

RT ミドルウェアの展開 — 技術開発と国際標準化戦略 —

安藤 慶昭*・神徳 徹雄*・末廣 尚士**

* 独立行政法人産業技術総合研究所 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第2

** 電気通信大学大学院 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

* National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, AIST Tsukuba Central 2, Umezono 1-1-1 Tsukuba, Ibaraki, Japan

** The University of Electro-Communications, Chofugaoka 1-5-1 Chofu, Tokyo, Japan

* E-mail: n-ando@aist.go.jp

キーワード：RT ミドルウェア (RTM), RT コンポーネント (RTC), ミドルウェア (middleware), ソフトウェアプラットフォーム (software platform), 標準化 (standardization).

JL 0009/13/5209-0778 © 2013 SICE

1. はじめに

RT ミドルウェアプロジェクト (2002 年末~2004 年度) の開始から 10 年, 最初の OpenRTM-aist がリリースされてから 8 年が経過した。

プロジェクト開始当初, ロボット用ミドルウェアとしては Player¹⁾, OROCOS²⁾, SmartSoft³⁾ や ORCA⁴⁾ などが知られていたが, 本格的なコンポーネントモデルをもつものはまだなかった。同プロジェクトで開発された OpenRTM-aist-0.2 は, 当時本格的なコンポーネントモデルをもつ初めてのロボット用ミドルウェアであった。プロジェクト終了後にはソースコードと仕様の両方をオープン化し, さらにその仕様は国際標準となった。この間, 韓国の OPRoS⁵⁾ や BRICS^(注1) プロジェクトにおいてもコンポーネント指向のミドルウェアが開発された。近年隆盛を極めていく ROS⁶⁾ も, 次世代のバージョンでは RTC 同様, ある種のコンポーネントモデルを導入することが検討されている。この 10 年でコンポーネント指向ロボットシステム開発が市民権を得て, この流れは確実なものとなりつつある。

本稿では, RTM の開発経緯や技術開発の要点を振り返るとともに, これまでの標準化戦略について述べる。また, ミドルウェアおよび標準化に関する現状および将来について展望する。

2. RT ミドルウェアとは

RT ミドルウェア (RTM) は, サービスロボット市場の拡大を目指し, RT 機能要素の部品化によるコスト削減と, モジュール化による柔軟性向上を実現し, ロボットにおけるコンポーネント指向開発を実現するために開発されたソフトウェアプラットフォームである。

2.1 開発経緯

RT ミドルウェアプロジェクトは 2002 年度末から 2004 年度までの 2 年半, (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 21 世紀ロボットチャレンジプログラム「ロ

(注1) <http://www.best-of-robotics.org/>



図1 最初の RTM プロジェクト「ロボット機能発現のために必要な要素技術開発」(2002~2004 年度)。リアルタイム力制御のためのアームシステム (左), RTM により構築された RT ルーム (右)。

ット機能発現のために必要な要素技術開発」として, 産業技術総合研究所 (産総研), 松下電工 (現パナソニック電工), 日本ロボット工業会の三者によって行われた (図 1)。

このプロジェクトは報告書⁷⁾ において示された RT 要素技術のモジュール化・オープン化の重要性の指摘に基づき, これをコンポーネント化するソフトウェアプラットフォームの実現と, そのインタフェース仕様のオープン化・標準化を目指して行われた。その成果として, OpenRTM-aist-0.2 が 2005 年 5 月にリリースされた。

2.2 技術開発

研究開発においては, 1) ロボット機能要素を自由な粒度でモジュール化できること, 2) 特定の言語や OS, ネットワークに依存しないプラットフォームであること, 3) 作成したモジュールはさまざまな対象に対して再利用可能であること, さらに 4) 既存のソフトウェア資産を容易にモジュール化できることを目指した。

細粒度のモジュールでシステムを構成した場合, そのオーバーヘッドが問題となるが, これを極力避けるため, コールバックを主体とした実行コンテキストと状態遷移によるロジック実行機構を考案した (図 2-(a))。これにより, サーボ制御などのリアルタイム実行が必要とされる場合でも, 複数のモジュールにより処理を構成することができる。

