

# ArduPilotを利用した小型自律走行ロボットの作成とほ場センシングへの活用

誌名	農業食料工学会誌 = Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery and Food Engineers
ISSN	2188224X
著者名	市浦, 茂 森, 智洋
発行元	農業食料工学会
巻/号	83巻3号
掲載ページ	p. 134-140
発行年月	2021年5月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat





## 特集

# ArduPilot を利用した小型自律走行ロボットの作成と ほ場センシングへの活用

Creation of a Small Autonomous Robot using ArduPilot and Its Application to Field Sensing  
Shigeru ICHIURA, Tomohiro MORI

**キーワード** : ArduPilot, 自律走行, ロボット, RTK-GNSS, Pixhawk, Mission Planner, GIS, ほ場センシング

**Keywords** : ArduPilot, autonomous driving, robot, RTK-GNSS, Pixhawk, Mission Planner, GIS, field sensing

### 市浦 茂

(いちうら しげる)

1992 年 (株)東芝入社, ソフトバンク BB(株), モトローラ(株), エヌビディア(同), ロボティクス ビジネスデベ

ロップメントマネージャを経て

現在 岩手大学大学院連合農学研究科 (山形大学農学部生産機械研究室) 兼 (株)ViAR & E 代表取締役

農業食料工学会学生会員

E-mail : axk308@tdsl.tr.yamagata-u.ac.jp



### 森 智洋

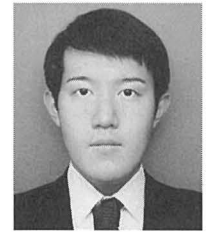
(もり ともひろ)

2014 年, 山形大学農学部入学, 山形大学大学院農学研究科を経て,

現在, 岩手大学大学院連合農学研究科 (山形大学農学部生産機械学研究室) 博士課程後期在籍

農業食料工学会学生会員

E-mail : spre29know25@gmail.com



## 1. はじめに

農作物の画像データなどの情報を収集し, AI や地理情報システムと連携させた新たなほ場センシングを行うため, 著者らは RTK-GNSS (Real-time Kinematic-Global Navigation Satellite System) を利用して農場内の決まったルートを高精度に自律走行する小型地上走行ロボットを自作した。その要が今回紹介するオープンソースコード体系の「ArduPilot」である。

現在, 私たちの身近で購入可能な自動で動く機械の一つに, マルチコプターが挙げられる。マルチコプターは本学会誌においても度々取り上げられており, 空撮による農作物の生育観察や可変施肥, 薬剤散布など, 各種農作業の自動化や省力化に大きく貢献している。マルチコプターは様々なメーカーが販売しており, 価格も手頃で入手しやすい上に専用のアプリケーションで自動飛行が可能な機体もある。しかし, マルチコプターは植物の下側や裏側などの上空から撮影できない部分の情報を収集できない。著者らはこれまでに, 別の試験のために大学の附属農場で研究用としてエダマメを栽培しており, マルチコプターでは葉や枝に隠れた花や莢, 下位葉に発生する病気などを撮影することは困難であると考えていた。現在, 自律走行機能を有する小型地上走行ロボットはほとんど市販化されていない。よって, 著者らは ArduPilot と RTK-GNSS を利用し, 条間を高精度に自律走行して植物を下側から間近で撮影する自律走行ロボッ

トを自作した。

著者らが ArduPilot に注目した理由は, 自律走行ロボットの作成と運用の容易さ, そして RTK-GNSS に対応していることである。ArduPilot の利用者は ArduPilot に対応している「Pixhawk」などのフライトコントローラーを用意することで, ArduPilot が開発したオープンライセンスの機体制御ファームウェアやグラウンドコントロールステーション (Ground Control Station, 以下 GCS) アプリケーションを利用できる。そして, それらを利用して, 自律走行ロボットの各種セットアップや走行ルートの作成, 自律走行, そして走行記録などを容易に行える。さらに, 農場の狭い条間などを的確に自律走行するためには誤差数 cm の自己位置推定が可能な RTK-GNSS が有効であるため, RTK-GNSS に対応している ArduPilot は農地内を自律走行するロボット作成に最適と考えた。

以下では, 著者らが作成した小型自律走行ロボット (以下, 自律走行ロボット) の製作過程と農場における自律走行, そして収集した各種データの利用例を紹介する。

## 2. RTK-GNSS 基準局の設置

自律走行ロボットの高精度な自己位置推定に RTK-GNSS を活用するため, 自律走行ロボットの作成に先立ち, 山形大学農学部で RTK-GNSS の基準局を作成した。RTK-GNSS の利用は, 2 台以上の RTK-GNSS モジュールを用いて 4 個以上の GNSS 衛星を観測する必要がある。GNSS 衛星は, GPS (Global Positioning System : アメリカ合衆国によって, 航空機・船舶等の航法支援用と

