

# ロボストに作業を実行するための 作業知能モジュール群の開発：システム統合化へ向けて

○松日楽信人(東芝), 浅間一(東大), 山口亨(首都大学東京), 近野敦(東北大)

Development of intelligent software modules for robots to perform tasks with robustness:

## Toward the system integration

Nobuto MATSUHIRA (Toshiba Corporation), Hajime ASAMA (The University of Tokyo),  
Toru YAMAGUCHI (Tokyo Metropolitan University), and Atsushi KONNO (Tohoku University)

**Abstract** —To perform the tasks by robots in actual environments, the performance of robots are not sufficient to cope with these tasks. Robots need more robust performance against actual environments. Thus, our group proposes new robot system to perform tasks more robustness through the development of robust sensing, recognition, and motion control. The software modules have been developed and verification test was performed partially.

**Key Words:** Software modules, Robustness, Robot system, Actual tasks

## 1. はじめに

現在のロボットでは、環境条件などが少しでも異なると作業が実現できない。これを解決しないと実用化は困難である。そこで、本プロジェクトでは、作業環境や作業内容、作業対象物が変わっても、確実かつ安全に作業を遂行できるロボットシステムを実現する。そのために、公共施設内でのテーブル片付け作業を対象に、作業計画知能モジュール、インタラクション知能モジュール、知能化環境モジュール、作業対象物情報取得知能モジュール、移動マニピュレーション知能モジュールの研究開発を行い、実証試験により検証する。最終的に各モジュールは公開することを目指す[1]。テーブル片付け作業には、公共施設での人との安全性、有限であるが多様な食器群、構造物があり、ハンドリング方法、ふき取り作業などの力制御、収納ワゴンとの連携作業、ロボットへの教示の問題など、現在、ロボットを実用化する際の多様な課題を含んでいる。この作業に絞ることにより、特定の環境下では確実かつ安全に作業の実行できるロボットシステムを開発する。図1には提案するロボットシステム構築例を示す。本稿ではプロジェクトのH20年度の概要を中心にこれまでの成果について紹介する。

## 2. 各知能モジュール群の開発状況

### 2.1 分散知能を利用したロボスト作業計画モジュール群の開発

実時間プランニングモジュールでは、プランニングモジュール、状況変化に対する動的計画修正モジュールのアルゴリズム設計、プロトタイプ試作を実施した。また、皿をトレイ上に置くためのヒューリスティクスを設計し、プランニングモジュールに与えるルールや知識の試作を実施した。さらに、プランニングモジュールと認識モジュールをつなぐことを目的とし、認識した知識をXML形式で蓄え、利用するための知識DBフレームワークの試作を実施した。一方、知識・状況管理モジュールでは、状況変化に対応して知識・状況を更新する状況変化対応モジュール、状況変化に対応して、計画作成・修正トリガを出力する状況変化対応モジュールのアルゴリズム設計、プロトタイプ試作を実施した。

### 2.2 作業対象物情報取得知能モジュール群の開発

物体センシングモジュール(計測)の一部として、複数

の作業対象物体の位置計測プロトタイプモジュールを試作した。これはステレオ楕円認識により複数の食器を位置計測できるようにしたものである。また、触覚による対象物の位置計測プロトタイプモジュールとして、触覚シミュレータを試作し、単純三次元物体の位置を計測できるようにした。さらに、テーブルなどの上に乱雑に置かれた複数種類の食器などを認識するために、Bag-of-Keypoints という画像認識手法を利用して、照明の変化や画像上での物体の見え方の違いに対してロボスト性(頑健性)を持つ物体認識を実現した。

### 2.3 移動マニピュレーション知能モジュール群の開発

移動マニピュレーション知能モジュール群の開発は、皿、トレイのテーブルからワゴンへの移動を例に、認識・計画・腕モータ制御各部分で実施される作業のタスク分解を行い、ソフトウェアの構成検討、設計を進めた。そして、下位サーボ制御レベルの運動制御モジュールについて、他のコンソーシアムとの情報交換を行いながら、移動モジュールおよびアーム操作モジュールのRTコンポーネント化設計と、それらの試作検証を進めた。冗長性利用モジュールには、特異姿勢においても冗長性を決定できる機能を開発し付加した。RTコンポーネント化を行い、動力学シミュレータOpenHRP3上でシミュレーションにより、モジュールの動作を検証した。

