

トレーラロボットの自律運転に関する研究

著者	熊谷 正朗, 菅原 真
会議概要 (会議名, 開催地, 会期, 主催者等)	計測自動制御学会東北支部 第240回研究集会
URL	http://id.nii.ac.jp/1204/00000376/

トレーラロボットの自律運転に関する研究

Development of an Autonomous Trailer Robot

熊谷正朗* , 菅原 真**

KUMAGAI Masaaki* , SUGAWARA Makoto*

*東北学院大学, **東北学院大学 大学院

*Tohoku Gakuin University

キーワード： トレーラ(Trailer), 画像認識(Image recognition), 自己位置推定(Self localization),
画像マーカ(Image marker)

連絡先： 〒985-8537 宮城県多賀城市中央一丁目 1 3 - 1 東北学院大学工学部 機械知能工学科
熊谷正朗, Tel.:022-368-7358, Fax: 022-368-7070, E-mail: kumagai@tjcc.tohoku-gakuin.ac.jp

1. はじめに

近年, 自動車の自動運転に関する研究は実用段階を迎えているが, ほとんどが通常の4輪車に関するものであり, 牽引車両に関する言及は少ない。国内物流に占める牽引型車両の比率は高いとは言えないが, フェリーによるトレーラのための無人運搬が可能であるなどの効率面の利点がある。一方で, 運転には熟練が必要である。運転支援システムや自動運転が実現されれば, 広域物流の他, 工場内搬送などにも応用可能と考えられる。

トレーラに関する研究については1990年頃より多くの文献⁽¹⁾ほか⁽²⁾が見られ, 10年ほど前にはファジィ理論の後退制御への適用が盛んに報告された。より複雑な多段式のトレーラに関する文献も見られるが⁽³⁾, 理論研究や独立2輪駆動ロボットによる研究が多数を占め, 路上で見られるようなセミトレーラ型の実機による研究は報告が希である。重量物の物流で使われるような多軸のセミトレーラでは, 旋回運動時には車輪の滑りを伴い,

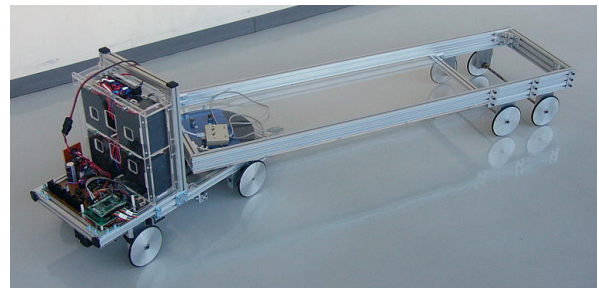


Fig. 1 開発したトレーラロボット

シミュレーションでの再現は容易ではなく, 実機による制御研究も必要であると考えられる。

そこで, 当研究室では, 各種トレーラ制御理論の実機実験および自動運転の実験を目的として, Fig. 1, Fig. 2に示すようなセミトレーラロボットを開発している。最大速度約1500 [mm/s], トレーラ部の最大積載荷重約100 [kg]を実現しており, 自動運転のための制御機器類や, 実験担当者をも乗せて走行することが可能である。

本ロボットは当初, 走行距離と操舵角を元にした自己位置推定を用いた, 予め規定した経路上の自律運転を実現した。しかし, 本ロボットは設計

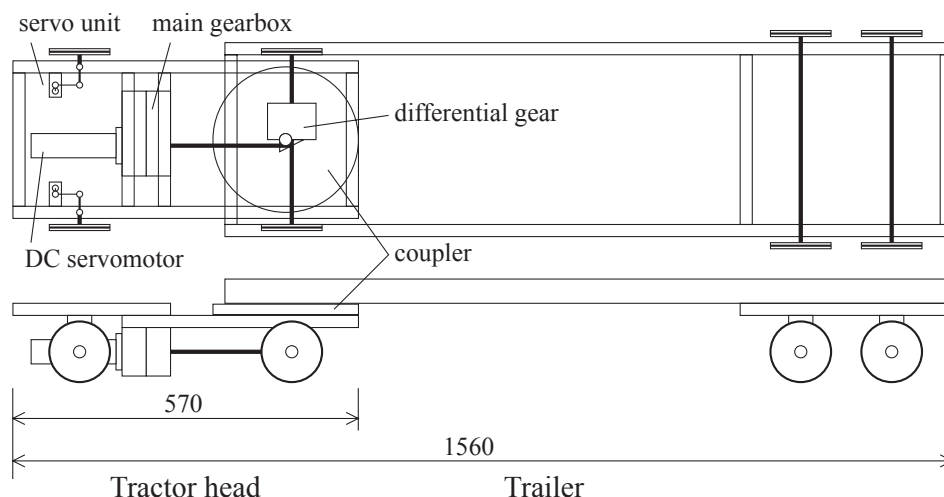


Fig. 2 トレーラロボットの機構概略図 (約 1/12.5).

