

## 3.4.1 移動知能（サービス産業分野の研究開発）

### 3.4.1.1 研究開発の概要

少子高齢化、労働力不足等の社会問題が顕在化する中、商業施設・交通施設・オフィス等時間的・空間的に変動し、人・障害物が混在する環境において、安全かつ適切な速度で移動し、案内・誘導・作業等の各種サービスを提供するロボットが、今後の高齢者の社会生活の質的向上及びサービス産業の発展に寄与する等大きな期待が寄せられている。しかしながら、従来の自律移動ロボットは、誘導ガイド・ランドマーク・反射板等によって位置を同定し、予め入力した経路地図により移動しながら仕事を行う等、その活用範囲は限定的なものとなっていた。また、ランドマーク等の設置や、周囲環境の地図作成を人が行っている点にも大きな制約があり、物品の配置が頻繁に変化する環境での稼働のためには、ランドマーク類や環境地図の更新・管理に膨大な人的コストが要求されている。公共施設等の、人の往来や障害物が混在し複雑に変化する環境で作業する移動ロボットの実用化には、

- ・様々な作業環境に対する導入と運用のロバスト性の向上
- ・作業環境内での作業遂行のロバスト性の向上

を実現する知能化技術の開発が不可欠であった。

本研究開発では、人が存在して複雑に変化しやすい環境下で、ロボットが確実に活動するために必要な知能化技術として、

- ・動的に変化する環境の中で安定にロボットが自己位置を認識する技術
- ・ロボット自身が周囲環境のセンシング結果を蓄積して環境地図を生成・管理する技術
- ・人や動く障害物を認識する技術
- ・人や障害物との衝突を回避しながら安全に走行する技術

を開発した。そして、これらの技術を様々なロボットシステムで利用できる形でモジュール化し、ロボットに統合して実環境で検証した。

本研究開発で開発した移動知能モジュールにより、作業環境内での作業遂行のロバスト性の向上に加え、自律移動に必要な情報をロボット自身が取得・更新することで、新規環境での動作開始に至るまでの準備作業の簡便化と運用中の物品の配置変化等への自動対応が可能となる。これにより、新規環境へのロボットの導入と運用に関するコストを大幅に削減できることから、今後期待される様々な施設へのロボットの普及を大幅に加速することが期待できる。

さらに、移動知能に限らず知能ソフトウェアの高度化、普及促進を図るため、双腕ロボットを用いた作業知能オープンソースの統合検証、環境側組み込み機器向け RT ミドルウェア導入キットの開発と知能モジュール群の連携評価、次世代ロボット知能化技術の相互運用性の検証を行った。

本研究開発の成果の普及のため、開発したモジュールの一般公開や国際ロボット展(2009年/2011年)でのデモ展示を行った。さらに、ステレオ画像処理ハードウェアは製品化し、販売を行っている。

### 3.4.1.2 研究開発の目標

本研究開発では、公共施設等の、人の往来や障害物が混在し複雑に変化する環境で、障害物や人に衝突することなく確実に目的地に到達できる移動ロボットの智能化技術を開発する。視覚認識をベースとした環境認識技術によりロバストな移動を実現することに加え、主要な機能単位でモジュール化して様々なロボットシステムで利用可能な再利用性を実現することを目指し、以下の機能モジュールで構成される移動知能モジュール群を開発した。

#### (1) 移動環境認識知能モジュール群

- ①自己位置認識に関する知能モジュール群（富士通、奈良先端大、豊橋技科大）  
カメラやレーザレンジファインダ等のセンサを用いて、ロボットの位置をロバストに認識するモジュール群
- ②地図情報生成に関する知能モジュール群（富士通、豊橋技科大）  
センシングの不確かさを考慮した確率モデルを用いて計測データを統合し、作業環境の地図を生成、管理するモジュール群

#### (2) 人環境安全移動知能モジュール群

- ①人・障害物認識に関する知能モジュール群（東大、東京理科大、豊橋技科大、富士通）  
ステレオビジョンによる計測で得られる運動物体・静止物体の情報や人パターン情報を用いて、人や障害物を検出するモジュール群
- ②動的経路計画に関する知能モジュール群（豊橋技科大、富士通）  
人や物体の動き、地図の不確かさを考慮した移動計画を行うモジュール群
- ③安全移動制御に関する知能モジュール群（豊橋技科大、富士通）  
計画された経路に追従する走行計画を行うとともに、センサを利用して不測の異常接近事態を検出して安全に緊急停止を行うモジュール群

#### (3) 知能モジュール群の有効性検証

- ①画像処理ハードウェア技術（富士通）
- ②移動知能用 RT ミドルウェア（セック）
- ③検証用ロボットシステムの構築・検証実験（各機関）

そして、上述したモジュール群を搭載した移動ロボットシステムが人の往来する実際の公共空間における移動作業を実行し、80%以上、所期の仕事を達成することを目標とした。

### 3.4.1.3 研究開発の成果

#### 3.4.1.3.1 移動知能モジュール群の開発

##### 3.4.1.3.1.1 移動知能システム構成

様々なロボットシステムで利用可能な再利用性の高い移動知能モジュール群を実現するために、本研究開発では移動機能を主要な機能要素単位で分割してモジュール化した。モジュールの粒度を主要な機能要素としたのは、これより大きくすると機能単位での再利用が難しくなり、逆に小さくするとモジュール間インタフェースを規定することが困難となるためである。

本研究開発の移動知能システムの構成図 3.1.1.-1 に示す。自己位置認識、地図情報生成／管理、人障害物認識、大域経路計画、局所経路計画、センサや走行制御等の機能モジュールから構成されており、これらの機能モジュールを各機関で分担して開発した。開発したモジュールを相互に接続することができるように、インタフェースを移動知能 SWG の共通インタフェースをベースにして揃えた。開発した移動知能モジュール群はハードウェア、ソフトウェア両方の再利用性を実現しており、様々なロボットシステムに利用することができる。

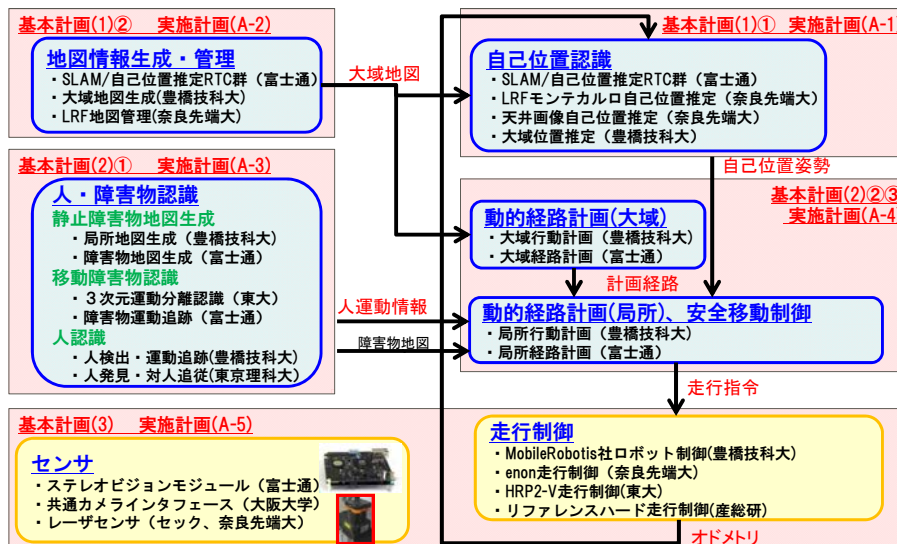


図 3.1.1.-1 移動知能システム構成

以下、各機関が開発したモジュールの詳細を記す。

### 3.4.1.3.1.2 環境認識、制御、ルート計画に関する智能モジュール群の研究開発（富士通株式会社）

#### （1）画像処理ハードウェアと画像処理モジュール群の開発

ロボットが人・障害物が混在する動的な環境を認識して安全かつ適切に行動を行うためには、膨大な画像データをリアルタイムで処理する能力が要求される。しかし、高性能 CPU はバッテリー動作する移動ロボットにとっては消費電力が大きく、市販の組み込み用プロセッサでは処理能力が不十分であるという課題があった。そこで、我々は NEDO「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」（平成 17～19 年度）で次世代ロボットの視覚機能の基盤となる画像処理用 LSI を開発した。そして、次世代ロボット共通基盤プロジェクトの開発成果を様々なロボットで活用できるようにするために、本研究開発ではこのデバイスを活用したステレオ画像処理ハードウェアと本ハードウェア上で動作する画像処理用モジュール群を開発した。ハードウェアだけではなくソフトウェアも整備することで、成果の広い普及を目指している。

ステレオ画像処理ハードウェアは既に製品化しており、富士通九州ネットワークテクノロジーズより製品名「ステレオビジョンモジュール」で販売を行っている。さらに、画像処理用モジュール群もステレオビジョンモジュール製品サイトで公開している。

##### (1)-①画像処理ハードウェアの開発

##### 【（3）智能モジュール群の有効性検証：①画像処理ハードウェア】

##### (a) 画像処理 LSI

NEDO「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」で開発した LSI(ステレオビジョン LSI)の外観を図 3.1.2.-1 に示す。ステレオビジョン LSI は、パターンマッチング処理、特徴抽出処理、フィルタリング処理、カラー処理を実行する専用の演算回路と、画像データ管理、外部プロセッサインタフェースを 1 チップに内蔵した LSI である。高い画像処理性能を実現するために、256 個の Processing Element が周波数 200MHz で動作して、並列に演算処理を行う。消費電力は 3W と低消費電力を実現している。

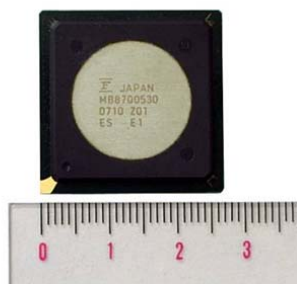
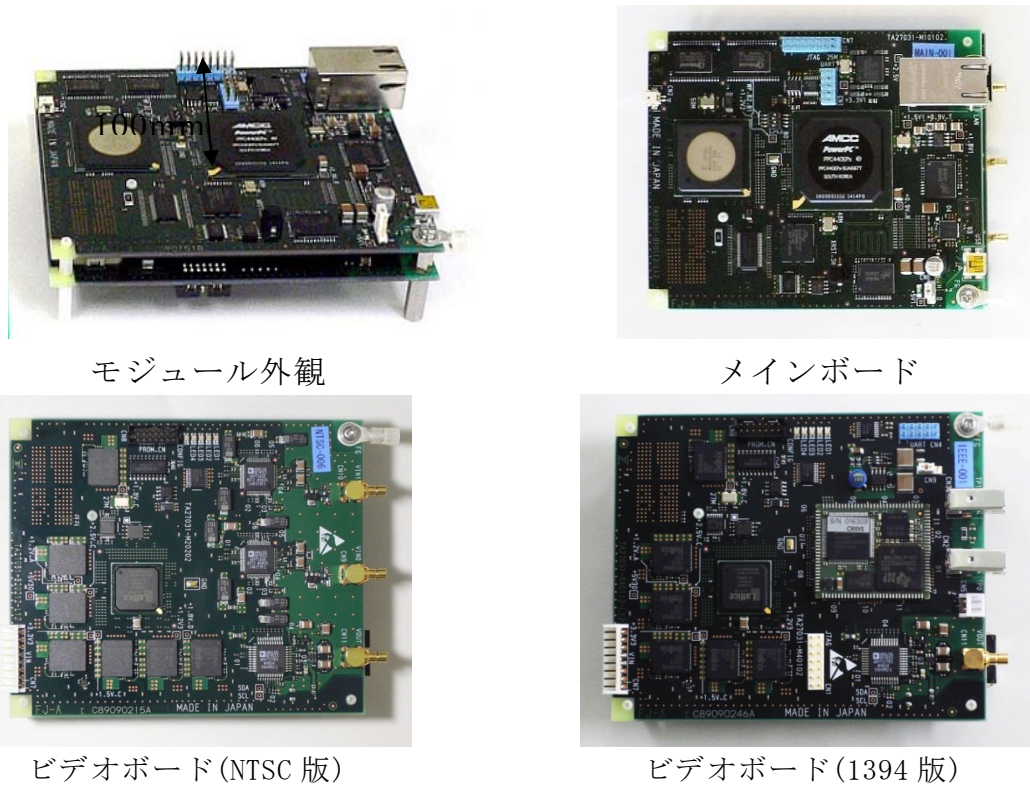


図3.1.2.-1 ステレオビジョンLSI

(b) ハードウェア構成

ステレオビジョンモジュールの外観を図 3.1.2.-2 に、主要諸元を表 3.1.2.-1 に示す。



モジュール外観

メインボード

ビデオボード (NTSC 版)

ビデオボード (1394 版)

図 3.1.2.-2 ステレオビジョンモジュール

外形寸法は 120mm×100mm×40mm、重量は 180g であり、小型・軽量の画像処理ハードウェアを実現した。消費電力は 13W と低消費電力を実現した。ステレオビジョンモジュールはメインボードとビデオボードの 2 枚ボードで構成されており、ビデオボードを交換することで NTSC カメラと IEEE1394 カメラに対応できる。IEEE1394 版は YUV(4:2:2)又は Y(mono)のデータフォーマットで出力する HDC 準拠 IEEE1394 カメラが利用可能である。また、カメラの解像度やブライトネス・コントラストなどのパラメータを制御することも可能とした。

表 3.1.2-1 ステレオビジョンモジュール主要諸元

CPU	AMCC PowerPC 440 EPX 660MHz
CPU 用メモリ	256M バイト
Flash メモリ	128M バイト
画像処理 LSI	ステレオビジョン LSI 動作周波数 200 MHz
画像メモリ	64M バイト (1024×1024×16bit×32 面)
画像入力 IF	NTSC アナログ ×2 又は IEEE1394×2
画像出力 IF	NTSC アナログ ×1
外部 IF	Ethernet (1000Base-T)
外形寸法	120 mm×100 mm×40 mm
重量	180g
消費電力	約 13W

(c)ソフトウェア構成

ステレオビジョンモジュールは、CPU には PowerPC を、OS には富士通コンピュータテクノロジーズ㈱で開発した組込み Linux(カーネルバージョン 2.6.27)を採用した。LSI を活用した画像処理機能を利用するために、ステレオビジョン LSI の Linux ドライバと画像処理 API ライブラリを開発した。図 3.1.2.-3 のソフトウェア構成図に示すように、ユーザの画像処理アプリケーションは、画像処理 API を介してハードウェアによる画像処理を実行する

OS に Linux を採用したことにより、安価な開発環境を実現し、さらに RT ミドルウェアを容易に利用できるようになった。また、画像処理 API ライブラリをユーザに提供することにより、ハードウェアを活用した独自アプリケーション開発をユーザが開発することができる。

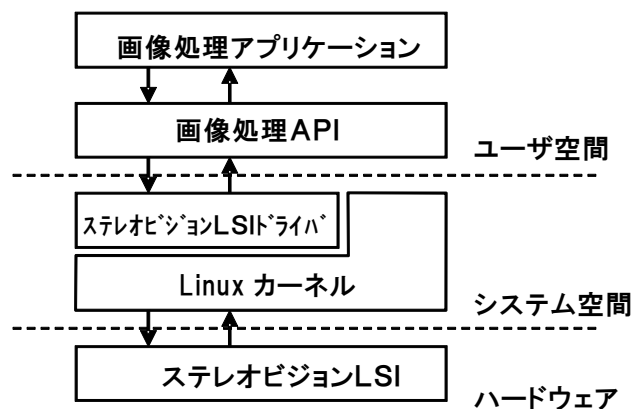


図 3.1.2.-3 ソフトウェア構成

#### (d) 性能

ステレオビジョンモジュールは 2700 の領域からのコーナー特徴の抽出とステレオ計測（視差 0～63 画素）を 20ms、2700 点の動き計測（画像サイズ 8×8、探索範囲-8 画素～+7 画素）を 13 ms で処理できており、2000 点以上の領域に対する 3次元計測と動き計測をフレームレートで処理できる演算性能を有することを確認した。

ステレオビジョンモジュールと計算機用 CPU(Core2Duo 3GHz)の比較を表 3.1.2.-2 に記す。ステレオビジョンモジュールは正規化演算で 10 倍の演算性能を約 1/6 の消費電力で実現しており、性能/電力比では計算機用 CPU の約 60 倍を実現した。

表 3.1.2.-2 ステレオビジョンモジュールと計算機用 CPU の性能比較

	ステレオビジョンモジュール	Core2Duo
動作周波数	LSI 200MHz CPU 666MHz	3.0GHz
消費電力	13W	75W
正規化相関	7575 回 (10.3)	735 回 (1.0)
性能/電力比	59.9	1

#### (1)-② 画像処理用 RTC 群の開発

【(1) ①自己位置認識に関する知能モジュール群、(2) 人環境安全移動知能モジュール群の開発：①人・障害物認識に関する知能モジュール群】

ステレオ画像処理ハードウェアを活用した画像処理機能を容易に利用できるようにする画像処理用 RTC 群を開発した。株式会社セックがステレオビジョンモジュール上で RT ミドルウェアを利用するための仕組みを構築しており、富士通株式会社はこの仕組みを活用して、以下の画像処理 RTC 群を開発した。

- ・ステレオ計測モジュール
- ・顔検知モジュール
- ・距離画像計測モジュール
- ・障害物クラスタ抽出モジュール
- ・障害物クラスタ追跡モジュール

#### (a) ステレオ計測モジュール

ステレオビジョンを用いて、コーナーやエッジを抽出して 3次元位置を計測するモジュールである。精度の高い 3次元計測情報のみを抽出することができる。本モジュールは 640 画素×480 画素の分解能のステレオ画像から特徴点を抽出して 3次元位置計測を行い、毎秒 15 フレームで処理結果を出力する(図 3.1.2.-4)。奥行き精度の高い 3次元位置計測が可能であり、広い奥行きの範囲での 3次元環境計測、人や障害物の位置の計測に活用できる。

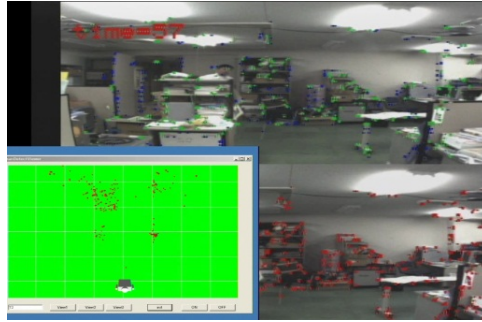


図 3.1.2.-4 ステレオ計測モジュール

(b) 距離画像計測モジュール

160 画素×120 画素に縮小したステレオ画像の各画素の 3 次元位置情報を毎秒 6~8 フレームで出力する(図 3.1.2.-5)。縮小画像のため奥行き精度は低いものの、密な 3 次元位置情報を得ることが可能であり、ロボットに近い物体の計測に活用できる。

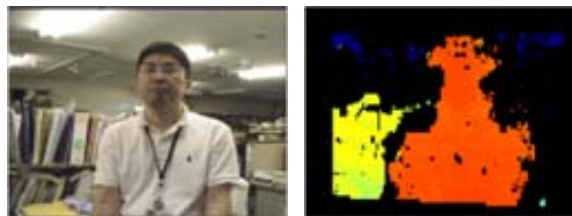


図 3.1.2.-5 距離画像計測モジュール

(c) 顔検知モジュール

ステレオビジョンを用いて、特徴点の 3 次元計測と顔パターン判別を組み合わせた顔位置の計測を行い、顔の位置と特徴点の 3 次元位置を毎秒 15 フレームで出力する(図 3.1.2.-6)。



図 3.1.2.-6 顔検知モジュール

出力する特徴点の 3 次元位置情報、顔の位置情報を利用することで、人の 3 次元位置計測を実現できる。豊橋技科大の局所行動計画モジュールと結合して、サービスロボット enon による人物発見追従・地図自動生成ロボットシステムを構築し、2009 年の国際ロボット展でデモンストレーションを実施した。実ロボット・実環境で動作することを示し、本モジュールの有効性を示した。



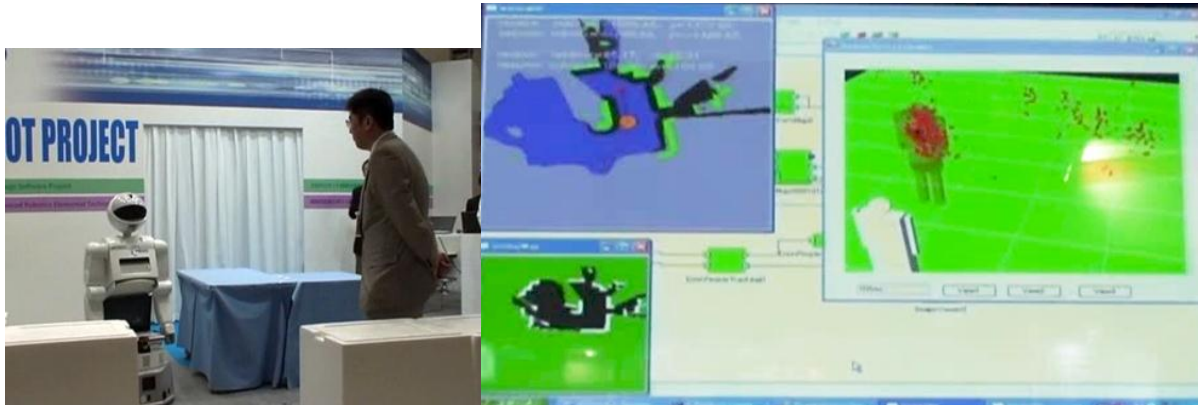


図 3.1.2.-7 2009 年国際ロボット展での人物発見追従・地図自動生成デモ

(d) 障害物クラスタ抽出モジュール

コーナーやエッジ等の特徴点の 3 次元位置を計測し、その情報を用いて特徴点クラスタの検出を行う(図 3.1.2.-8)。ロボット周辺にある物体の 3 次元位置と大きさ情報を毎秒 15 フレームで出力することが可能であり、ロボット周辺に存在する障害物のリアルタイム検出に活用できる。

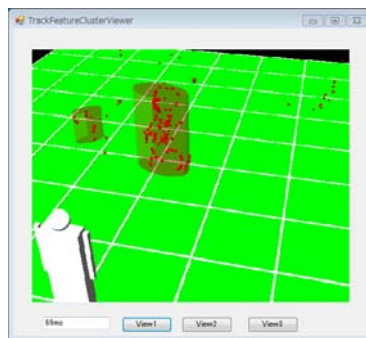


図 3.1.2.-8 特徴点クラスタ抽出モジュール

(e) 障害物クラスタ追跡モジュール

コーナーやエッジ等の特徴点の 3 次元位置と運動を計測し、その情報を用いて特徴点クラスタの追跡を行う。ロボット周辺にある物体の 3 次元位置、運動、大きさの情報を毎秒 15 フレームで出力する(図 3.1.2.-9)。ロボット周辺の移動障害物の位置運動情報の取得やロボットに人が近づいたイベントの抽出等に活用できる。

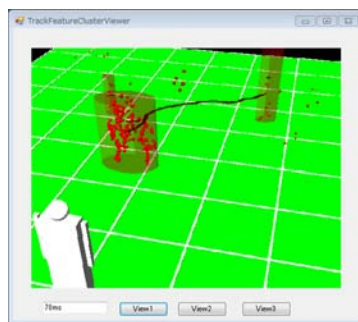


図 3.1.2.-9 特徴点クラスタ追跡モジュール

障害物クラスタ追跡モジュールの有効性を検証するために、図 3.1.2.-10 に示すリファレンスハードウェアを用いた対人追従システムを構築した。対人追従システムの構成を図 3.1.2.-11 に示す。経路計画には豊橋技科大の局所経路計画モジュールを用いており、障害物クラスタ追跡モジュールが出力する人物の位置情報を用いて、人物を追従するように経路計画を行う。図 3.1.2.-12 のオフィス廊下のような狭い環境でも人追従ができることを確認した。また、豊橋技科大の局所経路計画モジュールとの接続できることやリファレンスハードウェアで利用できることを示すことにより、再利用性も確認した。

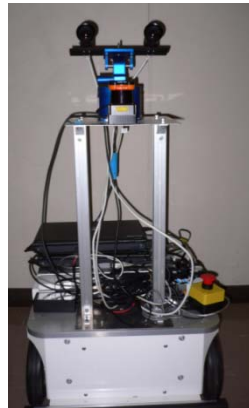


図 3.1.2.-10 リファレンスハード

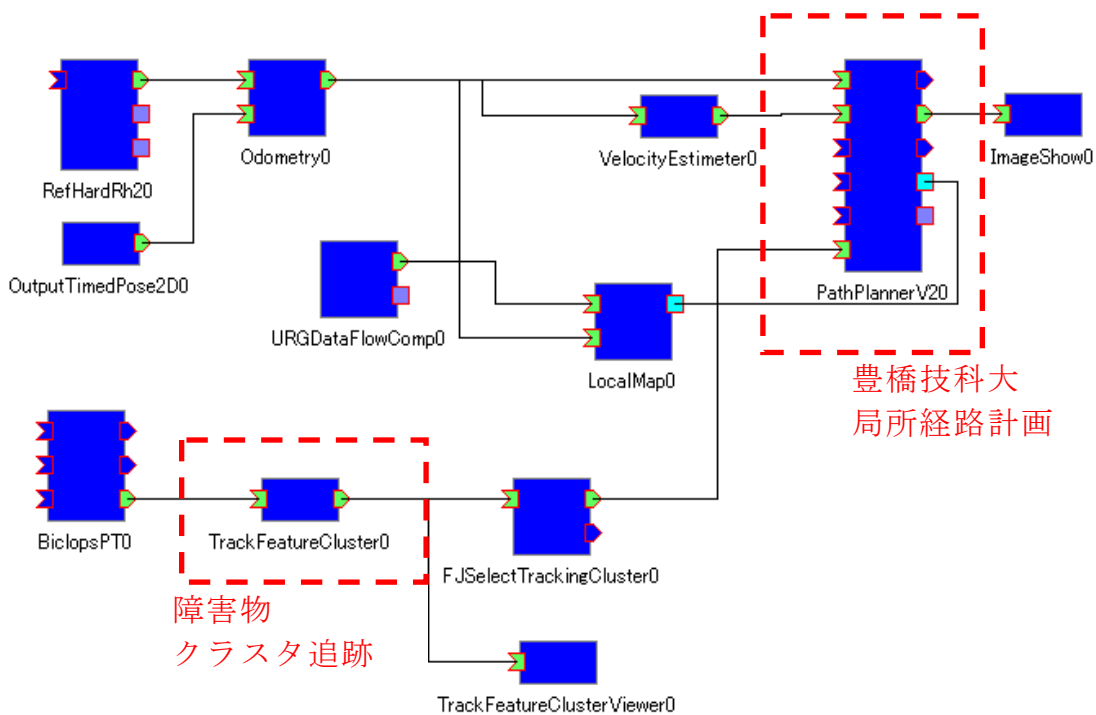


図 3.1.2.-11 人物追従システム構成

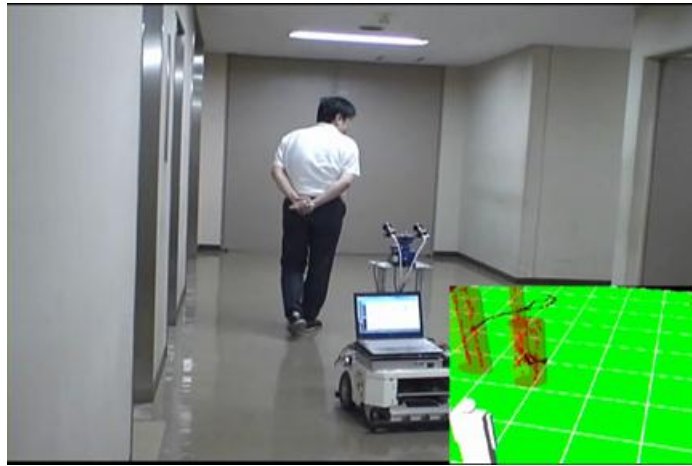


図 3.1.2.-12 人物追従動作

## (2) 地図生成／自己位置推定モジュール群の開発

- 【(1) ①自己位置認識に関する知能モジュール群、
- (1) ②地図情報生成に関する知能モジュール群】

環境地図を自動生成する地図生成モジュール群、ロボットの自己位置を推定する自己位置推定モジュール群を1つのパッケージにした「地図生成／自己位置推定モジュール群」を開発した。

自己位置推定モジュール群は、レーザ測距センサによるレイアウト地図を用いた自己位置推定とランドマーク画像認識によるランドマーク地図を用いた自己位置推定を併用し、2つのセンサ情報を併用して相互に補い合うことで安定した自己位置推定を実現するモジュールである。ロボットが複雑な動的環境下で自律移動する際に、ナビゲーションの安定性を向上することができる。

地図生成モジュール群は、自己位置推定で事前地図として使用するレイアウト地図とランドマーク地図を自動生成するモジュールである。ロボットを予め決めた経路上を移動させて、オドメトリ・レーザ測距データ、ランドマーク情報を取得して保存しておけば、レイアウト地図とランドマーク地図をオフラインで自動生成することが可能である。

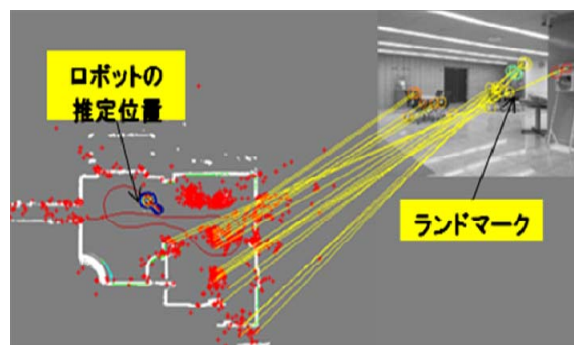


図 3.1.2.-13 ランドマーク自己位置推定 RTC

さらに、ロボットが自律移動する際に、事前地図だけではなく環境の最新地図も逐次作成し、最新地図も利用して自己位置推定を行う機能をランドマーク自己位置推定 RTC に実装しており、レイアウトが変化する環境下でも安定した自己位置推定を可能とした。

自己位置推定モジュール群と地図生成モジュール群はステレオビジョンモジュール製品サイトで公開している。

## (2)-① 地図生成モジュール群

### [開発背景]

地図生成技術は、ロボットの自律移動において、重要かつ不可欠な要素技術である。ロボットの自己位置推定を行うためには、ロボットに搭載したセンサの計測データと環境地図を照合する必要がある。従来はロボットの移動する実環境の建物内の地図を人手で作成して利用してきたが、ロボットを新しい環境に導入する準備作業での人的コストが大きい。特に、ショッピングセンタや公共場所などのような大規模かつ複雑である場合、手作業での地図作成は極めて困難な作業である。また、人の手入力では実環境の情報を正確に地図に反映することは困難であり、作成した地図と実環境の不整合により自己位置推定の精度が低下する問題も生じる。そこで、近年ではレーザ測距センサと **SLAM(Simultaneous localization and mapping)** アルゴリズムを用いて環境のレイアウト地図を自動生成することが広まってきている。しかし、ロボットが移動する実環境は動的で複雑であり、単一のセンサや単一の地図に基づいた自己位置推定では外乱による影響を受けやすく、ロバスト性が低下する可能性がある。このため、複数のセンサや複数の地図を同時に使用し、統合することによって自己位置推定のロバスト性を向上させることが望ましい。

そこで、本研究開発では、レーザ測距センサの距離情報とカメラから得られる画像ランドマーク情報の2つのセンサ情報を用いて地図を生成し、ロバストな自己位置推定を実現することを目指した。

複数のセンサ情報を用いて地図を生成する場合、各センサ情報の地図の座標系を一致させる必要がある。複数の地図を独立に作成すると作成した地図の座標系がそれぞれ異なる問題が生じ、このまま自己位置推定を行うと推定した座標値もそれぞれ異なってしまう。そこで、本研究開発では、座標系の不一致の問題が生じないように、統一した座標系でレイアウト地図と画像ランドマーク地図を同時に生成する手法を開発した。

さらに本手法を広く利用できるようにするために、レイアウト地図とランドマーク地図を自動生成する地図生成モジュール群としてモジュール化した。

### [開発内容]

我々が開発した **SLAM** アルゴリズムでは、パーティクルフィルタに基づいてロボットの位置推定と地図生成を同時に行う。各パーティクルは、ロボットの位置姿勢、環境のランドマーク地図、レイアウト地図を情報として持つ。図 3.1.2.-14 にパーティクルフィルタに基づく環境地図生成の構成図を示す。各パーティクルを初期化した後に、走行系から読み取ったロボットの移動量に基づいてパーティクルの状態の予測更新を行う。次に **LRF** とカメラの計測情報に基づいて各パーティクルへの重みの評価更新を行う。最後に、レイアウト地図とランドマーク地図を同時に更新する。

パーティクルを共有して地図を同時更新することにより、2つの地図の座標系を一致させたまま地図を生成することが可能となる。

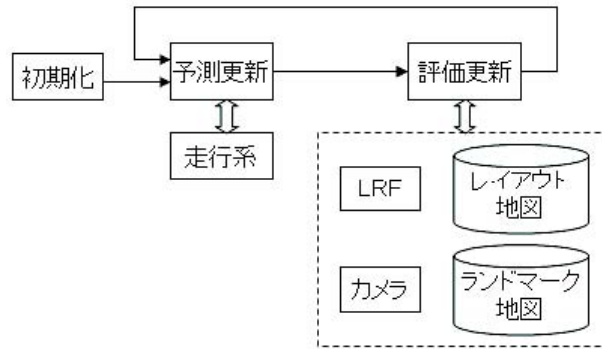


図 3.1.2.-14 ランドマーク地図とレイアウト地図との同時作成処理の流れ

この処理により、以下のレイアウト地図とランドマーク地図が生成される。

#### (1) レイアウト地図

レイアウト地図はレーザ測距センサの情報を用いて、壁や障害物などの物の配置情報を記述した地図である。地図は2次元のグリッドマップの形式であり、各グリッドの値は、物の存在する尤度を表している。

大規模な環境ではグリッド地図のデータ量が問題となる。メモリ消費を低減するために、環境地図をサブマップに分割して管理する手法を採用した。計算機のメモリにはロボットに近い位置にあるサブマップのみを保持し、ロボットからの距離が遠く離れたサブマップは外部のハードディスクに保存するよう管理する。自己位置推定の際もロボットの周辺のサブマップを読み込むだけ良く、大規模な環境下でのメモリ使用量を大きく削減できる。

#### (2) ランドマーク地図

ステレオカメラ画像の中にある特徴的な画像パターンをランドマークとして定義している。ロボットが所定の移動経路を移動し、ランドマークのパターン ID と位置情報で構成される画像ランドマーク情報を収集して、地図を生成する。

レイアウト地図とランドマーク地図を図 3.1.2.-15 に示す。下敷きとなっているグレーの地図は環境のレイアウト地図であり、その上に描いている緑の+は3次元のランドマークを平面のレイアウト地図に投影したものである。黒い線分は壁や障害物存在の確率の高い領域を示している。グレーの領域は自由領域であり、白の領域は未知の領域を示している。

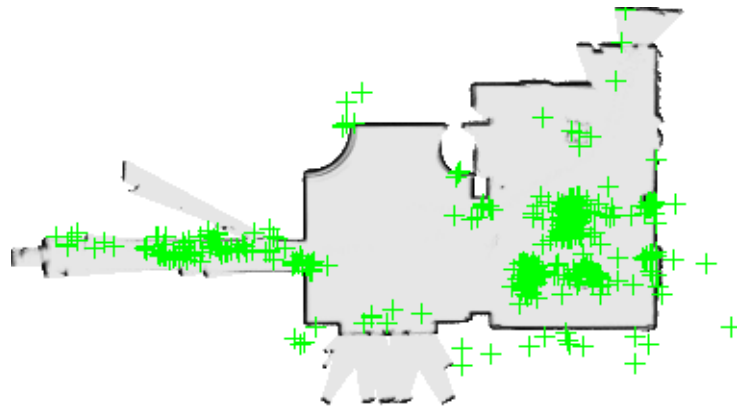


図 3.1.2.-15 生成されたレイアウト地図とランドマーク地図

[モジュール構成とインタフェース仕様]

本研究開発で開発した地図生成 RTC 群は、ロボットの移動の際に各時刻で収集した画像・レーザ・オドメトリのデータファイルを逐次読み込んでオフラインで地図生成を行う。図 3.1.2.-16 のセンサ情報収集コンポーネント群と図 3.1.2.-17 の地図生成コンポーネント群で構成される

地図作成には、まずセンサ情報収集コンポーネント群を用いて、ロボットを事前に決めた経路に沿って移動させてセンサ情報を収集する。その後、地図生成コンポーネント群を用いて収集したセンサのデータを逐次に読み込んで地図を作成する。

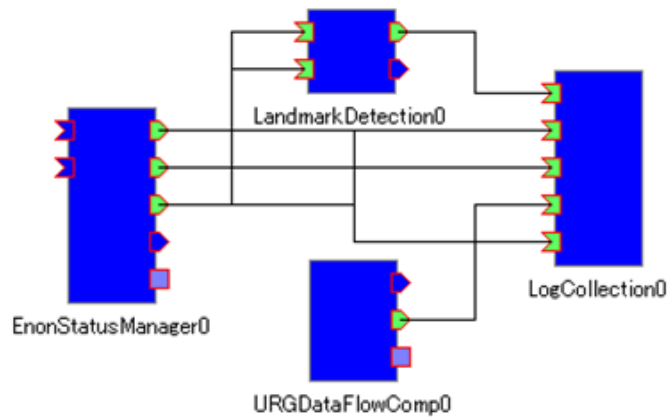


図 3.1.2.-16 地図作成のためのセンサ情報収集コンポーネント群



図 3.1.2.-17 地図生成コンポーネント群

外部インターフェースは表 3.1.2-3 の通り移動知能サブ WG で規定された IF をベースにしており、移動知能サブ WG に合わせた IF を持つ走行ハードウェア制御モジュールを利用することができる。

表 3.1.2.-3 外部インターフェース

データポート名	データ型	説明
Odometry	IIS::TimedPose2D	エンコーダ等に基づいて推定したロボットの位置姿勢情報
Velocity	IIS::TimedVelocity2D	ロボットの速度情報
LRF	RTC::RangeData	レーザ測距センサが計測した距離データ
PanTilt	FJ::FJPanTiltInfo	カメラのパンチルト角度



## (2)-② 自己位置推定モジュール群

### [開発背景]

ショッピングセンタ等の公共施設では、人や障害物が存在し、環境も頻繁に変化する。レーザ測距センサと建物のレイアウト地図のみを用いた自己位置推定法では、レーザの測距距離を超えるオープンスペースや人、障害物の多い領域等でレイアウト地図との照合に失敗し、自己位置推定精度が劣化して移動の安定性が低下する問題があった。

そこで、移動の安定性を向上させるためにレーザ測距センサに加え、画像ランドマークを用いた自己位置推定方式を開発した。画像ランドマークを用いた自己位置推定では、ステレオビジョンを用いてロボットが位置推定するための目印となる画像特徴の位置を計測し、その位置を記したランドマーク地図と照合することでロボットの位置を推定する。

### [開発内容]

我々が開発した自己位置推定モジュールは以下の二つの特徴を持っている。

#### 1) レーザ測距センサと画像ランドマークを併用した自己位置推定

ロボットが複雑な動的環境下で自律移動する際に、人や障害物などによってレーザ測距センサの計測データと地図との照合に誤差が生じる可能性がある。また、ロボットがレーザの届かないオープンな領域に進入した場合、自己位置推定の手がかりとする情報が不足し、自己位置推定に失敗する可能性がある。

我々が開発した自己位置推定モジュールは、レーザ測距センサと画像ランドマーク情報を併用して相互に補い合って自己位置推定を行う。人が存在してレーザが遮蔽されるような場合でも、人の上にある高い場所にあるランドマーク情報を位置推定に利用することができる。

#### 2) レイアウト地図の更新

ショッピングセンタのように商品の並び方でレイアウトが変化する環境下では、事前に作成した地図と実環境の不整合が発生する。この場合、自己位置推定の安定性が低くなり、自律移動に失敗することがある。そこで、ロボットが自律移動する際に、環境の最新地図も逐次作成し、レイアウト変化を反映した最新地図も利用して自己位置推定を行う方式を開発した。

移動する地点の指定は事前地図を基にして行うため、最新地図の座標系と事前地図の座標系と一致する必要がある。我々が開発した方式は、事前地図を事前知識として用いて最新地図を生成することにより、事前地図と同じ座標系となる最新地図を生成する。

このように最新地図と事前地図と連携することによって、レイアウト変化がある場合でも安定した自己位置推定を実現した。

### [モジュール群の構成と仕様]

開発した自己位置推定モジュール群は、ランドマーク観測 RTC、ランドマーク自己位置推定 RTC、フィルタ RTC の3つの RTC で構成される。

- ・ランドマーク観測 RTC (LandmarkDetection RTC)

自己位置推定に用いる画像ランドマークの検出、3次元位置の計算、特重量の算出を行う。ステレオ画像ハードウェアで処理する。

- ・ランドマーク自己位置推定 RTC (LandmarkLocalization RTC)

画像ランドマーク情報とレーザ測距センサ情報を利用した自己位置推定を行う。事前地図と最新地図と連携した自己位置推定を行う機能を持つ。また、画像ランドマーク情報のみを用いた自己位置推定も可能。

- ・フィルタ RTC (EstimatedPoseFilter RTC)

ランドマーク自己位置 RTC の推定結果とオドメトリ情報を統合し、推定のばらつきを抑えるフィルタ処理を行う。フィルタ結果はオドメトリ情報が入力される毎に出力される。

これら RTC は、実行するハードウェアや実行周期に違いがあるため、異なる RTC として実装されている。図 3.1.2.-18 に富士通サービスロボット enon を用いる場合の自己位置推定モジュール群の構成を示す。

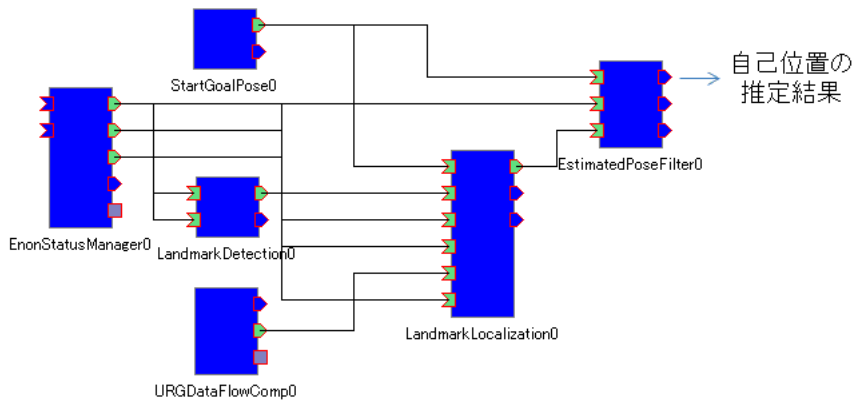


図 3.1.2.-18 自己位置推定モジュール群の構成

外部インターフェースは表 3.1.2.-4 の通り移動知能サブ WG で規定された IF をベースにしており、移動知能サブ WG に合わせた IF を持つ走行ハードウェア制御モジュールを利用することができる。

表 3.1.2.-4 自己位置推定モジュール群の外部インターフェース

入力ポート

データポート名	データ型	説明
StartPose	IIS::TimedPose2D	ロボットの位置姿勢の初期値
Odometry	IIS::TimedPose2D	エンコーダ等に基づいて推定したロボットの位置姿勢情報
Velocity	IIS::TimedVelocity2D	ロボットの速度情報
LRF	RTC::RangeData	レーザ測距センサが計測した距離データ
PanTilt	FJ::FJPanTiltInfo	カメラのパンとチルト角度

## 出力ポート

データポート名	データ型	説明
Pose	IIS::TimedPose2D	推定したロボット位置姿勢
GridMap	FJGridMap	グリッドマップ地図
Error	RTC::TimedString	モジュールのエラーステータス情報

### (3)モジュールの検証

オフィス廊下、オフィスロビー、大学食堂、展示会等の人が混在する複数の環境で、地図生成／自己位置推定モジュール群を用いた自律移動を行い、安定した自律移動ができることを確認した。また、enon、リファレンスハードウェア、トヨタ自動車実験用ロボット、HRP2-Vの4つのロボットでの自律移動動作を確認した。これにより、地図生成／自己位置推定モジュール群の環境に対するロバスト性と複数のロボットシステムに利用できる再利用性を示した。

この検証の詳細についてはサービスロボットの有効性検証で述べる。

### (3) 経路計画モジュール群の開発

#### 【(2) ②動的経路計画に関する知能モジュール群】

動的経路計画に関する知能モジュール群は、指定したゴール地点へ移動するように経路計画を行うモジュール群である。このモジュール群は大域経路計画モジュール、局所経路計画モジュール、走行軌道制御モジュールの3つのモジュールで構成されている。

#### ・大域経路計画モジュール

事前に作成したグラフ形式で表現された環境のトポロジー地図を用いて、スタート地点からゴール地点への経路を探索して出力する。トポロジー地図は、移動可能な自由空間凸領域をグラフのノード、自由空間凸領域間を結ぶコネクタをエッジとしたグラフ形式の地図である。移動開始地点とゴール地点を与えると、自由空間凸領域間のコネクタを通る最短経路を探索し、通るコネクタ点列を経由点列として出力する。さらに、移動中に人や障害物によって経路が塞がれた場合、迂回経路を生成する機能も実装した。

#### ・局所経路計画モジュール

自己位置推定モジュール群で推定した自己位置と姿勢、障害物の位置情報に基づき、大域経路に沿ってかつ障害物と衝突しないようにロボットの移動経路を計画する。障害物の回避機能と障害物に近づきすぎたスタック状態から脱出する例外処理機能を実装した。

#### ・走行軌道制御モジュール

局所経路計画モジュールが生成した移動経路から、ロボットの直進速度と回転速度を算出して、走行制御モジュールに送る。レーザ測距センサの情報を用いて近くにある障害物の位置情報を監視して停止する安全機能を実装した。

このように、迂回経路計画機能を有する大域経路計画モジュール、障害物回避やスタック脱出機能を有する局所経路計画モジュール、安全機能を有する走行軌道制御モジュールを組み合わせることによって、公共施設等の人混環境下で安全に自律移動する機能を実現した。

#### (4) 統合実験用モジュール群の開発

##### 【(3) 知能モジュール群の有効性検証】

移動知能モジュール群を検証するために、下記のようなロボットハードウェアに関するモジュールと移動モジュール群の管理を行うモジュール群を開発し、移動知能モジュール群の有効性を検証できる環境を構築した。

- ・ enon 走行制御モジュール

富士通サービスロボット enon の走行を制御するモジュールである。走行軌道制御モジュールから出力した直進速度と回転速度に従いロボットの移動制御を行う。また、エンコーダなどの内的センサに基づいて推定したロボットの位置姿勢、回転速度、カメラのパンチルト角度の情報を出力する。

- ・ 移動指示 GUI モジュール

予め設置した複数の地点の中から、ユーザが目的地を選択してロボットの移動指示を行うための GUI 機能を提供する。

- ・ 移動タスク管理モジュール

ユーザからの移動指示等に基づき、自己位置推定モジュール群と経路計画モジュール群等の各モジュールの起動制御を行うモジュールである。各モジュールの内部ステータスを監視しており、エラーを検出したらロボットが即停止するように、各モジュールを停止させる。経路計画モジュール群からロボットが目的地に到達したことを通知されたら、各モジュールを停止させ、新しい移動タスクを受けとるまで待機状態にする。

#### (5) まとめ

共通基盤プロジェクトで開発した LSI を活用したステレオ画像処理ハードウェア、本ハードウェアを利用した画像処理用モジュール群、画像ランドマークとレーザセンサを用いた地図生成／自己位置認識モジュールを開発した。

さらに、経路計画モジュール群と統合実験用モジュール群もあわせて開発し、各移動知能モジュールを統合した自律移動を検証するための環境を構築した。

ステレオ画像処理ハードウェアは既に製品化しており、富士通九州ネットワークテクノロジーより製品名「ステレオビジョンモジュール」で販売を行っている。さらに、画像処理用モジュール群と地図生成／自己位置認識モジュールをステレオビジョンモジュール製品サイトで公開し、成果の普及に務めた。

### 3.4.1.3.1.3 地図情報生成および移動行動計画に関する智能モジュール群

#### の研究開発（豊橋技術科学大学）

##### （1）地図生成／自己位置推定モジュール群の研究開発

【（1）①自己位置認識に関する智能モジュール群，（1）②地図情報生成に関する智能モジュール群】

本項目では，地図生成（局所地図，大域地図）および自己位置推定に関する智能モジュールを開発する．以下に開発したモジュールの説明を行う．

##### （ア）局所地図生成モジュール

ロボット周囲の局所的な領域の障害物の配置を記した地図（局所地図）を生成する．地図はロボットを中心とし，ロボット座標系で記述した確率的グリッド地図とし，安全な移動行動の計画に利用する．距離データの誤りや移動物体の存在を考慮した確率的観測モデルを用いて，新たなデータが得られるたびに，ベイズ則により情報を統合し，各位置での障害物の存在確率を更新する．局所地図の生成の際には，ロボットの移動量は小さく誤差も小さいとして，オドメトリによって得られた移動量を用いて，複数距離情報の統合を行う．

