

ロボカップジュニアサッカーにおける自律制御系ロボットの研究開発

Research and Development of Autonomous Control Robot for RoboCup Junior Soccer

岩田 亮 Ryo IWATA

松本 研太 Kenta MATAUMOTO

須田 雄一 Yuichi SUDA

概要

本稿は、2019年度から開始した電子技術研究部ロボカップジュニア（ワールドリーグサッカーライトウェイト部門）研究プロジェクトチームにおける2022年度までの研究開発の活動内容と指導実績について纏める。

電子技術研究（以下、電技研と記す）部員が0からスタートしたロボカップジュニアへの挑戦の軌跡をこれまでに開発した自律制御系ロボットと共にその開発プロセスを概説し、実績とともに報告する。

キーワード：ロボカップジュニアワールドリーグサッカーライトウェイト／自律制御系ロボット／研究開発／3DCAD／3Dプリンター／デジタル系部活

1. はじめに（ロボカップとは？）

ロボカップ組織委員会の最終目標は「2050年までにFIFAの最新ワールドカップ優勝チームに11体のヒューマノイドからなるロボットチームで打ち勝つこと」を掲げ、1992年にロボカップが発足して以来、2022年で第23回目のジャパンオープン（全国大会）の開催が決定。

世界大会は1997年に日本（愛知・名古屋）で第1回が開催され、第2回のフランス・パリ以降、15か国20都市以上で実施されている。

2019年第23回世界大会（オーストラリア・シドニー）以降、COVID-19によるパンデミックの影響により中止・オンラインでの大会となっている。アジアパシフィック（アジア大会）も2021年で第5回目を迎えているなど、自律制御系ロボットの大会でも最も大きな規模に属すると言える。

世界大会への流れは、本校であれば関東ブロックで優秀な成績を収めた上でロボカップ委員会から推薦される必要がある。次に、ジャパンオープンでも関東ブロックと同様の条件が必須となり、その上で、世界大会やアジア大会への出場権をはじめて得ることができる。

以後、詳細については要点だけを纏め、概説するが、ルールその他の仕様・条件、参加者レベルなどから総合

的にも判断しても、電技研が参画している大会の中でもきわめて難易度の高い部類に入る大会である。

次章よりルールの要点を概説し、電技研の活動と実績を時間軸に沿って報告する。

2. ロボカップジュニアサッカールール

以下、ロボカップジュニアサッカールール2022（日本語版第3版、2022国際ルールファイナル版ベース）より一部抜粋^[1]（表1）。

表1 ワールドリーグサッカーライトウェイトリーグ

内容	完全自律型ロボットを設計、組立て、プログラミングし、他のチームと対戦する
勝敗	1チーム2台のロボットをフィールドに入れ、赤外線信号を発する特別仕様のボールをゴールに入れた点数で勝敗をつける
得点	ボールがゴールの後ろの壁にぶつかる、もしくは触れたときに得点が加算される
必要スキル	プログラミング、ロボティクス、エレクトロニクス、メカトロニクス等、制御系プログラミングの知識と技術を要する
各仕様	ロボットの最大重量は 1.1kg 最大 3.0cmのボール補足エリアを持つ 電圧は12.0Vまでのバッテリーが使用可能
制御	ロボットは人の手でスタート・ストップされ、それ以外はすべて自律型で制御させなければならない
通信	Bluetooth class2/class3、ZigBee、XBee等の802.15.4プロトコルを使用するデバイスによる2台のロボット間の通信以外は禁止
敏捷性	1)ロボットの動作は元的ではなく、例えば、回転動作等によって全方位に動作させなければならない 2)ロボット自身からの距離が20cm以内のいかなる場所に置かれたボールに対して10秒以内に触れなければならない

3. ロボカップジュニア関東ブロック大会2021

3. 1 機体概要 (大会に提出したポスター)

図1に、2021年1月に出場した関東ブロック大会で最優秀賞プレゼンテーション賞を受賞したポスターを示す。

Oi_DENGIKEN

2021 関東ブロック
Soccer Light Wight

TeamMember

高校2年 須田晃弘：回路担当
高校2年 鈴木智大：プログラム担当
中学3年 見崎 成：プログラム担当
中学3年 河野 響：ハード担当

芝浦工業大学附属中学高等学校
電子技術研究部に所属



電子技術研究部のロゴ 芝浦工業大学附属のロゴ

チーム開発

チーム内ではSlack,LINE,Dropbox,Zoomを使用し、進捗の確認、データの共有などを行っています。別の場所で別々に作業する際もオンラインで並列に行うことができます。



開発過程

3月	4月	5月	6月	7月
機体設計			機体組み立て	
基板設計、発注			基板設計	
8月	9月	10月	11月	12月
機体完成			新機体設計	
大会用プログラム設計			新基板設計	
基板発注				

機体設計

機体の全体設計にFusion360という3DCADを使用しています。また回路設計にはKicadを使用し開発を行っています。この2つのソフトを使用することにより、正確な設計を可能としています。基板はKicadで作成したデータを外部に発注することで、より高度な設計を行うことができました。

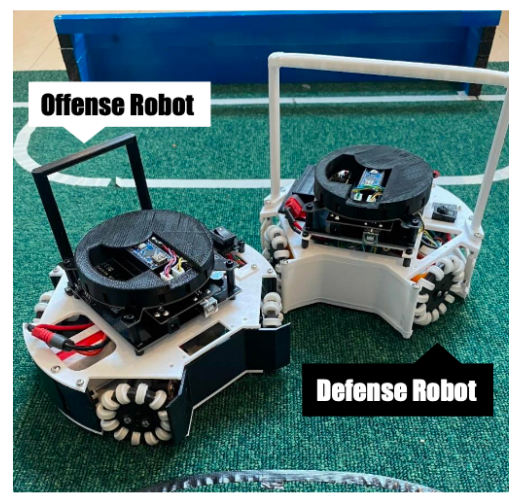


機体作成

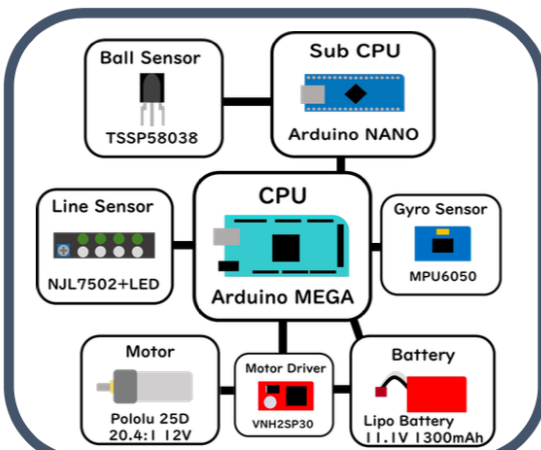


Adventurer3 Guider2

FLASHFORGE社の二つの3Dプリンターを使い機体のボディを作成しました。作成コストが低いという点を活かして機体を何度も作成しより最適な形へと改善を行っています。



システム概要図



オフェンスロボットについて

常にボールの位置を計算することで素早い回り込みを行います。

機体のサイズを少し小さくすることによりロボットの前方部分のホールドエリアを大きくするという工夫も行いました。この工夫によりボールを取りこぼすことなくゴールに向かうことができます。

またラインが反応した際はボールの位置を一度確認し回り込みの予備動作を行うことで円滑に得点につなげることができます。(右の図)

ディフェンスロボットについて

動く際は、ボールを追う左右移動、ペナルティエリアに入らないようにする移動、常に正面を向く姿勢制御の3つのパワーを合成しモーターに出力しています。

ボールの距離によってモーターの出力を変えることにより、無駄のない動きを実現しています。

ゴール前のペナルティエリアの横に嵌ってしまった際も斜め移動を繰り返すことにより素早く正確にゴール前に戻ってくることを可能としています。(右の図)

オムニホイール

3Dプリンターを使用し自作のオムニホイールを製作。グリップ力を高めるためにシリコンチューブを使用しサブホイールを制作しました。



サブホイール構成図

ボールセンサ

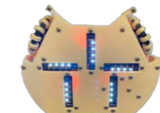
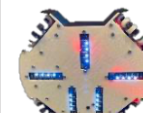
16個のセンサを使用し、より正確なボールの位置を判断します。メインのマイコンとは別のマイコンを使うことにより高速な処理を可能とします。



ラインセンサ

5つの自作ラインセンサを以下の写真のように配置することによりオフェンス、ディフェンスともにそれぞれの役割に特化した動きができるようになっています。

オフェンスはライン脱出直後の回り込み、ディフェンスはゴール前維持のための姿勢制御に使用しています。



オフェンスの裏側 ディフェンスの裏側

姿勢制御

機体の姿勢制御にはジャイロセンサ (MPU6050)を使用しています。PID制御により素早く正確に姿勢を直します。



図1 2021年1月に出場した関東ブロック大会で最優秀賞プレゼンテーション賞を受賞したポスター

3. 2 モーター制御

使用モーターは, Pololu25D, モータードライバーは, VNH2SP30モジュール. モーターマウント (図2) は, モーターおよびモータードライバ, その他付属基板と配線に合わせた形で設計し, 材質はFLASHFOGEフィラメントPLAを採用し, 3Dプリンターで成形.

