

## 2.6.2 運営方式

PLAN-DO-SEEに基づいた日常的なきめ細かな運営を行い、再利用性を持った効果的な知能モジュールを開発できるように努めた(表 2.6.2.1)。推進委員会はプロジェクト全体の方向性を検討する場であり、プロジェクトの進捗とPLの運営方針をNEDOと有識者により検討する場である。企画調整WGは、実施者の全員が出席する会議であり、PLがプロジェクトの進捗を把握し、またPLから実施者に指導・伝達を行う場である。このWGは毎月行うことで、目に見えにくいソフトウェアの開発と相互利用性や再利用性を実現するという難しい開発内容に対して、きめ細かな運営を行っている。実施者の開発状況を把握するために、進捗ヒアリング、進捗確認シート、サイトビジットを行っている。進捗ヒアリングはPLに対し実施者が開発状況を口頭発表する場であり、質疑応答を通してPLが今後の研究開発の実施内容等を指示する。進捗確認シートは推進状況を指定した表に記入させ、PLとNEDOが確認するためのもので、評価の記入も行う。サイトビジットは実施者の実験室にPLや有識者が訪問して実物の確認討論を行う場である。さらに本プロジェクトでは、開発の促進と相互理解のために「先行発表」を行った。これは、各事業者の「設定ゴール」に向けたロボット実証を、相互にデモ・見学する場を作ることによりノウハウの共有と相互利用を促進することを目的としたものである。

	項目	説明	回数	状況
計画・運営	推進委員会	PL,NEDO,有識者による運営方針会議	開催1回(毎年)	
	企画調整WG(実施者全体会議)	PLが実施者の進捗を把握し、指導・伝達	開催15回(毎月)	
確認・指示	進捗ヒアリング	委託先が発表。進捗を確認し指導する場	開催3回(半年毎)	 
	進捗確認シート	3か月毎の書類確認	確認4回(四半期毎)のべ248ページ	
	サイトビジット	委託先を訪問し進捗チェック	のべ6回(随時)	
促進	先行発表・検証デモ	委託先のロボット動作による進捗確認。	開催1回	

表 2.6.2.1 本プロジェクトの運営体制

本プロジェクトは16事業者という規模の大きいものであり、そのままでは相互の意思疎通が密にならないことから、開発する知能モジュールの相互接続に問題が起こる恐れがあった。このため、知能モジュールの粒度やインタフェースを関連領域ごとに検討を行えるように以下のサブWGを構成し、連携を実施しやすい体制を構築した(図 2.6.2.2)。サブ

WGの主査の下で密に連携し、共通問題や共通フレームワークの検討や相互接続や交換性の実現のために連携開発が行える体制とした。

研究開発項目(個別テーマ)	サブWG名	WG主査
①-1 知能ソフトウェアプラットフォーム	プラットフォームサブWG	産総研 比留川部門長
①-2 知能ソフトウェア再利用性向上技術		
② 作業知能(生産分野)の開発	作業サブWG	三菱電機 田中副所長
③ 作業知能(社会・生活分野)の開発		
④ 移動知能(サービス産業分野)の開発	移動サブWG(1)(2)	芝浦工大 水川教授 筑波大学 油田教授
⑤ 高速移動知能(公共空間分野)の開発		
⑥ 移動知能(社会・生活分野)の開発		
⑦ コミュニケーション知能(社会・生活分野)の開発	コミュニケーションサブWG	日本電気 高野部長

図 2.6.2.2 領域ごとに設定したサブWG

## 2.7 情勢変化への対応

本プロジェクトの運営に際し、環境・状況にして次のような対応を行った。

### 2.7.1 柔軟な体制変更（応募状況に対応した追加公募）

公募採択時、応募者から審査により採択を行ったが、当初の目論見とは異なり、応募者は知能モジュールの開発者ばかりで他人の開発した知能モジュールを利用する内容の応募は含まれなかった。このため、採択者は自社のモジュールを開発する事業者ばかりとなった。これでは異種モジュールの統合使用の確認や、他用途利用の確認ができない。

この情勢に対応するため、他社モジュールを含めた知能モジュールを幅広く使用し、モジュール応用を中心とした実施者を追加公募した。この結果、3社を採択した（2007年7月）。この追加公募の実施者は他者モジュールを率先して使用して検証を行い、評価をフィードバックして改良促進を行うことを任務とした。

### 2.7.2 柔軟な体制変更（再利用体制の設置）

本プロジェクトでは知能モジュールを開発し、自社・他社の知能モジュールを利用して有効性検証を行い知能モジュールを改良していくことを期待している。しかし、当初は知能モジュールを開発する事業者と応用検証を行う事業者は存在したが、利用を支援する体制がなかった。たとえば、知能モジュールの貸し借りをを行うには当事者同士が相談する必要があり、ノウハウもばらばらに存在する状態であった。

この状態を打破するため、基本計画を変更し、他者モジュールの利用を主体的に先導する体制を新設した（2008年10月）。この新しい体制（研究開発項目①-2）は、開発し

た知能モジュールを一元的に蓄積し、ノウハウや貸与の問題を集中して扱う方法を研究開発する。知能モジュールを蓄積する際には説明書と動作を確認することとし、基本的な品質を確保できるようにした。また、蓄積した知能モジュールの一覧性、サポート、試用、提供契約の管理体制問題等を解決する体制とした。

また、研究開発の途上、有効性検証として知能モジュールを組合わせて使用することが求められるが、さまざまな事業者が独自のロボットを利用している状態では使用上の知識が分散してしまう欠点が明らかになった。このため、実証用ロボットを常備するRTC再利用技術研究センターを開設した（2009年1月）。このセンターでは、開発した知能モジュールの受入れに際する検品、異種知能モジュールの組合わせ使用の実証実験、モジュール単位の交換性検証、典型的応用例（リファレンスタスク）による知能モジュールの実用性検証等を行う。

### 2.7.3 統一したフレームのモジュールのためのリファレンスモデルの設定

当初、事業者ごとに知能モジュールを開発していたため、同じ移動関連のモジュール開発者であっても、知能モジュールの粒度やインタフェース等の統一性がなく知能モジュールとしての形態がさまざまなものができてしまった。再利用性・交換性を確保するためにはある程度のモデル化が必要である。

これに対処するため、サブWGごとに「リファレンスモデル」を設定することとした。これは、各領域の知能モジュールの接続モデルを設定し、これに沿って知能モジュールを開発することで、インタフェース等の統一性を図るものである。すなわち、リファレンスモデルがモジュールの設計規範となり再利用性を向上させる。

さらに、リファレンスタスクを設定した。これは、サブWGごとに統一した典型的応用例である。各事業体は各自の「設定ゴール」は擁するが、共通した動作目標がないため、「設定ゴール」以外の動作に十分な性能を持つか検証できなかったためである。各事業体が開発する知能モジュールを「設定ゴール」以外にリファレンスタスクでも動作することを確認することで、その知能モジュールの汎用性が確保できるようになった。

### 2.7.4 成果評価と研究開発加速(予算再配分)

本プロジェクトでは評価に応じて能動的に予算の再配分を行った。事業者の評価に当たっては、2.5.2章の評価手法を使用し、研究開発の進捗度、再利用状況、知能モジュールの提供等のプロジェクトへの貢献度等の観点からPLを中心とする評価グループにより行った。予算は年度当初には全額は配布せず、秋に残予算を配布することで内部加速の形式をとることで、年に2回の評価を行っている。表2.6.4.1に予算の再配分状況を示した。プロジェクトがNEDOに移管された後、半年ごとに評価と予算配分の再検討を行っている。

さらに、初年度の経済産業省直轄を終了した時点では、契約して間もないもないこともあ

り事業体の評価を行うには時間的余裕がなかった。このため、NEDOに移管された平成20年4月には各事業者ごとに予算を前年の50%だけ暫定配布し、半年後の平成20年10月に事業者評価とその結果に従って研究開発項目の重点化として事業者ごとに予算額を決定した。

今後も機動的な研究開発の運営を行いたい。

時期	対象	額(単位百万円)	目的	成果
平成20年4月	①-2	40.0	再利用推進グループの新設。 <b>状況対応</b>	知能モジュールの利用促進のための検査、蓄積体制を確立
平成20年4月	全実施者	前年予算額の50%配布。	成果が未評価のため、評価決定まで配布延期	
平成20年10月	全実施者	評価に従い残額を配布	研究開発項目の重点化。 <b>予算再配分</b>	高い成果の研究体の開発促進。
平成20年11月	①-2	30.0	再利用技術研究センター開設。 <b>状況対応</b>	知能モジュール試験実証環境を整備した。
平成21年4月	全実施者	評価に従い予算配布	研究開発項目の重点化。 <b>予算再配分</b>	高い成果の研究体の開発促進。

表 2.7.4.1 能動的な予算再配分

### 3. 研究開発成果

#### 3.1 研究開発の成果および中間目標の達成度

##### 3.1.1 全体総括

各事業体が中間目標とした知能モジュールを開発し、実証タスク(ミッション)を想定した実証デモを用いて機能・性能の検証を実施した。研究開発目標に対応させた成果を表 3.1.1.1 に示す。達成度は、一部のテーマで未達成があるが、概ね目標達成と評価した。

