

CANを用いた移動ロボット開発用プラットフォーム - プラットフォーム構想に基づく移動ロボットの構築実験 -

橋場 参生, 高橋 裕之, 中西 洋介, 長尾 信一

Development Platform for Mobile Robots using CAN - Experimental Construction of Mobile Robots based on a Platform Concept -

Mitsuo HASHIBA, Hiroyuki TAKAHASHI
Yohsuke NAKANISHI, Shinichi NAGAO

抄 録

2025年に約8兆円の市場規模と予測されるロボット関連産業は、道内企業にとっても魅力的な成長市場と言える。しかし、ロボットは様々なハードウェア技術とソフトウェア技術の複合体であるため、ロボットに必要な各種機能を一から全て開発し、短期間で製品を仕上げるのは容易ではない。そこで本研究では、各種移動ロボットの試作を、短期間で効率良く実施可能にすることを目的とする「移動ロボット開発用プラットフォーム」を提案し、その実現に向けた技術開発に取り組む。提案する開発用プラットフォームは、(1)移動ロボットに必要な機能を分割した、自律制御、遠隔操作、駆動、センサ、インタフェース等の各種機能モジュールと、(2)機能モジュールを統合し、ロボットとして機能させるための制御ネットワークで構成される開発環境であり、必要な機能モジュールを選択して制御ネットワークに接続するという開発方法によって、移動ロボットの構築を容易にする。本報では、まず、本研究が提案する移動ロボット開発用プラットフォームの概要について述べ、続いて、その重要な技術要素となるCAN(Controller Area Network)を用いた制御ネットワークの開発について報告する。さらに、本構想に基づいて試作した3種類の移動ロボットについて報告する。

キーワード：移動ロボット、開発用プラットフォーム、機能モジュール、制御ネットワーク、CAN

Abstract

According to the Japan Robot Association, the Japanese robot market will be worth approximately eight trillion yen in 2025. Though this growing market is very attractive for manufacturing industries in Hokkaido, it's not easy to build prototype robots in a short period, since the development of robots requires various hardware and software technology skills. Therefore, in this study, we propose "a development platform for mobile robots" that facilitates the construction of various mobile robots. This platform is consisted of (1) functional modules such as autonomous control, remote control, driving, sensor, interface and so on, (2) CAN-based control networks that integrate functional modules. With this platform, the user can build up prototype robots easily by selecting necessary modules and connecting them to CAN-based control networks. In this paper, we describe the outline of a proposed platform architecture, the development of control network using CAN, and the experimental construction of three types of mobile robots based on a proposed platform concept.

KEY-WORDS : mobile robot, development platform, functional module, controller area network

1. はじめに

2025年に約8兆円の市場規模と予測されるロボット関連産業¹⁾は、道内企業にとっても魅力的な成長市場と言える。しかし、ロボットは様々なハードウェア技術とソフトウェア技術の複合体であるため、ロボットに必要な各種機能を一から全て開発し、短期間で製品を仕上げるのは容易ではない。このような課題を解決するための仕組みとして、近年、ロボットの構成要素をモジュール化し、モジュール間のインタフェースを標準化することによって、ロボットの効率的な開発を可能にしようとする取り組みが重要視されている²⁻⁶⁾。

一方、当場ではこれまで、道内企業のロボット市場参入を支援することを目的として、福祉施設等での運用を想定した自律型運搬ロボット⁷⁻⁹⁾や、肥料散布作業等を代行する自律走行型農作業車両¹⁰⁻¹²⁾などの研究開発に取り組んできた。しかし、これまでの開発では、自律走行機能等を備えた移動ロボットの実現自体を目標としていたため、その試作品は各種機能が混在一体の構成となっており、システムの変更や改良、機能の部分的再活用等が容易ではなかった。また、各々のロボットに類似の機能があったとしても、その共通化は図られていなかった。

そこで本研究では、これまでの技術蓄積の活用性を高めると共に、各種移動ロボットの試作を、より短期間で、より効率的に実施可能にすることを目的として、モジュール化と標準化の概念を導入した「移動ロボット開発用プラットフォーム」を提案し、その実現に向けた技術開発に取り組む。本報では、まず、本研究が提案する移動ロボット開発用プラットフォームの概要について述べ、続いて、その重要な技術要素となるCAN(Controller Area Network)を用いた制御ネットワークの開発について報告する。さらに、プラットフォーム実現への第一歩として、本構想に基づいて開発した各種の機能モジュールと、それらを組み合わせることで試作した3種類の移動ロボットについて報告する。

