

# 心理的要素を附加したマルチエージェントシステムの協調動作

## A Co-operative Behavior of Mental-Factor added Multi-Agents System.

小林 宏平<sup>1)</sup>, 宮田 竜一<sup>2)</sup>, 吉村 晋<sup>3)</sup>

Kouhei Kobayashi, Ryuichi Miyata, Susumu Yoshimura

Keyword: Multi-Agent System, Artificial Intelligence, Modeling, Planning, Work-Model, Distributed Co-operative System, Mental Factor,

### 1. まえがき

エージェントは、人間のように自律的に行動するもので、複数のエージェントで協調して作業を行うものをマルチエージェントシステムという[1, 2, 3, 4, 5, 6].このような知能アルゴリズムは、変化する環境に適応し次の行動を計画して行動することが求められる。このアプローチが、ロボットや次世代ソフトウェアにとり重要である。そこで Java 言語を用いて仮想二次元空間上でエージェント同士の協調動作を表現する。このエージェントは最終的にある目標を持ち、協調して問題解決を行う。

このような研究として、2次元格子状空間地図の上での地震時を想定した避難行動シミュレータの試みがなされている[7, 8, 9].これを発展させ、エージェントに恐怖感という心理的なパラメータを加えて行動を変化させた研究もなされている[9, 10, 11, 12].一方、エージェントに簡単な協調的な仕事をさせる試みも行われ、サッカーゲームを想定し、エージェントの動きのメカニズムを研究することも積極的に行われている[13].しかし基本は、互いに協調して目標へ向けて行動することである。そこで簡単なモデルを想定し、その上でエージェントの行動をシミュレーションすることが重要である。

本研究では、Java 言語を用いて、仮想二次元空間上あるいは、その応用局面でエージェント同士の協調動作を表現する。このエージェントは、ある目標を持ち、協調して問題解決を行う[14, 15, 16, 17, 18, 19].

本論文は、従来のエージェントの荷物運びにおける協調動作の研究[15, 16, 18, 19]に新たに満足度という心理的要素を導入し、エージェントの動作空間フィールドも大幅に増加させ、様々な状況を設定し、エージェントの満足度(心理的要素)の変化をシミュレーションで評価する。

### 2. 二次元仮想世界とマルチエージェント

マルチエージェントシステムの行動する空間表現として、四方を壁に囲まれた二次元の仮想世界を考える。また実世界の環境に近づけるため各エージェントは、障害物を避けながら目標達成を目指す。エージェントは最も基本的な動作である基本行動パターンと、周囲の状況を判断するためのセンサを持つ。エージェントはこれらを組み合わせ、複雑な動作を実現する。

#### 2.1 原理

エージェントは作業をする為に最も基本的な動作である基本行動パターンと、周囲の状況を判断するためのセンサを持つ。エージェントは、これらを組み合わせて、複雑な動作を実現する。エージェントに必要な基本構造を以下に示す。

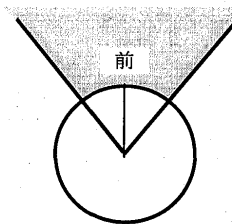


Fig1 視界センサ

<sup>1)</sup> 東京都立航空高専電子工学科卒 現在昭和システム研究所勤務

<sup>2)</sup> 東京都立航空高専電子工学科卒 現在リンク情報システム勤務

<sup>3)</sup> 東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科

### [エージェントの動作原理]

エージェントの行動を小さな単位に分け、組み合わせて複雑な動作を実現する。その行動単位を以下に示す。

- moveStraight : 前進
- moveBack : 後退
- rightTurn : 右回転 (時計方向に回転)
- leftTurn : 左回転 (反時計方向に回転)
- OtherAction : 付加動作

