

画像認識機能を有する自律走行ロボット

四国職業能力開発大学校 山口 修

Production of the Autonomous Vehicle Robot with Image Recognition

Osamu YAMAGUCHI

要約 本稿は訓練教材化の試作を目的に、走行ロボットとCCDカメラを組み合わせた自律走行ロボットの製作方法とCCDカメラによって取り込まれた画像情報から色を認識するアルゴリズムの検討を行った。

画像認識技術を用いた走行ロボットは、危険物認識、救助支援、介護福祉、高齢者への歩行誘導システムなどへの応用が期待されている。従来のロボットにCCDカメラを組み合わせて、画像情報を処理して走行を制御することで、限られたパターンの動きだけでなく幅広い作業や動作が行える。また、動作確認だけでなく色の画像情報を確認することもでき有用である。さらに、色認識方法や走行動作を評価しながらプログラム開発を指導してきたことで、訓練生のロボット製作への関心と理解が高まる。

I はじめに

近年、自律型ロボットの存在感や重要性が高まってきている。介護福祉・高齢化対応や重労働、危険、汚れ作業の代用としてロボットの利用価値は高い。産業ロボットの国内生産額は4060億円で、付加価値は4.4兆円といわれている¹⁾。

一方、次世代のロボット市場価格は1262億円ともいわれている。関連技術の向上により大学や企業等では研究や試作として家事作業代行・サポート型ロボットやペット型ロボット、レスキューロボットなどの製作が試みられている²⁾。

応用技術として、適切な運動制御を行って観測を行い、認識を行う能動視覚システム（コンピュータビジョン）も近年盛んになってきている³⁾。

ロボット基盤技術では、センサデバイスとして主にCCDカメラやCMOSカメラ等を使い画像情報から形状や位置を検出し、ロボットの様々な動作制御に利用されている²⁾⁴⁾。高速で動くものを掴む例として1/1000秒での撮像・処理が可能な画像センサの適用も試みられている¹⁾。

画像認識技術を用いたロボット制御は訓練生の感心

が高いため、訓練教材化の試作として、自律走行ロボットの製作および画像情報を処理することにより走行制御を可能とした自律走行ロボット（以下、走行ロボットと記す。）を製作した。

II 概要

本走行ロボットは、ロボット本体にCCDカメラを組み合わせた構成である。

走行ロボットの製作では、各種部品の仕様および開発環境、サーボモータの改良と速度調整、課題などを紹介する。プログラムの開発では、P-BASIC言語^{注1)}を用いた開発環境やCPUモジュールへのプログラムアップロード方法、CCDカメラから取り込まれた画像情報を基に、試作アプリケーションプログラムであるライン走行、移動物体追跡走行、分散色認識走行のアルゴリズムやピクセルデータの判定や対象物間の距離条件の調整、ロボットの走行制御の動作検証、課題などを紹介する。

III 走行ロボットの仕様

走行ロボットは、海外のメカトロニクス学習教材 (Parallax社のBoe-Bot Robot Kit) を用いた。

構成はBOE (Board of Education) プリント基板部と車体部から成る。センサは、赤外線センサや光 (フォトレジスタ) センサも付属のため利用も可能であったが、今回の目的に合わないため適用していない。

- 1) BOEプリント基板部にCPUモジュールとする BASIC Stampを装着する構造となっている。BASIC Stampは、ワンチップマイコンPIC16C5720MHz RAM32BytesプロセッサのROM上にBASICインタプリタを搭載し、プログラム用のメモリ (EEPROM 2 KBytes)、クロック発振器、RS232Cインタフェースと電源レギュレータ (5V) を24ピン大の基板上に実装した完結型マイクロコンピュータである⁶⁾。
- 2) 走行はDCサーボモータによって制御され、主な仕様は、電圧6.0V、スピード0.17sec/60°、トルク8.7kg/cmである⁵⁾。
- 3) プログラムにより特定の幅を持ったパルスを送ることで車体部のサーボモータのスピード調整ができ、直進、後退、左折、右折、左回転、右回転の動作ができる⁵⁾。
- 4) 車体部のタイヤの直径は6.67cmで、1回転すると約21cm進むことができる⁵⁾。

