

Fig. 70 3次元計測に基づく3自由度経路計画

(ウ) 機能統合実機実験 (神戸実験)

これまで開発した, 各機能モジュールの連携動作を目的とする実機実験を 2010 年 3 月に神戸の公園にて実施した. 機能モジュールの連携内容は以下に示す 6 通りを実施し, 6 種類すべてにおいて連携動作することを確認した. すべてのモジュールを統合したモジュール結線図を Fig. 71 に示す.

- 1 : 経路追従+地図管理 (=自律移動基本形)+走行系
- 2 : 経路追従+地図管理+フォーメーション+走行系 (Fig. 73)
- 3 : 経路追従+地図管理+障害物回避+走行系
- 4 : 経路追従+地図管理+位置推定+走行系
- 5 : 経路追従+地図管理+位置推定+障害物回避+走行系 (Fig. 74)
- 6 : 人追従機能の基本形+フォーメーション+走行系 (Fig. 72)

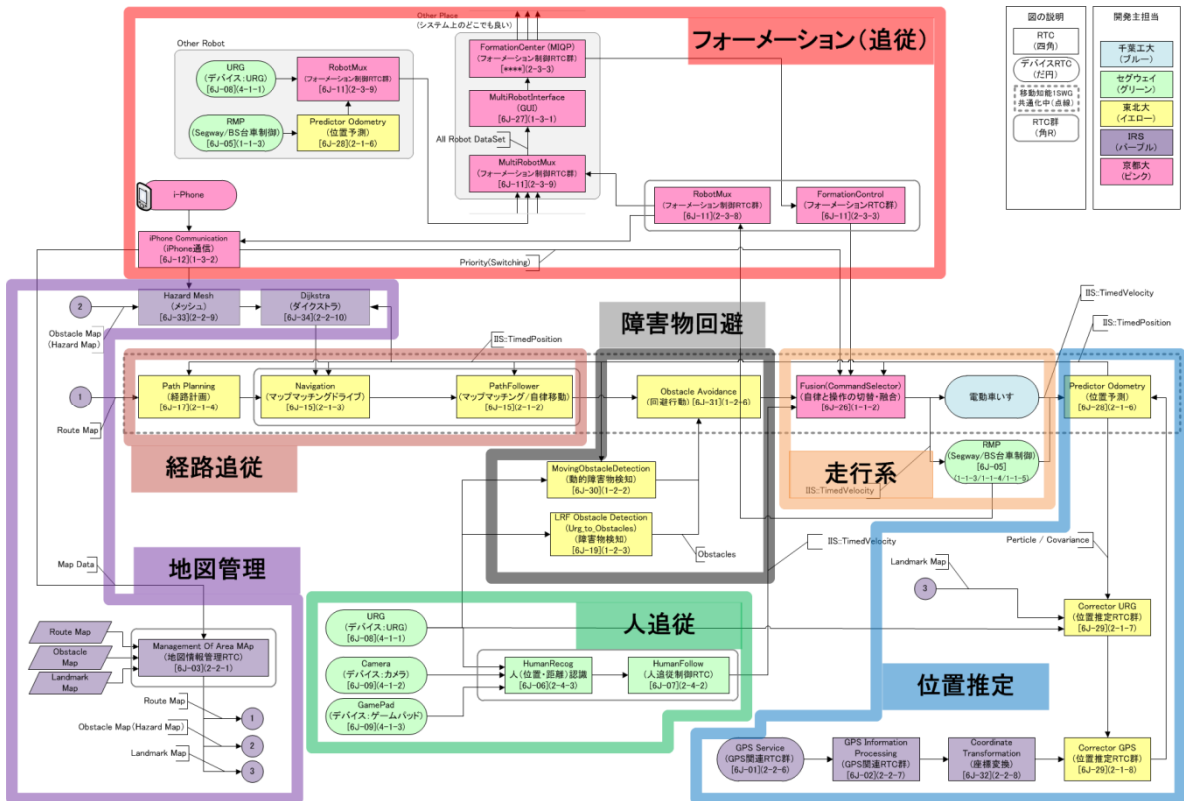


