

## 小型移動ロボット群による群行動制御

山内 幸治・能村 亮\*・豊永 久修\*

Group motion control by small multiple mobile robots

Yukiharu YAMAUCHI, Ryou NOUMURA\* and Hisanobu TOYONAGA\*

### Abstract

In this paper, we propose the robots system that each robot perceives the position and motions among them and behaves them in the group motion that it pursues after the specified target as the case with this motion by multiple robots system. But the group motion with two robots has already been generalized, and its practicality and utility have been established.

Then, we assumed the robots system equipped with three robots, and examined the establishment of the extendibility of the group motions. We produced this experiment robots system equipped with three robots. Each robot recognizes other robots by analyzing the images acquired with a TV camera, and has crawler drives to control easily in irregular ground as its transportation device.

This robots system is composed of three units, which have one small mobile robot and one PC that control its robot. The TV camera is connected with the PC. The images acquired by the camera is processed and analyzed on its PC. The next motion of the robot is decided, and its instruction is transmitted by the serial communications.

The formational motion in the robots arrangement that line up behind each other was examined by using this robots system.

**Keywords** : Multiple mobile robots, group motion control, crawler-driven mobile robot, robot vision.

### 1. はじめに

ロボット産業特区となった北九州市では、ロボット産業の急速な発展に伴い、さまざまなロボット技術の試みが行われている。特に、ロボット単体においてはその機能性の拡張が著しく、メーカーの工場での生産ラインに配置されたものから、家庭で癒しをもたらすペットロボット、さらには病院においてカルテの搬送を行う高精度のものまで存在している。ロボットの活動範囲は従来以上に拡大されている。しかしながら、ロボット単体の性能が高くても、活動効率は人間と同様に限界がある。同じ作業でも単体よりも複数台で行ったほうが作業は効率的に進むものも存在する<sup>1)~4)</sup>。

そこで現在、学術的もの産業的にも注目されているのが、複数台のロボットによる協調作業である。協調作業は双腕ロボットによるものが多く実現されているが、移動ロボットのように単独で動作するものに対してはシミュレーションなので実現されているものが多い。人間同様、ロボットも複数台で協調することができれば、さらに効果的に作業を遂行することが可能である。この協調作業の研究は、今後のロボット技術の進歩を促す重要なテーマであり、近い将来の必須の課題である<sup>5), 6)</sup>。

前述のように複数台のロボットによる協調作業の事例としては、2台の移動ロボットを用いた研究が一般的であり、これに関する研究が多く報告されている。このため、2台のロボットによる研究成果から、 $n$ 台のロボットを用いた協調

作業を論じることが多い。しかし、3台以上のロボットを用いた事例は少なく、その利便性や不具合、詳細はいまだ調査中である。また、2台による協調作業では確立されていた理論もまた、実際に3台に拡張すると不具合や矛盾といった非効率が生じることが多く、その実用性はまだ確立されていない。したがって、2台のロボットにおける研究から $n$ 台の立場を論じることが、飛躍していると言える。

3台のロボットで協調作業を行う場合、2台の場合と異なり、第3者の概念が加わる。そのため、各ロボットが他の2台のロボットにおける動作の意図を正しく認識する必要がある。このため2台での動作以上に集団性を持った行動を行うことがむずかしい。複数台によるシンクロ動作、群行動の概念が必要とされる。

本稿では、複数台のロボットによる協調作業について検討するため、その事例として3台の小型移動ロボットを用いた群行動計画について提案を行っている。ロボット集団での前進、後進、および旋回動作をベースとした基本隊列行動を実現させることを目的とする。

### 2. システム構成

3台の小型移動ロボットを用いた群行動として、協調作業を実現するためのロボットシステムの構成について述べる。1台のホストコンピュータ(PC)とそれに接続された1台の小型移動ロボットを1組としたロボットシステムを構築している。このロボットシステムを3組配置することにより、小型移動ロボット群として、システム全体を構成する<sup>7)</sup>。

また、本稿で述べるロボットは、3台がまったく同じ仕様で製作されている。さらに、取り付けられた回路およびモーター

\*専攻科 制御工学専攻 (Control engineering advanced course at Kitakyushu national college of technology)

