

全日本マイクロマウス大会に向けたライントレーサ制作

—競技用ライントレーサ制作における教材開発について—

電子情報技術科 青木 祐作

Line tracer production for the all-Japan micromouse competition
—About teaching material development in production line tracer production—
Yusaku AOKI

概要 当校の電子情報技術科では、電子回路設計やマイコンプログラミングをカリキュラムとして取り入れている。ハード・ソフトにおける技術研鑽を目的として自律走行ロボットを制作し、競技会に出場したことを報告する。

1. はじめに

当校の電子情報技術科の学生2名が第39回全日本マイクロマウス大会のロボットレース競技に出場するために、競技用ライントレーサを制作した。昨年度の反省を踏まえた大会機体の制作を行い、本年度実施される大会への出場を目指した。

2. 全日本マイクロマウス大会とは

全日本マイクロマウス大会は、将来を支えていく若手技術者のための人材育成事業として公益財団法人ニューテクノロジー振興財団が1980年から毎年開催しているロボット競技会である。競技会の種目のロボットレース競技とは、図1に示すように、ロボットに定められた周回コースを3走まで走行させ、自律操縦の巧みさとスピードを競う競技である。



図1. 昨年度の大会の様子

3. 昨年度の全日本大会の取り組み

昨年度は、様々な場所で動作検証をすることを前提としているため、マイコンは開発環境が幅広く対応しているArduino Nanoを使用し、図2に示す機体を制作した。

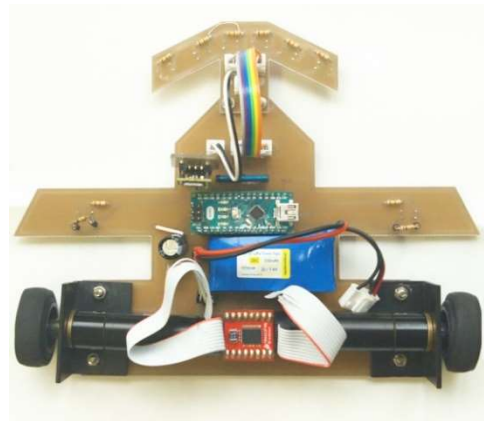


図2 昨年度の制作機体

機体の性能面においてモータ、タイヤなどの足回りの設計がうまくいかず、些細な衝撃でタイヤが外れることがあった。また、昨年度の大会出場時は機体の制作に時間をかけすぎてしまい、ソフトウェア開発に時間をかけることができなかった。その結果、大会上位陣の機体の多くがコース記憶を活用したシステムを実装しているのに対し、昨年度の大会出場機体はコース記憶を用いたシステムの実装まで間に合わせることはできなかった。

4. 全日本大会に向けた制作機体

4. 1 ハードウェア

今年度の全日本大会に向けて制作した機体の基本構成を図 3.1 に示す。

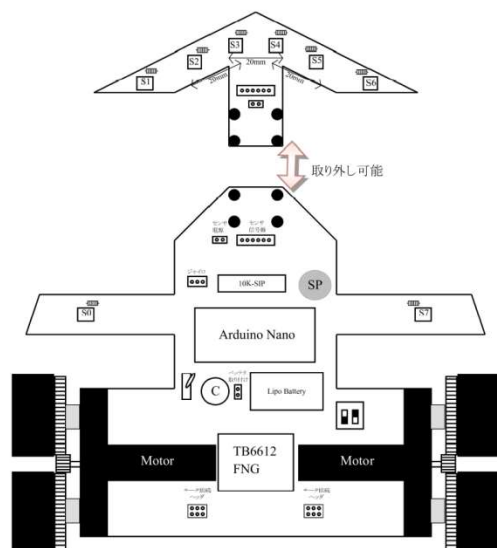


図 3.1 制作機体の基本構成

機体は基板加工機により作成したプリント基板を使用する。モータは、教育用途で安価に購入可能な、入手性の高い FAULHABER 社の「1331006SR」を使用する。モータ 1 回転あたり 400 の分解能を持つ同社製エンコーダ「IE-400」をオプションとして搭載している。エンコーダより得られるモータ回転数の情報から機体の走行距離情報、機体の速度情報、機体のコーナごとの走行曲率情報を得ることができる。モータはエンコーダ取り付けオプション含めて専用品であるため、見積もりから納品まで 3 か月要した。タイヤはモータ 1 個で 2 輪駆動するよう設計することで 4 輪駆動する。モータドライバは 1 つの IC で 2 個のモータを制御できる TB6612FNG を使用する。マイコンは、開発に便利なライブラリが揃っており、互換品であれば安価で入手することができる Arduino Nano を使用する。赤外線センサ（フォトリフレクタ）は小型 TPR-105F をラインセンサとして 6 個使用とし、ゴールマーカ、コーナマーカ検知用センサとしてそれぞれ 1 個使用する。

