

PLC を搭載した農業用ロボット TAMBA2 用制御システムの検討 および自己位置測位系と無線操縦系の開発

亀山建太郎* 橋本 知明** 嶋野 寛之*** 永田 雅昭*** 西田 好宏****

Development of the Control System for an Agriculture Robot TAMBA2 with PLC - Development of the self-localization and radio control systems -

Kentaro KAMEYAMA , Kazuaki HASHIMOTO , Hiroyuki SHIMANO , Masaaki NAGATA
and Yoshihiro NISHIDA

This paper concerns the development of the measurement and control systems of the robot "TAMBA2" for paddy fields. TAMBA2 is an agriculture robot which is developed by SHIMANO CO. LTD. This robot has four legs with a crawler, a GPS receiver for self-localization, and a camera to recognize obstacles, and can work by radio control. In order to achieve the development target, the authors plan the measurement and control systems, and develop the radio control system. Furthermore, validity of the use of the simplified differential positioning method by two GPS receivers for TAMBA2 is discussed.

Key Words : Agriculture Robot, PLC, GPS, Control System

1 . はじめに

近年、農業の効率化や農産物の高付加価値化に対する気運の高まりから工業技術の農業への適用に関する研究が多く行われ、福井県においても、産業労働部産業政策課主導のもと『工業技術を活用した次世代農業研究会』¹⁾が発足し、研究開発を行っている。その活動は、1) 衛星利用による精密農業、2) ロボットによる自動化・省力化、3) 太陽光・水力発電等による自然エネルギー活用という3つのワーキンググループに分かれて行われており、2つ目のWGの活動のひとつとして、水田用除草ロボットの開発が行われてきた²⁾。(株)シマノにより開発されたロボットTAMBAは、縦・横・高さがそれぞれ約0.3m程度で、4脚の先に車輪を持つ、無線操縦の小型ロボットであり、水田を走行することにより水を濁らせ、さらに雑草にダメージを与えることにより、水田の雑草を減ずることを目的としている。その開発結果を受け、平成27年度からは、自

律走行を行うためのカメラ・GPSを搭載した中型ロボットTAMBA2の開発に着手しており、著者も計測制御系の開発に協力をしている。本報告では、計測制御系開発のうち、全体構想と無線操縦系の開発、および自己位置測位系に関する要素技術の検討結果について述べる。

2 . TAMBA2 の概要と課題

図1に、(株)シマノで開発中の農業用ロボットTAMBA2の外観を示す。本ロボットは、水田走行による滅草をはじめとして、害獣の監視・撃退や、その他農作業への利用を想定した4脚走行ロボットであり、各脚は、3つの走行・姿勢制御用アクチュエーター(クローラー駆動用、クローラーユニット回転用、脚角度変更用)を有する。また、本ロボットには、以下の4つの基本機能を持たせる予定である。

