

環境変動に対応した移動システムの開発

電子情報科 主任研究員	堀江 貴雄
電子情報科 科 長	指方 顕
協和機電工業株式会社 事業開発部電子技術プロジェクト グループ長	酒井 寿美雄
マックスコーポレーション株式会社 システム技術開発部	小西 準哉
株式会社九州テン 事業推進課	池田 廣一
九州工業大学情報工学部機械情報工学科 准 教授	田中 和明

無人搬送技術は生産現場を中心に広く普及しているが、これらの多くはレールの敷設など大掛かりなインフラ整備を必要としている。これら従来型の搬送技術は大量生産を目的とする大規模工場で使われてきたが、県内の中小規模工場では多品種少量生産型の事業が多いことから生産ラインが頻繁に変更されるため、導入が困難であった。そこで本研究ではレール敷設など大掛かりなインフラ整備を必要とせず、各種センサを複合的に用いて、周辺の人間を高速に認識し、衝突を回避しつつ移動する自律移動システムを開発する。平成23年度は、平成22年度までに試作した小型搬送車要素技術を継承し、非接触充電モジュールの導入と、自動充電制御について試作した。また無人搬送車の事業化を推進するため、無人搬送車の各部をモジュール化し、駆動部の低コスト化に取り組んだ結果、モジュール型の無人搬送車を製品化した。

1. 緒言

無人搬送車(AGV)は生産現場を中心として広く普及している。一般にレール軌道を敷設し、その上を走行させる方式、ガイド用のマグネットを床面に貼りつけ、センサで読み取り追従させる方式等が広く使われてきた。また適用される現場は主に大量生産を行なう大規模工場であり、専用走行レーンの特定の経路を往復する、または周回することが基本であった。

一方、県内中小工場や倉庫などの現場は多品種少量生産が多く、頻繁に生産ラインレイアウトが変更される。またスペース上の制約から専用の走行レーンを設置することは困難である。

海外の開発例として、2004年から米国国防高等研究計画局(DARPA)による無人自動車レースが開催され、2007年には市街地を模擬したコースを、GPS、レーザーレンジファインダ、ステレオビデオカメラ等のセンサ情報をワークステーションでリアルタイム処理し、信号などの交通法規と他車両を自律回避しながら走行する移動ロボットが実現されている。日本国内においては、2007年から自律ロボットによる屋外走行競技であるつくばチャレンジが毎年開催されている。この競技ではロボットにGPS、レーザーレンジファインダ、カメラ等の各種センサを搭載し、観客を含めた周辺環境に一切手を加えず自律移動させることを目標としており、実際の公園内道路を自律移動するなどの成果を挙げている^{[1][2]}。

そこで本研究ではこれら近年注目されているロボット技術を導入した中小規模工場向け自律移動システムを開発する。工場内での車両位置センサとして、レーザー式ポジショニングセンサ、障害物検出用としてレーザーレンジファインダを利用し、これらの情報を複合的に用いることで、目標地点へ、途中の障害物を回避しつつ移動するシステムを開発する。

最終年度である平成23年度は平成22年度に試作した小型牽引式搬送車と充電ステーションをベースに非接触充電モジュールを導入し、自動充電制御を可能としたので報告する。

2. 牽引式ガイドレス無人搬送車

試作した牽引式ガイドレス無人搬送車を図1に示す。また諸元を表1に示す。

低コスト化の為、障害物検出用のレーザーレンジファインダ(LRF)を前方1基のみとした。レーザーレンジファインダから照射されるレーザーを遮らないよう、車体一部を凹ませる設計としている。後部には牽引フックを取り付けており、自動的に着脱可能な自動牽引フックを搭載できるスペースを確保している。無人搬送車寸法は、通常の事務所等のドアを通過できるように、横幅を500mm、長さを650mm、高さを1885mmとし、ほぼ人と同等サイズに小型化した。また廊下走行中の凹凸や事務所内への出入りにおいて、床のドア枠等を乗り越えたときの安定性確保の為、前