図 3.1.3-1 は局所地図の生成例である．図中，左に示すシーンで生成された地図を右に示す．地図中の三角形はロボットの位置と向きを示し，暗いところほど物体の存在確率が低いことを示す（黒が確率 0，白が確率 1）．ロボット右前方の壁が明確に認識されていることが分かる．

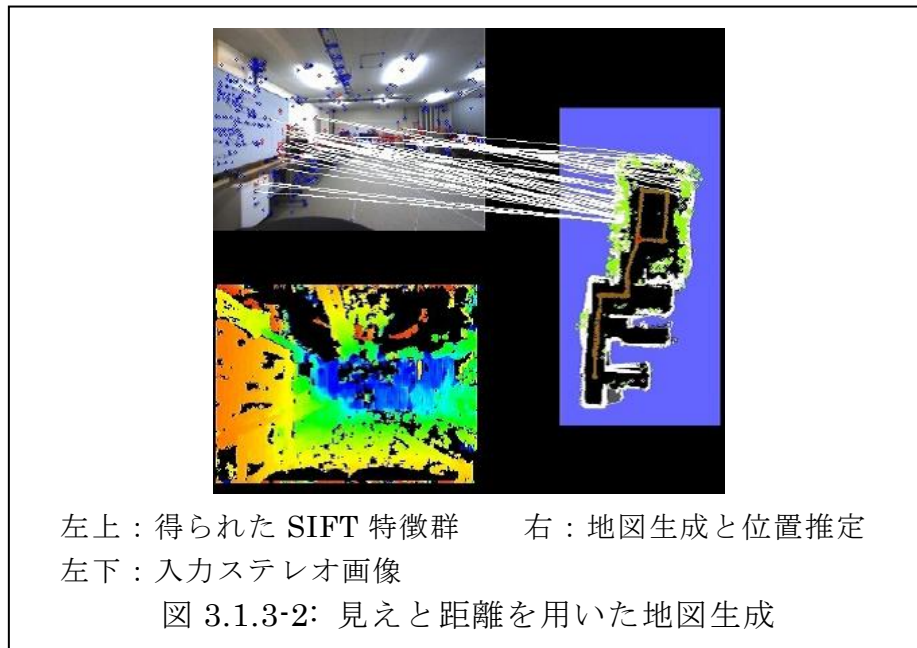


##### （イ）大域地図生成モジュール

広域の地図を生成する際には，ロボットの移動量の誤差を無視できない．そこで，位置と地図の同時推定（SLAM, Simultaneous localization and mapping）を行う必要がある．廊下のような環境では距離センサを用いて周囲の壁を検出することが容易である．一方，室内で机や椅子，その他多くの物体が存在するときには，多くの視覚特徴が得られるため，それらを利用することが考えられる．そこで，画像から得られる見え情報（SIFT 特徴）とレーザ距離センサから得られる距離情報を併用して，信頼性の高い地図を生成する．SLAM 問題を位

置の推定と位置がわかった上での地図の推定に分割して扱う FastSLAM アルゴリズムを基本として，SIFT 特徴の種類と位置を記録したランドマーク地図と距離センサデータを利用した確率的グリッド地図を併用し，どちらか一方の情報だけを用いた場合に比べてより精度の高い地図生成が可能である。

図 3.1.3-2 は地図生成過程の例である．左上の画像中で抽出された SIFT 特徴と地図に記録されたランドマークとの対応が白い線で示されている．開発したモジュールでは，2 種類の情報の両方，あるいはどちらか一方のみを用いた地図生成が行える．また，図 3.1.3-3 に距離センサのみを用いて広域の地図を生成した結果を示す．



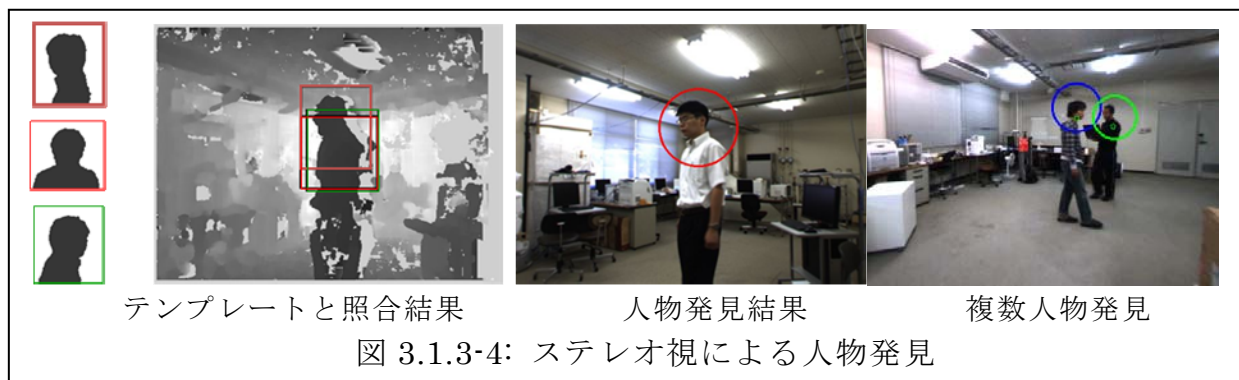
#### (ウ) 自己位置認識モジュール

前項の大域位置推定で生成した地図，あるいは別途作成し同じフォーマットで記述した地図を用いてモンテカルロ位置推定を行う．見え情報と距離情報の両方，あるいはどちらか一方を位置推定に利用する．

## (2) 人発見・追跡モジュール群の研究開発

### 【(2) ①人・障害物認識に関する知能モジュール群】

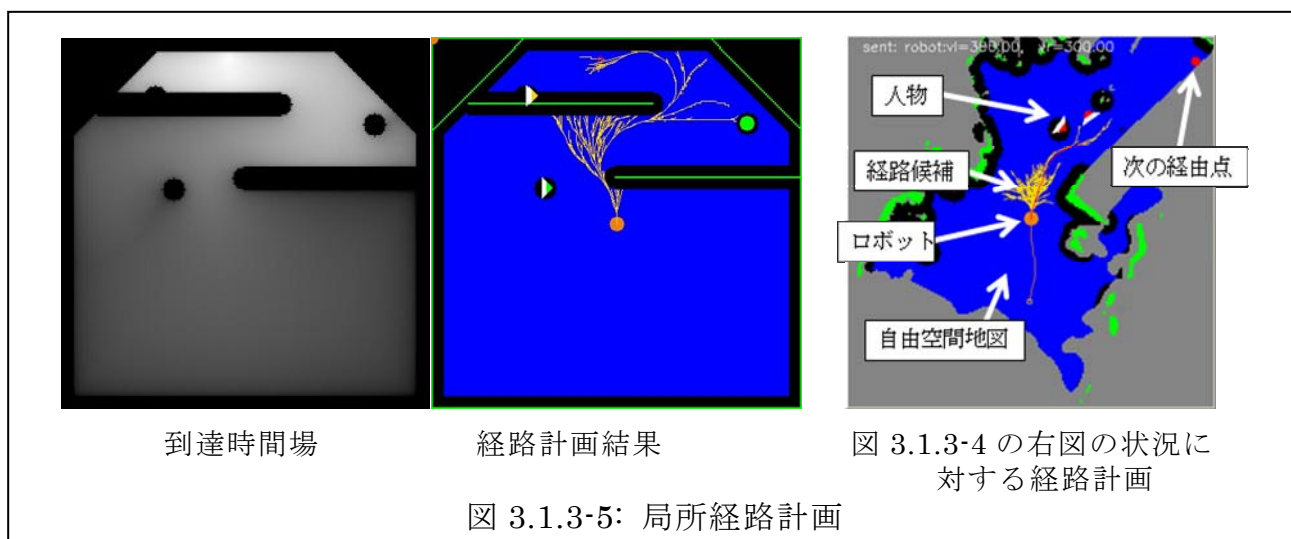
公共空間では多くの人物が存在し、それらを確実に認識し回避することは不可欠である。また、サービスロボットでは特定の人物を認識し、付き添いなどの行動を行う必要がある。ここでは、ステレオ画像を入力とし、距離画像テンプレートに基づき人物候補領域を検出し、さらにサポートベクトルマシンに基づく人物識別器で偽候補を排除し人物を検出する。図 3.1.3-4 に検出の様子を示す。



## (3) 移動行動計画モジュール群の研究開発

### 【(2) ②動的経路計画に関する知能モジュール群】

本項目では、ロボット周囲の動的および静的障害物の状況から安全な経路をリアルタイムで計画する局所経路計画、および広い環境において現在位置から目的位置までの効率のよい経路を生成する大域経路計画を行うモジュールを開発する。



### (ア) 局所経路計画

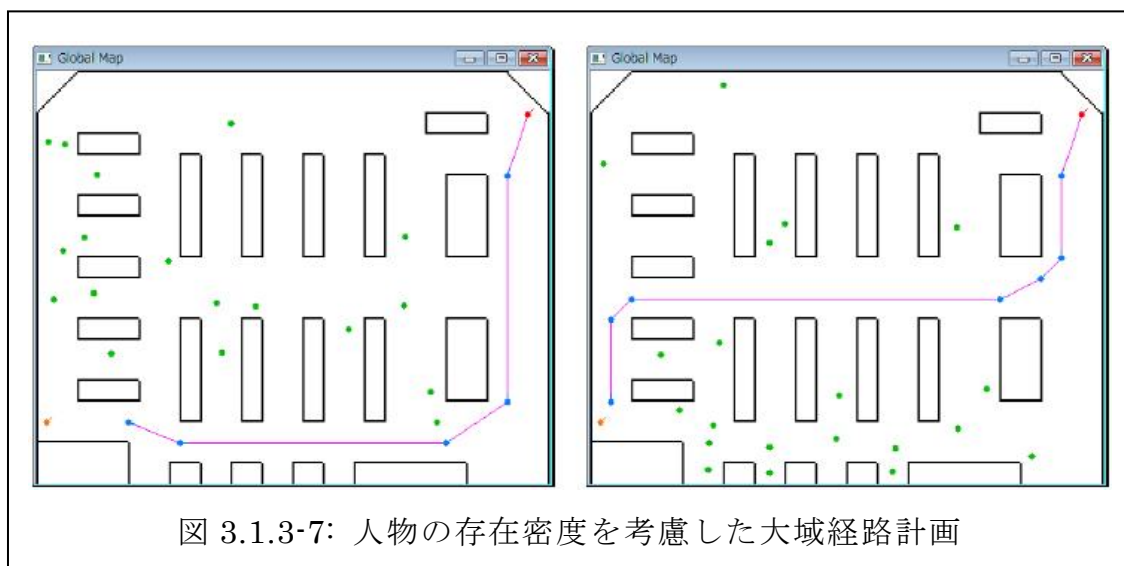
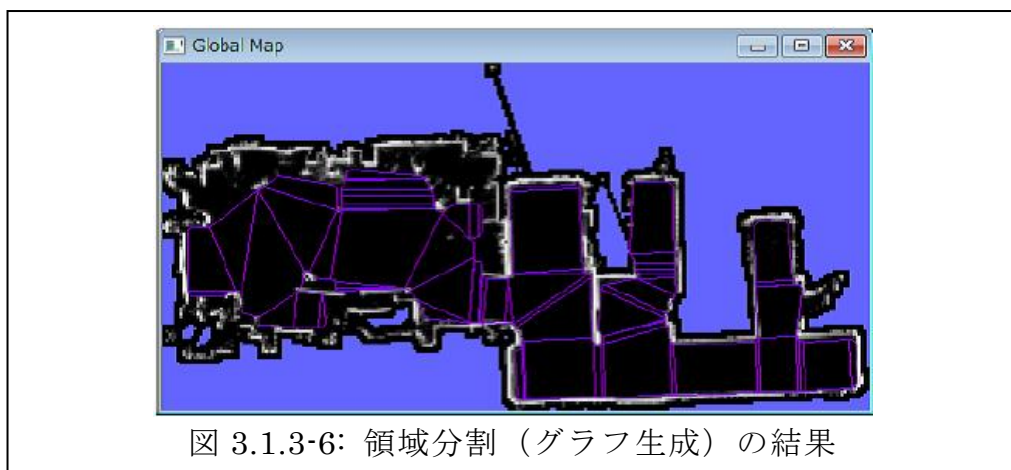
人が行き交う環境で移動するためには、安全な移動動作を高速に生成する必要がある。そして、可能な限り無駄な動きをしないようにすることが望まれる。また、車輪移動ロボットでは多くの場合、運動学的・動力学的拘束 (kinodynamic

constraints) を考慮する必要がある。そこで、拘束を満たす動作セットをあらかじめ与えておくものとし、高速に経路生成が可能な RRT (Rapidly-exploring Random Tree) 法により拘束を満たす経路を探索する。RRT 法は一般に空間を幅広く探索するので、通行可能領域の解析に基づいて計算した有望な移動方向に関する情報（到達時間場と呼ぶ）で制御することにより、効率的に経路生成を行う。図 3.1.3-5 の左の図は到達時間場を表し、明るい場所ほど目的位置に近いことを表す。中央の図は経路計画の結果を表し、目的位置へ向かう方向へ探索が集中していることが分かる。また、右の図は図 3.1.3-4 の右図の状況に対応した経路計画結果である。

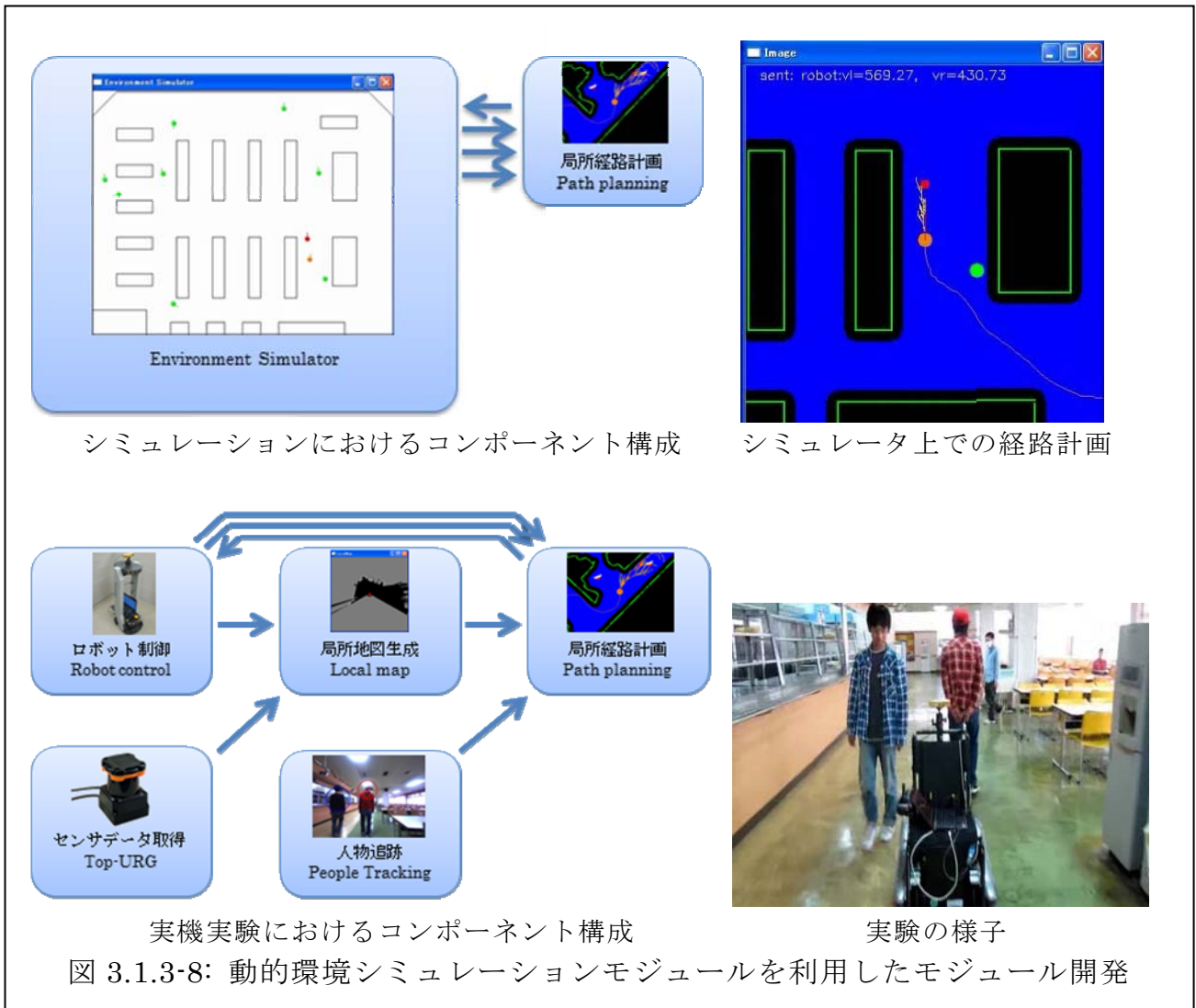
開発したモジュールは検出された人物の中の特定の人物を追跡するモードと、指定された経路点系列を順にたどるモードの 2 つをもち、状況に応じて使い分けることができる。

### (イ) 大域経路計画

自由空間（衝突せずに移動できる空間）の地図が与えられて、現在位置から目的位置へ移動するための、経路点の系列を生成する。そのために、自由空間を制約付きドロネー三角形分割を基本とする方法により凸多角形の集合に分割し、各凸多角形領域をノード、領域の連結関係をリンクとするグラフを作成し、グラフ上で経路を生成する。経路点間の移動は局所経路計画モジュールが担当するため、この段階ではロボットの機構等は考慮せず、その代わりに各領域の人の密度を考慮して、密度に依存した速度を設定することにより、混雑を避ける経路を生成することができる。図 3.1.3-6 に大域地図生成モジュールが作成した自由空間地図の分割・グラフ化の例を示す。また、図 3.1.3-7 に人物の密度を考慮した経路生成の例を示す。







#### (4) 動的環境シミュレーションモジュールの開発

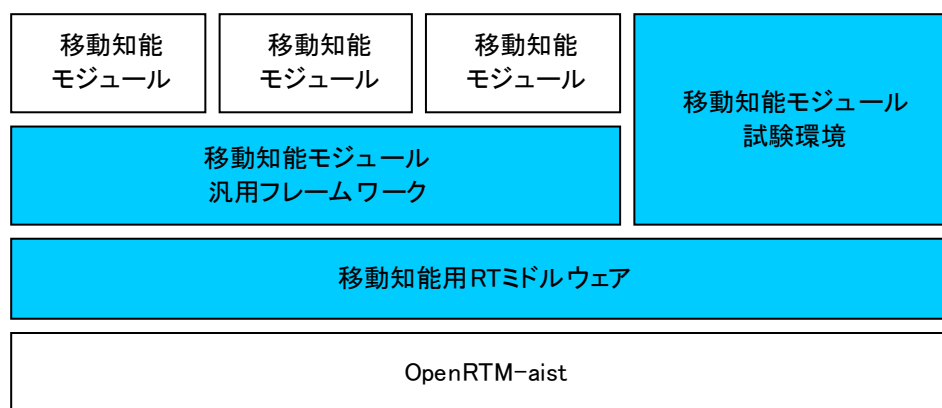
##### 【(3) 知能モジュール群の有効性検証】

モジュール化ソフトウェア開発では、必要なコンポーネントをすべて組み合わせた実験のみでなく、各コンポーネントを個別に開発・検証できる環境が重要である。開発した動的環境シミュレーションモジュールは、環境の形状、人物の動きなどを細かく設定することができ、また仮想ロボット制御、仮想センサデータ取得、人物追跡情報、地図情報などを共通化されたインターフェースで入出力することができるため、シミュレーションモジュールを用いて開発したコンポーネントをそのまま実際のロボットに利用して実験を行うことが可能である。図 3.1.3-8 にシミュレーションと実機での実験の様子を示す。これは、シミュレーションモジュールを利用して開発した局所経路計画モジュールを、実際のロボットに適用して実験を行う過程を示している。

### 3.4.1.3.1.4 移動知能用 RT ミドルウェアの開発（株式会社セック）

人や障害物が混在する状況において、ロバストで汎用的な移動知能モジュールを実現するためには、リアルタイム処理はもちろんのこと、モジュール間の優先度や同期制御、センサなどのリソースの管理なども考慮する必要がある。本実施項目では、こうした移動知能モジュールを実現するために必要となる、実時間並列協調動作のためのフレームワークとして、移動知能用 RT ミドルウェアの開発及び検証を目的として、研究開発を実施した。

本実施項目での具体的な開発項目は、移動知能用 RT ミドルウェア、移動知能モジュール汎用フレームワークおよび移動知能モジュール試験環境である。移動知能用 RT ミドルウェアは、独立行政法人産業技術総合研究所が開発した RT ミドルウェア実装である OpenRTM-aist をベースとし、移動知能ロボットを構築するために有益な機能を提供するミドルウェアである。移動知能モジュール汎用フレームワークは、移動知能用 RT ミドルウェアを用いて容易に移動知能モジュールを開発するための枠組みを提供する。移動知能モジュール試験環境は、開発した移動知能モジュールの動作検証を容易に行うための環境を提供することを目的としている。開発項目間の関係図を以下に示す。



移動知能用 RT ミドルウェアの開発項目間の関係図

以降では、開発項目ごとの開発内容を述べる。

#### (a) 移動知能用 RT ミドルウェア及びシステム系モジュールの研究開発

移動知能用 RT ミドルウェアは、OpenRTM-aist をベースとし、移動知能ロボットを構築するために有益な共通機能を実装したミドルウェア層ソフトウェアである。移動知能用 RT ミドルウェアでは、RT ミドルウェアを移動知能用に拡張するとともに、他の研究開発項目で開発される移動知能モジュールで共通的、汎用的に利用できるモジュールを、システム系モジュール群として提供する

移動知能用 RT ミドルウェアは、以下のモジュールから構成される。

### 移動知能用 RT ミドルウェアのモジュール一覧

モジュール名称	機能概要
システム管理	システムの起動処理や終了処理を管理する。また、システム内の RT コンポーネントの動作管理を行う。異常が検出されれば、対応する異常処理を行い、システムを停止する。
リソース管理	システム内の RT コンポーネント間を流れるデータリソースの最適化管理、同期管理を行う。
デバッグ管理	システム内の RT コンポーネントのデバッグ情報をコントロールし、蓄積する。
外部システム接続	既存レガシーシステムの接続を容易にする。

以降では、上記モジュールごとの開発内容について述べる。

#### (a-1) システム管理モジュール

移動知能ロボットは、移動制御、自己位置推定、障害物検知、地図生成、行動計画など、多くのロボット技術によって構成される。本実施項目では、これらのロボット技術をモジュール化した RT コンポーネントを組み合わせることで移動知能ロボットを構築する。

移動知能ロボットを構成する RT コンポーネントは数十個にもなるため、RT コンポーネントの起動や終了、RT コンポーネント間の接続を自動的に行う仕組みが必要になる。また、RT コンポーネントは、移動知能ロボット内部に搭載された複数のプロセッサ上に分散して配置されるため、ネットワークを介して RT コンポーネントの起動終了や RT コンポーネントの動作管理を行う仕組みも必要になる。

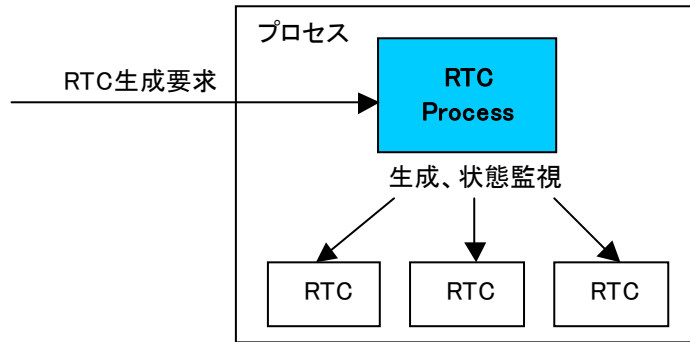
移動知能用 RT ミドルウェアは、これらの仕組みを提供するために、システム管理モジュールを用意する。システム管理モジュールは、以下の 4 つの子モジュールにより構成される。

- (1) RTC Process
- (2) RTC Process Factory
- (3) Subsystem
- (4) System Controller

以降では、上記モジュールの概要について述べる。

##### (a-1-1) RTC Process

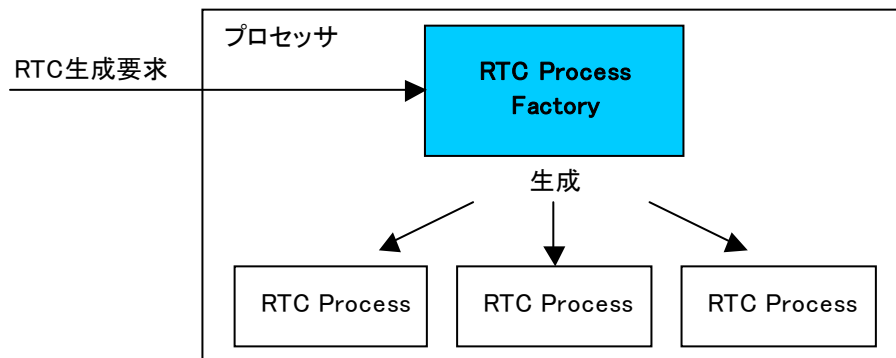
RTC Process は、RT コンポーネントのライフサイクルを管理する。プロセス毎に 1 つ存在し、外部からの要求に応じて、自らが所属するプロセスに RT コンポーネントを生成する。また、生成した RT コンポーネントの状態監視を行い、異常を検知すると、外部に通知する仕組みも備える。



RTC Process による RT コンポーネントの生成、監視

(a-1-2) RTC Process Factory

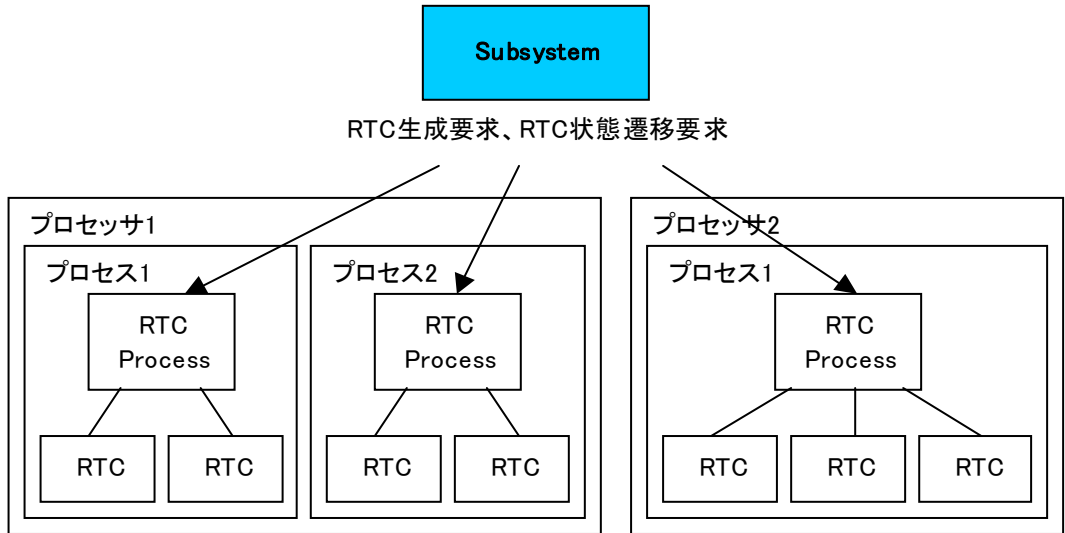
RTC Process Factory は、プロセッサごとに 1 つ存在し、RT コンポーネントの生成要求を受け付ける。外部から RT コンポーネントの生成要求があった場合、RTC Process Factory は RTC Process を生成し、RTC Process に RT コンポーネントの生成を要求する。



RTC Process Factory による RTC Process の生成

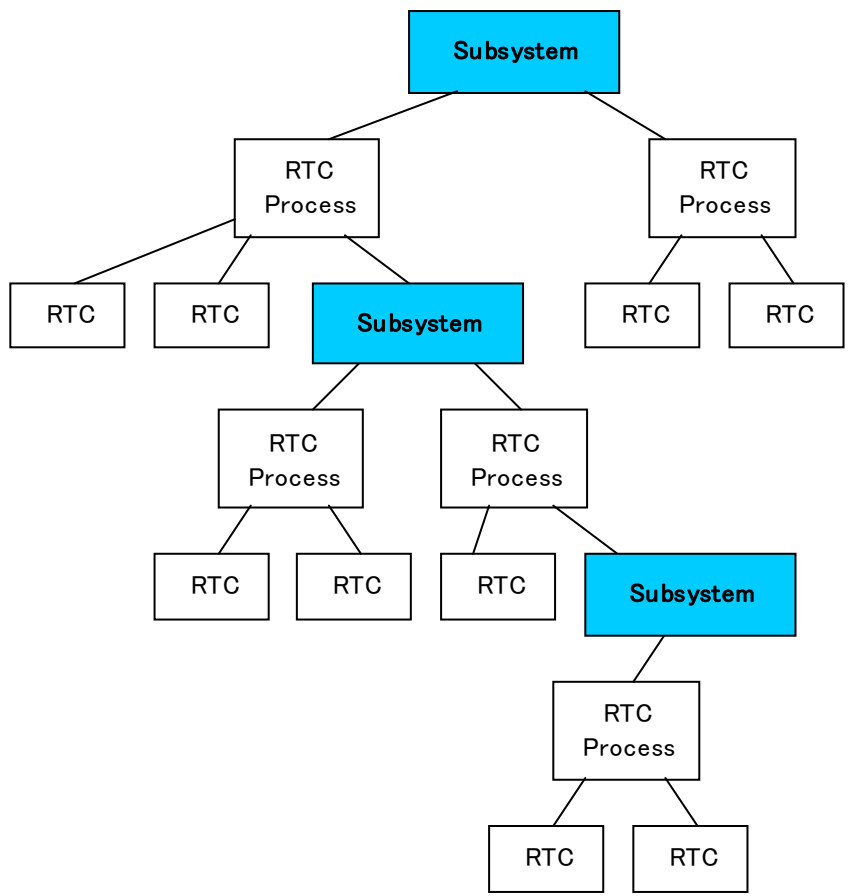
(a-1-3) Subsystem

Subsystem は、システム構成を管理する。RTC Process Factory が生成した RTC Process を用いて、システムに必要な RT コンポーネントを生成する。また、RT コンポーネント間の接続、RT コンポーネントへの状態遷移の指示も行う。



Subsystem による RT コンポーネントの生成

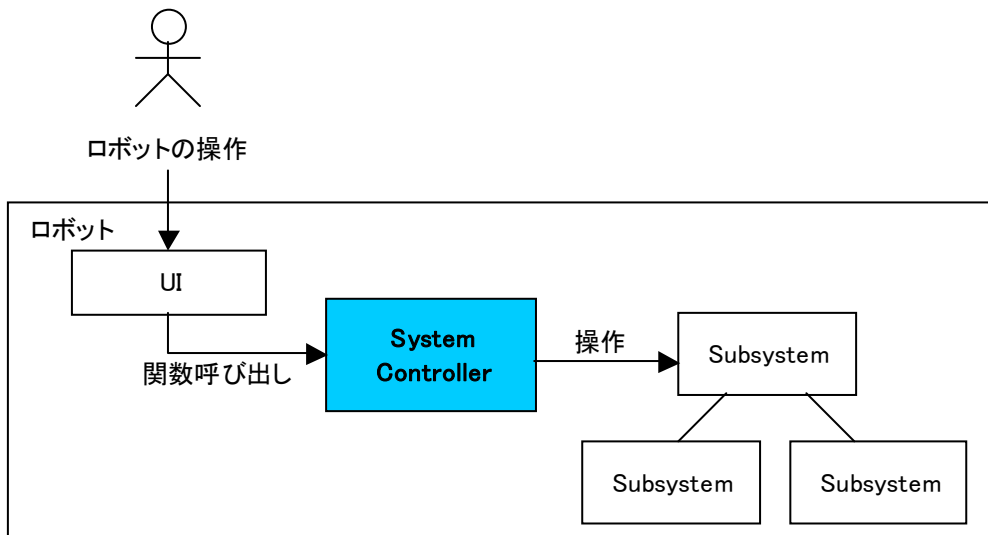
Subsystem の名称に”Sub”が付与されているのは、Subsystem を階層化し、Subsystem が他の Subsystem を管理するようにシステムを構成することが可能だからである。これにより、例えば、移動知能ロボットを管理する Subsystem を階層化し、複数の移動知能ロボットで構成されるロボットシステムを構築することが可能になる。



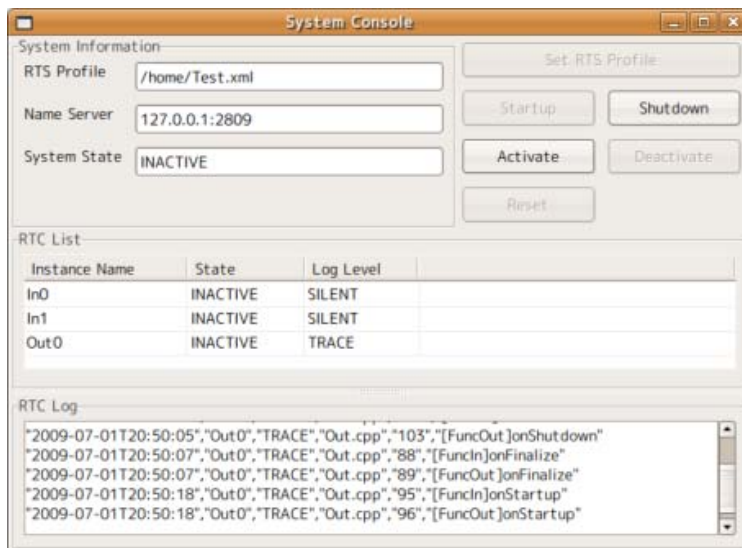
Subsystem の階層化

#### (a-1-4) System Controller

System Controller は、階層化された Subsystem のうち、最上位の Subsystem を操作するためのライブラリである。主に、移動知能ロボットの起動を行う UI アプリケーションを作成するために用いる。単純化された UI アプリケーションを介して Subsystem を操作することによって、RT ミドルウェアの知識を持たない利用者でも容易にロボットを操作できるようにする。



System Controller による Subsystem の操作



System Controller を利用した GUI の例

#### (a-2) リソース管理モジュール

RT ミドルウェアを用いた移動知能ロボットは、内部に搭載された複数のプロセス上に RT コンポーネントを分散して配置する。RT コンポーネント間でのデータ

の送受信はネットワークを介して行われるため、RT コンポーネントの数が増加するに伴い、ネットワークトラフィックが増加する課題がある。

移動知能用 RT ミドルウェアでは、この課題を解決するため、リソース管理モジュールを用意する。リソース管理モジュールは次の 2 つの子モジュールから構成される。

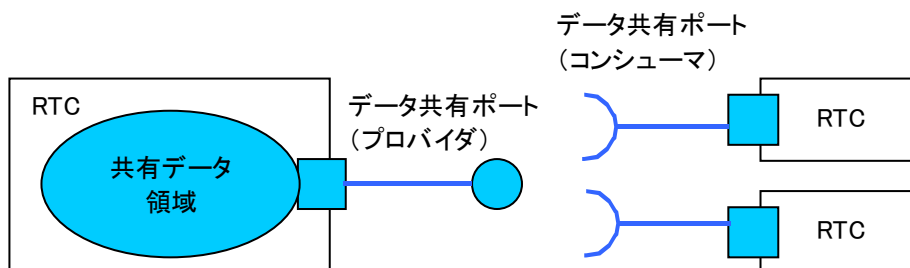
- (1) データ共有ポート
- (2) データ同期ポート

以降では、上記モジュールの概要について述べる。

#### (a-2-1) データ共有ポート

データ共有ポートは、RT コンポーネント間でデータを共有するためのポートである。OpenRTM-aist では、RT コンポーネント間の通信手段としてデータポートとサービスポートという 2 種類のポートを用意している。データ共有ポートは、サービスポートを拡張し、データ共有のための機能を実装している。

データ共有ポートには、サービスポートと同様に、プロバイダとコンシューマという 2 種類のインタフェースがある。プロバイダは、共有データ領域を持ち、他の RT コンポーネントにデータ共有領域を公開する。コンシューマは、プロバイダが公開している共有データ領域を RT コンポーネントから操作する手段を提供する。

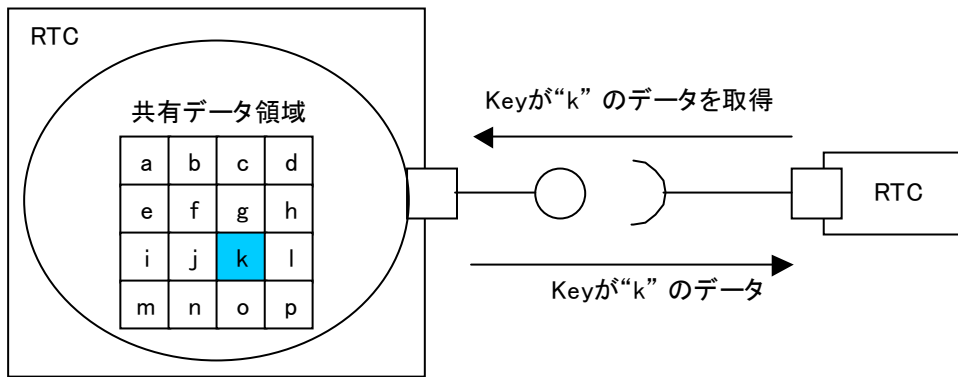


データ共有ポートのプロバイダとコンシューマ

データ共有ポートは、次の 2 つの方法を採用することで、ネットワークトラフィックを削減する。

##### (1) 共有データの分割管理

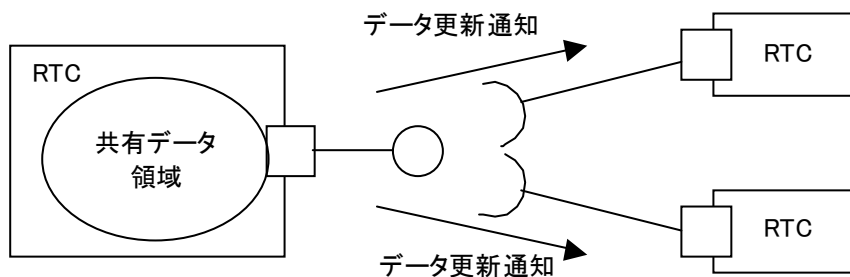
データ共有ポートのプロバイダが持つ共有データ領域は、Key-Value Store (KVS) として構成される。これにより、Key を指定してデータの一部分のみを取り出すことが可能になり、ネットワークトラフィックを削減できる。例えば、地図データを管理する場合、人や障害物情報の追加や更新、経路計画などに必要となるデータは、地図データ全体の一部分であることが多い。この場合に、地図データ全てを送信するのは非効率である。人や障害物の ID、地図上の座標などを Key として、必要な地図データだけを取り出して送受信することで、ネットワークトラフィックの増加を抑えることができる。



共有データ領域から Key を指定してデータを取得する

## (2) データ更新通知

コンシューマが共有データ領域のデータを取得する方法としては、コンシューマ側が能動的に共有データ領域を参照する方法と、データが更新された場合にプロバイダ側からコンシューマに通知する方法が考えられる。どちらの方法がより効率的かは、データの更新頻度によって異なる。そのため、データ共有ポートは、コンシューマ側が能動的に共有データ領域を参照するインタフェースだけでなく、コンシューマ側にデータ更新通知を行う仕組みも備えている。データ更新通知を行う際は、データそのものは通知せず、更新されたデータの Key のみを通知することで、ネットワークトラフィックを削減する。



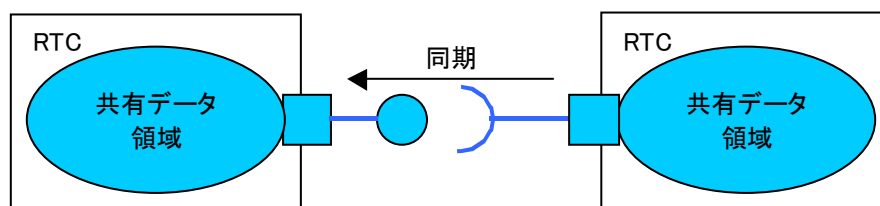
共有データ領域からのデータ更新通知

### (a-2-2) データ同期ポート

データ共有ポートは、共有データ領域を持つ1つのプロバイダを複数のコンシューマが参照する構成になっている。コンシューマの数が増加するに伴い、データ共有ポートが利用する特定通信路のネットワークトラフィックが増加する問題がある。この回避策として、共有データ領域を分散管理し、ネットワークトラフィックを複数の通信路へ分散させる方法が考えられる。この方法を採用する場合、複数の共有データ領域間で、データの同期を取る必要がある。

データ同期ポートは、2つの共有データ領域の同期を行うポートである。データ共有ポートと同様に、OpenRTM-aist のサービスポートを拡張して実装している。データ同期ポートを利用することで、データ共有ポートのプロバイダが持つ共有データ領域の内容を同期させることができる。





データ同期ポートによる共有データ領域間の同期

### (a-3) デバッグ管理モジュール

RT ミドルウェアを用いた移動知能ロボットの開発では、RT コンポーネントに対するデバッグ作業が頻繁に行われる。RT コンポーネントはネットワーク上に分散して配置されているため、RT コンポーネントのデバッグ情報もネットワーク上に分散している。移動知能ロボットのように多数の RT コンポーネントを扱う場合、分散したデバッグ情報を統合するだけで多くの手間がかかり、デバッグ作業の効率が低下する。

移動知能 RT ミドルウェアでは、デバッグ管理モジュールによって、RT コンポーネントのデバッグ情報を一元管理するための仕組みを提供する。

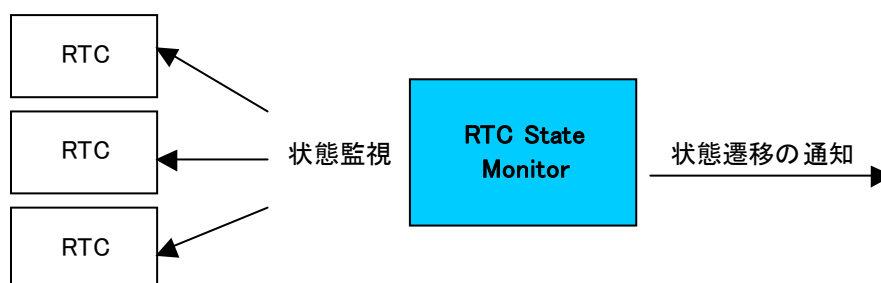
デバッグ管理モジュールは次の 2 つの子モジュールから構成される。

- (1) RTC State Monitor
- (2) Log Collector

以降では、上記モジュールの概要について述べる。

#### (a-3-1) RTC State Monitor

RTC State Monitor は、移動知能ロボットを構成する RT コンポーネントの状態遷移の情報を管理する。移動知能ロボットを構成する全ての RT コンポーネントの状態を周期的に監視し、状態が遷移した RT コンポーネントがあれば、外部に情報を通知する。

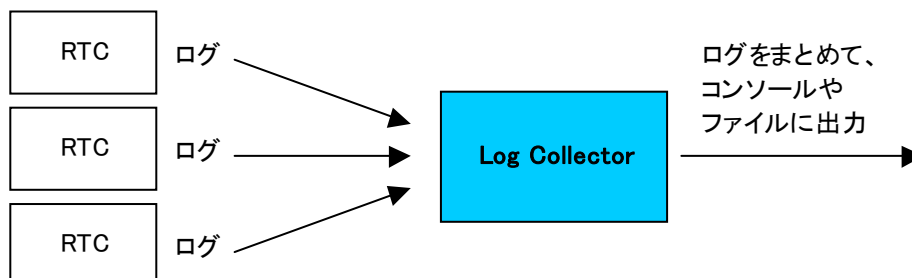


RTC State Monitor による RT コンポーネントの状態監視

#### (a-3-1) Log Collector

Log Collector は、移動知能ロボットを構成する RT コンポーネントが出力するログ情報を一元管理する。Log Collector が各 RT コンポーネントから収集したログ情

報は、まとめてコンソールやファイルに出力できる。また、ログ情報にはログの出力レベルが設定されており、重要度や必要性に応じてフィルタリングを行うことができる。ログの出力先や、ログ出力レベルによるフィルタリングの設定は、コンフィギュレーションファイルに記述されており、これを書き換えることで、設定を変更できる。



Log Collector による RT コンポーネントのログ収集

ログ出力レベル一覧

ログレベル		意味
高	FATAL	重大なエラー
	ERROR	一般的なエラー
↑ ↓	WARN	警告
	INFO	情報の通知
低	DEBUG	デバッグ用
	TRACE	コードのトレース用

#### (a-4) 外部システム接続モジュール

RT ミドルウェアを用いて移動知能ロボットを構築する際、全ての機能を新規に開発するのではなく、既存の資産を流用して開発を進める場合が多い。移動知能 RT ミドルウェアでは、移動知能モジュール汎用フレームワークが提供するソースコード生成機能を用いることで、コアロジックを容易に RT コンポーネント化できる。これにより、既存資産を容易に RT コンポーネント化し、RT ミドルウェアをベースとしたシステムに統合できるようになる。移動知能モジュール汎用フレームワークについては次項で述べる。

移動知能 RT ミドルウェアの開発では、RT ミドルウェアを用いて移動知能ロボットを構築するために有益な機能を提案、開発してきた。これらの機能の多くは、移動知能ロボットに限らず、RT ミドルウェアを用いたあらゆるロボットの構築に必要な不可欠である。そのため、移動知能 RT ミドルウェアのシステム管理モジュールとデバッグ管理モジュールが提供する機能は、移動知能 RT ミドルウェアが

ベースとしている RT ミドルウェア実装である OpenRTM-aist のバージョン 1.1.0-RC3 (2012 年 2 月末時点の最新バージョン) に取り込まれた。これにより、RT ミドルウェアを利用する全てのロボット開発者がより容易にロボットを構築することが可能になった。

#### (b) 移動知能モジュール汎用フレームワークの研究開発

OpenRTM-aist は、RT コンポーネント開発に有用な機能を多数提供しており、それらの機能を活用することで、高機能な RT コンポーネントの開発が可能になる。しかし、その一方、多くの特殊な機能をむやみに利用すると、汎用性が低下し、再利用が困難になる場合がある。また、利用方法が難しい機能も多くあり、OpenRTM-aist の内部実装に精通していないと、誤った利用によって RT コンポーネントの品質の低下を招く恐れがある。

OMG で標準化されている RT コンポーネント仕様は、汎用的なコンポーネントモデルは規定しているものの、RT コンポーネントの実装方法や RT コンポーネント間のインタフェースについては規定していない。

そこで、移動知能モジュール汎用フレームワークでは、コアロジックの RT コンポーネント化とインタフェース規定についての枠組みを提供する。これにより、汎用性と再利用性が高い RT コンポーネントを容易に開発できるようになる。

移動知能モジュール汎用フレームワークは、以下の 2 つの要素から構成される。

- (1) RT コンポーネント実装ガイドライン
- (2) ソースコード生成

以降では、上記要素の概要について述べる。

##### (b-1) RT コンポーネント実装ガイドライン

移動知能モジュール汎用フレームワークでは、OpenRTM-aist が提供する機能を効果的に利用して RT コンポーネントを開発するためのガイドラインを定めた。主なガイドラインは次の通りである。

- RT コンポーネントのインタフェースとしては、サービスポートよりもデータポートを優先して利用する。
- データポートから受け取るデータの処理は、RT コンポーネントの周期処理の中で行い、データポートのコールバック機能は利用しない。
- コアロジックの初期化処理は RT コンポーネントの活性時に行う。
- コアロジックの終了処理は RT コンポーネントの非活性時に行う。
- コアロジックは、RT コンポーネントのクラスと分離して実装する。

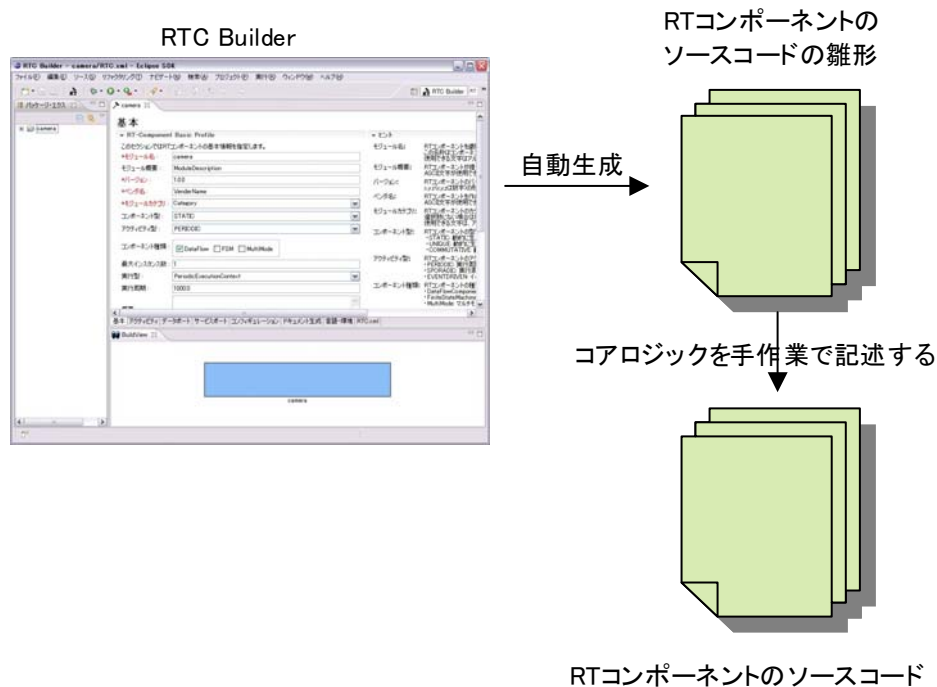
これらのガイドラインは、後述するソースコード生成機能を用いて RT コンポーネントのソースコードを生成することで自動的に適用されるようになっている。