BOEプリント基板部の外観と配置・寸法を図1と図2に示す。また、BASIC Stampの外観と配置・寸法を図3に示す。

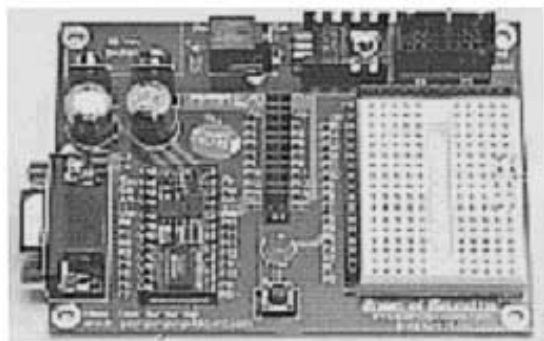


図1 BOEプリント基板部の外観図

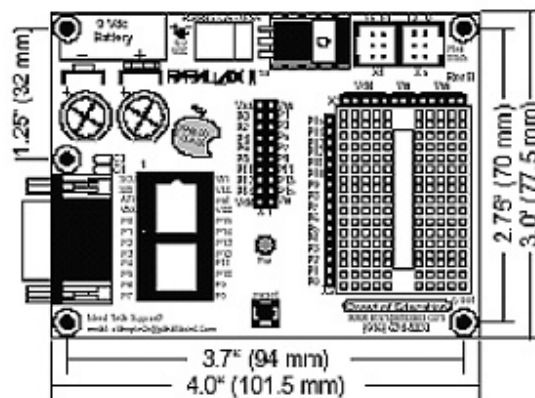


図2 BOEプリント基板部の配置・寸法図

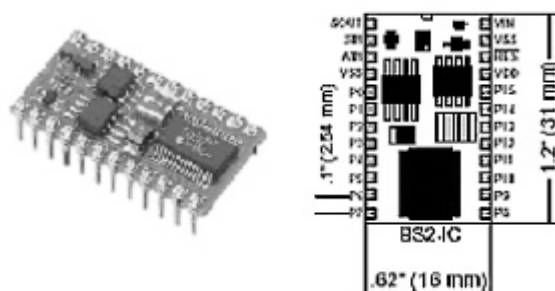


図3 BASIC Stampの外観と配置・寸法図

IV CCDカメラの仕様

画像情報を処理して走行を制御することで、限られたパターンの動きだけでなく、柔軟な走行が行いたいという目的で、走行ロボットにCCDカメラ (Boe-Bot CMUcam) を組み合わせる構造とした。CCDカメラの回路は、TTLレベルでシリアルポートを使用して通信を行う。また、CCDカメラ自体は、距離センサ機能は持っていない。

- 1) 毎秒17フレームでユーザーが決めた色の特長を探し、その色の中心を見つける。
- 2) 任意のイメージウィンドウの色に関するデータを集める。
- 3) 解像度は80×143である。
- 4) 9600ボー (Baud Rate) のシリアル通信である。
- 5) 自動的に色を検出し、目的物を追跡するサーボをドライブする。
- 6) 単一カメラのデータバスをパラレルイメージプロセスモードで使用している。
- 7) 1個のサーボコントロール又は1デジタルI/Oピン機能を持っている。
- 8) イメージ特性の調整が可能である⁵⁾。