の時点で車輪が過拘束であり、いずれかの車輪に必ず滑りが生じる。また、操舵角が小さい状態での走行が多く、誤差の影響も大きかった。そのため、特に曲線上を走行させた場合に、走行経路に十分視認できるほど誤差が生じる。

この走行誤差を低減させるためにレーザレンジファインダ(LRF)による補正を検討した。本ロボット以前に、独立2輪駆動型のロボットにLRFを搭載してマップマッチングとSLAMの実験を行っている。その際明らかになった問題点として、建物内のような人工環境においては、(1)平坦な壁が続く場合には通路進行方向の特徴がないため、適切に一致できない(小さな障害物をきっかけに誤認する)、(2)柱のような繰り返し現れる障害物があれば特徴一致は可能ながら、隣接地形の誤認の可能性がある、(3)障害等により自己位置を一度見失うと、適切な位置にマッチングできない。この(3)の問題の解決には友納の提案する地形特徴を圧縮したシグネチャによる検索⁴⁾がある程度有効であったが、(1)のような場合は進行方向の前後が定まらず(並行直線が平行直線に一致する場合は無数)、(2)の場合も別の特徴にフィットすることが多かった。

このような状況では、明示的に位置情報のヒントをロボットに提供すれば位置を特定しやすくなる。

マーカ等を用いた方法は多数提案されているが、本研究でも2種類のマーカのセットを採用した。一つはマーカのIDを特定するためのカラーマーカであり、色情報の分析によってマーカを環境中から抽出し、マーカの固有番号を検出する。もう一つはカラーマーカとセットになった角度認識マーカである。円や楕円、その他幾何学的図形を用いた姿勢検出の方法もまた多数提案されているが、本研究では見た角度によってリニアに模様に変化するマーカを採用した。単純な構造で、比較的高分解能に検出できる。

本論文では、まず、制御対象となるトレーラロボットの概要とモデル化、制御について述べる。続いて、LRF、カメラ画像によるマーカ検出を融合した自己位置推定の強化手法について述べる。

2. トレーラロボットの概要

本研究の対象はセミトレーラ型車両である。すでに、ロボット本体の制御については発表済みであるが⁵⁾、本研究に関連する部分について改めて記述する。

2.1 トレーラのモデル

トレーラには主にフルトレーラとセミトレーラがあり、牽引する車両にも荷物の積載能力があるか否か等の点で異なる。国内の物流で主に見られる、ほぼ運転台だけの全長が短い車両の後部に乗せる形で、長い車両を牽引しているものがセミトレーラである。

牽引する車両はトラクタヘッド(もしくはトレーラヘッド, 以下, ヘッドとする)と呼ばれ, 車両後部にカブラと呼ばれる着脱可能な回転ジョイントを持つ。ここで牽引される側であるトレーラ(以下, 単にトレーラと称した場合はこの部分のみ)を連結して牽引するとともに, トレーラの荷重の一部も支える。トレーラはヘッドに比べて長い車台の後部にのみ車輪を持つ。前部はトラクタのカブラに乗せることで支持する。実車では, 積載物に応じて, 軸数が1~3軸あり, また積載時の重心などを考慮した位置に車軸が配置されていると考えられる。

以上のようなセミトレーラを2段階にモデル化した。

- 1) ヘッドは, 一般的な4輪の車両と同等と見なし, 後輪を駆動輪, 前輪が操舵輪である。旋回中心は後輪車軸の延長線上に存在すると見なし, 左右前輪の車軸は各々旋回中心の方向を向くように操作する。自己位置推定などで用いるロボットの原点は後輪の中間とする。
- 2) セミトレーラ全体をFig.3に示す等価2輪モデルでモデル化する。カブラ直下のヘッド後輪を操舵兼駆動輪と見なし, トレーラ後部の車輪を従動の後輪とする。これにより, 通常車両と同等なモデルとする。ただし, 前輪舵角の直接操作はできず, 間接的に操作する。

