

# 富士ソフト・筑波大学ジョイントチームによるつくばチャレンジ 2009 への取り組み

富士ソフト (株) ○石田 卓也, 関口 誠, 岡村 公望, 福永 和海, 筑波大学 大矢 晃久

The activity of FUJISOFT-Univ. of Tsukuba joint team towards the RWRC2009

○Takuya Ishida, Makoto Sekiguchi, Kimimochi Okamura and Kazumi Fukunaga, FUJISOFT Inc.

Akihisa Ohya, Univ. of Tsukuba

Abstract: We are developing intelligent software modules for mobile robots in “Intelligent RT Software Project.” RWRC2009 (“Tsukuba Challenge2009”) is an ideal environment for evaluation of the modules in outdoor. We introduce our approach to RWRC2009 in this report.

## 1 はじめに

サービス産業で利用されるロボットの基本機能として、人のいる環境にて自律的に移動できることが重要となる。筑波大学と富士ソフトのチームは、経済産業省(平成 20 年度からは NEDO)からの委託事業である「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」においてサービス産業分野での移動知能基本モジュールの開発を進めている[1]。

我々は、移動知能基本モジュールの動作評価を行う実証試験の場所として最適な屋外環境が提供される「つくばチャレンジ 2009」に参加することとした。外界の環境をどう認識し、障害物をどう安全に避けるかはロボットの完成体の動作であるとともに、プロジェクトで開発している各モジュールの機能・性能を評価することにもつながる。我々は昨年度の「つくばチャレンジ 2008」にも参加しており[2]、そこで抽出した課題への対応となる機能を追加して「つくばチャレンジ 2009」へ挑戦する。本稿では、開発したモジュールを利用していかにリアルワールドでの自律走行に挑戦していくかを報告する。

## 2 つくばチャレンジ

つくばチャレンジ [Real World Robot Challenge (RWRC)]は、実際に人が生活する街の中で、自律型ロボットが速度を競うのではなく、『安全かつ確実に動く』ことを目指す技術チャレンジである[3][4]。

昨年度のつくばチャレンジ 2008 の課題は、「つくば中央公園」に沿う遊歩道の約 1km のコースを 2 時間以内に走行するものであった。コースとなる遊歩道は主に散策の歩行者や自転車用であり、道幅はおよそ 8~15m で左右や中央に街路樹や植え込みなどがある。100m 程度のトライアルコースを通過できたチームが本線に進むことが出来る。つくばチャレンジ 2008 にて完走を果たしたチームは、1 チームのみであった。

本年度のつくばチャレンジ 2009 の課題は、「つくば中央公園」内を周回する 1km 強のコースを 2 時間以内で走行するものである。トライアルコースは 120m 程度となる。昨年度との違いとしては、道幅が 2~6m 程度と狭くなったことや、周辺に目印となる障害物がない広い空間が存在したり、左右と上方を木々に囲まれた部分や、緩やかなカーブが連続する部分などが存在しており、走行の難易度は上がっているといえる。

## 3 つくばチャレンジ 2008 への挑戦結果

### 3.1 走行戦略

走行の基本戦略としては、事前に走行するための経路を地図上で指定する地図ベース走行を基本とした。

#### 3.1.1 自己位置の同定

地図ベース走行ではロボットの自己位置の精度が重要となる。自己位置は、車輪のエンコーダ値を積算する自己位置推定機能により求め、さらに外界センサのデータから、ICP スキャンマッチングを用いて自己位置を補正する自己位置補正機能の組み合わせによって同定することとした。

ICP スキャンマッチングを用いた自己位置補正機能では、事前に取得する環境地図と走行中に取得する周辺形状に差分が発生すると補正に誤りを生じる可能性があるため、ロボットの周囲をギャラリーや他の参加ロボットに囲まれ、周辺環境をスキャン出来なくなると自己位置の補正精度が低下してしまう。そこで、LRF のスキャン面が水平ではなく斜め上方へ傾くように LRF を設置することによりギャラリーや他の参加ロボットの頭越しに周辺形状を取得できるようにして、自己位置補正機能の性能の安定を図った。