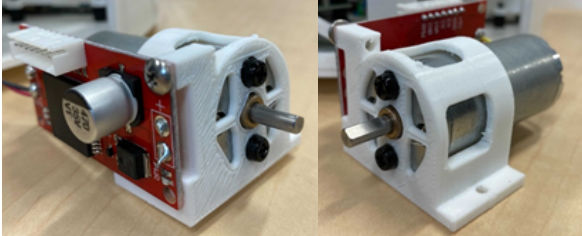
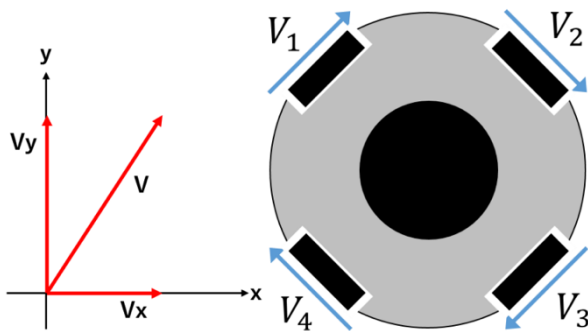


図2 モーターマウント

モーター制御は, 機体の進行方向をx軸とy軸に棲み分け, 4つのモーターに対して分解した値をモーターの方向に戻し, x軸とy軸を足して機体の進みたい方向がわかるように制御した (図3) .



$$\begin{aligned} V_1 &= \sin 45^\circ \times V_x + \cos 45^\circ \times V_y \\ V_2 &= \sin 135^\circ \times V_x + \cos 135^\circ \times V_y \\ V_3 &= \sin 225^\circ \times V_x + \cos 225^\circ \times V_y \\ V_4 &= \sin 315^\circ \times V_x + \cos 315^\circ \times V_y \end{aligned}$$

図3 モーター制御①

また, ジャイロセンサーの値を直接モーターに入力し, どの方向にモーターを制御させれば機体は正面を向き続けるか, について解説する.

機体が傾いたとき, 傾いた方向と反対の方向に機体を回すため, ジャイロセンサーで所得した値で, どの程度のズレが生じているか, を確認して, その角度に対して反対方向にモーターを回転させることにより機体の傾きを元の位置に向き直るように制御した (図4) .

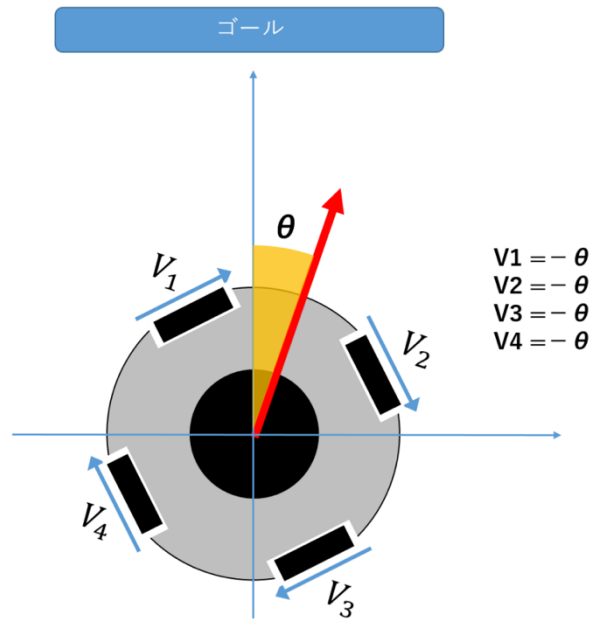


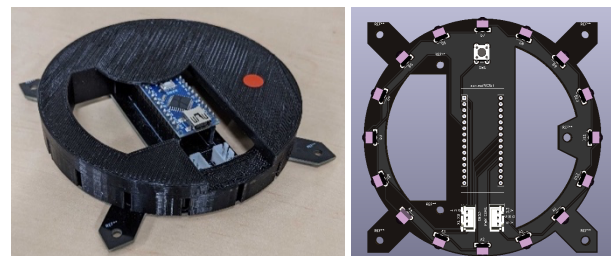
図4 モーター制御②

$$\begin{aligned} V_1 &= \sin 45^\circ \times V_x + \cos 45^\circ \times V_y - \theta \\ V_2 &= \sin 135^\circ \times V_x + \cos 135^\circ \times V_y - \theta \\ V_3 &= \sin 225^\circ \times V_x + \cos 225^\circ \times V_y - \theta \\ V_4 &= \sin 315^\circ \times V_x + \cos 315^\circ \times V_y - \theta \end{aligned}$$

つまり, 図3と図4を組み合わせ, それぞれの値を足すことで, 最終的に進みたい方向に, 進みながら正面を向き続けるようにモーターを回転する制御方式にした.

3. 3 IRセンサー制御

IRセンサーは, 赤外線センサーにTSSP58038, サブマイコンはArduino Nano, IRセンサーカバーは図2のモーターマウント同様の材質で3Dプリンターによる成形. 図5にIRセンサーを示す.



上面

下面

図5 IRセンサー

IRセンサー制御は, あらかじめ22.5度ずつ16方向に配置したセンサーにそれぞれ番号と角度を1つずつ指定し, 図6のように赤外線センサーで読み取り, 赤外線

値が最も高いセンサーのピン番号と読み取った赤外線
の大きさを3段階に分けて距離を測定することにした
IRセンサーの距離は、1段階は機体からおよそ10cmま
で、2段階は10cmから30cm、3段階は30cm以上と設定。
なお、機体からボールをロストした場合は、メインマイ
コンに「0」と送信する。

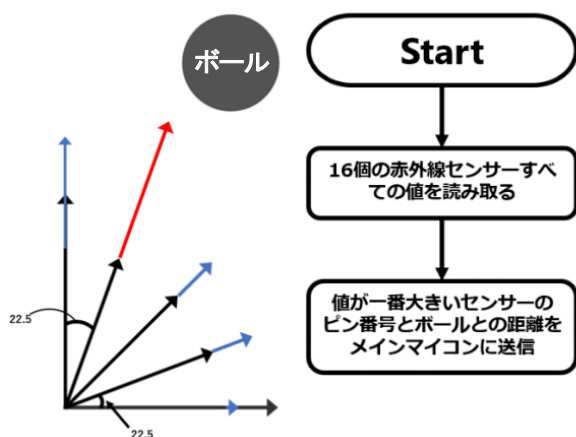


図6 IRセンサー制御

3. 4 ジャイロセンサー制御^[2]

ジャイロセンサー制御に関しては、過去にロボカッ
プサッカーの出場者のブログを参考文献として、この
ソフトから取得できる角度を用いた姿勢制御を採用し
た。また、ジャイロセンサーのオフセット値を決めるた
めの操作であるキャリブレーションに関しても、ジャ
イロセンサーの個体差を吸収するための値であるオフ
セット値、つまり出てくるデータの精度を向上させる
ための操作に関しても参考とすることで、安定性が向
上した。図7にキャリブレーションにおけるソースコ
ードの一部（抜粋）を示す。

```

1 // Arduino sketch that returns calibration offsets for MPU6050 // Ver
2 // Done by Luis Ródenas <luisrodenaslorda@gmail.com>
3 // Based on the I2Cdev library and previous work by Jeff Rowberg <jeff@
4 // Updates (of the library) should (hopefully) always be available at t
5
6 // These offsets were meant to calibrate MPU6050's internal DMP, but ca
7 // The effect of temperature has not been taken into account so I can't
8 // calibrate indoors and then use it outdoors. Best is to calibrate and
9
10 /* ===== LICENSE =====
11 I2Cdev device library code is placed under the MIT license
12 Copyright (c) 2011 Jeff Rowberg
13
14 Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining
15 of this software and associated documentation files (the "Software"),
16 in the Software without restriction, including without limitation the
17 to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or s
18 copies of the Software, and to permit persons to whom the Software is

```

図7 キャリブレーションのソースコード一部

P制御（偏差×定数で操作量を決定）を使用したこと
により、偏差が0付近になった時の角度は、オンオフ制
御と比較し、ずっと浅くなるためオーバーシュートを
小さくできる。さらに、パラメーターが適当であれば、
ハンチングは数回で収束し、制御量も安定する。

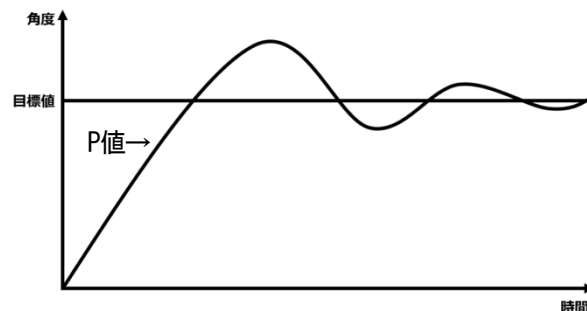


図8 P制御における制御量の変化

図8は、P制御時の制御量の変化を示す。オンオフ制
御に比べ、ハンチングの回数で収束している。オンオフ
制御は、常に操作量がMAXであったが、P制御を用い
ることで現時点での制御量に応じた操作量を決定するこ
とが可能となった。

3. 5 ラインセンサー制御

図9に示す通り、機体には5つのラインセンサーを
搭載した。5つそれぞれのラインセンサーを十字型に
配置。それぞれの反応に対して、If文を用いたプログラ
ム内において場合分けをして、制御している。

5つのラインセンサーのうち、どこかが反応すると
一度機体が止まるように制御、そして、5つのうちど
こが反応しているかを確認して、それに応じた動作処
理をするように制御した。とりわけディフェンスのゴ
ール前の動きやコート端からの脱出など、ライン際の動
作処理を円滑に精確に行えるようにした。

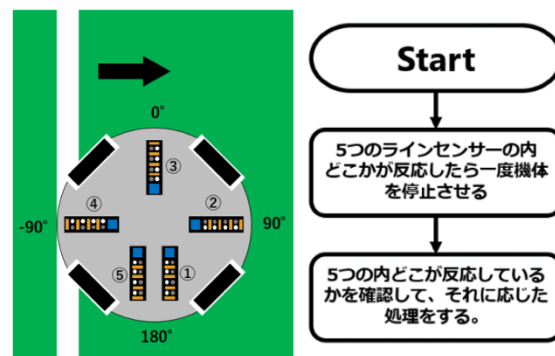


図9 ラインセンサー制御

3. 6 回り込み制御

図10の通り、ボールの捕獲率を上げ、ボールホールドエリアにボールをホールドしてゴールに運ぶために、フィールド上のどこにボールが合ってもボールを後ろから回り込むよう制御した。

