

第9回  
ロボティクスシンポジア

Robotics Symposia

2004.3.8-9



**SICE**

covers  
Sensing Instrument Control Engineering  
Systems Information Computer Ergonomics

【共同主催】

日本ロボット学会

日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門

計測自動制御学会システムインテグレーション部門

【後援】

琉球大学工学部情報工学科

沖縄観光コンベンションビューロー

日本旅行沖縄

琉球新報社

RSJ JSME SICE

# RT ミドルウェアのソフトウェア開発支援機能の検討

○神徳徹雄, 北垣高成, 安藤慶昭, 尹祐根, 末廣尚士  
(独) 産業技術総合研究所 知能システム研究部門

## Software development Environment of RT middleware

Tetsuo KOTOKU, Kosei KITAGAKI, Noriaki ANDO,  
Woo-Keun Yoon and Takashi SUEHIRO

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

**Abstract:** This paper discusses several necessary functions for developing RT systems and proposes basic design of the software development environment of RT middleware. METI launched a basic research and development project for introducing modularized architectures for robotics products. In this project, as a first step, we have proposed a basic framework of the modularization of robotic functional elements as “RT software component.” In this research, we focus on the software development environment of RT middleware.

**Key Words:** RT(Robot Technology), Middleware, Development tool, Distributed system, Reusable components, System integration

### 1. はじめに

高い汎用性を有するロボット技術の製造現場以外での実用化を目指して、顧客の幅広いニーズにあわせたオーダーメイドなロボットシステムを効率的に構築するために、ロボットシステムの機能要素をソフトウェア的にモジュール化してそれらを組み合わせてシステムを構築する手法の確立が求められている。その基盤技術としてロボット用ミドルウェアの研究開発を経済産業省の研究開発プロジェクトとして進めている。

このプロジェクトでは単にモジュール化を推進するオープンアーキテクチャの標準仕様案を策定するだけではなく、典型的なロボットシステム構築例を示すことで開発したミドルウェア技術の機能検証を行うとともに、その有用性を実証することを目指している。今までに、システムの基本構成要素であるコンポーネントフレームワークに関する議論を行い、Fig.1 に示すようなモジュール化支援を実現するためのプロトタイプ実装を中心に研究開発を進めてきたところである<sup>1-3)</sup>。

本稿では、これらのモジュール化された RT コンポーネントを組み合わせると一つのシステムと

して構築する際に、ソフトウェア開発効率を高めるためにシステムとしてサポートすべき開発支援機能を考察する。具体的なソフトウェアの実装作業に移る前の基本デザイン段階で議論することで、ロボットコミュニティからのフィードバックを期待したい。

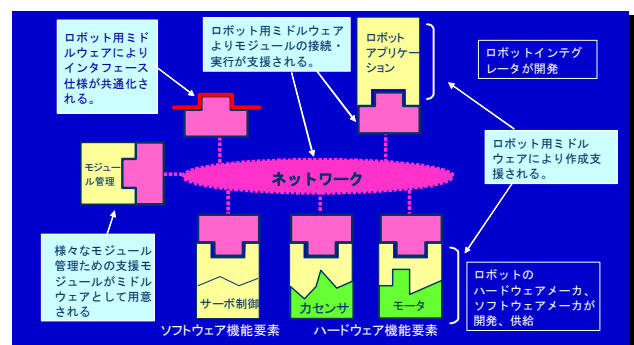


Fig.1 RTミドルウェアによるモジュール化支援

### 2. RT ミドルウェアプロジェクトの概要

現在の単体ロボットやロボットシステムの開発には長い開発期間を要するとともに膨大な開発技術者を投入している。そのため、ロボット製品の価格や開発納期は市場ニーズと大きく乖離してしまい、市場に受け入れられていないのが現状であ