コンポーネント間の相互作用は通常サービスインタフェース (関数呼び出し) 経由のものが主流である。一方, ロボッ

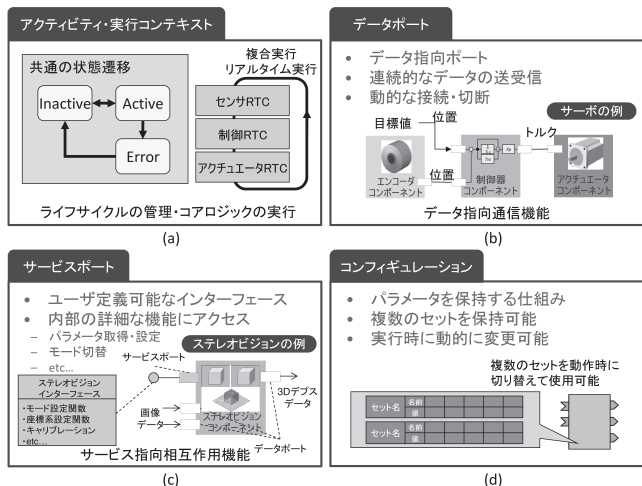


図2 RTコンポーネントの基本機能。(a) アクティビティ・実行コンテキスト、(b) データポート、(c) サービスポート、(d) コンフィギュレーション。

ト制御では要素間の相互作用はデータフローとして考えるのが一般的である。そこで、RTCでは、コンポーネント間の相互作用の方法として、データポートとサービスポートを用意した。データポートはおもに通信頻度が高くデータを主体とした下位層で利用されることを想定し(図2-(b))、サービスポートはコマンドやセマンティックな相互作用を主体とする上位層や、モジュールの詳細機能へのアクセスにおける利用を想定して設計された(図2-(c))。

さらに、RTCの再利用性を向上させるための機能としてコンフィギュレーション機能が備わっている(図2-(d))。RTC内部の種々のパラメータを実行時に外部から設定可能にすることで、RTCのソースコードを変更することなく、さまざまな場面で再利用できるコンポーネントを作成することができる。

このほか、CORBA^(注2)の利用や、OS抽象化層を実装することで、複数の言語・OSで動作するRTコンポーネントの相互運用を実現した。既存のソフトウェア資産を素早くRTコンポーネント化するために、RTCフレームワークを作成し、仕様からテンプレートコードを生成するためのコードジェネレータrtc-template、RTCBuilderを提供している。これにより、既存のソフトウェアをOS・言語を問わず容易にRTコンポーネント化し、他の既存のコンポーネントと協調させることを可能にした。

3. 国際標準化戦略

RTMプロジェクトは当初から仕様のオープン化を指向していたが、2004年から本格的標準化へと舵を切った⁸⁾。

標準にはさまざまな目的や役割^(注3)があるが、RTミドルウェアにおける標準は互換性の保証を目的としたものであり、いわゆるインタフェース標準として分類される。

インタフェース標準は標準化される領域が限られており、差別化領域を確保しやすい。またインタフェースの両側でイノベーションを継続可能であるため、発展途上にあるロボット技術や市場においては有効であると考えた。また、標準仕様が確立されれば、さまざまなソフトウェアベンダがRTMを実装することができ、互換性や永続性が保証されるためユーザは安心して使うことができるようになる。一部には標準化により技術流出を心配する声もあるが、RTC標準により個々のロボット要素技術はコンポーネント内部に隠蔽しつつ、インタフェース標準による相互運用性(ネットワーク外部性⁹⁾)確保による市場の拡大を見込むことができる。

さらに、国内ロボット部品メーカーやインテグレータがいち早くソフトウェアプラットフォームを利用したロボットインテグレーション市場を開拓できれば、次世代のロボット市場において主導的立場を占め、先行利益を享受することができる。過去のOSやコンピュータ市場の歴史に鑑みても、RTMのような日本発の標準とプラットフォームをもつことは重要であると考えた。