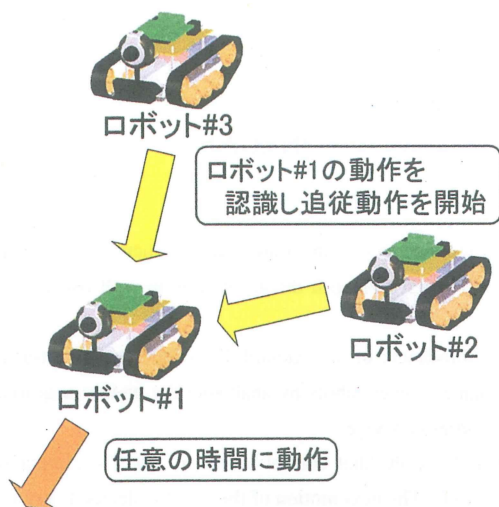


図1 ロボット群による隊列動作

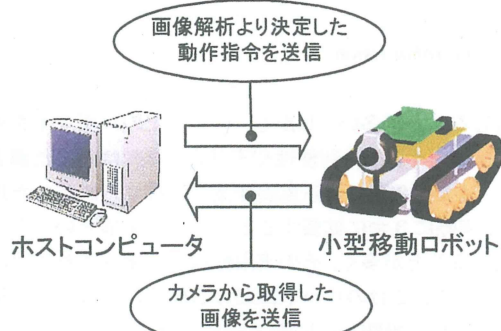


図2 PCとロボット間の情報交換

タにより前進、後進、局地旋回の動作が可能であり、搭載されたカメラより随時視覚情報を獲得することができる。このロボットシステムで、3台の移動ロボットによる追従型群行動が実現できる（図1）。

本実験システムでは、各小型移動ロボットの制御に対し各々のロボットシステムを構築し、これらを3式連結することで全体を構成している。各小型移動ロボットに対して、それぞれ専用のホストコンピュータ（PC）を用意し、それらを1組としたものを1つのロボットシステムとする。PCはロボットに搭載されたマイコンボードとシリアル通信ケーブルで接続されている。この通信により、PCからロボットに対する動作指令の送信が行われ、ロボットは受信した指令に従い動作する。また、ロボットに搭載されたカメラは、別途USBケーブルによってPCと接続されており、ロボットが取得した画像情報はこれを介してPCに送信される。PCは、取得した画像情報を解析し、その処理結果よりロボットに対するつぎの動作指令を決定する。この動作指令はRS-232Cを介してロボットに送信される。一連の流れを図2に示す。

図3は、実験で使用するロボットの外形である。動作制御にマイコンボードおよび回路、視覚情報の取得にUSBカメラ、

そして動作機構としてDCモータを採用しており、これらが主体となって構成されている。また、移動機構としてはクローラ型を採用している。他の移動機構として車輪型や蛇行型が上げられるが、前者は小回りに融通が利くが陸地との接地面が狭く、不整地における動作の安定性に欠ける。また、後者は不整地での動作の安定性に優れているが、その移動経路が複雑であり、制御が困難である。これらに対し、クローラ型は小回り性に多少欠けるが、不整地における移動に安定性があり、また制御に関しても車輪型と類似であるため、比較的容易である。これらの理由より、クローラ型が本機に最も適していると判断した結果、現行に至る。

### 3. ロボット群による隊列行動

隊列行動とは、群行動の中でも最も基本となる行動であり、集団での前進や後進などはこれに当たる。また、マラソンや駅伝、トライアスロンのように、相手との駆引きが必要となる環境で行う前後交代や追跡走行などもこの隊列行動に含まれる。このように、群行動の一種である隊列行動にもまた、様々な形態が存在する。本稿では、この隊列行動を実際に3台の小型移動ロボットを用いて実現した。その中でも、特に3台の移動ロボットによる等距離確保と追従動作に着目した（図4）。前者は3台のロボットが群行動を行うときにロボット間の距離を一定に保ちながら動作するというものであり、後者は自分より前にロボットが存在すると判断し