#### 3.1.2 障害物への対応

事前に指定する経路は障害物の存在しない領域を指定するが、移動障害物などにより指定経路を塞がれることが想定される。

我々のプロジェクトでは障害物回避のための移動知能基本モジュールの開発も実施しているが、昨年度はスケジュール上、モジュールが完成していなかった。そのため障害物への対応は暫定版として作成した。

障害物への対応の内容としては、予定走行経路上に障害物を発見した場合、一時的に走行を停止する。その後、事前に用意しておいた対となる経路に乗り換えることにより障害物を回避することとした。しかし対となる経路を予め全ての経路に準備することは難しく、対となる経路も塞がれた場合は走行不能となっていた。

## 3.2 ハードウェア構成

### 3.2.1 移動ロボット台車

台車はつくばチャレンジ 2009 年度版と特に変更はない。2009 年度版は「4.2.1 移動ロボット台車」に記載。

### 3.2.2 搭載センサ

搭載センサを Table.1 に示す。

Table.1 mounted sensors

センサ	数	用途
エンコーダ	2	自己位置推定
LRF : Top-URG (UTM-30LX)	2	自己位置補正
	1	障害物回避

### 3.3 走行結果

トライアルの前日に行われた合同試走会にて 2 度の完走を果たした。トライアルでは 1 回目の走行にて、5 分 51 秒で規定の 100m を走破した。本線ではスタート付近でコースアウトし、リタイアとなった。

### 3.4 抽出課題

本線でのコースアウトは、ICP スキャンマッチングを用いた自己位置補正機能の不具合が原因となっていた。不具合内容としては、環境が不変であると想定した、高さが 1.8m 以上 3.6m 以下の LRF 点群のみを使用して ICP スキャンマッチングを行っていたが、本走行では高さが約 2m の障害物が存在していたため、事前に取得した環境地図と実際に取得した LRF 点群に差分が生じ ICP スキャンマッチングが異常な値を出力していた。

また試走会では、障害物回避機能のための対となる経路の両方が、障害物に塞がれるケースが何度か発生し走行不能と陥ることがあった。

## 4 つくばチャレンジ 2009 への挑戦

### 4.1 走行戦略

走行の基本戦略としては、昨年に引き続き、事前に走行するための経路を地図上で指定する地図ベース走行を基本とした。昨年度の抽出課題への対応として、自己位置の同定の性能向上を図り、障害物回避機能の搭載を行った。

#### 4.1.1 自己位置の同定

自己位置推定機能では、ジャイロを搭載し精度向上が可能であるか評価することとした。小石や枝などを踏んだ場合にエンコーダからの方向成分は誤差が増加するが、ジャイロからの方向成分はそのような誤差は含まない。

また、昨年度の自己位置補正における不具合対応のため、本年度は自己位置補正機能の改善として、下記 3 点の対応を行った。

- 最尤推定機能の搭載

自己位置推定機能により自己位置の誤差分散を逐次算出し、外界センサを使用しての自己位置補正機能による自己位置を、確率的に融合することとした。自己位置推定機能による自己位置の誤差分散に伴い、自己位置補正の影響が変動することになる。

- LRF 点群を使用する高さ帯域制限を変更

昨年度の本走行で存在した高さが 2m 程度の障害物に対応する為、高さ帯域を調整することとした(実際の高さ帯域は現在調整中)。帯域が狭くなると LRF により取得できる点群の数も減るため、1 度のスキャンだけでなく数回のスキャンを結合して ICP スキャンマッチングへの入力とする。

- GPS による自己位置補正

GPS も使用し自己位置補正に有用であるか評価することとした。GPS も使用することにより、ICP スキャンマッチングへの自己位置補正の依存具合を下げ、ICP スキャンマッチングの誤りへの対応を試みる。