従来の解析⁶⁾や研究では, 主に車両全体を一括したモデルをワールド座標系で解析し, 高度な制

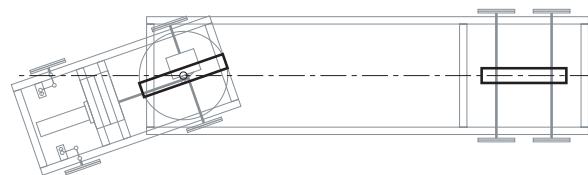


Fig. 3 セミトレーラの2輪モデル。

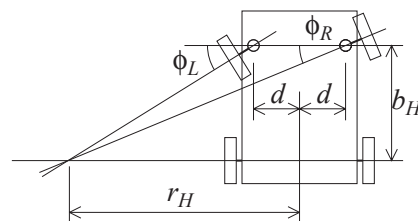


Fig. 4 トラクタヘッドの運動学モデル。

御を行っている。一方本研究では, 直接操縦による運転の支援も考慮し, 全体の挙動をヘッド単体と類似した形で表現することとした。

2.1.1 ヘッドのモデル

ヘッドのモデル図をFig.4に示す。ヘッドの原点は後輪の midpoint であり, これが半径 r_H (曲率 $c_H = 1/r_H$) で旋回する場合, 左右操舵輪(前輪)の車軸も旋回中心を通る必要があり, 以下の式を得る。

$$\begin{aligned}\phi_L &= \tan^{-1}(b_H/(r_H - d)) \\ \phi_R &= \tan^{-1}(b_H/(r_H + d))\end{aligned}\quad (1)$$

ここで, ϕ_L, ϕ_R は左右前輪の舵角, b_H はホイールベース, $2d$ は前輪の支持軸の取り付け間隔である。

車両の走行制御を行う際は, 曲率 c_H を操作量として入力し, ϕ_L, ϕ_R を算出して車両への指令値とする。

2.1.2 全体のモデル

セミトレーラ全体は前述のように等価2輪モデルとする。本ロボットでは, 全体での操作量として, 軌道の曲率を決定する, カブラの連結角度を採用した。

まず, 2輪運動学モデルをFig.5に示す。カブラ

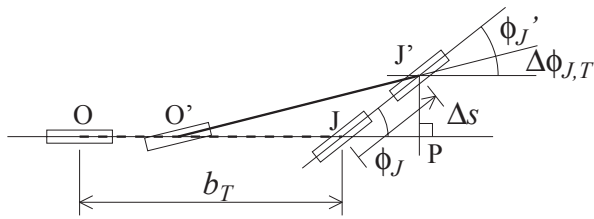


Fig. 5 セミトレーラ全体の運動学モデル .

連結角度 ϕ_J の状態、 $O-J$ から、前輪(ヘッド後輪にあたる)が微小距離 Δs だけ前進して、 $O'-J'$ となったとし、連結角度は $\phi_{J'}$ に変化したとする。このときの変化量 $\Delta\phi_{J,T}$ は図より $\angle JO'J'$ と等しい。ここで、 Δs が微小であるため、 \overline{OP} は、カブラから後輪までの長さ b_T と近似、また、 $\Delta\phi_{J,T}$ も微小であるため、

$$\Delta\phi_{J,T} = \tan^{-1}(\Delta s \sin \phi_J / b_T) \simeq \Delta s \sin \phi_J / b_T \quad (2)$$

を得る。ヘッドが単に直線前進する場合、 Δs 前進することで $\Delta\phi_{J,T}$ だけ連結角度が減少することを意味し、前進を続ければ連結角度は0に近づく(定性的に当然の現象)。逆に、 Δs 後退した場合は $\Delta\phi_{J,T}$ だけ増加することになる。これは、上式より $\sin \phi_J$ に比例し、 $\phi_J = 0$ でなければ、加速的に増加することを意味する。これが、牽引車の運転を困難にする現象の一つといえる。

さて、連結角度は上記の前後進に伴う変化とともに、ヘッド自体の方向変化によっても変わる。ヘッドが曲率 c_H で Δs 進行する間に、方向は $c_H \Delta s$ 変化する。以上をあわせると、 Δs の進行中に、カブラ角度 ϕ_J は

$$\Delta\phi_J = c_H \Delta s - \Delta s \sin \phi_J / b_T \quad (3)$$

変化する。逆に、連結角度を意図した角度に操作する場合は、

$$c_H = \frac{\Delta\phi_J}{\Delta s} + \frac{\sin \phi_J}{b_T} \quad (4)$$

によってヘッドの曲率を決定すればよい。

2.2 ロボットのハードウェア

本研究の最終的な目的は実機による実用的技術試験であり、ロボットは可能な限り実車と類似の構造(Fig. 2)とした。

2.2.1 ヘッドの機構

実車をモデルとしたため、典型的な移動ロボットとは異なり、大出力のモータ1個で駆動し、動力を左右駆動輪に分配する形とし、小型のモータで操舵輪を駆動することとした。また、全体的に規格品のアルミフレーム材で車台をつくり、各部を固定して組み立てることで、拡張性を高めている。

