

マイクロマウス競技を題材とした創造性育成教育の実践

葉山 清輝* 茂田 哲男** 松本 勉***

Practice of creativity Education by the subject of micromouse competition

Kiyoteru Hayama*, Tetsuo Shigeta**, Tsutomu Matsumoto***

Abstract Micromouse competition is one of the most famous autonomous robot competitions. Although the producing micromouse has technical difficulty, it is very useful for students to study embedded systems if the educational materials are enough prepared. Simply design and development of micromouse for embedded system education are presented. The micromouse consists of H8 tiny, optical sensor, stepping motor, FET motor driver and peripheral circuits. The number of the source code of the sample software is less than 1000 lines.

キーワード : マイクロマウス, 自律型ロボット, 組込みシステム教育, 創造性育成

Keywords : Micromouse, autonomous robot, embedded system education, creativity education

1. はじめに

マイクロマウスとは、マイクロマウス自身の能力で迷路を探索し、ゴールへ走り抜ける自律型移動ロボットである。マイクロマウス競技は、1977年にIEEE(米国電気電子学会)が提唱したことに始まり⁽¹⁾、世界的に知られる競技であり、欧州大会など世界各地で定期的な大会が開催され、これまでに幾度か世界大会も行われている⁽²⁾。日本では、1980年より財団法人ニューテクノロジー振興財団⁽³⁾が主催で地区大会および全国大会が行われている。

マイクロマウスの製作にはソフトウェアとハードウェアの両方の技術が要求され、技術的な難易度は高いが、これを教材とした技術教育は有用だと考える。

本論文では、マイクロマウスを題材とした組込み技術教材の開発と、マイクロマウス競技大会への出場を動機付けとして高専5年生の卒業研究でマイクロマウス製作を行った事例を報告する。

2. 競技の概要

迷路の大きさは、 16×16 区画 (1区画の大きさは 18

$cm \times 18cm$) の通路から構成されており、壁の高さ $5cm$ と規定されている。迷路の底面は黒色、壁の側面は白色、壁の上面は赤色である。迷路の形は事前に知らされていない。

四隅のいずれかの区間に出発点が設定され、ゴールは迷路中央の4区画と定められている。出発点に置かれたマイクロマウスが自律で迷路を探索し、ゴールに辿り着くまでの時間を競う競技である。持ち時間は10分以内と決められ、全部で5回の走行回数のうち、ゴール到達に要した最短時間を競う。

多くのマイクロマウスは、最初に比較的ゆっくりとした走行で迷路の探索走行を行い、2回目以降の走行でタイムトライアルを行う。

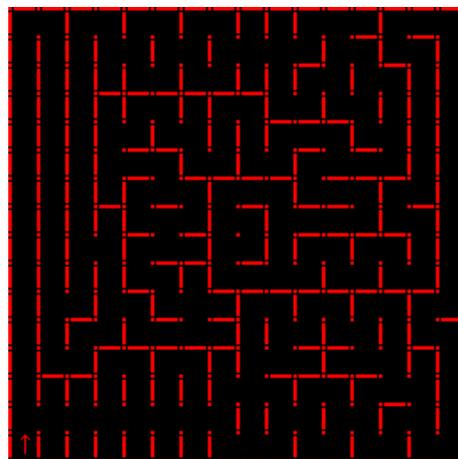


図1 マイクロマウスの迷路の例

Fig. 1. Example maze for the micromouse.

* 情報通信エレクトロニクス工学科
〒861-1102 熊本県合志市須屋 2659-2
Department of Information, Communication and Electronics
engineering, 2659-2, Suya, Koshi, Kumamoto 861-1102

** 技術センター
〒861-1102 熊本県合志市須屋 2659-2
Department of Technical Center of Experiments for Students,
2659-2, Suya, Koshi, Kumamoto 861-1102

*** 制御情報システム工学科
〒861-1102 熊本県合志市須屋 2659-2
Department of Control and Information Systems Engineering,
2659-2, Suya, Koshi, Kumamoto 861-1102