輪キャスターは緩衝機能内蔵としている。

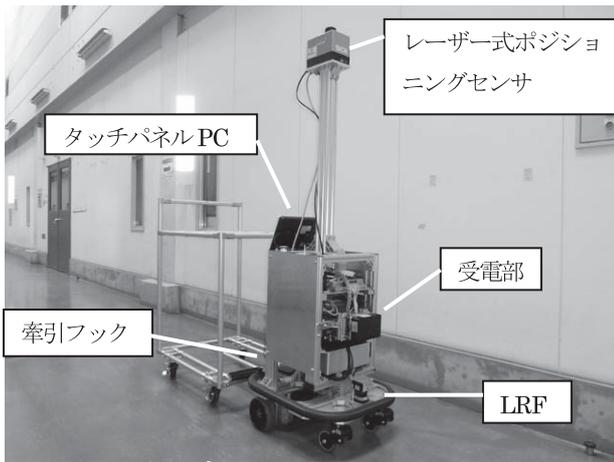


図1 牽引式ガイドレス無人搬送車

表1 牽引式ガイドレス無人搬送車諸元

車両寸法	650(L)×500(W)×1885(H)mm
牽引重量	200kg
位置センサ	レーザー式ポジショニングセンサ
障害物検出	レーザーレンジファインダ
操作方式	タッチパネル
制御装置	産業用ファンレス PC Intel Core 2 Duo 2.0GHz、耐衝撃 20G
OS	WindowsXP embedded
電源	リチウムポリマー電池 24V 1.2kwh
充電方式	充電ステーションからの自動充電
駆動方式	サーボモータ左右2軸差動方式

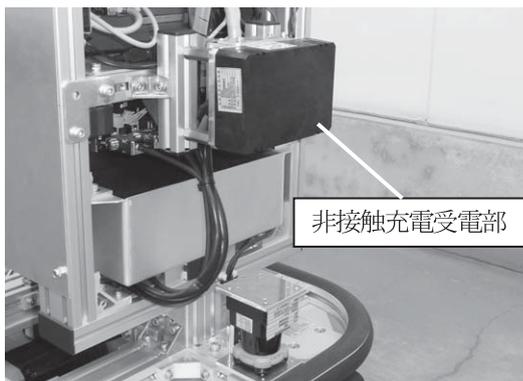


図2 非接触充電受電部

長時間連続運用に対応するため、自動充電システムに非接触充電モジュールを採用し、車両前方に受電モジュールを搭載した。充電ステーション給電部の100mm以内に接近することで非接触充電が可能である。

無人搬送車のインターフェースには作業者が容易に操

作可能なように、タッチパネルディスプレイを採用した(図3)。制御ソフトウェアはC#言語を用いて作成した。

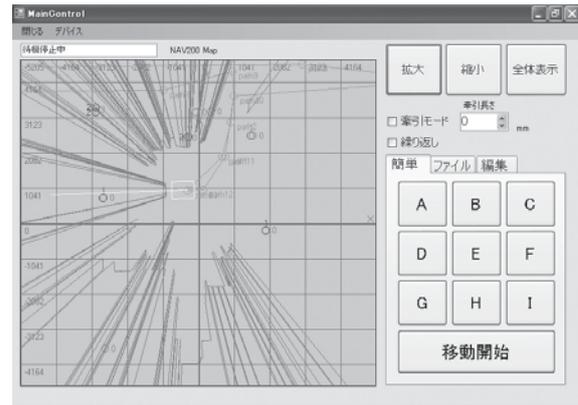


図3 操作インターフェース

画面中央にマップが表示される。表示内容はAGV車両位置、位置センサ用リフレクタ位置、走行経路、無人搬送車搭載のレーザーレンジファインダデータ(障害物形状)である。通常運用ではあらかじめプリセットされた経路から任意の経路を選択し、走行開始ボタンを入力するのみで足りる。システムは自動的に障害物を回避し、指定座標まで移動を行う。