回り込み制御は、IRセンサーから送信されるIRセンサーのPIN番号が転送されるシステムを採用したため、PIN番号に応じて制御を場合分けして、動作処理を行なった。

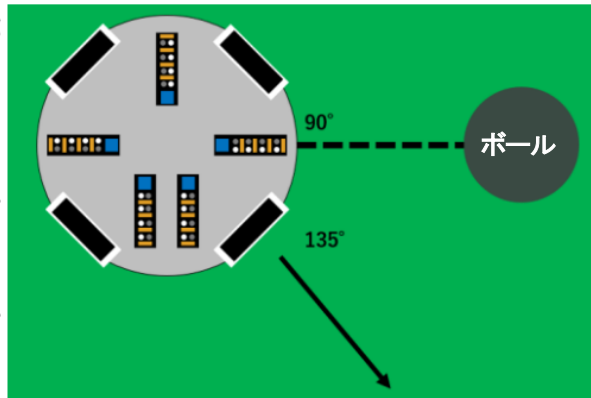


図10 回り込み制御

3. 7 大会成績

出場メンバーは、リーダー須田晃弘君（高2）、鈴木智大君（高2）、河野響君（中3）、見崎成君（中3）の4名。チーム名は、Oi_DENGIKEN.

2021年1月10日に開催されたロボカップジュニア関東ブロックサッカーライトウェイトワールドリーグ出場し、結果は、関東ブロック優勝、最優秀プレゼンテーション受賞、全国大会出場権獲得。

3. 8 出場メンバーの感想

2020年はチーム結成後から関東ブロック（2021年1月に実施）に向けての機体作成、プログラミングを行っていた。やることすべてが初めてのことで分からないことや失敗することが多くあったが、自分たちで調べながら、実際にロボカップジュニアサッカーに出場している方々にSNSなどを使用し質問などをしながら進めていった。そして2020年中に大会に出す機体が完成した。

3. 9 全国大会に向けた機体の改善点

- 1) オムニホイールのシリコンチューブが剥がれる。
- 2) バッテリー交換の際ビスを外して行わなければ

ならないため時間がかかる。

- 3) 下板にラインセンサーを取り付ける際に下からねじをはめて上からナットで固定する形だったため交換するときに配線などをよけて行う必要があり時間を要した。
- 4) IRセンサーの円形から飛び出している部分の突起に邪魔されて赤外線を受信できていなかった。またセンサーなどにノイズも発生しており値が読めていなかった。さらにArduino Nanoでanalogとして利用できないピンを利用しようとしていたため一部分の角度が異常に低かった。
- 5) ボールの角度が正確に読めていなかったため、また回り込みの際の計算方法ではボールの距離とボールのある角度によってかける値が一定だったので回り込みが大きかったりボールに機体が回り込む前に衝突してしまうくらい回り込めなかったりした。
- 6) ラインセンサーが反応する際に早いスピードで進んでいてラインを越えてしまい反対側のラインセンサーが反応してラインの外に出てしまうことが頻繁にあった。
- 7) Pololuモーターの出力不足によって最大スピードが遅い。
- 8) 基板同士をすべてXHコネクタ使いつないでいたことにより配線が増えすぎてしまい機体の整備がしづらくなっていた。
- 9) メインマイコンの処理速度が遅く動きがあまり滑らかではない。
- 10) ゴールを認識できていないためゴール率が低い。
- 11) プログラムが綺麗にまとまっていなくてわかりづらい。

4. ロボカップジュニア全国大会2021

ロボカップジュニア全国大会は、名古屋市国際展示場にて、2021年3月26日-28日に開催が決定した。

約10週間後の大会に向けて、出した結論は、新機種は開発せずに、1) 既存のデフェンスの機体を3輪から4輪に変更すること、2) 車輪のオムニホイールのシリコンチューブが相手の機体と接触することで剥がれやすいためより強固にする、3) 配線の長さをできるだけ短くする、4) IRセンサー制御の再検討、5) 回り込み制御の再検討、6) ラインセンサーの再検討

以上、6点に絞って改善作業を行うことを確認した。改善する点はまだまだあるが、これは今後の課題として検討することとした。

4. 1 機体概要（大会に提出したポスター）

図11に、2021年3月に出場した全国大会でベストビジュアルポスター賞を受賞したポスターを示す。



図11 2021年3月に出場した全国大会でベストビジュアルポスター賞を受賞したポスター

4. 2 ハードウェアの改善

第一に、ディフェンスの機体は関東ブロックでは、3輪であったが、4輪のオフENSEの機体の動作結果から一定の成果が得られたため、ディフェンスの機体も4輪に変更することとした。

第二に、オムニホイールのシリコンチューブが、相手の機体との接触で剥がれやすいため、接着剤でサブホイールとシリコンチューブを繋げることで剥がれにくく改善した。

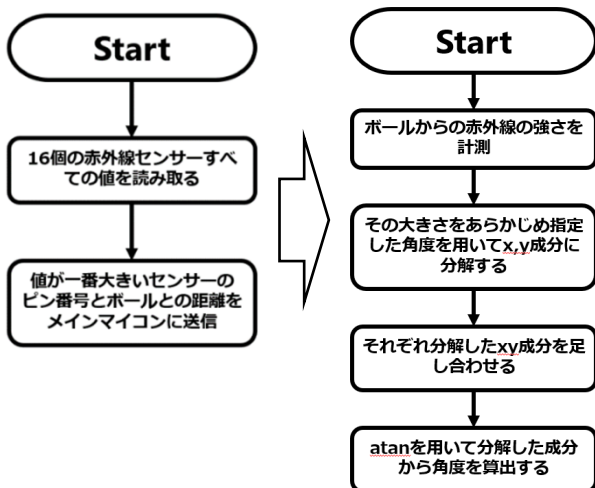
第三に、配線の長さを最小限にしてより管理しやすく努力したが、機体の大幅な変更や基板の配置転換などは今後の課題としたため、こちらの理想通りの仕上がりにはならなかった。

4. 3 ソフトウェアの改善

4. 3. 1 IRセンサー制御

関東ブロック大会では、16方向のみの限られた角度しか測定できないため、正確な角度の検出に限界があったため、IRセンサーの特性（赤外線が強さを読み取る）を利用するセットアップにした（図12）。

また、急激に角度が変化すると誤差が大きくなることから、ローパスフィルターを用いて誤差を最小限に抑えることにした。



関東ブロック

全国大会

図12 IRセンサー制御の改善

特徴としては、 $\tan x$ の逆関数である $\arctan$ を用いて分解（x, y）した成分から角度を算出することにした。また、ローパスフィルターで、前回の値に対してある一定の割合を乗じ、最終的な値に前回の値を影響させるようにした。つまり、ボールの角度＝（今回の値×

定数1＋前回の値×定数2），なお定数1＋定数2＝1.0に当てはめれば、例えば、式（1）、式（2）のように算出される。

Ex.1

ボールの角度＝（120×0.8+100×0.2）＝116…（1）
<定数：0.8+0.2＝1.0>

Ex.2

ボールの角度＝（120×0.9+100×0.1）＝118…（2）
<定数：0.9+0.1＝1.0>

4. 3. 2 回り込み制御

IRセンサー同様、関東ブロック大会では16方向の限られた角度の移動しか考慮に入れていなかったが、実戦を経験し、360度どの方向にも臨機応変に移動できるように関数を作成し、IRセンサーのボールの角度を合わせることで、より正確な回り込み制御ができるように改善した（図13）。

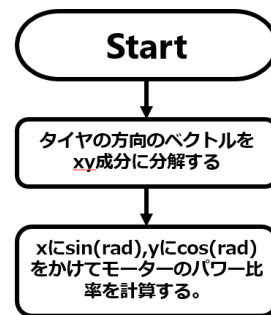


図13 回り込み制御の改善

・V[]…この配列にはモーターのパワー比率を格納する

$$\begin{bmatrix} V[0] \\ V[1] \\ V[2] \\ V[3] \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sin 45^\circ & \cos 45^\circ & 0 \\ \sin 135^\circ & \cos 135^\circ & 0 \\ \sin 225^\circ & \cos 225^\circ & 0 \\ \sin 315^\circ & \cos 315^\circ & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sin \theta \\ \cos \theta \\ 0 \end{bmatrix}$$

※ θ は進みたい角度、なお、機体自体を回転させる必要がないため0を代入している。

上記計算式は、モーターのパワー比率をV[]の配列に代入するための計算である。まず、左側の行列にモーターの力をx, y成分に分解した値をそれぞれ代入する。右側は進みたい角度の三角比を代入する。

今回の機体は4輪であるためx, y成分にモーターの力を分解した力の大きさは等しいので、進みたい角度の三角比をかけ合わせるだけで、そのx, y成分の力を

算出することができる。最後にその力のベクトルを合成することにより、4つのモーターパワーの比率が導出される

4. 3. 3 ラインセンサー制御

基本的な改善はないが、モーターの最大スピードを制御することにより、反対側のラインセンサーが反応することは明らかに減少した。

しかし、未だラインの外にアウトするケースは改善できていない。

4. 4 大会成績

出場メンバーは、リーダー須田晃弘君（高2）、鈴木智大君（高2）、河野響君（中3）、見崎成君（中3）の4名。チーム名は、Oi_DENGIKEN.