2. 移動ロボット開発用プラットフォーム

2.1 機能のモジュール化とネットワークによる統合

本研究で用いる移動ロボット構成方法を図1に示す。本研究では、移動ロボットを開発する際に必要となる主要機能を、自律制御、遠隔操作、駆動、センサ、インタフェースに分割して考え、それぞれを独立した機能モジュールとして取り扱う。そして、移動ロボットを構成する際は、必要な機能モジュールを制御ネットワークに接続する方法によって機能の統合を図り、移動ロボットとしての全体的な動作を可能にする。機能モジュールを統合するための制御ネットワークには、後述の理由から、車載ネットワークCANを採用することにした。

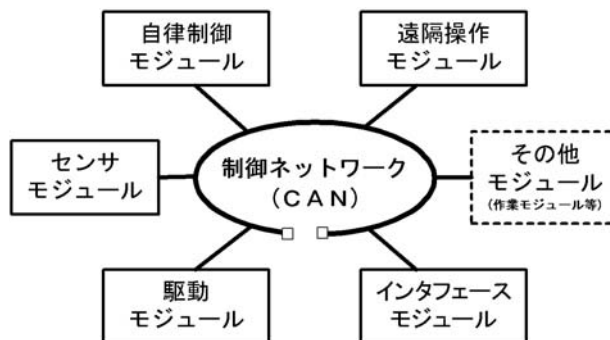


図1 移動ロボットの構成方法

2.2 移動ロボット開発用プラットフォーム構想

2.1のロボット構成方法を基にして、各種移動ロボットの試作を、短期間で効率良く実施可能にするために、次のような仕組みを考える(図2参照)。

- (1) 図1に示した機能モジュール間のインタフェース、即ち、制御ネットワークを介して送受信するメッセージの仕様を定める。その際、画像情報を利用した自律制御モジュール、GPSを利用した自律制御モジュールというように、自律制御機能を実現する方式が異なっても、それが自律制御を目的とするモジュールであるならば、共通の送受信メッセージで動作可能にする。
- (2) 規定したメッセージ仕様に従って様々な機能モジュールを開発し、ロボットの試作に利用可能な選択肢を増やしていく。

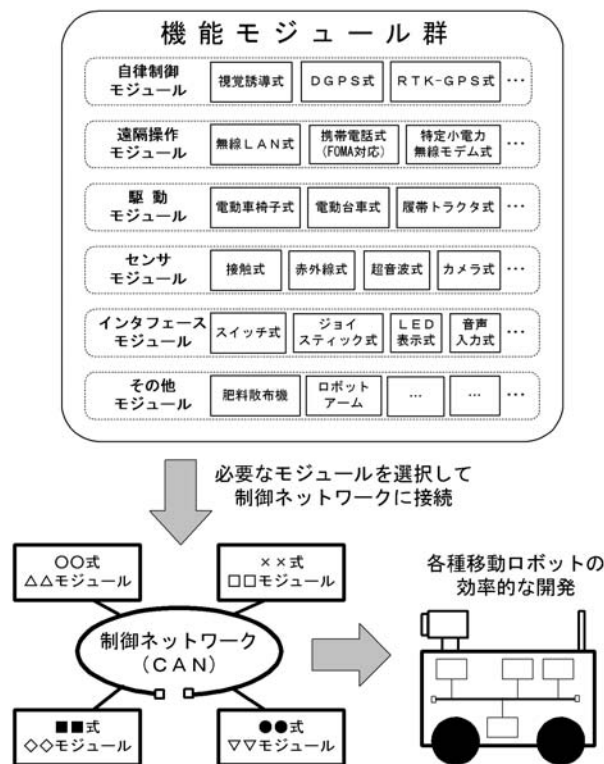


図2 移動ロボット開発用プラットフォーム

(3) 機能モジュール群の中から必要な機能モジュールを選択し、制御ネットワークに接続するという開発方法によって、様々な移動ロボットを容易に試作できるようにする。

本報では、以上の仕組みによる移動ロボット開発環境を「移動ロボット開発用プラットフォーム」と呼ぶことにする。なお、図2に例示した機能モジュールの大半は、後述する移動ロボットの構築実験を通じて開発したモジュールとなっている。

