

WRO 2024 Japan Future Engineers 決勝大会

Otemon PathFinder

工学ジャーナル

[GitHub: ozawk/WROFE-OTMPF](#)

コ－チ

南方 博

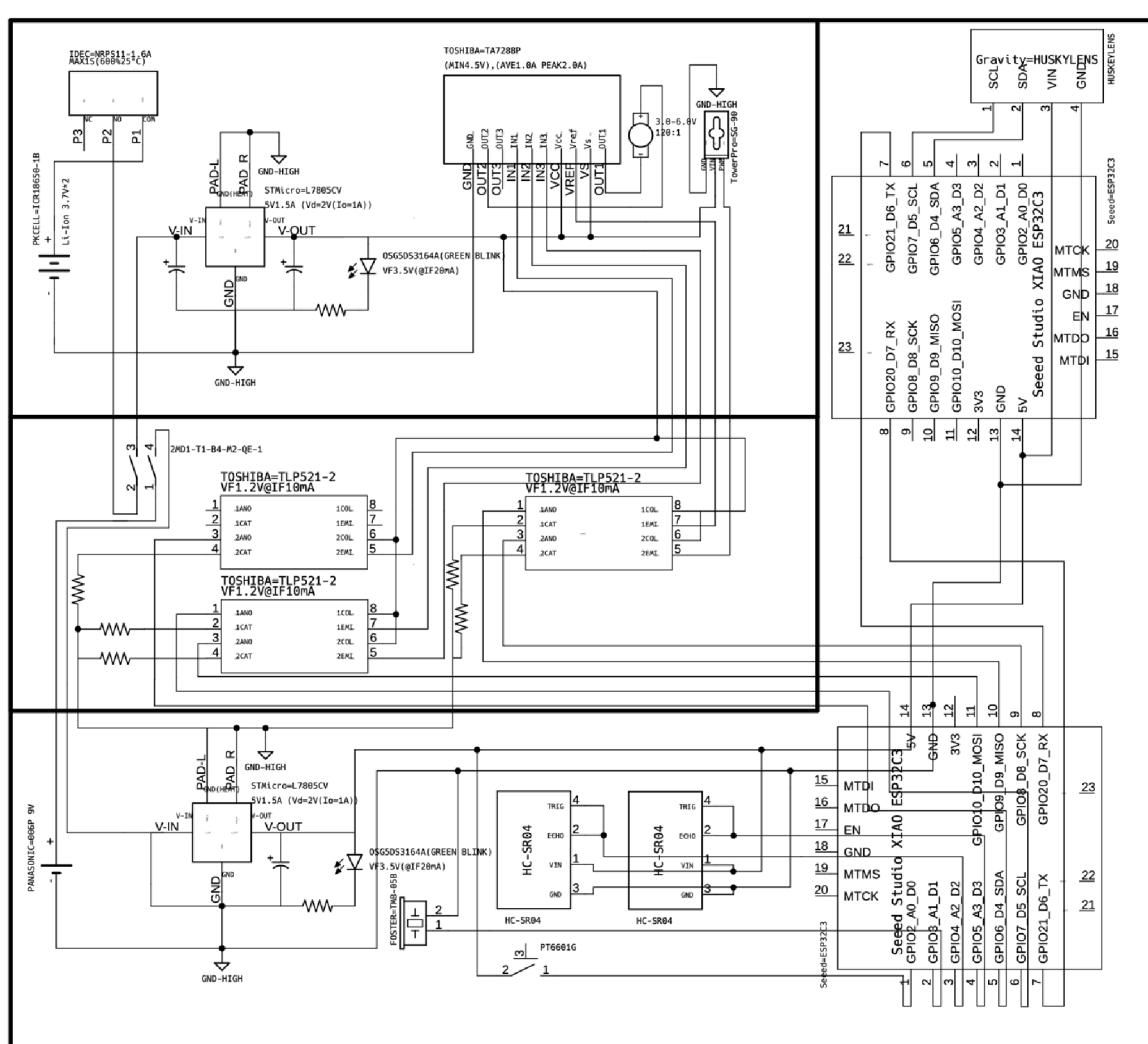
メンバー

小澤航大
竹一颯太郎

1.車両の電子的要素の説明

i.電子回路設計全体の説明

i ,電子回路図



ii ,エリアの説明

太線によりエリアを 3 つに分けており、左上がモーターなどを含む A エリア、右下がセンサー やマイコンを含む B エリア、その 2 つのエリアに挟まれているのが中継エリアです。