本システムを運用するにはまず経路設定を行う。経路作成には編集モードを用いる(図4)。

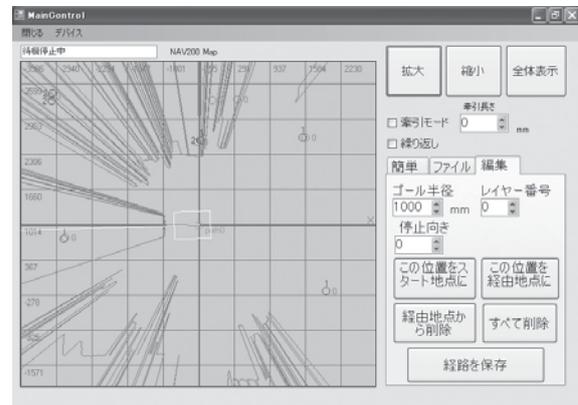


図4 編集モード

画面右下の編集モードを選択すると、編集用の各操作ボタンが表示される。新たな経路ポイントを入力するには、マップ上の任意地点を選択後、経路地点登録ボタンを押すとその座標が追加される。経路の編集後、ファイル保存ボタンを入力し、ファイル名(例:A.path)を付け保存を行う。経路の呼び出しは、2通りあり通常は「A.path」～「I.path」のように、ファイル名先頭にAからIのアルファベットを付けた経路ファイルが通常画面(図3)の「A」～「I」ボタンに割りつけられており、それを押すのみで簡単に経路設定をすることが可

能である。またはファイル呼び出し画面から任意の経路ファイルを読み出すことも可能である。

各種センサの管理は左上の「デバイス」ボタンから選択可能となっている。駆動用モータ管理画面では左右モータの回転速度状態、バッテリー電圧、バッテリー残量を確認可能である(図5)。また障害物回避用レーザーレンジファインダセンサデータの管理画面ではセンサのデータ読み込み状況を確認可能となっている(図6)。

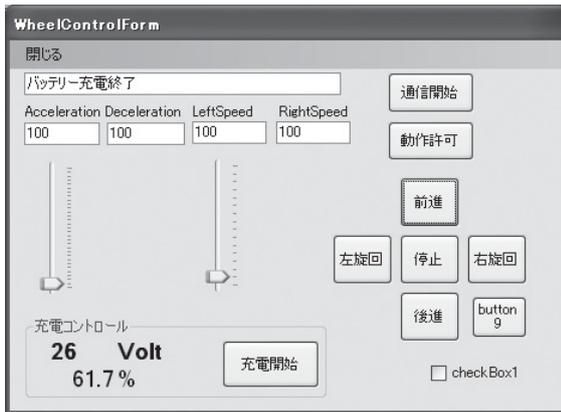


図5 駆動モータ管理画面



図6 レーザーレンジファインダセンサ管理画面

3. 制御方法

3.1 絶対位置検出

レーザーレンジファインダセンサの水平方向の環境形状データを、画像データとしてあらかじめ記録しておき、計測したデータと照合することでセンサの位置、姿勢を計算する手法が提案されている^[3]。環境に手を加えず位置測定することからインフラ整備を必要としないメリットがある。

本研究では画像変換を行わず、測定データ形式のまま照合計算を行なうプログラムを試作し、30mm以下の測定精度、10Hzの更新周期をもつ位置検出プログラムを試作した。しかしながら、一般工場等では作

業者が多数存在することで取得データが大幅に変化し、照合が困難になると考えられる。特徴点を設定し、そのデータのみを照合することが考えられるが、形状データのみで特徴点を決定することは実環境では普遍性が低い。そこで本研究では無人搬送車用に市販されているレーザー式ポジショニングセンサを用いた。このセンサは反射強度を特徴点の基準として扱うことでロバストな位置検出を実現しているセンサである。上部にあるレーザー受発信部を回転させることで、360度半径30mにあるリフレクタを検出することができる。使用するリフレクタとしてはレーザー入射方向へ反射させることができる再帰反射性をもつリフレクタを使用する。

あらかじめ、壁や柱などにリフレクタを3枚以上貼り付け、その貼付パターンを一度センサで検出し、センサ内ROMに書き込んでおく。このリフレクタ配置パターンをレイヤと呼び、センサ内に最大40レイヤ登録可能である。RS232Cで車両制御用コンピュータと接続し、位置検出用コマンドを送信するとその時点でのリフレクタパターンを検出し、内蔵DSPでレイヤパターンと照合することで、現在座標、角度を取得することが可能である。

表2 ポジショニングセンサコマンドの例

	フォーマット	例
車両 PC →センサ	レイヤ番号、X 速度 (mm/sec)、Y 速度 (mm/sec)、角速度 (deg/sec)	0,200,200,30
センサ→ 車両 PC	X 座標(mm)、Y 座標 (mm)、角度(deg)、測定品質(0~100%)、位置算出に使用されたリフレクタ数	4500,1000,60,85,6