駆動には110[W]の直流DCサーボモータ(山洋電気(株)製T511型)1個のみを使用した。後輪軸にはディファレンシャルギアを装備し、回転時の両輪の回転数の差を解消した。なお、減速は回生ブレーキによる。

前輪はベアリングで支持された従動車輪の方向を操作する操舵輪である。駆動には近藤科学(株)製サーボモータKRS-2350HVを使用し、左右前輪を独立に制御するものとした。

カブラ部はスムーズな回転を可能とするとともに、トレーラの相応の鉛直荷重も支持する必要がある。さらに連結角度を計測する必要がある。そこで、簡易的なスラストベアリングとして機能する市販のテレビの回転台(メーカー不詳、(株)大創産業で販売)を採用し、内部空間を利用して光学式の2相エンコーダを開発し、組み込んだ。4 逓倍による分解能は0.15 [deg]であり、制御で使用する。

2.2.2 ヘッドの電装系

ヘッドには、モータ駆動回路およびモータ制御マイコン(ルネサス(株)製H8/3052)を搭載した。制御マイコンはモータ類の制御を行うとともに、上位の制御PCとシリアル通信し、現在値および指令

値の送受を行う。

電源は定格12[V], 5[Ah]の鉛蓄電池を4本直列した約50[V]を用い, 制御系および走行に用いている。モータの制御は電流と速度の2重のフィードバック制御とし, 上位PCの指示で走行する。操舵角は上位PCの指示を元にラジコンサーボの指令パルスを生成する。カブラのエンコーダについては, 回転も遅いため, ソフトウェアで計数を行っている。

2.2.3 トレーラ

トレーラはアルミフレームで組み立てた車台に, 後輪のモジュールおよびカブラとの連結ピンを取り付けたのみの構造である。後輪はホイールにベアリングを埋め込み, 固定の車軸に対して自由に回転するものとした。ヘッド同様に, 車輪にブレーキはない。

後輪が1軸であれば拘束に問題はないが, 本ロボットでは実車でもよく見られる2軸とした。そのため, 後輪を完全に接地させた状態での直進性は高く, 大きな荷重を後輪にかけた状態で, 後輪中央を中心に無理に旋回させようとした際には, ホイールからタイヤ相当のリングが摩擦に耐えずにはずれるほどである。走行時には, 軸重に応じて滑りが発生することになる。

2.3 制御方法

制御は, 車載のマイコンと, 上位制御を行うPCによった。マイコンは前述のようにリアルタイム性を要する制御を行い, センサ情報をPCに送信する。PCはあらかじめ設定した軌道やトレーラのモデルをもとに, 主に左右前輪の舵角を算出し, 指令する。

まず, ヘッドについては, 上位制御から要求される曲率をもとに, 左右の舵角を算出した。ヘッド単体で制御する場合, 車両位置(制御すべき基準

点)を後輪の中央とした。

セミトレーラとしての制御では, 車両位置をトレーラの後輪の中心とした。自己位置推定の演算はヘッド側で行っており, これとカブラ角度とトレーラ長より演算で求めた。セミトレーラにおいては, 舵角は直接操作できず, (4)によってヘッド曲率を決定した。

セミトレーラの曲率指示は, (1)あらかじめ指定した経路に追従するよう算出, (2)ゲームコントローラによる運転者の手動指令等で決定した。

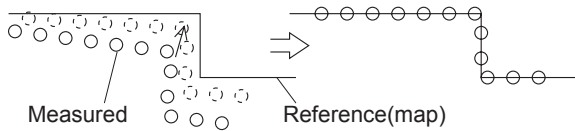
2.4 動作実験および検討

以上のロボットの制御実験を行った。現段階では, セミトレーラに対して主に定性的な評価を行っている(軸重や路面などの条件で再現性が低いため, 定量的な評価は困難である)。

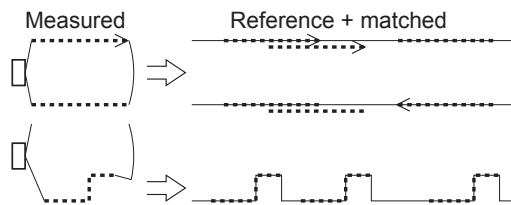
まず, 手動による後退操作で, 今回の制御による操作性の向上を確認した。ヘッドを直接操作する方法では, 牽引車両経験者ならば安定した直進後退や直角車庫入れ後退が可能であるが, 未経験者ではきわめて困難であった。これに対して, セミトレーラの曲率制御を加えたあとは操作性が著しく向上した。ただし, 曲率を決定するカブラ角度がヘッドの動きで間接的に操作されるため, 即応性が低く, 操作に多少の難点があった。

ついで, 指定軌道への追従実験を行った。数値上の追従は可能であったが, 実機の運動を観測したところでは, 走行距離の誤差は5[%]もない一方で, 進行方位には最大で10[deg]ほどの誤差が生じる場合があった。

