自我モデルを導入する
自律移動ロボットの知能化

平成18年度

三重大学大学院工学研究科
博士前期課程 機械工学専攻

石川 德宏

修士論文

自我モデルを導入する自律移動ロボットの知能化

三重大学大学院
受
19. 2. 6
付
工学研究科

平成18年度

三重大学大学院 工学研究科 博士前期課程 機械工学専攻

石　川　徳　宏

平成 18 年度　　修士論文

自我モデルを導入する
自律移動ロボットの知能化

専攻　三重大学大学院 工学研究科 博士前期課程 機械工学専攻

研究室　メカトロニクス研究室

平成 17 年度入学　405M102

氏名　**石 川 徳 宏**

三重大学大学院　工学研究科

目 次

1 まえがき 1

1.1 一般的背景 1

1.2 哲学的意義 1

1.3 工学的意義 2

2 自我を含む意識モデル 4

2.1 提案モデル 4

2.2 学習 6

2.2.1 部分 Q テーブル 6

2.2.2 双方向 Q 学習 6

3 実験 8

3.1 MieC 8

3.2 実験モデルの構築 9

3.2.1 意識エージェントの設定 9

3.2.2 ボール追跡エージェントの設定 10

3.2.3 電池交換エージェントの設定 10

3.2.4 意識エージェントの個数 11

3.3 実験条件 11

3.4 実験結果と考察 13
3.4.1 連想状態 13
3.4.2 デッドロックの回避 17
3.5 有効性の検証 20

4 おわりに 21

参考文献 23

付録 25

謝辞 28

図 目 次

2.1 自我を含む意識モデル 5

2.2 双方向 Q 学習 7

3.1 MieC 9

3.2 ボール追跡エージェント 10

3.3 電池交換エージェント 11

3.4 位置空間と動作 12

3.5 入力画像 13

3.6 ボール追跡エージェントの連想状態の実験結果 14

3.7 ボール追跡の動作過程 15

3.8 電池交換エージェントの連想状態の実験結果 16

3.9 電池ボックス交換の動作過程 17

3.10 デッドロックの回避の実験結果 19

3.11 デッドロックの回避の動作過程 20

第1章

まえがき

1.1 一般的背景

近年，ロボットは家庭やオフィスなど人間と共存する環境で利用されつつあり，ペットロボットやヒューマノイドロボットなど，さまざまなロボットが開発されている．ロボットは，人間と共存するために人間の複雑で多様な生活環境に適応する必要があり，複数のタスクを処理するための高度な知能を備えていなければならない．普段の生活で人間は，複数のタスクを柔軟に処理しながら知能的に生きているが，人間の生活環境は複雑で多様な環境であり，そこには多くのタスクが存在する．ロボットがそれらを処理するためには，多くのタスクの設定が必要になり，それらを適宜選択することは，かなりの知能を必要とする．そこで本論文では，人間が自我と意識を用いて複数のタスクを柔軟に処理しながら知能的に動作している点に着目し，自律性の高いロボットの実現を目指す．

1.2 哲学的意義

人間がどのようにして自我と意識をもつのかというテーマは，古代の人が人を葬るようになったときから考えられている人類のテーマであり，このテーマの研究は必ずしも多くはな

いが，これまでにも哲学，心理学，言語学，人工知能の研究者によって取り上げられ，様々な角度から論じられてきた．しかし，現在，自我と意識とは何かが十分に明らかにされているわけではない．哲学の分野においては，人間の内面から自然科学へ，心理学においては，内観から行動主義心理学へと移行し，成果を上げているが，それぞれ自我や意識の研究が出発点になっている．しかし，人間の知能を実現しようとする人工知能の分野において，自我と意識の研究の成果はほとんどない．これは，人工知能という学問の初期にチューリングテストという「入出力が自我があるものと同じなら，その入出力のあるものを自我があると見なす.」という考えがあるためであると思われる．そこで，人工知能の分野で自我と意識の役割を問題にし，自我と意識が人間の知能の中でどのような位置を占めるのかを明らかにすることは意義があると思われる．

1.3 工学的意義

人間は，複数のタスクをデッドロックを起こすことなく柔軟に処理して知能的に動作している．これは，人間の主となるものが環境を認識し，一元的管理のもと処理するタスクを適宜選択して実現しているのではなく，人間の中にある，マルチエージェント的に存在するタスクを処理する複数の要素（以下，意識）が，個々に環境を認識して，それらがタスクを並列的に選択することで実現していると考える．このとき，自我は，意識が行っている処理の集中や，意識が問題を起こしたときの解消などの役割を果たすと考える．これらの考えをもとに自我と意識を工学的にモデル化して，ロボットに適用すれば，ロボットをより知能化させることができ，自律性の高いロボットをつくることが可能である．

自我と意識に関する他研究は以下のものがある．[Maeno 01, Maeno 02] では，自我は一連のエピソード記憶のために存在し，そのモデルを提案し，工学的に応用しようとしている，[Grand 05] では，自我の役割の 1 つを，筋肉を動かすイメージと実際の動きの差をフィードバックにより埋めるものととらえ，ロボットに組み込もうとしている．さらに，[Dennett 98] では，自我とは，複数の物語の草稿がそのつど新たに織り合わされたものであると考え，多

元的草稿のモデルを提案している．また，意識は，[Minsky 90] では、階層化された心のエージェントが相互に影響し合うことにより，人間は知的な行動ができると述べている．[Osaka 96] では，脳科学による実験的，臨床的な事例から意識は覚醒・アウェアネス・自己意識の 3 つのレベルがあると述べている．さらに，[Shimojo 99] では，思考実験的なアプローチをもとに脳科学と認知科学の研究成果を踏まえた上で，意識というのは，脳がその身体を通して外的な環境状況と接して来た来歴に関係があると述べている．上記の研究などのように，自我と意識についての研究はあるが，統一的な見解はなく現在は手探り状態であり，モデルにはいくつもの可能性があると考えられる．そこで，本論文でも，自我と意識について考え，工学的に自我と意識のモデルを提案する．本提案モデルは，一元的管理のない並列構造をもっていて，タスクの設定や追加が容易に行える特徴をもつ．