* 機械工学科 ** 福井大学工学部 *** (株)シマノ **** 福井工業大学工学部

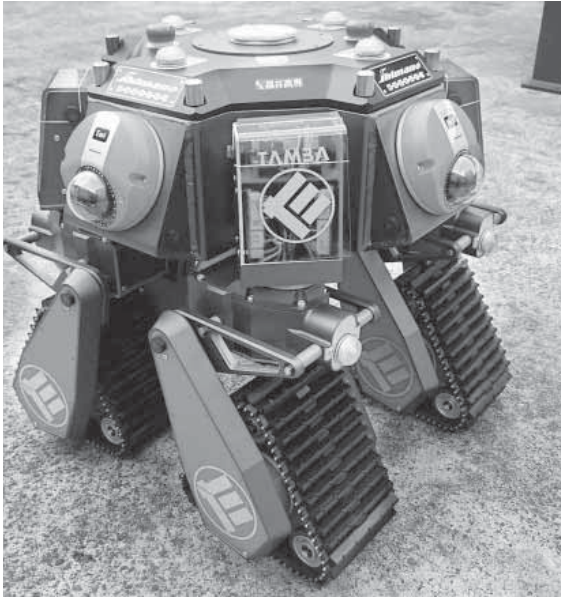


図1 TAMBA2 外観

1. GPSにより自己位置を取得する。
2. 画像処理により近接物を検出する。
3. GPS測位と画像処理と組み合わせ自律走行を行う。
4. 任意のタイミングで無線による操縦ができる。

以上の機能を実装するにあたり、ロボットは、GPS、カメラ、計測および動作計画・誘導を担うCPU、アクチュエーターを備える必要がある。その概要について検討を行った結果を図2に示す。本系において、自律走行機能を実現するためのCPUにはマイコン（Raspberry Pi / Intel Edison）を用い、モーター等のドライバにはPLC（KEYENCE KV-5000）を用い、これらのユニットは、LANにより接続されるものとした。マイコンには、GPS・IMU（慣性計測ユニット）、方位センサ等の測位・誘導に関わるセンサを搭載し、カメラはLANによりマイコンに接続されるも

のとした。また、モーター・ファン・ブロウ・ランプなどは全てPLCに接続されている。以上の構成における命令系統としては、センサ・画像情報はCPUに集約して動作計画を行い、CPUから発される『前進』・『後退』などの命令はLANを介してPLCに伝達され、PLC内のラダープログラムにより各モーターの動作にデコードされて実行されるものとした。

以上の構成を前提として要素技術開発を行うこととした。著者の担当課題は、以下の2点である。

- ・課題1：市販GPSを用いた測位の精度検証および自律走行の可能性の検討
- ・課題2：無線操縦系の開発

それぞれの課題の詳細を、研究課題1については3章に、課題2については4章に示す。

3. 市販GPS受信機の自律走行への適用に関する検討

3.1 目的

GPSによる測位法の主なものとしては、単独測位方式、相対測位方式(DGPS)、干渉測位方式(RTK)がある。市販されている受信機の多くは単独測位方式であり、測位精度は2.5-5mCEPであるが、基地局と移動局の2台を利用して誤差を消去するDGPS方式では0.4mCEP、搬送波波数のずれと位相ずれ情報を用いて精度を向上させるRTK方式では2cmCEPと精度が高い³⁾。しかし、DGPS方式やRTK方式は、基地局からの信号を有償で受信しなければならないことから、単独測位方式の採用を検討した。た

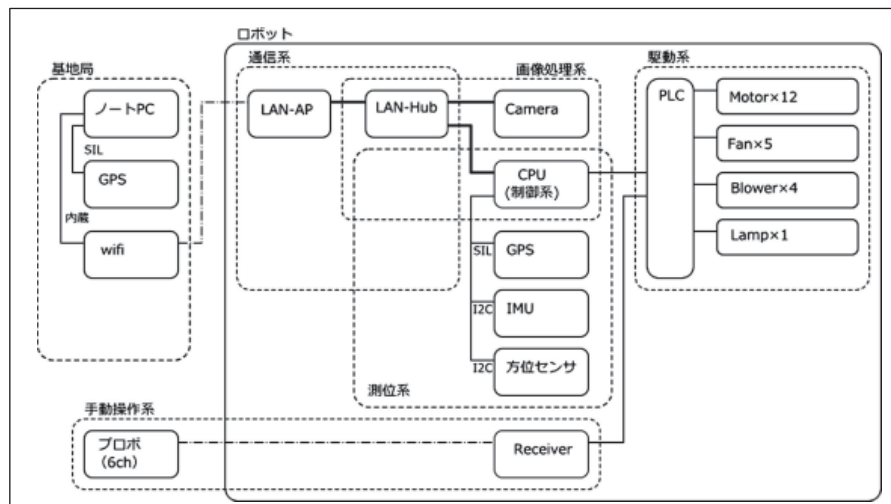


図2 TAMBA2 システムブロック

だし、単独測位受信機1機を用いた場合の測位精度は2.5-5mCEPで稲を避けなければならない中・大型ロボットの誘導には精度不足と考えられる。そこで、本課題に対しては、報告者が水田用小型ロボット用として検討している、市販GPS受信機を複数台使用した簡易的な相対測位のTAMBA2への適用について検討を行った⁴⁾。

3.2 実験方法および結果

実験の概要を図3に、実験系を図4に示す。図3の基地局にはGPS受信機を接続したノートPCを用い、ロボットにも別途GPS受信機を接続している。また、基地局-ロボット間はxbeeを用いた通信で接続されており、固定された基地局の測位値を、ロボットの測位値より誤差として除去することにより、基地局を原点とした座標を得るという仕組みとしている。この方法によれば、基地局とロボットの受信信号に同じ雑音が付加されているという仮定の下、雑音の影響が軽減されることが予想される。