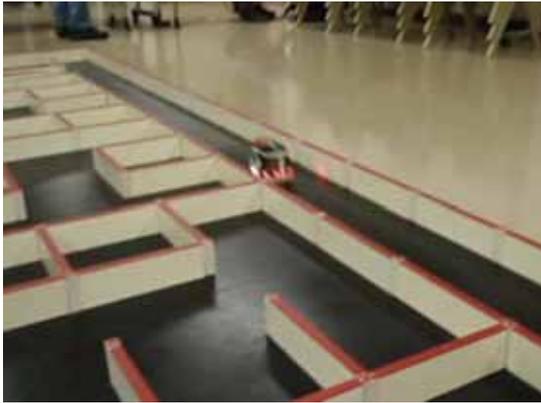


図2 迷路走行中のマイクロマウス
Fig.2. Micromouse maze-running.

3. マイクロマウスを題材とした教育の利点

現在様々なロボット競技が開催されており、特に有名なものの一つにNHK主催⁽⁴⁾の高専ロボコンがある。しかし、毎回違った課題設定によりロボット競技が行われるため、継続的な教育教材のターゲットとしては捕らえ難い。一方、マイクロマウス大会はその歴史も古く、電子情報関連分野での認知度が高い⁽⁵⁾。時代を経てもその時代の新しい技術が取り入れられ、発展してきた歴史がある⁽⁶⁾。また、著者の松本らは国内のマイクロマウス競技大会の運営に関わり、過去18回を数えるマイクロマウス九州支部大会を運営してきた経緯がある。昨年度は本校内で第19回九州地区大会を開催し、学生への周知や見学の機会があるなど利点が多い。

マイクロマウス競技は、ある程度以上のレベルのソフトウェアとハードウェアの電子技術を兼ね備えていなければ製作できないため、技術的な難易度が高く、初学者には障壁が多い。そのため、大学等のクラブや社会人に愛好者がいるが、教育現場ではマイクロマウスを題材とした教育事例は多くない。しかし、指導者側が十分な教材とサポートにより技術的な障壁を取り除けられれば、創造性教育の教材としては製作者の趣向を凝らしたロボット製作に繋がる期待できる。

4. 競技出場を動機付けとした学生によるマイクロマウスの開発

4.1 設計のコンセプト

短時間でマイクロマウスを完成させることを重視し、設計コンセプトは以下のように決めた。

電子回路製作に不慣れな学生なので、ハードウェアはできるだけ簡略化する。ソフトウェアによって機能を補える部分はできるだけソフト化する。

電子系の学生で機械加工は不慣れなので、機械加工は最小限とする。

部品点数と価格はできるだけ抑える。
走行速度の高速化よりも確実性を重視する。
その結果、マイクロマウスは以下の構成とした。

マイコン

H8Tiny-3664（メインクロック 16MHz, ROM 32KB, RAM 2KB, I/Oポート, A/Dコンバータ内蔵, 低価格）が搭載されたワンボードマイコン（AKI-3664, 秋月電子通商）を制御に用いる。

センサ

可視光LED（DNP318U-4）とフォトトランジスタ（TPS601A）を組み合わせ、反射光の強度で壁との距離を検出する。前方向に2個、左右に各1個の計4個使用する。

モータ、ホイールとタイヤ

回転数、回転角の制御が容易なステッピングモータであるKH39EM2-801（日本サーボ）を2個使用し、市販のホイール、タイヤをモータ軸に直結する。

ボディ

0.5mmまたは1mm厚のアルミ板を加工する。ユニバーサル基板上に回路を構成し、基板をスペーサ等で固定する。

バッテリー

大容量なりチウムポリマー電池（7.4V 900mAh）を使用する。高価であるが、小型軽量化によるマイクロマウスの動特性向上によって走行信頼性の向上が期待できる。

4.2 製作したマイクロマウス

設計をもとに、高専5年生の卒業研究としてマイクロマウスの製作を行った。マイクロマウスを完成させ、大会出場することを目標に設定して指導を行った。通常の1年かけて卒業研究を行い年度末に成果を得る場合と比べると期間が約半年と短く、事前の綿密な計画が重要である。図3に示す予定スケジュールで4月から設計製作を始め、9月の大会出場を目指した。参加した3名の学生はロボット製作は初めてであったが、それぞれ、ボディ製作、電子回路製作およびソフトウェア作成を主に分担した（学生A,B,Cとして図3中に記載）。学生の進学・就職活動や定期試験の時