る。このような非効率なロボット開発の問題を解消し、製造現場以外で活用されるロボットの実用化、製品化を進めていくひとつの手法として、アクチュエータ、センサ、制御プログラム等といったロボットシステムを構成する様々な要素をモジュール化し、それらを部品として自由に組み合わせて統合し、新しい機能を持ったロボットシステムを容易に構築することを可能とするロボット構築手法が期待され、それを実現するソフトウェア技術基盤としてロボット構築用ミドルウェアの研究開発が求められている。

ここで考えられているロボットシステムは、必ずしも移動ロボットやヒューマノイドロボットといった単体のロボットのみを想定しているわけではない。むしろ、「ロボット技術を活用した、実世界に働きかける機能を持つ知能システム」、例えばセンサ、アクチュエータを生活空間の中に分散配置させ、それらの協調により生活支援や介護を実現するといった、一見ロボットにみえないがロボットの技術を利用したシステムを広く包含している。このような技術の総称を **RT (Robot Technology)** と呼ぶことが提言されている<sup>4)</sup>。本研究が目指すミドルウェアもまさにそのような技術のためのものであるのをこれを「**RT ミドルウェア**」と呼ぶ。

このように **RT ミドルウェア** 技術を確立し、機能モジュールを接続する部分を共通仕様としてオープン化することにより、新しい「**RT 産業**」の育成が期待される。機械産業はネジの規格化により職人芸の一品生産から部品の分業生産体制を含めた大量生産を実現し<sup>5)</sup>、**IT 産業**は **OS** 技術やネットワーク技術の標準化により多数の企業が競争的に製品を市場に送り出して市場の活性化を実現してきた。同様に、ロボット産業がロボットメーカーごとに独自にロボットを設計する一品生産体制から、部品や技術の共通化を進めてそれぞれの専門分野を持った企業群による分業体制へ移行することが期待されている。つまり、**Fig.2** に示すように、競争的に機能モジュールを提供するモジュール供

給産業、適切な機能モジュールを統合して **RT** 製品を作り上げるデザイナーとなるインテグレータ産業、および、その設計図をもとにモジュールを組み合わせて製品を生産する製造産業をそれぞれ育成していくことで、顧客のニーズに応じた生活空間を提供するようなソリューション提供型の「**RT 産業**」の創生が期待される。

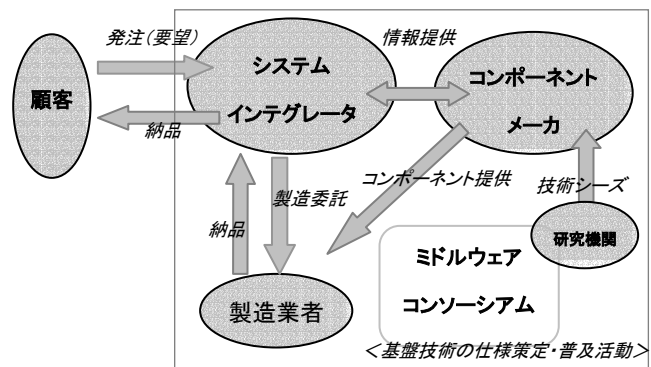


Fig.2 ソリューション提供型の RT 産業のコンセプト

## 2.1 プロジェクトの開発計画

**RT** ミドルウェアの研究開発に際して、ロボット技術固有の機能の実現や広範なニーズを満たす標準仕様案の策定が技術課題となる。そのため、日本ロボット工業会、産業技術総合研究所、新たな生活支援分野へのロボット技術の展開を図る企業として松下電工株式会社の三者が密接に連携する研究体を構成して研究開発を進めている。

具体的な研究分担は、**RT** アプリケーション全体に広く共通的に使われる機能を「**RT ミドルウェアの基本機能**」(主に標準・部品化機能)として産業技術総合研究所が担当する。そして、具体的なアプリケーションを構築する中で必要となる機能を「**RT ミドルウェアのアプリケーション実現機能**」として松下電工株式会社が担当する。さらに、ここで開発された **RT** ミドルウェアを開発者だけが利用するのではなく各分野で実際に使われるようにするために、より広い視野で **RT** 関連分野全体として必要な機能を抽出し、関連産業界の合意を取りながら仕様策定を行うための調査研究を社団法人日本ロボット工業会が実施する。また、戦

