

RTM講習会参加者各位

- 本日の講習会ページ：<https://bit.ly/3x3Rsie>
- WiFi
 - SSID: Robomech2022_107
 - PW: 107_Robomech
- 講習会中・終了後の質問はSlackにてお願いします。
 - Slack参加リンク：<https://bit.ly/3NNM6gU>

2022年6月1日
ROBOMECH2020チュートリアル



OpenRTM-aistおよび RTコンポーネントプログラミングの概要

国立研究開発法人産業技術総合研究所
インダストリアルCPS研究センター
副センター長
安藤 慶昭

はじめに

- RTミドルウェアの概要
 - 基本概念
- ロボットソフトウェアの動向
- モジュール化のメリット
- RTコンポーネントの基本機能
- 標準化
- コミュニティ

RTミドルウェアとは？

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

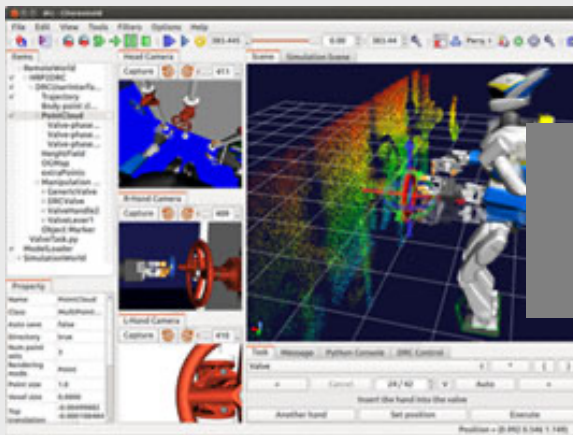
OpenRTM-aist

- 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

ロボットミドルウェアについて

- ロボットシステム構築を効率化するための共通機能を提供する**基盤ソフトウェア**
 - 「ロボットOS」と呼ばれることもある
 - インターフェース・プロトコルの共通化、標準化
 - 例として
 - モジュール化・コンポーネント化フレームワークを提供
 - モジュール間の通信をサポート
 - パラメータの設定、配置、起動、モジュールの複合化（結合）機能を提供
 - 抽象化により、OSや言語間連携・相互運用を実現
- 2000年ごろから開発が活発化
 - 世界各国で様々なミドルウェアが開発・公開されている

従来のシステムでは…

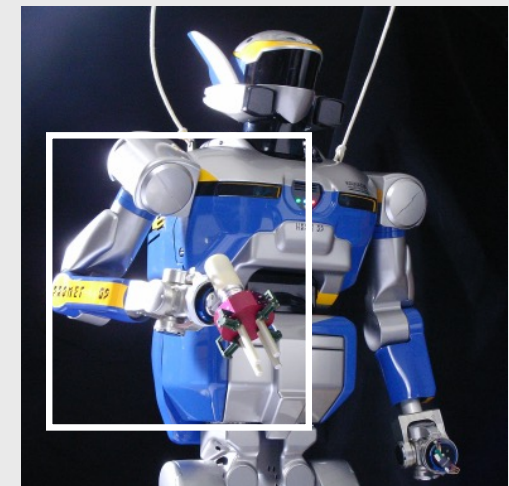


Controller

Controller software



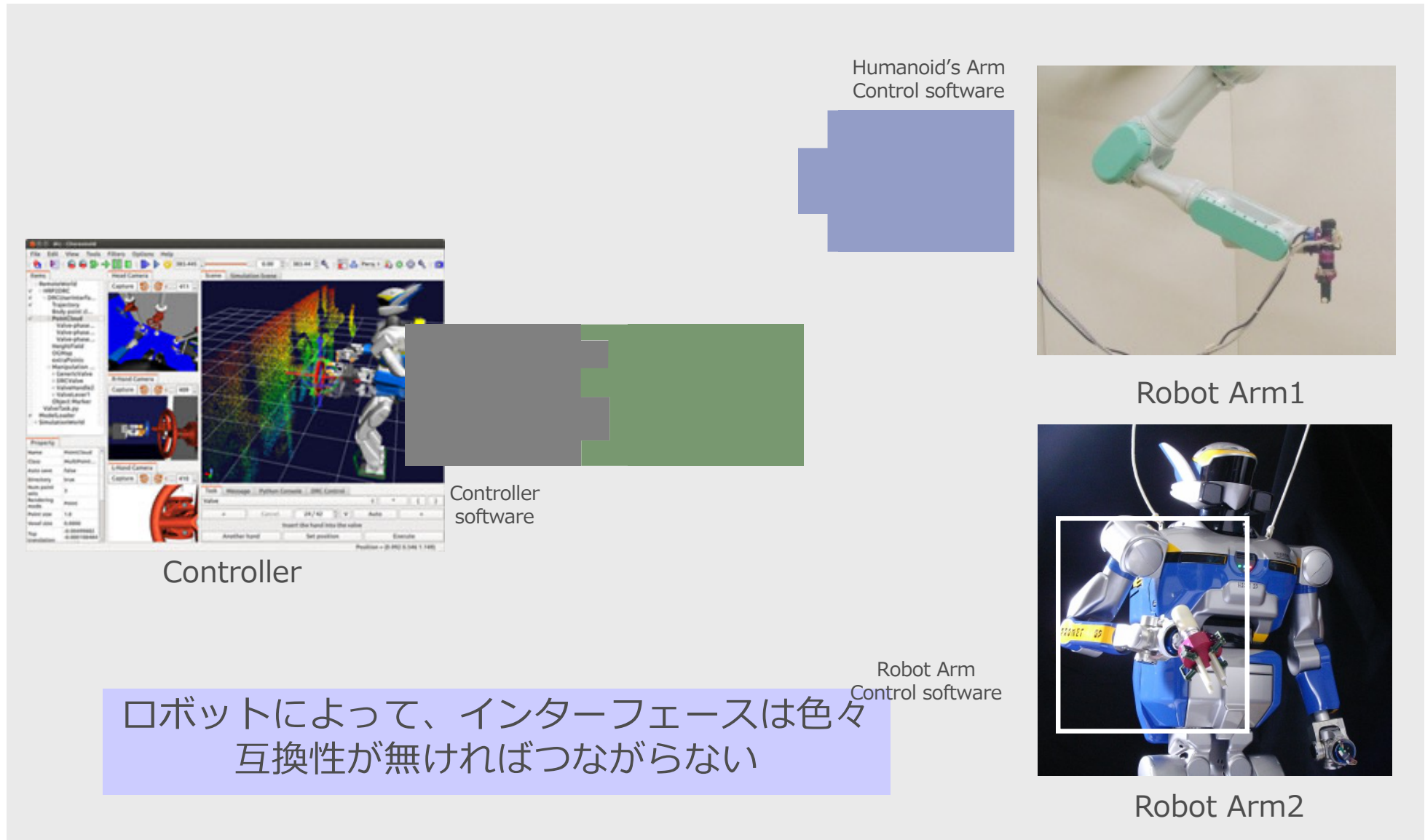
Robot Arm Control software



Robot Arm2

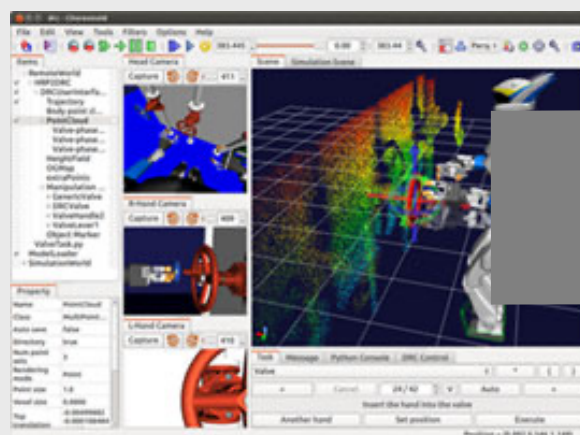
互換性のあるインターフェース同士は接続可能

従来のシステムでは…



RTミドルウェアでは…

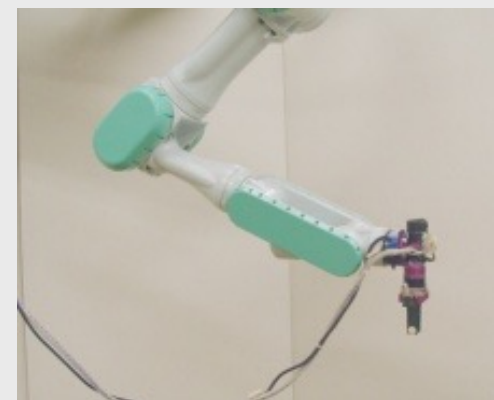
RTミドルウェアは別々に作られたソフトウェアモジュール同士を繋ぐための共通インターフェースを提供する



Controller

Controller software

Arm A Control software



Robot Arm1

compatible arm interfaces



Arm B Control software



Robot Arm2

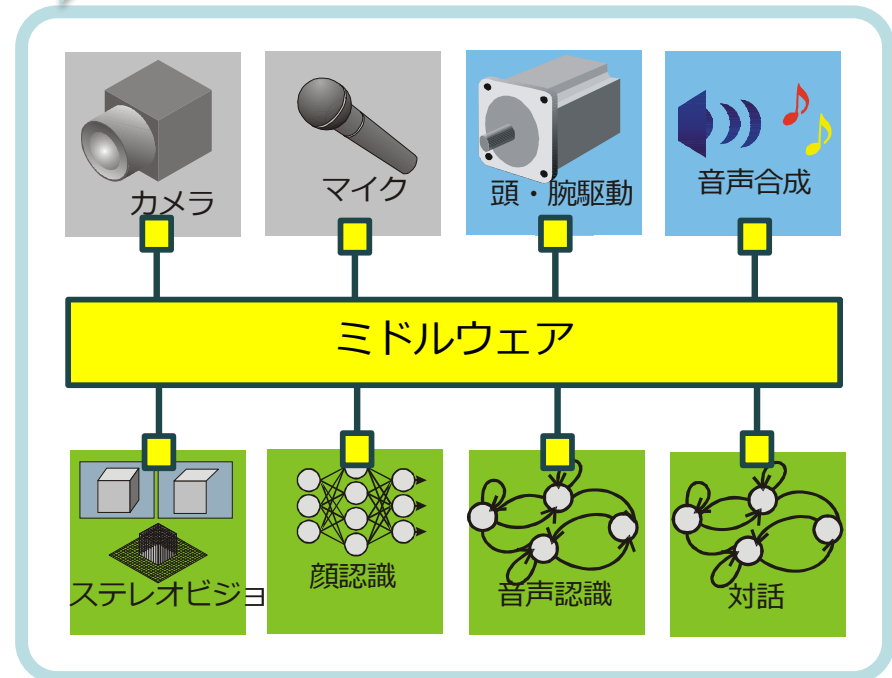
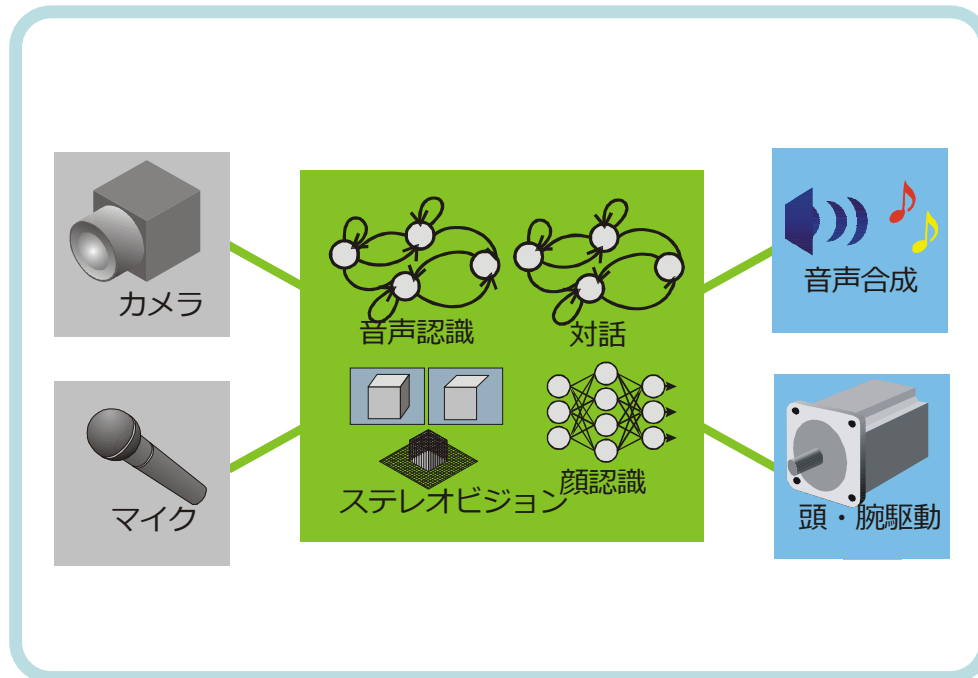
ソフトウェアの再利用性の向上
RTシステム構築が容易になる