Fig. 71 全てのモジュールを統合した結線イメージ図

・人追従機能の基本形+フォーメーション+走行系

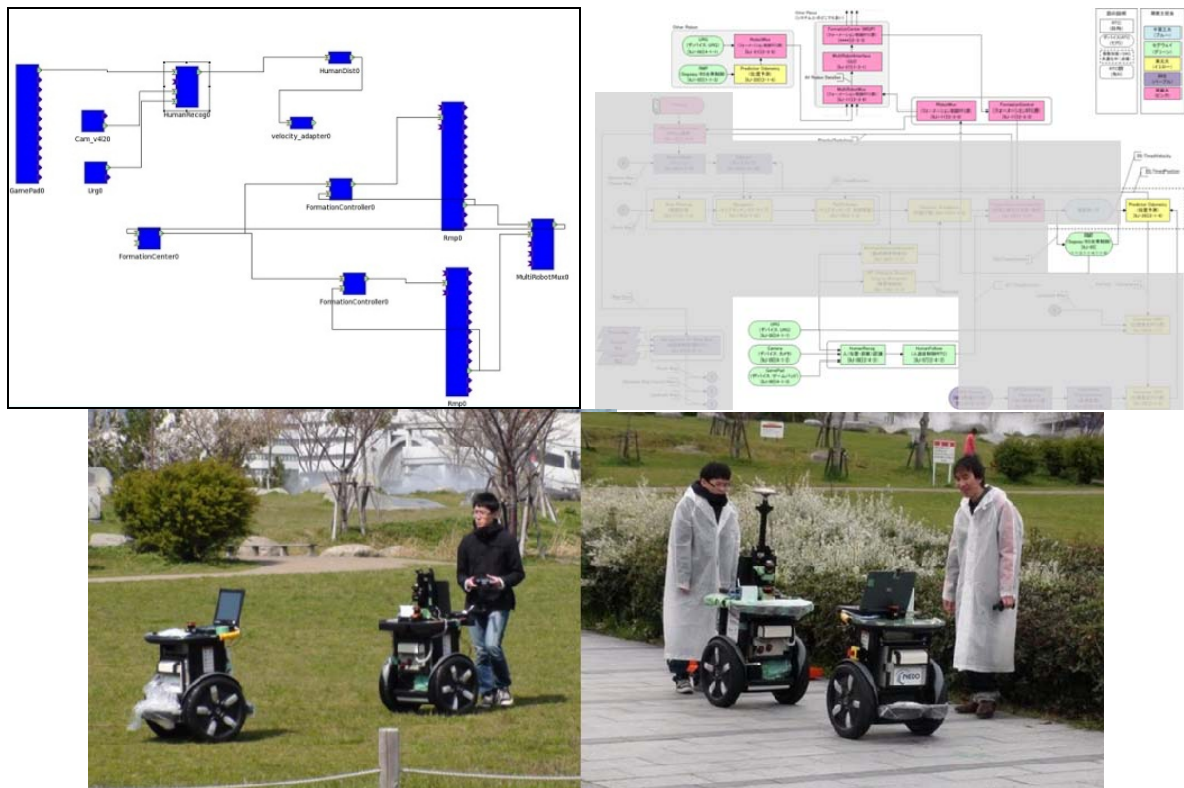


Fig. 72 人追従機能の基本形+フォーメーション+走行系  
(左上) モジュール結線図、(右上) 結線イメージ図、(下) 実験の様子

・経路追従+地図管理+フォーメーション+走行系

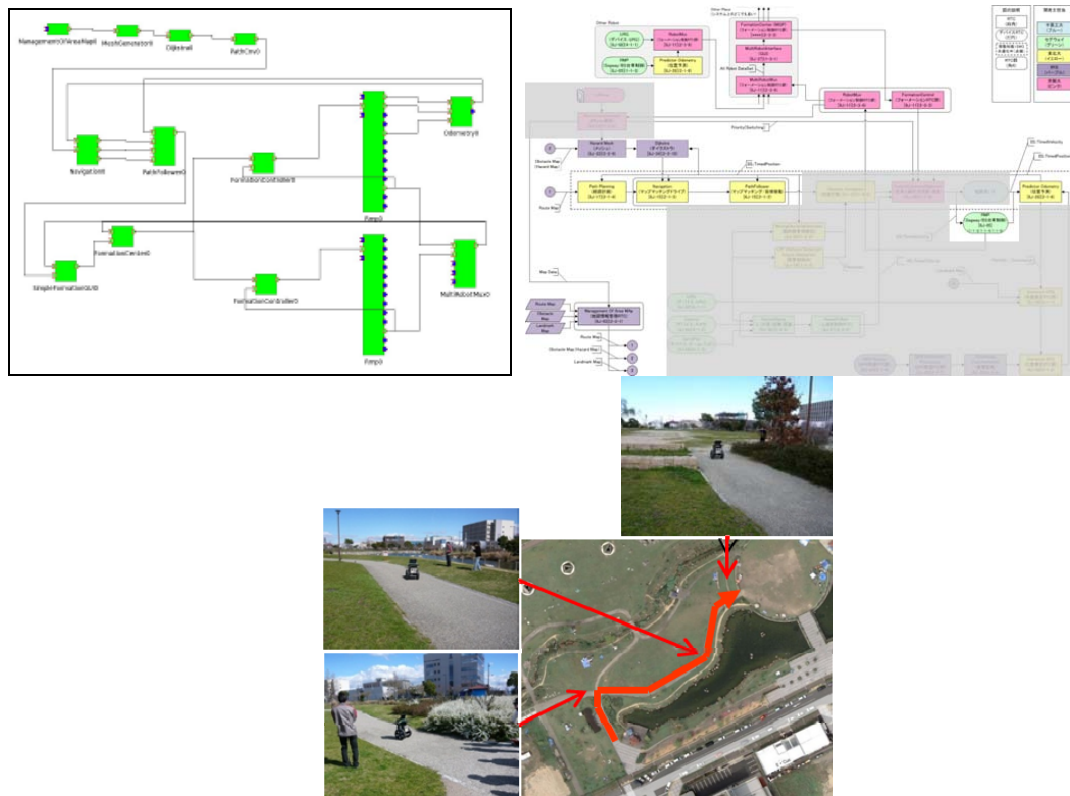


Fig. 73 経路追従+地図管理+フォーメーション+走行系  
(左上) モジュール結線図、(右上) 結線イメージ図、(下) 実験の様子

・経路追従 + 地図管理+位置推定+障害物回避+走行系

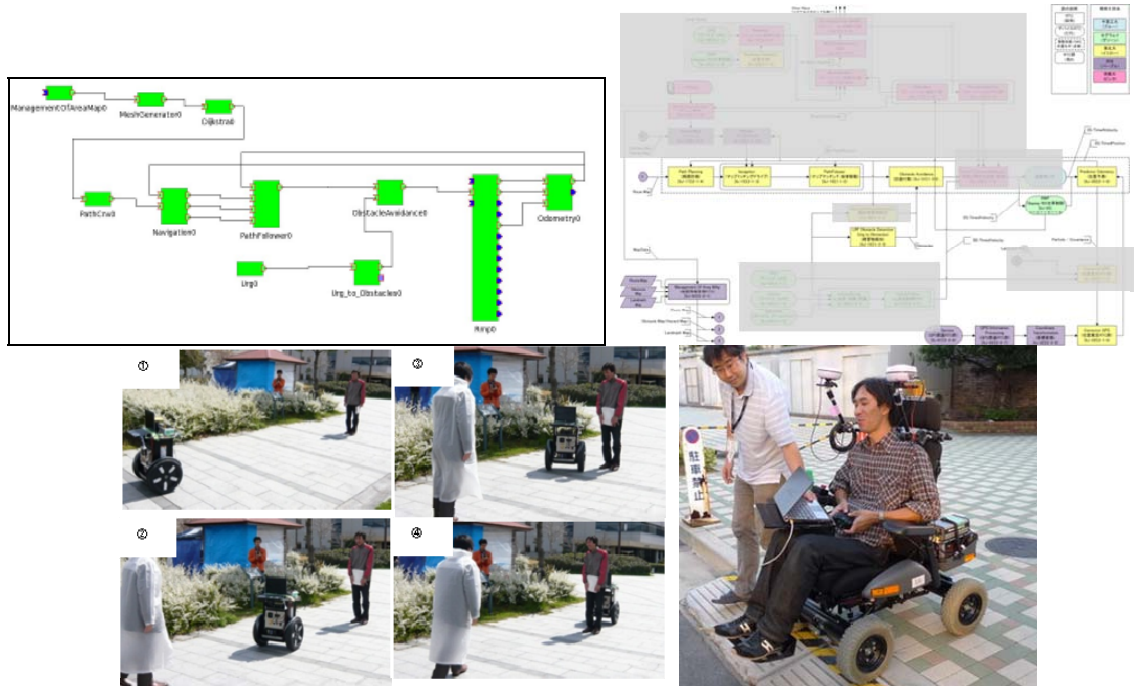


Fig. 74 経路追従 + 地図管理+位置推定+障害物回避+走行系  
(左上) モジュール結線図、(右上) 結線イメージ図、(下) 実験の様子

