

産総研 CPS人材育成講座  
(コース4) ロボットシステムのコンポーネント指向開発



# 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  
ソフトウェアプラットフォーム研究チーム長  
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

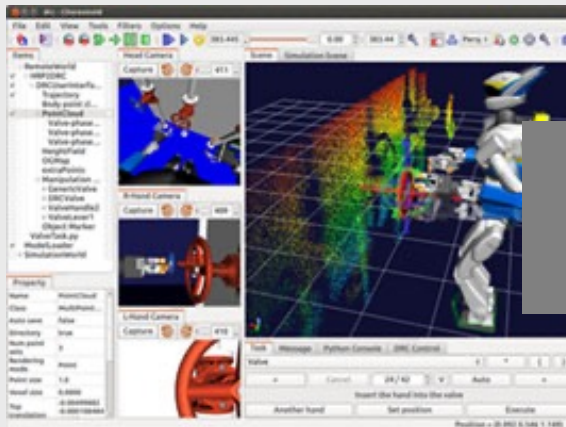
# OpenRTM-aist

- 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…

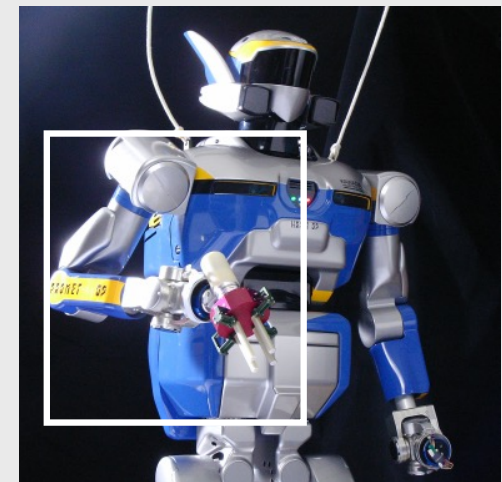


Controller

Controller  
software



Robot Arm  
Control software

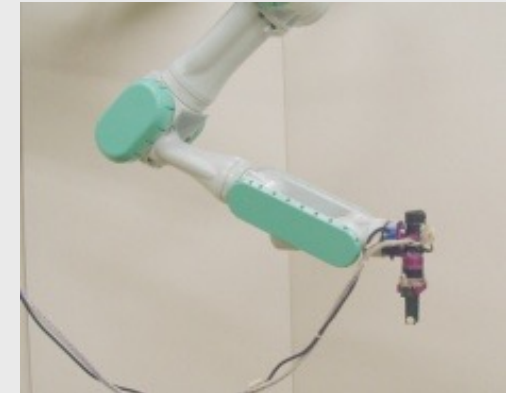


Robot Arm2

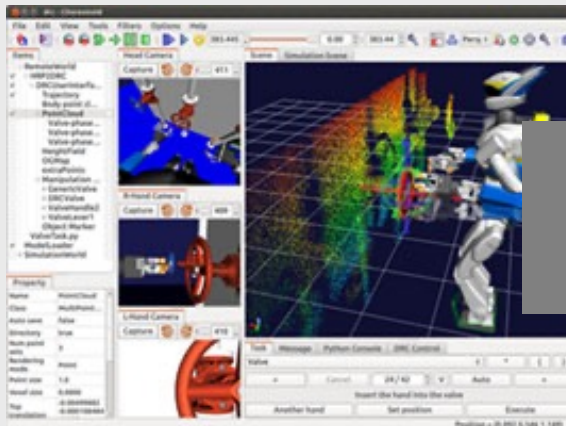
互換性のあるインターフェース同士は接続可能

# 従来のシステムでは…

Humanoid's Arm  
Control software



Robot Arm1

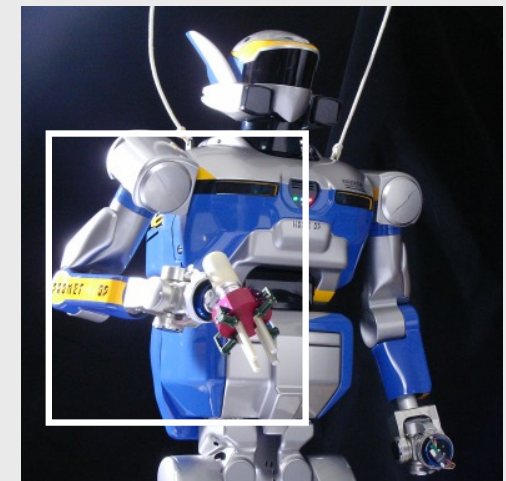