ロボットソフトウェア開発の方向

従来型開発



コンポーネント指向開発



- ✓ 様々な機能を融合的に設計
- ✓ 実行時の効率が高いが、柔軟性に欠ける
- ✓ システムが複雑化してくると開発が困難に

- ✓ 大規模複雑な機能の分割・統合
- ✓ 開発・保守効率化（機能の再利用等）
- ✓ システムの柔軟性向上

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

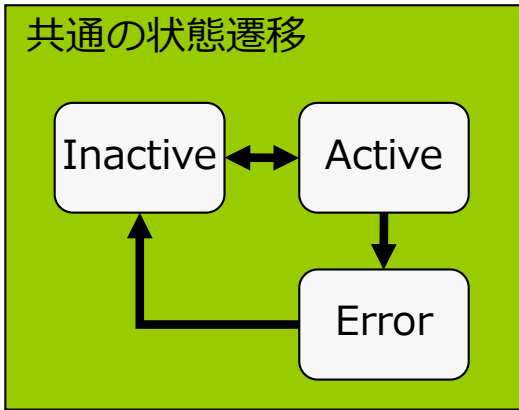
モジュール化のメリットに加えて

- 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

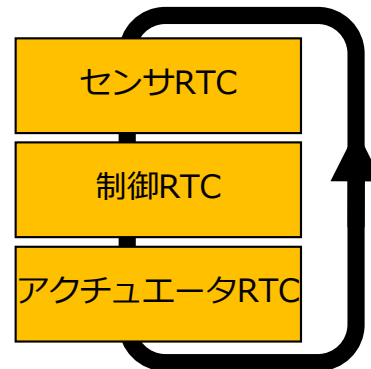
RTコンポーネントの主な機能

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

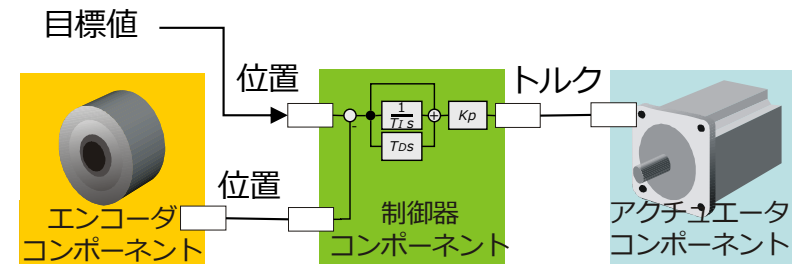


ライフサイクルの管理・コアロジックの実行

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

サーボの例



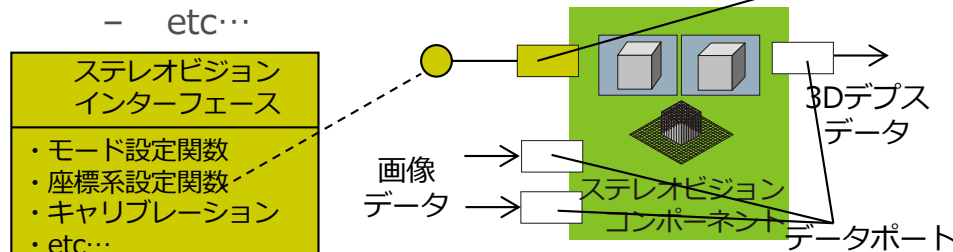
データ指向通信機能

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...

ステレオビジョンの例

サービスポート

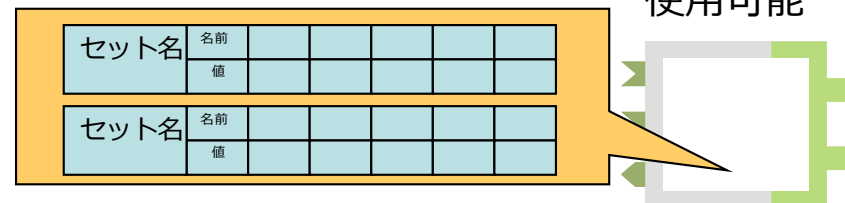


サービス指向相互作用機能

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



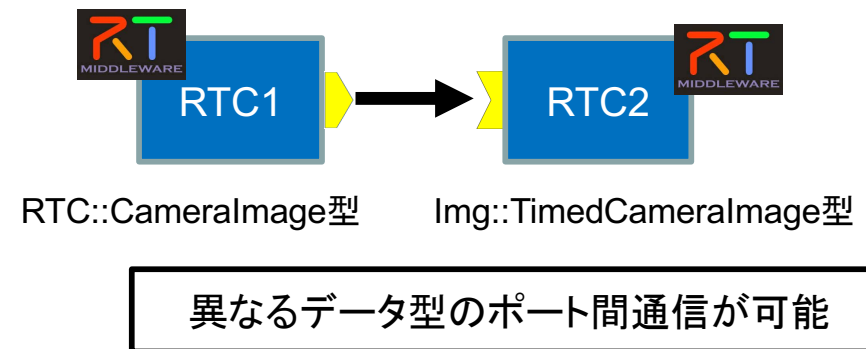
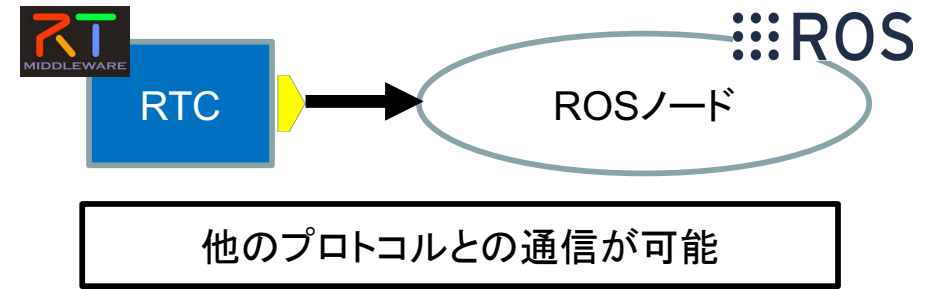
OpenRTM 2.0の新機能

- 相互運用フレームワークの導入
 - DPSF : Dynamic Protocol Switching Framework
 - ROS・ROS2等のトピック通信機能
 - 他プロトコルデータ通信機能の動的追加可能
- FSMフレームワーク
 - 状態遷移コンポーネントのためのフレームワーク導入
- その他雑多な機能追加

DPSF Dynamic Protocol Switching Framework

ポイント

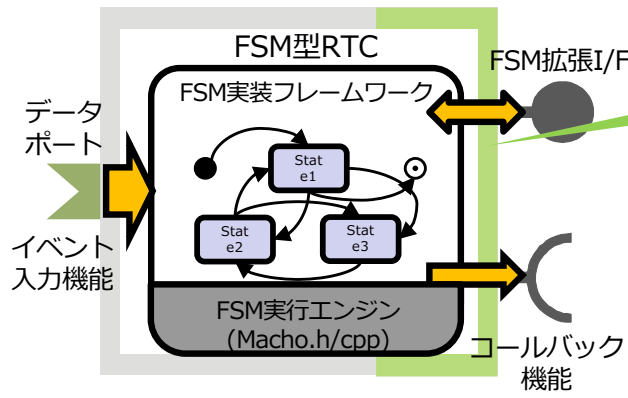
- 他のプロトコルとの通信が可能
- 異なるデータ型間の通信が可能
- × 通信変換モジュールを実装する必要あり
- ○ RTCのコードは変更不要
- 利用可能な変換モジュール
 - ROS
 - ROS2
 - SSM
 - DIOP: UDP通信



例えば、「RTM – ROSデータ変換」のシリアライザを使う場合は「ros::std_msgs/Int32」を指定する。

ファクトリ	
シリアライザ名	生成関数
corba	CORBA CDR シリアライザ
ros::std_msgs/Int32	RTM-ROS データ型変換
corba:RTC/TimedShort:RTC/ TimedDouble	TimedLong- TimedFloat変換

OMG標準に準拠したFSM型RTCの実装

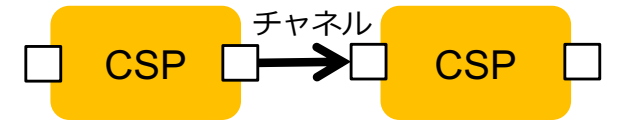


分散コンポーネント型システム (RTM やROS) ではデッドロック、ライブロックを考慮しなければならない

検証のための技術

- **CSP** (Communicating Sequential Processes) 並行性に関するプロセス計算の理論。形式仕様記述とモデル検査器による検証が可能。
- **FDR** (Failures/Divergence Refinement) モデル検査器ツール。**を応用**

異なる通信モデル (CSPとRTC)



同期 かつ 選択的

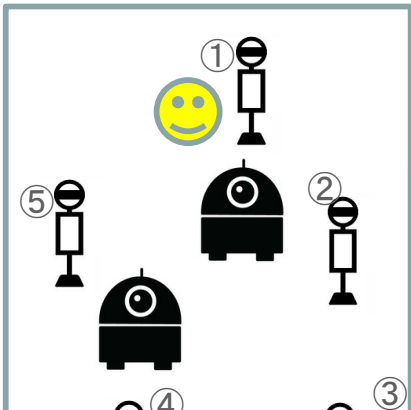


同期/非同期 かつ 並列的

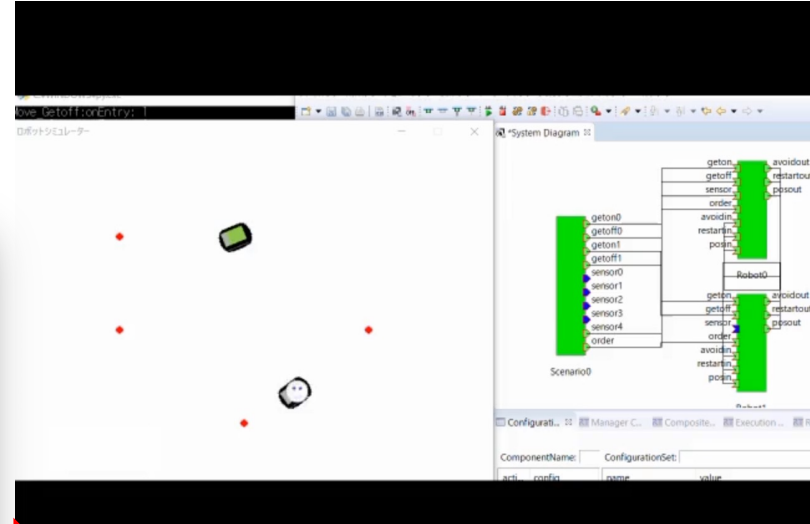
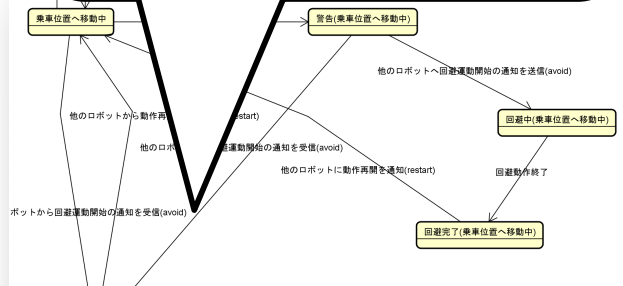
(RTCの可換機能を使用して) 同期 かつ 選択的ポートを実装

