

第1部: RTミドルウェア概要

(独)産業技術総合研究所
知能システム研究部門
安藤慶昭



RTとは?

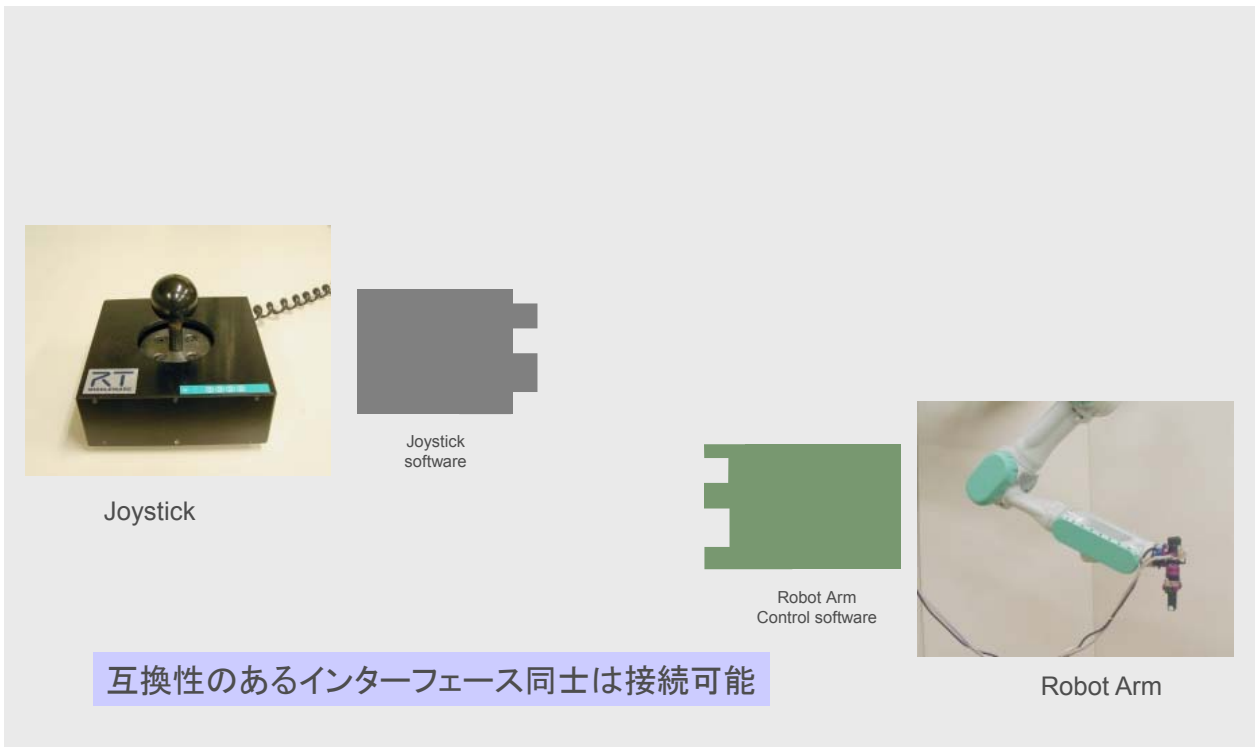
- RT = Robot Technology cf. IT
 - ≠Real-time
 - 単体のロボットだけでなく、さまざまなロボット技術に基づく機能要素をも含む (センサ、アクチュエータ, 制御スキーム、アルゴリズム、etc....)

産総研版RTミドルウェア

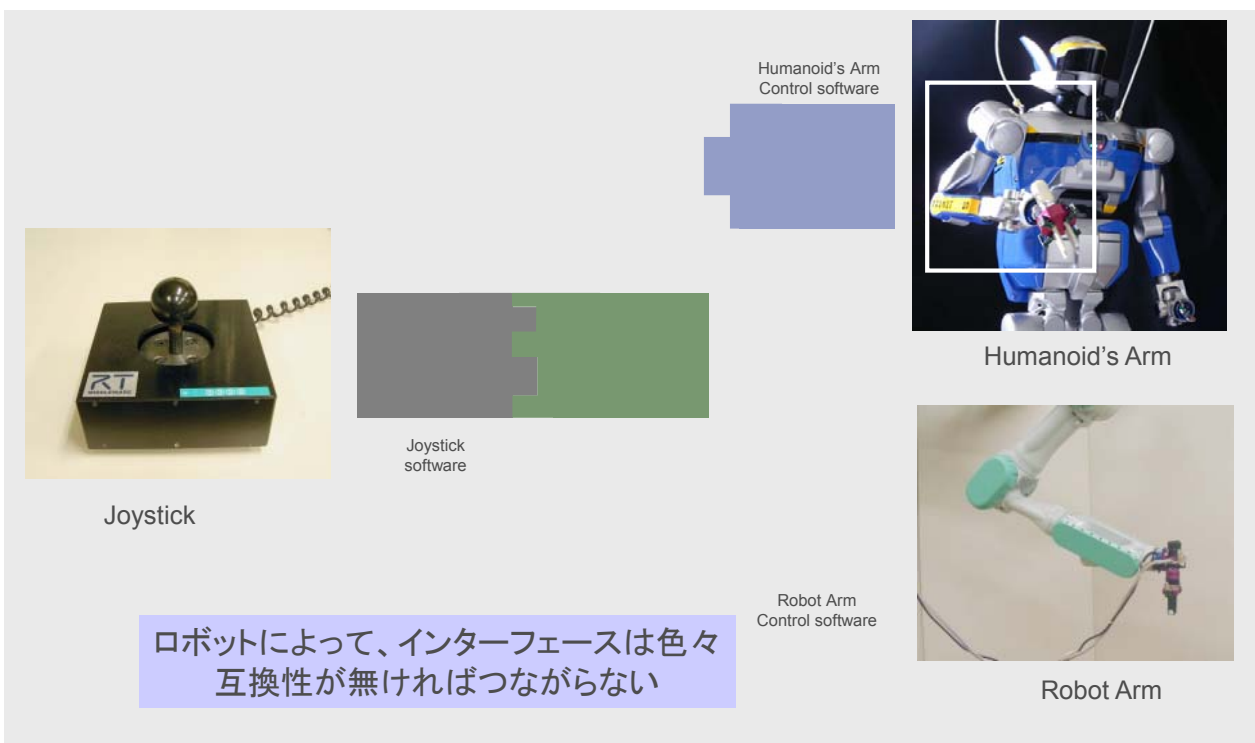
OpenRTM-aist

- RT-Middleware (RTM)
 - RT要素のインテグレーションのためのミドルウェア
- RT-Component (RTC)
 - RT-Middlewareにおけるソフトウェアの基本単位

従来のシステムでは...



従来のシステムでは...



RTミドルウェアでは...

RTミドルウェアは別々に作られたソフトウェアモジュール同士を繋ぐための共通インターフェースを提供する



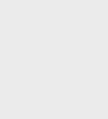
Joystick



Joystick software

Arm A
Control software

Humanoid's Arm

compatible
arm interfacesArm B
Control software

Robot Arm

ソフトウェアの再利用性の向上
RTシステム構築が容易になる

ミドルウェア、コンポーネント、etc...