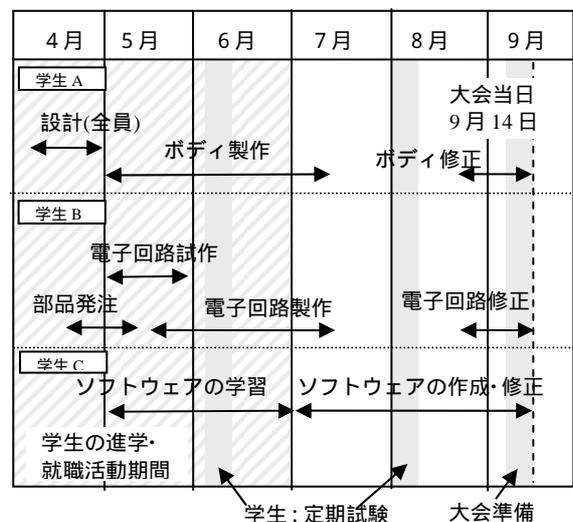


図3 マイクロマウス大会出場までの予定スケジュール

Fig. 3. Planned schedules.

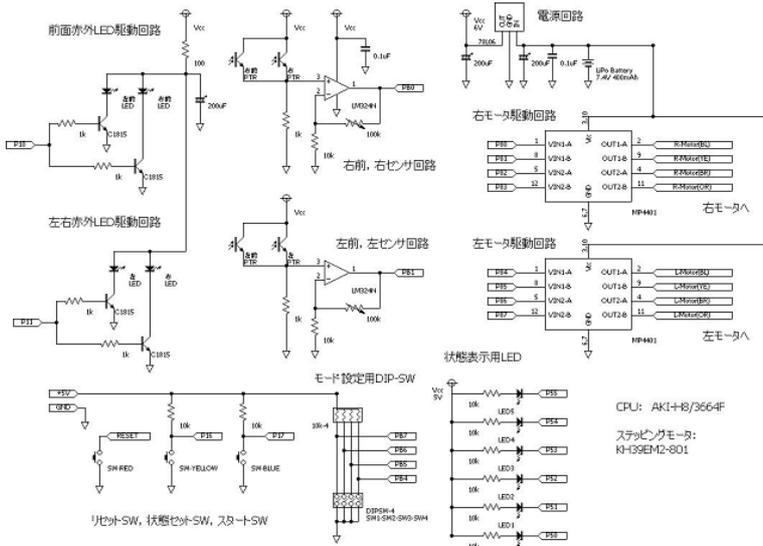


図4 マイクロマウスの全回路

Fig. 4. All circuit of micromouse.

期はほとんど製作が進まなかったことから全体的に予定が遅れ気味であったが、大会前には集中して製作に取り組み、マイクロマウスを完成させることができた。

図4は設計したマイクロマウスの全回路図である。図中の端子名(PまたはANを頭文字とする端子)は、H8-3664のポート名に対応する。回路構成上工夫した点は、センサ回路の簡略化のために、LEDおよびフォトトランジスタを並列接続してスイッチングしている。

モータはユニポーラ型のステッピングモータを用い、駆動にはnチャンネルパワーMOSFETが4回路入りモジュール(MP4401)を使用した。MP4401の各MOSFETのゲートにP80からP83の4ビット信号を送り右モータの回転し、同様にP84からP87までの信号で左モータを制御する。

図5は、製作したマイクロマウスの部品である。これを組み立てると、図6から図8のようになる。

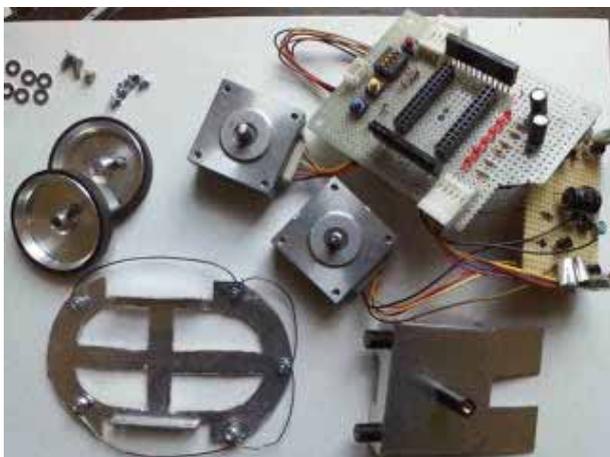


図5 製作した部品

Fig. 5. Produced parts.