Controller

Controller  
software



Robot Arm  
Control software

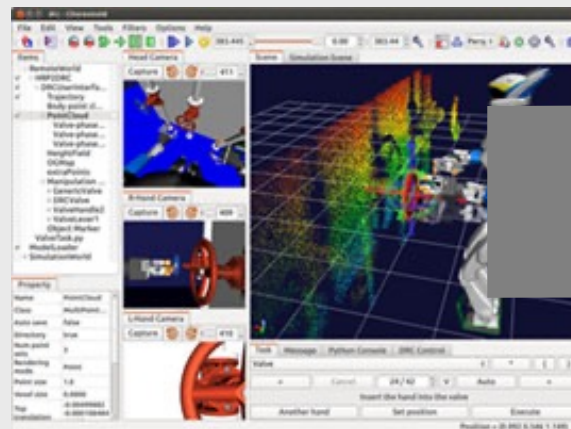


Robot Arm2

ロボットによって、インターフェースは色々  
互換性が無ければつながらない

# 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



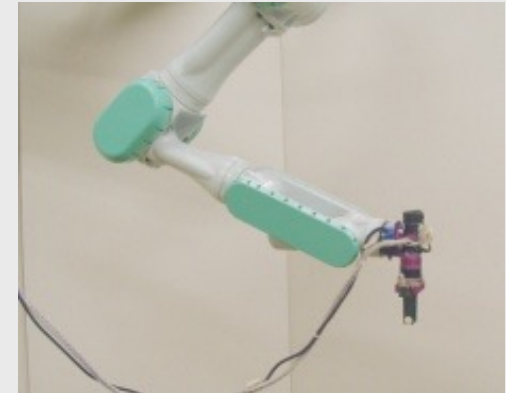
Controller

Controller  
software

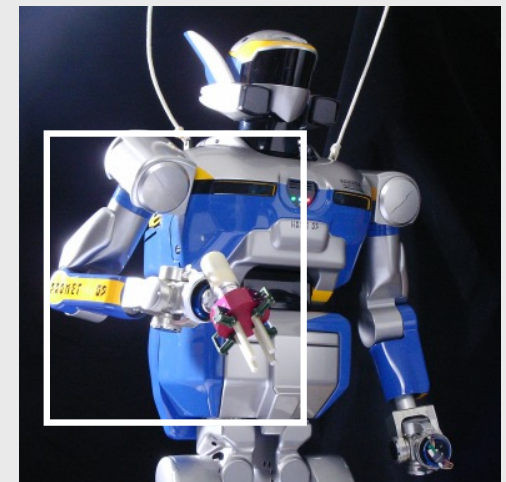
Arm A  
Control software

compatible  
arm interfaces

Arm B  
Control software



Robot Arm1



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

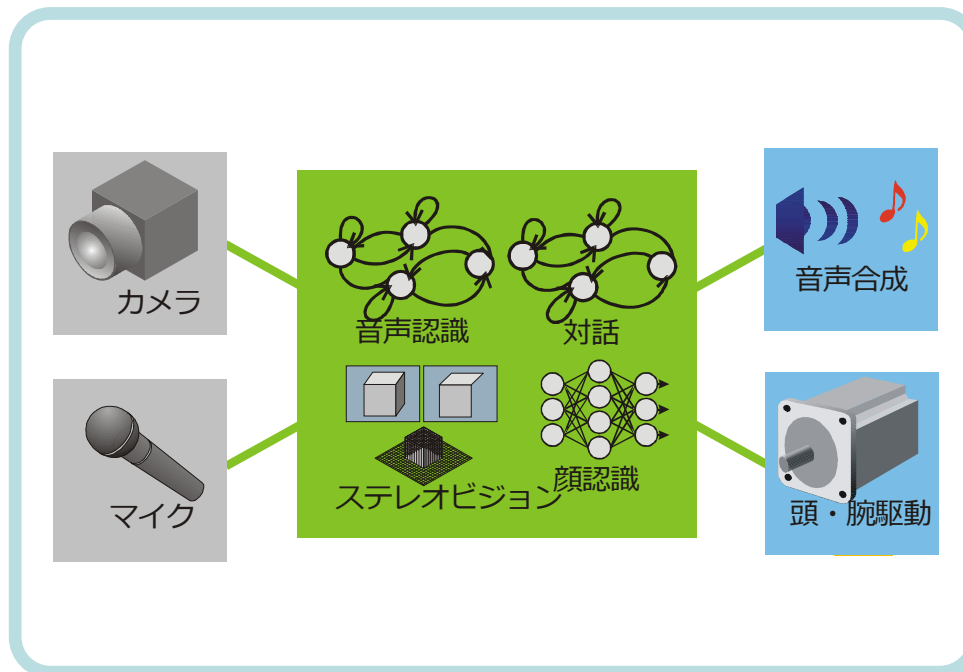


# ロボットソフトウェア開発の方向

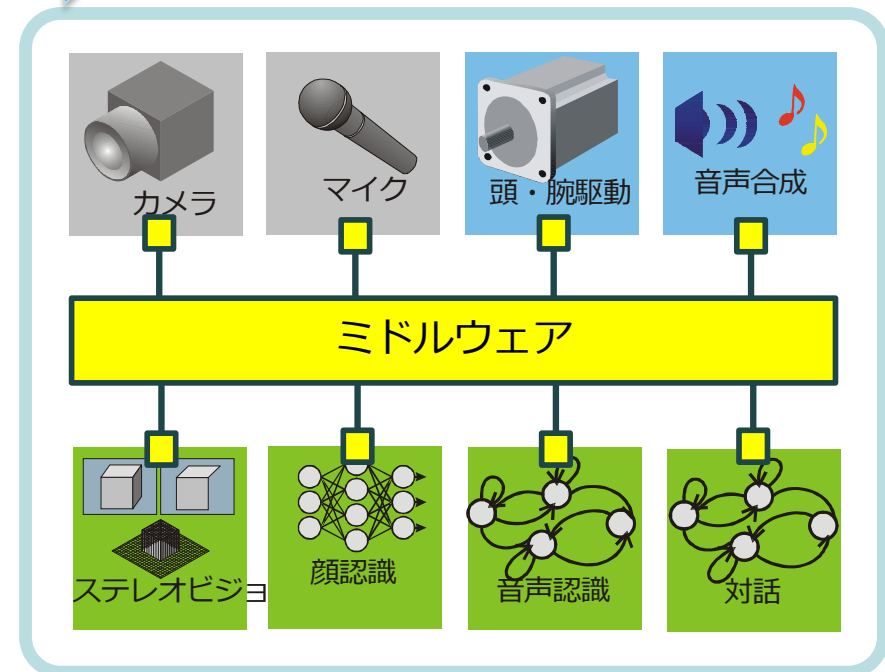
従来型開発



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

