

# 自律移動ロボットプログラミング教育システムの開発

里信 純\*・西本 澄\*・和泉 真澄\*・越智 秋雄\*・松岡 泰弘\*

(平成20年10月31日受理)

## Development of a Programming Practice System Using an Autonomous Mobile Robot

Jun SATONOBU, Kiyoshi NISHIMOTO, Masumi IZUMI, Akio OCHI and Yasuhiro MATSUOKA

(Received Oct. 31, 2008)

### Abstract

This paper presents a programming practice system using an autonomous mobile robot. The system consists of a modified single-seat electric cart with an onboard computer, a distributed computer system for controlling and communicating the robot and terminal computers on LAN. The control program running on the distributed computer system was developed for students to make application programs easy to operate the steering, the accelerator, and the brake of the robot.

**Keywords:** mobile robot, computer programming, LAN, onboard computer

### 1. はじめに

知能機械工学科では、従来の機械工学をベースとしたメカ技術に、電気・電子、情報技術をベースとした知能化技術を融合させることにより生み出される「人と環境に優しい学習型・自律型メカを創製する」技術者の育成を目指している。このような「知的メカ」の実現にコンピュータ技術が果たす役割は大きく、ハードウェア、ソフトウェア技術を、相互の結びつきを含めてバランス良く教育することが求められている。

近年、特にロボット技術に興味を持つ学生が多いが、コンピュータ技術がロボット制御に不可欠な技術であることを学生が実感できる場が少なく、特にプログラミングに対して苦手意識を持つ学生も多い。

このような背景から筆者らは、“自分の作成したプログラムにより機械が動くこと”を学生が実体験できるような教育ツールとして、車輪型自律移動ロボットを題材にした

プログラミング実習システムの開発を行った。

### 2. システムの構成

開発した実習システムは、車両、制御コンピュータ、実習端末からなる。図1に車両の写真を、表1に仕様をそれぞれ示す<sup>1)</sup>。車両は一人乗り電動カートを改造したもので、最高速度は7.5 km/h程度である。車両にもオンボードコンピュータ(車載コンピュータ)が搭載されており、制御コンピュータから無線により指令を受け取ると、ステアリング、アクセル、ブレーキの各レベルを自動制御するとともに、各種センサデータやドライバが操作を行った場合には、それらのレベルを制御コンピュータに無線送信する。

表2に車載コンピュータの主な仕様を、図2に車両におけるセンサ等の構成とデータの流れをそれぞれ示す。車載コンピュータのプログラムはROM化されており、車両の電源投入後、直ちに動作する。このROM化されたプログラムは、ステアリングを目標レベルに維持するフィードバ

\* 広島工業大学工学部知能機械工学科

ック制御や、センサデータの送信などからなっているが、通常、これらのプログラムを実習中の学生が意識する必要はない。

環境認識用のセンサとしては、現在までのところ、障害物までの距離を検知するための8つの超音波センサと車両前方を撮影する CCD カメラ、ドライバの音声を取録するマイクを搭載しており、これらのセンシングデータも制御コンピュータへ無線送信される仕組みとなっている。最終的に車両は制御コンピュータから全くの無線制御状態となっているが、電波の出力レベルなどの限界から、動作範囲は制御コンピュータから約 10 m 以内である。

図3に制御コンピュータと実習端末のコンピュータ構成を示す。制御コンピュータは、Linux ベース（車両操作・共有メモリ制御コンピュータ、音声認識コンピュータ）と Windows ベース（画像処理コンピュータ）が混在して構築されており、LAN によりデータ通信を行っている。また実習端末は Windows ベースのコンピュータで、制御コンピュータとも同様に LAN 接続されている。実習端末からは VNC (Virtual Network Computing) のビューアなどを用いて制御コンピュータを遠隔操作できる。

