

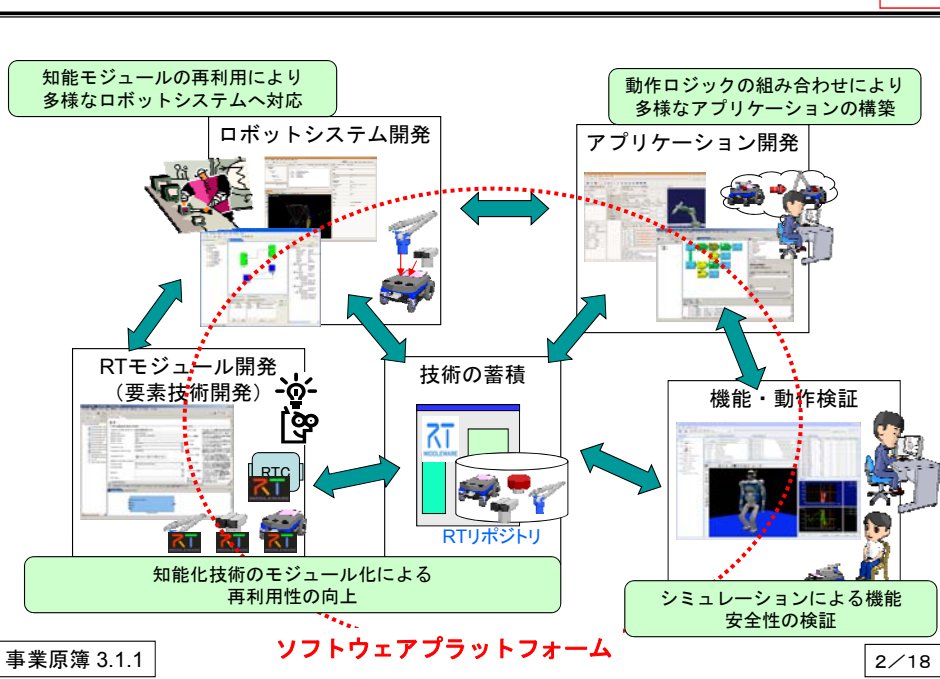
経済産業省  
ロボット・新機械イノベーションプログラム  
「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」  
事後評価分科会資料

ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発  
ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの研究開発

(独)産業技術総合研究所、日本電気(株)、  
(株)セック、ゼネラルロボティクス(株)、  
(株)前川製作所、国立大学法人 東京農工大

1. 研究開発の概要 (1) ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム概要

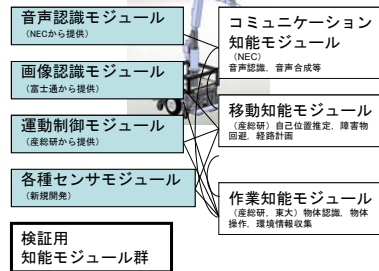
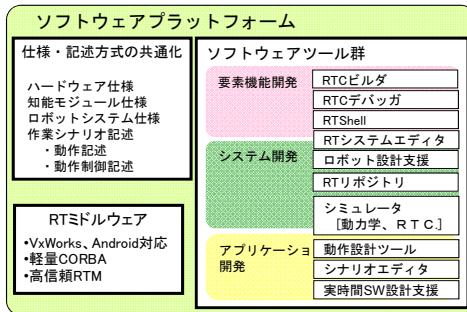
公開



1. 研究開発の概要 (1) ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム 開発項目 公開

- 次世代ロボットシステム開発のための開発環境
  - 仕様の共通化およびモジュール化による再利用性の確保
  - 要素機能・システム・アプリケーションの開発を統合支援するツール群
- ソフトウェアプラットフォームの検証
  - 検証用ロボットシステム
    - 介助犬の作業を想定した知能モジュール群
    - 電動移動台車とマニピュレータをモジュール化し装備したリファレンスハードウェア

H21年度に検証用システムの研究開発は終了



- プロジェクトで開発されたRTCのドキュメント作成
- 統合検証ロボットシステムの支援

3. 研究開発成果について (3) 目標の達成度 公開

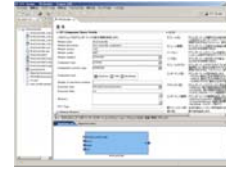
研究課題	最終目標(平成23年度末)	達成内容	達成度
ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム	次世代ロボットシステム応用ソフトウェアの開発が、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームを用いて <b>効率よく実施されること</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•統合開発環境であるEclipse上に実装することで、すべての作業をシームレスに実現できるように設計し、<b>ツール群の基本機能を達成している。</b></li> <li>•rtshellによるCUIベースの開発もサポート。</li> <li>•ホームページ、ML、フォーラム等を利用した開発支援</li> <li>•講習会などを実施し、ツールの利用を推進</li> </ul>	◎
	本プロジェクトで開発される、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のすべてが、 <b>ロボット知能ソフトウェアプラットフォームに組み込み可能となること</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•リファレンスハードウェアの開発</li> <li>•<b>検証用知能モジュール群による検証を実施。</b></li> </ul>	◎
	次世代ロボットシステムの設計を支援する機能が、 <b>ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム上に実現すること</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•RTリポジトリを中心とした、知能モジュール群の再利用環境の構築。</li> <li>•ロボット知能ソフトウェアプラットフォームのツール群を活用し統合ロボットシステム開発支援(<b>加速案件のベースロボットシステムのコントローラの開発</b>)</li> </ul>	◎

### 3. 研究開発の顕著な成果 (AIST)

公開

#### • RTコンポーネントビルダ

- コンポーネント基本的仕様を入力とし、コンポーネントの雛形コードを自動生成  
(C++, Python, Java, .NET対応)
- OMG標準仕様準拠の初のRTC統合開発環境



#### • RTシステムエディタ

- コンポーネント間の静的接続を作成する
- コンポーネントの状態の制御
- 動的なシステム構築を可能にし、世界最高水準の開発環境



#### • RTShell

- コマンドラインでRTコンポーネントやRTシステムが制御可能
- スクリプト等でRTCやRTSの管理、テストを自動化可能

•RTコンポーネント開発とロボットシステム開発の基本となるツール群  
•プロジェクト内外で多くの利用者あり

事業原簿 3.1.1 ①(b-1),(b-3)

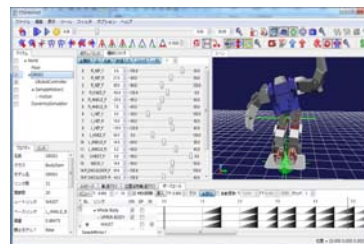
5/18

### 3. 研究開発の顕著な成果 (AIST)

公開

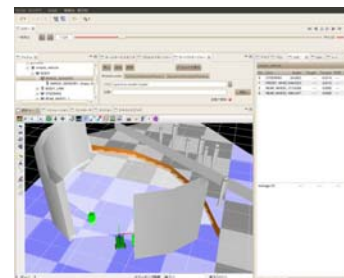
#### • 動作パターンツール

- キーフレームによる動作パターンの作成機能
- プラグイン機能拡張により、様々な機能拡張
  - 独自の動作生成アルゴリズムの組込
  - 動作指令用インターフェース(把持動作計画モジュールなど)
- フルC++実装による高速動作



#### • 動力学シミュレータ

- ロボットに搭載されたカメラやレンジセンサ、力センサなどの各種センサのシミュレーションが可能
- Eclipseプラグインとして実装されたユーザインタフェース
- ロボットや環境モデルはVRML97で記述
- 移動ロボットの経路計画を行う移動動作設計ツールを内蔵
- シミュレータを構成する運動学計算、動力学計算、干渉検査機能などをC++のライブラリとして提供



事業原簿 3.1.1 ②(b),(C)

6/18

3. 研究開発の顕著な成果（セック）

公開

- RTコンポーネントデバッガ
  - RTコンポーネントのテストツール
    - RTコンポーネントの**テスト効率向上、品質向上**に寄与。
- RTミドルウェアの各種OS/言語対応
  - .NET対応RTミドルウェアOpenRTM.NET
    - **学習や導入が容易**でRTミドルウェアの裾野拡大に貢献。
  - VxWorks版RTミドルウェア
    - 安川電機のロボットアーム、移動台車に適用。商用のリアルタイムOSに対応し、**産業用ロボットへの適用**も可能。
  - Android版RTミドルウェア
    - ロボットの**遠隔操作・監視**端末、**センサネットワーク**への応用が期待できる。
  - 機能安全対応RTミドルウェア
    - IEC61508の製品認証(予定)に対応した**世界初の機能安全対応**ミドルウェア。(詳細については別途報告)



事業原簿 3.1.1 ①(b-2),(c-1),(c-3)

7/18

3. 研究開発の顕著な成果（セック）

公開

- RTコンポーネントシミュレータ
  - 各種センサのRTコンポーネントおよび、OpenHRP3上で動作するセンサシミュレータを開発
    - 距離センサ、加速度センサ、力覚センサ、ネットワークカメラ、GPSセンサなどの**汎用的なセンサのRTコンポーネント**を提供。



- 分散型データベース
  - RTコンポーネントやRTシステムの仕様と実行バイナリを格納・提供するRTリポジトリを開発
    - OMGのDDC4RTCのRepositoryManagerの仕様として**標準化提案**を実施。

事業原簿 3.1.1 ②(c-2), ③(b)

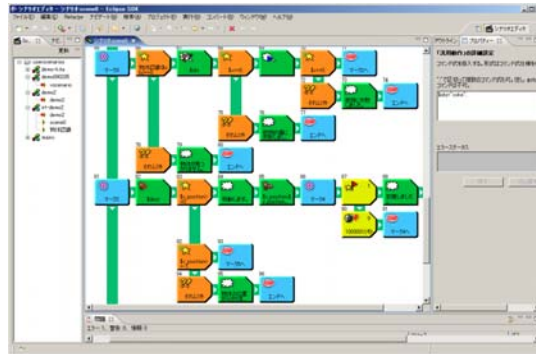
8/18

3. 研究開発の顕著な成果 (NEC)

公開

シナリオエディタ

- 複数のRTコンポーネントを使役するアプリケーションを作成するためのロボット作業シナリオの編集機能とその実行機能を提供
- ブロックを組み合わせることでプログラムの知識の無いユーザでも簡単にロボットの作業を組み立てていくことができる。
- RTCを使役するロボットアプリケーションの開発を容易にする。小規模（簡単なデモ）から中程度（大量だが定型的な業務）の開発に適する。
- シナリオ実行系と接続するためのRTミドルウェアの上位ライブラリも実現



事業原簿 3.1.1 ②(a)

3. 研究開発の顕著な成果 (GRX)

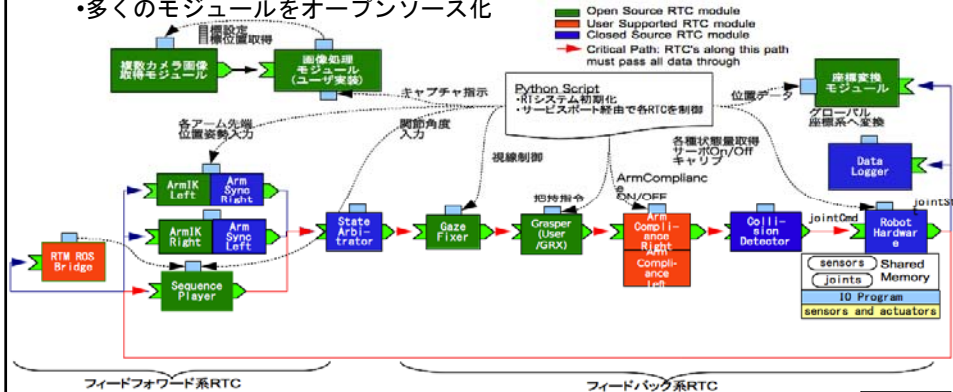
公開

双腕ロボット用ソフトウェアコントローラ

- 再生動作の中途切り替え機能
- RTMの強みを生かした実時間動作
- RTM-ROS相互乗入れに対応
- 多くのモジュールをオープンソース化

ライセンス

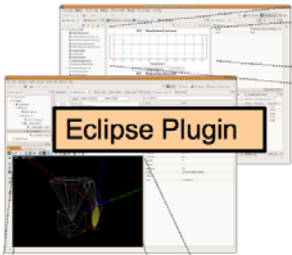
- 国内外に販売予定
- オープンソース部分については非商用利用の場合はEPL1.0を適用



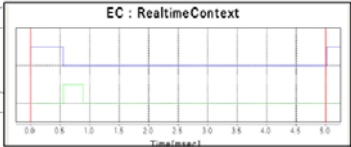
事業原簿 3.1.1 ②(e)

3. 研究開発の顕著な成果 (GRX)

公開



**■ 実時間ソフトウェア設計ツール**

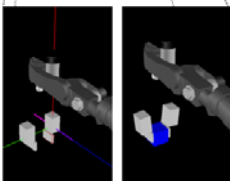


EC: RealtimeContext

- OS付属プロファイラの簡易代替ツール
- 実時間処理部の挙動を可視化
- 非商用利用についてはEPL1.0を適用

URL: <http://openrtm.org/openrtm/ja/project/rtswconfigurator>

**■ ハードウェア設計支援ツール**



- 簡易モデルの作成
- シミュレーション上でのテスト
- 実機作成前の仕様検討に利用
- OpenHRP3と共にオープンソース化済み(EPL1.0)

URL: <http://code.google.com/p/openhrp-aist-grx/>

事業原簿 3.1.1 ②(d), ③(a)

11/18

3. 研究開発の顕著な成果 (前川製作所)

公開

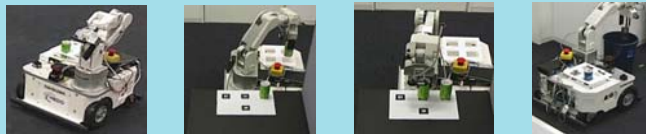
・リファレンスハードウェア

・ロボット知能ソフトウェアの検証のための標準プラットフォームとして開発

- ・シリアルリンク型6軸マニピュレータユニットと電動台車ユニットで構成。
- ・マニピュレータユニットはモータ用制御機器をすべて本体に内蔵させてモジュール化、電動台車ユニットと分離して個別に運用可能。
- ・マニピュレータユニット、台車ユニットともに80W未満のモータを採用。



- ・試作1号機~3号機を合計18台開発し、産総研、RTC再利用技術研究センターをはじめ知能化PJ参画機関(合計9機関)に貸与。
- ・RTC再利用技術研究センターが実施した「統合検証RS001~003」でも採用。



(提供: RTC再利用技術研究センター製)

事業原簿 3.1.2②

12/18

4. 成果普及活動等について

公開

(独)産業技術総合研究所

- プロジェクト内外に対する利用者の拡大
  - オープンソースライセンスによるソフトウェアの公開  
RTCビルダ、RTSエディタ、RTShell、OpenHRP3: EPL  
Choreonoid、OpenRTM-aist: LGPL
  - 学会発表、講習会等による普及活動の継続的实施
- オープンソースRTコンポーネントの維持
  - プロジェクトの成果であるオープンソース版RTCのうち、作業知能、移動知能、コミュニケーション知能の各パッケージの作成とOS, RTMのバージョンアップへの対応
  - 利用方法のドキュメントの作成、HPの公開と維持
- OpenRTM-aistの継続的な研究開発
  - RTミドルウェアに関して高機能化、高信頼化に向けた研究開発の継続
  - OMG等への標準化活動の継続

13/18

5. ソフトウェアのダウンロード実績

公開

OpenRTM-aistおよび開発ツール

2012/02/05 現在

	2008	2009	2010	2011	2012	合計
C++	4978	9136	12049	1851	253	28267
Python	728	1686	2387	566	55	5422
Java	643	1130	685	384	46	2888
Tool	3993	6306	3491	967	39	14796
合計	10342	18258	18612	3768	393	51373

OpenHRP3:

ダウンロードフォームアクセス数 (ダウンロード数に相当) : 7493

Choreonoid:

Choreonoid (1.1 および1.0合計)	659
choreonoid-1.1.0.zip	157
Choreonoid-1.1.0-win32.exe	53
choreonoid-1.0.0.zip	340
Choreonoid-1.0.0-win32.exe	109