本総合制作にあたり、昨年度の制作では、学生のはんだ付けのスキル不足が散見され、基板製作のやり直しを含め、機体の制作に多くの時間を費やしてしまった。昨年度の反省を踏まえ、今年度は学生に対して、4 月から 7 月までの期間に昨年度の学生が設計した機体を量産するよう指示した。制作した量産機体を図 3.2 に示す。量産機体については、高等学校向けプログラミング実習の体験用教材として活用する前提で取り寄せた。結果、学生自身に丁寧に制作することを自覚させ、はんだ付けのスキル向上を図ることができた。

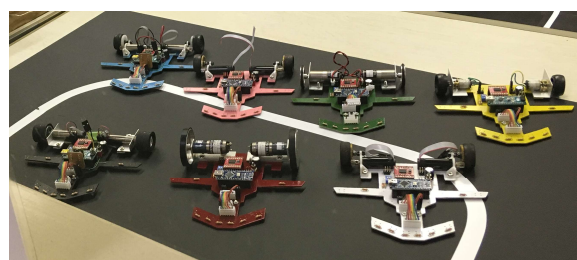


図 3.2 昨年度設計された機体の量産

8 月以降は昨年度の制作機体に改善を加え、12 月の全日本マイクロマウス大会に向け、大会出場機体を制作した。制作した出場用機体を図 3.3 に示す。左の機体が「ギャラポリーGO」と名付けられ、コーナマーカ、ゴールマーカ用のセンサをそれぞれ 1 つ増やすことでマーカ検知制度の向上を見込んで設計した。右の機体が「ギャラポリーBLACK」と名付けられ、ボードをワンボード化し、モータとラインセンサの間の幅を削減することで軽量、コンパクトであることを重視して設計した。

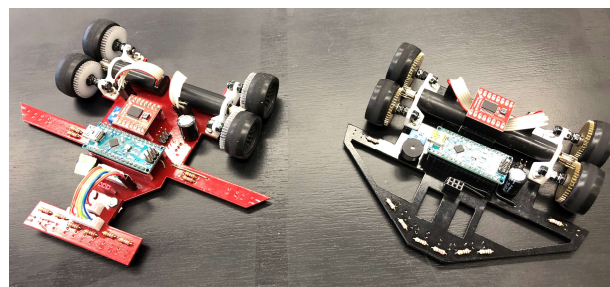


図 3.3 大会出場機体

4. 2 ソフトウェア

4.2.1 コース追従するための制御について

コースラインに機体を追従させるためには、コースのラインと機体のずれを判別する必要がある。機体のラインからのずれを検知するフォトセンサの配置を図 4.1 に示す。



図 4.1 フォトセンサ

図 4.1 の左端のセンサから順に S1~S6 とし、下記の (1) 式に各センサから得られたアナログ値を当てはめると機体のモータに対してラインに追従旋回するための制御量を与えることができる。各センサのゲイン $Kp1 \sim Kp3$ は外側のセンサほど大きくするよう設定する。ラインからの機体のずれが大きくなるほど左右モータの制御量が大きくなることから P (比例) 制御と呼ぶ。

$$V_p = S_1 \cdot (-KP_1) + S_2 \cdot (-KP_2) + S_3 \cdot (-KP_3) + S_4 \cdot KP_3 + S_5 \cdot KP_2 + S_6 \cdot KP_1 \quad (1)$$

V_p : モータに与える制御量 (P 制御成分)

$S_{1 \sim 6}$: 各センサから得られるアナログ値

$KP_{1 \sim 3}$: 各センサに設定するゲイン

低速走行において、機体を追従旋回動作させるための制御成分は P 制御成分だけで大きな問題はないが、機体が高速になると、機体がコースに対して蛇行する発振動作が顕著となることがわかった。高速走行においてもコース追従した滑らかな走行を目指すため、(2) 式に示すように単位時間ごとのラインと機体のずれの情報をモータへの制御量へフィードバックする D (微分) 制御を行うこととした。

$$V_D = (dV_p - V_p)dt \cdot K_D \quad (2)$$

V_D : モータに与える制御量 (D 制御成分)