して開発されたシステム), GLONASS (Global Navigation Satellite System: ロシアの人工衛星を利用した測位システム), Galileo (EU による全地球航法衛星システム), 準天頂衛星 QZSS (Quasi-Zenith Satellite System: 日本及びアジア太平洋地域向けに利用可能とする航法衛星システム) などがある。RTK-GNSS 測位は, 基準局と移動局 (自律走行ロボット) が GNSS 衛星から送出された電波を受け, その位相差を計算することで行える。各局が受け取る衛星からの電波は, 衛星の位置の誤差や対流圏・電離層遅延量が生じるが, 基準局, 移動局が受ける電波は, 同じ経路を通過するため, これらの問題を打ち消すことができる。この RTK-GNSS により, 100 万分の 1 (10 km で 1 cm の誤差) の精度で 2 点間の相対的な位置関係を取得できる (図 1)。

これまで数 cm 単位の高精度な位置情報を得るためには何百万円もの費用をかけて RTK-GNSS 基地局用システムを導入することが必要であった。その後, 半導体の集積度が上がり, 機能の充実と低価格化が進み, RTK-GNSS モジュールは一般ユーザーも購入しやすくなった。著者らは, 自律走行ロボット作成に u-blox 社の ZED-F9P モジュールが搭載された RTK-GNSS モジュールを使用した。ZED-F9P モジュールは, u-center (<https://www.u-blox.com/en/product/u-center>) という u-blox 社が提供する WindowsOS 向けソフトウェアにて基準局用, 移動局用に設定することができる。

#### (1) RTK-GNSS の基準局立ち上げ用機材と立ち上げ手順

基準局の立ち上げにあたり, RTK-GNSS モジュール

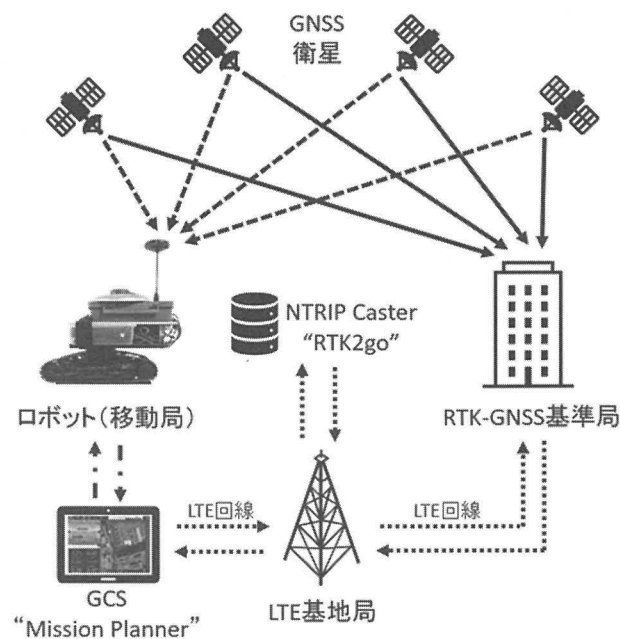


図 1 2 地点間の相対的な位置関係と LTE 回線経由での NTRIP Caster "RTK2go" を使った基準局と移動局の運用

に加え, いくつかの機材が必要となる (表 1)。設置する環境により必要な機材が一部異なるが, 基本的な構成物は, 2 周波対応 GNSS アンテナ, RTK-GNSS モジュール, 衛星と基準局との位置計算のためのマイコン (今回は運用する基準局を低価格で実現するため Raspberry Pi3 Model B+ (以下, ラズパイ) を用いる), そして設定作業に用いる Windows ノートパソコンの 4 つである。なお, 既に u-blox 社の NEO-M8P などの一世代前の基準局用モジュールを搭載した RTK-GNSS モジュールを所有されている方には, 次の注意点がある。NEO-M8P モジュールは ZED-F9P モジュールに比べて受信できる衛星の種類, 周波数が限られており, 自己位置推定性能が低い。よって, 移動局側に ZED-F9P モジュールを搭載した RTK-GNSS モジュールを装着する場合, 基準局と移動局は同じ ZED-F9P モジュールを搭載した RTK-GNSS モジュールを使う必要がある。また, ラズパイの OS をインストールする SDXC カードは, 一般的に購入可能な 64GB の SDXC カードで動作するが, SDXC カードによって数百回の書き換えで寿命になることがある。長期間の使用する場合は書き換え耐久性が高い産業用グレードの SDXC カード, SDXC カードより寿命が長い SSD や HDD などの高信頼性のストレージをお勧め