なお, 車両の性能としては, 50[kg]の人間を荷台に乗せた状態で1250[mm/s]程度の走行が可能であり, 電流増のために速度は落ちるが, 最大で100[kg]程度まで確認している。電源電圧を75[V]まで上昇させることで1500[mm/s]までの動作を確認している。



(a) 参照データと計測データの反復計算による一致



(b) 典型的なマッチングミス例

Fig. 6 ICPの概念．参照データと計測データを反復計算により一致させるが，平行な壁の通路では逆方向も含め無数に，繰り返しのある地形では複数の候補ができる．

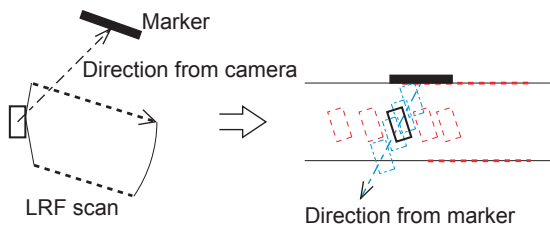


Fig. 7 ICPと画像マーカを併用する．マーカにより車両が直線上に拘束され，ICPにより壁面との関係が拘束される．

3. ICPとマーカによる自己位置推定補正

前述の通り，車輪の滑りなどにより，車輪の回転と操舵角から推定した自己位置は誤差を含んだ．距離の誤差に比較して，方位の誤差はその後の位置誤差も累積するため，影響が大きく，補正しなければ長距離の自律運転は不可能である．実車では避けられない問題であり，本ロボットでも敢えて過拘束となるようにトレーラ後輪を2軸に設計した．

屋外ではGPSや道路形状とのマッチングを検討すべきであるが，本研究は屋内ロボット(主に工場内搬送などを想定)による研究であり，補正のためにLRFによる環境地形の取得と，ICPによるマッチ

ングを採用することとした．

ICP(Iterative Closest Point)法⁷⁾は，LRF等によって得られたスキャンデータと，既知の形状データ(点，線分，面のセットなどの地図情報など)とを照合し，一致度が高くなるようなスキャンデータの座標変換パラメータを反復計算によって求める手法である(Fig. 6(a))．概念的には，地図と，スキャンデータを記載した紙を重ね，一致するように紙をずらしていく操作である．

この方法は正しい位置の近傍では局所的には良い一致が得られるが，(1)広大な地図に対して未知のスキャンデータを一致させることは不可能，(2)あくまで特徴の一致を評価するため，平行な壁が続くような場所では無数の一致候補が存在する上に180度逆方向の一致もあり得る，(3)建物内の柱や部屋の入り口など繰り返しの多い地形では，複数の一致候補がある，という弱点がある(Fig. 6(b))．そのため，既知の場所から順次たどれば問題ないが，見失った場合や初期状態で現在位置の確認ができない．この解決として友納は⁴⁾特徴を圧縮したシグネチャから候補を検索する手法を提案している．この手法の実装したところ，上記(2)および(3)の問題については，やはり完全な解決は難しいことが確認された．廊下の突き当たりのような追加情報があればよいが，さもなければ特定し得ないことは当然である．

そこで，次節に述べる画像によるマーカ検出と併用することを検討した．このマーカは，画像解析によって，その姿勢角度がわかるようにしたものである．逆に，現在ロボットが壁面等に取り付けたマーカからどの方位にいるかを特定できる．ロボット側からも，どの方向にマーカが見えているかが確認できるため，マーカが確認できれば，ロボットはある直線上に，ある姿勢で存在することが特定できる．マーカまでの距離はマーカの大きさ等からある程度検出できるが，望遠で視認する場合などは誤差が大きくなるため，信頼性は低い．



Fig. 8 角度認識マーカ

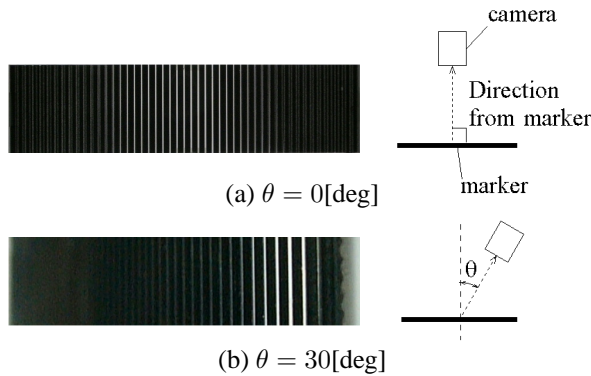


Fig. 9 視点方向による明位置の変化

このマーカとICPを組み合わせることで、Fig. 7に示すように位置特定を行うのが、本手法の考えである。ICPの弱点である広域的な位置決めをマーカによって補い、マーカのもつ画像処理の誤差はICPの正確さで補う。