2.3 プラットフォーム活用の利点

図2に示す開発用プラットフォームを活用することによって、様々な機能を有する移動ロボットの試作が容易になり、開発期間の短縮、コストや労力の削減といった効果も期待できる。また、機能がモジュール分割され、モジュール毎に送受信メッセージの共通化が図られていることによって、機能の追加・変更への柔軟な対応が可能になり、再利用性も向上する。さらに、ロボットの開発に必要な全ての技術を保有していない中小企業であっても、得意技術を生かした機能モジュールの開発を通じて、ロボット市場へ参入する道筋が開ける。

3. CANを用いた制御ネットワークの構築

3.1 車載ネットワークCANの採用

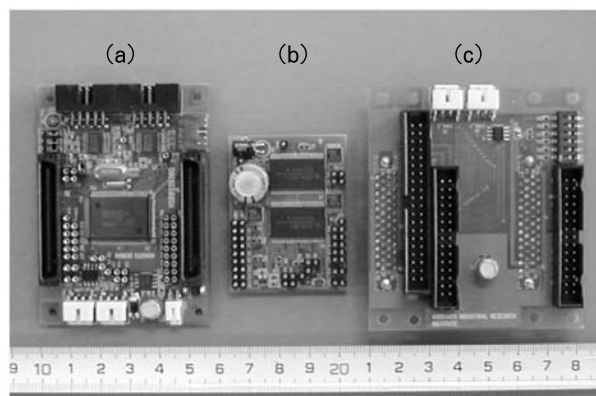
本研究では、移動ロボット開発用プラットフォーム構築を実現するための制御ネットワークとして、車載ネットワークCANを使用する。CANは、ISOで国際標準化されたシリアル通信プロトコルで、近年、国産の自動車へも急速に普及している。

本プラットフォーム構想においてCANを選択した理由としては、既に車載用として豊富な実績を有すること、最大1Mbpsの高速通信が可能であること、高い耐ノイズ性とエラー検出機能を有すること等があげられる。また、CANは、接続された全てのモジュールがメッセージを送信可能なマルチマスタ方式のバス構成であり、さらに、全てのモジュールにメッセージが配信されるブロードキャスト方式の通信形態であることから、機能のモジュール化と制御ネットワークによる統合を基本とする本構想に適している。以上の他、市販車への普及によってCAN対応のマイクロコンピュータが容易に入手可能になっていることや、通信線が基本的に2本で済むため、配線の引き回しが容易であること等も、ロボット開発にあたっての利点になると考えた。

3.2 CANインタフェースを備えた制御用ボードの開発

CANバスに接続可能な各種機能モジュールを開発するために、図3(a)に示す制御用ボードを製作した。本ボードのCPUには、2チャンネルのCANインタフェースを備えたルネ

サステクノロジ製H8S/2638F(ROM256kB, RAM16kB)を使用している。2チャンネルのCANインタフェースを備えたCPUを採用した理由は、本ボードをゲートウェイとして、サブネットワークの構築にも対応できるようにするためである。同図(b), (c)は、本ボードのオプションとして使用する1MBの増設メモリボードと、機能拡張用ボードである。



(a) メインボード (b) 増設メモリボード (c) 機能拡張用ボード

図3 CANインタフェースを備えた制御用ボード

3.3 通信メッセージの設計方針

CANの1つのメッセージは、最大29ビットの識別番号(ID)を有し、8バイトのデータを搬送することができる。IDはメッセージの優先順位を決定する機能も兼ね備えており、バス上でメッセージが競合した場合には、IDの小さいメッセージが優先して送信される仕組みになっている。

本プラットフォーム構想では、2.2に記したように、機能モジュール間のインタフェースを定める計画であるが、CANを制御ネットワークとする場合、その具体的な作業は、CANバス経由で送受信するメッセージのIDと8バイトのデータ内容を設計する作業となる。現在、各種機能モジュールの開発と並行して、下記方針により、メッセージ仕様の策定を進めている。

- ・モジュールの接続・交換を容易にするために、メッセージの内容はできるだけ抽象化し、具体的処理手順はモジュール側に実装するようにする。例えば、駆動モジュールの移動機構やステアリング方式が異なっても、走行方向と走行速度を記したメッセージを送るような方式で基本的な走行動作を可能にする。
- ・衝突や接触を検出したセンサが送信するメッセージのように、安全確保に関係するメッセージには、優先度の高いIDを割り当てる。
- ・特定のモジュールに同一の指示を行うメッセージであっても、その発信元に応じて、優先度の異なるID設定を考慮する。例えば、駆動モジュールに走行指令を与えるメッセージの場合、自律制御モジュールが送信するメッセージよりも、遠隔操作モジュールが送信するメッセー