まず，本研究における自我と意識の解釈について述べる．次に，その解釈をもとにマルチエージェントで構成するモデルを提案する．そして，その提案モデルが同時並列的に処理される複数のタスクにおいて連想状態やデッドロックの回避，高い学習などの機能をもっていることを述べる．最後に，意識に自我の存在が有益に作用する例を用いて，ロボット（MieC）を用いた実機実験によりその有効性を示す．

第2章

自我を含む意識モデル

2.1　提案モデル

本研究では，自我と意識の以下の部分に着目し，自我を含む意識モデルを提案する．

(1) 自我は，最も優先すべき意識の上に存在し，他の意識に対して，人の肉体的資源を優先的に使用できる．

(2) 自我は，マルチエージェント的に存在する複数の意識をデッドロックを起こすことなく制御する役割をもつ．

(3) 意識は，感覚・感情・観念の 3 つからなる．

(4) 意識は，想起した意識の環境への影響により，次の意識が想起させる．

(5) 意識は，同時に複数存在する．

上記の側面をもとに提案したモデルを **Fig. 2.1** に示す．それぞれの意識をエージェント（以下，意識エージェント）として設計する．意識エージェントは，全環境を表現する複数のパラメータに対して一部のパラメータのみから表現される環境と動作に関するテーブル（以

下，部分 Q テーブル）をもつ（強化学習の Q テーブルを部分環境に限定するもの）．ここでの環境は，意識エージェントにとっての環境であり，感覚（センサ入力），感情（内部状態），観念（環境そのものの認識）のことである．動作は，部分 Q テーブルの値の分布から計算される信念をもって選択され，動作することでこれらの環境を変えながらタスクを処理する．環境パラメータの種類も動作の種類もエージェントにより異なる．これらにより，それぞれの意識エージェントは，次から次へと動作しては，環境を変化させ，そのため，別の意識エージェントが動作するようになる．これは，人間の連想状態に例えることができる．また，通常は複数の意識エージェントが同時並列的に動作する．それらが矛盾を起こすと，重要な意識エージェント（以下，自我エージェント）の動作を優先し，それを阻害する意識エージェントは停止する．これにより，デッドロックを起こすことなく動作することができる．さらに，本提案モデルは，タスクを追加するとき，対応する意識エージェントを並列的に追加すれば良いため，容易に追加設定できる．

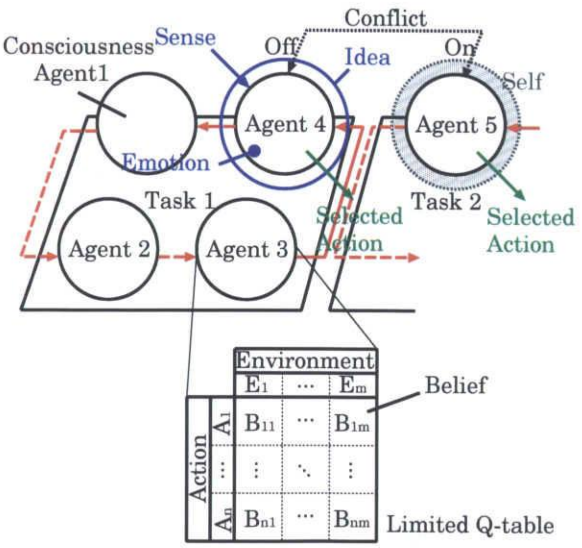


Fig. 2.1 自我を含む意識モデル

2.2 学習

2.2.1 部分 Q テーブル

意識エージェントは，環境と動作に関する部分 Q テーブルをもつ．部分 Q テーブルとは，強化学習の 1 つである Q 学習で用いる Q テーブルをエージェント単位に分解したものである．Q テーブルとは，ある環境と，そのときの選択できる動作をセットで考え，セットに対する評価値である Q 値を表にまとめたものである．これにより，学習時において，学習範囲が限定されるため，効率の良い学習ができる．また，学習は重要な動作であるため自我は意識エージェントの上に存在する．タスクを処理するための Q テーブルは，部分 Q テーブルがいくつか複合したものになる．

2.2.2 双方向 Q 学習

本提案モデルは，**Fig. 2.2** に示すように，Q テーブルをエージェント別（タスク別）に分解し，モジュール化したものである．意識エージェントの部分 Q テーブルは教示により学習し更新されるが，それぞれ同時に想起するエージェントが，それぞれの結果の信頼度により環境ごとに学習エージェント（自我エージェント）と教示エージェント（その他のエージェント）が入れ替わることで，より高度な自己学習ができる．

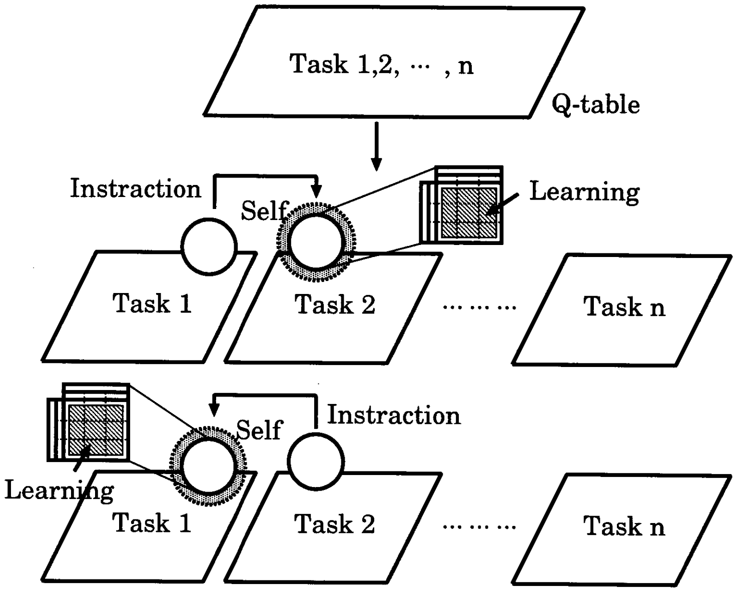


Fig. 2.2　双方向 Q 学習

第3章

実験

本章では，提案モデルの有効性を検証するために実機であるMieCを用いて実験する．タスクにはボール追跡と電池ボックス交換の2を用いる．ここでは，以下の順に実験をし，本手法の有効性を確認する．(1) ボール追跡エージェントによる連想状態を確認する．(2) 電池交換エージェントによる連想状態を確認する．(3) 電池ボックス交換の処理中にボール追跡を処理させることで，電池交換エージェントとボール追跡エージェントが起こすデッドロックを確認し，自我エージェントが，このデッドロックを回避することを確認する．