開発項目	研究開発目標 最終目標(平成23年度)	中間目標	成果	達成度
①ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発	<b>1.研究開発</b> ●知能モジュール群を統合可能 ●ロボットシステムをシミュレート可能 <b>2.有効性の検証及び改良</b> ●検証用知能モジュール群を開発 ●リファレンスハードウェアを開発	1.最終目標達成に必要な要素技術開発の <b>具体的な見通しを得る</b> 2.知能モジュールの統合に必要な情報を提供する 3. <b>基本部分の開発を完了する</b>	RTコンポーネント開発支援機能、応用ソフトウェア支援機能、ロボットシステム設計支援機能を <b>開発</b> しEclipseに統合。リファレンスハードウェアを開発し検証用知能を搭載して <b>先行デモで実証</b> 。	◎
②モジュール型知能化技術の開発	<b>1.モジュール型知能化技術の開発</b> ●環境変化に対応可能なロバスト性を有する ●用途が広く、利用が容易 ●他者に提供 ●成果(知能モジュール)を実行可能なソフトウェアモジュールの形で提供	1.最終目標に対して、必要な要素技術開発の <b>具体的な見通しを得る</b> 2.各年度末に性能の検証・評価を受け、 <b>ソフトウェアモジュールの提供</b> を可能とする。	14の開発テーマのうち、8テーマにおいてはすでに個別 <b>中間目標を達成した</b> 。また、5テーマは今年度中達成の見込みである。 <b>1テーマはほぼ達成の見込み</b> であり、早期に挽回が可能。	○
③有効性の検証	<b>1.①及び②の技術の有効性検証</b> ●テーマごとに応用目標を決め、ロボットシステムで試験し、実環境の使用に耐えることを検証する。 <b>2.可能な限り広範囲に提供</b> ●ソフトウェアモジュールとして ●他者が利用(再利用)できる形	1.最終目標に対して、必要な要素技術開発の <b>具体的な見通しを得る</b>	●検証用知能モジュール群をRTコンポーネント開発ツールを用いて開発し、仕様記述方式で記述可能なことを <b>検証済</b> 。 ●先行発表でロボットで <b>検証</b> 。 ●プロジェクト内で <b>相互提供</b> 。	◎

表 3.1.1.1 研究開発の成果

このプロジェクトの最終目標は知能モジュールを開発して蓄積し、機能・性能を検証し、提供することである。まず、知能モジュールの開発数を評価した(表 3.1.1.2)。本プロジェクトで総計320の知能モジュールの開発を予定しており、そのうち105モジュールが出来上がった。残りの約半数は現在開発中、あるいは検証中であり、最終年度にはすべての知能モジュールが完成できる。開発したモジュールの多くは16種の実証用ロボットシステムに格納して機能・性能を検証した。

開発したモジュール数					カタログ数
H19	H20	H21実績	今後予定	合計	H21現在
48	57	63	152	320	136
168					

表 3.1.1.2 開発した知能モジュールの総数

提供に関して表 3.1.1.3 にまとめた。これは、各事業体が提供の要望を受けたモジュールの延べ数

のうち技術領域間にまたがるものである。技術領域内での事業体間の知能モジュールの相互使用は経常的に行われているため、表には含めていない。知能モジュールの相互使用を図にしたのが図3.1.1.4である。技術領域間においても知能モジュールの相互利用が複数開始しており、今後の活発な分野外使用と評価・改良が期待できる。

利用希望モジュール(提供元) のべ数			
基盤	作業	移動	コミュニケーション
10	18	38	6

表 3.1.1.3 利用の希望のあった知能モジュールの延べ数

研究開発成果:提供

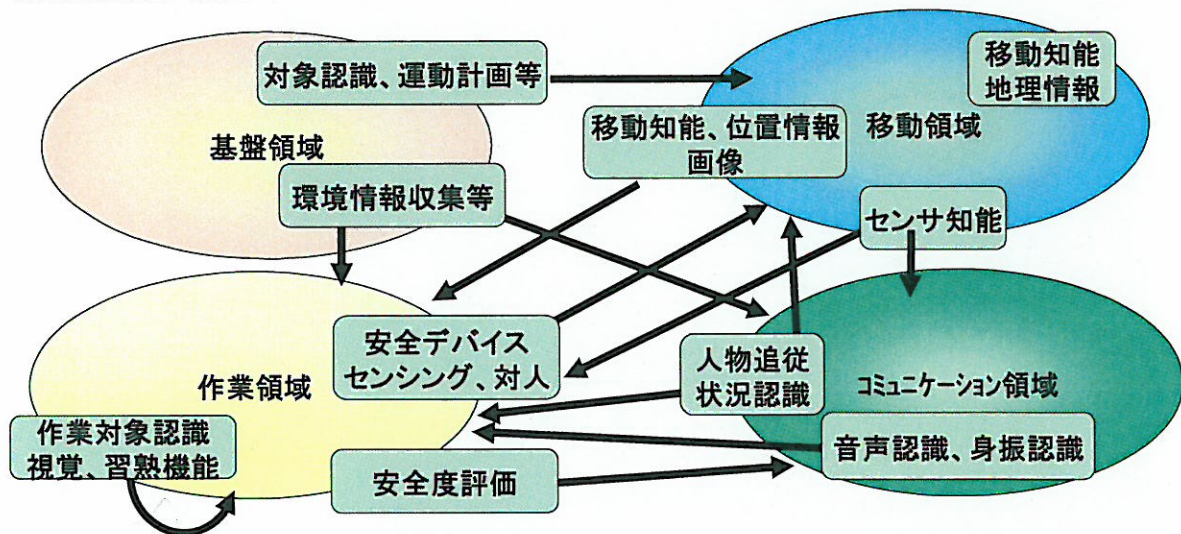


図 3.1.1.4 利用希望モジュールの相互関係

### 3.1.2 ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発分野における研究開発成果

(1) 開発したソフトウェアプラットフォームおよびモジュール群

1) ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム開発

① RTコンポーネント開発支援機能

(a) RTシステムに関する仕様記述方式

(a-1) RTコンポーネントに基づくRTシステムの構成を記述するための、ロボットシステム仕様記述方式 (RTSPProfile Specification) 第0.2版をプロジェクト参加組織からの意見・要望などを基に作成し、公開を行った。同時に本仕様記述方式に準拠したシステム設計ツール: RTシステムエディタを開発し、仕様の整合性、妥当性を検証した。

(a-2) 知能モジュール等のメタ情報を含むデータ構造を記述するための知能モジ

ユーザ仕様記述方式 (RTCProfile Specification) 第 0.2 版を、プロジェクト参加組織からの意見・要望を基に第 0.2 版を作成し、公開した。同時に新たな仕様記述方式に準拠した RT コンポーネント設計ツール：RT コンポーネントビルダを開発し、仕様の整合性、妥当性を検証した。

(a-3) ハードウェア仕様記述方式として、プラットフォーム非依存モデルおよび XML 形式でのプラットフォーム依存モデルの草案 0.2 を策定した。その後、同様のメカトロシステムを記述する言語として Modelica という言語が存在し、CAD システムの CATIA 等で使用されていることが判明したため、Modelica の調査と仕様記述の再検討を行った。

(a-4) 作業シナリオ仕様記述方式として、比較的抽象度の低いデータである動作軌道データの記述方式として動作記述仕様およびロボットの動作制御記述仕様の策定を行った。動作記述仕様は、記述の読みやすさ、プログラミング時の扱いやすさ、処理効率等を考慮し、YAML ベースの動作軌道データ記述としての策定を行った。また、ロボットの動作制御記述方式として、作業シナリオ実行系が使役対象の RT コンポーネントを使役するためにポート間でやりとりするメッセージの形式を定義したシナリオメッセージ規約およびメッセージの上に積載される対象 RT コンポーネントへの命令、対象 RT コンポーネントからの結果出力、を形式記述するためのメタ言語を定義したワーカ定義規約を作成した。

(b) RT コンポーネントのコード作成、デバッグ、パッケージ化等の一連の作業をシームレスに行うための RT コンポーネントビルダ、RT システムエディタ、RT コンポーネントデバッガの開発を行い、プロジェクト参加組織へ公開した。

(b-1) RT コンポーネントビルダは、知能コンポーネントに必要な設定項目を入力することで、各種言語に対するソースコードを自動生成することができる。また、設定項目のヘルプを併記するとともに、前述の RTCProfile、OpenRTM-aist-1.0 に対応している。

(b-2) RT コンポーネントデバッガは、RT コンポーネント単体の動作を検証するためのツールであり、アクティビティ検証機能、コンフィグレーション検証機能、サービスポート検証機能、RT コンポーネント実行コンテキスト制御機能、データプロット機能、データストア機能、データ再生機能などを有している。また、マニュアルの作成を行い、OpenRTM-aist-0.4.2 対応版として、本プロジェクトの各研究項目実施機関のほか、外部機関に対しても提供を開始した。OpenRTM-aist-1.0 に対する対応は平成 21 年度中に達成見込みである。

(b-3) RT コンポーネント間の静的接続の設計・コンポーネントを実際のノードに配置 (デプロイメント) しシステムを構築・動作検証を行うための RT システムエディタの開発を行い、一般公開を行った。また、前述の RTSPProfile・RTCProfile に対応し、OpenRTM-aist-1.0 で新たに追加される機能であるマネー

ジャコントロール、複合コンポーネントに対応を行った。

(c) R Tミドルウェアの開発

(c-1) R T ミドルウェアを利用できる計算機環境、プログラミング環境を拡充するため、R Tミドルウェアの各種 OS/言語対応として、ロボットシステムで多く利用されている実時間 OS VxWorks 向けR Tミドルウェアのプロトタイプならびに、次世代ロボット共通基盤開発プロジェクトにて開発した.NET (ドットネット) 環境で動作するR Tミドルウェア OpenRTM.NET について、OMG 仕様に準拠し、OpenRTM-aist-1.0 と相互運用できるよう研究開発を実施した。VxWorks については、従来の V6.4 だけではなく、他の実施機関の要望を受け、V5.5.1 にも対応し、本プロジェクトの各研究項目実施機関に提供を開始した。

OpenRTM.NET には書籍や Web サイトを通じて一般にも公開を行っている。

(c-2) 計算資源の制限されたロボットに搭載される組込みプロセッサに対応するために、軽量化された CORBA を用いた軽量R Tミドルウェア OpenRTM-aist-0.4.2 対応版を開発し、をプロジェクト内に公開した。このR Tミドルウェアは、従来版の約半分のリソースで動作することを確認した。また、プロジェクト参加組織である芝浦工業大学コンソで開発を進めている T-Kernel 対応の OpenRTM-aist に対応するための資料提供、サポート等を行った。

② 応用ソフトウェア開発支援機能

(a) 作業シナリオ設計ツールの開発

タイムラインに対して、R Tコンポーネント間の起動・停止・接続等、一連のシーケンスとして実行するシナリオの作成を行うための作業シナリオ設計ツールを開発し、プロジェクト参加組織内に提供した。