実験は、建築物やコンクリート地面等によるマルチパスの影響が生じにくいと考えられる、周囲に建物が少ない個所を選んで行った(図5)。手順としては、1) 測位基準として基地局(ノートPC)を、ロボットを想定してCPU(Arduino)を準備し、それぞれにGPS受信機を接続する。また、基地局とロボットは、無線通信(xbee)により接続する。2) ロボットの測位結果を基地局に送信して基地局の測位結果との差分を取り、基地局を基準とした相対位

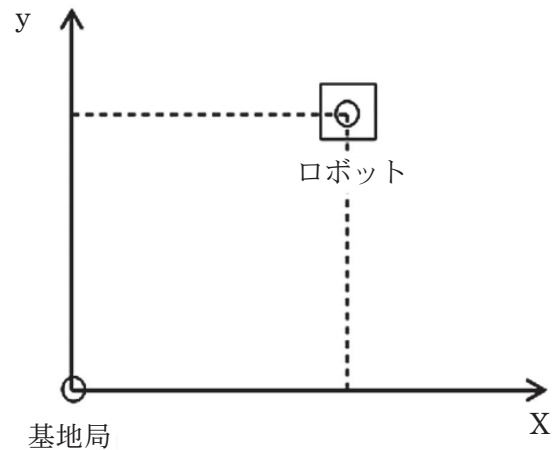


図3 簡易的な相対測位法の概要



図5 実験場所 (© google)