ジの優先度を高く設計し、さらに、人間が直接操作するインタフェースモジュールからのメッセージをより高い優先度で設計する。

- ・受信側でメッセージの送信元を特定できるように、機能モジュールにも固有の識別番号を割り当てるようにし、この識別番号を8バイトのデータ内に含めて送信するようにする。

3.4 CAN対応機能モジュールの開発

図4に、後述する移動ロボットの構築実験を通じて開発した、代表的な機能モジュールを示す。各々の具体的な仕様については、試作したロボットの構成とあわせて、次章で説明する。



図4 機能モジュール開発例

4. 移動ロボット試作実験

本プラットフォーム構想に基づく移動ロボット開発手法を検証するために、CANインタフェースを備えた各種機能モジュールの開発を行い、さらに、それらを制御ネットワークに接続することによって、仕様・用途の異なる3種類の移動ロボットを試作した。以下、試作した各々の移動ロボットについて、その構成と動作結果を記し、最後に、3例の試作実験結果を総括する。

4.1 視覚誘導型屋内自律走行ロボット

以下の機能モジュールを開発し、CANバスに接続することによって、カメラからの画像情報を利用して屋内を自律移動する走行ロボットを試作した^{13,18)}。その外観を図5に、構成を図6に、動作試験風景を図7に示す。

4.1.1 機能モジュール

(1) 電動車椅子式駆動モジュール

市販の電動車椅子(ワコー技研製 Emu-S)を基にしてCAN対応の駆動モジュールを製作し、本ロボットの走行部とした。電動車椅子の制御とCANバスへの接続には、3.2に記したH8S/2638Fボードを使用した。電動車椅子の主な仕様は、以下のとおりである。

- ・サーボモータ駆動
- ・外形寸法：800(D)×630(W)×900(H)mm
- ・最高速度：6 km/h
- ・連続走行距離：24.3km

(2) 視覚誘導式自律制御モジュール

ロボットの屋内自律走行を可能にするため、図4(a)に示した視覚誘導式の自律制御モジュールを開発した。本モジュールは、ネットワークカメラ(キャノン製 VB-C10)と、カメラを利用した自己位置同定機能^{14,15)}等を実装したノートPC(OS: Windows2000)で構成されている。CANバスへの接続には市販のCANカード(ベクター・ジャパン製CANcardX)を用いており、画像処理結果に基づいた駆動制御用メッセージをCANバスへ送信する仕組みになっている。

(3) 無線LAN式遠隔操作モジュール

ロボットの遠隔操作を行うため、ノートPC(OS: Windows2000)と無線LANアクセスポイントを用いた無線LAN式遠隔操作モジュールを開発した。CANバスへの接続には、自律制御モジュール同様、市販のCANカード(ベクター・ジャパン製 CANcardX)を用いた。本モジュールを用いることにより、外部のPCからロボットの走行方向を指示することができ、また、自律制御モジュールのネットワークカメラをEthernetで接続することによって、無線LAN経由の映像送信も可能になる。

(4) 接触式センサモジュール

ロボットの接触や衝突を検知するため、図4(d)に示した接触式のセンサモジュールを開発した。本モジュールは、オン・オフ式のテープ状センサと、H8S/2638Fボードで構成されている。本ロボットでは、図5、6に示すように、ロボットの周囲に8個のセンサをバンパスイッチとして配置しており、その状態監視とCANバスへの送信を、H8S/2638Fボードで行っている。

(5) 微弱無線スイッチ式インタフェースモジュール

近距離からロボットを操作するための入力インタフェー

スとして、前後左右の4方向を指示できる微弱無線スイッチ式インタフェースモジュールを開発した(図4(f))。受信回路の状態監視とCANバスへの送信をH8S/2638Fボードで行っている。

4.1.2 動作確認試験

4.1.1に記した5種類の機能モジュールを用いて視覚誘導型屋内自律走行ロボットを試作し、当場の廊下において走行試験を行った。その結果、視覚誘導型自律制御モジュールに