ボディは、2mm厚のアルミニウム板で作った。ホイールおよびタイヤは市販品を購入した。壁との衝突による破損防止のために0.8mmのピアノ線でバンパーを作っている。ボディの裏面前後にはカグスペール(家具用すべり材)を貼っている。

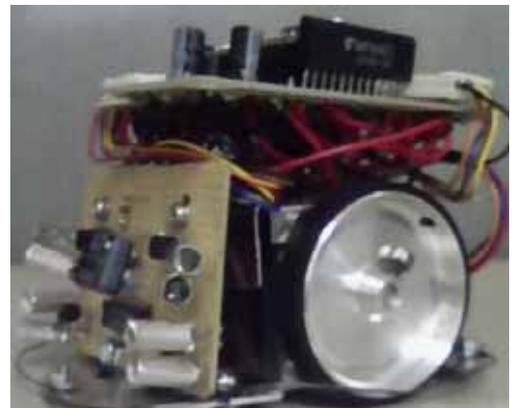


図6 完成したマイクロマウス

Fig. 6. Photograph of produced micromouse.

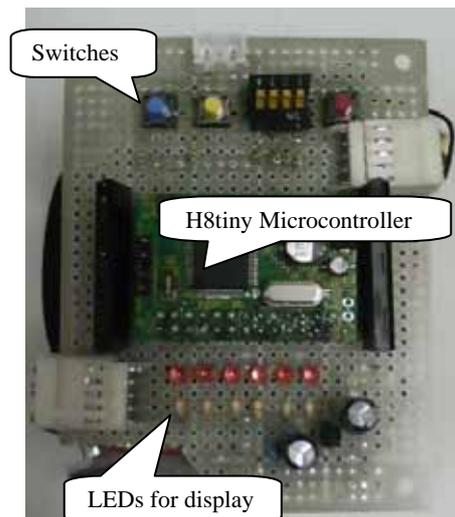


図7 マイクロマウスの上面

Fig. 7. Top view of micromouse.

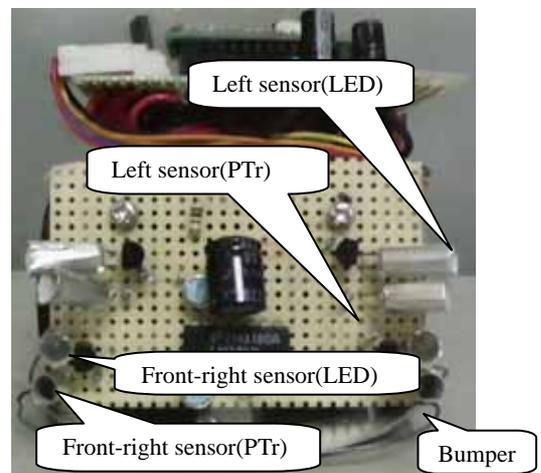


図8 マイクロマウスの前面

Fig. 8. Front view of micromouse.

4.3 マイクロマウスのソフトウェア

ソフトウェア開発には、ベストテクノロジー社⁽⁷⁾の GCC Developer Lite（略称 GDL）を使用した。この理由は、GDL がフリーで提供され、ターゲットとする H8Hiny が対応していることと、取り扱いが容易であるためである。プログラムを大きく分けると次のような構成となる（図 9）。

変数、定数の定義...処理に用いる変数や定数を定義

メモリ容量の少ないマイコンを用いる場合は、グローバル変数を使って静的にメモリ確保したほうがメモリ利用効率が良い。

メインプログラム...タイマー、A/D コンバータなどマイコンの機能を利用するための初期設定が必要である。その後、DIP スイッチの値から各種処理に分岐する。

タイマー割り込み処理...ステッピングモータおよびセンサ読み込みは、割り込みで制御する。

探索プログラム...拡張左手法、足立法などのアルゴリズムに基づき探索走行をする。拡張左手法は内部に迷路情報を持ち、メモリ内で仮想的な壁を作りながら迷路の前区画を調査する方法である。足立法とは、得られた情報を元に最短経路探索を繰り返しながら情報修正し、ゴールまでの経路を探索する方法である。