シナリオ設計ツールは、ビルディングブロック形式で作業シナリオのロジックを構成できるビジュアルシナリオ編集機能 (Windows 版)、そこで開発された作業シナリオを実行するためのシナリオ実行機能 (R Tコンポーネント、OpenRTM-aist-0.4.2 準拠、Linux 版および Windows 版)、および、シナリオ実行系とそれが使役するR Tコンポーネント群の間のメッセージングを制御するイベントマネージャ (R Tコンポーネント、Linux 版) 機能を持つ。また、シナリオ編集系・実行系ともに作業シナリオ仕様記述方式で既定したシナリオメッセージ規約、ワーカ定義規約に基づいて実装した。特に、ビジュアルシナリオ編集系ではターゲットロボットに併せて、ビジュアルブロックをカスタマイズできる構成を持っており、先行デモにおいてもリファレンスハードウェア向けのビジュアルブロックを作成し、これを実証した。

(b) 動作設計ツールの開発

(b-1) 動作パターン設計ツール

多関節を有するロボットに対して、関節角軌道として表現されるロボットの「動



作パターン」をインタラクティブに編集するためのツールの基本機能を開発した。動作設計ツールは、データアイテム／ビュー／ツールバー／プラグイン管理フレームワークを有し、様々な機能は、モジュール化されており、プラグイン等を追加し、様々な機能拡張を行うことができる。さらに、マルチプラットフォーム対応を確認するためにLinuxとWindowsで同様に動作することを検証し、公開した。

#### (b-1) 移動動作設計ツール

移動動作設計ツールとは、ロボットの移動能力に応じた2次元平面上での移動動作を、a)ユーザがGUIを用いてインタラクティブに設計する方法、b) ロボットが計画エンジン呼び出して自律的に設計する方法、の2つの方法で設計可能なツールである。移動動作設計ツールは、ロボットの移動能力記述部、計画エンジン部、移動動作可視化部、移動経路設定部の4つの部分で構成される。移動能力記述部を分離することで、様々な形態のロボットにおいてそれぞれの移動能力に応じた移動経路を設計可能である。また移動動作可視化部、移動経路設定部を分離することで、GUIを用いてユーザがインタラクティブに移動動作を設計する場合とロボットが自律的に設計する場合とで計画エンジンの共通化を実現している。このツールは、プロジェクト参加組織内に公開した。

#### (c) シミュレータ

作成されたロボットの動作及び作業シナリオの正当性・妥当性を、仮想世界を用いて検証するためのソフトウェアである動力学シミュレータ、および様々なロボットで利用が想定されている各センサのRT部品機能のシミュレーション機能モジュール(RTコンポーネントシミュレータ)の開発を行った。

##### (c-1) 動力学シミュレータ

動力学シミュレータは、ロボットの動作及び作業シナリオの正当性、妥当性を仮想世界において検証するためのソフトウェアである。ロボットおよび作業環境を模擬可能な3次元シミュレーションを実現しており、他のツール群と連携して動作可能にし、一般公開を行った。また、従来の多関節型のロボットのみならず、移動ロボット用のシミュレーションモードに対する改修、ロボットのモデルを構築するための機能の追加なども行った。

##### (c-2) RTコンポーネントシミュレータ

ロボットのアプリケーションを開発する上で必要なセンサのシミュレーション機能として、距離センサ、ジャイロセンサ、力センサ、トルクセンサ、GPSセンサを動力学シミュレータ内で実現するためのRTコンポーネントシミュレータの開発を行った。これらの各センサモジュールについて知能モジュール仕様記述に則り仕様検討を行い、RTコンポーネントシミュレータならびに、基本RTコンポーネントの開発を行った。公開済みのRTコンポーネントシミュレータモジュールは、距離センサモジュール(北陽電機:URG-04LX、Top-URG、SIC社LMS100、

LMS200)、加速度センサ (クロスボー : CXL02LF3、東京計器 : VSAS2 (ジャイロ機能を含む))、力覚センサ (ニッタ : XFS (トルク機能を含む))、GPS センサ (Hemisphere : CrescentA100) の OpenRTM-aist-0.4.2 対応版である。また、音声情報を外部から入力する機能を開発した。基本RTコンポーネントについては、プロジェクト外への提供も行っている。

#### (d) 実時間ソフトウェア設計ツール

複合RTコンポーネントで構成されたロボットコントローラの実行時間を検証するための枠組みの検討を行い、ツールの実装を行った。また、ツールの使用方法を説明したチュートリアルを作成する見込みである。

### ③ ロボットシステム設計支援機能

RTコンポーネントを再利用し、組み合わせてロボットシステムの構築を支援するためのツールとして、ロボットシステム設計ツールとRTリポジトリの開発を行った。

#### (a) ロボットシステム構築ツール

ロボットシステム構築ツールは、ロボットのリンク形状、自由度配置およびセンサ配置が作業に適しているかどうかの評価の支援および、ロボットをシミュレーション実行するためのモデル編集機能を提供するツールである。これまでに、モデルデータの読込機能、モデルデータの書出し機能、アクチュエータの簡易編集機能を実装した。

#### (b) RTリポジトリ

RTリポジトリは、知能モジュール・ハードウェアの仕様記述及び知能モジュールをコンテンツとする分散型データベースであり、RTメタデータ検索機能、RTリポジトリアクセスライブラリ、RTコンポーネントデプロイメント機能、知能モジュール仕様記述V0.2に対応している。RTリポジトリで使用するデータベースエンジンは、(株)セック製 Karearea だけでなく、オープンソースの Xindice も利用可能となっている。本ツールは、RTコンポーネントの蓄積、再利用を促進するための再利用 Web 実現のために、RTC再利用技術研究センターに提供した。

## 2) ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの有効性検証モジュール

### ① 検証用知能モジュール群の開発

後述するリファレンスハードウェアに搭載することで、介助犬が行っているような室内で人の生活活動を支援するロボットを実現することを応用イメージとして、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能を含む知能モジュール群を研究開発し、RTコンポーネント化する。図 3.1.2.1 に開発する知能モジュール群の全体構成を示す。

# 知能モジュール構成

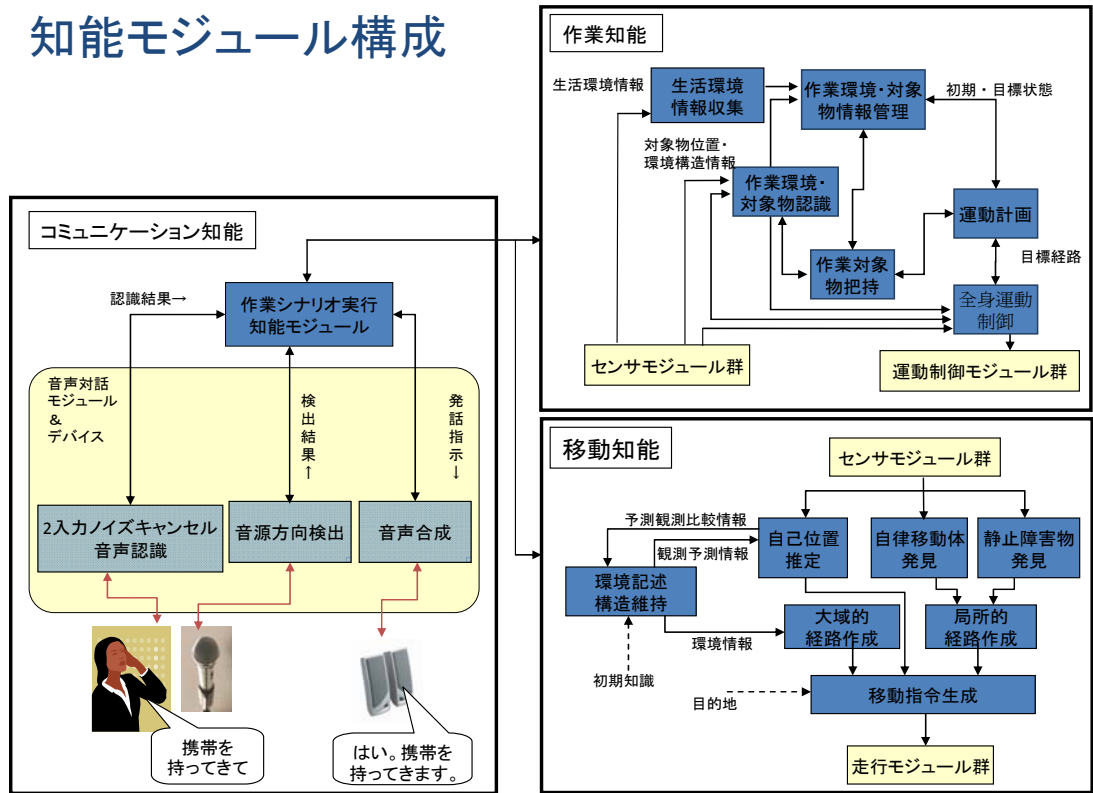


図 3.1.2.1 : 検証用知能モジュール 全体構成

以下に示す検証用作業知能モジュール群ならびに検証用移動知能モジュール群を、RTコンポーネント開発ツール（RTコンポーネントビルダ、RTシステムエディタ）等を用いて開発し、知能モジュール仕様記述方式で記述可能なことを検証した。なお、各知能モジュールの前に付けられた記号☆は、公開済みであり、記号なしのモジュールは、平成 21 年度末までに公開するものである。また、後述する各知能モジュールの後ろに付けられた[1]は、前川製作所が開発したリファレンスハードウェア試作 0 号機台車に搭載し、その有効性を 2009 年 1 月 27 日に芝浦工業大学豊洲校舎で行われた先行デモにて検証した。[2]は、先行デモにて市販ロボットアーム Katana を搭載したロボットに搭載し、ソフトウェアプラットフォームの有効性検証に用いた知能モジュールである。[3]は、先行デモにおける他コンソとの共通仕様に基づくモジュール化の有効性検証に利用した知能モジュールである。

## (a) 検証用作業知能モジュール群

### (a-1) 作業環境・対象物認識知能モジュール群

ロボットが障害となるものを回避しながら日常物をマニピュレーションするために必要な情報（種類、位置・姿勢、状態等）を必要な精度で認識する機能及び視覚センサでは捉えることのできない作業対象物との接触や、作業対象物の重