(エ) 機能統合実機実験（千葉工業大学実験）

目的：

開発したモジュール群を統合し，動作することを検証する．

成果：

・実験環境

実験は2011年1月に，千葉工業大学内道路で行い，ロボットとして千葉工大にて開発を行った4輪ステアリング型移動ロボット Four-X を用いる．実験に用いたロボットを下図に示す．Four-X はステアリング型の4輪駆動車であり，前後車輪がそれぞれペアとなり，ステアリング機構を有する特殊な構造を有する．ステアリング機構と同様に前後旋回動作が可能であるが，超信地旋回及び車軸方向移動はできない．しかしながら，4輪駆動であることから斜面等の登坂性能や不整地走行性能等は優れており，屋外利用に適している．



Fig. 75 実験に用いた電動車いす Four-X と搭乗時の様子

実験に用いたモジュール構成を下図に示す．モジュールには Four-X 用モジュール，測域センサモジュール，自律移動モジュール群，位置推定モジュール群，及びマップ管理モジュール群を用いた．Four-X は旋回時にロボット中心が車軸方向に移動するため，y 軸方向の速度が発生する．また，Four-X は内部で推定位置を計算し，位置のみを出力する実装となっている．そのためオドメトリ-車体速度の変換モジュールを作成することにより，これらの問題に対応した．また，位置推定モジュール群の入力については y 軸方向速度の入力も可能な実装となっており，そのまま入力することで対応可能であった．

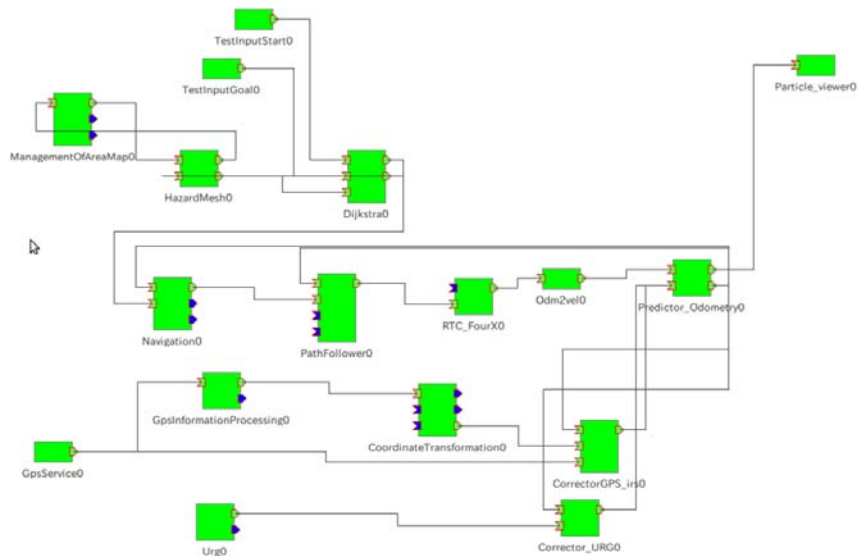


Fig. 76 モジュール構成

前述したように、Four-Xはその場旋回ができない．そのため、その場旋回を前提としたマップマッチングドライブモジュール群ではそのままでは対応出来ない．しかしながら、経路走行のためのパラメータを、その場旋回を行う許容角度を最大値とし、2 m 前から次の直線に乗り換えるよう設定することで、その場旋回を避け、スムーズな走行を実現した．