状態遷移によるアプリケーションの記述

状態を持ち相互作用するロボット (配車システムの例)



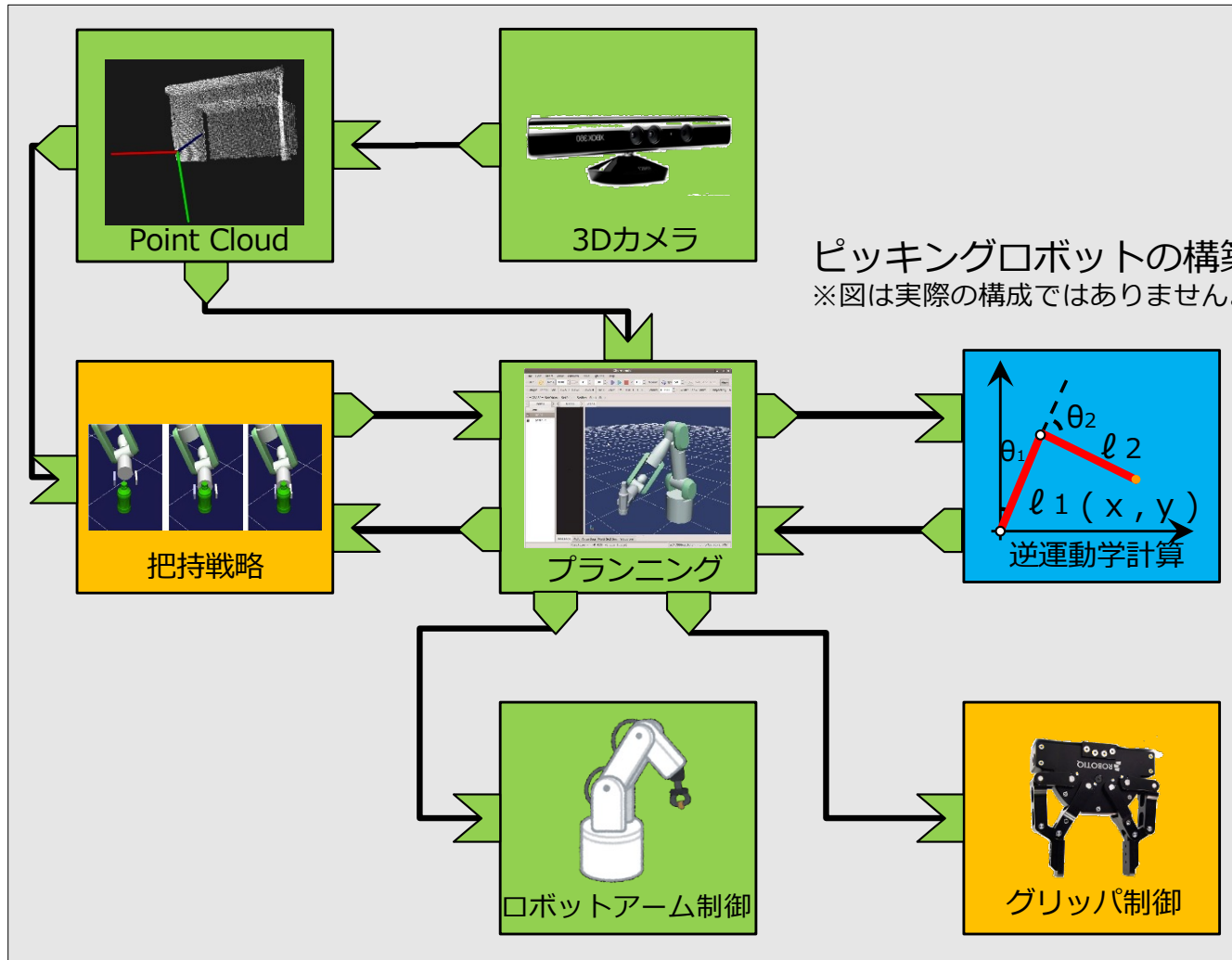
FDRの指摘により、ここで回避運動開始の通知の受信を選択的に行わない場合、2台のロボットがほぼ同時に警告状態に遷移し、**デッドロック**することが分かった



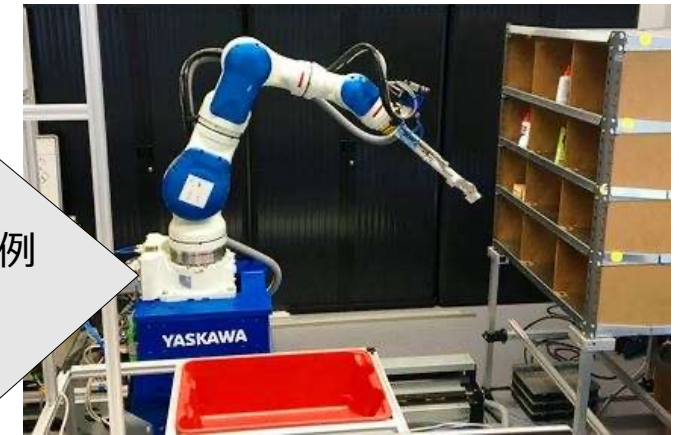
1) CSPで仕様記述、2) FDRで検証、3) CSPモデルをそのまま実装可能なRTミドルウェアの上の枠組みを構築