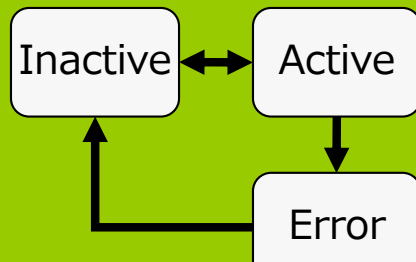
モジュール化のメリットに加えて

- 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

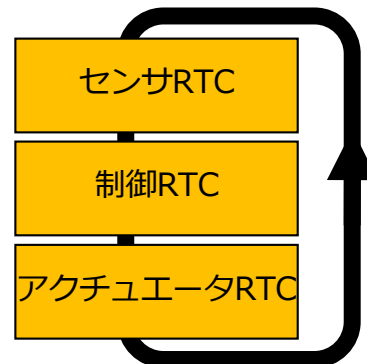
# RTコンポーネントの主な機能

## 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

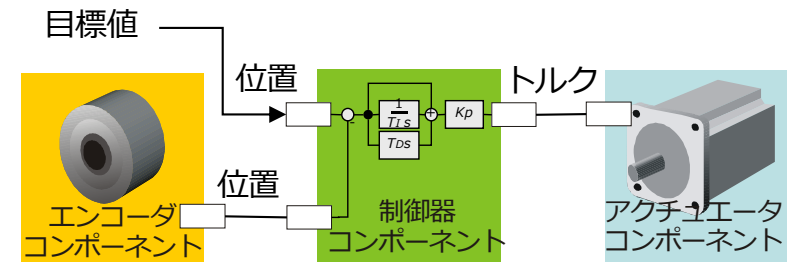


ライフサイクルの管理・コアロジックの実行

## 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



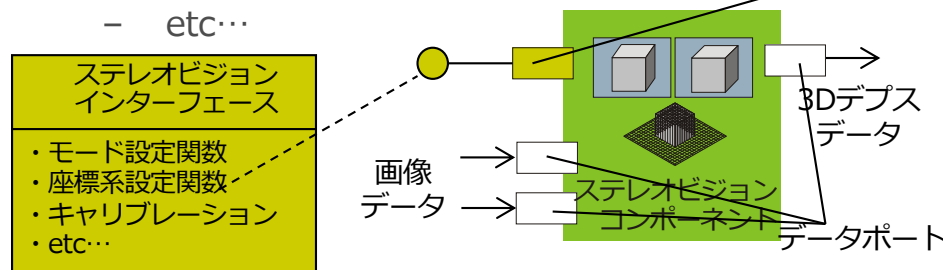
データ指向通信機能

## 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

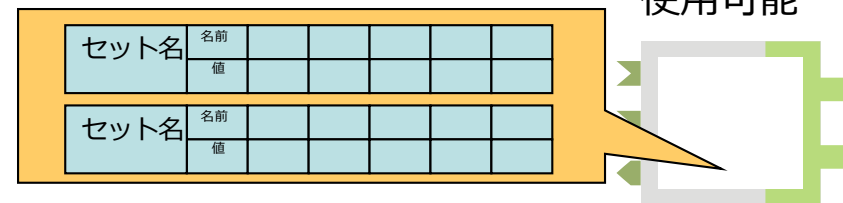


サービス指向相互作用機能

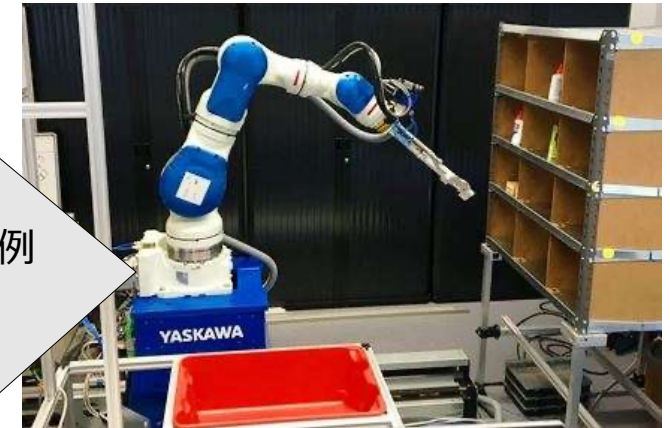
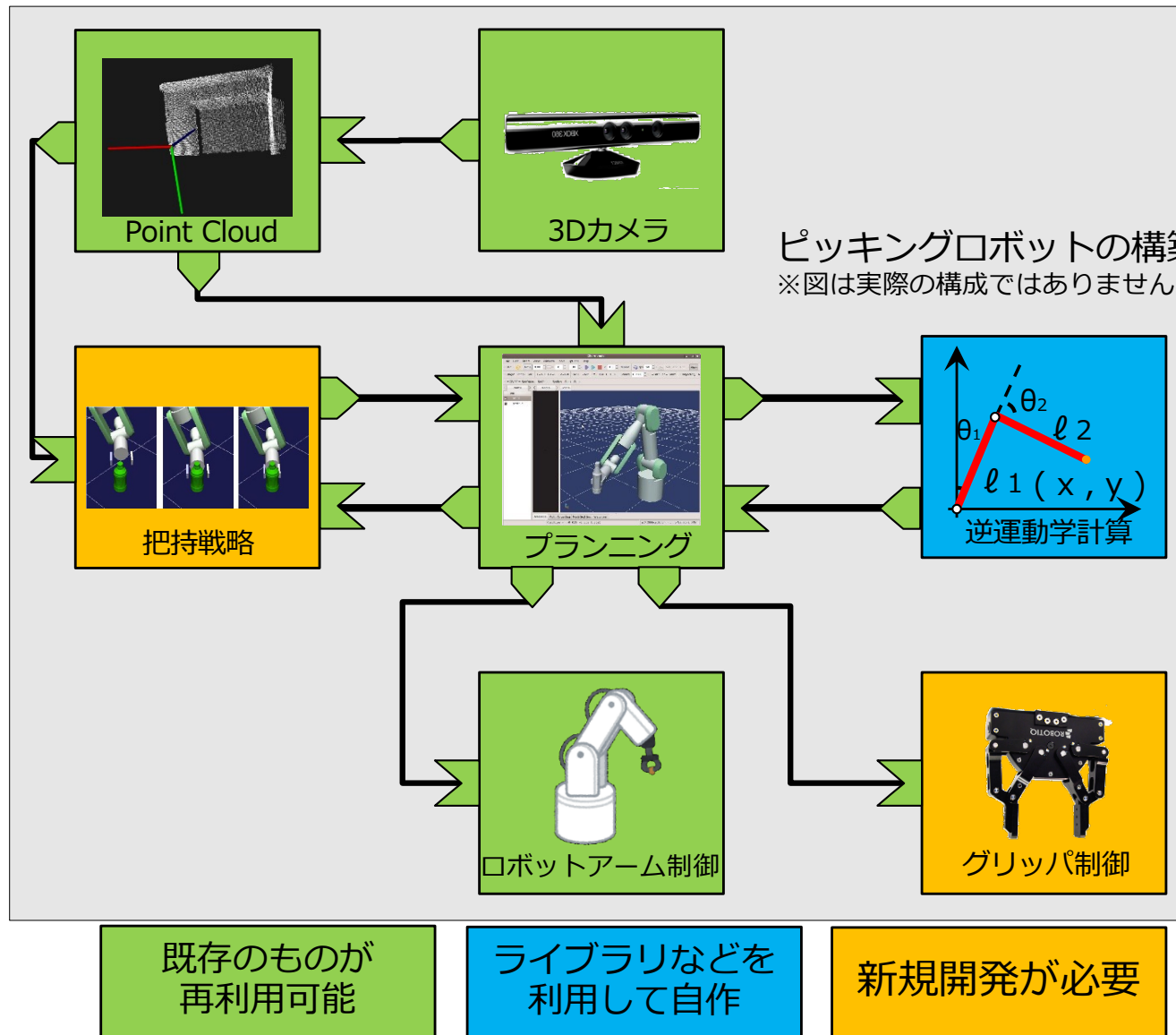
## コンフィギュレーション