A エリアのモーターから出ると考えられるコモンモードノイズが B エリアのセンサーやマイコンに伝導することを防止するため、中継エリアにフォトカプラ、東芝製 TLP521-2 のセカンドソース品であるイソコム製 TLP521-2x を使用し 2 エリア間を電気的に絶縁しました。

iii. 電子回路の詳細な説明

A エリアの電源は円筒型のリチウムイオンバッテリ 2 本を直列に配置し、STMicro 製 三端子レギュレータ L7805CV にて 5V MAX1.5A に降圧しています。L7805CV のドロップアウト電圧は $V_d=2V@I_o=1A, T_j=25^{\circ}\text{C}$ であるため、 $5V+2V=7V$ 以上が電池に求められ、一般的な Li-Ion 電池の公称電圧 3.7V*2 本=7.4V がこれに適合します。また保護素子として、アイデック製サーキットプロテクタ NRPS11-1.6A を使用しており、定格 1.6A の 600% の負荷時に 1 秒以内に回路を遮断することができ(@25°C)，回路に異常が発生しても Li-Ion 電池の保護が可能です。モータードライバには東芝製 TA7288P、ステアリング部のサーボモーターには TowerPro 製 SG90、動力部のモーターとギアボックスにはダイセン電子製 TGP01D-130-120 を使用しました。動力部のモーターにはノーマルモードノイズ、コモンモードノイズを防ぐ $0.1\mu\text{F}$ 積層セラミックコンデンサを 3 つ、端子-筐体間、端子-端子間、端子-筐体間に取り付けました。

B エリアの電源は消費電力、スペースを考慮し 006P 9V 電池を使用しており、その他の設計は A エリアと共通にしました。メインボードには、親指サイズに最大 160MHz で動作する RISC-V チップを搭載した Seeed Studio 製 XIAO ESP32C3 を 2 基搭載してそれを TX 線 RX 線でクロスに結び、シリアルにて通信をしています。

測距センサには HC-SR04 を 2 基使用しました。これに関して Echo 信号と Trig 信号の通信線を共通にしてメインボードの GPIO ピン節約を図っています。

オブジェクトを認識する AI カメラとして、DFROBOT 製 HUSKEYLENS を使用しました。コート上の障害物を HUSKEYLENS で推論し、推論結果を I2C 通信によりメインボードに送信しています。ステータス確認用のブザーはフォスター電機製 TMB-05B を使用しました。

以下はロボットが直進動作をしている際の A エリアと B エリアの電池型番と消費電力です。但し 25°C の環境にてモーター無負荷時に、電池に最も近い地点にて測定しました。