14/18



## 株式会社セック

- 成果のライセンス形態
  - 開発したミドルウェア、ツール、RTコンポーネントについては、非営利・非商用での利用に限り、実行形式で無償提供。商用利用については別途、保守契約などを個別に応相談。
    - ミドルウェア: OpenRTM.NET、VxWorks版RTミドルウェア、Android版RTミドルウェア
    - ツール: RTCデバッガ
    - RTコンポーネント: センサRTコンポーネント(距離センサ、加速度センサ、力覚センサ、ネットワークカメラ、GPSセンサなど)
  - 機能安全対応RTミドルウェアについては、製品として販売予定。
- 成果の実用化の可能性
  - ロボットの事業化支援
    - RTミドルウェアやRTコンポーネントの提供/保守、コンサルなどをおこない、RTミドルウェアを適用したロボットの事業化を目指す企業の支援をおこなう。
  - 機能安全ロボット開発/支援
    - 生活支援PJの参加企業などを中心に、機能安全対応RTミドルウェアの対応、機能安全ロボットの開発やコンサルをおこなう。

## 日本電気株式会社

- シナリオエディタ: OSSとしてリリース済み(1/17)である。詳細な英文マニュアルも付帯しており、広く一般の利用に委ねることで普及を狙う。
- シナリオエディタ(シナリオプレイヤー、ライブラリなどを含む)は、オープンソースライセンスである EPL を採用している

## ゼネラルロボティクス株式会社

- 双腕ロボット
  - 国内外研究機関向けに販売
  - 販売済みの他機種ロボットにも随時適用
  - 安価な単アームロボットも販売予定
- 実時間ソフトウェア設計ツール
  - 弊社サポートの各種ロボット向けに試用開始予定
- ロボットハードウェア設計支援ツール
  - 双腕ロボット等の把持部設計での活躍



各種ロボット向けの制御ソフトウェアの販売・サポートを軸に、OpenRTMの普及、ツール群の開発を継続し、GoogleForumの利用やワークショップを開催する事で、アクティビに情報交換を行っていく予定。





## 株式会社前川製作所

## ○リファレンスハードウェアの事業展開について

プロジェクト終了時点（前川製作所は先行して2011年3月で終了）では、社内の組織・体制で販売することを検討したが、社内で検討を重ねた結果、経験豊富なロボット販売会社とパートナーシップを結んで販売する方針に転換。  
株式会社アールティを国内総代理店として、2012年10月より販売開始。現在予約受付中

製品名：OROCHI  
価格：3,675,000（税込）



17/18

## •ロボット知能ソフトウェアプラットフォーム

- ツール群を開発し、プロジェクト内外においてRTCの開発に利用されている
- AndroidやVxWork、.NET等への対応により様々なプラットフォームへ対応
- 高信頼RTMを開発し、次世代ロボットの安全機能へ対応

## •知能ロボットプラットフォームの統合検証

- プロジェクト内の知能モジュール検証用としてリファレンスハードウェアを開発。
  - プロジェクト終了後に市販化を予定
- 加速案件のロボットプラットフォームである双腕ロボットに対するシステムソフトウェアの開発
  - 市販ロボットにも対応済み

18/18

## 「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」 (事後評価)

### 「ロボット知能ソフトウェア再利用性向上技術の開発」 (公開)

2012年6月22日

独立行政法人産業技術総合研究所  
富士ソフト株式会社



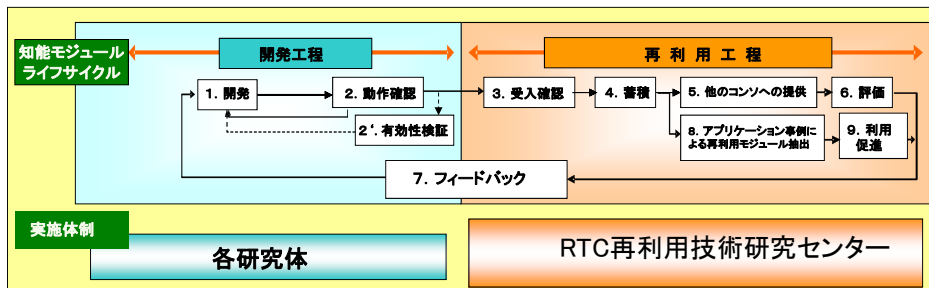
## 研究開発の概要

公開

～目的～

次世代ロボットを普及・発展させるため、単に高度な知能モジュールを開発するだけでなく開発された知能モジュールを再利用できる形で提供することが、重要である。

### 再利用化推進体系



# 研究開発の概要

公開

～研究開発項目～

知能モジュールの再利用性を実現するために、以下の研究開発を行う。

①「高品質な開発手法」の検討と推奨

⇒ドキュメント書式の周知・展開

②「蓄積・受入確認・提供」を一元管理する

内部ウェブサイトの構築

③「再利用性試験プラットフォーム」の構築

④「典型的応用例と組換え検証」の実施

⑤「一般公開用Webシステム」の構築

# 研究開発の概要

公開

～実施計画書・研究開発項目内容(1/2)～

研究項目	概要
①高品質な開発手法	知能モジュール開発工程において、再利用性の高い高品質ソフトウェア群の開発を支援するために、 <b>標準書式や標準的开发手法を検討</b> し、再利用WGと協議の上、各研究体に推奨する。また、再利用性あるモジュール開発を実現するために、 <b>モジュールの標準的な機能やインターフェースをリファレンスRTCとして検討</b> し、各研究体に仕様の叩き台として提供する。
②蓄積・受入確認・提供	次世代ロボットを普及させるためには、開発された知能モジュールを再利用できる形で提供することが重要であると考えている。その為、知能モジュールを蓄積し、利用者へ提供する為の体系として、 <b>情報を一元的に管理ができ相互に利用可能なウェブサイト</b> の構築を行う。また、提供する知能モジュールが(一定以上の)使用に耐えることが前提条件となる。本プロジェクトでは、知能モジュールの品質確保を行うため、ウェブサイトへ知能モジュールを登録する際の <b>受入確認・動作確認</b> 手順等の検討、実施を行う。
③再利用性試験プラットフォーム	ロボットシステムの再利用性を検証するには、各研究体固有のロボット上での検証だけでは、不十分であり標準的な検証環境を設定し、その環境にて動作させ、どれだけ汎用性があるかを評価することが効果的である。そのため、収集した知能モジュール群に対し、幅広く再利用性検証ができる標準的な検証環境を設計・構築を行う必要がある。また、構築された検証環境を用いて知能モジュールの再利用性検証を行うと共に、その環境自体の妥当性についても検証を行い、 <b>再利用性標準検証環境</b> の確立を図る。

# 研究開発の概要

公開

～実施計画書・研究開発項目内容(2/2)～

研究項目	概要
④典型的応用例と組換え検証	本プロジェクトの究極の目的は、ロボットシステムを構成する様々な知能モジュールを、RTミドルウェアに基づく共通インターフェースを備えたRTコンポーネントとして揃え、それによって様々な研究体が作成した知能モジュールを他の研究体でも容易に再利用できる体系を構築することである。この目的を遂行するアプローチとして、実際にそのRTコンポーネントが使われるであろうアプリケーションをイメージし、そのシステム構成を分析し、そこで必要となる知能モジュールとしては、どのようなものがあるかを検討する、というトップダウンアプローチを行う。このような事例検討をおこなう中で、登録されたRTコンポーネントの再利用性を高めるためのキーとなる要素の抽出を行う。
⑤一般公開用Webシステム	これまで本プロジェクト全体では、非常に多くのRTコンポーネント(RTC)が開発され、これらを集積・検証しプロジェクト内部で相互利用するため、「RTC再利用技術研究センター」および「RTC再利用Webシステム」の運営が行われてきた。「RTC再利用Webシステム」に登録されたRTCのうち、一部はオープンソース化され、一般公開が可能となる見込みである。しかし、現在これらの公開可能なRTC群を一般ユーザが手軽に入手可能な場がなく、ドキュメントが十分でないといった問題が指摘されている。また、これまで各分野のサブワーキンググループ内での議論により、インターフェースやデータ型の共通化と、仕様の文書化が行われている。こうした貴重な仕様文書を一般に公開し、ユーザ間で議論、実システムへの適用による検証、文書の継続的改訂により、将来的な標準化へつなげることも重要である。これらコンポーネント、ドキュメント、仕様文書、ノウハウに関する文書等を集積し、一般ユーザと共有・発展させていくWebシステムを作成、本プロジェクトの成果を永続的に利用される形で残すための仕組みを構築する。

# 研究開発の目標

公開

～プロジェクト基本計画・最終目標～

## ◆ロボット知能モジュールの開発体制の整備

再利用できる知能モジュールを開発するために必要な開発手法、検証・蓄積方法等を確認し「知能モジュール・ライフサイクル」を構築する。

## ◆ロボット知能モジュールの再利用環境の構築

提供される知能モジュールを各研究体が相互に利用し、利用者による評価を各研究体の開発工程に反映させて知能モジュールの改良を促進する環境を構築する。

- ①「高品質な開発手法」の検討と構築  
⇒ドキュメント書式の周知・展開
- ②「蓄積・受入確認・提供」を一元管理する  
内部ウェブサイトの構築
- ③「再利用性試験プラットフォーム」の構築
- ④「典型的応用例と相換え検証」の実施
- ⑤「一般公開用Webシステム」の構築

# 研究開発の成果

## ～①高品質な開発手法～

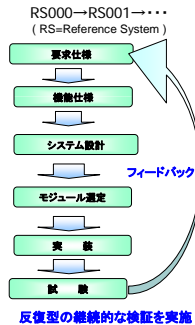
公開

### 1) 検証システムの構築

モジュールの再利用性を高めるため、また、システムインテグレーションを行う上での問題点を洗い出すために、具体的なサービスロボットシステムを想定した統合検証(システム参考事例『来訪者受付システム』)を行った。

### 2) ドキュメントフォーマットの作成

1)の検証により、「ドキュメント不足」、また「複数のモジュールの交換性を保つための共通仕様が存在しない」、「RTC開発におけるルールやガイドラインが存在しない」などの問題点が明確になった。  
その問題点に対し、その対策(各種ドキュメントフォーマット・サンプルの作成、モジュール間共通インターフェースの策定協力、ガイドラインの策定、実証検証)を行った。



### 3) 動作可能モジュールの蓄積・公開

3)の結果、動作可能なモジュール(ドキュメントを含む)231件を公開可能な状態にし、それらを使用するための雛形的なロボットサービスシステムを作成・公開。システム構築に必要なノウハウとして共通インターフェースやRTC開発ガイドラインを整備した。  
<http://www.opentrm.org/opentrm/ja/node/4599>

- ①「高品質な開発手法」の検討と構築  
⇒ドキュメント書式の周知・展開
- ②「蓄積・受入確認・提供」を一元管理する  
内部ウェブサイトの構築
- ③「再利用性試験プラットフォーム」の構築
- ④「典型的応用例と相換え検証」の実施
- ⑤「一般公開用Webシステム」の構築

# 研究開発の成果

## ～②蓄積・受入確認・提供～

公開

### 1) 蓄積・提供

知能モジュールの蓄積・提供の仕組みとして、「再利用Webシステム」を平成21年11月に開設。合計362件の知能モジュールの登録が行われた。

No.	研究開発テーマ	登録モジュール数
①-1	ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発	44
①-2	ロボット知能再利用性向上技術の開発	8
②	作業知能(生産分野)の開発	30
③	作業知能(社会・生活分野)の開発	52
④	移動知能(サービス産業分野)の開発	126
⑤	高速移動知能(公共空間分野)の開発	3
⑥	移動知能(社会・生活分野)の開発	52
⑦	コミュニケーション知能(社会・生活分野)の開発	47
	合計	362

### 2) 受入確認

平成22年7月から運用を開始。以後プロジェクト内の実施者から登録された全数のモジュールについて受入確認/動作確認を実施。平成24年2月に全362件が終了した。

# 研究開発の成果

## ～③再利用性試験プラットフォーム～

- ①「高品質な開発手法」の検討と推奨  
⇒ドキュメント書式の周知・展開
- ②「蓄積・受入確認・提供」を一元管理する  
内部ウェブサイトの構築
- ③「再利用性試験プラットフォーム」の構築
- ④「典型的応用例と組換え検証」の実施
- ⑤「一般公開用Webシステム」の構築

### 1) 再利用性試験プラットフォーム

既存のロボットを「再利用性試験プラットフォーム」として導入を実施。動作検証の試行を重ねることで、検証ルールの方策を行った。

#### 再利用性試験プラットフォーム

三菱重工  
汎用ロボット PA10前川製作所  
知能モジュール検証用  
リファレンスハードウェア  
(左:1号機, 右:2号機)千葉工業大学  
搭載型移動ロボットセグウェイジャパン  
Segway RMP芝浦工業大学  
RTC-CANopen  
リファレンスロボット  
(Beego)

### 2) 開発者へのフィードバック

検証においては以下の点に留意し、適宜フィードバックを行うことでソフトウェアモジュールとしての完成度を確保した。

- ✓ 各研究体のモジュールのソフトウェア上のバグチェック
- ✓ OpenRTM-aist-1.0 との整合性確認
- ✓ APIの整合性確認
- ✓ ドキュメンテーションの完備、質の向上

# 研究開発の成果

## ～④典型的応用例と組み換え検証～

- ①「高品質な開発手法」の検討と推奨  
⇒ドキュメント書式の周知・展開
- ②「蓄積・受入確認・提供」を一元管理する  
内部ウェブサイトの構築
- ③「再利用性試験プラットフォーム」の構築
- ④「典型的応用例と組み換え検証」の実施
- ⑤「一般公開用Webシステム」の構築

### システム参考事例『来訪者受付システム』

#### 概要:

RTCを用いたロボットシステムの標準的なものが必要と考え、リファレンスマodelに連携した実装を、来訪者の入館・退館における受付業務を主としたオフィスサービスを行う『来訪者受付システム』を事例として実施。

#### 特徴:

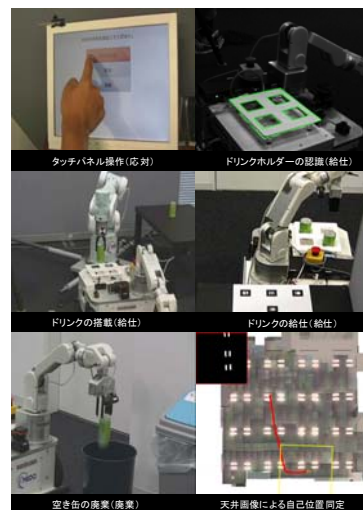
- ◆ 来訪者の入館・退館における受付業務を主としたオフィスサービスを行う。
- ◆ サービスは受付、給仕、廃棄、管理のサービスに分割され、各サービス毎およびサービス連動での動作を可能とする。

No.	名称	サービス内容
1	受付	訪問者の検知、端末操作による移動ロボットの呼び出し、担当者への連絡を行う。
2	給仕	来訪者に飲物を提供する。
3	廃棄	飲み終わった空き容器的の回収・廃棄を行う。
4	管理	上記のサービスの状態管理や来訪者の入館・退館管理及び、各端末・ロボットの状態管理を行う。

- ◆ 7研究体48種類のRTコンポーネントを利用。
- ◆ ソースおよびドキュメント(RTC開発ガイドライン、仕様書、設計書、取扱説明書、その他マニュアル等)はRTCを用いたロボットシステム構築における雛形として公開中。

#### プラットフォーム:

OS : Ubuntu10.04LTS  
RTミドルウェア : OpenRTM-aist-1.0.0-RELEASE  
OpenRTM-aist-Python-1.0.0-RELEASE



タッチパネル操作(応対)

ドリンクホルダーの認識(給仕)

ドリンクの搭載(給仕)

ドリンクの給仕(給仕)

空き缶の廃棄(廃棄)

天井画像による自己位置 同定

- ①「高品質な開発手法」の検討と推奨  
⇒ドキュメント書式の通知・展開
- ②「蓄積・受入確認・提供」を一元管理する  
内部ウェブサイトの構築
- ③「再利用性試験プラットフォーム」の構築
- ④「典型的応用例と組換え検証」の実施
- ⑤「一般公開用Webシステム」の構築

## 研究開発の成果

公開

～④典型的応用例と組換え検証～

本成果はOpenRTM-aistオフィシャルページにて公開中。

### ◆「来訪者受付システム」

[http://www.openrtm.org/openrtm/ia/project/NEDO\\_Intelligent\\_PRJ\\_SYS001](http://www.openrtm.org/openrtm/ia/project/NEDO_Intelligent_PRJ_SYS001)