表 1 車両の仕様

寸法	全長 1450mm, 全幅 850mm 全高 1200mm
ホイールベース	750mm
トレッド	708mm
最低地上高	70mm
車両総質量	145kg
最大積載質量	60kg
最大速度	7.5km/h
最大登坂角度	18 度
最小回転半径	1.6m
ブレーキ仕様	通電解放型電磁ブレーキ
車輪	2WD,4WS
駆動モータ仕様	差動複巻 360W
駆動方式	分巻チョップ駆動

表 2 車載コンピュータの仕様

メイン CPU	SH4/7751R 235MHz(MAX)
ROM	フラッシュ ROM 8M バイト バス幅 16 ビット
RAM	SDRAM 64M バイト バス幅 32 ビット
デジタル入出力	32 ビット (SH4 ポート)
シリアル入出力	2 チャンネル (SH4 内蔵)
RTC	SH4 内蔵
サブ CPU	H8S/2218U 24MHz
ROM	フラッシュ ROM 128K バイト (H8S 内蔵)
RAM	12K バイト (H8S 内蔵)
アナログ入力	6 チャンネル 分解能 10 ビット (H8S 内蔵)
シリアル入出力	2 チャンネル (H8S 内蔵)
USB	1 チャンネル Ver1.1 (H8S 内蔵)
FPGA	アルテラ Cyclone
ユーザ入出力	86 ビット (FPGA)
入出力レベル	LVTTL インタフェース
電源	3.3V 600mA