注: 基本行動では後退も考慮するが、前進と回転で模擬できるため実際には利用しない。

### [視界センサ]

視界センサは障害物、対象、荷物や他のエージェントなどの状況を常時監視する目の役割を果たす (Fig. 1)。

センサは距離制限は無く、前方のものは遠くまで見ることが可能である。センサで監視するものを以下に挙げる。

- ・他のエージェント (エージェント同士の接触)
- ・障害物
- ・荷物
- ・ターゲットの目標

## 2. 2 エージェント間協調メカニズム [1, 2, 4, 5]

契約ネットプロトコル: あるエージェントが他のエージェントに仕事 (タスク) を依頼し、その結果 (処理) を受け渡すときに契約ネットプロトコル条件が成立する。これは人間社会の契約行為と類似した形態で相互作用を行う (Fig. 2)。契約ネットでは協調的に仕事を処理するエージェントをノードと呼び、これらは2つに分けられる。

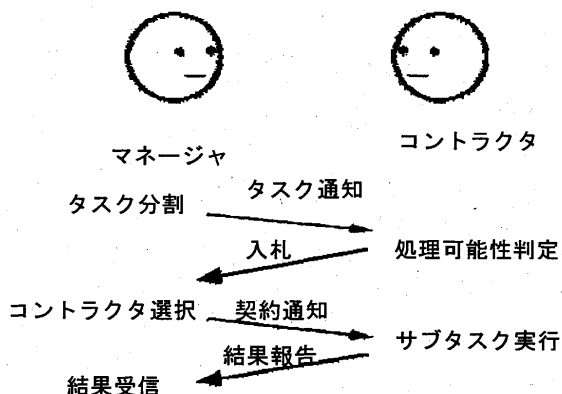


Fig.2 契約ネットプロトコル

#### ① マネージャ

処理を依頼するエージェント、仕事の割り当て、実行管理、処理結果の受け取りを行う。

#### ② コントラクタ

仕事の処理を引き受けるエージェント。

マネージャとコントラクタは、契約を取り交わすことにより色々なやり取りを行う。契約ネットの簡単な動作原理を説明する。マネージャは、処理すべき仕事を、コントラクタに通知する。これを受けたコントラクタは、これらの仕事を処理できるかどうか判断し、処理可能ならマネージャにメッセージを送る。これを入札と呼ぶ。マネージャは複数のコントラクタから入札を受け取ると、各コントラクタに仕事の振り分けを行う。そして契約成立の結果は、落札メッセージによりコントラクタに通知される。受け取ったコントラクタは、仕事を実行する。

## 2. 3 エージェント指向プログラミング (AOP)

エージェント機能や知識などを記述する手段をエージェント記述言語と呼び、記述言語やその処理系を工夫して、オブジェクト指向のようにプログラミングできるものをエージェント指向プログラミング (以下 AOP) といひスタンフォード大学の Shoham が提案した [12]。ここでは Shoham の提案したエージェント指向プログラミングの考えを採用する。

### [心的状態の表現]

個々のエージェントの動作を規定する要素は、認知条件や知識、目標や動作、状況選択などが挙げられるが、AOP では、これらをエージェントの心的状態として表現している。これらを制御するエージェントプログラムが設計される。Shoham は、以下のような原理で心的状態を表現した。

エージェントに以下のようなパラメータを与える。

- ・時刻 (ある時刻において何をしているか)
- ・動作 (振る舞いや結果)
- ・信念 (ある事柄を信じている)

これらのパラメータを与えることにより、各エージェントは、以下のような動作を行うことになる。

事柄 1 時刻 10 でエージェント A は、エージェント B を好き。

事象 2 時刻 13 でエージェント B は、事柄 1 を信じる。

事象 3 時刻 20 でエージェント A は、事柄 2 を信じる。

さらに次のようなパラメータをエージェントに付加することにより、複雑な心的状態を表すことが出来る。

- ・判断 (ある事柄を選択する動作)
- ・責務 (ある事柄の達成に関する責務を負う)
- ・能力 (ある事柄が達成可能)