- 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

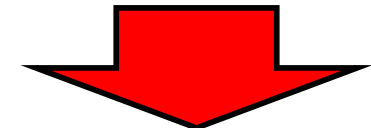
複数のセットを  
動作時に  
切り替えて  
使用可能



# ミドルウェアを利用した開発の利点



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



開発するときに**新規に作らなければならない部分**は少なくて済む

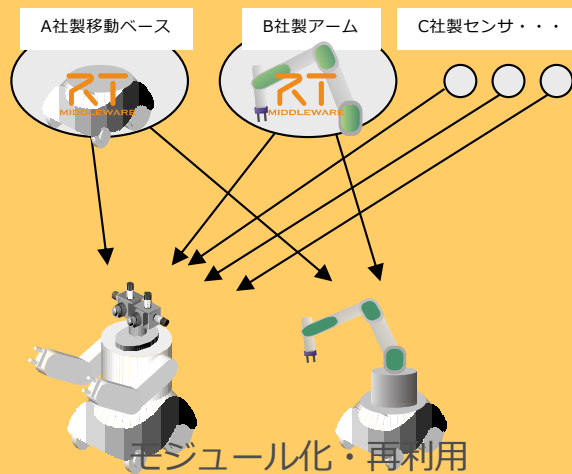
# RTミドルウェアによる分散システム



RTミドルウェアの目的

# モジュール化による問題解決

## コストの問題



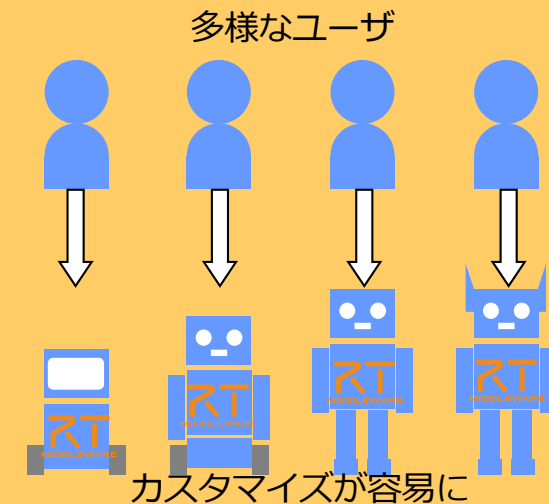
ロボットの低コスト化

## 技術の問題



最新技術を利用可能

## ニーズの問題

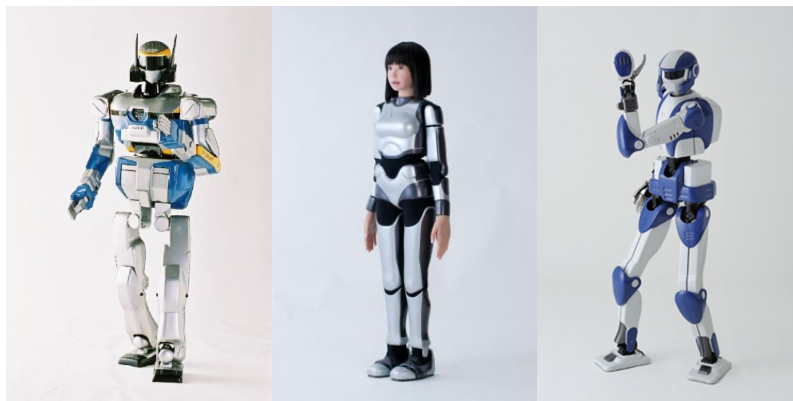


多様なニーズに対応

# 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

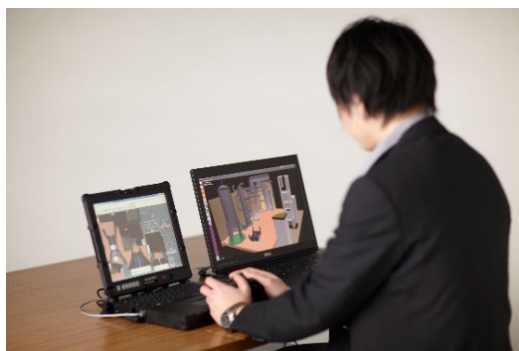


S-ONE : SCHAFT



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



ビューターバーRTC/RTC-BT(VSTONE)

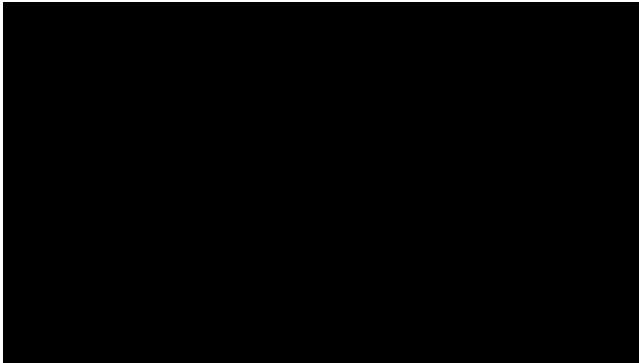


OROCHI (アールティ)



新日本電工他: Mobile SEM

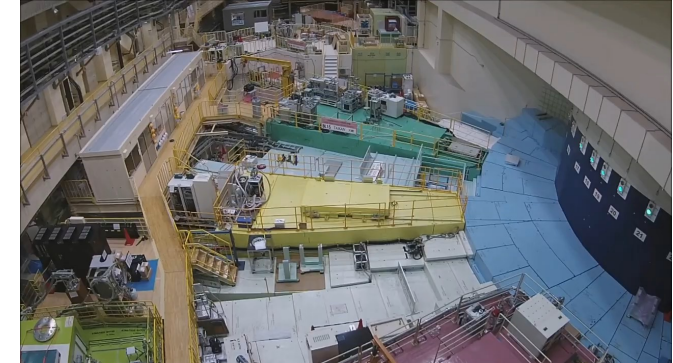




HRP series: KAWADA and AIST



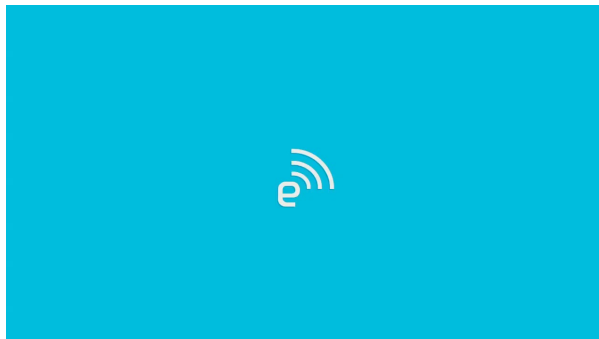
S-ONE : SCHAFT



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



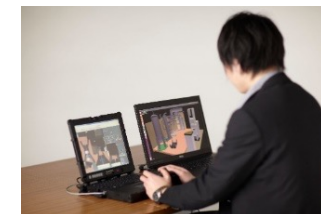
TOYOTA L&F : Air-T



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



### 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

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

# 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

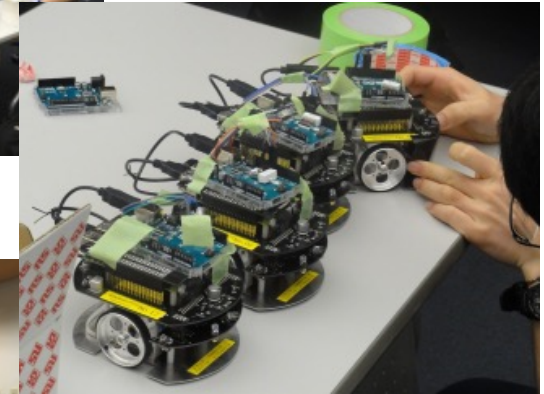
タイプ	登録数
RTコンポーネント群	403
RTミドルウェア	14
ツール	27
仕様・文書	6
ハードウェア	28





# サマーキャンプ

- 毎年夏に1週間開催
- 今年：8月23日～27日開催
- 募集人数：20名
- 場所：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！
  - － 2020年、2021年はオンライン開催



# 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

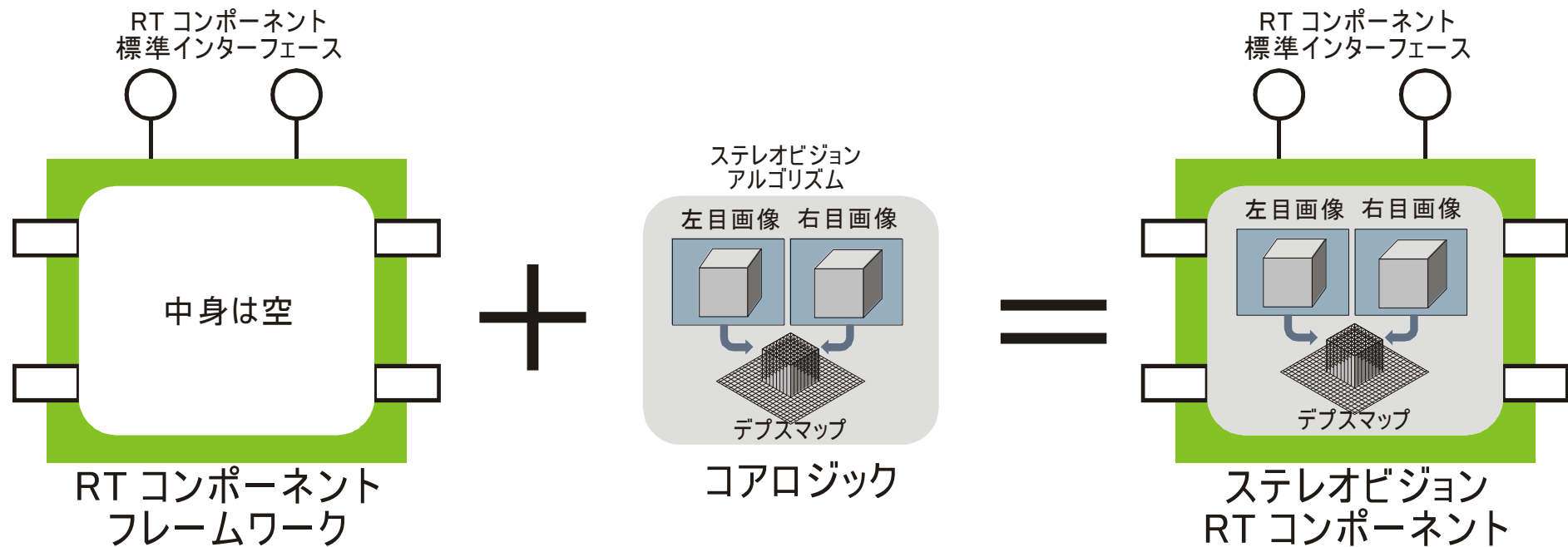
## 開催の可否を検討中

- 各種奨励賞・審査基準開示:5月頃
  - エントリー〆切：SI2021締切
  - 講演原稿〆切：10月ごろ
  - ソフトウェア登録：11月ごろ
  - オンライン審査：11月下旬～
  - 発表・授賞式：12月ごろ
- 2020年度実績
    - 応募数：5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）：8件
    - 奨励賞（個人協賛）：5件
  - 詳細はWebページ：[openrtm.org](http://openrtm.org)
    - コミュニティ→イベント をご覧ください