3.1 OMGにおける標準化

RTMプロジェクトでは、NEDOの支援のもと2004年から国際標準化団体OMGTM(Object Management Group)においてロボットに関する標準化グループの立ち上げと、RTCのインタフェース仕様の標準化が開始された⁸⁾。2005年9月にRTCのインタフェース仕様に関する提案公募(RFP: Request for Proposal)がOMGから発行され、これに対して、日本からは産総研がOpenRTM-aist-0.2に基づく仕様原案を、米国Real-Time Innovations, Inc.(現RTI社)が同社の製品をベースとした仕様原案をそれぞれ提出、2つの仕様を議論の末統合し2006年9月にAdopted Specificationとして承認された。最終文書作成タスクフォース(Finalization Task-Force)での議論を経て最終的に2008年4月にOMGから正式な標準仕様“Robotic Technology Component Specification version 1.0¹⁰⁾”として公開され、これに準拠したOpenRTM-aist-1.0が2010年1月に産総研からリリースされた。

OMGの標準仕様は、特定のプラットフォーム^(注4)に依存しないPIM(Platform Independent Model)として規格化され、モデルとしての永続性が重視される。実装時にはPSM(Platform Specific Model)と呼ばれる特定のプラッ

(注3) 1) 単純化, 2) 互換性, 3) 伝達手段, 4) 記号の統一, 5) 経済効果, 6) 安全・生命・健康の確保, 7) 消費者利益保護, 8) 消費社会の利益保護, 9) 貿易障壁の除去⁹⁾

(注4) ここでのプラットフォームとはプログラミング言語やミドルウェア, OSを指す。

(注2) Common Object Request Broker Architecture. OMG(後述)により標準化されている分散オブジェクトミドルウェア。

表1 OMG RTC 標準準拠の実装

名称	ベンダ	概要
OpenRTM-aist	産総研	C++, Python, Java 用実装
OpenRTM.NET	セック	.NET (C#, VB, C++/CLI, F#, etc..) 実装
miniRTC, microRTC	セック	CAN・ZigBee等を利用した組込用 RTC 実装
RTM Safety	セック・産総研	機能安全認証 (IEC61508) capable な RTM 実装
RTC CANOpen	芝浦工大・CiA	CANOpen のための CiA (Can in automation) における RTC 標準
PALRO	富士ソフト	小型ヒューマノイドのための C++ PSM 実装
OPRoS	韓国 ETRI	韓国国家プロジェクトでの実装
GostaiRTC	旧 GOSTAI・THALES	ロボット言語上で動作する C++ PSM 実装
H-RTM (仮称)	本田技術研究所	OpenRTM-aist 互換, FSM 型コンポーネントをサポート

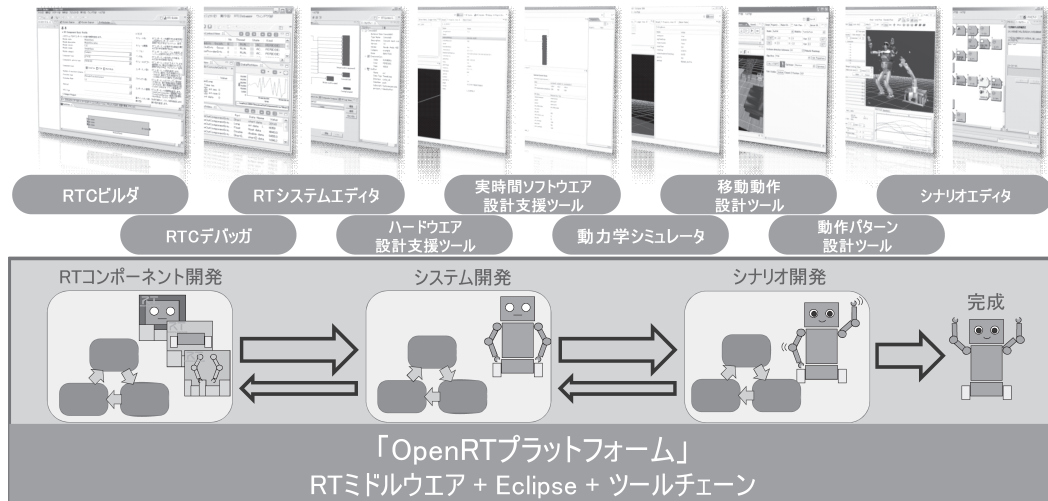


図3 NEDO「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」(2007~2011年度)により開発されたツールチェーン