A エリア: PKCELL 製 ICR18650-1B, 8.4V, 55mA

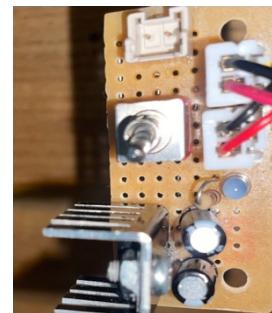
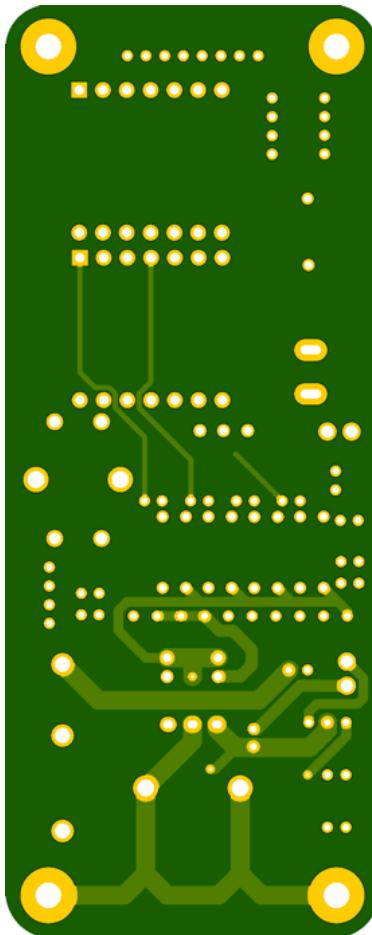
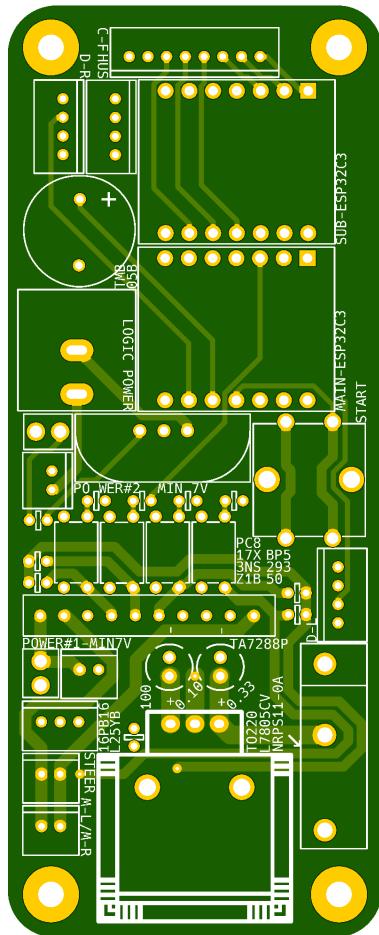
B エリア: PKCELL 製 6F22, 8.7V, 14mA

