

Passive RFID を用いた自律移動ロボットのナビゲーション

朴 善洪^{†a)} 三枝 亮^{††} 橋本 周司[†]

Autonomous Navigation of a Mobile Robot Based on Passive RFID

Sunhong PARK^{†a)}, Ryo SAEGUSA^{††}, and Shuji HASHIMOTO[†]

あらまし Passive RFID を用いた自律移動ロボットのナビゲーション手法を提案し、自律移動ロボットに搭載してその有効性を検証した。従来のナビゲーション手法では、カメラなどからランドマーク情報を取得するために、外乱光や遮へい物などの環境条件の影響を受けやすいが、本手法では Passive RFID を用いているため、頑健に環境情報を取得することができる。RFID を用いたナビゲーション手法はこれまでにいくつか報告されているが、RFID のみでロボットの姿勢を取得することは困難なため、カメラなどの他のセンサと組み合わせる必要があった。本手法では、検出された自己位置の履歴に基づいて動的にロボットの姿勢を推定するため、他のセンサを併用しなくても簡易なシステムで信頼性の高いナビゲーションが可能である。ナビゲーション実験により、自律移動ロボットが姿勢情報を用いず位置情報のみで目的地に到達することを確認した。

キーワード Passive RFID, 自己位置推定, 自己姿勢推定, 自律移動ロボット, ナビゲーション

1. ま え が き

近年、社会の少子化や高齢化を背景として、自律移動ロボットによる高齢者や身体障害者の移動支援、及び生活環境における作業支援などへの要求が高まっている。自律移動ロボットがこのような支援を行うためには、安定した自己位置推定や姿勢推定に基づいた、安全で信頼性の高いナビゲーション技術が重要である。

従来研究における自己位置及び姿勢の推定手法に、内界センサを用いて車輪の回転数を測定することで移動量を計算するデッドレコニングがある [1]。しかしながら、この手法では床面のすべりなどによる計測誤差が累積する問題がある。この問題に対して、ランドマーク認識による手法では、外界センサを用いて累積誤差の補正を行うことが可能である [2]~[5]。これらの手法では、ロボットにカメラを搭載し、環境中に設置されたランドマークを観測することで地図上の自己

位置と姿勢を推定する。しかしながら、外乱光や遮へい物などの影響により、常時ランドマークを観測できるとは限らない。以上の理由から、デッドレコニングとランドマーク認識を組み合わせる自己位置と姿勢の推定を行うことが一般的である [6]。ただし、この手法はランドマークの観測の信頼性が高い場合には有効であるが、ランドマークを十分に観測できない場合はオドメトリ情報を用いて推定を行うため、累積誤差の影響を大きく受ける。

本論文では、頑健に環境情報を取得できる Passive RFID (Radio Frequency Identification) を用いた自律移動ロボットのためのナビゲーション手法を提案する。RFID では自己位置は分かるがロボットの姿勢は分からないため、取得した位置情報の履歴より姿勢を動的に推定するアルゴリズムを検討し、試作した自律移動ロボットに搭載した。RFID は無線で IC タグを識別するため、バーコードとは異なり被覆が可能で、汚れ、振動、磨耗などにも頑健である。更に、複数の IC タグを同時に認識できる。

ウェアラブルデバイスの研究分野では、RFID リーダを組み込んだ履物 (NaviGeTa) をユーザが装着することで、ユーザの位置を検出するシステムがある [7]。ロボットナビゲーションの研究分野では、床に配置さ

[†] 早稲田大学大学院理工学研究科, 東京都

Graduate School of Science and Engineering, Waseda University, 3-4-1 Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555 Japan

^{††} イタリア科学技術研究所, イタリア

Robotics, Brain and Cognitive Sciences Department, The Italian Institute of Technology, Via Morego 30, 16163 Genova, Italy

a) E-mail: paku@shalab.phys.waseda.ac.jp

れている IC タグの情報を読み取り、サポートベクタマシンを用いて自己位置を推定する手法 [8] や、車輪エンコーダによるデッドレコニングと IC タグの位置情報を統合して自己位置推定を行う手法がある [9]。また、Hahnel らは、ロボットの車体側面に取り付けた二つのアンテナで IC タグの情報を読み取り、確率分布を計算して自己位置と方向の推定を行った [10]。

これらの研究では、自己位置は RFID 単体で推定可能であるが、姿勢の推定にはカメラなどの他のセンサを用いているため、従来のランドマーク情報の取得における不確実性の問題点は解決されていない。また、Active IC タグを用いた手法では、電池の取替えなどのメンテナンスが必要となる。これに対して、提案手法では、パッシブ RFID システムで取得した IC タグ情報の履歴を用いることで、ロボットが位置情報のみから自己姿勢を動的に推定してナビゲーションを行うことが可能である。また、パッシブ IC タグを用いているため、電池の交換なども不要である。

近年には、カルマンフィルタ手法を用いて GPS と RFID の情報から自己位置と姿勢の推定する手法 [11] や、Active と Passive の IC タグを併用してオブジェクト情報を獲得し地図生成を行う手法 [12] も報告されている。本手法は、このような Passive RFID と他のセンサを組み合わせた手法とも併用が可能である。