トフォームへのマッピングを定め実装を行い、同一 PSM 間では相互運用性が保証される。

標準仕様の公開から 5 年が経過したが、その間 OMG RTC 標準準拠の実装が多数発表された(表 1)。OpenRTM-aist, OpenRTM.NET および H-RTM (仮称) は PSM レベルで同一であり、直接的な相互運用性が保障される。他方、C++言語 PSM 実装である GostaiRTC などは、PSM が異なるため直接相互運用はできないが、同一コンポーネントモデルをもつためブリッジにより容易に相互運用可能である。実際 RTC CANOpen はブリッジによる OpenRTM-aist などとの相互運用を実現している。また、PIM による標準は、技術的進歩の速いプラットフォームからの独立性を高め、標準の永続性に寄与している。

4. 国家プロジェクト

最初の RTM プロジェクトについては上述の通りであるが、その後様ざまなプロジェクトの支援を受け開発が継続され、また標準プラットフォームとしても利用されている。

NEDO「次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト」(2003 年度~2007 年度)では、RTM とともに利用可能な種々のハードウェア開発が行われると同時に、RTM のため

のツール (RTCBuilder, RTSystemEditor) が開発された。また、組込み向け RTM として RTC-Lite や RTC-CAN の開発が行われたのもこの時期である。

科学振興調整費「次世代ロボット-共通プラットフォーム技術の確立-」(注5)のプロジェクトの一つとして「分散コンポーネント型ロボットシミュレータ」の開発が 2005 年度から 2008 年度まで行われた。ここでは、ロボットの動力学シミュレータ OpenHRP3 との統合が行われた。実行コンテキストの拡張が行われ、リアルタイム実行、シミュレータとの同期実行など、RTC のさまざまな実行方式がサポートされるようになった。

2007 年度から 2012 年度にかけては、さまざまなロボットの知能化技術を RT コンポーネント化されたモジュールとして集積し次世代ロボットの開発スキームの確立を目指した NEDO「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」が行われた。多数の組織が参加し、作業知能、移動知能、対話知能に関する多くの RTC が開発され、OpenRTM-aist 公式 Web サイト(注6)に集積されるとともに、効率的開発を支援するツールチェーンとして OpenRT プラットフォームの開発も行われた(図 3)。

(注5)「科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進」事業

(注6) <http://openrtm.org/openrtm/node/4599>

5. RT ミドルウェアの展開

市販されているロボットへの RTM の適用例としては、HRP-4/HRP-4C (川田工業, 産総研), 双腕型ロボット「HIRO」(川田工業など), 体操補助ロボット「たいぞう」(ゼネラルロボティクスなど) などがある。また, 高エネルギー加速器研究機構が開発し, J-PARC (大強度陽子加速器施設) などでの高エネルギー物理実験に利用されている DAQ-Middleware は RTM をベースとしたデータ収集に特化したミドルウェアである。

近年, ロボットシステムにおいても機能安全やその認証が注目を集めているが, IEC61508 機能安全認証を取得したミドルウェア RTMSafety が (株)セックから販売されている。これは, OMG RTC 仕様の Lightweight RTC 規格に準拠したもので, 安全認証を必要とするシステムの開発に利用することで, 認証にかかるコストを大幅に削減することができる。