下図に実験に用いたハザードマップを示す．図中黒色で示す部分が進入不可とされている領域であり、1ピクセルが50cmであり、原点座標が関東9系直交座標系にて16933.83 -34632.67、角度19.5度である．実験においては図中Start(関東9系直交座標系16943.0, -34605.0)からGoal(関東9系直交座標系16965.0, -34602.0)の2点を指示し、マップ管理モジュールにより経路計画を行い、得られた経路を自律走行モジュール群に入力し自律移動を行った．

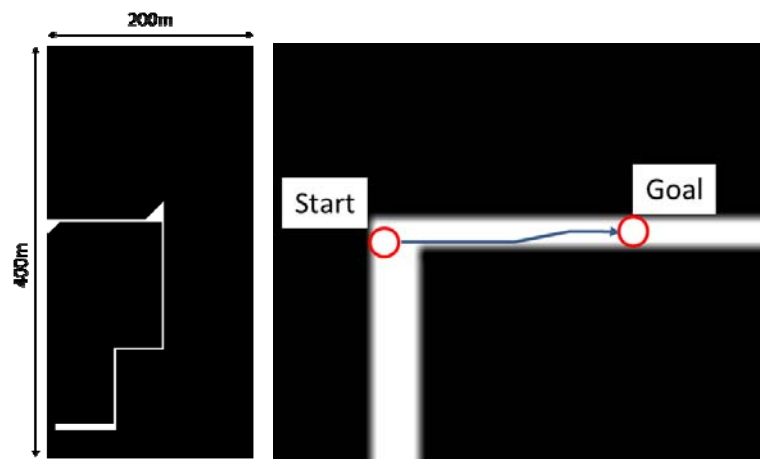


Fig. 77 ハザードマップ

下図に実験の様子を示す．実験は2011年1月9日と、2月23日に行った．実験ではモジュールの起動と共に、目的位置を出力しマップ管理モジュール群により経路を生成し、自律走行モジュール群によりFour-Xに人が搭乗した状態で走行を行い、目的地までの移動を行った．



Fig. 78 実験の様子

下図に実験の際に得られた推定位置の軌跡を示す。下図において、スタート直後に図中下方向にずれて走行している。これはハザードマップが50cm単位でありその中央が走行経路とされることと、ハザードマップの座標変換によるものである。

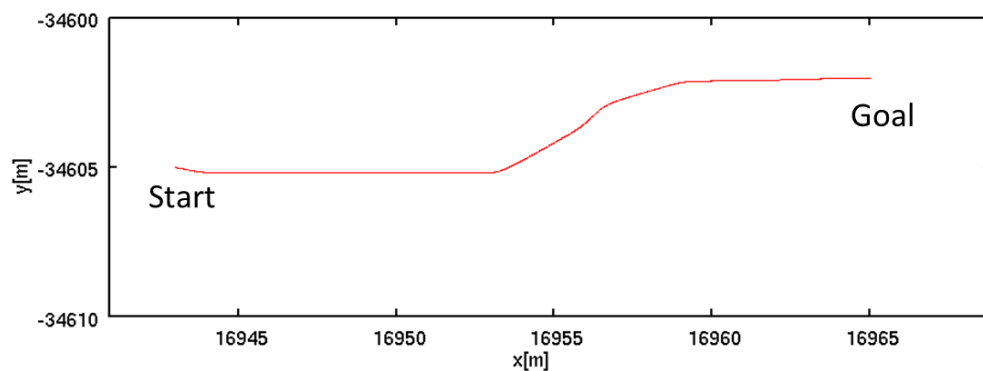


Fig. 79 走行実験により得られた推定位置の軌跡

実験を行う際に、デバッグ用に表示していたテキストが高負荷となってしまう、PCの処理速度が低減し制御ループがうまく回らず、蛇行走行することが見られた。RT-SystemEditorの保存機能が効かず、毎回パラメータを入力することになったため準備に時間を要する等、モジュールのインターフェースの整合だけでなく、システム全体を動作させる上での課題が多々見られた。