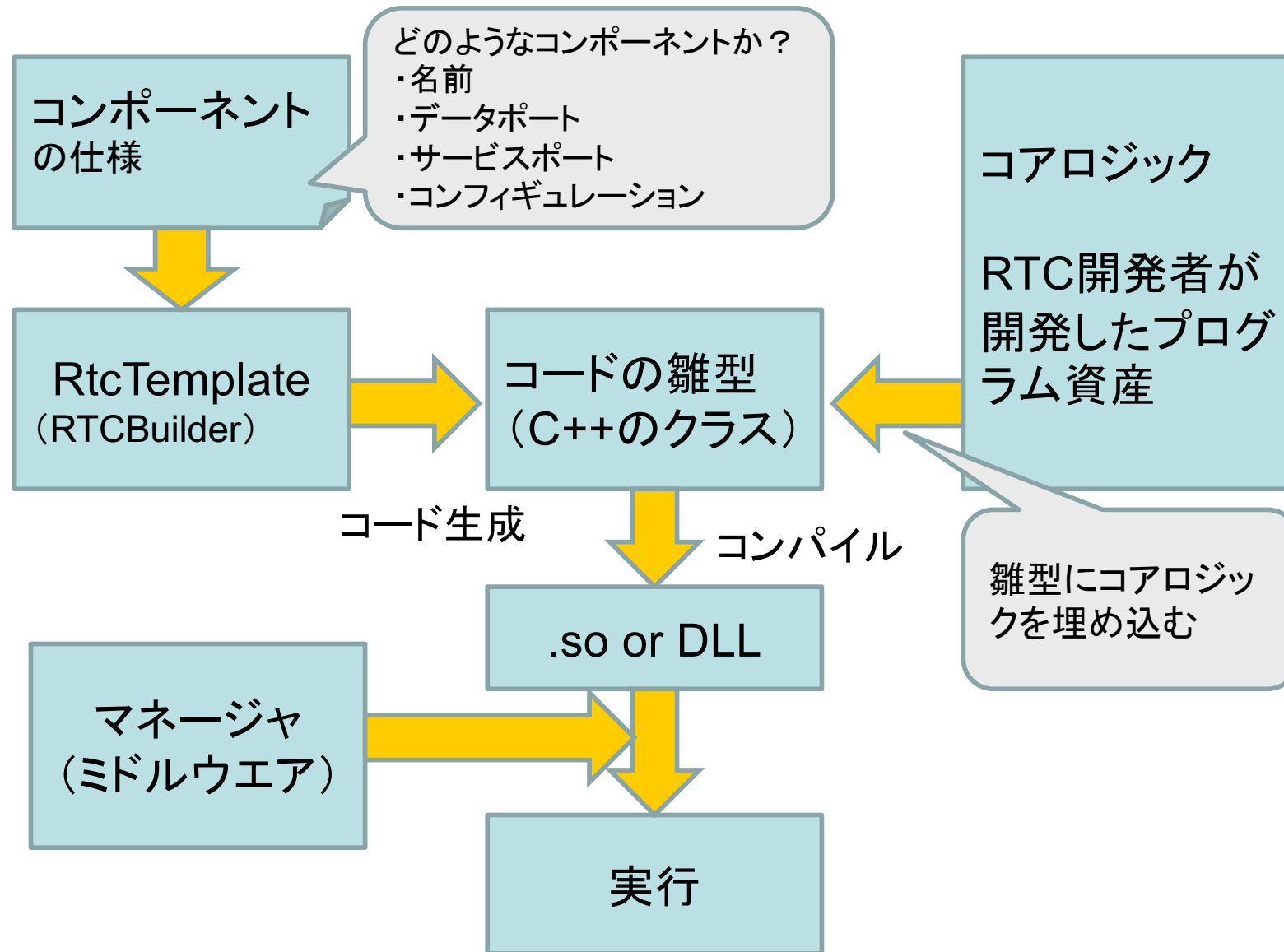
# RTC開発の実際

# 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_mode;
    TimedDouble m_temp;
};
```

## 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

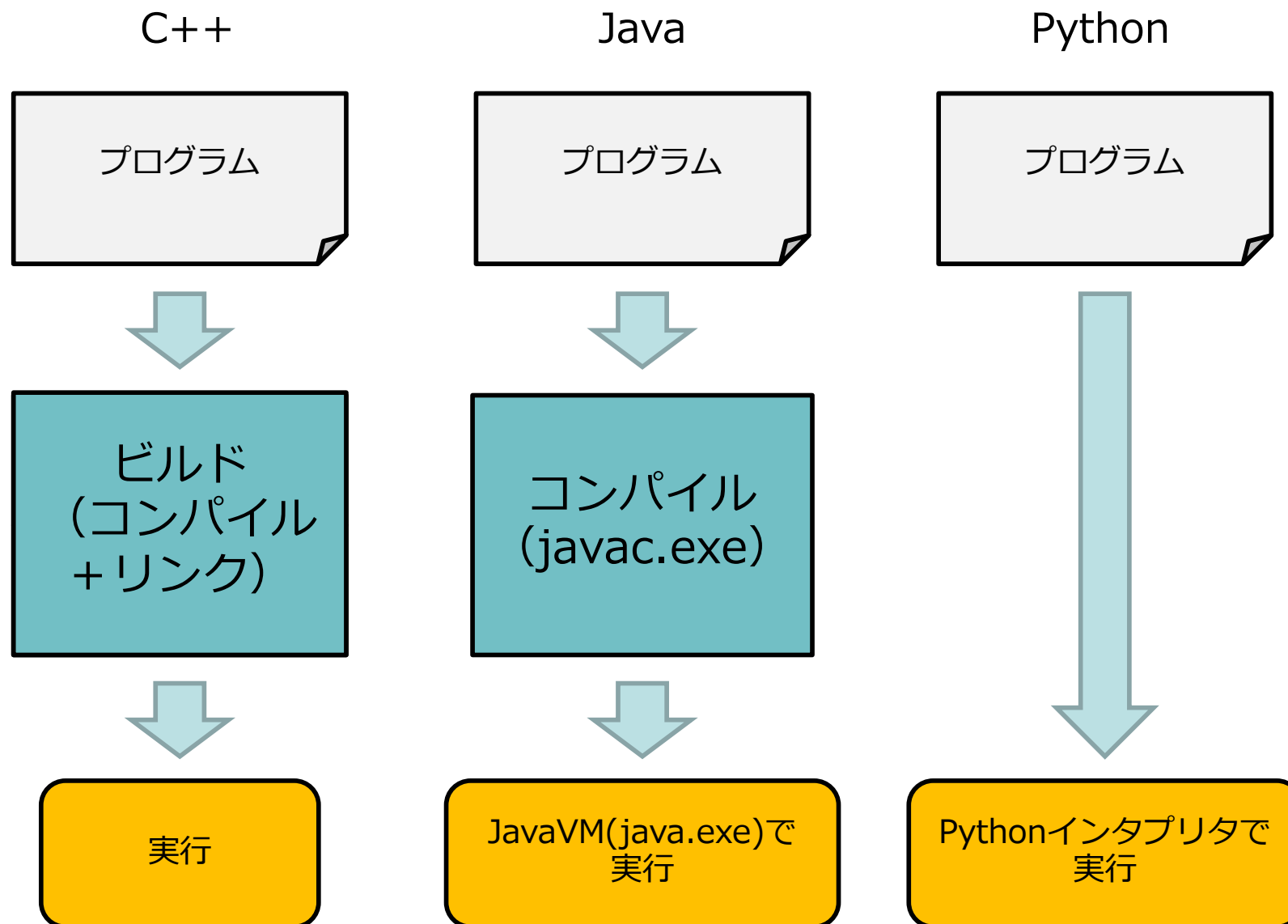
```
#include <16f877a.h>
#include "rtc_base.c"