表 1 基準局の立ち上げに必要な機材

品目	備考
RTK-GNSS モジュール	ZED-F9P モジュール (u-blox 社) 搭載
2 周波対応 GNSS アンテナ	L1/L2 2 周波対応アンテナ
マイクロ USB ケーブル (Type-A-TypeC)	
SDXC カード*	64GB 産業用 microSDXC
Raspberry Pi3 Model B+	
パーソナルコンピューター	Windows10 が動く低消費ノートパソコン
LTE 対応 USB ドングル	固定インターネット回線または, スマートフォンのテザリング, モバイルルータでも対応可能。
モバイル通信用 SIM カード	使用場所にインターネット回線があれば不要
USB 電源+マイクロ USB TypeB-TypeA ケーブル	常時 2A 程度の電源供給が可能な電源, ケーブル
SMA コネクターアンテナ延長ケーブル	SMA コネクター対応ケーブル
取り付け金具	設置場所に合わせて準備
金属製ベースパネル	グラウンドプレーン用 GPS アンテナの底面設置の金属板。衛星からの電波を補足しやすくするために活用。

する。また、基準局は高温多湿を避け、直射日光が当たらない風通しの良い場所で運用する。基準局のアンテナは、できる限り全天を見渡すことができる障害物の無いオープンな場所に設置し、感度の高いアンテナを選定する。なお、ラズパイへ供給する電源は、1.5 A 程度の常時供給可能かつ、RTK-GNSS モジュールへ常に 0.5 A 程度の供給が可能なものを選定する。このため、合計 2 A 程度の常時電流供給可能な USB 電源を準備する必要がある。次に、基準局の立ち上げ手順は以下である。

- 1) u-center による ZED-F9P モジュールを基準局に設定するための初期設定
  - 2) オープンソース“RTKLIB”を使った基準局ソフトのインストール作業とその設定
  - 3) 高精度にアンテナの位置の測量（この場合、事前に高精度なアンテナの位置がわからない場合、本機器にて 24 時間以上の時間をかけて自己測量を行う。）
  - 4) 基準局の運用開始
  - 5) NTRIP Caster との接続
  - 6) 基準局とロボット（移動局）の通信連携動作確認
- (2) 基準局向け RTK-GNSS モジュール設定（自己測量と設定）

u-blox 社の ZED-F9P モジュールを搭載した RTK-GNSS モジュールの初期設定は、u-center にを使って行う。設定内容は以下である。

- ・捕獲する衛星の設定
- ・F9P の出力情報とインターフェースの選択
- ・出力データフォーマットの設定
- ・基準局の座標値
- ・出力信号の種類と出力先の設定

基準局を設置するにあたり、設置場所の正確な位置情報を入手していない場合は、自己測量を行う必要がある。自己測量には通常 1 日以上時間を要するため、あらかじめ時間に余裕をもって測量を行う必要がある。自己測量は Windows ノートパソコンを使い測量を行うため、24 時間給電が難しい場所に基準局を設置する場合、確実に 1 日以上電源供給が可能な外部電源を準備する。

これらの測量により得られた基準局の高精度な位置座標を基準局用の RTK-GNSS モジュールへ設定する。

### (3) ラズパイによる低価格で安定的な基準局の運用

ここまでの手順にて Windows パソコンを用いて、RTK-GNSS モジュールへ基準局となる情報の書き込みを行った。その Windows パソコンへ基準局用の RTK-GNSS モジュールを接続して基準局として運用可能であるが、高価で消費電力が高い Windows パソコンを基準局用途の専用機として使うのは運用コストが高くなる。この解決策として、著者らは、Windows パソコンの代わりに小型で低消費電力、自動復帰が可能なラズパイを基準局へ活用した。基準局データを送出するシステムとしてラズパイを活用するための手順は以下である。