また共通インターフェースに基づく本システムの移動機能と作業機能をリファレンスRTCとして切り出し、以下の通り公開中。

<作業機能>

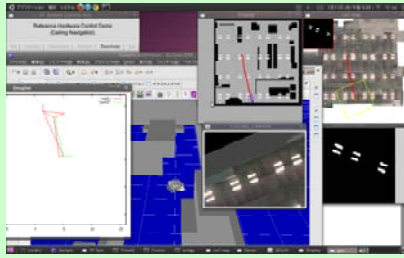
「ロボットアーム分解運動速度制御モジュール(ACT共通I/F対応版)」

[http://www.openrtm.org/openrtm/ia/project/NEDO\\_Intelligent\\_PRJ\\_ID374](http://www.openrtm.org/openrtm/ia/project/NEDO_Intelligent_PRJ_ID374)

<移動機能>

産総研が取りまとめた基本的RTC群(移動機能)

<http://www.openrtm.org/openrtm/ia/project/OpenNavigation>



有効な知能モジュールを再利用することで、  
利用者の機能ニーズに応じたロボットシステムを  
短時間で構築可能であることを実証した。

- ①「高品質な開発手法」の検討と推奨  
⇒ドキュメント書式の通知・展開
- ②「蓄積・受入確認・提供」を一元管理する  
内部ウェブサイトの構築
- ③「再利用性試験プラットフォーム」の構築
- ④「典型的応用例と組換え検証」の実施
- ⑤「一般公開用Webシステム」の構築

## 研究開発の概要

公開

～⑤一般公開用Webシステム～

本プロジェクト全体で開発されてきた多くの知能モジュールや、インターフェース定義、ノウハウ、ドキュメント等を集積・共有し、一般向けに公開するためのWebシステムの整備・構築を実施。平成23年7月27日に一般公開を行った。Webシステムの構築を行うとともに、「RTC再利用Webシステム」上に登録されている動作可能なモジュール(ドキュメントを含む)362件のモジュールについて機能分類、粒度の整理を実施した結果、231件を公開可能な状態にした。

URL: <http://openrtm.org/openrtm/ia/content/プロジェクト-0>





# 研究開発の成果

公開

～最終目標に対する目標の達成度(1/2)～

最終目標	成果	達成度
ロボット知能モジュールの開発体制の整備	<p>①知能モジュールの蓄積・提供の仕組みとして、「<b>再利用Webシステム</b>」をH21年11月に開設。合計362件の知能モジュールの登録が行われた。</p> <p>②既存のロボットを<b>再利用性試験プラットフォーム</b>として導入を行ない、動作検証の試行を重ねることで、検証ルールの策定を行い、H22年7月から運用を開始。以後<b>受入確認/動作確認</b>を実施。平成24年2月に<b>全362件</b>が終了した。</p> <p>③ロボットシステム開発の一例として開発対象を小さな機能に分割し、1つの機能を反復と呼ばれる短い期間単位で1つの機能を開発し、その反復のサイクルを継続して機能を追加開発していくような開発モデルであるアジャイル型のソフトウェア開発モデルを適用・実践し、有効性の検証を行った。その成果として各反復における<b>ソース、ドキュメント、ガイドライン</b>等はプロジェクト内に公開。大学を中心とした研究体に波及し、モジュールの再利用性及び品質の向上に貢献した。</p> <p>上記の通り、開発手法、検証・蓄積方法の確立。当初の目的であった、RTC再利用技術研究センターを介して開発者、利用者間の情報提供・交換が活発に行われた。</p>	◎

◎:大幅達成(特筆すべき成果有り)、○:達成、△:一部未達、×:未達

事業原簿 3.2

12/14

# 研究開発の成果

公開

～最終目標に対する目標の達成度(2/2)～

最終目標	成果	達成度
ロボット知能モジュールの再利用環境の構築	統合検証に適用したモジュールについて、その評価・要望を各研究体にフィードバックを実施。また統合検証における全てのドキュメント・プログラムについて、「再利用Webシステム」に併設する形で公開サイトを開設し、プロジェクト内部向けに公開。最終版については <b>一般公開サイトに登録、公開</b> を行った。	◎

◎:大幅達成(特筆すべき成果有り)、○:達成、△:一部未達、×:未達

事業原簿 3.2

13/14

# まとめ

公開

## 1)「知能モジュール・ライフサイクル」の達成

本研究では、知能モジュールの再利用性向上を目的として、知能モジュールの開発と検証試験、知能モジュールの蓄積・提供、普及促進、知能モジュール評価結果の開発へのフィードバックという「知能モジュール・ライフサイクル」の構築を目指し、本プロジェクト内においては十分に達成できたものと考えている。

## 2)ドキュメントフォーマットの作成

本プロジェクトで開発された知能モジュールを再利用し、リファレンスモデルに連携した統合システムの実装を実施。その成果としての各種ドキュメントフォーマット、ガイドライン等は大学を中心として、プロジェクト内に波及。モジュールの再利用性及び品質の向上に貢献した。

## 3)モジュール共通インターフェースの策定

本プロジェクトに参画する企業・大学・研究機関の中で議論し、策定された知能モジュール共通インターフェースも平成24年2月24日に一般公開された。これにより開発者が共通インターフェースに準拠したモジュールを開発することで、既存の知能モジュールとの相互接続性が確保され、ロボットシステムの開発が容易になることが大いに期待される。

## 4)モジュールの一般公開

本プロジェクトにおいて、各研究機関が開発し、登録された合計362件のうち、231件のモジュールを平成23年7月27日に一般公開を行い、以降国内外において大学・研究機関を中心に徐々にユーザーが増え始めている状況である。

## 5.1.3 有効な知能化モジュール群 ～オープンソースモジュール群～

パレタイジング作業



産業技術総合研究所

東京大学

豊橋技術科学大学

東北大学

アソート作業



奈良先端科学技術大学院大学

大阪大学

東京理科大学

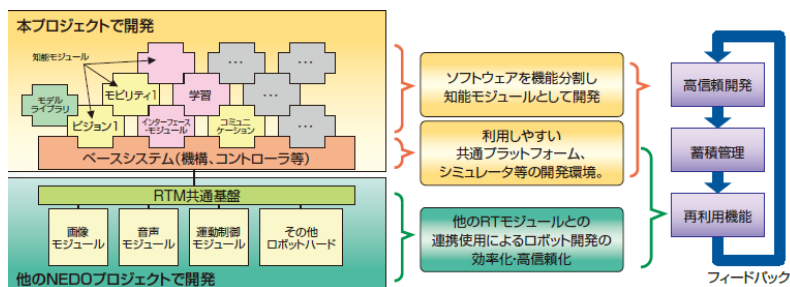
筑波大学

産業技術総合研究所

2012/06/22

公開

## 有効な知能化モジュール群 ～オープンソースモジュール群～



オープンソース作業知能モジュール  
を組み合わせた2種類の作業の実証

産業応用

サービス  
産業応用



# 基本計画最終目標

## 1. ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの開発

以下2. にて開発する知能モジュール群を統合し、次世代ロボットシステムを事前にシミュレートし確実に実現できるロボット知能ソフトウェアプラットフォームの研究開発を行うとともに、検証用知能モジュール群及びこれを搭載するリファレンスハードウェアを研究開発し、ロボット知能ソフトウェアプラットフォームの有効性の検証及び改良を行う。

## 2. モジュール型知能化技術の開発

周辺環境が変化しても所期の仕事を行うことができるロバスト性に優れ、かつ汎用性のあるモジュール型知能化技術の開発を行って、その成果である 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(有償を含む。)する。

## 3. 有効性の検証

上記1. 及び2. に関し、開発した知能モジュールをロボットシステムに組み込む等により、その有効性を検証するとともに、その成果であるソフトウェアモジュールを、他者が利用(再利用)できる形で可能な限り広範囲に提供(有償を含む。)する。

# 本課題の目標

- **再利用性**
  - 作業知能モジュール群を、オープンソースソフトウェアで再利用性を考慮して開発
- **有効性**
  - 双腕ロボットHiroNXを用い、マニピュレーション作業を実証
- **体系性**
  - モジュール群だけの公開でなく、システム情報も公開

新たに8機関(9グループ)でコンソを構成

- **テーマ1:パレタイジング作業** 産業応用をイメージ
- **テーマ2:アソート作業** サービス産業応用をイメージ

## 有効な知能化モジュール群 ～オープンソースモジュール群～

産業応用

### パレタイジング作業



産業技術総合研究所



東京大学



豊橋技術科学大学



東北大学

## 「パレタイジング作業」の目標

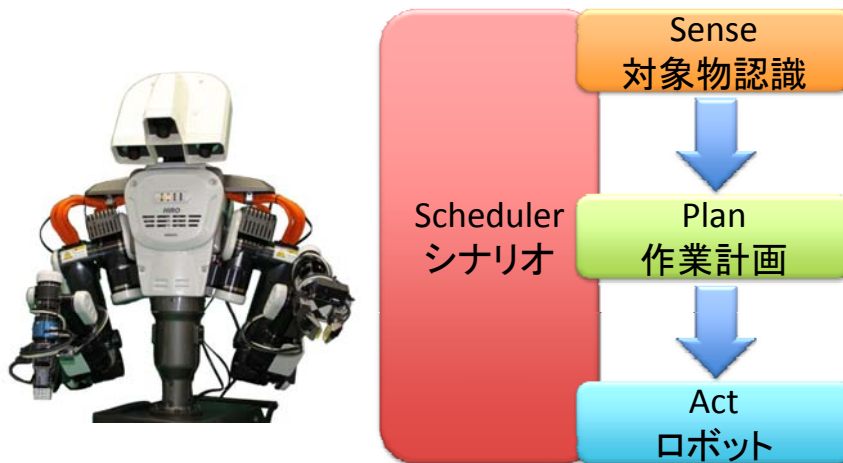
双腕ロボットによる工業部品などに対する

- ハンドアイベースのマニピュレーション作業の実現
- 作業知能モジュール群を
  - オープンソースソフトウェア で開発
  - 目的に応じて入替ができる形式
- モジュールだけでなく、システム情報も公開



作業例: ピッキング、パレタイジング、搬送など

## 作業知能モジュール群



作業サブWGで検討したモジュール体系、IFを活用

## 研究開発項目

- ① テクスチャ特徴が少ない部品を検出するために必要な、対象物検出モジュールの開発
- ② 部品をピックアップするために必要な、把持計画モジュール、動作計画モジュール、動作制御モジュールの開発
- ③ 双腕の特徴を活かした組み付け動作などに必要な、動作計画モジュール、双腕協調制御モジュールの開発
- ④ パレタイジングするために必要な、動作制御モジュールの開発
- ⑤ 作業用ロボットと搬送車の状態の監視と作業指示、情報交換などを行うための搬送用統合制御モジュールの開発
- ⑥ 全体の作業を統括するために必要な、作業計画モジュールの開発
- ⑦ モジュールの統合検証

# システム構成



# オープンソース作業知能モジュール群

- 再利用性が高いモジュール
- OSSで公開 (EPL, LGPL, 修正BSD)
- URL: <http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/>

オープンソース版視覚 (OpenVGR) モジュール群

graspPlugin for Choreonoid

(Vpython版) HIRONX 動作生成モジュール

距離センサを用いた物体位置姿勢推定





双腕協調制御RTC

HIRONXInterface

URL: [http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO\\_Intelligent\\_PRJ\\_1003](http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_1003)



## 作業システム一覧

- 頭部ステレオカメラを用いた双腕ロボットによるマニピュレーション作業(産総研) 
- 手先カメラを用いた双腕ロボットによるマニピュレーション作業システム(東大) 
- 双腕ロボットとAGVの連携システム(豊橋技科大) 
- 双腕ロボットによる双腕協調マニピュレーション作業(東北大) 

## 頭部ステレオカメラを用いた双腕ロボットによるマニピュレーション作業

**AIST**  
産業技術総合研究所

### 概要:

双腕ロボットを使った、工場での部品整理をイメージしたサービスを行うマニピュレーションシステムです。具体的には、テーブルに特定の密集形態で置いた部品を個別に取れるように再配置し、個々の部品を検出して双腕を活かして箱に整理して入れ、それを別の場所に運ぶ動作を双腕ロボットで行うことができます。

### 特徴:

- ◆ 作業知能システムの代表的機能である対象物認識、検出結果に基づく作業・動作計画、実動作のRTO群で構成されたシステムで、各機能間は共通化されたインターフェースで接続されています。
- ◆ システムを構成するOpenVGR (Sense)、graspPlugin for Choreonoid (Plan)、HiroNXInterface (Act)等はオープンソースのソフトウェアとして提供し、合わせてサービス仕様書、動作手順書等も提供しています。

### インターフェース:

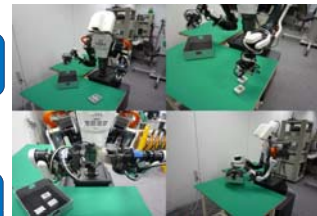
このプロジェクトで策定した「画像出力共通インターフェース」、「認識結果共通インターフェース」、「双腕ロボット制御共通インターフェース」に準拠しています。  
(OpenRTM-aist-1.0.0)

### プラットフォーム:

Ubuntu 10.04 LTS (x86)

### ライセンス(公開条件):

EPL, LGPLで構成されています。詳しくは各モジュールを参照してください。

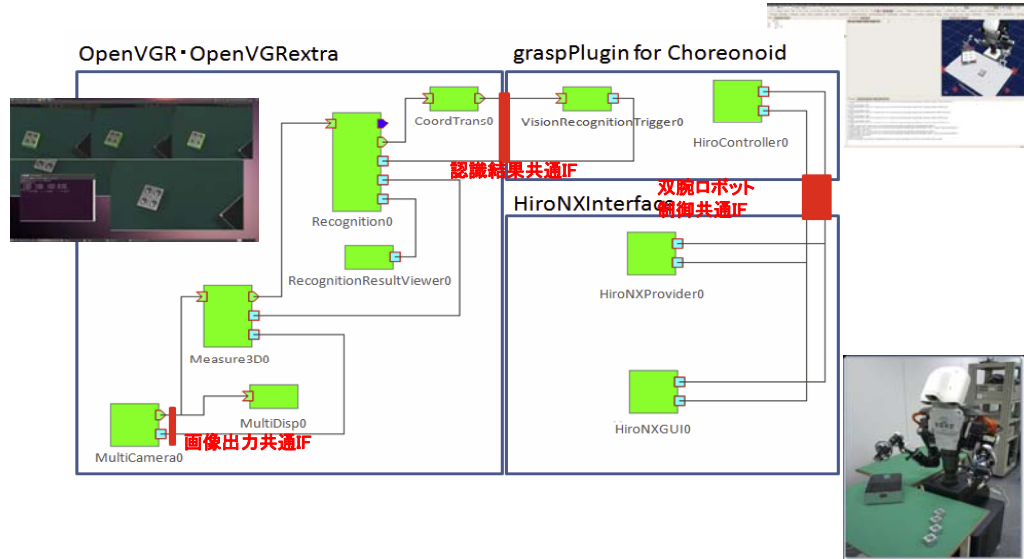


双腕ロボット-川田工業製 NxHiroを使用

### URL:

[http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NE DO\\_Intelligent\\_PRJ\\_HiroAccPrj\\_1001](http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NE DO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_1001)

## モジュール構成図



## 手先カメラを用いた双腕ロボットによる マニピュレーション作業システム



### 概要:

工業部品の箱詰めをイメージしたシステムです。各種共通インタフェースに従い、認識、動作計画、実行を統合し、両手を使って効率よく対象物を運びます。

### 特徴:

- ◆ 単眼で二次元的に対象物を認識、手先カメラを動かすことにより、手先カメラの視野の狭さを補います。
- ◆ オープンソースで公開するVPython版アーム動作生成モジュール、エッジベース二次元対象物認識モジュール、HiroNXInterface等を利用します。
- ◆ 双腕ロボットHIRO-NXの標準品である、両手先のUSBカメラと、1台の平均的性能のPCで動作します。