略的に RT ミドルウェア技術の普及促進を図るための組織体制を確立するために、RT 関連企業が参加するコンソーシアムの設立準備を進める。

Fig.3 に示すように、オープンなロボットアーキテクチャの仕様を検討する組織、その仕様を実現するミドルウェアを実装するソフトウェア研究開発者、RT 製品としてのアプリケーション提供者の三者が情報交換しながら、並行して研究開発を進めることにより、製品に必要となる汎用機能を少しずつ規約化し、RT アプリケーション開発を支援する RT ミドルウェア技術を段階的に機能向上させることで、ロボット産業における基盤技術のスパイラルアップ的な確立を目指している。

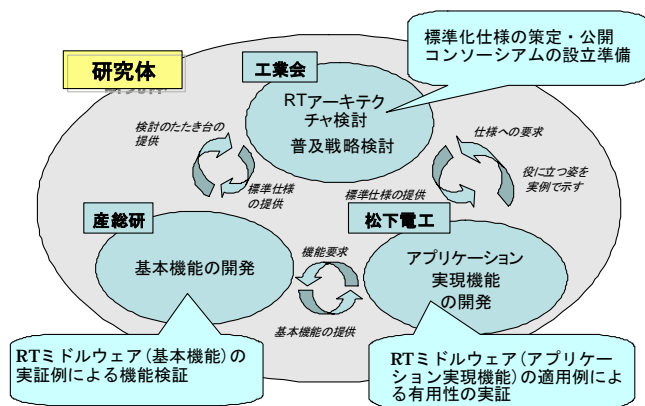


Fig.3 プロジェクトの研究開発体制

開発方針としては分散オブジェクト技術 (CORBA) をベースとしてソフトウェア的に機能のモジュール化を行い、それらを組み合わせて効率的にシステムを構築することを目指している。システム構築の実証例を示すために、現在利用できるハードウェアを用いた実装例をサンプルとして提供するが、日進月歩でその規格が変化するインタフェースカードやネットワークデバイスなどの個別のハードウェア標準化を狙うものではないことに留意していただきたい。

## 2.2 普及へのロードマップ

オープンなロボットアーキテクチャに基づくシステム構築手法を実際に普及させて関連産業を活性化させるためには、実際にシステムをくみ上げ

ることが出来なければならず、標準化仕様の策定とともに提案仕様に準拠した部品となる製品群が開発されてある程度揃っていることが不可欠である。そこで、これらの技術の普及戦略が肝要となる。そのために以下のようなロードマップを想定している。

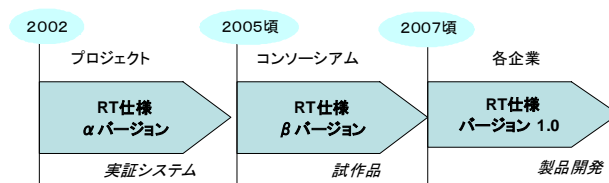


Fig.4 RT ミドルウェアの開発ロードマップ

第一期として、RT ミドルウェアプロジェクト実施期間に対応する最初の3年間程度で、モジュール化のための標準化仕様の検討とモジュール化を支援するミドルウェア技術開発とを相互作用させながらスパイラルアップ的に同時並行して進める。具体的には、αバージョン仕様によるシステム実例を具体的なアプリケーションとして構築しつつ、それをたたき台としてβバージョン仕様を検討し策定する。プロジェクト終了時にはβバージョンの仕様を一部取り込んだRT ミドルウェアが開発される。