さや環境との拘束状態を認識する機能作業対象物を把持できているかどうか判定する機能を実現する知能モジュール群。

幾何学特徴・アピアランス特徴視覚認識モジュール[2]、触覚認識モジュールを開発した。また、平成21年度中に視覚・触覚融合認識モジュール、ユーザカスタマイズ作業・物体認識モジュールを開発する予定である。

#### (a-2) 作業環境・対象物情報管理知能モジュール群

作業中に得られた作業環境・対象物認識モジュール群による観測情報を用いて、ロボットが作業をするために有用な知識（環境・物体モデル）の記述を更新・管理し、さらに、マニピュレーションするために必要な情報（物体の位置、姿勢）が不足している場合には、それを獲得するためのセンシングプランを生成する探索機能を実現する知能モジュール群。

物体知識管理モジュール[2]、認識結果に基づく環境物体知識更新モジュール[2]、作業環境知識管理モジュール、作業環境・対象物表示モジュールを開発した。また、平成 21 年度末までに情報不足時の物体探索モジュール、対話的情報記述モジュールを開発予定である。

#### (a-3) 運動計画知能モジュール群

認識可能な固定・移動障害物の存在する環境で、初期・目標位置間の移動体の衝突のない軌道の探索を行い、ロボットへの運動指令を生成するための知能モジュール群。

改良版基本軌道計画モジュール[2]、ロボット運動指令生成モジュール[2]を開発した。

また平成 21 年度末までに、基本計画軌道モジュールの再計画機能を開発予定である。

#### (a-4) 作業対象物把持知能モジュール群

把持対象物・作業環境・ロボットの情報（種類、形状、位置・姿勢、状態など）を入力として、適切な把持形態の選定や、対象物へのアプローチから持ち上げまでの一連の把持動作を計画する知能モジュール群。

物体カテゴリーデータベース（ $\alpha$ 版）[2]、可能把持形態抽出モジュール（ $\alpha$ 版）、把持動作計画モジュール[2]を開発した。また平成 21 年度末までに、作業環境（障害物）モデル化モジュールを開発予定である。

#### (a-5) 全身運動制御知能モジュール群

運動計画知能モジュール群で計画された運動指令に基づき、ロボットの全身運動を制御するとともに、作業環境・対象物認識知能モジュール群によって検出

された作業環境・対象物との接触に対しても、運動計画知能モジュール群で計画されたように適切な応答を取ることのできる知能モジュール群。

アーム単体でのグリップ位置・姿勢制御モジュール[2]、☆アーム・台車自己干渉回避モジュール、☆移動台車とアームを協調させたグリップ位置・姿勢制御モジュールを開発した。

なお、全身運動制御知能モジュール群のアーム・台車自己干渉回避モジュール、移動台車とアームを協調させたグリップ位置・姿勢制御モジュールについては、改良版基本軌道計画モジュールおよびロボット運動指令生成モジュールの機能として組み込む形で実現した。

#### (a-6) 生活環境情報収集知能モジュール群

生活環境情報収集知能モジュール群は、生活環境内で作業を実行するロボットが、生活環境の様々な情報を収集し、生活環境における異常状態の可能性を検出したり、温度・明るさ等の変化を検知したり、室内の人の大まかな場所や動きの検出を可能にする知能モジュール群である。これらの機能を実現するために、焦電センサ・温度センサ・湿度センサ・においセンサ・照度センサを搭載したユニット（長期間電池駆動可能）と、焦電センサアレイを搭載した生活環境情報収集モジュールを開発した。これにより人のいる方向を認識して、人の方向が変化すると、そちらを向き、照度センサ、温度センサ、湿度センサ、においセンサの状態が変化すると、それに応じて発話行動を行う知能モジュールを実現した。

#### (b) 検証用移動知能モジュール群

検証用移動知能モジュール群として以下の知能モジュールを開発した。また、開発したモジュールの随時バージョンアップを行っている。

##### (b-1) 自己位置推定知能モジュール群

自己位置と3D点&直線群により構成される地図を状態ベクトルとして管理し、運動モデルによる予測、単眼及びステレオ画像入力による能動観測、さらにはオドメトリに基づき、拡張カルマンフィルタあるいはパーティクルフィルタで状態ベクトルを更新し、環境中の3D点&直線を選択的に地図に追加・削除することにより、照明条件や設置物が増える環境においても実時間で頑健に自己位置を推定しつつ地図を構築できる知能モジュール群。

単眼画像による拡張カルマンフィルタに基づく自己位置推定地図構築モジュール、☆オドメトリ計算モジュール[1] [2]、☆自己位置推定融合モジュール[1] [2]を開発した。

##### (b-2) 環境記述構築維持知能モジュール群

環境DBから得た間取り図などから初期化した静的3D環境記述を、静止障害物などの情報に基づき更新し、他の移動知能モジュールに現状情報を提供する知

能モジュール群。

☆環境記述初期化モジュール[1] [2]、☆静的3D環境記述更新モジュール[1] [2]を開発した。

(b-3) 静止障害物発見知能モジュール群

距離情報と画像情報に基づき移動経路上の静止障害物の検出と形状計測を行う知能モジュール群。

☆距離情報利用移動経路上障害物候補検出モジュール[1]、距離情報利用仮想バンパーモジュール、距離センサパンチルト制御モジュール、視覚情報利用移動経路上障害物候補検出モジュール、☆距離センサシミュレーションモジュールを開発した。

(b-4) 自律移動体発見計測知能モジュール群

画像情報に基づき移動経路上の移動体の検出と計測を行う知能モジュール群。

視覚情報利用移動経路上単一移動体検出&速度予測モジュールを開発した。

また、平成21年度末までに、視覚情報利用移動経路上移動体計数&速度予測モジュールを開発予定である。

(b-5) 大域的経路作成知能モジュール群

現在地から目的地までの大域的格子状経路を生成・更新する知能モジュール群。

☆静的2D環境記述に基づく大域的格子状経路生成モジュール[1] [2]を開発した。

(b-6) 局所的経路作成知能モジュール群

大域的格子状経路をベースにして、障害物情報などに基づいて局所経路を生成・更新する知能モジュール群。

☆静的2D環境記述に基づく局所的経路生成モジュール[1] [2]を開発した。また、平成21年度末までに、自律移動体予測情報利用局所的点列経路変更モジュールを開発予定である。

(b-7) 移動指令生成知能モジュール群

現地から目的地への格子状及び滑らか経路を維持し、経路に沿って安全かつ効率良く走行するための移動速度指令を生成する知能モジュール群。

☆経路形状と障害物情報に基づく移動速度指令生成モジュール[2]、☆経路形状と障害物情報に基づく移動共通速度指令生成モジュール[1]、ジョイスティック操作に基づく移動共通速度指令生成モジュール[3]を開発した。

(b-8) その他の知能モジュール群

リファレンスハードウェアを用いた知能モジュール開発に必要なユーザインターフェース、ハードウェア依存解消のための知能モジュール群。

リファレンスハードウェア0号機台車部用移動指令変換モジュール[1] [2] [3]、

リファレンスハードウェア 1 号機台車部用移動指令変換モジュール、リファレンスハードウェア 1 号機アーム部用速度指令変換モジュール、☆シミュレーション用移動指令変換モジュール[1]、開発用ロボット用移動指令変換モジュール、☆グラフィカルユーザインタフェースモジュール[1]を開発した。

#### (c) 検証用コミュニケーション知能モジュール群

検証用コミュニケーション知能モジュールとして、2 入力ノイズキャンセル音声認識モジュール、☆音源方向検出モジュール、音声合成モジュールの 3 知能モジュールの開発を行った。各モジュールは、共通機能であるワーカフレームワーク (Linux 版、OpenRTM-aist-0.4.2 準拠、ライブラリ) で実現されており、これらのワーカフレームワークは、前述の作業シナリオ仕様記述方式に基づいて実装されている。また、これを RT コンポーネントに組みこんで利用することにより、作業シナリオ実行系との規約に従ったメッセージングを実現している。本機能は、作業シナリオ実行系の中核機能としても利用された他、先行デモにおけるリファレンスハードウェアに組みこまれた作業や移動のための RT コンポーネントの実現でも利用され実証された。

#### ② リファレンスハードウェアの開発

独立 2 輪移動機構によって 800mm 幅の安全通路内でその場旋回が可能な移動ユニットを有し、及び 500ml のペットボトルを床から高さ 70 センチ上方の机の上まで把持・移送動作可能なマニピュレータ機構を有するリファレンスハードウェア 試作 1 号機を 4 セット試作した。マニピュレーションユニットは全長 755mm、最大幅 102mm となり、全軸ハーモニックギヤを用いて高減速化と関節機構の小型化の両立を図った。また、動力源はマクソン製コアレス DC モータを採用し、各軸にシリアルコマンド入力方式超小型モータドライバ mrsvm100 (アールラボ製、主要寸法 40×40×20mm) を実装し、RS485 を介してダイジーチェーン接続を行うことで、マニピュレータ内部の省配線化が実現した。さらに、構造体にアルミニウム合金、カバーに ABS 樹脂を採用することで、マニピュレーションユニット本体だけで 8.2kg まで軽量化させた。一方、台車ユニットは試作 0 号機よりも段差乗り越え能力を向上させるため、動力軸を前方へ移設し、またキャストの個数を後方 2 輪のみとした。また、マニピュレーションユニットと制御系統を共通化させるため、モータドライバとして上述の mrsvm100 を採用した。緊急停止時の対応として、マニピュレーションユニットには屈曲 2 軸分、台車ユニットには動力軸に無励磁ブレーキを実装した。その他、3 軸ベクトルセンサユニット (ミネベア製) を内蔵させ、ちり紙から 500ml ペットボトルまでを把持可能な試作エンドエフェクタ 4 台を製作した。このリファレンスハードウェアは、RTC 再利用技術研究センターで、プロジェクト内の知能モジュールの

有効性検証のプラットフォームとして利用されている。

## (2) 有効性検証およびその結果

ソフトウェアプラットフォームについては、既にほとんどのツール群は、プロジェクト内の各組織に公開し、利用されている。また、検証用知能モジュールの開発においてプロジェクト内への公開に先立ち利用され、得られたフィードバックに基づきバグフィクスや性能向上のための改善を行った。