V_p : 現在の誤差情報 dV_p : 過去の誤差情報

t : サンプル時間 K_D : D 成分用ゲイン

ここまで計算で求めた制御量 V_p と V_D は機体の旋回用の成分であるため、これだけでは機体は前に走行せず旋回動作しかできない。左右のモータに対して前進するための制御量 V を与えておき、(3)、(4) 式に示すようにゲイン調整を行った P 制御成分と D 制御成分を左右モータ前進用の制御量 V に対してフィードバックすることで機体がラインに追従走行することが可能となる。

$$V_L = V + (V_p + V_D) \quad (3)$$

$$V_R = V - (V_p + V_D) \quad (4)$$

V_L : 左モータに与える制御量

V_R : 右モータに与える制御量

V_p : P 制御成分

V_D : D 制御成分

4.2.2 コースの記憶プログラムについて

ロボットレース競技のルールは 1 機体 3 走まで走行を許されており、大会上位を目指すためには 1 走目でコースの記憶を行い、2 走目以降で記憶したコース情報に従ってカーブ曲率に合わせた加減速走行をすることが必要となる。コースの記憶は図 4.2 に示すような各コーナ前 (曲率変化点) に設置されたコーナマーカを活用する。

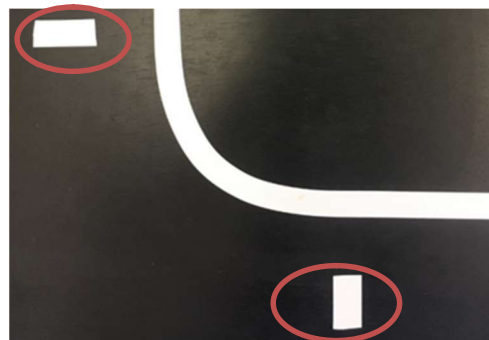


図 4.2 コーナマーカ

コーナマーカ間のエンコーダカウントを計測することで左右タイヤの走行距離を求めることができ、左右タイヤの走行距離情報からコーナの曲率を計算することができる。2 走目以降は 1 走目で計算した各コーナマーカ間の曲率を利用して、コーナ曲率に合わせた速度制御を行うことにより、2 走目以降の高速走行を目指した。

5. 全日本マイクロマウス大会の結果

図 5.1 に大会選手控室の様子、図 5.2 に大会会場の様子を示す。今年度大会においては出場エントリー129 機中、113 機が出走した。



図 5.1 大会選手控室の様子



図 5.2 大会会場の様子

ギャラポリーGO は 3 走とも完走することができた。コース記憶を活用した 2 走目の加減速走行の 27.616 秒がベストタイムとなり、順位は 48 位となった。ギャラポリーBlack は図 5.3 に示すようなコース途中にある白傷をゴールマーカと誤検知し、3 走とも同じ箇所で停車リタイヤ扱いとなってしまった。今回のレースでは同箇所での白傷により、リタイヤ者が続出した。次年度の大会に挑戦する際にはコースの傷を考慮したマーカ判定プログラムが必要であると考えられる。



図 5.3 コースの白傷

6. 全日本大会後の取り組み

大会上位陣は部品を 3DCAD、3D プリンタで自作している機体がほとんどであった。当校の出場した機体は市販品のタイヤ等を使用していたため、機体の設計自由度に限界があることが分かった。全日本マイクロマウス大会後は Autodesk 社の 3DCAD ソフト「Fusion360」を使用し、タイヤとモータマウントの作成を行い、機体の剛性向上を図った。図に制作タイヤのモデリングの様子を示す。