### インタフェース:

プロジェクトで策定した「画像出力共通インタフェース」、「認識結果共通インタフェース」、「双腕ロボット制御共通インタフェース」に準拠します。

### プラットフォーム:

Ubuntu Linux 10.04, OpenRTM-aist-1.0.0

### ライセンス(公開条件):

本プログラムは、修正BSDライセンスにて公開します。

### URL:

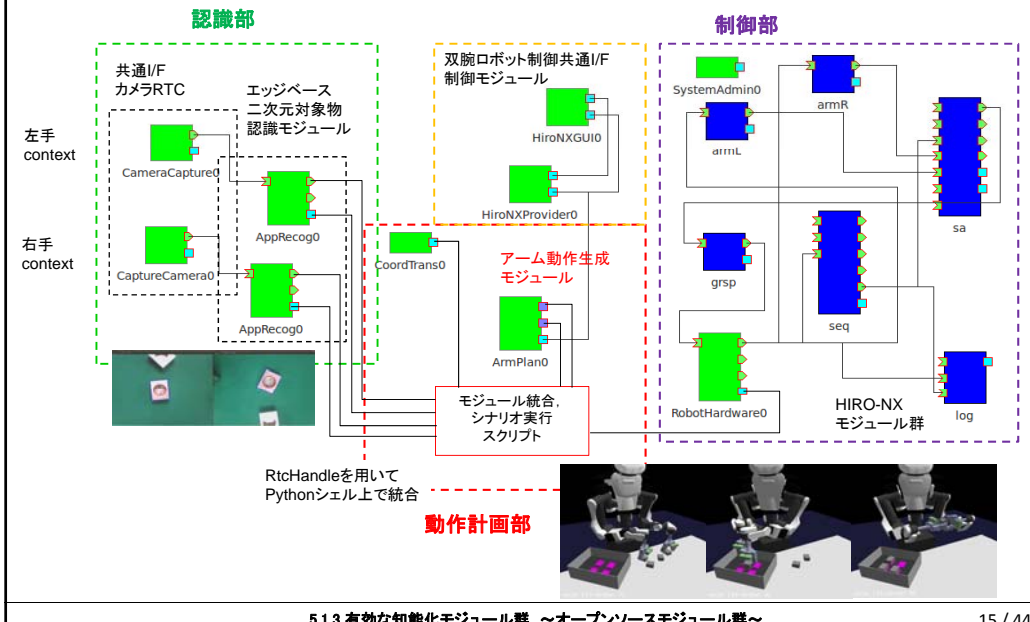
[http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NE\\_DO\\_Intelligent\\_PRJ\\_HiroAccPrj\\_5001](http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NE_DO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_5001)



両手で作業台をスキャンし、手先カメラで対象物を認識します。

両手が干渉せずにアプローチできる場合には、2つ同時に運びます。

## モジュール構成図:



## 双腕ロボットとAGVの連携システム

## 概要:

双腕ロボットとAGV(自動搬送車)が連携して、部品やパレットの搬送とマニピュレーションの複合タスクを実現できます。物体位置姿勢推定RTC、移動知能RTC群および、それらを制御するシーケンサRTCで構成されています。

## 特徴:

- ◆物体モデルを基に対象物体を探す位置姿勢推定RTC群です。
- ◆地図生成を行いながら安全な軌道を計画する移動知能RTC群です。出発地点、最終地点を自由に設定可能です。
- ◆共通化I/Fを利用しており、ステレオ視など他のセンサを利用可能です。

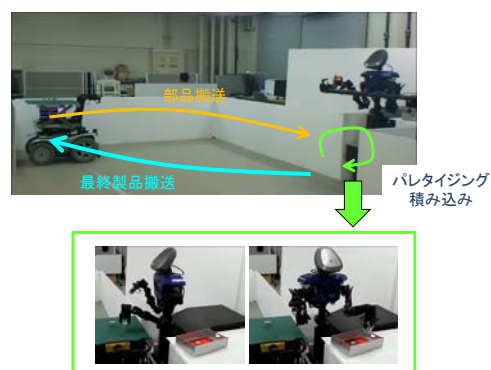
## 開発環境:

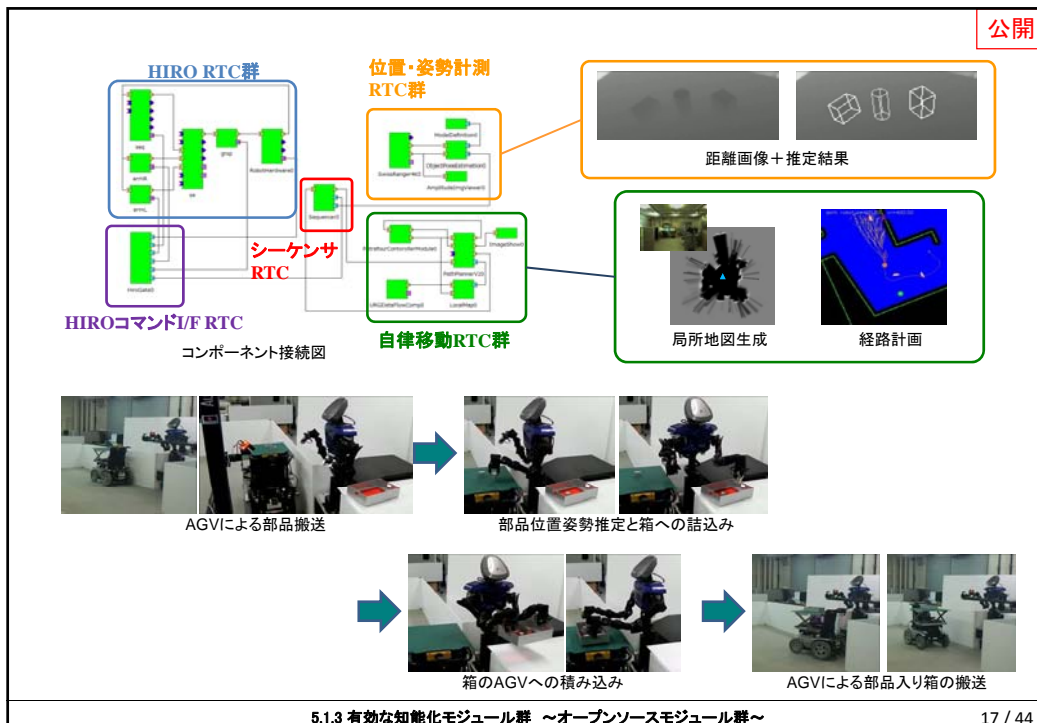
OpenRTM-aist-1.0.0,  
Windows XP Pro SP3

ライセンス(公開条件):  
修正BSDライセンス

## URL:

[http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NE\\_DO\\_Intelligent\\_PRJ\\_HiroAccPrj\\_3001](http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NE_DO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_3001)





## 双腕ロボットによる双腕協調マニピュレーション作業

東北大学



### 概要:

片手では運べない重量物や大きい物体を、両手で搬送する作業をイメージしたマニピュレーションシステムです。物体中心座標の始点と終点を指定することで、自動的に補間軌道を生成し、両手で搬送します。カセンサが無いロボットシステムでは、両手先位置指令による簡易力制御が指定可能です。

### 特徴:

- ◆モデルファイルを替えることで様々なロボットに応用可能です。
- ◆5次多項式または4次-1次-4次多項式による補間軌道を選択可能です。どちらの補間軌道でも始点と終点で、位置、速度、加速度が連続となります。
- ◆OpenHRPでの検証用にロボットモデルとプログラムを添付しています。

### プラットフォーム:

Ubuntu Linux 10.04, OpenRTM-aist-1.0.0-RELEASE, OpenHRP 3.1.0

### ライセンス(公開条件):

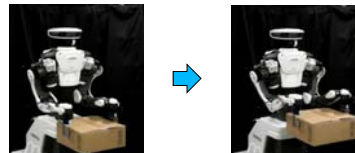
EPL (Eclipse Public License)に基づいて提供されます。

### URL:

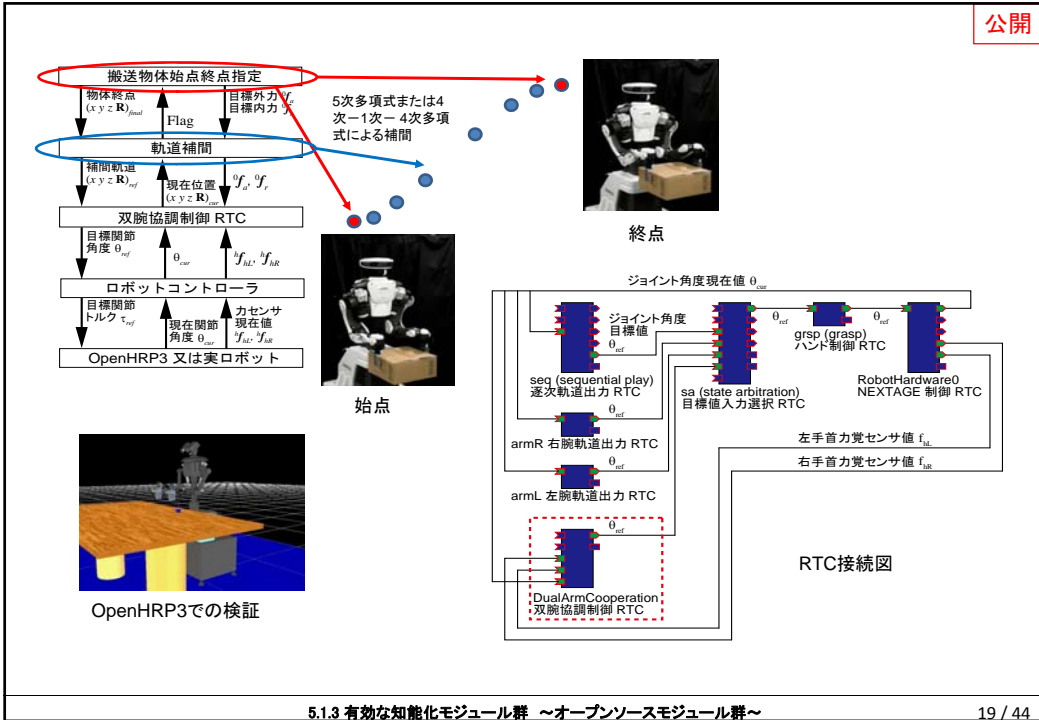
[http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NE\\_DO\\_Intelligent\\_PRJ\\_HiroAccPrj\\_4001](http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NE_DO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_4001)



内力を適切に制御しないと、把持物体を破損したり、落下させたりする危険性がある



内力を制御することで安定な搬送が可能となる



## 各システムの動作例



**AIIST** 頭部ステレオカメラを用いた双腕ロボットによるマニピュレーション作業



**東京大学** 手先カメラを用いた双腕ロボットによるマニピュレーション作業システム



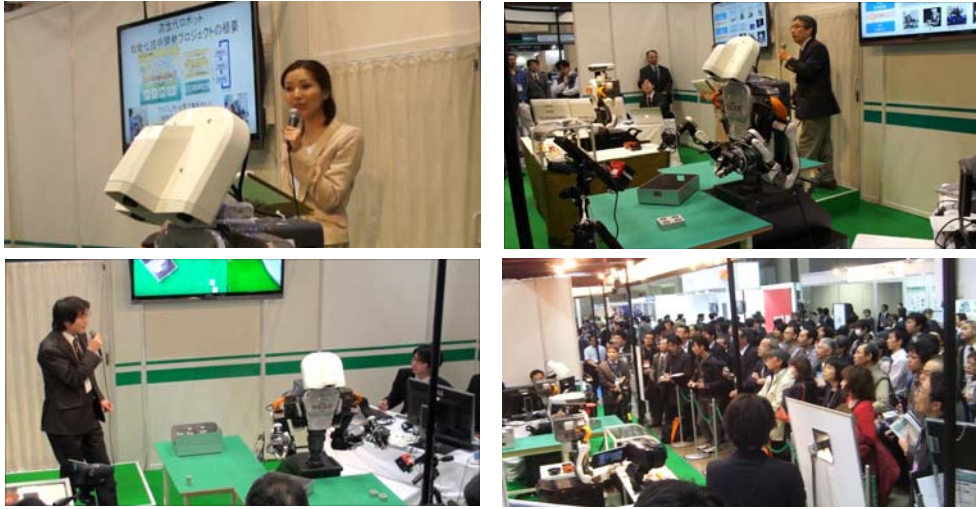
**TOYOHASHI** 双腕ロボットとAGVの連携システム



**東京大学** 双腕ロボットによる双腕協調マニピュレーション作業



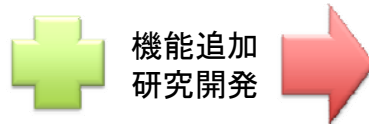
## 国際ロボット展2011における デモンストレーション



## システム情報・モジュール群の公開

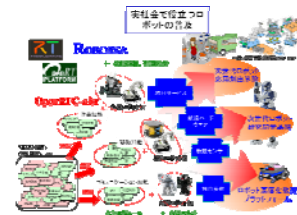


URL:  
[http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO\\_Intelligent\\_PRJ\\_HiroAccPrj\\_\[1-5\]001](http://www.openrtm.org/openrtm/ja/project/NEDO_Intelligent_PRJ_HiroAccPrj_[1-5]001)



次世代ロボットの研  
究開発基盤が簡便  
かつ低コストで実現  
可能に！

プレス発表(2012/2/23、産総研)  
 「知能ロボット開発のための  
 知能ソフトウェアモジュール群」  
 ロボット開発用基盤ツール  
 ROBOSSA



## 他システム(MobileHIRO)への導入例

- 既存モジュール: ハンドカメラ認識、graspPlugin for Choreonoid、マニピュレーション機能、移動機能
- 新規開発: ハンドスキャン認識機能
- 統合作業: 共通I/Fの利用で実質1日で統合を実現



5.1.3 有効な知能化モジュール群 ~オープンソースモジュール群~

23 / 44

## まとめ「パレタイジング作業」

目標	成果	達成度	効果
再利用性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・作業知能モジュール群をオープンソースソフトウェアで公開</li> <li>・作業サブWGで定めた共通IFに基づいた再利用性の高いモジュール</li> </ul>	◎	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オープンソースのため、ユーザが手軽に利用でき、改良も可能</li> <li>・ユーザが目的に応じて必要なモジュールを選択・交換が可能</li> </ul>
有効性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・双腕ロボットHiroNXを用いて、各種マニピュレーション作業システムを構築、検証</li> </ul>	◎	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国際ロボット展にて実証デモ</li> <li>・プレス発表、HP等で成果発信</li> </ul>
体系性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モジュール群の公開だけでなく、システム情報も公開</li> </ul>	◎	<ul style="list-style-type: none"> <li>・マニピュレーション作業用ロボットシステム構築の基盤、参照システムとして利用可能</li> </ul>

その後の展開:

- ・各種FA関連企業に成果紹介中
- FAの2大課題の1つ、ティーチングの省力化に関連して、自動動作計画モジュールに引き合いあり



5.1.3 有効な知能化モジュール群 ~オープンソースモジュール群~

24 / 44



## 有効な知能化モジュール群 ～オープンソースモジュール群～

サービス  
産業応用



### アソート作業



奈良先端科学技術大学院大学



大阪大学



東京理科大学



筑波大学



産業技術総合研究所

## 「アソート作業」の目標

サービスロボット産業への応用を意識した  
日用品のハンドリングシステムの開発を通して

システム統合の容易さの検証

知能モジュールのインターフェースの標準化

モジュールの入れ替えの容易さの検証

オープンソースを利用したシステムの構築と公開

コンポーネント統合事例の創出

## 「アソート作業」の研究開発項目

1. 軽量の画像処理による物体認識のためのRTC群の開発
2. 教示(視覚情報とマニピュレーションの対応付け)のためのRTC群の開発
3. 日用品ハンドリングのためのシステム統合
  - 双腕作業用テストベッドシステムの構築およびアソート作業の試作と動作実験
4. 双腕協調作業コンポーネントの作成
  - 双腕協調コンポーネントの開発および協調動作のコンポーネントへの導入
5. 特徴ベース認識コンポーネントの開発
  - 特徴ベース認識コンポーネントの試作・評価および多品種個別認識への対応・評価
6. 人との協調・安全コンポーネントの開発
  - 人と協調時の安全のための人認識モジュールの開発および人認識機能に基づく安全機能のコンポーネント化

