

RTK 測位情報を利用した校内の自律走行

牛丸真司*、山本弥正**、狩野秀斗**、木全竜**、安藤瞭汰**、小池勇太**

Autonomous Driving within Campus using RTK Positioning Information

USHIMARU Shinji, YAMAMOTO Yamato, KANO Shuto,
KIMATA Ryu, ANDO Ryouta, KOIKE Yuta

Abstract: A two-wheeled mobile vehicle equipped with a GNSS antenna was operated autonomously on campus to perform self-position estimation. To accurately determine the vehicle's (i.e., the rover's) position, the RTK positioning method was employed. A base station antenna required for RTK positioning was installed on the roof of the Electronic Control Engineering building, and both the base station and the rover were connected to the internet via smartphone tethering. The true north-south coordinates obtained from RTK positioning (in the geodetic coordinate system) were converted into convenient north-south coordinates aligned with an orthogonal straight-line course (the campus coordinate system). These were further transformed into a coordinate system in which the direction of the driving course is always the x-axis (the course coordinate system). This series of transformations enabled a simple algorithm to keep the vehicle traveling straight along the target path using PD control.

In addition, at the festival of this college in November 2025, a demo run was conducted with enhanced entertainment features, including a stop function based on human-detection and a voice guidance system that explains the robot's operating status.

Key Words: RTK, tethering, positioning, autonomous driving,

1. はじめに

GPSなどのGNSS(Global Navigation Satellite System)からの電波を利用した移動体の自己位置推定(以降、測位と称する)は、カーナビゲーションやスマートフォンの地図アプリなどで現在広く利用されているが、通常の測位法では10メートル程度の測位誤差を含む。これに対し、座標値の正確にわかっている固定位置にある受信局(これを基準局と称する)の電波情報とてらし合わせて、移動体の自己位置(測位を伴う移動体を移動局と称する)をcmオーダーの高精度で決定することが可能なRTK測位技術が普及しつつあり、ドローンの飛行、トラクターや建設機械の自動走行に利用されてきている^[1]。また、自動車の自動運転にも高精度測位情報を利用する研究が進められている^[1]。

さて、私たちの研究室では2018年度より、高専祭などのイベントで参加者とのコミュニケーションを取りながら校内を走り回る走行体(「おもてなしロボット」と称する)を作成しようとして開発を進めてきた^{[2][3][4][5]}。人とのコミュニケーションについてはカメラ画像を利用した人検知・認識、表情・感情認識などのAI技術を駆使して行う必要があるが、その開

発は現時点では十分には進んでいない。一方、校内の自律走行については、ドローンやトラクターと同様に高精度位置情報を利用することによって可能であると考え、電子制御工学科で開発している自律走行機体に若干の改良を加えて、その走行を実現することに成功した^[6]。

2. 測位方法と測位誤差

2.1 単独測位

GNSS測位衛星を使った移動局の位置は、基本的には三角測量と同じ原理で求められる。地上約2万kmを12時間の周期で地球を周回する測位衛星は、約1.5GHzの電波(搬送波)に衛星位置、電波の発信時刻などの情報を符号化して載せて送っている。その電波の発信時刻と受信時刻から衛星から受信局までの距離がわかる。空間は3次元なので3つ衛星の位置とそこから受信局までの距離がわかれば、受信局の座標値が求まることになる。ただし、受信局の時計(水晶発振器に基づく時計)は正確でないので、その時刻も不定とすると4つの未知数となるため、受信局の座標値を得るには、最低4つの衛星が必要となる。

この測位法は一つの受信局で符号化された情報のみを利用して行うもので、カーナビやスマホの地図アプリなどではこのような原理で自身の位置を計測している。これを単独測位という。

*沼津工業高等専門学校

**沼津工業高等専門学校 電子制御工学科 5年(2019年～2024年)

しかし、単独測位は一般に 10m 程度の測位誤差を含むとされている^[7]。測位衛星の予定軌道のズレや衛星に搭載されている原子時計の誤差、電波の伝送路の状態（電離層の電離度や対流圏の水蒸気の分布など）による伝搬速度の変動、移動局近傍の建物などによる反射による多重の伝送路（マルチパス）の影響が積み重なって、メートル級の誤差を生じる。