3.1 MieC

Fig. 3.1 に私が設計開発に携わったMieC（Movable Intelligent Evolutional Computer）の概観を示す．MieCは長さ18cm，幅15cm，高さ15cmであり，電池ボックス（単3電池6本）で起動し，左右2つモータによって移動する．OSとして，Linuxを採用し，周辺機器として，WebCam（自由度0）や無線LAN，フラッシュメモリを用いている．また，スライド機構を有していて，MieCが自分自身で電池ボックスを交換することができる．

三重大学大学院 工学研究科

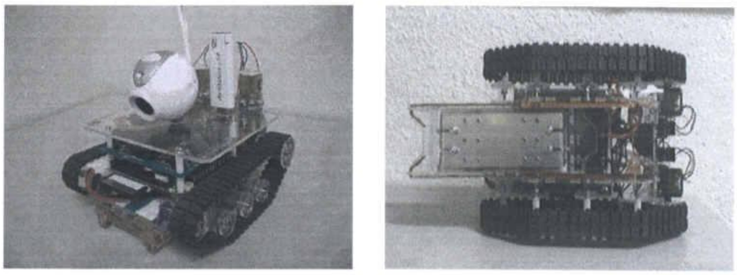


Fig. 3.1 MieC

（左：概観，右：スライド機構）

3.2 実験モデルの構築

ここでは，意識エージェントの実験モデルを構築する．意識エージェントが処理するタスクは，ボール追跡と電池ボックス交換の 2 つを用意する．

3.2.1 意識エージェントの設定

意識エージェントの感覚・感情・観念は以下を用いる．感覚は，画像から計算される特徴領域の位置や姿勢を用いる．感情は，基本感情である欲求を数値化したものを用いる．観念は，感覚と感情の値の認識をする．意識エージェントは，観念により認識した環境が限定的 Q テーブルに存在すると想起して，信念の値を判断基準に動作を選択するが，認識した環境が限定的 Q テーブルに存在しないと想起しない．選択できる動作は，前進，後進，右旋回，左旋回の 4 つとする．

次に，具体的にタスク処理を行う意識エージェントである，ボール追跡のタスクを処理する意識エージェント（以下，ボール追跡エージェント），電池ボックス交換のタスクを処理する意識エージェント（以下，電池交換エージェント），意識エージェントの個数，の設定

について述べる．

3.2.2 ボール追跡エージェントの設定

ボール追跡エージェントの感覚は，特徴領域の位置を用いて，感情は，運動したいという欲求である運動欲を用いる．限定的 Q テーブルには，1 つの環境をもたせる．**Fig. 3.2** に，ボール追跡エージェントの設定を示す．

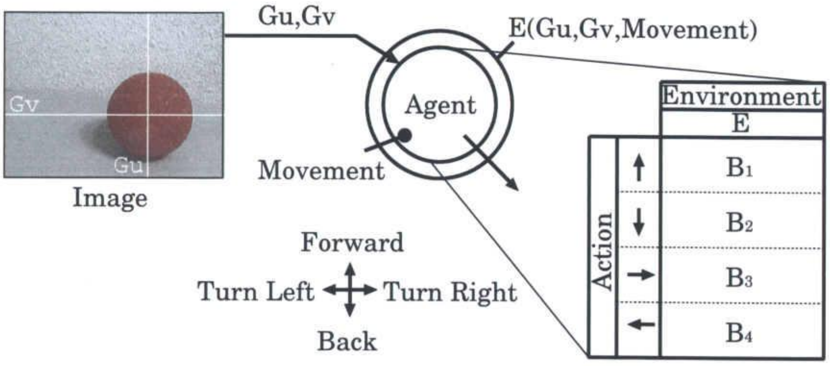


Fig. 3.2 ボール追跡エージェント

3.2.3 電池交換エージェントの設定

電池交換エージェントの感覚は，特徴領域の位置と角度を用いて，感情は，充電したいという欲求である充電欲を用いる．限定的 Q テーブルには，位置と欲求は同じで角度が違う 6 つの環境をもたせる．**Fig. 3.3** に，電池交換エージェントの設定を示す．

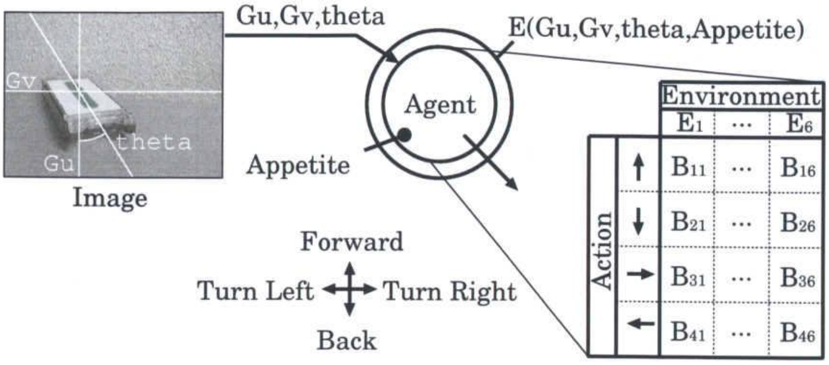


Fig. 3.3 電池交換エージェント

3.2.4 意識エージェントの個数

ボール追跡エージェントと電池交換エージェントは 100 個ずつ用いる．それぞれの意識エージェントがもつ限定的 Q テーブルの環境は，対応する特徴領域の位置空間が異なる．対応する特徴領域の位置空間は，入力画像を 10×10 に分割してできる 100 個の空間中の 1 つの空間であり，分割してできた空間の左上から右へ順番に意識エージェントをそれぞれラベリングする．