次のような心的状態は、時間の経過や条件によって変化したり、維持されたりする。

## 2. 4 プランニングアーキテクチャ

エージェントは、プランニングにより行動の自主生成を行う。プランニングは主に以下の2つがある<sup>3,4)</sup>。

## 熟考プランニング

目標状態に至るすべての動作戦略を実行前に推論により求める方法。計算量を要する。

## 即応プランニング

状況に応じて、単純な判断を組合せて実行することで目的を達成使用とするプランニング。

熟考プランニングは、すべて実行前にプランニングを行なうため、静止目標に対しては良いが、目標対象が時刻により変わる対象には、その時々で、常に再プランニングが必要になり、問題が多い。一方、即応プランニングは反応型であるため、目標へのプランが欠如する。そこでハイブリッドプランニングアーキテクチャを採用する。これは包摂アーキテクチャ（サブサンクションアーキテクチャ）[20]と呼ばれ、目標が明確でない時や、目の前に障害物が存在する場合に即応（反応型）プランニングが実行され、目標が明確なときは熟考プランニングがなされる。このアーキテクチャでは下位の行動ほど反応的になっており、優先度が上げられるので目の危機回避が優先され、特に問題が無いときは上位の目的が実行される。

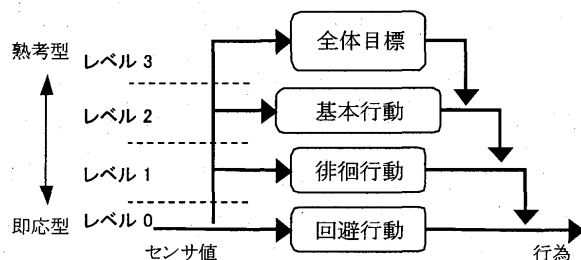


Fig 3. 服属アーキテクチャ

## 2. 5 即応プランニング例

具体的な即応ルール例を示す。エージェントは壁や他のエージェントへの衝突を回避するように移動する。この回避行動のための即応ルールを Fig 4 び Table1 に示す。

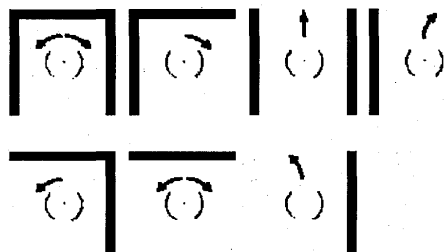


Fig 4 視界と即応ルール

## 3. 荷物運びのモデル化[15, 16]

荷物運びは現実要求される作業であり、単純な作業ゆえにマルチエージェントシステムの簡単な例題としてモデル化しやすい。荷物には様々な重さがあり、重い荷物は一人のエージェントでは持ち上げることが出来ない。

Table1 視界と即応ルール（レベル0）

左	中央	右	行動
○	○	×	moveStraight & leftTurn
○	×	○	leftTurn or rightTurn
○	×	×	LeftTurn
×	○	○	MoveStraight & rightTurn
×	○	×	MoveStraight
×	×	○	RightTurn
×	×	×	leftTurn or rightTurn

(○：何もない，×：何かある)

そのため、エージェントは他のエージェントとコミュニケーションを取り、協力して荷物を運ばなければならない。荷物運びは具体的には以下のような方針で行われる。

荷物を探索し、発見次第そこへ向かう。荷物が持てれば目的地に運ぶ(目的地の位置は予め知らされている)。荷物が重いときは、助けを呼ぶ。呼ばれたものは協力の可能、不可能を判断する。可能であれば助けを呼んだエージェントのもとに向う。これは契約ネットプロトコルのなかでマネージャの役割を一部省略した簡易プロトコルである。

