

令和6年度 特別生徒研究助成報告書

マイコンカーの高速化と安定化

長野県駒ヶ根工業高等学校
情報技術科 小山田結人 手塚浩之輔

1. はじめに

私たちは、駒ヶ根工業高等学校（以下本校）ロボット研究製作部マイコンカーラリー班（以下MCR班）において、令和4年度よりマイコンカーの製作と高速化に向けて研究に取り組んできた。マイコンカーとは、マイコンを搭載したライントレーサーの一種で、コース上の白、灰色の線を読み取り走行する自立型ロボットのことである。

マイコンカーによる大会として「ジャパンマイコンカーラリー」がある。全国工業高等学校校長協会が主催しており、今年度で30回目の開催となった。本校では平成18年度からこの大会に参加しており、平成20年度からは地区大会である北信越大会を勝ち抜き全国大会への出場を続け、優勝や上位入賞を果たす中、昨年度は、先輩が全国大会で2位という結果を収めた。今年度は3年生8名、2年生1名、1年生2名、計11名で活動し、全国ベスト3以上を目標に取り組んできたが、今年度行われたジャパンマイコンカーラリー2025全国大会では2名の選手がベスト16という成績で大会を終えた。

2. 研究動機・目的

ジャパンマイコンカーラリー全国大会でベスト3を目標に、より速く安定した走りをするマシンにする方法を考え、それぞれ研究を行った。

3. 研究内容

本校MCR班では1人1台のマイコンカーを製作し、それぞれが高速化に向けた取り組みを行っている。今年度私たちが取り組んだことは、主にクランク（図1）やレーンチェンジ（図2）後の復帰の加速を向上させることを主な目的として、タイヤの小径化により設置面積を増やしてグリップ力を図ることや、カーブ走行時の安定化の向上についてである。



図1. クランク

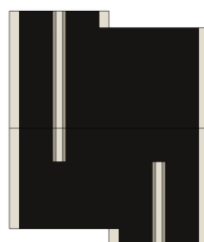


図2. レーンチェンジ

手塚浩之輔と小山田結人が3年間研究してきた内容について以下に記す。

[小山田結人の研究内容]

①ギヤ比・タイヤ径の変更

1. 課題

本校オリジナルのマシンは、ギヤ比が8:60、タイヤ径が46mmという仕様であった。ギヤ比が8:60の状態では、連続するコーナーを通過するようなコースや、クランク、レーンチェンジ復帰後の加速がしにくいという課題があった。昨年度はギヤ比を9:60に変更してみたが、トルクや一回転あたりの進む距離に大きな変化は見られず、十分な走行性能の向上は得られなかった。また、46mmのタイヤ径は直線での加速は有利だったものの、グリップ力が不足しており、コーナー時にスリップしやすい状況であった。これらの課題を解消し、より安定した走行を実現するためにギヤ比やタイヤ径の改良を行った。

2. 研究内容

最初に、ギヤ比を12:60に変更した。この変更は、特にカーブを抜けた後やクランク、レーンチェンジ復帰後の加速を強化することを目的としている。ギヤ比を12:60にすることで、モータの一回転あたりの進む距離が約2.1cm長くなり、より高速な走行が可能となる。また、コーナー後の加速やクランク、レーンチェンジ等の中速からの加速が改善され、タイムの短縮が期待できる。一方で、タイヤの回転数は1/7から1/5に減少するが、進む距離が長くなるため、全体として速度の向上が見込めた。

次に、タイヤ径を46mmから38mmに変更した。タイヤ径を小さくすることで、接地面積が増え、スポンジがコース上にしっかりと接地するため、グリップ力が向上する。これによりカーブでの安定性が改善され、アンダーステアやオーバーステアが発生しにくくなった。また、タイヤ径を小さくすることで、重心が下がり、コーナー時の安定性も向上した。さらに、空気抵抗を軽減する効果もあり、直線での速度維持がしやすくなった。