- ミドルウェア
 - OSとアプリケーション層の間に位置し、特定の用途に対して利便性、抽象化向上のために種々の機能を提供するソフトウェア
 - 例: RDBMS、ORB等。定義は結構曖昧
- 分散オブジェクト(ミドルウェア)
 - 分散環境において、リモートのオブジェクトに対して透過的アクセスを提供する仕組み
 - 例: CORBA、Java RMI、DCOM等
- コンポーネント
 - 再利用可能なソフトウェアの断片(例えばモジュール)であり、内部の詳細機能にアクセスするための(シンタクス・セマンティクスともにきちんと定義された)インターフェースセットをもち、外部に対してはそのインターフェースを介してある種の機能を提供するモジュール。
- CBSD(Component Based Software Development)
 - ソフトウェア・システムを構築する際の基本構成要素をコンポーネントとして構成するソフトウェア開発手法

モジュール化のメリット

- 再利用性の向上
 - 同じコンポーネントをいろいろなシステムに使いまわせる
- 選択肢の多様化
 - 同じ機能を持つ複数のモジュールを試すことができる
- 柔軟性の向上
 - モジュール接続構成かえるだけで様々なシステムを構築できる
- 信頼性の向上
 - モジュール単位でテスト可能なため信頼性が向上する
- 堅牢性の向上
 - システムがモジュールで分割されているので、一つの問題が全体に波及しにくい

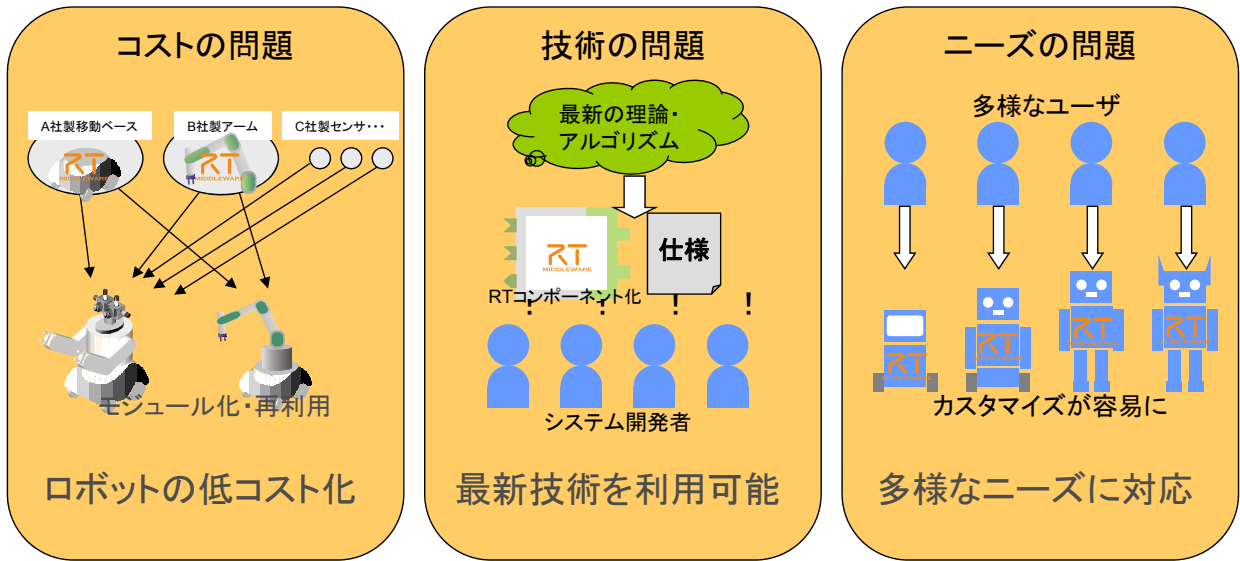
RTコンポーネント化のメリット

モジュール化のメリットに加えて

- ソフトウェアパターンを提供
 - ロボットに特有のソフトウェアパターンを提供することで、体系的なシステム構築が可能
- フレームワークの提供
 - フレームワークが提供されているので、コアのロジックに集中できる
- 分散ミドルウェア
 - ロボット体内LANやネットワークロボットなど、分散システムを容易に構築可能

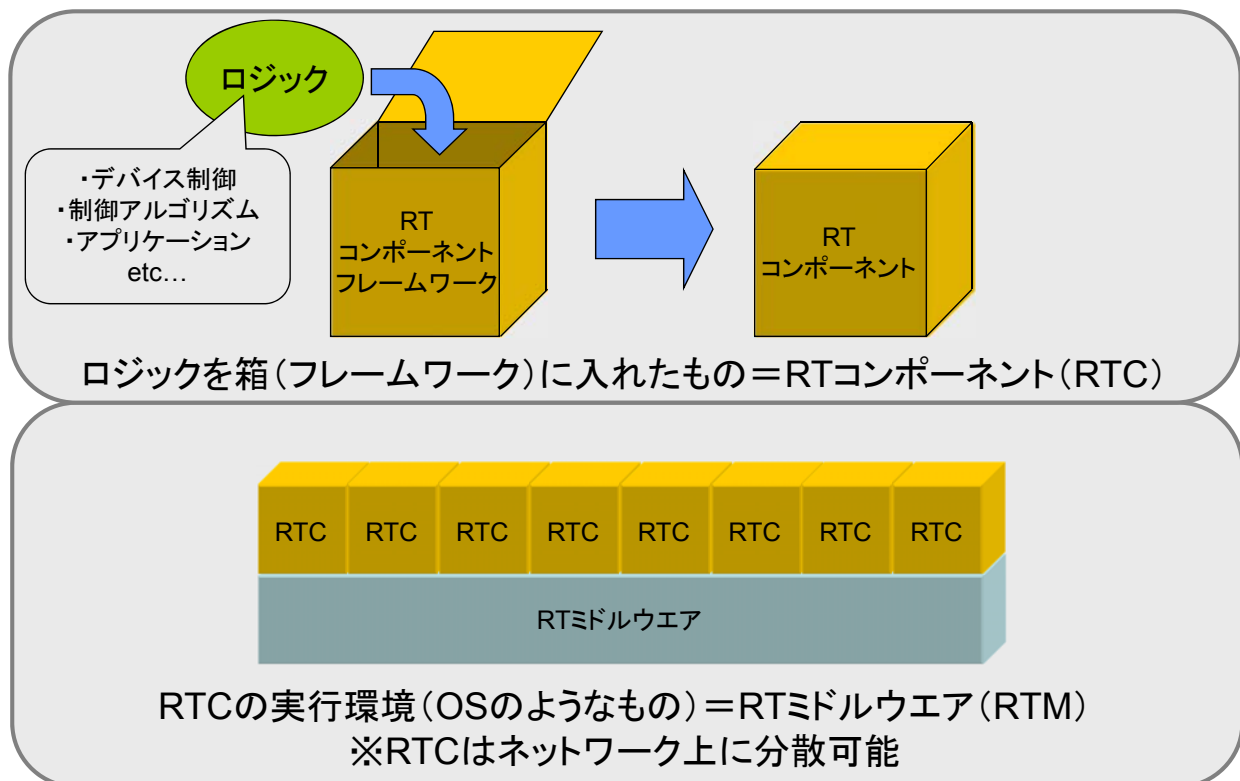
RTミドルウェアの目的

モジュール化による問題解決



ロボットシステムインテグレーションによるイノベーション

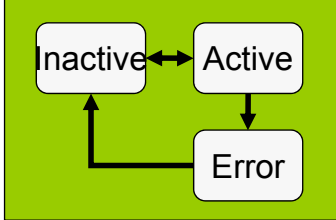
RTミドルウェアとRTコンポーネント



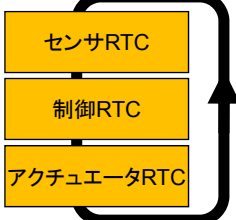
RTコンポーネントの主な機能

アクティビティ・実行コンテキスト

共通の状態遷移



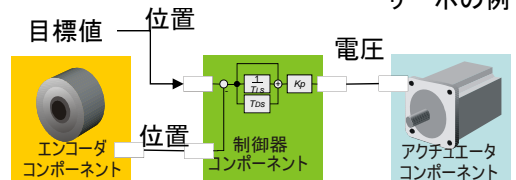
複合実行



ライフサイクルの管理・コアロジックの実行

データポート

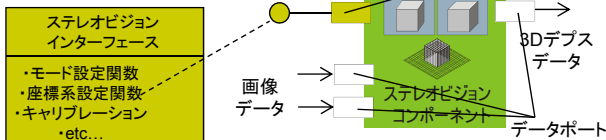
- データ指向ポート
- 連続的なデータの送受信
- 動的な接続・切断



データ指向通信機能

サービスポート

- 定義可能なインターフェースを持つ
- 内部の詳細な機能にアクセス
 - パラメータ取得・設定
 - モード切替
 - etc...