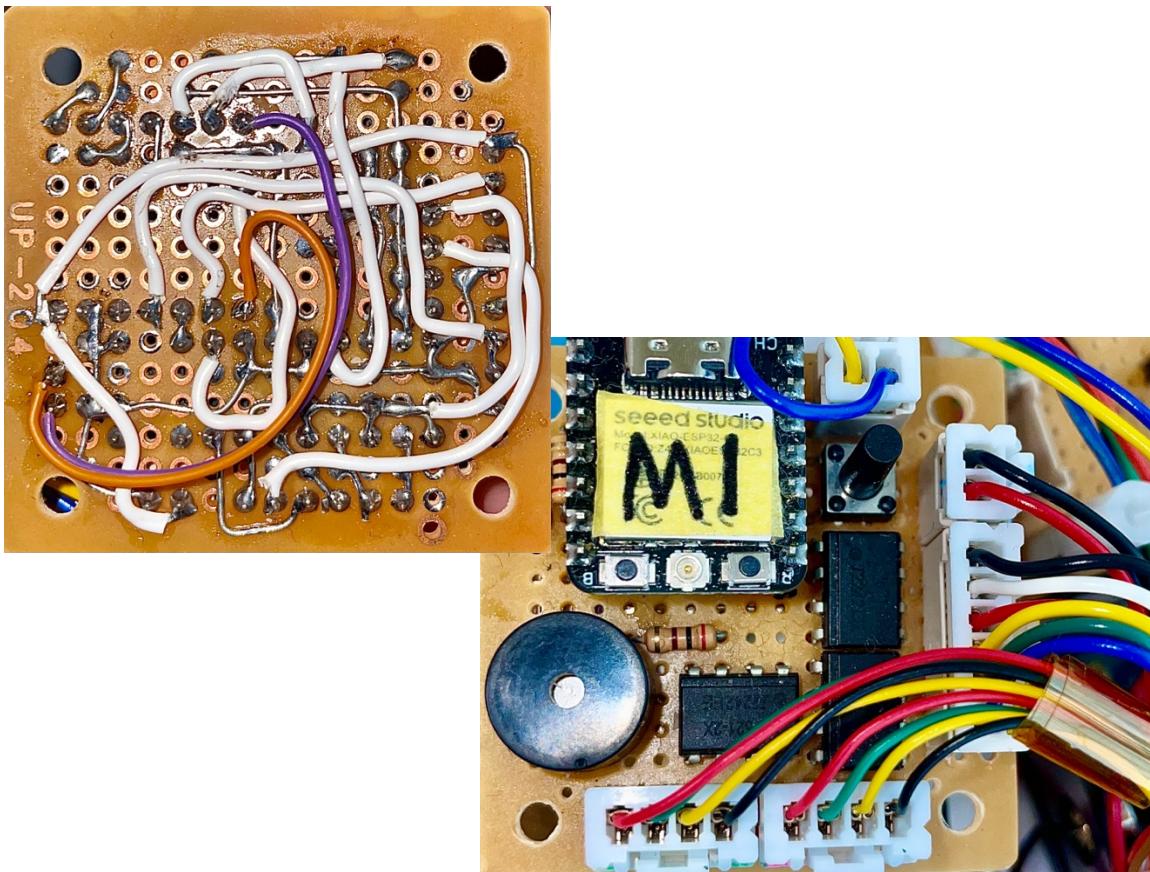
□電子基板の設計と制作の説明

電子基板に関して、当初はプリント基板を発注することを予定していましたが、期限の都合でユニバーサル基板にて回路を製作することとしました。

ユニバーサル基板は部品等の故障や作り替えに素早く対応するため、デバッグ作業を容易にするため、また制作時の熱により部品が破壊されることを防ぐため各エリアをモジュール化して別々のユニバーサル基板上に制作しました。基板間の接続には日本圧着端子製造製のロック機構付きコネクタ、XA シリーズを使用しました。

以下は予定していたが実際には使用しなかったプリント基板の上側と下側のプレビュー画像と、実際に制作したユニバーサル基板の表側と裏側です。





ハ.電子回路において改善ができる点

時間の都合上ユニバーサル基板上に回路を作成したため、放射ノイズ耐性が不十分であると考えられ、電気的、力学的に不安定な接続が多くなり安定した稼働が望めない点が挙げられます。またプリント基板と違い一期一会な配線が出来上がってしまい、故障時の予備基板を作成することが困難になりました。

また、車両の底面にコート上に印刷された線を読み取るセンサーを取り付ける予定で、浜松ホトニクスの外乱光下向けのフォト IC S4282-51 を車両に取り付けましたが、このセンサーは 800nm の赤外光を検知するもので、全ての光を反射した白色と全ての光を吸収した黒色どちらかを判定するものであると後に気づきました。そのため赤外光を反射する青色や橙色の線は全て白色であると判別されてしまいました。よってフォト IC S4282-51 は想定通りの動作とはならず、取り外すこととしました。受光部に青色や橙色の透明フィルムを貼り透過させる波長を制限するなど工夫をするか、同 浜松ホトニクスの RGB カラーセンサー S9032-02 などに変更するなどすべきであったと考えます。

2.車両の工学的要素の説明

1.車両の設計全体の説明

i.車両の制作手段と設計データの説明

3D データは後述の GitHub リポジトリ master ブランチ内 cad ディレクトリに STL ファイル形式にて格納しました。

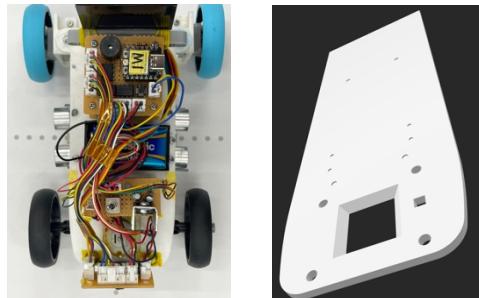
車両パーツのほとんどは 3D プリンタにて製作しました。使用したソフトウェア、3D プリンタ、フィラメントは下の通りです。