第二期として、プロジェクト終了後の数年間は、RT 関連企業により設立されたコンソーシアムにおいて、RT 仕様βバージョン準拠の要素モジュール (センサ、アクチュエータ等) の試作機器開発、および、RT 仕様の参照実装となるRT ミドルウェアを活用した試作システム開発を進める。これらの開発で得られた知見に基づきRT 仕様を改訂し最初の標準規約(バージョン 1.0)の策定を行う。また、これらの仕様策定と並行して、RT 機器の責任分担のあり方などの製品化に向けた具体的検討を進める。

第三期として、2007年頃には各企業が主体となって、ハードウェアとしてのRT 仕様準拠の要素モジュール群 (センサ、アクチュエータなど) や

ソフトウェアとしての **RT** 開発環境群（〇〇社製の **RT** ミドルウェアなど）などが製品販売され、それらを組み合わせて顧客の要望を満たすシステムを設計して構築し、顧客に提供するような新産業が創出されることが期待される。

### 3. **RT** ミドルウェアに求められる開発支援

前述の **RT** ミドルウェアの実証システムを研究開発する第一期のフェーズでは、オープンアーキテクチャとして策定された仕様を実現する実装作業、その仕様そのものを改良する改善作業、そして、システム全体をデザインして仕様そのものを策定する設計作業をそれぞれ同時並行的に進めることが求められている。

残念なことに、限られたメンバーだけの研究開発では開発対象を絞り込まなければこれらの作業を同時に進めることができず、プロトタイプとなる実証システムに使用したサンプルを提供する程度しか実装例がないことが問題となる。そこで、提案するオープンなロボットアーキテクチャを少しでも使える技術として完成度を高めるには、プロジェクトメンバーに限らず、広く賛同者を集めてソフトウェア開発に貢献いただくことが重要となる。

しかし、**RT** ミドルウェア技術は萌芽的な技術であり、その実績も信頼性もない状況で製品開発競争に曝されている一般の市場から参加者を募った開発は困難である。そこで、開発の第一歩としてはロボット技術の研究開発を行っている研究者・技術者のロボットコミュニティを **RT** ミドルウェアのユーザとして想定して、実際に利用してもらえる技術を目指す。肝心のアイデアを検証する前にその実証システム構築に力を割かれていたり、提案したアイデアの技術移転が困難であったりするロボットコミュニティの中の問題を解決するひとつの手段として活用してもらうことを期待する。

ここで、**RT** ミドルウェアを利用する立場に立って、**RT** コンポーネントを組み合わせる実際に

システムを構築する際にプログラム開発効率を向上させる開発支援について以下の **3**つの機能に分類して考察する。この支援機能を実現するための方策はいろいろ考えられるところであり、より開発効率の良い仕組みの開発が研究課題となる。しかし開発の第一歩として、**RT** モジュールの組み合わせによるオープンなロボットアーキテクチャのコンセプトを普及させて多くの賛同者を集めるために、その効果を示すことができるプロトタイプシステムの開発が早急に求められている。

#### 3.1 開発情報の共有機能

複雑なソフトウェアの共同開発においては、開発に参加するメンバー間で情報公開および交換する仕組みを用意して互いに開発情報を共有することが開発効率を高めるために不可欠である。そこで、**RT** ミドルウェアの開発に参画するロボットコミュニティの開発情報共有の場として、インターネット上に **RT** ミドルウェアに関するポータルサイトを開設する。

このポータルサイト上で、開発された **RT** コンポーネントに関する情報のデータベースを構築するとともに、サンプルとなるコンポーネント開発事例やシステム開発事例のデータベース、**RT** ミドルウェアを利用するユーザ側からの要望や不具合報告のデータベースを構築する。

ソフトウェア開発者はサンプル事例を活用することでコンポーネント開発やシステム開発の効率を高めることが可能であり、また、開発成果をそのままひとつのコンポーネントとして登録して公開することが可能となる。公開コンポーネントとして他のメンバーにその検証してもらうためには説明資料の整備が欠かせないが、それぞれの研究室の中で眠ってしまっていたソフトウェア資産が積極的に活用されることが期待される。