以上の手法を可能とするマーカと画像処理について、次節に詳述する。

4. 認識マーカの原理と画像処理

本節では、前節の位置特定を実現するためのマーカとその処理法について述べる。本研究では、角度認識マーカとカラー認識マーカと呼ぶ二種類のマーカを使用する。

4.1 角度認識マーカの原理

角度認識マーカ(以下、角度マーカ)とは、観測方向により見た目が変化するように工夫したもので、その変化から方向を認識することを目的としたマーカである(Fig. 8)。このマーカは、明部(光が透過すると、暗部(遮光する)の縞模様をもつ2枚のシートから成る。いずれも等幅の暗部を配列して構成しており、1枚目は幅が常に一定である明部によ

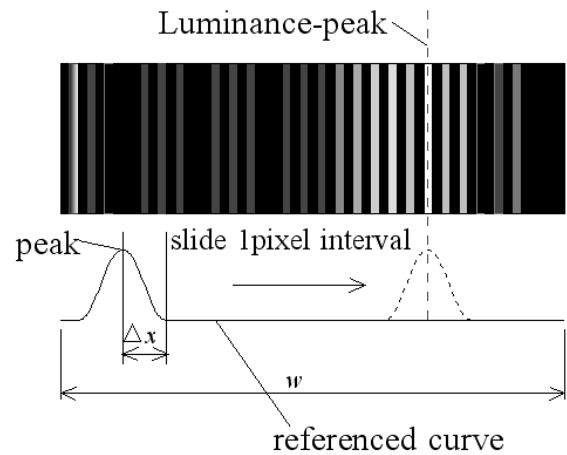


Fig. 10 ピーク位置の検出法。参照波形を1ピクセルずつ移動させ、参照波形のピークと最も相関係数が高くなる位置がピーク位置である。

り縞を構成するパターン(パターンA)、2枚目は中心から遠ざかるにつれて明部の幅が大きくなるパターン(パターンB)をもつ。これら2枚を特定の間隔で重ね合わせることで構成する。両者の明部の間隔が異なるため、中央付近では明部同士が重なるが、両端に近づくにつれて次第に重なる幅が小さくなり、やがて完全に暗部と重なる。このため、このマーカを垂直方向から見た場合、明部同士が重なる範囲が大きい中央付近ほど明るく見える(Fig. 9(a))。一方、異なる方向から見た場合、明部同士が重なる幅が大きい位置は、視点方向の角度に依存して変移する(Fig. 9(b))。よって、最も明るく見える箇所(以下、ピーク位置)の中央付近からの変位量を測定することにより大まかな方向を特定することが可能となる。なお、マーカの測定角 θ とピーク位置の変位率との関係が直線的になるようにパターンを設計した。

4.2 角度マーカの認識

角度マーカのピーク位置の検出は、Fig. 10に示すように、マーカの両端間の範囲内の高さ中央位置における輝度分布値と、Fig. 10に示すようなピーク値をもつ参照波形との正規化相関により求めた。こ

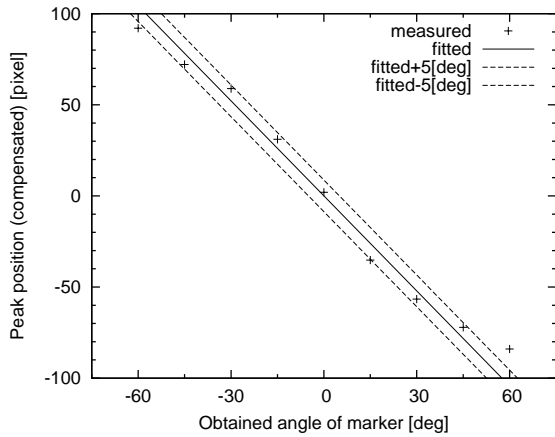


Fig. 11 実験結果による角度マーカ方向とピーク位置偏差の関係図

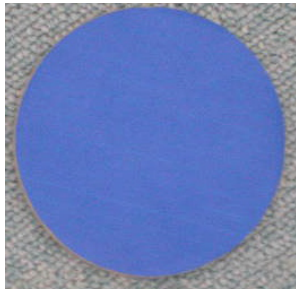


Fig. 12 カラーマーカ

のとき最も相関値が高くなる位置が明るさのピーク位置とする。また、マーカは傾いている場合($\theta \neq 0$)、画像内では角度マーカの形状が台形状に変化して見え、マーカ幅が減少するため、測定変位量も小さくなる。このため、画像内のマーカ幅と実際のマーカ幅の変化比で測定変位量を補正する。