## 対象物の検討 -お菓子-



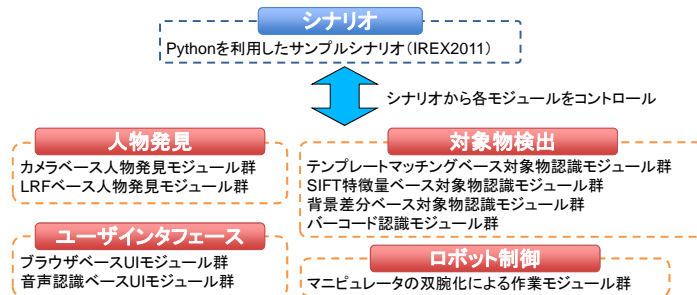
## お菓子ハンドリングシステム

### 概要:

対象物のテクスチャ等の特徴量を基に 物体認識を行い、認識結果に基づいてお菓子などの日用品の多品種個別識別とそのハンドリングを行う。公開されているRTMおよび各機関の開発したRTMを短時間で統合し、双腕システム開発のひな形となる双腕ロボットプラットフォームを構成

### 特徴:

- 実作業をイメージしたタスクを公開されているコンポーネントの再利用によって実現
- 動作シナリオのサンプルなどを用意することにより、システムの再利用が容易
- 各モジュール群は共通IF仕様に従っており、アルゴリズムの追加・変更が容易

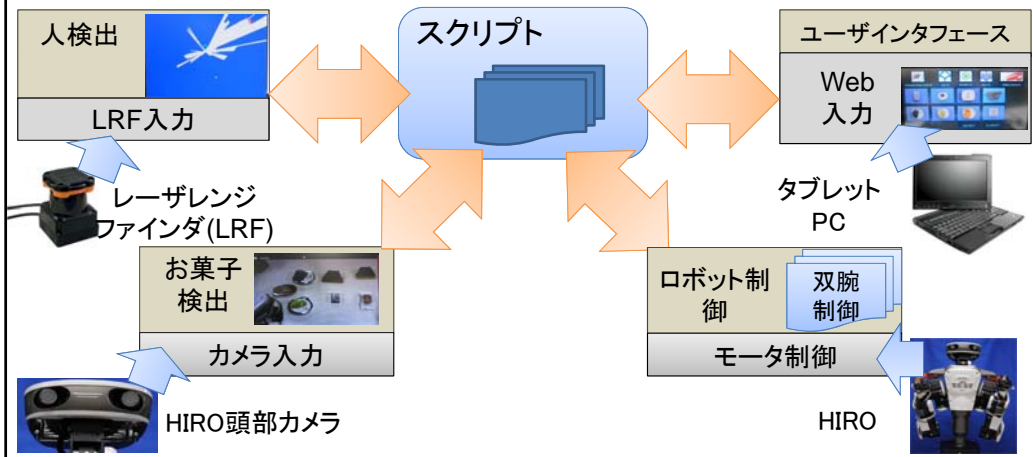


## お菓子のハンドリング

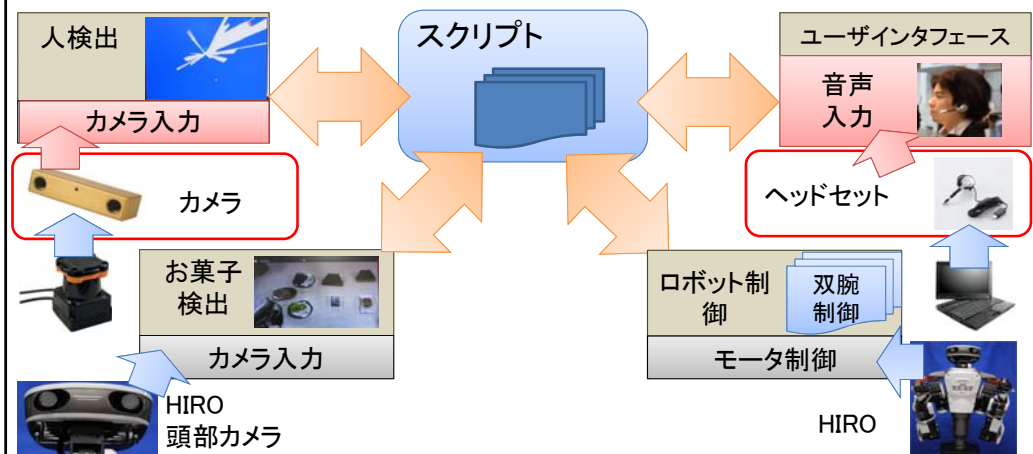


国際ロボット展2011

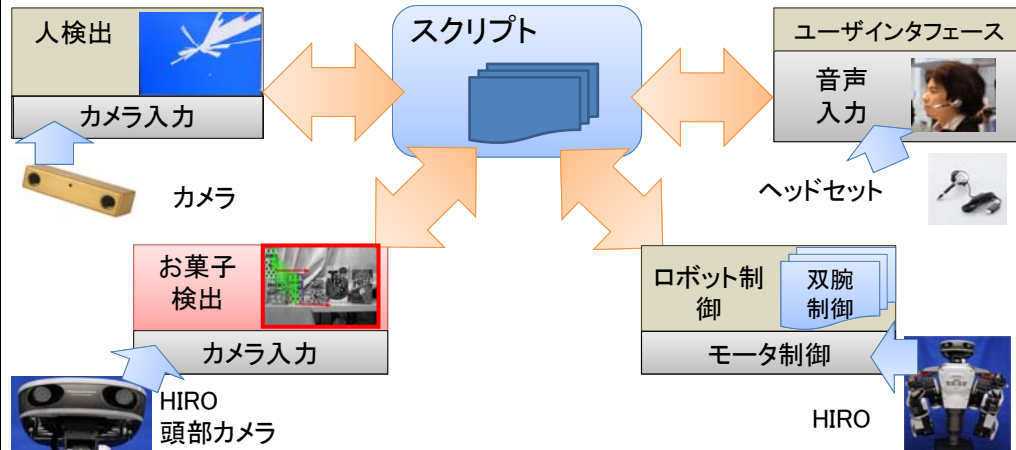
# モジュール構成



# モジュール構成:ハードウェアの変更



## モジュール構成: 認識アルゴリズムの変更



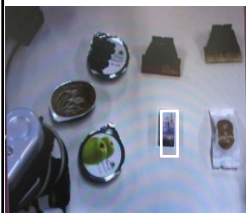
## モジュールの入れ替え

より高機能かつ最新の研究成果を用いたモジュールが利用可能

対象物発見

テンプレートマッチング  
位置・姿勢推定モジュール

アピランスペース  
位置・姿勢推定モジュール



テンプレート  
マッチング

SIFT特徴量を用いた  
マッチング



## 和菓子のハンドリングのまとめ

オープンソースを利用したシステムを構築

プロジェクトで標準化された  
インタフェースを持つ知能モジュール群

スクリプト言語を用いた容易なシステム統合

同一機能の異なるモジュールの入れ替えが容易

RTコンポーネントを再利用した統合システム事例

## リファレンスハードウェアによる モジュールの検証(大阪大学)



物体位置・姿勢推定モジュール＋音声入力＋共通カメラインタフェース  
をリファレンスハードウェアに実装



## 双腕ロボットプラットフォーム(産総研)

移動作業システム(実機およびシミュレーション環境)



37

## 双腕ロボットプラットフォーム(産総研)

- 日用品把持用ロボットアーム(三指ハンド)



JACOアーム



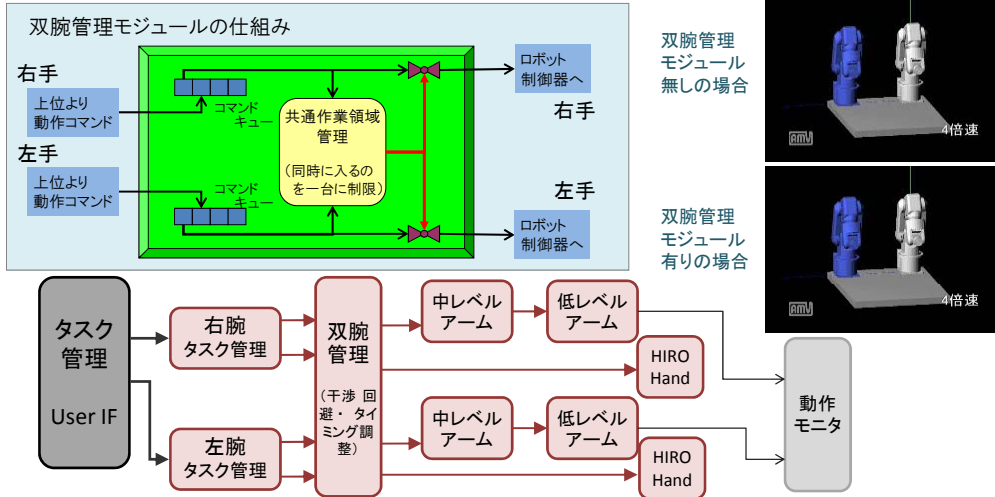


# 双腕ハンドリングシステム(筑波大学)

公開

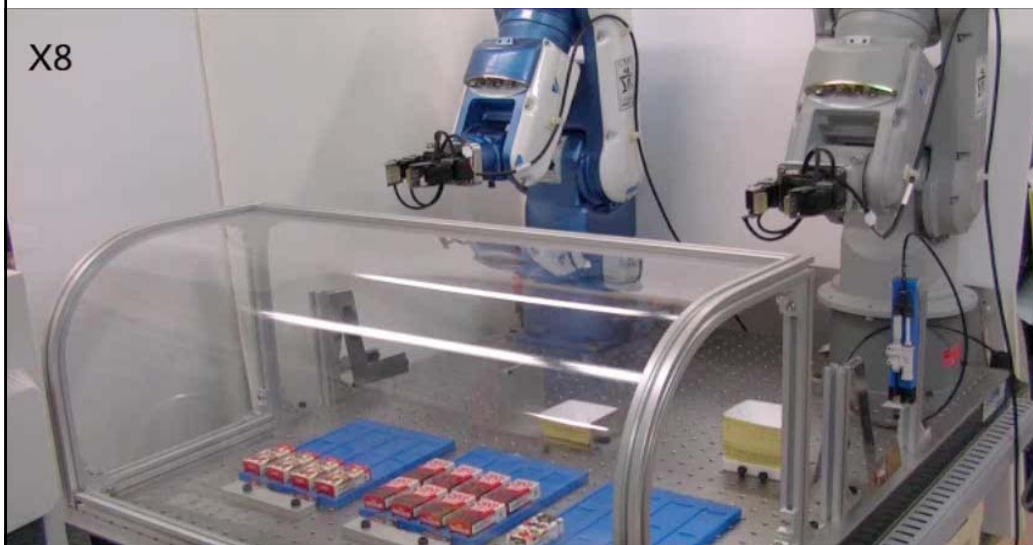
概要: 共通作業領域の管理を行うコンポーネントを導入し, 動作タイミングを調整する

特徴: 動作コマンド毎に, 共通作業領域に関して排他的動作になるようにコマンドの発行タイミングを調整. 双腕作業インタフェースに準拠



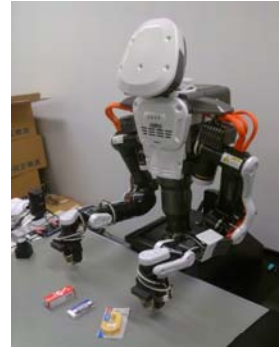
# 双腕による菓子提供作業(筑波大)

公開



## 再利用・標準化に関する成果

- 共通インタフェースの策定
  - 共通カメラインタフェース
  - 双腕ロボット共通インタフェース
- 他機関開発コンポーネントの再利用
  - OpenHRI、OpenNI
  - グループ内開発コンポーネント
- 双腕ロボットプラットフォームの確立と公開
  - 和菓子のハンドリングシステムの構築
  - 移動作業システム、把持用ロボットアーム



## 普及に向けた取り組み

- 公開サイト [http://robotics.naist.jp/nedo\\_project/](http://robotics.naist.jp/nedo_project/)
  - システムのコンポーネント、ツール群をオープンソースで
- ハンドアイ研究プラットフォームの公開
  - 東京電機大学へ公開： 文房具のハンドリング、2ヶ月で構築
- 専門家への普及
  - 学会の講習会講師
  - 大学での人材育成プログラムでの講義・プロジェクト実習
- 一般への情報発信
  - 国際ロボット展2011におけるデモ
  - テレビ取材： フジテレビ、読売テレビ

## まとめ「アソート作業」

目標	成果	達成度	効果
再利用性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラ、双腕ロボットの共通インターフェースの策定</li> <li>・他機関開発コンポーネントの再利用</li> <li>・複数の双腕ロボットプラットフォームによる再利用</li> <li>・双腕ロボットを構成するモジュール群をオープンソースで公開</li> </ul>	◎	<ul style="list-style-type: none"> <li>・オープンソースのため、ユーザが手軽に利用でき、改良可能</li> <li>・目的に応じてモジュールを交換・追加可能</li> </ul>
有効性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・双腕ロボットHiroNXを用いて、和菓子ハンドリングシステムを構築、検証</li> <li>・短期間で文房具のハンドリングシステムを構築</li> </ul>	◎	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国際ロボット展にて実証デモ</li> <li>・HP、マスメディア等で成果発信</li> </ul>
体系的性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・モジュール群だけでなくシステム情報も公開</li> <li>・大学の初心者によるシステム立ち上げ検証例</li> </ul>	◎	<ul style="list-style-type: none"> <li>・サービスロボットの基盤、参照システムとして柔軟物ハンドリング等の研究開発に利用可能</li> </ul>

## 総括

知能化プロジェクトの成果を組み合わせた  
2種類の作業知能の統合システム開発



オープンソースで公開されているRT  
コンポーネントを利用して  
システム構築が容易



知能モジュール群の再利用性、有  
効性、体系的性を検証

産業用ロボット、サービスロボット  
としての展開性

## 5.1.4 国際連携 RTMとROSの連携について

東京大学大学院情報理工学系研究科  
情報システム工学研究室  
稲葉雅幸, 岡田 慧  
2012年6月22日 15:15-16:00

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

1

公開

### 内容

- (1) ロボット分野におけるオープンソースの流れ
- (2) OpenRTM-ROS相互運用プロジェクト
- (3) 知能化コンポーネントの継続・発展環境

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

2

# 内容

- (1) ロボット分野におけるオープンソースの流れ
  - OROCOS(産業用実時間向け), YARP(人型研究用)
  - Player/Stage(移動用), OpenCV(画像処理), OpenMP(アームプランナ)
  - ⇒ ROS(認識移動作業)が平成21年より急激に普及.
- (2) OpenRTM-ROS相互運用プロジェクト
  - ROSパッケージとRTMの統合法を確立し, 実システムで運用評価
  - RTM-ROSの統合環境利用法の講義・演習・ホームページの公開
- (3) 知能化コンポーネントの継続・発展環境
  - RTM-ROS相互運用環境の継続実装・テスト・ドキュメントの自動化
  - ROSコンポーネントからRTCモジュール生成プログラムの実現

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

3

## (1) 世界のロボット分野に関連する オープンソースソフトの流れ

- オープンソースソフトウェア
  - コミュニティ型開発でデファクトとイニシアティブを獲得
  - 計算機分野ではLinux, Apache, Android等の成功事例
- ロボット分野におけるオープンソース
  - OpenCV, Player, OpenHRP, OpenRAVE等の知的モジュール
  - ヨーロッパではOrocosやiCubなど独自のプラットフォームが展開
  - わが国では国際標準規格に基づいたOpenRTMを推進
  - 本プロジェクト開始後, 米国を中心にROS ( Robot Operating System ) がユーザを増やしている
- 相互運用プロジェクト(平成23年度)
  - 背景: OpenRTMとROSはどのような連携があり, どう行うのが良いのか
  - 目的: プロジェクト後の継続的展開も含めた相互運用, 統合環境を示す
  - 成果: ROSの全てのモジュールを取り込むことができるようになった

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

4

# OpenRTMとROSの比較

- OpenRTMはRTM規格に基づき、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。

	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	産業技術総合研究所	ウィローガレッジ社+有志
設計方針	コンポーネント化 再利用性を重視し厳格化	ライブラリ化 開発効率を重視し緩い規格
注力分野	コンポーネント開発環境 知能ソフト開発中心	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)