## 3. 1 プランニングアーキテクチャ

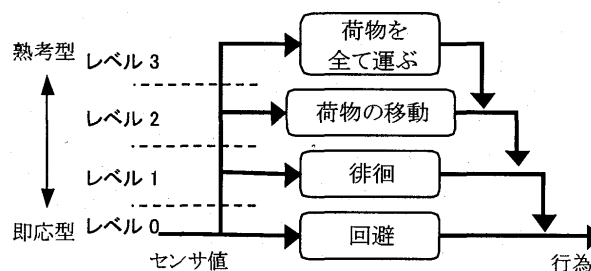


Fig 5 荷物運びのモデル

荷物運びのアーキテクチャは、最上位層に「荷物を目標に運ぶ」を持ち、下位の層には回避や徘徊などの反射的な行動を持っており、目の障害物回避を最優先として、障害物が無い時には、徘徊による荷物探し、荷物の移動といった目標を達成するための行動を実行する。

### 3. 2 荷物運びのプランニング

#### (1) 熟考プランニング

荷物運びエージェントの熟考プランニングの具体的な例を以下に示す。

- 1) 現在地と目的地の間に障害物があると判断した時、障害物に近づく前に最適な経路を決めて移動する。
- 2) 荷物が現在のエージェントで運べない場合は コミュニケーション信号を送る。コミュニケーション信号を受け取った時に、荷物を持っていなければ応援に行く。
- 3) 視界の中に荷物が複数あるときは、最も近いものを選び取りに行く。

#### (2) 即応プランニング

センサから得られた情報が即応ルールに適用されるとその条件に合う行為を基本行動パターンの組合せで実行する。以下に具体的な即応ルールの条件とそれによる行為の例を示す。

- 1) 他のエージェントと衝突しそうであれば、回避する。
- 2) 目前に壁があれば、回避行動を行う。

### 3. 3 動作例

実際にプログラムが動作している様子を Fig 6 および Fig 7 に示す。Fig 6 は、障害物がないケースにおいて荷物運びを行っている。Fig 7 は、中間に障害物があるケースにおいて、荷物運びを行っている。

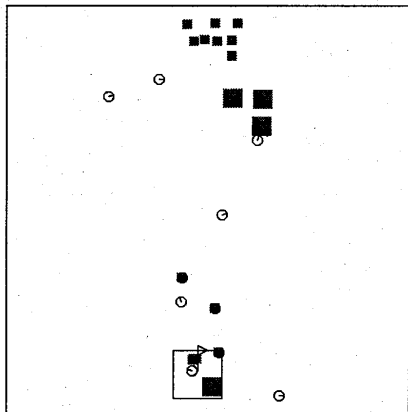


Fig 6 荷物運びの動作(障害物がないケース) [15]

システムにおいて、心的状態を導入して、エージェント A が、エージェント B を好きでない場合、一緒に荷物を運ばないという状況を作った。エージェントの好き嫌いにより、必ずしも効率的でない荷物運びの形態が現れる。

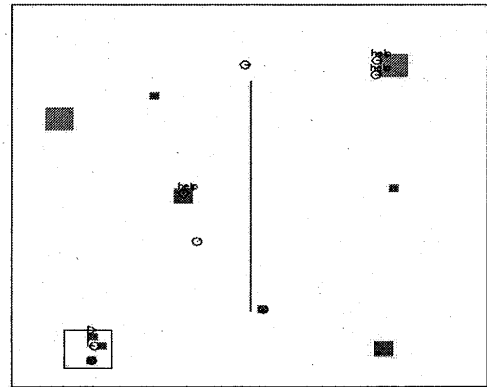


Fig 7 荷物運びの動作(障害物のあるケース) [16]

### 3. 4 心理的要素の附加

エージェントに心理的要素として満足度というパラメータを附加した。これは現実の世界で、人が仕事をしたときに感じる達成感などをそう呼称したもので、これにより荷物運びをしている時のエージェントの感情を模擬した簡単なメカニズムをシミュレーションできるようにした。しかし心理的要素は容易に数値化しづらく、不明瞭な部分や例外も多々あるので完璧に組み込むことは不可能である。そこで今回は、満足度の定義は荷物を運びきること、つまり仕事の達成度のみとして考え、模擬した簡単なメカニズムを実装する。