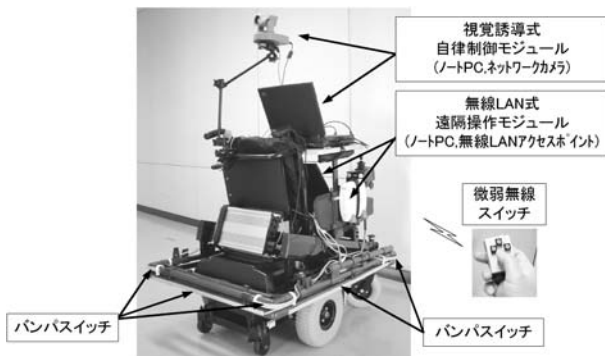


図5 視覚誘導型屋内自律走行ロボット

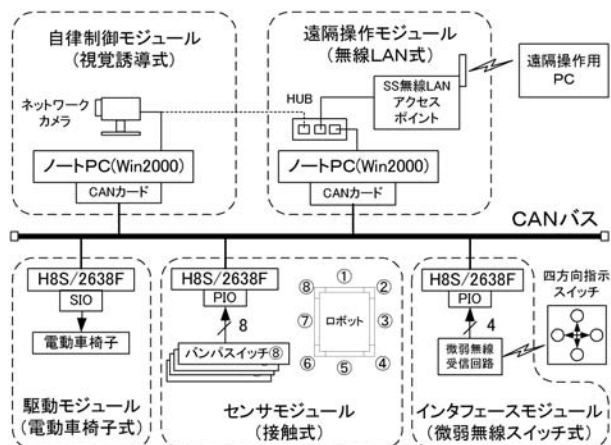


図6 視覚誘導型屋内自律走行ロボットの構成



図7 自律走行試験

よる廊下中心や蛍光灯の検出結果、及び、経路上の位置同定結果を基にして、ロボットは約35mの経路を自律的に走行し、目標の部屋に到達した。また、接触式センサモジュール(パンパスイッチ)による走行停止機能や、微弱無線スイッチ式インタフェースモジュールによる近距離操作機能も予定どおり動作することを確認した。

4.2 遠隔操作型移動監視ロボットの構築

以下の機能モジュールを開発し、CANバスに接続することによって、携帯電話からの遠隔操作で走行し、搭載したカメラの映像を携帯電話へ送信する移動監視ロボットを試作した。その外観を図8に、構成を図9に、動作試験風景を図10に示す。

4.2.1 機能モジュール

(1) 電動台車式駆動モジュール

ロボットの走行部には、CANインタフェース(H8S/2638Fボード使用)を備えた電動台車を使用した(図4(e))。この電動台車は、機能モジュール開発の一環として、本研究で独自に開発したもので、各種移動ロボットの走行部として幅広く活用できる。主な仕様は、以下のとおりである。

- ・サーボモータによる左右独立二輪駆動
- ・外形寸法：720(D)×620(W)×37(H)mm
- ・搭載可能重量：約100kg
- ・最高速度：約10km/h
- ・連続走行距離：約20km

(2) 携帯電話式遠隔操作モジュール

i アプリ機能による遠隔操作や映像監視を可能にした図4(c)に示す携帯電話式遠隔操作モジュールを開発した。本モジュールは、FOMAカード(NTTドコモ製 F2402)及びCANカード(インタフェース製 CBI-4852)が接続されたボードコンピュータ(OS: Linux)で構成されている。ボードコンピュータは、i アプリとの通信を行うWebサーバとして機能し、CANバスに接続された各種モジュールと携帯電話間のデータ送受信を可能にしている。

(3) 全方位カメラ式センサモジュール

ロボットの周辺情報を携帯電話へ送信するため、市販の全方位カメラシステム(シャープ製 LZOE449)にH8S/2638Fボードを取り付け、CAN対応のカメラ式センサモジュールを製作した。本モジュールは、CANバス経由で全方位カメラの視野角等を制御可能になっており、全方位カメラで撮影された映像は、Ethernetで遠隔制御モジュールに送られ、その後、携帯電話に送信される仕組みになっている。

(4) 接触式センサモジュール

物体との衝突や接触を検知するため、本ロボットにおいても図4(d)の接触式センサモジュールを使用した。センサ(パンパスイッチ)の配置と動作は、視覚誘導型屋内自律走行ロボットと同一である(4.1.1参照)。

4.2.2 動作確認試験

4.2.1に記した4種類の機能モジュールを用いて遠隔操作型移動監視ロボットを試作し、動作確認試験を行った。その結果、携帯電話からの遠隔操作によって、走行方向の指示、及び、画像によるロボット側周辺環境の把握が可能であることを確認した。また、本ロボットにおいても、接触式センサによる走行停止機能が予定どおり動作することを確認した。図10は、当場の3階から、地上のロボットを目視しつつ、遠隔操作を行った際の実験風景である。