また、検証用知能モジュールとして開発したモジュールの内[1]印を付けたモジュールについては、前川製作所が開発したリファレンスハードウェア試作 0 号機台車に搭載し、その有効性を平成 21 年 1 月 27 日に芝浦工業大学豊洲校舎で行われた先行デモにて検証した。また、[3]印を付けたモジュールにより芝浦工大コンソ、日本 SGI コンソとともに先行共同デモを行い共通仕様に基づくモジュール化の有効性を示した。

また、開発したモジュールの内[2]印を付けたモジュールについては、NEC の開発したコミュニケーション知能モジュール、シナリオ実行モジュールとともに前川製作所が開発したリファレンスハードウェア試作 0 号機台車に市販ロボットアーム Katana を搭載したロボットに搭載し、その有効性を平成 21 年 1 月 27 日に芝浦工業大学豊洲校舎で行われた先行デモにて検証した。

先行デモに引き続き、前川製作所の開発したリファレンスハードウェア試作 1 号機に平成 21 年度開発した [1] [2]印の検証用知能モジュールを搭載し、先行デモと同内容の実験を行い、その有効性を検証した。[1] 印の検証用知能モジュールについてはリファレンスハードウェア試作 1 号機に搭載して R T C 再利用技術研究センターに納めた。

## (3) 目標の達成度

### (a) 中間目標に対する目標の達成度

表 3.1.2.2 に研究開発項目ごとの中間目標に対する目標達成度を示す

表 3.1.2.2 知能ソフトウェアプラットフォームの開発領域における中間目標の達成度

基本計画 研究課題	研究項目	中間目標	達成度
ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発	① R T コンポーネント開発支援機能	(a) 本プロジェクトで開発されるすべての知能モジュールの仕様が記述可能であること	本プロジェクト内で開発される知能モジュールの仕様記述を可能になるように、全体のWGを通じて意見収集を行い、ロボットシステム、知能モジュール、ハードウェア、作業シナリオの各記述方式



	<p>(b) R Tコンポーネントの実装に関する専門知識を有しないユーザが、R Tコンポーネントを効率よく開発・デバッグできる機能が実現されること</p> <p>(c)本目標の基本部分は平成 20 年度に達成されること</p>	<p>を策定した。</p> <p>R Tコンポーネント開発に必要な、R Tコンポーネントビルダ、R Tコンポーネントデバッガ、R Tシステムエディタを統合プラットフォームである Eclipse に実装し、知能モジュールのコード生成から、デバッグ、システム構築までシームレスに実行できるようにした。また、各ツールにヘルプ機能を実装し、ドキュメントの整備も行った。</p> <p>これらのツール群を、平成 19 年度末から平成 20 年度中期にかけて公開し、ユーザの意見をもとに機能改良を継続している。</p>
②応用ソフトウェア支援機能	<p>(a) R Tコンポーネント化された作業知能モジュール、移動知能モジュール、コミュニケーション知能モジュールをそれぞれ 1 つ以上含む知能モジュール群について、知能ロボットシステムの運動学・動力学・視野シミュレーション、動作生成、シナリオ生成が統合的に実施できること</p> <p>(b)本目標の基本部分については平成 20 年度に達成されること</p>	<p>動力学シミュレータである OpenHRP3 を Eclipse のプラグインとして実装し、他のツール群との連携機能を強化し、知能ロボットに必要な各センサシミュレーションモジュールおよび音声の外部からの入力モジュールを統合的に動作させるようにした。また、作業知能、移動知能を実現する動作生成ツールおよび作業シナリオ設計ツールも統合的に利用可能にした。また、検証用知能モジュール群を用いて機能の検証を行った。</p> <p>本機能を実現したツール群を、平成 20 年度前期までにプロジェクト内部に公開し、基本的な部分は達成している。またユーザの意見をもとに機能改良を継続している。</p>
③ロボット	(a) R Tコンポーネン	ロボットシステム設計支援機能

システム設計 支援機能	<p>ト化された知能コンポーネントと応用ソフトウェア開発支援機能を用いて、本プロジェクトで開発される検証用知能モジュール群を用いたロボットシステムが効率よく設計できるシステムを実現できること</p> <p>(b)本目標の基本部分については、平成 21 年度に達成されること</p>	<p>である R T リポジトリの基本機能を実現し、知能モジュールの蓄積機能を実現した。また、他のツールとの連携機能も実現し、応用ソフトウェア開発支援機能のともに利用可能になった。また、R T リポジトリは、R T C 再利用技術研究センターで利用され、プロジェクト内で開発される知能モジュールの再利用性向上に寄与した。ロボットシステム設計ツールに関しては、モデル構築機能を実現し、R T コンポーネントに基づくロボットシステムの設計、シミュレータによる動作検証機能の効率化を実現した。</p>
④リファレンスハードウェアの開発	<p>(a) R T コンポーネントの集合体で構成され、各 R T コンポーネントはハードウェア的にもモジュール化され、R T コンポーネントの追加・削除が容易であり、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能の R T コンポーネントをそれぞれ一つ以上含むハードウェアを開発すること</p> <p>(b) また、これらの知能の一部を含むシステムとしても構成可能であること</p>	<p>リファレンスハードウェア 0 号機台車に市販ロボットアーム Katana を搭載したリファレンスハードウェアを開発し、その上に R T コンポーネントの追加・削除が容易な形式で、検証用作業知能モジュール群、検証用移動知能モジュール群、検証用コミュニケーションモジュール群を搭載し、その有効性を平成 21 年 1 月 27 日に芝浦工業大学豊洲校舎で行われた先行デモにて検証した。</p> <p>また、上記の一部を含むシステムとしてリファレンスハードウェア 0 号機台車に検証用移動知能モジュール群を搭載し、これだけでも有効であることを平成 21 年 1 月 27 日に芝浦工業大学豊洲校舎で行われた先行デモにて検証した。</p>

		<p>(c) 低コストで製造可能であること</p> <p>(d) 本目標については、平成 20 年度に達成されること</p>	<p>平成 20 年度には、独立 2 輪駆動台車、6 自由度アーム、1 自由度グリッパから構成される低コストな試作 1 号機を開発し、平成 21 年度にかけて、上記知能モジュール群を搭載し有効性を検証している。</p>
	⑤ ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの検証	<p>(a) リファレンスハードウェアシステムおよび構成する R T コンポーネントの仕様が知能ロボット仕様記述方式で記述可能であり、リファレンスハードウェアシステムを構成する R T コンポーネントの開発が R T コンポーネント開発ツールを用いて行えること</p> <p>(b) 本目標については、平成 21 年度に達成されること</p>	<p>リファレンスハードウェアシステムおよび構成する R T コンポーネントである検証用作業知能モジュール群ならびに検証用移動知能モジュール群を R T コンポーネント開発ツール (R T コンポーネントビルダ、R T システムエディタ) 等を用いて開発し、知能モジュール仕様記述方式 (R T コンポーネント仕様記述方式) で記述可能なことを第 3 検証した。</p> <p>平成 21 年度開発する検証用知能モジュール群についても引き続き R T コンポーネントの仕様を知能ロボット仕様記述方式で記述するとともに、その開発を R T コンポーネント開発ツールを用いて行う。</p>

### 3.1.3 作業領域における研究開発成果

#### (1) 開発したモジュール群

作業サブWG内の各コンソーシアムの開発した代表的知能モジュールを表 3.1.3.1 に列挙する。

表 3.1.3.1 作業領域における開発した代表的知能モジュール

	代表的な知能モジュールの特徴
IDEC	<p>● ロボットコントローラ制御 R T C</p> <p>ロボットの動作を共通化させる為のコンポーネントがどうあるべきかを議論するたたき台となりうる柔軟性の高いコンポーネント構造を持っている。</p>

	<p>※本R T Cを実現するために採用した機能毎に特化した構造を持つ2層化 R T Cによるコンポーネント再利用性・実装容易性の向上の手法を広く公表し、多くの意見を頂戴したいところである。</p> <p>●安全信号制御R T C</p> <p>移動ロボットのデモでロボットの動きに伴なって、有線で繋がった非常停止 BOX を持ってロボットについて回るデモ要員が必要であった不便さを無線で解消できる。</p>
三菱電機	<p>●複合情報G U I 知能モジュール</p> <p>産業用ロボットに不可欠な、導入時の教示作業に要する時間を、短縮するために使用。ロボット手先の状態を計測したセンサ情報を統合表示することにより、作業時間が 2/3 に短縮されることを被験者試験で確認。</p> <p>●習熟機能知能モジュール</p> <p>産業用ロボットに不可欠な、導入時の教示作業に要する時間を、短縮するために使用。ロボット軌道上の経由点を学習的に変更することで、タクトタイムを短縮。検証システム上の特定軌道で 56%タクトタイム短縮確認。汎用的に、制御パラメータ調整に水平展開できることも確認。</p> <p>●部品ピッキング知能モジュール</p> <p>組立作業を実行する産業用ロボットにおける重要課題である整列部品供給の問題を解決。独自の3 Dセンサの情報を三次元処理することで、ばら置き状態の部品の位置・姿勢を高速・高精度に認識可能。</p>
安川電機	<p>●三次元環境認識モジュール</p> <p>複眼カメラシステムから取得した画像データと予め準備する対象物データを照合することにより、作業対象物の位置と姿勢を計測可能</p> <p>●把持機能</p> <p>与えられた把持対象物の情報（位置、姿勢、形状）をもとに、ハンドが把持するためのアプローチ位置姿勢と把持時の位置姿勢を計画するモジュール</p> <p>●アームモジュール</p> <p>RTM のサービスポートを介して、基本動作（PTP や直交座標補間）制御が可能</p>
東芝	<p>●ステレオ楕円認識モジュール</p> <p>ステレオカメラによる楕円認識なので、単眼よりも誤検出が少ない。皿やコップなどの位置・姿勢検出に使える。位置検出結果を色々なロボットシステムで利用できるため、再利用性が高い。</p> <p>●位置管理モジュール</p> <p>共通利用が容易な静止・可動・移動オブジェクトの統一プロトコルによる位置管理。国際標準化、RTM 化を推進。</p>