### 2.4 インタラクション知能モジュール群の開発

マルチモーダルインタラクションモジュールでは、音声認識モジュールを取り入れたバーバルインタラクション知的融合モジュールの開発を行い、ジェスチャ認識結果

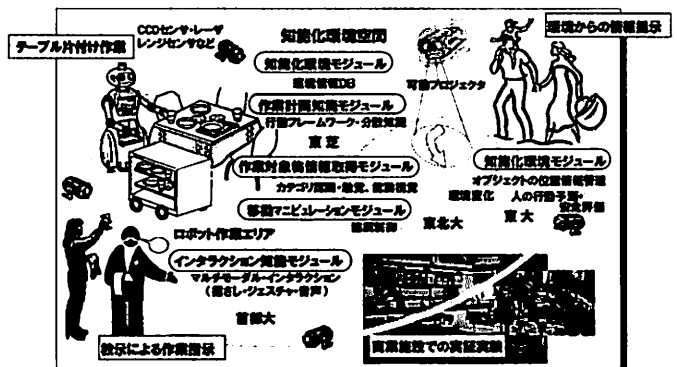


図1 提案するロボットシステムのイメージ

と、音声認識結果から中断・変更・停止の作業指示を認識することが可能となった。「サービス記述遂行モジュール」では、サービス記述オブジェクトから基本的なインスタンスを生成するサービス記述インスタンス生成モジュールを開発し、さらに実行命令からあらかじめ与えられた基本的な片付け手順に展開する手順展開技術モジュールを開発した。これにより、皿・お椀・コップの属性情報に基づき片付け作業、片付け手順の自動生成が可能となった。さらに、マルチモーダルインタラクションモジュールの結果に基づき手順の中断・停止が可能となった。

### 2.5 知能化環境モジュールの開発

空間知能化モジュールの開発では、取得オブジェクト属性情報データベース共有技術モジュールとして、環境構造化を積極的に利用しマルチモーダルインタラクションモジュールからの要求に応じて必要な情報を提供可能なデータベースを構築した。データベースには、汎用の位置情報管理データベース“Daruma”を用い、コンポーネントを作成した。これにより、他のモジュールと容易にオブジェクト属性情報を共有することが可能となった。実験では、皿・お椀・コップなど複数の食器へRFIDタグを添付し、各オブジェクトのID、ならびに位置情報を検出、位置管理データベースであるDarumaコンポーネントへ登録可能であることを確認した。

位置管理モジュール、環境サーバでは移動オブジェクトの位置情報を管理するため、ID・位置・位置誤差・速度・速度誤差・測定時間など、移動物体の情報を記述する方法を定義した。これに基づいて座標系の登録からオブジェクトの登録及び座標変換の手順までの通信プロトコルを提案して通信仕様を決め、API関数で実装した。設計したAPI関数を用いて移動オブジェクトの位置情報登録および検索の機能検証を行った。

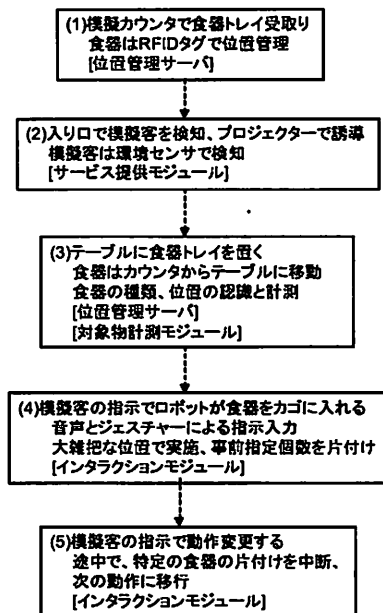


図2 一連作業を想定した実証実験シナリオ

### 3. 部分実証実験

H20年1月には、芝浦工大にて実証実験として、一連動作の実験を行った。図2には実証実験シナリオと動作のステップを示す。ただし、各ステップ毎の情報の共有化はまだ実装していない。予め与えた位置についてロボットアームで把持に行ったが、位置ズレによる掴み損ないがあった。しかし、再度、インタラクションモジュールにより片付け指示することで成功することができた。この時点でのロボットのハンドにはセンサもなかったが、動作のやり直しがフレキシブルにできことが確認できた。すべてが、自律的に行える訳ではないので、本提案の自律動作と人の指示による介入は現実的である。このように、最終的に目指す一連作業を実施することで、システム化でのイメージが掴めた。H21年度では全体の情報が繋がるようにシステム化を加速している。その一環で図3に示すように、H21年5月には、視覚モジュールとロボット動作の接続性を向上させ、組込みシステム開発技術展 ESEC に展示した。ここでは、視覚システムとロボット動作のロバスト性を向上させ、展示会環境下での画像処理、到達範囲の判断機能、ロボットハンドでのセンサを活用した食器把持の確認機能の実装を行い、3日間の動作検証を行った。