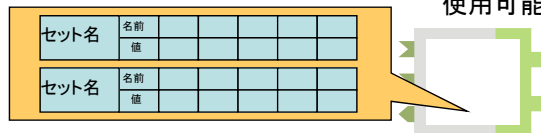


サービス指向相互作用機能

コンフィギュレーション

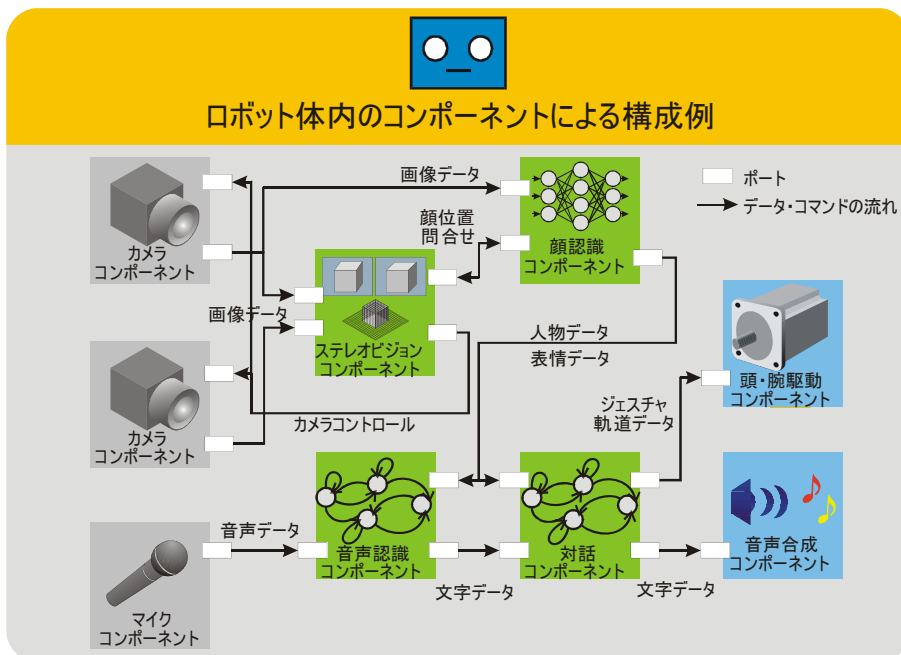
- パラメータを保持する仕組み
- いくつかのセットを保持可能
- 実行時に動的に変更可能

複数のセットを動作時に切り替えて使用可能



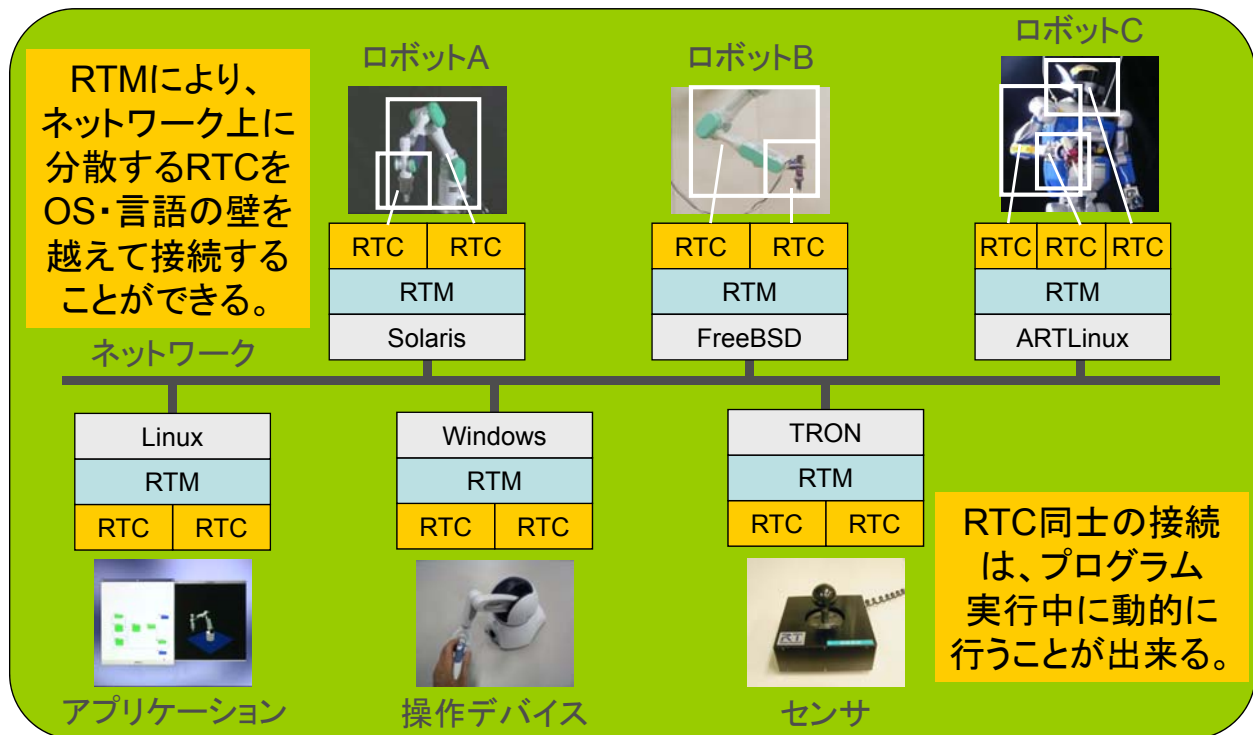
RTCの分割と連携

ロボット体内のコンポーネントによる構成例



(モジュール)情報の隠蔽と公開のルールが重要

RTミドルウェアによる分散システム



NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

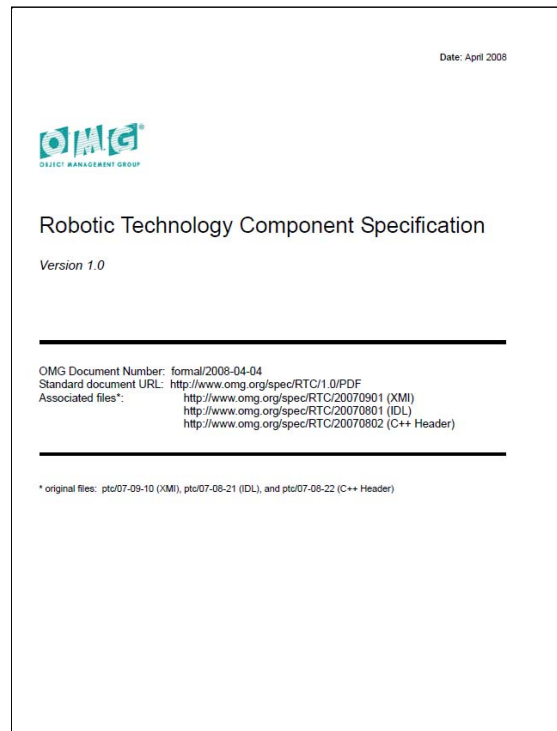
OpenRTM-aist

- コンポーネントフレームワーク + ミドルウェアライブラリ
- コンポーネントインターフェース:
 - OMG Robotic Technology Component Specification ver1.0 準拠
- OS
 - 公式: FreeBSD, Linux (Fedora, Debian, Ubuntu, Vine, Scientific), Windows
 - 非公式: Mac OS X, uITRON, T-Kernel, VxWorks
- 言語:
 - C++ (1.1.0), Python (1.0.0), Java (1.0.0)
 - .NET (implemented by SEC)
- CPU アーキテクチャ (動作実績):
 - i386, ARM9, PPC, SH4
 - PIC, dsPIC, H8 (RTC-Lite)
- ツール (Eclipse プラグイン)
 - テンプレートソースジェネレータ: rtc-template、RTCBuilder
 - システムインテグレーションツール: RTSystemEditor
 - その他
 - Pattern weaver for RT-Middleware (株式会社テクノロジックアートより発売中)

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

OMG RTC 標準化

- 2005年9月
RFP: Robot Technology Components (RTCs) 公開。
- 2006年2月
Initial Response : PIM and PSM for RTComponent を執筆し提出
提案者: AIST(日)、RTI(米)
- 2006年4月
両者の提案を統合した仕様を提案
- 2006年9月
ABIにて承認、事実上の国際標準獲得
FTFが組織され最終文書化開始
- 2007年8月
FTFの最後の投票が終了
- 2007年9月
ABIにてFTFの結果を報告、承認
- 2008年4月
OMG RTC標準仕様公式リリース
- 2010年1月
OpenRTM-aist-1.0リリース



OMG RTC ファミリ

Name	Vendor	Feature
OpenRTM-aist	AIST	C++, Python, Java
OpenRTM.NET	SEC	.NET(C#,VB,C++/CLI, F#, etc..)
miniRTC, microRTC	SEC	CAN・ZigBee等を利用した組込用RTC実装
Dependable RTM	SEC/AIST	機能安全認証 (IEC61508) capableなRTM実装
RTC CANOpen	SIT, 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	ETRI	韓国国家プロジェクトでの実装
GostaiRTC	GOSTAI, THALES	ロボット言語上で動作するC++ PSM実装
H-RTM (仮称)	本田R&D	OpenRTM-aist互換、FSM型コンポーネントをサポート

同一標準仕様に基づく多様な実装により

- 実装(製品)の継続性を保証
- 実装間での相互利用がより容易に

Success stories



HRP-4: Kawada/AIST

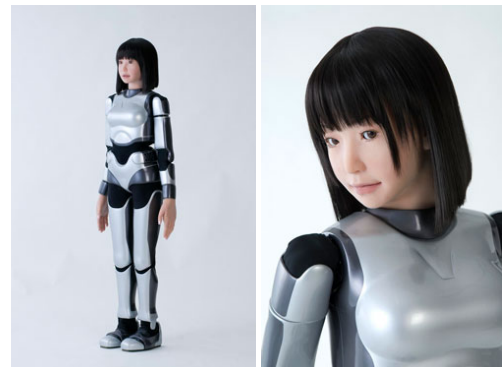
DAQ-Middleware: KEK/J-PARC
 KEK: High Energy Accelerator Research Organization
 J-PARC: Japan Proton Accelerator Research Complex



TAIZOU: General Robotics Inc.