- 1) Windows パソコンを用いてラズパイに Raspberry Pi OS をインストールする。
- 2) ラズパイへ RTKLIB (GNSS 測位用のオープンソースプログラムパッケージ：東京海洋大学 客員研究員の 高須知二氏が開発) のソースファイルをダウンロードし、コンパイルする。
- 3) ラズパイと F9P モジュールを USB ケーブルで接続し、位置情報を含んだ入出力ストリームの設定 (RTK-GNSS モジュールから取り込まれる入力情報を移動局へ送出する情報の設定) を行う。
- 4) 自動実行の設定：ラズパイの電源投入時に自動的に基準局のプログラムが自動実行されるようにする。
- 5) 基準局の動作確認：後述の小型ロボットの活用方法で行う。

以上により、ラズパイを使用した低価格な基準局の運用が可能となった。

### (4) NTRIP Caster の活用

著者らは基準局と移動局の通信をインターネット経由で行った。これに際し、NTRIP (Network Transport of RTCM via Internet Protocol) を用いる方法を採用した。これは、インターネット上に公開されている NTRIP Caster という中継サーバを使い、基準局の観測データを移動局へ渡す方法である。NTRIP Caster は、CQ 出版社や SNIP (本社：カリフォルニア州グレンドラ) が運営しており、著者らは SNIP 社の“RTK2go”を活用した。なお、CQ 出版社は、善意の基地局として全国で運用している基準局をインターネット上で公開しており (<http://rtk.silentsystem.jp/>)、著者らも山形大学農学部に設置した基準局を当サイトで「山形大学農学部」として公開している。この NTRIP Caster の活用により、自動走行ロボットを運用する場所が LTE サービスエリアであり、さらに基準局とロボットが GNSS 衛星を 4 つ以上捕獲できれば、即時にロボットが RTK-GNSS による自己位置推定を行える。なお、位置情報の通信用の帯域は 128 kbps 以下であるため低速の SIM サービスの活用が可能であり、安価に運用が可能である。

以下、NTRIP Caster の設定方法を解説する。最初に、RTK2go のホームページ (<http://www.rtk2go.com/new-reservation/>) にアクセスし、必要な項目を設定する。設定後、RTK2go に基準局のマウントポイントが作成され、NTRIP サーバから RTK2go に独自の基準局データの送信が可能になる。

### 3. 自律走行ロボットの作成と自律走行の実施

次に、著者らは ArduPilot を利用した自律走行ロボットを作成した。本ロボットのベース車両は、クローラ走行部を有するバックホーのラジコンカーである。農場を自律走行するロボットは不整地を走破する能力が求められるため、走行部は車輪型よりクローラ型が最適である。次に、このようなラジコンカーはモーターが樹脂パーツ

に覆われて保護されているため、モーターを土や水から保護しやすい。そして、ラジコンカーの全長と全幅は約 30 cm と小型のため、狭い条間を容易に通過できる。以上の理由により、著者らはこのようなラジコンカーをベースに自律走行ロボットを作成した。

自律走行ロボットの作成に使用した機材を表 2 に示す。これらの機材はすべてオンラインショップより購入した。機材購入後、バックホーのラジコンカーのバケットやアームなどの不要パーツを取り除き、クローラ走行部と車体台座のみ残した。そして、フライトコントローラ（以下、Pixhawk）を中心に各パーツの配線を行った（図 2）。なお、Pixhawk に接続した RTK-GNSS モジュールは、事前に u-center で移動局用に設定した。

自律走行ロボットの作成後、「Mission Planner」を使用してロボットの初期セットアップと走行ルートの作成、そして自律走行を行った。Mission Planner は ArduPilot が開発した GCS アプリケーションであり、Windows ノートパソコンへインストールして各種操作を行った。自律走行ロボットの初期セットアップは以下の 6 つである。

- (1) Pixhawk へ Rover ファームウェアのインストール
- (2) Pixhawk (ロボット) と MissionPlanner の交信
- (3) ジャイロと電子コンパスのキャリブレーション
- (4) モーターの回転方向の設定
- (5) ステアリング方式の変更
- (6) 基準局とロボット (移動局) の接続テスト

ファームウェアは機体に搭載されているフライトコントローラを制御するためのソフトウェアであり、ArduPilot はマルチコプターや固定翼機、船舶、地上走行車両（以下、Rover）などの様々な機体に対応したファームウェアを公開している。本ロボットは Rover であるため、Pixhawk へ Rover のファームウェアをイ