このセンサは、リフレクタの検出状態、センサの急激な回転、移動が起きると、まれに検出エラーや、誤出力が発生する。そこで本システムでは前回正常測定時の座標を元に駆動輪回転速度を用いて予測座標を算出し、センサ出力が閾値を超えた場合、予測値で補間する処理を行なっている。

3.2 走行経路データ

移動システムをスタート地点からゴール地点まで走行させるため、経路を制御コンピュータに与える必要

がある。本システムでは、レイヤ番号、絶対位置座標、姿勢角度、到達判定半径をメンバにもつデータ型を定義し、これらをつなぎ合わせて経路パスを生成し、管理することとした。到達判定経路は目標パスへの誘導精度を示している。半径が大きければ走行軌跡はおおまかに、半径が小さければより正確に目標経路を実現する。

車両と目標経路の距離に応じて速度を制御しており、すべての経路で判定半径を小さく設定していると、厳密な位置制御のため、走行速度が著しく低下する。よって、ゴール地点の判定半径は小さくし、途中の経路パスは大きく判定半径を設定することで、適度な走行軌跡精度を実現しつつ、目標座標への正確な誘導が可能となった。

3.3 障害物回避

レーザーレンジファインダによって車両周囲360度半径およそ30m高さ110mmの範囲にある障害物を検出可能である。障害物回避アルゴリズムの開発例として、大島が自律走行ロボットの技術大会である「つくばチャレンジ2007」で完走を果たした移動ロボットに実装したアルゴリズムを参考とした^[1]。

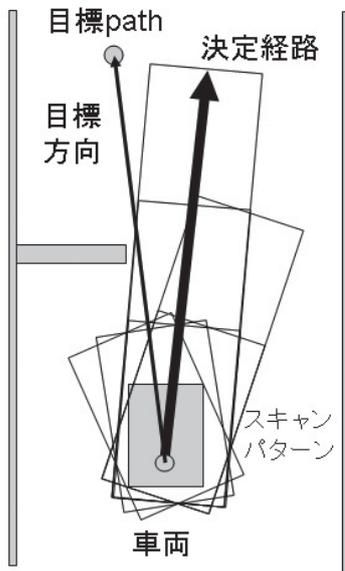


図7 障害物回避アルゴリズム

このアルゴリズムは車両正面を中心に想定する車両走行エリアを徐々に伸ばしながら左右に走査、エリア内に障害物がないか判定し、最も長手の走行エリアの方向を選択している。

本システムではこのアルゴリズムをベースとして、

まずレーザー式ポジショニングセンサで絶対座標を検出後、目標座標の方向と距離を算出し、目標方向を中心に ± 30 度の範囲、目標距離を7段階に分割し、干渉計算を行なう(図7)。この段階で走行可能なエリアが見つからない場合は、探索範囲を ± 90 度まで広くし、再探索を実行する。最も長手かつ非干渉エリアの中央を選択方向とし、距離に応じて走行速度を決定する。干渉計算は方向転換時を考慮し、左右側面と後方も考慮している。計算結果をもとに左右モータの回転速度を決定し、モータドライバへ指令を出力する。なお目標経路パスの方向を目標値として左右車輪速度はPID制御によるフィードバックを行なっており、路面特性等による誤差を補正している。

3.4 制御フロー

以上の制御内容をC#言語で実装した。制御フロー概要を図8に示す。

本システムでは、制御PCに複数のCPUコアを搭載したものを選定しており、処理能力を最大限に発揮させるためセンサ、モータの制御は各スレッドで並列処理する。

各センサ、駆動モータはRS232Cシリアル通信、USB通信を多用しているため、実装においてはスレッド処理優先度を適切に設定し、走行時には最大限にCPU処理能力を発揮させる調整を実施した。

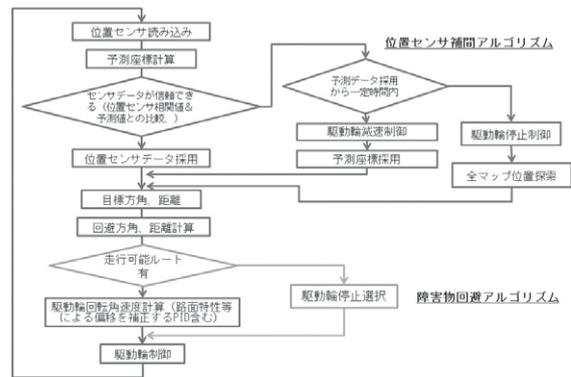


図8 制御フロー概要

4. 充電ステーション

試作した充電ステーション外観を図9、充電ステーション諸元を表3に示す。



図9 充電ステーション 図10 非接触充電の様子

表3 充電ステーション諸元

寸法	400(L)×400(W)×900(H)mm
送電プローブ設置高さ	75mm 以下
電源	3 相 200V
非接触給電能力	24V20A
非接触充電距離	最大 100mm
充電対応電池	専用リチウムポリマー電池
保護機能	過充電保護