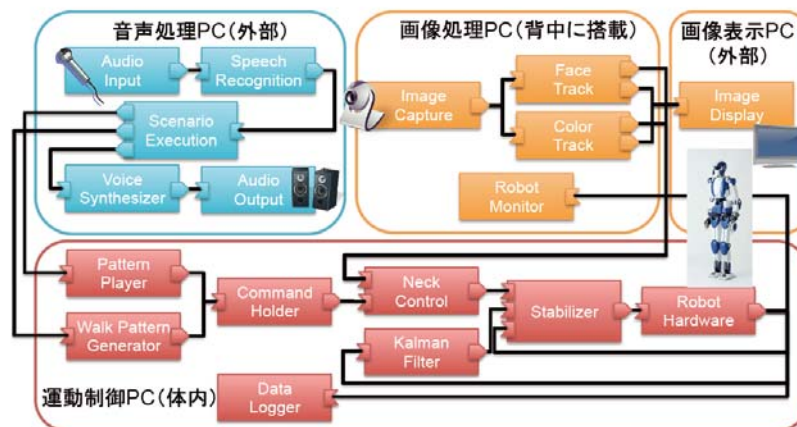
HIRO: Kawada/GRX



HRP-4C: Kawada/AIST

OpenRTM and HRP4

- New real-time control framework for humanoid robot HRP⁴
- Hardware/simulator concurrent development is realized by OpenRTM and OpenHRP3

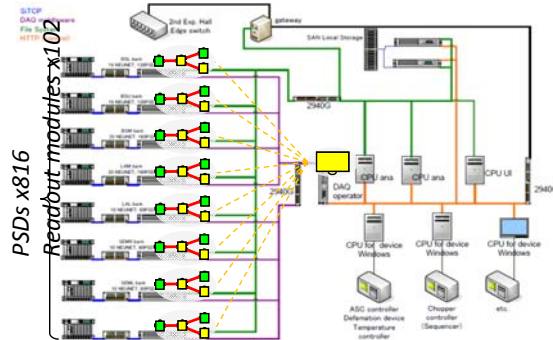
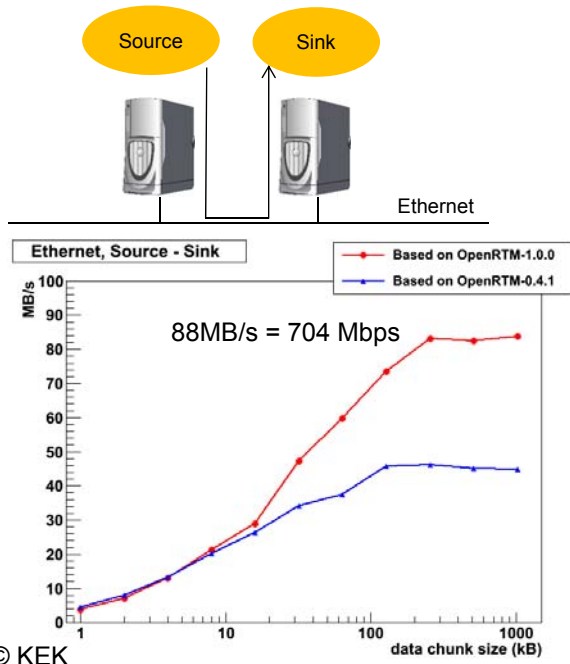


This control system can be more general and for various kind of robots.

Japan Proton Accelerator Research Complex

(J-PARC,大強度陽子加速器施設)

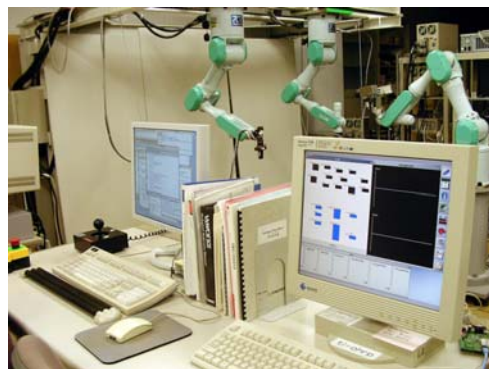
Model : Dell PowerEdge SC1430
 CPU : Intel Xeon 5120 @ 1.86GHz 2 Cores × 2
 Memory : 2GB
 NIC: Intel Pro 1000 PCI/e (1GbE)
 OS: Scientific Linux 5.4 (i386)



RTミドルウェアPJ

FY2002.12-FY2004

- 名称: NEDO 21世紀ロボットチャレンジプログラム
 - 「ロボット機能発現のために必要な要素技術開発」
- 目的:
 - RT要素の部品化(モジュール化)の研究開発
 - 分散オブジェクト指向開発
 - RT要素の分類・モジュール化に必要な機能・インタフェース仕様の明確化
- 予算規模:
 - 65百万円
 - 全体267.3百万円



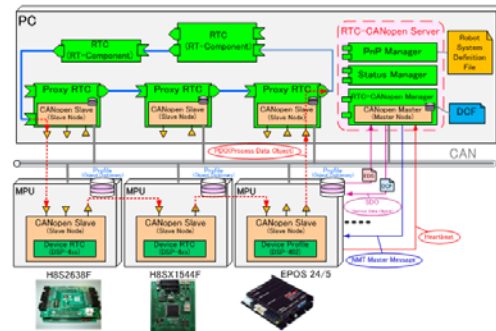
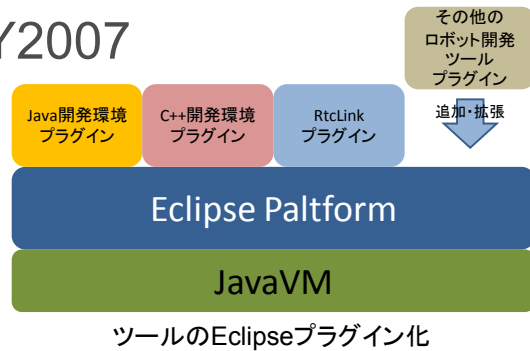
NEDO基盤PJ

FY2003-FY2007

- 名称:「運動制御デバイスおよびモジュールの開発」
- 目的:
 - 運動制御デバイスの開発
 - デバイスに搭載するRTCの開発
 - その他モーションコントロールに資するRTM/RTCの開発
- 予算規模:
 - 15百万円/年
 - 371百万円、全体1,259百万円



dsPIC版RTC-Liteの開発

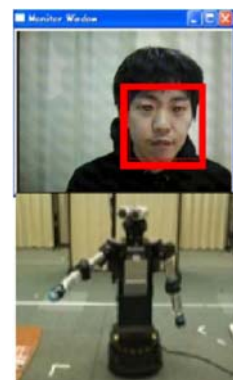
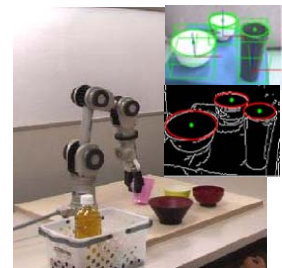


RTC-CANの開発

知能化PJ

FY2007-FY2012

- 名称:「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」
- 目的:
 - ソフトウェアプラットフォームの開発
 - 作業知能、移動知能、コミュニケーション知能に関するモジュールの開発
- 予算:
 - 400百万円
 - 全体7,000百万円
- 研究グループ
 - 15グループ



