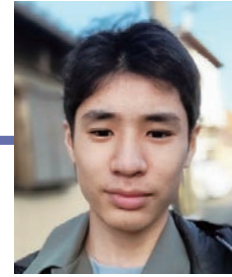




RoboCupJunior 2025 参加記

洛星高等学校 洛星ロボット研究部 Fornax (執筆当時) **徳満 陽喜**



1. RoboCupJuniorとは？

2025年の7月に、ブラジルで行われたRoboCupJunior*1の世界大会に出場した。RoboCupJuniorとは、国際的な自律ロボット競技会であるRoboCupの、19歳以下の人が参加可能であるJuniorリーグである。技術者の育成、コミュニティの形成を主眼としており、競技参加者間でのコミュニケーションがとて多いことが特徴の1つである。

Juniorリーグには、小型のロボットを自作し、ソフトウェアも作成して完全自律で動作させて競うカテゴリである、2対2対戦のSoccerカテゴリや、黒線を辿りながら様々な課題をこなすRescue Lineカテゴリ、そして私が参加したRescue Mazeカテゴリなどがある。

2. Rescue Mazeの大まかなルール

Rescue Mazeは、人が立ち入ることのできない災害現場での、ロボットによる自律救助を想定した競技である。

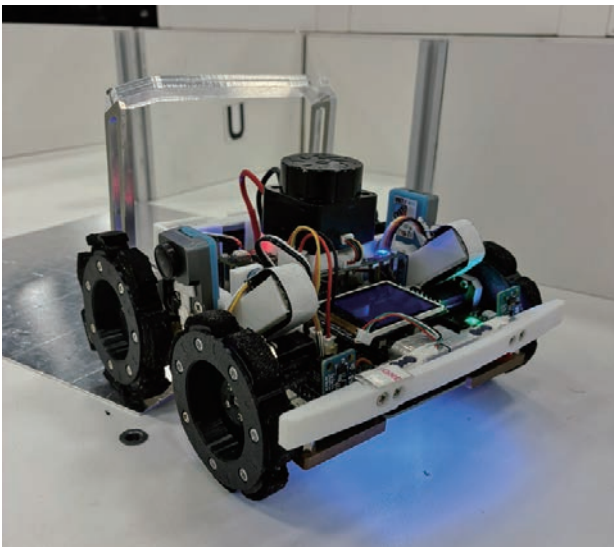
300mm×300mmに区切られたマス単位として迷路が構成されており（コートと呼ぶ）、その迷路の中をロボット

が探索し、災害の被災者に見立てたシール（被災者シール）を発見して識別する競技である。このシールにはいくつかの種類があり、これを識別してレスキューキットと呼ばれる小さいキューブを被災者シールの近くに配置すると追加得点となる。また、ロボットには事前に迷路の構成などを伝えることができないため、人間のコントロールなしに自分が進んできた迷路の状態を記録しなければならない。そのためには、ロボットが今自分がどの場所にいるのかということ把握することが大切である（図1、2）。

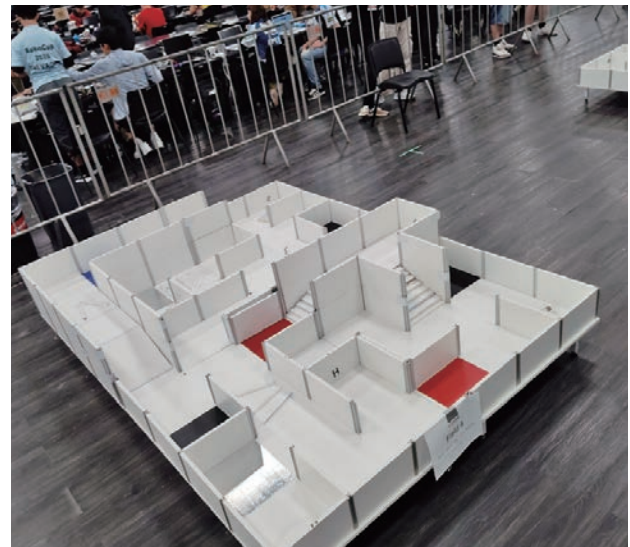
しかし、坂や瓦礫、階段や柱などの様々な障害物があり、これらがロボットの進行を妨害し、ロボットの認識している自己位置と実際の位置がずれてしまうというところがこの競技の最も難しいポイントである。