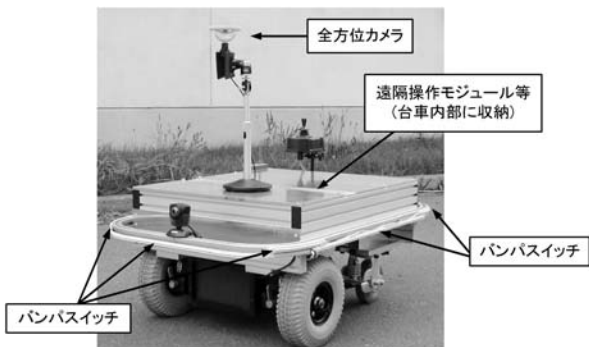


図8 遠隔操作型移動監視ロボット

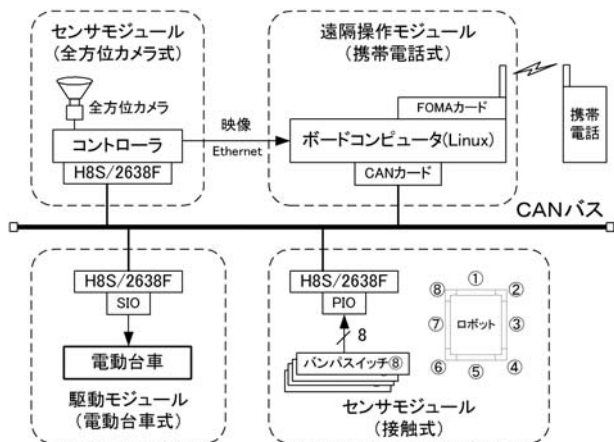


図9 遠隔操作型移動監視ロボットの構成



図10 携帯電話からの遠隔操作試験

4.3 DGPS型屋外作業支援ロボット

以下の機能モジュールを開発し、CANバスに接続することによって、DGPS(ディファレンシャルGPS)を用いて農場等を自律走行し、堆肥や融雪剤の自動散布を行う屋外作業支援ロボットを試作した^{13, 16)}。その外観を図11に、構成を図12に、動作試験風景を図13に示す。

4.3.1 機能モジュール

(1) 履帯トラクタ式駆動モジュール

市販の履帯トラクタ(石狩造機製 USD-300A)を基にして、CAN対応の屋外用駆動モジュールを製作し、本ロボットの走行部とした。履帯トラクタの制御とCANバスへの接続には、H8S/2638Fボードを用いた。履帯トラクタの主な仕様は、以下のとおりである。

- ・25馬力ディーゼルエンジン
- ・外形寸法：2,700(D)×1,600(W)×2,000(H)mm
- ・最高速度：14km/h

(2) DGPS式自律制御モジュール

屋外での自律走行を可能にするため、図4(b)に示したDGPS式の自律制御モジュールを開発した。本モジュールはDGPS等の低コストセンサと、カルマンフィルタによる自律走行制御手法^{10, 11)}を実装したボードコンピュータ(OS: Linux)で構成されている。使用しているセンサはDGPS(Trimble製 AgGPS124)、地磁気方位センサ(トーキン製TMC2000)、振動ジャイロ(Silicon Sensing Systems Japan製 CRS03)、ロータリエンコーダ(オムロン製E6C2-CWZ2EH)で、これらを基に計算した走行制御用メッセージを、CANカード(インタフェース製 CBI-4852)を用いてCANバスへ送信している。なお、本試作例では、DGPS式を用いているが、RTK-GPS式¹²⁾の自律制御モジュールも別途開発しており、より高精度の位置検出が可能であることを確認している。

(3) 特定小電力無線モデム式遠隔操作モジュール

ロボットの遠隔操作を行うため、特定小電力無線モデム式の遠隔操作モジュールを製作した。本モジュールは伝送速度4,000bpsの特定小電力無線モデム(スタンダード製 TRM-211R)とH8S/2638Fボードで構成されており、無線モデムからRS-232Cで送られたデータを変換してCANバスへ送信している。

(4) 肥料・融雪剤等散布用作業モジュール

肥料や融雪剤の散布機に、PICマイクロコンピュータ(マイクロチップ製 16C74A)とCANコントローラ(フィリップス製 SJA1000)を取り付け、CANバス経由で制御可能な作業モジュールを製作した。

4.3.2 動作確認試験

4.3.1に記した4種類の機能モジュールを用いてDGPS型屋外作業支援ロボットを試作し、凹凸のある草地と積雪地において自律走行実験を行った¹⁶⁾。約80mの直線経路を秒速1mで往復させた結果、走行誤差の最大値は1.2mとなり、肥料や融雪剤の散布作業に十分な自律走行性能を確認できた。また、特定小電力無線モデム式遠隔操作モジュールによる遠隔操作機能も良好に動作することを確認した。