以降、2. では、試作した自律移動ロボットと RFID システムについて述べる。3. では、ナビゲーションのアルゴリズムを述べる。4. では、自律移動ロボットを用いたナビゲーションの評価実験を行い、提案手法の有効性を検証する。5. では、本手法の特徴とその応用例について議論する。6. では、まとめと今後の展望について述べる。

2. 自律移動ロボットと RFID システム

ここでは、RFID システムを搭載した自律移動ロボット UBIRO (Ubiquitous Robot) について詳述する。図 1 に示されるように、UBIRO は駆動部、RFID システム、制御用 PC の三つの要素より構成される。RFID システムは IC タグを認識し、IC タグのシリアル番号を制御用 PC に伝送する。制御用 PC は IC タグのシリアル番号から自己位置を獲得し、駆動命令を駆動部に伝送する。駆動部は、駆動命令を受け取り、ロボットを前進移動及び回転移動させる。図 2 と表 1 に UBIRO の外観と仕様をそれぞれ示す。

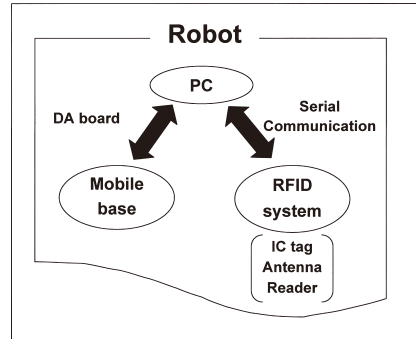


図 1 全体システムの構成

Fig. 1 The framework of the whole system.



図 2 自律移動ロボット: UBIRO

Fig. 2 Autonomous mobile robot: UBIRO.

表 1 UBIRO の仕様
Table 1 Specification of UBIRO.

| Feature | Description |
|------------------|----------------------------------|
| Size | 800 [mm]×900 [mm]×900 [mm] |
| Weight | 90 kg |
| Speed | Max 6.0 km/h |
| Operating system | Windows XP (Pentium III 850 MHz) |
| Communications | Wireless LAN and RS-232C |
| Batteries | Two 12 v 35 Ah |

2.1 駆動部

UBIRO の駆動部には、高齢者及び身体障害者用の 4 輪型電動車椅子 (今仙製 EMC-230 型) を用いた。車体には、障害物を検知するためのレンジセンサと接触センサが搭載されている。駆動部の前輪は自由輪であるが、後輪には DC サーボモータが接続され、DA ボード (Interface 製 PCI-3523A) を通して制御され

る．DC サーボモータの制御は，制御用 PC からの駆動命令に基づく．駆動部の制御アルゴリズムの詳細については 3. で述べる．

2.2 RFID システム

図 3 に示されるように，RFID システムは IC タグ (トランスポンダ)，リーダ，アンテナから構成される．アンテナは IC タグとリーダのインタフェースの役割を果たしており，非接触でデータの送受信ができる．電磁波の帯域は，ISO15693 準拠の HF (13.56 MHz) 帯である．RFID システムは，バーコードシステムと比べて多くの優位点がある．例えば，RFID システムによる IC タグの認識は，非接触，非一方向性であり，遮へい物などの外乱にも頑健で信頼性も高い．また，複数の IC タグを同時に認識にすることが可能である．

2.3 IC タグ

RFID システムに用いられる IC タグは，一般に，電源の有無によってパッシブ IC タグとアクティブ IC タグの 2 種類に分類される．アクティブ IC タグはデータ容量が大きく，IC タグとアンテナ間の通信距離が長いなどの特長をもつが，データの保持や送受信に電力を消費するため，定期的な電池の取替えが必要である．一方，パッシブ IC タグは電磁波によってエネルギーを供給するため，通信距離はアクティブ IC タグより短い，小型かつメンテナンス不要で半永久的に使用可能である．以上の理由から，我々はパッシブ IC タグ (ISO-15693) を採択した．使用した IC タグの外観と仕様を図 4 及び表 2 に示す．IC タグには固有のシリアル番号が与えられており，その番号はロボットに搭載されたデータベースにおいて，IC タグの二

次元位置座標に対応づけられている．IC タグは，試作したアンテナの受信範囲内に $50\mu\text{s}$ 以上とどまると認識される．

2.4 アンテナ

アンテナの最適な大きさは，基本的には IC タグの配置間隔によって決定されるため，大きさの調整が困難な既存のアンテナを用いると，IC タグの配置間隔が制限されてしまう．ここでは，実験環境の都合に応じて IC タグの配置間隔を変更できるように，13.56 MHz 帯域で IC タグを認識可能な円形型アンテナを自作した．