これらの改造を実現する為に、設計段階で3DCAD(Fusion360)を使用してギヤボックスやタイヤの形状を設計した(図3, 4)。設計に関しては、モータを取り付ける部分が走行中の振動や衝撃によりゆがみやすいことが課題となるため、取り付け部の肉厚を増し、強度を向上させた。また、モータの取り付け部分の付け根にはフィレット加工を施すことで耐久性を高めた。さらにギヤボックスの形状を見直し、全体の重心を1.6mm下げるように設計した(図3)。これにより、マシン全体の安定性が向上するとともに、空気抵抗を抑えることができ、より効率的な走行が可能となった。設計したギヤボックスやタイヤホイールはナイロンとカーボンを混ぜ合わせた高強度フィラメントを用いて3Dプリンターで加工した。この材料を選択した理由として、ナイロンの柔軟性とカーボンの合成を組み合わせることで、耐久性と軽量化のバランスを良くできる点が挙げられた。

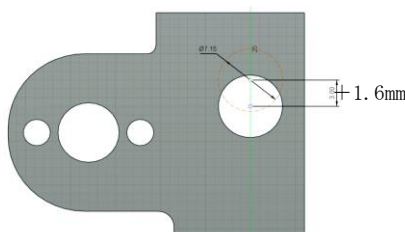


図3. 変更後のギヤボックス



図4. 小径化後のタイヤ

②走行プログラムの改良

1. 課題

今回のマシン改造により、プログラムに課題が発生した。

コーナー進入時のブレーキ制御とコーナー走行中のモータ出力のバランスが私の改造したマシンには合わなかったため、安定した走行ができず、アンダーステアが発生していた。カーブごとの速度調整が十分ではなく、スピードを出しすぎて制御しにくくなったり、逆に減速しすぎてタイムロスが発生することがあった。これらの課題を解決するためにプログラムの調整を行った。

2. 研究内容

私たちは、マシンの走行ログ(走行時のマシンの状態を記録したもの)により、走行状態を確認するが、ログの中でのスピード記録はエンコーダカウントを使用している。私たちが使用しているエンコーダは10ms間のカウント数により、速度や距離を把握できるが、カウント値が「50」と表示されていれば、秒速5m/sで走行していることになる。私のマシンはカーブ進入時にスピードを40以下に抑えなければ、安定した走りができないため、私のマシンは、カーブ侵入時の速度とマシンの体勢によって走りが大幅に変わってしまう。そのためにカーブ進入時のブレーキ制御を大幅に見直した。改造前は、左右のブレーキの強さに差をつけていたため、アンダーステアが発生しやすかった。改造後は、カーブ進入時に前輪フルブレーキをかけることで、前輪に重心を移動させ、グリップ力を確保した(図5)。さらに、カーブ中は外側の前輪のモータ出力を0にして内側へ行き過ぎを防ぎ、カーブ出口では後輪ブレーキを弱めて安定した旋回を実現した。これらの調整により、アンダーステアとオーバーステアを抑え、スムーズな走行が可能となった。

111	1.06	11.4	0	0	0	0
112	1.07	11.4	0	0	0	0
113	1.08	11.4	0	0	0	0
114	1.09	11.4	100	100	100	100
115	1.10	11.4	0	0	0	0
116	1.11	132.2	-81	-90	-75	-75
117	1.12	132.2	-79	-88	-74	-74
118	1.13	133.2	20	-88	-74	-74
119	1.14	133.4	20	-85	-71	-71
120	1.15	136.4	52	6	94	0
121	1.16	136.4	53	6	93	0
122	1.17	136.4	54	5	93	0
123	1.18	136.4	55	6	93	0

図5. カーブ進入時のブレーキ状態を記すログ

[手塚浩之輔の研究内容]

①ギヤ比・タイヤ径の変更

1. 課題

ギヤ比・タイヤ径の変更は小山田研究内容と同様であるが今回使用した素材の歪みやすさによるマシンバランスの変化を解決するため更に改良を行った。

2. 研究内容

小山田同様にギヤ比・タイヤ径の変更について取り組んだ。今回ギヤボックスやホイールは素材がナイロンとカーボンを混ぜ合わせた高強度フィラメントを用いて3Dプリンターで造形をする。この素材は他の素材より比較的強度はあるが、歪みやすさや、取り付け時の不安定さがデメリットとしてあるため形状の改良を行った。モータを取り付けるところには、モータの形状に設計することで安定感の改善を行った(図6)。ホイールは走行時に歪んでしまうと走行時の挙動が変化してしまうため、形状を工夫しホイールのインナーキャップを作成した(図7)。