### 4. おわりに

本稿では、ロバストに作業を実行するための作業知能モジュール群のH20年度の開発成果とこれまでの成果について紹介した。今年中には、中間目標を達成する計画でシステム統合化を進めている。また、モジュールの相互利用や、作業サブWGにても、他コンソーシアムとの打合せを重ね、出口イメージの明確化を進めている。

なお、本研究開発はNEDO技術開発機構次世代ロボット知能化技術の研究開発[2]として実施されたものである。

#### 参考文献

- [1] 松日菜, 吉見, 淺間, 山口, 近野: ロバストに作業を実行するための作業知能モジュール群の開発, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 展開セッション10, 2008  
 [2] 佐藤, 比留川: 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 展開セッション10, 2008



図3 組込みシステム開発技術展 ESEC での実証実験

# ロボストに作業を実行するための 作業知能モジュール群の開発：システム統合化へ向けて

○松日楽信人(東芝), 浅間一(東大), 山口亨(首都大学東京), 近野敦(東北大)

## Development of intelligent software modules for robots to perform tasks with robustness:

### Toward the system integration

Nobuto MATSUHIRA (Toshiba Corporation), Hajime ASAMA (The University of Tokyo),  
Toru YAMAGUCHI (Tokyo Metropolitan University), and Atsushi KONNO (Tohoku University)

**Abstract** —To perform the tasks by robots in actual environments, the performance of robots are not sufficient to cope with these tasks. Robots need more robust performance against actual environments. Thus, our group proposes new robot system to perform tasks more robustness through the development of robust sensing, recognition, and motion control. The software modules have been developed and verification test was performed partially.

**Key Words:** Software modules, Robustness, Robot system, Actual tasks

## 1. はじめに

現在のロボットでは、環境条件などが少しでも異なると作業が実現できない。これを解決しないと実用化は困難である。そこで、本プロジェクトでは、作業環境や作業内容、作業対象物が変わっても、確実かつ安全に作業を遂行できるロボットシステムを実現する。そのために、公共施設内でのテーブル片付け作業を対象に、作業計画知能モジュール、インタラクション知能モジュール、知能化環境モジュール、作業対象物情報取得知能モジュール、移動マニピュレーション知能モジュールの研究開発を行い、実証試験により検証する。最終的に各モジュールは公開することを目指す[1]。テーブル片付け作業には、公共施設での人との安全性、有限であるが多用な食器群、構造品があり、ハンドリング方法、ふき取り作業などの力制御、収納ワゴンとの連携作業、ロボットへの教示の問題など、現在、ロボットを実用化する際の多用な課題を含んでいる。この作業に絞ることにより、特定の環境下では確実かつ安全に作業の実行できるロボットシステムを開発する。図1には提案するロボットシステム構築例を示す。本稿ではプロジェクトのH20年度の概要を中心にこれまでの成果について紹介する。

## 2. 各知能モジュール群の開発状況

### 2.1 分散知能を利用したロボスト作業計画モジュール群の開発

実時間プランニングモジュールでは、プランニングモジュール、状況変化に対する動的計画修正モジュールのアルゴリズム設計、プロトタイプ試作を実施した。また、皿をトレイ上に置くためのヒューリスティクスを設計し、プランニングモジュールに与えるルールや知識の試作を実施した。さらに、プランニングモジュールと認識モジュールをつなぐことを目的とし、認識した知識をXML形式で蓄え、利用するための知識DBフレームワークの試作を実施した。一方、知識・状況管理モジュールでは、状況変化に対応して知識・状況を更新する状況変化対応モジュール、状況変化に対応して、計画作成・修正トリガを出力する状況変化対応モジュールのアルゴリズム設計、プロトタイプ試作を実施した。