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

Windows

RTBuilder

CMake

Visual C++

Linux

RTBuilder

CMake

make  
+  
gcc (g++)

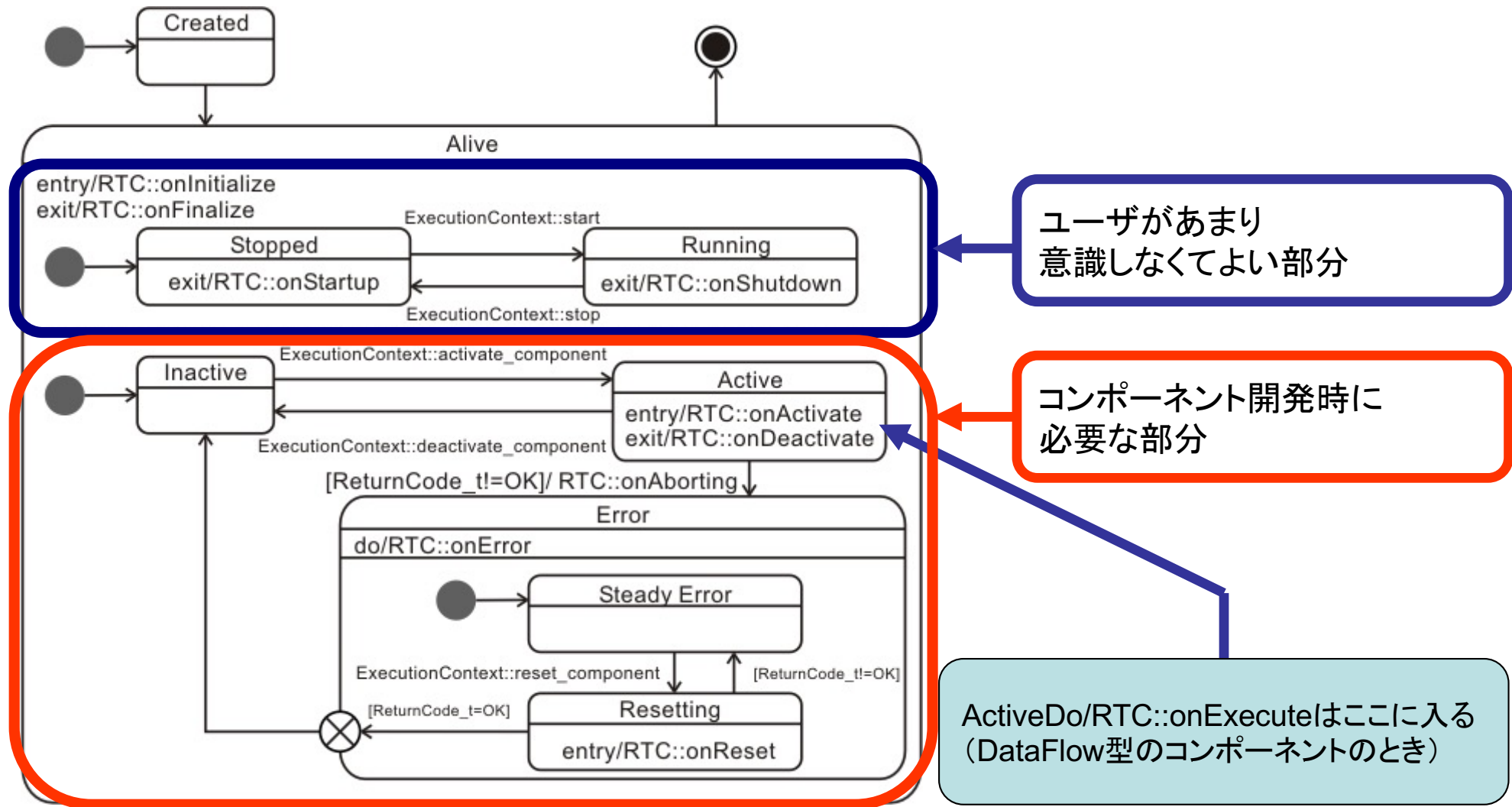
コンポーネントの  
仕様の入力

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

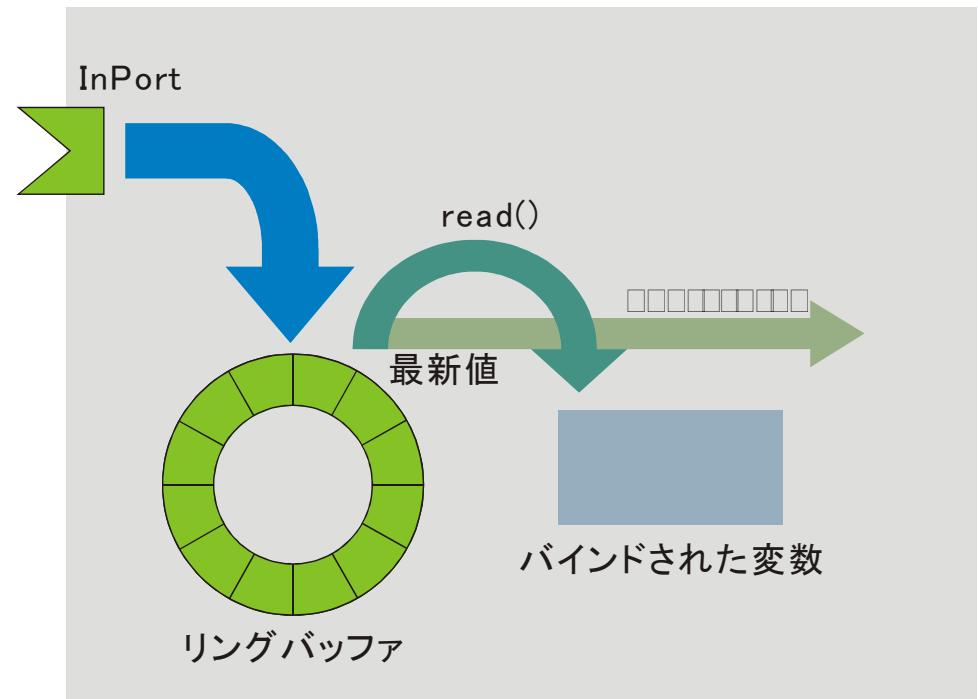


# アクティビティ

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とき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とき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