#### 4.1.2 障害物への対応

昨年度は未完成となっていた、障害物回避関連のモジュールの開発を行った[5]。開発したモジュールを組み込み、障害物回避機能を実現し搭載した。

障害物回避機能の処理内容としては、LRF から取得する周辺形状から、予定走行経路上の障害物を検出し、障害物まである程度間隔をあけて停止し、その後障害物が解消されない場合に局所的に経路を変更し障害物の横を通過するような走行を実現する機能である。

本来の基本戦略では障害物が存在しない経路を事前に与えるため、通常、障害物回避機能は動作しない。経路上に障害物が存在するということは、障害物が移動してきたものと考えられるため基本的には停止して待機していれば解消するものであると考えられる。

また障害物回避のために変更する局所的な経路は、事前に経路ごとに指定する道幅内に収まるような経路とし、あくまでも事前に指定した領域から逸脱した領域は走行しないようにした。

## 4.2 ハードウェア構成

### 4.2.1 移動ロボット台車

機体として移動ロボット研究所製の TUFUS を使用した。TUFUS は屋外走行に使用するため、駆動輪及び従動輪に大きめのものが採用されており、多少の路面段差等に対応可能となっている。TUFUS の仕様を Table.2 に、概観を Fig.1 に示す。

Table.2 Specifications of the TUFUS

外形寸法	W75[cm] × L100[cm] × H150[cm]
総重量	24[kg] (内バッテリー 8[kg])
動力源	DC モータ×2 合計出力: 120[W]
操舵方法	二輪独立駆動
車輪直径	動輪 20[cm] キャスタ 14[cm]
走行 UNIT OS/CPU	SH2 (OS: なし)
統括 UNIT PC	ノート PC (OS: Linux)



Fig.1 Mobile robot “TUFUS”

#### 4.2.2 搭載センサ

搭載センサを Table. 3 に示す。昨年度からの追加は、GPS とジャイロと Top-URG1 台となる。自己位置補正のために上方に傾けて設置した LRF3 台の概観を Fig. 2 に示す。後方へ向けた LRF が本年度の追加となる。

Table.3 mounted sensors

センサ	数	用途
エンコーダ	2	自己位置推定
ジャイロ (CRS03-04S)	1	自己位置推定
LRF : TOP-URG (UTM-30LX)	3	自己位置補正
	1	障害物回避
GPS : アンタレス 48	1	自己位置補正



Fig.2 mounted LRFs for Position Correction

#### 5 ソフトウェア構成

「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」で開発中である移動知能基本モジュールの中から必要なものを利用して、自己位置推定・自己位置補正・動作計画・障害物回避・走行制御の5つの機能を実現した。構築したソフトウェアの構成を Fig. 3 に示す。

開発している移動知能基本モジュールは、純粋なロジックのモジュールとして開発している。また粒度を小さくしているため戦略の変更に対応しやすいものとなっている。移動知能基本モジュールの入力データ・出力データを、有機的に接続させることにより各機能を実現することが出来る。

ロボットが実空間を走行するには、環境に応じてハードウェアを変更し、搭載する機能も変更するなど、走行のモデルを変更することが想定される。移動知能基本モジュールは変更されるハードウェアパラメータは変更可能としている。また実現する機能は、移動知能基本モジュールのパラメータ調整により、走行する環境に適した機能と調整することが出来る。

#### 6 搭載機能

##### 6.1 自己位置推定機能

自己位置推定機能とは、車輪のエンコーダ値を元に自己位置とその誤差分散を算出する機能である。しかしこの機能は路面状態の影響を受けやすく、自己位置の誤差は蓄積する。

左右の動輪に設置されたエンコーダから取得するエンコーダ値により単位時間におけるロボットの移動量を算出する「内界センサによるロボットの自己位置・姿勢トラッキングモジュール」と、単位時間におけるロボットの移動量を累積することにより自己位置とそ