##### (b-2) ソースコード生成

移動知能モジュール汎用フレームワークは、RT コンポーネントの開発を容易にするため、RT コンポーネントに共通して必要となる処理を記述したソースコード

を自動生成する機能を備える。

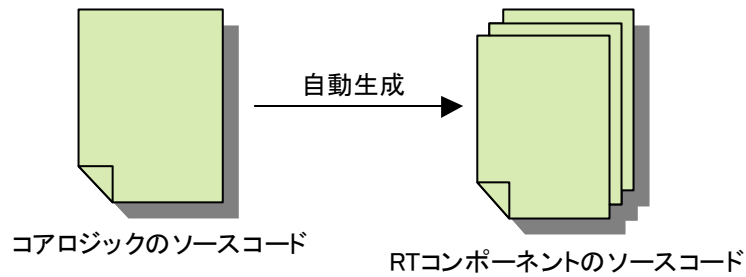
OpenRTM-aist は、ソースコードを自動生成する **RTC Builder** というツールを提供している。**RTC Builder** は GUI を持っており、テキストボックス等に入力された **RT コンポーネント** の情報を元に、**RT コンポーネント** のソースコードの雛形を自動生成する。**RT コンポーネント** 開発者は、自動生成されたソースコードの雛形に、コアロジックを埋め込んで、**RT コンポーネント** を開発する。



### RTC Builder によるソースコード生成

この手法は新規に **RT コンポーネント** を開発する場合には有効である。しかし、一度開発した **RT コンポーネント** を改造する場合、自動生成されるソースコードと、開発者が手作業で記述したコアロジックのソースコードとの間に競合が発生する。コアロジックを修正するたびに、**RTC Builder** でのソースコード再生成、コアロジックのソースコードとのマージ、という作業を繰り返さなければならず、**RT コンポーネント** の保守が困難になる。

そこで、移動知能モジュール汎用フレームワークでは、プログラミング技法の一種であるメタプログラミングと **DSL (Domain Specific Language)** の概念を元にした手法を用いてソースコードを生成する。移動知能モジュール汎用フレームワークでは、ある一定のルールに従って記述されたコアロジックのソースコードを元にして、**RT コンポーネント** 化したソースコードを実行時に自動生成する。**RTC Builder** が採用する手法とは異なり、**RT コンポーネント** のソースコードの雛形にコアロジックを手作業で埋め込むわけではないため、コアロジックのソースコードを修正してもマージ作業が発生せず、**RT コンポーネント** の保守が容易になる。



### 移動知能モジュール汎用フレームワークによるソースコード生成

例えば、データ入力ポートとデータ出力ポートを1つずつ持ち、入力された整数に1を加算した値を出力する RT コンポーネントを、移動知能モジュール汎用フレームワークを用いて記述すると、以下のようなソースコードになる。

```
import RTC
import rtseam.openrtm

# RTCのプロファイル情報.
profile = rtseam.Profile(name="AddOne",
                        inports={"Value": RTC.TimedLong},
                        outports={"Result": RTC.TimedLong})

# RTCのコアロジック. 入力値に1を加算して出力する.
def add_one(input_data):
    output_data = {}
    if "Value" in input_data:
        value = input_data["Value"]
        value.data += 1
        output_data["Result"] = value
    return output_data

# profile と add_one を使って RTC を生成し, 起動する
rtseam.openrtm.run(profile, add_one)
```

このソースコードを実行すると、以下のソースコードと等価なソースコードを移動知能モジュール汎用フレームワークが自動生成し、コアロジックを RT コンポーネント化する。

```
import sys
import RTC
import OpenRTM_aist
```

```

addone_spec = ["implementation_id", "AddOne",
               "type_name",        "AddOne",
               "description",      "no_description",
               "version",          "0.0.0",
               "vendor",           "no_vendor",
               "category",         "no_categor",
               "activity_type",    "STATIC",
               "max_instance",     "1",
               "language",         "Python",
               "lang_type",        "SCRIPT",
               """]

class AddOne(OpenRTM_aist.DataFlowComponentBase):
    def __init__(self, manager):
        OpenRTM_aist.DataFlowComponentBase.__init__(self,
                                                    manager)

        self._d_Value = RTC.TimedLong(RTC.Time(0,0), 0)
        self._ValueIn = OpenRTM_aist.InPort("Value",
                                             self._d_Value)
        self._d_Result = RTC.TimedLong(RTC.Time(0,0), 0)
        self._ResultOut = OpenRTM_aist.OutPort("Result",
                                                self._d_Result)

    def onInitialize(self):
        self.addInPort("Value", self._ValueIn)
        self.addOutPort("Result", self._ResultOut)
        return RTC.RTC_OK

    def onExecute(self, ec_id):
        if self._ValueIn.isNew():
            value = self._ValueIn.read()
            value.data += 1
            self._ResultOut.write(value)
        return RTC.RTC_OK

def AddOneInit(manager):
    profile = OpenRTM_aist.Properties(defaults_str=addone_spec)
    manager.registerFactory(profile,
                            AddOne,

```

```

                                OpenRTM_aist.Delete)

def MyModuleInit(manager):
    AddOneInit(manager)
    comp = manager.createComponent("AddOne")

def main():
    mgr = OpenRTM_aist.Manager.init(sys.argv)
    mgr.setModuleInitProc(MyModuleInit)
    mgr.activateManager()
    mgr.runManager()

if __name__ == "__main__":
    main()

```

移動知能モジュール汎用フレームワークが備えるソースコード生成機能は強力な仕組みであるため、移動知能用 RT ミドルウェアの外部システム接続モジュールと、後述する移動知能モジュール試験環境にも応用されている。ソースコード生成機能を利用するこれらのモジュールは PyRTSeam というソフトウェアに統合され、セックのロボットサイト (<http://www.sec.co.jp/robot/>) でオープンソースソフトウェアとして公開している。

### (c) 移動知能モジュール試験環境の研究開発

多数の RT コンポーネントを組み合わせる移動知能ロボットの開発において、品質や開発効率を向上させるには、個々の RT コンポーネントが仕様通りに正しく動作することが最低限必要である。移動知能モジュール試験環境は、移動知能ロボットを構成する個々の RT コンポーネントの品質を保証するために、RT コンポーネントの単体試験を容易に行う仕組みを提供する。

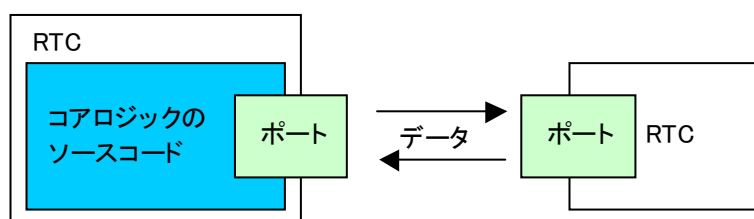
一般的なソフトウェア開発では、JUnit や CppUnit など、xUnit と総称されるテストフレームワークを用いて、自動化された単体試験が行われている。試験が自動化されていることにより、試験を繰り返し実施することが容易になる。これにより、ソフトウェアが仕様通りに動作することを常に確認できるため、品質が保証されるとともに、開発効率が向上する。

RT コンポーネント開発においても、テストフレームワークを導入するこ

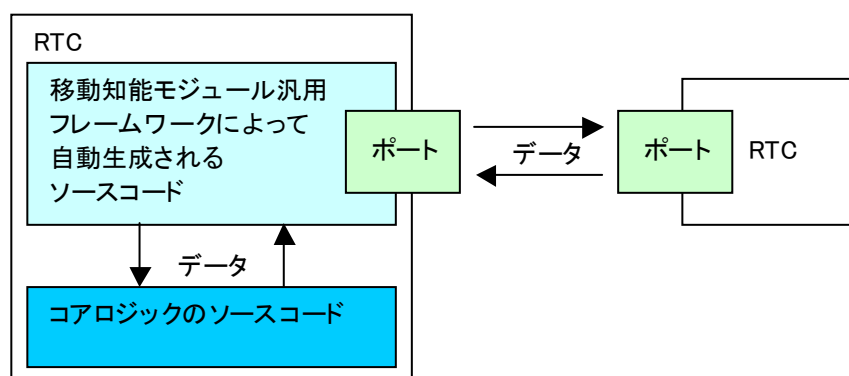
とによって、品質の保証と開発効率向上が期待できる。移動知能モジュール試験環境は、RT コンポーネント開発へのテストフレームワークの導入を支援する。

テストフレームワークを用いて RT コンポーネントを試験するには、データの入出力方法を工夫する必要がある。RT コンポーネントは、ポートと呼ばれる通信機構を介してデータを入出力する。テストフレームワーク上でポートを扱うためには、OpenRTM-aist の内部実装に関する知識が必要となり、容易ではない。

移動知能モジュール試験環境では、利用移動知能モジュール汎用フレームワークが備えるソースコード生成機能を用いて、ポートを扱う処理を自動生成する。これにより、試験対象となるソースコードでは、ポートを扱う必要がなくなり、テストフレームワークを用いた試験が容易に実施できるようになる。



通常の RT コンポーネントにおけるコアロジックのソースコードの範囲



移動知能モジュール試験環境におけるコアロジックのソースコードの範囲

移動知能モジュール試験環境は、移動知能モジュール汎用フレームワークや移動知能用 RT ミドルウェアと統合され、PyRTSeam というソフトウェアとしてセックのロボットサイト (<http://www.sec.co.jp/robot/>) でオープンソースソフトウェアとして公開している。

#### (d) RT ミドルウェア・移動知能モジュール汎用フレームワークの実ロボットによる動作検証

RT ミドルウェアおよび移動知能モジュール汎用フレームワークを実ロボットに適用し、動作検証を行った。また、ステレオ画像処理ハードウェア上への RT ミドルウェア動作環境の構築を行った。



### (d-1) 実ロボットへの適用

実ロボットへの RT ミドルウェアおよび移動知能モジュール汎用フレームワークの実ロボットへの適用実験として、以下の 2 つを行った。

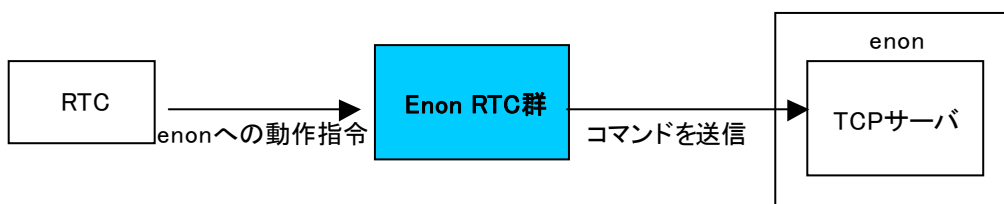
- (1) RT コンポーネントによる富士通サービスロボット enon の制御
- (2) 移動知能モジュール汎用フレームワークを用いた人追従 RT コンポーネントの開発

以降では、上記動作検証の概要について述べる。

#### (d-1-1) RT コンポーネントによる富士通サービスロボット enon の制御

富士通サービスロボット enon は、RT ミドルウェアを用いていない既存のシステムである。enon に RT ミドルウェアを適用するために、enon と通信する RT コンポーネントを開発した。これにより、他の RT コンポーネントから enon を制御できることを確認した。

enon と RT コンポーネントとの関係図を以下に示す。



enon と RT コンポーネントとの関係図

enon と通信する RT コンポーネントの一覧を以下に示す。

enon と通信する RT コンポーネント一覧

RT コンポーネント名	機能概要
EnonPanTilt	enon のパンチルトの角度操作とパンチルト角度情報取得の手段を提供する。
EnonSensor	enon に搭載されている距離センサとジャイロセンサのデータを周期的に取得し、データポートから出力する。
EnonVehicle	enon の走行制御に関する操作手段を提供する。
EnonCamera	enon のカメラのレジスタ取得・設定と、画像取得に使用するカメラの設定の手段を提供する。

#### (d-1-2) 移動知能モジュール汎用フレームワークを用いた人追従 RT コンポーネン

トの開発

移動知能モジュール汎用フレームワークを用いて RT コンポーネント群を開発し、人追従システムを構築することによって、RT ミドルウェアおよび移動知能モジュール汎用フレームワークの動作検証を行った。本システムの特徴を以下に示す。

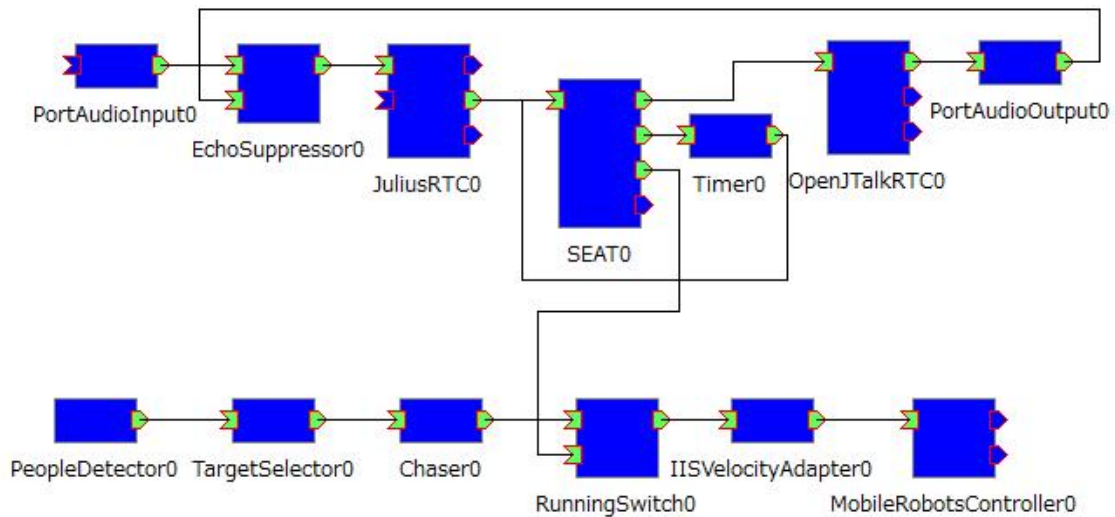
- ASUS 社のモーションセンサ Xtion PRO LIVE を用いて人を認識し、その人を追従するようにロボットを移動させる。
- 音声対話のための RTC 群である OpenHRI を利用し、音声指示によって追従開始と停止を指示できる。
- ロボットは MobileRobots 社の Pioneer P3-DX を利用する。

本システムを構成する RT コンポーネントのうち、移動知能モジュール汎用フレームワークを用いて開発した RT コンポーネント群の一覧を以下に示す。

移動知能モジュール汎用フレームワークを用いて開発した RT コンポーネント一覧

RT コンポーネント名	機能概要
Chaser	人の座標を入力すると、一定距離を保って人を追従するための速度を出力する。
IISVelocityAdaptor	RTC.TimedVelocity2D 型の速度情報を受け取り、IIS.TimedVelocity2D 型に変換する。
PeopleDetector	ASUS 社のモーションセンサ Xtion PRO LIVE を用いて、認識した人の三次元座標を出力する。
RunningSwitch	台車を動かす RTC に接続することで、台車の移動、停止を切り替えるスイッチとして作用する。
TargetSelector	入力された 3 次元点群の中から 1 点を選択し、出力する。
Timer	任意の文字列を入力すると、一定時間経過した後に、入力された文字列をそのまま出力する。ワンショットタイマとして利用できる。

上記 RT コンポーネント群に、産業技術総合研究所が開発した音声対話のための RTC 群である OpenHRI、豊橋技術科学大学が開発した MobileRobots 社ロボット用制御 RTC を加えて、本システムを構築した。本システムの RT コンポーネント構成図を以下に示す。



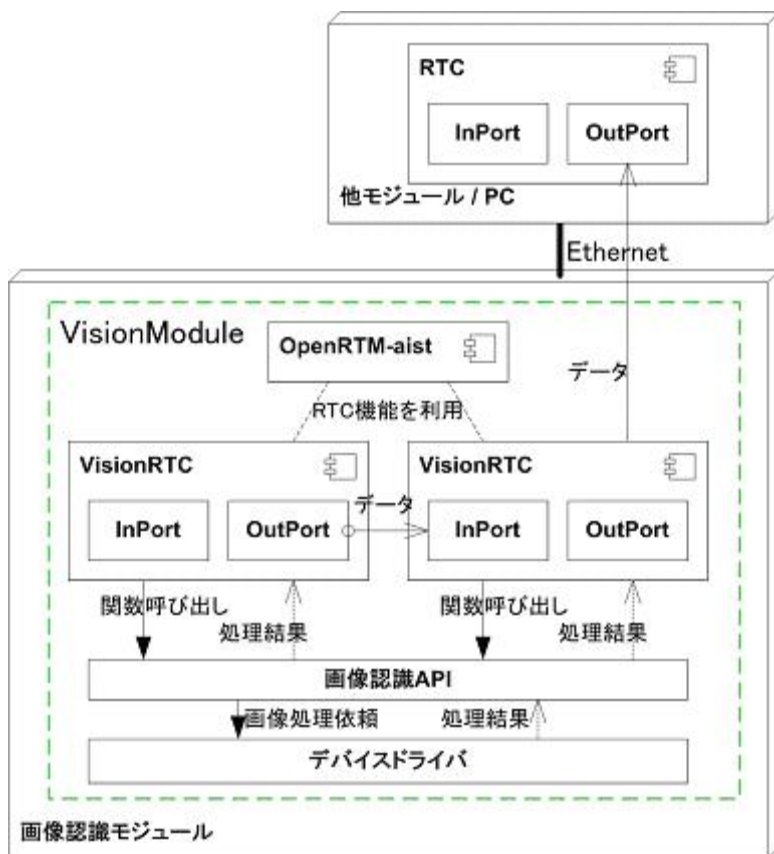
移動知能モジュール汎用フレームワークを用いた人追従システムの RT コンポーネント構成図

移動知能モジュール汎用フレームワークを用いて開発した人追従 RT コンポーネント群は、セックのロボットサイト (<http://www.sec.co.jp/robot/>) でオープンソースソフトウェアとして公開している。

(d-2) ステレオ画像処理ハードウェア上への RT ミドルウェア動作環境の構築

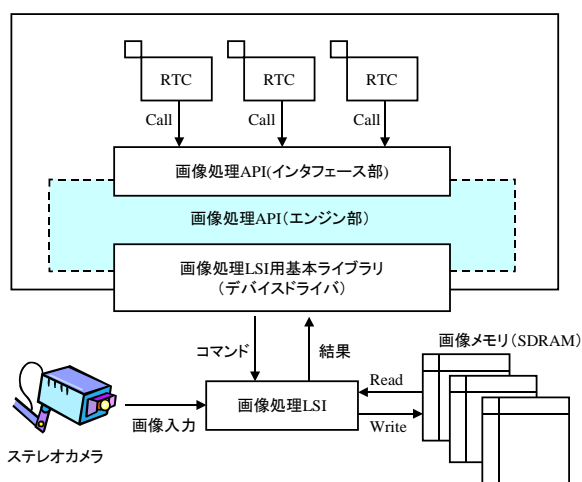
2005 年度から実施された次世代ロボット共通基盤開発プロジェクトでは、DSP 版のステレオ画像処理ハードウェア上に RT ミドルウェア動作環境を構築し、外部の RT コンポーネントとの通信を可能にした。本実施項目では、DSP 版のステレオ画像処理ハードウェア上に構築された RT ミドルウェア動作環境を、Linux 版のステレオ画像処理ハードウェア上に移植し、外部の RT ミドルウェアとの通信を可能にした。

Linux 版ステレオ画像処理ハードウェア上における RT ミドルウェア動作環境のシステム構成図を以下に示す。



ステレオ画像処理ハードウェア上での RT ミドルウェア動作環境のシステム構成図

上記の RT ミドルウェア動作環境を用いて、画像処理 RT コンポーネント群および、画像処理結果を表示するビューワ RT コンポーネント群を開発し、動作検証を行った。画像処理 RT コンポーネントのソフトウェア構成と、RT コンポーネントの一覧、画像処理結果の例を以下に示す。



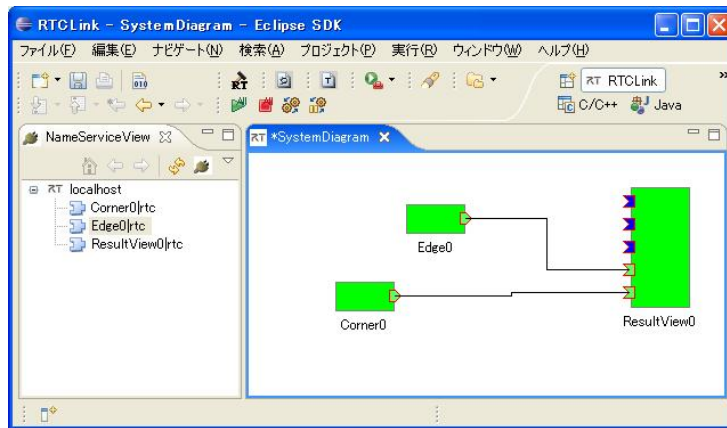
画像処理 RT コンポーネントのソフトウェア構成

### 画像処理 RT コンポーネント一覧

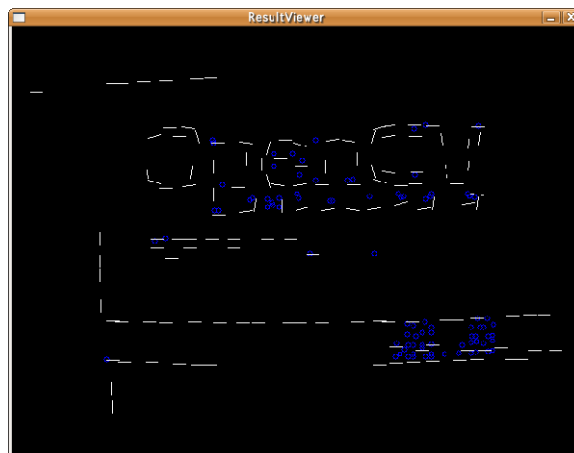
RT コンポーネント名	機能概要
OpticalFlow	画像の時間変化を調べ、2次元のベクトルデータを取り出す。
TemplateMatching	テンプレート画像として入力された画像を、探索画像から探す。
TemplateTracking	テンプレート画像として入力された特徴点（領域）を追跡する。
Corner	微分フィルタリングによる勾配ベクトルを使って、コーナーを抽出する。
Edge	微分フィルタリングによる勾配ベクトルを使って、エッジを抽出する。
Sobel	Sobel フィルタの処理を入力カメラ画像に対して行う。
Histogram	入力された画像から画像の明るさの分布を取得する。
Segmentation	入力画像を、白と黒の二値画像に変換する。
ImageStream	様々な画像形式の入力に対応した、実データを出力するコンポーネントである。
Video2HSV	入力された画像を、HSV 形式に変換して出力する。
Video2RGB	入力された画像を、RGB 形式に変換して出力する。
ImageCapture	カメラ画像の指定した領域を、画像メモリに格納して出力する。

画像処理 RT コンポーネントの処理結果を表示するビューワ RT コンポーネント一覧

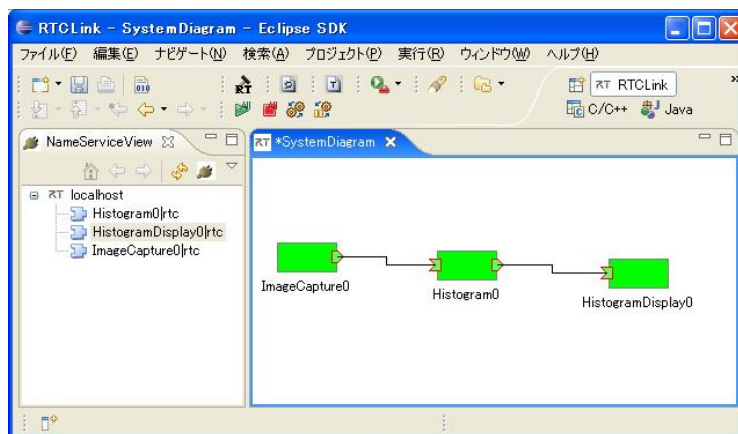
RT コンポーネント名	機能概要
ImageDisplay	画像を描画する。
ResultViewer	オプティカルフロー、エッジ抽出、コーナー抽出、エッジ抽出、テンプレートトラッキング、テンプレートマッチングの演算結果を描画する。
HistogramDisplay	ヒストグラムを描画する。



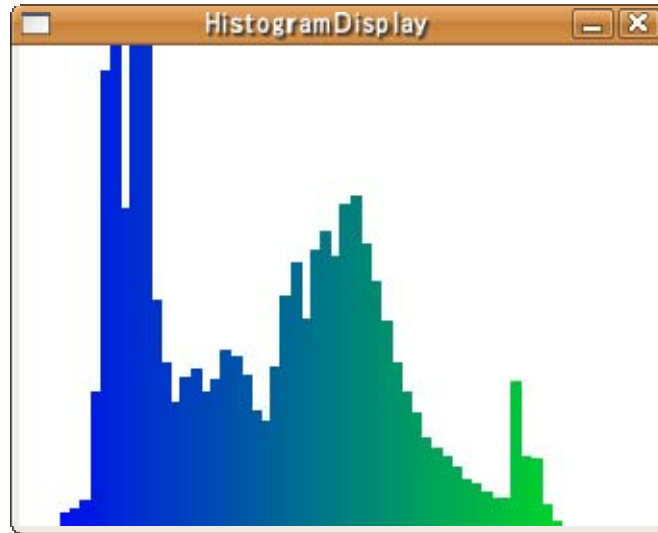
エッジ抽出・コーナー抽出 RT コンポーネントの接続図



エッジ抽出・コーナー抽出の演算結果描画



ヒストグラム RT コンポーネントの接続図



ヒストグラム描画コンポーネント

### 3.4.1.3.1.5 移動知能モジュールの3次元対応とその有効性検証（東京大 学）

#### （1）実時間3次元オプティカルフローモジュールの開発

3.1.2にて、富士通株式会社が開発したステレオ画像認識ボード上で動作する特徴点追跡型実時間3次元オプティカルフロー生成RTCを開発することにより、ロボットや人が動く際の環境中の3次元特徴点群を30fpsの速度で追跡することが可能になった（図3.1.5.1）。実際に、ステレオ画像認識ボードを頭部に内蔵した検証用ヒューマノイドヘッドを用いて、歩行中の頭部3次元揺動下においても動作する揺れ補正アルゴリズムの実現と検証を行った。開発したRTCはオープンソースにて公開した。



図 3.1.5.1: 3次元オプティカルフロー

#### （2）3次元運動分離認識モジュール群の開発

（1）で開発、検証してきた実時間3次元オプティカルフローをベースに実時間で自己運動軌道と他者運動軌道を分離して推定するRTC群を開発した。開発したRTCモジュール群は図3.1.5.2に示すように主に4つのRTCから構成され、センサデバイス組込によりヒューマノイドロボット、リファレンスハードウェア、Enonなど多様なロボットで検証を行った。また、ヘッドマウン

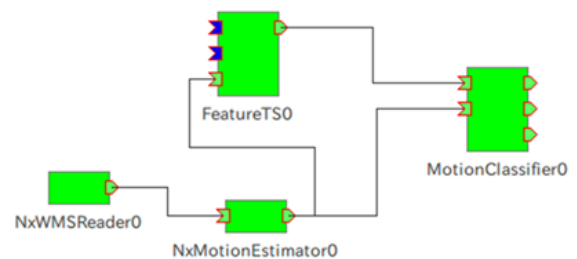


図 3.1.5.2: 3次元運動分離認識モジュール群

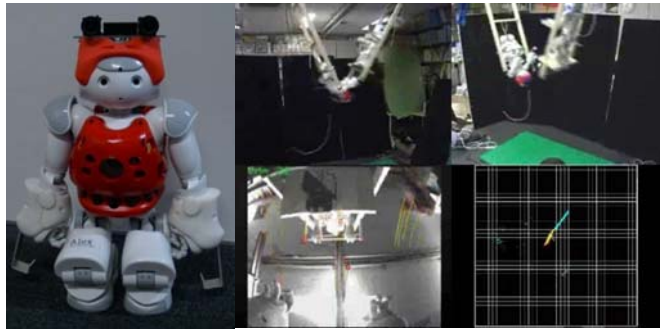
ト型デバイスを開発することによって、ロボットや人間のような様々な移動体に取り付け可能で自己運動、他者運動、環境情報の三者を同時認識可能なシステムを実現した（図3.1.5.3）。開発したRTCはオープンソースにて公開した。また、実時間30fpsで3次元的に自己運動と他者の運動の分離推定を行うことが可能な



図 3.1.5.3: ヘッドマウント型デバイスによる歩行時の自己（水色）・他者（黄色）運動の推定

特性を活かすことにより、図3.1.5.4に示す空中ブランコ動作のように互いに高速で動作する際の運動軌道推定とそれに基づく動作生成が可能なことも示すことができた。





### (3) 多様なロボットシステムにおける有効性検証

(2) で開発した 3 次元運動分離認識モジュール群に関して、様々なロボットで動作検証を行い、その有効性を検証した。図 3.1.5.5 にリファレンスハードウェア頭部にステレオカメラを、台座部にステレオ画像処理ハードウェア及びモジュール群を実行するノート PC を載せた形で室内を走行させ、その自己運動軌跡

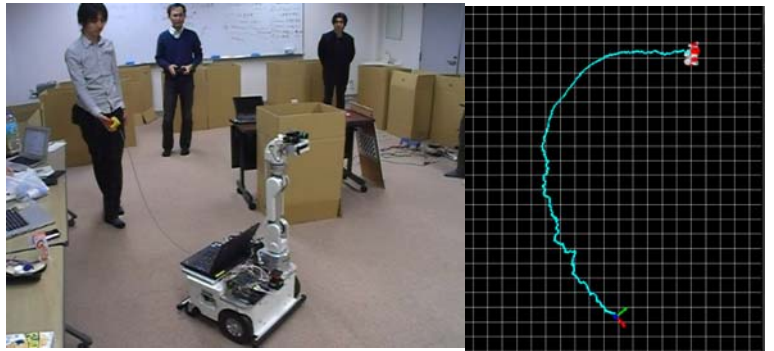


図 3.1.5.5: リファレンスハードウェア走行中の自己運動軌跡

を推定している様子を示す。また、リファレンスハードウェアと同様の 3 次元運動分離認識の検証を行ったロボットシステムの例を図 3.1.5.6 に示す。左端のものは等身大台車型、中央及び右端のものは等身大二脚型であるが、左端及び中央のロボットにおいてはロボットに直接センサシ

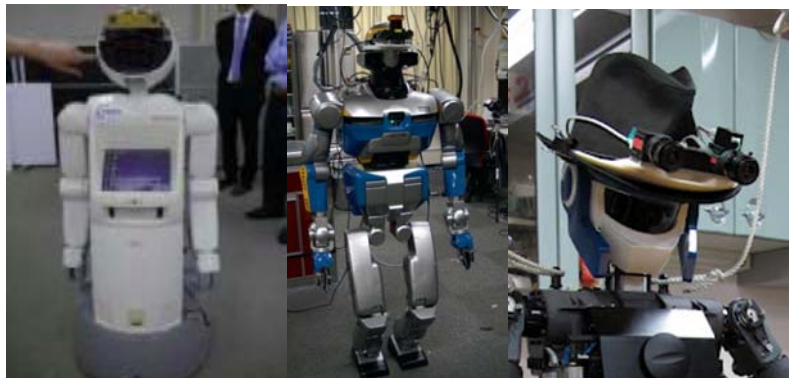


図 3.1.5.6: 3 次元運動分離認識モジュールの検証を行ったロボットシステム

ステムを搭載して組み込んだ形にしているのに対して、右端のロボットではヘッドマウント型デバイスを装着させることで、検証を行なっている。

### (4) まとめ

東京大学では、移動知能モジュールを 3 次元対応するために、動的な環境においてロボットが動きまわる際の自己の 3 次元運動を実時間で認識するモジュール群を開発した。開発したモジュールは富士通株式会社がプロジェクトにおいて開発した

ステレオ画像処理ハードウェア上で動作する特徴点追跡型3次元オプティカルフロー生成モジュールがコアとなっており，そこから得られる情報を元に点群のクラスタリングを行い，30fpsで自己運動と他者運動に分離して認識することが可能である．開発したモジュール群の有効性を確認するために，ヒューマノイドロボット，リファレンスハードウェアなどのロボットシステムに組み込んで検証するだけでなく，人やロボットが容易に装着可能なヘッドマウント型デバイスを開発し，実際に人間や等身大二脚型ヒューマノイドロボットにおける検証を行い，その有効性を確認した．また，ここで，開発したRTCはオープンソースライセンスにて公開した．

### 3.4.1.3.1.6 移動環境視覚認識モジュールの研究開発（奈良先端科学技術 大学院大学）

- ・カメラを用いた位置推定モジュール  
（奈良先端科学技術大学院大学）

天井画像に基づく位置推定の基本ソースコードを RTC 再利用技術研究センタに提供し，RT コンポーネント化された天井画像を用いた自己位置推定モジュールを共同開発した．また，提供された天井画像に基づく位置推定モジュールをリファレンスハードウェアと enon に搭載し，奈良先端大の情報研究科棟内と積水ハウス総合住宅研究所の実験設備にて位置推定と移動ロボットのナビゲーションが可能であることを確認した．



天井画像に基づく位置推定を行うリファレンスハードウェア

- ・レーザレンジファインダを用いた位置推定モジュール  
（奈良先端科学技術大学院大学）

レーザ測域センサから得られた距離データを元に位置推定を行うモンテカルロ位置推定モジュールを RT コンポーネントとして開発し，サービスロボット enon やリファレンスハードウェアにて動作検証を行った．また国際ロボット展においては富士通コンソーシアムとの連携を行った．富士通コンソーシアム製の地図生成モジュールにより作成された地図情報を再利用し，地図管理モジュールを介して読み込むことで他のモジュールを書き換えることなく位置推定が実現可能であることを確認した．

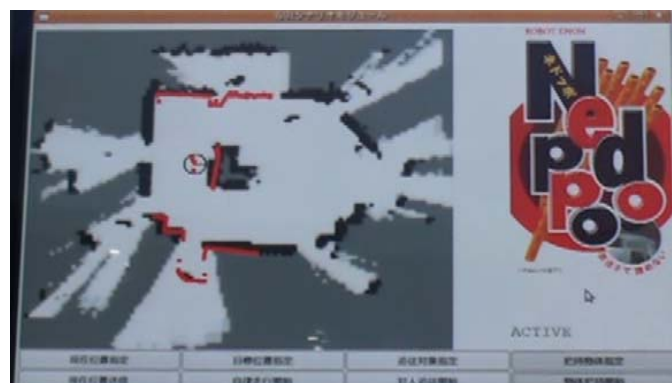


図 \*\* 国際ロボット展でのモンテカルロ位置推定

・ LRF データ取得モジュール  
(奈良先端科学技術大学院大学)

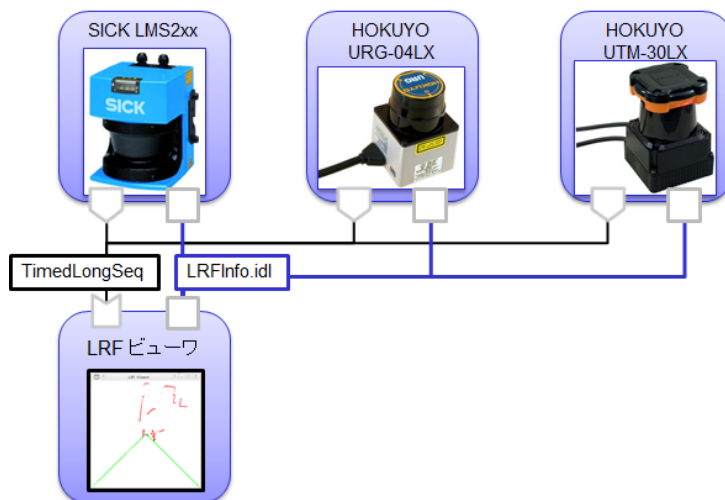
レーザレンジファインダ SICK 社製 LMS2xx シリーズ及び北陽電機社製 URG シリーズの距離データを取得するモジュールを開発した。デバイス名，距離分解能をコンフィギュレーションセットから設定することが可能とした，様々な LRF に対応するようインタフェース仕様が一般化されており，SICK 社用コンポーネントと北陽電機社用コンポーネントは入れ替え可能とした。後述のデータ描画コンポーネントと組み合わせることで容易にデータ取得と表示が可能となる。



LRF データ取得モジュール

・ LRF 距離データ描画モジュール  
(奈良先端科学技術大学院大学)

レーザレンジファインダの距離データを受け取り，ウィンドウ上に表示するモジュールを開発した。コンフィギュレーションセットから中心位置，姿勢，描画解像度（スケール）を設定可能とした。様々な LRF に対応するようインタフェース仕様が一般化されており，前述の LRF データ取得モジュールと組み合わせることで容易にデータ取得と表示が可能となる。

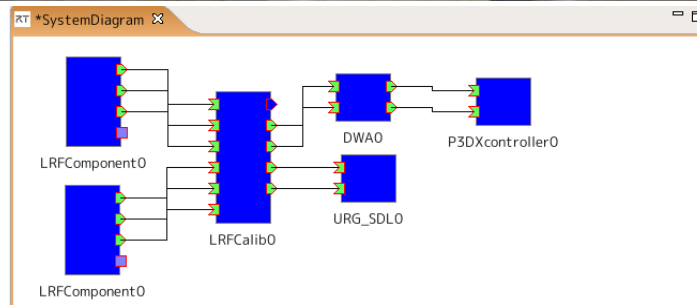
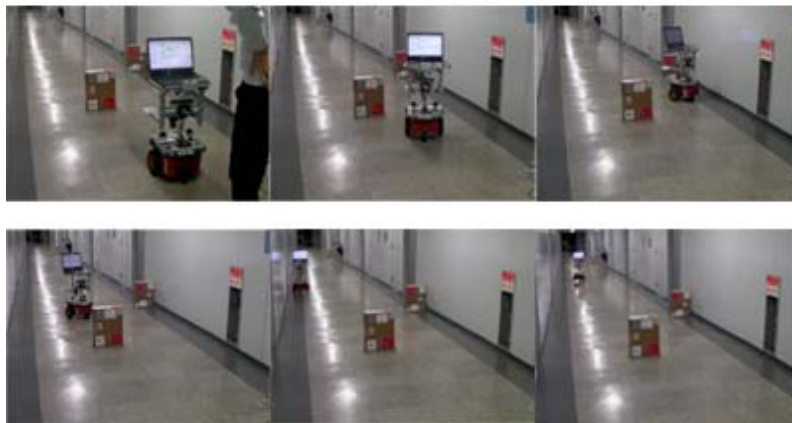


LRF データ表示モジュール

・カメラを用いた行動学習モジュール  
(和歌山大学)

全周囲距離データ取得モジュール，距離データに基づく局所動作計画モジュールに関して研究を行った．全周囲距離データ取得モジュールについては，周囲約 240 度の範囲を計測可能な距離センサを 2 台組み合わせ，全周囲データを取得可能なモジュールとして実現した．また局所動作計画を実現するために Dynamic Window Approach アルゴリズムを利用したモジュールを作成した．今年度作成したモジュールと前年度作成した車輪型移動ロボット制御モジュールを組み合わせ，模擬環境において動作確認実験を行い，静的障害物に対して回避動作が実現できることを確認した．

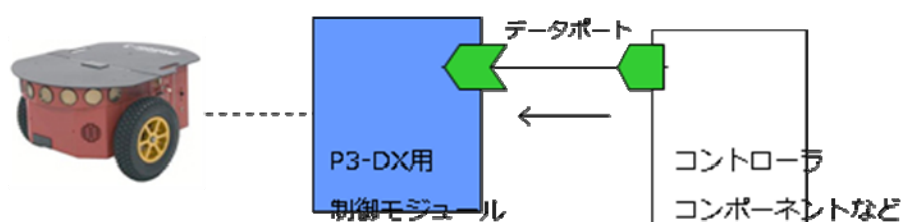
また，走行状況推定モジュール試作のために，車輪型移動ロボットの車輪の回転角度の測定値から外乱オブザーバを用いて車輪が地面を蹴る力を推定するシステムを構築し，シミュレーションによりその妥当性を確認した．



局所動作計画モジュールの試作

- Mobile Robot社製P3-DX用制御モジュール  
(和歌山大学)

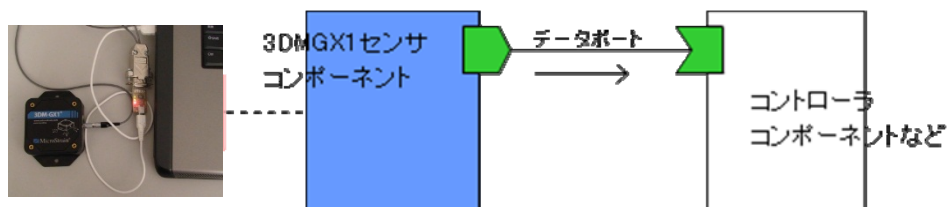
車輪型移動ロボットの研究で頻繁に利用される Mobile Robot 社製の車輪型移動ロボット P3-DX に関する RT コンポーネントを作成した. P3-DX ロボット制御 RTC は, ロボットの PC インタフェースとして用意されている RS232C を使用することを前提としている. 市販の RS232C-USB 変換ケーブルを使用して P3-DX ロボットと PC を接続する. P3-DX ロボット制御 RTC は, 入力用ポートから受け取った並進速度, 回転速度に基づいてロボットを動かす. P3-DX ロボット制御 RTC のコンポーネント構成を下図に示す.



P3-DXロボット制御RTC の構成

- 3DMGX1センサRT コンポーネント  
(和歌山大学)

MicroStrain社製の小型3軸角度センサ3DMGX1用のRTコンポーネントを作成した. 3DMGX1センサ RTC は, 3DMGX1センサからロール, ピッチ, ヨー角, x方向加速度, y方向加速度, z方向加速度, x方向角速度, y方向角速度, z方向角速度, タイムスタンプを取得し, 出力用ポートへ出力する. 3DMGX1センサ RTCは, ロボットのPCインタフェースとして用意されているRS232C を使用することを前提としている. 市販のRS232C-USB 変換ケーブルを使用して3DMGX1センサとPCを接続する. 3DMGX1センサ RTC のコンポーネント構成を下図に示す.



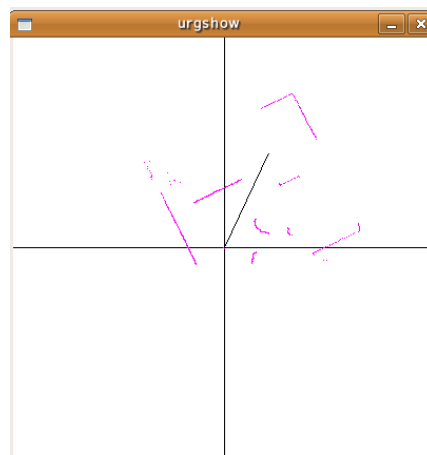
3DMGX1センサRTC の構成

• VFHアルゴリズムに基づく局所経路計画モジュール  
(和歌山大学)

距離センサ (UTM-30LX, URG04-LX)からの距離データを利用して, Vector Field Histogram(VFH)法に基づいて, ロボットの進行方向を求めるRTコンポーネントを作成した.

VFHアルゴリズムでは, 距離センサのスキャン結果を利用して極座標系で障害物の存在確率密度を表すヒストグラムを作る. 障害物の存在確率密度が最も小さく, 最も目標地点の方向に合っているものを選んでロボットの進行方向を決定する.

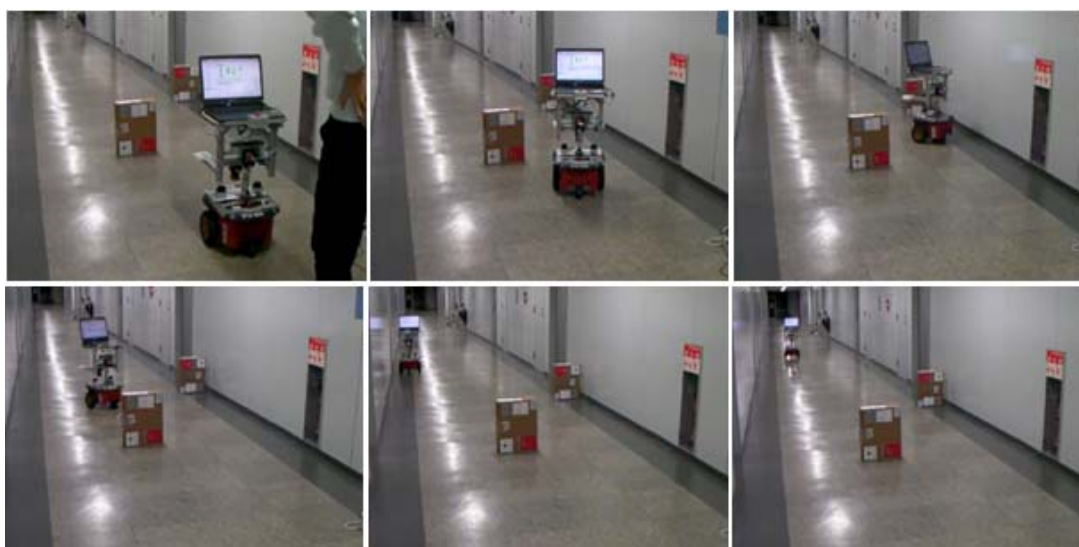
作成したコンポーネントでは, ロボット周辺の距離データと進行方向をSDL, OpenGLを使用してリアルタイムに表示する. その例を下図に示す. この図では, 座標系の原点に距離センサが存在する. 原点から斜めに伸びる直線がこのコンポーネントにより求められたロボットの進行方向を表している. 赤い点群はロボット周辺の距離データを表している.



VFHアルゴリズムに基づく局所計画モジュールの出力例

• DWAアルゴリズムに基づく局所経路計画モジュール  
(和歌山大学)

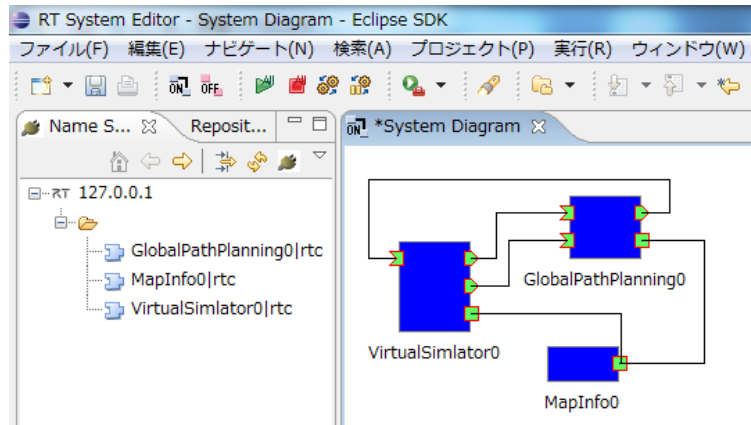
入力される距離データからDynamic Window Approach(DWA)アルゴリズムに基づいて, 並進速度, 回転速度を出力するRTコンポーネントを作成した. DWAアルゴリズムでは, 平行2輪駆動台車のノンホロノミックな拘束や最大速度・角速度, また車体の形状を考慮して, 速度・角速度空間において探索を行い障害物回避を行うことが可能である. 下図に, 両端は壁で廊下に段ボール(障害物)を置いた直線的な廊下環境において, 作成したモジュールにより障害物回避を行った例を示す.