ちなみに、カーナビで自車の位置が常に道路上に表示されるのは、単独測位によるだいたいの位置情報から、地図上の合理的な位置に自車を”乗せる”補正が行われているからである。また、トンネル内など衛星電波が届かないところでも、走行している位置が表示されるのは、自動車に搭載されている加速度センサやジャイロセンサなどの情報をもとに、やはり道路上の合理的な位置に自車を”乗せている”からである^[8]。

2. 2 ディファレンシャル測位

移動体の測位を行うにあたって、移動局自身の測位情報以外に、比較的に近い位置にある（通常は 10km 程度以内にある）基準局の位置情報を利用することにより、測位誤差を数メートル以下にすることが可能となる。移動局と基準局は比較的近い位置にあるため伝送路の誤差は移動局を基準局も同じと仮定できるので、それによる誤差を相殺できる。また、衛星軌道や衛星の時計の誤差も同様に相殺できるが、とマルチパスの影響をなくすることができず、依然として 1 メートル程度の誤差が残ることになる。

なお、ディファレンシャル測位では、基準局の測位情報を移動局に伝えるためにインターネット接続などの手段が必要となる。

2. 3 RTK 測位

単独測位とディファレンシャル測位では、衛星の搬送波を変調して生成されたコード化された情報を利用するが、RTK 測位では搬送波（の位相）そのものを利用する。1.5GHz の搬送波は約 20cm 程度の波長の電磁波であるが、同じ発信時刻の搬送波が基準局と移動局に届く際の波の位相の違いを利用して、移動局と基準局の距離差を算出することによって、センチメートル級の精度で移動局の測位を行う方法が、RTK 測位である。なお、RTK は Real Time Kinematic の略で、原理的には毎回の電波受信毎にその測位計算を行うことが可能で、リアルタイムで座標値を求めることが可能である。

ただし、移動局と基準局は相対的に近い距離にあるとはいえ、搬送波の波長（約 20cm）と比較すると非常に長い距離離れており、それぞれが同時刻に受ける搬送波には、位相差に加えて相当な波の数（＝波数）が存在する。この波数は直接観測することができないが、複数の衛星電波の位相情報を使うことにより、どの衛星からの電波に対しても矛盾のない位置として移動局の位置を決定することができる。そのようにして求められた移動局の座標位置を Fix 解と呼ぶ。一方、ま

だ計算途中にある座標位置を Float 解と呼ぶ。

この計算の過程で、マルチパスの影響はほとんど排除することができ、高精度の位置情報を得ることが可能となる。RTK 測位では搬送波位相が 20cm 程度に対してその 1/10 の 2cm 程度の精度が得られるとされている^[9]。

ただし、Fix 解を求める際の計算量は膨大で、かなりの計算コストを要するため、本研究で用いた比較的な安価なデバイスではせいぜい 5Hz 程度でしか、Fix 解を求めることはできない。

実際にどの程度の時間で Fix 解を求めることができるかは、デバイスの計算能力以外に、移動局の電波環境による。基準局は通常周りに電波を反射するような要素の少ない場所（オープンスカイ）に置かれるが、移動局はビルや谷間などマルチパスの影響を強く受ける場所を通過することもある。そのような場所では Fix 解を得るのに長い時間を要したり、いくら待っても Fix 解を得ることができない（Float 解のままとなる）こともある。

また Fix 解に至らない Float 解でも、単独解と比べると Fix 解程ではないが数センチから数十センチ程度の高い精度を持っている。なお、ディファレンシャル測位と同様 RTK 測位でも、基準局の情報を移動局に伝えるためのインターネット接続などの手段が必要となる。