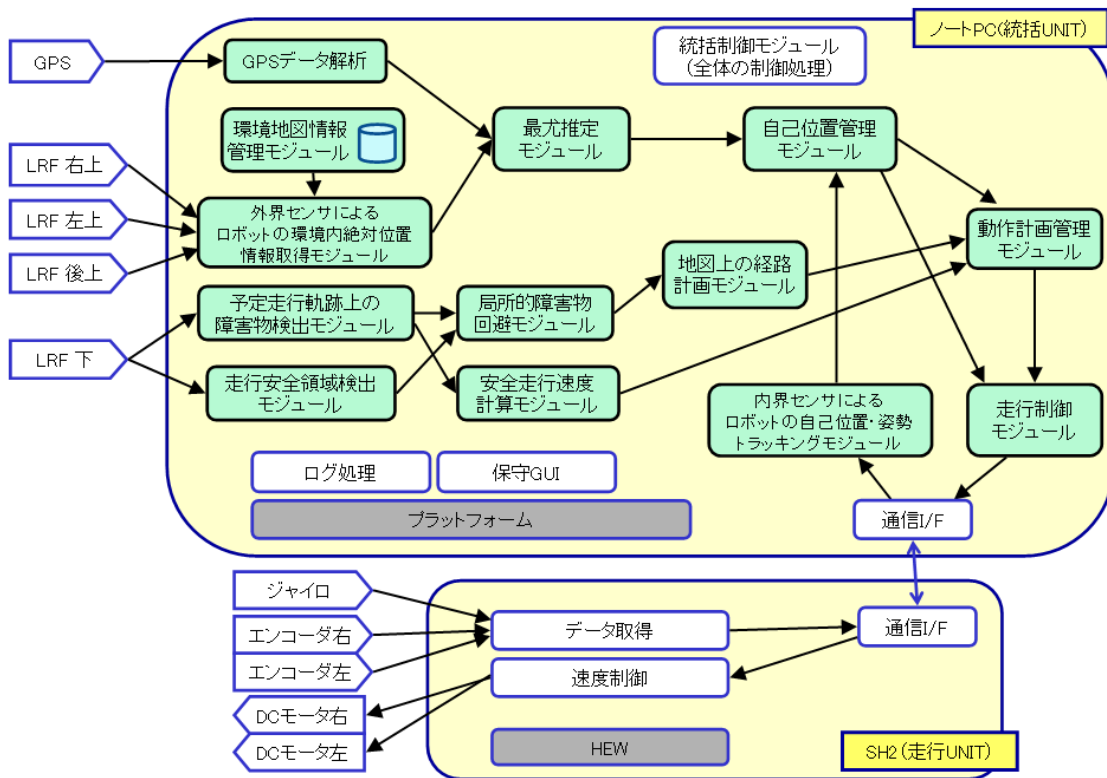


Fig.3 Software Architecture

の誤差分散を算出し、自己位置データを他のモジュールに提供する「自己位置管理モジュール」により本機能を実現した。

## 6.2 自己位置補正機能

### 6.2.1 ICP スキャンマッチングによる自己位置補正

ICP スキャンマッチングによる自己位置補正機能とは、走行中に外界センサにより取得した周辺形状と、事前に周辺形状を取得しておいた環境地図を比較して、環境地図に対する自己位置のずれを算出する機能である。

環境地図を管理・提供する「環境地図情報管理モジュール」、環境地図と外界センサにより取得した周辺形状を比較し自己位置のずれを算出する「外界センサによるロボットの環境内絶対位置情報取得モジュール」により本機能を実現した。算出した自己位置のずれの情報は「最尤推定モジュール」へ出力する。

### 6.2.2 GPS 取得データによる自己位置補正

GPS から自己位置を取得し、環境地図に対する自己位置のずれを算出する機能である。自己位置のずれの情報は「最尤推定モジュール」へ出力する。

### 6.2.3 最尤推定

自己位置推定機能による自己位置と、「ICP スキャンマッチングによる自己位置補正」もしくは「GPS 取得データによる自己位置補正」により算出した自己位置のずれの情報から、最尤推定により補正された自己位置を算出する機能である。