DWAアルゴリズムに基づく局所計画モジュールによる障害物回避

- ・大域的経路計画モジュール  
(大阪電気通信大学)

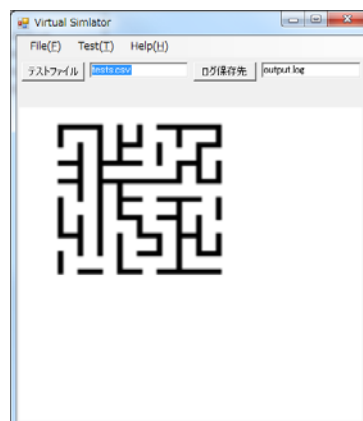
大域的経路計画に関して研究開発を行った。具体的には、事前に与えられる静的な障害物の地図情報と、移動ロボット、そして任意の時刻に与えられる目標地点の情報を基に、障害物に接触することなく、目標地点に到着するための中間地点を連続的に出力するモジュール群を研究開発した。その中で、大域的経路計画マップ管理モジュールの地図情報と移動ロボット、そして任意の時刻に与えられる目標地点の情報を基に、目標地点に到着するための中間地点を連続的に出力する大域的経路計画モジュールを作成した。



- ・大域的経路計画マップ管理モジュール  
(大阪電気通信大学)

大域的経路計画に関して研究開発を行った。具体的には、事前に与えられる静的な障害物の地図情報と、移動ロボット、そして任意の時刻に与えられる目標地点の情報を基に、障害物に接触することなく、目標地点に到着するための中間地点を連続的に出力するモジュール群を研究開発した。

大域的経路計画マップ管理モジュールは経路計画を行うにあたり、地図情報の管理、参照を目的として作成した。また、本モジュールを用いて大域的経路計画モジュールの研究開発を行った。また、これらについて、モジュールの開発・評価を行うことを目的として、検証用のシミュレータの作成を行った。下の図のように地図上を経路計画するモジュールを作成した。このシミュレータ上で大域的経路計画モジュールの実験と評価を実施した。



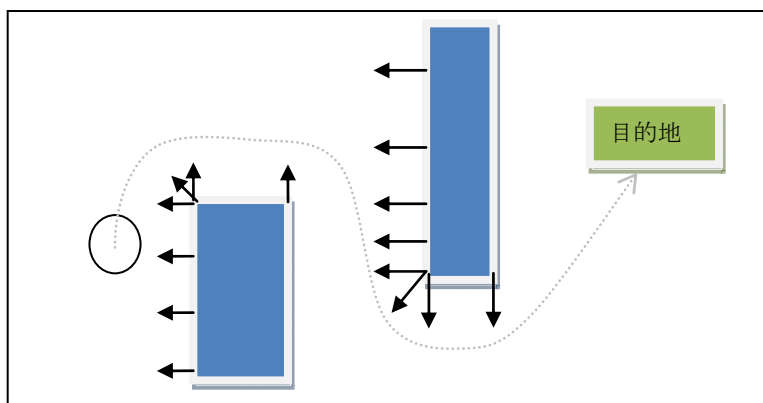


・センサベースト・モデルベースト融合経路計画モジュール

(大阪電気通信大学)

設定されている環境情報から準最適経路を算出し、現在位置から目標地点への中間経路を出力するモジュールである。間に壁や障害物があるなど複雑な経路であっても、その地点への経路を大域的に探し出し中間経路を出力する。

本モジュールでは、既知の地図上ではモデルベーストパスプランニングにより経路計画を行い、未知の地図上ではセンサベーストパスプランニングにより経路計画を行う。これら二つの経路計画機能を融合することにより、より正確に経路計画を行うことができる。

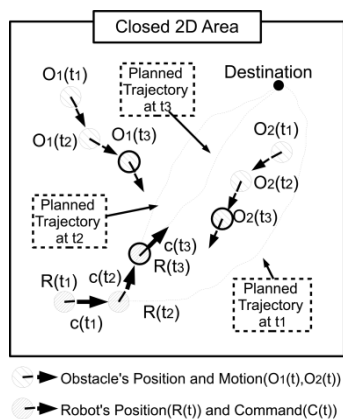


・StRRT軌道計画に基づく速度指令生成モジュール

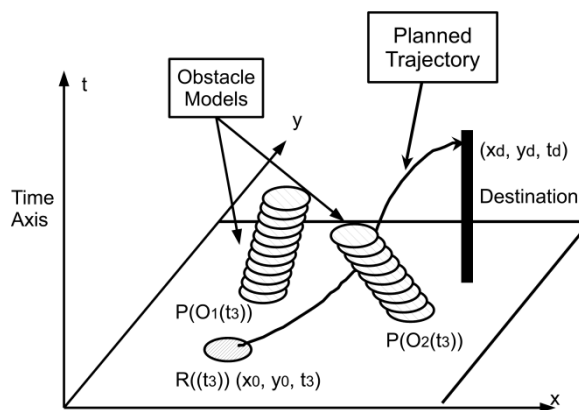
(大阪電気通信大学)

StRRT に基づいて軌道計画を行い、速度指令を出力するモジュールの研究開発を行った。ロボットと障害物の位置と速度情報、目標地点情報の三つの情報を入力すると、生成される軌道によって決まる速度指令値を出力する。

StRRTは、高速に空間を探索する確率的手法Rapidly-exploring Random Tree(RRT)を時空間に展開し、空間の軌道生成問題を時空間の経路探索問題に置き換えた手法である。本モジュールで想定している環境は、静的な障害物と円形の移動障害物群が存在するxyの2次元平面内の閉じた領域である。これに時間軸を追加し、時間の制約を考慮して3次元空間で経路を生成する。作成したモジュールを他のモジュールと組み合わせて、シミュレータを用いて有効性を検証した。



問題設定



時空間における経路生成

- ・ 移動物体の運動推定モジュール  
(大阪電気通信大学)

複数移動物体の運動推定を行うモジュールを開発した。このモジュールは「StRRT軌道計画に基づく速度指令生成モジュール」と組み合わせて使うためである。しかし、より高度な運動推定アルゴリズムと差し替え使ったり、このモジュールを別の目的で利用したりすることも想定して、独立したモジュールにした。

誤差を含むオブジェクトの位置情報を繰り返し入力すると、等速直線運動モデルに基づいて位置情報と速度情報を推定し、出力する。推定にはカルマンフィルタを利用している。カルマンフィルタが対象とするシステムは、以下に示す状態方程式と観測方程式で記述される線形、有限次元の離散時間システムである。

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{i+1} &= \mathbf{F}_i \mathbf{x}_i + \mathbf{G}_i \mathbf{w}_i & \mathbf{x}_i &= [x_i, y_i, \theta_i, v_{xi}, v_{yi}]^T \\ \mathbf{y}_i &= \mathbf{H}_i \mathbf{x}_i + \mathbf{v}_i & \mathbf{y}_i &= [x_i, y_i, \theta_i]^T \end{aligned}$$

ここで、 $\mathbf{x}_i$  は時刻  $t_i$  におけるシステムの状態であり、システムノイズ  $\mathbf{w}_i$  を入力とする線形システムで表される。また、 $\mathbf{y}_i$  は観測値であり、状態  $\mathbf{x}_i$  と観測ノイズ  $\mathbf{v}_i$  によって表される。

### 3.4.1.3.1.7 対人移動視覚認識モジュールの研究開発（東京理科大学）

- ・ 人発見・対人追従モジュール  
（東京理科大学）

人発見モジュール，対人追従モジュールに関して研究開発を行った．具体的には，距離画像とレーザレンジファインダとそれぞれから得られる距離情報の融合を図り，また，距離情報と色情報を用いた人物候補領域検出および人物認識モジュールとの接続を行った．これらについて，国際ロボット展において検証デモンストレーションを実施した．

また，実機を利用せずともモジュールの開発・評価がある程度可能となることを目指して模擬環境(シミュレータ上の仮想環境)の構築に着手した．まず，右図に示すような東京理科大学廊下と富士通enonとのモデル化を行った．また，この模擬環境においてセンサ単体実験と評価を実施した．



国際ロボット展での検証デモの一場面



構築に着手した模擬環境例

- ・ 顔認識モジュール  
（筑波大学）

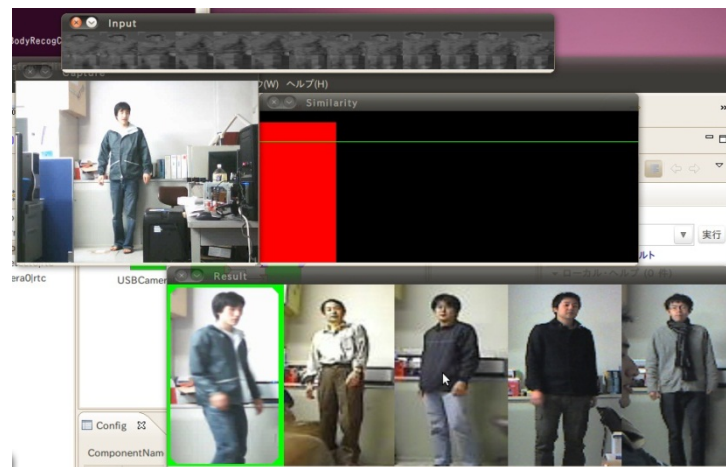
入力画像から顔領域を検出し，それが事前に登録された人物の内の誰であるかを入力する顔認識モジュールを開発した．本モジュールは **FaceLearning** モジュールと **FaceRecog** モジュールから構成される．**FaceLearning** モジュールは，各人物の辞書と，識別特徴を抽出するための直交変換行列を生成する．**FaceRecog** モジュールは **FaceLearning** で生成された各人物の辞書と変換行列を用いて個人認識を行う．



顔認識モジュールの処理画面

- ・全身像認識モジュール  
(筑波大学)

入力画像から全身領域を検出し，検出された人物が事前に登録された人物の誰であるかを出力する全身像認識モジュールを開発した．本モジュールは **BodyLearning** モジュールと **BodyRecog** モジュールから構成される．**BodyLearning** モジュールは認識処理で用いる各人物の辞書と，識別特徴を抽出するための直交変換行列を生成する．**BodyRecog** モジュールは **BodyLearning** で生成された辞書と変換行列を用いて個人認識を行う．基本的な処理構成は顔認識モジュールと同じであるが，顔認識モジュールでは濃淡画像を用いて識別しているのに対して，全身像認識モジュールではカラー画像から得られる **Hue** ヒストグラムを用いて識別している．

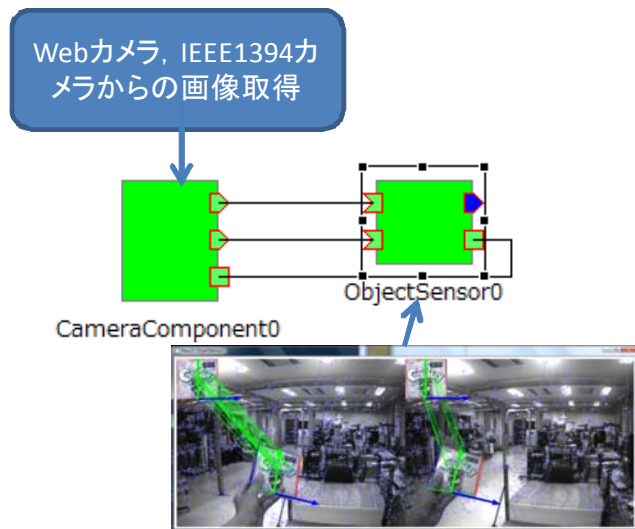


全身像認識モジュールの処理画面

### 3.4.1.3.1.8 物体把持視覚認識モジュールの研究開発（大阪大学）

- ・ 物体把持視覚認識知能モジュール群  
（大阪大学）

ロボットマニピュレータを用い、視覚情報に基づいた物体把持の実現を目指し、カメラモジュール、アピアランスベース物体位置・姿勢推定モジュールの開発を行った。これらのモジュール群の評価として、コンソーシアム内でのモジュール統合実験および国際ロボット展におけるデモンストレーションを行った。また開発したモジュール群について、再利用センターを介してプロジェクト内での公開を行った。



SIFT アルゴリズムを用いた物体位置・姿勢推定

- ・ 物体把持計画モジュール  
（大阪大学，奈良先端科学技術大学院大学）

作業に関わるモジュール群の構造を整理し、モジュールとして実現するうえでの切り分け方を考案し、物体把持計画に関わる再利用可能なモジュール群の創出について検討を行った。また作業サブワーキンググループへの参加を通じ、情報収集を行いワーキンググループ内でのモジュールの相互運用方法について検討を進めた。本検討結果の実証として、コンソーシアム内でのモジュール統合実験、および国際ロボット展におけるデモンストレーションを行った。



国際ロボット展における物体把持

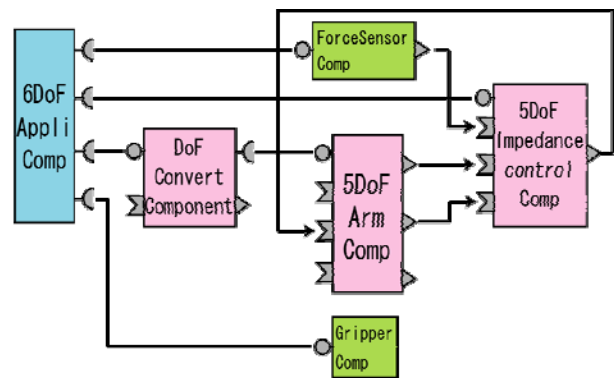
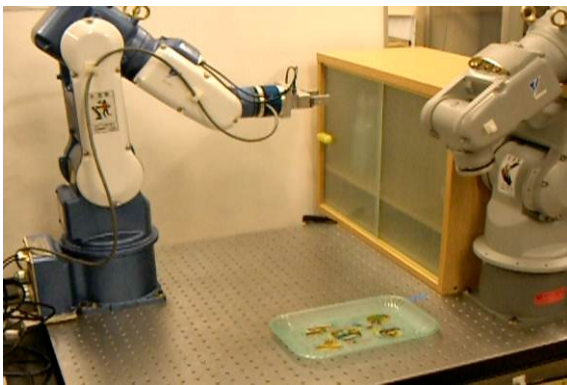
・拘束下運動制御モジュール

(筑波大学)

二種類の運動拘束条件下で作業を遂行する制御モジュールの開発を行った。一つは、扉など、可動方向と拘束方向の存在する作業対象に対するもの、もう一つは、マニピュレータ側の自由度が不足している場合に対するものである。

拘束方向の存在する作業に対してはインピーダンス制御系をモジュールとして追加することで作業を遂行する。可動方向には固く、拘束方向には柔らかく、マニピュレータ手先の仮想剛性を設定することで、運動が拘束されている場合に対応している。

マニピュレータの運動自由度の不足に対しては、フル（6自由度）の運動命令を送る上位アプリケーションモジュールとアームモジュールの間に、運動の変換アルゴリズムを有する自由度変換モジュールをはさむことで、作業を遂行する。



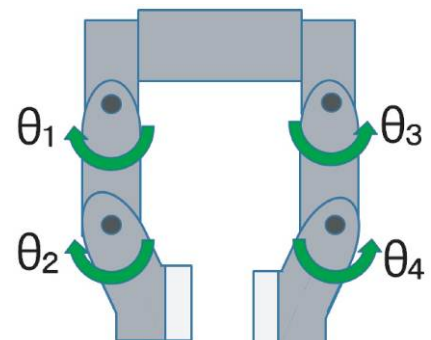
・物体把持実行モジュール

(筑波大学)

マニピュレータの作業として把持を実行するための方式としては、(1)アームモジュールの一部機能として組み込む、(2)独立した把持部モジュールとして組み込む、という二種類の方式が考えられる。本モジュールは(2)に即した方式でモジュールを開発したものである。この理由としては、多指ハンドなどアームの一部機能とはみなせない場合がある、ことのほか、ツールチェンジャなどで様々な把持部等を切り替えて使う場合がある、ためである。

単純な開閉のみを行うエアグリッパモジュールや図のようにラジコン用サーボモータを組み合わせ、4自由度を有するHiroハンドのためのモジュールを構築している。

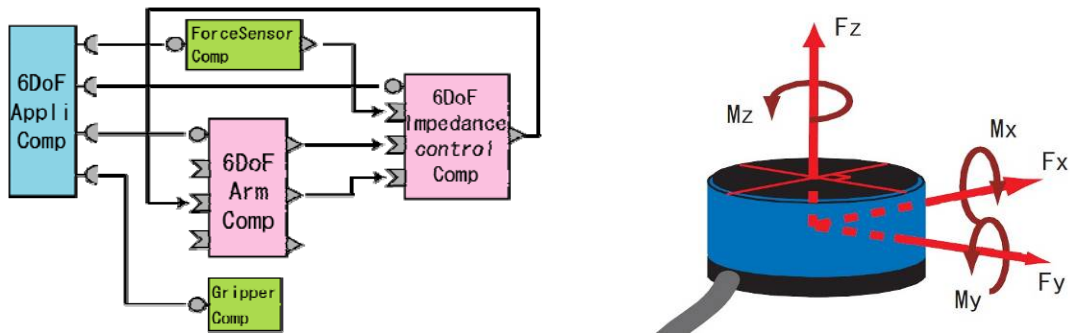
基本的な構成は、サービスポートを利用したコマンド方式としている。単純なエアグリッパであれば、open, close, status(開閉状態を返す) などであり、Hiroハンドでは、各関節ごとの開き角制御のほか、左右対称把持部平行として、把持部の開き幅のみを指定して4関節とも制御するコマンドなどを用意している。



- ・ニッタカセンサ IFS-70M35A25-M50B (ISAバス版)  
(筑波大学)

ニッタ社製6軸力／トルクセンサ IFS-70M35A25-M50B のためのモジュールである。この力／トルクセンサは、本体内にアンプや演算部を内蔵しており、P Cからは専用の通信ボードを介してデータを取得する仕組みである。本モジュールは ISAバス版 のためのものである。通信ボードの仕様(メモリマップ等)はPCI版でも同様であり、改造は可能なようである。

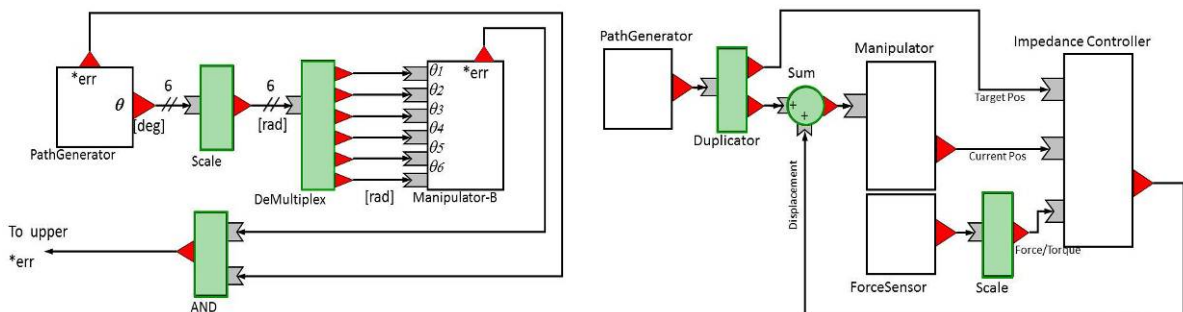
図のようにインピーダンス制御系などと組み合わせて使用できるように6軸の力／トルクデータをデータポートから常時出力しているほか、サービスポートを使用して、座標系指定、データ読み込み、取得レンジ設定、平滑フィルタ設定など本センサの有する機能を全て利用できるようになっている。基本的な座標系設定は図のようにになっているが、座標系の指定により自由に変更可能である。



- ・SimuLike-コンポーネントのデータ接続性向上のためのアダプタツール群  
(筑波大学)

様々なモジュールが様々な機能、個人により開発されているが、その仕様(使いやすさ)は開発各者に任されている場合が多い。データポートで受け渡しをしようとしても、あるモジュールは角度を deg で出力し、あるモジュールは rad で入力する仕様となっていると、それだけで接続は不可能となり、モジュールのソースコードを変更する必要があるなど、一般のユーザにとって大変使いにくくなってしまう。

そのために、データ型等をさまざまに変換するアダプタツール群を作成し、様々な既存のモジュールを容易に接続できる環境を整えた。図の緑のモジュールが今回開発したモジュール群であり、データの複製、配列と多数ポートの切り替え、加減乗算、論理演算など様々なデータ変換をサポートしている。

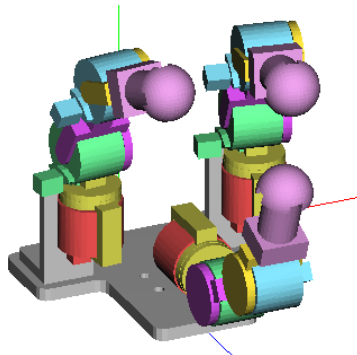


- 3D-CADモデルを利用したロボット動作モニタ  
(筑波大学)

新たなアプリケーションプログラム等を開発した場合, すぐにロボットを動作させるのは, 安全面から不安がある. そこで, マニピュレータなどのロボットと同じ準運動学モデルをもったシミュレータ (表示機能のみ) を作成し, O p e n G L の3次元グラフィックスで表示させるモジュールを作成した.

このモジュールは, 運動学モデルを内部に持たず, 設定パラメータファイルとして与える仕様となっており, 設定ファイルを変更するだけで, 様々なロボット, もしくは動かない環境や対象物などを表示することができる. 一般ユーザは設定ファイルだけ用意すればよく, モジュールのソースコード等を触る必要はない.

また, 表示するモデルは, 3D-CADで作成したSTLファイルを各リンク (関節で結ばれる剛体) 形状の表現に指定することで, 容易に正確なグラフィック表示が可能である.





### 3.4.1.3.2 移動知能モジュール群の有効性検証

#### 3.4.1.3.2.1 サービスロボットによる有効性検証（富士通株式会社）

##### （1）ロバスト性の検証

公共施設では、狭い通路、オープンなスペース、人の混雑度など様々な環境が存在する。自律移動技術の実用化するためには、様々な実環境、様々な外乱の中で、安定して自律移動ができる必要がある。

そこで、オフィス廊下、オフィ스로ビー、大学食堂、展示会場などの異なる実環境で自律移動実験を行い、有効性を検証した。各環境で用いた自律移動システムの構成を表 3.2.1.-1 に示す。富士通モジュールを統合した構成や各機関で開発したモジュールを統合した構成で検証を行った。

表 3.2.1.-1 検証した環境とシステム構成

環境	自己位置認識、 地図生成	動的経路計画、 安全移動制御	人・障害物認識	ハードウェア
オフィス廊下、	富士通	富士通	富士通	enon
オフィ스로ビー	富士通	富士通	富士通	enon
	富士通	富士通	富士通	トヨタ実験ロボット
大学食堂	富士通	豊橋技科大	豊橋技科大	enon
展示会場	富士通	富士通	富士通	enon
オフィス部屋	富士通	豊橋技科大	東大	HRP2-V

### 実験①：オフィス廊下

公共施設では狭く長い通路が多く存在する。このような通路では、進行方向上にコーナー等の幾何学的な特徴が少なく、進行方向の自己位置推定誤差が大きくなる可能性がある。また壁に衝突しないように安全に経路計画を行う必要がある。そこで、狭く長い通路があるオフィス廊下でロボスタ性の検証実験を行った。

外乱へのロボスタ性を検証するために、ロボットの移動途中に表 3.2.1-2 に示す人・障害物による外乱を加え、ロボットのゴール地点での停止位置を測定して、評価した。

表 3.2.1-2 人・障害物による外乱の設定

人・障害物条件		
パターン	人数	人の行動
(1)	0	なし
(2)	1	正面に立つ（静止）
(3)	1	ロボット正面で動き続け、迂回経路を選択させる。
(4)	1	急に接近し、ロボット停止させる
(5)	2	片側を開けるように立つ（静止）
(6)	2	真ん中を開けるように立つ（静止）
(7)	3	前後並んで立つ（静止）
(8)	3	前に1人、後ろに2人立つ（静止）
(9)	3	横に並んで道を塞いだのち、道を空ける。
(10)	6	ロボットが移動できないよう取り囲む。
(11)	6	ランダムに動いて人が移動。

移動の成功・失敗は目的地での停止位置精度をもとに判定した。ロボットの停止位置の要求精度は自律移動後に実行する業務に依存するが、案内業務を想定して目的地の地点から 100cm 以内に到達して停止することを成功とした。地図には歪みなどがあるため、目的地を実環境と地図で正確に対応付けることが難しい。自律移動を複数回行なって、ロボットが停止した実際の位置と地図上で推定された位置のオフセットを求めて使用することが多く、この場合、停止位置のばらつきが停止位置の精度を表すことになる。そこで、本評価実験では、自律移動の停止位置を平均した位置を目的地とし、そこからのずれを誤差として停止位置を評価することとした。

図 3.2.1-1 にオフィス廊下の実験で使用した移動知能モジュール群の構成を示す。富士通の自己位置推定モジュール群、移動経路計画モジュール群、enon 走行制御モジュール、移動タスク管理モジュール、移動指示 GUI モジュールで構成される。

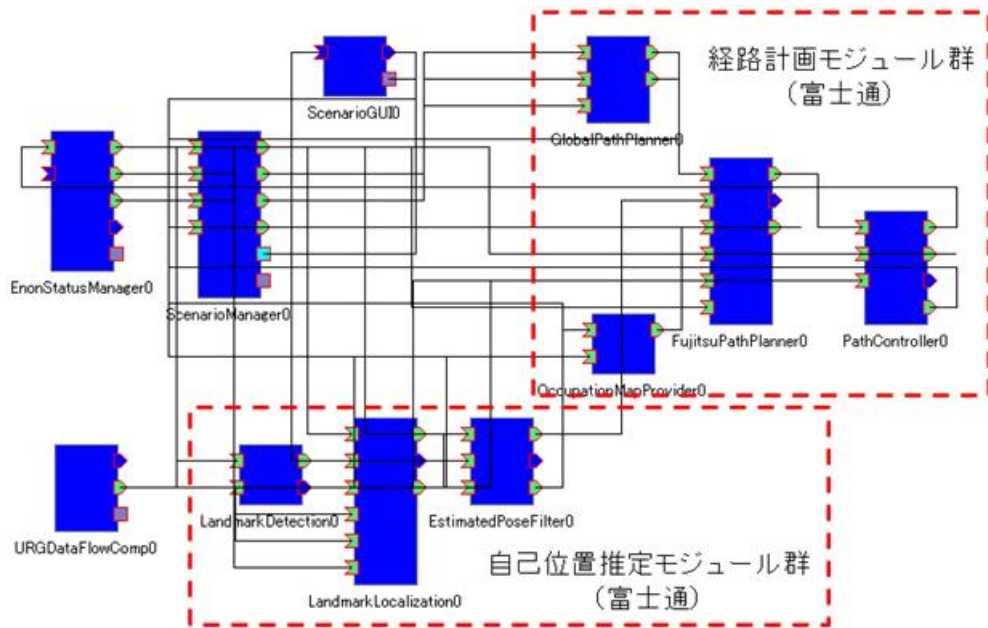


図 3.2.1.-1 富士通モジュールを統合した自律移動システムの構成

自律移動を行った環境のレイアウト地図を図 3.2.1.-2 に、実験環境の様子を図 3.2.1.-3 に示す。廊下の全体の長さは約 70m、通路の幅は約 2.3m である。図 3.2.1.-2 に示すように C を経由して A と B の間を移動する。移動経路 A と B の間の走行距離は約 40m である。ただし、C と B の間の経路が塞がれる場合は、迂回経路として、経路 C-D-B が選択される。



図 3.2.1.-2 オフィス廊下平面地図と自律移動経路



図 3.2.1.-3 オフィス廊下実験環境

表 3.2.1.-3 に実験結果を示す。オフィス廊下のように狭い通路がある環境でも表 3.2.1.-2 で設定した外乱に対応する移動成功率は 100%であることを確認した。

表 3.2.1.-3 オフィス廊下実験結果

実験番号	人・障害物条件	経路	位置誤差 (cm)	結果
1	(1)	A→B	29	○
2	(2)	B→A	27	○
3	(3)	A→B	41	○
4	(4)	B→A	35	○
5	(5)	A→B	9	○
6	(6)	B→A	29	○
7	(7)	B→A	29	○
8	(8)	A→B	25	○
9	(9)	A→B	15	○
10	(10)	A→B	37	○
11	(11)	B→A	34	○
		成功率	100%	

## 実験②：オフィスロビー

オフィス等でロボットが案内を行う場合、玄関ロビーが用いられることが多い。玄関ロビーはオープンな空間が多い、人の往来がある、外光により照明条件が変化するという特徴がある。

人・障害物からの外乱、移動の成功・失敗の判定条件、システム構成はオフィス廊下と同じものを用い、富士通社内オフィスのロビーで行った。

自律移動を行った環境のレイアウト地図を図 3.2.1.-4 に、実験環境の様子を図 3.2.1.-5 に示す。図 3.2.1-4 に示すようにロボットをポイント A, B, C の間に往復させる。A と B の直線距離が約 11.6m、A と C との直線距離が約 13.1m、B と C との直線距離が約 7.1m である。

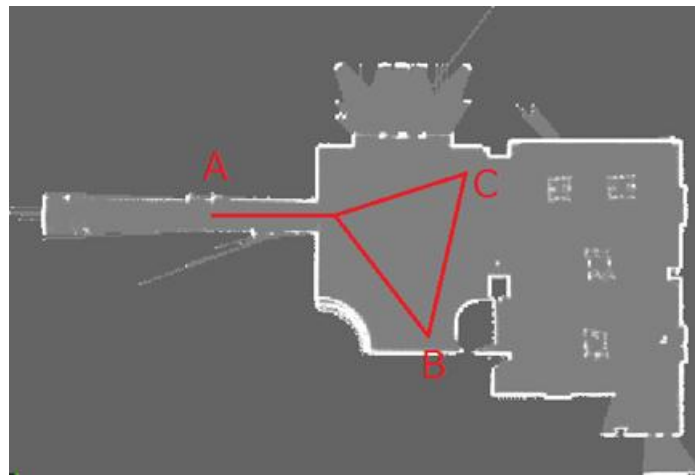


図 3.2.1.-4 オフィスロビー平面地図と自律移動経路



図 3.2.1.-5 オフィスロビー実験環境

外光があるため実験は昼と夜の異なる照明条件の下で行った。表 3.2.1.-4 に実験結果を示す。オフィスロビーのように外光条件が変化する環境でも、表 3.2.1.-4 で設定した外乱のパターンに対応する移動成功率は 100%であることを確認した。

表 3.2.1.-4 オフィスロビー実験結果

実験番号	人・障害物条件	経路	天井蛍光灯 OFF		天井蛍光灯 ON	
			位置誤差 (cm)	結果	位置誤差 (cm)	結果
1	(1)	B→A	32	○	12	○
2	(1)	A→C	16	○	13	○
3	(1)	C→B	4	○	5	○
4	(2)	C→B	8	○	9	○
5	(5)	B→C	13	○	42	○
6	(6)	C→B	11	○	2	○
7	(7)	C→B	16	○	5	○
8	(8)	B→C	35	○	27	○
9	(9)	B→C	46	○	45	○
10	(10)	B→C	26	○	19	○
11	(11)	B→C	20	○	43	○
12	(11)	B→C	65	○	14	○
13	(11)	C→B	11	○	12	○
14	(11) (4)	B→C	29	○	20	○
15	(11) (4)	C→A	32	○	12	○
16	(11) (4)	A→B	12	○	21	○
		成功確率 (%)	100%		100%	

### 実験③オフィスロビー（再委託先：トヨタ自動車）

公共施設で自律移動するための知能モジュールを統合したシステムの有効性の検証を行った。実験は公共施設を模擬した環境として、トヨタ広瀬工場のパートナーロボット棟の1Fエントランスで行った。

使用した移動ロボットを図3.2.1.-6に示す。頭部にはパンチルトユニットが設置され、その上部にはステレオカメラ、富士通のステレオビジョンモジュール、北陽社製のTOP-URGが搭載されている。処理部はトヨタ自動車で通常使用しているCPU基板が用いられている。台車部の上に水平方向に同じくTOP-URGが設置され、障害物検知に利用される。移動台車部はPioneer3DXを使用している。カメラとしてはビュープラスのF1ea2(VGA)にコーワの超広角メガピクセルレンズLM3NC1Mを搭載する。また安全を考慮して非常停止用バンパー、落下防止のための磁気センサを搭載した。

富士通の自己位置推定モジュール群、移動経路計画モジュール群、移動ロボット用走行制御モジュール、移動タスク管理モジュール、移動指示GUIモジュールで構成される。

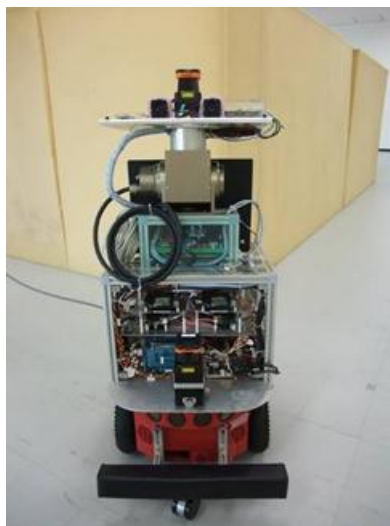


図 3.2.1.-6. R Tミドルウェア動作確認用移動ロボット

本実験の目的は、公共施設での有効性の検証である。検証の切り口として、以下の項目を挙げた。

- A. 停止位置における自己位置推定のばらつき  
何らかのタスクをロボットが遂行する場合、精度良く目的地に停止する必要がある。そのためには、少なくとも自己位置推定の精度が要求される。
- B. 移動成功率、目的地到着率  
失敗することなく、目的地までの移動を完遂する割合を示す。
- C. 人なしの平均速度と人ありの到達時間の比較  
人混在環境がロボットのタスク遂行に対してどれだけ影響を及ぼすかの指標となると考えられる。
- D. 照明条件の影響  
公共施設は家庭環境に比べて採光が考慮され、ロボットは照明条件の影響を大きく受けると考えられる。

実験環境を図3.2.1.-7に示す。パートナーロボット1Fエントランスに3点目的地を設定し、三角を描くように4周させたときのデータを取得した。人無し条件と人有り条

件の様子を図3.2.1.-8に示す。

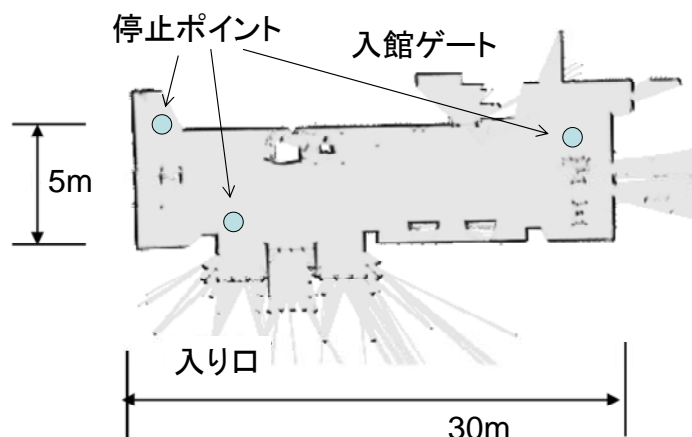


図3.2.1.-7 目標停止位置



図3.2.1.-8 人有り時の様子

#### A. 停止位置における自己位置推定のばらつき

人無し（1分に人が2、3人通り過ぎる程度）の条件と、人有り（常に2～3人がロボット周辺をうろついている）の条件で、自己位置推定の精度評価を行った。12回の目的地到着時の自己位置推定結果と、メジャーで計測したロボットの真の位置を比較した。結果を図3.2.1.-9に示す。

人無しの場合の平均停止誤差は9.8cm、2.1degであった。人有りの場合の平均停止誤差は29.3cm、1.2degであった。実際の位置に対する自己位置推定の誤差が大きいと、経路計画の誤りや停止誤差の増大を招く。しかし、公共施設でお客様に何らかのサービス（案内、荷物運搬）を行うことを考慮した場合、この程度の誤差がサービスの遂行に影響を及ぼすほどではないと考えられる。



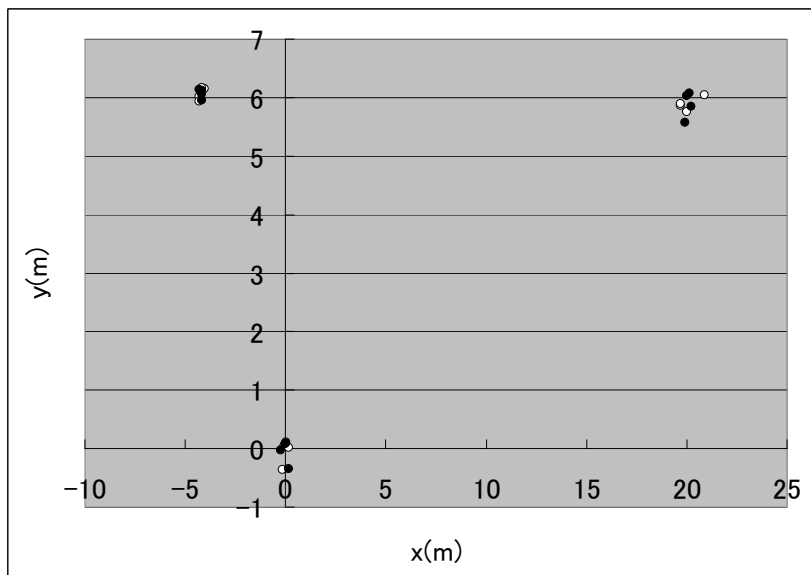
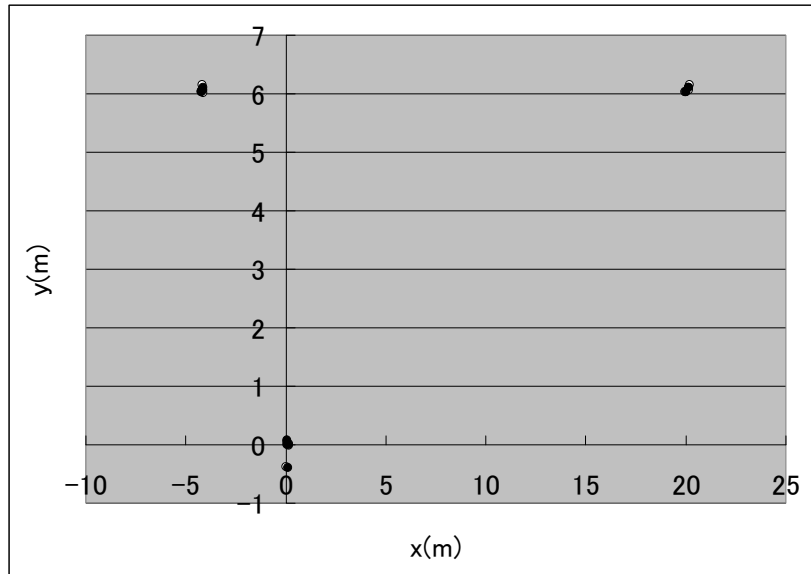


図3.2.1.-9. 停止位置と自己位置推定の比較  
 (上図：人無し 下図：人有り)  
 (●：実際の停止位置 ○：自己位置推定)

人回避パターンに対する成功率、目的地到着率  
実験Aにおいて、人無し、人有り条件に関わらず、12回の移動を全て成功することができた。参考までに移動した軌跡を図3.2.1.-10に示す。

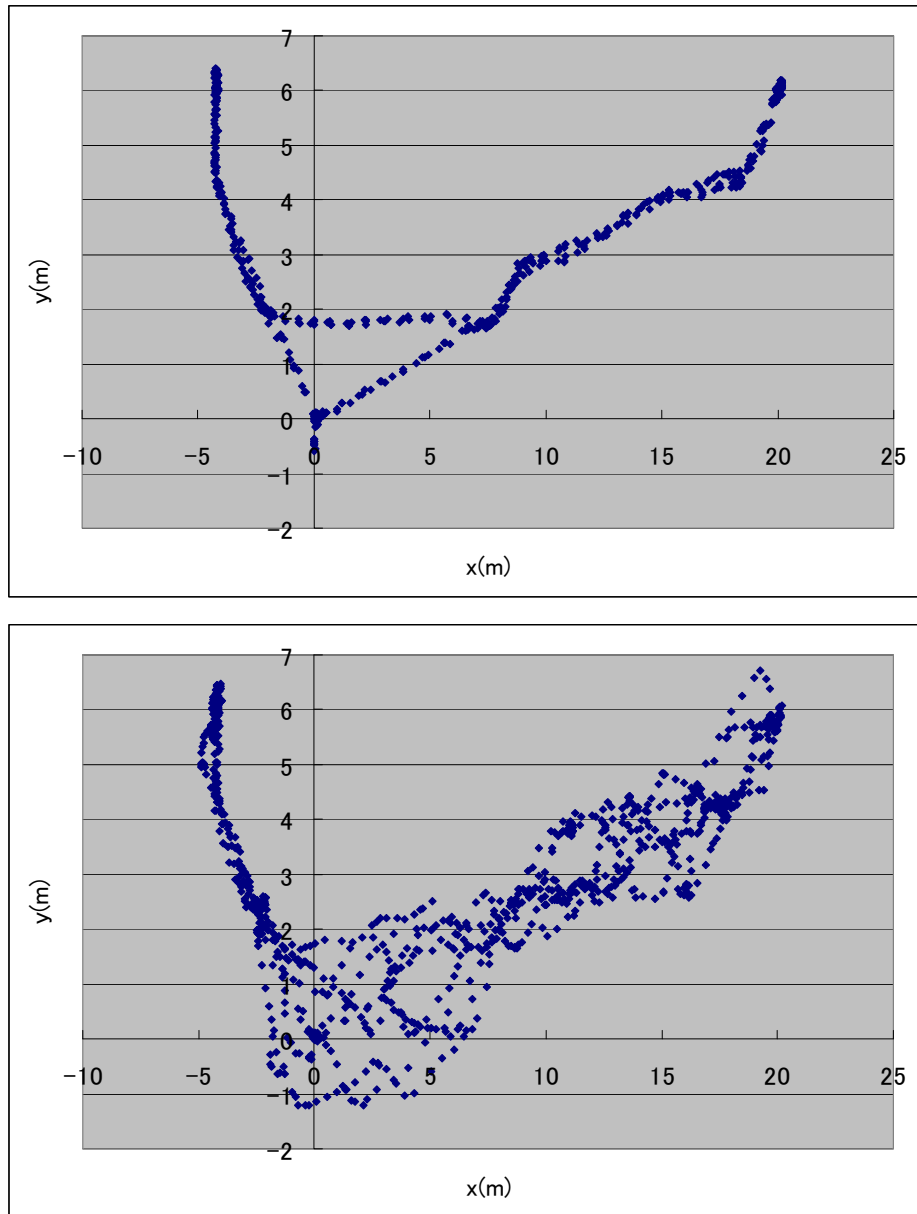


図3.2.1.-10. 自己位置推定の軌跡  
(上図：人無し 下図：人有り)

B. 人無しの平均速度と人有りの到達時間の比較

人無し、人有りの条件化での移動速度の時間分布を図3.2.1.-11に示す。人無しでの平均移動速度は0.32m/s、人有りの平均移動速度は0.20m/sであった。

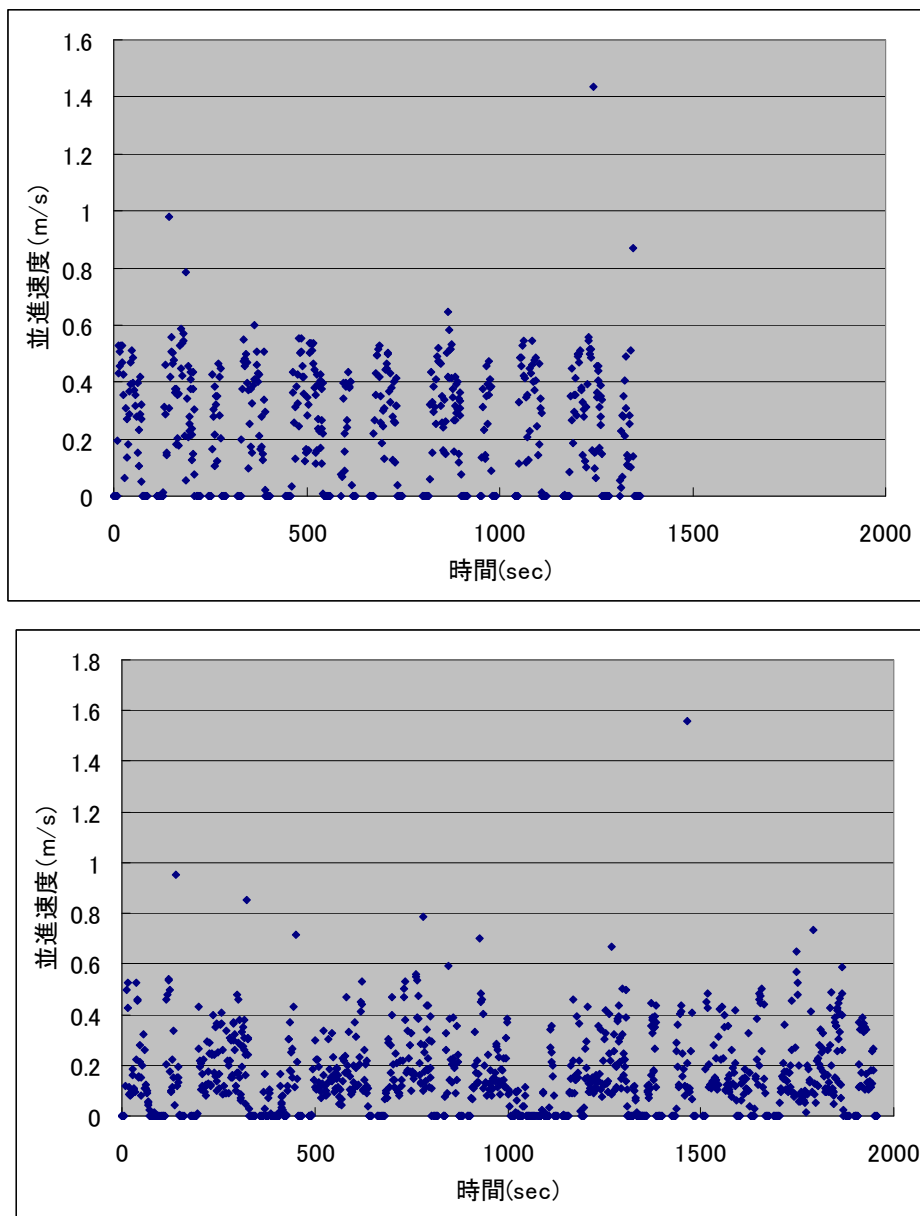


図3.2.1.-11 自己位置推定の軌跡  
(上図：人無し 下図：人有り)

### C. 照明条件の影響

午前10時に収集されたデータを元にSLAMによって生成された地図を用い、午前11:30～12:00、16:00～17:30にかけて上記の実験および動作確認を行ったが、移動成功率は全て100%であり、照明条件による移動性効率の違いはなかった。参考までに午前と午後の実験時の様子を図3.2.1.-12に示す。



図3.2.1.-12 実験の様子  
(上図：11時頃 下図：17時頃)

#### (まとめ)

有効性検証の目標は、全モジュールを統合したシステムが、人の往来する実際の公共空間における移動作業を実行し、80%以上、所期の仕事を達成することを確認する、ことである。

その目標に対して、停止位置における自己位置推定のばらつき、移動成功率、平均移動速度を、人無し、人有り条件の違いで比較し、富士通株式会社が開発した知能モジュールの動作に問題がないことを確認した。さらに、照明条件が異なる環境下で実験を行い、照明条件が移動性効率に影響を及ぼさないことを確認することができ、上記の目標を達成することが出来た。

#### 実験④：大学食堂（富士通、豊橋技科大の共同実験）

ショッピングセンタなどの公共施設では、物品のレイアウトが変化することが多く、人通りも多い。そこで、人通りがあり、物品を運ぶ台車の位置が変わるレイアウト変更が発生する環境として、大学食堂で実験を行った。

図 3.2.1.-13 に大学食堂実験で使用した移動知能モジュール群の構成を示す。富士通の自己位置推定モジュール、豊橋技科大の移動経路計画モジュール、豊橋技科大の人発見モジュール、enon 走行制御モジュール、移動タスク管理モジュール、移動指示 GUI モジュールで構成される。

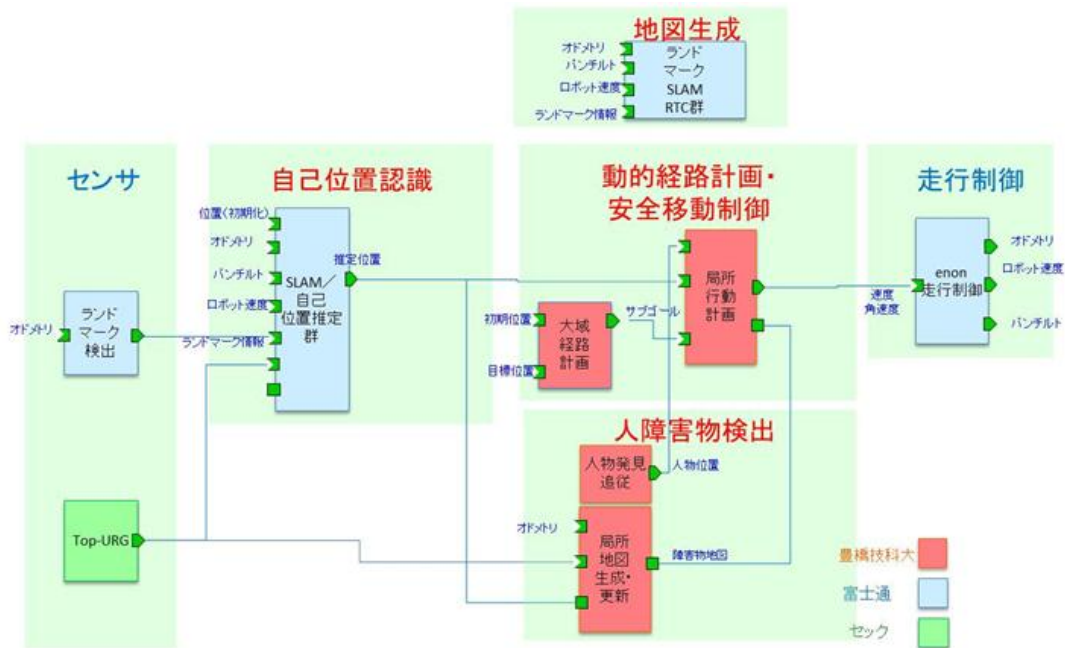


図 3.2.1.-13 富士通自己位置推定モジュール、豊橋技科大経路計画モジュール、豊橋技科大人発見モジュールを統合した自律移動システムの構成

大学食堂の平面地図を図 3.2.1.-14 に、実験環境を図 3.2.1.-15 に示す。ロボットはポイント A と B の間を移動する。A と B の間の直線距離は約 29.3m である。