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

# OpenRTMとROSの利用機関数・ソフトウェアモジュール数

- ROSの利用機関数, ソフトウェアモジュール数
  - ・利用機関数 114 (内企業数14≒8%)
  - ・ソフトウェアモジュール数 150( ROS Stack数, Package数は3000以上)

出典: <http://www.ros.org/wiki/Metrics>

OpenRTMは企業に広く浸透しています

- OpenRTMの利用機関数, ソフトウェアモジュール数
  - ・利用機関数 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)



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



<http://maps.google.com/maps/ms?ie=UTF&msa=0&msid=202046448223103795061.0004af11ddd066defcdcfb>

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



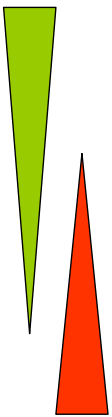


<http://maps.google.com/maps/ms?ie=UTF&msa=0&msid=202046448223103795061.0004af11ddd066defcdfs>

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

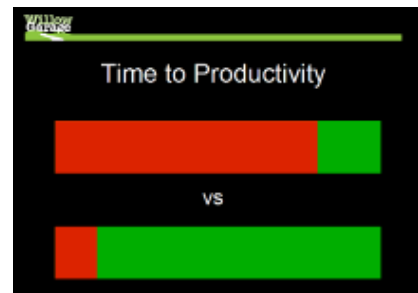
# 本相互運用プロジェクトにおける RTM-ROS統合方式

- アプリケーション
- 知能モジュール
- ライブラリ
- シミュレータ
- 通信ライブラリ
- デバイスドライバ
- 開発ツール



**研究・事業化**  
RTM知能化の  
ターゲット領域

**ツール**  
ROSの得意とする  
領域



WillowGarage社のスライドより. 赤が研究に必要なツール作成等の雑作業. 緑が研究そのもの. 現状は上. 多くの時間をツール作業に費やす. ROSは研究サポートを行うツール ( Steve Cousins speaking at Robo Development: <http://www.willowgarage.com/blog/2008/11/17/steve-cousins-speaking-robo-development-tuesday> より)

## → オープンソースツール上にRTM-ROS統合環境を構築

- ねらい1: 世界中の研究成果をOpenRTMロボットに取り込み統合できるように
- ねらい2: RTMモジュールの効率的な開発・保守環境により更なる発展を可能に

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



## (2) RTM-ROS相互運用プロジェクト

「次世代ロボット知能化技術の相互運用性の検証」(東京大学, 平成23年度より)  
【平成23年度】

- 次世代ロボット知能化技術の相互運用可能性を検証する. 具体的にはROSプロジェクトからRTCには存在しない不正終了時の自己復帰機能を有する移動モジュールを抽出しこれを内蔵したRTCを開発し, 次世代ロボット知能化技術を搭載した相互運用プラットフォーム上で相互運用性を検証する.
- (A) 相互運用プラットフォームハードウェア構成の設計
  1. 動作, センサ, 計算機, 電源, 通信の要求仕様の策定
  2. 移動・認識用三次元距離センサの搭載
  3. エンドエフェクタのトレイ運搬への対応
  4. 相互運用プラットフォームの統合ハードウェアの検証
- (B) 相互運用プラットフォームソフトウェア構成の設計開発
  1. 初期開発検証移動機構上でのナビゲーション相互運用環境の確立
  2. 相互運用プラットフォーム上でのモジュール内蔵RTC統合検証
- (C) ロボット知能化コンポーネント統合開発支援環境
  1. 相互運用対応OpenRTM/HRPのオープン化・共用開発環境の構築
  2. RTM統合開発支援ツール
- (X1) 相互運用公開講義・講習会
- (X2) 知能化コンポーネントの生成検証・動作検証・文章化の自動化環境
- (X3) ROSモジュール自動相互運用RTC

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

9

### (A) 相互運用プラットフォーム ハードウェア構成の設計

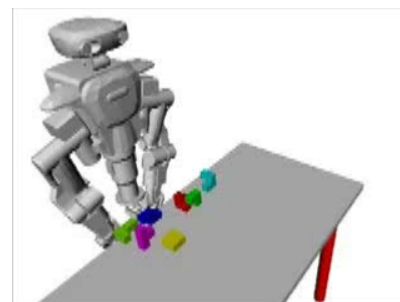
1. OpenRTM台車  
+ ROSナビゲーション
  - 移動SWグループの共通インターフェース仕様への対応
2. OpenRTM台車  
+ ROSナビゲーション  
+ OpenRTM腕  
+ OpenRAVE動作計画
  - 共通インターフェースは加速Gを中心に策定中
  - SequencePlayerの関節角度指令インターフェースでの利用



移動台車ロボットbeego



安川移動ユニット FMK



OpenRAVEを用いたHIROIによる3Dブロック操作

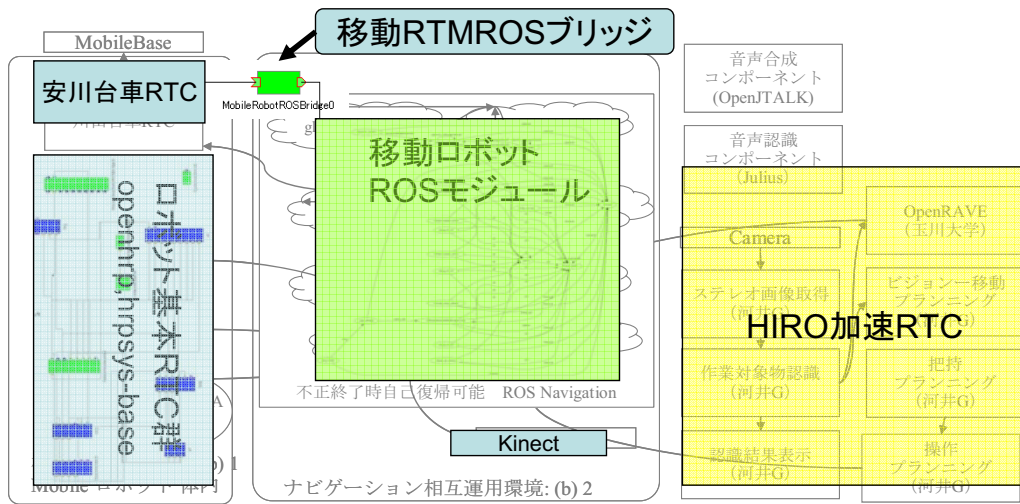


移動作業ロボット

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

10

# (B) 相互運用プラットフォーム ソフトウェア構成の設計開発



各コンポーネントの説明

HIRO加速開発RTC	その他RTC	今回作成相互運用対応RTC (外部開発)	今回作成ROS機能参考内部開発RTC	コミュ知能RTC

RTC知能化モジュール群  
 RTC加速モジュール群  
 ROSモジュール群

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

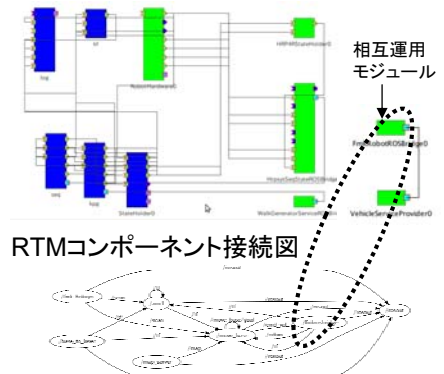
# 相互運用プラットフォームの実証実験



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



移動ROSモジュール接続図



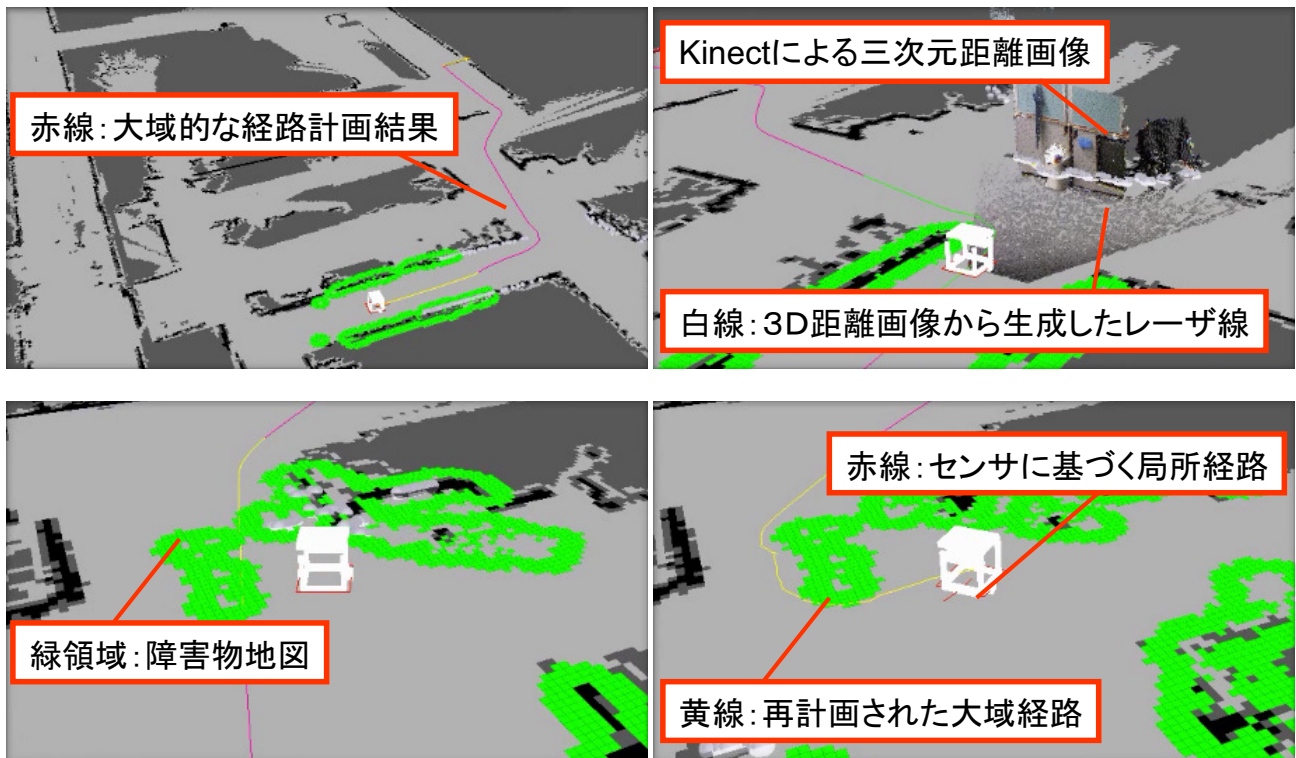
作業移動ロボットによるRTMコントローラとROSユーザインタフェースの連携検証



トレイ運搬タスクの例

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

# ROSナビゲーション機能の様子



<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/> オンラインの経路再計画の様子 13

## (C) ロボット知能化コンポーネント 統合開発支援環境

### C-1) 相互運用対応OpenRTM/HRPのオープン化・ 共用開発環境の構築

- 知能ロボット基本ソフトウェアプラットフォーム (openhyp3-aist-grx (齊藤@GRX))、ロボット身体非依存の知能ロボット動作制御コンポーネント群 (hrpsys-base(金広@AIST)) のオープンソース化
- RTC-CANOpen, rtshell, OpenRAVE, choreonoid, OpenVGRの共用環境の構築

### C-2) RTM統合支援開発ツール

- 次ページで詳細を説明

## (C-2)RTM統合支援開発ツール

### C-2-A パッケージソースコード開発管理ツール

- パッケージの依存関係を解析し, 対象とするコンポーネントが依存するパッケージ群に対して, ヘッダファイルへのインクルード, ライブラリへのリンク, IDLファイルのコンパイル, リnkの自動的に行うツール.
- 例: `mrobot_ros_bridge` パッケージにあるコンポーネントの生成

```
$ rosmake mrobot_ros_bridge
```

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のコンパイルやリンク, IDL生成を含めてターゲットコンポーネントの生成処理を行う.

- ROS機能を取り込んだRTMコンポーネントを生成可能.
- 複雑な手順を踏まなくともRTMコンポーネントのコンパイルを1コマンドで実現.

## (C-2)RTM統合支援開発ツール

### C-2-B プログラムコンポーネント実行管理ツール

- 複数のプログラムコンポーネントの実行, オンラインでのパラメータ設定, 引数設定, 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を行うツール

- 例: `mrobot_ros_bridge` パッケージにある移動シミュレータを起動

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

1つのコマンドでbeegoの移動機能シミュレーションに必要な10個以上の全てのROS, RTMコンポーネントの起動と相互接続を行う.

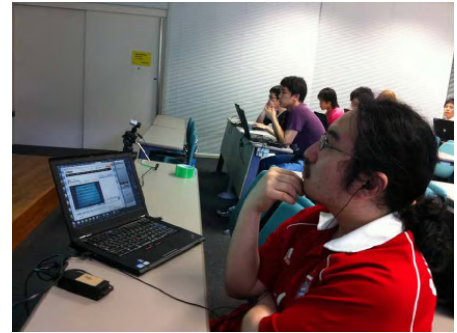
- RTM, ROS混成環境でのコンポーネントの実行を1コマンドで実現

- 相互運用環境におけるコンポーネントのコンパイル並びに実行が容易なツール群を構築することで, 智能化コンポーネント動作検証・文章化の自動化環境が実現



# (X1) 相互運用公開講義・講習会

- RTMROS相互運用講義
  - 2011年度夏学期 水曜日13:00~14:30
  - 本郷, 秋葉原 TV会議接続
  - 全12回, 補習3回: 大学院生42名が履修
  - 講義資料, 宿題, ソフトウェア, MLの公開



- 講義ホームページ: <http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>
- 講義メーリングリスト: <http://groups.google.com/group/rtm-ros-robotics>
- 講義ソースコードリポジトリ: <http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/svn/trunk/>
- 講義ustream中継: <http://ustre.am/xKBj>



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

17

## 講義内容

1. イントロ- 講義予定、ロボット知能化プロジェクト
  1. 講義の位置付け・背景稲葉
  2. RTM チュートリアル吉海
  3. ROS チュートリアル岡田
2. ロボットソフトウェアの相互運用吉海、岡田
3. RTミドルウェア: RTM 吉海、矢口
4. ソフトウェアツール:ドキュメント、テスト検証魯仙
5. 動作計画、開発システム: OpenRAVE 魯仙(R. Diankov)
6. Robot オペレーティングシステム: ROS 岡田
7. RTM/ROS相互接続、ビジョンRTM 吉海
8. RTMビルドツール, 三次元ビジョン: RTMExTender 矢口
9. 双腕マニピュレーション: HIRONX, Vpython 花井
10. インタラクティブシステム: OpenHRI, Choreonoid 原(産総研)
11. 実時間対応: OpenHRP, OpenRTM HRP4 金広(産総研)
12. ロボットソフトウェアの発展的構成法稲葉

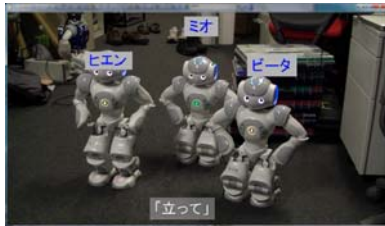
<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

18

• 技術補佐員による講義を踏まえた相互運用検証例



ROS移動機能検証



OpenHRI対話機能検証



OpenRAVE計画機能検証



筋骨格ロボットでの検証



NAOロボットでの検証



HRP2ロボットでの検証

• RTMROS相互運用プログラミングワークショップ

- 2012年1月26日・27日
- 加速HIROを対象としたRTMROS相互運用プログラミング環境の講習会
- 参加者
  - 国内研究機関研究員・国内大学教員
  - 国外研究機関研究員