3.3 実験条件

入力画像の大きさは，160×120[pixel]，RGB それぞれ 256 階調のカラー画像とした．運動欲と充電欲は，$0 \sim 1$ の値として，この値が 1 のときに欲求を満たす行動が発動するものとした．また，欲求は時間により増加するものとした．信念の値は，本来，限定的 Q テーブルの Q 値から計算して，その値をもとに意識エージェントが動作選択を行うが，今回の実験は，動作選択を行わなくても可能であるため，適正行動をとる動作を 1，それ以外を 0 と指定した．つまり，動作選択は行わなかった．電池交換エージェントがもつ 6 つの環境の

角度は，−90 ∼ −22，−22 ∼ −6，−6 ∼ 0，0 ∼ 6，6 ∼ 22，22 ∼ 90[degree] とした．ボール追跡エージェントと電池交換エージェントが対応するそれぞれの位置空間と動作の関係を **Fig. 3.4** に示す．図中が示す矢印は，適正行動をとる動作である．

連想状態の確認において，運動欲と充電欲の初期値は 1 とした．デッドロックの回避の確認において，運動欲と充電欲の初期値は 0 とし，充電欲の増加速度を運動欲より速くすることで，電池ボックス交換の処理中にボール追跡を処理させた．さらに，電池ボックス交換の処理を最も優先すべきであるとして，電池交換エージェントを自我エージェントとした．デッドロックが発生したら電池交換エージェントの処理を優先させ，ボール追跡エージェントの処理を停止させた．ボールと電池ボックスの位置は固定として，それぞれの実験の，MieC の初期位置の入力画像を **Fig. 3.5** に示す．

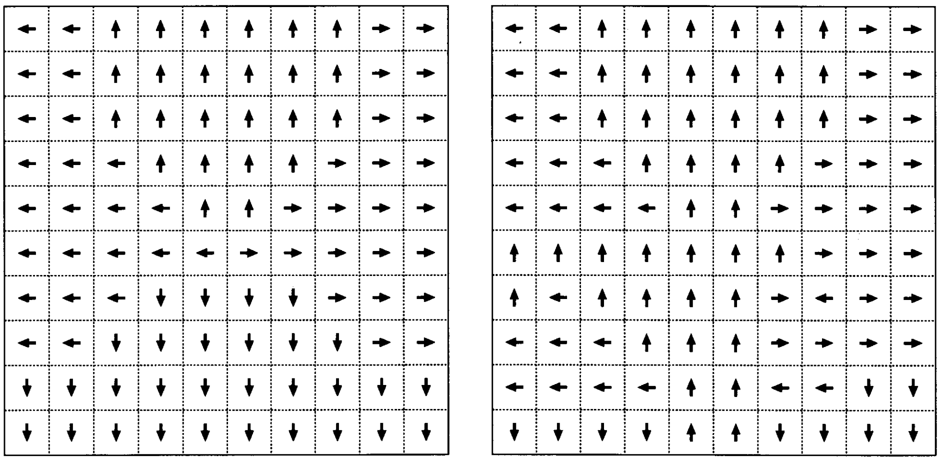


Fig. 3.4 位置空間と動作

（左：ボール追跡エージェント）

（右：電池交換エージェント −6 ∼ 0[degree]）

三重大学大学院 工学研究科

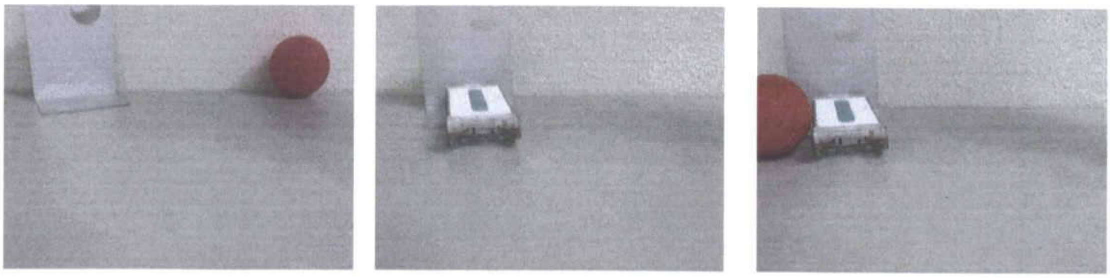


Fig. 3.5 入力画像
（左：ボール追跡の連想状態，中：電池ボックス交換の連想状態）
（右：ボール追跡と電池ボックス交換のデッドロックの回避）

3.4 実験結果と考察

3.4.1 連想状態

まず，ボール追跡の実験結果の例を **Fig. 3.6**，**Fig. 3.7** に示す．**Fig. 3.6** は，入力画像を比率化した座標系で表していて，赤い線は特徴領域の位置を表し，点は想起した意識エージェントの位置を表す．**Fig. 3.7** は，ボール追跡の動作過程を表している．**Fig. 3.6**，**Fig. 3.7** より，ボール追跡エージェントが，ラベリングした番号を用いて，29 → 28 → 38 → 36 → 36 → 36 → 46 → 45 → 45 の順に次々と想起しては適正行動をとる動作をして，ボールの特徴領域の位置が画像の中心に近づくように環境を変化させながらボールを追跡していることがわかる．

次に，電池ボックス交換の実験結果の例を **Fig. 3.8**，**Fig. 3.9** に示す．**Fig. 3.8** の上図は **Fig. 3.6** と同様，特徴領域と想起したエージェントの位置を表し，下図はステップ数と特徴領域の角度を表している．**Fig. 3.9** は，電池ボックス交換の動作過程を表している．MieC は電池ボックスの特徴領域の角度がほぼ 0 ° でないと電池ボックスの交換ができないため，

Fig. 3.8, **Fig. 3.9** より，電池交換エージェントが，43 → 45 → 45 → 45 → 45 → 55 →…→ 86 → 96 の順に次々と想起しては適正行動をとる動作をして，電池ボックスの特徴領域の角度が 0° に近づくように環境を変化させながら電池ボックスを交換していることがわかる．これらの結果から，ボール追跡と電池ボックス交換の 2 つのタスクにおいて，意識エージェントによる連想状態が確認できたと考えられる．