アンテナの大きさは，IC タグの配置密度に基づいて決定した．後述のナビゲーション実験では，ロボットの車体面積 (80 cm×90 cm) に対する IC タグの配置密度を考慮し，IC タグの配置間隔を 34 cm とした．ロボットが IC タグの敷設領域にある場合は，平均で約 6.2 個の IC タグがロボットの車体下部に存在することになる．長径 24 cm のアンテナを用いて実測したところ，アンテナの中心から約 17 cm の領域に存在する IC タグを認識できたため，この長径を採用した．

製作に際して，アンテナと IC タグの共振周波数が適合し，共振の鋭さを表す品質係数 Q が規定値となるようにアンテナの等価回路の抵抗 R ，インダクタンス L ，キャパシタンス C を決定した．製作に用いた値はそれぞれ， R : $9031.2\ \Omega$ ， L : $3.18\ \mu\text{H}$ ， C : $43.32\ \text{pF}$ ， Q : 33.33 である．試作したアンテナを図 5 に示す．

アンテナの性能を評価するため，図 6 に示されるようにアンテナの領域を 12 等分し，各領域ごとに IC タグと通信可能な限界距離を測定した．測定結果を図 7 に示す．測定結果によると，部分的にアンテナから外

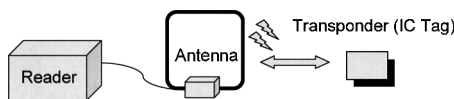


図 3 RFID の構成
Fig. 3 RFID system.

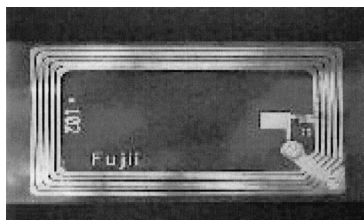


図 4 パッシブ IC タグ
Fig. 4 Passive IC tag.

表 2 IC タグの仕様
Table 2 Specification of passive IC tag.

| Feature | Description |
|--------------------|---------------------------|
| IC chip | I — CODE SLI |
| Size | 76 [mm]×45 [mm]×0.23 [mm] |
| Communication band | 13.56 MHz |
| Memory | 1024 bit |

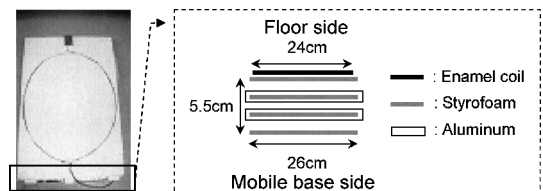


図 5 アンテナの構成
Fig. 5 Structure of the antenna.

れる 1, 3, 10, 12 の領域では限界距離が縮まるものの、IC タグとの距離が少なくとも 6 cm 以内であればアンテナは IC タグを認識できることが分かった。この結果を踏まえて、ロボットの移動領域の床面に IC タグが敷設されている想定で、アンテナと IC タグの距離が 5 cm となるように、アンテナをロボットの車体下の中心部に取り付けた。ロボットの車体下部を図 8 に示す。図のように、アンテナは車体下部の中心部に装備されている。アンテナの取付け位置付近には駆動部のバッテリーが装備されているため、図 5 に示

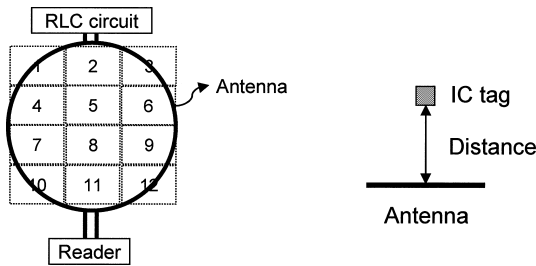


図 6 アンテナの測定

Fig. 6 Measurement of the antenna.

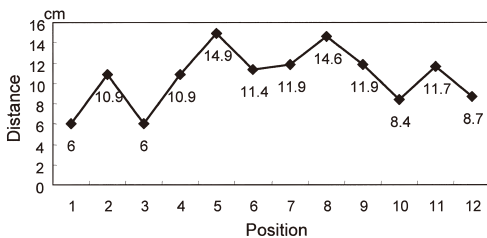


図 7 アンテナの通信限界距離の測定結果

Fig. 7 Measurement result of the limit distance of communication.

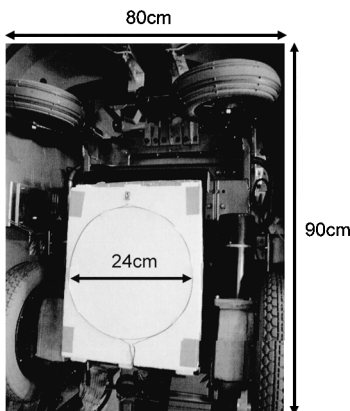


図 8 ロボットの車体下部

Fig. 8 The bottom of the robot.