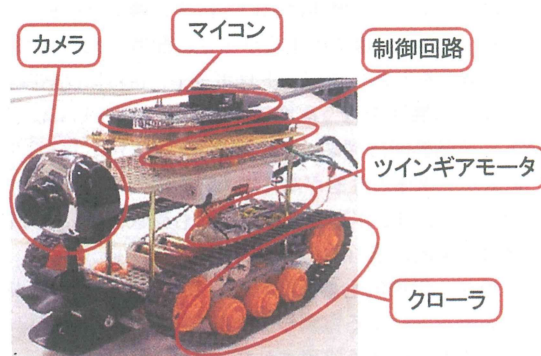


図3 実験用小型ロボット

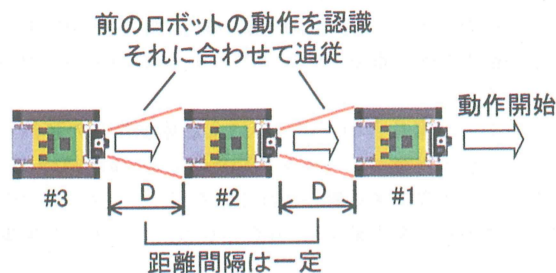


図4 等距離確保と追従動作

たときそのロボットの動作に応じて追跡を行うというものである。複数台のロボットで協調作業を行う場合、そこには人間と同じような思考概念が必要となる。そのような中で、等距離確保や追従動作は、どちらも共に人間が実際にやっている最も基本的な群行動であり、その思考概念をロボットに搭載することは、協調作業を確立していく上で、最も重要な事項となる。したがって、これら2つの作業を本稿では隊列行動として見なし、その確立を図る。

また、等距離確保および追従動作を確立していく上で、必要となってくる小型移動ロボット群の動作、すなわち3台での前進、後進、局地旋回も、本稿では確立するものとし、その実現を図る。この3台の移動ロボット群による群行動を、本稿では人間と同様に調和する作業として、「ロボット・シンクロナイズド・パフォーマンス」と定義する。

#### 4. 標識認識による追従動作

三角形や四角形、円のように、その構成要素が1つしかないものを、ここでいう単一図形といい、その認識を単一図形認識という。この認識手法では、単一図形の輪郭を取得し、その取得した輪郭と、あらかじめ用意してある1つの基準データとを比較し、その誤差が一定以内であればそれを単一図形とみなし、実際に認識するというアルゴリズムになっている。テンプレートマッチングと比べ、比較するデータが1つしかないことや、その誤差範囲の仕様によっては、誤検出が増えるなど、認識としての精度には劣るが、テンプレートマッチングで必要とされていた膨大なテンプレートが、こちらの手法では1つの基準データのみとなるため、その処理時間や計算量が少なく、高速な認識が可能となっている。しかし、本研究で行う距離確保や追従動作といった隊列行動では、高速かつ正確な認識が必要となるため、この単一図形認識手法の精度では十分ではないと言える。

テンプレートマッチングや単一図形認識では、膨大なデータ量による処理の低速化や、単純な認識による誤認識の併発といった、リアルタイムな群行動には、あつてはならない不具合が生じることがわかった。そこで、本稿では、それらの不具合をうまく緩和した新たな対象物認識手法として、標識認識手法を提案し、実際にその作成を行った。この提案した標識認識では、リアルタイムな認識においても、テンプレートマッチングのように膨大なテンプレートが必要になることはなく、また単一図形認識のような誤認識も比較的生じないようなアルゴリズムとなっている。以降は、その手順と詳細について述べている<sup>8),9)</sup>。

##### (1) 標識認識手順

提案する標識認識手法では、まず、小型移動ロボットに搭載されたカメラより、ロボットの視野情報となる画像データを取得する。つぎにこの取得した画像に対し、グレースケール化を行い、取得したカラー画像を処理しやすいモノクロ画像に変換する。しかし、この時点では、画像を取得したときに、必ずといっていいほど入るランダム・ノイズが画像中に

含まれている可能性がある。そこで、このグレースケール化した画像に対し、さらにヒストグラム平滑化を行う。これにより、取得した画像中のノイズを取り除き、より正確な画像へと変換する。つぎに、変換した画像の左上端から1行ずつラスト走査を行い、画像中のHaar特徴を検出する。このHaar特徴の分布や、その関係を調べることで、標識の輪郭を判断する。そして、実際に標識を検出し、その認識を行う。以上の作業を繰り返し行うことで、リアルタイムな対象物認識手法の確立を図る。

##### (1-1) 原画像の取得

ロボットに搭載するカメラは、BUFFALO社製のUSB PC カメラであり、このカメラよりロボットの視野情報を取得し、直接PCへと送るものとしている。また、今年度提案した標識認識では、このカメラから送信される画像情報を常に受信し、その内容を更新する仕様となっている。