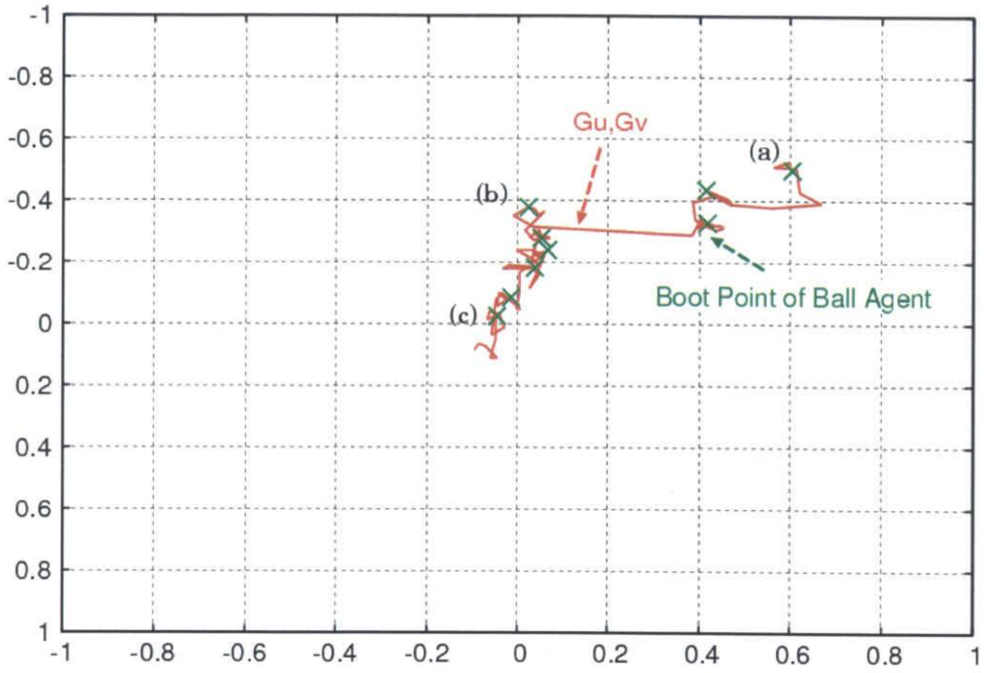
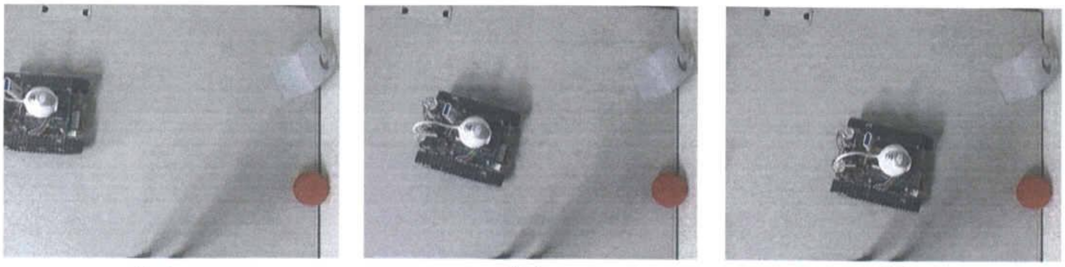


Fig. 3.6 ボール追跡エージェントの連想状態の実験結果



(a) (b) (c)