基準局と移動局間の搬送波の波数を求める際に、周波数が若干異なる搬送波を使うとその波数候補の数が圧倒的に小さくなるため Fix 解を求める際の計算を大幅に短縮することができる。測位衛星は一般に 2 つ（以上）の周波数帯の搬送波によって位置情報を送信している。そのうち 1.5GHz 帯の L1 信号と 1.2GHz 帯の L2 信号（あるいはそれよりも若干周波数の低い L5 信号）があり、RTK 測位はその 2 つの周波数帯の電波を受信して行うことが一般的である。なお、2 周波を利用することにより、単純に見かけの衛星数が増えたことになり単独測位においても安定した測位が可能となる。

2. 4 CLAS 測位

準天頂軌道（ほとんどの時間、日本上空にある）を周回する「みちびき」（QZSS）は現在 4 機体制であるが、令和 7 年度中に 7 機体制となる予定である。日本に約 1,300 か所ある電子基準点の誤差情報を移動局で利用できるように加工したデータを、国内 2 か所の補正情報発信拠点からみちびきに送信し、みちびきはその補正情報を L6 信号に載せて地上に送信する。L6 信号を付け取った移動局は適切な誤差補正を行うことにより高精度の測位が可能となる。

CLAS 測位のメリットは何とんでも、基準局とのインターネット通信を必要としないことである。そのため、NTT（ドコモ）や KDDI（au）などのキャリアの電波が届かないところでも、みちびきの電波の届く国内のほとんどの場所で利用

可能である。

一方 RTK と比較しての欠点は、精度が RTK より若干劣ることである。RTK の水平約 2cm に対して、CLAS でも数センチメートルであるとされている^[10]。また、CLAS の補正情報の送受信に 10 秒程度のタイムラグがあるため、それが時間的に大きく変動するような状況ではその分精度が落ちることになる。

CLAS 測位を行うためには、L6 信号を処理できるアンテナとデバイスが必要となるが、現時点ではそのアンテナもデバイスも比較的安価に入手可能になっている。

3. 基準局の設置

3.1 基準局アンテナの設置

2019 年 10 月に電子制御棟屋上に最初の基準局アンテナを設置した。当初は購入した受信モジュール(u-blox ZED-F9P)に付随した縦横約 10cm のアンテナ(u-blox, ANN-MB1-00) (図 1a)であった^[2]が、2020 年に直径約 20cm の GGB0710 のアンテナに交換した^[3] (図 1b)。いずれも L1/L2/L5 の電波受信が可能な 2 周波対応のアンテナである。



(a) 最初の基準局アンテナ (b) 現在の基準局アンテナ

図 1 電子制御棟屋上の基準局アンテナ

基準局の座標は、約 12 時間の基準局での単独測位の観測データと、本校に最も近い静岡県駿東郡清水町にある電子基準点の同時時間帯の観測データから基線解析を行うスタティック測位法^[11]によって求めた。アンテナ位置は 2023 年 3 月の屋上工事で若干移動させたが、その後求めた基準局アンテナの座標値を表 1 に示す。ただし、高度の情報は以下の走行では利用していない。

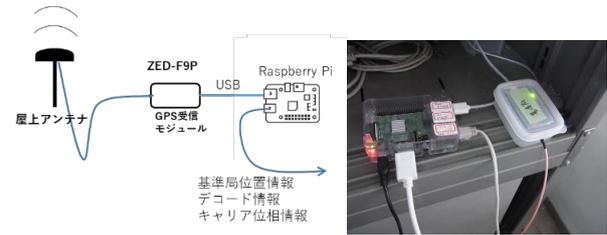
表 1 基準局の座標位置

緯度 (度)	経度 (度)	ジオポテンシャル高度(m)
35.1357120	138.8843145	116.35

3.2 基準局の構成と信号処理

基準局は Raspberry Pi 4 と アンテナ信号を受ける 2 周波対応の GNSS 受信デバイス (u-blox ZED-F9P) を用いて図

2 のように構成した^[4]。



(a) 構成図 (b) 実装写真

図 2 基準局の構成

GNSS 受信モジュール ZED-F9P は u-blox 社が配布している設定用ソフトウェア `u-center` で、基準局座標値、受信する衛星の種類、仰角マスク、デコードする情報とその発信周期などを設定する。本研究では、基準局座標には表 1 の値を与え、全ての衛星の電波を受信し、測位に必要な最小限の情報を 5Hz で配布するように設定した。