##### (1-2) グレースケール化

グレースケール化とは、現存するカラー画像の色情報を、白・黒・灰色の3色で近似し、モノクロな画像情報へと変換する処理である。3色に近似するときに閾値の範囲を設け、最低値よりも小さい場合を黒、最大値より大きい場合を白、その間を灰色というように近似することにより、わずか3色で画像を表すことが可能となっている。これを行うことにより、カラー画像と比べて、情報を減らすことが可能となる他、輪郭線や境界線といったエッジ線や、画像全体の簡単な状態、たとえば背景と対象物といった存在するものなどの把握が容易となる。基本的に、画像処理において輪郭線や境界線を求める場合には、この処理を行うことが一般化されている。なお、実際のグレースケール化では、灰色に関して新たな閾値の範囲を定めることによって、灰色部分の画像情報をさらに細かく近似している。

##### (1-3) ヒストグラム平滑化

ヒストグラムとは、画像に含まれる全画素の濃度値の分布を示したものである。横軸に濃度の階調値、縦軸にその濃度である画素の分布数が示されており、画像全体の明るさや、色のバランスを確認することが可能である。ヒストグラムは、主に画像の濃淡値の調整を行う場合に用いる。

ヒストグラム平滑化とは、画像中の濃度値の分布、すなわちヒストグラムが一様となるように、各画素の濃度値を適当な値へと変換する処理である。これを行うことにより、画像中の明るい部分と暗い部分の比率が均等となるため、画像全体が比較的に見やすいものとなる。また、濃度値を一様化することにより、ノイズのように濃度値の変化が急激な要素による影響を消すことが可能である。この処理は、2値化およびグレースケール化された画像のように、色素の種類が少なく、画像内の状態が明確な画像では有効であるが、カラー画像のように色素の種類が多い画像では、かえって画質劣化を招く可能性が非常に高い。

##### (1-4) Haar特徴の検出

Haar特徴とは、画像における特徴量の1つであり、一般的な標識認識処理においても特に利用されているものである。



これは、画像における特徴量として、照明条件の変動やノイズの影響を受けやすい画像内の各画素の濃度値をそのまま用いるのではなく、近接する2つの矩形領域の明度差を求めることで得られる特徴量である。たとえば、ある濃度値255（白）の矩形領域が存在し、その隣の矩形領域の濃度値が0（黒）であったとする。このとき、これら2つの画素の明度差は255となる。この明度差より、白の隣には黒が存在するという特徴が得られる。このように、2つの矩形領域の明度差を調べることで、矩形領域単位の特徴量を得るのである。ただし、このままではすべての矩形領域が特徴量を得ることになるため、その明度差の値に閾値を定めることで、Haar特徴の選定を行う。また、このHaar特徴をHaar-like特徴ということもある。なお、特徴量とは対象となる物体のことを特徴づける情報のことをいう。

ヒストグラム平滑化された画像に対し、左上端の矩形領域から順にラスタ走査を行い、Haar特徴として当てはまる矩形領域を明度差より求める。2値化やグレースケール化された画像では、輪郭や境界線付近の矩形領域の明度差が極端となるため、このHaar特徴を検出することが容易である。提案した標識認識処理において、グレースケール化を原画像に行っているのは、このためである。

#### (1-5) 標識認識

検出したHaar特徴より、標識の輪郭を判定する。Haar特徴を検出した時点では、単に各矩形領域の情報を求めただけなので、まだ標識の輪郭はわかっていない。そこで、この検出・選定したHaar特徴のシーケンスを調べることで、標識の輪郭を判断する。まず、Haar特徴が見られる矩形領域が連続して存在している部分をすべて求める。この時点では、まだ単一図形の輪郭としてのシーケンスであり、背景などの余分なシーケンスが存在する。この求めたシーケンスに対し、さらにその位置関係を求めていく。標識を人の顔とした場合、顔全体の輪郭の中に、目、鼻、そして口という輪郭が存在する。したがって、求めたシーケンスのうち、その内部にさらに目、鼻、口の輪郭と思われるシーケンスを持つものだけを顔の輪郭として検出する。この検出された輪郭情報を、あらかじめ定義しているテンプレートと比較し、その誤差範囲が閾値以下であれば、それを標識の輪郭と判定する。このように、3重の判定を行うことで、はじめて標識の輪郭が決定する仕組みとなっている。なお、単一図形手法では、1回目のHaar特徴のシーケンスを調べる作業までしか行っていない。