#### (オ) 機能統合実機実験（東北大学実験）

目的：

東北大学工学部周辺にて、開発したモジュールを用いた統合実験を行った。実験には千葉工業大学の全方向車椅子を移動台車として用い、人が搭乗した状態での実験を行った。

成果：

実験は2011年12月に下記図に示す、東北大学構内にて、実験を実施した。実験環境を下図に示す。経路は緑線で示す全周約300mの経路である。

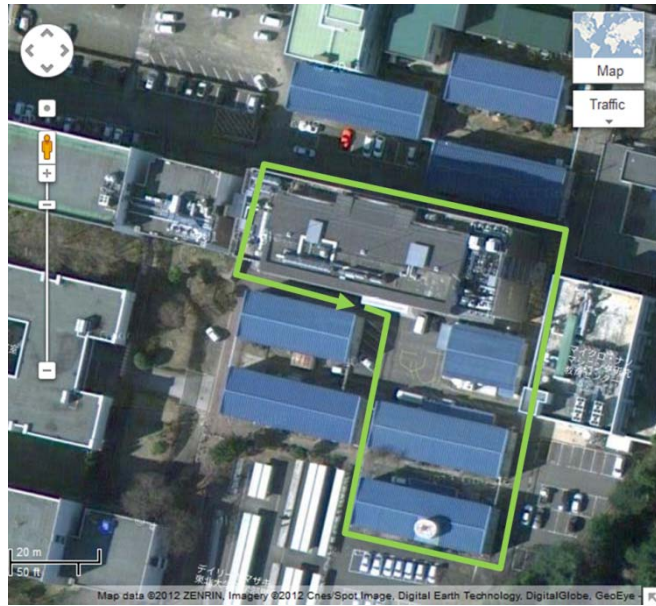


Fig. 80 実験環境および走行経路

実験に用いたロボットを下図に示す。実験には千葉工大にて開発された全方向車椅子台車を用い、位置推定及び障害物回避のため測域センサを搭載した。また、走行状態の記録のため GPS およびビデオカメラを搭載した。実験では測域センサを用いて位置修正及び障害物回避を行い、自律移動により経路を走行する。また、途中ジョイスティックによる操縦に切り替え、手動操縦により走行を行う。



Fig. 81 実験に用いた全方向車椅子および搭乗時の様子

モジュール構成を下図に示す。モジュールにはジョイスティック及び自律移動モジュール群、障害物回避モジュール群、位置推定モジュール群及び全方向車椅子モジュールを用いる。また、全方向車椅子からの出力がオドメトリのみであることから、オドメトリから車体速度に変換するモジュールを介した。

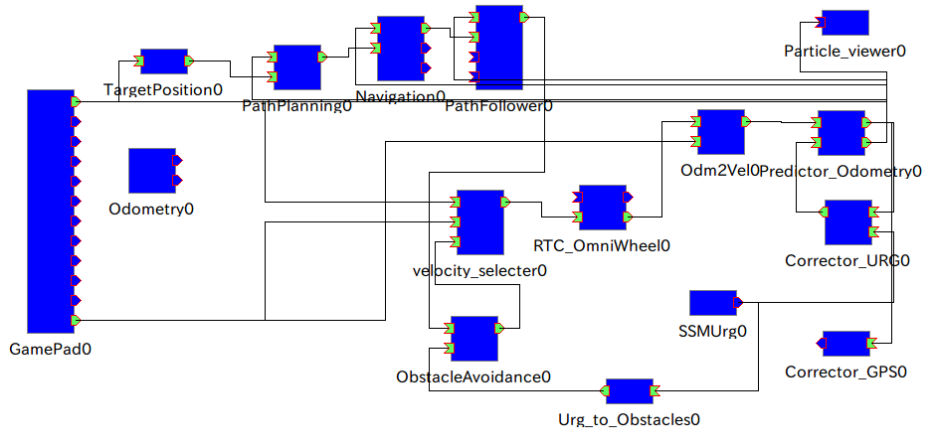


Fig. 82 モジュール構成図

下図に実験により得られた走行経路及びその様子を示す。図中緑線が目標経路であり、赤線が位置推定モジュール群により推定された推定位置、青線が位置修正のための既知物体情報である。ロボットは人を乗せた状態で図中 A からスタートし地図中を左回りに走行し E へ戻る経路を走行する。実験にて、図中 B に示す場所で障害物回避動作を行い、図中 C、D にて手動操縦に切り替え移動を行った。