ソフトウェア: Autodesk Fusion 教育機関ライセンス

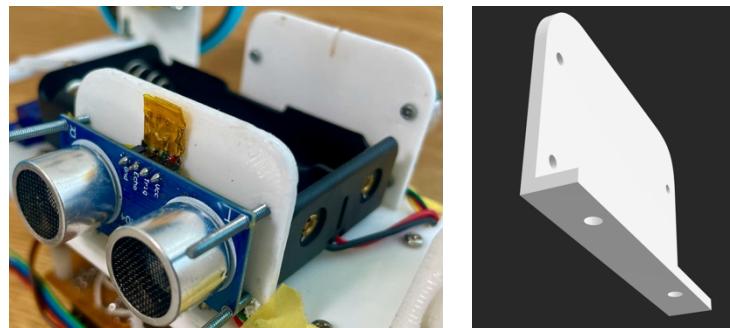
3D プリンタ: Anycubic i3 Mega X

フィラメント: PLA @200°C

ii.車両設計の詳細な説明



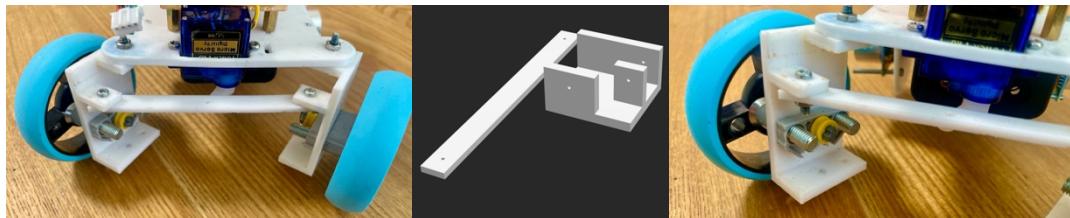
上は車体プラットホームの画像です。車体前方に前述の B エリア回路基板を配置し、車体中央に 006P 9V 角電池、車体後方に電源回路基板とモーター制御回路基板を配置しました。また車体裏側に Li-Ion 電池を取り付けました。



上は左右の超音波測距センサを固定するパーツの画像です。超音波測距センサは車両中央に左右一個ずつ取り付けました。



上は後方タイヤを固定するパートと、動力用のモーターとそのギヤボックスを固定するパートです。前者は市販のギヤボックスと市販のタイヤを連結するもので、後者は市販のギヤボックスを挟み込み、天板である車体プラットホームと接続するパートです。



上は前方タイヤを固定するパートと、並行リンク機構状にステアリング用サーボモータの角度を左右のタイヤに伝達する軸です。

前者は一般的な並行リンク機構の左右の辺に相当します。車体プラットホームと後者の左右と接続し、前2地点の角度差をタイヤに伝達します。

後者は一般的な並行リンク機構の上側の辺に相当する辺で、常に車体プラットホームに対して平行に動作します。

□車両の設計において改善ができる点

3Dデータの制作時に、車体全体の形状をシュミレートできるような手法を使用せず、パートそれぞれを個別に設計したため、実物を製作した時点でパート間の干渉に気づく事が多々あったためこれは改善ができると考えます。

また、力を伝える軸や車体プラットホームのような棒状や板状のパートは3Dプリンタで製作するより木や金属を加工して製作した方が強度や精度の上で優れていると分かり、これも改善ができると考えます。

3.車両のプログラムの説明

1.プログラム全体の説明

プログラムのデータは行数が大きい為、ジャーナル提出フォームに Zip ファイルで添付しました。また、下記 GitHub リポジトリ master ブランチ内、src ディレクトリにも格納しました。プログラムは Seeed Studio 製 XIAO ESP32C3 *2 基に書き込みをしたものです。またプログラム中 C 周りとは時計回りのことで、CCW 周りとは反時計回りのことを指しています。

＊＊ first.ino ファイルはオープンチャレンジのプログラムで 1 基目の ESP32C3 に書き込みをしました。43 行目付近までは後に使用する定数や変数などを宣言しています。

45 行目付近からは起動後に 1 度実行される関数です。デバッグ用シリアルポート、GPIO ピン、ステアリング用サーボモータの初期化をし、車体のブレーキをかけてステアリングを前進方向に固定しながらスタートストップボタンが長押しされるのを待ち受けます。

スタートストップボタンの待ち受けの動作は 385 行目付近にて定義され、ボタンが初回に押下された場合に時間計測を開始し、複数回目かつ一定時間以上経過後にボタンが押下された場合ボタン長押し判定をし、スタートストップフラグを反転等して結果を戻します。