### 2.2 作業対象物情報取得知能モジュール群の開発

物体センシングモジュール(計測)の一部として、複数

の作業対象物体の位置計測プロトタイプモジュールを試作した。これはステレオ楕円認識により複数の食器を位置計測できるようにしたものである。また、触覚による対象物の位置計測プロトタイプモジュールとして、触覚シミュレータを試作し、単純三次元物体の位置を計測できるようにした。さらに、テーブルなどの上に乱雑に置かれた複数種類の食器などを認識するために、Bag-of-Keypointsという画像認識手法を利用して、照明の変化や画像上での物体の見え方の違いに対してロボスト性(頑健性)を持つ物体認識を実現した。

### 2.3 移動マニピュレーション知能モジュール群の開発

移動マニピュレーション知能モジュール群の開発は、皿、トレイのテーブルからワゴンへの移動を例に、認識・計画・腕モータ制御各部で実施される作業のタスク分解を行い、ソフトウェアの構成検討、設計を進めた。そして、下位サーボ制御レベルの運動制御モジュールについて、他のコンソーシアムとの情報交換を行いながら、移動モジュールおよびアーム操作モジュールのRTコンポーネント化設計と、それらの試作検証を進めた。冗長性利用モジュールには、特異姿勢においても冗長性を決定できる機能を開発し付加した。RTコンポーネント化を行い、動力学シミュレータOpenHRP3上でシミュレーションにより、モジュールの動作を検証した。

### 2.4 インタラクション知能モジュール群の開発

マルチモーダルインタラクションモジュールでは、音声認識モジュールを取り入れたバーバルインタラクション知的融合モジュールの開発を行い、ジェスチャ認識結果

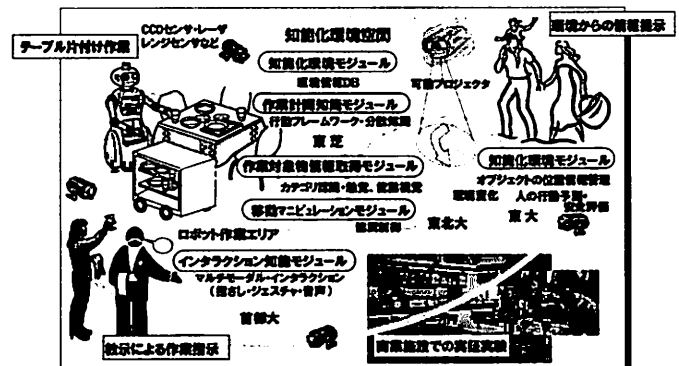


図1 提案するロボットシステムのイメージ

と、音声認識結果から中断・変更・停止の作業指示を認識することが可能となった。「サービス記述実行モジュール」では、サービス記述オブジェクトから基本的なインスタンスを生成するサービス記述インスタンス生成モジュールを開発し、さらに実行命令からあらかじめ与えられた基本的な片付け手順に展開する手順展開技術モジュールを開発した。これにより、皿・お椀・コップの属性情報に基づき片付け作業、片付け手順の自動生成が可能となった。さらに、マルチモーダルインタラクションモジュールの結果に基づき手順の中断・停止が可能となった。

### 2.5 知能化環境モジュールの開発

空間知能化モジュールの開発では、取得オブジェクト属性情報データベース共有技術モジュールとして、環境構造化を積極的に利用しマルチモーダルインタラクションモジュールからの要求に応じて必要な情報を提供可能なデータベースを構築した。データベースには、汎用の位置情報管理データベース“Daruma”を用い、コンポーネントを作成した。これにより、他のモジュールと容易にオブジェクト属性情報を共有することが可能となった。実験では、皿・お椀・コップなど複数の食器へRFIDタグを添付し、各オブジェクトのID、ならびに位置情報を検出、位置管理データベースであるDarumaコンポーネントへ登録可能であることを確認した。

位置管理モジュール、環境サーバでは移動オブジェクトの位置情報を管理するため、ID・位置・位置誤差・速度・速度誤差・測定時間など、移動物体の情報を記述する方法を定義した。これに基づいて座標系の登録からオブジェクトの登録及び座標変換の手順までの通信プロトコルを提案して通信仕様を決め、API関数で実装した。設計したAPI関数を用いて移動オブジェクトの位置情報登録および検索の機能検証を行った。