RTミドルウェアの広がり

ダウンロード数

2012年2月現在

	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	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
All	10342	18258	18612	3768	393	51373

ユーザ数

タイプ	登録数
Webページユーザ	365 人
Webページアクセス	約 300 visit/day 約 1000 view/day
メーリングリスト	447 人
講習会	のべ 572 人
利用組織 (Google Map)	46 組織

プロジェクト登録数

タイプ	登録数
RTコンポーネント群	287
RTミドルウェア	14
ツール	19
仕様・文書	4
ハードウェア	28

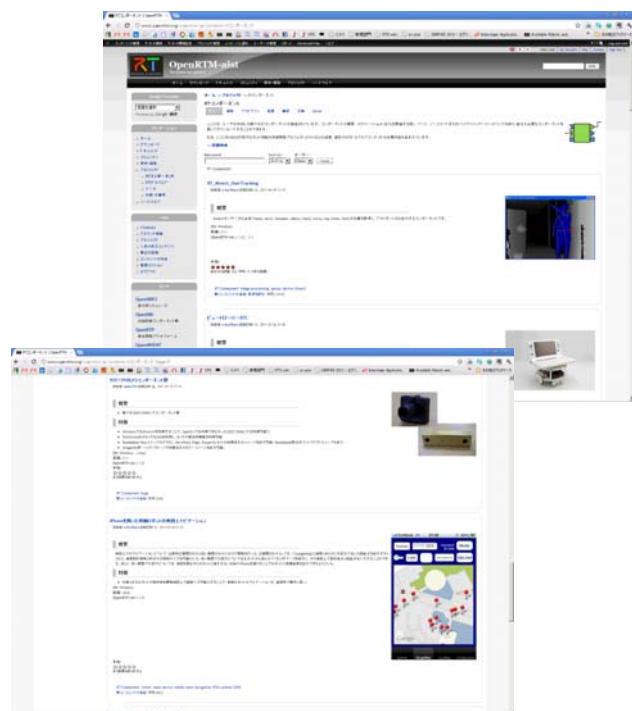
OMG RTC規格実装 (11種類)

Name	Vendor	Feature
OpenRTM-aist	AIST	C++, Python, Java
OpenRTM.NET	SEC	.NET(C#,VB,C++/CLI, F#, etc..)
miniRTC, microRTC	SEC	CAN・ZigBee等を利用した組込用RTC実装
Dependable RTM	SEC/AIST	機能安全認証 (IEC61508) capableなRTM実装
RTC CANOpen	SIT, 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	ETRI	韓国国家プロジェクトでの実装
GostaiRTC	GOSTAI, THALES	ロボット言語上で動作するC++ PSM実装

プロジェクトページ

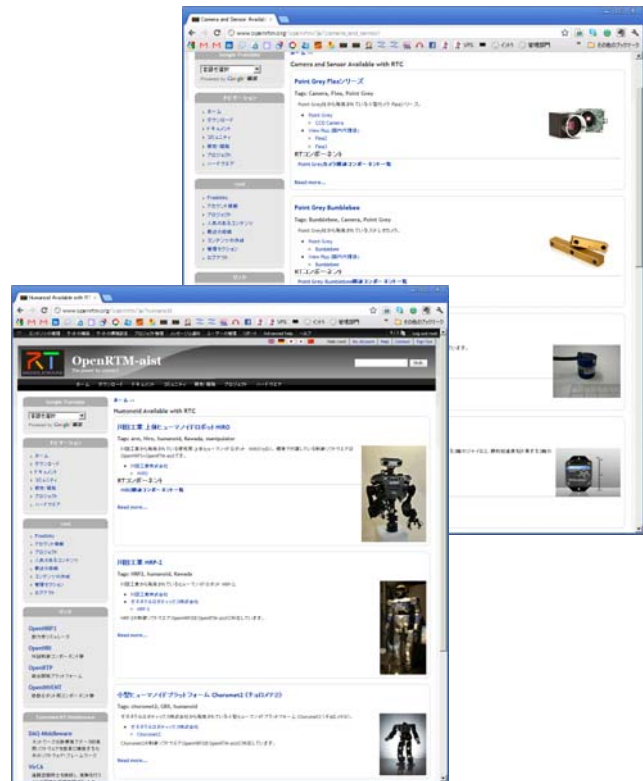
- ユーザが自分の作品を登録
- 他のユーザの作ったRTCを探することができる

タイプ	登録数
RTコンポーネント群	287
RTミドルウェア	14
ツール	19
仕様・文書	4
ハードウェア	28



ハードウェア集

- OpenRTMで利用可能なハードウェアのリスト
- ハードウェアを利用するために利用できるコンポーネントのリスト



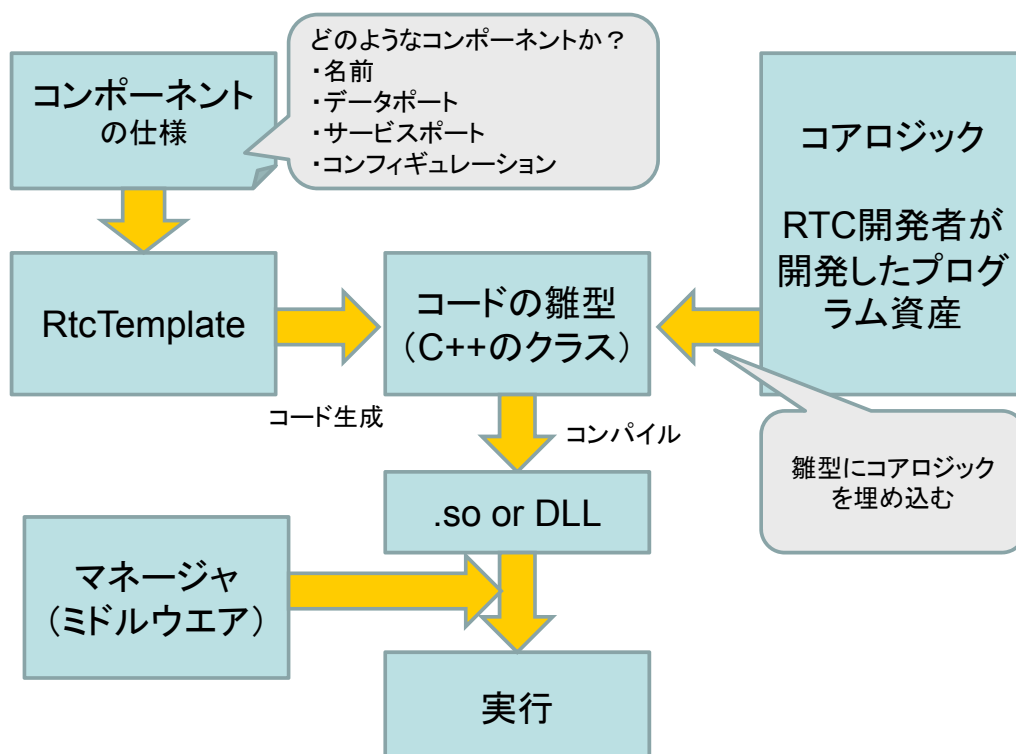
NEDO RTコンポーネント集

- www.openrtm.org に NEDO知能化PJ成果物の特別ページを設置
 - ツール
 - 作業知能モジュール
 - 移動知能モジュール
 - 対話知能モジュール
 - 商用ライセンスモジュール
- の5カテゴリに分けて掲載

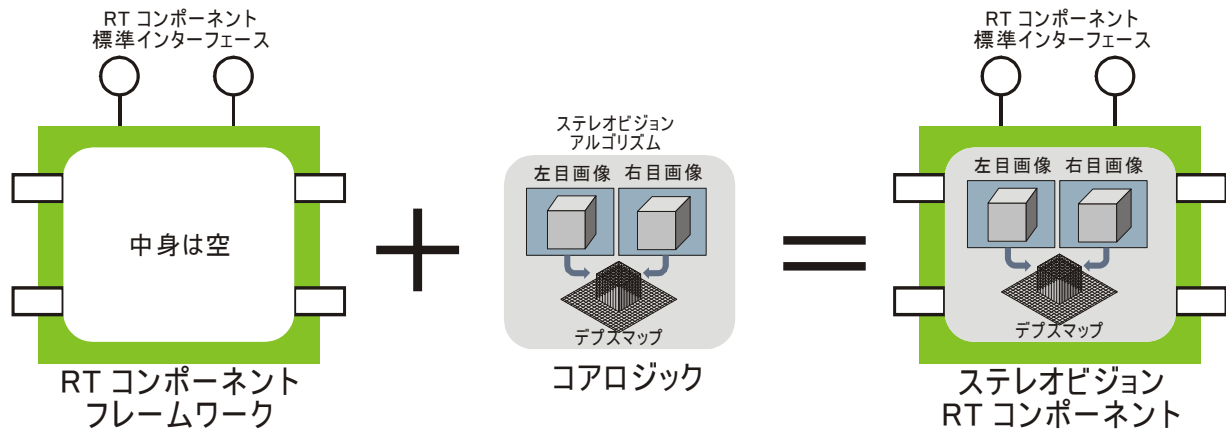


RTコンポーネントの開発

OpenRTMを使った開発の流れ



フレームワークとコアロジック



RTCフレームワーク+コアロジック=RTコンポーネント

コンポーネントの作成 (Windowsの場合)