されるように、アンテナを発泡スチロール材とアルミ板で被覆して磁場を遮へいた。なお、アンテナの直径は 24 cm であるが、実測ではアンテナの中心から約 17 cm の領域に存在する IC タグを認識できた。

RFID システムのリーダには、小型で安価である Texas Instrument 製のリーダ (S6350 Midrange Reader Module) を採用した。このリーダは 13.45 MHz の周波数帯で動作し、複数の IC タグとの干渉を防ぐ Anti-collision 機能を備えている。IC タグの情報はリーダから制御用 PC にシリアル通信で伝送される。

3. ナビゲーションアルゴリズム

RFID システムを用いて、IC タグが敷設された領域を自律的に移動するためのナビゲーションアルゴリズムについて述べる。図 9 のように、ロボットは自己位置と姿勢を動的に推定しながらナビゲーションを行う。RFID システムを用いることにより、自己位置と姿勢の推定では、誤差が累積しない。

ナビゲーションの制御フローを図 10 に示す。はじめに、ロボットにはユーザから目的地の二次元的位置が与えられる。ロボットは、現在位置と与えられた情報から目的地の方向を算出し、回転運動後に一定の距離を前進移動する。ただし、初回の回転運動時に用いられる初期姿勢角は必ずしも正確な値でなくてもよい。次に、移動時に検出した IC タグの位置を現在位置として、現在位置とその前に取得した位置情報から姿勢角を推定する。ロボットは目的地の方向を再計算し、

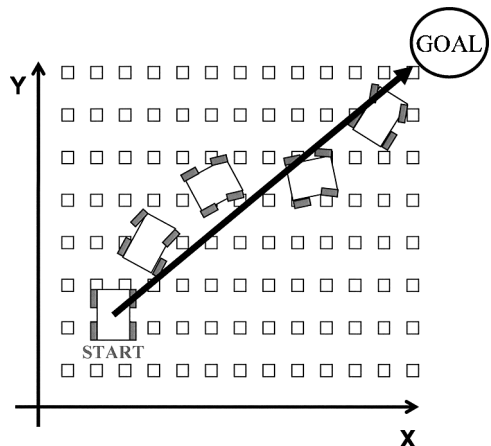
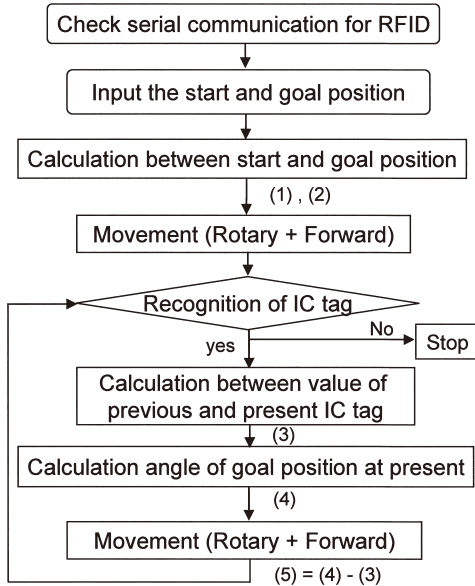


図 9 ロボットのナビゲーション

Fig. 9 Forecasted trajectories of the robot.



Forward movement : about 40cm/sec

図 10 アルゴリズムの処理過程
Fig. 10 Procedure of robot control.

これと姿勢角から姿勢を目的地に向けるための回転角を計算する。ロボットは回転運動を行い、その後再び一定の距離を前進移動する。ロボットは以上の動作を目的地に到達するまで繰り返す。

このナビゲーションアルゴリズムでは、検出した IC タグの位置情報からロボットの姿勢を動的に推定するため、ユーザがロボットの初期姿勢や移動経路を与える必要はない。床面に敷設された IC タグとその二次元位置座標の関係は、データベースに事前に登録されているが、IC タグは他の IC タグとの位置関係の情報を保有しないため、IC タグの敷設に順序関係を考慮する必要がなく、後から追加して敷設をすることも可能である。

ナビゲーション時の目的地方向やロボットの回転角などの計算法を以下に述べる。ロボットは、出発地における目的地の方向角 $\theta_{start \rightarrow goal}$ を式 (1) を用いて計算し、式 (2) の回転角 $\theta_{rotation}$ だけ回転移動を行ってから前進移動する。

$$\theta_{start \rightarrow goal} = \arctan \left(\frac{y_{goal} - y_{init}}{x_{goal} - x_{init}} \right) \quad (1)$$

$$\theta_{rotation} = \theta_{start \rightarrow goal} - \theta_0 \quad (2)$$

ただし、 (x_{init}, y_{init}) 及び (x_{goal}, y_{goal}) は、初期地と

目的地の二次元位置座標を表す。また、ロボットの初期姿勢角 θ_0 は、任意でよいが、次章の実験では 0 度に行っている。ロボットは移動時に新しい IC タグの座標を取得する。移動後のロボットの姿勢角 $\theta_{previous \rightarrow present}$ は、IC タグより取得した現在の位置と前回に取得した位置との関係から式 (3) を用いて得られる。

$$\theta_{previous \rightarrow present} = \arctan \left(\frac{y_{present} - y_{previous}}{x_{present} - x_{previous}} \right) \quad (3)$$