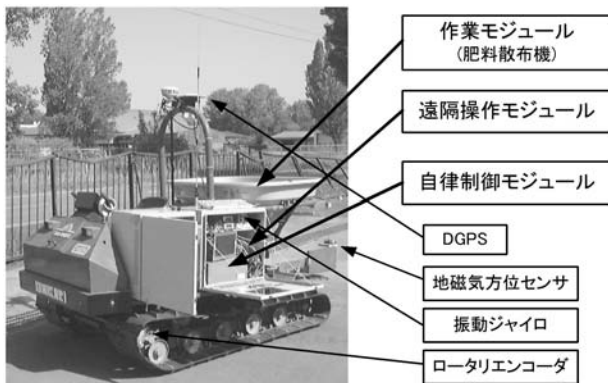


図11 DGPS型屋外作業支援ロボット

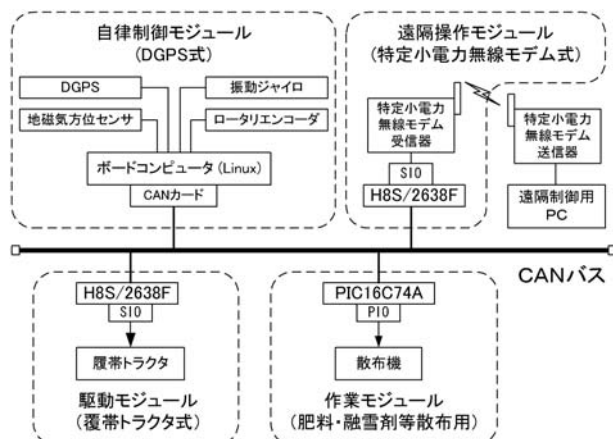


図12 DGPS型屋外作業支援ロボットの構成



(a) 自律走行 (b) 遠隔操作

図13 屋外走行試験

4.4 移動ロボット試作結果

以上に報告した、3種類の移動ロボット試作実験を通じて、第2章に記した方針に基づくロボット機能のモジュール化、及び、CANを制御ネットワークとした機能モジュールの統

合が可能であることを確認した。また、CANバスに接続した各機能モジュールが移動ロボットの一部分として連携して機能し、全体として、自律走行機能等を有する移動ロボットの基本動作を実現できることを確認した。さらに、本プラットフォームが、仕様・用途の異なる各種移動ロボットの試作に十分活用できる見通しを得た。

5. まとめ

当場がこれまでに取り組んできた移動ロボットに関する技術蓄積の活用性を高め、ロボット市場への参入を意図する道内中小企業をより一層支援することを目標として、各種移動ロボットの試作を、短期間で効率良く実施可能にする「移動ロボット開発用プラットフォーム」を提案した。また、提案内容に基づく移動ロボット開発手法を検証するために、CANインタフェースを備えた各種機能モジュールの開発と、それらを組み合わせた移動ロボットの試作実験を行った。

今回実施した機能モジュールの開発、及び、3例の移動ロボット試作実験から、モジュール化されたロボット機能をCANで統合するという、本構想における基本的なロボット構築方法が十分実施可能であることを確認できた。また、CANの通信メッセージにおけるIDと8バイトのデータ内容を規定することによって、本プラットフォームの実現に重要となる、機能モジュール間インタフェースの仕様統一が実現可能な見通しを得た。

今後は、本報の開発結果を第一歩として、引き続き、機能モジュール間インタフェースの仕様策定、機能モジュールの改良と新規開発、各種移動ロボットの試作を通じた機能検証を継続し、移動ロボット開発用プラットフォームの実用化を目指す予定である。また、開発した機能モジュールや、策定した機能モジュール間インタフェースの仕様を公開することによって、ロボット市場への参入を計画する道内中小企業の技術支援に役立てたいと考えている。

なお、本報では、開発に着手するにあたり、移動ロボットの構築に必要な主要機能を、自律制御、遠隔操作、駆動、センサ、インタフェースに大別したが、この分類については、今後の開発・実験結果を基にして随時検討を重ね、道内における移動ロボット開発に適した在り方を探って行きたいと考えている。また、現在、本プラットフォーム構想において開発される機能モジュールを、人が搭乗・操作する電動車椅子等の高機能化へ活用する実験にも着手しており¹⁷⁻¹⁹⁾、今後は、福祉機器への応用展開も想定した機能モジュール開発を進めていく予定である。

