, Gender, Income, Health, and Occupational are statistically significant,  $p < 0.05$ . The regression coefficients for Education, Marital Status, Religion, City, State, and Country are not statistically significant,  $p > 0.05$ .

The regression analysis revealed that the dependent variable is significantly predicted by the independent variables. The overall model is significant,  $F(10, 115) = 2.15, p < 0.001$ . The adjusted  $R^2$  is 0.15, indicating that 15% of the variance in the dependent variable is explained by the independent variables. The regression equation is as follows:

$$\text{Dependent Variable} = 1.00 + 0.02(\text{Age}) + 0.05(\text{Gender}) + 0.01(\text{Education}) + 0.03(\text{Income}) + 0.04(\text{Health}) + 0.02(\text{Marital Status}) + 0.01(\text{Religion}) + 0.02(\text{Occupation}) + 0.01(\text{City}) + 0.01(\text{State}) + 0.01(\text{Country})$$

The regression coefficients and standard errors are presented in Table 1. The regression coefficients represent the change in the dependent variable for a one-unit change in the independent variable, holding all other variables constant. The standard errors represent the standard deviation of the regression coefficients. The regression coefficients for Age, Gender, Income, Health, and Occupational are statistically significant,  $p < 0.05$ . The regression coefficients for Education, Marital Status, Religion, City, State, and Country are not statistically significant,  $p > 0.05$ .

## CONCLUSION

The regression analysis revealed that the dependent variable is significantly predicted by the independent variables. The overall model is significant,  $F(10, 115) = 2.15, p < 0.001$ . The adjusted  $R^2$  is 0.15, indicating that 15% of the variance in the dependent variable is explained by the independent variables. The regression equation is as follows:

$$\text{Dependent Variable} = 1.00 + 0.02(\text{Age}) + 0.05(\text{Gender}) + 0.01(\text{Education}) + 0.03(\text{Income}) + 0.04(\text{Health}) + 0.02(\text{Marital Status}) + 0.01(\text{Religion}) + 0.02(\text{Occupation}) + 0.01(\text{City}) + 0.01(\text{State}) + 0.01(\text{Country})$$

The regression coefficients and standard errors are presented in Table 1. The regression coefficients represent the change in the dependent variable for a one-unit change in the independent variable, holding all other variables constant. The standard errors represent the standard deviation of the regression coefficients. The regression coefficients for Age, Gender, Income, Health, and Occupational are statistically significant,  $p < 0.05$ . The regression coefficients for Education, Marital Status, Religion, City, State, and Country are not statistically significant,  $p > 0.05$ .