基準局アンテナで受けた電波信号は、搬送波の位相情報とともに GPS 受信モジュールでデコードされた情報とともに、Raspberry Pi にインストールした RTKLIB^[12]の `str2str` コマンドによって、52006 ポートからインターネットにブロードキャストするようにした。

RTKLIB は RTK 測位を行うのに必要なソフトウェアのパッケージで、フリーソフト (オープンソース) として、バイナリとソースコードが配布されている。本稿の走行体 Raspberry Pi ではソースコードをダウンロードしコンパイルして使用した。測位情報を転送する `str2str` の他に、Fix 解を計算する `rtknavi`、水平面上の座標の受信局の位置を示す `rtkplot` など全部で 14 種類のアプリケーションがある。

ここでは、基準局の Raspberry Pi が直接 TCP サーバとして RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) 信号を配信するようにしたが、これ以外に RTCM 信号のみを扱う NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) を利用して基準局の測位情報を配信する方法もある。

4. RTK 走行体

4.1 移動局の自己位置推定

移動局の自己位置推定は以下のような手順で行っている。

- (1) WiFi により基準局から RTCM の情報を受け取り、`str2str` コマンドにより移動局の ZED-F9P に渡す。
- (2) ZED-F9P で移動局の電波情報を処理する。
- (3) 基準局の移動局の電波情報から ZED-F9P の Fix 解計算モジュールで Fix 解を求める。

その手順とデバイスの構成図を図 3 に示す。

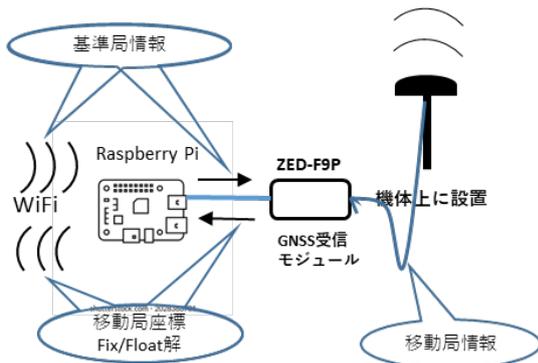


図 3 移動局の自己位置推定の手順とその構成

手順 (3)で求めた Fix 解や Float 解、あるいは移動局の電波の取れない単独測位解は、それらの解の種類と併せて `str2str` コマンドで配信され、PC の RTKLIB の `rtkplot` で移動局の水平面上の位置がプロットされる。

4. 2 走行体のハードウェア

移動局となる走行体には、2023 年度まで当科 4 年生の電子機械設計・製作の授業で標準のプラットフォームとして使用していた MIRS MG4 の標準機体 (図 4(a)) の足回りなどを一部改良した機体 (図 4(b)) を用いた[12]。この機体を RTK 走行体 (あるいは単に走行体) と称する。



(a) MIRS MG4

(b) RTK 走行体

図 4 走行体

RTK 走行体の MIRS MG4 標準機からの変更点は以下のとおりである。

(1) アンテナと GNSS デバイスの搭載

カメラ用の三脚を介して、基準局と同じアンテナ GGB0710 と、その信号処理を行う ZED-F9P を機体に取り付けた (図 4(b)、図 5(a))。

(2) 足回りの変更

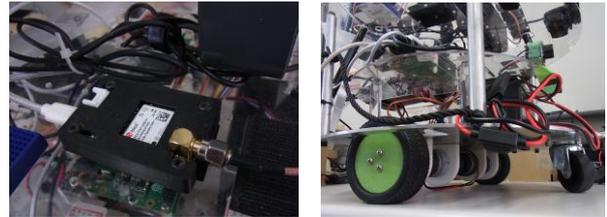
屋外走行を想定しているため、多少の段差があっても走行できるように、下段シャーシの上面に付けていたモータ・ギアを下面に付け直した。また、キャスターもボール式のものから直径 46mm のプレート式のものに変更した (図 5(b))。