これらの場所では推定位置が目標経路から離れ、自律走行モードから切り替わっていることが見られる。これにより、人乗りの車椅子による自律走行及び操縦を操縦者の意図のもと切り替えつつ走行を行うことが可能であることが確かめられた。

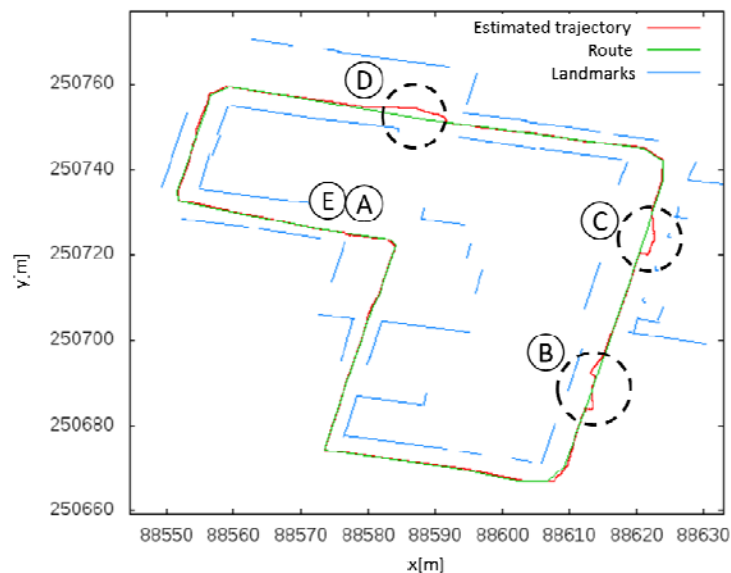


Fig. 83 走行経路及び位置修正用既知障害物地図





Fig. 84 自律移動 (A~E)

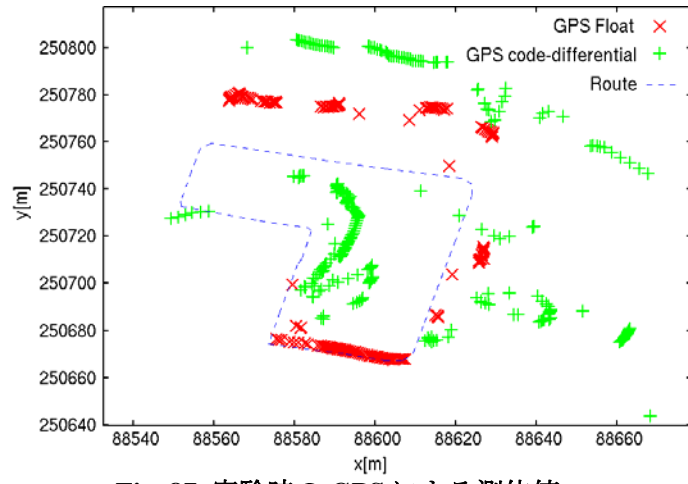


Fig. 85 回避 (B地点)



Fig. 86 操縦 (C, D地点)

なお、今回位置推定及び記録のため GPS を設置した。しかしながら、周囲が高い建物で囲まれているため、電波の反射等により十分な精度の測位が行われなかった。Fig. 87に実験時の GPS の測位値を示す。GPS の補正情報として JENOBA 社から得られる VRS-RTK-GPS 用の補正情報を用いた。図中青点線が走行した経路、赤で示す部分が Float 解であり、緑色で示す部分が Code-differential (DGPS) 解である。なお実験中数cm程度の精度が得られる Fix 解は得られなかった。Fig. 87において、一部を除いて Float 解及び DGPS 解ともに走行経路から大きく離れている。このため、GPS による補正が可能な場所が限られ、また良好な測位値と大きな誤差を含む測位値との判別が困難であるため今回は位置推定への利用を行わなかった。



**Fig. 87** 実験時の GPS による測位値