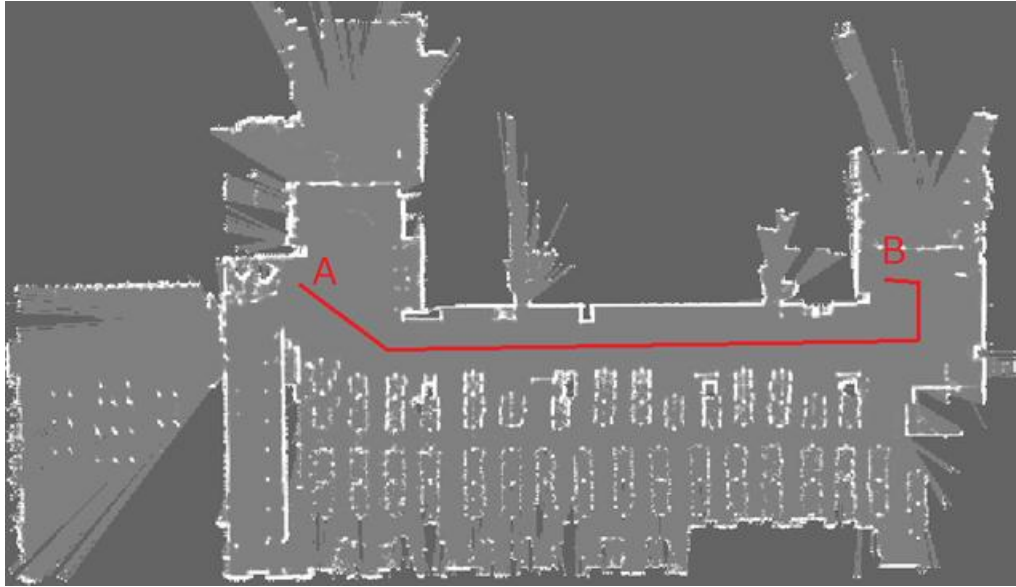


図 3.2.1.-14 大学食堂の平面地図と移動経路



図 3.2.1.-15 大学食堂実験環境

自律移動の実験結果を表 3.2.1.-5 に示す。本実験では、実験番号 8 のように位置誤差が 93cm と他と比較して大きくなる場合が発生した。ゴール到達前に食堂の従業員を回避したあと位置推定の誤差が発生し、到達位置の誤差が大きくなった。しかし、その到達地点から次の目的地への移動の際には、推定位置のずれから復旧して次の移動作業は成功しており、案内業務の遂行に必要な移動はできた。

このように環境内の物の配置が変化する環境でも、確実に移動できることを確認した。

表 3.2.1.-5 大学食堂実験結果

実験番号	人・障害物条件	経路	位置誤差 (cm)	結果
1	なし	A→B	6	○
2	なし	B→A	10	○
3	人 1 人停止	A→B	3	○
4	人 2 人(片側配置)停止	A→B	2	○
5	人 2 人(両脇配置)停止	B→A	8	○
6	人 3 人 (横一列)停止	A→B	9	○
7	人 3 人(前後)停止	A→B	7	○
8	複数人ランダム移動	B→A	93	○
9	複数人ランダム移動	A→B	14	○
10	複数人ランダム移動	B→A	16	○
11	複数人ランダム移動	A→B	6	○
12	複数人ランダム移動	B→A	16	○
13	複数人ランダム移動	A→B	9	○
14	複数人ランダム移動	B→A	15	○
		成功率	100%	

## 実験⑤：展示会場

展示会場はオープンな環境であり、人の移動や物の配置も大学食堂よりはるか複雑である。そこで、このような複雑な環境下でのロボスタ性を検証するため、2011年の国際ロボット展の展示会場で自律移動の実証実験を行った。システム構成はオフィス廊下と同じものを用いた。

展示会場の平面地図を図 3.2.1.-16 に、実験環境を図 3.2.1.-17 に示す。地図を開催日の前日に作成し、自律移動の実証実験は開催日の開場時間と閉場時間で行った。この時間帯では密集しない程度で人通りがある状況であった。ロボットは図 3.2.1.-16 に示すポイント A, B, C の間に連続的に往復させる。A と B の間の移動距離は約 101m、A と C の間の移動距離は約 73m である。

展示会では目的地の精度の測定ができないため、移動の成功・失敗は目的地近辺に到達したかを目視で確認して判定した。3 地点間で計 15 回を移動し、すべて成功となった。

この実験により、大規模なオープンな環境下で、人通りが複雑な場合でも、ロボットがロボスタに自律移動を行えることを確認した。

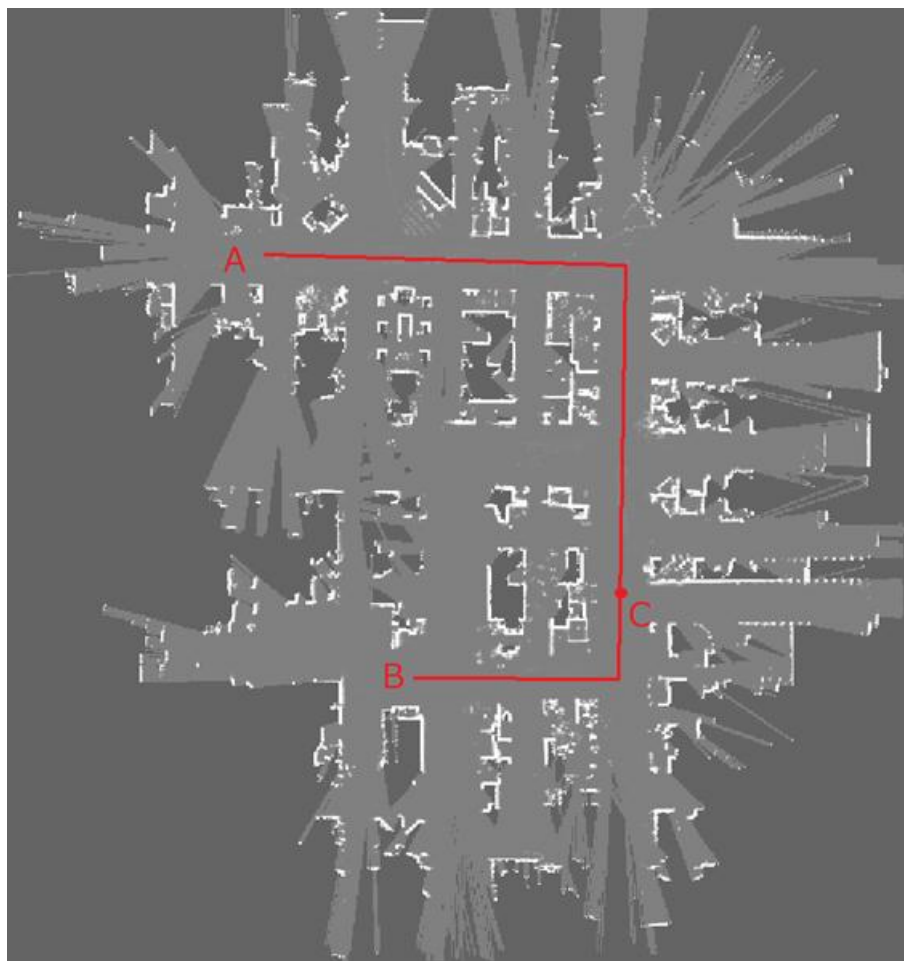


図 3.2.1.-16 展示会場(2011年国際ロボット展)の平面地図と移動経路





図 3.2.1.-17 展示会場(2011年国際ロボット展)の環境

## (2) 再利用性の検証

様々なロボットシステムで利用可能な再利用性の高い移動知能モジュール群を実現するために、本研究開発では移動機能を主要な機能要素で分割し、各機関で分担して開発した。開発したモジュールを相互接続できるように、インタフェースを移動知能 SWG の共通インタフェースをベースにして揃えた。そこで、様々なロボットシステムでハードウェア、ソフトウェア両方の再利用性の検証を行った。表 3.2.1-6 に検証したシステムの構成を示す。

表 3.2.1-6 複数のロボットシステムでの検証

ソフトウェア				ハードウェア
	自己位置認識、 地図生成	動的経路計画、 安全移動制御	人・障害物認識	
構成 1	富士通	富士通	富士通	enon、リファレンスハード、 トヨタ実験ロボット
構成 2	富士通	豊橋技科大	豊橋技科大	enon
構成 3	富士通	豊橋技科大	東大	HRP2-V
構成 4	奈良先端大	富士通	富士通	enon

上記のうち、一部のシステムはロバスト性の検証で既に示した。以下ではこれまで示さなかった構成での検証について説明する。

実験⑥：リファレンスハードウェアによる検証

開発した知能モジュール群が異なるロボットハードウェアでも利用できることを確認するためにリファレンスハードウェアで自律移動実験を行った。図 3.2.1-18 にリファレンスハードウェアの自律移動システム構成を示す。富士通の自己位置推定モジュール、移動経路計画モジュール、リファレンスハードウェア走行制御モジュール、移動シナリオを管理するモジュールユーザインタフェースモジュールで構成される。

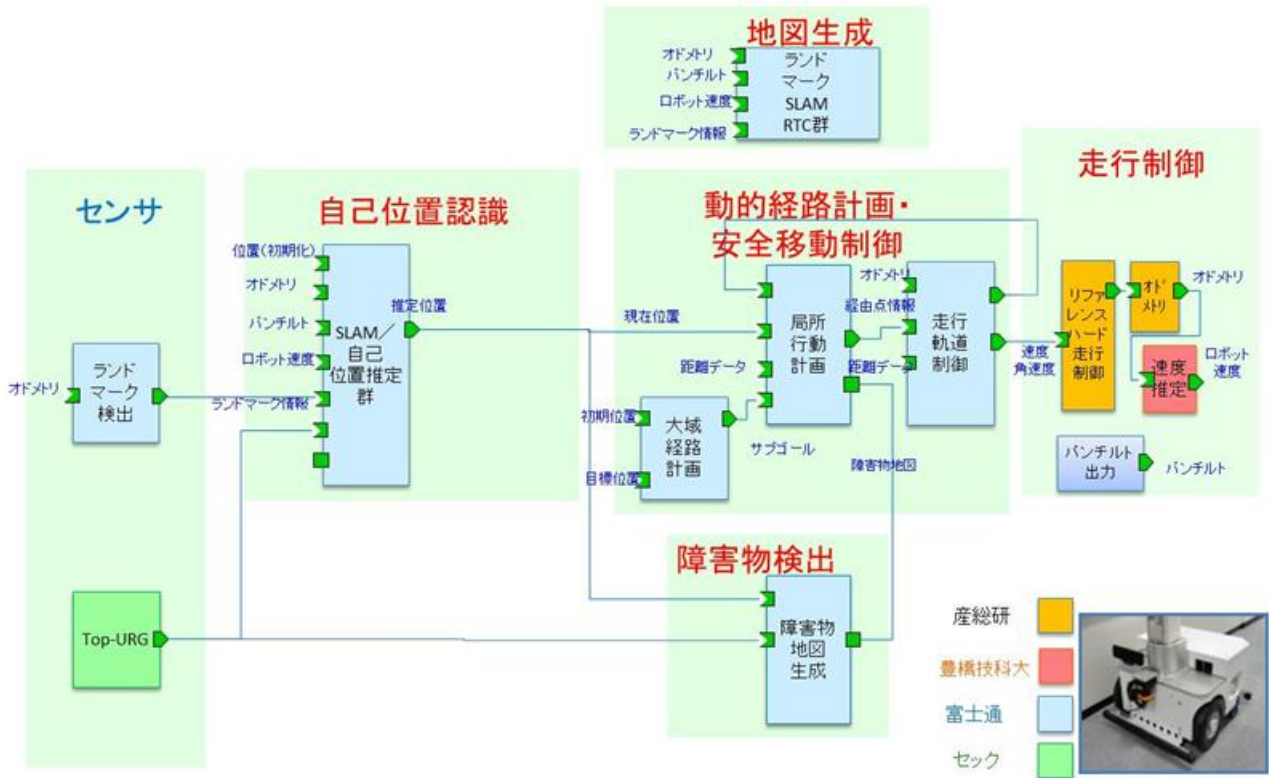


図 3.2.1.-18 リファレンスハードウェアを用いた自律移動システムの構成

本システムを用いてオフィス廊下にて自律移動実験を行い、目的地まで人を回避しながら移動できることを確認した。



図 3.2.1.-19 リファレンスハードウェアを用いた自律移動実験

### 実験⑦：HRP2-V による検証

開発した知能モジュール群が異なるロボットハードウェアでも利用できることを確認することに加え、各機関で開発したモジュールの相互接続性を確認するために、各機関のモジュールを統合して HRP2-V で検証を行った。図 3.2.1-19 に HRP2-V の自律移動システム構成を示す。富士通の自己位置推定モジュール、豊橋技科大の移動経路計画モジュール、東京大学の 3 次元運動分離認識モジュール、enon 走行制御モジュール、移動シナリオを管理するモジュールユーザインタフェースモジュールで構成される。

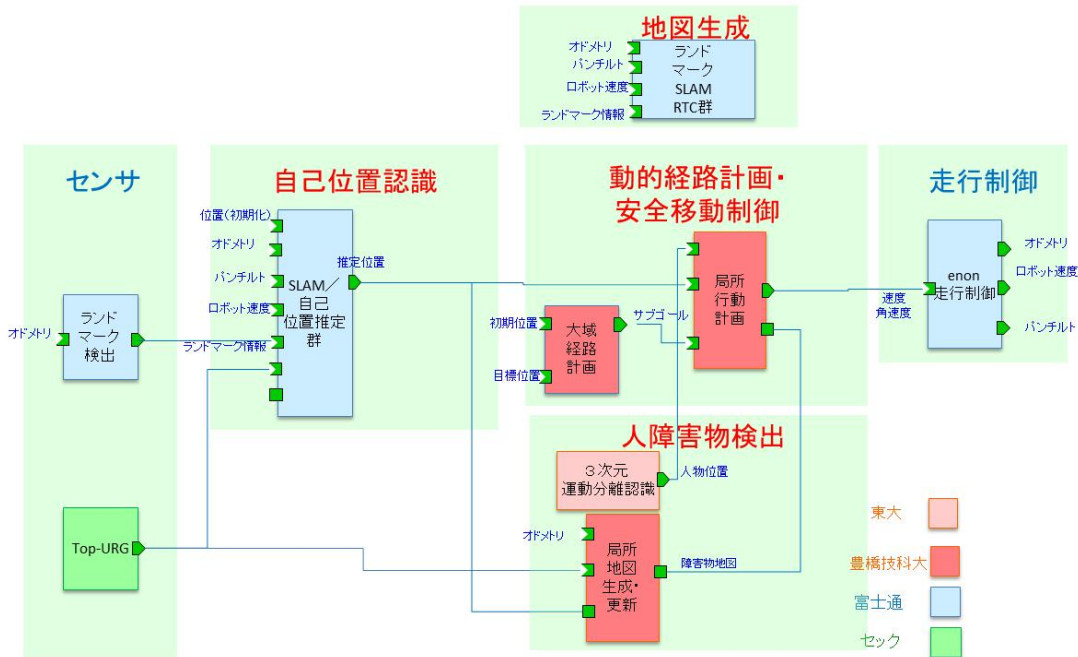


図 3.2.1.-19 リファレンスハードウェアを用いた自律移動システムの構成

本システムを用いて東大秋葉原拠点のオフィス環境にて自律移動実験を行い、目的地までの移動を 15 回行い、15 回成功することを確認しており、各機関で開発したモジュールの再利用性を確認した。



図 3.2.1.-20 リファレンスハードウェアを用いた自律移動実験

### 実験⑧： 自己位置推定モジュール群の可換性の検証

富士通の自己位置推定モジュールと奈良先端大の自己位置推定モジュールの可換性を検証するために、富士通自己位置推定モジュールを奈良先端大 LRF 位置推定に置き換えた構成で実験を行った。

図 3.2.1.-21 は図 3.2.1.1 に示す富士通の自己位置推定モジュール群を奈良先端大の自己位置推定モジュール群に置き換えた構成を示す。奈良先端大の自己位置推定モジュールは、富士通の地図生成モジュールで生成した地図を利用できるようにインタフェースを揃えている。富士通が開発した地図情報出力モジュールがグリッド地図情報をサービスポート経由で出力し、奈良先端大の自己位置推定モジュールで利用する。

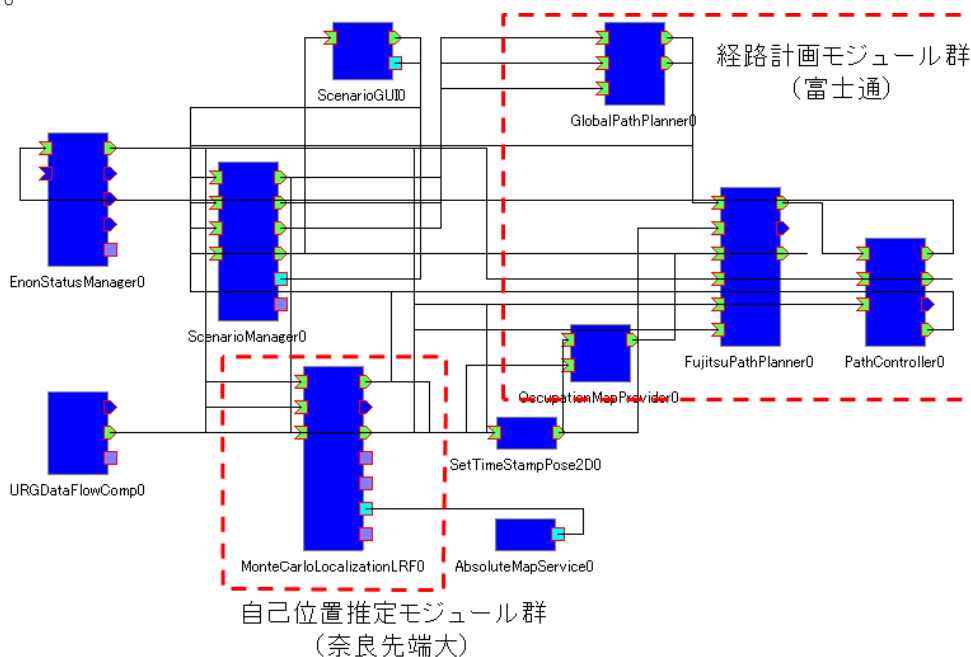


図 3.2.1.-21 奈良先端大自己位置推定モジュールを利用した移動智能モジュール群の構成

図 3.2.1.-22 は、奈良先端大の自己位置推定モジュールを利用した場合の環境地図と移動経路を示している。ロボットがポイント A から出発して、障害物を回避しながら、A→B→C→D→E→F→A の順に 5 往復を連続に行った。合計 25 回の移動行ったが、全て位置を見失うことなく目的地まで移動できることを確認した。



図 3.2.1.-22 奈良先端大自己位置推定モジュールを利用した際の自律移動環境地図と経路

(3) まとめ：

開発したモジュールのロバスト性と再利用性を検証するための実証実験を実施した。表 3.2.1-7 に示すように開発したモジュールを搭載したロボットシステムがオフィス廊下、オフィ스로ビー、食堂、展示会場の複数の環境で目的位置まで自己位置を見失うことなく移動できており、開発したモジュールのロバスト性を実証した。移動作業を 80%以上遂行できており、基本計画を達成した。

また、各モジュールを enon、リファレンスハード、トヨタ実験用ロボット、HRP2-V の 4 種のロボットに搭載し、それぞれのロボットシステムが移動できることを確認し、モジュールの再利用性も実証した。

表 3.2.1-7 実証実験結果

	自己位置認識、 地図生成	動的経路計画、 安全移動制御	人・障害物認識	ハードウェア	成功率
オフィス廊下	富士通	富士通	富士通	Enon	11/11
	奈良先端大	富士通	富士通	Enon	25/25
オフィ스로ビー	富士通	富士通	富士通	Enon	32/32
	富士通	富士通	富士通	トヨタ実験ロ ボット	12/12
大学食堂	富士通	豊橋技科大	豊橋技科大	Enon	14/14
展示会場	富士通	富士通	富士通	Enon	15/15
オフィス部屋	富士通	豊橋技科大	東大	HRP2-V	15/15

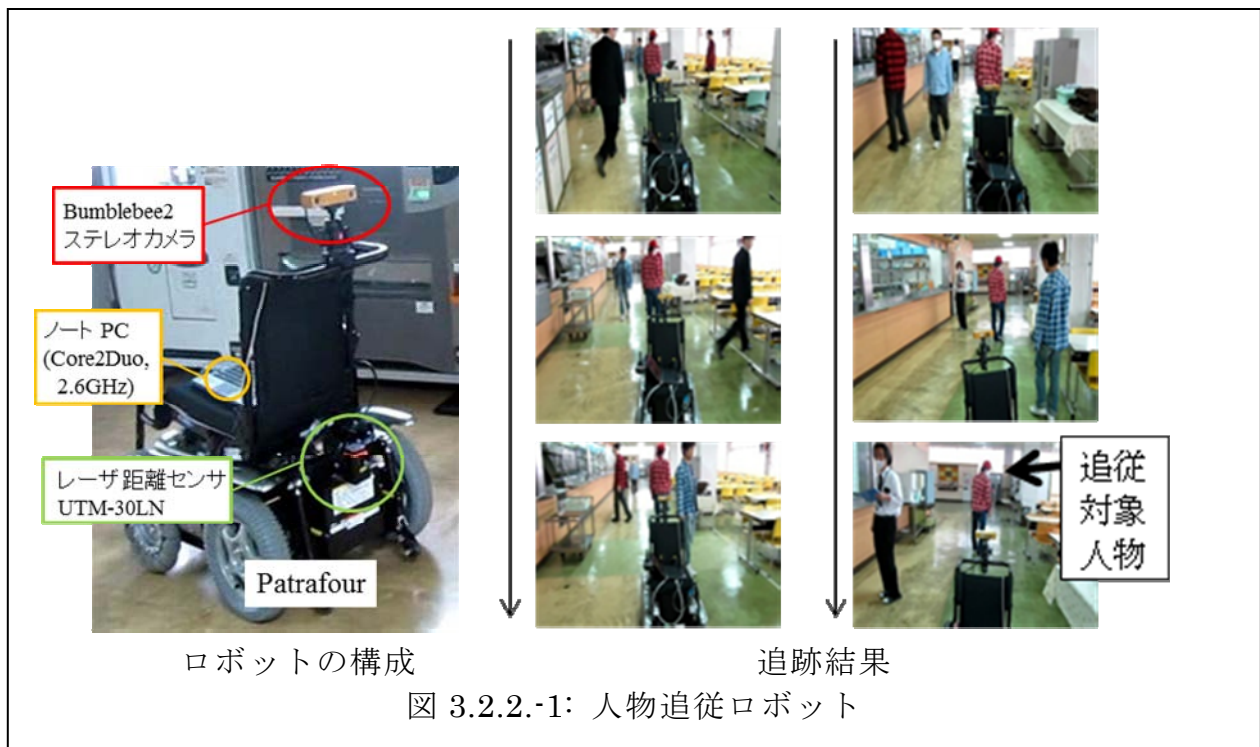
### 3.4.1.3.2.2 地図情報生成、移動行動計画モジュール群の実ロボットによる動作検証（豊橋技術科学大学）

#### （１）実ロボット用制御モジュールの開発

国内外の研究機関で広く利用されている MobileRobots 社のロボット (PeopleBot, Pioneer2, ARIA ライブラリを使用) 用のモジュールと、屋外走行も可能な関東自動車の Patrafour 電動車椅子用のモジュールを開発した。

#### （２）人物追従ロボットの構築と実験

障害物や他の人物を避けながら特定人物に追従することのできるロボットシステムを開発した。図 3.2.2-1 にロボットと大学食堂での追従行動の様子を示す。ロボットはステレオ視により人物を発見・追跡し、レーザ距離センサによって障害物地図を生成する。それら環境認識と局所経路計画、およびセンサデータ処理やロボットの制御を 1 台のノート PC で行い、約 0.5 秒のサイクルで処理を行っている。実験室、食堂、展示会場などさまざまな場所で実験を行い、ロボストに動作することを確認した（図 3.2.2.-2 参照）。なお、実験では、上記の PeopleBot, Patrafour に、ENON を加えた 3 種類のロボットを用いた。





実験室                      2009 国際ロボット展                      企業展示会場

図 3.2.2-2: さまざまな環境での人物追従実験

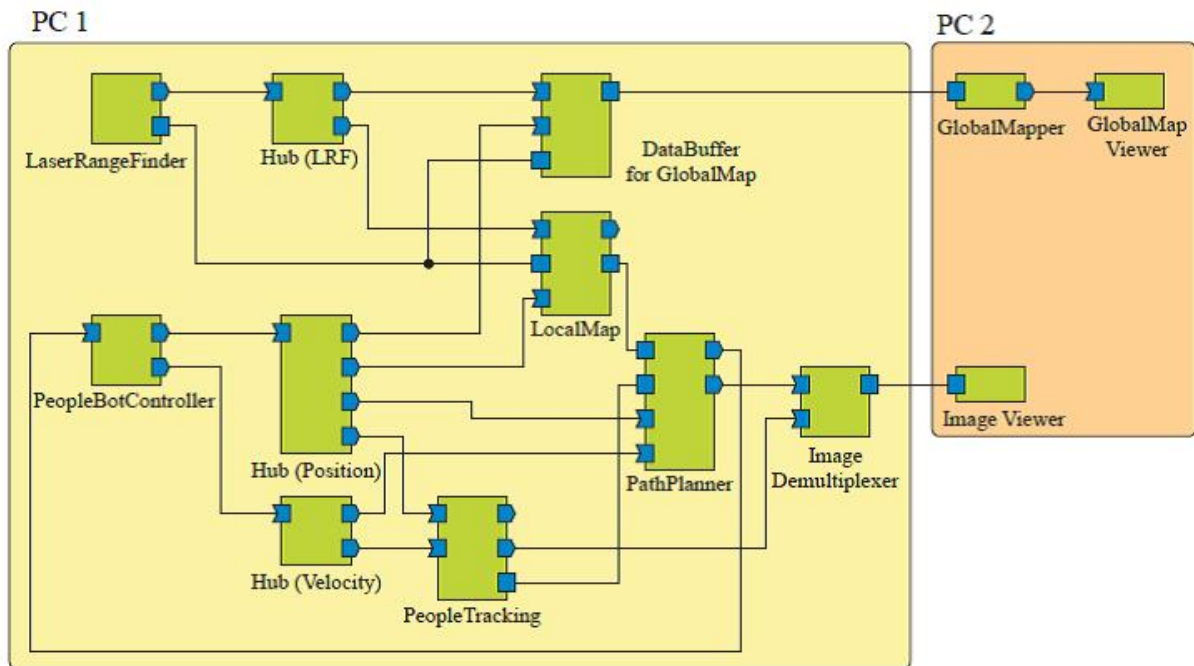
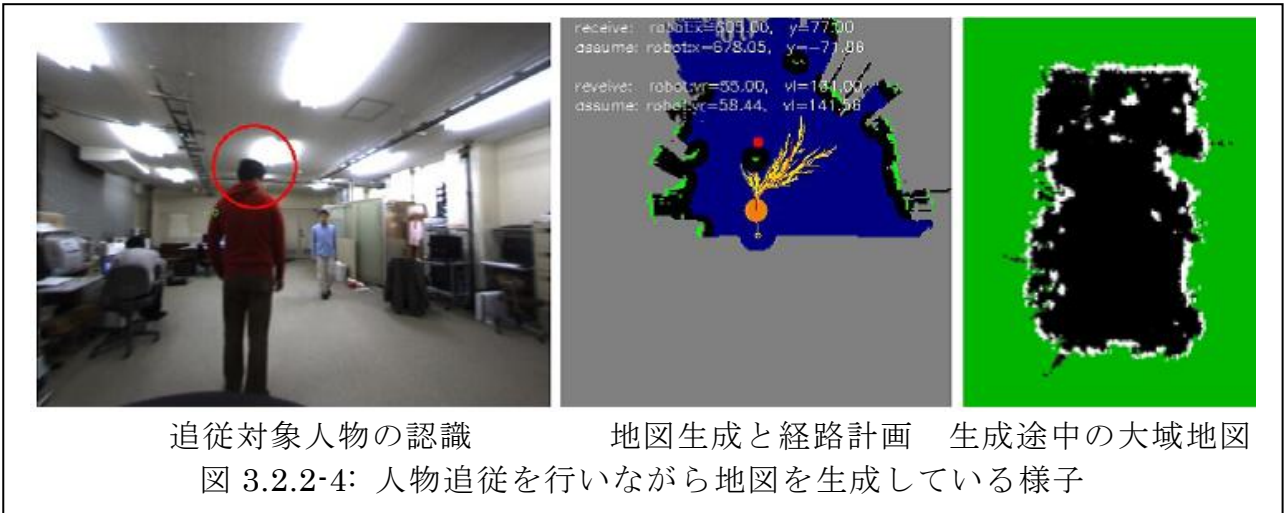


図 3.2.2-3: 人物追従・地図生成システムのコンポーネント構成

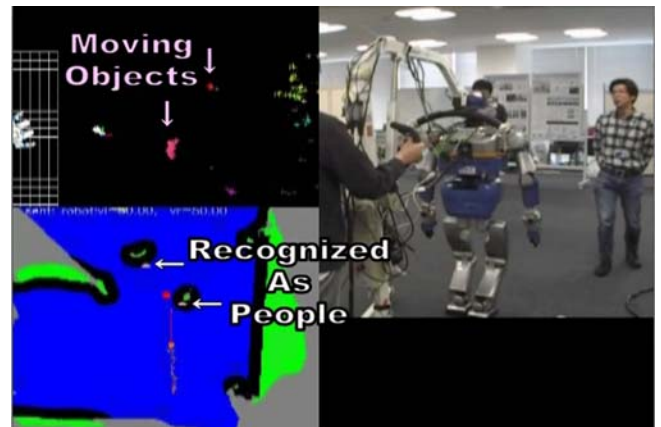
人物追従ロボットシステムに、大域地図生成モジュールを追加すると、連れて歩くだけで環境の地図を生成できるシステムができる。図 3.2.2-3 にコンポーネント構成を、図 3.2.3-4 に地図生成途中の結果を示す。図 3.2.2-2 の国際ロボット展でのデモンストレーションでも同様のシステムの実演を行った。



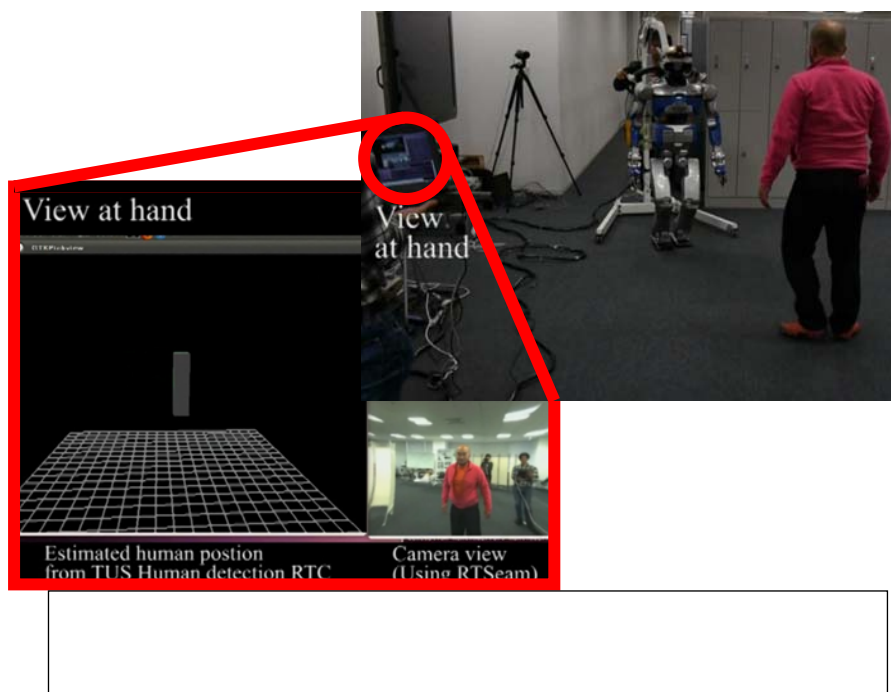


### 3.4.1.3.2.3 ヒューマノイドロボットによる有効性検証（東京大学）

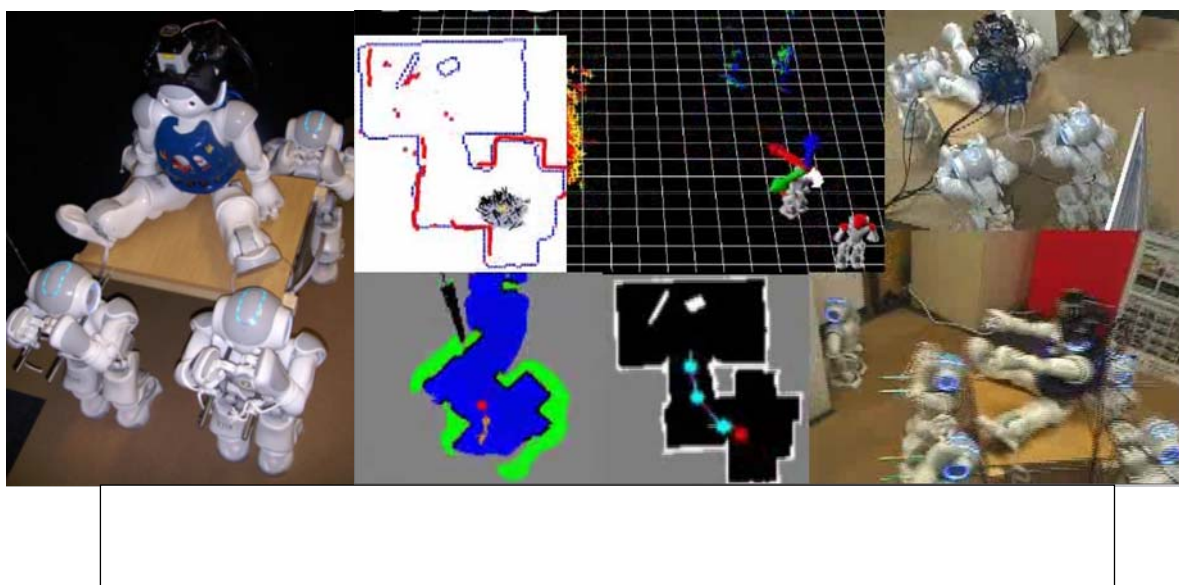
3.1.5 で開発した 3 次元運動分離認識モジュール群と、コンソ内の他のグループで開発された自律移動知能コンポーネント群とを連携させた統合システムを構築することで、頭部に 3 次元揺動が生ずる二脚型ヒューマノイドロボットにおいても問題なく屋内でのナビゲーション行動が可能であることを検証した。図 3.2.3.1 に、等身大ヒューマノイド HRP-2 を用いて、秋葉原オフィス環境において自律移動を行っている様子を示す。ここでは、3 次元運動分離認識を行うことで、自己位置の修正を行いつつ、地図との照合による自己位置推定（奈良先端大）、局所地図生成・移動経路計画（豊橋技科大）を利用することで二脚型のロボットにおいても車輪型ロボット用に開発された自律移動知能コンポーネントを再利用することが可能になっている。また、3 次元運動分離認識モジュールから得られる複数の移動物体の 3 次元点群を人障害物として扱い、局所経路計画において、回避移動経路を計算している様子を図 3.2.3.2 に示す。



また，自律移動中に同時に人発見モジュール（東京理科大）及び，共通画像インタフェース（大阪大），RTSeam（セック）を用いて手元のノート PC にロボット視野と人発見結果の 3 次元位置の描画を行なっている様子を図 3.2.3.3 に示す．



さらに，歩行よりも 3 次元揺動が大きな場合の例として，複数ヒューマノイドロボットが台の上に環境認識ヒューマノイドを載せて移動する神輿行動においても，同様の自律移動が可能であることを検証し（図 3.2.3.4），構築した統合モジュールシステムのロバスト性を確認した．



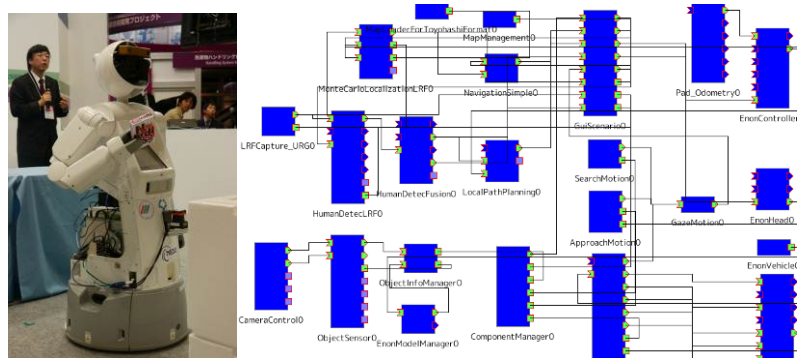
### 3.4.1.3.2.4 知能モジュール群の有効性検証（奈良先端科学技術大学院大 学、大阪大学、東京理科大学）

#### 検証用統合システムおよび検証用実験環境の構築

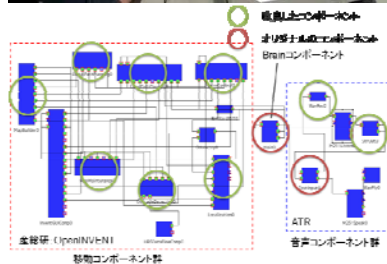
検証用統合システムとして、富士通サービスロボットenonにステレオカメラ、レーザ測域センサを搭載し、RTコンポーネントにより動作するロボットシステムを構築した。国際ロボット展では、GUIによりナビゲーション、対人追従、物体把持を行うデモンストレーションを1日2回、会期中4日間で合計8回のデモンストレーションを実施した。

#### 関連モジュールの評価と再利用の検討

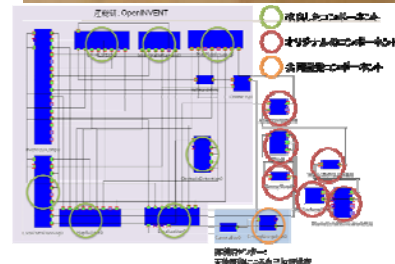
リファレンスハードウェアを用いて、再利用センターとの共同開発である天井画像を用いた自己位置推定モジュール、ATRグループより提供を受けた音声認識・合成モジュール、産総研より提供を受けた車輪移動モジュール群OpenINVENTの統合接続によるロボットシステム開発を行い、モジュールの再利用性について検証した。他開発者により作成されたモジュール群の再利用検証を通して、バイナリ配布によるOSやライブラリ依存等の問題点を確認すると共にモジュール開発における汎用性確保のための課題点を明確にした。



国際ロボット展デモシステム



音声入力からのナビゲーション



複数ロボットの位置情報共有

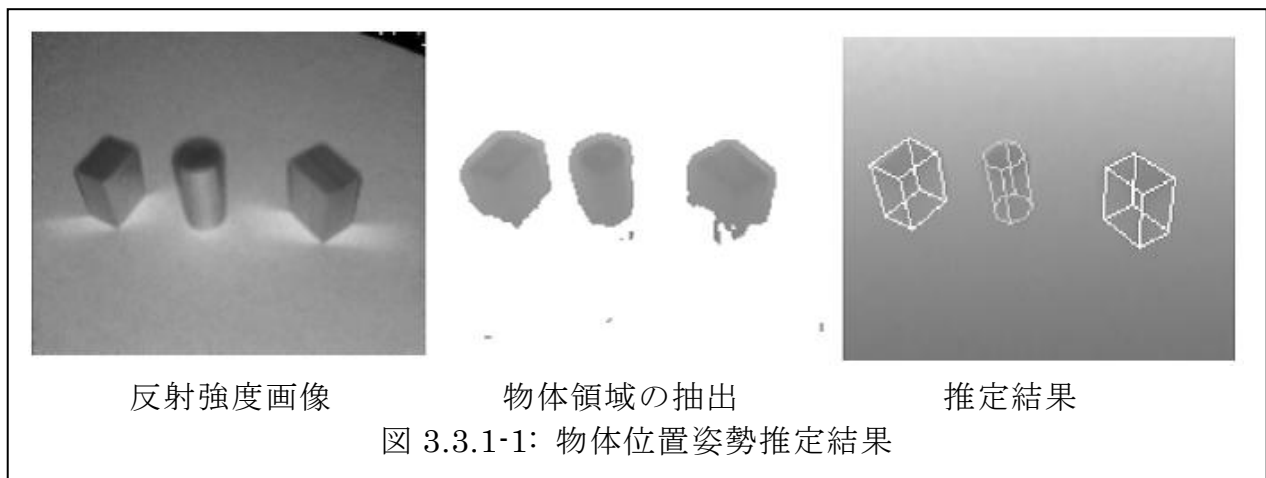
### 3.4.1.3.3 双腕ロボットプラットフォームを用いた作業知能オープンソースの統合 検証（豊橋技術科学大学，東京大学，奈良先端科学技術大学院大学、筑波 大学、大阪大学、東京理科大学）

#### 3.4.1.3.3.1 部品のパレタイジング（豊橋技術科学大学，東京大学）

（a）部品のパレタイジング作業のための知能モジュール群の開発（豊  
橋技術科学大学）

##### （1）距離センサによる部品位置姿勢推定モジュール群の開発

スイス MESA 社製 3 次元距離測定カメラ SwissRanger SR4000 からのデータを基に、  
机上の直方体・円筒物体の 3 次元空間上での位置と姿勢を推定する。反射強度画像  
を用いたカメラキャリブレーション結果を利用して、世界座標系での位置姿勢を出  
力する。あらかじめ計測した作業機の位置姿勢を基に机上物体を抽出し、物体ごと  
にモデルとの照合を行い、ICP アルゴリズムで位置姿勢推定を行う。モデルデータ  
ベース RTC にモデルを追加することにより、さまざまな寸法の物体を推定可能であ  
る。図 3.3.1-1 に位置姿勢推定結果を示す。



## (2) 双腕ロボットと搬送ロボットの連携作業のためのモジュール群の

### 開発

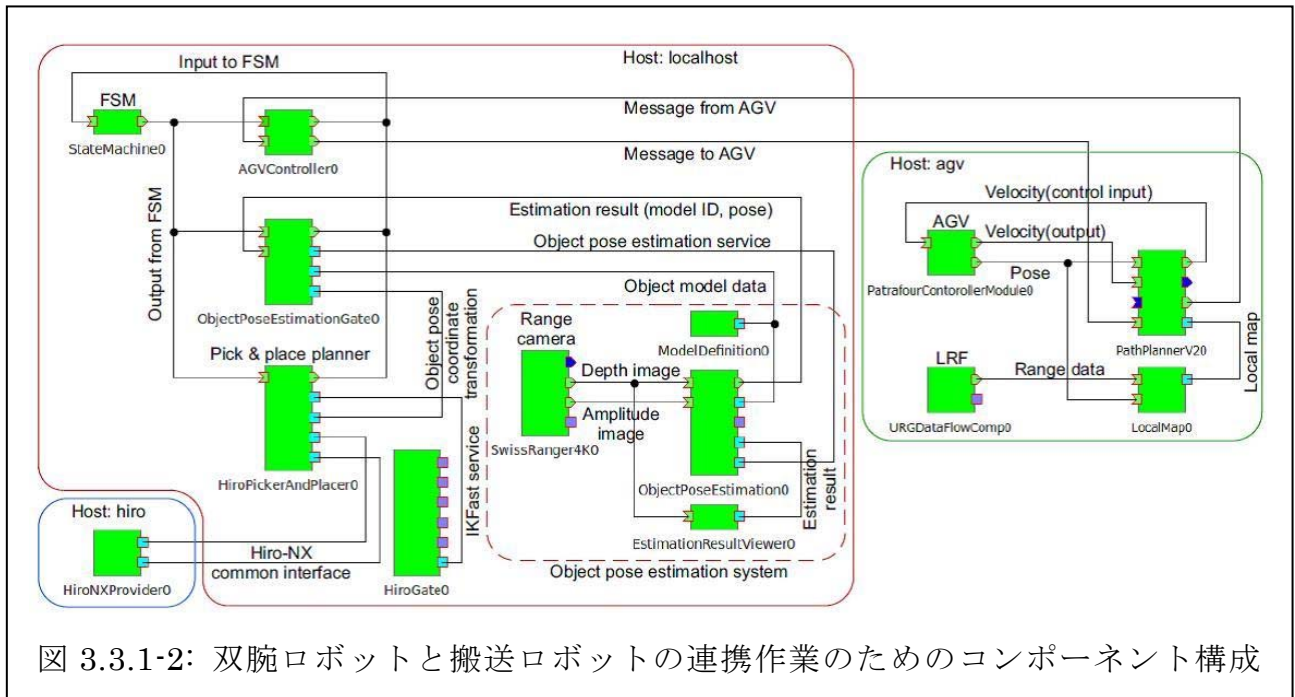


図 3.3.1-2: 双腕ロボットと搬送ロボットの連携作業のためのコンポーネント構成

双腕ロボットと搬送ロボットの連携により、部品搬送とパレタイジングを行うシステムを構築した。本システムは、上記の物体位置姿勢推定モジュールに加え、実行順序を制御する状態機械モジュール、ピックアンドプレースモジュール、搬送ロボット制御モジュールから成る（図 3.3.1-2 参照）。

### (ア) 状態機械モジュール

状態機械モジュールは文字列を入出力するデータポートを一組持つ。この入出力データポートは、作業の状態遷移を表す有限状態機械における遷移のトリガとなる入力と遷移時の出力に対応しており、他のモジュールはこの出力を受けて各処理を行い、処理の終了時に状態機械モジュールに入力を行う。状態機械は図 3.3.1-3 に示す形式の XML ファイルに記述し、アクティベート時に読み込む。このようにすることで、本システムに限らず、文字列の入出力データポートを持つさまざまなモジュールの動作を一元的に制御できる。