ンストールした。これにより、自律走行ロボットの機体制御システムを容易に構築できる。次に、Pixhawk と Mission Planner を Wi-Fi 通信により無線交信し、Pixhawk に内蔵されているジャイロとロボットに外付けした電子コンパスのキャリブレーションを行った。そして、モーターの回転方向を設定し、ステアリング方式をクローラ走行部に適したスキッドステアリング方式へ設定した。最後に、山形大学農学部に設置した基準局とロボット (移動局) の接続試験を行った。Mission Planner で NTRIP Caster のアドレスを設定すると基準局での衛星の受信状態を Mission Planner 側で確認でき、移動ロボット側に基準局のデータを送信できたことを確認した。基準局の動作確認と RTK-GNSS によるロボットの自己位置推定が有効な状態であることは、Mission Planner のコンソール画面にて、“RTK Fix”の

表 2 自律走行ロボット作成に必要な機材

品目	備考	数量
ラジコンカー	クローラ装着型バックホー	1
フライトコントローラ	Pixhawk (Pixhawk2.1 CUBE Black)	1
RTK-GNSS モジュール	ZED-F9P モジュール (u-blox 社) 搭載	1
2周波対応 GNSS アンテナ	L1/L2 2周波対応アンテナ	1
電子コンパス		1
ESC (スピードコントローラ)	ブラシモーター対応	2
Wi-Fi モジュール	ESP-WROOM-32 搭載	1
リポバッテリー	モーター給電用	2
モバイルバッテリー	フライトコントローラ給電用	1

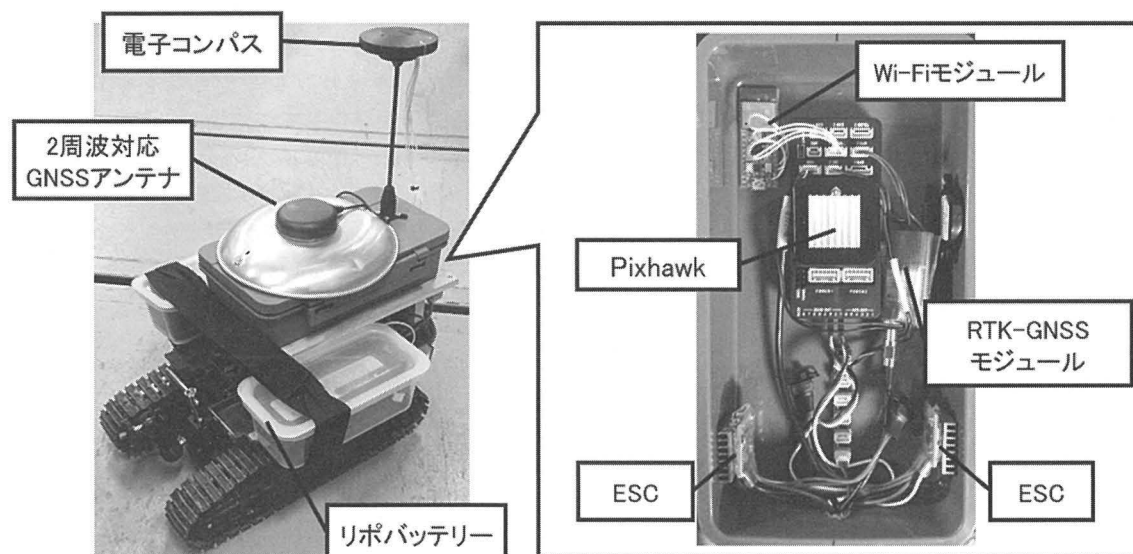


図 2 作成した自律走行ロボットと各機材の配置



図 3 基準局の衛星捕獲状況 (NTRIP Caster 経由) (上図) と RTK-Fix になった時の様子 (下図)

状態が表示されれば、ロボットにて高精度な自己位置推定が可能な状態となる (図 3)。以上より、自律走行ロボットのセットアップは完了である。

自律走行ロボットの初期セットアップ終了後、走行ルートの作成を行った。走行ルートは、Mission Planner の地図上で走行ルート上の通過地点 (ウェイポイント) を順番にクリックして作成する。ただし、エダマメのような一年草を栽培している農場内の条の位置は毎年変化するため、条の様子が Mission Planner の地図へ反映されていないことがある。そこで、Mission Planner の地図上にロボットの現在位置がアイコンで表示される機能を利用し、ロボットを実際の走行経路へ持って行き、地図上に表示されるロボットのアイコンをクリックして走行ルートを作成した。さらに、NTRIP Caster を経由して RTK-GNSS を有効にすることで地図上にロボットの高精度な現在位置情報を表示できるため、より正確な走行ルートを作成することができた。これは、本ロボットが小型かつ軽量で持ち運び可能なために実施できた精密な走行ルート作成方法である。走行ルート作成時の Mission Planner の画面を図 4 に示す。