他者が開発したソフトウェアをブラックボックス化したモジュールとして再利用することに懸念を示されることが多いが、積極的にバグ情報をポータルサイトに集積する仕組みを用意することで、

迅速なソフトウェアアップデートに対応し、信頼性の向上を図る。

### 3.2 RT コンポーネントの統合支援機能

**RT** ミドルウェアにおけるコンポーネントフレームワークの基本は、モジュール化によるソフトウェアの相互接続性の保証とそれによるソフトウェアの再利用を促進するところにある。しかし、ここで気をつけなければならないことは、ロボットシステムに欠かせない実時間性に関しては、これらのコンポーネントソフトウェアを搭載する計算機のハードウェアや **OS** の能力に依存することである。

例えば、アクチュエータのサーボのような、厳しい実時間性を要求するコンポーネントはリアルタイム **OS** を搭載した十分な計算パワーを有する計算機に配置しなければ実時間性が保証されない。また、複数のコンポーネントを組み合わせで制御システムを構築する場合に厳しい実時間性が要求される場合は、それらのコンポーネントは通信ネットワークを介さずに同一マシン上に搭載しなければ実時間性が保証されない。

従って、システムインテグレータがそれぞれのコンポーネントの配置やコンポーネント間の接続を管理することでシステム設計支援を行う機能を **RT** ミドルウェアに備えておくことが開発効率を高めるために期待される。つまり、モジュール化した **RT** コンポーネントの組み合わせでロボットシステムを構築する **RT** ミドルウェアの手法のメリットを享受できるシステム設計ツールが求められている。

そこで、複数のコンポーネントを組み合わせで作成したアプリケーションを管理して、システムインテグレータのアプリケーション開発および保守を支援するアプリケーションマネージャを **RT** ミドルウェアが提供する開発支援機能のひとつとして用意する。将来的には動的な配置にも対応することを検討したいが、プロトタイプとしては、アプリケーション起動時にコンポーネント配置が

決定している静的な配置を対象としてアプリケーションを構成するコンポーネントの指定とそれらのコンポーネント間の接続などを定義するアプリケーション記述を定義し、その情報を管理する機能を開発する。ネットワークロボットシステムなど、ファイアウォールを越えてインターネットの通信網を利用するアプリケーションも考えられるが、プロトタイプ的设计に際しては、イントラネット内でのコンポーネント管理に限定する。

### 3.3 RT コンポーネントの実行支援機能

一般に、プログラム開発にはバグ取り作業が欠かせず、この地道な作業の効率化がソフトウェア開発全体の効率化に寄与する割合が高い。基本的にはソフトウェアコンポーネントのモジュール化を進めることで、それぞれの部品単位でバグの発見が可能になっている。しかし、それらを接続したシステム全体としては、排他制御や実行タイミングなどのコンポーネント間の連携に関するバグ取りが重要となっている。つまり、システムインテグレータを含めてコンポーネント開発者に、直感的に理解することが難しい分散オブジェクトシステムプログラムのコンポーネント間の連携状況や個々のコンポーネント毎の挙動を伝える手段を提供することがシステム開発効率を高めるために期待されている。

そこで、コンポーネントを搭載する計算機となるプラットフォーム毎にその資源情報を管理し、搭載されたコンポーネント群のデバッグ情報を蓄積するプラットフォームモニタ機能を用意する。

**RT** ミドルウェアでは、仕様として状態遷移で記述される自律性をもつモジュールとしてコンポーネント設計しており、コンポーネントに実装された機能のオン/オフおよび初期化プロセスの再呼び出しなどを想定している。しかし、システム開発の途中段階ではコンポーネントプログラムが予期しない動作を行い、通信不能になることが頻繁に発生することが考えられる。また、プログラムのデバッグ時にはコンポーネントの実行状況を