CCDカメラの外観を図4に示す。

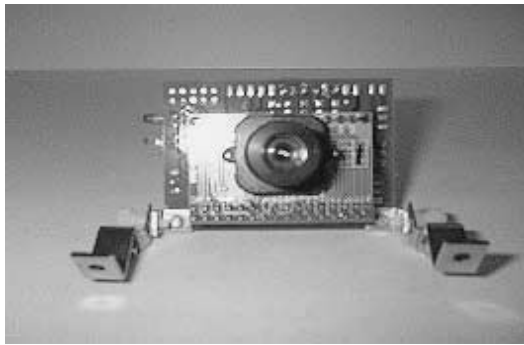


図4 CCDカメラの外観図

V 開発の手順と開発環境

CCDカメラから読み込まれた色データをプログラムにより処理してサーボモータのドライブを制御するまでの手順は以下の通りである。

- 1) パソコン側から通信ケーブルを介してBOEプリント基板部のCPUモジュールにプログラムをアップロードする。
- 2) CPUモジュールから走行ロボット側およびCCDカメラ側へ次の命令を出す。
 - サーボモータ側へ速度命令、動作命令
 - CCDカメラ側へ記録時間調整とピクセル数の判定命令
- 3) CCDカメラで色データを読み込む。
- 4) 色データの画像情報を処理してサーボモータのドライブを制御する⁵⁾。

画像認識機能を有する走行ロボットの開発の手順を図5に示す。また、製作で使用した開発環境を表1に示す。

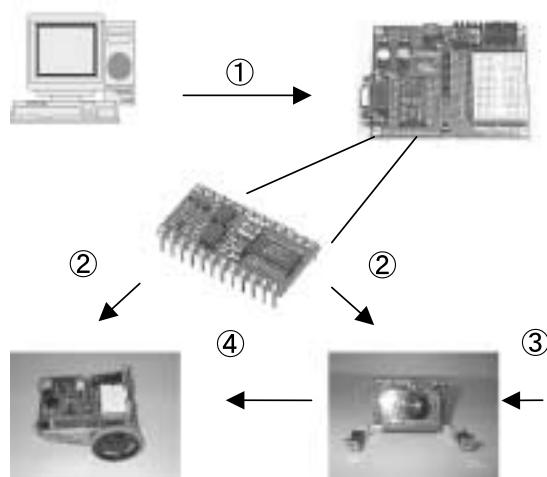


図5 開発の手順

表1 開発環境

ハードウェア	Pentium 4 2GHz RIMM-512MB 800MHz 60GB シリアル/パラレルポート
ソフトウェア	WindowsXP (OS) P-BASIC Editor (エディター) Debug Terminal (デバッガー) Stampw_v1 (アップロード)

VI 取り組みについて

主に、走行ロボットの製作に加え、試作プログラムの作成と動作検証を行った。

走行ロボットの組み立て方法、走行ロボット本体の完成、CCDカメラの実装を図6、図7、図8に示す。サーボモータの調整としてサーボモータの改良と速度調整を行った。また、画像処理アルゴリズムとして、画像処理を用いたピクセルデータの判定およびCCDカメラと追跡対象物間の距離条件の調整を行った。走行試作ではライン走行、移動物体追跡走行、分散色認識走行のオリジナルプログラムを作成した。

プログラミングの開発言語は、比較的开发が容易なP-BASIC言語^{註1)}を用いることにした。

P-BASIC言語は一般に使用されているBASIC言語に似ており、英語に関して基礎的な読解力のある人であれば誰にでも使えるプログラミング言語である。BASIC言語の命令(インストラクション)は次の3種類に大きく分けることができる。

- ① INPUT (入力)
- ② DECISION/PROCESSING (決定/処理)
- ③ OUTPUT (出力)

P-BASIC言語の代表的なコマンド命令を表2に示す⁵⁾。

表2 命令言語

INPUT 入力	DECISION/PROCESSING 決定/処理	OUTPUT 出力
SERIN...	IF...THEN...	PWM...
INPUT...	BRANCH...	FREQOUT...
BUTTON...	GOTO...	SHIFTOUT...
PULSIN...	GOSUB...	SEROUT...
	FOR...NEXT...	OUTPUT...
	SLEEP...	LOW...
	PAUSE...	HIGH...