3. 2024年4月～2025年7月までの開発の軌跡

私たちのチーム「Fornax」は、2022年、中学1年生の時、同じクラブに所属していたメンバーで結成された。2023年の大会では、まだ技術的に未熟で、センサー値を正しく読



■図1. 私たちのチームで製作した機体の写真*2



■図2. 実際のコートの例

*1 RoboCupJunior HP, <https://junior.robocup.org/>

*2 FornaxチームからXへの投稿より転載、
https://x.com/Fornax_RRSC/status/1947340930198974811

み続けることすらできず、予選敗退に終わってしまいました。

翌2024年、チームとして大きく成長したこの年は、ロボットは迷路内をよく探索し、予選を突破することができた。3月に行われる全国大会で優勝することを目標に活動を続けていたが、惜しくも敗退する結果となった。しかし同時にその年の全国1位、2位のチームと交流することができた。大きな刺激と学びがあった。

この経験を糧として、私たちのチームは次の大会に向けた準備と強化のスタートを切った。まず、開発作業を効率的に進めるため、機械、回路、ソフトウェアの三分野にタスクを分割し、3人のメンバーそれぞれに振り分けた。当時既に3人のメンバー全員が機械、回路、ソフトウェアすべての分野にある程度経験していたため、タスク分割してもうまくいけようという見込みがあった。私はその中で機械とソフトウェアの一部を担当することになった。

まず、ロボットを製作するにあたって以下のような基本的な仕様を、3人で議論しながら決定した。

- ・車体を前後二つに分ち、ねじれるようにする (図3)
 - ・周囲の壁状況を知るために、LiDAR (Light Detection and Ranging) を使用する
 - ・被災者シール検出用の画像処理には、画像処理可能なマイコン内蔵カメラを使う
 - ・STM32マイコンを複数使用し、機能ごとに並列で処理する
 - ・マイコンの通信はUARTで樹状構造に接続する
- この5つの仕様をメインに据え、個々の作業に入っていた。

3.1 機械開発

設計は、3DCAD上で行う。公開されているデータシート

や、実測値などから市販部品のモデリングを行い、それに合わせてその他の部品を設計していく。特に意識したのは以下のような点である。

(1) 整備性

衝突検知、被災者発見、床色センサー等、機能ごとにユニット化して、すべてのユニットが手間なく外せるように設計した。

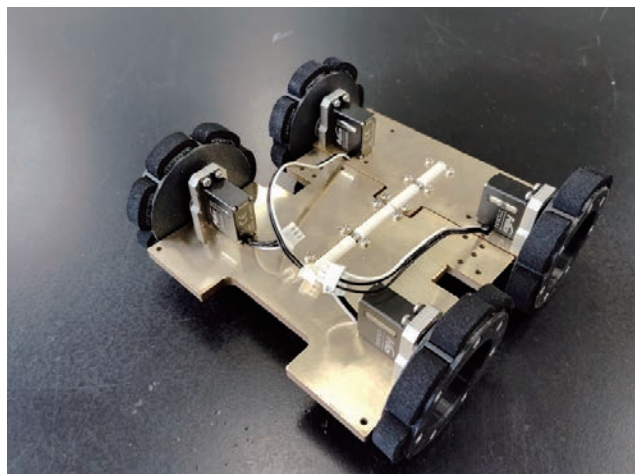
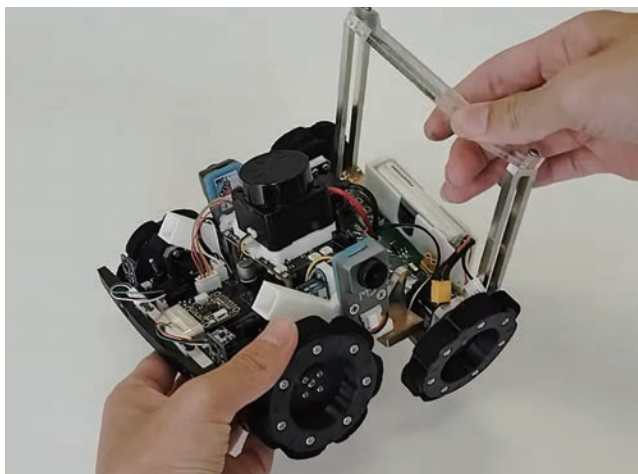
(2) LiDARのレーザーが干渉しないようなパーツ配置