決定された標識の輪郭部分を標識と認識し、実際の原画像領域において、標識の部分に円で描画する。このとき、描画される円の直径は検出した標識の縦幅値と横幅値の平均となっている。

#### (2) 標識認識手法の特徴

提案した標識認識手法では、テンプレートマッチングのように、そのときそのときの正確なテンプレートが必要なく、膨大なデータ量を要することはない。また、処理時間に関しても、単一図形認識とほぼ同等であるため、一回の処理速度はかなり高速なものとなる。さらに、単一図形と比べ、検出

する要素や、テンプレートと比較する要素が多いため、誤認識の併発の抑制も可能となっている。このように、テンプレートマッチングや単一図形認識では、困難であったリアルタイム処理に対応した仕様となっており、かつそのアルゴリズムも比較的簡潔であるため、本研究のような群行動には適当であると言える。

#### (3) ロボット間の条件

提案した標識認識手法を採用するにあたり、各ロボットの後方には人間の顔写真を取り付けた。各ロボットは、この取り付けられた標識写真を認識することで、互いを認識するものとする（図5）。また、認識した標識の面積値をロボット間の距離情報、重心を各ロボットの重心情報として扱うものとする。本来、ロボット間の距離情報を取得するには、相互通信システムか、あるいは2台のカメラによるステレオビジ

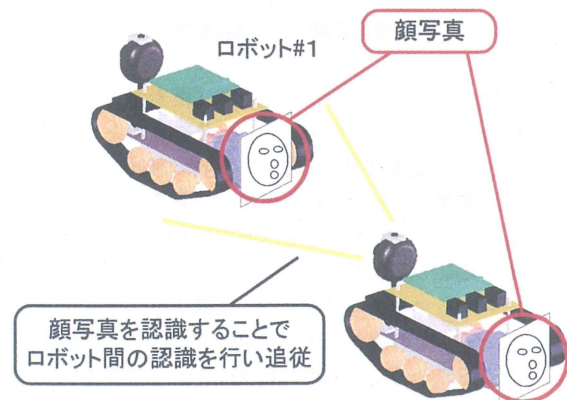


図5 ロボット間の条件

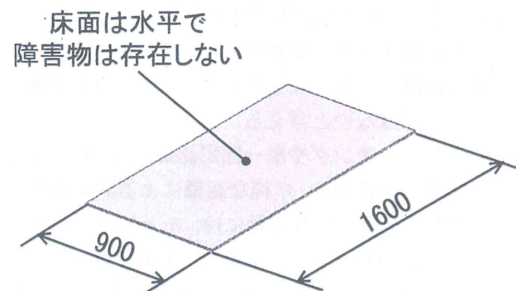


図6 実験環境

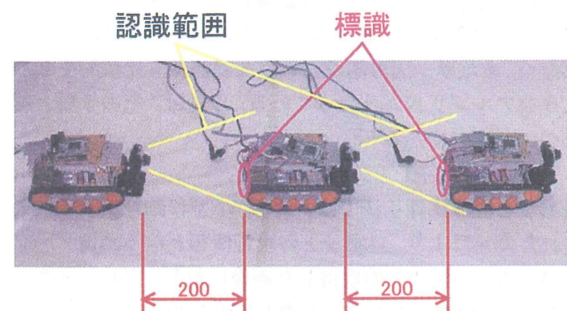


図7 縦列動作の初期配置



ョンが必要となる。しかし、本研究で開発したロボットに搭載されたカメラは1台であるため、今回は標識の面積値を距離情報と置き換えて扱うものとする。

## 5. 実験結果

ここでは、実際に行った隊列行動実験について、その結果と考察を述べる。

### 5. 1 実験環境と手順

本稿で行う実験では、小型移動ロボットが移動する床面は、白い布を敷いた水平なテーブルとし、不整地ではない。また、箱などの障害物はいっさい無い環境であり、その領域は $1600 \times 900$  [mm<sup>2</sup>]の範囲とする(図6)。また、ロボット3台の初期位置は、こちらが任意で定めるものとし、各ロボットの移動速度は一定とする。

### 5. 2 実験手順

実験では、群行動の1つである隊列行動のなかでも、もっとも基本的な縦列行動を3台の小型移動ロボットを用いて行った。本稿では、3. で述べたように、等距離確保および追従動作の確立に重点をおいている。3台のロボットによる縦列行動では、先頭のロボットの動作に合わせて、2台目以降のロボットがその先頭のロボットに追従する必要がある。また、縦一列にならんでいるため、ロボット間の距離を等距離に保っているか、その確認が容易である。そのため、この縦列動作を行い、その結果を確認することで、ロボット3台の場合における群行動について検討していく。