車両のコート上の動作が開始すると、70 行目付近から 92 行目付近のように車両のスタート位置を判定します。この時点ではコートをどちらの向きに回るか不明であるため、時計回りであると仮定します。車両を進ませ、左右の測距センサの値が一定以上若しくは無限大になった場合(326 行目付近から 370 行目付近)、コートのコーナーに差し掛かったと判断し、自機がどちら回りに回転しているかを確定し、前述のスタート位置を必要に応じて修正します(107 行目付近から 127 行目付近)。自機の回転方向とスタート位置からコーナーをどれだけ曲がるのかを切分け、ステアリングを作動させ曲がります(130 行目付近から 164 行目付近)。

初回コーナーを終えれば 170 行目付近にて無限ループの関数に入ります。スタートストップボタンの停止動作を待機しながら 20ms ごとにループします。

自機が時計回りに回転しているなら右側、反時計回りであれば左側の壁がなくなったと、感知すれば右回転/左回転動作に入ります(188 行目付近から 207 行目付近).

回転動作に入るたびにカウントアップする変数があり、それが一定回数を超えるとコートを 3 周したと判定し車両を停止させます(209 行目付近から 221 行目付近).

車両を直進させる制御は 473 行目付近にあり、制限時間のためにコートのやや内側を進むようにしました。目標値に現在値が近い場合は P 制御をし、一定以上離れた値ではステアリングを大きく曲げ軌道を修正する処理をします。

左右の測距センサからスパイクノイズのような外れ値が出力されたため、Hampel フィルタにより一定期間の値の中央値を算出して、標準偏差の一定倍大きく外れた値を省く処理をしました(414 行目付近から)。

** second.ino ファイルはオブスタクルチャレンジのプログラムで 1 基目の ECP32C3 に書き込みをしました。2 基目の ECP32C3 と通信する内容を含んでいます。

後述のプログラムから受信した障害物位置データから車両の軌道を内側真ん中外側の 3 通りに切り分け、軌道を修正します。その他プログラムは first.ino と同様です。

hus.ino ファイルはオブスタクルチャレンジのプログラムで 2 基目の ECP32C3 に書き込みをしました。Huskeylens と i2c 通信にて障害物の位置、大きさ、種類を受信します。そのデータから最も直近に避けなければならない障害物を判定し、(50 行目付近)前述のプログラムへシリアル通信にて情報を転送します。