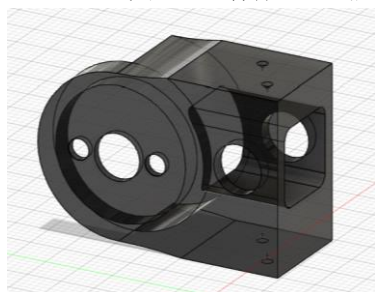


図6. 改良後のギヤボックス

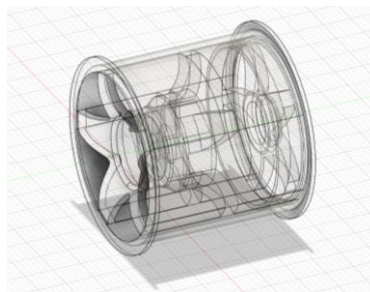


図7. 38mmホイール

②走行プログラムの改良

1. 課題

ギヤ比・タイヤ径の変更によりカーブやクランク、レーンチェンジ時のブレーキや加速などに影響をもたらしてしまい、従来のプログラムでは制御が難しくなってしまったため、カーブやクランク、レーンチェンジのプログラムを変更した。また、全体的にプログラムを変更し、スピードアップを図った。

2. 研究内容

駒工オリジナルのプログラムは、22万文字を超え、グローバル変数だけでも120以上ある。これは、代々先輩方から受け継がれてきたプログラムで現在使われていない変数や関数が複数存在している。これを最初に、使われていない変数や関数を削除し、見やすくわかりやすく整理することから始めた。これにより、何千行にも及ぶプログラムへの理解を深めることができ、メモリの使用容量を削減してプログラムのサイクル時間の短縮を行なった。

・PWM周期の変更

次に、駆動モータと、サーボモータのPWM周期の変更をした。

PWMとは、信号がオン（高）とオフ（低）を繰り返すことで、モータの回転の速さなどを一定周期で制御するものである。このオンとオフの時間の割合、すなわち「デューティサイクル」が重要である。デューティサイクルは、オンの時間の割合を百分率で表したもので、例えば50%なら、信号の半分の時間はオンで、残りの半分はオフということになる。

マイコンカーではサーボモータのPWM出力(電圧)を制御することにより、モ

ータの回転速度を制御している。PWM周期を変更することでマイコンカーラリーにおいてのトレース性能の向上を目指した。駆動モータのPWM周期の変更はカーブ時に速度の変化が多くなるため、反応性能の向上を目的とし、PWM周波数を4kHzから5kHzに変更した。PWM周期の変更前は、カーブ走行時に設定速

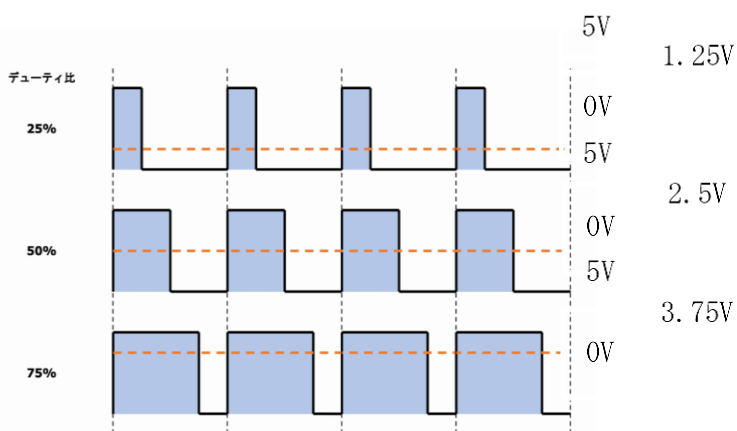


図8デューティサイクル例

ensatellite.com PWMとは？仕組みを簡単に解説より引用

度にアンダーステアが発生していた。変更後は、アンダーステアが発生しなくなり、カーブ走行時の制御性能が全体的に向上しているとわかる。

・通常走行プログラムの改良

次に変更した点は、Basic_ran_powerという関数を変更した。

Basic_ran_powerとは、マイコンカーが走行する際にクランクや坂道、急なカーブ以外を走行する際に、マシンのアングル(切角)やスピード、変化量に合わせ自動制御する関数である。この関数をさらに詳細なコース状況に合うようにマイコンカーの様々な状態を把握するプログラムを作成し、その値により走行させるようにした。特に変更した点は、マイコンカーのステアリング角度を確認しながら、四輪のパワーバランスを随時変化させ、安定して走行をできるように調整した。この調整には大変時間がかかり、プログラムを変更してから3ヶ月以上は最適なパワーバランスになるように調整をしていた。調整の際に参考にしたのは、実車のパワーバランスである。マイコンカーはサイズは違うものの走行方法やマシンの形は実車にかなり近いと参考にした。だが、実車の状況や走行方法などはマイコンカーとはかなり違う点や、ギヤ比、タイヤ経が違うため、最後は自分のマシンに合っているパワーバランスにした。