ただし、現在の位置は $(x_{present}, y_{present})$ 、過去の位置は $(x_{previous}, y_{previous})$ とする。また、現在位置における目的地の方向角 $\theta_{present \rightarrow goal}$ を式 (4) で計算する。

$$\theta_{present \rightarrow goal} = \arctan \left(\frac{y_{goal} - y_{present}}{x_{goal} - x_{present}} \right) \quad (4)$$

式 (3), (4) より、ロボットの姿勢を目的地の方向に向けるための回転角 $\theta_{rotation}$ は式 (5) となる。

$$\theta_{rotation} = \theta_{present \rightarrow goal} - \theta_{previous \rightarrow present} \quad (5)$$

図 11 に、 $\theta_{rotation}$ の値が 0, 正, 負の場合のロボットの回転移動及び前進移動の例を示す。以降、ロボットは前進運動と回転運動を繰り返して、目的地へ自律的に移動する。

IC タグの配置間隔によっては、ロボットが IC タグを認識できない場合がある。このような場合や、ロボットがナビゲーション中に IC タグの敷設領域から外れた場合には、安全性を確保するためロボットは停止する。なお、構成した RFID システムでは、アンテナは IC タグの有無のみを認識するため、アンテナと IC タグの正確な位置関係は不明である。そこで、より正確な自己位置と姿勢の推定を行うために、アンテナが複数の IC タグを認識した場合は、図 12 に示されるように、認識した IC タグの位置の重心をロボットの現在位置とみなす。

4. 実 験

ナビゲーションアルゴリズムの有効性を評価するため、自律移動ロボット UBIRO を用いて目的地に関して 2 種類の条件でナビゲーション実験を行い、目的地への移動経路を比較した。また、それぞれの条件において、到達成功率を二つの到達判定基準で評価した。

目的地に関して、条件 1 では IC タグが敷設された

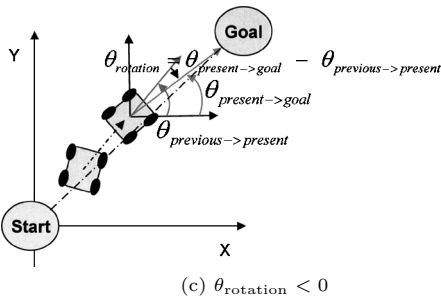
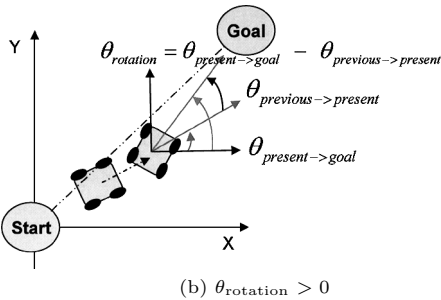
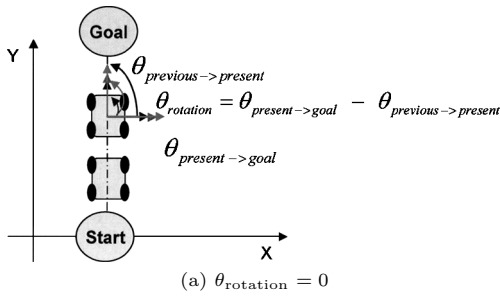


図 11 ロボットの移動パターン

Fig. 11 Movement patterns of the robot.

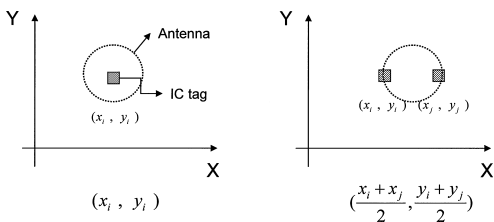


図 12 複数の IC タグの認識

Fig. 12 Recognition of multiple IC tags.

領域の端に目的地を設定した．条件 2 では IC タグの領域の内側に目的地を設定した．到達成功率に関して，判定基準 1 では目的の IC タグを認識した場合とした．判定基準 2 では，目的の IC タグまたはその前後左右に隣接する IC タグを認識した場合とした．アンテナの検知距離は 17cm であることから，判定基準 1 及び判定基準 2 の目的地の領域は，34 cm×34 cm 及

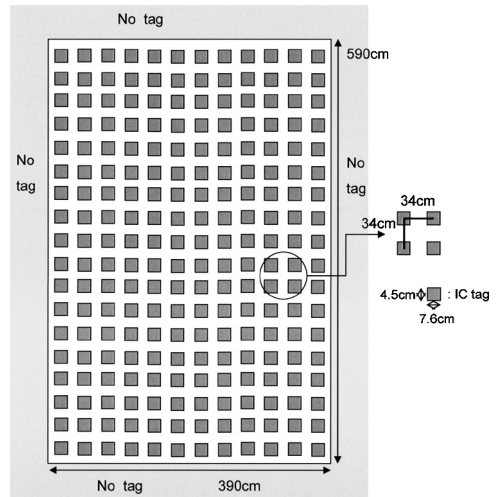


図 13 実験環境

Fig. 13 Experiment environment.