最短距離走行...最短経路を求め走行する。内部の迷路情報をもとにメモリ内でゴールからスタート位置まで歩数マップを作成し、スタートから歩数を逆に辿ることで最短経路を求める。

その他関数...1 ステップ前進や等高線マップ作成など。

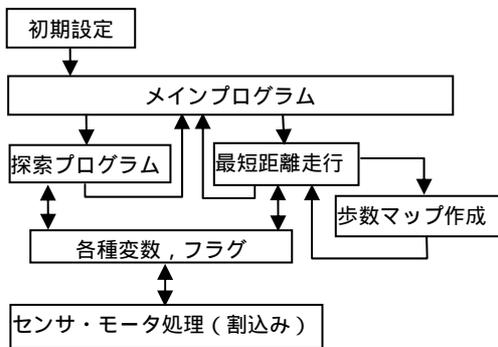


図 9 ソフトウェアの構成

Fig. 9. Software diagram.

ソフトウェア開発において、ソースコードの行数を抑えることも指導した。学生が動作の不具合に対して、対処療法的な補正プログラムを追加することでプログラムの見通しが悪くなり、バグを含ませてしまうことを防ぐためである。必要な処理を整理して簡潔にソースを記述させることは学生にとっては重要であり、これは今後教材としてまとめる際にも役立つと考える。最低限の機能に絞ってプログラムを作成した結果、ソースコードの行数は約 600 行となった。これに走行の安定化、複数の探索プログラム、スラローム走行などの最短走行の高速化のプログラムや、壁

との衝突回避の例外処理を追加し、大会出場時には約 1000 行のソースコードになった。

5. 九州地区大会参加の結果

作製したマウスで 2008 年 9 月 14 日に開催されたマウス九州支部大会に出場した。結果は、数区画進んだが、リタイアとなってしまった。センサの調整ミスで壁の検出が上手くいかなかったことが原因で、調整を行った環境と大会会場の照明の違いによるものと判明した。出場した学生は、大会出場を通してハードウェアとソフトウェアの両方の技術を習得できたとともに、残念な結果であったがシステムの設計における信頼性が重要であることを学ぶことができたとの感想だった。

また、設計したマウスの動作検証のために、ほぼ同一の回路とプログラムで著者自らが製作したのもあわせて大会に出場したが、これは完走させることができた。

6. 組み込み学習教材用マウスを開発

6.1 市販されているマウス

マウスは組み込み学習には適した題材であるが、マウス本体の製作は難易度が高いため、市販のマウスを購入することが考えられる。市販されているマウスを表 1 に示す。

表 1 市販されているマウス

Table 1. Marketed micromouses.

マウス名	メーカー	価格	特徴
F0118b-M1	エフテック (国内)	販売終了	CPU:Z80 互換 上面壁センサ方式, ステッピングモータ
Pi:Co	(株)アールティ(国内)	98000 円	CPU:S2-7125, DC モータ, ハーフサイズマウス
PICAVE Micromouse Kit	techsupplies 社(英国)	£80.50	CPU:PICAVE, 側面壁センサ, DC モータ, 開発キット別
MKIT 700	Alpha Innovations Pte Ltd. (シンガポール)	US \$671	CPU:NEC78310A, 上面壁センサ, ステッピングモータ
MKIT 900	Alpha Innovations Pte Ltd. (シンガポール)	US \$713	CPU:NEC78310A, 側面壁センサ, ステッピングモータ

国内からはステッピングモータを用いたノーマルサイズ F0118b-M1 がエフテック社⁽⁸⁾より、本年度より開催されるハーフサイズ競技用のマウスが駆動部に DC モータを用いたアールティ社⁽⁹⁾よりそれぞれ約 10 万円で市販されている。海外でも数種類のキットが販売されている。