・ブレーキバランスの改良

次に変更した点は、クランクやレーンチェンジの際のブレーキバランスの変更を行った。

コース走行中にクランクやレーンチェンジに進入する際に適切な速度に調整する必要がある。今までのプログラムでは、クランクやレーンチェンジを検知し、一定の速度を超えたらモータを全力で逆方向に回転させ、ブレーキをかけて減速をしていた。このブレーキ方法では、逆回転をかけた際にマシンが不安定になることがある。そのため、目標の値を設定し、徐々にブレーキの値を弱くし、クランクやレーンチェンジになった際にできるだけ安定した姿勢で突入できるようにした。他にもブレーキをかけなくてもうまく走行できるようプログラムを変更した。ブレーキのかけ方や、クランク、レーンチェンジのステアリングの切り方を変更することにより、より安定し、さらに高速で通過できるようになった(図9)。変更前はクランクの平均タイムは3.4msにまで低下していたが3.9msになり、レーンチェンジでは、変更前は3.2msだったものが5.1msまで高速化することができた。これらを安定し高速化することができ、コースのタイムを大幅にアップすることにつながった。

Pattern	Dセンサ	左前M	右前M	左後M	右後M	ピッチ角	速度	speed	秒速	
11.4		100	100	100	100	3	55	57	5.0	●●●●●
11.4		0	0	0	0	5	56	57	5.1	●●●●●
11.4		0	0	0	0	4	57	57	5.2	●●●●●
11.4		0	0	0	0	3	57	57	5.2	●●●●●
55.4		100	100	100	100	-1	56	63	5.1	●●●●●
56.4		100	100	100	100	5	57	63	5.2	●●●●●
56.6		100	100	100	100	5	57	63	5.2	●●●●●
56.6		100	100	100	100	2	58	63	5.3	●●●●●
56.6		100	100	100	100	-2	60	63	5.5	●●●●●
56.6		100	100	100	100	0	60	63	5.5	●●●●●
56.4		100	100	100	100	1	58	63	5.3	●●●●●
56.4		100	100	100	100	3	60	63	5.5	●●●●●
56.4		100	100	100	100	1	60	63	5.5	●●●●●
56.4		100	100	100	100	-6	61	63	5.6	●●●●●
56.4		100	100	100	100	0	61	63	5.6	●●●●●
57.0		0	0	0	0	1	60	63	5.5	●●●●●
57.0		0	0	0	0	1	62	63	5.7	●●●●●
57.0		100	100	100	100	-1	60	63	5.5	●●●●●
58.0		0	0	0	0	-2	60	63	5.5	●●●●●
59.0		0	0	47	39	7	60	63	5.5	●●●●●
59.0		0	0	47	39	7	58	63	5.3	●●●●●
59.0		0	0	48	42	1	56	63	5.1	●●●●●
59.0		0	0	48	42	0	57	63	5.2	●●●●●
59.16		0	0	47	40	0	55	63	5.0	●●●●●
60.1		0	80	20	0	-4	56	63	5.1	●●●●●
60.1		0	80	20	0	-3	56	63	5.1	●●●●●
60.2		0	80	20	0	5	53	63	4.9	●●●●●
60.2		0	80	20	0	3	53	63	4.9	●●●●●

図9. 変更後のレーンチェンジの走行ログ

・カーブ走行時のプログラムの変更

次に変更した点は、カーブ走行時のプログラムの変更を行った。

私のマシンは、カーブ走行時にオーバーステアになってしまうことが多く、フロントタイヤがグリップせず慣性の法則によりコースアウトになることが多かった。そこで、新たにcornering_forceという関数を作成し、カーブ走行時の横方向の力を疑似的に数値化するものを取り入れた。この関数を利用することで横方向の力が大きくなるとcornering_forceの値が大きくなるので、cornering_forceの値ができるだけ小さくなるようにカーブ走行中のモータバランスを調整した。他にも、調整中にオーバーステ