複数台のロボットの協調制御に応用可能

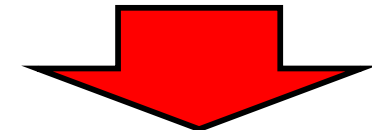
ミドルウェアを利用した開発の利点



ピッキングロボットの構築例
※図は実際の構成ではありません。



ミドルウェアを利用すると、**既存のモジュール**が利用できる



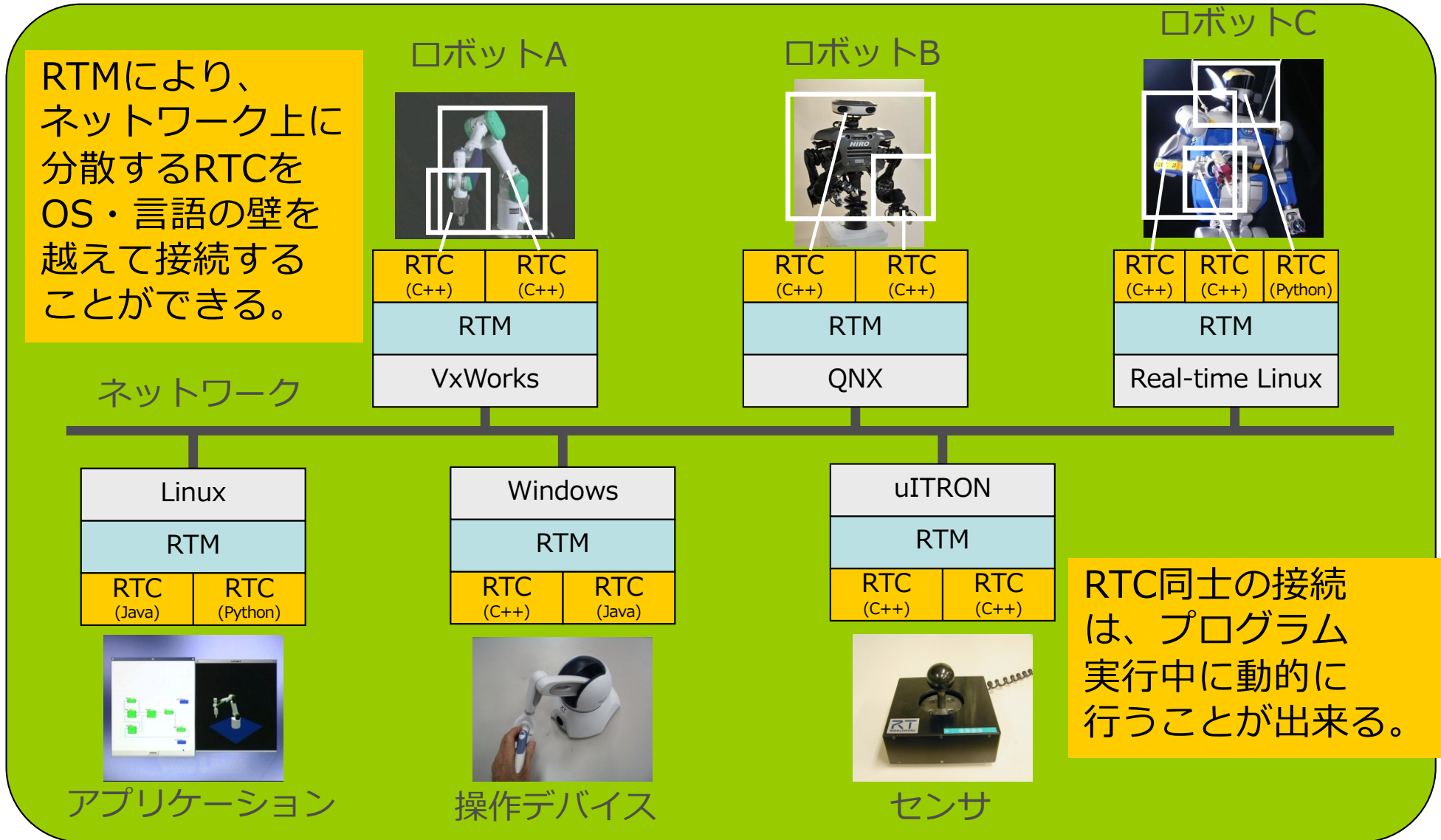
開発するとき**新規に作らなければならない部分**は少なくて済む

既存のものが
再利用可能

ライブラリなどを
利用して自作

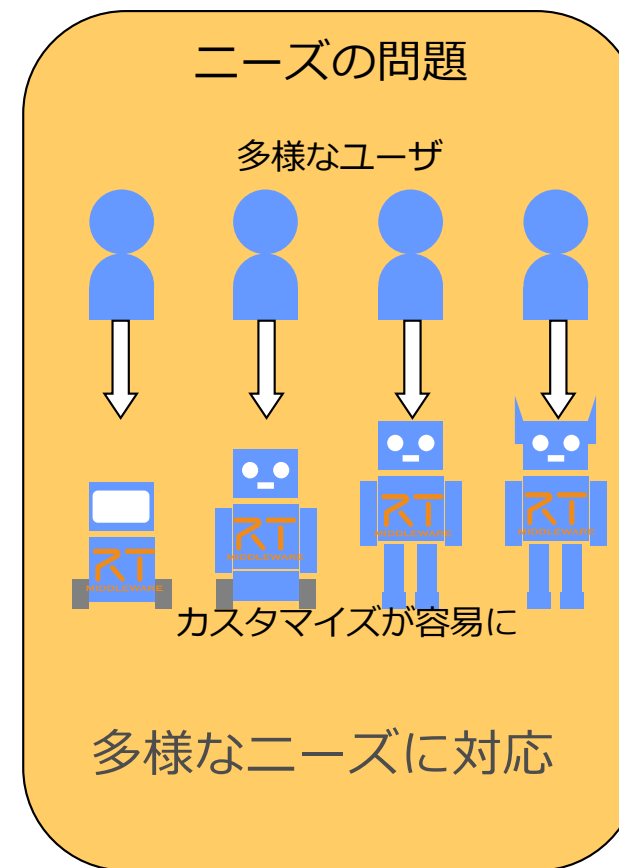
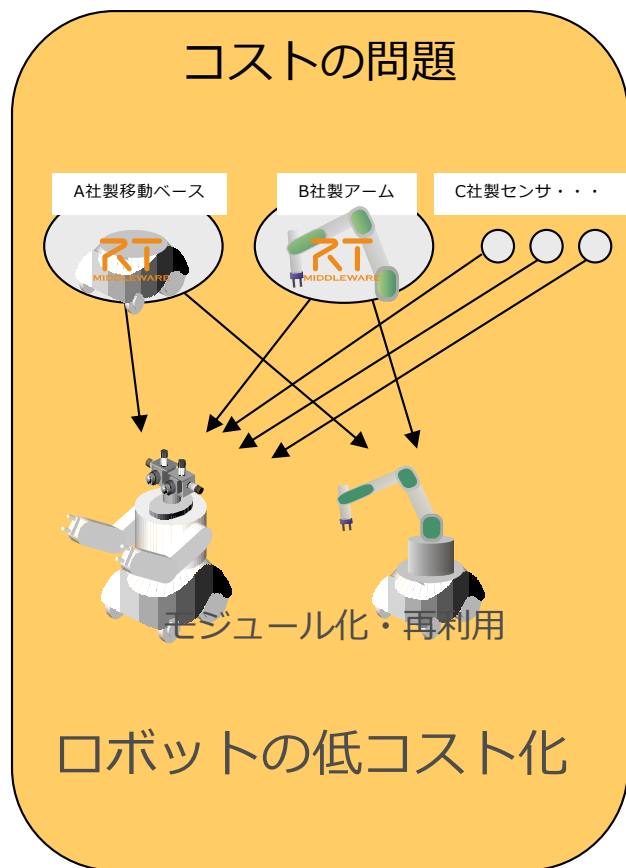
新規開発が必要

RTミドルウェアによる分散システム



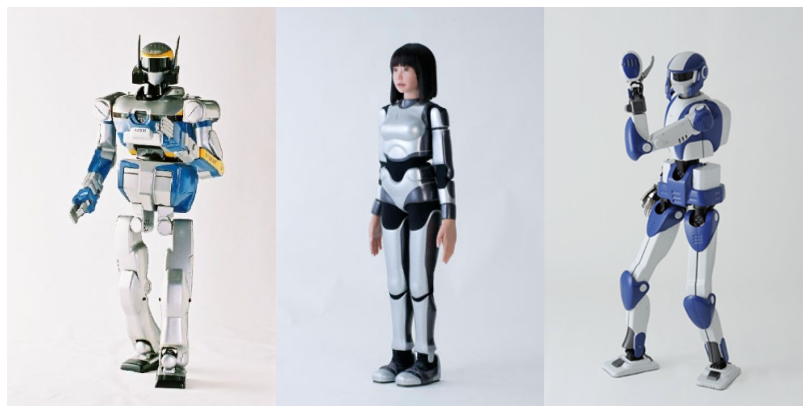
RTミドルウェアの目的

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

実用例・製品化例



HRPシリーズ: 川田工業、AIST

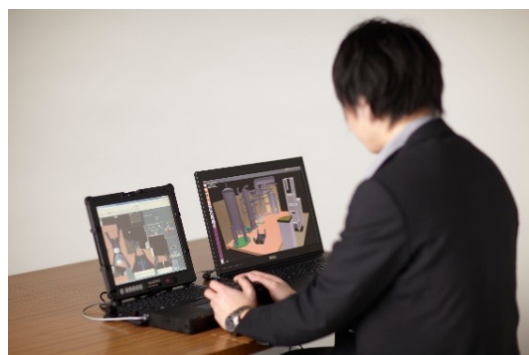


S-ONE : SCHAFT



DAQ-Middleware: KEK/J-PARC

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



災害対応ロボット操縦シミュレータ:
NEDO/千葉工大



HIRO, NEXTAGE open: Kawada Robotics



RAPUDA : Life Robotics



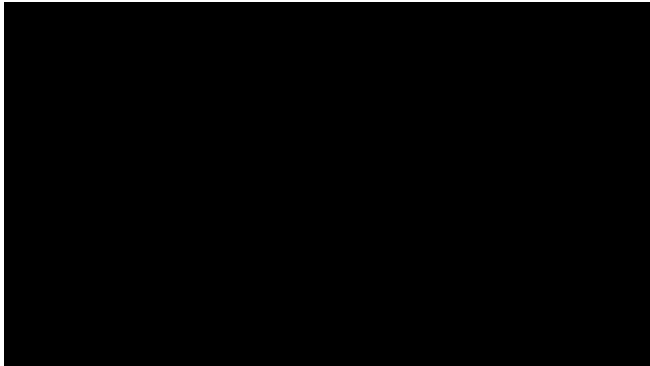
ビュートローバーRTC/RTC-BT(VSTONE)



OROCHI (アールティ)



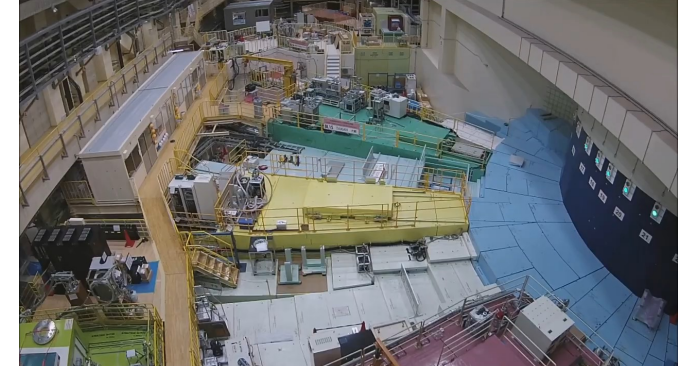
新日本電工他: Mobile SEM



HRP series: KAWADA and AIST

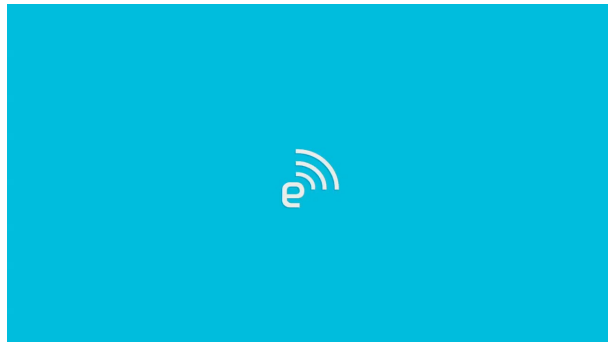


S-ONE : SCHAFT



DAQ-Middleware: KEK/J-PARC

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



HIRO, NEXTAGE open: Kawada Robotics



THK: SIGNAS system



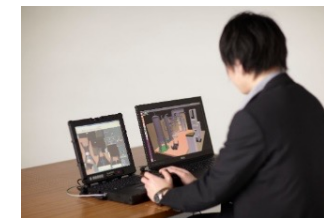
TOYOTA L&F : Air-T



VSTONE's education robots



OROCHI (RT corp.)



Robot operation simulator: NEDO

RTミドルウェアは国際標準

OMG国際標準

- 標準化組織で手続きに沿って策定
- 1組織では勝手に改変できない安心感
- 多くの互換実装ができつつある
- 競争と相互運用性が促進される

RTミドルウェア互換実装は10種類以上

名称	ベンダ	特徴	互換性
OpenRTM-aist	産総研	NEDO PJで開発。参照実装。	---
HRTM	ホンダ	アシモはHRTMへ移行中	◎
OpenRTM.NET	セック	.NET(C#,VB,C++/CLI, F#, etc..)	◎
RTM on Android	セック	Android版RTミドルウェア	◎
RTC-Lite	産総研	PIC, dsPIC上の実装	○
Mini/MicorRTC	SEC	NEDOオープンイノベーションPJで開発	○
RTMSafety	SEC/AIST	NEDO知能化PJで開発・機能安全認証取得	○
RTC CANOpen	SIT, CiA	CAN業界RTM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	×

特定のベンダが撤退しても
ユーザは使い続けることが可能

Date: September 2012



Robotic Technology Component (RTC)

Version 1.1

Normative reference: <http://www.omg.org/spec/RTC/1.1>
 Machine consumable files: <http://www.omg.org/spec/RTC/20111205/>
 Normative:
<http://www.omg.org/spec/RTC/20111205/rtc.xmi>
<http://www.omg.org/spec/RTC/20111205/rtc.h>
<http://www.omg.org/spec/RTC/20111205/rtc.idl>
 Non-normative:
<http://www.omg.org/spec/RTC/20111205/rtc.eap>

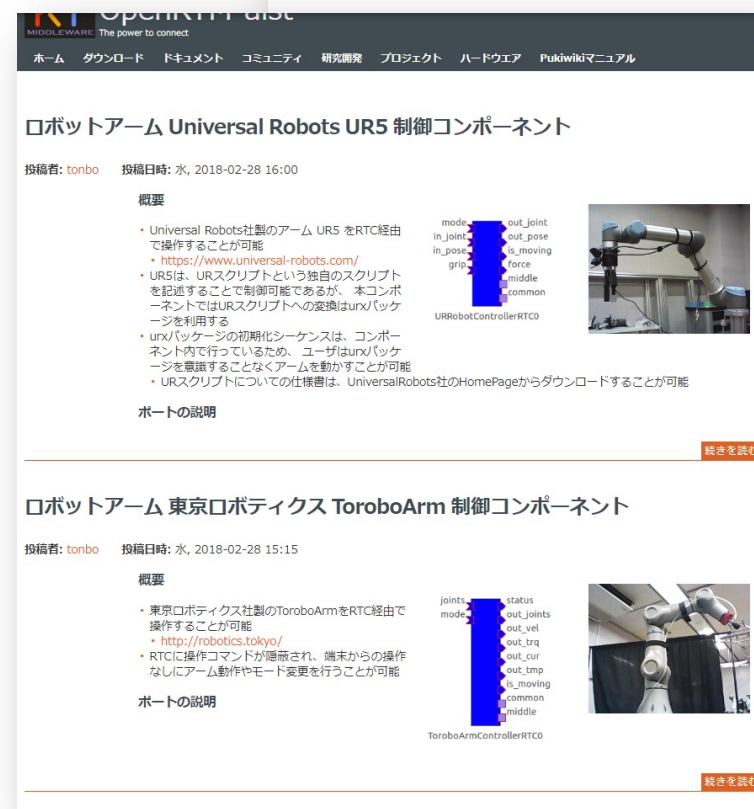
標準化履歴

- 2005年9月
Request for Proposal 発行(標準化開始)
- 2006年9月
OMGで承認、事実上の国際標準獲得
- 2008年4月
OMG RTC標準仕様 ver.1.0公式リリース
- 2012年9月
ver. 1.1改定
- 2015年9月
FSM4RTC(FSM型RTCとデータポート標準) 採択

プロジェクトページ

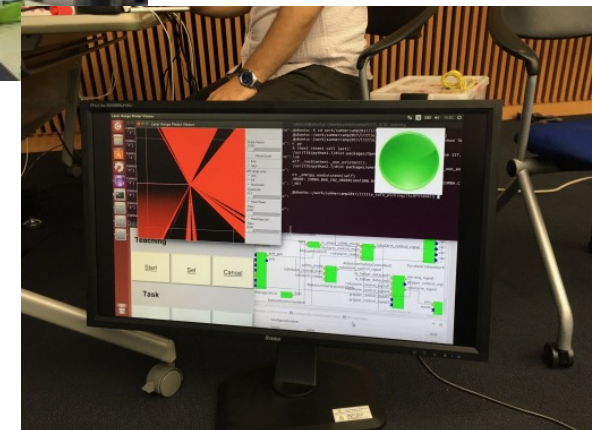
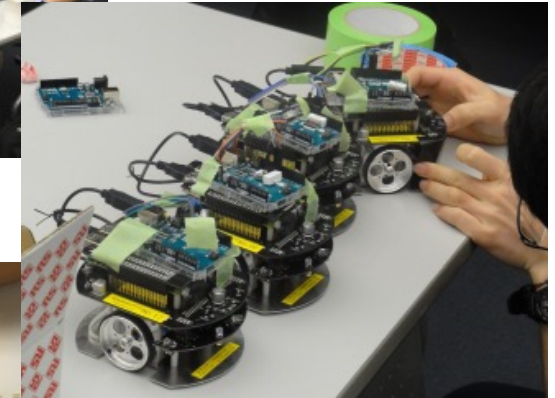
- ユーザが自分の作品を登録
- 他のユーザの作ったRTCを探ることができる