牽引式ガイドレス無人搬送車のドッキングの様子を図10に示す。充電ステーション給電部と無人搬送車受電部を接近させることで非接触充電可能である。非接触充電モジュールの仕様から、給電部と受電部間が30mmのとき、およそ10Aの充電電流が確保できる。そこで本システムでは充電ステーションに30mmまで接近させるドッキングシーケンスを作成した。

無人搬送車は左右2軸差動方式を採用しているため、真横方向への移動は不可能である。ある程度接近した際に横方向へずれていた場合、特性上位置修正することが困難である。そこでドッキング時には充電ステーションから600mm離れた座標へ一旦向かい、その後給電プローブに正面からアプローチする制御を行っている。さらに200mm以内まで接近後はレーザ式位置センサの位置計測モードを静的な計測モードに切り替え厳密な計測をおこなう。これによって距離30mmまで接近し非接触充電可能となった。

5. 走行実験

小型ガイドレス無人搬送として周辺環境が混み合っている場合の移動性能を確認する。充電ステーションが設置してある事務所から一旦廊下へ出た後、右折し、約7m進んだ後に引き返し、再び事務所に入って、最後は充電ステーションとドッキングする経路を

設定した。さらに工事用パイロンを廊下途中に設置し、これを自動回避可能かも検証した。実験現場の様子を図11に示す。

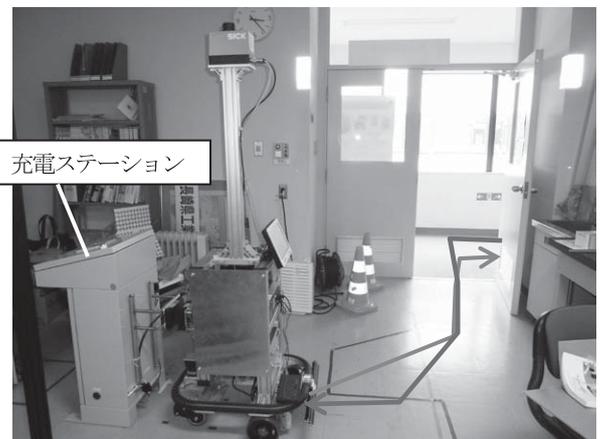


図11 事務所間想定移動実験

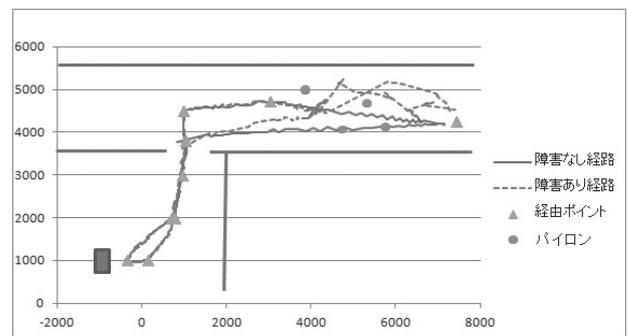


図12 実験結果

無人搬送車の走行ログデータを図12に示す。実線は障害物がなかった時の走行経路、点線はパイロン設置時の走行経路、三角マークは経路設定ポイント、丸マークは障害物としておいた工事用パイロンを示している。

ログデータから明らかなように、廊下上には何もないうときは最短経路である直線経路で移動している。廊下でUターン後も最短経路で移動していることが分かる。パイロン設置時は、自動的にもっとも広いエリアを検出し、回避動作をとっていることがわかる。また、事務所のドア幅は780mmであるが、ドア形状を検出し問題なく通過できることも確認できた。さらに充電ステーションに自動ドッキングし自動充電可能なことも確認した。