アにならないようにフロントインを逆回転させたところ、巻きすぎてアンダーステアになったり、スピードが落ちてしまったりした。そのため、フロント内側は適度に回転させる、転がす感じにすることが必要になってくると感じた。さらにカーブ走行時にリア内側のタイヤを中心に旋回させることで安定して走行させることができた。

4. 考察・まとめ

【小山田結人】

今回、マシンの改造をして、走行時の挙動にどのような影響を与えるかを知ることができた。

ギヤボックス等の改良の過程で、他の部分に改良が出てくることが分かった。また、ギヤボックスやギヤ比の変更やタイヤ径の小径化をしたことで、プログラムを大きく変えていかなければならず、改造後のマシンで安定性を重視するのに半年くらいかかってしまった。これにより安定性を向上させるためには、ハードウェアとソフトウェアが連携しており、バランスや形状をしっかりさせるのが大切だと分かった、ギヤボックスの重心を下げて空気抵抗を減らす工夫をしたものの、初速があまり上がらないという課題にも直面し、改造にはバランスを考慮する必要があることが分かった。設計をしていく中で、何度かミスがあったり苦労した点もあったが、先輩からの助言や部員からのアドバイスなどで設計をすることができた。プログラムに関しても、駒工標準から少しずつ変えていき、走らせてはログを確認するのを繰り返し行いながら、この一年間調整・研究を続けてきた。私はプログラムに関してはあまり得意ではなく、動作をおかしくしてしまったり、時々感覚でマシンを制御していたこともありましたが、去年全国大会で優勝した先輩に聞いたり、部員の中でプログラムが得意な仲間に関わったりしながら、速い走りを追求することができた。

去年の北信越大会では、全国に届かなかったものの、その悔しさを乗り越えて今回の全国大会に出場することができた。今回改造したマシンでジャパンマイコンカーラリー2025全国大会にチームの代表として出場し、貴重な経験を得ることができた。私は、全国大会に出場することは初めてで、緊張と不安でいっぱいでしたが、大会当日までのチームのサポートでもあり、今まで学んできたことを活かして、当日の大会ではまずは完走重視で走らせることができた。チームの目標でもあり、個人の目標でもある全国ベスト3以上には届かなかったが、この大会を通じて得られた経験は多かった。私はこの3年間マイコンカーを走らせてきて、ハードウェア面でもソフトウェア面でもたくさんの知識を得ることができた。この部活動に入部してきて多くの時間を費やして学んできたことに対しては後悔はなく、むしろ、自分で走らせることができて良かったと思える3年間だった。今回の経験を、今後の人生で活かしていきたい。この3年間支えて応援して下さった顧問の先生、家族や仲間への感謝の気持ちを忘れずにしていきたい。3年間ありがとうございました。

【手塚浩之輔】

今年度の取り組みでは、プログラム面、通常走行時の走行方法の変更に入力を入れ改良を行った。その結果、緩やかなカーブ等はBasic_run_powerで走行し、走行状態に合わせて走行させることで安定して走行させることができた。また、クランクやレーンチェンジでは適切な値でブレーキをすることや、どのように走らせるかのイメージが重要であり、そのイメージ通りにプログラムで近づけていくプログラミング能力も大切だと感じた。プログラム変更は何度も走らせ、走行データをとって、解析してプログラムを変更して走行データを取り、解析の繰り返しで、とても時間がかかった。自分の感覚や友達、先輩や先生の助言をいただきながら、完全ではないものの完成させることができた。全体的に、マシンの状態に合わせた走り、完全自動走行を目指したが、時間や走行前の調整や照明、温度湿度によってかなり変化が起きてしまうため、想定していない走りになってしまうこともあり、もっと他の方法(関数や変数)を用いることで理想の走りができると思われるため、とても深く追求することができる競技であると感じた。

今回変更した点はジャパンマイコンカーラリー2025大会で発揮することはできなかった。しかし、ジャパンマイコンカーラリー2024大会では全国に出場し、貴重な経験をすることができた。大きな会場でとても緊張し、不安もあったが先生や先輩、友達のサポートによりあまり良い結果ではなかったけれど結果を残すことができた。三年間この活動を通して、たくさんの知識や様々な経験をした。この経験は今後の人生でも大いに生きてくと思う。

この三年間迷惑や負担をおかけしましたが、支えて応援してくださった先生方、家族や部員の皆様には深く感謝いたします。三年間ありがとうございました。