(3) 駆動バッテリーの変更

多少の上り坂や段差にも対応できるように、駆動用のバッテリーを模型用バッテリー (定格 7.2V) から、バイク用バッテリー (定格 12V) に変更した。

(4) ディスプレイ (タッチパネル) の設置

走行体上の Raspberry Pi を直接操作が出来るように、タッチパネル式の 7 インチのディスプレイを機体に取り付けた (図 4 (b))。



(a) GNSS デバイスの設置

(b) 足回りの変更

図 5 MIRS 標準機機体から変更部分

4. 3 走行制御プログラム

制御系の構成は RTK 測位のための処理系を除いて MIRS MG4 と同じであり、全体の制御を Raspberry Pi が行い、駆動系の制御 (モータの PWM 駆動とロータリエンコーダのカウント) のみ Raspberry Pi からの指令で Arduino UNO が行っている。

制御ソフトウェアは MIRS の標準ソフトウェアを一部変更して使用している。もっとも大きな変更点は、標準ソフトウェアでは、左右のロータリエンコーダを使用して直進・回転制御を行うようにしていたが、それを使用せずに Raspberry Pi からの左右モータの速度指令値にしたがって、Arduino からモータに PWM 指令値を与えてモータを駆動させていることである。速度指令値は Arduino の速度制御モジュールが受け取り、フィードバック制御 (PI 制御) により PWM 値を決定している。

5. 走行アルゴリズム

5. 1 座標値の更新と走行アルゴリズム

移動局の ZED-F9P から Raspberry Pi に送られる RTCM 信号には、緯度・経度・高度の座標値以外に衛星の様々な航行データが載せられているため、最初にこの信号から座標情報のみを取り出し、それが Fix 解または Float 解の場合が得られた場合、その座標値と更新時刻をファイル (`rtk.txt`) 出力するようにした。この処理を Python プログラムで行うようにコーディングした。

走行プログラム (ソースプログラムは C 言語) は、その座標値を読み込んで、それをもとにフィードバック制御により走行制御を行う。その際の走行アルゴリズムを図 6 に示す。

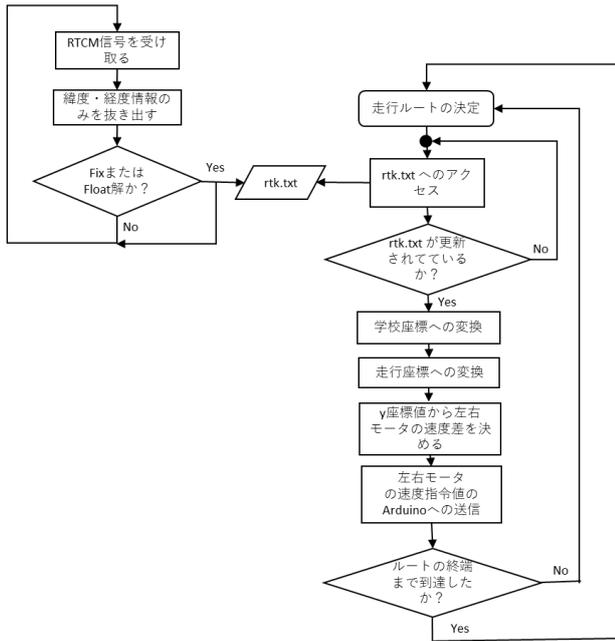


図6 走行アルゴリズム

走行体が目標ルート上を進む直進制御方式として、走行座標での $y=0$ を目標値とする単純な PD 制御を採用した。P 制御のみだと、一度振動的な動作が発生するとその振動振幅が時間とともに大きくなってしまふので、D 制御を必要とした。また、I 制御を入れると誤差が蓄積してしまうため、何等かの理由で停止した状態からの再発進時に悪影響を及ぼすため入れないこととした。なお、PD 制御のフィードバックゲインは試行錯誤によって決定した。