Fig. 3.7 ボール追跡の動作過程

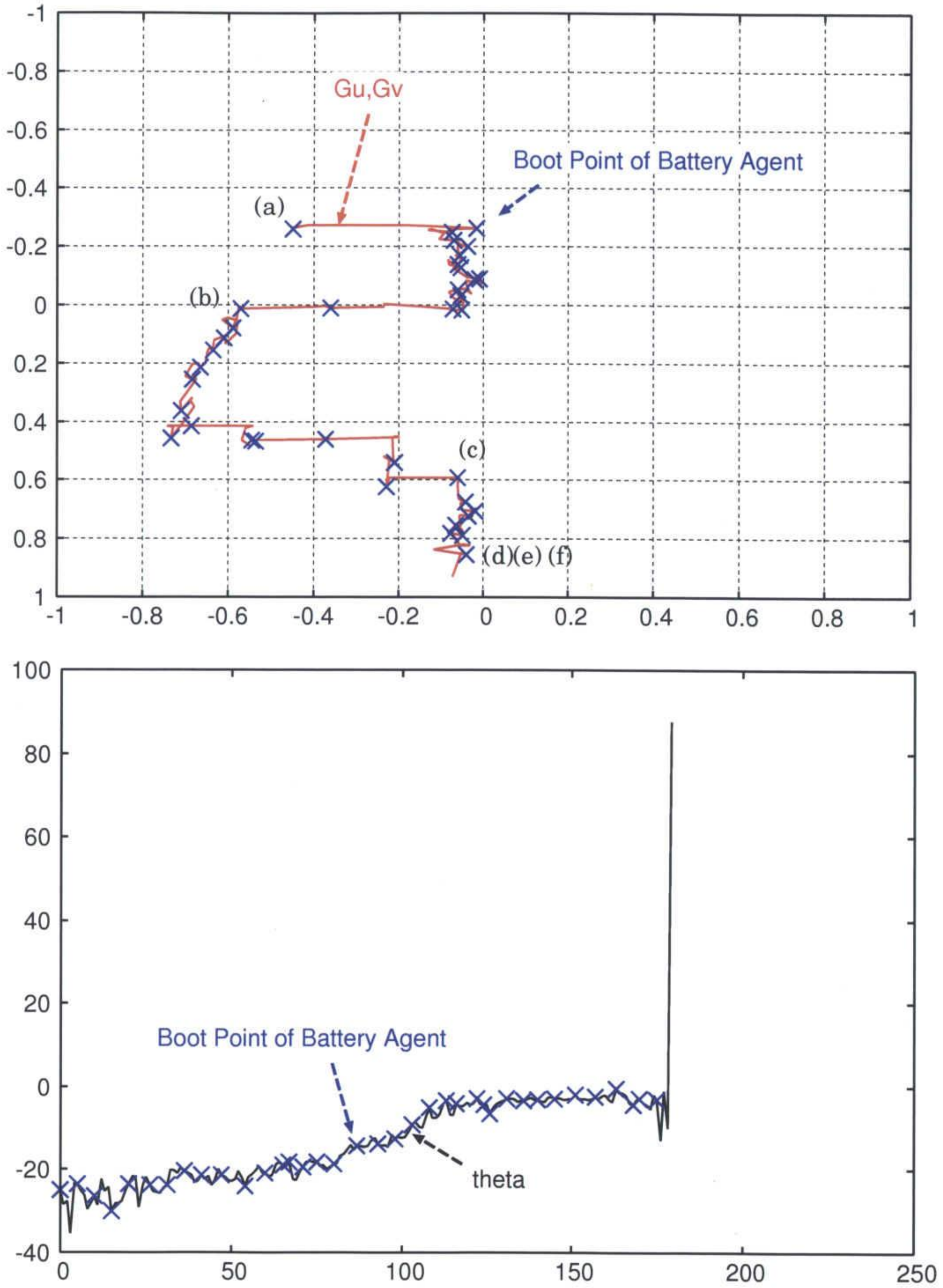


Fig. 3.8 電池交換エージェントの連想状態の実験結果

（上：特徴領域と想起エージェントの位置）

（下：ステップ数と特徴領域の角度）

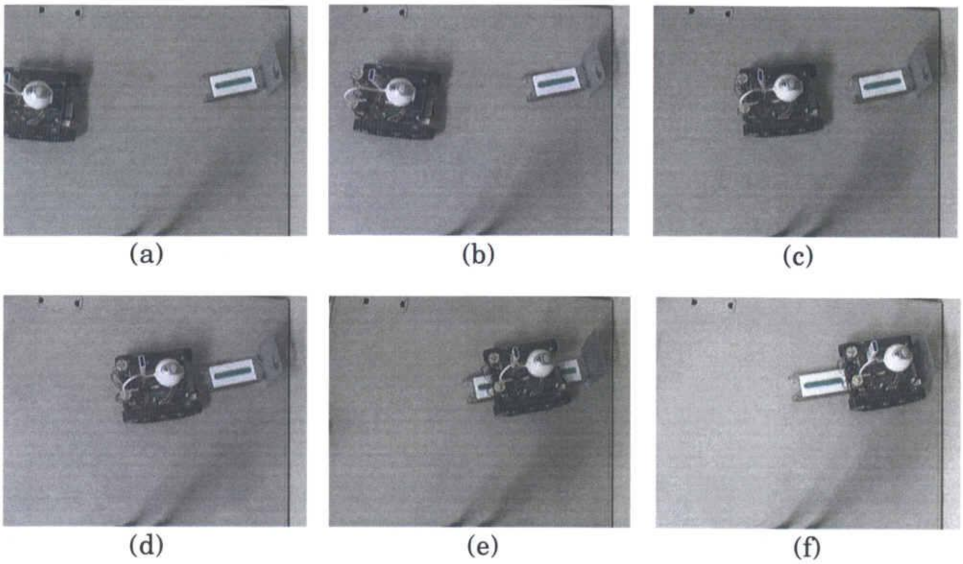


Fig. 3.9 電池ボックス交換の動作過程

3.4.2 デッドロックの回避

実験結果を **Fig. 3.10**, **Fig. 3.11** に示す. **Fig. 3.10** の上図は, ステップ数と想起した意識エージェントを表す. 中図と下図は, **Fig. 3.6**, **Fig. 3.8** と同様, 特徴領域と想起した意識エージェントの位置を表す. **Fig. 3.11** はデッドロックの回避の動作過程を表している. **Fig. 3.10** の上図より, 100 ステップで充電欲が 1 になり, 電池交換エージェントが想起して電池ボックスを交換しようとし, 200 ステップで運動欲が 1 になり, ボール追跡エージェントが想起してボールを追跡しようとしているのがわかる. また, ステップ数が 200 ~ 210 の間で, 電池交換エージェントは電池ボックスを交換しようとし, ボール追跡エージェントはボールを追跡しようとしてデッドロックを起こしているのがわかる. ここで, 電池交換エージェントが自我エージェントであるため, それを阻害するボール追跡エージェントを停止させることで, 電池ボックス交換の処理だけを優先的に行い, **Fig. 3.10**, **Fig. 3.11** よ