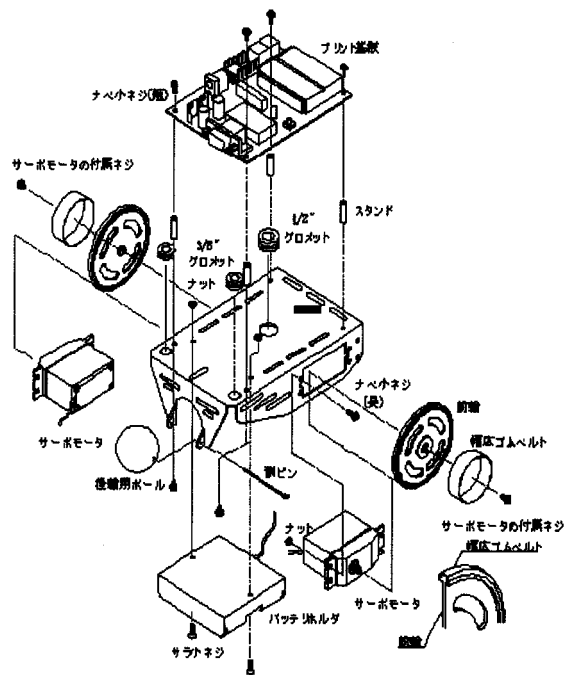


図6 走行ロボットの組立図

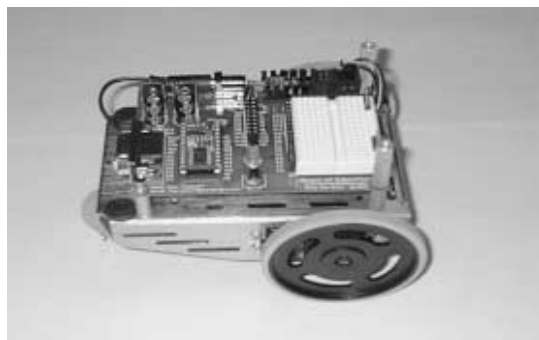


図7 走行ロボット本体の完成図

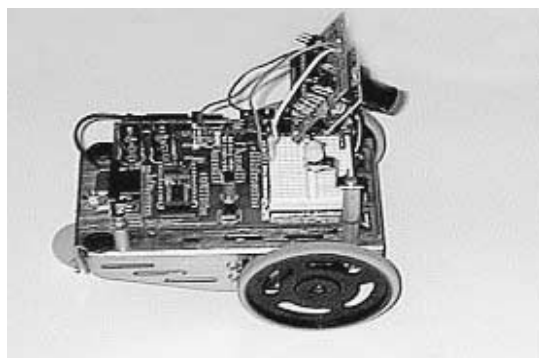


図8 CCDカメラの実装図

デバッグターミナルの画面を用いた試作プログラム作成の様子を図9に示す。

試作プログラムは、CCDカメラの目的物を追跡する能力を試すものであり、別の色で試したり大きさを変えたりして捕捉データが効果的であるかを検証する。

ライン走行と移動物体追跡走行では、前、後、左、右、回転とロボットの基本的な動作を検証し、応用として色を認識させるという独自のアルゴリズムによる分散色認識走行を作成した。

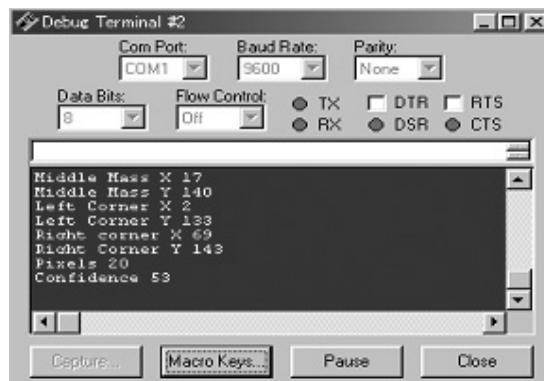


図9 試作プログラムの作成

以下にライン走行、移動物体追跡走行、分散色認識走行のアルゴリズムについて説明する。

1) ライン走行

ライン走行の検証の様子を図10に示す。

- 前進と回転により、一定幅の色ライン上を走行する。
- ライン端で方位転換を行い、ライン上の色を認識するまで探索する。
- 逆方向へ向きを変え繰り返しながら走行する。