コード例

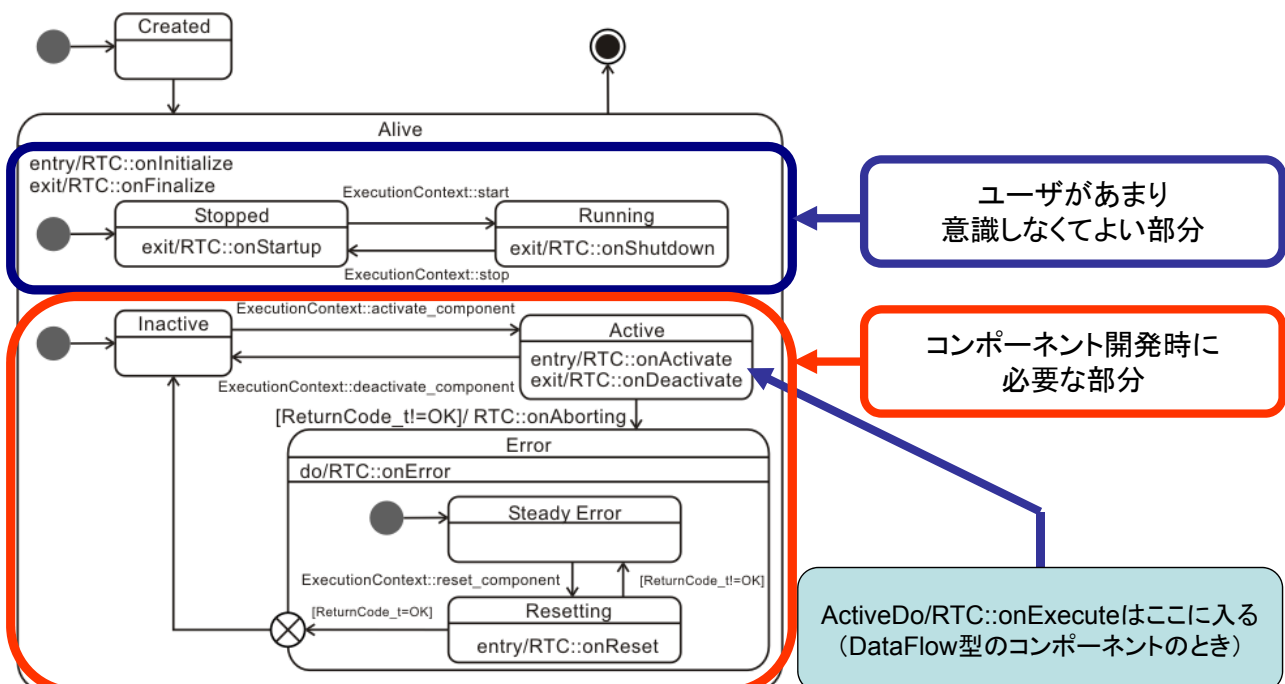
- 生成されたクラスのメンバー関数に必要な処理を記述
- 主要な関数
 - onExecute (周期実行)
- 処理
 - InPortから読む
 - OutPortへ書く
 - サービスを呼ぶ
 - コンフィギュレーションを読む

```
class MyComponent
  : public DataflowComponentBase
{
public:
  // 初期化時に実行したい処理
  virtual ReturnCode_t onInitialize()
  {
    if (mylogic.init())
      return RTC::RTC_OK;
    return RTC::RTC_ERROR;
  }

  // 周期的に実行したい処理
  virtual ReturnCode_t onExecute(RTC::UniqueId ec_id)
  {
    if (mylogic.do_something())
      return RTC::RTC_OK;
    return RTC::RTC_ERROR;
  }

private:
  MyLogic mylogic;
  // ポート等の宣言
  //   :
};
```

コンポーネント内の状態遷移



コールバック関数

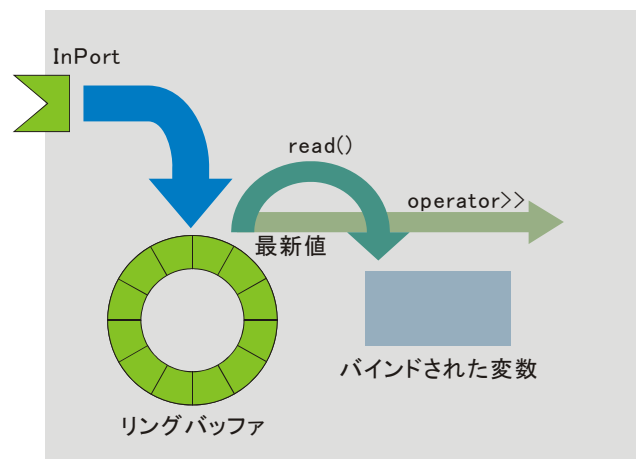
RTCの作成 = コールバック関数に処理を埋め込む

コールバック関数	処理
onInitialize	初期化処理
onActivated	アクティブ化される時1度だけ呼ばれる
onExecute	アクティブ状態時に周期的に呼ばれる
onDeactivated	非アクティブ化される時1度だけ呼ばれる
onAborting	ERROR状態に入る前に1度だけ呼ばれる
onReset	resetされる時に1度だけ呼ばれる
onError	ERROR状態のときに周期的に呼ばれる
onFinalize	終了時に1度だけ呼ばれる
onStateUpdate	onExecuteの後毎回呼ばれる
onRateChanged	ExecutionContextのrateが変更されたとき1度だけ呼ばれる
onStartup	ExecutionContextが実行を開始するとき1度だけ呼ばれる
onShutdown	ExecutionContextが実行を停止するとき1度だけ呼ばれる

とりあえずは
この5つの関数
を押さえて
おけばOK

InPort

- InPortのテンプレート第2引数: バッファ
 - ユーザ定義のバッファが利用可能
- InPortのメソッド
 - read(): InPort バッファからバインドされた変数へ最新値を読み込む
 - >> : ある変数へ最新値を読み込む

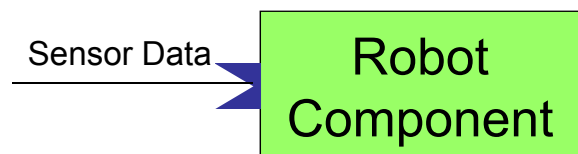


基本的にOutPortと対になる



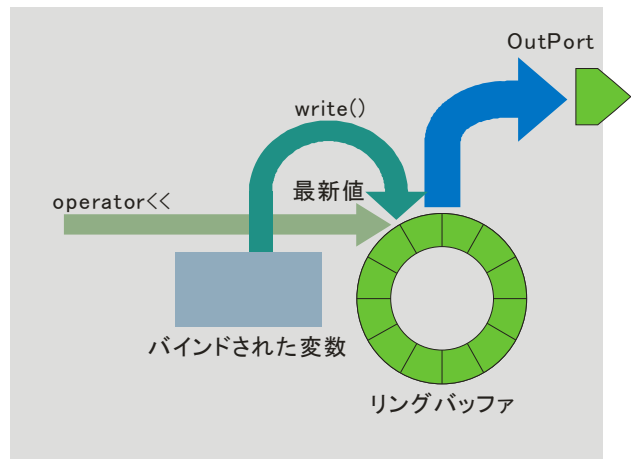
データポートの型を
同じにする必要あり

例

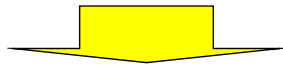


OutPort

- OutPortのテンプレート第2引数:
バッファ
 - ユーザ定義のバッファが利用可能
- OutPortのメソッド
 - write(): OutPort バッファへ
バインドされた変数の最新値
として書き込む
 - >> : ある変数の内容を最新
値としてリングバッファに書き
込む

