

# 自動追走機能付き搬送ロボットの試作機開発

東海ポリテクカレッジ  
(東海職業能力開発大学校)

佐々木英世・藪 厚生・河合正人・浅井英史  
原 吾朗・澤田 健・中杉晴久・野村哲章  
河瀬博之・中野考志

## 1. はじめに

今回、事業主団体研究開発事業（F方式）として取り組むこととなった対象事業主団体事務局が所在する愛知県では、現在、豊田市を中心にITS（Intelligent Transport Systems）事業が進められている。これは、最先端の情報通信技術を用いて道路交通問題を解決することを目的とした交通システムである。当事業主団体の傘下企業は、そのシステムの1つであるIMTS（Intelligent Multi-mode Transit System：バスをベースとした車両が専用道にて自動運転・隊列走行を行うシステム）の開発・設計の一部に携わった経緯がある。当事業主団体では、その技術的経験を生かした新たな新製品開発を行うこととなり、ニーズ調査を実施した結果、下記の結論を得た。

- ① 生産現場において、力を必要とする作業領域が多く存在し続けることは、高齢者・女性・障害者等の生産現場への参加の妨げとなる。

- ② “荷物を運ぶ”といった比較的ベーシックな部分で、インテリジェント技術、IT技術が導入された例が比較的少ない。

- ③ 一社単独で、トータルな技術開発・製品開発の経験がなく製品開発手法を習得する必要がある。

以上の結果をもとに検討を行った結果、インテリジェントな機能を持った物資移送ロボットシステムの開発に取り組むこととなり、その共同開発として東海能開大へ依頼があった。われわれはこれをF方式として取り組んだ。

## 2. 実施スケジュール

図1に実施スケジュールを示す。取り組みの実質的な開始時期は、機構本部からの承認が得られた7月からとなった。企業側との打ち合わせは、必要に応じて東海能開大で行われた。また試作機等の設計・製作等も東海能開大を拠点として進められた。その理由として、①今回の取り組みがテーマの発案・企画から携わり、新規性をもった試作品開発が

	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
車両本体	企画立案	設計	部品製作	組立・調整			走行試験・ 駆動プログラム作成	自動追走機能試験・ポリテックビジョン出展準備	ポリテックビジョン出展・まとめ
追走機能		調査検討・機能検証		設計・製作					
駆動制御		調査検討・機能検証		設計・製作					

図1 実施スケジュール

要求されていることから、東海能開大プロジェクトメンバにとっても技術的に未知要素が多いこと、②テーマに機械的要素が多く、東海能開大において機械加工が必要であること、③開発する技術要素の一部を応用課程の開発課題テーマとして実施させてもらうこと、などがあげられる。

今回の取り組みにおいて、まず初めに企業側と開発コンセプトについて話し合い、

1) 自動追走機能を持ち、

2) 段差や悪路等の不整地走行の機能を持つ

荷物等の運搬車両、つまり搬送車の試作機を新たなアイデアで企画し、設計開発を行っていくこととなった。よって7月は、ほぼそのアイデアの検討に費やされた。8～9月で車両設計が行われ、その間並行して自動追走機能、駆動モータ制御部分の検討が行われた。10月より車両部品製作が始まり、11月より車両組上げ作業が行われた。図2に車両組み上げ風景の写真を示す。12月初めには、車両本体が完成し、マニュアル操作による走行実験が行われた。1月には、駆動制御回路が搭載されマイコン制御による走行実験が行われた。2月に自動追走機能回路が搭載され、自動追走実験が行われた。2月末には、ポリティックビジョンに出展した。

### 3. システム構成

#### 3.1 システムの構想

企業側との検討により、図3に示すシステム構成を想定した。このシステムの機能には2つの動作モードがある。1つは、複数の搬送ロボットが先導者をセンサにより検出し隊列となって自動追走する追走モードである。もう一方は、パソコンから無線通信を用いて遠隔地より走行操作を行う遠隔操作モードである。また搬送ロボットは、屋内外を問わずさまざまな路面状況に対応できることと、障害物や段差等を自動的に検出して半自律的に走行できることを想定している。