	<p>●冗長性解法モジュール、および手先拘束下でのマニピュレーション知能モジュール</p> <p>ロボットアームは一つ一つ自由度配置やアームの長さが異なるため、ソフトウェアモジュールを共通化して使用することは困難であった。この問題を、アームの幾何パラメータを VRML モデルから読み込み、運動学を自動的に計算することで解決した。複数サンプル（HRP2、PA10、KATANA、・・・）で実証。</p>
--	---

(2)目標の達成度

表 3.1.3.2～3.1.3.5～に各コンソの中間目標達成度を列挙する。中間目標は、すべて達成している。

表 3.1.3.2 IDEC 中間目標達成度

基本計画分類	知能モジュール	中間目標	達成状況
教示支援	a.概略座標補正・設定機能による教示支援知能モジュール群 b.詳細座標補正機能による教示支援知能モジュール群 c.無線安全信号処理知能モジュール群 1)ロボットコントローラ制御RTC(ロボットとのI/F機能全般) 2)安全信号制御RTC(安全信号とのI/F機能全般)	教示作業時間が従来に比べ2/3以下に低減されること。	<b>達成</b> 垂直6軸ロボット基本動作モデル(IDECC製スイッチの組立システム)において、研究成果の導入前後で実際の教示作業時間が2/3以下に低減されることを実証する。
チヨコ対応	d.詳細座標補正機能によるチヨコ停車回避知能モジュール群 e.チヨコ時の部品撤去・再スタート処理知能モジュール群	エラー状態認識信号を擬似入力したとき、エラー状態から正常状態へ復帰すること。その際、形状(3種類以上)・材質(2種類以上)が異なる複数の作業対象物を用いて検証すること。	<b>達成</b> 垂直6軸ロボット基本動作モデル(IDECC製スイッチの組立システム)において、実際に組み立てを行っている動作において発生するチヨコ停から自動復帰する様を形状(3種類以上)・材質(2種類以上)が異なる複数の作業対象物を検証できることを実証する。
認識	3)カメラ制御・画像処理RTC(画像処理に関連する機能全般)	形状・材質が異なる10種類の作業対象物の位置・姿勢がそれぞれ5秒以下でロボストに認識できること。	<b>達成</b> 垂直6軸ロボット基本動作モデル(IDECC製スイッチの組立システム)にて、使用可能な3種類の画像処理システムにおいて、形状・材質が異なる10種類の作業対象物の位置・姿勢がそれぞれ5秒以下でロボストに認識できることを実証する。

表 3.1.3.3 三菱電機中間目標達成度

基本計画分類	知能モジュール	中間目標	達成状況
教示支援	①オフライン教示支援(三菱電機・京都大学) ②オンライン教示支援(三菱電機・京都大学)	教示作業時間が従来に比べ2/3以下に低減されること。	<b>達成</b> ロボット手先の作業状況を直感的に作業者に提示する複合情報GUI機能の有無により、検証システム内の特定箇所の教示作業を例題とする被験者試験(のべ10人、51試行)を実施し、作業時間が2/3に短縮されることを確認。
予備対応	②オンライン教示支援(三菱電機・京都大学)	エラー状態認識信号を擬似入力したとき、エラー状態から正常状態へ復帰すること。その際、形状(3種類以上)・材質(2種類以上)が異なる複数の作業対象物を用いて検証すること。	<b>達成</b> 検証システムで組み立て対象とする小型電機製品の部品のうち、材質3種類、形状8種の部品について、把持に関する擬似エラー擬似信号を発生させ、エラー状態の検知と正常状態への復帰が達成されることを確認。
認識	①部品ピッキング用物体認識(三菱電機) ②ハイブリッド視覚補正(三菱電機) ③エラー検知用視覚(三菱電機)	形状・材質が異なる10種類の作業対象物の位置・姿勢がそれぞれ5秒以下でロボに認識できること。	<b>達成</b> 検証システム上で、ばら置き状態の遮断器2種類の部品(材質4種、形状10種類の部品(計28個))について、平均1秒以下、繰り返し精度±0.3mm以下の認識性能を確認。

表 3.1.3.4 安川電機中間目標達成度

基本計画分類	知能モジュール	中間目標	達成状況
作業計画	作業計画モジュール、音声対話モジュール(九工大)	作業計画を立てる上で情報が不足している作業指示(例えば、作業対象物の置かれている場所情報が与えられていない)を3つ以上認識し、ロボットが実行可能な具体的な作業計画を立てること。	<b>達成</b> 「作業計画を立てる上で情報が不足している作業指示を3つ以上認識する」という中間目標に対し、①対話による情報の補充、②照応詞(それ、あれ)を活用した補充、③環境情報の問い合わせによる補充の処理により情報不足を補うことができ、不足した情報を補充した後3つ以上の命令に対応した作業計画スクリプトを読み込みインテリジェントによりアームモジュール等へ指示をすることを達成した。今後、知能モジュールの評価・改善と作業計画スクリプトの作り込みを行い中間目標を達成する見込みである。
位置管理	三次元環境計測モジュール、環境情報構造化知能モジュール(九工大)	作業対象物が置かれている位置を管理し、その場所(テーブル上、収納庫内等)を提示できること。また床のように広い場所の場合、500mm以下の精度で位置が提示できること。管理する作業対象物は6つ以上であること。	<b>達成</b> 「作業対象物が置かれている位置を管理し、その場所(テーブル上、収納庫内等)を提示できること。また床のように広い場所の場合、500mm以下の精度で位置が提示できること。管理する作業対象物は6つ以上であること」という中間目標に対し、収納庫やテーブルに設置して物品の出納を計測する重量センサシステムとタグリーダシステムを開発済みである。作業対象物に電子タグを付加すれば、重量センサシステムとタグリーダシステムを用いて収納庫内の4つ以上の物品を同時に識別・管理できることを確認している。また、環境に配置したLRFやカメラを用いて、屋内を移動する人間やロボットの位置を500mm以下の精度で計測できることを確認しており、今年度中に中間目標を達成する見込みである。
作業対象物認識	認識モジュール、撮像モジュール、画像表示モジュール(産総研)	距離が500mm離れた位置から広さ500mm×500mmの領域に置かれた6種類以上の形状が異なる作業対象物に対して、マニピュレーションに必要な情報(種類、位置・姿勢等)を認識し、提示できること。作業対象物が重なった状態で置かれている場合、一番上にある作業対象物の情報を提示できること。	<b>達成</b> 「距離が500mm離れた位置から広さ500mm×500mmの領域に置かれた6種類以上の形状が異なる作業対象物に対して、マニピュレーションに必要な情報(種類、位置・姿勢等)を認識し、提示できること」という中間目標は達成しており、「作業対象物が重なった状態で置かれている場合、一番上にある作業対象物の情報を提示できること」については今年度中に達成する見込みである。
対人作業	ハンドモジュール(産総研) 把持形態選択モジュール、把持動作計画モジュール(産総研) 対話モジュール(九工大) アーム制御モジュール、移動体制御モジュール、腰制御モジュール(安川電機)	6種類以上の形状が異なる作業対象物に対して、下記のマニピュレーション機能を4つ以上実行できること。またそれらを組み合わせ、作業対象物の移動作業を行うこと。さらにマニピュレーション中に新たな作業指示(中断、停止、変更)が出た場合は、作業計画を変更し実行できること。	<b>達成</b> 「(イ-1) 開放的な場所や床に置かれた作業対象物を取り上げる」、「(イ-2) 開放的な場所に作業対象物を置く」という中間目標に關し、7種類の形状が異なる作業対象物に対して動作を確認した。「(ハ-1) 閉鎖的な場所から作業対象物を取り出す」、「(ロ-2) 人へ作業対象物を手渡す」という中間目標に關しては、相関法による3次元距離計測モジュールと手の位置の計測の利用を進めており、今年度中に達成する見込みである。「マニピュレーション中に新たな作業指示が出た場合は、作業計画を変更して実行できること」という中間目標に關しては、その動作を確認した。

表 3.1.3.5 東芝中間目標達成度

基本計画分類	知能モジュール	中間目標	達成状況
作業計画	・実時間プランニングモジュール ・知識・情報管理モジュール	作業計画を立てる上で情報が不足している作業指示(例えば、作業対象物の置かれている場所情報が与えられていない)を3つ以上認識し、ロボットが実行可能な具体的な作業計画を立てること。	<b>達成</b> テーブル上にある各皿に関して、大きさ、位置、向き、トレーに載っているか否かが不明で、かつ、それらの皿を片付ける場所(トレー上のどの位置に置くか)が不明な状態で、能動的に必要な情報を認識して、皿をトレー上の適切な場所に片付ける作業計画を立てることができる。
作業対象追跡・位置管理	・環境サーバ、 ・位置管理モジュール	作業対象物が置かれている位置を管理し、その場所(テーブル上、収納庫内等)を提示できること。また床のように広い場所の場合、500mm以下の精度で位置が提示できること。管理する作業対象物は6つ以上であること。	<b>達成</b> 環境サーバ、位置管理モジュールにより、オブジェクトの位置を管理可能。APIにより、座標データの登録・提示、及び複数の座標系の登録が可能になっている。データは、要求された座標系での提示が可能である。
作業対象物認識	・物体センシングモジュール(ステレオ構円画像認識) ・作業対象物認識モジュール	距離が500mm離れた位置から広さ500mm×500mmの領域に置かれた6種類以上の形状が異なる作業対象物に対して、マニピュレーションに必要な情報(種類、位置・姿勢等)を認識し、提示できること。作業対象物が重なった状態で置かれている場合、一番上にある作業対象物の情報を提示できること。	<b>達成</b> ステレオ構円画像認識モジュールと、「Bag of Keypoints」を使った特徴点ベースの画像認識で、6種類の食器を認識し、位置、姿勢を出力することが出来る。これらの認識は、距離が500mm離れた位置から広さ500mm×500mmの領域に対して行う。上記、出力をマニピュレータに伝え、把持動作を行うことが出来る。
対人作業	・マルチモーダルインタラクションモジュール ・サービス記述実行モジュール	6種類以上の形状が異なる作業対象物に対して、下記のマニピュレーション機能を4つ以上実行できること。またそれらを組み合わせ、作業対象物の移動作業を行うこと。さらにマニピュレーション中に新たな作業指示(中断、停止、変更)が出た場合は、作業計画を変更し実行できること。	<b>達成</b> 6種類の食器に対して机から食器を取る、籠へ食器を入れる、机に食器を置くという3つのマニピュレーション機能を用いた片付け作業のデモを実現した。さらに、人間のジェスチャー・音声による指示から作業を中断・停止・変更するデモを実施した。現在、これらに追加して人から食器を手渡しで受け取る作業、作業不能時に人とのインタクシオンを通して作業計画を遂行し片付け作業を実現可能である。