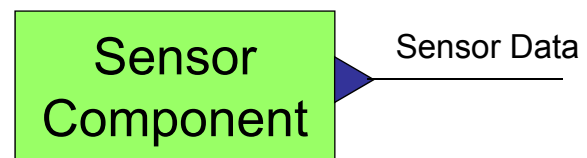


基本的にInPortと対になる



データポートの型を
同じにする必要あり

例



データ変数

```
struct TimedShort
{
    Time tm;
    short data;
};
```

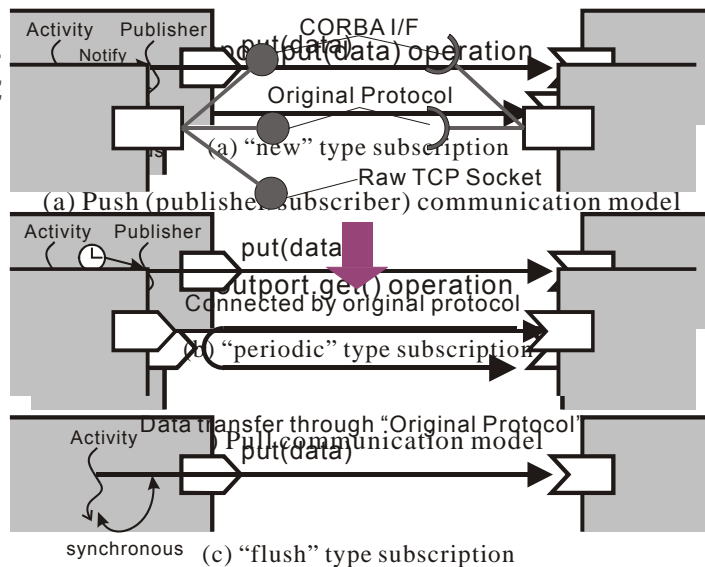
- 基本型
 - tm: 時刻
 - data: データそのもの

```
struct TimedShortSeq
{
    Time tm;
    sequence<short> data;
};
```

- シーケンス型
 - data[i]: 添え字によるアクセス
 - data.length(i): 長さiを確保
 - data.length(): 長さを取得
- データを入れるときにはあらかじめ
長さをセットしなければならない。
- CORBAのシーケンス型そのもの
- 今後変更される可能性あり

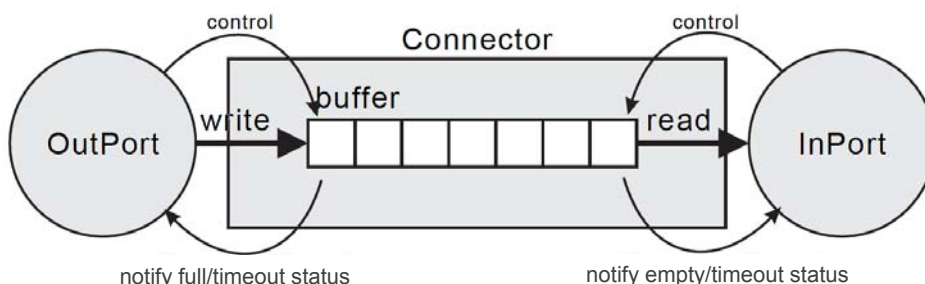
データポート

- データ指向(Data Centric)な
ストリームポート
 - 型: long, double × 6, etc...
 - ユーザが任意に定義可能
 - 出力: OutPort
 - 入力: InPort
- 接続制御 (接続時に選択可能)
 - Interface type
 - CORBA, TCP socket, other protocol, etc...
 - Data flow type
 - push/pull
 - Subscription type
 - Flush, New, Periodic



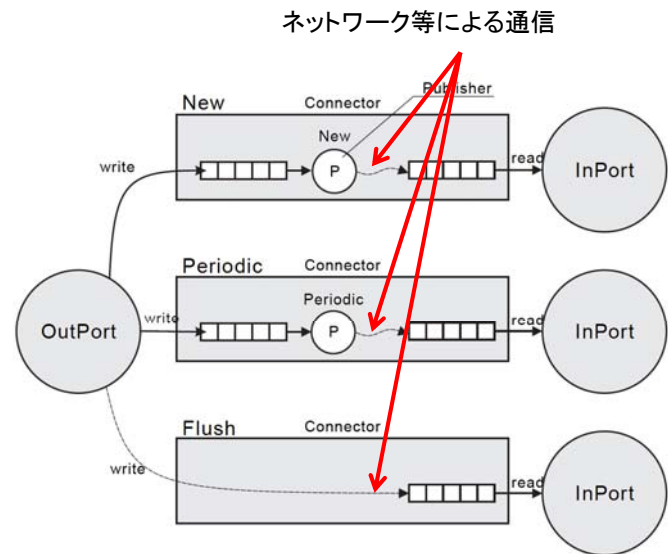
データポートモデル

- Connector:
 - バッファと通信路を抽象化したオブジェクト。OutPortからデータを受け取りバッファに書き込む。InPortからの要求に従いバッファからデータを取り出す。
 - OutPortに対してバッファフル・タイムアウト等のステータスを伝える。
 - InPortに対してバッファエンpty・タイムアウト等のステータスを伝える。
- OutPort:
 - アクティビティからの要求によってデータをコネクタに書き込むオブジェクト
- InPort:
 - アクティビティからの要求によってデータをコネクタから読み出すオブジェクト



Push型データポートモデル

- Connector
 - 実際には間に通信が入る可能性がある
- 3つの送信モデル
 - “new”, “periodic”, “flush”
 - パブリッシャによる実現
- バッファ、パブリッシャ、通信インターフェースの3つをConnectorに内包



バッファインターフェース

- バッファ操作のためのインターフェースを定義
 - より詳細な操作を提供
 - バッファフル/エンプティを検出可能に
 - タイムアウトを検出可能に

BufferBase <T>
advanceRptr(long n) : ReturnCode
advanceWptr(long n) : ReturnCode
empty() : bool
full() : bool
get(T& data) : ReturnCode
put(T& data) : ReturnCode
read(T& data, int sec, int nsec) : ReturnCode
write(T& data, int sec, int nsec) : ReturnCode

リターンコード

- BUFFER OK 正常終了
- BUFFER ERROR エラー終了
- BUFFER FULL バッファフル状態
- BUFFER EMPTY バッファ空状態
- NOT SUPPORTED サポート外の要求
- TIMEOUT タイムアウト
- PRECONDITION NOT MET 事前状態を満たさない