把握するために定期的にログ情報を収集したい。

そこで、プラットフォーム毎にコンポーネントの実行管理を行い、同一プラットフォーム上のログなどのコンポーネント情報を収集するモニタプログラムを用意する。

### 3.4 開発支援機能のプロトタイプのおまわり

簡単にまとめると、Fig.5 に示すような構造となる。RT システムを構成する個々の計算機にその資源情報を管理するためのプラットフォームモニタを配置する。システムインテグレータが開発したアプリケーションシステムを管理するためにイントラネット内にアプリケーションマネージャを配置する。そして、RT コミュニティ全体の情報共有を進める手段としてインターネット上にRT ミドルウェアのポータルサイトを設置する。

一言でソフトウェアの開発支援と言っても、ソフトウェア開発のFAQを用意する、良く使われる機能をライブラリ化するなど開発効率を高める具体的な工夫は様々である。今回の議論では、これらの具体的な工夫の実現に役立つ基本機能を提供するひとつのシステム構成を示した。

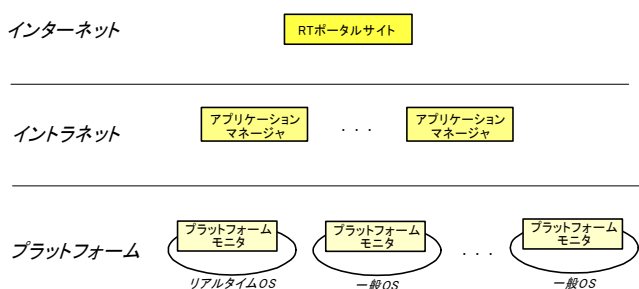


Fig.5 開発支援機能を実現するデザイン候補例

## 4. おわりに

本稿では、ロボット用プログラムの開発支援の面から必要とされる機能を検討し、RT ミドルウェアのソフトウェア開発支援を行う機能を検討した。プロジェクトの中では、これらの機能を実現する複数のデザイン候補の検討を進めている。現状では、開発されたソフトウェアの実行効率を高めることを考えるよりも、いかに迅速にプロトタ

イプシステムを実現するかを考えて開発効率を重視してソフトウェア開発環境を充実させていく方針である。今後、ここで検討した様々な機能についてひとつのプロトタイプシステムとして実装を進めて行く予定である。このプロトタイプ開発の過程で実装が完了した部分から積極的に成果を公開していくことで、ロボットコミュニティのボランティアによる技術フィードバックを募り、デザイン上の問題点の発見や新たなアイデアの適用を積極的に試みていきたい。

本研究の開発支援システムの設計にあたり、プロジェクトメンバーの松下電工株式会社、および、日本ロボット工業会のRT ミドルウェア普及調査研究専門委員会での議論を参考にさせていただいている。この研究専門委員会に委員として参画していただいている産業界および有識者の委員の皆さまの貴重な御意見に感謝いたします。

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「ロボットの開発基盤となるソフトウェア上の基盤整備」事業の研究成果である。

## 参考文献

- 1) 北垣, 末廣, 神徳, 平井, 谷江: “RT ミドルウェア技術基盤の研究開発について—ロボット機能発見のために必要な要素技術開発—”, 第8回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp.487-492, 2003.
- 2) 末廣, 北垣, 神徳, 尹, 安藤: “RT 要素のモジュール化に関する検討—RT ミドルウェアの基本機能に関する研究開発(その1)—”, 1F27, 日本ロボット学会学術講演会, 2003.
- 3) 末廣, 北垣, 神徳, 尹, 安藤: “RT コンポーネントの実装例—RT ミドルウェアの基本機能に関する研究開発(その2)—”, 1F28, 日本ロボット学会学術講演会, 2003.
- 4) “21世紀におけるロボット社会創造のための技術戦略調査報告書”, (社)日本機械工業連合会, (社)日本ロボット工業会, 2001.
- 5) 橋本毅彦: “標準の哲学”, 講談社, 2002.