び 102 cm×102 cm に相当する．なお，以下では条件 1 かつ判定基準 2 の場合を，条件 1-2 などのように略記する．

いずれの実験でも，ロボットの初期位置は同一とし，ロボットが初期動作で IC タグの敷設領域から外れないように設定した．また，ロボットの初期姿勢角は，出発地から目的地の方向に対して -90 度， -45 度， 0 度， 180 度に設定した．ただし，ロボットにとって，これらの初期姿勢角は未知である．ロボットの 1 ステップの前進動作での駆動電圧と駆動時間は，前進移動距離が一定となるように設定した．しかしながら，ロボットの前進移動距離は自由輪である前輪の向きや床面とのすべりなどの影響により異なる．実測では平均 40 cm である．

図 13 にナビゲーションの実験環境を示す．実験環境は IC タグが敷設された屋内環境を想定し，大きさが 390 cm×590 cm の空間の床面に，216 個のパッシブ IC タグを 34 cm 間隔に配置した．実験環境内に障害物はないものとする．ロボットは与えられた目的地の IC タグを検出すると停止してナビゲーションを終了する．また，ロボットが IC タグの敷設領域を外れて，IC タグが認識できなくなった場合も停止し，ナビゲーションを終了する．ロボットは上記の条件で停止するまでナビゲーションを行う．

図 14，図 15 に条件 1-1 と条件 2-1 の結果を示す二つの図は，それぞれ，初期姿勢 -45 度で 20 回のナビゲーションを試行した際の 5 回分の移動経路と，出

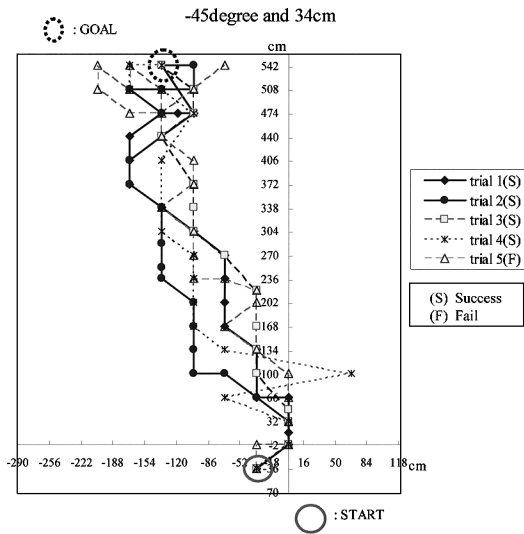


図 14 条件 1-1 でのロボットの移動軌跡
Fig. 14 Path trajectories with the condition 1-1.

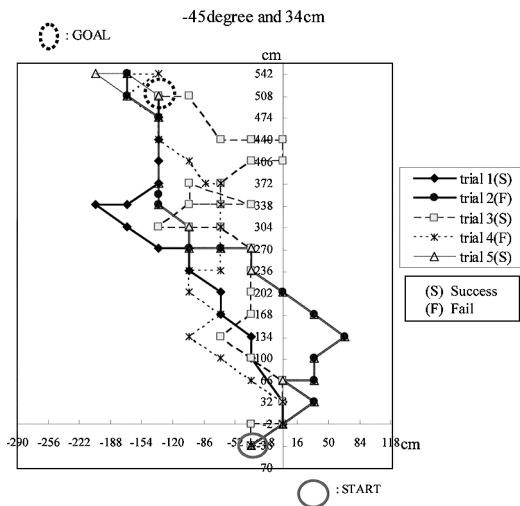


図 15 条件 2-1 でのロボットの移動軌跡
Fig. 15 Path trajectories with the condition 2-1.

発地及び目的地を示した。ただし、移動中のロボット中心部の正確な位置を取得することは困難であったため、これらの図ではロボットが認識した IC タグの位置を結んだ折れ線でロボットの移動経路を表現した。IC タグの認識時のロボット中心部と IC タグの距離は、アンテナの検知距離より最大で 17 cm である。

これらの図によると、条件 2-1 のように目的地の周囲に十分 IC タグが敷設されている場合、目的地を通り過ぎてロボットは停止することなく旋回して姿勢

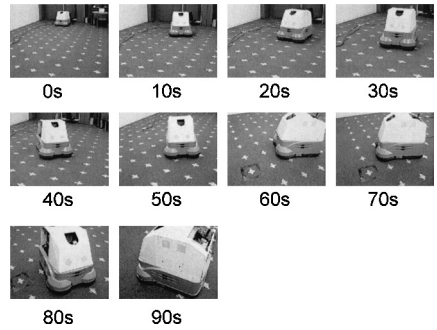


図 16 IC タグ領域上でのナビゲーションの様子
Fig. 16 States of navigation in the IC tag field.