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<statemachine>
  <state>
    <name>AGV outward</name>
    <next in="AGV_OUT_ARRIVED" out="OPE_EST_START"
          timing="manual">OPE estimation</next>
    <error>Error<error>
  </state>
  <...
</statemachine>

```

State name: AGV outward  
 Transition output: OPE estimation  
 Input (trigger of transition): AGV\_OUT\_ARRIVED  
 Next state name: OPE estimation  
 Error state name: Error  
 manual: transition on pressing button  
 auto: transition automatically

図 3.3.1-3: 状態機械の XML 表現

### (イ) ピックアンドプレースモジュール

物体位置姿勢モジュールの推定結果を受けて、双腕ロボット HIRO による搬送ロボット上から指定されたトレイ内への物体のピック&プレースを行う。軌道生成時に逆運動学の解を得るために IKFast を利用している。また、HIRO の動作には共通インタフェースである HiroNXInterface を用い、求めた関節角度を与えて HIRO を動作させる。

### (ウ) 搬送ロボット制御モジュール

搬送ロボットの制御には 3.1.3 節で述べた、地図情報生成および移動行動生成のための知能モジュール群を利用する。ただし、局所経路計画モジュールについては、双腕ロボットとの相対的な位置決めのために、壁沿い走行モードを新たに付け加えている。

### (エ) 統合実験

図 3.3.1-4 に統合実験の様子を示す。図中(c) (e) (g) (i) では物体の位置姿勢推定を、(d) (f) (h) では各物体のピック&プレースを行っている。トレイの位置は既知としているが、物体の配置は距離センサの視野に入る範囲で自由に配置できる。

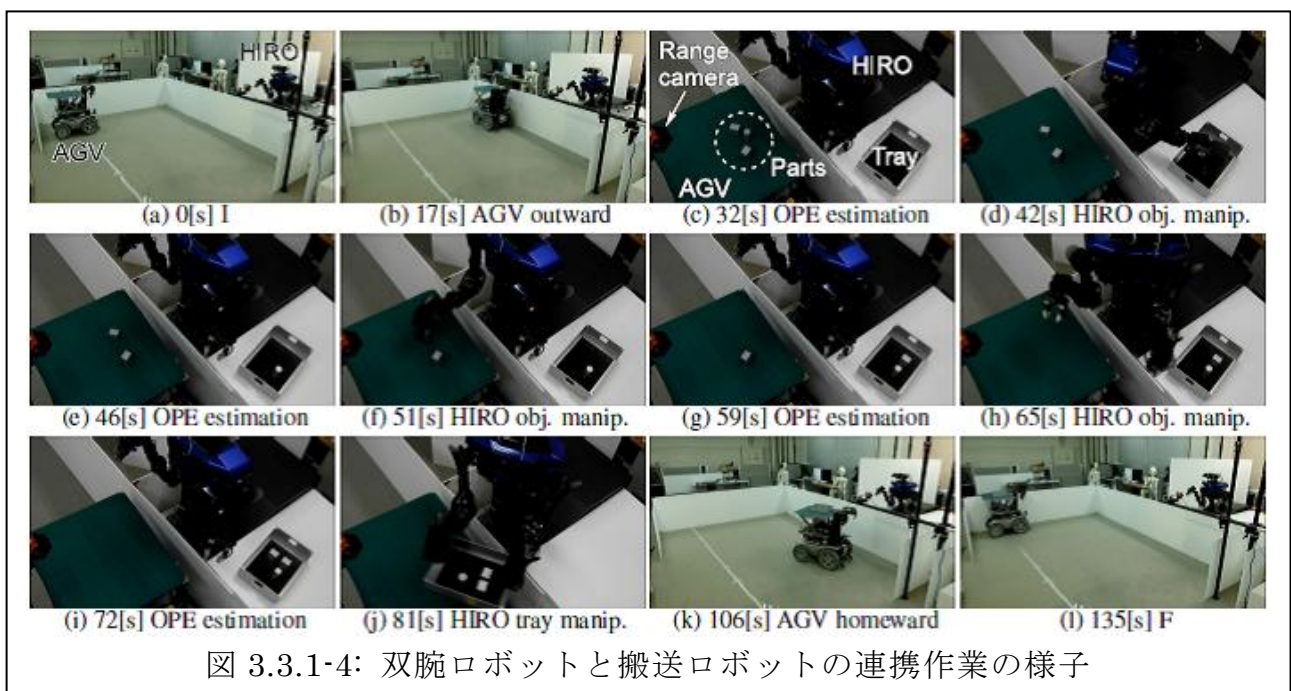


図 3.3.1-4: 双腕ロボットと搬送ロボットの連携作業の様子

## (B) パレタイジングのための動作、作業計画（東京大学）

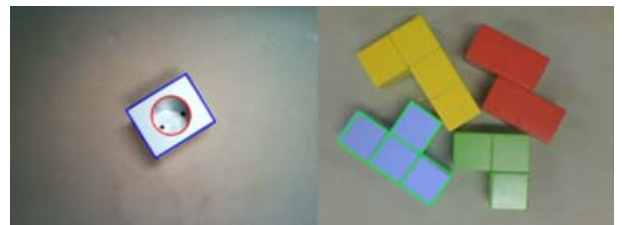
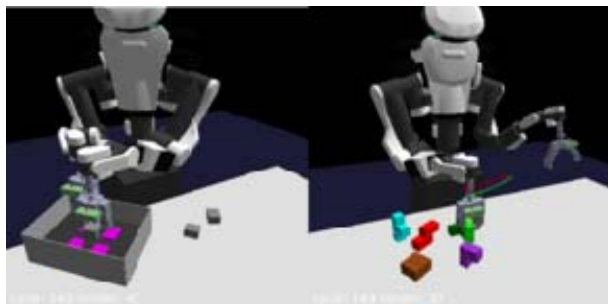
双腕ロボットによるハンドアイベースのマニピュレーション作業を実現するために必要となる、アームの動作生成モジュールの開発および、対象物の認識、把持、搬送動作の生成、動作の実行といった一連の作業を記述する部分の開発を行った。その後、インタフェース共通化によりセンサ切り替えが容易になったことを示すため、手先カメラを用いて作業対象物を認識するモジュールを追加開発、両手を使って効率的に部品を箱詰めするシステムを実現することでモジュールの有効性を検証した。開発したモジュールはすべてオープンソースで公開済である。

図 3.3.1-5 は、動作生成モジュールの実行画面である。本モジュールは、左右の手および、手と他の環境の干渉を生じないハンドやアームの動作を生成する。

Python 環境における幾何モデルを用いた動作システムを柔軟に構築するためのスクリプト群を基に、これを RT コンポーネント化することで実装している。

また、このスクリプト群と `RtcHandle` を用いることで、Python 対話環境上で両手同時把持、左手で掴んだものを右手に持ち替えて置くといった、作業シナリオの記述を実現した。

図 3.3.1-6 は、追加開発したモジュールにより、手先カメラを用いて平面内での対象物の位置と姿勢を認識している様子である。





モジュール統合による作業システムの検証を行うため、上記モジュール群にカメラ出力共通 I/F 準拠のモジュール（大阪大学）、双腕ロボット用制御モジュール（産総研）を統合することで、部品パレタイジングシステムを実現した（図 3.3.1-7）。本システムは、手先カメラを動かして作業台上をスキャンし、認識結果を統合することで、複数の対象物を認識する。そして、両手が干渉しない場合、左右の手でそれぞれ対象物を把持することで効率的に作業を進める。本システムは、国際ロボット展でデモを行った。更に、モジュール化、インターフェース共通化の恩恵により、双腕作業と移動の統合システム、手先カメラによる認識モジュール群と把持計画モジュール（産総研）の組み合わせによる作業システムを短期間で構築できることを確認した。



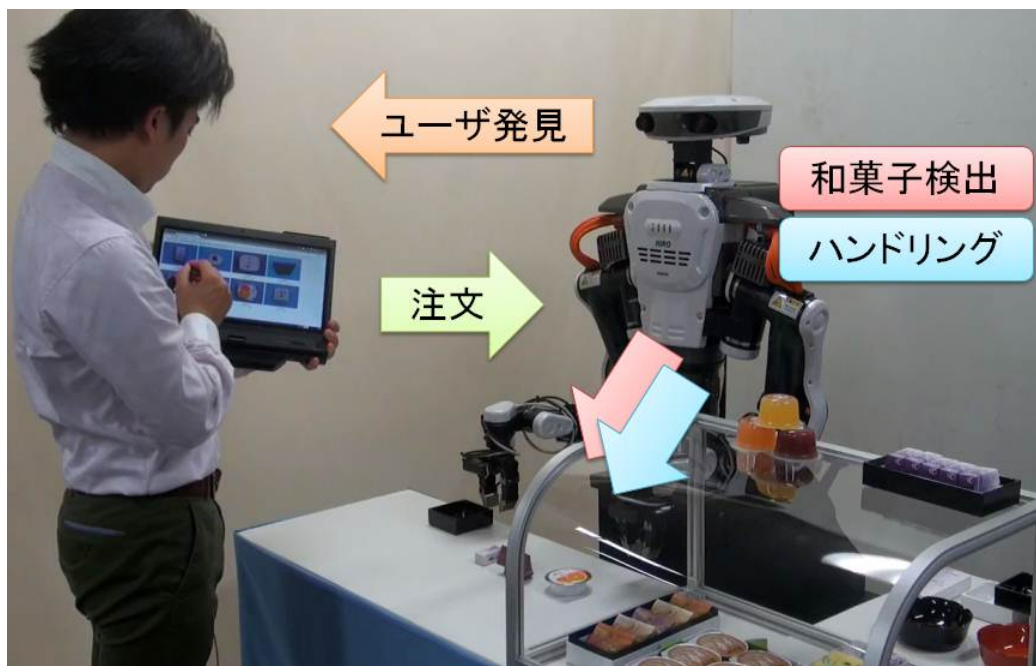
### 3.4.1.3.3.2 特徴ベース物体認識に基づく日用品等のハンドリング（奈良先端科学技術大学院大学，筑波大学，大阪大学，東京理科大学）

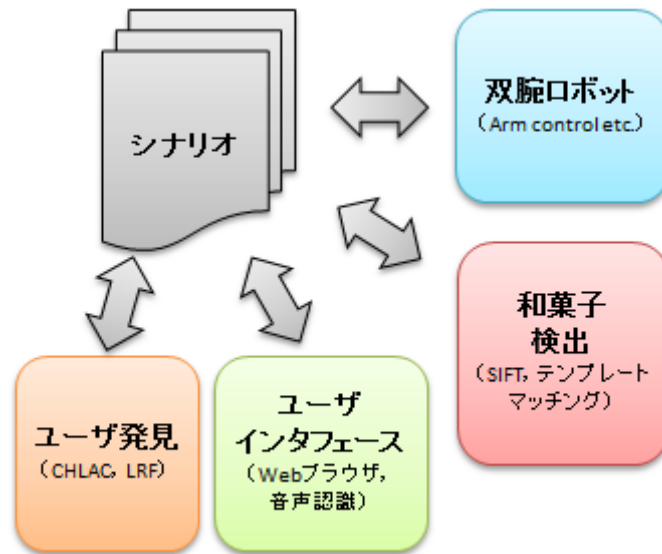
近年，工場などの閉じた環境だけでなく，一般社会で活動できるサービスロボットへのニーズが高まっている．本節では，作業知能に関するコンポーネントの再利用性検証・統合システム事例の創出を目的に，双腕ロボットをプラットフォームとして，オープンソース RT モジュールの組合せで日用品のハンドリングを行うサービスシステムについて報告する．具体的には和菓子の店頭販売をイメージし，ユーザの発見，ユーザから注文の受付け，注文された和菓子の認識とハンドリングを行った．図 3.3.2-1 に構築した双腕サービスシステムの概要を示す．

図 3.3.2-2 に示すように，本システムは各機能を実現するための様々なモジュールを，Python で書かれたシナリオから適宜利用することによって，短時間で構築可能なサービスシステムとなっている．

本システムの特徴は次のようにまとめることができる．

- OpenRTM の Web サイト (<http://openrtm.org/>) で公開されているオープンソース RT モジュールを利用したシステム構築
- 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトにおいて標準化されたインタフェースに基づいて開発されたモジュールを利用
- スクリプト言語を用いたシステム統合





#### ・ LRF を用いた人物発見モジュール

事前に登録しておいたサイズの人間がロボットの近くに存在するかを，LRF のデータから判断するモジュールを開発した．単純なアルゴリズムであるため，容易に再利用が可能である．

#### ・ カメラを用いた人物発見モジュール

東京理科大学によって開発されたカメラ画像を用いた人物発見の研究成果を応用したモジュールを開発した．ロボットの近くに設置したカメラの画像から，ロボットの近くに人がいる場合といない場合の CHLAC 特徴量を計算し，人物発見を行うモジュールである．事前に様々なシチュエーションを学習すれば，それぞれの特徴量の違いからシチュエーションの判別が可能となる．

#### ・ 音声認識によるオーダーモジュール

産業技術総合研究所によって開発された OpenHRI (<http://openhri.net/>) を利用して，音声認識による注文受けモジュールを開発した．OpenHRI は，音声認識・音声合成・対話制御などを実現するのに必要なコンポーネント群である．本システムでは注文だけではなく，OpenHRI を用いてユーザとの簡単な音声コミュニケーションも実現している．

#### ・ GUI によるオーダーモジュール

Web ブラウザを用いた GUI による注文受けモジュールを開発した．ユーザはブラウザ上に設置されたボタンをクリックすることで，物品を注文することができる．入力された注文はデータベースに登録され，任意のタイミングでシナリオから参照することが可能である．

### ・ テンプレートマッチングを用いた物体認識モジュール

事前に登録しておいた操作対象物体の画像から正規化相関によるテンプレートマッチングにより、2次元位置姿勢推定を行うモジュールを開発した。本手法は比較的計算量が少なく、計算機の実力が低い場合でも利用することが可能である。

### ・ SIFT 特徴量を用いた物体認識モジュール

大阪大学によって開発された、SIFT 特徴に基づく物体認識モジュールを本システムにおいて再利用する。事前に登録しておいた操作対象物体の画像から SIFT 特徴量を用いて操作対象物の3次元位置姿勢推定を行う。CUDA を用いて物体認識アルゴリズムを GPU で計算させることにより、実行速度の高速化を測っており実サービスにおいても十分に利用可能である。

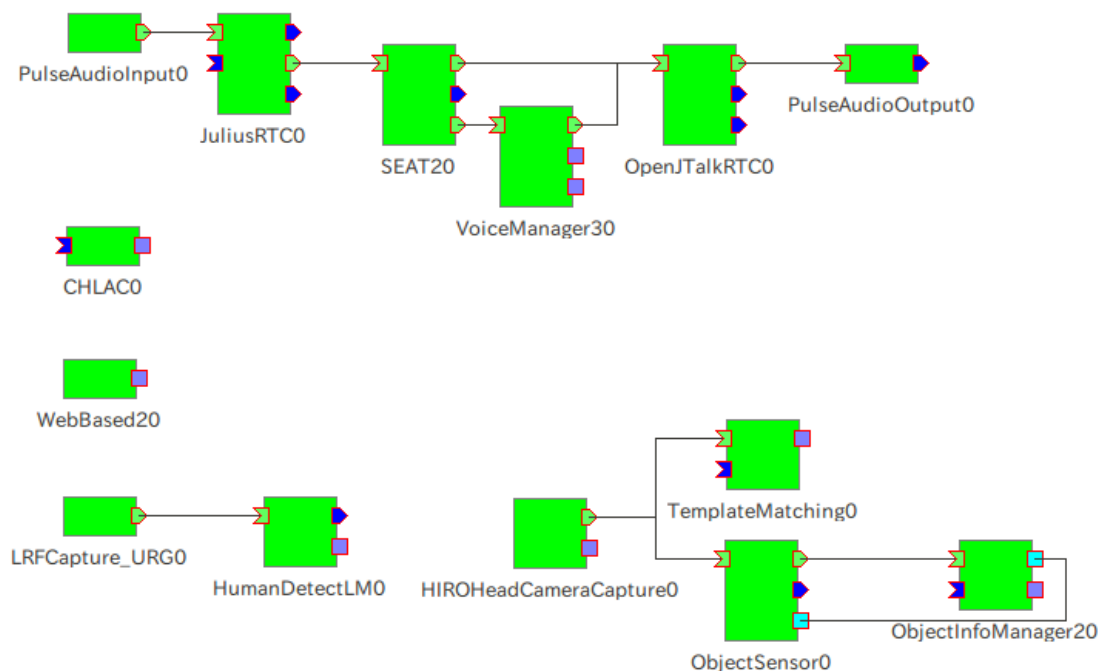
### ・ サービスシステムを用いた再利用性検証

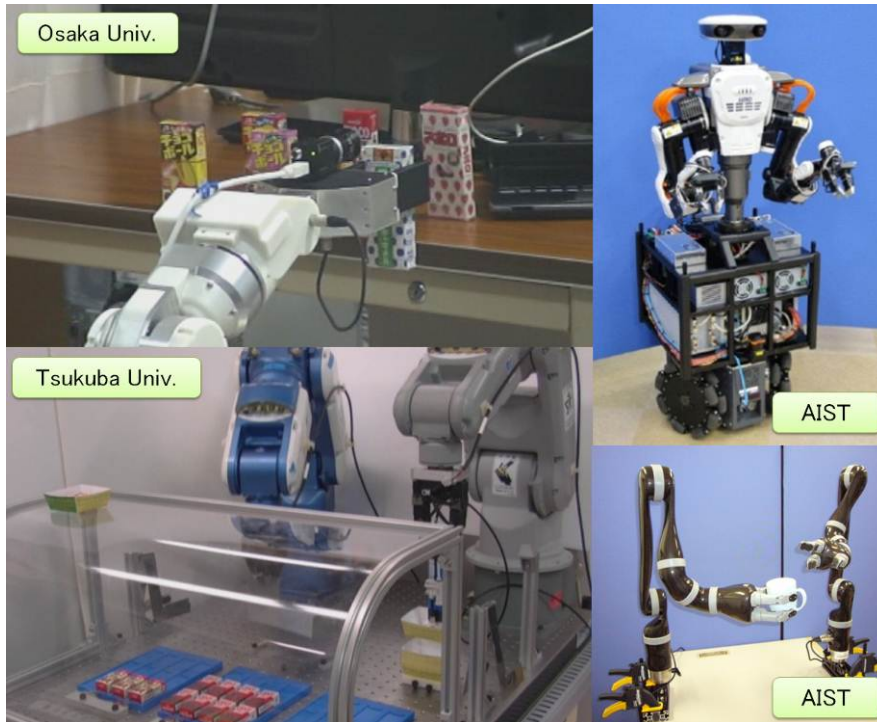
開発したモジュールを統合して、図 3.3.2-3 に示すような和菓子の店頭販売をイメージしたデモンストレーションを実施するためのサービスシステムを構築した。

双腕ロボットとして HIRO (川田工業株式会社) を用い、操作対象物体の認識にはロボット頭部に搭載されたカメラを使用した。また、ユーザ発見用のセンサとして Top-URG (北陽電機株式会社) と Bumblebee (Point Grey) を用いた。

Python で書かれたシナリオから各コンポーネントのサービスポートにアクセスすることで、機能の切り替えや和菓子のハンドリングを実現している。

構築したサービスシステムを用いて 2011 国際ロボット展においてデモンストレーションを実施し、利用するモジュールを変更することでセンサやアルゴリズムを容易に入れ替えることが可能であることを示した (図 3.3.2-4)。





また，国際ロボット展に向けて構築したサービスシステム以外にも，図 3.3.2-5 に示すようなロボットを用いて類似のサービスシステムを構築し，各機能モジュールが様々な種類のロボットで再利用可能であることを示した．短時間で容易に構築可能な双腕サービスロボットシステムを構築した．構築したシステムは国際ロボット展で4日間のデモンストレーションを行い，安定性と有効性を広く社会に示すことができた．

構築したシステムの有効性（ロバスト性，再利用性）を検証するために実施したデモンストレーション等の一覧を示す。

#### 有効性の検証

実施機関	環境	内容	ハードウェア
全関係機関	国際ロボット展 2011	モジュールの解説を含めたデモンストレーションを多人数の前で実施（4日間）	HIRO
奈良先端大	オープンキャンパス	受験生向けにシンプルなデモンストレーションを実施（1日）	HIRO
奈良先端大	スプリングセミナー	学部生が構築したシステムを利用して簡易なデモを作成（3日間）	HIRO
東京電機大学	東京電機大学実験室	奈良先端大等で開発したシステムを0から移植，デモの確認	HIRO
筑波大学	筑波大学実験室	双腕協調動作モジュールの動作確認及び菓子アソートのデモ	産業用マニピュレータ 2台
大阪大学	大阪大学実験室	移動モジュールと物体認識モジュールを用いて日用品ハンドリングを確認	リファレンスハード
産総研	産総研実験室	物体認識モジュールを用いて日用品ハンドリングを確認	Mobile HIRO

### 3.4.1.3.4 次世代ロボット智能化技術の相互運用性の検証（東京大学）

#### 3.4.1.3.4.1 OpenRTM-ROS 相互運用プロジェクト

##### 3.4.1.3.4.1.1 プロジェクトの目的

本検証項目では近年急速にユーザを増やしている ROS 等のオープンソースのロボットプロジェクトの OpenRTM の間にはどのような連携の形があり、どう行うのが良いのか、その相互運用性について検証した。また、プロジェクト終了後の継続的な展開を含めた相互運用のあり方についても検討と検証を行った。

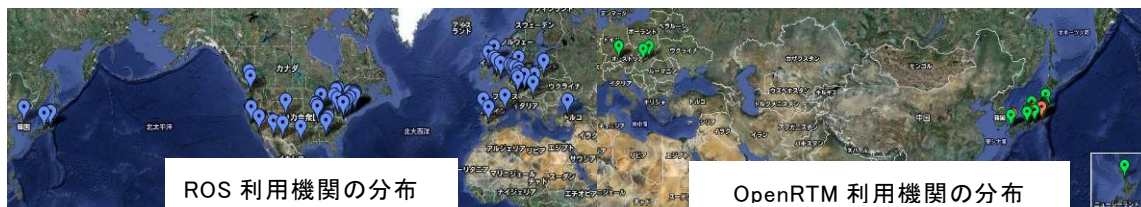
##### 3.4.1.3.4.1.2 OpenRTM と ROS

OpenRTM と ROS の比較を下の表に示す。

	OpenRTM	ROS
開発主体	経産省・文科省・NEDO等	米国民間企業
ライセンス	オープン/クローズド共存	オープンライセンスが基本
基盤開発設計方針	産業技術総合研究所 コンポーネント化	ウィローガレージ社+有志 ライブラリ化
注力分野	再利用性を重視し厳格化 コンポーネント開発環境 知能ソフト開発中心	開発効率を重視し緩い規格 コミュニティ環境 開発者の支援、繋がり構築
品質管理	国際組織による規格化 再利用センタによる保証	無し（利用者コミュニティ内での 自主的相互確認）

OpenRTM は ROS 規格に基づいた品質保証されたコンポーネントの開発に主眼があり企業が利用しやすいようになっている。一方 ROS は知能モジュール開発環境の提供に主眼があり、また、基盤ソフトの更新が頻繁に行われ研究者コミュニティ向けである。

OpenRTM と ROS の利用機関、ソフトウェアモジュールの数を比較する。ROS の利用機関数は 114(内企業数 14≒8%)、ソフトウェアモジュール数は 150(ROS Stack 数, Package 数は 3000 以上) (<http://www.ros.org/wiki/Metrics> より)。一方で OpenRTM の利用機関数は 45(内企業数 15≒33%, コンソ参加企業数)、ソフトウェアモジュール数 322 件(再利用センタ登録件数)となり、OpenRTM は国内を中心に企業に広く浸透している点が特徴と言える。



<http://maps.google.com/maps/ms?ie=UTF&msa=0&msid=209668390659853657363.00049c608b78bc7779683>

<http://maps.google.com/maps/ms?ie=UTF&msa=0&msid=202046448223103795061.0004af11ddd066defcdfb>

#### 3.4.1.3.4.1.3 OpenRTM-ROS 相互運用の方針

OpenRTM と ROS は同じロボットミドルウェアとして競合する存在ではなく、それぞれのターゲットとする領域は大きく異なるものになっている。OpenRTM ではコンポーネント開発を基盤として再利用性の高い知能モジュールの開発と、これを用いたアプリケーション開発やサービス事業化等に注力が置かれてきているが、ROS は Linux for Robotics を標語とし、ロボティクス研究に必要なソフトウェア開発環境やデバッグツールの構築と、ユーザコミュニティの創出に力を注いでいる。特に、複数機関にまたがる共同研究者のグループがソースコードを共有しながら開発を進めていくため巧妙な仕組みを提供するソフトウェア開発ツールが提供されており、これらはロボティクス研究に関わらず大変有用であることから、ROS に依存しない独立したツールとして展開しようとしている段階にある (REP125 rosdep2 <http://ros.org/repos/rep-0125.html>, REP 114 rospkg standalone Python library <http://www.ros.org/repos/rep-0114.html> 等)。

そこで本研究開発項目では、これらの ROS に依存しないスタンドアロンツール化が進められているオープンソースツール上に OpenRTM-ROS 統合環境を構築し、OpenRTM モジュールの効率的な開発・保守環境を構築するとともに、OpenRTM 以外のオープンソースのロボットライブラリとの連携が容易な環境を実現し、世界中の研究成果を OpenRTM を採用する知能システム・モジュールに取り込み統合出来るようにすることとした。

#### 3.4.1.3.4.2 相互運用プラットフォームハードウェア構成の設計

相互運用プラットフォームとして移動 SW グループの共通インタフェース仕様へ対応した移動台車構成を beego ロボットをベースに設計した。また、作業移動タスクへの対応のために関節指令インタフェースを利用した作業移動ロボットの設計も行った。以下に移動台車ロボットと作業移動ロボットの概観、並びに OpenRTM コンポーネント・ROS ノードの相互接続の様子、実験状況を示す。

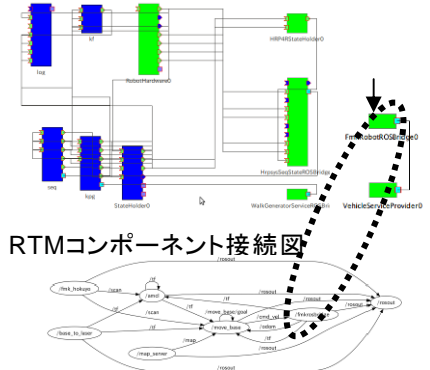




検証プラットフォームによるROS移動モジュールとRTMコントローラの連携検証



作業移動ロボット外観



RTMコンポーネント接続図

移動ROSモジュール接続

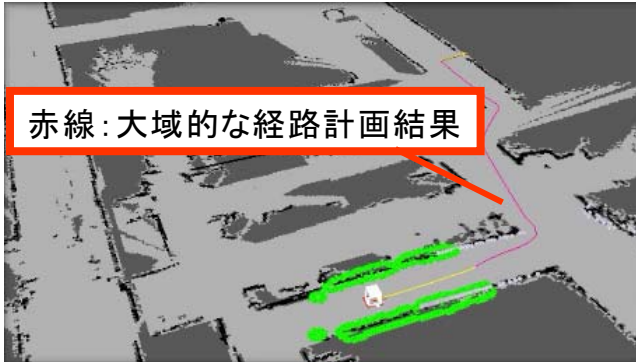


作業移動ロボットによるRTMコントローラとROSユーザインタフェースの連携検証



トレイ運搬タスクの例

また、以下の OpenRTM 台車モジュールと ROS ナビゲーション機能を接続したときのオンライン経路計画による移動タスク中の状況を示す。

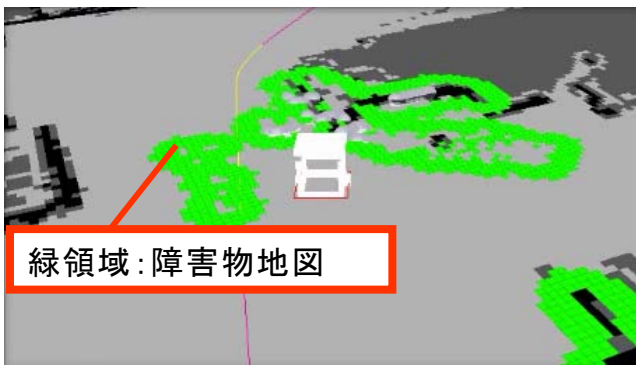


赤線:大域的な経路計画結果

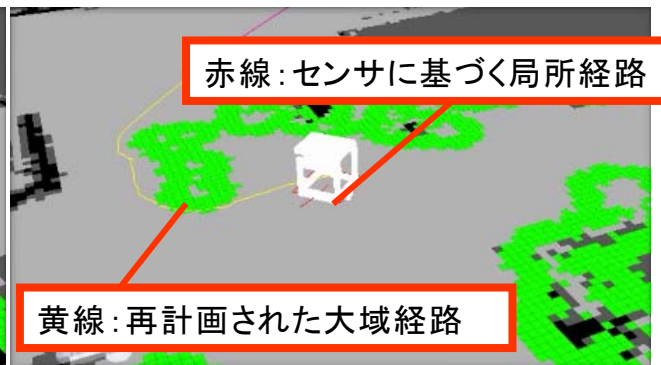


Kinectによる三次元距離画像

白線:3D距離画像から生成したレーザ線



緑領域:障害物地図



赤線:センサに基づく局所経路

黄線:再計画された大域経路

オンラインの経路再計画の様子

### 3.4.1.3.4.3 OpenRTM－ROS 相互運用開発環境

複数機関にまたがる共同研究者のためのパッケージソースコード一括ダウンロードツール(rosinstall)対象のパッケージが依存するすべてのパッケージを正しい順番で、かつ、必要なインクルードパスやライブラリのリンク情報を自動的に抽出しながらコンパイルするパッケージ依存関係自動解決コンパイルツール(rosmake)、複数のプログラムコンポーネントの実行、パラメータ設定、ポート接続を行うプログラムコンポーネント実行管理ツール(roslaunch)の各コマンドを OpenRTM で利用可能な形で拡張した。

#### 3.4.1.3.4.3.1 パッケージソースコード一括ダウンロードツール

rosinstall はソースコードのリポジトリをリストアップした、.rosinstall ファイルから svn, git など対応するバージョン管理ツールを用いてこれらのソースコードをダウンロードし、ダウンロードしたパスを環境変数の形で記憶する。このツールは ROS とは関係なく利用できる状態にあり、今回準備した

[http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/svn/tags/latest/agentsystem\\_ros\\_tutorials/rtm-ros-robotics.rosinstall](http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/svn/tags/latest/agentsystem_ros_tutorials/rtm-ros-robotics.rosinstall) ファイルの一部は以下の様になっている。

```
- svn: {local-name: rtm-ros-robotics/rtmros_common, uri:
  'https://rtm-ros-robotics.googlecode.com/svn/tags/latest/rtmros_common',
  version: -r2863}
- svn: {local-name: rtm-ros-robotics/agentsystem_ros_tutorials, uri:
  'https://rtm-ros-robotics.googlecode.com/svn/trunk/agentsystem_ros_tutorials', version: -r2863}
- svn: {local-name: jsk-ros-pkg, uri:
  'https://jsk-ros-pkg.svn.sourceforge.net/svnroot/jsk-ros-pkg/trunk',
  version: -r3037}
```

これにより、

```
$ rosinstall ~/prog/rtm-ros-robotics
http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/svn/tags/latest/agentsystem_ros_tutorials/rtm-ros-robotics.rosinstall
```

というコマンドでカレントディレクトリに必要なパッケージのソースコードがダウンロードされる。また、上記の.rosinstall ファイルでは version 属性が指定されており、リポジトリから任意のバージョンのソースコードをダウンロードする。このバージョン番号は後述する自動検証プロセスを経て動作確認されたバージョンのものが書かれており、信頼できる組み合わせになっている。インストール後は

```
$ source ~/prog/rtm-ros-robotics/setup.bash
```

とすると以下のツールを利用するのに必要な環境変数をセットすることが出来る。

### 3.4.1.3.4.3.2 パッケージ依存関係自動解決コンパイルツール

rosmake は対象のパッケージが依存するすべてのパッケージを正しい順番で、かつ、必要なインクルードパスやライブラリのリンク情報を自動的に抽出しながらコンパイルするパッケージ依存関係自動解決コンパイルツールであり、これを OpenRTM に対応するよう idl ファイルの検出、コンパイル、並びに生成されたインクルードファイルのパスの設定、ライブラリのパスとリンクの設定の機能を拡張した([http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/svn/tags/latest/rtmros\\_common/rtmbuild/cmake/rtmbuild.cmake](http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/svn/tags/latest/rtmros_common/rtmbuild/cmake/rtmbuild.cmake))。

例えば mrobot\_ros\_bridge パッケージにあるコンポーネントのソースコード (src/MobileRobotROSBridgeComp.cpp) のコンパイルでは、いくつかの設定をファイルに記述しておけば、

```
$ rosmake mrobot_ros_bridge
```

の 1 コマンドで ROS, RTM が混在する複雑な依存関係を解析し、必要な全てのパッケージにおいて idl ファイルの扱いを含めたコンパイルを行うことが出来るようになっている。

あらかじめ準備が必要な設定は以下の 2 つファイルになる。一つはパッケージ設定ファイル (manifest.xml) である。これに対象とするパッケージが依存するソースコードや idl メッセージを含むパッケージを depend タグを利用して記述するものである。

```
<package>
  <description brief="mrobot_ros_bridge">mrobot_ros_bridge</description>
  <depend package="openhrrp3"/>           ☑ OpenHRP3
  <depend package="iis_idl"/>           ☑ 知能移動モジュール標準 IDL

  <depend package="move_base"/>         ☑ ROS移動モジュール
  <depend package="amcl"/>             ☑ ROS自己位置同定モジュール
  <depend package="jsk_maps"/>         ☑ 実験環境の地図情報
</package>
```

もう一つはコンパイル設定ファイル(CMakeLists.txt)であり、ソースコードと実行ファイル名を記述する。

```
rtmbuild_init()
rtmbuild_add_executable(MobileRobotROSBridgeComp
                        src/MobileRobotROSBridge.cpp src/MobileRobotROSBridgeComp.cpp)
```

また、idl ファイルを含むパッケージでは以下の様に idl コンパイルを指示する

```
rtmbuild_init()
rtmbuild_gen_idl()
```

これらの設定ファイルを準備することで rosmake コマンドで依存関係の解決を含めて必要な手続きを全て行っている。具体的には以下のことが行われる。

1. `openrtm` に必要な `bomniidl4` 等のライブラリの `apt` によるダウンロード
2. `openrtm` のダウンロードとコンパイル, 成果ライブラリを他のパッケージから利用できるためのインクルード, リンク, パス設定
3. `openrtm` にある `idl` ファイルのコンパイル. これを他のパッケージから利用できるためのインクルード, リンク, パス設定
4. `openhrrp3` に必要な `java` 等のライブラリの `apt` によるダウンロード
5. `openhrrp3` のダウンロードとコンパイル, 成果ライブラリを他のパッケージから利用できるためのインクルード, リンク, パス設定
6. `openhrrp3` にある `idl` ファイルのコンパイル. これを他のパッケージから利用できるためのインクルード, リンク, パス設定
7. `iis_idl` にある `idl` ファイルのコンパイル. これを他のパッケージから利用できるためのインクルード, リンク, パス設定
8. `move_base`, `amcl` 等の ROS コンポーネントのコンパイル. これを他のパッケージから利用できるためのインクルード, リンク, パス設定
9. `mrobot_ros_bridge` にあるコンポーネントのとコンパイル, これが依存する上記ライブラリとのリンク

これにより `OpenRTM` と ROS (あるいは, `rosmake` に対応している `OpenRAVE`, `OpenCV`, `PCL`, `Orocos`, `yarp` などのライブラリやミドルウェア) が混成した開発環境において, 従来のように開発するプログラムコンポーネントが依存する様々なパッケージや `idl` ファイルの場所を一つずつ確認し, インクルードパス, ライブラリパス, リンクライブラリ名などをコンパイル時に指定することなく, 1つのコマンドで, 全てを透過的かつ簡便にに処理することができるコンパイルツールを実現でき, `OpenRTM-ROS` 相互運用開発におけるプログラムの生成手順が劇的に簡素化し, 開発の効率化に大いに貢献した.

#### 3.4.1.3.4.3.3 プログラムコンポーネント実行管理ツール

`roslaunch` は 複数のプログラムコンポーネントの実行, パラメータ設定を行うプログラムコンポーネント実行管理ツールであり, プログラムコンポーネントが不正に終了した際には自動で再起動することも可能になっている. このツールを `OpenRTM` に対応させるためにコンポーネントの状態遷移, データポートおよびサービスポートの接続を行えるよう `rtconnect`, `rtactivate` という新しいタグを導入し拡張を行った (<http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/svn/tags/latest/rtm-ros-common/openrtm/scripts/rtmlaunch.py>). `roslaunch` スクリプトは `.launch` を拡張子にもつ実行管理設定ファイルの内容を読み取り, プログラムの起動等の処理を行う. 例えば移動ロボットのシミュレータを実行するための設定ファイル (`beego_simulator.launch`) の例は以下の様になる.

```

<launch>
  <node name="rtm_naming" pkg="openrtm" type="rtm-naming-restart" />
  <arg name="openrtm_args" value='-o "corba.nameservers:localhost:2809
    -o "naming.formats:%n.rtc" -o "logger.file_name:/tmp/rtc%p.log"' />
  <node pkg="openhrop3" name="grxui" type="grxui.sh" args="$(find
    mrobot_ros_bridge)/launch/beegoSimulation.xml"/>
  <node name = "BeegoCtrl" pkg = "mrobot_ros_bridge" type = "IISBeegoControllerComp" />
  <node name = "controller_bridge" pkg = "openhrop3" type = "openhrop-controller-bridge" />
  <node name = "MRBridge" pkg = "mrobot_ros_bridge" type = "MobileRobotROSBridgeComp" />
  <node name="rtmlaunch" pkg="openrtm" type="rtmlaunch.py"
    args="$(find mrobot_ros_bridge)/launch/beego_simulator.launch" />
  <rtconnect from="IISBeegoController0.rtc:torque"
    to="IISBeegoControllerComp(Robot)0.rtc:torque" />
  <rtconnect from="IISBeegoControllerComp(Robot)0.rtc:velocity"
    to="IISBeegoController0.rtc:velocity" />
  <rtconnect from="IISBeegoControllerComp(Robot)0.rtc:angle"
    to="IISBeegoController0.rtc:angle" />
  <rtconnect from="IISBeegoController0.rtc:out" to="MobileRobotROSBridge0.rtc:in" />
  <rtconnect from="MobileRobotROSBridge0.rtc:out" to="IISBeegoController0.rtc:in" />
  <rtactivate component="IISBeegoController0.rtc" />
  <rtactivate component="MobileRobotROSBridge0.rtc" />
</launch>

```

この設定ファイルを利用し、mrobot\_ros\_bridge パッケージにある移動シミュレータを起動するには以下の1つのコマンドを実行する。これで、beegoの移動機能シミュレーションに必要な全てのROS, RTM コンポーネントの起動と相互接続を行う。

```
$ roslaunch mrobot_ros_bridge beego_simulator.launch
```

具体的にプログラムコンポーネント実行管理ツールを利用することで自動的に実行される手続きを以下に示す。

1. openhrp3 シミュレータ(openhrp-controller-bridge)の起動
2. OpenRTM 移動制御プログラム(IISBeegoControllerComp)を起動
3. OpenRTM-ROS 相互運用コンポーネント(MobileRobotROSBRidgeComp)を起動
4. OpenRTM コンポーネント間のデータポート, サービスポートの接続
5. OpenRTM コンポーネントの活性化

本ツール開発の意義は次のようにまとめることができる。一般に OpenRTM や ROS 等のモジュール型のシステムでは大量のコンポーネントプログラムを起動しそれらの接続関係を記述する必要がある。OpenRTM ではそれぞれのコンポーネントプログラムを手動で起動し、これらのコンポーネント間の接続は GUI ツールで行われるのが一般的であった。しかし本ツールを用いることで OpenRTM,

ROS 混成環境でのコンポーネントプログラムの実行，ポート接続，状態遷移を 1 つの起動コマンドで管理することができるようになり，更に効率的なコンポーネントプログラムの実行管理ツールとして提供できるようになった。

また特筆すべきは，起動コマンドに終了シグナルを送出すれば，このコマンドから生成されたすべてのコンポーネントプログラム群が終了する点である．従来はそれぞれ手動で起動したプログラムを一つずつ手動で終了するため，プログラム実行，動作確認，プログラム終了，プログラム修正，の開発ループに手間と時間が掛かっていた．本ツールの開発は OpenRTM-ROS 相互運用環境における開発の効率化に大いに貢献した．

### 3.4.1.3.4.4 OpenRTM-ROS 自動相互運用実行システム

#### 3.4.1.3.4.4.1 ノード-コンポーネントの自動変換による相互運用実行ツール

ROS のノードプログラムから自動的に ROS と OpenRTM の間で情報を変換するブリッジコンポーネントを生成することができれば，簡便に ROS ノードプログラムを OpenRTM から利用できるだけでなく，将来 ROS のノードプログラムの仕様に変更があった際にも，OpenRTM 側で明示的に対応する必要なく，継続的にブリッジコンポーネントを利用することが出来るようになる．

このようなノードの自動変換による相互運用実行にはオンラインの変換方式とオフラインの変換方式が考えられる．

オンライン変換方式は起動しているノードプログラムの入出力を調べこれに対応した idl ファイル並びにブリッジコンポーネントプログラムのソースコードを生成し，自動変換された相互運用ブリッジコンポーネントプログラムを生成する方式である．この方式はプログラムの入出力がそのプログラムを実行するまで明らかで無いようなシステムを対象とした場合に有効な方法であり，例えば ROS のノードプログラムにおいては，メッセージインターフェース定義ファイルはデータの入出力を定義するが，それがどのノードプログラムが提供するものなのかは明記されていないため，ROS のノードプログラムから OpenRTM のコンポーネントプログラムを生成する場合は，オンライン変換方式が適切であると言える．

一方，オフライン変換方式はノードのインタフェース定義ファイルであるメッセージ・サービスファイルを解析し，そこから対応した idl ファイルを生成し，ブリッジコンポーネントプログラムのソースコードを生成し，自動変換された相互運用ブリッジコンポーネントプログラムを生成する方式である．この方式はプログラムの入出力がインタフェース定義ファイルに明記されている場合に有効な方法であり，例えば OpenRTM のコンポーネントプログラムは，コンポーネントに対応したインタフェース定義ファイルを解析することで，そのコンポーネントがどのようなサービスポートを提供するか分かるため，OpenRTM のコンポーネントプログラムから ROS のノードプログラムを生成する場合はオフライン変換方式が適切であると言える．

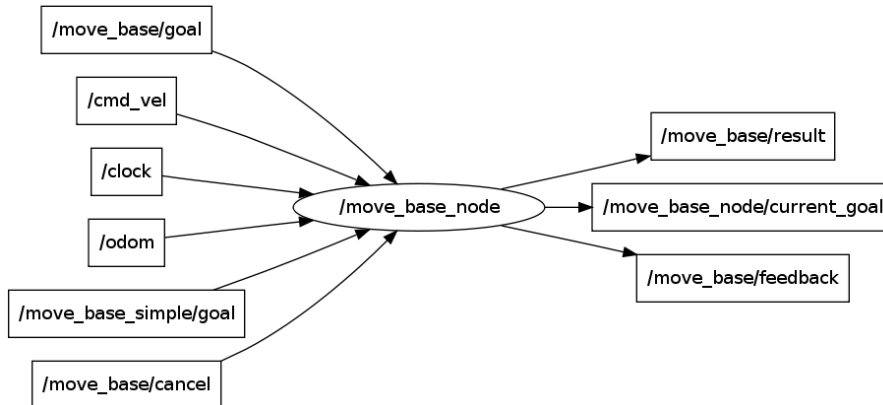
#### 3.4.1.3.4.4.2 ROS ノード-OpenRTM コンポーネントブリッジ自動生成ツール

既存の ROS ノードの機能を OpenRTM から利用するため，ROS ノードプログラム-OpenRTM コンポーネントプログラムの自動変換ツールをオンライン変換

方式に基づき開発した。以下にその手続きをを ROS ナビゲーションチュートリアルを例題に示す。チュートリアルの例題は以下の様にして実行できる。

```
$ roslaunch move_base_stage_tutorial robot.launch
```

これで以下のような ROS ナビゲーションチュートリアルのノードプログラムが起動される。



ROSのナビゲーションプログラムのノードの様子(一部)

ROS ナビゲーションチュートリアルで立ち上がる中核的なプログラムノード (move\_base\_node)の入出力について, 例えばナビゲーションのゴールを指示する /move\_base/goal というデータは以下の様にして, Move\_base\_msgs/MoveBaseActionGoal という型を持つことが分かる。

```
$ rostopic info /move_base/goal
Type: move_base_msgs/MoveBaseActionGoal
$ rosmmsg show move_base_msgs/MoveBaseGoal
geometry_msgs/PoseStamped target_pose
  Header header
    uint32 seq
    time stamp
    string frame_id
  geometry_msgs/Pose pose
    geometry_msgs/Point position
      float64 x
      float64 y
      float64 z
    geometry_msgs/Quaternion orientation
      float64 x
      float64 y
      float64 z
```

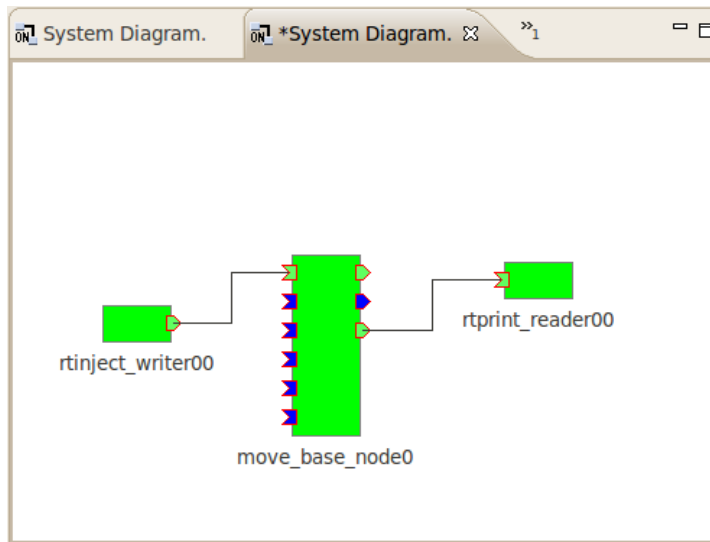
次に，自動変換ツールを立ち上げる

```
$ roslaunch rosnode_rtc stage_sample.launch
```

これにより，以下の手続きが実行される

1. 稼動している ROS モジュールの入出力メッセージを解析
2. 対応する OpenRTM 用の idl ファイルを出力
3. 生成された idl ファイルを利用して OpenRTM コンポーネントを自動生成.

これにより，以下のような ROS ナビゲーション機能を提供する OpenRTM コンポーネントが自動生成される.



自動生成されたROSナビゲーション機能を提供するRTMコンポーネント

具体的には，ROS の `move_base_msgs/MoveBaseActionGoal` データ型が idl で記述されたデータ型として，`move_base_msgs_MoveBaseGoal` に変換される.

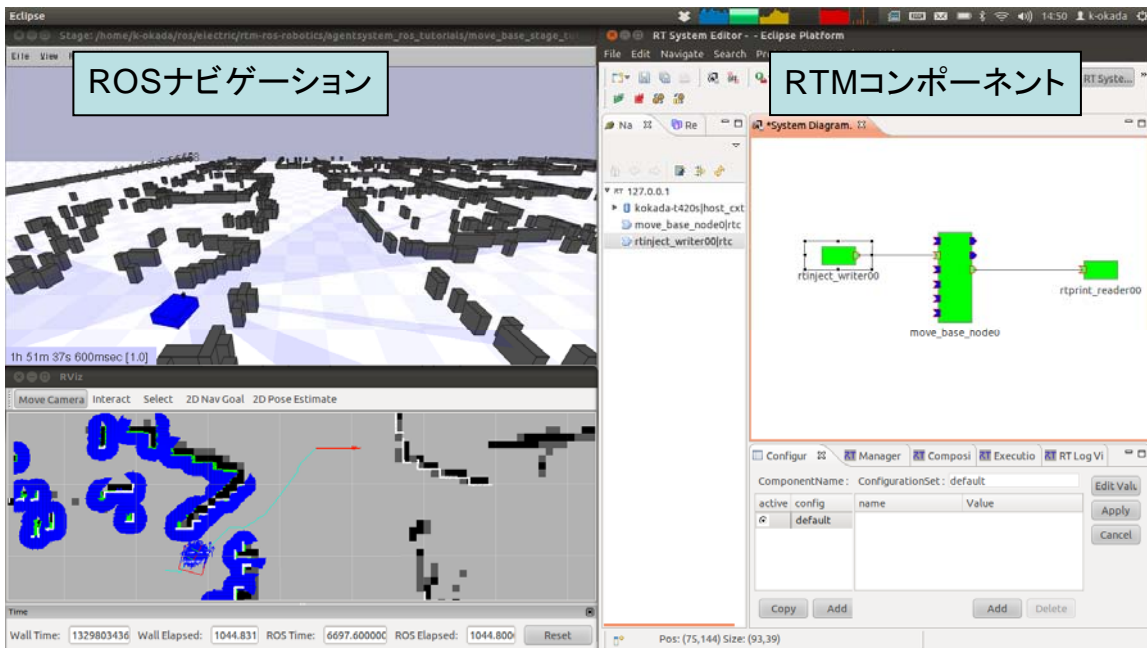