5.1 今後の展望

ここ数年, DDS (Data Distribution Service) や AMQP (Advanced Message Queuing Protocol) などメッセージ指向ミドルウェアへの注目が高まっているが, コンポーネント指向開発への要求も依然として強い。その証左として, 最近 OMG では UCM (Unified Component Model) と呼ばれる統一コンポーネントモデルの議論が開始された。RTC を含むさまざまな分野で個別に標準化されたコンポーネントモデルの統一を目指しており, 異分野間のソフトウェアの相互運用が促進されることにより新たなイノベーションが期待できる。この動きには, OROCOS²⁾ や Smart Soft³⁾ のグループも注目しており, ロボット用ミドルウェアの今後の方向性にも大きな影響を与える可能性がある。

6. おわりに

本稿では, RTM のこれまでの技術開発, 標準化戦略などについて述べてきた。現在, オープン化の流れによりさまざまな機能要素やアルゴリズムがライブラリ化・コンポーネント化され, 容易に手に入るようになりつつある。サービスロボット分野においては柔軟性・安全性・品質の向上技術として, 産業分野においては新たな技術を導入する基盤技術として, ミドルウェアの重要性は今後ますます高まるであろう。基礎研究は依然として重要であるものの, 今やこれらのロボット技術 (RT) を組み合わせ活用し, いかによりイノベーションを起こすかが問われている。

(2013年6月7日受付)

参考文献

- 1) B. Gerkey, et al.: Most Valuable Player: A Robot Device

Server for Distributed Control, In: Proceedings of IROS 2001,1226/1231 (2001)

- 2) H. Bruyninckx: Open Robot Control Software: the ORO-COS project, ICRA 2001, 2523/2528 (2001)
- 3) C. Schlegel, et al.: The Software Framework SmartSoft for Implementing Sensorimotor Systems, In Proceedings IROS 1999, 1610/1616 (1999)
- 4) T.K.A. Makarenko, et al.: Orca: components for robotics, IROS 2006 Workshop on Robotic Standardization (2006)
- 5) B. Song, et al.: An introduction to robot component model for opos(open platformfor robotic services), SIMPAR 2008, 592/603 (2008)
- 6) M. Quigley, et al.: Ros: an open-source robot operating system, ICRA 2009 Workshop on Open Source Software (2009)
- 7) 日本ロボット工業会:平成12年度21世紀におけるロボット社会創造のための技術調査報告書(2001)
- 8) 末廣尚士:ロボット関連技術の国際標準策定活動:現状と展望, 日本ロボット学会誌, 29-4, 333/336 (2011)
- 9) 新宅純二郎, ほか:コンセンサス標準戦略—事業活用のすべて, 日本経済新聞出版社, ISBN978-4-532-31409-5 (2008)
- 10) OMG available specification: Robotic Technology Component Specification version 1.0, formal/08-04-04, http://www.omg.org/spec/RTC

[著者紹介]

あん どう のり あき
安 藤 慶 昭 君(正会員)



1997年京都大学工学部電気電子工学科卒業。02年東京大学大学院工学系研究科電子情報工学卒業, 博士(工学)。同年東京大学生産技術研究所学術研究支援員。03年(独)産業技術総合研究所知能システム研究部門研究員を経て, 09年同主任研究員。10年から11年ミュンヘン工科大学客員研究員。ロボットソフトウェアアーキテクチャに関する研究および, RT ミドルウェア: OpenRTM-aist の開発, 標準化, 普及活動に従事。日本ロボット学会, 日本機械学会, IEEE などの会員。

こう とく てつ お
神 徳 徹 雄 君(正会員)

(本号 p.777 参照)



すえ ひろ たか し
末 廣 尚 士 君(正会員)

1978年東京大学工学部卒業。80年東京大学修士課程修了。同年電子技術総合研究所(現産業技術総合研究所)に入所。90年東京大学, 工学博士。90~91年米国 CMU 客員研究員。2009年より電気通信大学大学院情報システム学研究科教授。現在に至る。専門はロボットアームを中心とした知能ロボットシステム, マニピュレーション・スキルおよび RT ミドルウェア。日本ロボット学会, IEEE の会員。