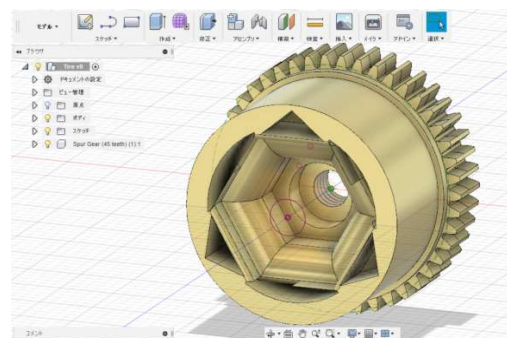


図 6.1 Fusion360 によるホイールのモデリング

タイヤ、モータマウントを制作するにあたって 3D プリンタは XYZ PRINTING 社の「ダヴィンチ Jr. 1.0 w」を使用していたが、フィラメントの吸着水分量の状態や外気温等の影響により、期待した精度の造形ができず、ギアの噛み合わせが悪くなるなどの問題が生じた。この課題に対し、生産技術科の使用しているキーエンス社製の 3D プリンタ「Agilista」を使用することで期待する精度のタイヤ、モータを造形することができた。図 6.1 に制作したタイヤ、モータマウントを示す。



図 6.2 制作したタイヤ、モータマウント

7. 次年度の大会に向けた検討事項

7. 1 ドローンユニットの追加

ロボットレース競技において、機体底面に穴をあけ、ファンを取り付ける行為（吸引機構の装着）は禁止されているが、今大会優勝機体は機体の上部に4つの羽根を回転させるドローンユニットを搭載することで、吸引機構と同等の効果を実現していた。次年度の大会では優勝機体を見本としたドローンユニットを搭載した機体が増えることが想定されるため、今後は図に示すようなドローンユニットの試作を行い、接地圧向上効果の検証を行っていく予定である。



図 7.1 試作したドローンユニット

7. 2 マイコンボードの変更

今年度の大会出場機体に搭載した Arduino Nano はコース記憶システムの導入に伴い、プログラムサイズとデータの肥大化が問題となった。ROM、RAM の容量不足によりマイコンの予期せぬ暴走を引き起こしてしまい、デバック作業に多大な時間を浪費してしまった。現在、Arduino Nano と同等のピン配置で使用でき、Arduino Nano と比べて性能面が動作周波数、ROM、RAM とともに優れている NUCLE0-F303K8 への移行を検討している。Arduino Nano と NUCLE0-F303K8 の性能比較を表 7.1 に示し、外観の比較を図 7.2 に示す。

表 7.1 マイコンボードの性能比較

	Arduino Nano	NUCLE0-F303K8
電源電圧	5[V]	3.3[V]
動作周波数	16[MHz]	72[MHz]
ROM	32[KB]	64[KB]
RAM	2[KB]	16[KB]

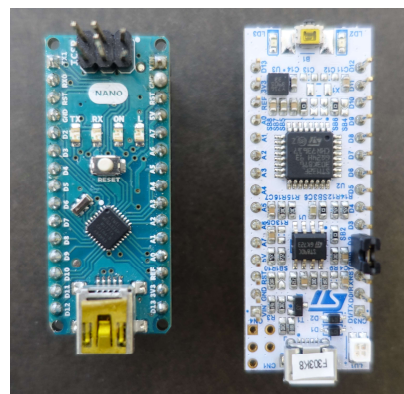


図 7.2 マイコンボードの外観比較

NUCLE0-F303K8 は Arduino Nano とピンコンパチブルに設計されているため、機体の回路設計仕様の変更を最低限に抑えることができるが、電源電圧が 3.3[V] という仕様になるため、センサ等に使われる抵抗値やレギュレータについては再考する必要がある。また、NUCLE0-F303K8 はクラウド開発環境 MBED に対応したボードであるため、開発環境による制約（開発場所、PC スペック等）を受けずに開発できることから、開発効率面の改善が期待できる。

8. おわりに

本総合制作実習では今年度の新しい取り組みとして 3DCAD ソフトを使用し、タイヤ、モータマウント等の設計制作を行った。電子情報技術科の授業では取り入れていない内容ではあるが、学生自身が独学で設計を行い、電子情報技術科では指導が困難な分野に対しては生産技術科の講師に指導を依頼することで基本的な構造のものであれば短期間で設計できるようになった。マイクロマウスを通じて学生の電子回路設計、ソフトウェアの開発、3DCAD 設計等における技術向上に携わることができた。

参考文献

[1] 第 39 回全日本マイクロマウス大会マイクロマウス 2018 記録集
<http://www.ntf.or.jp/mouse/micromouse2018/index.html>
(平成 31 年 3 月 1 日時点)

[2] 「苦しんでつくるマイクロマウス 前編」 著者：kakeyuka

著者 E-mail Aoki.Yusaku[\$]jeed.or.jp