```

#include "BasicDataType.idl"
module RTMROSDataBridge
struct std_msgs_Header {
    unsigned long seq;
    RTC::Time stamp;
    string frame_id;
};
struct geometry_msgs_Point {
    double x, y, z;
};
struct geometry_msgs_Quaternion {
    double x, y, z, w;
};
struct geometry_msgs_Pose {
    geometry_msgs_Point position;
    geometry_msgs_Quaternion orientation;
};
struct geometry_msgs_PoseStamped {
    std_msgs_Header header;
    geometry_msgs_Pose pose;
};
struct move_base_msgs_MoveBaseGoal {
    geometry_msgs_PoseStamped target_pose;
};

```

上記の2つのコマンド実行のより以下のシミュレーション画面が生成される。



左側が ROS のナビゲーションチュートリアルが生成される二次元のナビゲーション

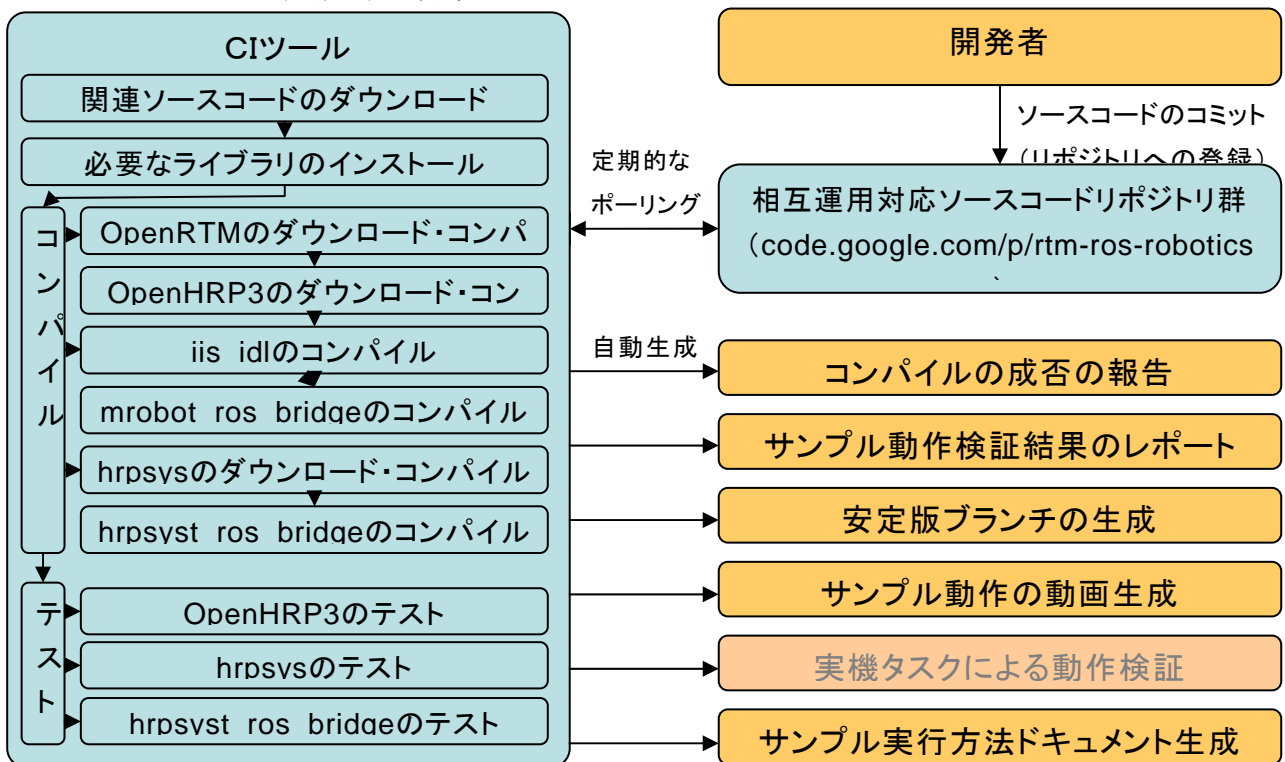
ョンシミュレータ（上）と、そのセンサ情報表示（下）あり、右がはそこで稼動している ROS のナビゲーションノードから自動的に生成された OpenRTM のナビゲーションコンポーネントを RTSysEditor で表示している様子になっている。

### 3.4.1.3.4.5 OpenRTM – ROS 相互運用検証システム

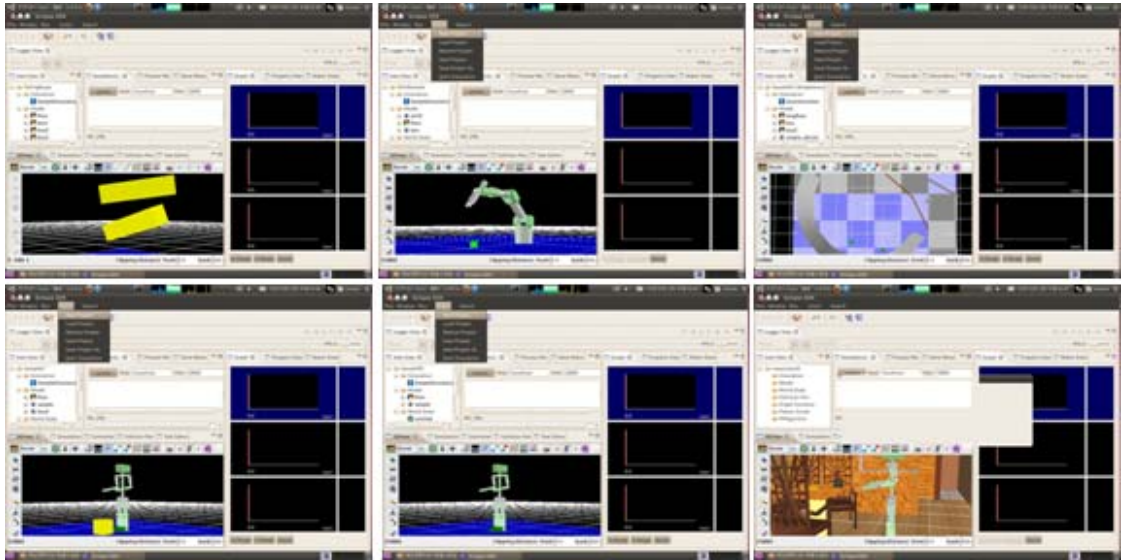
OpenRTM と ROS という 2 つの巨大ソフトウェアプロジェクトの相互運用を、プロジェクト終了後も継続的に続けていくための仕組みがなければ、プロジェクトとして開発した知能コンポーネントが直ぐに陳腐化して動かなくなってしまう。そこで本検証では、知能コンポーネントの検証プロセスそのものを限りなく省力化する技術を開発した。

#### 3.4.1.3.4.5.1 知能化コンポーネントの生成・動作・文章化の自動検証環境

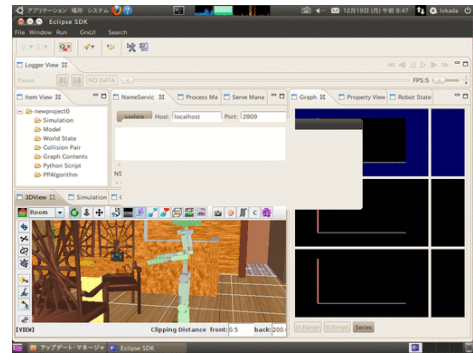
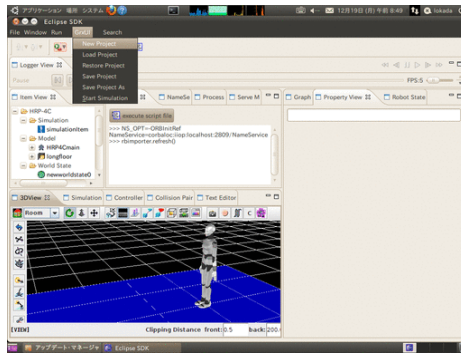
以下に自動検証環境の概要を示す。ここでは、開発者がソースコードをコミットすると、コンパイル成否の報告、サンプル動作検証結果のレポート、安定版ブランチの生成、サンプル動作の動画生成、サンプル実行方法ドキュメント生成、のプロセスを全て自動的に行う。



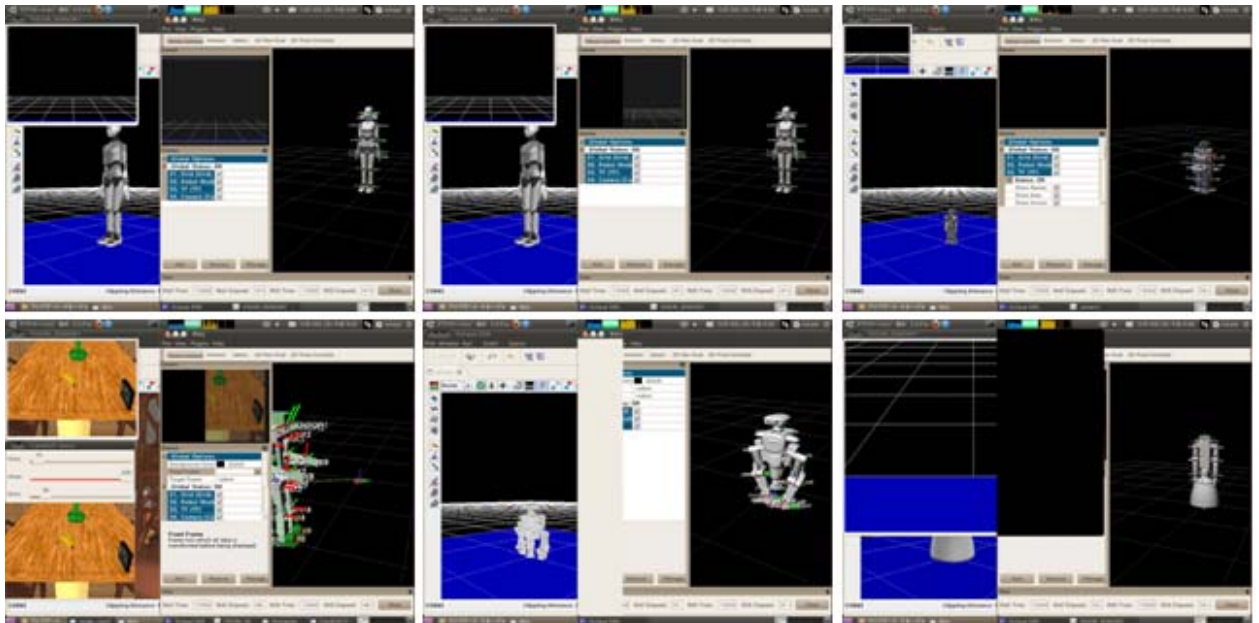
これらの仕組みはオープンソースで配布されている継続的インテグレーションツール 1 つである Jenkins を利用している。これはソースコードのコミットがトリガを取りがにスクリプトを起動でき、その成否でソースコードコミットに結果をメールすることができたり、その成否のデータベース化、あるいは、テストプログラムの結果の集計を行うシステムを容易に構築できるツールである。以下に、OpenHRP3, hrpsys, 並びに hrpsys\_ros\_bridge の各パッケージにおいて自動的に生成されたサンプル動作動画を示している。



サンプル動作の自動動画生成(openhrp3)

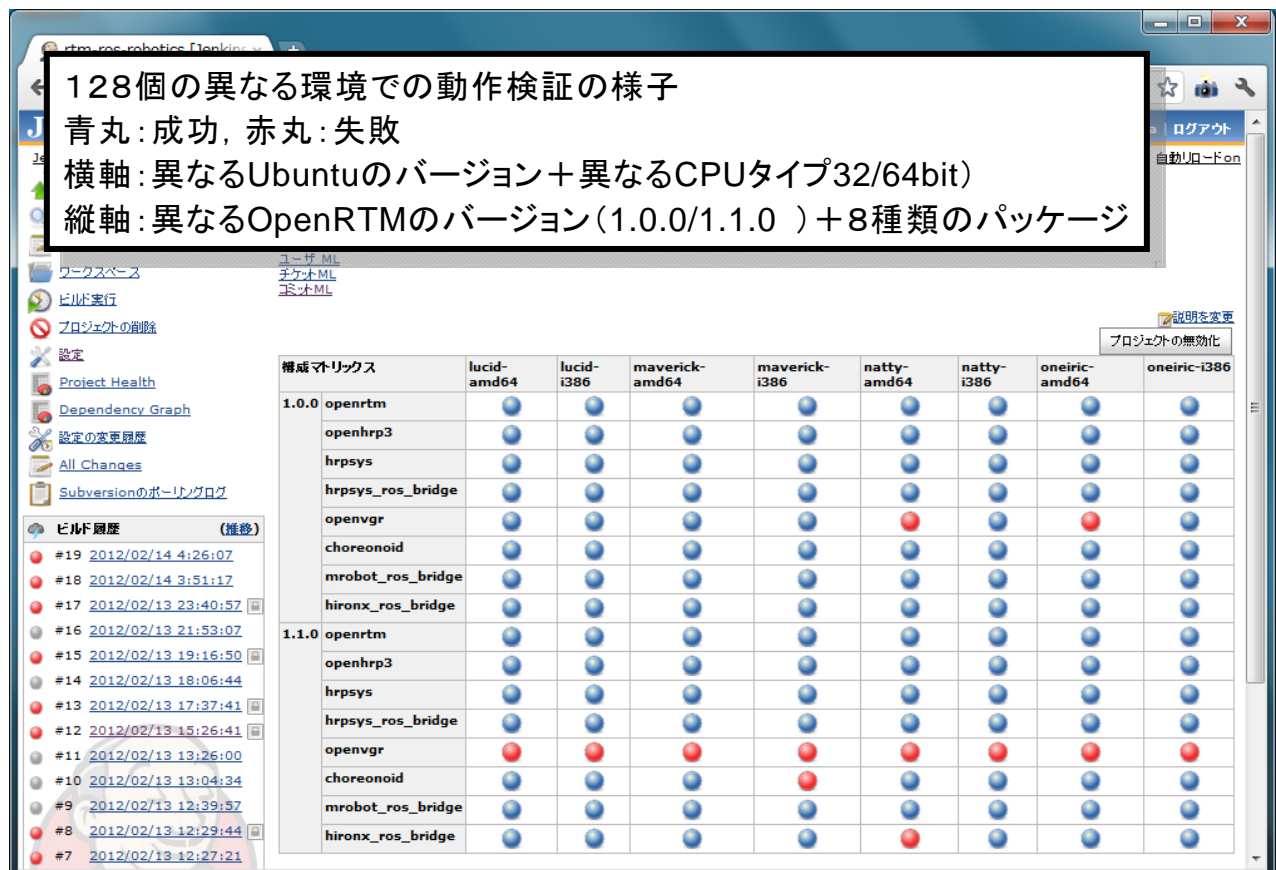


サンプル動作の自動動画生成(hrpsys)



サンプル動作の自動動画生成(hrpsys\_ros\_bridge)

これらのツールを活用し、OSやミドルウェアのバージョンアップに対する検証機構として、一般的な開発実行環境として考えられる全ての組み合わせに対して、知能モジュールの生成検証を行うことが可能になる。以下では32bit (i386), 64bit (amd64)のそれぞれのCPU, Ubuntu 10.04, 10.10, 11.04, 11.10のそれぞれのOSバージョン, 1.0.0, 1.1.0のそれぞれのOpenRTMバージョンの合計16通りの組合せに対して8個の各知能コンポーネントの動作を検証している様子を示している。横軸がCPU x OSの8通りの組合せであり、縦軸は7個のコンポーネントの組み合わせを示し、それぞれ2つのRTMバージョンで検証している



### 3.4.1.3.4.6 OpenRTM-ROS 相互運用プロジェクトの成果のまとめ

本プロジェクトの成果は以下のようにまとめることができる。

1) 開発した全 16 パッケージを <http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/> で公開した。

- 相互運用ツール : rtmbuild

- 相互運用ソフトウェア : mrobot\_ros\_bridge, hrpsys\_ros\_bridge, hironx\_ros\_bridge, fmk\_rs\_bridge, beego\_navigatoin, rtm\_node

- 既存 OpenRTM ソフトウェアの相互運用例 : openrtm, openhrp3, openinvent, openvgr, hrpsys, choreonoid, iis\_idl, RS003

2) OpenRTM と ROS の相互運用を可能にする環境の構築。

パッケージソースコード開発管理ツール、プログラムコンポーネント実行管理ツールによる効率のよい開発環境を構築し、OpenRTM と ROS の相互運用だけ

でなく、OpenRAVE、OpenNI (kinect) などの他のソフトウェアライブラリとの相互連携が容易な環境を構築した。

3) プロジェクト終了後も継続的に智能化コンポーネントを維持・発展する環境として、コンポーネント自動テスト・文章化ツールによる、省労力の動作検証環境とドキュメント管理方法の確立と ROS モジュールから自動的に RTM コンポーネントを生成するプログラムの開発を行った。特に後者は世界中にある全ての ROS パッケージを自動的に OpenRTM コンポーネントから利用できる形に変換することができる大変強力なツールになっている。

### 3.4.1.4 目標の達成度

	目標	研究成果	達成度
① 動環境認識知能モジュール群の開発	①自己位置認識に関する知能モジュール群 周囲環境のセンシング結果を手がかりに、記憶している地図等の環境記述上で自己位置を認識する機能を実現するモジュール群。	<p>周囲環境のセンシング結果を手がかりに、記憶している地図等の環境記述上で自己位置を認識するモジュール群を開発し、最終目標を達成した。開発したモジュール群は各環境や使用条件に合わせ、以下の複数のモジュールで構成されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・周囲環境をレーザセンサとカメラを用いてセンシングして得られたレーザセンサ情報と画像ランドマーク情報を手がかりに、記憶しているグリッド地図とランドマーク地図と照合し、自己位置を認識する機能を自己位置推定 RTC 群を開発。（富士通）</li> <li>・周囲環境をレーザセンサを用いてセンシングして得られた情報を手がかりに、記憶しているグリッド地図情報と照合し、自己位置を認識する LRF モンテカルロ位置推定モジュールを開発。（奈良先端大）</li> <li>・周囲環境をカメラを用いてセンシングして得られた天井画像を手がかりに、記憶している天井地図を照合し、自己位置を認識する天井カメラを用いた位置推定モジュールを開発。（奈良先端大）</li> <li>・周囲環境をレーザセンサとカメラでセンシングして得られた距離データと視覚特徴を手掛かりに、記憶していた障害物グリッド地図と視覚特徴地図と照合し自己位置を認識する大域位置推定モジュールを開発。（豊橋技科大）</li> </ul>	達成

<p>①移動環境認識知能モジュール群の開発</p>	<p>②地図情報生成に関する知能モジュール群 新規環境での動作開始に至るまでの準備作業を簡便にし、物品の配置変化等にも速やかに対応するために、ロボットに搭載されたセンサ情報を用いて、移動に必要な地図等の環境記述を生成する機能を実現するモジュール群。(1) ①の自己位置認識は、ここで生成した環境記述を用いて行う機能を実現すること。</p>	<p>ロボットに搭載されたセンサ情報を用いて、移動に必要な地図等の環境記述を自動生成するモジュール群を開発し、最終目標を達成した。地図を自動生成したことにより、新規環境での準備作業を簡便にし、物品の配置変化にも速やかに対応可能となる。さらに、生成した地図は自己位置認識に関する知能モジュール群でも利用可能である。開発したモジュール群は各環境や使用条件に合わせ、以下の複数のモジュールで構成されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・レーザ距離センサとカメラでセンシングして得られたレーザセンサ情報と画像ランドマークの情報から、レイアウト地図とランドマーク地図の事前地図を同時に自動生成する機能を自己位置 RTC 群で提供。また、レイアウト変化に対応するため、ロボット移動時に事前地図を更新するオンライン SLAM 機能も開発。生成した地図はランドマーク自己位置推定 RTC[富士通] や LRF モンテカルロ位置推定モジュール [奈良先端大] で利用可能。(富士通)</li> <li>・レーザ距離センサとカメラでセンシングして得られた距離データと視覚特徴を用いて、グリッド地図および視覚特徴地図の生成を行う大域地図生成モジュールを開発。生成した地図は大域位置推定モジュール [豊橋技科大] や LRF モンテカルロ自己位置推定モジュール [奈良先端大] で利用可能。(豊橋技科大)</li> </ul> <p>また、上記以外に地図生成に関し以下のモジュールも開発した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ステレオ画像処理ハードウェアから得られる三次元特徴点の追跡結果を元に計算されるビジュアルオドメトリを応用し、ロボットの自己運動推定と環境の計測情報から三次元点群地図を生成する、3次元視覚による三次元地図生成コンポーネントを開発。(東京大学)</li> </ul>	<p>達成</p>
---------------------------	---	--	-----------

<p>②人環境安全移動知能モジュール群の開発</p>	<p>①人・障害物認識に関する知能モジュール群          静止障害物の位置、ならびに人等の移動障害物の位置・動きを認識する機能を実現するモジュール群。</p>	<p>静止障害物の位置、ならびに人等の移動障害物の位置・動きを認識する以下のモジュール群を開発し、最終目標を達成した。人や障害物などの対象や使用条件に合わせ、以下の複数のモジュールで構成されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 静止障害物の位置認識              レーザ距離センサを用いてロボットを中心とする局所領域の障害物グリッド地図を生成する局所地図生成モジュールを開発。（豊橋技科大）</li> <li>・ 静止障害物の位置、移動障害物の位置・動きの認識             <ul style="list-style-type: none"> <li>- ステレオビジョン画像処理ハードウェアを活用し、特徴点の運動情報を利用して、静止障害物及び運動障害物の位置と運動の認識を行う障害物クラスタ追跡モジュールを開発。（富士通）</li> <li>- ステレオビジョンモジュールからの3次元特徴量追跡の情報とモーションセンサによるカメラ姿勢情報をセンサフュージョンすることで、自己運動と視野内の他の静止物体の位置、移動物体の位置と運動を30Hzの実時間で分離して計測する、3次元運動認識モジュールを開発。（東大）</li> </ul> </li> <li>・ 人の位置と動きの認識             <ul style="list-style-type: none"> <li>- ステレオカメラで得られる距離情報と画像情報を用いてロボットの周囲の人物の発見と追跡を行い、人の位置と運動を認識する人発見運動追跡モジュールを開発し、一般公開を予定。（豊橋技科大）</li> <li>- ステレオカメラやレーザセンサから得られる距離情報と色情報とを用いて人の位置と動きを認識し、追従動作を実現する対人追従モジュール群を開発。動作中の明るさの変化による視差情報、色情報の誤りにもロバストな手法を開発。（東京理科大）</li> </ul> </li> </ul>	<p>達成</p>
----------------------------	---	---	-----------



<p>②人環境安全移動知能モジュール群の開発</p>	<p>②動的経路計画に関する知能モジュール群</p> <p>(a)現在地と目的地を結ぶ経路を求め、経路から外れたり一部経路が塞がれたりしても、補正又は再計画を自動的に行いながら、目的地に到達可能な機能を実現するモジュール群。</p> <p>(b)人等の移動障害物の動きを予測し、状況に応じて、安全に回避できる機能を実現するモジュール群。</p>	<p>(a) (b)の経路計画機能を実現する以下のモジュール群を開発し、最終目標を達成した。</p> <p>(a)の機能を実現するモジュール群： グリッド地図を基に現在地と目的地を結ぶ経路（経由点の系列）を生成する大域行動計画モジュールを開発した。（豊橋技科大）</p> <p>さらに、ロボット周囲の環境の情報から安全な移動経路を計画する局所行動計画モジュール（開発済、一般公開を予定）により、経路から外れたり一部経路が塞がれたりしても、経路を再計画することによって常に目的地への経路を生成できる。（豊橋技科大）</p> <p>(b)の機能を実現するモジュール群： 上述の局所行動計画モジュールにより、人の位置・速度情報を基にその動きを予測し、人や静止障害物との衝突を起こさない安全な軌道を生成できる。（豊橋技科大）</p>	<p>達成</p>
<p>②人環境安全移動知能モジュール群の開発</p>	<p>③安全移動制御に関する知能モジュール群</p> <p>移動環境及びその状況に応じて、移動速度の制御を行いつつ、安全に移動可能な機能を実現するモジュール群。</p>	<p>移動環境及びその状況に応じて、移動速度制御を行う以下のモジュール群を開発し、最終目標を達成した。本機能を以下の複数のモジュールで実現している。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 上述の局所行動計画モジュールにより、人および障害物の情報を参照しながらさまざまな速度で移動した際の安全性確認を行い、衝突を起こさない適切な速度を選択できる。（豊橋技科大）。</li> <li>・ 移動環境で障害物が接近する状況において、レーザセンサを用いてロボットを安全に停止させるよう速度制御を行う緊急停止モジュールを開発した。（東京理科大）</li> </ul>	<p>達成</p>

最終目標	開発する知能モジュール群をすべて搭載したロボットシステムが、人の往来する実際の公共空間における移動作業を実行し、80%以上、所期の仕事を達成すること	表 3. 2. 1-7 に示すように知能モジュールを搭載したロボットシステムが複数の環境の中、失敗することなく移動できることを確認した。	達成
------	--	--	----

#### 特記事項

	目標	研究成果	達成度
(2)	NEDO技術開発機構「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」で開発中のデバイスを利用することを推奨する。	共通基盤で開発した LSI を搭載したステレオ画像処理ハードを活用した以下のモジュールを開発。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・自己位置推定 RTC (富士通)</li> <li>・障害物クラスタ追跡モジュール (富士通)</li> <li>・3次元運動認識モジュール (東大)</li> </ul>	達成
(4)	上記研究開発の具体的内容において、研究開発知能を一体のモジュールとせず、モジュール群で構成する理由は、本プロジェクトでは知能化技術の継続的発展のために知能要素を適切な粒度で構成し、蓄積管理を可能とすることが必須であり、またこれらのモジュールがロボット以外の製品分野にも波及することを期待するためである。従って提案する知能モジュール群は、有効に再利用可能なよう適度に分割されたモジュールとし、最小単位とすることが望ましい。	移動知能としての必要最小限の機能要素単位でモジュール化し、再利用できるようにコンソ内でインタフェースを揃えて、相互に接続できる形で開発。	達成

<p>(6)</p>	<p>知能モジュールの再利用性を確保するため、各実施者は開発した知能モジュールを研究開発項目①で開発する「ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム」のシミュレータ上で動作させ、保守管理を行うものとする。なお、詳細に当たっては当該プラットフォーム開発者と密接に連携をとるものとする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・局所地図生成、大域地図生成モジュールを「ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム」のOpenHRP3シミュレータで動作させ、適切に動作することを検証（豊橋技科大）</li> <li>・対人追従モジュール群を「ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム」のOpenHRP3シミュレータで動作させ、機能検証を実施。（東京理科大）</li> </ul>	<p>達成</p>
<p>(7)</p>	<p>本研究開発項目④に示した知能モジュール以外に、当該知能モジュールと同等以上の知能モジュール開発も推奨する。</p>	<p>移動知能に係わる本研究開発項目の上記モジュール以外にも以下のモジュールも開発した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ステレオ画像処理ハードウェア用画像処理 RTC、RT ミドルウェア 汎用的な画像処理に利用可能なモジュールとして、ステレオ計測モジュール、顔検知モジュール、距離画像計測モジュールを開発。ステレオビジョンモジュール購入者に提供を予定。（富士通）。富士通製ステレオ画像処理ハードウェア上で OpenRTM-aist を動作させるためのノウハウ、ツール、拡張機能を提供。（セック）。</li> <li>・人物の自由な動き、ロボットの制御、距離センサの取得を任意の空間でシミュレーションできる環境シミュレータを開発。（豊橋技科大）</li> <li>・作業知能のための対象物位置・姿勢推定モジュール ロボットが指定された対象物を把持する際に必要となる対象物の位置・姿勢を推定し、作業知能 WG で規定されたフォーマットで出力する知能モジュールを開発。（大阪大学）</li> </ul>	<p>達成</p>

### 3.4.1.5 成果の意義

(富士通株式会社)

商業施設等の人や障害物が混在する環境の中で作業する移動ロボットの実用化を目指し、様々なロボットがロボスタに移動するための、ステレオ画像処理ハードウェア、本ハードウェアを利用した画像処理用モジュール群、地図生成／自己位置認識モジュールを開発した。

ステレオ画像処理ハードウェアは小型（外径寸法 120mm×100mm×40mm、重量 180g）かつ低消費電力（13W）でありながらも、特徴点の3次元位置計測やオプティカルフロー等の画像処理をリアルタイムで処理する性能を実現している。画像認識機能を実ロボットへの組込むには重量・消費電力の点で最適である特徴を持つ。また、本ハードウェアをロボットの研究開発に広く利用できるように、RTミドルウェア利用環境を整備し、画像処理用モジュール群も開発した。

地図生成／自己位置認識モジュールは、画像ランドマークとレーザセンサの2種のセンサ情報を併用することで安定したロボットの自己位置認識を実現し、さらに地図を自動生成することにより、ロボット運用時におけるロボットのセットアップ工数を削減することができる。

実ロボット組み込みに最適な画像処理ハードウェア、画像ランドマークとレーザセンサを併用した自己位置推定による自律移動のロボスタ性の向上、ロボット運用時のセットアップ工数削減を実現した点に特徴があり、公共施設等への次世代ロボットの本格的な導入の加速が期待できる。

(豊橋技科大)

サービスロボットの移動知能においては、ロボット周囲の環境の認識と安全な行動の計画が最も基本的かつ重要である。そこで、地図生成・位置推定、大域経路計画、局所起動計画、人物発見・追跡に関する知能ソフトウェアモジュール群を開発し、RTコンポーネント（RTC）として実現した。また、屋内動的環境シミュレータ RTC を開発し、各機能モジュールを個別かつ容易に開発・評価できる環境を実現した。開発したモジュール群を統合した試作システムを構築し、特定人物追従や地図の自動生成の実験を行った。複数のプラットフォームを用い、通常のオフィス環境、学生食堂などさまざまな環境で実験を行い、開発したモジュールの再利用性、ロボスタ性を検証した。開発したモジュール群は、自律移動ロボットに必要な基本的なモジュールをすべて含んでおり、今後のサービスロボットの開発に大きく貢献できるものと考えている。

(セック)

移動知能用 RT ミドルウェアの開発では、RT ミドルウェアを用いて移動知能ロボットを構築するために有益な機能を提案、開発してきた。これらの機能の多くは、移動知能ロボットに限らず、RT ミドルウェアを用いたあらゆるロボットの構築に必要な不可欠である。そのため、移動知能用 RT ミドルウェアのシステム管理モジュールとデバッグ管理モジュールが提供する機能は、移動知能用 RT ミドルウェアがベースとしている RT ミドルウェア実装である OpenRTM-aist のバージョン

1.1.0-RC3 (2012年2月末時点の最新バージョン)に取り込まれた。これにより、RTミドルウェアを利用する全てのロボット開発者がより容易にロボットを構築することが可能になった。移動知能用RTミドルウェアが果たした功績は大きかったと考えている。

移動知能モジュール汎用フレームワークで実現したソースコード生成機能は非常に強力な仕組みであり、RTコンポーネントの開発と保守の効率を向上させるものである。RTミドルウェア初心者に対しては、RTミドルウェア導入のハードルを下げ、習得を容易にする入門用ソフトウェアとして機能し、熟練者に対しては開発効率を向上させるツールとして有益である。特に、入力データの表示やデータの型変換を行うような小さなユーティリティRTコンポーネントを開発する際に効果がある。従来と比較してソースコードを最大で8割削減できるため、数分ですばやくRTコンポーネントを開発することも可能になる。本プロジェクト内外を問わずRTコンポーネントは数多く開発されているが、移動知能モジュール汎用フレームワークのように、既存のRTミドルウェアをベースにしてRTコンポーネントの開発を容易にする仕組みを提供する例は見られない。移動知能モジュール汎用フレームワークの開発はこれまでにない新規性と実用性を兼ね備えたものであったと考えている。

移動知能モジュール汎用フレームワークは、移動知能モジュール試験環境や移動知能用RTミドルウェアの一部と統合し、PyRTSeamというオープンソースソフトウェアとしてセックのロボットサイトで公開しており、誰でも自由に利用できる。また、PyRTSeamの動作検証のために開発した人追従RTコンポーネント群もオープンソースソフトウェアとして公開している。このRTコンポーネント群は、PyRTSeamの利用例を示すだけでなく、RTミドルウェアを用いたシステムの具体例としての価値もある。これにより、世の中にRTミドルウェアへの理解が広まると共に、RTミドルウェア導入のハードルが下がり、RTミドルウェアがより一層普及すると考えている。

また、実ロボットへのRTミドルウェアの適用実験の一環として、富士通九州ネットワークテクノロジーズ株式会社から販売されているステレオ画像処理ハードウェア上にRTミドルウェア動作環境を構築し、汎用PC上で動作するRTコンポーネントとのシームレスな連携を可能にした。ステレオ画像処理ハードウェア上にRTミドルウェア動作環境を構築するためのノウハウはドキュメントにまとめ、セックのロボットサイトで公開しており、誰でも自由に利用できるようになっている。一般に販売されているハードウェアモジュール上に直接RTミドルウェアを搭載して動作させる例は未だ稀であり、新規性と実用性の高い開発であったと考えている。

(東大)

本研究開発では、コンソ内で開発されてきた移動知能モジュールの3次元対応により、移動時にカメラ計測系に揺れを伴うような状況においても移動知能モジュールを利用可能なようにすることで、そのロバスト性、再利用性の向上を目指し、実時間3次元運動分離認識モジュール群を開発した。

開発したモジュール群では、富士通株式会社がプロジェクト内で開発したステレオ画像処理ハードウェア上で動作する実時間30fps3次元オプティカルフロー生成

コンポーネントから得られる3次元特徴点群を元に自己運動軌道と視野内の複数の移動物体運動軌道、静止環境特徴点を実時間30fpsで認識できることが大きな特徴となっている。このモジュール群を利用し、3次元的な自己運動軌道を得ることによって、歩行中に頭部カメラ系に複雑な揺動を生じる二足歩行ロボットなどへも既存の移動知能モジュールが適用できることを実際の行動実験を通して検証するとともに、開発したモジュール群をオープンソースで広く一般に公開することによって、世界中の多数のヒューマノイド研究者に対して、本プロジェクトで開発した知能モジュールを利用可能にするための方法を提供することができた。

また、ヘッドマウント型でワイヤレスにて運用可能なセンサデバイスを開発し、人間やロボットの頭部にかぶせるだけで上記の3次元運動分離認識モジュール群をすぐに運用するシステムを実現し、様々なロボットシステムにてモジュール群の動作検証を行った。二足歩行ロボットだけでなく、台車型ロボットでも揺れを伴う路面での運用を行う場合や、セグウェイタイプのように揺動を伴う移動台車においては、本研究開発の成果を利用することで既存の移動知能モジュール群を利用することが可能になったといえることができ、大きな意義がある。

これまでの台車型ロボットの屋内の平坦な床面での利用だけでなく、今後、様々なシーンでロボットが広く活躍していく中で移動知能モジュール群を展開していく際に、本プロジェクトでの開発した成果が礎となることで、研究開発のより大きな加速が期待される。

#### (奈良先端大)

移動ロボットのナビゲーション機能等では、位置推定モジュール・LRFデータ取得及び描画モジュール・地図管理モジュールなどの開発を行い、照明変化の頑健性が向上し、屋内外で利用可能な性能を実現した。

同一アルゴリズムで屋内外の走行を実現している例は世界的に見ても少なく、またビューベースのみでの走行距離で最高水準の機能を実現できていると言える。コンポーネント間の接続問題を解決するコンバータコンポーネントを提案及び開発したことで、再利用性の向上に貢献している。

加速案件である日用品ハンドリングロボットの開発では、オープンソースで開発された人物発見・対象物検出・ユーザインタフェース・物体ハンドリングの各モジュールを組み合わせて統合検証システムを構築し、4種類のハードウェアと5箇所の実施機関において作業知能に関するコンポーネントの再利用性を確認した。

また、本プロジェクトの成果として5件の受賞実績があり、対外的な評価も十分に受けていると言える。

#### (大阪大学)

本研究開発では、人間共存環境において移動・作業を行う知能ロボットのための知能モジュールを研究開発することを目的とし、把持対象物体の位置・姿勢推定情報を獲得する知能モジュールの性能を向上、および開発した知能モジュールの普及を目指した共通カメラインタフェースの策定を行った。共通カメラインタフェースについては関連するモジュールの開発、およびツール群の開発も合わせて行った。

開発したモジュールを組み合わせて使うことにより、把持対象物体を見つけ、そ

の位置・姿勢を推定することにより、腕をもつ移動ロボットによる物体把持を実現した。物体把持は様々な対人サービスを行うための基本となる作業であることから、その意義は大きい。また、策定した共通カメラインタフェースに基づき開発されたカメラコンポーネントの開発により、視覚機能を実現するモジュールの再利用性が向上することから、知能モジュールの普及拡大に貢献している。

(東京理科大)

本研究開発では、人間共存環境において移動・作業を行う知能ロボットのための知能モジュールを研究開発することを目的とし、対人追従しながら荷物を運搬する場面を想定し、対人追従に係わる知能モジュール群の開発を行った。開発したモジュールを組み合わせて複数のセンサを用いることにより照度変化に対しての頑健性が向上し、屋内だけでなく屋外でも利用可能な性能を実現した。さらに、複数の移動ロボットで同時に検証を行うことにより、開発知能モジュール群の再利用性を確認した。対人追従機能は様々シーンでの利用が可能であることから、その意義は大きい。また、本プロジェクトの成果として4件の受賞実績があり、対外的な評価も十分に受けていると言える。

(全体)

本研究開発では、視覚認識をベースとしたロバストで再利用性のある移動知能モジュール群を開発した。また、RT ミドルウェアの開発ツール、共通カメラインタフェースの策定、OpenRTM/ROS 相互運用など、移動知能に限らず RT ミドルウェアを普及させるための開発も行った。

開発成果は、55 個の知能モジュールをオープンソースとして公開、10 個のモジュールをバイナリ公開しており、今後の移動ロボットの開発に大きく貢献できるものと考えている。また、2009 年と 2011 年の国際ロボット展の展示、学会発表などの成果普及に向けた取り組みを実施し、受賞などの対外的な評価も受けている。さらに富士通株式会社では開発した画像処理ハードウェアを製品化して実用化も進めた。

本研究開発で行った知能モジュールの開発、普及活動、事業化は今後のサービスロボットの普及に大きく貢献するものと考えている。

### 3.4.1.6 成果の普及

- 成果の公開状況（オープンソース公開、バイナリ公開）

オープンソースモジュールリスト		
モジュール名	機関名	ライセンス形態
大域位置推定モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
局所地図生成・更新モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
大域地図生成・管理モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
人検出・運動追跡モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
局所行動計画モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
大域行動計画モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
地図表示モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
MobileRobots社ロボット制御モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
RT-Seam(移動知能用RTミドルウェア)	株式会社セック	OSSで公開(ライセンス名: MITライセンス)
Linux版共通基盤画像認識モジュール用RTミドルウェア	株式会社セック	OSSで公開(ライセンス名: クリエイティブ・コモンズライセンス)
既知ランドマークを利用した3次元自己位置認識モジュール(3次元視覚による自己位置推定コンポーネント群)	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
3次元視覚による三次元地図生成コンポーネント群	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
基本形状表現型ランドマーク獲得コンポーネント群	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
自己及び人・障害物の3次元運動認識モジュール	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
3次元フロー生成コンポーネント	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
NECトリーク3Dモーションセンサコンポーネント	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
2次元オペティカルフロー・3次元ステレオ切り替え動作	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
大局地図への3次元情報追記コンポーネント	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
環境中高速3次元物体姿勢認識コンポーネント	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
箱状物体検出コンポーネント	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
軌道補間コンポーネント	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
LRFモンテカルロ位置推定モジュール	奈良先端大	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
天井カメラを用いた位置推定モジュール	奈良先端大、再利用センター	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
LRF地図管理モジュール	奈良先端大	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
VFHアルゴリズムに基づく局所経路計画モジュール	和歌山大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
DWAアルゴリズムに基づく局所経路計画モジュール	和歌山大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
StRRT経路計画に基づく速度指令生成モジュール	大阪電気通信大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
移動物体の運動推定モジュール	大阪電気通信大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
全方位カメラの画像に基づく測域モジュール	大阪電気通信大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
緊急停止モジュール	東京理科大学、奈良先端大	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
走行制御モジュール	東京理科大学、奈良先端大	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
対人追従モジュール群	東京理科大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
HumanDetecLRF	東京理科大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
HumanDetecCamera	東京理科大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
人物認識モジュール(全身版)	筑波大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
アピアランスベース物体認識知能モジュール(CPU版)	大阪大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
アピアランスベース物体認識知能モジュール(GPU版)	大阪大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
物体モデル管理モジュール	大阪大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
物体位置姿勢推定モジュール	大阪大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
SIFTマッチングモジュール(CPU版)	大阪大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
SIFTマッチングモジュール(GPU版)	大阪大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
拘束下運動制御モジュール	筑波大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
物体把持実行モジュール	筑波大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
LRF SICK LMS2xx距離データ取得モジュール	奈良先端大	OSSで公開(ライセンス名: GPL2)
LRF 北陽 URG距離データ取得モジュール	奈良先端大	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
LRF距離データ描画モジュール	奈良先端大	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
ニッタカセンサIFS-70M35A25-M50B(ISAバス版)	筑波大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
3軸加速度・角速度・角度計測	和歌山大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
カメラコンポーネント	大阪大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
Mobile Robot社製P3-DX用制御モジュール	和歌山大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
GUIジョイスティックモジュール	奈良先端大	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
SimuLike-コンポーネントのデータ接続性向上のためのアダプタツール群	筑波大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
3D-CADモデルを利用したロボット動作モニタ	筑波大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
関東自動車製Patrafour電動車椅子制御モジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
屋内環境シミュレータモジュール	豊橋技術科学大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
Linux版共通基盤画像認識モジュール用ステレオカメラキャリブレーションコンポーネント	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)
Linux版共通基盤画像認識モジュール用ステレオ画像出力コンポーネント	東京大学	OSSで公開(ライセンス名: 修正BSD)



バイナリ公開モジュールリスト		
モジュール名	機関名	ライセンス形態
自己位置推定RTC群	富士通株式会社	自社製品購入者に提供
ステレオ計測モジュール	富士通株式会社	自社製品購入者に提供
顔検知モジュール	富士通株式会社	自社製品購入者に提供
距離画像計測モジュール	富士通株式会社	自社製品購入者に提供
障害物クラスタ抽出モジュール	富士通株式会社	自社製品購入者に提供
障害物クラスタ追跡モジュール	富士通株式会社	自社製品購入者に提供
大域的経路計画マップ管理モジュール	大阪電気通信大学	ソフトウェア管理会社と協議※
大域的経路計画モジュール	大阪電気通信大学	ソフトウェア管理会社と協議※
センサベースト・モデルベースト融合経路計画モジュール	大阪電気通信大学	ソフトウェア管理会社と協議※
人物認識モジュール（顔版）	筑波大	共同研究者に提供

※ソフトウェアを管理している「株式会社Embedded Wings」にお問い合わせください。

これらのモジュールは以下の URL で公開している。

(1) 富士通株式会社

<http://jp.fujitsu.com/group/qnet/support/nxv/>

(2) 豊橋技術科学大学

<http://www.aisl.cs.tut.ac.jp/RTC/>

(3) 株式会社セック

<http://www.sec.co.jp/robot/>

(4) 東京大学

<http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/research/rtm/>

(5) 奈良先端科学技術大学院大学

[http://robotics.naist.jp/nedo\\_project/](http://robotics.naist.jp/nedo_project/)

(6) 大阪大学

<http://www-arailab.sys.es.osaka-u.ac.jp/CameraIF/>

(7) 東京理科大学

<http://www.rs.noda.tus.ac.jp/hmlab/rtcomponent.html>

(8) 東京大学 OpenRTM-ROS 相互運用

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

- 成果の普及に向けた取り組み（学会発表、展示会）

特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 （プレス発表 等）
	国内	外国	PCT※出 願	査読付 き	その他	
H20FY	0	0	0	3	17	1
H21FY	5	0	1	17	36	6
H22FY	1	0	0	18	34	5
H23FY	4	0	0	21	35	9

### 3.4.1.7 実用化、事業化の見通し

#### (1) 富士通株式会社

共通基盤プロジェクトで開発した LSI を活用したステレオ画像処理ハードウェアを 2009 年に製品化し、これまでロボット研究開発を行なっている大学、研究機関、企業を中心に販売している。また、本プロジェクトで開発した知能モジュール群（画像処理 RTC 群、SLAM/自己位置推定 RTC 群）をステレオビジョンモジュール製品サイトで公開し、自社製品（ハードウェア）購入者に無償提供している。

ステレオ画像処理ハードウェアは小型・低消費電力・高性能という特徴を持っており、バッテリー動作する移動ロボットにリアルタイム画像処理機能を搭載するのに適したハードウェアプラットフォームである。

さらに、提供する SLAM/自己位置推定 RTC 群は、複数の環境・ロボットで再利用性とロバスト性を実証しており、多くのロボットシステムに適用可能である。

製品販売と開発成果の提供により、ロボットの研究開発機関に開発成果が広く利用され、普及が進むことを期待している。

#### (2) 株式会社セック

セックは、RT ミドルウェアを普及促進することで、ロボット産業を活性化することを狙い、本実施項目の成果である以下のソフトウェアとドキュメントを公開した。これらは全てオープンソースライセンスが適用されており、セックのロボットサイトから自由にダウンロードできるため、幅広い利用が可能になっている。

- ・ 移動知能モジュール汎用フレームワーク、移動知能モジュール試験環境、移動知能 RT ミドルウェアの外部システム接続モジュールを統合したソフトウェアである PyRTSeam
- ・ 人追従 RT コンポーネント群
- ・ ステレオ画像処理ハードウェア上に RT ミドルウェア動作環境を構築するためのノウハウをまとめたドキュメント

株式会社セック  
SEC Systems Engineering Consultants Co., Ltd.

人とロボットが共存する社会を目指して  
ROBOT Research & Development

セックは、コネクテッド社会の発展はロボットであると考え、ロボット分野の研究開発に取り組んでいます。ロボットのコンピュータ化を進めるRTミドルウェアを開発するとともに、人と共存するロボットの高度化を目標に、機能安全の国際規格であるISO15427と適合したロボットのソフトウェアの開発にも力を入れています。

**RTミドルウェア**  
ロボットのコンピュータ化を促進するRTミドルウェアを開発しています。人と共存するロボットの高度化を目標に、機能安全の国際規格であるISO15427と適合したロボットのソフトウェアの開発にも力を入れています。

**研究開発**  
ロボットの高度化を促進するRTミドルウェアを開発しています。人と共存するロボットの高度化を目標に、機能安全の国際規格であるISO15427と適合したロボットのソフトウェアの開発にも力を入れています。

**機能安全への取り組み**  
人と共存するロボットの高度化を目標に、機能安全の国際規格であるISO15427と適合したロボットのソフトウェアを開発しています。

**ロボットソリューション**  
ロボットの高度化を促進するRTミドルウェアを開発しています。人と共存するロボットの高度化を目標に、機能安全の国際規格であるISO15427と適合したロボットのソフトウェアを開発しています。

**What's New**

- ・ RTミドルウェアソフトウェア、マニュアル、仕様の開発を完了しました。(2012/03/01)
- ・ ロボットサイトを開発しました。(2012/02/24)

**お問い合わせ**  
ロボットサイトのコンテンツやソフトウェアについてのお問い合わせは下記までご連絡ください。  
robot@sec.co.jp

**リンク**

- ・ 株式会社セック
- ・ OpenRTM-aist

セックのロボットサイト (<http://www.sec.co.jp/robot/>)

PyRTSeam および人追従 RT コンポーネント群は、玉川大学工学部 岡田浩之教授とセックが共同で取り組んでいる、ロボカップ@ホームへの RT ミドルウェアの導入に活用されている。ロボカップ@ホームは、人と共に作業を行う自律移動ロボットが、キッチンやリビングルームなどの家庭環境で様々な課題に取り組み、その達成度により勝敗を競う競技会である。様々なロボット技術を統合してロボットを開発し、人と協調した多くのタスクをこなす必要があるため、新規参入が容易ではない。RT ミドルウェアを導入することで、プラットフォームの共通化、部品化された RT コンポーネントの再利用が可能となる。これにより、ある 1 つのタスクを実現するシステムの一部を組み替えるだけで、様々なタスクを実現できるため、ロボカップ@ホームへの新規参入が容易になると考えている。セックのロボットサイトで公開している人追従 RT コンポーネント群は、ロボカップ@ホームで要求されるタスクの 1 つを実現するリファレンスシステムとなっている。そのため、RT ミドルウェアを用いてロボカップ@ホームに新規参入する際の一助になると考えている。

セックでは、今後、ロボカップ@ホームへの RT ミドルウェア導入の取り組みを継続していくと共に、公開したソフトウェアのサポート、大学や研究機関での RT ミドルウェア講習会の開催などを行っていく。これらの活動を通して、これまで RT ミドルウェアを利用していない開発者にも RT ミドルウェアを広め、より一層 RT ミドルウェアを普及促進することで、ロボット産業の活性化に貢献していく。

### 3.4.1.8 結論

- サービスロボットが人の存在する実環境を安全かつ効率的に移動するために、必要となる基盤機能をすべてカバーする知能モジュール群を開発した。
- 同一の機能（例えば、地図生成や行動計画）であっても、異なる状況に対応できるように複数のモジュールを並行して開発した。
- 移動ロボットに必要な機能の分割を検討し、インタフェースを共通化してモジュール開発を行うことにより、各研究機関で開発されたモジュールを組み合わせ、サービスロボット **enon**、リファレンスハードウェア、**peoplebot**、**PatraFour**、トヨタ自動車実験用ロボット、**HRP2-V**、**HRP-2** の 7 種のロボットハードウェアで利用できる再利用性を実現した。
- オフィス廊下、オフィスロビー、大学食堂、展示会場の 4 通りの環境で実証実験を行い、極めてロバストに動作することを示し、基本計画の最終目標を達成した。
- 55 個の知能モジュールをオープンソースとして公開、10 個のモジュールをバイナリ公開した。
- オープンソースで開発された人物発見・対象物検出・ユーザインタフェース・物体ハンドリングの各モジュールを組み合わせ、日用品のハンドリングシステムを構築し、作業知能に関するコンポーネントの再利用性を確認した。
- **O p e n R T M** 対応のパッケージソースコード開発管理ツール、プログラムコンポーネント実行管理ツールを構築し、ROS だけでなく **O p e n R A V E**、**O p e n N I** (kinect)、**P C L** などの他のソフトウェアライブラリと **O p e n R T M** との相互連携・相互運用を可能な効率のよい開発環境を実現した。また、コンポーネント自動テスト・文章化ツールを用いた省労力動作検証環境とドキュメント管理方法を確立し、プロジェクト終了後も継続的に知能化コンポーネントを維持・発展させ続けている。さらに、ROS モジュールから自動的に **R T M** コンポーネントを生成する技術を開発した。これにより、世界中のすべての ROS モジュールを **R T M** コンポーネントとして取り込むことができるようになり、**O p e n R T M** の更なる発展を可能にした。
- 共通基盤プロジェクトで開発した **LSI** を活用した画像処理ハードウェアを開発して製品化した。

## 研究発表・講演、文献、特許等の状況

[富士通株式会社]

### (1) 研究発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会	Linux 搭載共通基盤画像認識モジュールと 画像認識用RTC の開発	中尾学、沢崎直之
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会	ビジュアルランドマーク地図とレイアウト地図を併用した移動ロボットの自律走行	陳彬、沢崎直之
2010年9月24日	第28回日本ロボット学会学術講演会	ビジュアルランドマークとレイアウト地図を用いた移動知能ナビゲーションシステムの開発	○陳彬、中尾学、深貝卓也、沢崎直之
2010年10月22日	IROS2010 Workshop	RT Modules for Visually Controlled Mobile Robot	○中尾学(富士通)、沢崎直之(富士通)、三浦純(豊橋技科大)、小田桐康暁(セック)、中本啓之(セック)、吉海智晃(東大)、稲葉雅幸(東大)
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会学術講演会	視覚認識に基づく自律移動知能モジュールの開発(1)	○中尾学、深貝卓也、陳彬、神田真司
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会学術講演会	視覚認識に基づく自律移動知能モジュールの開発(2)	○陳彬、中尾学、深貝卓也、神田真司
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会学術講演会	視覚認識に基づく自律移動知能モジュールの開発(3)	○深貝卓也、中尾学、陳彬、神田真司

### (2) 文献

2010年6月	日本ロボット学会学会誌	動的視覚認識に基づく移動知能モジュール群の研究開発	中尾学他
2010年6月	機関誌ロボット	動的視覚認識に基づく移動知能モジュール群の研究開発	中尾学他

(3) 特許等

出願番号	出願日	出願人
特許2009-197531	2009年8月28日	富士通株式会社
特許2009-197532	2009年8月28日	富士通株式会社
特許2009-242759	2009年10月21日	富士通株式会社
特許2011-40712	2011年2月25日	富士通株式会社
特許2011-110740	2011年5月17日	富士通株式会社
特許2011-128549	2011年6月8日	富士通株式会社
特許2011-119676	2011年5月27日	富士通株式会社
特許2011-157099	2011年7月15日	富士通株式会社

(4) その他の公表（プレス発表等）

- ・ 2009年9月12日プレス発表

「世界最高性能！次世代ロボット向け画像処理モジュールの販売開始」

(<http://jp.fujitsu.com/group/qnet/release/2009/0724.html>)

- ・ 2011年9月7日プレス発表

「使いやすさを追求！画像処理装置「ステレオビジョンモジュール」の筐体版販売開始」

(<http://jp.fujitsu.com/group/qnet/release/2011/0907.html>)

- ・ 日経産業新聞 2012年02月14日朝刊

「富士通 自律走行ロボの新ソフト 経路周辺の変化 迷わず位置把握」

[豊橋技術科学大学]

(1) 研究発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年6月7日	2008年ロボティクス・メカトロニクス講演会	屋内環境における移動ロボットによる環境情報要約	○増沢広朗, 三浦 純
2008年10月23日	電子情報通信学会技術報告, PRMU2008	ステレオカメラを用いた移動ロボットのための人物追跡	○佐竹純二, 三浦 純
2008年12月6日	SI2008	移動ロボットによる環境情報要約のための物体の見えのモデル化	○増沢広朗, 三浦 純
2009年3月6日	動的画像処理実用化ワークショップ(DIA2009)	ステレオビジョンを用いた移動ロボットの人物追従制御	○佐竹純二, 三浦 純
2009年5月12日	Proc. ICRA-2009 Workshop on Person Detection and Tracking	Robust Stereo-Based Person Detection and Tracking for a Person Following Robot	J. Satake and ○J. Miura
2009年5月21日	Proc. 2009 IAPR Conf. on Machine Vision Applications (MVA 2009)	Multi-Person Tracking for a Mobile Robot using Stereo	○J. Satake and J. Miura
2009年5月25日	2009年ロボティクス・メカトロニクス講演会	人物追従ロボット実現のためのオンライン経路計画	○石川裕基, 尹 柱燮, 佐竹純二, 三浦 純
2009年5月26日	2009年ロボティクス・メカトロニクス講演会	局所地図の時系列統合による大域地図の生成	○北島健太, 増沢広朗, 三浦 純, 佐竹純二
2009年5月26日	2009年ロボティクス・メカトロニクス講演会	RTミドルウェアを用いた人物追従ロボットの開発	○増沢広朗, 石川裕基, 北島健太, 佐竹純二, 三浦 純
2009年5月26日	2009年ロボティクス・メカトロニクス講演会	移動ロボットによる環境情報要約のための効率的な観測計画生成	○増沢広朗, 三浦 純
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会	動的環境下での移動ロボット経路計画RTCの開発	○石川裕基, 北島健太, 佐竹純二, 三浦 純
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会	移動ロボットによる時間制約を考慮した環境情報要約のための視点計画	○増沢広朗, 三浦 純
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会	ステレオ視による人物発見・追跡RTCの開発	○佐竹純二, 三浦 純
2009年10月14日	Proc. 2009 IEEE/R	Observation Planning for Efficient	H. Masuzawa and



	SJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems	Environment Information Summarization	○J. Miura
2009年12月25日	SI2009	局所地図の時系列統合による大域地図生成手法の信頼性評価	○北島健太, 増沢広朗, 三浦純, 佐竹純二
2010年3月 日	日本機械学会東海支部第59回講演会	移動ロボット経路計画アルゴリズムの開発と多数人物動きシミュレータによる検証	○石川裕基, 重村敦史, 佐竹純二, 三浦純
2010年5月13日	Proc. ICAPS-2010 Workshop on Planning and Scheduling under Uncertainty	Observation Planning with On-line Algorithms and GPU Heuristic Computation	○M. Boussard and J. Miura
2010年5月27日	情報処理学会CVIM研究会	移動ロボット制御のための人物シルエットの重なりを考慮した複数人物追跡	○佐竹純二, 三浦純
2010年6月16日	2010年ロボティクス・メカトロニクス講演会	RTミドルウェアを用いた再利用性を考慮した人物追従システムの構築	○北島健太, 増沢広朗, 石川裕基, 重村敦史, 佐竹純二, 三浦純
2010年6月16日	2010年ロボティクス・メカトロニクス講演会	人物追従ロボットの実現とその実験的評価	○千葉誠哉, 石川裕基, 北島健太, 増沢広朗, 佐竹純二, 三浦純
2010年6月16日	2010年ロボティクス・メカトロニクス講演会	公共空間での人物動きシミュレーションとロボット経路計画への応用	○重村敦史, 石川裕基, 三浦純, 佐竹純二
2010年7月28日	MIRU2010	人物シルエットの重なりを考慮したテンプレートを用いたステレオビジョン複数人物解析	○佐竹純二, 三浦純
2010年8月26日	Proc. 20th Int. Conf. on Pattern Recognition	Stereo-Based Multi-Person Tracking Using Overlapping Silhouette Templates	○J. Satake and J. Miura
2010年8月31日	Proc. 11th Int. Conf. on Intelligent Autonomous Systems	Development of a Person Following Robot and Its Experimental Evaluation	○J. Miura, J. Satake, M. Chiba, Y. Ishikawa, K. Kitajima, H. Masuzawa
2010年9月7日	Proc. 2010 IEEE Int. Conf. on Multi-sensor Fusion and	A Hierarchical SLAM for Uncertain Range Data	K. Kitajima, H. Masuzawa, ○J. Miura, J. Satake

	Integration for Intelligent Systems		
2010年9月24日	第28回日本ロボット学会学術講演会	オンライン観測プランナとそのRTC化	○Matthieu Boussard, 三浦 純
2010年10月6日	Proc. 2010 Int. Conf. on Advanced Mechatronics	People Movement Simulation in Public Space and Its Application to Robot Motion Planner Development	○A. Shigemura, Y. Ishikawa, J. Miura, and J. Satake
2010年10月19日	Proc. 2010 IEEE/R SJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems	Observation Planning for Environment Information Summarization with Deadlines	H. Masuzawa and ○J. Miura
2010年12月24日	SI2010	人物追従ロボットのための視覚人物発見追跡	○千葉誠哉, 佐竹純二, 三浦 純
2011年5月27日	2011年ロボティクス・メカトロニクス講演会	見え情報と距離情報を用いた移動ロボットの地図生成と自己位置推定	北島健太, 三浦 純, ○佐竹純二
2011年5月27日	2011年ロボティクス・メカトロニクス講演会	確率的サンプリングを用いた動的環境における移動ロボットの時空間経路計画	石川裕基, ○三浦 純
2011年9月8日	第29回日本ロボット学会学術講演会	人物シルエットの重なりを考慮したテンプレートを用いた人物発見・追跡RTCの改良	○佐竹純二, 三浦 純
2011年9月26日	Proc. IROS-2011 Workshop on Active Perception and Object Search in the Real World	Object Search: A Constrained MDP Approach	○M. Boussard and J. Miura
2011年11月19日	第54回自動制御連合講演会	到達時間場を利用したランダム探索に基づく移動ロボットのオンライン経路計画	I. Ardiyanto, ○三浦 純
2011年11月19日	第54回自動制御連合講演会	人物追従ロボットのためのSIFT特徴に基づく人物識別の改良 ~ 距離に依存した見えモデルの利用	○千葉誠哉, 佐竹純二, 三浦 純
2011年11月15日	ロボットシンポジウム名古屋2011	付き添いロボットの研究開発	○三浦 純
2011年11月29日	Proc. 1st Asian Conf. on Pattern Recognition	A Fast Stereo-Based Multi-Person Tracking using an Approximated Likelihood Map for Overlapping Silho	○J. Satake and J. Miura

		uette Templates	
2011年12月8日	Proc. 2011 IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics	Heuristically Arrival Time Field-Based (HeAT) Random Tree: An Online Path Planning Algorithm for Mobile Robot Considering Kinodynamic Constraints	○Igi Ardiyanto and J. Miura