2021年3月26日にCOVID-19の感染拡大の影響で、オンラインでの開催となった。結果は、第5位。ベストビジュアルポスター賞受賞、アジアパシフィック大会への出場権を獲得。

また、オンライン大会では全国の優れた機体を知ることができ、次への一步につながる大会となった。

4. 5 出場メンバーの感想

全国大会は、関東ブロック大会からの期間が短く細かい箇所の修正はできたものの大まかに改善した機体作成をすることが出来なかった。

全国大会がオンラインでの開催だったため実際に対戦することが出来なかったので自分たちの実際のレベルがわからなかったが、関東以外の全国の多くのチームのことなどが知れたのでいい機会となった。

5. アジアパシフィック2021（アジア大会）

アジアパシフィック大会は、Aichi Sky Expo愛知県国際展示場にて、2021年11月25日-29日に開催が決定した。約8ヶ月後のアジア大会に向け、大幅な改善を実施。

5. 1 機体概要（大会に提出したポスター）

図14（次ページ）に2021年11月に出場したアジアパシフィック大会総合3位に入賞したポスターを示す。

5. 2 ハードウェアの研究開発

5. 2. 1 モーターとモータードライバー

モーターは最大出力が非常に大きく正確な動作が可能となるMaxonRE 16（図15）に変更した。モータード

ライバーは1つで2つのモーターを制御できるDRV8432（図16）。また、モータードライバーはメイン基板に差し込めるカートリッジ仕様になっているため、取り外しが容易であり、かつメンテナンスもやりやすい利点がある。

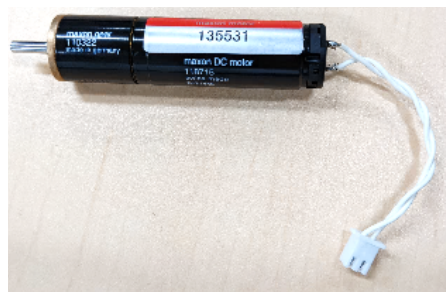
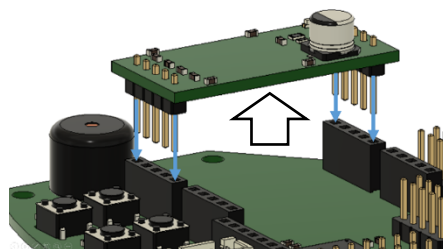
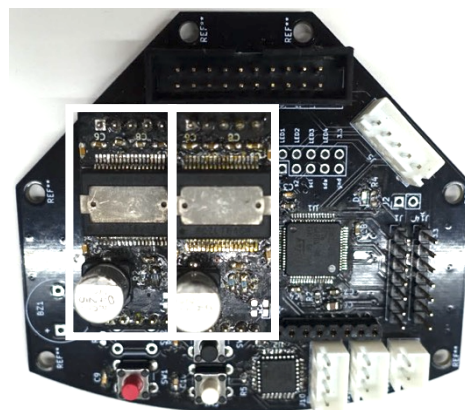


図15 モーター（MAXON RE 16）



3DCAD



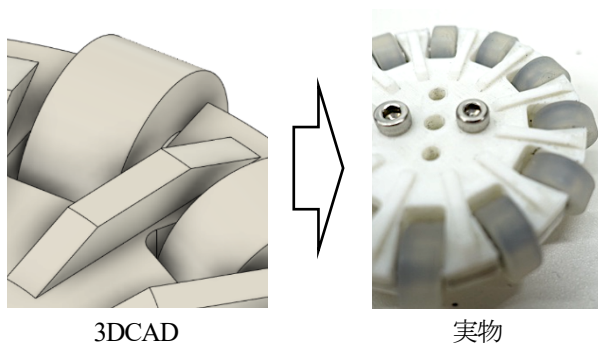
実物

図16 モータードライバー（DRV8432）

5. 2. 2 オムニホイール（図17）

サブホイール12個に対してホイール軸を通し、メインホイールで挟み込むように設計し、モーターハブと合わせてビスで固定した。

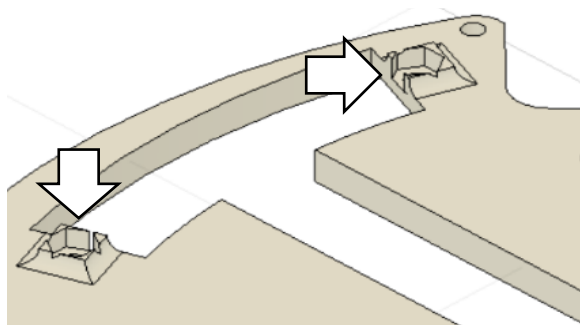
サブホイールはシリコンチューブを厚く切ったものにスパーサーを通し、簡単に制作でき、かつグリップが以前よりも強くすることに成功した。また、メインホイールに筋を入れたことで耐久性も向上し、破損率が低下した。



3DCAD
図17 オムニホイール

5. 2. 3 下板 (図18)

ラインセンサーの着脱を容易にすることを目的に、ビスを下側から留められるように、下板の上面にナットを取り付ける穴を作り、最初からナットが固定される形に再設計した。実際に、着脱が容易になった。



3DCAD



実物

図18 下板の工夫

5. 2. 4 バッテリーカバー (図19)

新たにバッテリーカバーの開閉部分をTPU (軟性) フィラメントを用いて制作していたことで、バッテリーカバーの開閉部分の取り外しに要する時間がほぼ0となり、この改善によりバッテリー交換の時間が以前の半分に抑えることができるようになり、作業に充てる時間が増加した。

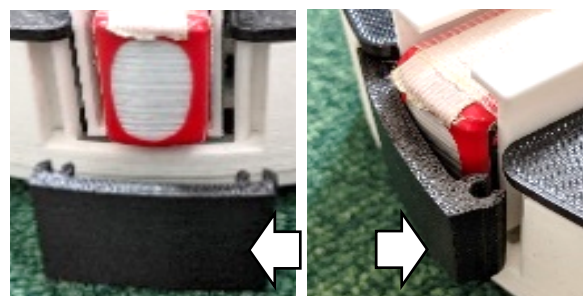
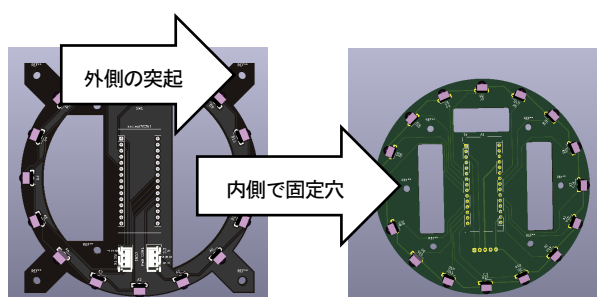


図19 バッテリーカバー

5. 2. 5 IRセンサー (図20)

IRセンサーは、赤外線センサーにTSSP58038, サブマイコンはArduino Nanoと前回の機体と同様であるが、外側の突起をなくしてセンサーの内側で天板を固定するようにした。



前回のIRセンサー.

今回のIRセンサー

図20 IRセンサー

さらに、使用できないanalogピンの接続を使用できるものにして確実にボールの位置を把握できるようにした。なお、仕組み自体に変更はない。

5. 2. 6 ラインセンサー (図21)

前回の機体と同様、照明センサーはNJL7302-3, LEDはOSWT3166B, 可変抵抗10KΩ.

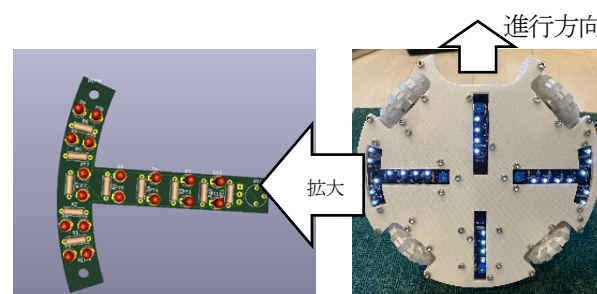


図21 ラインセンサー

横のラインセンサーをT字形にすることによって、十文字形よりかは、読み取り率が向上した。また、メインマイコンを変更したためSTM32446REのピンを用いてセンサーの値を受信。

5. 2. 7 機体内部 (図22)

向かって左側が電源基板, 中央がコネクタ基板, 右側がマイコン基板である。

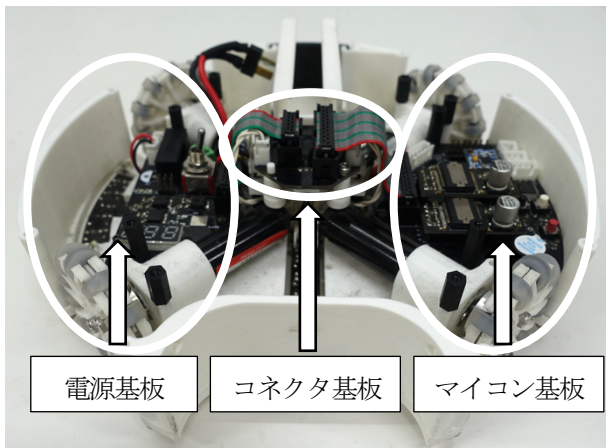
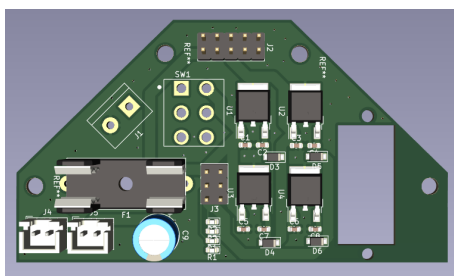


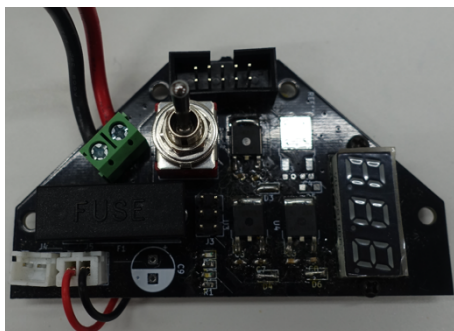
図22 機体内部

5. 2. 8 電源基板 (図23)

特徴としては, リポバッテリー11.1V, 3端子レギュレーター 5V (NJM2391DL1-05), 3端子レギュレーター 3.3V (NJM2391DL1-33). 電源出力のほぼ全てをフラットケーブルによって中央基板を通して機体に出する形に改善したため, コネクタが減少し, 管理しやすくなった. また, 3端子レギュレーターを増やしたことで, センサー類を増設しても電力が足りなくなるようなことがなくなった.