り，最終的には電池ボックスを交換しているのがわかる．これらの結果から，自我エージェントがデッドロックを回避していることが確認できたと考えられる．

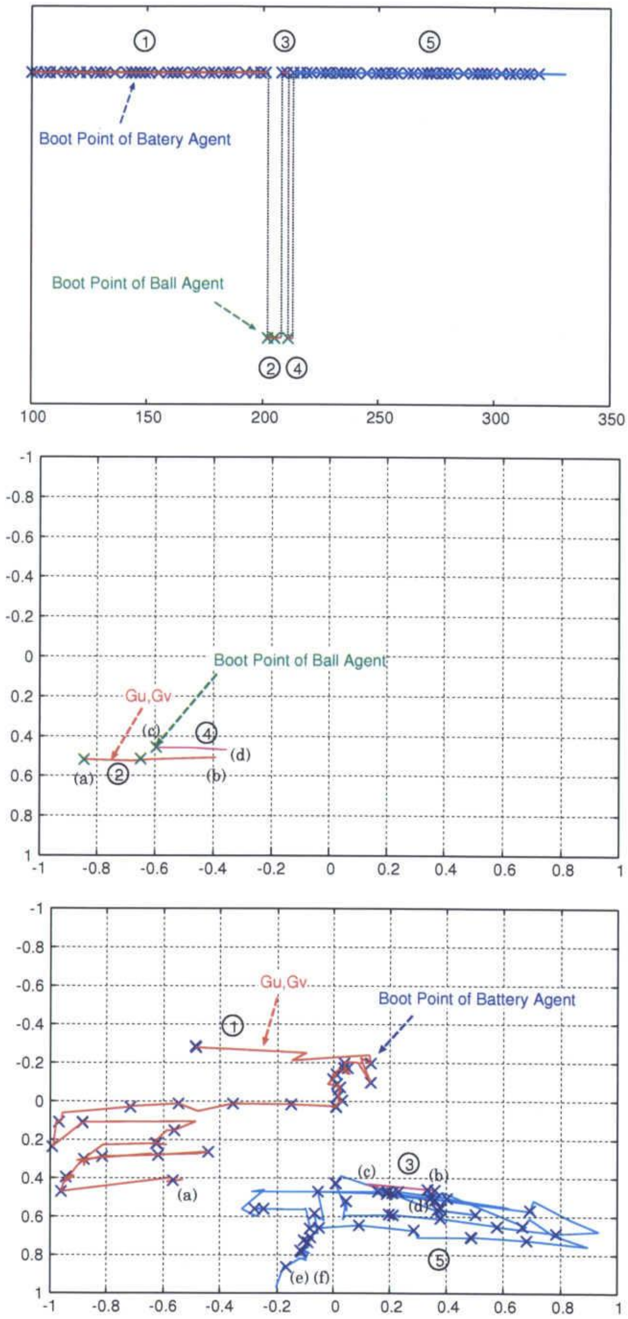
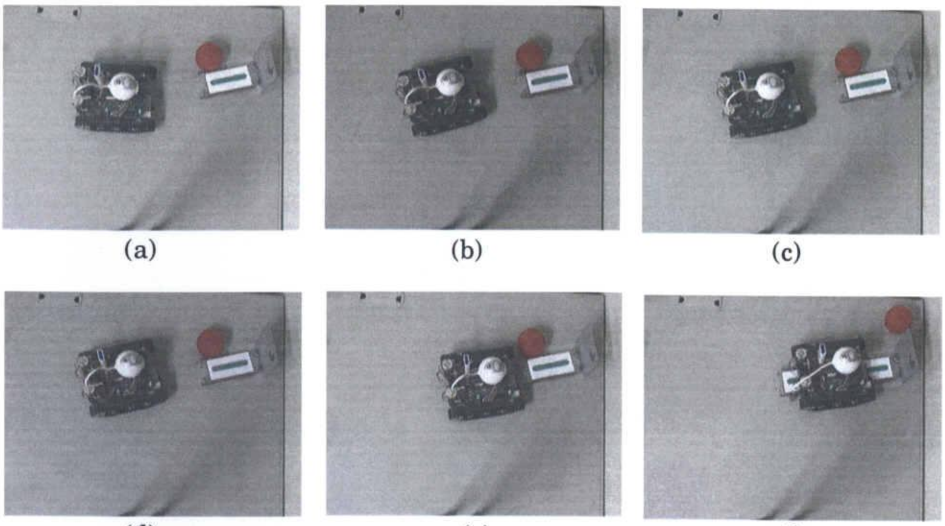


Fig. 3.10 デッドロックの回避の実験結果

（上：ステップ数，中：ボール追跡，下：電池ボックス交換）



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

Fig. 3.11 デッドロックの回避の動作過程

3.5 有効性の検証

人間の高度な知能は自我と意識により実現されていると考える．その自我と意識を工学的にモデル化し，MieC を用いた実験により，人間が行っている思われる意識による連想状態と，自我によるデッドロックの回避を確認できたことは，より人間に近い自律性の高いロボットをつくることを可能にするものであり，また，人間の自我と意識の問題の解明につながる可能性を含むため有効性があると考える．

第4章

おわりに

本論文では，人間の自我と意識に基づくモデルを提案し，意識に自我の存在が有益に作用する例を用いてロボットを使った実環境での実機実験でその有効性を示した．提案したモデルは，感覚・感情・観念をもつ複数の意識エージェントで構成し，意識エージェントには限定的 Q テーブルをもたせた．意識エージェントは，適正行動をする動作をしながら環境を変化させて，次から次へと想起することでタスクを処理した．さらに，2 種類のタスクを処理させ，意識エージェントがデッドロックを起こすと，重要な意識エージェントである自我エージェントの処理を優先的に行い，それを阻害する意識エージェントを停止させた．実験結果から，人間が行っていると思われる意識による連想状態と自我によるデッドロックの回避を確認することができた．これにより，提案モデルの有効性が示された．また，本実験結果は双方向 Q 学習による高度な自己学習機能の土台になるものである．現在，様々な自律移動ロボットが開発されているが，どれも自己学習機能が不足している．どのような環境でもロバストに自律して動作できるロボットをつくるには高度な自己学習機能が必要不可欠であり，本実験結果は，それを実現させるための第一歩であると考える．自我と意識の問題は，人工知能の分野ではあまり研究されておらず，本研究の試案が人工知能の分野で研究や議論の活性化の起因の 1 つとなり，今後，大いに発展することを期待する．

今後の課題として，以下の3つを考えている.

(1) デッドロックを起こさないタスクの構築

今回は必ずデッドロックを起こすタスクを取り上げたが，デッドロックを起こすことのないタスクを構築することで，意識エージェントを同時並列的に想起させて，自我による処理の集中を確認する.

(2) タスク内Q学習

タスク処理において意識エージェントは信念による動作選択を行わなかったが，信念による動作選択をして，その動作を評価し学習を行う.

(3) 双方向Q学習

互いの意識エージェントの学習結果を互いの学習に用いることで高い自己学習機能をもたせる.

三重大学大学院 工学研究科

参考文献

[1] Marvin Minsky 著, 安西祐一郎訳: 心の社会, 産業図書, 1990.

[2] R.A. Brooks: "A Robust Layered Control System for a Mobile Robot," IEEE Journal of Robotics and Automation., vol.2, no.1, pp.14-23. 1986.

[3] J. Tani: "An Interpretation of the Self from the Dynamical Systems Perspective: A Constructive Approach," J.Consciousness Studies, vol.5, no5-6, pp.516-542, 1998.

[4] 茂木健一郎: 脳とクオリア, 日経サイエンス社, 1997.

[5] 前野隆司: 脳はなぜ「心」を作ったのか, 筑摩書房, 2004.

[6] 前野隆司: "ロボットの心の作り方," 日本ロボット学会誌, vol.23, no.1, pp.51-62, 2005.

[7] 牛田博英, 平山祐司, 中嶋宏: "自律的行動決定モデルに基づくインタフェースエージェント," 信学論（D-II）, vol.J82-D-II, no.10, pp.1655-1665, Oct 1999.

[8] 後藤みの理, 加納政芳, 加藤昇平, 國立勉, 伊藤英則: "感性ロボットのための感情領域を用いた表情生成," 人工知能学会論文誌, vol.21, no.1, pp.55-62, 2006.