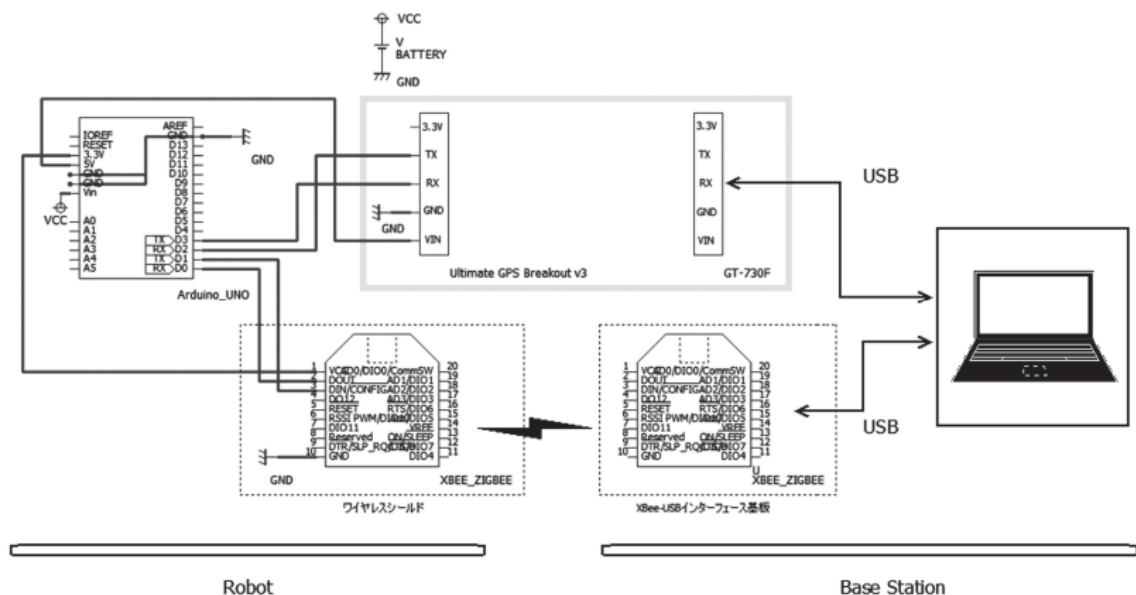


図4 ロボットと基地局からなる実験系

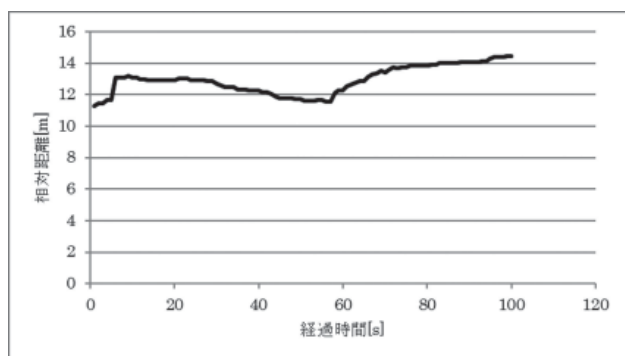


図6 基地局 ロボット間相対距離測位結果の例

置を計測する，という手順で行っている。

測位結果の例を図6に示す。GPSによる測位値は(東経, 北緯)の形で得られるため，図6のグラフは，1) 基地局／ロボットの受信機で(東経, 北緯)形式の測位値を得る。2) 基地局座標を原点として，ロボットの座標を(X, Y) (単位：m)の形式で求める，という手順で座標を求めている。図より，100秒間における相対距離の平均値は約13mと，実測距離の19mよりも約6m短く，また，この短時間において $\pm 1\text{m}$ の範囲で変動しているという結果が得られた。これは，苗に影響の小さい小型ロボットの誘導に対しては検討の余地がある変動幅だが，TAMBA2のように，確実に苗を避けなければならない中型ロボットでは精度不足であると考えられる。よって，TAMBA2にはRTKLIBによる精度向上や準天頂衛星の利用など，高精度測位法の適用を検討することとした^{3,5)}。

4．無線操縦系の開発および試験機による検証

4.1 試験機の構成

TAMBA2のシステムは，マイコン，センサ(GPS, IMU, 方位センサ, カメラ)，PLC，アクチュエーター(12個)，その他(ファン等)からなる予定である。また，制御ユニットは，画像処理結果とGPS測位結果を統合して自律制御の動作計画を行う上位制御ユニット(CPU：Raspberry Pi / Intel Edison)と，アクチュエータドライバとして動作するPLCからなる。以上の構成において，無線操縦系は，アクチュエータドライバであるPLCへの直接入力を行うものとして計画した。

制御系検証用として供与された試験機の写真を図7に示す。本試験機は，左から①電源／②PLCおよびモーター位置決めユニット(KV-5000, KV-H40S)／③モーター(クローラー駆動用／関節駆動用各1)／④モーターアンプから構成されている。また，コントローラにはラジコン飛行機用プロポT6J(双葉電子工業(株)製)を用い，受信信号はArduinoによりデコードした結果を，KV-5000の外部入力ポートに送るという仕様とした。プロポ(およびデコード試験の様子)と受信機をArduino Unoを介してKV-5000に接続した状態の写真を図8に，無線操縦系概要を図9に示す。