4. 最後に

1. 資料

i , 資料格納場所

ジャーナル提出フォームに zip ファイルでプログラムデータを格納しました。

また、下の URL の src ディレクトリ内にもプログラムデータを格納しています。

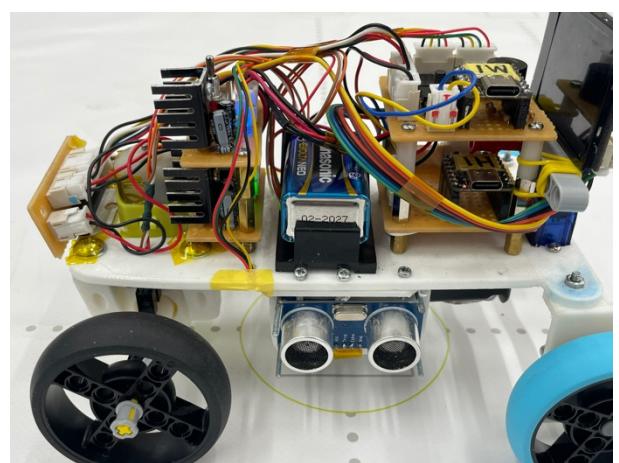
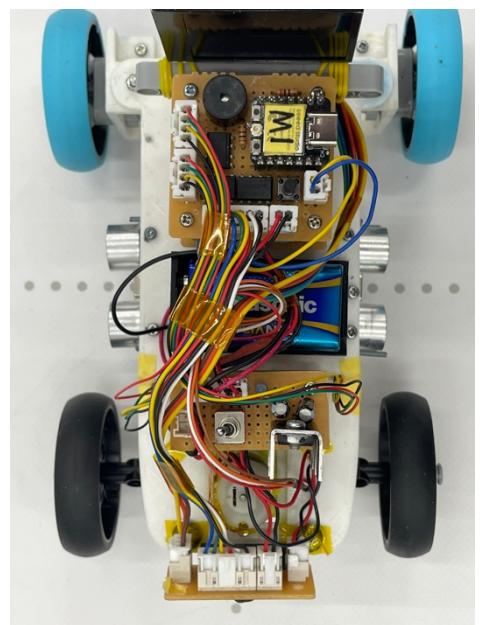
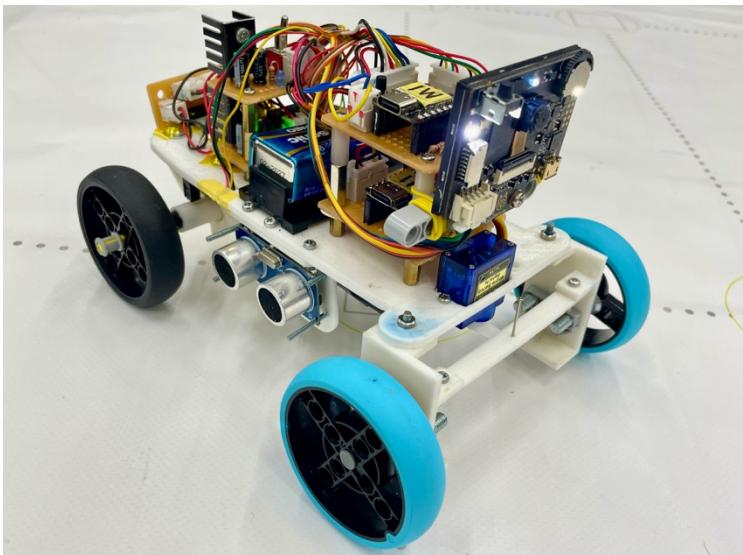
また、cad ディレクトリ内に STL 形式の CAD データを格納しました。

その他この資料と、この資料に含まれる画像データを docs ディレクトリに格納しました。

<https://github.com/ozawk/WROFE-OTMPF>

ii, チームの写真

iii, ロボットの様々な角度からの画像



□,参考文献

RS コンポーネンツ. “コモンモードノイズの原因と対策”

<https://jp.rs-online.com/web/content/discovery/ideas-and-advice/common-mode-noise-guide>

東芝デバイス&ストレージ. “フォトカプラーの使い方”

<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/semiconductor/knowledge/e-learning/discrete/chap5/chap5-13.html>

東芝デバイス&ストレージ. “フォトカプラーの特性 変換効率”

<https://toshiba.semicon-storage.com/jp/semiconductor/knowledge/e-learning/discrete/chap5/chap5-10.html>

Seeed Studio. “Seeed Studio XIAO ESP32C3”

<https://www.seeedstudio.com/Seeed-XIAO-ESP32C3-p-5431.html>

TDK. “一次電池・二次電池とは？違いや構造を解説”

<https://www.tdk.com/ja/tech-mag/knowledge/032>

村田製作所. “導体伝導とコモンモード”

<https://www.murata.com/ja-jp/products/emc/emifil/library/knowhow/basic/chapter05-p1>

ルネサス エレクトロニクス. “フォトカプラーはこうして使う”

<https://www.renesas.com/jp/ja/products/interface/optoelectronics/how-photocouplers-optocouplers-are-used>

MathWorks. “Hampel 識別子を使用した外れ値の削除”

<https://jp.mathworks.com/help/signal/ref/hampel.html>

浜松ホトニクス. “光変調型フォト IC S4282-51, S6809, S6846, S6986, S7136/-10, S10053 データシート”

浜松ホトニクス. “Si フォトダイオード S9032-02 データシート”

東芝. “TLP521-1,TLP521-2,TLP521-4 データシート”

東芝. “TA7288P データシート”

ST マイクロエレクトロニクス. “L78 データシート”

日本圧着端子製造. “XA CONNECTOR カタログ”

以上はこの工学ジャーナルを作成するにあたって参考にさせていただいた文献です。