本年度の取り組みにおいては、悪路走行および180[mm]程度の段差乗り越えが可能な車両構造を持つ単体車両、追走機能および遠隔操作機能をもつ試



図2 車両組み上げ作業風景

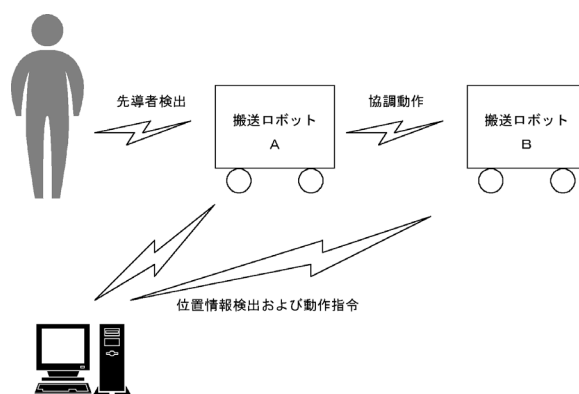


図3 システムの構想図



図4 試作車両の外観図

作機が完成した。図4に外観写真を示す。

#### 3.2 車両本体

段差の乗り越えや不整地での移動にはクローラが有利であるが、平坦路面では車輪による移動がクローラより効率的である。そこで整地の移動には車輪

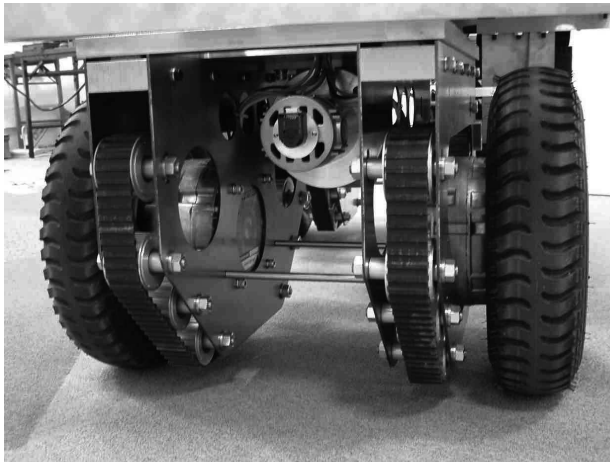


図5 クローラ部の外観図

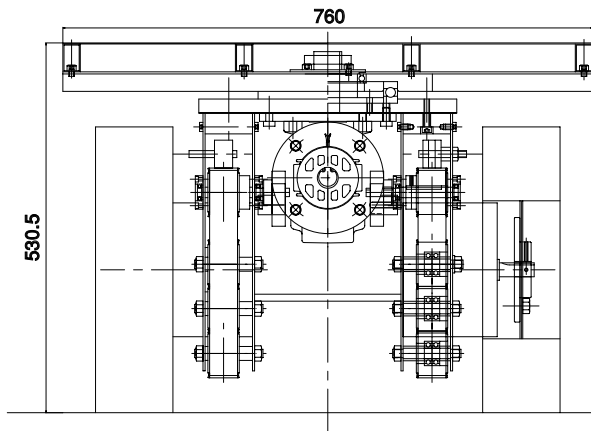


図6 クローラ部の設計図

を用い、段差乗り越えや不整地走行時にサブクローラが補助的に作動する車輪・クローラ併用型の機構を考案した（図5および図6参照）。

また駆動性を良くするため、4つのタイヤにそれぞれモータを配置した4輪駆動とし、駆動部の機構を簡略化するため前2輪、後2輪を、それぞれクローラ機構を含めてモジュール化した。各車輪モジュールは、本体シャーシ部とスラストベアリングにより連結し、約90°の範囲で自由に回転できる。車両の操舵は、左右の車輪の回転差により車輪モジュールが本体シャーシに対し回転することにより行われる。前後輪モジュールを独立に操舵制御することにより多様な車両動作が可能となり、機動性を考慮した構造とした。しかしクローラ用およびタイヤ用のモータが合計6個となり重量的には、やや重くなっている。