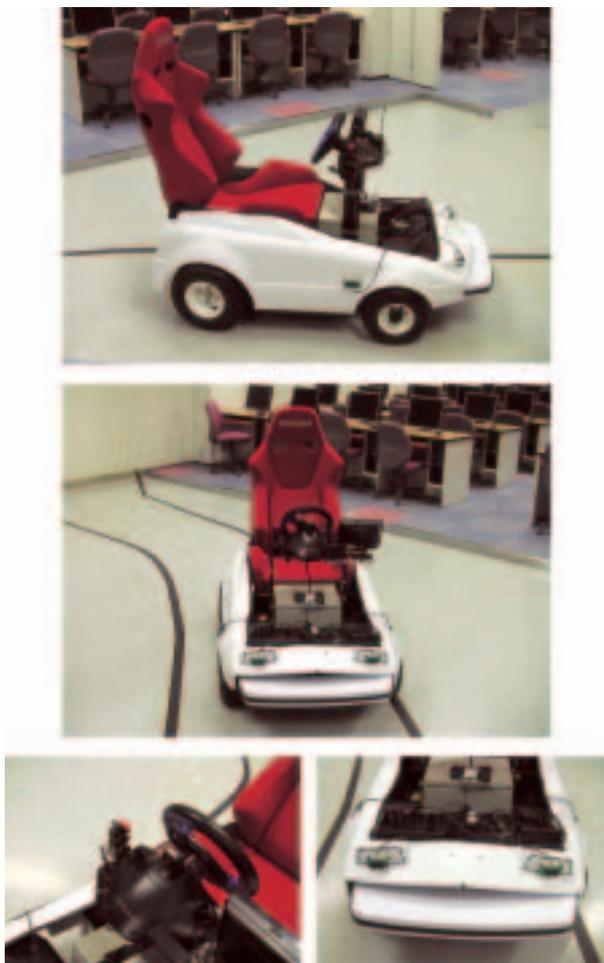


図 1 車両の写真

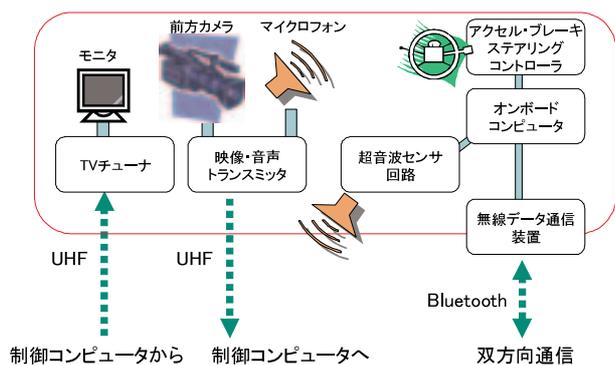


図2 車両のシステム構成

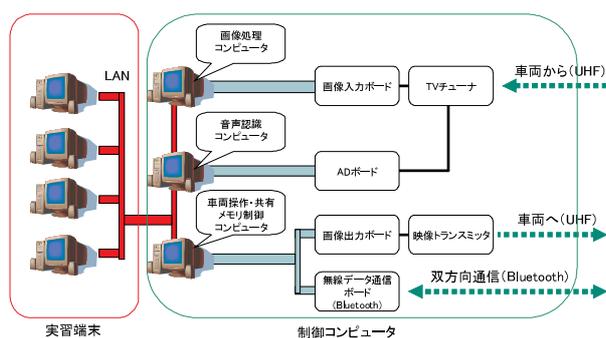


図3 実習システムのコンピュータ構成

### 3. 制御プログラムの構成

機械系の大多数の学生、特にプログラミングの基礎を学ぶ1, 2年次生にとって、制御コンピュータに搭載された各種インタフェースの制御を自身でプログラムすることは少々ハードルが高いように思われる。本システムでは、センシングデータの取得やステアリング、アクセル、ブレーキの動作を簡単にプログラミングできる仕組みを提供し、ハードウェア制御のわずらわしさを意識せずに車両を動かせるようにした。

図4に制御プログラムの構成を示す。プログラムは、C言語で開発され、センシングデータを取得するプロセスと、ステアリング、アクセル、ブレーキを動かすプロセスが並列動作し、プロセス間通信は共有メモリ方式としている。例えば、センシングデータを取得するプロセス（走行車線認識プロセス、音声認識プロセスなど）は、取得したセンサデータを随時、共有メモリに書き込んでいる。アプリケーションプログラムの作成者は、共有メモリに書かれたセンサデータを読み、計算されたステアリング、アクセル、ブレーキレベルを共有メモリに書き込めば、随時動作しているステアリング、アクセル、ブレーキを動かすプロセスが、共有メモリに書かれてあるステアリング、アクセル、ブレーキレベルを車両に送信し、車両はそのレベルに従って動作する。このように、アプリケーション作成者である

学生は、ハードウェアの制御を意識することなく、共有メモリへの入出力だけでセンサデータを取得し、ステアリング、アクセル、ブレーキを動作させるプログラムを作成することができる。

厳密には、このようにセンシングのプロセスとステアリング、アクセル、ブレーキなどを動作させるプロセス、次章で紹介するアプリケーションとしての状況判断・走行プランニングのプロセスを全く非同期に動作する自律分散システムとして構築することへの疑問はあるが<sup>2)</sup>、教育ツールとしての使いやすさを優先させたシステムとしてこの様な構成を採用した。

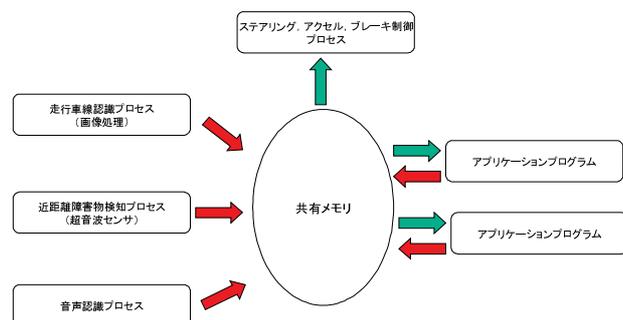


図4 プログラム構成

図5に走行車線認識プロセスの画像処理結果の一例を示す。このプロセスは白い床に描かれた2つの黒線の間を走行車線として認識し、その中心を走行目標経路として出力する。このプロセスは、カメラ映像を実座標に変換するなどの処理も実際には行っているが、学生がそれらを意識する必要はない。

### 4. アプリケーションプログラム作成例

アプリケーションプログラム開発は、制御プログラムが提供する共有メモリへのアクセスを提供するものであれば、言語や開発環境は問わないが、本学科でのプログラミング関連の授業ではC言語による開発を前提としている。