2) 移動物体追跡走行

移動物体追跡走行の検証の様子を図11に示す。

- 前進と後退により、対象とする移動物体を追跡する。
- ある一定間隔の距離を保ち、物体が進むと前進し、戻ると後退する。

3) 分散色認識走行

分散色認識走行の検証の様子を図12に示す。

- 前方の色を認識しながら前進する。

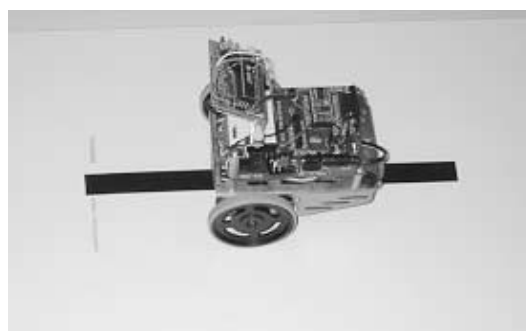


図10 ライン走行

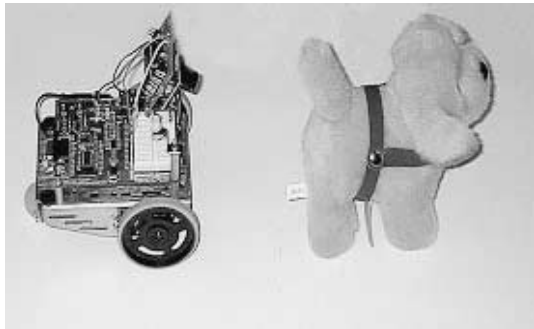


図11 移動物体追跡走行



図12 分散色認識走行

- 鋳物が本来持つ元素に起固する色が他色の境界近くに来ると次の色の認識を行い前進する。
- 異なった色間を繰り返しながら走行する。

6-1 サーボモータの特徴と調整

サーボモータはサーボモータ内の電気回路によってパルス幅変調 (Pulse Width Modulation : PWM) として扱われる。この電気回路は、サーボモータのシャフトを 0 と 90 度の間で約 1 ~ 2 ms の周期のパルス立ち上がりで動くように設計されている。

コマンドを送り続ける間はサーボモータが回り続けることになるが、コントロール信号でサーボモータのスピード調整が可能である。また、与えるコントロール信号によって、左回転、右回転ができる。さらに、左回転と右回転の中間の止まる点、すなわち電気的中心を決めることができる。

例えば、コマンド pulsout は、どのくらいのパルス幅を送り出すか、という命令であり、Pulsout pin 750 というインストラクションが電気的中心となる命令である。この場合、1 つのパルス幅が 2 マイクロ秒 ($2 \mu\text{s} = 0.002\text{ms}$) であるため、750 のパルス幅では $1500 \mu\text{s} = 1.5\text{ms}$ となり、750 (1.5ms) のパルスを受け取ってもサーボモータは止まった状態である。パルスは通常約 20ms 毎に新しい比較を繰り返しながらサー

ボモータが動くように設計されている⁵⁾。

サーボモータの連続的回転時における動作特性については、パルス幅が 1.3ms から 1.7ms まで変動する範囲で、回転速度 RPM の移動カーブの範囲は、-48RPM から 48RPM の範囲で変化している⁵⁾。