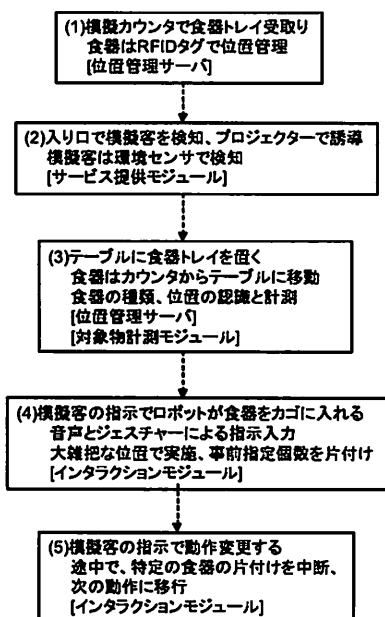


図2 一連作業を想定した実証実験シナリオ

### 3. 部分実証実験

H20年1月には、芝浦工大にて実証実験として、一連動作の実験を行った。図2には実証実験シナリオと動作のステップを示す。ただし、各ステップ毎の情報の共有化はまだ実装していない。予め与えた位置についてロボットアームで把持に行ったが、位置ズレによる掴み損ないがあった。しかし、再度、インタラクションモジュールにより片付け指示することで成功することができた。この時点でのロボットのハンドにはセンサもなかったが、動作のやり直しがフレキシブルにできことが確認できた。すべてが、自律的に行える訳ではないので、本提案の自律動作と人の指示による介入は現実的である。このように、最終的に目指す一連作業を実施することで、システム化でのイメージが掴めた。H21年度では全体の情報が繋がるようにシステム化を加速している。その一環で図3に示すように、H21年5月には、視覚モジュールとロボット動作の接続性を向上させ、組込みシステム開発技術展 ESEC に展示した。ここでは、視覚システムとロボット動作のロバスト性を向上させ、展示会環境下での画像処理、到達範囲の判断機能、ロボットハンドでのセンサを活用した食器把持の確認機能の実装を行い、3日間の動作検証を行った。

### 4. おわりに

本稿では、ロバストに作業を実行するための作業知能モジュール群のH20年度の開発成果とこれまでの成果について紹介した。今年中には、中間目標を達成する計画でシステム統合化を進めている。また、モジュールの相互利用や、作業サブWGにても、他コンソーシアムとの打合せを重ね、出口イメージの明確化を進めている。

なお、本研究開発はNEDO技術開発機構次世代ロボット知能化技術の研究開発[2]として実施されたものである。

#### 参考文献

- [1] 松日染, 吉見, 浅間, 山口, 近野: ロバストに作業を実行するための作業知能モジュール群の開発, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 展開セッション10, 2008
- [2] 佐藤, 比留川: 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 展開セッション10, 2008



図3 組込みシステム開発技術展 ESEC での実証実験

# ロボストに作業を実行するための 作業知能モジュール群の開発：システム統合化へ向けて

○松日楽信人(東芝), 浅間一(東大), 山口亨(首都大学東京), 近野敦(東北大)

Development of intelligent software modules for robots to perform tasks with robustness:

## Toward the system integration

Nobuto MATSUHIRA (Toshiba Corporation), Hajime ASAMA (The University of Tokyo),  
Toru YAMAGUCHI (Tokyo Metropolitan University), and Atsushi KONNO (Tohoku University)

**Abstract** —To perform the tasks by robots in actual environments, the performance of robots are not sufficient to cope with these tasks. Robots need more robust performance against actual environments. Thus, our group proposes new robot system to perform tasks more robustness through the development of robust sensing, recognition, and motion control. The software modules have been developed and verification test was performed partially.