図7は、縦列動作の初期状態である。各ロボットは、縦一列に並んだ状態とし、またその距離間隔を、200ミリメートルとしている。各ロボットは、カメラより前に存在するロボットを認識した同時に動作を開始するものとする。しかし、このような場合、先頭のロボットには認識する対象がないため、動作できない状態に陥る。そこで、あらかじめ先頭ロボットの前方に標識を用意し、それを、任意に動かすことによって、その追従性を確認する。また、小型移動ロボット群の電源は、すべて同時に入れるものとする。実験結果の様子を図8および図9に示す。

### 5. 3 考察

本稿で実験した、隊列行動について考察、検討する。

本実験では、まず3台の移動ロボットを用いて、縦列状態での前進、後進を行っているが、前述の実験結果からわかるように、3台がお互いを認識して前進動作と後進動作を切り換えている。この結果より、ロボット間の認識は正常に行われていると判断でき、標識認識手法によるロボット間の認識は確立できたと言える。また、そのとき必要となるRS-232C通信やデータの送受信も、その動作内容から確立されており、小型移動ロボットとPCのリンクが正常に行われたと言える。

また、縦列の状態で行う蛇行動作では、先頭1台目の蛇行

動作を2台目のロボットが正しく認識して追従し、またその追従動作を3台目のロボットが認識し、追従していることも確認した。これにより、3台の小型移動ロボット全体を通して蛇行動作の確立に成功し、また、PC上で記述したロボットの動作手順決定プログラムの有用性を確認できた。

しかしながら、多くの試行結果において、ロボット間の距離間隔を正常に保てない場合も存在した。前方の相手ロボットが近距離にいるにもかかわらず、その距離を短縮する動作や、その反対の相手との距離が遠距離のときに、その距離を遠ざける動作を併発している。この誤動作に関して、標識認識の手法に着目する。標識認識では、そのテンプレートと近似するHaar特徴のシーケンスを、すべて標識の輪郭と判断し、実際に認識を行っている。本稿で作成した画像解析プログラムでは、検出されたすべての輪郭に対してその認識を行い、最後に認識された標識情報に対して、その検討を行う。その結果、ロボットのその後の動作を決定し、ロボットに指令を送信している。そのため、仮に標識認識のときに誤認識が発生すると、その認識した標識情報に対して処理を行い、そこからロボットのつぎの動作を決定してしまうため、本来ロボットがすべき動作と違う動作指令を送信する可能性がある。

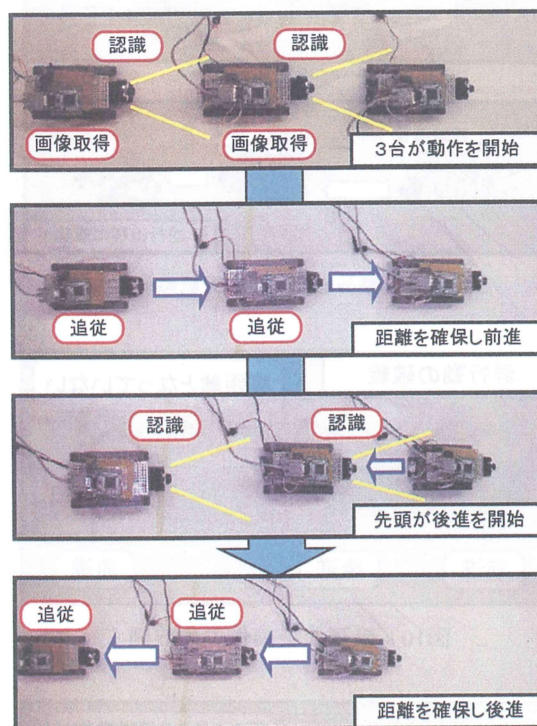


図8 縦列前後動作の実験結果

## 6. おわりに

ここでは本稿の結論について述べる。3台の小型移動ロボットを用いた群行動の事例として隊列行動実験を行い、ロボット3台による縦列型蛇行動作の確立に成功した。その縦列



型蛇行動作を行うにあたり、ロボット間の認識に標識認識手法を提案し、実際にその画像処理を用いることでロボット間の認識を確立することができた。これらの結果をもとに、さらなる群行動への発展を目指し、N台のロボット群、あるいは人間とロボットによる協調作業へと発展させていくことが、本稿の今後の課題である。以降、これらを実現するにあたり、本稿を通して考えられる改善点について述べる。