水平軸をパルス幅 ms、垂直軸を回転速度 RPM としたパルス幅に対する回転速度の推移の様子を図 13 に示す。

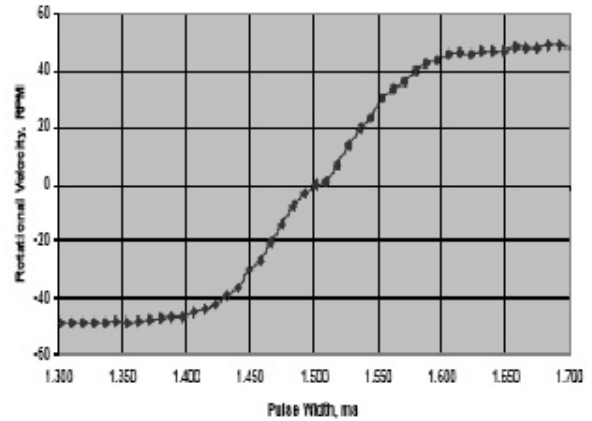


図13 パルス幅に対する回転速度の推移

サーボモータの制御時のループ解放と速度調整を行うために構造の改良を行った。

サーボモータは約 90 度から 180 度の間で動くように内部のプラスチック板にストップタブがついている。

サーボモータの改良前の作業を図 14 に示す。

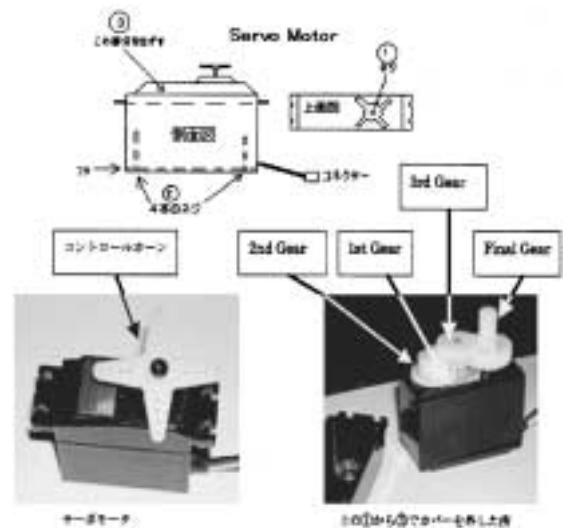


図14 サーボモータの改良前の作業図

①でプロペラ状のコントロールホーンを引き抜き、②で反対側の 4 本のネジを外した後、③でギアの入ったふた状のパネルを外す。さらに、図 15 のストップタブを切り取った後、ファイナルギア裏側のプラスチック

クの中にはめ込まれているメタルリングを外した後、図16の変抵抗を動かすためのドライブプレートと呼ばれる金具を外し、再びメタルリングを取り付ける。

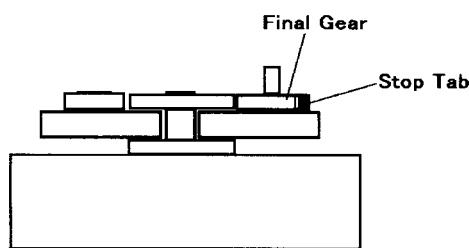


図15 サーボモータの内部構造図

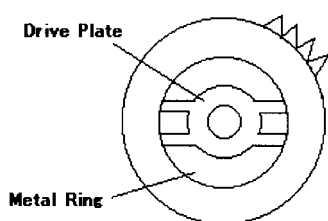


図16 ファイナルギアの裏側構造図

これにより、サーボモータの制御におけるループが開放され、サーボモータのスピード調整が可能となる。

改良後のサーボモータを図17に示す。

サーボモータはCPUモジュールのコマンドを使用してサーボモータのコントロールが可能である。

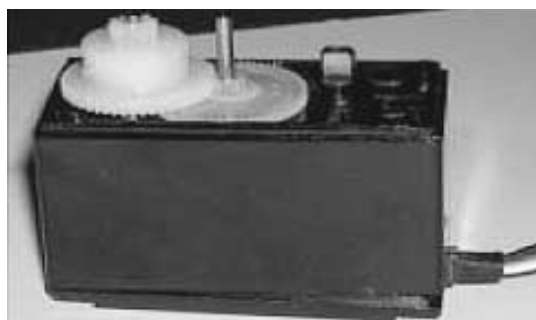


図17 サーボモータの改良完成図

6-2 画像処理アルゴリズムの検討

1) 画像処理を用いたピクセルデータの判定

ピクセルデータの判定アルゴリズムは、CCDカメラからのピクセルデータを使って追跡する対象物がどのくらいの距離にあるかを判定する。ピクセル値が大きいときは、物体が近くにあると判