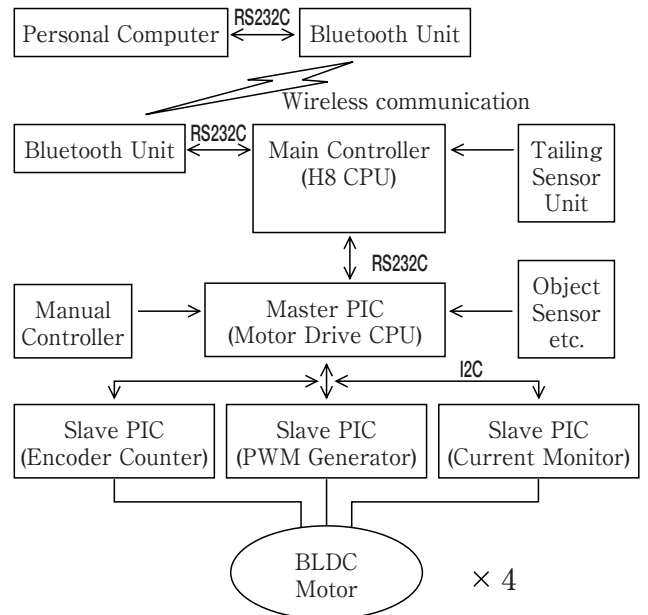


図7 制御システムのブロック図

### 3.3 制御システム

図7に制御システムのブロック図を示す。

遠隔操作モードでは、遠隔操作用パーソナルコンピュータ（遠隔操作用PC）より動作指令を行う。遠隔操作用PCと搬送車両は、Bluetoothモジュール（HA-1217, 株式会社日立旭エレクトロニクス）を用いて無線通信により行った。本モジュールは、シリアルインターフェース出力をもち利用がきわめて容易である。通信距離は、BluetoothのパワークラスにおいてClass2をもち製品仕様で約25mである。また、複数のモジュールを使用し、サーバ・クライアント方式のピコネット構成も可能である。

追走モードでは、追走センサおよび障害物センサの情報搬送車両に搭載されたマイコンシステムにおいて処理されることによって、誘導装置をもつ先導者に追走するとともに、障害物を自動的に回避するなど半自律的に動作する。

マイコンシステムは、上位のH8マイコンと下位のPICマイコン群から構成され、両者はRS232Cの非同期シリアル通信で信号の授受が行われる。

H8マイコンは、遠隔操作モードにおける無線信号の処理や、追走モードにおける追走センサ信号の演算およびそれによって得られる走行速度と操舵角度

情報を下位のPICマイコン群に伝達する役割をもつ。

PICマイコン群は、1つのマスタPICマイコン(PIC16F877)と複数のスレーブPICマイコン(PIC16F873)で構成され、I2C通信により信号の授受が行われモータを制御する役割をもつ。今回の試作機では、図7に示したエンコーダカウント用スレーブPICとモータ消費電流検出用スレーブPICは、時間的制約から搭載するに至らなかった。

### 3.4 車輛の速度および操舵制御方法

上位のH8マイコンが出力する走行速度指令および操舵角度指令は、割り込み処理によりリアルタイムに下位のマスタPICマイコンに伝達されバッファリングされる。マスタPICマイコンは、タイマ割り込みにより常に約10[ms]間隔で、上位からの操舵角度指令値と実際値(車輪モジュールと本体シャーシとの角度情報を得るポテンシオメータのフィードバック値)の偏差演算を行う。そして操舵角度の偏差がゼロとなるよう一定の遅れ時間を持ちながら目標操舵角度に近づくと同時に、走行速度も目標値に近づきよう制御している。速度制御は、開ループ制御で行った。

### 3.5 モータおよび駆動回路

モータは、駆動回路およびエンコーダ内蔵のインホイール型ブラシレスDCモータ(DDW4030, HONDA)を使用した。モータへの速度指令、ブレーキ(回生ブレーキ)指令は、アナログ電圧(0~5[V])でモータユニットに直接入力する。またモータユニットからはエンコーダパルス信号(12[pluse/rev])、消費電流信号(10[A/V])が出力される。

マイコン制御回路とモータ間の信号は、ノイズに配慮しフォトカプラを用いて絶縁した。また、速度指令、ブレーキ信号のアナログ信号はマイコンより出力されるデジタル信号をPWM型ADコンバータ方式によりビットごとにAD変換し入力した。

### 3.6 自動追走回路

自動追走させるためには追走側が先導する対象者

(または対象物)の位置を検出する必要がある。

そのための方向検出と距離検出の仕組みをいくつか検討してみた結果、今回はシンプルな回路構成で、比較的長い距離を検出することができる超音波センサを用いた測距方式を採用した。一般的に超音波センサを用いた測距では、超音波の発信開始時間と反射波の受信時間の時間差から距離を割り出すことが多い。しかし、この方法では、今回必要とされる特定の対象物に対しての測距は困難である。そこで図8に示すように、対象物側に送信回路を、また追走側に3個の受信回路を構成した。すると図8の位置関係から式(1)の連立方程式が成り立つ。各受信回路の受信時間差から演算によって得られるL1とL2の距離差(L1-L2)をd1、L3とL2の距離差(L3-L2)をd2とすると(式(2))、式(3)に示すように、発信機との距離L2と、方向θが求められる。しかし、この方法を用いて実験を行った結果、なかなか安定した結果を得ることができなかった。

そこで、超音波センサの回路を見直すとともに、新たに図9に示すように超音波センサの受信回路を

$$\begin{cases} L1^2 = (x1 - a)^2 + y1^2 \\ L2^2 = x1^2 + y1^2 \\ L3^2 = (x1 + a)^2 + y1^2 \end{cases} \dots (1)$$

$$\begin{cases} d1 = L2 - L1 \\ d2 = L3 - L2 \end{cases} \dots (2)$$

ただし、d1、d2は超音波センサの受信時間差より演算で求める。

$$\begin{cases} L2 = \frac{2a \cdot x1 - a^2 + d1^2}{2d1} \\ \theta = \cos^{-1}(x1/L2) \end{cases} \dots (3)$$