タイプ	登録数
RTコンポーネント群	403
RTミドルウェア	14
ツール	27
仕様・文書	6
ハードウェア	28



サマーキャンプ

- 毎年夏に1週間開催
- 今年：8月22日～26日開催予定
- 募集人数：20名
- 場所：オンライン
or 産総研つくばセンター
- 座学と実習を1週間行い、最後にそれぞれが成果を発表
- 産総研内のさくら館に宿泊しながら夜通し？コーディングを行う！



RTミドルウェアコンテスト

- SICE SI（計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会）のセッションとして開催

開催の可否を検討中

- 各種奨励賞・審査基準開示:5月頃
- エントリー〆切：SI2022締切
- 講演原稿〆切：8月末ごろ
- ソフトウェア登録：10月ごろ
- オンライン審査：11月下旬～
- 発表・授賞式：12月ごろ

- 2021年度実績

- 応募数：6件
- 計測自動制御学会学会RTミドルウェア賞（副賞10万円）
- 奨励賞（賞品協賛）：1件
- 奨励賞（団体協賛）：7件
- 奨励賞（個人協賛）：5件

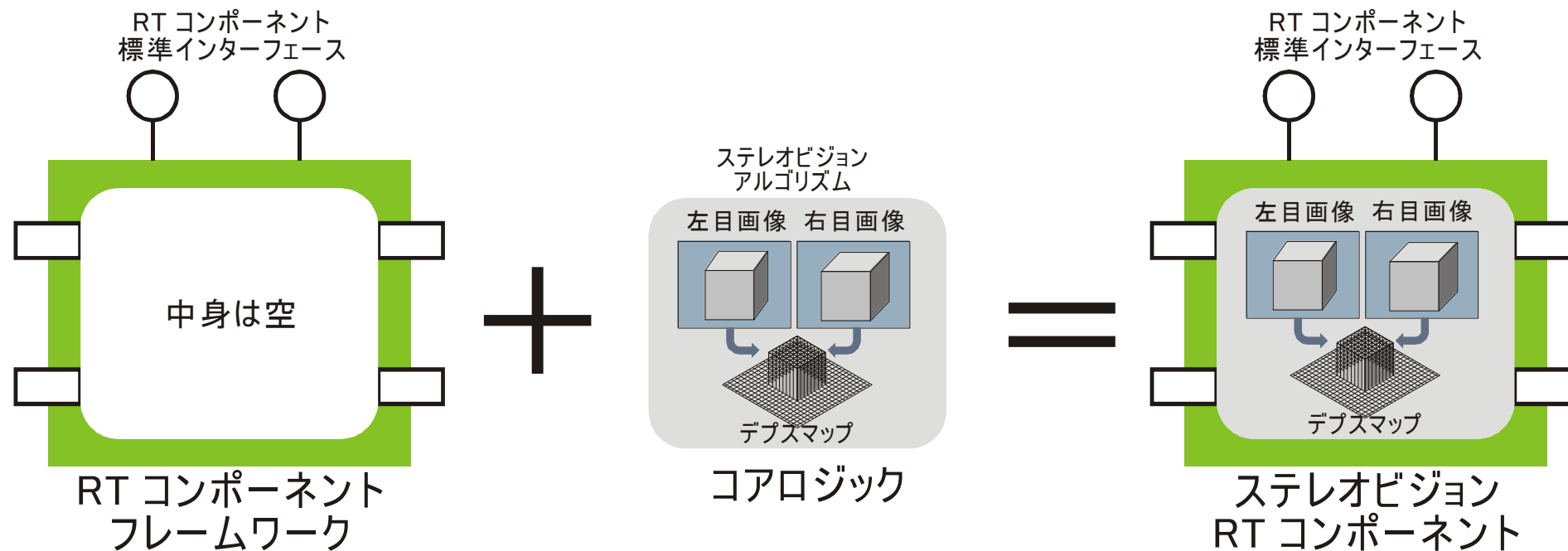
- 詳細はWebページ：openrtm.org

- コミュニティ→イベント をご覧ください



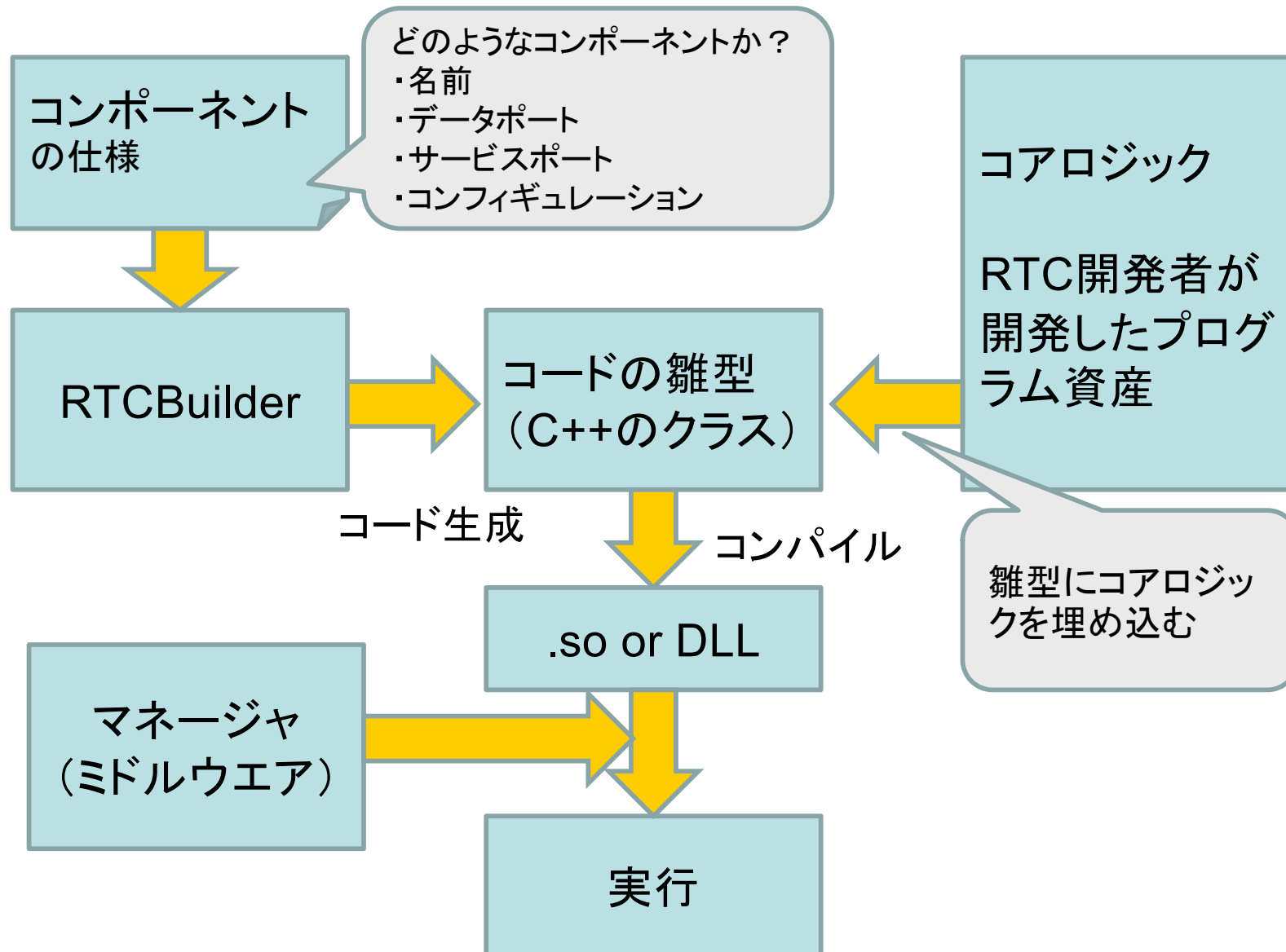
RTC開発の実際

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

OpenRTMを使った開発の流れ



モデルに基づくコード生成

コンポーネント仕様

```

name:      MyComp
category:  temp.sensor device
description: temp. sensor RTC
comp_type: STATIC
act_type:  PERIODIC
InPorts:  mode:TimedBool
OutPorts: temp: TimedDouble
    
```

同一のRTC仕様からは
言語が異なっても、
同じ(コンポーネントモデルの)RTCが生成される

Template code generator

C++
backend

Java
backend

Python
backend

RTC-Lite
backend

RTC source for C++

```

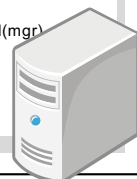
class MyComp
: public DataflowComponent {
public:
    virtual onExecute(ec_id);
private:
    TimedBool m_mo
    TimedDouble m_t
};
    
```



RTC source for Java

```

import RTC.DataFlowComponent;
public class MyCompImpl
extends DataFlowComponent
{
    public ConsoleImpl(mgr)
    {
    }
}
    
```



RTC source for Python

```

#!/usr/bin/env python
import RTC
class MyComp(
    DataFlowComponent):
    def __init__(self, manager):
    }
    def onExecute(self, ec_id):
    }
    
```

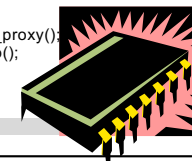


RTC-Lite source for PIC C

```

#include <16f877a.h>
#include "rtc_base.c"

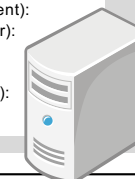
int main (void)
{
    rtc_connect_proxy();
    rtc_mainloop();
    return 0;
}
    
```