5. 2 座標系の変換

図6の左側のフローチャートで「学校座標への変換」、「走行座標への変換」という処理があるがその意味は以下のとおりである^[4]。

(1) 学校座標への変換

学校座標への変換とは RTK 測位で得られる「真の南北座標」から、学校内の建屋や直線路の方向に対して便宜的に使用している座標系（これを「学校座標」と称する）に変換することを言う。RTK 走行体の走行する学校内の直線道路は、ほぼこの学校座標に平行あるいは直交している。

学校座標系の学校座標は真の南北座標に対して、反時計方向に 14.8 度でズレている。図6の GNSS モジュールから得られる緯度・経度座標は、基準局を原点とする x-y 軸（東西を x 軸、南北を y 軸）上の値に変換し rtk.txt ファイルに書き出される。その値を走行プログラムで読み込み、14.8 度座標回転させて、学校座標に変換する。

(2) 走行座標への変換

走行体の走行方向は、直線路のルートによって、図7のように学校座標の西から東、南から北、東から西、北から南の

4つのモードに分類することができる。走行体はどのルートでも x 軸上を正の方向に進むというように定義した座標を走行座標と称する。図7の各モードに対して左から順に 0 度、90 度、180 度、270 度の座標回転を行うことで、学校座標から走行座標に変換することができる。

走行座標の原点をそのルートの目標値（終端）と定義することにより、走行体は走行座標の x 軸上 ($y=0$) を左側から原点に向かって走行することになる。

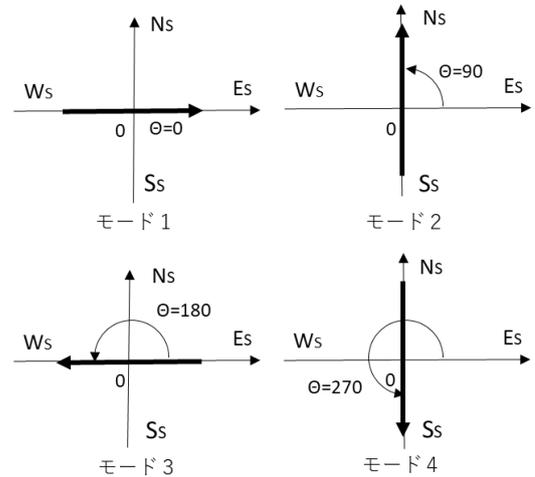


図7 走行方向による4つのモード

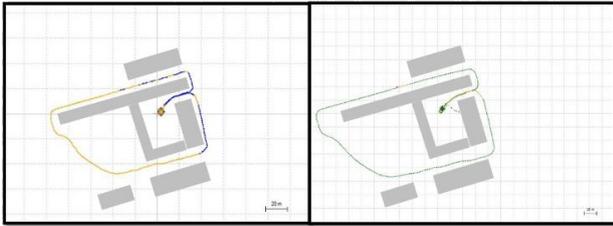
(EW-NS 軸の添え字の S は走行座標を意味する)

6. インターネット接続

RTK測位では Fix 解を得るために基準局の電波情報を必要とし、特別な無線設備などを持たない走行体ではインターネットを介して WiFi でその情報を受け取るのが一般的である。

2019 年度～2022 年度までの卒業研究では、アクセスポイントの中継器を利用したり、WiFi 受信デバイスを変更したりするなどして、学内 WiFi によるインターネット接続を試みた^[4]。しかし、学内 WiFi のアクセスポイントは屋内での接続性を考慮して配置されているため、屋外の道路上で安定した接続を得ることはできなかった。図8はノート PC で校内の南側の領域での Fix 解/Float 解/単独解を示しているが、学内 WiFi を用いた場合は Fix 解となっている領域は走路の約 3 割程度に過ぎない。一方、NTT Docomo などのキャリアの電波を使ってインターネット接続を行うテザリングを利用して同じ走行ルートを周回した場合は、走路のほぼ 8 割で Fix 解を得ることが確認できた^[4]。