を立て直すことが可能となり、目的地により確実に到達できることが分かった。

また、ロボットの移動経路にはバリエーションがあった。これらのバリエーションは、自己位置推定及び姿勢推定の誤差のほかに、ロボットの前輪が自由輪であることに大きく起因すると考えられる。試作したロボットでは二つの前輪が制御されていないため、発進時ごとに異なる向きをとり、ロボットは必ずしも命令された方向に前進しない。しかしながら、このようにロボットの移動に関してかなり不確実性が大きくても、IC タグで動的に自己位置と姿勢を推定することで、ロボットは目的地に到達できることが実証された。前輪を制御すれば、ロボットはより短い経路を經由して目的地に到達できるものと考えられるが、製作したロボットの駆動部には市販の電動車椅子を用いているため、前輪が自由輪となっている。そのために、同じ前進時間でも回転後の自由輪の向きによって移動距離は異なる。したがって、本実験は、通常よりも過酷な条件であると考えられる。IC タグ領域上でのナビゲーションの様子を図 16 に示す。

表 3 ~ 表 6 に、4 パターンの条件について四つの初期姿勢角に対する目的地への到達回数及び到達成功率をそれぞれ示す。表では、ロボットが目的地に到達した場合を成功、到達できずに停止した場合を失敗とした。表 3、表 4 を比較すると、同じ到達判定条件において、条件 1-1 では目的地への平均到達率が 78.75% であるのに対して、条件 2-1 では平均到達率が 87.5% である。したがって、目的地の周囲に IC タグが敷設されている場合、ナビゲーションの成功率が高い。また、各条件において、目的地への到達率はそれほど初期姿勢によらない。つまり、IC タグが検出で

表 3 条件 1-1 のナビゲーションの結果

Table 3 Navigation result with the condition 1-1.

| 初期姿勢 [°] | 成功 回数 | 成功 [%] | 失敗 回数 | 失敗 [%] |
|-------------|----------|-----------|----------|-----------|
| -90 | 14/20 | 70 | 6/20 | 30 |
| -45 | 16/20 | 80 | 4/20 | 20 |
| 0 | 16/20 | 80 | 4/20 | 20 |
| 180 | 17/20 | 85 | 3/20 | 15 |

表 4 条件 2-1 のナビゲーションの結果

Table 4 Navigation result with the condition 2-1.

| 初期姿勢 [°] | 成功 回数 | 成功 [%] | 失敗 回数 | 失敗 [%] |
|-------------|----------|-----------|----------|-----------|
| -90 | 17/20 | 85 | 3/20 | 15 |
| -45 | 16/20 | 80 | 4/20 | 20 |
| 0 | 19/20 | 95 | 1/20 | 5 |
| 180 | 18/20 | 90 | 2/20 | 10 |

表 5 条件 1-2 のナビゲーションの結果

Table 5 Navigation result with the condition 1-2.

| 初期姿勢 [°] | 成功 回数 | 成功 [%] | 失敗 回数 | 失敗 [%] |
|-------------|----------|-----------|----------|-----------|
| -90 | 17/20 | 85 | 3/20 | 15 |
| -45 | 20/20 | 100 | 0/20 | 0 |
| 0 | 19/20 | 95 | 1/20 | 5 |
| 180 | 19/20 | 95 | 1/20 | 5 |

表 6 条件 2-2 のナビゲーションの結果

Table 6 Navigation result with the condition 2-2.

| 初期姿勢 [°] | 成功 回数 | 成功 [%] | 失敗 回数 | 失敗 [%] |
|-------------|----------|-----------|----------|-----------|
| -90 | 19/20 | 95 | 1/20 | 5 |
| -45 | 19/20 | 95 | 1/20 | 5 |
| 0 | 20/20 | 100 | 0/20 | 0 |
| 180 | 19/20 | 95 | 1/20 | 5 |

きる領域内であれば、ロボットは異なる初期条件でも高い信頼度でナビゲーションが可能であるといえる。

到達判定基準 2 でのナビゲーション結果を表 5 と表 6 に示す。実験の結果、平均到達率は条件 1-2 では 93.75%、条件 2-2 では 96.25%であった。実験結果より、目的地への到達判定基準がロボットの車体程度である場合には、本手法によるナビゲーションの信頼性は高いことが示された。

5. 議 論

本手法のナビゲーションの特徴は、自己位置という最小限の情報のみを用いていることである。そのため、本手法は他のナビゲーション手法と併用すると効果的であると考えられる。つまり、ロボットが認識した位置情報の履歴に基づいて、動的にロボットの姿勢

を推定するため、仮に併用している他のセンサが故障したとしても、RFID システムのみで信頼性の高いナビゲーションが可能である。

本研究の応用例としては、電動車椅子に乗車した障害者に対するナビゲーション支援を想定している。本研究では RFID のみでナビゲーションが行えるため、既存システムへの実装が容易である。例えば、市販の電動車椅子の場合は、車体下部に RFID システムを装着するだけよい。

RFID システムによるナビゲーションの実用化には、IC タグの敷設などの環境整備が必須である。IC タグの敷設には相応のコストがかかるが、IC タグは環境に物理的に埋め込むことが可能であり、またそれ自体は多目的な利用が可能であるため、公共性の観点からはコストに見合う有用性が十分にあると考えられる。例えば、歩道に敷設されている視覚障害者用の誘導ブロックや横断歩道などに IC タグを埋め込むことで、本手法のロボットナビゲーションのほかにも、視覚障害者への現在位置情報の提示や一般市民への近隣情報の提示などへの適用が期待される。