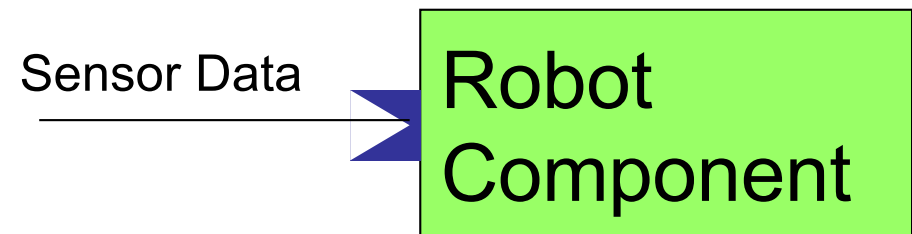
- InPortのテンプレート第2引数: バッファ
  - ユーザ定義のバッファが利用可能
- InPortのメソッド
  - read(): InPort バッファからバインドされた変数へ最新値を読み込む
  - >>: ある変数へ最新値を読み込む



基本的にOutPortと対になる

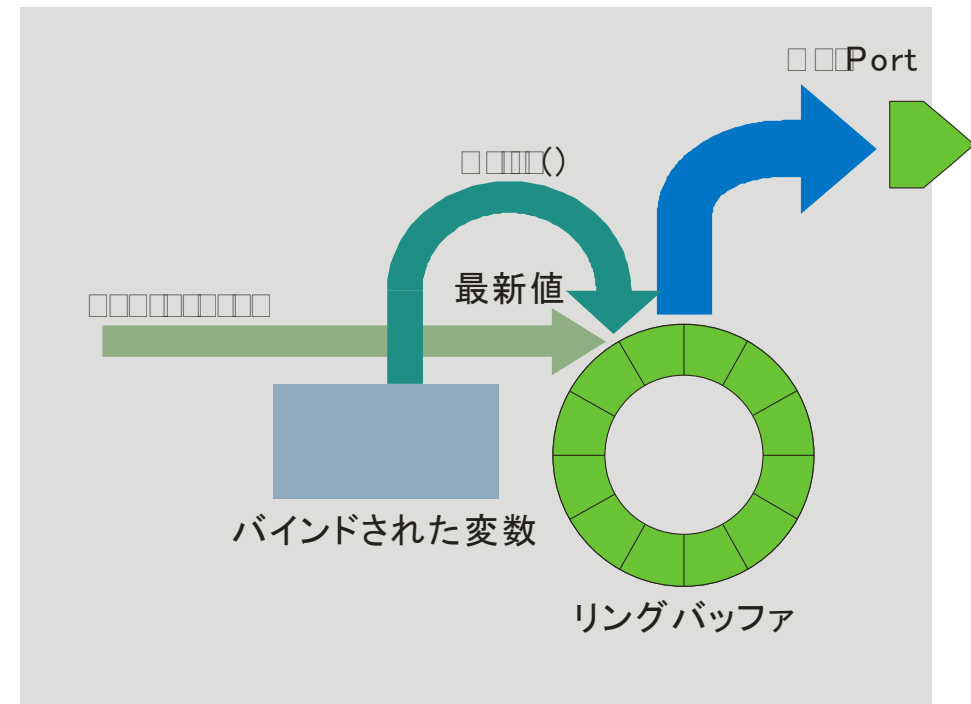
データポートの型を  
同じにする必要あり

例

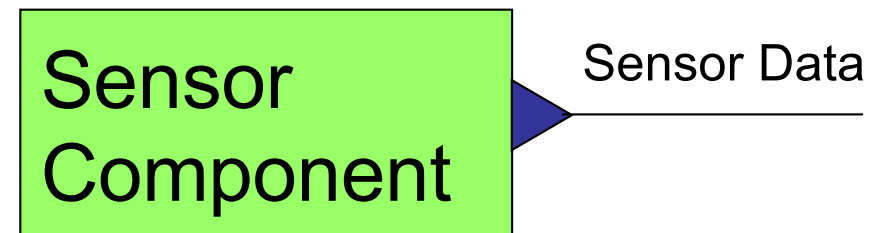


# OutPort

- 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



例



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



# 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

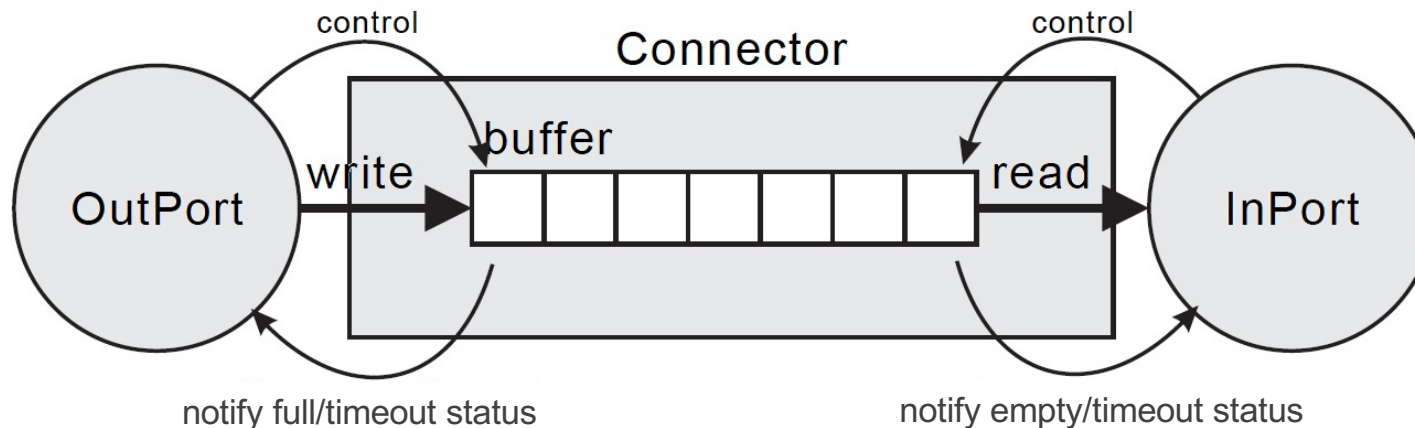
0.2.0では自動で現在時刻を  
セットしていたが、0.4.0では  
必要に応じて、手動でセット  
する必要あり

```
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

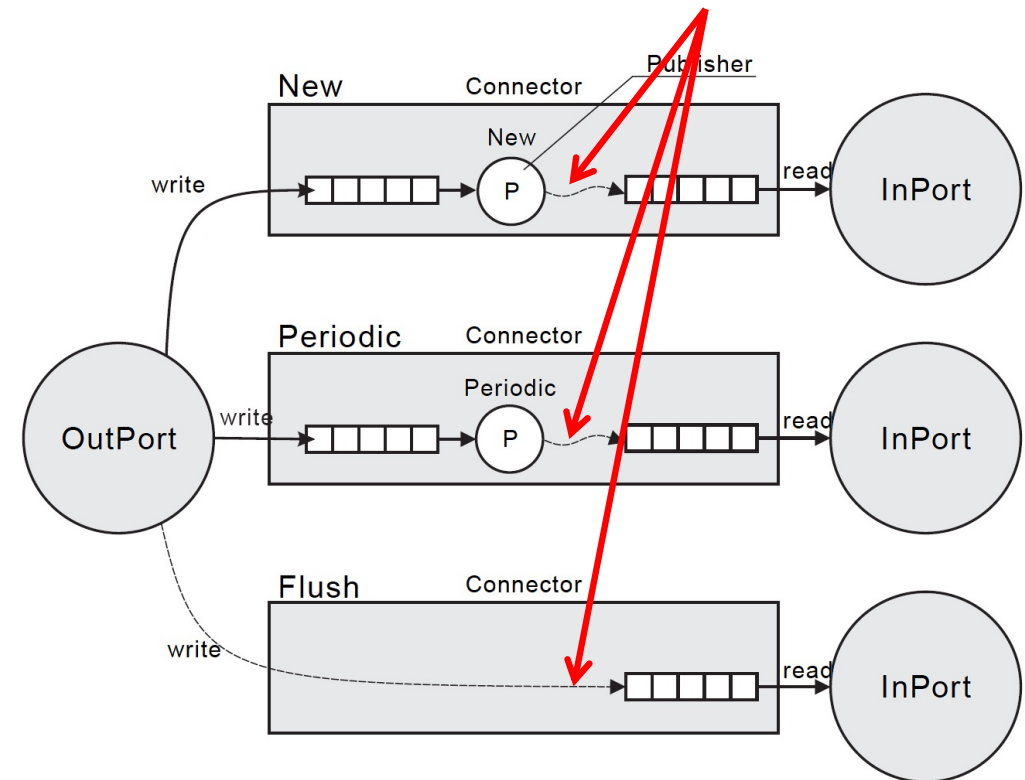
- Connector:
  - バッファと通信路を抽象化したオブジェクト。OutPortからデータを受け取りバッファに書き込む。InPortからの要求に従いバッファからデータを取り出す。
  - OutPortに対してバッファフル・タイムアウト等のステータスを伝える。
  - InPortに対してバッファエンプティ・タイムアウト等のステータスを伝える。