走行ルート作成後、RTK-GNSS を有効にして高精度自己位置推定が可能な状態でロボットの自律走行を開始した。自律走行ロボットは、走行ルート上を約 20 cm の誤差範囲で自律走行できた。本ロボットはその高い走破性から雑草などの障害物の上を難無く走破し、そして機体の傾きの変化を Pixhawk のジャイロが、機体の向きの変化を電子コンパスが瞬時に感知して駆動部へ信号を送ることで安定した走行を行えた。また、機体前部に取り付けられたカメラにより、エダマメの条間を下側から撮影

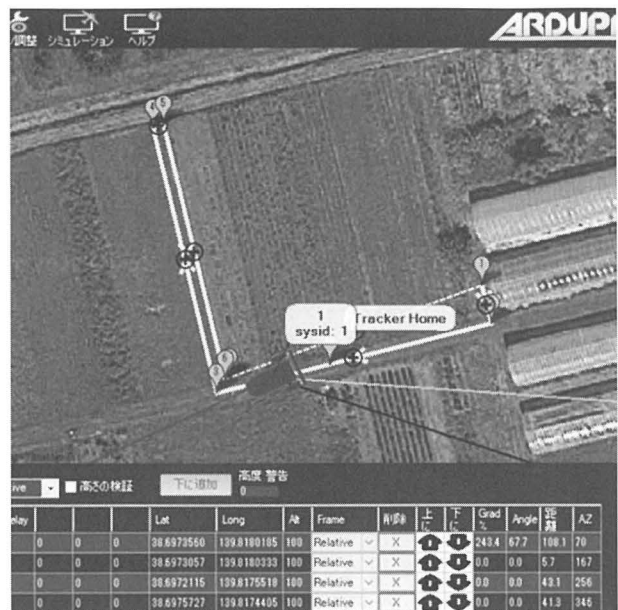


図 4 Mission Planner で自律走行ルートを作成する様子

して花や莢を撮影できた (図 5)。以上より、市販のラジコンカーへ Pixhawk や RTK-GNSS モジュールなどを組み込み、Mission Planner で初期セットアップと走行ルートの作成を行うことで、容易に自律走行ロボットの作成と運用を行えることを確認した。

しかし、自律走行を繰り返すと、電子コンパスが頻繁にエラーを起こした。著者らが作成した自律走行ロボットは位置情報と自機の傾き、向きの情報を基に機体をコントロールするため、電子コンパスのエラーが発生すると、ロボットが走行ルートを正確に走行できなくなる。そのため、ロボットが電子コンパスのエラー発生後に走行ルートから外れてエダマメに衝突することや畝に上って転倒することが多々あった。電子コンパスのエラーを解消するためには再度電子コンパスのキャリブレーションを行う必要があるため、著者らはエラー発生の際に電子コンパスのキャリブレーションをやり直した。ただし、強い磁界が発生している場所では電子コンパスの挙動が乱れやすく、キャリブレーションを繰り返してもエラーを解消できない場合がある。これでは常に人がロボットを監視する必要があることから、ほ場センシングを完全に自動化できない。そこで、著者らは、電子コンパスを使用しない「Moving Base 方式」による自律走行方式へロボットを改造した。

Moving Base 方式は、電子コンパスの代わりに GNSS アンテナと RTK-GNSS モジュールを 2 組使用して自機の向きを推定する方式である。以前より世界中のロボット製作者が電子コンパスのエラーに関してインターネット上の質問サイト等で多数報告しており、ArduPilot の開発チームはそれに対応するために Pixhawk のファームウェアを Moving Base 方式に対応できるように改良し