LiDARによって得られる情報を最大化するため、LiDARの光と干渉する位置にはできるだけ部品を配置しないようにした。特に、被災者を発見するためのカメラとの位置関係には苦慮した。カメラは、タイヤと干渉しないようにできるだけ高い位置に置きたいが、高くしすぎるとLiDARと干渉するため、この部分の調整やうまい配置を探すのに多くの時間を使った。

(3) 機体の低重心化

迷路内には坂があり、ロボットがその坂を上るときに、重心が高い位置にあると、ひっくり返って転げ落ちてしまう。この問題を対策するため、私たちのチームでは重心をできるだけ低く配置できるように調整した。最も効果的だったのは、機体底面の板を5mm厚の真鍮にしたことである。この成果として50度の坂でも問題なく登れる機体を作成することができた。

また、レスキューキットは被災者シールの近くに配置できないと得点とならない。転がって位置のコントロールが難しかったので、立方体の内側を空洞にし、中にはんだ線を細



■図3. ひねった様子、車体下部の構造



かく切ったものを入れた。こうすることで、お手玉のように、地面に着地したとき、ほとんど跳ねないようにすることができた。

こういった部品のデザインを洗練するため、レーザーカッター、3Dプリンター、CNCなどの工作機械を活用し、試作を繰り返した。

3.2 回路開発

マイコンには、STM32シリーズを使用した。ソフトウェアの仕様が確定していない状態での作成になるので、少しオーバースペック気味の部品を使っている。また、LiPoバッテリーを用いているため、安全性確保のため一定の電圧で電源を遮断する回路を搭載した。この回路はソフトウェアの調整中に何度も作動し、バッテリーの保護に想定以上に役立ってくれた。

回路設計はプリント基板を使用することを前提として進めた。設計には、オープンソース回路設計ソフトであるKiCADを用いた。基板の外形は機械設計と同じように3DCADで作成し、平面CAD情報用のdxfファイルを用いてKiCADにインポートした。基板を置くスペースが限られており、一枚の基板にすべての機能を収めることが難しかったため、機能ごとに4つに分割し、部品を配置した。部品を配置したら配線を行う。配線するときはノイズに気を付け、4層基板を用いた。また、基板間の配線はできるだけ減らした。ケーブルを通して信号を送受信することはできるだけ避け、ピンソケットにピンヘッダを差すだけで接続できるようにした。

基板作成は中国の基板製造サービスであるJLCPCBに発注した。基板の外形情報、銅箔の配置、穴位置、シルクスクリーン等の含まれたgerberデータと、配置する部品の情報 (BOMファイル)、配置する部品の位置 (PnPファイル: Pick and Place) の情報をアップロードし、PCBA (PCB Assembly) をお願いした。2週間ほどで、ある程度部品の実装された基板が届くので、とても便利である。

3.3 ソフトウェア開発

3.3.1 LiDARの実装

私たちは2D LiDARであるYDLiDAR T-mini Proを使用し、STM32F446REというマイコンを用いて処理した。このマイコンは、Flashメモリが512KBしかなく、ROS (Robot Operating System) 上で動かすSLAM (Simultaneous Localization and Mapping)などを運用できるレベルの物

ではなかった。膨大な点群データをそのまま保管して処理することも現実的ではない。適度な抽象化を行い運用することも可能かもしれないが、難易度が跳ね上がり冗長性が失われてしまうので、この方法は採用しなかった。また、重く複雑な処理を試してみると、送られてくるデータを拾いきれずに、受信バッファがオーバーフローし壊れてしまうことが多々あった。