これらを踏まえ、両者の線形関係を得るため、実験を行った。実験は、 $-60 \sim 60[\text{deg}]$ の範囲において $15[\text{deg}]$ 刻みで角度を変えて撮影し、それぞれにおけるピーク位置の変位量を測定した。なお、変位方向の正負と撮影角度の正負の関係の定義は任意であるが、本研究では、負の変位量を得る方向を正の撮影方向とした。

実験の結果、Fig. 11に表される関係を得た。図中 '+' は測定点を、実線は近似直線を示す。これより、変位の検出のばらつきはほぼ角度 $5[\text{deg}]$ 相当以内に収まることが確認できた。

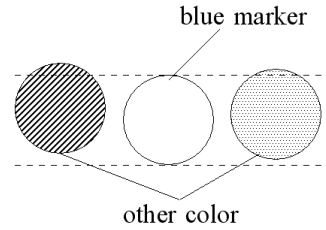


Fig. 13 カラーマーカの配置例. 3つのマーカの位置は厳密に直線関係が無くても良いが、水平方向に一部が重なることが条件である。

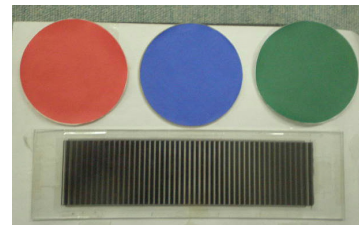


Fig. 14 カラーマーカと角度マーカの配置例

4.3 カラーマーカの導入

前述したように、複数の角度マーカを特定するために多色のマーカ(以下、カラーマーカ)(Fig. 12)を併用する。カラーマーカは、特定色を持つ直径約 $85[\text{mm}]$ の円形のマーカである。数色の組み合わせを認識することにより、マーカ以外の類似色の物体との区別が可能である。また配色パターンをID化することで、複数のマーカを区別できる。本研究では、6色のマーカを製作した、ただし中央のマーカ色として必ず青を使用し、任意の2色を左右に組み合わせた3色を1組として、この3色を(Fig. 13)に示すようにを横に直線的に配置する。これは、実験的に青が最も検出が容易であったためである。中央が青でその左右を他色とするパターンが検出できれば、カラーマーカである可能性が高い。

また、カラーマーカと角度マーカ幾何学的に固定して配置する(Fig. 14)。これにより、位置関係は画像内においても保持されるため、カラーマーカの大きさや位置の比をとることにより、画像内の角度マーカの位置や大きさが推測可能である。

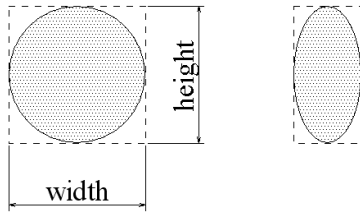


Fig. 15 カラーマーカの形状条件．カメラ方向により図のような円形もしくは縦長の楕円形に観測されるため，図のような領域とみなす事ができる．

4.4 カメラ画像の処理

カメラから得られた画像は，カラーマーカ各基準RGB値の二値化により，カラーマーカの候補領域を抽出した．ただし，この処理のみではマーカ以外の類似色の領域も含まれている可能性が高いため，マーカの候補判別を行う必要がある．

まず，二値化で抽出された連続領域を内包する矩形を設定する(Fig. 15)．カラーマーカが円形のため，この矩形は正方形もしくは縦方向に長い長方形となる．極端に小さい領域は除外し，また，明らかに横方向に長い長方形として認識される場合も除外する．これは，マーカはロボットから見てほぼ水平方向にのみ配置することを想定したためであり，斜め上下方向から見たような，横長の楕円形に見える可能性は低いと考えられるからである．

このようにして得られた候補のうち，左右に他の2色のカラーマーカ候補がある青色マーカに着目し，他2色との直線的な配置関係が確認できれば，それらはカラーマーカとして決定できる．しかし，角度マーカの認識が前提であり，実際に画像から角度マーカ認識を行うためにはある一定以上の大きさが必要である．そのため，本研究では画像解像度 640×480 [pixel]に対して，カラーマーカの縦方向の大きさが最低でも 60 [pixel]程度あることを条件とした．これらの条件を満たすカラーマーカを最終的に取り扱うものとする．