次に工場等での移動を想定した、工業技術センター実験棟通路での走行実験の様子を図13に示す。



図13 工場内移動実験

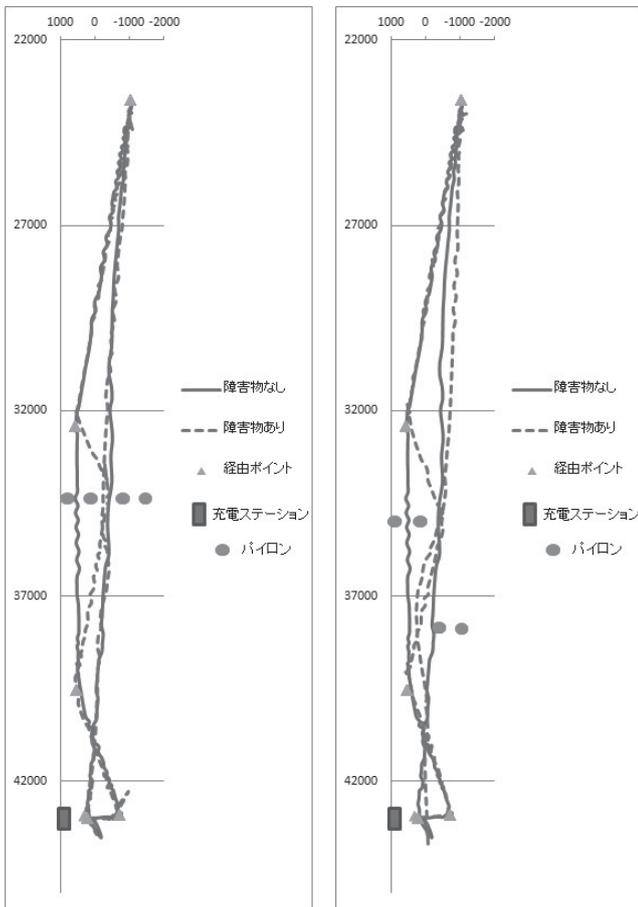


図14 障害Aパターン

図15 障害Bパターン

充電ステーションを初期位置として、図13において向かって右奥の20m離れた地点まで移動後、向かって左側を走行し、最後は充電ステーションに帰還する経路をスタート、ゴールを含め合計6ポイントで設定した(図14、図15)。

障害物として工事用パイロンを2つのパターンで配置し、走行実験を行った。Aパターンは750mmの通過可能ゾーンが中央にある。またBパターンは往復路通

常経路をそれぞれ遮るスラローム配置とした。走行結果を図14、図15に示す。

いずれの障害パターンも本システムは障害形状を認識し適切に回避可能なことを確認した。またこの経路設定では奥行きが20mと十分に長かったため、最高速度は設計最大速度の4km/hに達した。また非接触充電時の電流は実測8A~10Aであった。

本実験により開発した無人搬送車が、事務所のような狭い環境と、工場のような広い環境の両方で、障害物を回避しつつ十分な速度で搬送作業可能なことを確認できた。

6. 結 言

平成23年度は平成22年度までに試作した搬送車をベースとして、小型牽引式搬送車と、長時間運用に対応した非接触充電ステーションを試作した。試作した装置は所定の性能を満たしていることを確認することができた。この研究成果を反映し、県内企業においてガイドレス無人搬送車として製品化がなされている。

今後は事業化支援を継続するため、位置検出機能の低価格化、障害物の3次元認識への拡張、荷物の自動積み下ろし自動化についても引き続き研究を重ねていく予定である。これらの機能は高機能搬送システムやサービスロボットシステムの基盤技術として今後県内企業と製品化を検討していく。

参考文献

- [1]「つくばチャレンジ」オーガナイズセッションレポート～実環境のチャレンジから見てきたもの <http://robot.watch.impress.co.jp/cda/news/2008/01/17/859.html>
- [2]坪内孝司, Yoichi MORALES, Alexander CARBALLO, 原祥亮, 油谷篤志, 城吉宏泰, 廣澤敦, 鈴木祐輔, Mehrez KRISTOU, 山口智也, 澤田有希子, 森川直樹, “つくばチャレンジ2008における筑波大学知能ロボット研究室「屋外組」の取り組み”, 第9回SICEシステムインテグレーション部門講演会, 114-6, 2008
- [3]栗田高裕, 安部憲広, 田中和明, “プレートマッピングを用いた環境認識による移動ロボットの制御”, 日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2N18, 2007