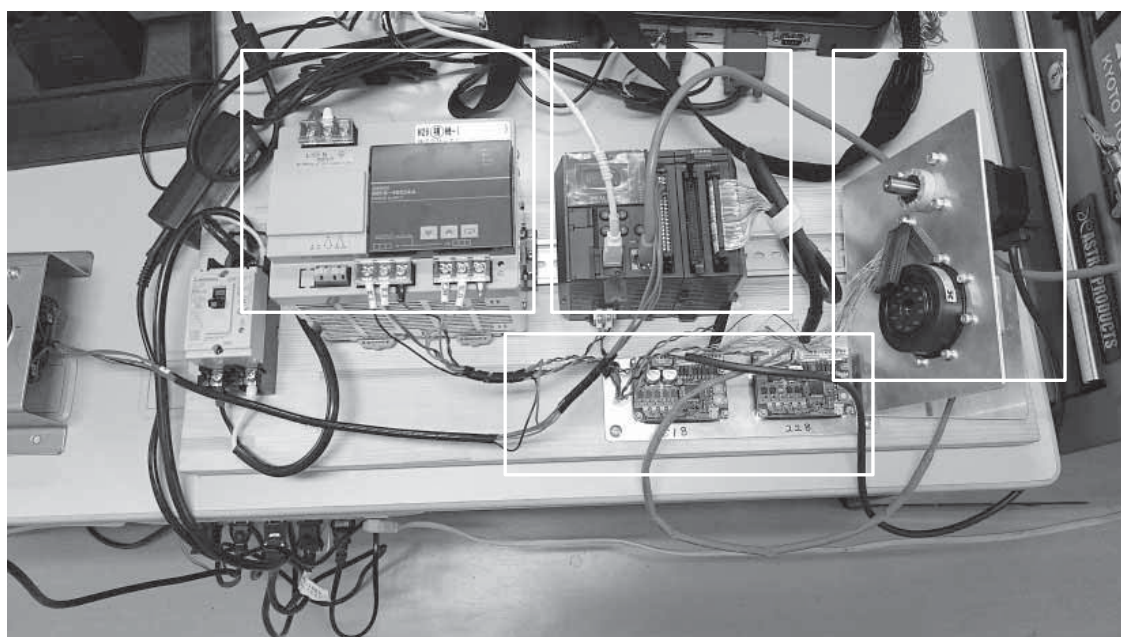


図7 制御系検証用試験機

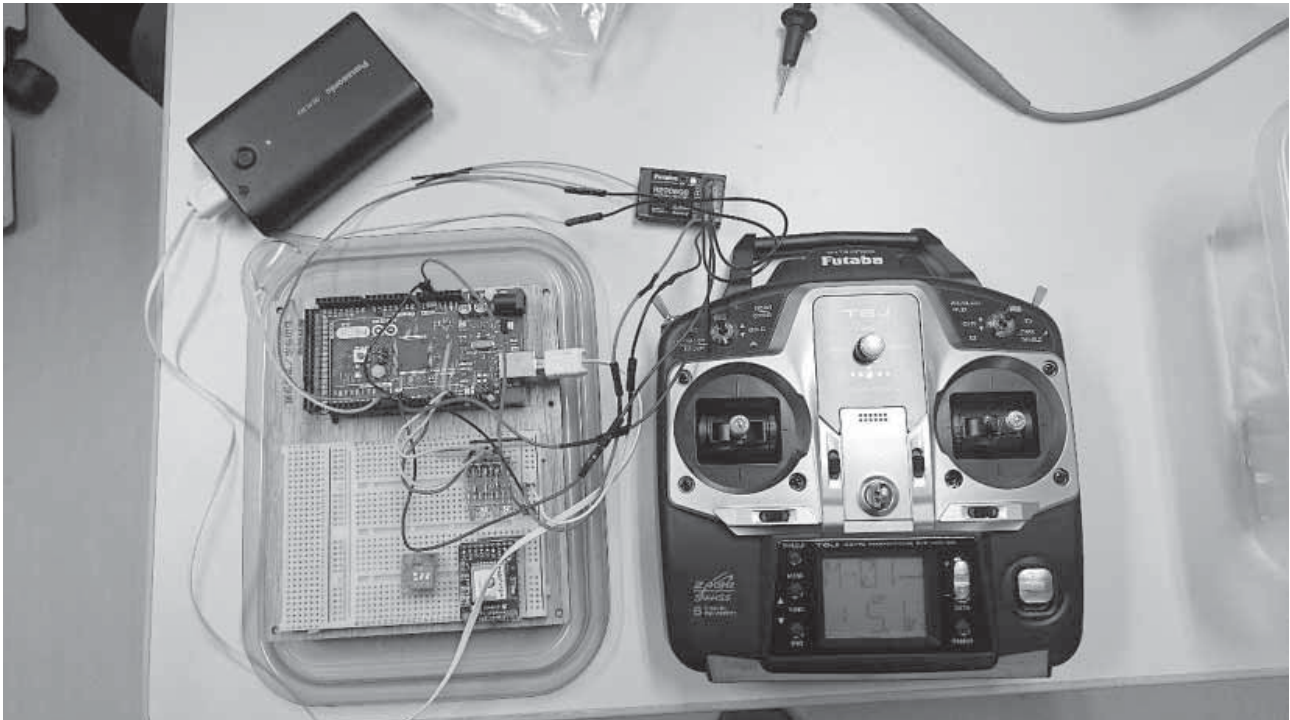
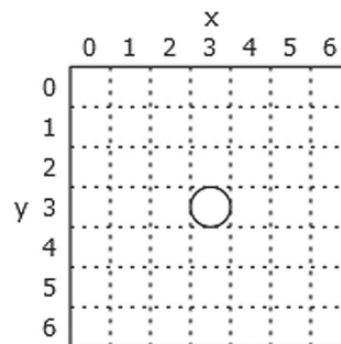