#### [満足度のメカニズム]

基本的に満足度は以下のような方針で行う。

- 1) 満足度は荷物を運ぶことにより上昇する。
- 2) 満足度の変化はエージェントの色と、具体的に数値にして、その変化で判断できるようにする。
- 3) 満足度の変化により、エージェント自身の行動にも変化が起きるようにする。

#### [エージェントの満足度変化メカニズム]

基本的な方針を基に、以下に具体的な満足度の変化として、エージェントに数種類の動作パターンを用意した。

各エージェントはプログラム開始時にランダムでいずれかのパターンになり、個々のエージェントの個性を表現する。

各パターン共通：エージェントが荷物待ちをしていると、徐々に満足度が低下。

満足度が高くなるほどエージェントの移動速度が増加し、より素早い作業ができるようになる。

パターン1：軽い荷物ほど満足度の上昇率が高い。  
つまり協調動作をしないほうがより満足しやすい。

表1 パターン1における満足度上昇度

荷物の重さ	満足度の上昇値
1	3
2	2
3	1
4	-1
5	-2

パターン2：重い荷物ほど満足度の上昇率が高い。  
つまり協調動作をしたほうがより満足しやすい。

表2 パターン2における満足度上昇度

荷物の重さ	満足度の上昇値
1	-2
2	-1
3	1
4	2
5	3

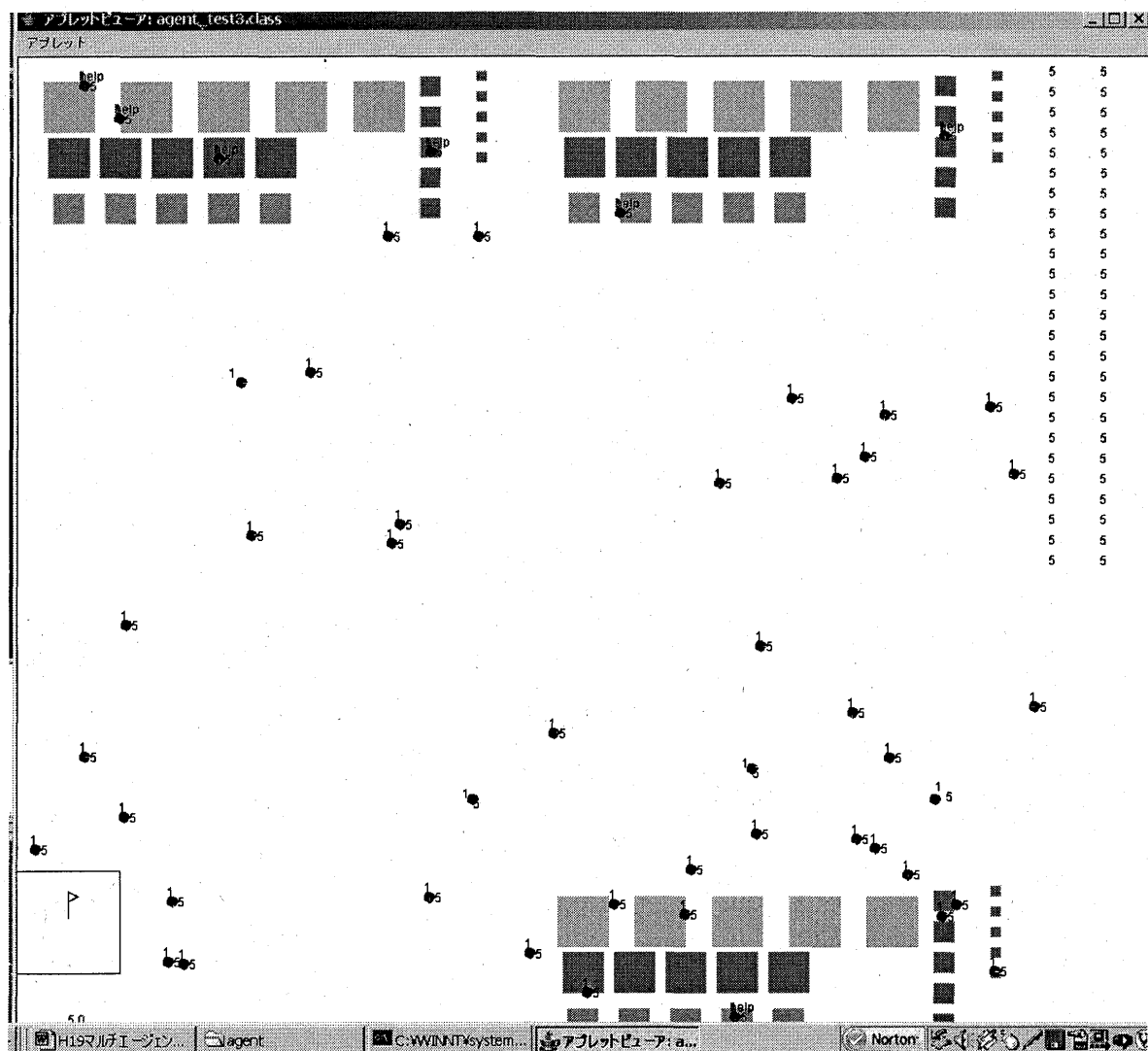


Fig. 8 荷物運びのシミュレーション評価実験例

パターン3: パターン1と2の間

表3 パターン3における満足度上昇度