3DCAD

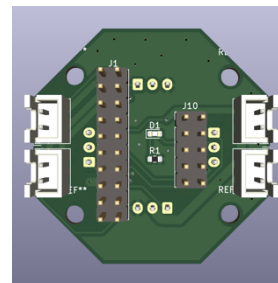


実物

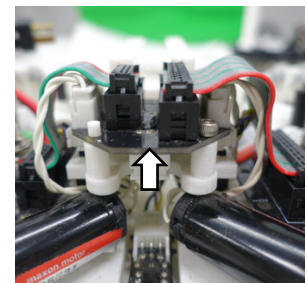
図23 電源基板

5. 2. 9 コネクタ基板 (図24)

前回の機体にはなかったコネクタ基板. この基板を取り付けたことにより, 電源基板とマイコン基板に対してフラットケーブルとケーブルがコネクタされ, さらにモーターへのケーブルも最小限に抑えることに成功した.



3DCAD

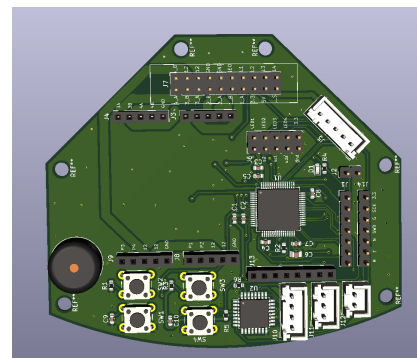


実物

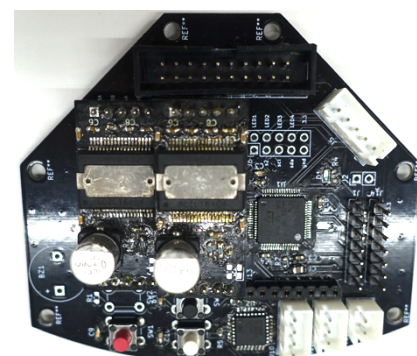
図24 コネクタ基板

5. 2. 10 マイコン基板 (図25)

メインマイコンはSTM32446RE, サブマイコンはstm-32f303k8, ジャイロセンサーはMPU6050, ブザーは, UDB-05LFPNなどを使用.



3DCAD



実物

図25 マイコン基板

メインマイコンをArduino MegaからSTM32446REに変

更したことにより、前回の機体よりもより速い処理速度を獲得できた。また、ジャイロセンサーの値を取得するためにサブマイコンにstm32f303k8を設置できたことにより、ジャイロ処理が格段に向上し、確実な姿勢制御が可能となった。

XHコネクタをフラットな状態でケーブルにすることで、ケーブルの本数が最小限に抑えることが実現し、メンテナンスの観点から容易化されたといえる。

さらに、STM32446REとstm32f303k8にプログラムを書き込むモジュールを機体の外から接続できるようにしたことにより、目標の軽量化も達成できた。

5. 3 ソフトウェアの研究開発

基本的にソフトウェアに関する改善点はない。

ジャイロセンサーに関しては、Arduinoにあるライブラリーを用いて計算をしていたが、メインマイコンをstm32f303k8に変更した結果、Arduinoのライブラリーを用いての制御が不能となった。

開発メンバーらは、ジャイロの計算をライブラリーのない状態からの挑戦を試みたが、積分を使用した計算は、時間経緯と機体同士や壁面などへの衝撃により、値にズレが生じてしまうことが発覚した。

ジャイロ問題は、次回以降の課題として検討することとした。

5. 4 大会成績

出場メンバーは、リーダー須田晃弘君（高2）、鈴木智大君（高2）、河野響君（中3）、見崎成君（中3）の4名。チーム名は、Oi_DENGIKEN。

2021年11月25日-29日に開催されたアジアパシフィック大会は、総合3位に入る大健闘を果たした。

5. 5 出場メンバーの感想

アジアパシフィック大会は、全員が現地で参加した初めての大会でもあり、規模も大きく初めてのことや失敗が多くて学ぶことが多くあった。

トラブルもあり、準備してきたMaxonモーター機体で出場が出来なかったが全国大会後の開発期間は無駄なものではなく今後につながるものだった。

実際に全国の出場者と話せたので技術交換や交流などをして今までにはない大会となった。

英語の研究資料やプレゼンテーションなど実際の競技以外にも評価あされることが多くて大変なこともあったが総合3位となることが出来た。

6. 関東ブロック大会2022

関東ブロック大会は、2022年1月9日、10日に開催が決定した。約7週間後の関東ブロック大会に向けて、1) MaxonRE16モーター機体の開発の継続、2) 機体がゴールを認識できるためのカメラの搭載、3) ジャイロセンサーの調整、4) IRセンサーの精度向上、以上4点に絞り、開発を続けた。

6. 1 機体概要（大会に提出したポスター）

図26（次ページ）に2022年1月に出場した関東ブロック大会で最優秀プレゼンテーション賞を受賞したポスターを示す。

6. 2 ハードウェアの研究開発

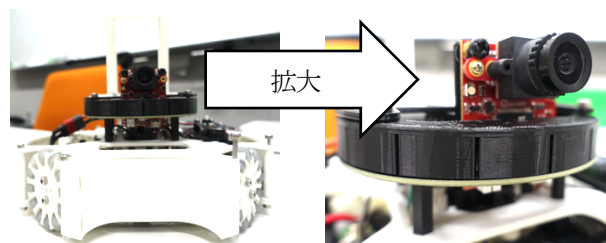
6. 2. 1 MaxonRE16モーター機体の開発の継続

ラインセンサーを変えたことにより、精度は向上したが未だラインを割ってしまい、回り込み精度もメンバーらが目指す目標値に届いていない。最大スピードで動作させると停止することができずに、やはりラインを超えてしまう。

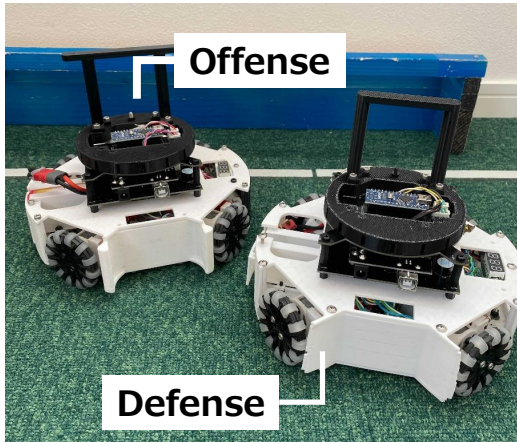
これらの課題を解決するために、基板の再設計に時間を割いた。結果的に、大会に間に合わず、Pololu25Dモーターを搭載した機体で出場した。

6. 2. 2 機体がゴールを認識できるカメラの搭載

これまでも機体がゴールを認識するために、機体にはカメラを実装して、試合中、ボールを中心に動作をしながらも、機体は定点的にカメラでゴールを常に位置と色で認識し、その値をシリアル通信で、メインマイコンに送信していた。今回、機体がボールをホールドした際に、確実にゴールにボールを入れるために、Open MVを搭載した（図26）。



Open MVは、フレーム差分、形状検出などに適しており、その他、顔認識、視線やマーカ追跡、QRコードやデコーディングなどの検出に適し、小型で低消費電力のカメラ搭載のマイコンボードである。



Team

芝浦工業大学附属高校
SIT Senior High School

電子技術研究部
Electronic Technology Research Club

Frame Design



機体設計はFusion360で行い、作成したデータを3Dプリンター(Adventurer3, Guider2)で印刷することで何度も作り直すことができ、最適な形に調整した。また、基板設計はKicadで行い、外部に発注を行うことでオリジナルのプリント基板を作成した。

Past Results

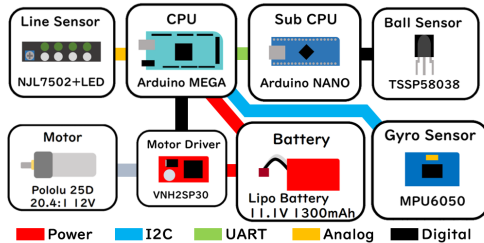
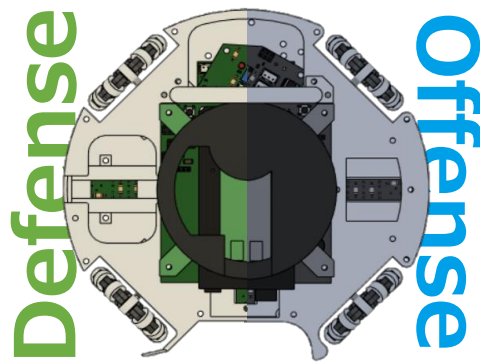
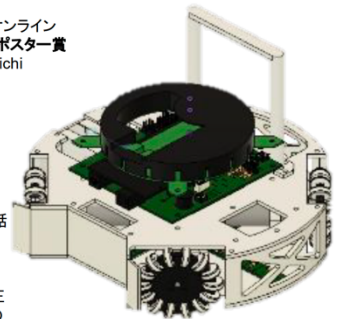
RCJ Soccer 関東ブロック2021
優勝、ベストプレゼンテーションポスター賞