3.1.4 移動領域における研究開発成果

各グループの成果および達成度を表 3.1.4.1 にまとめた。

表 3.1.4.1 移動領域における研究開発成果および中間目標の達成度

	(1)開発したモジュール群	(2)有効性検証およびその結果	(3)目標の達成度
移動ロボット用基本知能のモジュール化	15モジュール開発、うち6モジュール(動作計画管理、環境地図情報管理、生体スキャンデータによる自己位置補正、走行制御、自己位置管理、障害物回避)はRTC化を実施した。	開発したモジュールを統合し、屋内・屋外環境にて実移動ロボットのナビゲーション実験および評価を実施した。中でも「つくばチャレンジ」においては8月から11月の期間で天候・日照時間も様々であり、一般の公道で人のいる環境での試走会にて1km走破した。これにより各モジュールの有用性が明らかになり、また、各モジュールの更なるロボast化が進んだ。	基本計画に則った実施計画書のスケジュールの計画をやや前倒しにて達成している。
動的視覚認識に基づく移動知能モ	共通基盤画像認識デバイスを用いたLinux版画像認識モジュール、画像ランドマークを利用した自己位置認識モジュール	個別モジュールについては、計算機上の模擬環境でのシミュレーション、実環境のセンサ情報によるシミュレーシ	個別モジュールの開発では、目標機能の達成をシミュレーシ

<p>ジュール群の研究開発</p>	<p>ル、障害物の存在確率を表現した地図を自動生成・管理するモジュール、静止障害物と動的障害物の両方を避け目標地点へ向かう行動を計画するモジュール、ヒューマノイド移動時に頭部で発生する3次元揺動を計測し、補正する自己位置認識モジュール群、移動知能ロボットを構築・運用するために有益な機能を提供する移動知能用RTミドルウェアを開発。</p>	<p>ョン検証、実験用ロボットへの搭載による模擬環境での検証を実施。</p>	<p>ン、実ロボットでの検証を完了しており、今年度中に個別モジュールを結合した機能単位のモジュール群を実験用ロボットに搭載し、10ケースを越える環境を設定し模擬環境での検証を完了する。</p>
<p>環境情報を共有するロボットGISに関する知能モジュール群の開発</p>	<p>RgisOperator RTC: 空間情報DBへのアクセスや可視化地図生成(GoogleMap等)、各種R-GIS機能の提供。 MapManagement RTC: 移動ロボットが、R-GISに接続するためのサンプルRTC、ソース公開を予定。 ActionPlanning RTC: 移動ロボットが、移動指令を受けるためのサンプルRTC。 TS(トータルステーション)モジュールRTC: 公共座標系とロボット作業座標系との変換や自己位置推定機能を提供。 移動ロボット用RTC群(OpenINVENTを参考)。 障害物検知モジュールRTC(予定)。 自己位置推定モジュールRTC(予定)。</p>	<p>ソフトウェアPF(OpenHRP3)上での検証(内覧会で実施。但し、R-GIS RTCは、開発を継続中(α版)のため、OpenHRP3環境での検証ツールも順次更新しており、場合によっては、古い版は、破棄もありえる)。仮想的なモデル上では、R-GIS RTC(または、機能)の有効性は、検証されつつある。但し、基本的に、R-GISは、ある実体と共に利用されるものであり、SW-PF上での単独での検証は不可能。SW-PFでの仮想モデルと、実機実験との比較による有効性検証を推進予定。R-GIS 実証実験環境(福岡市人工島内の中央公園)での実機(RTC化された車いすロボット)による検証を推進中(2009/6/26に、一部、公開デモ実施)。(予定)R-GISコンセプト説明のためのLEGOを用いたスケールモデル検証(屋内実機デモを想定)。(予定)つくばチャレンジ2009でのR-GIS 地図データ and/or R-GIS RTCを用いた移動ロボット制御(移動知能SWG2主査、油田先生を経由して、協議中)。</p>	<p>RTC化の前倒し、ソフトウェアPF(OpenHRP3)上での検証の前倒し。H19～H21の目標は、ほぼ達成予定。</p>
<p>移動・作業知能のため</p>	<p>ロボットの制御用モジュール及び知能モジュールの開発を行い、視覚に基づくロ</p>	<p>検証用システムとして、富士通サービ</p>	<p>人間共存環境におけるサービスを実現す</p>



<p>の視覚に基づくロボットな知能モジュール群の開発</p>	<p>バスタな知能モジュールとして対人追従移動を実現した。天井画像を用いた自己位置推定に関しては、RTC再利用センサーにソースコードの提供を行った。また、日本SGI社や国際電気通信基礎技術研究所よりコンポーネントの提供を受け、コンポーネントの接続性等の検証を行っている。</p>	<p>Segway-RMPにRTコンポーネントでの制御が可能な知能モジュール統合プラットフォームを構築し、検証デモにて対人追従コンポーネントを各ロボットに接続し、再利用性を検証した。</p>	<p>るため、各機能の基本性能の向上を行い、屋内外を問わない視覚機能を実現した。これら主要な機能のコンポーネント化は完了しており、H21年度末にはこれらの機能を連携してサービスを実現する見込みである。</p>
<p>オフィスビル移動ロボットの知能化</p>	<p>オフィスビル等の清掃に必要な直進制御モジュール、旋回制御モジュール、エレベータ自動乗降モジュール、走行プログラム自動生成(第1フェーズ)を開発した。走行プログラム自動生成の第2フェーズで、CADから自動的に走行プログラムを生成するモジュールを開発予定。</p>	<p>開発したモジュールを自社清掃ロボットに搭載し晴海トリトンスクエアや神田和泉町ビル等、実際のオフィスビルにおいて走行試験を行い実用に耐える性能を得た。</p>	<p>自己位置認識に関する知能モジュール群及び安全移動制御に関する知能モジュール群について中間目標の目標値を達成した。</p>
<p>高速移動知能(公共空間分野)の研究開発</p>	<p>車両(高速移動知能)を支援するための情報を作り出す以下の知能モジュール群を開発した。 交通状況認知知能モジュール群(交通情報認知、省エネ情報認知、危険情報認知、車両情報取得) 知識共有知能モジュール群(情報流布知能モジュール、通信知能モジュール) 交通支援知能モジュール(セルマッピング知能モジュール、知識統合知能モジュール)</p>	<p>通信、GPSとJavaアプリの動作する評価装置を製作し、この上で開発した知能モジュールを評価した。有効性検証は、車両に搭載して、公道上で実施するフィールド評価と、専用シミュレータ上で多数の高速移動知能の動作を検証するシミュレーションとで実施し、中間目標達成を検証した。</p>	<p>中間目標達成度 100% 最終目標も一部開発が完了。RTC化は一部(車両情報、通信、セルマッピング)完了。残りは、当初計画通り今年度中に完了予定。</p>
<p>自律と操縦が融合したインテリジェント立ち乗り電動モビリティシステム</p>	<p>a) 各種台車モジュール群など: 再利用性を考慮した複数の台車(プラットフォーム)での動作を実現し、プロジェクト内外へ評価版を配布済(セグウェイジャパン) b) 自律移動モジュール群など: 再利用性を考慮した開発を行い、プロジェクト内外へ評価版を配布済(東北大学)</p>	<p>a) 先行発表・検証デモにて開発したモジュールの公開とデモンストレーションを実現 b) つくばチャレンジ2008にて開発したモジュールの実証実験を行い、競技でも好成績を収める c) 一部モジュールをプロジェクト</p>	<p>成果は中間目標を達成する見込みであり、最終目標に対して順調に開発が進捗している</p>

	<p>c) 自己位置認識・地図情報管理モジュール群など：再利用性を考慮した開発し、屋外の公共機関での動作実験を実施 (IRS)</p> <p>d) フォーマーション制御モジュール群          なお：複数のプラットフォームでの動作を実現(京都大学)</p>	<p>内・外へ評価版を配布し有効性の検証を実施</p>	
<p>搭乗用移動知能およびその構築を簡便にするモジュール群の開発</p>	<p>搭乗型移動ロボットに必要な知能モジュール群、1) 障害物回避知能、2) ucode 環境インフラや R-GIS と連動するナビゲーション知能、の開発に加え、移動知能ロボットの構築支援技術として 3) 多モータシステムを容易に構築可能なモータコアユニット、4) OS を必要しない組込環境で R T ミドルウェアを利用可能とする RTC-CANopen、5) 組込リアルタイム OS として広く利用されている TRON (T-Kernel) で稼働する R T ミドルウェア環境、のプラットフォーム群を開発している。上記の知能モジュールは、移動 SWG1 で仕様策定を行っている共通 IF に則り実装されている。</p>	<p>東京ユビキタス計画における銀座地下街 (準公道)、検証デモにおける搭乗型移動ロボットを用いた実証実験や先行共同デモにおける移動 SWG1 共同で共通 IF 実証実験を行うことで有効性の検証を行った。その結果、設定した目標を達成可能であることを確認した。</p>	<p>基本計画に示されている移動知能モジュールに関する目標を達成するだけでなく、移動 SWG1 において共通 IF 仕様を策定しそれに則って実装することで相互利用性を向上させた。また、独自に移動知能ロボット構築支援プラットフォーム群の開発も行い目標以上の成果を達成している。</p>