図8で単独解となっている部分はインターネット接続が切れている場所、Float 解の部分は接続が安定しない場所に対応している。この図からわかるように、学内 WiFi は 7 割以上で接続が安定しないか全く繋がらないが、テザリングでは



(a) 学内 Wi-Fi を用いた場合 (b) テザリングを用いた場合

図 8 インターネット接続性

緑が Fix 解、黄色が Float 解、青が単独解。薄く影を付けている部分は、2～4階の建物のある部分

ほとんどの場所で安定した接続ができていていることがわかる。このため、インターネット接続にはテザリングを利用することとした。

7. 走行実験

2024 年度の卒業研究で RTK 走行体での走行実験を行った。そのとき実際に走行した経路を、Fix 解/Float 解の座標値として得られた走行軌跡として図 9 に示す¹⁰⁾。各直線路(=ルート)の頂点の座標を RTK 測位で事前に計測しておいて、自己位置を毎秒 5 回の頻度で計測し、目標ラインからのずれを PD 制御走行で補正しながら走行させた。



図 9 RTK 走行体の走行軌跡

緑が Fix 解、黄色が Float 解として得られた軌跡を示す。この地図の上が真の南北座標の北を向いている。

この巡回ルートで Float 解が続くところが 2 か所ある。一つは①のルートの途中で電子制御棟の直ぐ横を通っている箇所、2つ目は③のルートの前半部に電気電子工学科棟と制御情報工学科実験棟の間を通る場所(図 10(a))である。これらの場所では建物の壁面から反射波の影響で強いため、解が Fix していないと考えられる。また、③と⑤のルートの真ん中でも Fix 解が得られていない。この場所は屋根付きの渡り

廊下を通過する場所(図 10(b))であり、移動局が天頂近くの衛星からの電波を一時的に受けられなくなる箇所であるため、Float 解(または単独解)になると考えられる。

図 8 と図 9 で同じ計測場所で Fix/Float の結果が異なるのは、計測した日時によって衛星の配置が違うためだと思われるが、詳細は検討していない。



(a) ③のルート前半部

(b) 屋根付き渡り廊下

図 10 ルート上で Fix 解が得られない場所

なお、渡り廊下を出た後など Float 解と Fix 解が切り替わる瞬間に、2つの解で推定の自己位置値が若干異なるため機体が大きく左右に動くことがあった。

8. 高専祭りでの走行

2025 年 11 月 8-9 日の高専祭で、図 9 から走路を若干広げてこの走行体を走行させた。ただし、走行にあたって次の改良を行った。

(1) 緊急停止スイッチの設置

暴走した場合に備えて、直ぐに動作を停止できるように、押しやすい位置に緊急停止スイッチを設けた(図 11(a))。

(2) 画像処理による人認識

機体前面に取り付けた USB カメラ(図 11(b)、Logicool HD ウェブカム C615n)で画像を取得し、YOLO Ver.8 によるディープラーニングより人を検出¹³⁾させ、それが画像の中心に近い位置にあり、そのバウンディングボックスの大きさが全体の 1 割以上を占める場合に「前方に人がいる」と判断し、機体を停止させるようにした。

物体認識を走行に影響のないレベルで高速に行うために、13TOPS の処理速度を有する Hailo-8L を用いた。そのために従来の Raspberry Pi 4 から PCIe の接続ポートを持つ



(a) 緊急停止スイッチ

(b) USB カメラとスピーカー

図 11 高専祭での走行のためのハードウェアの追加

Raspberry Pi 5 に変更した^[14]。ただし、最新の Raspberry Pi OS である Trixie では hailo モジュールがまだ用意されていないため、一つ前の世代の Bookworm を用いた。

(3) 音声案内

機体の動作を分かりやすくするために、音声案内機能を追加した。Raspberry Pi に接続した USB スピーカー (図 11(b)、Apqfw HM05-5010) を機体に搭載し、テキスト読み上げソフト VOICEVOX で作成した音声ファイルを、表 2 のように場面に応じて aplay コマンドで実行する (音声出力する) ようにした。その際、V1 を女の子、V2~V4 を男の子の声とすることで、それらの音声が重なっても容易に聞き分けられるようにした。