RCJ Soccer 日本大会 2021 オンライン
総合 5位、ベストビジュアルポスター賞
RoboCup Asia-Pacific 2021 Aichi
総合 3位

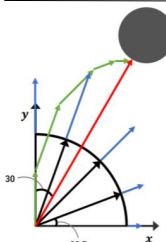
Communication



チーム内での進捗状況の確認データの共有、活動自粛中の話し合いに、Slack、Dropbox、Zoom などを使用しており、各自が別の場所で作業している際もそれぞれのメンバーが修正した箇所が分かるため、毎回の活動を円滑に進められる。



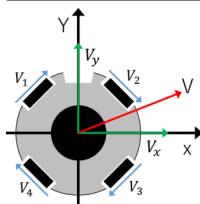
Ball Locating



ボールの位置の特定

- ① IRセンサーが読み取るボールのパルスの強度(青)を三角関数でx,y成分に分解する。
 - ② すべてのセンサーのx,y成分をそれぞれ合計する。(緑)
 - ③ 求めた座標がボールの位置を表すベクトルになる。(赤)
- センサーの配置による決まった角度よりも正確な角度を算出できる。また、ボールの向きや回転による誤差を軽減するために複数回計測した平均値をとっている。

Motor Operation



機体の移動

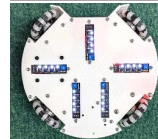
- ① 移動方向のベクトルをx,y成分に分解する。
 - ② あらかじめ定義した行列式にx,y成分を代入すると各モーターのパワーの比率が求まる。
- 角度とパワーを指定するだけで任意の方向に移動できるため、滑らかな動きを実現できる。また回り込みの際に、正確に求めたボールの角度を最大限に活かすことができる。

Battery Cover



バッテリーを素早く簡単に交換できるようにバッテリーカバーをねじ一本で開閉できるようにした。そうすることでハーフタイムを他の調整に使うことができる。

Line Sensor



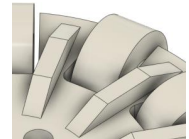
5つの自作ラインセンサを十字型に配置し、ゴール前の動きやコート端からの脱出などのライン際の動作処理をより正確に行えるようにした。

IR Sensor



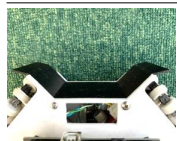
16個の赤外線センサを円状に配置し正確なボールの位置を求めている。サブマイコンで処理を高速化し素早くボールをホールドできる。

Omni Wheel



ホイールの耐久性を上げるために表面に筋のようなものを作った。さらに、シリコンチューブを使用した太いサブホイールを使用したことでグリップを強化した。

Hold Area



ディフェンスのゴール前での防御率を上げるために、ディフェンスの機体に合った形にした。ボールを跳ね返しやすく、ボールを受ける面積が大きい形にすることで、防御率を上げた。

Buzzer LED



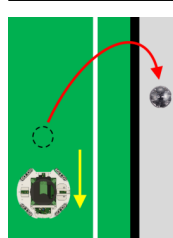
ブザーとLEDを使用しセンサーの反応の有無やプログラムが正しく実行されているかを目視で確認できるようにし、問題の原因をいち早く解決できるようにした。

Expansion Pin

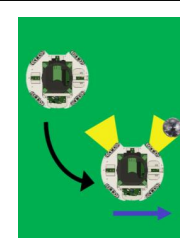


初期設計時には使用する予定のなかったピンは外側にまとめて配置することによって、新しいセンサーを付ける場合やデバックなどに使用することができるようにした。

Offence Program

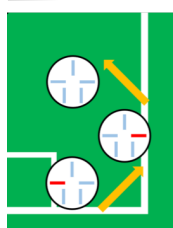


ボールが回収された時やボールが遠すぎて見つからない時には一旦後方に下がるようになっている。ボールが中立点に置かれた際に速くから回り込むより速く相手に攻め込むことができる。

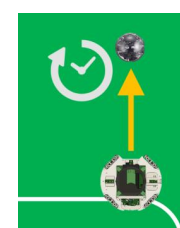


後ろにあるボールに対して回り込む際、正確にホールドするために前方にある一定角度に素早く回り込むスピードが遅くなるようにしている。そのため、ボールを通り過ぎて得点を逃す回数を減らすことができる。

Defense Program



通常時のディフェンスは後ろのラインセンサーで左右にしか移動しないが、コートとゴールの間にはまった際は横のラインセンサーが反応して斜めに移動して脱出する。また、押し込まれた時にも相手をいなしながら押し返すことができる。



一定時間ディフェンスの正面でボールが静止しているとディフェンスも前方に攻め込んで得点を決めに行く。仮にオフenseがコートの外に出されたとしても、ある程度カバーできるほか得点のチャンスを最大限に活かすことができる。

図26 2022年1月に出場した関東ブロック大会で最優秀プレゼンテーション賞を受賞したポスター

6. 3 ソフトウェアの研究開発

6. 3. 1 ジャイロセンサーの調整

機体の姿勢制御に必要なジャイロセンサーは初めて参加した2021年1月の関東ブロック大会からMPU6050を使用、PID制御により素早くかつ精確に傾いた姿勢を制御してきた。

しかし、図7で示したように、商品により個体差があるためキャリブレーション動作を要する。改めて、安定性を向上させるためにより慎重にキャリブレーションを行なった。

6. 3. 2 IRセンサーの精度向上

試作と検証を繰り返した結果、センサーの値のズレを考慮してボールのある方向から進むべき方向を算出することで、回り込み制御が可能となった。

これまで絶えず固定の値をボールの角度に対して乗じていたが、ボールの角度に対して乗じる値を次の式

$$1.1 + 0.012 \times (180 - \text{ボールの角度}\theta)$$

を用いて計算することで、ボールの角度によって変化させることにより、前回の大会以後、精密性が増したが、成功率はまだメンバー求める基準に届いていない。

6. 4 大会成績

出場メンバーは、リーダー須田晃弘君（高2）、鈴木智大君（高2）、河野響君（中3）、見崎成君（中3）の4名。チーム名は、Oi_DENGIKEN。

2022年1月9日、10日に開催に開催された関東ブロック大会では第2位となり、2回目の全国大会の出場権を獲得した。

6. 5 出場メンバーの感想

アジアパシフィック大会後、MaxonRE16モーターの機体における開発を進めていたが、基板づくりが思うように進まず、関東ブロック大会に間に合わなかったため、Pololu25Dモーターの機体で出場した。

機体自体に大きな改善がないため、プログラムにも限界があり、私たちが求めるMaxonRE16モーターの機体で挑むことができなかった。

準優勝という結果に満足はしていないが、全国大会までには、MaxonRE16モーターの機体を開発して、全国に挑みたい。全国大会は4月なので、3ヶ月、がんばりたい。なんとか完成させたい。

7. ロボカップジュニア全国大会2022

ロボカップジュニア全国大会は、京都府けいはんなオープンイノベーションセンター（KICK）にて、2022年4月22日-24日に開催が決定した。約3ヶ月後の全国大会に向けて、Maxonモーター機体の完成にメンバー全員で研究開発に取り組んだ。

7. 1 機体概要（大会に提出したポスター）

図27（次ページ）に2022年4月に出場した全国大会に提出ポスターを示す。

7. 2 ハードウェアの研究開発

結果的に、MaxonRE16モーター機体の完成した。予算的に、MaxonRE16モーターの本数が1台分しか準備できなかったため、オフENSEの機体にMaxonRE16モーターを搭載し（図28）、ディフェンスの機体はPololu25Dモーターに変更した機体（図29）にし、基板はMaxonRE16モーター基板を用いた。

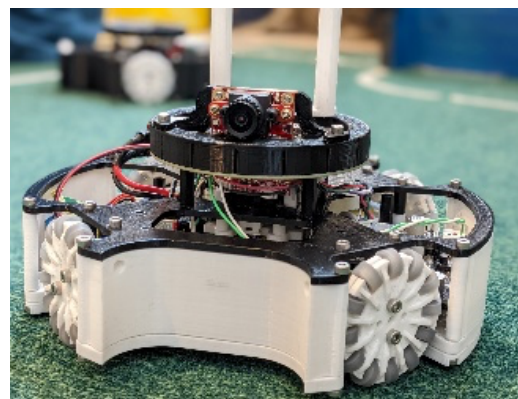


図28 オフENSEの機体（Maxonモーターを搭載）

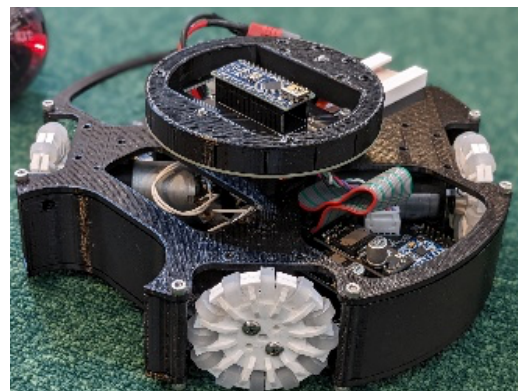


図29 ディフェンスの機体（Pololuモーターを搭載）

より速い移動を求めMaxonRE16を搭載し、高回転、高トルクで機体同士の押し合いも負けにくく、低速回転でも安定した姿勢制御を実現することに成功した。

9. 指定角度への機体移動



RCJ Soccer 関東フットサル2021

優勝 最優秀リベリテ-シヨノ賞
RCJ Soccer 日本大会 2021 オンライン
総合 5位、ベストリベリテ-シヨノ賞
RoboCup Asia-Pacific 2021 Aichi
総合 3位
RCJ Soccer 関東ロケット2022