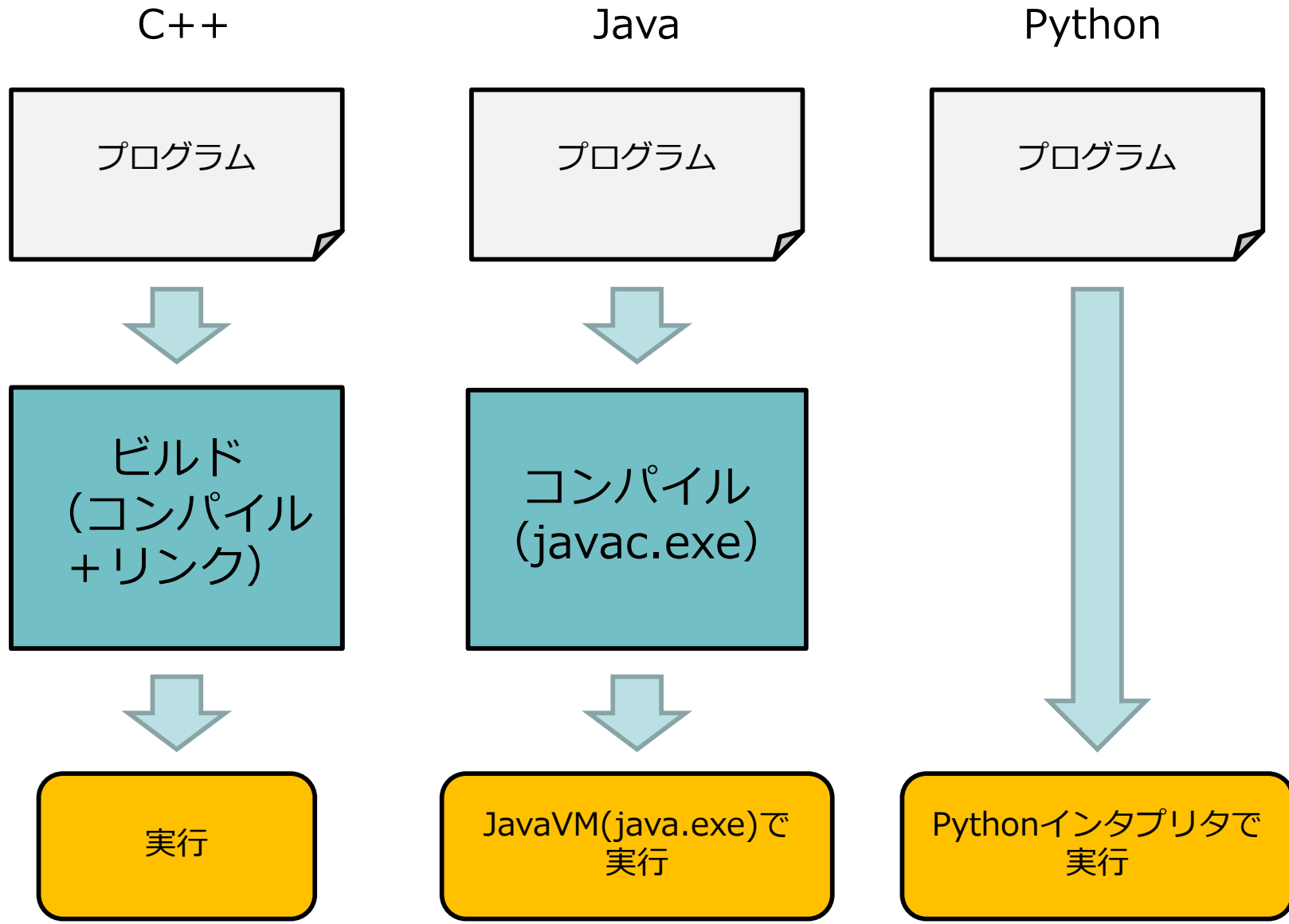
RTC-Lite proxy code

```

#!/usr/bin/env python
import RTC
class Proxy(
    DataFlowComponent):
    def __init__(self, manager):
    }
    def onExecute(self, ec_id):
    }
    
```



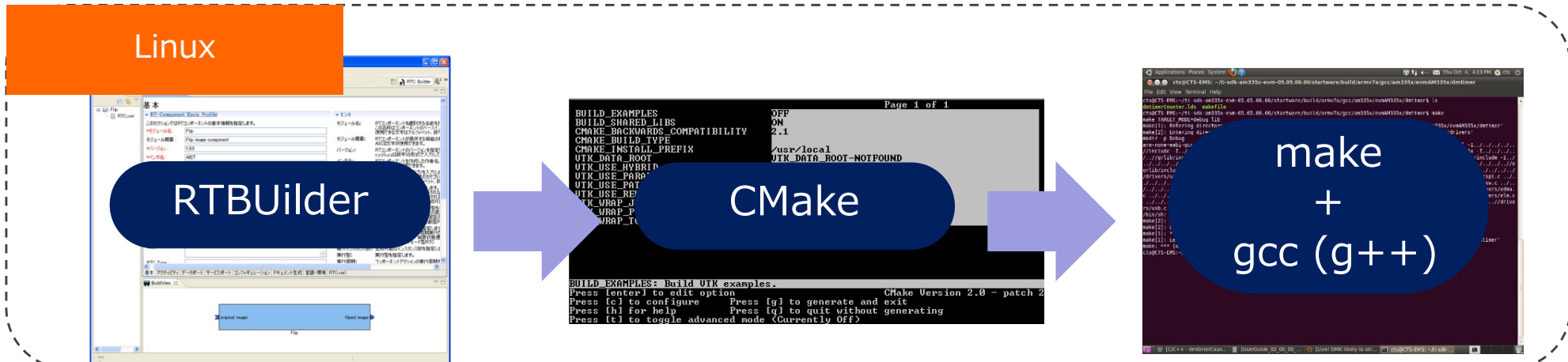
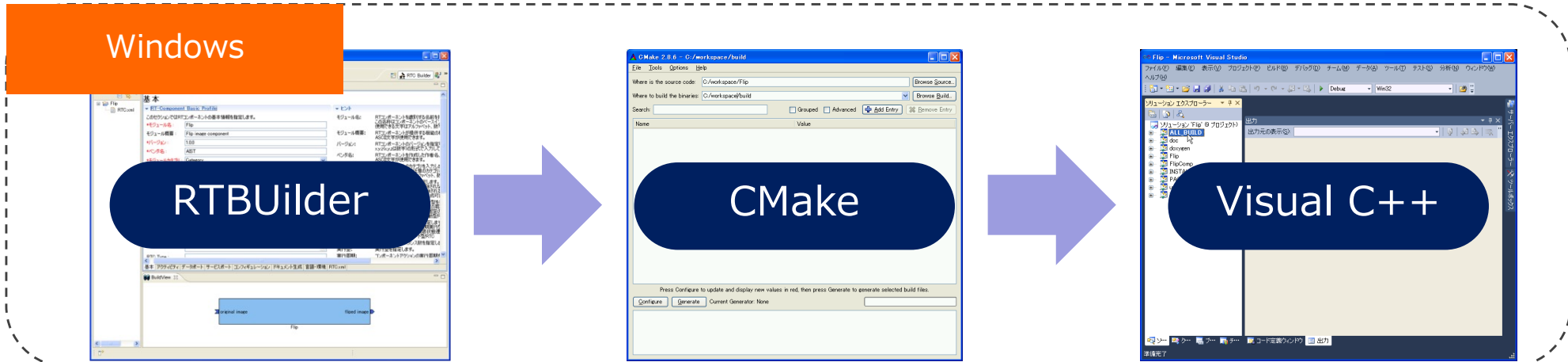
プログラミングの流れ



CMake

- コンパイラに依存しないビルド自動化のためのフリーソフトウェア
- 様々なOS上の様々な開発環境用ビルドファイルを生成することができる
 - Linux では Makefileを生成
 - Windows ではVC(Visual C++)のプロジェクトファイルを生成
- 最近のオープンソースソフトウェアではCMakeでビルドするようになっているものが多数。

コンポーネント作成の流れ



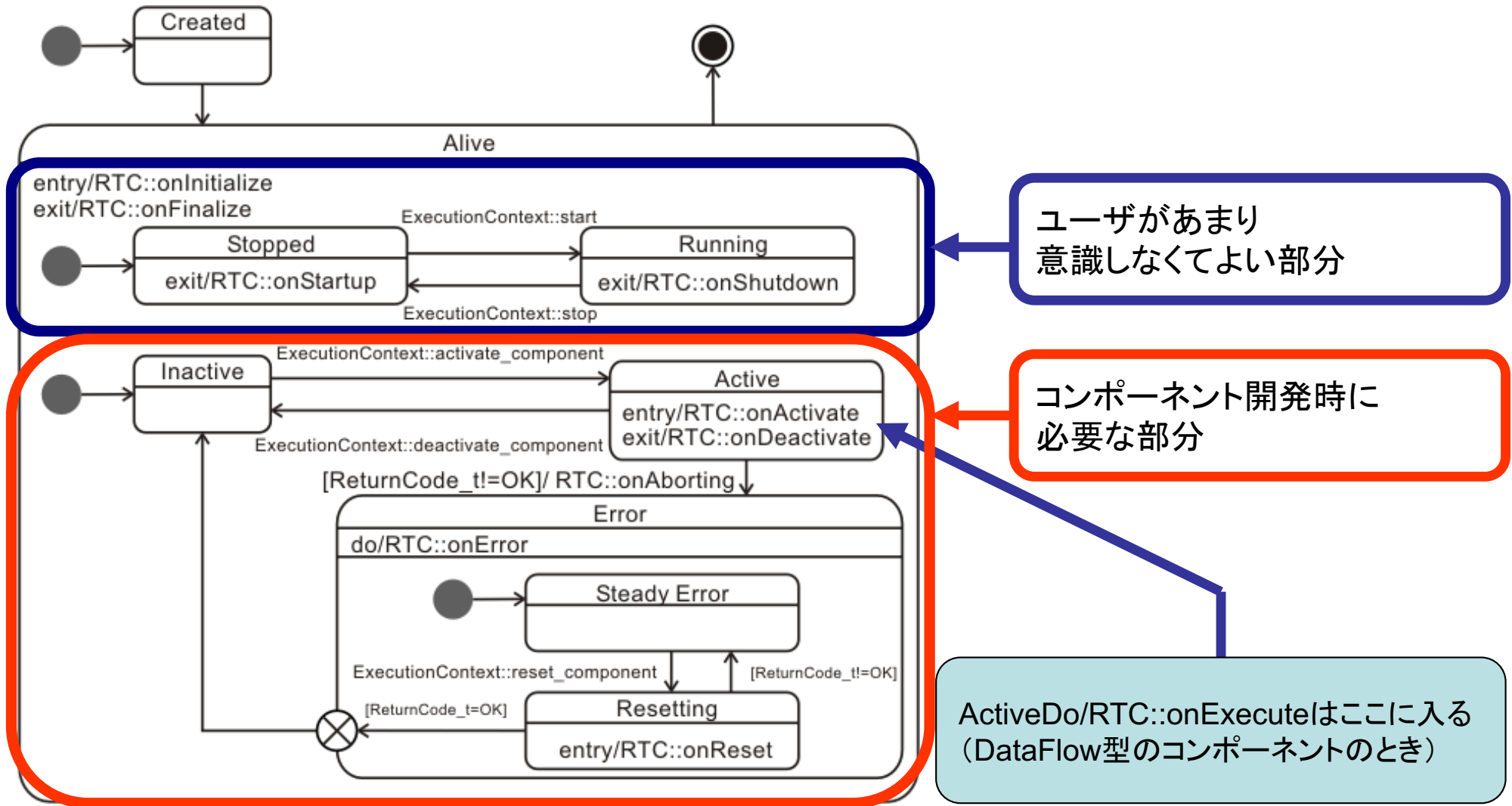
コンポーネントの仕様の入力

VCプロジェクトファイル
またはMakefileの生成

実装およびコンパイル
実行ファイルの生成

途中まで流れは同じ、コンパイラが異なる

コンポーネント内の状態遷移



ユーザがあまり意識しなくてよい部分

コンポーネント開発時に必要な部分

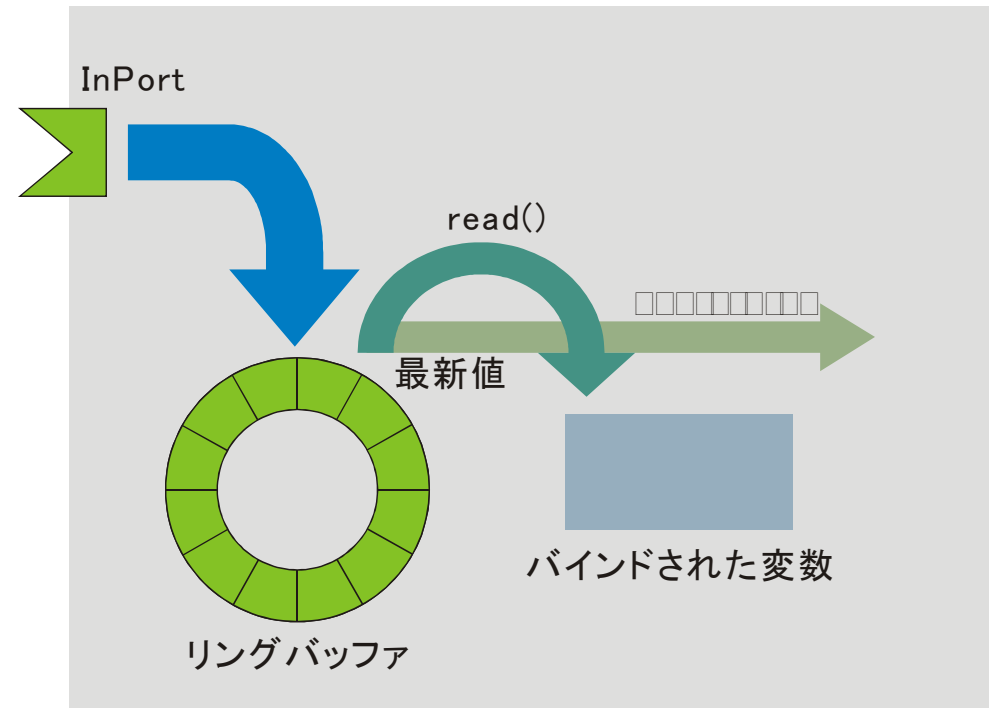
ActiveDo/RTC::onExecuteはここに入る
(DataFlow型のコンポーネントのとき)