表 2 音声出力

音声番号	場面	音声
V1	人が前面にいると判断したとき	人がいるから停止します
V2	Fix 解を得て走行中	測位衛星からの正確な位置情報をもとに走行しています
V3	Float 解で走行中	位置情報が微妙です
V4	単独解で走行中	位置情報が取れません

9. まとめ

GNSS アンテナを取り付けた 2 輪走行体で RTK 測位を行い、その高精度位置情報を利用して、校内直線路を自律走行させることができた。また、その機体を人検知機能・音声出力機能を追加して、2025 年 11 月の本校の高専祭でデモ走行させることができた。

RTK 測位で得られる真の南北座標 (南北座標系) から、直交する直線路に対する便宜的な南北座標 (学校座標系) に変換し、それをさらに走路方向を常に x 軸とする座標 (走行座標系) に変換することによって、単純な PD 制御走行により目標走路を直進させることが可能になった。

今後は (1) 校内の直線路以外での走行を想定したアルゴリズムの導入、(2) インターネット接続が出来ない場所での利用を想定して CLAS 測位による走行制御について検討していく予定である。また PCIe バスのある Raspberry Pi 5 を使用することにより、深層学習モデルの高速計算が可能になったことから、(3) 人とコミュニケーションを行うロボットの実現の可能性も検討していきたい。

参考文献

- [1] RTK の応用 ドローン、トラクターなど高精度 RTK 測位の活用場面を解説、アカサカテック、
<https://www.akasakatec.com/blog/4383/>
- [2] RTK-GNSS を用いた高精度位置情報取得条件の最適化、小池勇太・牛丸真司、平成 31 年度沼津高専電子制御工学科卒業研究発表報告集、2020.3
- [3] 2 周波 RTK-GNSS による高精度位置情報取を用いた自律走行、安藤瞭汰・牛丸真司、令和 2 年度沼津高専電子制御工学科卒業研究発表報告集、2021.3
- [4] RTK-GNSS の高精度位置情報を用いた自律走行の実現、木全竜・牛丸真司、令和 4 年度沼津高専電子制御工学科卒業研究発表報告集、2023.3
- [5] RTK 測位による高精度位置情報を用いた自律走行の実現、狩野秀斗・牛丸真司、令和 5 年度沼津高専電子制御工学科卒業研究発表報告集、2024.3
- [6] RTK 測位法による学内道路の自動走行の実現、山本弥正・牛丸真司、令和 6 年度沼津高専電子制御工学科卒業研究発表報告集、2025.3
- [7] GNSS 測位精度における主な誤差原因、テラサット・ジャパン (株)、<https://www.terasat.co.jp/archives/6847.html>、2023.9
- [8] 「カーナビ」はどうやって現在地を特定している？、GAZOO.com、<https://gazoo.com/column/daily/20/01/11/>、2020.1
- [9] 高精度測位技術『RTK』の仕組みを図解で徹底解説！GPS・GNSS との違いとは？、西部電機工業 (株)、<https://www.seibu-denki.co.jp/solution/columns/what-is-rtk/>、2025.1
- [10] みちびきの CLAS とは？準天頂衛星を経由した高精度測位の仕組みや RTK との違いを解説、アカサカテック、<https://www.akasakatec.com/blog/5859/>
- [11] GNN 測量における「スタティック法」とは | 概要と活用事例をわかりやすく解説、アジルジオデザイン (株)、<https://agdcorp.com/gness/static-method/>、2025.10
- [12] RTKLIB 2.4.3 b33 (改)、K'z lab、<https://www.n-survey.com/rtklib-kai>
- [13] Raspberry Pi 5 Examples、GitHub、<https://github.com/hailo-ai/hailo-rpi5-examples>、2025.8
- [14] Raspberry Pi 5 + Hailo-8 で HailoRT を動かす、Araya Edge AI Team、https://zenn.dev/araya_ea/articles/raspberry-pi-hailort、2024.11