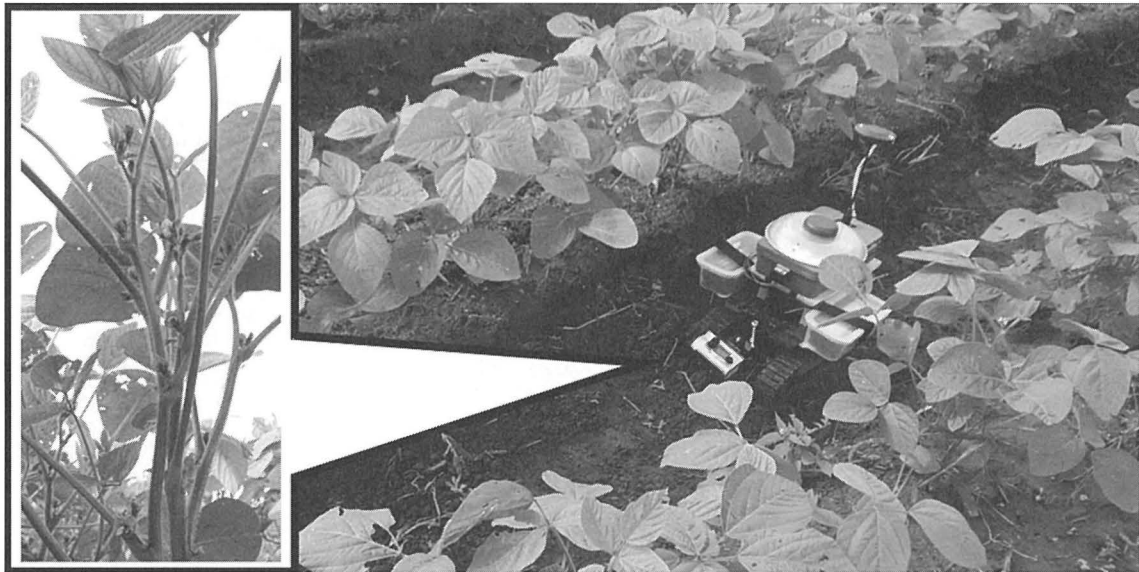


図 5 自律走行ロボットの走行風景と撮影したエダマメ花の画像

た。自律走行ロボットの Moving Base 方式への改造は、まず改良版のファームウェアを Pixhawk へインストールし、電子コンパスを取り外して GNSS アンテナと RTK-GNSS モジュールをもう一組取り付け、そして Mission Planner で Moving Base 方式のセットアップを行うことで容易に行える。著者らがロボット改修後に自律走行試験を行ったところ、RTK-GNSS による高精度測位が可能な状態であれば常にロボットが自機の向きを正確に推定して自律走行を継続できることを確認した。

#### 4. 自律走行ロボットが収集した各種データの利用

自律走行ロボットが走行したルートや姿勢などの情報は、Pixhawk に内蔵している SD Card に BIN 形式 (\*.bin) で保存される。この BIN 形式のデータを Mission Planner 上で Log 形式へ変換し、走行時のロボットの走行軌跡や姿勢の記録を見返すことができる。この Log ファイルより、自律走行ロボットの高精度な位置情報、時刻情報を著者らのオリジナルの Python プログラムを用いて CSV 形式で抽出し、その抽出データを GIS (Geographic Information System: 地理情報システム) に取り込み、走行ルートやほ場で収集した画像データや気温、湿度など情報を組み合わせることで一元管理と可視化が同時に可能となる。以前に著者らは独自に改良したファームウェアを Pixhawk へインストールし、温度センサーと湿度センサーを I2C やシリアルポートに接続して環境データ測定を同時に行った。そして、現在は Pixhawk の代わりにラズパイを使用するシステムへ移行中である。

高精度な位置情報を記録する Pixhawk と環境情報を記録するラズパイシステムは、正確な時間情報を共有することで、両デバイスで得た情報を統合できる。ラズパイが常時インターネットに接続している場合は、時刻情



図 6 自律走行ロボットの走行記録とエダマメ圃場で撮影した画像を GIS へアップロードした様子

報を配信している NTP (Network Time Protocol) サーバから正確な時刻を得られる。しかし、移動するロボットの場合は、ネットワーク回線の安定性が確保できない可能性があるため、ラズパイにも GNSS、RTC (Real time Clock) を取り付けることで正確な時間情報を保持できるシステムを構築した。これにより、時間に紐づいた移動位置の情報、環境センサーによるその場所での温度、気温、湿度を記録することが可能となった。また、ラズパイはカメラを接続して写真撮影ができる。このカメラを使って一定の時間間隔では場を撮影し、正確な時刻の記録と共に保存する。また、ロボットの軌跡は