定し、ピクセル値が小さいときは、物体が離れていると判定する。これにより走行ロボットが対象物の後を追跡するという動作が可能である。

2) CCDカメラと追跡対象物間の距離条件

追跡対象物間の距離条件アルゴリズムは、CCDカメラの使用範囲を決めるために重要な意味を持っている。追跡する対象物に対しては床平面と縦のY座標を使うことにした。

CCDカメラを床面に対してより効果的に働かせるために前方下向きに角度をつける。CCDカメラが床面に向かって下向きの角度に取り付けられると、そのイメージからY座標の位置データの判定により追跡する対象物のおおよその範囲を決めることができる。

VII 今後の課題

使用したCCDカメラの短所をあげると単色のみしか記憶できないという欠点がある。走行したときに混合色の色認識が不安定になるという問題も発生した。また、混合色の色認識制御機能の追加も課題である。さらに、画像認識等の処理が高速でないために色を見失うという問題も出てきている。

音声による動作確認機能（メッセージ機能）の追加も課題である。改善により、ロボットが認識中の色や画像を見失ったときでも音声で知らせることが可能である。また、CCDカメラから読み込まれた画像情報をホスト側に送って制御すべき情報をリアルタイムに処理し、走行ロボットとの間で双方向のデータ通信をするために、無線LANやBluetooth等の導入も課題である⁴⁾。

VIII おわりに

本稿では訓練教材化の試作を目的に、走行ロボットとCCDカメラを組み合わせた自律走行ロボットの製作方法とCCDカメラによって取り込まれた画像情報から色を認識するアルゴリズムの検討ができた。

ロボットの組み立てや動作検証では、動作するために必要な最低限のパーツだけで組み立てて、正常に動作することを確認した後に、オプションとするパーツを一つ一つ追加して確認する方法が効果的である。また、色認識方法や走行動作を評価しながらプログラム

開発を指導してきたことで、訓練生のロボット製作への関心と理解を高めることができた。さらに、ピクセルデータの判定や対象物間の距離条件の調整方法、ロボットの走行制御の動作検証、課題などが整理できた。

本走行ロボットは、危険物認識システムおよび障害者や高齢者のための歩行誘導システムなどへの応用に活かすことができ有用である²⁾。また、従来のロボットにビジョンシステムを組み込ませることで、限られたパターンの動きだけでなく幅広い作業への適用が期待できる。さらに、動作だけでなく色の計測データを他の面でも活かすことができる³⁾。今後は走行ロボットの製作方法に関するマニュアル化や製作歩留まりを向上させるためのシミュレーションの活用も検討して行きたい。

謝 辞

本稿をとりまとめるにあたり、PIC開発環境の情報提供でご協力を頂いた四国職業能力開発大学校電子技術科の教官、さらに、各種教材と技術資料、情報の提供でご協力を頂いた日本マイクロロボット教育社の関本清志氏、Parallax社のKen Gracey氏には深く感謝の意を表します。

[注]

(注1) P-BASICは、Parallax Inc. の登録商標です。

[参考文献]

- (1) 第24回総合科学技術会議議事、ロボット技術の現状と将来について、pp.4, pp.9, 2003
- (2) 経済産業省近畿経済産業局、近畿地域における次世代ロボットに関する実態調査報告書について、「次世代ロボット市場の現状と将来展望」、pp.9, pp.25-28, 経済産業省近畿経済産業局、2002
- (3) 出口 光一郎、ロボットビジョンの基礎、pp.1-3, コロナ社, 2000
- (4) 杉浦 富夫、ロボコン部品ガイド、pp.25, pp.46-47, オーム社, 2005
- (5) 関本 清志、ロボット製作 P-BASIC言語、pp.18-30, pp.60-101, 日本マイクロロボット教育社, 2002
- (6) 東 直人、他、静岡大学工学部における新入生を対象とした「ものづくり」教育プラン、pp.20-25, 静岡大学工学部, 2005