### 3. 1. 5 コミュニケーション領域における研究開発成果

#### (1) 開発したモジュール群

コミュニケーション知能として開発したモジュールのうち、特筆すべきものを下記に述べる。なお、詳細かつ網羅的な記述については、6 章において事業体ごとに記述する。

まず「社会分野」では、状況認識モジュール、音声認識モジュール、発話区間推定モ

ジュール、顔動作推定ジュールなどを開発した。これらはすべてR Tコンポーネントの仕様に準拠したジュールである。状況認識ジュールは、ロボット前方5 m以内について、同時に最大10人程度の人の位置座標と共に、「歩いている」「走っている」などのラベル付けされた人の行動情報を出力する。状況認識ジュールについては、本プロジェクト内の作業知能（安川電機）および移動知能（奈良先端大学）でも利用を検討している。音声認識ジュールおよび発話区間推定ジュールは、顔画像（口の開閉）と音声を併用することにより雑音に頑健に発話区間を検出し、これにより社会分野のサービスの環境下で起こる雑音に頑健な音声認識可能なジュール群を開発することができる。音声認識ジュールについては、本プロジェクト内の作業知能（東芝）、移動知能（筑波大学、奈良先端大学）および高速移動知能（慶應大学）でも利用を検討している。顔動作推定ジュールは、複数人がロボットの前にいる状況でもそれぞれの人の顔を認識し、顔動作推定が可能なジュール群であり、社会分野に向けたジュールを構成できる。

次に「生活分野」では、音声認識ジュール、話者認識ジュール、人物状況検知ジュールなどを開発した。これらはすべてR-Tコンポーネントの仕様に準拠したジュールである。音声認識ジュールは、ワイドレンジ音声入力ボードを用いて離れた場所からの認識が可能であること、高齢者対応の音響モデルを実装し、高齢者層の認識精度を向上していること、雑音抑圧機能として2マイクノイズキャンセラ、エコーキャンセラを搭載（それぞれR Tコンポーネントとして実現）していることにより、「生活分野」の周囲雑音（特に後方）が存在する状況下での幅広い年齢層の発話者に対するロバスト性を向上している。本ジュールは、既に他のコンソーシアムが利用している音声認識ジュールデバイスと比べて、大規模な音声認識用辞書を搭載可能であり、またエコーキャンセラ機能の搭載、また今後は子供対応の音響モデルの搭載を予定しているなどの点で高度化を実施しており、音声認識ジュールデバイスを置き換える形で利用してもらうことを検討している。話者認識ジュールは、音源方向検出、顔検出、音声認識の結果を統合することで、ロボットにとっての話者とその発話内容を同定するジュールである。人物状況検知ジュールはビデオカメラ映像とRFIDを併用して、ロボットの周囲に存在する人物の検出と同定を高速かつ高精度に行うジュールである。

さらに、九州工業大学では、音声認識ジュールと発話推定ジュールを開発した。音声認識ジュールは、精度向上のために、複数の音声認識器を統合的に扱う枠組みで実装されている。「それ」や「あれ」などの照応詞を含む発話にも対応が可能である。照応解析を除く部分についてはコンポーネント化済みである。照応解析を含む音声認識ジュールについては現在コンポーネント化中である。発話推定ジュールは、動画像と音声をもとに画面に映っている人物が発話中かどうかを推定する。動画像のみを利用するジュールはコンポーネント化済みである。音声も含めたジュールについてはコンポーネント化中である。

また、首都大学東京では、音声認識ジュールとジェスチャ認識ジュールを利用し

た、マルチモーダルインタラクションモジュールを開発した。マルチモーダルインタラクションモジュールは、ジェスチャ認識モジュールから得られる指差し方向の情報（ノンバーバル）と、音声認識から得られたオブジェクト名やコマンド情報（バーバル）から、作業指示対象と作業内容を認識する。これにより、作業の開始・中断・変更・停止を認識することができる。ジェスチャ認識モジュールおよび音声認識には共通基盤プロジェクトで開発された画像認識用モジュールおよび音声認識モジュールを利用している。

以上のように、様々な環境・分野にロボタストに対応することができるコミュニケーション知能モジュールが着実に開発されている。コミュニケーション知能を利用する開発者は、これらのモジュールをリファレンスモデルに従ってロボットシステムに組みこむことができるので、リファレンスモデルの中のモジュールを取り替える手段によれば、異なる適用先においても高いコミュニケーション能力を備えたロボットシステムを容易に構築することができる。

## (2) 有効性検証およびその結果

「社会分野」においては、「聞く・見る・話す」機能に関連する基本モジュール群を開発し組み合わせることにより、道案内タスクを実行するロボットシステムを実現した。このロボットシステムでは、ロボットに命令を与えるのではなく、例えばロボットが「こんにちは、どこかへ案内しましょうか？」と問いかけ、これに対しユーザが「トイレはどこ？」と尋ねると、ロボットが身振りを交えて「トイレならあっちの方にあるよ」と応えるように、ユーザと会話によるインタラクションを行い、「トイレ」、「コンビニ」、「喫茶店」など10種類の場所を案内する。検証実験では、背景雑音が65dBAの際、およそ75%の精度でユーザとのインタラクションが成立した。また、モジュールの再利用性も確認し、3種類のロボット（子供サイズのRobovie II、デスクトップ用の小型サイズのRobovie mini-R2、バーチャルのwakamaru simulator）で、開発したモジュール群が同様に動作することを確認した（対話利用モデルの検証に対応）。

「生活分野」においては、開発したモジュールのうち、11種類のRTコンポーネントとシナリオを組み合わせ、対話ロボットシステムを実現し、検証デモにてモジュールの有効性を検証済みである。対話シナリオとしては、相当の音声コマンドに応答する基本対話（コマンド利用モデルの検証に対応）と複数人物と対話中の割り込みを許容するやや複雑な対話シナリオ（対話利用モデルの検証に対応）を実装し、認識性能、応答速度など問題が無いことを確認している

九州工業大学で開発された音声認識モジュールと発話推定モジュールは、検証デモにおいて有効性を検証済みである（コマンド利用モデルの検証に対応）。音声認識モジュールは、安川電機様に提供し動作検証を進めている。首都大学東京で開発されたマルチモーダルインタラクションモジュールは、バーバル・ノンバーバル知的融合により、作業の中断・停止が可能であることを検証デモにおいて検証済みである（コマンド利用モデ

ルの検証に対応)。2009年5月行われた第12回組込みシステム開発技術展においても発表を行った。

(3) 目標の達成度

中間目標の達成度については表 3.1.5.1 に示した。

表 3.1.5.1 コミュニケーション知能領域における中間目標の達成度

大分類	小分類	中間目標	達成度	
			社会分野	生活分野
① 環境・状況・対象認識知能モジュール群	(a) 環境・状況認識に関する知能モジュール群	ロボットの前方5m以内の人物の配置を70%以上の精度で検出。	達成済。 5m以内 99%以上	H21年度末・達成見込み。
② 対話支援知能モジュール群	(a) 音声認識モジュール群	BGMが聞こえるスーパーや、TVがついているリビング等の実用的な環境において、子供や高齢者を含む不特定話者の音声を70%以上の精度で認識。	65dBAの騒音環境下で75%以上を達成済。	達成済。
	(b) 音声合成モジュール群	子供や高齢者を含む不特定の相手とのコミュニケーションにおいて、70%以上の精度で内容を伝達。	達成済。	H21年度末・達成見込み。
	(c) 行動理解に関する知能モジュール群	「人の身振りや仕草の認識により人の指示や意図を理解する技術」「人の表情や非言語の発声の認識により人の理解度や感情を認識する技術」について、それぞれ少なくとも3種類の要素の認識技術を開発し、実用的なロボットタスクの実証実験で効果を実証。「ロボットの形状や仕草により、人に適切に情報やロボット	達成済。	3種類の表情認識と2種類の身振り認識を達成。残り1つの身振り認識とそれらの実証に関してはH21年度末・達成見込み。

		の状況を伝える技術」に関しては、仕草を伴う効果をユーザへのアンケートで実証。		
③ 対話制御知能モジュール群の開発	(a) 対話コンテンツ管理モジュール群	200以上の対話コンテンツを格納でき、また状況に応じて対話コンテンツを選択する機能を保有。	達成済。	達成済。
	(b) 対話制御モジュール群	選択された対話コンテンツのフローを制御し、初心者ユーザに対して70%以上の成功率でタスクを達成。	達成済。 商品説明タスク成功率 93%。	H21年度末・達成見込み。
④ 対話管理等知能モジュール群の開発	(a) 対話対象同定モジュール群	100人を対象に80%以上の精度で人物を同定。	達成済。 500人を対象に認識率 99.6%。	達成済。
	(b) 対話履歴管理モジュール群	100人以上の対話履歴を管理し、その履歴から得られた情報を対話に反映する機能を保有。	達成済。	対話履歴管理は達成済。対話への反映についてはH21年度末・達成見込み。

## 3.2 成果の検証

### 3.2.1 研究開発成果の見える化

本プロジェクトの研究開発成果の基本は知能モジュールの蓄積である。知能モジュールの数は計算できるが、種類や機能・性能の検証には困難が伴う。ソフトは見えないものであり、厳密で正確な検証を規定するとそれに時間をとられて効率的ではない。そこで、成果の「見える化」を行って事業体の進捗を確認した。今回の「見える化」は進捗の目安でしかないが、実際に動くシステムに知能モジュールを搭載して動作させることにより、早期の状況確認や事業体内での認識共有にも役立つものであった。図 3.2.1.1 に「見える化」による進捗確認例を示す。なお、図中の丸数字は図 2.2.1 の研究開発項目の分類を示す。

**②三菱電機 ロボットセル産業用ロボットで実証**



**②IDEC セル生産ハンド**



**③安川電機 施設内生活支援ロボットサービスロボット実機で実証**



**③東芝 テーブル片付作業検証実験を実施**



**④筑波大 移動ロボット用基本機能つくばチャレンジで実証**



**④富士通 商用施設混雑環境移動ロボットサービスロボットに搭載して実証実験**



**④奈良先端大 移動作業ロボ対人追従、指示物体の認識・把持ロボットに搭載して実験**



**④富士重工 清掃ロボット実環境で実証実験**



**⑥セグウェイ 立乗りモビリティ**



**⑥芝浦工大Gr 搭乗用移動知能**



**⑥ATR ショッピングモールロボ**



**⑥NEC 家庭・生活コミュニティロボ**



図 3.2.1.1 「見える化」による研究開発成果の可視化例