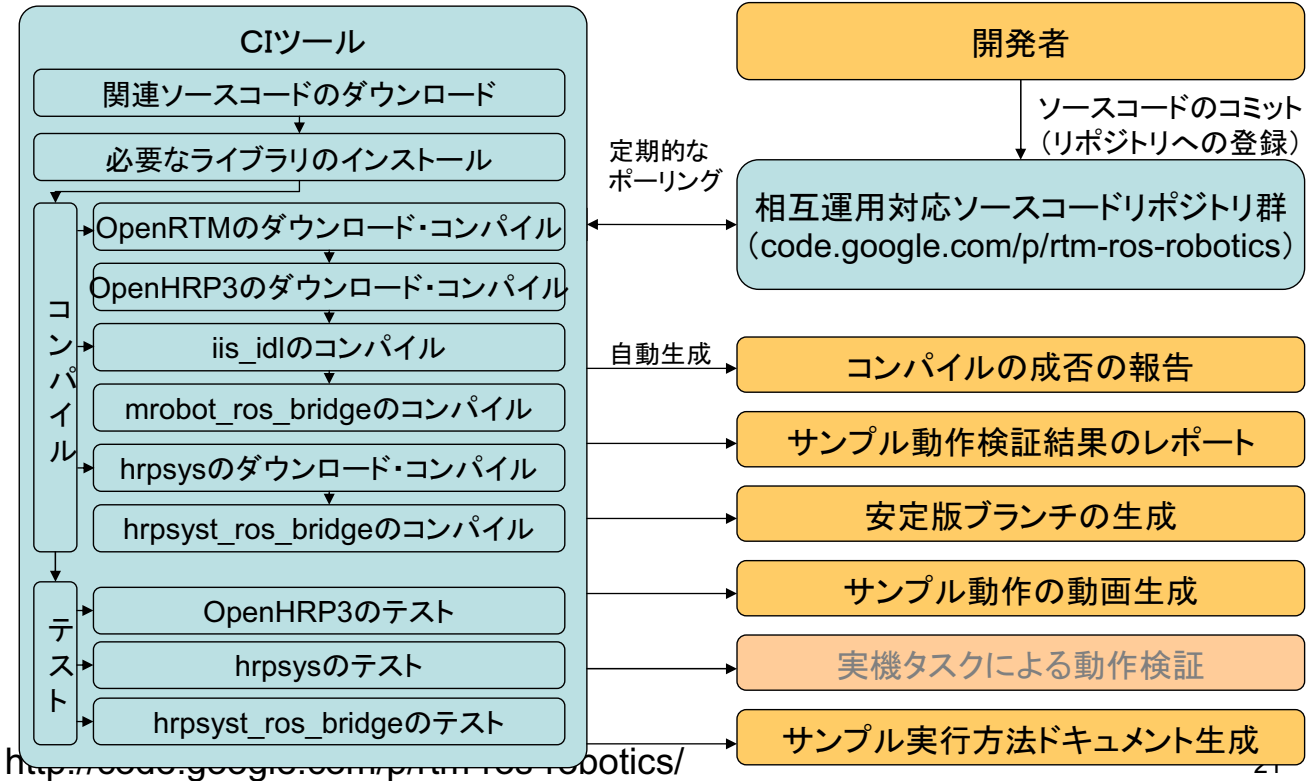


<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

### (3) 知能化コンポーネントの継続・発展環境

- RTM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必要
- 各ソフトウェアはそれぞれ独自に進歩するが, それらを吸収していけることが重要
  - 自動で知能化コンポーネントを検証する機構
  - 自動でROSコンポーネントをRTC化する機構

# (X2) 知能化コンポーネントの生成検証・動作検証・文章化の自動化環境

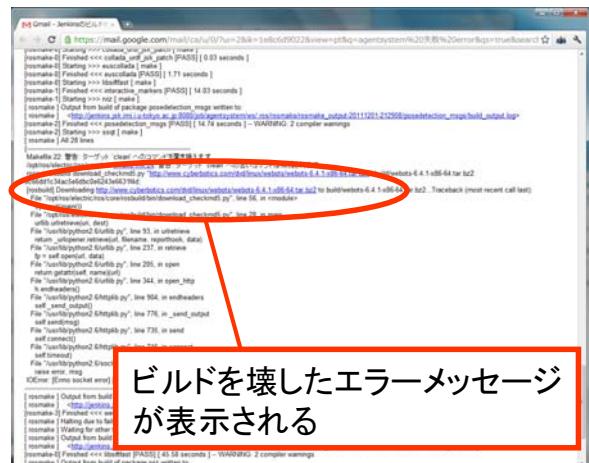
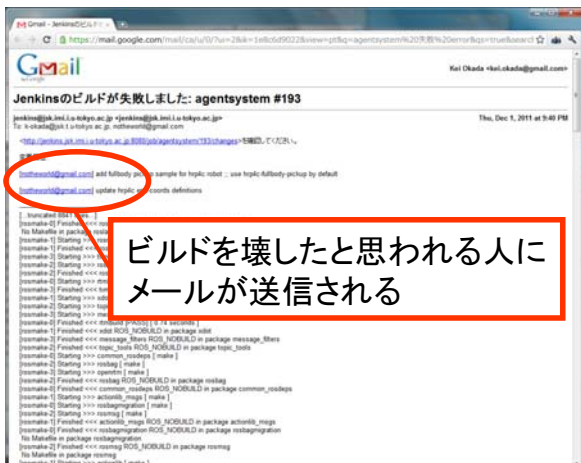


<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

## 知能化コンポーネント生成検証の例(1)

### • コンパイルの成否の報告

- CIの起動はソースコードのコミットがトリガとなるため、原因となるコードをコミットした本人にコンパイルの成否が伝えられる。

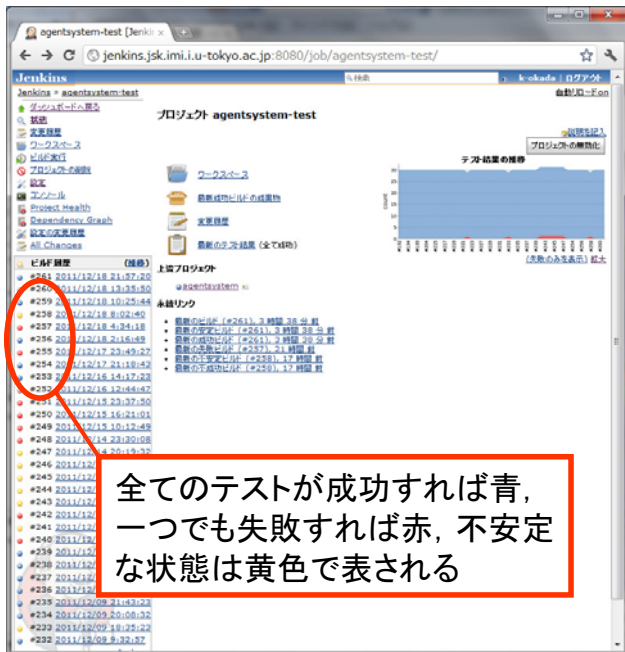


<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/> <http://jenkins.jsk.imi.i.u-tokyo.ac.jp:8080/job/agentsystem/>

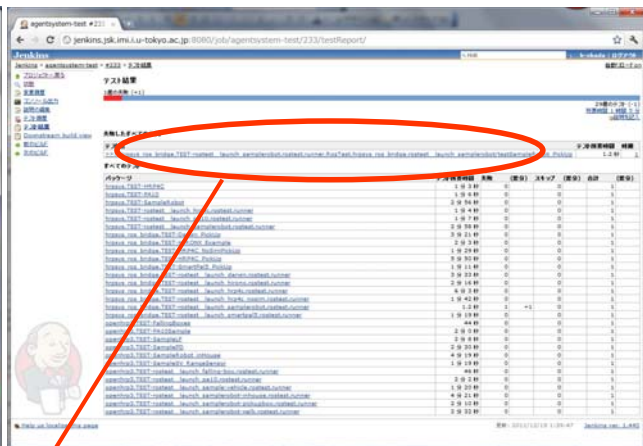


# 知能化コンポーネント生成検証の例(2)

- サンプル動作検証結果のレポート



全てのテストが成功すれば青、一つでも失敗すれば赤、不安定な状態は黄色で表される

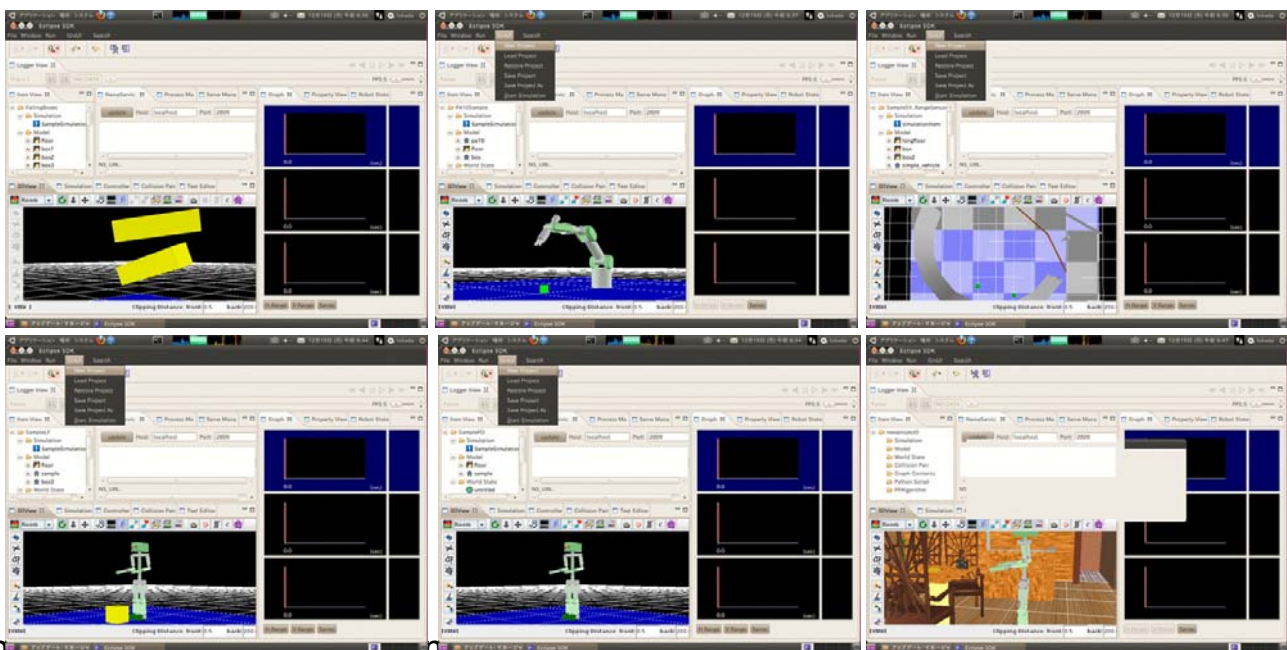


失敗したテストのレポートはwebインターフェースからも簡単に確認することが出来る

<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/> [jenkins.jsk.imi.i.u-tokyo.ac.jp:8080/job/agentsystem-test/](http://jenkins.jsk.imi.i.u-tokyo.ac.jp:8080/job/agentsystem-test/)

# 知能化コンポーネント動作検証の例(1)

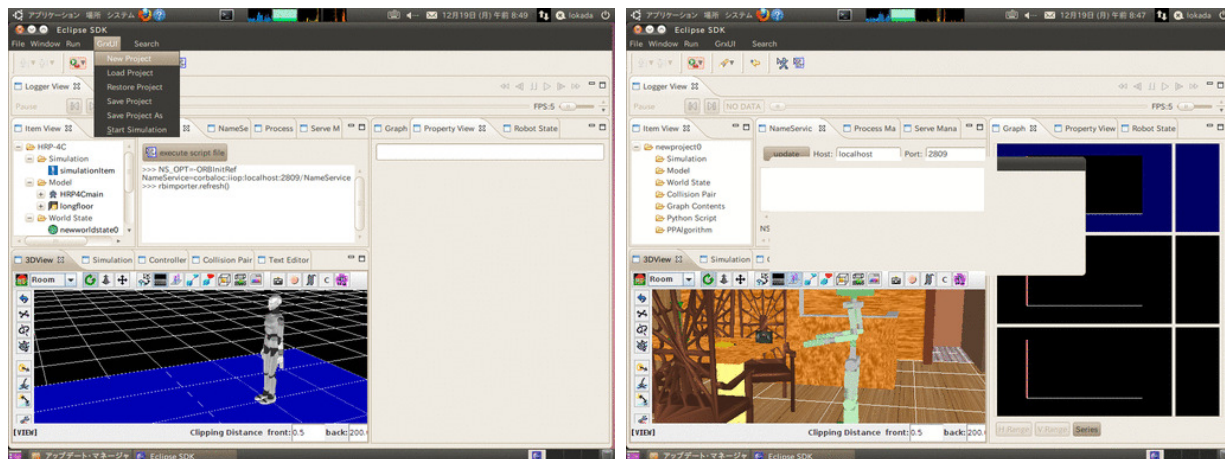
- サンプル動作の動画生成 (OpenHRP3)



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

# 知能化コンポーネント動作検証の例(2)

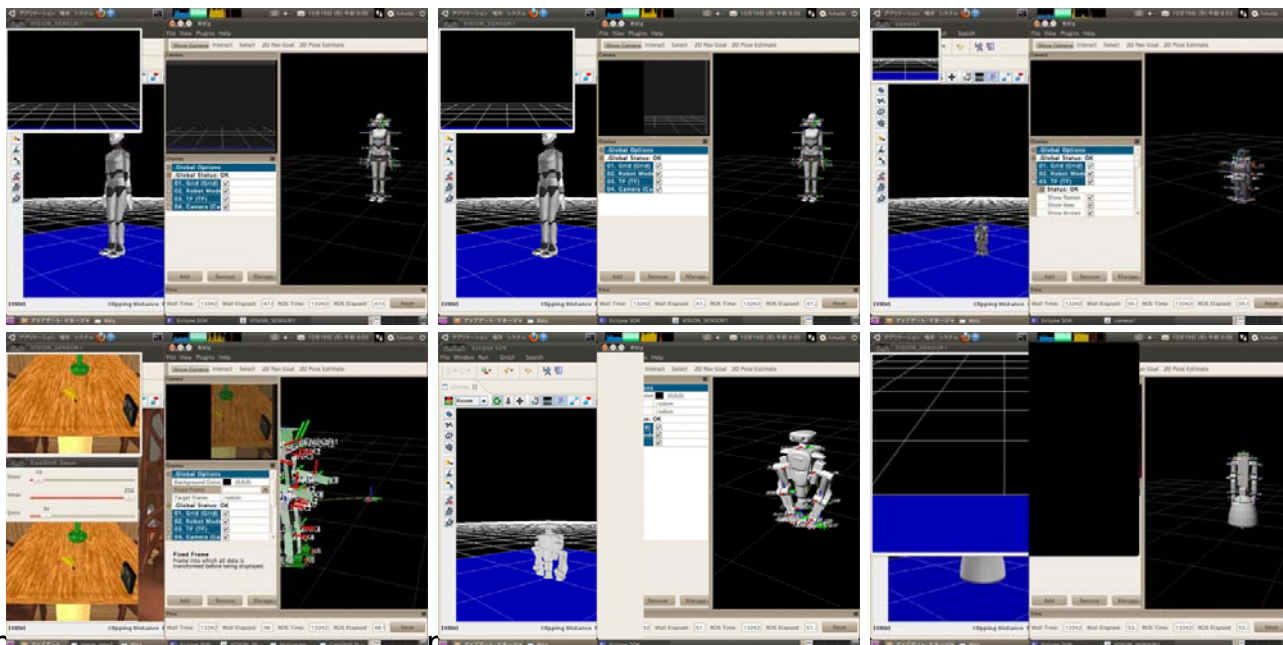
- サンプル動作の動画生成(hrpsys)



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

# 知能化コンポーネント動作検証の例(3)

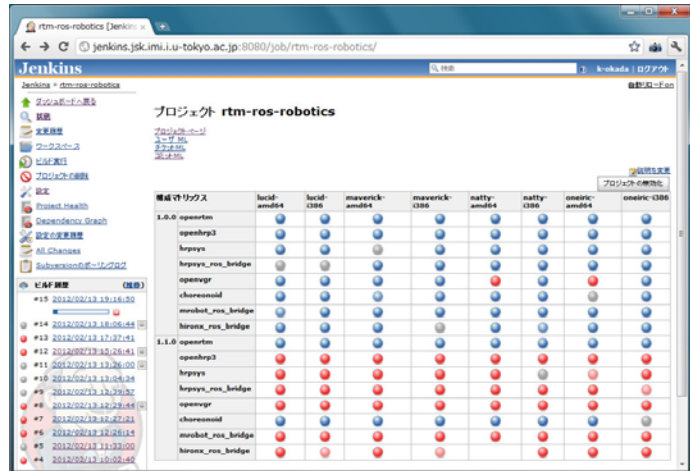
- サンプル動作の動画生成(hrpsys\_ros\_bridge)