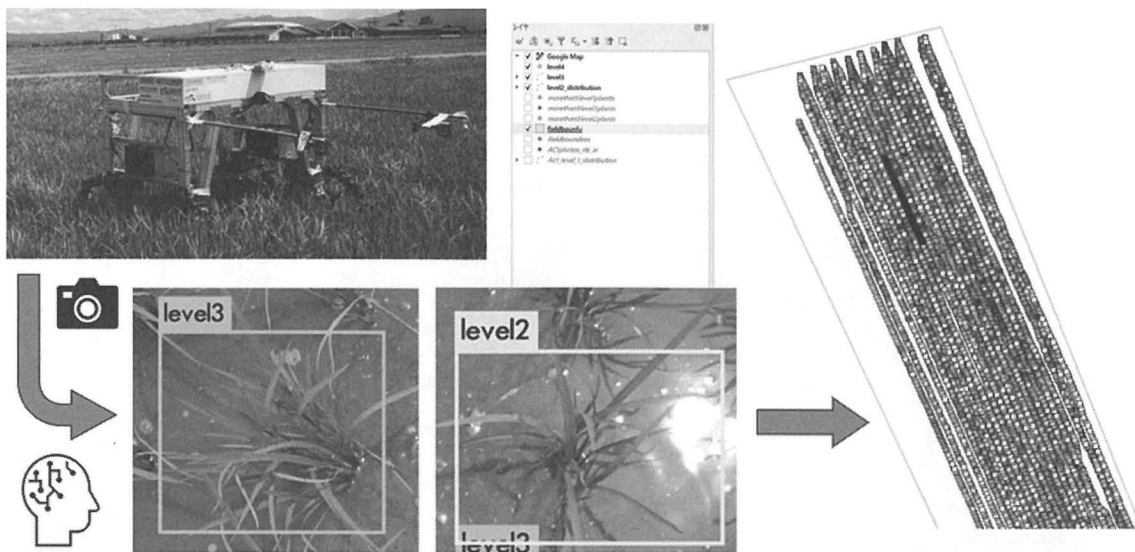


図 7 移動ロボットで撮影した水稻の写真を物体検出 AI と GIS で生育管理した例

Pixhawk に装着されている SD カードに軌跡ログとして正確な時刻と、高精度な位置情報が記録されている。撮影された写真の時刻とロボットの軌跡ログを時刻を基準にリンクをすることでほ場の各地点の生育状態を可視化することができる。以上より、ほ場センシングを自律走行ロボットに委ねることで農作物の生育をデジタル情報として管理が可能となる。著者らは、これまでに二つの事例に本手法を試験的に適用した。一つ目は、山形大学農学部附属高坂農場のエダマメほ場でエダマメの植物体の写真を自律走行ロボットで撮影し、オープンソースの地理情報システム「QGIS」へ取り込んだ事例である（図 6）。これにより、生産者が直接ほ場へ出向くことなく遠隔でエダマメの生育状況を確認できる。二つ目は、福島県南相馬市の水田ほ場で RTK-GNSS モジュール付きの Pixhawk を載せた移動ロボットを使用して水稻の生育状況をカメラで撮影し、独自に作成した一株毎の生育レベルの分類を行う物体検出 AI で生育状況を判定し、その結果を QGIS に取り込んだ事例である（図 7）。同時に、この水田ほ場では気温データと湿度データも収集し、各地点の気温と湿度の情報を AI の解析結果とともに QGIS へ取り込んだ。本手法により、植物の生育情報を一株毎に収集して管理し、視覚化できることを確認した。こうした管理技術により、様々な農作物の生育データをビックデータとして管理し、デジタルデータを使った生育管理を行いやすくなると考える。

## 5. おわりに

ArduPilot のコミュニティは、利用者と開発者の双方で活発な意見交換が行われている。それを通じて問題点が改善され、より安定かつ高精度な自律走行ロボットを作成して運用できるロボット開発基盤が形成されている。著者らが自律走行ロボットの電子コンパスのエラーをすぐに解決できたことは、こうした ArduPilot のコミュニティの恩恵が大きい。また、最新の安価な RTK-GNSS モジュールや u-center, RTKLIB, Mission Planner などのオープンソースの登場により、誰もが RTK-GNSS を容易かつ安価に利用できるようになってきた。よって、我々は農業におけるロボットの運用やデータ収集、そしてデータ解析に注力でき、デジタル情報を使った高度な生育管理の実現を加速できる。著者らは今後も ArduPilot を利用したロボットを作成し、それらをどのように農業現場で運用して生産現場の問題改善や新たなことに役立てられるか検討していく。

## 引用文献

- ArduPilot, Rover Home. <https://ardupilot.org/rover/>. Accessed Mar. 12. 2021.
- 岡本 修, 吉田紹一, 中本伸一, 岸本信弘, 木谷友哉, 浪江宏宗, 久保信明, 鈴木太郎, 海老沼拓史, 高須知二, 伊達 央, 堂込健一, 阿久津愛貴, 渡辺豊樹, 2020. センチメートル GPS 測位 F9P RTK キット・マニュアル. CQ 出版社, 東京, 8-105.