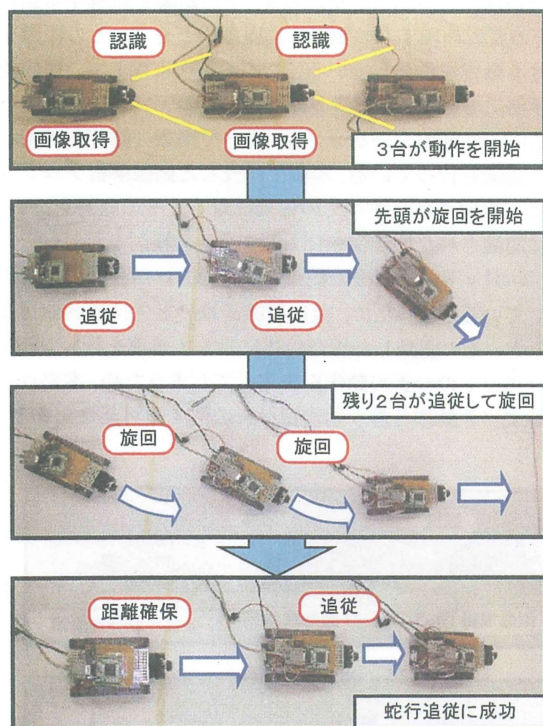


図9 縦列蛇行動作の実験結果

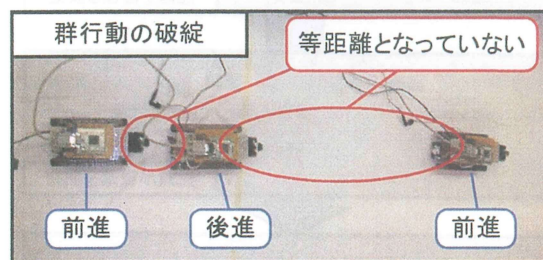


図10 縦列前後動作の失敗例

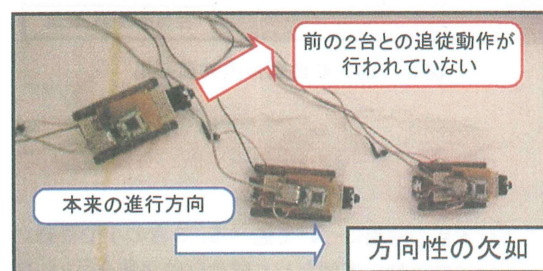


図11 縦列蛇行動作の失敗例

#### (1) 動作決定・動作指令プログラムの改良

PC上のプログラムの動作決定および動作指令送信部分に着目する。この処理を用いることにより、縦列蛇行動作が確立できることは実験結果より、立証された。しかし、これらの動作指令では、ロボットの視野方向は常に同じ方向に固定される。そのため、その他の群行動、例えば、左右の迂回や円弧を描く動作は不可能である。しかし、実際の協調作業では、これらの動作は極めて重要なものであり、その確立は必須である。そのため、これらの動作に対応したプログラムへの改善が必要となる。

#### (2) ロボット本体の改良

本稿の実験で使用したロボットでは、移動速度の制御を行っておらず、その結果左右方向への移動手段として、局地旋回しか持たない。しかし、(1)で述べたように今後さまざまな群行動に発展させるためには、局地旋回だけではその動作に非効率が生じる。ロボットの移動に関し、その速度制御の確率が必要となる。

さらに、5.の考察より、ロボットの精度も現時点では不安な点が多く、群行動を行う実機として用いるには、まだその安定性に足りない。そこで、ロボット本体の精度向上も今後必要となる改善点である。

#### (3) 新しい認識処理手法の提案

本稿で提案した標識認識処理を用いて、ロボット間の認識の確立が可能となった。しかし、実際のロボットには人間のような顔が存在するとは限らず、また、5.の考察でも述べたように、誤認識も生じている。群行動のように、各ロボット間のリアルタイムな認識が必要となる場合、正確かつ確実な認識が必要となり、ここで提案した標識認識処理では、それに対応しきれない。また、人間とのコミュニケーションとしての顔認識としても、現在の処理では顔の正面以外、側面や背面といった部分に対応しておらず、また標識を傾けた場合の認識率も低い。そのため、より確実な認識を行うため、新たな認識手法の提案が必要となる。