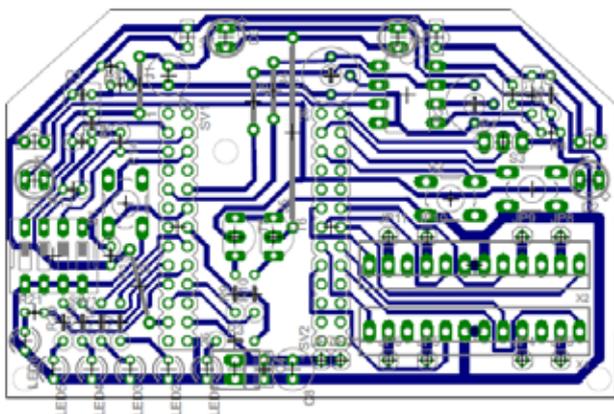
市販のマウス Techsupplies 社⁽¹⁰⁾のキットを除いて、5 から 10 万円と高価であり教材として学生の人数分揃えるには初期投資が必要である。また学校側で購入することになり、学生には組み込みソフトウェアの教育が主体とな

る形態を採らざるを得ない。一方、Techsupplies 社のキットは日本円換算で 1 万 2000 円程度であり比較的安価であるが、学生に購入させて教材とするには少々高い。また、DC モータを用いているため制御が難しいことと、独自の開発環境を別途購入しなければならないことが教材としては不向きと考えられる。

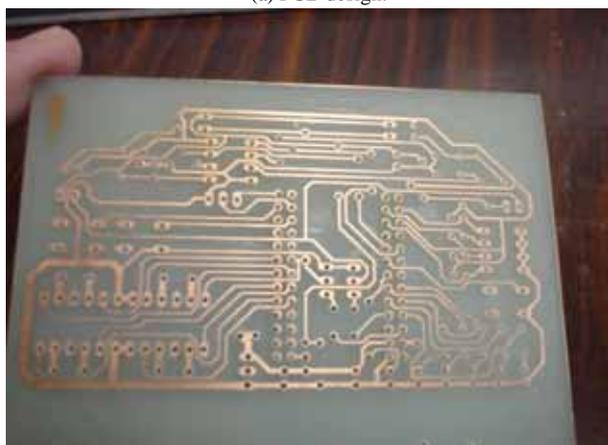
6.2 教材用マイクロマウスの設計

高専で実験・実習用に導入するためには、できれば 1 人 1 台のマイクロマウスを学生自身が購入し製作を行えることが望ましい。そこで、今回設計し動作検証を行ったマイクロマウスを元に組み込み学習用の教材として活用するために、特に安価で製作が容易な教材用マイクロマウスのキット化を考えた。

今回設計し動作検証を行った回路をもとに、マイクロマウス専用のプリント基板の設計を行った。図 10 に基板の設計と感光基板を用いて製作した基板をそれぞれ示す。



(a) 基板設計図
(a) PCB design.



(b) 製作した基板の写真
(b) photo of the fabricated PCB.
図 10 設計したマイクロマウスの基板
Fig. 10. Designed PCB of micromouse.

基板は自作も可能な片面 1 層基板として設計を行い、超

信地旋回可能な基板サイズの約 5cm × 8 cm に収められた。十分な実験・演習時間が確保できるなら、基板のエッチングによる製作も体験させることができる。設計には商用の CAD ソフトウェア EAGLE を用いたが、これは 10 × 8 cm のサイズまでは無償で使うことができ、学生自身でマイナーな設計変更も行うことができる。

6.3 教材用マイクロマウスの試作と価格の試算

部品を半田付けした基板を図 11 に、完成した教材用マイクロマウスの製作例を図 12 にそれぞれ示す。



図 11 部品を取り付けた基板
Fig. 11. PCB mounted electronics devices and H8-CPU board.

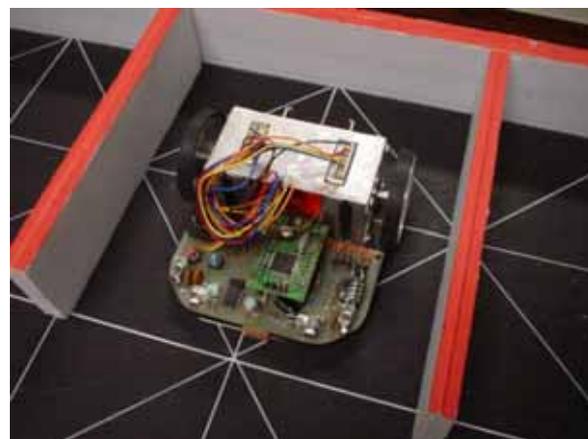


図 12 教材用マイクロマウスの製作例
Fig. 12. Prototype of micromouse of education.