私たちは芝浦工業大学附属中高の電子技術研究部に



チーム内の進捗状況の
確認、その日の共有、活動
自覚中の話し合いに、
Slack、**Dropbox**などを
使用しており、各自が別の
場所で作業している際もそ
れぞれのメンバーが修正した
活動を円滑に進められる。
機材設計は**Fusion360**
で行い、全ての部品を**3D**
3Dプリンターで印刷すると
何度か作り直すことで、最
最適な形に調整され、
また、基板板は**Kicad**で
行い、外部に発注を行っ
て**オシムリ**の**3Dプリンタ**
で板を作成した。



モーター オムニホール



早く移動をすゝめるためmaxonのr66を使い、高回転、高トルクの車体の押し合ひで自走ができた。低速でも回転が安定して、より姿勢制御で走りは正確な制御ができる。

強く(トルク強度を上げる)で小型型、最低限の処理で一度の処理時間を短縮したい。

IRセンサー 横から



ボールから弾き出られる赤外線
を受けとりボールの位置を正
確に伝えるように、IRセンサ
のようには設計延長距離には
障害物が無いようにしている。
高速度化した。

正確にボールの位置を求め
るようには6個の赤外線レ
ーを円状に配置している。そ
うして狙ったターゲットで迎理
する。

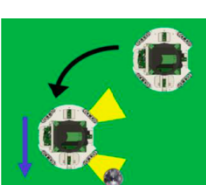
マシンを流してゴール前や
ゴールの端からの脱出を正
確に行うように、自作のレ
ンズを使う。3つと2つの
センサーを配置している。

モータードライブ



MDをカードタイプの自作基板に自作して交換し、またその基板にMDにDEV 8.3.32を使用することで、主制御とMDの線形的に接続が可能になった。

中央基板にもター、ライデンの1配線の記録、マイク、電話通話が出る記録、最小限に抑えた。フロッピーディスクを使って、自線の数、数を減らすことができた。

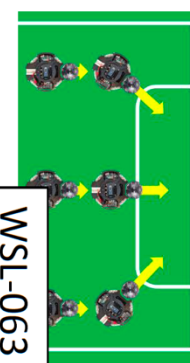


水・土が速く流れて、風や
ない時には、一旦後方に
下がるようになっている。
水・土の中心点と置かれた
際、**相手を上り**に優先に
承一山(回りの山)とつなが
素早に往々押し進め、攻める
ことができる。また素手な
動作で防衛、押し合いの
動きを防ぐことができる。



ボールの位置を確認し、ボールと正対するように移動する。上記の計算式でモータの出力値に代入すればボールから遠ければ出力が大きいく状態が進み、近ければ弱い出力で動くためボールの前に骨が移動できる。

テイコエンス



は超音波などのゴール認識、ロボットの腕にはまって抜かれず、果たせないことが多かった。V)を使うことによってゴール前をぶつたので自分のゴール前を

昨年度はボールに回り込んで、そのままゴールに進んで行くフログラムだったので、中立的なボールがゴールの脇に出てしまった場合ゴールが出来なかったという反省を生かして、今回は**カメヲ(Open_MV)**を使って**ゴールの位置を割り出す**ことが出来るようにした。

WSL-063

図27 2022年4月に出場した全国大会に提出したポスター

さらに、機体を大幅に改善できたことで、1) ボールセンサーを再設計し、常にボールをロストしないような制御が可能となった。2) モーターを変更できたことによりこれまでになく最大スピードを出力できるようになった。3) フラットケーブルにレイアウトすることで、メンテナンスが容易になった。4) メインマイコンを変更することで動作が滑らかになった。5) Open MVを搭載したことでゴールを精確に認識できるようになり、ボールをホールドした際はより確実にゴール内にボールが入るようになった。

7. 3 ソフトウェアの研究開発

ソフトウェアも全面的に改善した。図30にオフェンスの機体におけるフローチャート、図31にディフェンスの機体におけるフローチャートをそれぞれ示す。

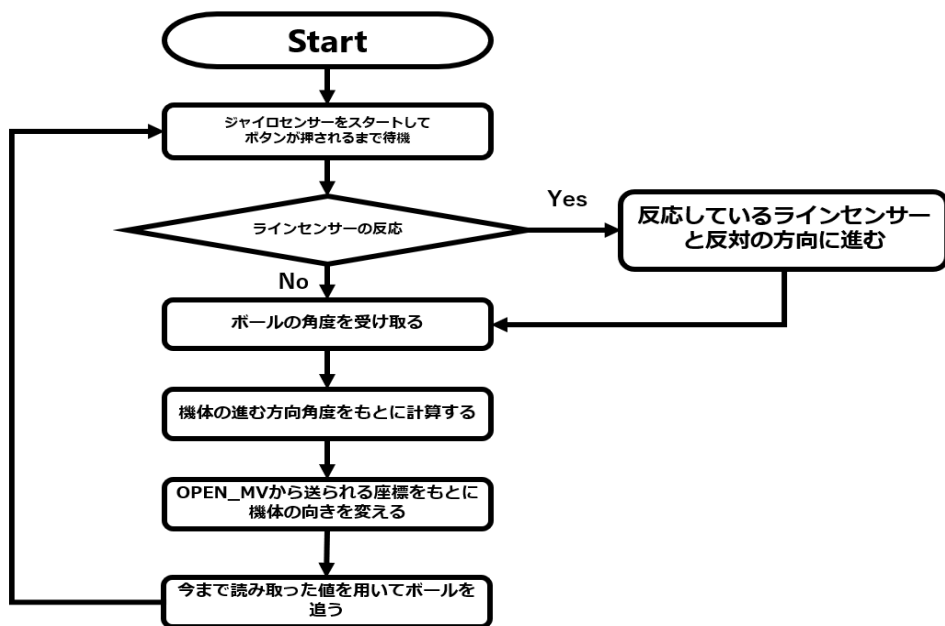


図30 オフェンスの機体におけるフローチャート

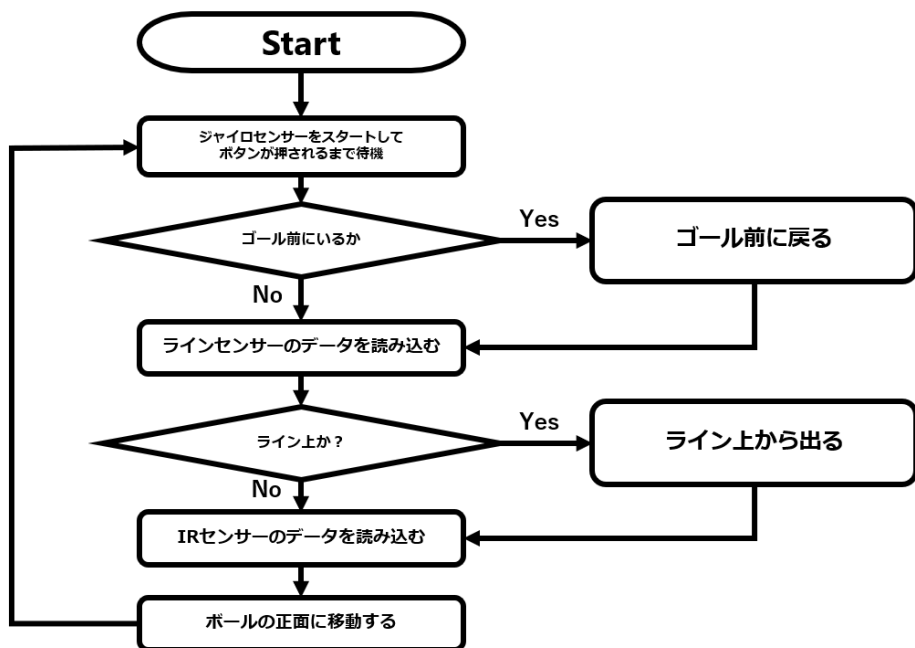


図31 ディフェンスの機体におけるフローチャート

7. 4 大会成績

出場メンバーは、リーダー須田晃弘君（高3）、河野響君（高1）、見崎成君（高1）、檜垣葵君（中3）の4名。チーム名は、Oi_DENGIKEN.