**Key Words:** Software modules, Robustness, Robot system, Actual tasks

## 1. はじめに

現在のロボットでは、環境条件などが少しでも異なると作業が実現できない。これを解決しないと実用化は困難である。そこで、本プロジェクトでは、作業環境や作業内容、作業対象物が変わっても、確実かつ安全に作業を遂行できるロボットシステムを実現する。そのために、公共施設内でのテーブル片付け作業を対象に、作業計画知能モジュール、インタラクション知能モジュール、知能化環境モジュール、作業対象物情報取得知能モジュール、移動マニピュレーション知能モジュールの研究開発を行い、実証試験により検証する。最終的に各モジュールは公開することを目指す[1]。テーブル片付け作業には、公共施設での人との安全性、有限であるが多用な食器群、構造品があり、ハンドリング方法、ふき取り作業などの力制御、収納ワゴンとの連携作業、ロボットへの教示の問題など、現在、ロボットを実用化する際の多用な課題を含んでいる。この作業に絞ることにより、特定の環境下では確実かつ安全に作業の実行できるロボットシステムを開発する。図1には提案するロボットシステム構築例を示す。本稿ではプロジェクトのH20年度の概要を中心にこれまでの成果について紹介する。

## 2. 各知能モジュール群の開発状況

### 2.1 分散知能を利用したロボスト作業計画モジュール群の開発

実時間プランニングモジュールでは、プランニングモジュール、状況変化に対する動的計画修正モジュールのアルゴリズム設計、プロトタイプ試作を実施した。また、皿をトレイ上に置くためのヒューリスティックスを設計し、プランニングモジュールに与えるルールや知識の試作を実施した。さらに、プランニングモジュールと認識モジュールをつなぐことを目的とし、認識した知識をXML形式で蓄え、利用するための知識DBフレームワークの試作を実施した。一方、知識・状況管理モジュールでは、状況変化に対応して知識・状況を更新する状況変化対応モジュール、状況変化に対応して、計画作成・修正トリガを出力する状況変化対応モジュールのアルゴリズム設計、プロトタイプ試作を実施した。

### 2.2 作業対象物情報取得知能モジュール群の開発

物体センシングモジュール(計測)の一部として、複数

の作業対象物体の位置計測プロトタイプモジュールを試作した。これはステレオ楕円認識により複数の食器を位置計測できるようにしたものである。また、触覚による対象物の位置計測プロトタイプモジュールとして、触覚シミュレータを試作し、単純三次元物体の位置を計測できるようにした。さらに、テーブルなどの上に乱雑に置かれた複数種類の食器などを認識するために、Bag-of-Keypointsという画像認識手法を利用して、照明の変化や画像上での物体の見え方の違いに対してロボスト性(頑健性)を持つ物体認識を実現した。

### 2.3 移動マニピュレーション知能モジュール群の開発

移動マニピュレーション知能モジュール群の開発は、皿、トレイのテーブルからワゴンへの移動を例に、認識・計画・腕モータ制御各部で実施される作業のタスク分解を行い、ソフトウェアの構成検討、設計を進めた。そして、下位サーボ制御レベルの運動制御モジュールについて、他のコンソーシアムとの情報交換を行いながら、移動モジュールおよびアーム操作モジュールのRTコンポーネント化設計と、それらの試作検証を進めた。冗長性利用モジュールには、特異姿勢においても冗長性を決定できる機能を開発し付加した。RTコンポーネント化を行い、動力学シミュレータOpenHRP3上でシミュレーションにより、モジュールの動作を検証した。

### 2.4 インタラクション知能モジュール群の開発

マルチモーダルインタラクションモジュールでは、音声認識モジュールを取り入れたバーバルインタラクション知的融合モジュールの開発を行い、ジェスチャ認識結果

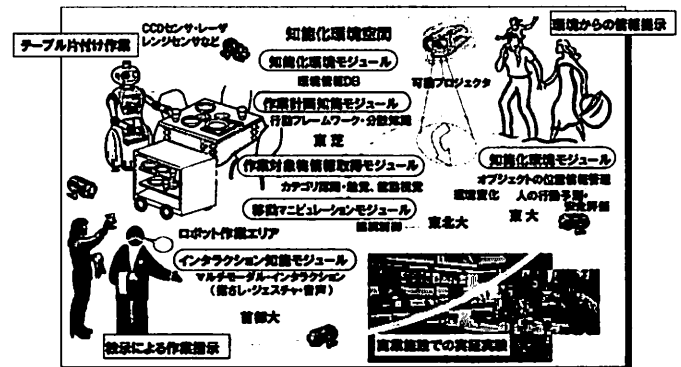


図1 提案するロボットシステムのイメージ

と、音声認識結果から中断・変更・停止の作業指示を認識することが可能となった。「サービス記述遂行モジュール」では、サービス記述オブジェクトから基本的なインスタンスを生成するサービス記述インスタンス生成モジュールを開発し、さらに実行命令からあらかじめ与えられた基本的な片付け手順に展開する手順展開技術モジュールを開発した。これにより、皿・お椀・コップの属性情報に基づき片付け作業、片付け手順の自動生成が可能となった。さらに、マルチモーダルインタラクションモジュールの結果に基づき手順の中断・停止が可能となった。