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

# バージョンの異なる CPU, OS, ミドルウェアでの検証

- OS, ミドルウェアのバージョンアップに対する検証
- 現時点で一般的な環境の組み合わせ
  - CPU: 32bit (i386), 64bit (amd64)
  - OS: Ubuntu 10.04, 10.10, 11.04, 11.10
  - OpenRTM: 1.0.0, 1.1.0
- 上記の16通りの組合せに対して各コンポーネントの動作を検証
- 右図は8個のコンポーネントに対する動作検証. 合計で128回の動作検証を行う様子

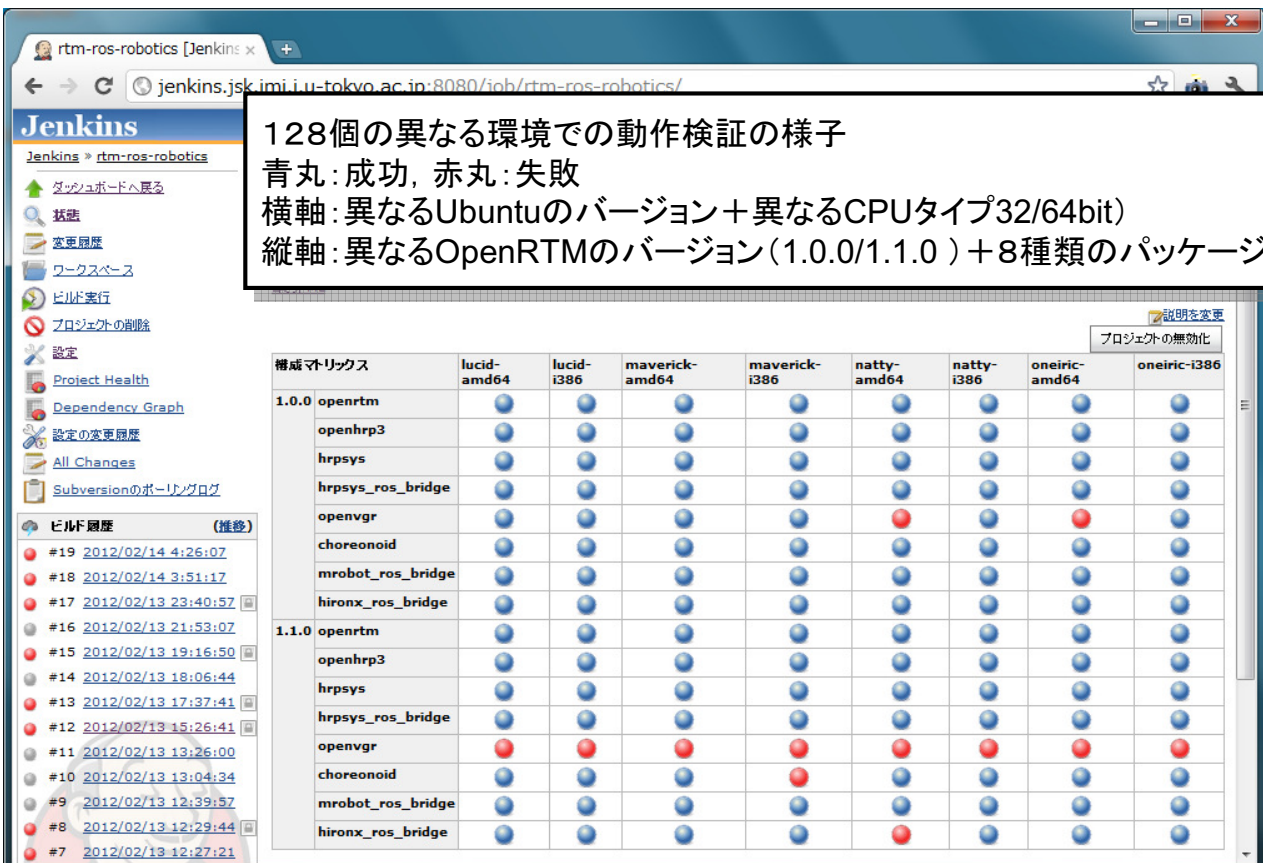


横軸: CPU x OS の8通りの組合せ  
 縦軸: 7個のコンポーネントに対して, 2つのRTMバージョンで検証

<http://jenkins.jsk.imi.i.u-tokyo.ac.jp:8080/job/rtm-ros-robotics/>

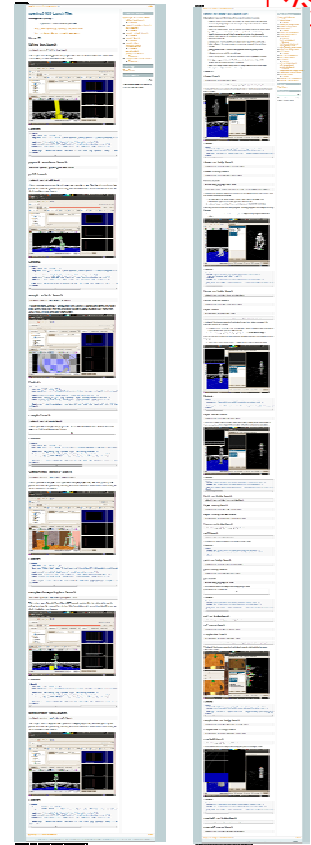
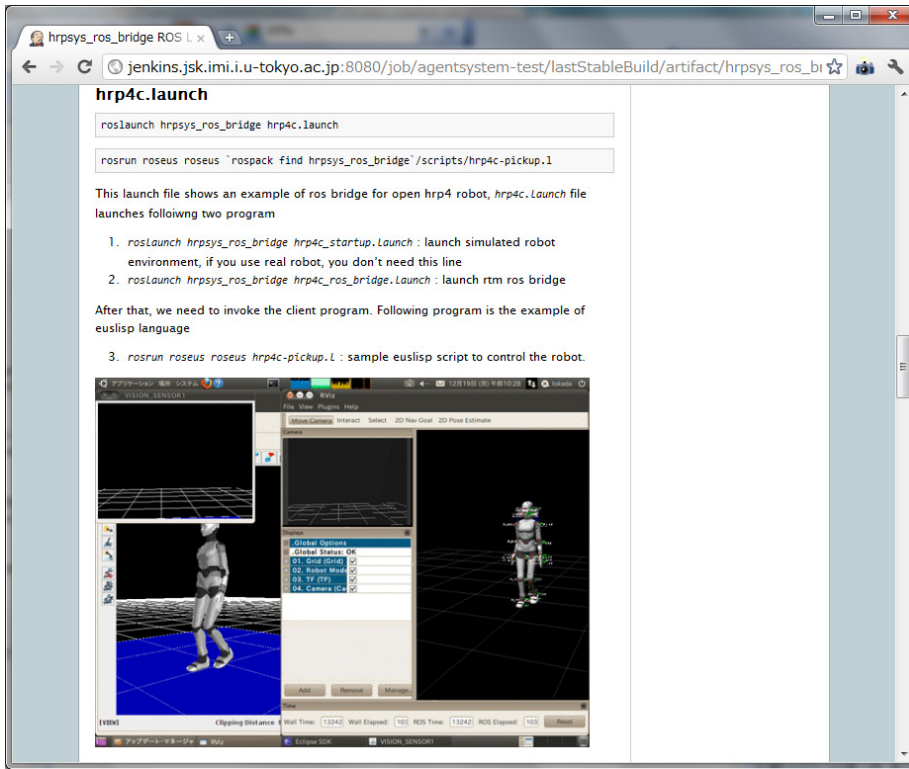
<http://code.google.com/p/rtm-ros-robotics/>

128個の異なる環境での動作検証の様子  
 青丸: 成功, 赤丸: 失敗  
 横軸: 異なるUbuntuのバージョン + 異なるCPUタイプ32/64bit)  
 縦軸: 異なるOpenRTMのバージョン(1.0.0/1.1.0) + 8種類のパッケージ



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





自動生成されたドキュメント例

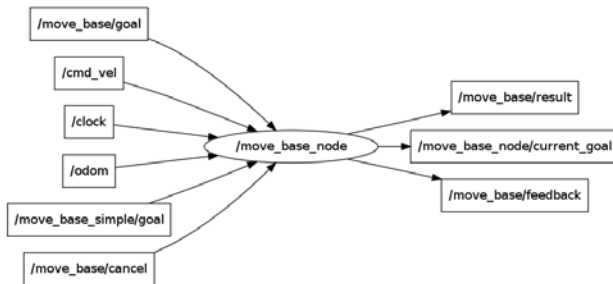
<http://jenkins.jsk.imi.i.u-tokyo.ac.jp:8080/job/agentsystem-test/lastStableBuild/artifact/openhrp3-example/index.html>

<http://jenkins.jsk.imi.i.u-tokyo.ac.jp:8080/job/agentsystem-test/lastStableBuild/artifact/hrpsys-example/index.html>

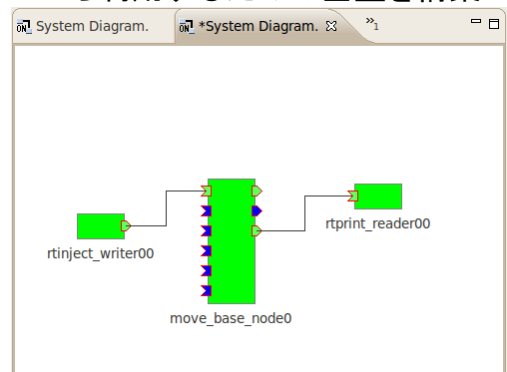
[http://jenkins.jsk.imi.i.u-tokyo.ac.jp:8080/job/agentsystem-test/lastStableBuild/artifact/hrpsys\\_ros\\_bridge-example/index.html](http://jenkins.jsk.imi.i.u-tokyo.ac.jp:8080/job/agentsystem-test/lastStableBuild/artifact/hrpsys_ros_bridge-example/index.html)

# (X3) ROSモジュール自動相互運用RTC

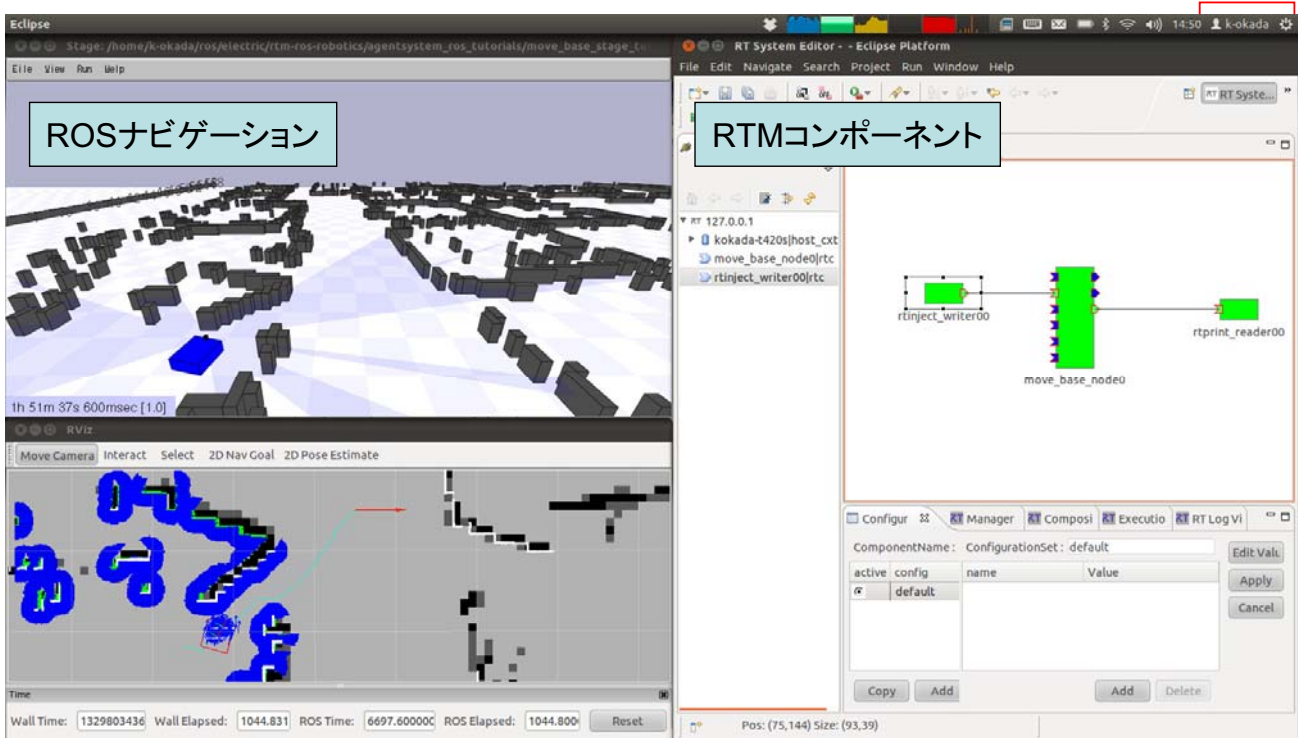
- 稼動しているROSモジュールから自動的にRTMコンポーネントを作成するプログラム
  - \$ roslaunch rosnode\_rtc stage\_sample.launch
  - 稼動しているROSモジュールの入出力メッセージを解析
  - 対応するOpenRTM用のIDLファイルを出力
  - 生成されたIDLファイルを利用してRTMコンポーネントを生成. ROSメッセージとRTMデータポートの相互変換を提供
- ROSで記述された3000のパッケージを全てRTMから利用するための基盤を構築



ROSのナビゲーションノード



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



ROSナビゲーションチュートリアルの実行

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

```
$ rosrn rviz rviz -d `rospack find movebase_stage_tutorial`/config/rviz.vcg
```

ROSノードからRTMコンポーネントの自動生成

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

RTMのデータポートからROSのナビゲーションを制御する例

```
$ rosrn rosnode_rtc stage_sample_send_goal.sh
```

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

31

## ROSコンポーネントからRTCモジュール を自動生成するプログラムを実現

公開

- システム上で稼動しているROSノード(プログラム)から, 同等の入出インターフェースをもったRTMコンポーネントを生成するツール
  - ROSノードの入出力情報を取得
  - 対応するIDL(入出インターフェース情報)を出力
  - 出力したIDLを利用したRTCコンポーネントを生成・実行
- ROSで記述された3000のパッケージを全てRTMから利用するための基盤ツールを構築

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

32

# 開発したソフトウェア

## • 開発したモジュール

全16パッケージを [http://rtm-ros-](http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/)

[robotics.googlecode.com/](http://rtm-ros-robotics.googlecode.com/) で公開

- rtmbuild : 相互運用ツール

- mrobot\_ros\_bridge, hrpsys\_ros\_bridge,  
hironx\_ros\_bridge,

fmk\_rs\_bridge, beego\_navigatoin, rtm\_node :  
相互運用ソフトウェア

- openrtm, openhrp3, openinvent, openvgr,  
hrpsys, choreonoid, iis\_id1, RS003 : 既存Op  
enRTMソフトウェアの相互運用例

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

33

## まとめ

### (1) ロボット分野におけるオープンソースの流れ

- OROCOS(産業用実時間向け), YARP(人型研究用)

- Player/Stage(移動用), OpenCV(画像処理), OpenMP(アームプランナ)

⇒ ROS(認識移動作業)が平成21年より急激に普及.

### (2) OpenRTM-ROS相互運用プロジェクト

- ROSパッケージとRTMの統合法を確立し, 実システムで運用評価

- RTM-ROSの統合環境利用法の講義・演習・ホームページの公開

### (3) 知能化コンポーネントの継続・発展環境

- RTM-ROS相互運用環境の継続実装・テスト・ドキュメントの自動化

- ROSコンポーネントからRTCモジュール生成プログラムの実現

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

34

# 顕著な成果

- ROSパッケージとRTMの統合法を確立
  - 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の構築.
  - RTMとROS、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を実現
- 知能化コンポーネントの継続・発展環境
  - RTM-ROS相互運用環境の継続実装・テスト・ドキュメント自動化  
プロジェクト終了後も継続して動作検証環境とドキュメント生成できる自動テストツールを用いた省労力の管理方法の確立
  - ROSコンポーネントからRTCモジュール生成プログラムの実現  
ROSの全てのモジュールを自動的にOpenRTMから利用可能