図8 プロポ，受信機，および信号解析用 Arduino

TAMBA2無線操縦系仕様

- ・ 左側スティックの位置を左図のように分割し、座標を (x, y) で表現。
- ・ x, yを7段階 (0-6) で表現すると各軸3bit必要なので、yを上位, xを下位の6bit信号としてデジタル値に変換する。
例：
(x, y) = (5, 2) ならば, x=101, y=010なので、デジタル出力値は010101。
Arduino出力ピンに8-13が割り当てられているならば、8:ON, 9:OFF, 10:ON, 11:OFF, 12:ON, 13:OFFとなる。



接続

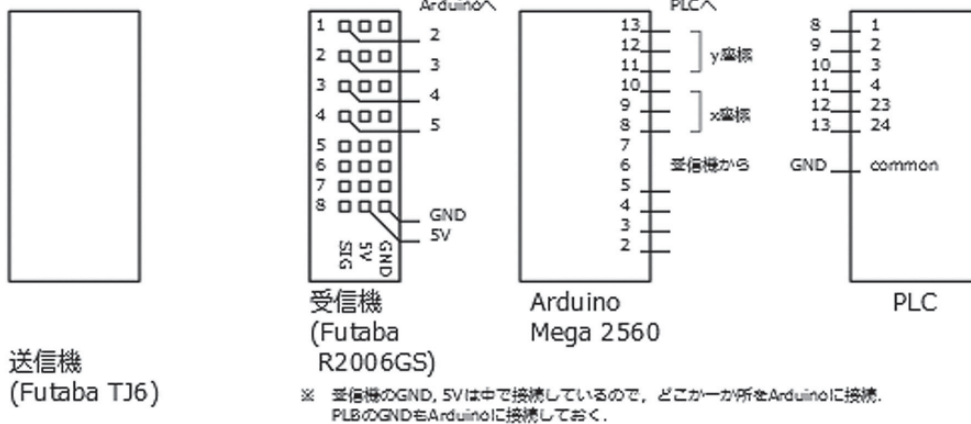


図9 無線操縦系概要

4.2 無線操縦系仕様の検討

プロポによる無線操縦系の外観を図10に示す。ロボットへの移動指示は、プロポの左スティックを、左下を原点としたx y平面に見立て、その傾きで移動方向と速度を指定することで行うこととした。方向と速度の分解能は、前後左右方向にそれぞれ3段階ずつとした。これは、スティックが (x, y) = (3, 3) の場合は停止, (x, y) = (3, 6)

の場合は前方に速度3で移動するように指示しているという事である。「前方に速度3で移動」という指示内容はPLCに送られ、ラダープログラム(図11に一部を示す)で各モーターの動きに変換される。

つぎに、受信機 - Arduino 間, Arduino - PLC 間の通信仕様について説明する。一般的なプロポ受信機の出力はPWM信号である。ここで、PWM信号とは、固定された