### 2.5 知能化環境モジュールの開発

空間知構成モジュールの開発では、取得オブジェクト属性情報データベース共有技術モジュールとして、環境構造化を積極的に利用しマルチモーダルインタラクションモジュールからの要求に応じて必要な情報を提供可能なデータベースを構築した。データベースには、汎用の位置情報管理データベース“Daruma”を用い、コンポーネントを作成した。これにより、他のモジュールと容易にオブジェクト属性情報を共有することが可能となった。実験では、皿・お椀・コップなど複数の食器へRFID タグを添付し、各オブジェクトのID、ならびに位置情報を検出、位置管理データベースである Daruma コンポーネントへ登録可能であることを確認した。

位置管理モジュール、環境サーバでは移動オブジェクトの位置情報を管理するため、ID・位置・位置誤差・速度・速度誤差・測定時間など、移動物体の情報を記述する方法を定義した。これに基づいて座標系の登録からオブジェクトの登録及び座標変換の手順までの通信プロトコルを提案して通信仕様を決め、API 関数で実装した。設計したAPI関数を用いて移動オブジェクトの位置情報登録および検索の機能検証を行った。

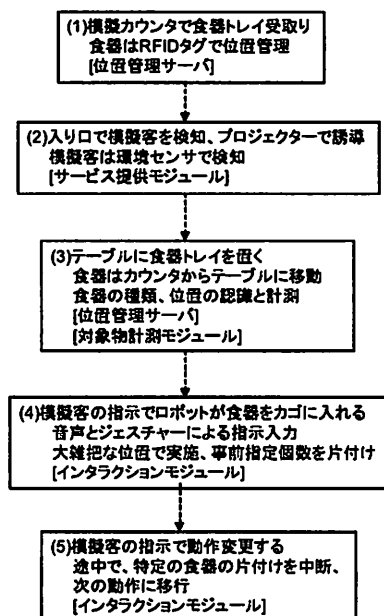


図2 一連作業を想定した実証実験シナリオ

### 3. 部分実証実験

H20年1月には、芝浦工大にて実証実験として、一連動作の実験を行った。図2には実証実験シナリオと動作のステップを示す。ただし、各ステップ毎の情報の共有化はまだ実装していない。予め与えた位置についてロボットアームで把持に行ったが、位置ズレによる掴み損ないがあった。しかし、再度、インタラクションモジュールにより片付け指示することで成功することができた。この時点でのロボットのハンドにはセンサもなかったが、動作のやり直しがフレキシブルにできことが確認できた。すべてが、自律的に行える訳ではないので、本提案の自律動作と人の指示による介入は現実的である。このように、最終的に目指す一連作業を実施することで、システム化でのイメージが掴めた。H21年度では全体の情報が繋がるようにシステム化を加速している。その一環で図3に示すように、H21年5月には、視覚モジュールとロボット動作の接続性を向上させ、組込みシステム開発技術展 ESEC に展示した。ここでは、視覚システムとロボット動作のロバスト性を向上させ、展示会環境下での画像処理、到達範囲の判断機能、ロボットハンドでのセンサを活用した食器把持の確認機能の実装を行い、3日間の動作検証を行った。

### 4. おわりに

本稿では、ロバストに作業を実行するための作業知能モジュール群のH20年度の開発成果とこれまでの成果について紹介した。今年中には、中間目標を達成する計画でシステム統合化を進めている。また、モジュールの相互利用や、作業サブWGにても、他コンソーシアムとの打合せを重ね、出口イメージの明確化を進めている。

なお、本研究開発はNEDO技術開発機構次世代ロボット知能化技術の研究開発[2]として実施されたものである。

#### 参考文献

- [1] 松日菜, 吉見, 淺間, 山口, 近野: ロバストに作業を実行するための作業知能モジュール群の開発, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 展開セッション10, 2008
- [2] 佐藤, 比留川: 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 展開セッション10, 2008



図3 組込みシステム開発技術展 ESEC での実証実験