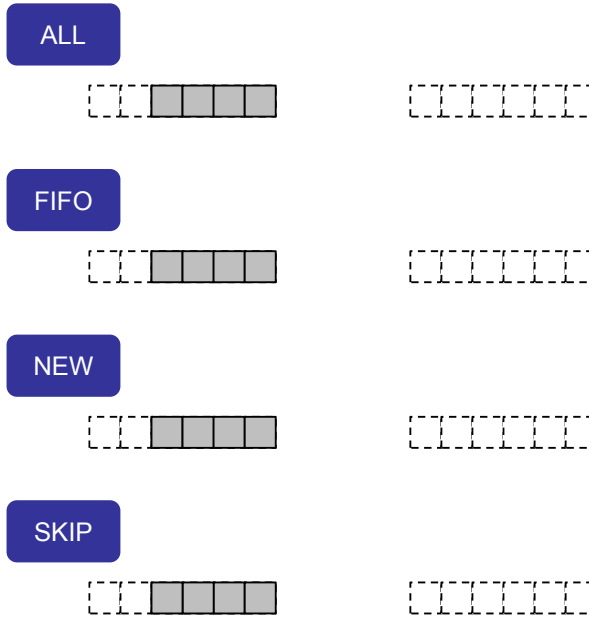
Pushポリシー

- バッファ残留データ
- 送り方のポリシー

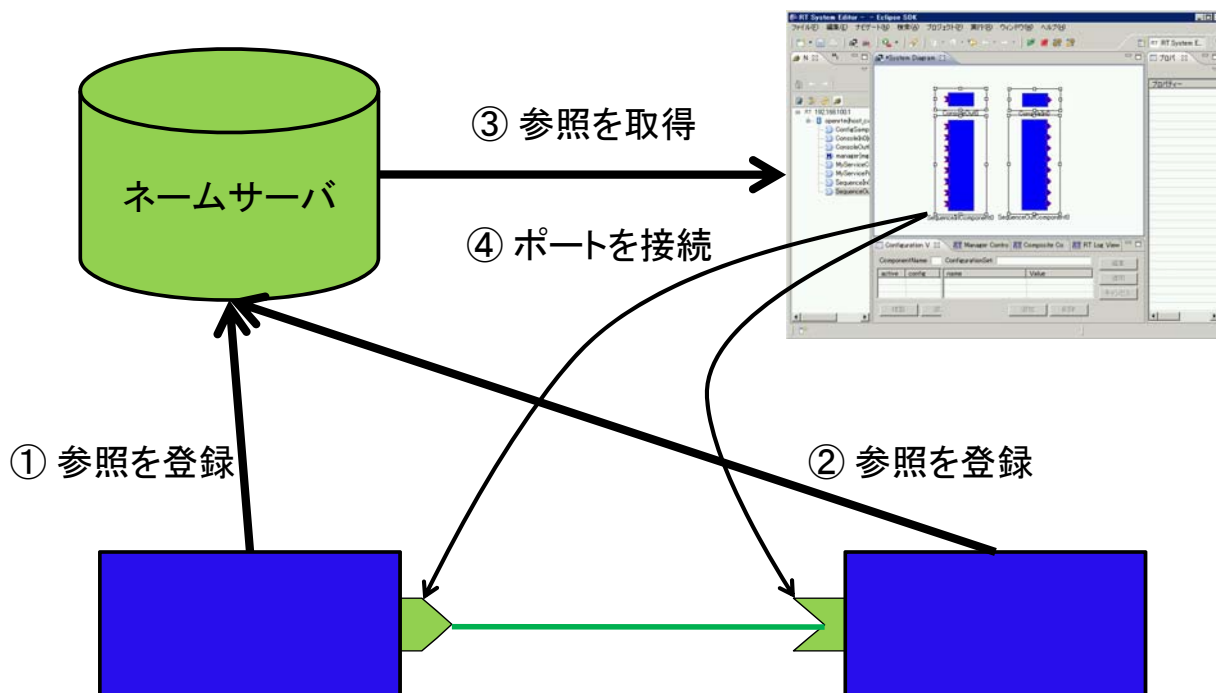
ポリシー	送り方
ALL	全部送信
FIFO	先入れ後だしで1個ずつ送信
NEW	最新値のみ送信
SKIP	n個おきに間引いて送信

- データ生成・消費速度を考慮して設定する必要がある。

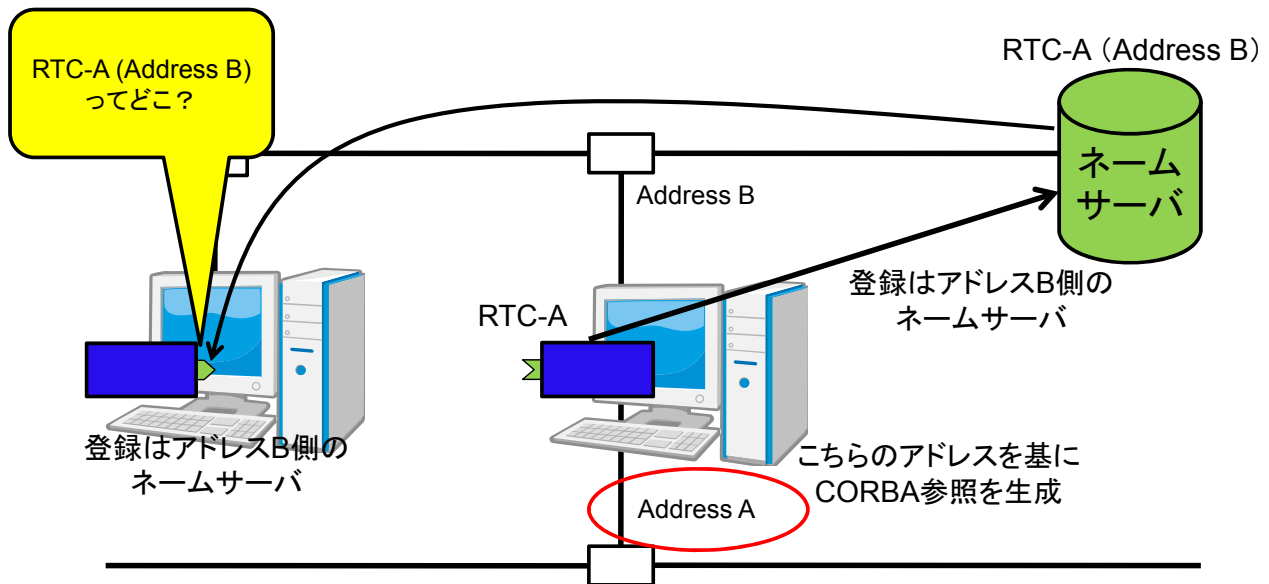
予稿にはNEWの説明にLIFOと記述していましたが正確にはLIFOではなく最新値のみの送信です。LIFO形式のポリシーを導入するかどうかは検討中です。ご意見ください。



動作シーケンス



ネットワークインターフェースが 2つある場合の注意



Rtc.confについて

RT Component起動時の登録先NamingServiceや、登録情報などについて記述するファイル

記述例:

corba.nameservers: localhost:9876

naming.formats: SimpleComponent/%n.rtc

(詳細な記述方法は etc/rtc.conf.sample を参照)

以下のようにすると、コンポーネント起動時に読み込まれる

```
./ConsoleInComp -f rtc.conf
```

ネーミングサービス設定

corba.nameservers	host_name:port_numberで指定、デフォルトポートは2809(omniORBのデフォルト)、複数指定可能
naming.formats	%h.host_cxt/%n.rtc →host.host_cxt/MyComp.rtc 複数指定可能、0.2.0互換にしたければ、 %h.host_cxt/%M.mgr_cxt/%c.cat_cxt/%m.mod_cxt/%n.rtc
naming.update.enable	“YES” or “NO”: ネーミングサービスへの登録の自動アップデート。コンポーネント起動後にネームサービスが起動したときに、再度名前を登録する。
naming.update.interval	アップデートの周期[s]。デフォルトは10秒。
timer.enable	“YES” or “NO”: マネージャタイマ有効・無効。 naming.updateを使用するには有効でなければならない
timer.tick	タイマの分解能[s]。デフォルトは100ms。



必須の項目



必須でないOption設定

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

ログ設定

logger.enable	“YES” or “NO”: ログ出力を有効・無効
logger.file_name	ログファイル名。 %h: ホスト名、%M: マネージャ名、%p: プロセスID 使用可
logger.date_format	日付フォーマット。strftime(3)の表記法に準拠。 デフォルト: %b %d %H:%M:%S → Apr 24 01:02:04
logger.log_level	ログレベル: SILENT, ERROR, WARN, NORMAL, INFO, DEBUG, TRACE, VERBOSE, PARANOID SILENT: 何も出力しない PARANOID: 全て出力する ※以前はRTC内で使えましたが、現在はまだ使えません 。



必須の項目



必須でないOption設定

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

その他

corba.endpoints	<p>IP_Addr:Port で指定 :NICが複数あるとき、ORBをどちらでlistenさせるかを指定。Portを指定しない場合でも”:”が必要。 例 “corba.endpoints: 192.168.0.12:” NICが2つある場合必ず指定。 (指定しなくても偶然正常に動作することもあるが念のため。)</p>
corba.args	CORBAに対する引数。詳細はomniORBのマニュアル参照。
[カテゴリ名]. [コンポーネント名]. config_file または [カテゴリ名]. [インスタンス名]. config_file	<p>コンポーネントの設定ファイル</p> <ul style="list-style-type: none"> •カテゴリ名 : manipulator, •コンポーネント名 : myarm, •インスタンス名 myarm0,1,2,... <p>の場合</p> <p>manipulator.myarm.config_file: arm.conf manipulator.myarm0.config.file: arm0.conf のように指定可能</p>

使いたいNICに割り当てられているIPアドレス



必須の項目



必須でないOption設定

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

まとめ

- RTミドルウェアの概要
 - 背景、目的、利点
 - 標準化、適用例
 - 過去のプロジェクト、Webページ
- RTコンポーネントの開発
 - 開発の流れ
 - 動作シーケンス
 - コールバック、データポート、rtc.conf