#### (4) 動力供給・通信手段の無線化

群行動を行うにあたって、使用したロボットのように、電源や通信の確立が有線で行われている場合、実際の動作中それらが障害となる可能性が高く、また断線などの不具合も生じる可能性がある(図12)。これらのことより、ロボットへの電力供給や通信に関して、その無線化を行うことで、その不具合を抑制できると考えられる。

#### (5) 相互通信の確立

本稿で構築したシステムでは、各ロボットシステムはそれぞれ個々に分割しており、その間の相互関係は確立されていない。そのため、各ロボットは相手のロボットが現在どのような動作を行っているか、その認識を行うことができず、群行動に確実性をもたせることが困難となっている。そこで、各ロボットシステム間で相互通信を行い、各ロボットが現在どのような動作を行っているかを互いに伝達し合うことで、互いの認識を確実にし、群行動をより正確なものすることが可能と考えられる。その相互通信手法として、TCP/IP

通信を, 各ロボットシステムのPC間に実装し, 適当な通信プロトコルを定めることで, これらの問題を解決できるとも考えられる (図13) .

#### 参考文献

- 1) K. Stoy : Using cellular automata and gradients to control self-reconfiguration, Robotics and autonomous systems, Vol. 54, (2006) pp. 135-141.
- 2) A. D. Mali : On the Behavior-Based Architectures of Autonomous Agency IEEE Trans. SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS PART C, Vol. 32, No. 3, (2002) pp. 231-242.
- 3) 冬野, 光永, 野副, 山内 : 2台の移動ロボットによる箱押し制御, SICE中国2004, (2004) pp. 610-611.
- 4) 渡邊, 山内 : 運動物体を捕獲するための移動ロボットの追従手法, 第40回計測自動制御学会学術講演会, (2001) 306A-5.
- 5) 山室, 山内 : 広い室内を掃引する移動ロボットの動作計画, 第38回計測自動制御学会学術講演会, (1999) pp753-754.
- 6) P. Favaro, S. Soatto : A Geometric Approach to Shape from Defocus, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 27, No. 3, (2005) pp. 406-417.
- 7) 渡辺, 加治, 鶴田, 堀, 山内 : 移動ロボット群による協調的箱押し制御, 第14回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, (2005) pp30-31.
- 8) 鶴田, 豊永, 山内 : ステレオビジョンによる移動ロボットの等距離追従制御, 第15回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, (2006) pp278-279.
- 9) 豊永, 渡辺, 山内 : 機能モジュールと移動ロボットによる箱押し制御, 第19回日本ロボット学会学術講演会, (2006) 2G23.

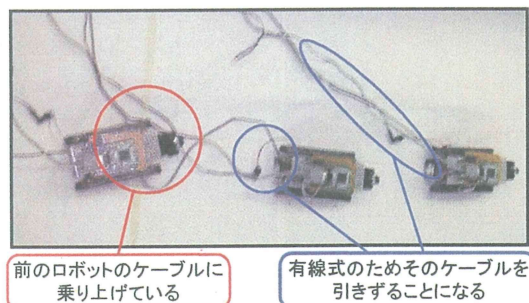


図12 有線時の不具合

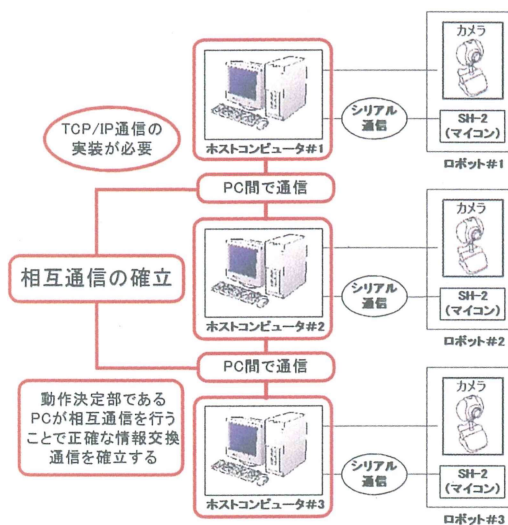


図13 相互通信を利用したシステム

(2007年10月12日 受理)