2022年4月22日-24日に開催されたロボカップジュニア全国大会2022では、ダイセン電子工業賞（スポンサー賞）を受賞。

7. 5 出場メンバーの感想

今まで2019年から研究開発を続けてきたが、今回、MaxonRE16モーターの機体を全国大会の試合で使用できたことが嬉しかった。実際に多くの相手と戦うのは2回目であり、アジアパシフィック大会に比べ、強いチームが多かった。これまで自分達は強いと思っていたが、自分たちのチームの弱点がわかり、大会で勝つための難しさを知った。

1日目はしっかりと機体が動作していたが、2日目に突然IRセンサーがボールの位置を読み取らなくなり、全く動かなくなった。

大会終了後に、細部まで分解して調査した結果、配線の圧着ミスで断線していたことが判明した。1つのミスでかなりの順位が下がり、勝てるはずの相手も勝てなかったことが悔しかった。

今後は、1) ラインセンサー: 現在のラインセンサーでは速く移動しようとするラインセンサーが反応できずに、ラインを超えてしまうことが多いので、絶対にラインを超えないラインセンサーを作りたい。例えば、エンジェルラインセンサーを用いて、円形に照度センサーを並べて、それぞれのセンサーの値を見ることにより、どの方向からどの程度ラインをオーバーしたのか、が精確にわかるようになり、固定値でコート内に戻らなくてもコートからアウトしないようにできる。

また、コートのライン上にボールを追うことも可能になることから、今後の開発で検証したい。

2) モーター: 強いチームと戦ってみて機体のスピードの違いによってボールを触れないことが多くあったため、最大スピードでボールを追えるように改善したい。

3) IRセンサー: 他の強いチームと対戦してみてボールの値を読んでから動き出すための時間が長いと感じたので、ボールを最速で読めるようなラインセンサーを作りたい。例えば、IRセンサーのマイコンをArduino NanoからSTMに変更することによって処理速度を上げて素早く精確にボールの角度を読めるようにしたい。

4) カメラ: 全方位カメラを搭載することで、どの位置にいてもゴールを認識することができるため、ボールをホールドした際、今いる位置から確実にボールをゴールに入れられるようにしたい。

8. 開発メンバーと戦績

2019年から基礎研究をスタートし、2020年4月に当時電子技術研究部部長の須田晃弘君が中心となって、本格的にロボカップジュニアサッカーライトウェイト（ワールドリーグ）部門へ挑戦すると宣言してから、あっという間に4年目に突入した。

改めて、表2に開発メンバーと表3に戦績を纏める。

表2 開発メンバー

担当	メンバー
リーダー	須田晃弘
エレクトロニクス	(2019年～2022年3月卒業)
プログラミング	鈴木智大 (2019年～2022年3月卒業)
メカトロニクス	河野 響 (2019年～)
ロボティクス プログラミング	見崎 成 (2019年～)
プログラミング	檜垣 葵 (2022年～)

表3 戦績

大会	戦績
2021年 関東ブロック大会	第1位 最優秀プレゼンテーション賞 全国大会出場権獲得
2021年 全国大会	第5位 ベストビジュアルポスター賞 アジアパシフィック大会 出場権獲得
2021年 アジア パシフィック大会	第3位
2022年 関東ブロック大会	第2位 最優秀プレゼンテーション賞 全国大会出場権獲得
2022年 全国大会	ダイセン電子工業賞 (スポンサー賞)
参加部門は全て、ロボカップジュニアサッカーライトウェイト（ワールドリーグ）	

9. おわりに

電技研では「生徒が輝いてこそ、学校は発展する」。この前提的な原則をわれわれ顧問の中では共有し、日々、指導にあたっている。

個々の個性や感性、モチベーションにブレーキをできるだけかけないように、潜在的に湧き起こるアイデアやイメージを具現化していくための環境や助言をする。結局は、部員らが満足・失敗しなければ、次のステージに進めないし、発展も成長もない。

とりわけロボット制御系プログラミングの大会は、試合当日、競技内にいる部員らとの接触を禁じられている。部員が考え、議論し、問題を発見し、解決しなくてはならないのである。顧問としてはとても胃が痛い。

つまり、そういった環境を日常化していなければ、部員らは自ら考えず、自走せず、顧問に頼り切りになり、主体性は失われてしまう。

毎年100名を超える部活動で、主体的な組織を作るためには、見せる、考えさせる、仮説を立てさせる、検証する機会を与え、改善する機会を与えること、であることは経験的に学んできた。

さて、電技研の部訓は3つ。「研究と貢献」「仮説と検証」「先輩から後輩へ」である。

本稿でも綴りきれなかった、開発メンバーのあくなき探究心と研究心、仮説と検証から得た知見から新たな仕組みを創り出していくバイタリティとタフさ。そして、先輩から後輩へと受け継がれていく、技術とコツと知見。

結果にコミットすること。そのためには、プロセスを完全にスケジュール化する。問題をプライオリティ別に分け、さらに項目をカテゴライズする。いま、自分たちができるところに集中させるように促す。

結局、研究開発はどこで妥協するか？に収束する。工学部で最も大事な教えは「納期を守る」ことである。彼らの場合、大会日であり、予算であったりもする。顧問らも部員らに、全てのアドバイスをしように気を付ける。あるGという質問してきたら、3歩先あるいは10歩先の間接的なアドバイスをする。さらに誰がアドバイスを求めているか、にもよってその内容、比喻、話し方も変化させる。

まず、彼らの意見を肯定し、自分たちで調べられることは調べさせる。われわれがこれまで体験してきた中から抽出できる経験値から組織論や精神的なこと、納期的なこと、メンテナンスの方法などアドバイスできることはするが、意識的に声はかけないようにする。

たまに「どう？」と聞くくらいである。それをきっかけに状況を解説してくれる。その中で、問題点や課題点も聞くが、「それでどうすることにした？」と返すくらいである。繰り返しになるが、彼らは彼らなりに考え、結論を出し、その仮説を検証し、さらに、新しいアイデアをカタチにしていかなければ、次の一步を自分たちの力で歩んでいけない。前述したように大会に出るのは彼らであり、大会中に問題を解消するのも彼らである。

実際、アジアパシフィック大会の前夜、どうしてもうまくいかないMaxonモーターの機体を諦め、予備機持参していたPololuモーターの機体をアジアパシフィックルールに合わせて徹夜して作業を続け、大会開始4時間前に完成させた意地の一夜は、彼らの自信につながっているに違いない。さらに驚くことにアジア3位に輝くという快挙も成し遂げる。

一方では、われわれ顧問らも彼らのおかげでとてもたくさんの勉強・研究をするようになっていたことも事実である。知っていなければ、間接的であってもアドバイスを送ることもできない。購入したいものがあると言ってくる他の選択肢はどうだろうか？再考してみてもいいと言えない。

特に、ものづくりの世界ではエビデンスが重要になってくる。いくつもの実験から最適解を探しあてにくのである。顧問である教員がそこを掘ればいいんじゃない？とは口が裂けても言えない。

彼らが何かあるだろうと思う場所に、彼ら自身が素手やスコップで永遠と掘り続け、「もう、ないかな？」と不安になり、あきらめかけそうになってからも「もう少し、掘ってみよう」というのか「いや、ここじゃない」と決断するのか？このプロセスを体感したチームと、この経験をしてないチームでは、最後の粘り強さの差に表れるものである。

最後に、指導方針で気をつけていることは部員らに「与えずぎない」ことを重視している。買い与える、言い与える、といったことである。彼らが将来のために自立・自律していくためには、あるものを使うのではなく、なければ創ろうという発想が無自覚的に想起できるような思考順序を構築していくって欲しいと考えている。

その判断をするために、われわれは日々、研究・勉強し、成長しなければならぬことを特にこのロボカップジュニアに出場するメンバーに出会ってから、改めて実感しているところである。

このような体験をさせてもらい、開発メンバーには心から感謝している。ありがとう。

謝辞

研究の遂行および本報を完成するにあたり、芝浦工業大学附属中学高等学校教職員誌鹿車編集委員長の山岸澄先生には、有益なご助言と温かい励ましを頂戴致しました。心より感謝申し上げます。また、私がこのように執筆できていることは多くのサポートがあればこそです。とりわけ、技家情報科の増本正三先生、玉光美都紀先生には心より感謝申し上げます。そして、本校SEの財家正博氏、徐吉和氏のサポートがなければ授業が成立しない可能性もありました。ICT環境の調整やさまざまなアドバイスを頂き、誠にありがとうございました。

そして、本研究テーマである「ロボカップジュニアサッカーにおける自律制御系ロボットの研究開発」の基、最後まで諦めず、現在も研究開発を続けている河野響君（高2）、見崎成君（高2）、檜垣葵君（高1）、さらに本校を卒業し、見事に電技研の部訓である「先輩から後輩へ」を達成してくれた須田晃弘君（大1）と鈴木智大君（大1）には、心より感謝しております。目指すは世界大会。さらに究めて欲しいと願っています。

最後に、本校学校長佐藤元哉先生には、このような機会を与えて下さったことに心より感謝申し上げます。ありがとうございます。

参考文献

- [1] Robocup Junior Soccer Rules 2022 : https://drive.google.com/file/d/11oX0iJ_EAnN6pmUL5OKUh5-Bd9ynScig/view（参照日2022.9.13）
- [2] http://blog.livedoor.jp/revolution_include/archives/2815979.html（参照日2021.3.3）

著者紹介

岩田 亮（いわた りょう）

所属：芝浦工業大学附属中学高等学校 技術科教諭
クラブ活動：電子技術研究部
学年：高校2年3組副担任
教科担当：高校3年生「Arts & Tech」
中学1，2年「SHIBAURA探究IT」

松本 研太（まつもと けんた）

所属：芝浦工業大学附属中学高等学校 技術科教諭
クラブ活動：電子技術研究部
学年：高校2年2組担任
教科担当：中学1～3年生「技術」
高校2年生「情報の科学」

須田 雄一（すだ ゆういち）

所属：芝浦工業大学附属中学高等学校
技術/情報科主任教諭
クラブ活動：電子技術研究部
学年：高校3年6組担任
教科担当：高校1年生「Arts & Tech」
高校2年生「情報の科学」

開発メンバー

須田 晃弘（すだ あきひろ）

芝浦工業大学附属高等学校3年（当時）
電子技術研究部 部長（当時），2022年3月卒業

鈴木 智大（すずき ともひろ）

芝浦工業大学附属高等学校3年（当時）
電子技術研究部 部員（当時），2022年3月卒業

河野 響（こうの ひびき）

芝浦工業大学附属高等学校2年
電子技術研究部 部員

見崎 成（みさき じょう）

芝浦工業大学附属高等学校2年
電子技術研究部 部員

檜垣 葵（ひがき あおい）

芝浦工業大学附属高等学校1年
電子技術研究部 部員