アクティビティ

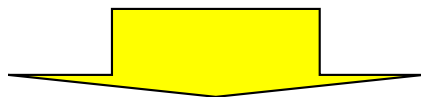
コールバック関数	処理
onInitialize	初期化処理
onActivated	アクティブ化される時1度だけ呼ばれる
onExecute	アクティブ状態時に周期的に呼ばれる
onDeactivated	非アクティブ化される時1度だけ呼ばれる
onAborting	ERROR状態に入る前に1度だけ呼ばれる
onReset	resetされる時に1度だけ呼ばれる
onError	ERROR状態のときに周期的に呼ばれる
onFinalize	終了時に1度だけ呼ばれる
onStateUpdate	onExecuteの後毎回呼ばれる
onRateChanged	ExecutionContextのrate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

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

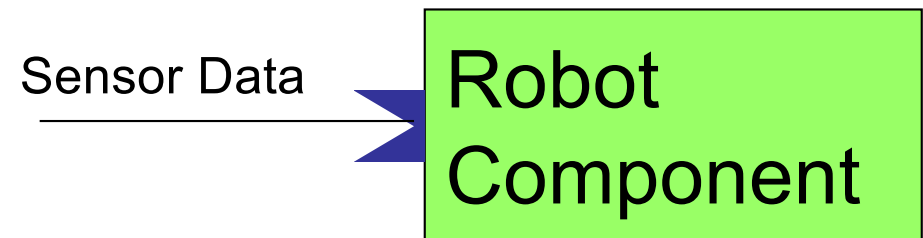


基本的にOutPortと対になる



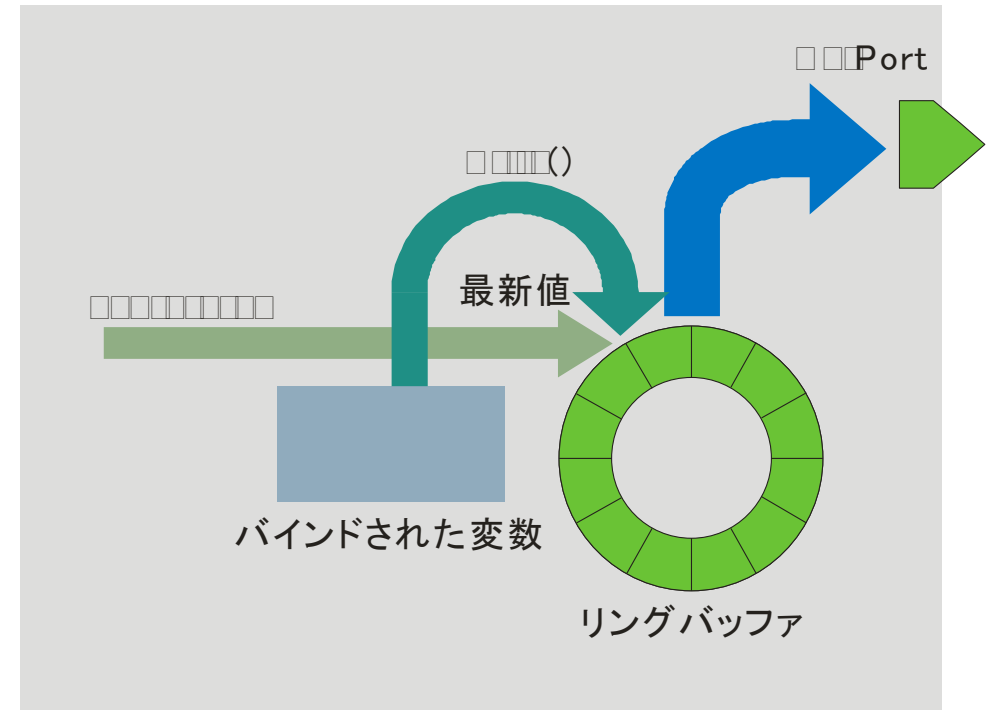
データポートの型を
同じにする必要あり

例

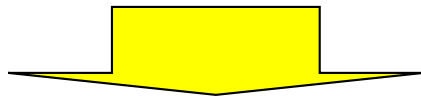


OutPort

- 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

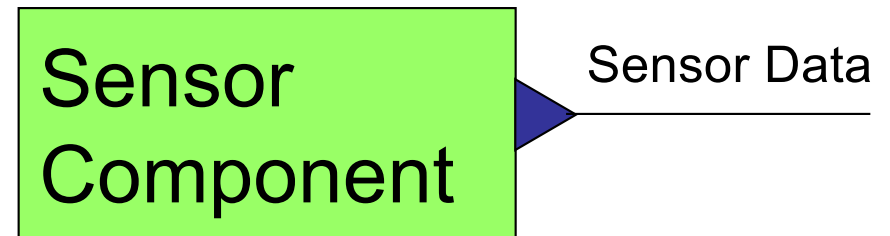


基本的にInPortと対になる



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;
};
```

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

- 基本型

- tm: 時刻
- data: データそのもの

0.2.0では自動で現在時刻をセットしていたが、0.4.0では必要に応じて、手動でセットする必要あり

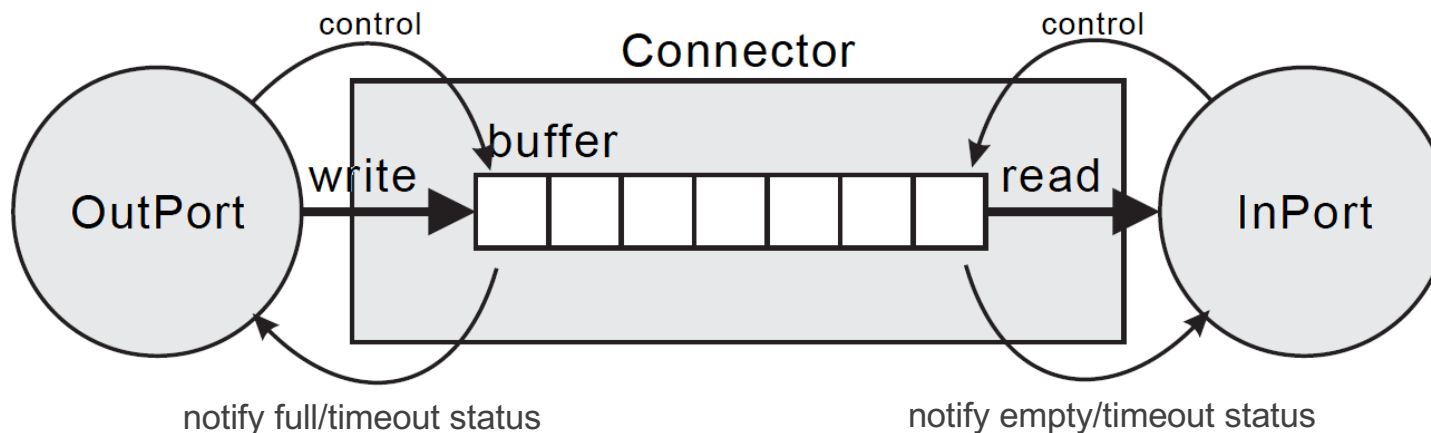
- シーケンス型

- 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

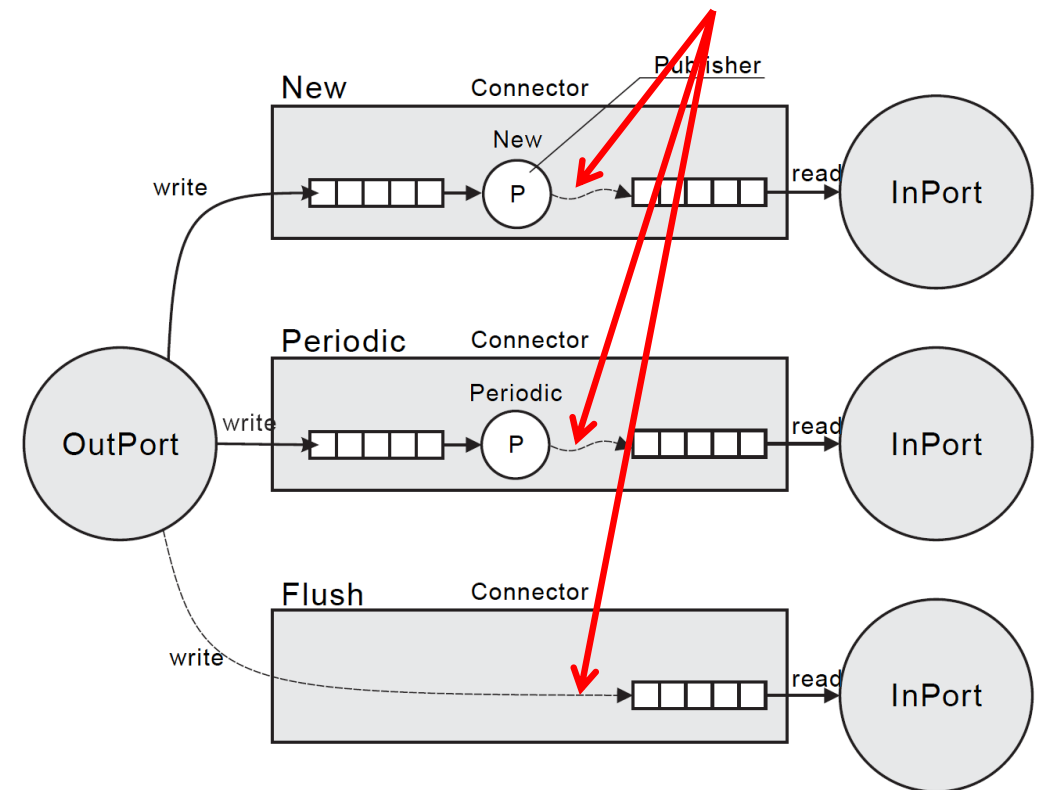
- Connector:
 - **バッファと通信路を抽象化したオブジェクト**。OutPortからデータを受け取りバッファに書き込む。InPortからの要求に従いバッファからデータを取り出す。
 - OutPortに対してバッファフル・タイムアウト等のステータスを伝える。
 - InPortに対してバッファエンプティ・タイムアウト等のステータスを伝える。
- OutPort:
 - アクティビティからの要求によってデータをコネクタに書き込むオブジェクト
- InPort:
 - アクティビティからの要求によってデータをコネクタから読み出すオブジェクト



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

ネットワーク等による通信



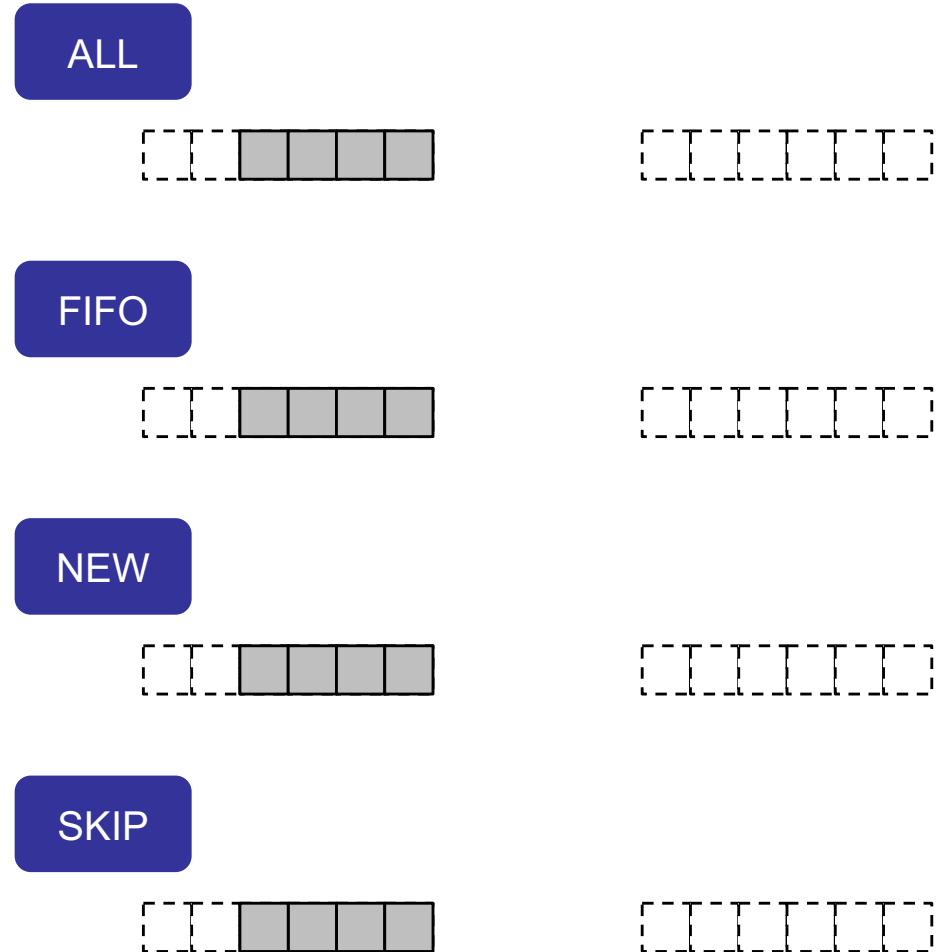
Pushポリシー

- 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。

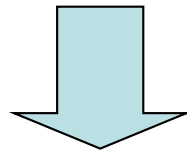
予稿にはNEWの説明にLIFOと記述していましたが正確にはLIFOではなく最新値のみの送信です。LIFO形式のポリシーを導入するかどうかは検討中です。ご意見ください。



サービスポート

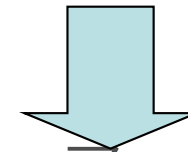
用途：他のコンポーネントの提供するサービスを必要なときだけ利用したい時
例：カメラからの画像の取得

サービス用のインターフェース(IDL)を定義する



プロバイダ

- インターフェースの実装
- コンポーネントに組み込む（宣言）
- Portへのバインド

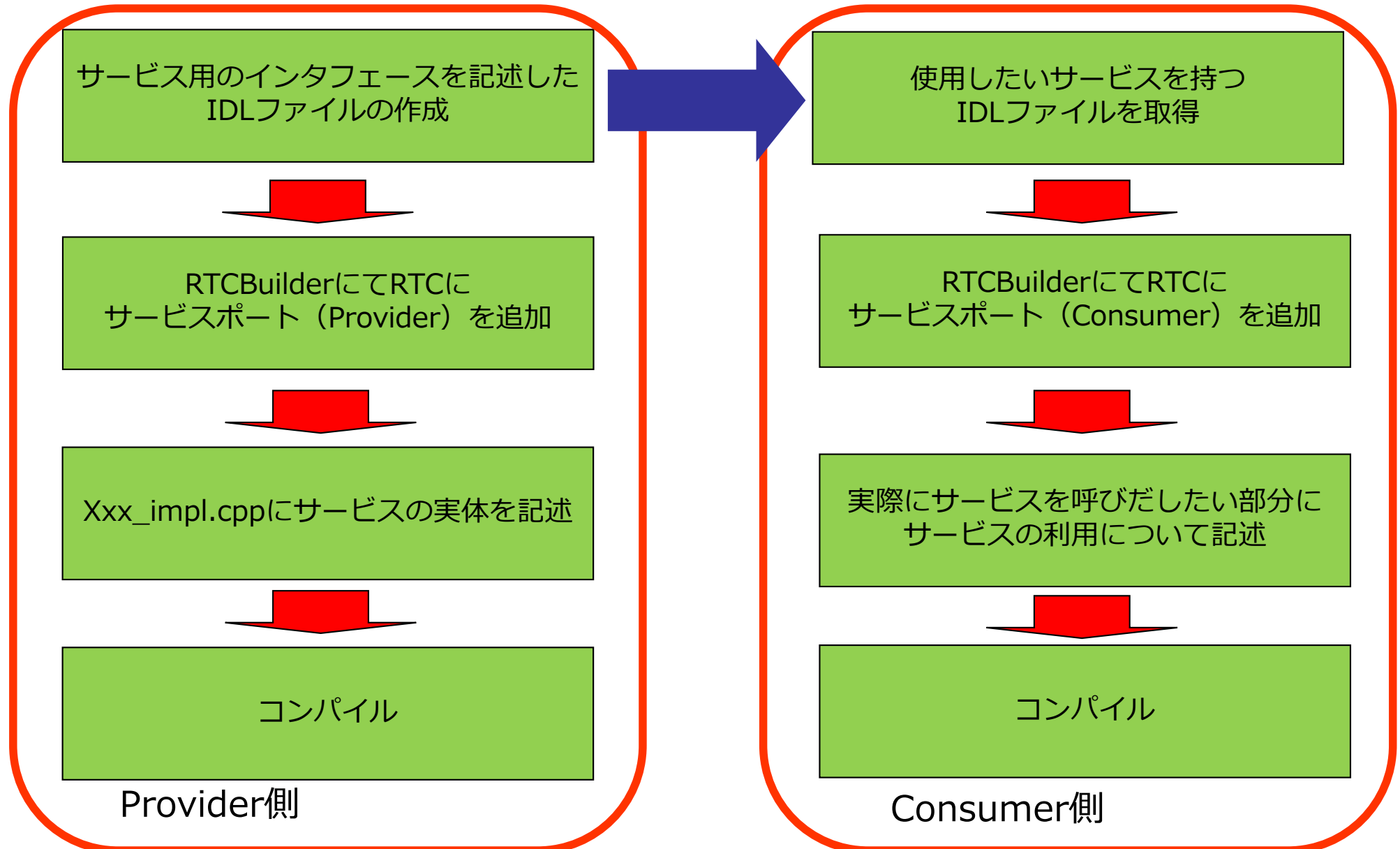


コンシューマ

- スタブを組み込む
- コンシューマを宣言
- Portへのバインド

RTCBuilderでコンポーネントを作れば上記のことをほとんど気にしないで作れる

サービスポートを使うためのステップ



IDLと実装

IDL(CORBA)定義

```
interface MyRobot
{
    // ゲインをセットする
    void setPosCtrlGain(in short axis, in double gain);
    // ゲインを取得する
    double getPosCtrlGain(in int axis);
};
```

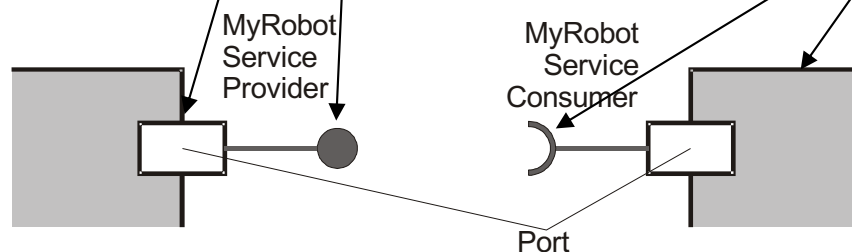