マイクロマウスの走行性能は足回りの能力に大きく依存し、設計した基板は 2 相ユニポーラ型のステッピングモータなら駆動可能なので、モータ、ホイールおよびタイヤのキット化は行わず、自由に選定するものとした。

図 12 のマイクロマウスのモータは前述の KH39EM2-801 であるが、安価なモータとホイールを用いれば価格は抑えられる。例えば、小型で安価なギヤードステッピングモータ (SPG20-361, 千石電商にて 980 円) を用い、模型用のホイール・タイヤを用いれば約 2500 円で駆動部を製作できる。

また、H8-3664 CPU ボードは 1600 円である。電源は高価な 2 次電池を用いなくとも、単 3 電池 4 本で良い。他の部品もまとめて購入すれば総金額が 5000 円程度まで抑えられ、学生が 1 人 1 台購入して製作できる価格となるので、ハードウェアの製作から組込みソフトウェア学習まで行うことができる教材となると考える。

7. まとめと今後の取り組み

特にロボット製作経験のない学生でも約半年間でマイクロマウスを完成させることができた。これは、高専 5 年生程度の能力があれば、十分な動機付けと段階に応じた適切な指導により比較的難易度の高い課題でも短期間にこなすことができる一例である。

今回の成果から、マイクロマウスのハードウェアが提供されればソフトウェアの演習を行うことは高専 4 年次で可能だと思われる。ハードウェアについても、H8 マイコンのデジタル周辺回路については高専 3 年次から、光センサ関連のアナログ周辺回路は高専 4 年次から理解できる。3 年次以上で段階を経て講義や実験・演習の題材として取り入れていくことが可能だと考える。今後は、設計・製作したマイクロマウスをもとに、専用基板やソフトウェアを整備して組込み技術教育の教材として活用していく。

一方で、大規模な組込みシステム開発に従事する技術者養成に関しては、リアルタイム OS の知識も必須となることが想定される。現在は様々なリアルタイム OS が混在しているが日本国内ではトップシェアをもつリアルタイム OS である TRON⁽¹¹⁾は、開発規模に合わせたいくつものバリエーションがあり、小規模組込みシステム向けには μ ITRON の仕様が設計されている。本教材に用いた H8 に対応した μ ITRON 仕様のカーネルは無償の HOS (Hyper Operating System)⁽¹²⁾や、有償の Smalight⁽¹³⁾ (ルネサステクノロジー社) とともに提供されている。開発した教材用マイクロマウスをプラットフォームとしたリアルタイム OS の利用技術の学習教材の開発も検討中である。

(平成 21 年 9 月 25 日受付, 平成 21 年 11 月 10 日再受付)

文 献

- (1) Christiansen, b: Announcing the amazing Micromouse maze contest. IEEE Spectrum, Vol. 14, No 5, p. 27 (1977)
- (2) Billingsley, J. :Micromouse at Expo '85 Tsukuba: Electronic System News, UK, pp32-33 (1986)
- (3) 財団法人ニューテクノロジー振興財団, <http://www.robomedia.org/>
- (4) <http://www.nhk.or.jp/robocon/>
- (5) マイコン知能ロボットへの招待 金山祐, 油田信一 著 CQ出版株式会社
- (6) 高速マイクロマウスの作り方 浅野健一 著 東京電機大学出版局 トランジスタ技術 別冊
- (7) <http://www.besttechnology.co.jp>
- (8) <http://www.ftech-net.co.jp/>
- (9) <http://www.rt-shop.jp/>
- (10) <http://www.alpharobots.com/moreMkit.htm>
- (11) Ken Sakaura [ed], *TRON Project*, Springer-Verlag Berlin and Heidelberg

GmbH & Co K(1991)

(12) <http://sourceforge.jp/projects/hos/>

(13) <http://www.kitasemi.renesas.com/product/smilight/index.html>