そのため、できるだけ軽量もしくは受信データをリアルタイムで処理するような、バッファオーバーフローを防ぐ実装が必要だった。そこで、壁が存在し得る方向を決め打ちして処理することとした。LiDARの物理的な向きに依存した処理をするよう、妥協したのである。LiDARから送られてくる一周360度分のデータを前後左右の4方向に分割する。そうするとそれぞれの領域に含まれる点群は、おおむね壁の形に添って直線のような形を成している。

しかし、ただ点群が並んでいるだけでは情報として扱いにくいので、最小二乗法を用いて直線で近似する。こうすることで、最小二乗法を行うための最低限の情報を記録するだけで済むので、各方向につき6変数を記録するのみで十分となった。さらに、LiDARから送られてくるデータを逐次処理できるようになるため、当初の目的も達成された。

3.3.2 画像処理

コート内の壁には赤、黄、緑の3色の被災者シールとH、S、Uと書かれた3種の文字の被災者シールに加え、被災者シールに似たシールが貼られている。

これらから被災者シールを検出、識別するためにUnitV AI カメラというプロセッサ内蔵のカメラを用いた。KPU (Knowledge Process Unit) という高速でニューラルネットワークを処理するためのプロセッサが内蔵されていることが特徴である。

ニューラルネットワークは、MobileNetという文字認識用の既存のネットワークを転移学習し、作成した。H、S、Uそれぞれについて1,000枚程度の写真を撮影し、Pytorchを用いて学習させた。

3.3.3 迷路探索/マッピング

3次元の迷路を想定し、使う可能性があるマスすべてのメモリを確保していると、全くメモリが足りなくなってしまう。そこで、メモリを削減するために、到達したマスだけを記録することにした。具体的には、到達したことのあるマスを辞書型で座標と壁情報を対応させマッピングした。

また、迷路探索にはDFS (Depth-First Search) とBFS (Breadth-First Search) を組み合わせたとような手法であるDBFS (Depth and Breadth First Search) を使用した。これは私たちが出場した前年度の大会の参加チームが考案し、用いていたものである*3。このようにコミュニティ内の技術共有が盛んなのがロボカップの1つの楽しさでもあるのだ。

4. 標準規格に関連する事柄

開発では、いろいろな設計データを、工作機械に送ったり基板製造サービスにアップロードしたりする必要があった。データ形式が標準規格として普及しているため、形式名等の指定だけでCADなどから必要な形で出力できた。

回路設計をするときに、部品ごとの回路記号、フットプリントや3Dモデルは公開されているものが多い。しかし、これら3つすべてを保有する統合されたデータ形式がないことが、少々不便を感じた。

ロボット上では主にUARTで部品間の通信を行った。これは他の安価な通信方式と比較し、比較的ノイズに強いからである。主に使用した規格等を表に示す。

■表. 主に使用した規格等

形式名等	概要	標準の種類
UART	1対1通信規格	デファクトスタンダード
.dxf	2DCADデータ規格	デファクトスタンダード (autodesk社によって)
.stl	メッシュボディデータ形式	デファクトスタンダード
.gcode	NC工作機械用加工データ (3Dプリンターで一般的)	ISO 6983/DIN 66025
.cnc	NC工作機械用加工データ (CNCで一般的)	.gcodeを元にした汎用NCデータ形式
gerber	プリント基板加工に最適化されたgcode	RS-274X
レーザー光のクラス表示	レーザー安全規格	IEC TC 76

5. 大会の様子

3章にて記述した開発の成果が実り、3月に名古屋で行われた全国大会で優勝、プレゼンテーション賞を頂くことができ、世界大会への出場権を獲得した。

本大会はブラジル・サルヴァドールで開催され、日本からの移動には飛行機に乗っている時間のみで24時間を要した。飛行機の中ではWi-Fiがほとんど使えなかったため、久しぶりにAIを全く使わずにプログラミングをして遊んだ。とても新鮮であった。