サービス実装(雛形はrtc-templateによる自動生成)

```
class MyRobot_impl
{
    /* この例ではm_robو はロボットを実際に制御する
     * クラスのインスタンスであると仮定する.
     */
    void setPosCtrlGain(const int axis, const double gain)
    {
        // 位置制御ゲインを設定
        m_robو.set_pos_ctrl_gain(axis, gain);
    }
    /* 中略*/
};
```

サービスパロバイダ・コンシューマ

```
class MyRoboComponent
{
private:
// MyRobot サービスのポートを宣言
RTC::CorbaPort m_port;
// MyRobot サービスのインスタンスを宣言
MyRobot_impl m_robot;
public:
ManipulatorComponent(Manager manager)
{
// ポートにサービスを登録
m_port.registerProvider("Robo0", "MyRobot",
m_robot);
// ポートをコンポーネントに登録
registerPort(m_port);
}
}
```

```
class MyRobotUser
{
private:
// マニピュレータサービスのポートを宣言
RTC::CorbaPort m_port;
// サービスコンシューマのインスタンスを宣言
RTC::CorbaConsumer<MyRobot> m_robot;
public:
any_functions()
{// サービスの利用例
// ゲインをセット
m_robot->setPosCtrlGain(0, 1.0);
// ゲインを表示
std::cout << m_robot->get_pos_ctrl_gain(i) <<
std::endl;
}
}
```



より詳細な実装については、
サンプルのSimpleServiceを参照

Configurationの実装例

ヘッダ
変数宣言

```
int m_int_param0;  
double m_double_param0;
```

istream operator>>が
定義されている型であ
ればどんな型でも可能

実装ファイル
先頭部分: spec定義にて

```
static const char* configsample_spec[] = {  
    :中略  
    "conf.default.int_param0", "0",  
    "conf.default.double_param0", "1.1",  
    :中略};
```

onInitialize()にて

```
bindParameter("int_param0", m_int_param0, "0");  
bindParameter("double_param0", m_double_param0, "1.1");
```

Configuration

rtc.confにて

```
: 略
category.component.config_file: comp.conf
: 略
```

comp.confにて

```
conf.mode0.int_param0: 2
conf.mode0.double_param0: 3.14
conf.mode1.int_param0: 3
conf.mode1.double_param0: 6.28
conf.mode2.int_param0: 4
conf.mode2.double_param0: 12.56
```

rtc-templateで自動的に生成され埋め込まれる

default	名前								
	値								

mode0	名前								
	値								

mode1	名前								
	値								

mode2	名前								
	値								

コンポーネントのconfigファイルで追加することもできる。
(defaultセット同様ソースに埋め込むことも可能)

提言

- 自前主義はやめよう！！
 - 書きたてのコードより、いろいろな人に何万回も実行されたコードのほうが動くコードである！！
 - 自分にとって本質的でない部分は任せて、本当にやりたい部分・やるべき部分のコードを書こう！！
 - 誰かがリリースしたプログラムは一度は動いたことがあるプログラムである！！
 - 人のコードを読むのが面倒だからと捨ててしまうのはもったいない！！
- オープンソースにコミットしよう！！
 - 臆せずMLやフォーラムで質問しよう！！
 - どんなに初歩的な質問でも他の人にとっては価値ある情報である。
 - 要望を積極的にあげよう！！
 - できればデバッグしてパッチを送ろう！

まとめ

- RTミドルウェアの概要
 - 基本概念
 - モジュール化
 - 標準化
 - RTMコミュニティ
- RTC開発の実際
 - テンプレート生成→実装
 - データポート、サービスポート、コンフィギュレーション