謝 辞

3.2記載の制御用ボードの開発にあたっては、(株)北斗電子代表取締役社長 中野隆司氏にご協力頂きました。また、

4.2.1(1)記載の電動台車式駆動モジュールの開発にあたっては、(株)ワコー技研 技術部 藤井利宣氏にご協力頂きました。そして、4.2.1(2)記載の携帯電話式遠隔操作モジュールの開発にあたっては、(株)HBA技術本部 山野孝則氏、矢野文紀氏、今野喜代志氏にご協力頂きました。以上の皆様に心から感謝致します。

本研究の一部は、平成14～16年度文部科学省知的クラスター創生事業(札幌ITカロッツェリア)研究費により実施されました。記して感謝致します。

引用文献

- 1) (株)日本ロボット工業会：21世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書 (2001)
- 2) 大道武生：RTオープン化はロボットに何をもたらすか？, 日本ロボット学会誌, Vol.21, No.6, pp.582-584 (2003)
- 3) 経済産業省：「次世代ロボットビジョン懇談会」報告書～2025年の人間とロボットが共存する社会に向けて～, pp.14-16 (2004)
- 4) 水川 真：産業機器・ロボット標準ネットワークインタフェース：ORiN, 日本ロボット学会誌, Vol.21, No.6, pp.585-590 (2003)
- 5) NEDO：平成16年度 ロボット開発の開発基盤となるソフトウェア上の基盤整備「RTオープンアーキテクチャと普及システムの調査研究」成果報告書 (2005)
- 6) 尾崎文夫・橋本英昭：ロボットプラットフォーム～オープンロボットコントロールアーキテクチャ～, 東芝レビュー, Vol.59, No.9, pp.20-24 (2004)
- 7) 吉川 毅・橋場参生・他：福祉施設における自律型運搬ロボットの開発 - システム構成と実地評価試験の結果 -, 第18回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.1335-1336 (2000)
- 8) 吉川 毅・橋場参生・他：福祉施設における自律型運搬ロボットの開発(第1報) - 全体システムの構成 -, 北海道立工業試験場報告, No.299, pp.95-104 (2000)
- 9) 吉川 毅・橋場参生・他：福祉施設における自律型運搬ロボットの開発(第2報) - 実地評価試験 -, 北海道立工業試験場報告, No.299, pp.105-110 (2000)
- 10) 中西洋介：低コストセンサ類を使用した農用車両の自律走行, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'03講演論文集, 1P1-1F-G4 (2003)
- 11) 中西洋介・鈴木慎一・多田達実：低コストセンサ類を使用した農用車両の自律走行, 北海道立工業試験場報告, No.302, pp.23-32 (2003)
- 12) 中西洋介, 他：農作業車両自律走行作業支援システムの開発, 北海道立工業試験場報告, No.300, pp.43-51 (2001)
- 13) 橋場参生・高橋裕之・中西洋介・鈴木慎一：CANを用

- いた移動ロボット用分散制御システムの開発, 日本機械学会 2004年度年次大会講演論文集 (5), pp.321-322 (2004)
- 14) 橋場参生・吉川 毅・鈴木慎一：二次元時空間画像および超音波センサを用いた屋内移動ロボットの自己位置同定実験, 第19回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.1017-1018 (2001)
 - 15) 橋場参生・吉川 毅・鈴木慎一：画像情報を用いた屋内移動ロボットの自己位置同定方法, 北海道立工業試験場報告, No.301, pp.9-15 (2002)
 - 16) 中西洋介・高橋裕之・橋場参生：車載ネットワークCANによる履帯トラクタの自律および遠隔走行制御, 農業機械学会 第63回年次大会講演論文集 (2004)
 - 17) 橋場参生・高橋裕之・中西洋介・鈴木慎一：走行ロボット及び電動車椅子への適用を目的とするCANを用いた制御ネットワーク, 第21回日本ロボット学会講演会予稿集, 2B16 (2003)
 - 18) 橋場参生・高橋裕之・中西洋介・鈴木慎一・中島康博：走行ロボット及び電動車椅子への適用を目的とするCANを用いた制御ネットワーク～機能モジュールを用いた屋内走行ロボットの構築～, 第22回日本ロボット学会講演会予稿集, 1C27 (2004)
 - 19) 中島康博・橋場参生・高橋裕之：移動系福祉機器用ネットワークの試作開発, 第20回リハ工学カンファレンス講演論文集, pp.66-67 (2005)