荷物の重さ	満足度の上昇値
1	-1
2	1
3	3
4	1
5	-1

#### 4. 評価実験

満足度によるエージェントの動作のシミュレーション評価実験を行うために次の項目を行った。

- ・エージェント数の増加(50 エージェント)。
- ・二次元仮想世界(フィールド)を拡大。
- ・荷物の種類, 数[5種類, 各15個]
  - 1 エージェントで運べる荷物,
  - 2 エージェントで運べる荷物
  - ...
  - 5 エージェントで運べる荷物
- ・エージェントの初期配置はランダム配置。

評価実験の状況をFig8に示す。実験では、3章のパターンを用いて、実際に荷物運びをさせ、それぞれのパターンを組み合わせで行なった場合の満足度の変化を評価実験している。

Fig. 9に実験した結果をグラフにしたものを示す。

グラフの値をみると、重いもの程満足度が上がりやすいパターン2エージェントがいる場合だと全体的に満足しやすい傾向になる結果となった。

逆に中間をとったパターン3がいる場合だと、全体的に低くなる傾向が見受けられた。このことからエージェントたちは、より積極的に協調動作をすることで、より満足していくことがわかった。

#### 5. まとめ

ここでは数年にわたり研究、製作してきた簡単なマルチエージェントシステムについて、その基本的仕組みについて説明するとともに、マルチエージェントに関する荷物運びのケースに関して、満足度という心理的要素を附加して、ある条件の基に簡単なシミュレーション評価実験を行った結果について述べた。