ただし、

$$x1 = \frac{(d1 + d2)(a^2 - d1 \cdot d2)}{2a(d2 - d1)} \dots (4)$$

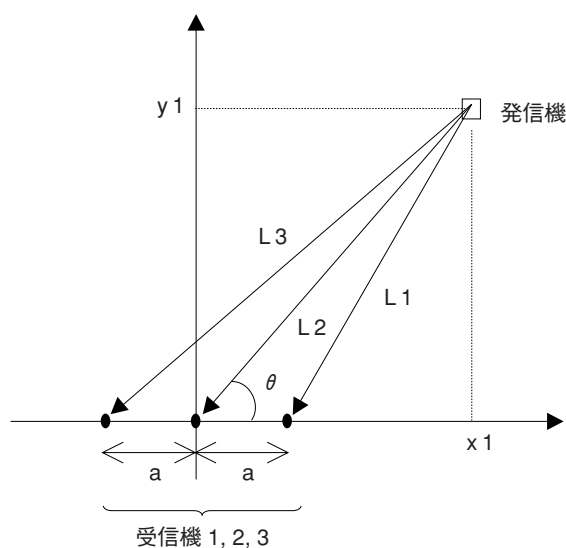


図8 複数センサによる距離検出の原理

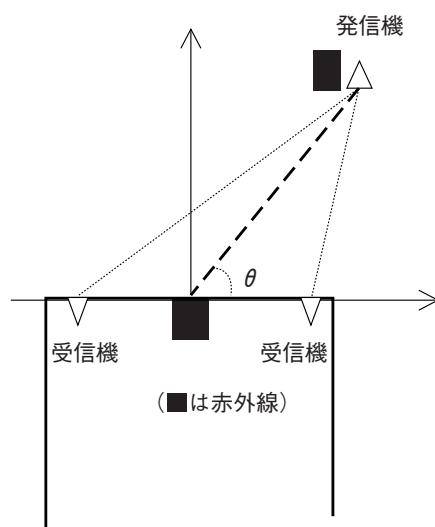


図9 方向・距離検出のためのセンサ構成

2個にし、送信側は受信回路側からの赤外線センサによる超音波発信要求信号を受けてから超音波信号を送信する方法を考案した。

これにより精度が改善され測定範囲は左右に $40^\circ$ 、距離は5[m]離れても安定して測定することができるように改善された。また、送信・受信側にそれぞれBluetoothモジュールを搭載することで、追走機能の開始終了を通知する機能を付け加えた。このような通信機能を有することで、今後は送信・受信機間で互いの情報を交換でき、例えば同じ自動追走機能を有するロボット車両が複数台存在したと

きなどに相手を識別する機能などの追加が可能になると考えられる。

#### 4. おわりに

自動追走機能付き搬送ロボットの試作機の開発を行った。その結果、

- 1) 整地および不整地を効率よく走行することが可能な、従来にない独自機構をもった車輛構造を考案し試作した。
- 2) 搬送ロボットを遠隔操作モードおよび追走モードで制御する、複数のマイコンを使用した車輛制御システムを開発した。
- 3) 超音波センサを用いて、先導者の距離および方向を検出する自動追走回路を開発した。

今後の課題としては、

- 1) 車体質量の軽量化。
- 2) より多様な車輛走行制御が行える高度な制御プログラムの開発。
- 3) 自動追走回路の高精度化。
- 4) 安全機能の装備。
- 5) 複数車輛による協調走行機能の開発。

などがあげられる。

本取り組みは、テーマの発案、企画から携わり、新規性をもった試作品開発ということに加え、内容が他分野にわたり規模的にも大きなものであった。よって、この短い期間で一定の成果をあげるには困難な側面もあったが、企業も交え複数科の指導員が1つのものづくりに取り組んだこの経験はきわめて有益なものであった。これは、まさに応用課程の標準課題、開発課題におけるワーキンググループ方式の教育訓練コンセプトであり、われわれ自身が学習したとともに、学生に対して良いモデルとなったことと思われる。本取り組みにおいて得られた成果は、今後の学生指導およびセミナー（企業人スクール）コース開発において生かしていきたいと思う。

最後に、本取り組みにおいて、多大なるご協力をいただきました株式会社シンテックホズミの矢柳氏、小林氏にはこの場を借りて厚く御礼申し上げます。