2011年12月23日	SI2011	移動ロボットのソフトウェア開発のための屋内環境シミュレータRTC	○重村敦史, 三浦 純
2012年5月発表予定	Proc. 2012 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation	3D Time-space Path Planning Algorithm in Dynamic Environment Utilizing Arrival Time Field and Heuristically Randomized Tree	○Igi Ardiyanto and J. Miura
2012年5月発表予定	2012年ロボティクス・メカトロニクス講演会	RTミドルウェアによる双腕ロボットとAGVの協調作業システムの構築	○杉山淳一, 後藤拓喜, 三浦 純
2012年5月発表予定	2012年ロボティクス・メカトロニクス講演会	RTミドルウェアを用いた移動サービスロボット用遠隔運用システム	○河原木政宏, 三浦 純
2012年5月発表予定	2012年ロボティクス・メカトロニクス講演会	視覚を持つ双腕ロボットによる物体操作システムの開発	○近嵐公太, 杉山淳一, 三浦 純
2012年5月発表予定	2012年ロボティクス・メカトロニクス講演会	3次元距離センサとエスパアンテナを用いた特定人物の発見と追跡	○三栖一城, 三浦 純, 佐竹純二

(2) 文献

2010年10月	日本ロボット学会誌	移動ロボットによる時間制約を考慮した環境情報要約のための視点計画	増沢広朗, 三浦 純
2010年11月	日本ロボット学会誌	ステレオビジョンを用いた移動ロボットの人物追従制御	佐竹純二, 三浦 純
2012年2月	J. of Robotics and Mechatronics	An RT Component for Simulating People Movement in Public Space and Its Application to Robot Motion Planner Development	A. Shigemura, Y. Ishikawa, J. Miura, and J. Satake

(3) 特許等 なし

(4) その他の公表 (プレス発表等)

プロジェクトの成果について, 以下の展示を行った.

- 2009年2月11日，名古屋市の愛知県産業貿易館本館で開催された「あいちロボット技術フェスタ」において，局所地図生成モジュールと人発見モジュールを実演展示した．
- 2009年8月22日～28日，浜松市の浜松科学館で開催された「ロボワールド2009」において，RTコンポーネントを利用した地図生成システムを実演展示した．
- 2009年11月25日～28日，2009国際ロボット展 NEDO ブースにおいて，人物追跡および地図生成のデモンストレーションを行った．
- 2011年11月9日～12日，2011国際ロボット展 NEDO ブースにおいて，地図生成・行動計画モジュールの紹介と，部品パレタイジングの実機デモンストレーションを行った．
- 2012年1月19日，名古屋市のナゴヤドームで開催された展示会にて，RTコンポーネントを利用した人物追従ロボットを実演展示した．

[セック]

(1) 研究発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年6月6日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008におけるポスター発表	移動知能用RTミドルウェアの研究開発	○松本哲也 小田桐康暁 渡邊勇介 中本啓之 長瀬雅之
2008年12月5日	第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	移動知能用RTミドルウェアによるRTC遠隔監視	○小田桐康暁 西之原寛 中本啓之 長瀬雅之
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会における口頭発表	コンポーネント間の効率的なデータ共有を実現するためのデータ共有ポートの開発	○鈴木大資 小田桐康暁 西之原寛 中本啓之 長瀬雅之
2009年12月26日	第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	RT System Manager によるシステム起動	○小田桐康暁 鈴木大資 西之原寛 中本啓之
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010におけるポスター発表	IDLを作成せずに使用できるサービスポートの提案	○小田桐康暁 中本啓之
2011年5月27日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011におけるポスター発表	RTコンポーネント開発へのテスト駆動開発手法の導入	○小田桐康暁 西之原寛 中本啓之
2011年9月9日	第29回日本ロボット学会学術講演会における口頭発表	RTコンポーネントを容易に開発するためのフレームワーク	○小田桐康暁 西之原寛 中本啓之
2011年7月28日	玉川大学におけるRTミドルウェア講習会	RTミドルウェア入門と実践	○中本啓之 ○小田桐康暁
2011年11月22日	金沢工業大学におけるRTミドルウェア講習会	RTミドルウェア入門と実践	○中本啓之 ○小田桐康暁

2011年12月18日	玉川大学において開催されたロボカップ@ホーム キャンプにおける講習会	RTミドルウェアによるロボカップ@ホームのタスクの実現	○小田 桐康暁 中本啓之
-------------	------------------------------------	-----------------------------	-----------------

(2) 文献

なし

(3) 特許等

なし

(4) その他の公表（プレス発表など）

- ・ 2008年6月10日 セックウェブサイトにてニュースリリース  
 「ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 (ROBOMECH 2008 in NAGANO)にて、3件の論文を発表しました」  
 (<http://www.sec.co.jp/news/20080610.html>)
- ・ 2009年11月20日 セックウェブサイトにてニュースリリース  
 「「2009 国際ロボット展」にて RT ミドルウェア関連の研究開発成果を展示します」  
 (<http://www.sec.co.jp/news/20091120.html>)
- ・ 2010年6月10日 セックウェブサイトにてニュースリリース  
 「ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010 (ROBOMECH 2010 in ASAHIKAWA)にて、5件の論文発表を行います」  
 (<http://www.sec.co.jp/news/20100610.html>)
- ・ 2011年5月26日 セックウェブサイトにてニュースリリース  
 「ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011 (ROBOMECH 2011 in OKAYAMA)にて、2件の論文を発表します」  
 (<http://www.sec.co.jp/news/20110526.html>)
- ・ 2011年9月12日 セックウェブサイトにてニュースリリース  
 「第29回日本ロボット学会学術講演会にて論文発表を行いました」  
 (<http://www.sec.co.jp/news/20110912.html>)
- ・ 2012年2月24日 セックウェブサイトにてニュースリリース  
 「NEDO「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」成果報告会に参加しました」  
 (<http://www.sec.co.jp/news/20120224.html>)
- ・ 2012年2月24日 セックウェブサイトにてニュースリリース  
 「ロボットサイトをオープンしました」

([http://www.sec.co.jp/news/20120224\\_2.html](http://www.sec.co.jp/news/20120224_2.html))

- 2012年2月24日 セックロボットサイトにてプロジェクト成果のダウンロード提供を開始

(<http://www.sec.co.jp/robot/>)

[東京大学]

(1) 研究発表・講演

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年6月5日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	EusLispとRTミドルウェアを用いたプロトタイピングの容易なネットワーク分散型感覚行動統合システムの実現	西野環, ○吉海智晃 中西雄飛, 岡田慧 水内郁夫, 稲葉雅幸
2008年7月24日	IAS-10(知能自律システム国際会議)における口頭発表	Simultaneous Learning and Recalling System for Wholebody Motion of a Humanoid with Soft Sensor Flesh	○吉海智晃, 林摩梨花, 稲葉雅幸
2008年8月22日	MFI2008(マルチセンサフュージョンに関する国際会議)における口頭発表	Development of Whole Body Multisensory Soft Flesh with Vibrotactile and Deep Pressure Sensor for Humanoid Close Interaction	林摩梨花, 石坂唯 ○吉海智晃, 稲葉雅幸
2009年3月16日	第14回ロボティクス・シンポジウムにおける口頭発表	深部多軸変形感覚のための埋込型柔軟触覚センサシステムの開発と柔軟肉質外装への実装	○門脇明日香, 林摩梨花, 吉海智晃, 稲葉雅幸
2009年5月26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	局所相関演算を用いたカメラ揺動推定に基づくロボット動作時の画像安定化補償の実現	○後藤健文, 吉海智晃, 白山翔太, 植木竜佑, 稲葉雅幸
2009年5月26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	柔軟センサ肉質外装と自動復帰可能な関節過負荷保護機構を備えたヒューマノイドの設計と開発	○吉海智晃, 林摩梨花, 門脇明日香, 植田亮平, 稲葉雅幸
2009年7月1日	First International Symposium on Quality of Life Technologyにおける口頭発表	Solid Model Construction in Daily-Life Environment Using Head-Mounted 3D Multi Sensor	○矢口裕明, 岡田慧, 稲葉雅幸
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会における口	次世代知能化視覚モジュールによる動的視覚機能を備えたヒューマノイドロボットにおける移動知能	○吉海智晃, 矢口裕明, 山本邦彦, 植木竜佑, 後藤健文, 稲



	頭 発 表	の 開 発	葉 雅 幸
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会における口頭発表	次世代知能化視覚モジュールを搭載した5眼ヒューマノイドヘッドの開発と5眼連携による注視制御の実現	○植木竜佑, 白山翔太, 小島光晴, 後藤健文, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2009年9月16日	第27回日本ロボット学会学術講演会における口頭発表	実時間3次元フロー計算による等身大ヒューマノイド歩行時の揺動評価とそれに基づく自己運動推定RTコンポーネント設計	○後藤健文, 吉海智晃, 矢口裕明, 稲葉雅幸
2009年10月1日	18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communicationにおける口頭発表	Development of Soft Sensor Exterior Embedded with Multi-axis Deformable Tactile Sensor System	門脇明日香, ○吉海智晃, 林摩梨花, 稲葉雅幸
2009年10月14日	International Conference on Intelligent Robots and Systemsにおける口頭発表	Design and Development of a Humanoid with Soft 3D-Deformable Sensor Flesh and Automatic Recoverable Mechanical Overload Protection Mechanism	○吉海智晃, 林摩梨花, 門脇明日香, 後藤健文, 稲葉雅幸
2009年10月14日	International Conference on Intelligent Robots and Systemsにおける口頭発表	Head-Mounted 3D Multi Sensor System for Modeling in Daily-Life Environment	○矢口裕明, 岡田慧, 稲葉雅幸
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	次世代知能化視覚モジュールを用いた歩行中の頭部3次元運動推定による視覚揺動抑制機能の実現	○後藤健文, 植木竜佑, 小島光晴, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	次世代知能化視覚モジュールを搭載した5眼ヒューマノイドによる人注意観察機能の実現	○吉海智晃, 植木竜佑, 後藤健文, 小島光晴, 岡田慧, 稲葉雅幸
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演	視覚による箱状物体検出RTコンポーネントに基づく二次元地図の三次元拡張の実現	○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸

	会におけるポスター発表		
2010年6月16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	RTミドルウェアを用いた車輪型全方位移動ロボット用システムの開発事例	山本邦彦, ○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2010年12月24日	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	RTミドルウェアによる移動ロボットのためのハイブリッドナビゲーションシステムの構築	○矢口裕明, Isaac Anthony, 山本邦彦, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2010年12月25日	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	次世代知能化画像認識モジュールを備えた小型ヒューマノイドロボットによる落下物体認識拾い上げ行動の実現	○秋元貴博, Isaac Anthony, 後藤健文, 小林一也, 小島光晴, 吉海智晃, 稲葉雅幸
2010年12月25日	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	次世代知能化画像認識モジュールによる自己運動・移動物体認識コンポーネントの開発	○後藤健文, 秋元貴博, 小林一也, 矢口裕明, 吉海智晃, 稲葉雅幸
2011年5月27日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	実時間自己／他者運動分離認識RTCを用いたヒューマノイドの近傍移動物体軌跡推定・追従行動の実現	○秋元貴博, 後藤健文, 小島光晴, 吉海智晃, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	案内ロボットの実現におけるRTコンポーネントの再利用性に着目したシステム構成法	山本邦彦, Anthony Isaac, ○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	移動ロボットの自己位置推定のための画像ランドマークデータベース構築手法	○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロ	Enhancing Localization Using Ran	○Youssef Ktiri,

	ボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	dom Ferns Based Vision and Multi-Robot Collaboration	吉海智晃, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	RTMEXTender: OpenRTM開発支援ツール	○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	実時間自己/他者運動分離認識RTCを用いた ヒューマノイドによる空中ブランコ行動の実現	○吉海智晃, 後藤健文, 小林一也, 秋元貴博, 矢口裕明, 稲葉雅幸
2011年5月28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会におけるポスター発表	Depth-based Scope Switching and Image Skeletonization for Gesture Recognition	○Anthony Isaac, 吉海智晃, 矢口裕明, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年6月23日	15th International Conference on Advanced Roboticsにおける口頭発表	Achievement of Trapeze Motion for Humanoid Robots Based on Realtime Ego-Motion / Moving Objects' Motions Recognition Algorithm	○吉海智晃, 後藤健文, 小林一也, 秋元貴博, 矢口裕明, 稲葉雅幸
2011年9月7日	第28回日本ロボット学会学術講演会における口頭発表	頭部装着型全方位ステレオカメラによる人間行動観察システム	○矢口裕明, 小島光晴, Anthony Issac, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年12月8日	2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimeticsにおける口頭発表	Motion Generation for Human-Robot Collaborative Pick and Place based on Non-obstructing Strategy	○花井亮, 大矢良輔, 伊沢多聞, 稲葉雅幸
2011年12月20日	2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integrationにおける口頭発表	An Actively Altruistic Mobile Robot System for Identifying Someone Who Looks Lost Using Head Pose Tracking	○Anthony Isaac, 矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年12月20日	2011 IEEE/SICE	Multi-Robot Exploration Framew	○Youssef Ktiri,

	International Symposium on System Integrationにおける口頭発表	ork Using Robot Vision and Laser Range Data	吉海智晃
2011年12月23日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	マルチヒューマノイド協調神輿動作における実時間揺れ補正システム	○秋元貴博, 辻純平, 吉海智晃, 稲葉雅幸
2011年12月25日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	シーン認識の為に画像からの特徴構造発見手法	○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
2011年12月25日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会における口頭発表	次世代知能化画像認識モジュール・頭部LRF統合RTC群による歩行動作中の実時間自己位置推定の実現	○秋元貴博, 辻純平, 吉海智晃, 稲葉雅幸

(2) 文献

2012年刊行予定 (採択済み)	Journal of Robotics and Mechatronics	RTMEXTender: Developer Support Tool for OpenRTM	○矢口裕明, 吉海智晃, 岡田慧, 稲葉雅幸
------------------	--------------------------------------	---	------------------------

(3) 特許等

出願番号	公開番号	出願日	出願人
特許出願2009-149868	特許公開2011-7557	2009年6月24日	国立大学法人 東京大学

(4) その他の公表 (プレス発表等)

- ・朝日新聞 2009年1月12日朝刊「やわらかロボットへの試み」
- ・国際ロボット展 NEDO ブースにおける, 等身大ヒューマノイド揺れ補償検証ビデオ展示及び画像認識ハードウェアモジュール搭載型5眼ヘッドによる人発見注視行動の実機デモンストレーション発表(2009/11/25-28)

・国際ロボット展 NEDO ブースにおける，等身大二足歩行ヒューマノイドによる自律移動行動実験ビデオ展示及び画像認識ハードウェアモジュール搭載型小型ヒューマノイドおよびヘッドマウント型デバイスによる 3次元運動分離認識機能の実機デモンストレーション発表(2011/11/9-12)

[奈良先端科学技術大学院大学, 筑波大, 大阪電通大]

(1) 研究発表・講演 (口頭発表も含む)

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年6月5-7日	日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008 講演論文集 (ROBOMECH2008)	マニピュレータが協調作業を行うための RT ミドルウェアによるシステムの構成論 - インパクト・マニピュレーションを用いたデスクトップ組立てシステムの構築 -,	佐藤和輝, 富田信悟, 相山康道
2008年7月29-31日	第11回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2008)	ステレオ視差パターンの統計学習に基づく移動ロボット視覚	北川 景介, 福井 和広
2008年9月9-11日	第26回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2008)	移動ベクトルによる屋外ビューシーケンスナビゲーション	山城容一郎, 怡土順一, 竹村憲太郎, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2008年12月5-7日	第9回計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 (SI2008)	SimuLike: コンポーネントのデータ接続性向上のためのアダプタツール群の開発	渡部努, 相山康道
2009年1月12日	電子情報通信学会 研究会 PRMU	ステレオパターンの統計学習に基づく移動ロボット視覚	北川景介, 福井和広
2009年3月16-17日	第14回ロボティクスシンポジウム	屋内外環境のためのビューシーケンスナビゲーションの拡張	山城容一郎, 怡土順一, 竹村憲太郎, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2009年5月24-26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009	RT コンポーネント間の柔軟なデータ通信支援ツール	末永剛, 竹村憲太郎, 高松淳, 小笠原司

	(ROBOMECH2009)		
2009年5月24-26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMECH2009)	マルチスレッドに対応した動作計画コンポーネント	近藤豊, 怡土順一, 竹村憲太郎, 高松淳, 小笠原司
2009年5月24-26日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMECH2009)	RTミドルウェアを用いた汎用的なマニピュレータシステムの構成の検討	渡部努, 相山康道
2009年6月10-12日	第15回画像センシングシンポジウム (SSII2009)	頭部モデルを考慮したパーティクルフィルタによる瞳追跡	大谷悠祐, 福井和広
2009年8月31日-9月1日	電子情報通信学会技報, Vol.109, No.182, PRMU2009-61, pp.7-12	ベクトル長を考慮した相互部分空間法に基づく動作認識	児玉吉晃, 福井和広
2009年9月	日本ロボット学会誌, Vol.27, No.7 pp.768-773	ビューシーケンスに基づく照明変化に頑健な屋内外ナビゲーション	山城容一郎, 怡土順一, 竹村憲太郎, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2009年9月15-17日	第27回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2009)	即域センサ搭載型ロボットのための汎用三次元環境地図の利用	竹村憲太郎, 荒木天外, 怡土順一, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2009年9月15-17日	第27回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2009)	移動・作業知能のための視覚に基づくロバストな知能モジュール群の開発～位置推定と再利用へ向けた通信支援～	末永剛, 竹村憲太郎, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2009年10月11-15日	The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent	View-Sequence Based Indoor/Outdoor Navigation	Yoichiro Yamagi, Junichi Ido, Kentaro Takemura,

	Robots and Systems (IROS2009)	Robust to Illumination Changes	Yoshio Matsumoto, Jun Takamatsu, Tsukasa Ogasawara
2009年11月7-8日	Proc. of the 8th IEEE Int. Workshop on Haptic Audio Visual Environments and Games	On the Repeatability of Octree-Based Rheology Mass-Spring-Damper Model	Hiroshi Noborio
2009年12月17日-18日	電子情報通信学会技報, Vol.109, No. 344, PRMU2009-136, pp. 13-18	眼球の位置と姿勢を考慮した顔向き変化に頑健な瞳追跡	大谷悠祐, 福井和広
2009年12月24-26日	第10回計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 (SI2009)	共有メモリを用いたRTコンポーネント間の大容量データ通信	渡部努, 相山康道
2009年12月24-26日	第10回計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 (SI2009)	3DCADモデルを利用した汎用的なロボット動作モニターコンポーネントの開発	引頭一樹, 相山康道
2009年12月24-26日	第10回計測自動制御学会 (SICE) システムインテグレーション部門講演会 (SI2009)	頭部姿勢を考慮したパーティクルフィルタによる高精度な瞳追跡	大谷悠祐, 福井和広
2010年1月	日本ロボット学会誌, Vol28, No. 1, pp. 106-111	汎用三次元環境地図を用いた移動ロボットナビゲーションのための地図生成	荒木天外, 竹村憲太郎, 怡土順一, 松本吉央, 高松淳, 小笠原司
2010年3月10~	日本機械学会関東	多様な協調システ	長瀬和行, 相山



11日	支部第16期総会 講演会	ムのためのロボッ ト用ミドルウェア における作業座標 系統一機能の提案	康道
2010年6月	日本ロボット学会 学会誌, Vol. 28, No. 05, pp. 37-38,	国際ロボット展 2009 移動・作業知 能のための視覚に 基づくロバストな 知能モジュール群 の開発	末永 剛, 高松 淳, 小笠原 司, 大原 賢一, 前 泰 志, 新井 健生, 竹村 裕, 溝口 博
2010年7月	日本ロボット工業 会機関誌ロボッ ト, No. 195, pp. 36-39	移動・作業知能の ための視覚に基づ くロバストな知能 モジュール群の開 発	末永 剛, 高松 淳, 小笠原 司, 大原 賢一, 前 泰 志, 新井 健生, 竹村 裕, 溝口 博
2010年6月14-16 日	ロボティクス・メ カトロニクス講演 会 2010 (ROBOMECH2010 )	RTミドルウェアを 用いた汎用移動コ ンポーネント群設 計の検討	日永田 佑介, 竹 村 憲太郎, 伊藤 晃大, 桑原 潤一 郎, 末永 剛, 高 松 淳, 小笠原 司
2010年6月14-16 日	ロボティクス・メ カトロニクス講演 会 2010 (ROBOMECH2010 )	RTミドルウェアを 利用した異種ロボ ット間での位置情 報共有	桑原 潤一郎, 伊 藤 晃大, 日永田 佑介, 竹村 憲太 郎, 末永 剛, 高 松 淳, 小笠原 司
2010年7月27-29 日	第13回画像の認 識・理解シンポジ ウム (MIRU2010)	混合相互部分空間 法の提案とその顔 画像識別への応用	秋廣 直紀, 福井 和広
2010年9月22-24 日	第28回日本ロボ ット学会学術講演 会	RTミドルウェアに 基づく買い物支援 サービスロボット	末永 剛, 高松 淳, 小笠原 司, 大原 賢一, 前 泰 志, 新井 健生, 竹村 裕, 溝口 博
2010年9月22-24 日	第28回日本ロボ ット学会学術講演 会	ユニバーサルマッ プを利用した異種 ロボットにおける 位置情報共有	桑原 潤一郎, 竹 村 憲太郎, 末永 剛, 高松 淳, 小 笠原 司
2010年10月4-6 日	International Conference on Advanced Mecha tronics 2010	Data Communicat ion Support fo r Reusability of RT-Component	Tsuyoshi Suena ga, Kentaro Ta kemura, Jun Ta kamatsu and Ts

		s - Converter Classification and Prototype Supporting Tool	ukasa Ogasawara
2010年11月9日	The 3rd International Workshop on Subspace Methods	Compound Mutual Subspace Method for 3D object recognition: A theoretical extension of Mutual Subspace Method	Naoki Akihiro, Kazuhiro Fukui
2010年11月8-12日	The Tenth Asian Conference on Computer Vision	3D Object Recognition Based on Canonical Angles between Shape Subspaces	Yosuke Igarashi, Kazuhiro Fukui
2010年12月23-25日	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	移動ロボットのネットワーク化と制御用RTコンポーネント	桑原潤一郎, 竹村憲太郎, 末永剛, 高松淳, 小笠原司
2010年12月23-25日	第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	時空間RRTに基づく移動ロボットナビゲーション用RTコンポーネント群の開発	金谷境一, 升谷保博
2011年5月26-28日	ロボティクス・メカトロニクス講演会2011 (ROBOMECH2011)	視覚からの仮想反力を用いたインピーダンス制御による把持目標への手先アプローチ手法	長瀬和行, 相山康道, 木村真也
2011年5月26-28日	ロボティクス・メカトロニクス講演会2011 (ROBOMECH2011)	未知環境下での手探り動作による把持目標への手先アプローチ手法	木村真也, 相山康道, 長瀬和行
2011年7月	電子情報通信学会論文誌D, Vol. J94-D, No. 7,	形状空間の幾何学的な関係に基づく三次元物体認識	五十嵐洋介, 福井和広

	pp. 1125-1134		
2011年8月	電子情報通信学会論文D, J94-D, No. 8, pp. 1240-1247	混合相互部分空間法の提案とその顔画像識別への応用	秋廣直紀, 福井和広
2011年9月5日	電子情報通信学会PRMU研究会PRMU2011-69	Local Binary Patternの隣接関係に基づく照明変動に頑健な特徴抽出	野坂龍佑, 大川泰弘, 福井和広
2011年9月7-9日	第29回日本ロボット学会学術講演会	RTミドルウェアを利用した異種ロボット間での粒子群最適化を用いた相互位置推定	桑原潤一郎, 竹村憲太郎, 末永剛, 高松淳, 小笠原司
2011年11月20-23日	The Fifth Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology (PSIVT2011)	Feature Extraction Based on Co-occurrence of Adjacent Local Binary Patterns	Nosaka Ryusuke, Yasuhiro Ohkawa, Kazuhiro Fukui
2011年12月20-22日	IEEE/SICE Int. Symp. on System Integration (SII2011)	Collision Avoidance of Two Manipulators Using RT-Middleware	Jianing Zhou, Kazuyuki Nagase, Shinya Kimura and Yasumichi Aiyama
2011年12月23-25日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	RT Component for analyzing a motion script to implement a service using the humanoid robot HRP-4	G. R. G. Alfonso, 築地原里樹, 池田篤俊, 山口明彦, 高松淳, 小笠原司
2011年12月23-25日	第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	再利用可能なRTミドルウェアコンポーネントを利用した異種ロボット間での相互位置推定	桑原潤一郎, 竹村憲太郎, 末永剛, 高松淳, 小笠原司
2012年2月	Journal of Robotics and	Data Communication	Tsuyoshi Suenaga,

	Mechatronics	Support for Reusability of RT-Components - Converter Classification and Prototype Supporting Tool -	Kentaro Takemura, Jun Takamatsu, and Tsukasa Ogasawara
--	--------------	---	--

## (2) 特許等

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標 題	出願人
2009年10月16日	特願2009-239548	データ中継用RTコンポーネント生成方法及びそのプログラム	国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学
2009年11月17日	PCT/JP2009/069465	データ中継用RTコンポーネント生成方法及びそのプログラム	国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学

## (3) 受賞実績

- RT ミドルウェアコンテスト 2008 「奨励賞(トヨタ自動車賞)」 「奨励賞(安川電機賞)」  
渡部, 相山: “SimuLike: コンポーネントのデータ接続性向上のためのアダプタツール群の開発,” SI2008, 1L4-2, 2008.12. (受賞)
- RT ミドルウェアコンテスト 2009 「奨励賞(安川電機賞)」  
引頭, 相山: “3DCAD モデルを利用した汎用的なロボット動作モニターコンポーネントの開発”, SI2009, 1A3-5, 2009.12.
- H20 年度電子情報通信学会 PRMU 研究会 「[研究奨励賞](#)」  
北川景介, 福井和広: “ステレオパターンの統計学習に基づく移動ロボット視覚”, 電子情報通信学会 信学技報, Vol.108, No.374, PRMU2008-201, pp.71-76, 2009.
- RT ミドルウェアコンテスト 2010 「奨励賞(世界一軽い RT コンポーネント賞), 奨励賞(NTT データを変える力を, とともに生み出す賞)」  
桑原 潤一郎, 竹村 憲太郎, 末永 剛, 高松 淳, 小笠原 司: “移動ロボットのネットワーク化と制御用 RT コンポーネント”
- RT ミドルウェアコンテスト 2011 「奨励賞(グローバルスタンダード賞)」  
G. R. G. Alfonso, 築地原里樹, 池田篤俊, 山口明彦, 高松淳, 小笠原司: “RT Component for analyzing a motion script to implement a service using the humanoid robot HRP-4”

## 3. その他特記事項 (当該年度分についてのみ記載)

### (1) 成果普及の努力 (プレス発表等)

- 2009年7月～9月  
奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 講義プロジェクト実習「RTミドルウェアを用いたロボットプログラミング」を実施.
- 2009年10月  
奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 第3 四半期講義 ロボティクスIIにてソフトウェアのモジュール化の例としてRTミドルウェアを紹介
- 2009年10月8日  
日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門第五地区技術委員会にて「RTミドルウェア講習会」を開催. (講師:大阪大学大原助教)
- 2009年11月25～28日  
2009国際ロボット展 新エネルギー・産業技術総合開発機構ブースにてステージデモおよびブース展示.
- 2009年12月  
書籍「UMLとRTミドルウェアによるモデルベースロボットシステム開発」を出版. (大阪大学大原助教著)
- 2009年12月3日  
日本ロボット学会関西ロボット系若手研究者ネットワーク研究専門委員会主催の第2回研究会にて「RTミドルウェア講習会」を開催. (講師:大阪大学田窪助教, 大原助教)
- 2010年3月15～16日  
第15回ロボティクスシンポジウム(実行委員長:奈良先端大小笠原司教授)にて, プレシンポジウム「RTミドルウェア技術ワークショップ(ユーザ情報交換のためのBOFミーティング)」およびオーバーナイトセッション「ロボットミドルウェアを語ろう!」を開催.
- 2010年11月29日  
第2回和歌山大学産学官交流会『ロボット関連技術プレゼンテーション会』において「生活支援ロボット開発に向けた取り組み」というタイトルで和歌山の企業の経営者、技術者、従業員の方を対象にして, RTミドルウェアを用いたロボット開発について研究紹介を行った.

## (2) その他

- 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 第3 四半期講義 ロボティクスIIにてソフトウェアのモジュール化の例としてRTミドルウェアを紹介
- 国際ロボット展にて, フジテレビ「めざましテレビ」の取材対応, 日用品ハンドリングのデモを紹介
- 読売テレビ「未来探Q学園」の取材対応, 日用品ハンドリングのデモを紹介
- 開発したサービスシステム全体の詳細な説明と全てのモジュールを奈良先端科学技術大学院大学ロボティクス研究室のWebサイト ([http://robotics.naist.jp/nedo¥\\_ project/](http://robotics.naist.jp/nedo¥_project/))にて公開

[大阪大学]

(1) 研究発表・講演（口頭発表も含む）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008/7/	画像の認識・理解シンポジウム	階層物体モデルを用いた特定部位の検出	高橋英泰, 前泰志, 田窪朋仁, 新井健生
2008/9	第26回日本ロボット学会学術講演会	階層物体モデルを用いた特定部位の空間探索	高橋英泰, 前泰志, 大原賢一, 田窪朋仁, 新井健生
2009/05	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会	ロバストな物体姿勢推定コンポーネントの開発	高橋英泰, 崔宰溢, 前泰志, 大原賢一, 田窪朋仁, 新井健生
2009/09	日本ロボット学会学術講演会	Constructing a RT-component for GPU-based SIFT Feature Extraction	Jaeil Choi, Yasushi Mae, Hideyasu Takahashi, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai
2009/09	日本ロボット学会学術講演会	Multi-Surfaces SIFT Matching by Stereo Vision	Amr Almaddah, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo
2009/10	The 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IRS2009)	Interoperable RT Component for Object Detection and 3D Pose Estimation for Service Robots	Jaeil Choi, Hideyasu Takahashi, Yasushi Mae, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai
2009/10	The 6th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2009)	Layered Structure on Module-Based Robot Control System for Service Robots	Yasushi Mae, Hideyasu Takahashi, Jaeil Choi, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai
2009/10	The 6th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2009)	Implementation and Evaluation of the Scale-Invariant Feature Transform on GPU	Jaeil Choi, Yasushi Mae, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai

2009/10	The 6th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI 2009)	Object Pose Estimation by Multi-Surfaces SIFT Matching for Manipulation	Amr Almaddah, Yasushi Mae, Tatsuo Arai, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo
2010/09	第28回日本ロボット学会学術講演会	RTコンポーネントによるWeb画像ベース物体認識システム	前泰志, 岩根享平, 大原賢一, 田窪朋仁, 新井健生,
2010/10	Proceedings of The 5th International Conference on Advanced Mechatronics (ICAM2010)	SysML-Based Robot System Design for Manipulation Tasks	Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Yasushi Mae, Tatsuo Arai
2011/01	Journal of Intelligent Service Robotics	Component-based robot system design for grasping tasks	Yasushi Mae, Hideyasu Takahashi, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai
2011/04	Mechatronics	Interoperable vision component for object detection and 3D pose estimation for modularized robot control	Yasushi Mae, Jaeil Choi, Hideyasu Takahashi, Kenichi Ohara, Tomohito Takubo, Tatsuo Arai:
2011/05	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会	作業移動ロボットの再利用性を考慮に入れたコンポーネント構造の検討	岩根享平, 大原賢一, 田窪朋仁, 前泰志, 新井健生
2011/09	第29回日本ロボット学会学術講演会	共通カメラインタフェースの提案	大原賢一, 川端聡, 河井良浩
2011/11	The 8th	Component-based	Kenichi Ohara, Kyohe

	International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence	Robot Software Design for Pick-and-Place Task Described by SysML	iIwane, TomohitoTakubo, YasushiMae, TatsuoArai
2011/12	第 12 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会	音声認識による物体認識システムの開発	岩根享平, 大原賢一, 田窪朋仁, 前泰志, 新井健生

## (2) 特許等

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人

## (3) 受賞実績

- ・RT ミドルウェアコンテスト 2011「奨励賞(システムインテグレーション賞)」, 「奨励賞(やっぱ, カメラたくさんで賞 part2)」  
岩根享平, 吉永悠一郎, 大原賢一, 前泰志, 新井健生, ”音声認識による物体認識システム”

## 3. その他特記事項

### (1) 成果普及の努力 (プレス発表等)

- 2009年10月に日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門第五地区技術委員会において RT ミドルウェア講習会を開催し, 大阪大学大原助教が講師を努め, RT ミドルウェアでのモジュール作成方法について講演を通して, モジュール創出につながる基盤技術に関わる普及活動を行った.
- 2011年10月13日~14日産業技術総合研究所オープンラボ 2011にて, 共通カメラインタフェース対応のコンポーネントについて展示
- 2011年11月9日~12日, 国際ロボット展 2011において, リファレンスハードウェアによる物体把持システムおよび組み込みRTM学習用ロボットアームを展示
- 2012年1月13日に画像応用技術専門委員会2011年度第5回研究会にて, 「RTミドルウェアの画像処理応用への展望」というタイトルで大阪大学大原助教が講演.



[東京理科大学]

(1) 研究発表・講演（口頭発表も含む）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2008年3月 12-13日	Proceedings of Tokyo University of Science – Northwestern Polytechnical University 2008 International University Exchange Seminar	Person Following Mobile Robot Based on Distance and Color Information	Hiroshi Takemura
2008年12月5-7 日	第9回計測自動制 御学会（SICE）シ ステムインテグレ ーション部門講演 会(SI2008)	屋内外実環境にお ける移動ロボットの 為の対人追従モ ジュールの開発	根本 善太郎, 三 ツ橋 晋洋, 竹村 裕, 溝口 博
2009年3月6日	日本機械学会関東 支部 第48回学生 員卒業研究発表講 演会	ロボット視覚プロ グラムを変更不要 で実環境に適用可 能とする視覚的再 現性のある仮想環 境の構築	羽根 青玄, 竹村 裕, 溝口 博
2009年5月 24-26日	日本機械学会ロボ ティクス・メカト ロニクス講演会 2009 (ROBOMECH200 9)	RTミドルウェア を用いた屋内外実 環境における対人 追従モジュール	藤原 交重起, 根 本 善太郎, 竹村 裕, 溝口 博,
2009年12月 19-23日	The 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2009),	Development of Vision Based Person Following Module for Mobile Robots In/Out Door Environment	Hiroshi Takemur, Nemoto Zentaro, Hiroshi Mizoguchi
2009年12月 19-23日	The 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics	Visually Realistic Environment for Safety Development of Vision-based Robot	Seigen Hane, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi,

	(ROBIO2009),	-Making Vision Program Applicable to Real Environment without Modification-	
2009年12月 24-26日	第10回計測自動制御学会(SICE)システムインテグレーション部門講演会(SI2009)	外界センサベースロボットの実機を使わない安全なプログラム開発を目指した仮想環境",	羽根 青玄, 根本 善太郎, 竹村 裕, 溝口 博,
2010年3月10日	日本機械学会関東支部 第49回学生員卒業研究発表講演会	ロボットのための照度変化に頑健な発見・追跡技術の定量的評価 ～暗いところでも見失わない～	木村 祐太, 竹村 裕, 溝口 博
2010年3月10日	日本機械学会関東支部 第49回学生員卒業研究発表講演会	店舗から駐車場まで往復可能な買い物カートを目指した移動ロボットの基礎研究	荒井 亮磨, 竹村 裕, 溝口 博
2010年6月 14-16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010(ROBOMECH2010).	照度変化に頑健なロボット用発見・追跡視覚機能の実現に向けた定量的評価手法の提案	木村 祐太, 竹村 裕, 溝口 博,
2010年6月 14-16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010(ROBOMECH2010).	駐車場から店舗まで戻ってこられる買い物カートロボットの基礎研究	荒井 亮磨, 竹村 裕, 溝口 博
2010年6月 14-16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010(ROBOMECH2010).	SpatioGrams と Mean-Shift 法とを連携した頑健な追跡手法	多田 和樹, 竹村 裕, 溝口 博

2010年6月 14-16日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010 (ROBOMECH2010).	LRFを用いた追従対象の速度ベクトル推定	奥村 亮, 竹村 裕, 溝口 博
2010年7月4-7日	Proceedings of the 25th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC2010)	Quantitative Evaluation of Robust Visual Detector and Tracker Using Color Information under Illumination Change	Yuta Kimura, Hiroshi Takemura Hiroshi Mizoguchi
2010年8月 18-21日	Proceedings of SICE Annual Conference 2010 (SICE2010),	A Quantitative Evaluation of Robust Detecting and Tracking Methods under Illumination Changes Using Color Stereo Camera	Yuta Kimura Hiroshi Takemura Hiroshi Mizoguchi
2010年8月 18-21日	Proceedings of SICE Annual Conference 2010 (SICE2010),	A Study of Functions for Robot Returned from Parking to Store Autonomously	Ryoma Arai, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi, "
2010年8月 18-21日	Proceedings of SICE Annual Conference 2010 (SICE2010),	Robust Tracking Method by Mean-Shift using Spatiograms	Kazuki Tada, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi
2010年10月 10-13日	2010 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics	Quantitative Evaluation Methods of Robust Detecting and Tracking	Yuta Kimura, Hiroshi Takemura Hiroshi Mizoguchi

	(SMC2010),	with Color Camera under Illumination Changes	
2010年12月 23-25日	第11回SICEシステムインテグレーション部門講演会(SI2010)	次世代ロボット知能化プロジェクト・リファレンスハードウェアによる対人追従	内田 頼望也, 荒井 亮磨, 木村 祐太, 奥村 亮, 竹村 裕, 溝口 博
2010年12月 23-25日	第11回SICEシステムインテグレーション部門講演会(SI2010)	LRFを用いた移動ロボットのための対人並走に関する研究	奥村 亮, 竹村 裕, 溝口 博
2011年5月 26-28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011(ROBOMEC2011)	HLACとHOGとの連携による頑健な人物検出	森田 美帆, 丁 明, 竹村 裕, 溝口 博,
2011年5月 26-28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011(ROBOMEC2011)	対象人物数が増えても処理時間変動がないHLAC利人物検出システム	北野 裕介, 丁 明, 竹村 裕, 溝口 博
2011年5月 26-28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011(ROBOMEC2011)	速い動きにも耐え得るロボット視覚に向けた定量的評価	木村 祐太, 丁 明, 竹村 裕, 溝口 博,
2011年5月 26-28日	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011	構内環境で動的障害物への衝突回避が可能な自律移動ロボットの研究	荒井 亮磨, 丁 明, 竹村 裕, 溝口 博,
2011年7月3-7日	Proceedings of the 2011 IEEE/ASME International Conference on	Constant execution time multiple human detector regardless of	Yusuke Kitano, Ming Ding, Hiroshi Takemura, Hiroshi

	Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2011),	target number increase based on HLAC	Mizoguchi
2011年12月7-11日	The 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011),	Human Detection Method Based on Feature Co-occurrence of HLAC and HOG"	Miho Morita, Ming Ding, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi
2011年12月7-11日	The 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011),	Quantitative Evaluations of Stable and Adaptive Tracking using The Updating HS-histogram Method	Yuta Kimura, Ming Ding, Hiroshi Takemura, Hiroshi Mizoguchi
2011年12月7-11日	The 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011),	Constant execution time multiple human detectors regardless of target number increase based on CHLAC	Yusuke Kitano, Ming Ding, Hiroshi TakemuraHiroshi Mizoguchi,
2011年12月7-11日	The 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011),	Mobile Robot System Realizing Autonomous Locomotion -- Combination of Person Following and Autonomous Returning --	Ryoma Arai, Ming Ding, Hiroshi TakemuraHiroshi Mizoguchi,
2012年3月25日	日本機械学会論文集C編 Vol. 78 (2012), No. 787 pp.799-811	SpatioGrams を用いた平均値シフトと確率的予測による頑健な物体追跡手法	多田 和樹, 丁明, 竹村 裕, 溝口 博

(2) 特許等

(該当なし)

(3) 受賞実績

- ・「SI2009 優秀講演賞」  
羽根，根本，竹村，溝口：“外界センサベースロボットの实機を使わない安全なプログラム開発を目指した仮想環境”，SI2009，2D2，2009.12.
- ・「SI2010 優秀講演賞」  
内田，荒井，木村，奥村，竹村，溝口：“次世代ロボット知能化プロジェクト・リファレンスハードウェアによる対人追従”，SI2010，1B2-5，2010.12.
- ・「日本機械学会若手優秀講演フェロー賞」（2011年5月受賞）  
多田，竹村，溝口：“SpatioGrams と Mean-Shift 法とを連携した頑健な追跡手法”  
ROBOMECH2010，2A2-F12，2010.6.

3. その他特記事項（当該年度分についてのみ記載）

(該当なし)

契約管理番号	08000398-0
契約管理番号	08000399-0
契約管理番号	08000400-0
契約管理番号	08000401-0

契約管理番号	08000404-0
契約管理番号	08000405-0
契約管理番号	08000406-0