会場には世界各国から参加者が集まっており、コミュニケーションは基本的に英語で行われた。どの参加者も他のチームの動向やロボットの情報が気になるため、とても活発なコミュニティが形成された。普段の学生生活で会話を練習することはなかなかないため、英語でコミュニケーションすることを不安に思っていた。しかし現地では、そうした私でも気負わず会話できるような雰囲気があって、たくさん海外チームと交流することができ、とてもよかった。

競技日程は、準備日が1日、通常競技が2日間、その場で与えられる新ルールの下で競うテクニカルチャレンジが1日、他国のチームと合同チームを組んで行うスーパーチーム競技が1日という構成だった。

現地の環境や競技フィールドは光量などが日本で練習していた環境とは当然異なるため、会場の状況に合わせてロボットの調節を行った。

大会期間中には、競技以外の交流イベントも実施された。

例えば、RoboCupJuniorの参加者でダンスパーティーが開催され、国籍や言語の違いを越えて交流する場となった。人種や言語の違いは全くと言っていいほど気にならず、良い一体感を感じながらこれを楽しんだ。

また、各チームが自らのロボットや取組みをまとめたポスターを展示し、その場で質問に答えるポスターセッションも行われた。私もポスターの前に立ち、約1時間にわたり説明と質疑応答を行った。相手の質問を正しく聞き取り、返答を即座に英語で言語化する必要があり、体力的な負荷は大きかった。ただ、事前にポスターや技術的内容の説明は英語で作成しておいたため、ある程度の内容には答えることができた。自分たちの研究や開発を国際的な場で発表した経験は1つの自信となった。

テクニカルチャレンジでは午前9時ごろにルールが発表されて、2時間程度でコードを書いて動かす必要があった。4×4マスのコートに数独が表現されており、すべての数独をロボットが自動で解いて埋めるという内容であった。競技時

*3 「ロボカップジュニア・ジャパンオープン2024名古屋 各競技結果・表彰チーム一覧」
https://www.robocupjunior.jp/2024nagoya_results.htmlの「[World League] Rescue Mazeチームポスター」の「WRM006_CamphARE_埼玉.pdf」(2026年2月22日現在)



間で数独を解いた得点を得ることはできなかったが、短時間で開発する体験はとても楽しいものであった。

スーパーチームでは、前日夜にタッグを組むチームが発表され、そこから一晩で開発する。2025年は、Resucue MazeとResucue Line（別の競技）が合同チームを組むことになり、我々はアルゼンチンのチームと組んで競技を行った。共同ミッションをうまくクリアすることはできなかったが、それでも異なる国のチーム同士で緊密にコミュニケーションを取って開発する体験ができたことは、非常に良い経験となった。

競技の結果としては、総合6位/25チームで、優れたデザインをしたチームに与えられるOutstanding Design Awardを頂いた。ハードウェアを担当していた私としては大変うれしいことであった。

結果のみならず、普段の生活では絶対にできない貴重な経験をたくさんさせていただいた。忘れられない記憶となった。

6. おわりに

本大会への出場にあたり、ブラジルへの渡航費をクラウドファンディングで募らせていただいた。その結果、渡航に必要なほぼ全額を支援していただくまでに至った。また、学校を通じて現地在住の方々にも情報提供をいただいた。

一緒にチームを組んで3年にわたる活動を共にした西島賢太郎君、岡本克喜君、日頃より支えてくれた家族、技術以外の面でサポートいただいたクラブ顧問の北澤太郎先生、クラウドファンディングを通じて活動を支援くださった皆様、ツアーを企画実行くださったJTBの方々、現地にてサポートくださった皆様、ロボカップジュニアの運営スタッフ・ボランティアの方々並びに参加した他チームの関係者の方々など、非常に多くの方々から温かいご支援と応援をいただいた。ここに記して、深く感謝の意を表する。



■ 図4. ホテル内の朝食を食べた食堂からの撮影。ブラジルでは毎朝と毎夕に雨が降った