6. む す び

本論文では、Passive RFID を用いた自律移動ロボットのためのナビゲーション手法を提案し、製作した自律移動ロボットに搭載してその有効性を実証した。カメラなどを用いた従来のランドマーク認識によるナビゲーションに対して、提案手法は RFID システムを用いて無線で IC タグを認識するため、システムが簡易で、遮へい物や振動などの影響にも頑健に自己位置を認識できる。

今後は、IC タグに障害物の有無や回避命令など、IC タグの敷設位置以外の環境情報を対応づけることで、より複雑な環境条件でのナビゲーションの実現を目指す。また、移動時の不確実性を考慮した移動経路の確率分布モデルを構築し、より最適な経路計画を実現したい。加えて、IC タグを敷設する間隔や模様など、ロボットのナビゲーションに適した環境構築についても検討するつもりである。

謝辞 本研究の一部は、韓国科学財団(No.D00202)、文部科学省 21 世紀 COE プロジェクト“超高齢化社会における人とロボット技術の共生”(早稲田大学)、岐阜県 WABOT HOUSE プロジェクトの研究助成により行われた。

文 献

- [1] J.L. Crowley, "Control of displacements and rotation in a robot vehicle," Proc. International Conference on Robotics and Automation, pp.674-680, 1989.
- [2] Y. Abe, M. Shikano, T. Fukuda, F. Arai, and Y. Tanaka, "Vision based navigation system for autonomous mobile robot with global matching," Proc. IEEE Int. Conf. of Rob. Autm., vol.2, pp.1299-1304, 1999.
- [3] 辻 安彦, 八木康史, 谷内田正彦, "全方位視覚センサを用いたロバストな環境マップ生成と自己位置推定," 日本ロボット学会誌, vol.19, no.1, pp.59-67, 2001.
- [4] C. Drocourt, L. Delahoche, C. Pegard, and A. Clerentin, "Mobile robot localization based on an omni directional stereoscopic vision perception system," Proc. Int. Conf. on Robot Autom., pp.1329-1334, 1999.
- [5] M. Betke and K. Gurvits, "Mobile robot localization using landmarks," IEEE Trans. Robot Autom., vol.13, no.2, pp.251-263, 1997.
- [6] 山口祐規, 井上純一, 杉本卓他, 松岡 毅, 桐木利弘, 長谷川勉, "自律型サッカーロボットの開発—第二報全方位ビジョンとデッドレコニングの組合せによる自己位置同定," 第 20 回計測自動制御学会九州支部学術講演会予稿集, pp.13-14, 2001.
- [7] 椎尾一郎, "RFID を用いたユーザ位置検出システム," 情処学研報, 00-HI-88, pp.45-50, 2000.
- [8] 千田陽介, 木室義彦, 財部修平, 長谷川勉, 松本三千人, "RFID システムによる自己位置推定へのサポートベクターマシンの適用," Proc. 2006 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 2P1-C31 (1)-(4), 2006.
- [9] 賀集隆郎, 加藤大示, 稲垣詠一, 松本 治, 小林 清, "RFID ランドマークを用いた自律移動制御," Proc. 2006 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, 2P2-E07, 2006.
- [10] D. Hahnel, W. Burgard, D. Fox, K. Fishkin, and M. Philipose, "Mapping and localization with RFID technology," Proc. ICRA2004, pp.1015-1020, 2004.
- [11] O. Matsumoto, K. Komoriya, T. Hatase, H. Nishimura, K. Toda, and S. Goto, "Autonomous traveling control of the "TAO Aicle" intelligent wheelchair," Proc. 2006 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.4322-4327, 2006.
- [12] B.K. Kim, N. Tomokuni, K. Ohara, T. Tonikawa, K. Ohba, and S. Hirai, "Ubiquitous localization and mapping for robots with ambient intelligence," Proc. 2006 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.4809-4814, 2006.

(平成 19 年 2 月 26 日受付, 6 月 8 日再受付,
7 月 27 日最終原稿受付)



朴 善洪 (学生員)

平 19 早大大学院理工学研究科修士課程了。現在, 同大学院先進理工学研究科博士課程在学中。主として RFID, ロボティクスに関する研究に従事。



三枝 亮 (正員)

平 12 早大・理工・応用物理卒。平 17 同大博士(工学)取得。早稲田大学助手を経て, 現在, Italian Institute of Technology 博士研究員。ニューラルネットワーク, 情報圧縮, 画像処理などの研究を通して, 機械学習やパターン認識, ロボティクスに興味をもつ。IEEE 会員。



橋本 周司 (正員)

昭 46 早大・理工・応用物理卒。東邦大学講師, 助教授, 早大助教授を経て, 平 6 より早大・理工・応用物理学教授。また, 平 13 より早大ヒューマノイド研究所所長。工博。