[9] 上田祐彰, 谷澤俊彰, 高橋健一, 宮原哲浩: "マルチエージェントシステムにおける利他的な行動規則の獲得," 信学論（D-I）, vol.J88-D-I, no.9, pp.1278-1286, Sep 2005.

三重大学大学院 工学研究科

[10] Osamu NISHIMURA, Hirokazu MATSUI, Cieko HIOKI, Yoshihiko NOMURA: "Reinforcement Learning with Self-Instruction by using dula Q-tables," Proc. of The Eleventh International Symposium of Artificial Life And Robotics, Springer Verlag 2006.

[11] Steve Grand: アンドロイドの「脳」, アスペクト, 2005.

[12] 苧阪直行: 意識とは何か 科学の新たな挑戦, 岩波書店, 1996.

[13] 下條信輔: 意識とは何だろうか, 講談社, 1999.

[14] Daniel C. Denentt 著, 山口泰司訳: 解明される意識, 青土社, 1998.

付録

A.1 単語の定義

本研究における単語の定義を以下に示す.

Table A.1 単語の定義

単語	定義
自我	自分を自分だと思うこと
意識	感覚・感情・観念の 3 つからなるもの
エピソード記憶	いつ何をしたかの記憶
多元的草稿	無意識下にある意識を束ねるもの

A.2 MieC

本研究で用いた MieC は，研究成果を載せるために汎用自律移動ロボットとして開発したものである．そのコンセプトは，以下の 5 つである．

(1) 見ためが良く，知能ロボットの容姿に相応しい

研究成果を発表する上で，実機によるデモンストレーションは最も効果のある方法の一つ

である．そして，デモンストレーションを効果的にするためには，実機の見ためも重要であると考える．そのため，ロボットをアクリルを基本材料にして作成し，機能に対して形状をできるだけ単純にした．

(2) 汎用性が高く，使い易い

汎用性を高くするために，ロボットのOSとして，Linuxを採用している．また，ロボットの周辺機器として，USB接続によるWebCamや無線LAN，フラッシュメモリを用いている．これにより，同じ周辺機器をPCに接続して，開発したプログラムがそのままMieC上で動くことができる．

(3) 構造が理解しやすく，作り易い

これにより，MieCの複製を作りやすくなる．また，作成したロボットは故障の少ないものになる．例え，故障したとしても，製作者以外の人がメンテナンスするのも容易になる．さらに，構造が簡単で作りやすければ，MieCの改良が簡単にできる．改良がしやすければ，それだけ完成度の高いロボットをつくることができる．

(4) 部品の入手が容易で，価格が安い

これにより，MieCを複数作ることが可能になる．また，基本部品が低価格であれば，失敗を恐れずに挑戦的な設計改良をすることもできる．

(5) 他の人もつくれるように，作成ノウハウを公開する

ロボットの作成方法の詳細をホームページに公開することによって，自律移動ロボットを作成したいと考えている人にとっての情報源になるだけでなく，そのことにより，他の人からロボット製作に関する情報を得易くなる．また，研究室内の技術の伝承も正確になる．

Fig. A.1 にMieCの概観を示す．

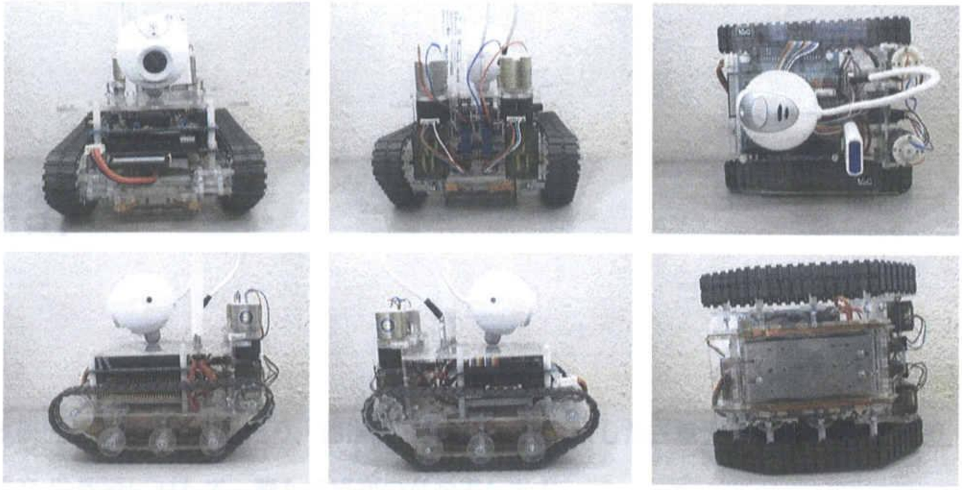


Fig. A.1 MieC

MieC に用いた部品を以下に示す.

OS は Linux の Debian 3.1 を用いている.

Table A.2 MieC の部品

部品名	メーカー名	製品名	スペック
CPU ボード	AAEON	PCM-X5335V.B	Pentium MMX 300MHz 相当
WebCam	Logitech	QV-4000WH	640 × 420CCD 素子
無線 LAN	BUFFALO	WLI-U2-KG54	IEEE802.11G
DC-DC コンバータ	イータ電気工業株式会社	OES-05SC-05	入力：4.5〜9V，出力：5V 3.2A
コンパクトフラッシュ	BUFFALO	RCF-X256MY	256MB
SDRAM メモリ	GREEN HOUSE	GH-SNW133/512M	512MB
UPP ボード	日本システムデザイン株式会社	JPC20-UPP	
エンコーダ	日本日産ネミコン株式会社	LOK-200-2MC-500	
モータ	マブチモーター株式会社	RE-260	
モータドライバ	SANYO	LB1630	
ギヤボックス	山崎教育システム株式会社	ギアボックス	
キャタピラ	東京マルイ	OP LE-01	

謝辞

本研究を遂行するにあたり，御指導と御鞭撻を賜りました三重大学 野村由司彦 教授，加藤典彦 助教授に対して，謹んで感謝の意を表します．

本論文をまとめるにあたり，三重大学 松井 博和 助手から懇切なる御指導と御助言を頂き，深く感謝致します．

また，本研究を進めるにあたり，メカトロニクス研究室の諸氏に感謝致します．