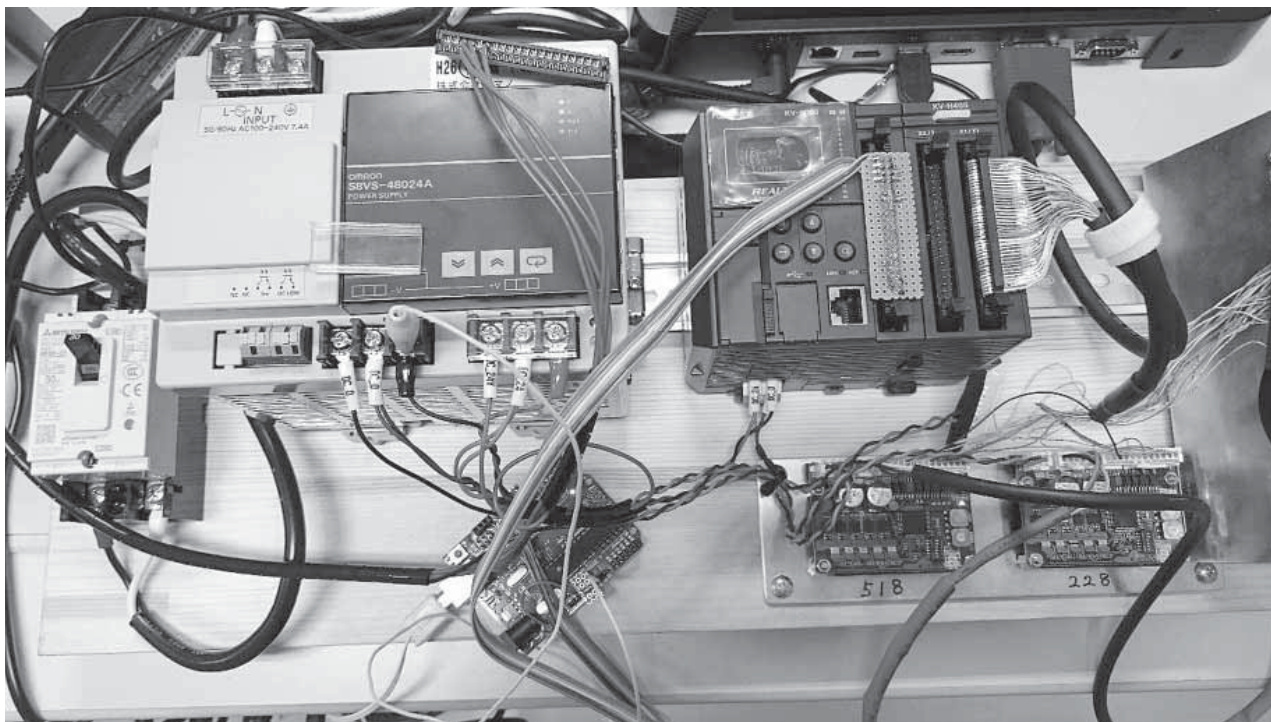


図10 無線操縦系動作試験の様子 (Arduino-PLC 接続ケーブルによる入力)

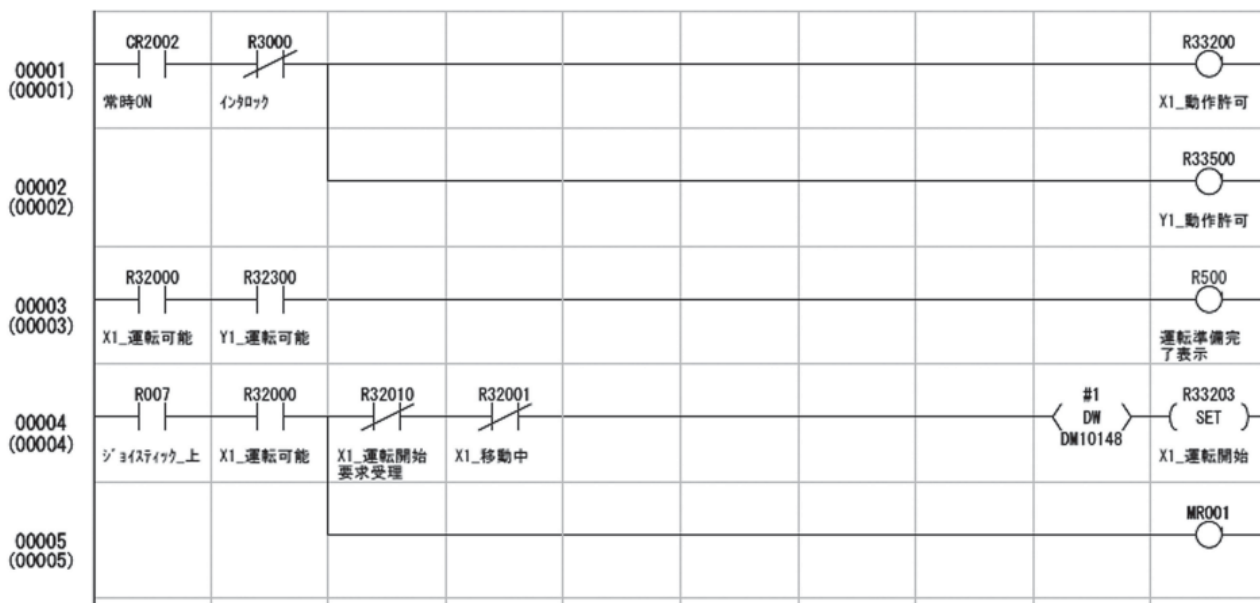


図11 無線操縦試験機用ラダー図 (一部)