カラーマーカ決定後，角度マーカの認識を行う．

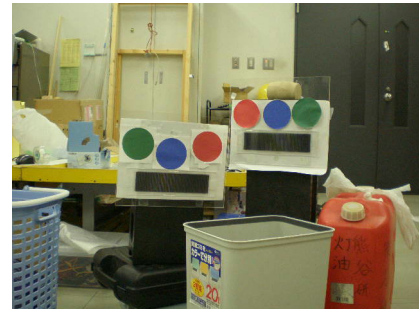


Fig. 16 実験環境

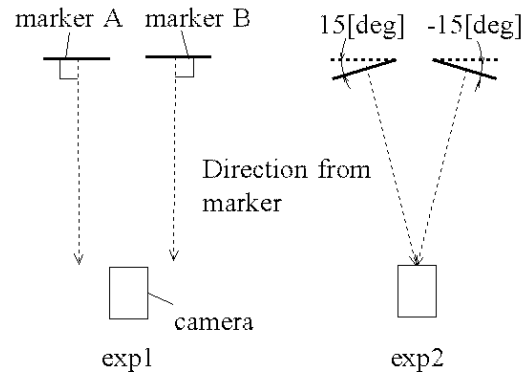


Fig. 17 実験条件

前述した通り，画像内の角度マーカの大きさや位置はカラーマーカから推測できるため，カラーマーカ決定により認識が可能となり，マーカからみたカメラの方向をおよそ特定できる．

5. 認識実験

前節で述べたマーカ認識手法で正しく認識できることを確認するため，実画像による認識実験を行った．カメラは26万画素NTSCカラーカメラを使用し，ビデオキャプチャカードを使用して，Linux2.6 PC上で動作する処理ソフトに取り込んだ．

5.1 実験条件および結果

実験環境をFig. 16，実験条件をFig. 17に示す．この実験では，青，赤，緑の3色のカラーマーカを用いた，左から緑・青・赤の順に配色したマーカAと，赤と緑の位置を入れ替えたマーカBを設定し，

Table 1 マーカ認識実験結果(exp1)

マーカ	A	B
カラーID認識結果	201	102
カラーID誤認識回数	0	0
角度誤差平均 [deg]	1.2	2.0
角度誤差上限 [deg]	1.8	2.4
角度誤差下限 [deg]	0.6	1.2

Table 2 マーカ認識実験結果(exp2)

マーカ	A	B
カラーID認識結果	201	102
カラーID誤認識回数	0	0
角度誤差平均 [deg]	-4.1	1.8
角度誤差上限 [deg]	-4.9	2.5
角度誤差下限 [deg]	-3.6	1.0

カメラの位置を中心軸として対称になるように配置した。

まず、2つのマーカをカメラ方向に対して垂直となるように配置し(Fig.17,exp1)、次に、マーカAをおおよそ+15[deg]、マーカBを-15[deg]の方向になるように傾けて配置し(Fig.17,exp2)、それぞれ10回ずつ認識実験を行った。

この実験結果をTable.1及びTable.2に示す。この結果から、2つの条件において、カラーIDが識別され、方向角度も小さな誤差で得られていることが確認できた。これにより同色の組み合わせにおいてもIDによる配色の区別が可能であることと、配置位置による方向認識ができ、また同時に、煩雑とした室内で実験を行うことで、カラーマーカ以外に類似色の物体が存在する環境においても、認識可能であることが確認できた。

6. おわりに

認識実験の結果から、マーカ認識による位置特定の有効性が確認された。これにより、ICPとの併用による自己位置推定法は、トレーラロボットの自律運転において有効であると期待できる。今後

の課題として、マーカの認識精度の向上のため、実験環境によるマーカへの影響の低減(周囲の光量による色の微妙な変化、マーカへの他物体の映り込みなど)の検討が必要である。

最後に、ロボットの各部品の製作では東北学院大学工学部機械工場の方々の協力を得ていることをここに記し、謝意を表したい。

参考文献

- 1) Michiyo NAKAMURA, Shin'ichi YUTA: "TRAJECTORY CONTROL OF TRAILER TYPE MOBILE ROBOTS", Proc. of IROS 1993, pp. 2257-2263, 1993.
- 2) IEEE Xplore にて, "trailer"を検索.
- 3) 中村仁彦, 江崎秀明, 鄭宇眞: "非ホロノミック・トレーラシステムの操舵機構設計と制御", 日本ロボット学会誌, 17, 6, pp.839-847, 1999.
- 4) 友納正裕: "スキャンマッチングによる移動ロボットのマップ構築と大域的自己位置推定", 第9回ロボティクス・シンポジア, 2004.3.18
- 5) 熊谷正朗, 安部慶彦: "セミトレーラ型実験用ロボットの開発", 第25回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3K24, 2007.
- 6) 高野政晴: "車輪移動機構のABC(第3回)運動学", 日本ロボット学会誌, 13, 3, pp.355-360, 1995.
- 7) Paul J. Besl, and Neil D. McKay: "A Method for Registration of 3-d Shapes", IEEE trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.14, No.2, 1992