自己位置とその誤差分散と、自己位置のずれ情報を入力として、尤もらしい自己位置とその誤差分散を算出する「最尤推定モジュール」により本機能を実現した。算出した自己位置情報は「自己位置管理モジュール」へ出力される。

## 6.3 動作計画機能

動作計画機能とは、指定した走行経路を実現できるような走行指示と、その走行指示を発行すべき位置で構成される動作計画を、管理・実行する機能である。つくばチャレンジではスタート地点とゴール地点が事前に指定されており走行経路は固定となるため、動作計画は走行開始前に与えることとした。

ここで障害物回避機能は、障害物回避のために、随時、部分的に動作計画を書き換える。動作計画機能は書き換えられた動作計画の通りに走行指示を発行する。

動作計画の指示を受けて保管し、自己位置を監視して、走行指示発行位置に到達したら「走行制御モジュール」へ走行指示を発行する「動作計画管理モジュール」により本機能を実現した。

## 6.4 障害物回避機能

機能の詳細は「4.1.2 障害物への対応」に記載してある。

LRF から取得する周辺形状と動作計画から予定走行軌跡上の障害物を検知する「予定走行軌跡上の障害物検知モジュール」、予定走行軌跡上に障害物を検知した場合に衝突しないような安全速度を算出する「安全走行速度計算モジュール」、LRF から取得する周辺形状から走行に安全な領域を算出する「走行安全領域検出モジュール」、予定走行軌跡上の障害物に接触しないよう

な走行経路を算出する「局所的障害物回避モジュール」により本機能を実現した。

## 6.5 走行制御機能

走行制御機能とは、指定した軌跡の追従、指定した姿勢への回転、停止などを実現するような、ロボットの目標速度・目標角速度を算出する機能である。

自己位置と走行指示から目標速度・角速度を算出する「走行制御モジュール」により本機能を実現した。算出した目標速度・角速度は走行ユニットに出力されモータの速度制御が行われる。

## 7 まとめ

昨年度に引き続き「つくばチャレンジ」に参加することにより、昨年度に抽出した課題への対応の確認を行う場を得た。昨年度に抽出した課題の中で走行に大きな影響のあった自己位置の同定機能の性能向上と障害物回避機能の強化を中心に開発を行った。

プロジェクトで開発している汎用モジュールを利用することで、ロボットが走行するための基本的な機能を満たすことが出来た。しかし、つくばチャレンジのように屋外の実空間を走行させるには、搭載する機能のパラメータの調整や、想定しにくい状況への対応が必要となる。このようにつくばチャレンジへの挑戦は、開発モジュールのロバスト性を向上させるための課題の抽出を行うには最適となる。今後も開発・評価を重ね、将来のロボットビジネスが可能な実用モジュールを実現すべく努力していく予定である。

## 謝辞

本稿の研究開発は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」の一環として実施された。関係者各位に感謝の意を表します。

LRF を貸与してくださった北陽電機 (株) に感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] 岡村 公望, 福永 和海, 大矢 晃久, 油田 信一: “移動ロボット用基本知能のモジュール化～開発モジュールの紹介と RTC 化への取組み～”, RSJ2009, 2009.
- [2] 石田 卓也, 関口 誠, 原田 毅志, 岡村 公望, 福永 和海, 吉田 光治, 大矢 晃久: “富士ソフト・筑波大学ジョイントチームによるつくばチャレンジへの取組み 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトで開発中の実用モジュールの屋外評価”, SI2008, 114-7, 2008.
- [3] 油田 信一, 水川 真, 橋本 秀紀, 田代 泰典: “つくばチャレンジ 2008 実世界で働くロボットを目指して: 課題とチャレンジの要点”, SI2008, 113-1, 2008.
- [4] ニューテクノロジー振興財団ホームページ  
<http://www.robomedia.org/challenge/>
- [5] 石田 卓也, 山田 大地, 岡村 公望, 大矢 晃久, 油田 信一: “再利用性を考慮した移動ロボット用ソフトウェアモジュールの開発 -目的地までの指定経路走行に適した障害物回避手法-”, RSJ2009, 2009.