PWM 周期に対して、プロポの状態により duty 比 (ON/OFF の時間比) が変化する信号であり、これがチャンネル毎に出力される。本ロボットの前後左右移動には左スティックのみを用いるので、前後方向 1ch、左右方向 1ch の合計 2ch を用いることとなる。この信号を Arduino に入力し (2, 3 番ピン)、解析してスティックの位置を求める。求めたスティック位置は、X、Y 方向それぞれ 7 段階を 6 bit の二進数としてデジタルピン (8-13) より出力するという仕様とした。出力信号は 5V → 24V のレベル変換を行い、PLC に入力する。

4.3 回路/プログラムの製作および動作試験

4.2 で示した構成に従って回路を製作し、動作試験を行った。ただし、試験機にはモーターが 2 個しか搭載されていないため、左スティックの前後方向のみでの動作確認を行った。また、本実験では回路によるレベル変換は行わず、PLC 側の入力レベルを 5V に変更している。実験の様子が図 11 である。図では、Arduino から伸びたケーブルを介して、PLC にプロポからの指令が送信されている。その結果、スティックを傾けることにより、モーターが停止状態から回転状態へ移行することが確認でき、このことより、4.2 で検討した仕様により無線操縦が可能である

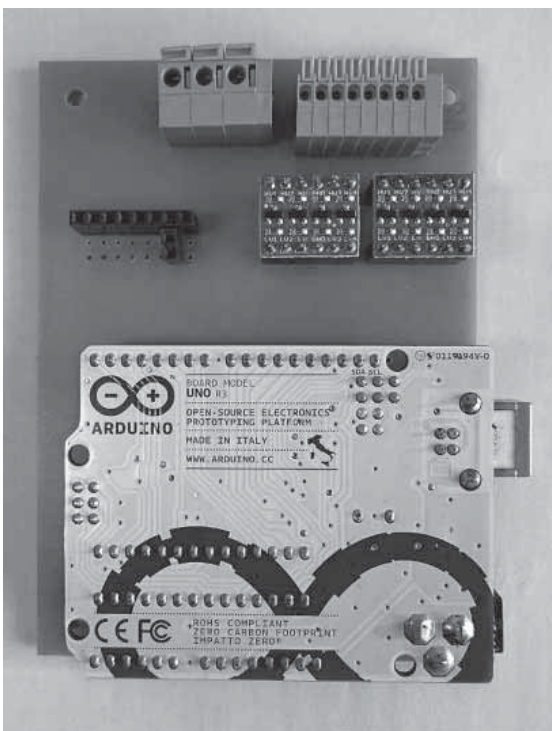


図 12 無線操縦用ボード

ことが確認でき、その結果に基づき、図 12 に示す無線操縦用基板を製作した。本基板についても同様の試験を行い、動作を確認している。

5. まとめ

本報告では、(株)シマノが開発中である農業用ロボット TAMBA2 について、以下の 2 点を確認した。

- ・課題 1：市販 GPS を用いた測位の精度検証および自律走行の可能性の検討
- ・課題 2：無線操縦系の開発

その結果、課題 1 については、市販されている低精度 GPS では中型ロボットのナビゲーションは難しいことから、高精度 GPS 導入の検討を要することを確認した。課題 2 については、プロポ・Arduino・PLC からなる無線操縦系の構想を行い、1ch での動作実験を行った。結果は良好であり、本仕様によって、TAMBA2 の無線操縦系が構築可能であることを確認した。

参考文献

- 1) 福井県『工業技術を活用した次世代農業研究会』HP, <http://www.pref.fukui.lg.jp/doc/sansei/jisedainougyou.html> (2013).
- 2) 西田好宏, 澤田和磨, 森遼太郎, 稲作用除草ロボット TAMBA 機能モデルの制御系開発, 福井工業大学研究紀要 (45), pp.25-30 (2015).
- 3) 杉本末雄, 柴崎亮介編, GPS ハンドブック, 朝倉書店 (2010).
- 4) 亀山建太郎, 橋本知明, Arduino と Scilab を用いた移動ロボットの制御系の開発, 日本機械学会北信越支部第 53 期総会・講演会, GS2-4 (2016).
- 5) M. Bavaro, RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning, <http://www.rtklib.com/> (2016).