今回、満足度という独自の観点で見た心理的要素をエージェントに加え、評価した結果、今回の実験条件では協調作業をすることが、満足度がより向上するという

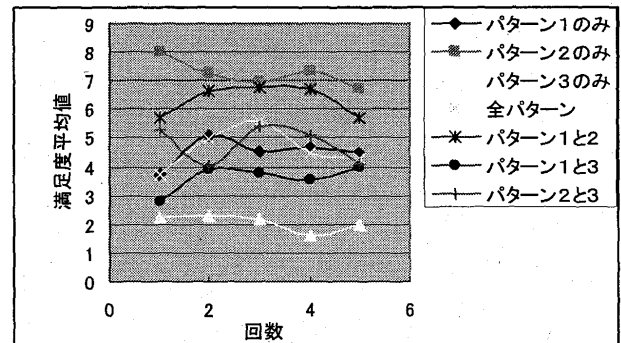


Fig. 9 評価実験結果

結果となった。

問題点は次の通り。

- 1) あくまで荷物運びの場合においてという至極限られた場合においてでの結果。
- 2) 仕事の達成度としての満足感のみなので、より現実に即したシミュレータであるとはいえない。
- 3) 契約ネットプロトコルに完全に準拠していないため、ヘルプ要求に対し、他のすべてのエージェントがすべて助けに行くケースも想定される。そこで必ずしも効率的とは言えない。

今後の研究課題は、次の通り。

- 1) 多くの満足度変化パターンをもつエージェントによる評価
- 2) 満足度とは違う、新たな心理的要素の導入  
満足度の概念の見直し。
- 3) 他のマルチエージェント課題への満足度の導入。
- 4) リーダーエージェントの導入によるエージェントの作業の円滑化、及びリーダーを導入した際の満足度の評価。

以上のような問題点の改善、課題の導入により、よりリアルなシミュレーターによる評価実験を行うことが、重要である。

#### 6. 参考文献

- [1] 木下, 菅原: エージェント指向コンピューティング, SRC, (1995)
- [2] 石田, 片桐, 桑原: 分散人工知能, コロナ社, 1996
- [3] 山田: 適応エージェント, 共立出版(1997)
- [4] 馬場口, 山田: 人工知能の基礎, 昭晃堂(1999)
- [5] 沼岡, 大沢, 長尾: マルチエージェントシステム, 共立出版(1998)

- [6] 本位田, 飯島, 大須賀: エージェント技術, 共立出版 (1999)
- [7] 床原, 藤田, 菅原: エージェントを用いた避難行動シミュレータの設計, 電子通信学会技術報告 AI96-41 (1997)
- [8] 宮島, 藤田, 菅原: エージェントを用いた避難行動シミュレータの設計, 電子通信学会情報・システムソサエティ大会 D8-7, (1998)
- [9] 新里, 吉村: エージェント型簡易避難行動シミュレータ, 都立航空高専, 平成 10 年研究紀要, Vol. 36, pp193-196, (1999)
- [10] 吉村, 川端, 新里, 藤田, 菅原: 恐怖感を組み込んだエージェント型避難行動シミュレータ, 高等専門学校情報処理教育研究委員会, 情報処理研究発表会論文集, Vol. 20, pp192-195, (2000)
- [11] 池田: 緊急時の情報処理, 東京大学出版会
- [12] Yoav Shoham: Agent-oriented programming, Artificial Intelligence vol. 60, pp51-92, (1993)
- [13] 高橋, 伊藤: “RoboCup ではじめるエージェントプログラミング”, 共立出版 (2001)
- [14] 風間, 箭内: マルチエージェントによる協調動作, 平成 12 年度卒業研究報告集 (2001)
- [15] 米本, 唐沢, 山野: マルチエージェントの協調動作, 平成 13 年度卒業研究報告集 (2002)
- [16] 藤原, 土屋: マルチエージェントの協調動作, 平成 15 年度卒業研究報告集 (2004)
- [17] 吉村, 星名: マルチエージェントプランニング, 都立航空工業高専, 平成 14 年度研究紀要, Vol. 40, pp81 ~ pp83
- [18] 吉村, 土屋, 藤原, 箭内, 風間, 米本, 唐沢, 山野: マルチエージェントの協調動作について, 都立航空工業高専, 平成 15 年度研究紀要, Vol. 41, pp111 ~ pp116
- [19] 小林, 宮田, 吉村: “心理的要素を附加したマルチエージェントシステムの強調動作”, 平成 17 年度卒業研究 (2006)
- [20] Rodney A. Brooks: “A Robust Layered Control System For A Mobile Robot”, IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. RA-2, No. 1 (1986)