現在までのところ、自主デザイン工学などで、本実習システムを用いた教育を実践している。図6は、画像処理による車線追従走行を学生が実現した時の、走行状態のコマ送り画像である。アルゴリズムは、走行車線認識プロセスが検知した目標位置と車両の前方、進行方向との角度を誤差としてPID制御によりステアリング角を決定するという単純なフィードバック制御であり、実際に学生が入力したプログラム部分もわずか数行である。

図7は、車両の前方、側方の左右に取付けた4つの超音波センサからの距離データをもとにダンボールで作った壁面の追従走行を行った例である。この例では、壁面からの

距離を誤差としてステアリング角を決定するアルゴリズムに加え、4つのセンサのデータを選択的に用いるアルゴリズムも必要であり、車線追従走行に比べプログラム量は多くなるが、それでも学生が入力した部分は十数行であった。

このような簡単なアルゴリズムは実用に耐えうるものではないが、1, 2年次で習得する程度のプログラムの知識で、“自分の作成したプログラムにより機械が動くこと”を実体験でき、コンピュータ技術の必要性を意識づけるテーマとしては十分なものであると考えている。



図5 走行車線認識プロセスの画像処理結果

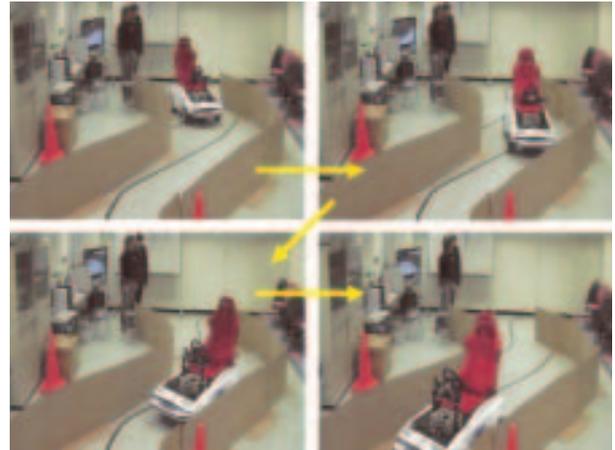


図7 壁面追従自動走行の実行例

## 5. おわりに

本システムの開発の一部は、平成18年度施行カリキュラム実施のための設備支援により行われたもので、プログラミング教育ツールの題材のひとつとして車輪型自律移動ロボットを取り上げた。今後、さらにテキスト作成・改定など、教育プログラムの充実を図っていく予定である。

本システムの開発には、日本システムデザイン株式会社、ミツワフロンテック株式会社に多大なるご協力をいただきました。ここに謝意を表します。

## 文 献

- (1) 日本システムデザイン株式会社, 知能ロボットプラットフォーム取り扱い説明書
- (2) Jun Satonobu, Koichi Kojima, Hiroyuki Takahashi, Atsushi Kutami, The development of a computer system for autonomous vehicle control, *ADVANCED VEHICLE CONTROL '92*, pp. 194-199 (1992).

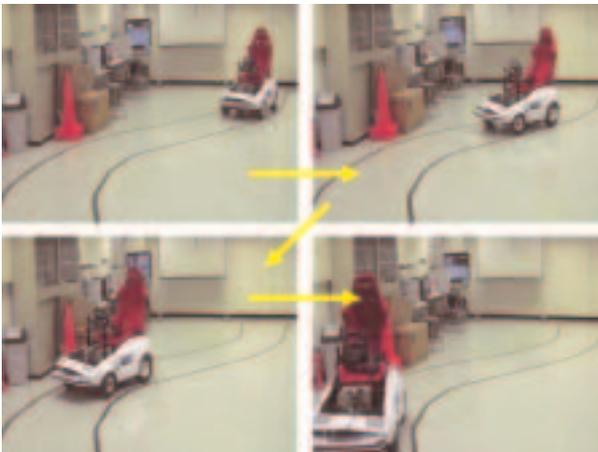


図6 車線追従自動走行の実行例