- OutPort:
  - アクティビティからの要求によってデータをコネクタに書き込むオブジェクト
- InPort:
  - アクティビティからの要求によってデータをコネクタから読み出すオブジェクト



# 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

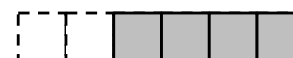
- バッファ残留データ  
– 送り方のポリシー

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。

ALL



FIFO



NEW



SKIP

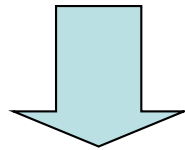


# サービスポート

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

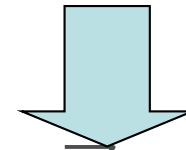
例：カメラからの画像の取得

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

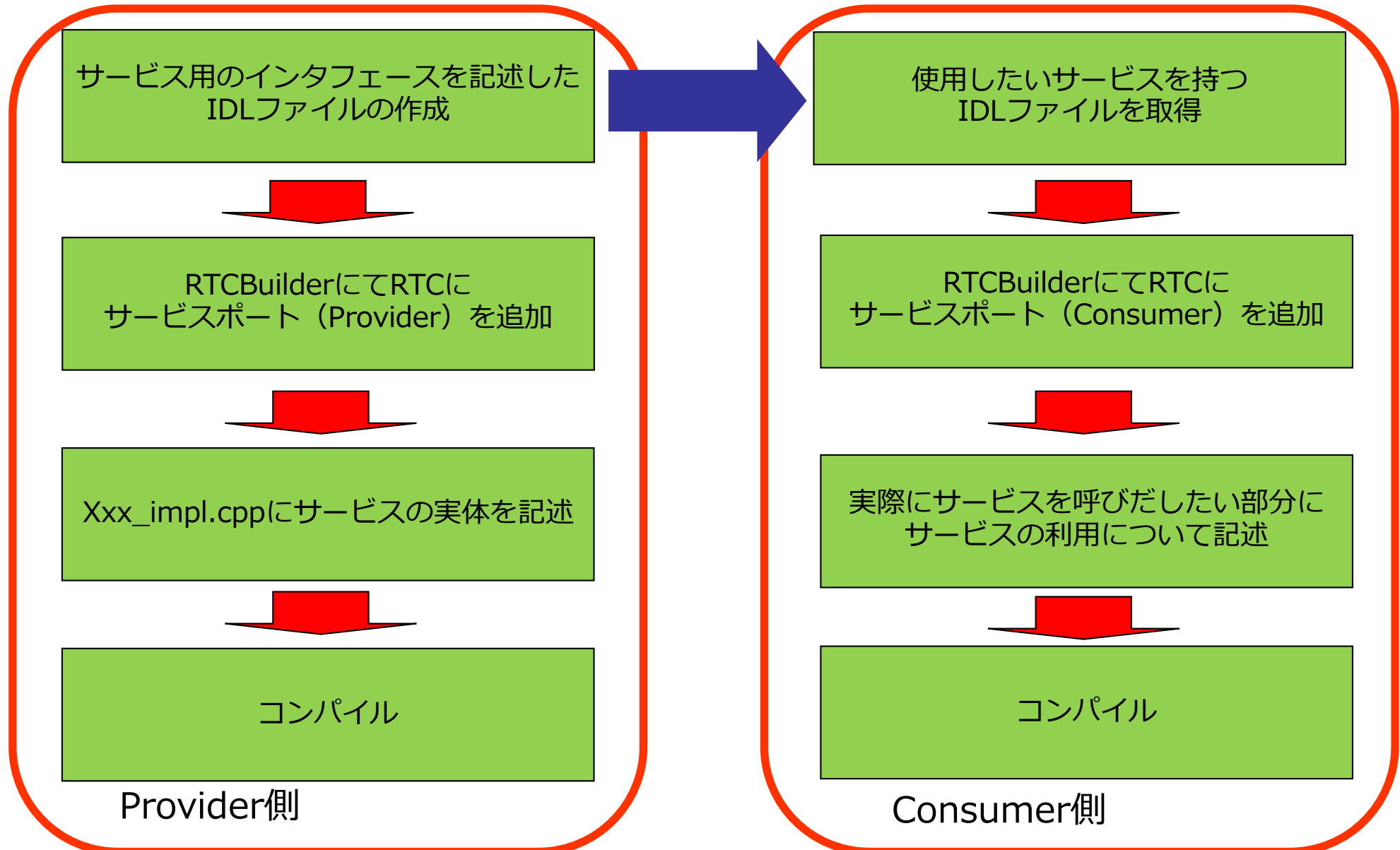


コンシューマ

- 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)

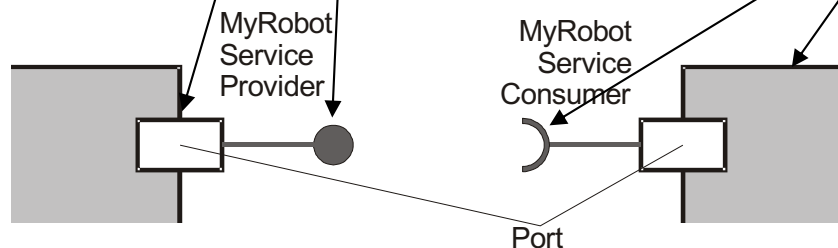
```
class MyRobot_impl
{
    /* この例ではm_robo はロボットを実際に制御する
     * クラスのインスタンスであると仮定する.
     */
    void setPosCtrlGain(const int axis, const double gain)
    {
        // 位置制御ゲインを設定
        m_robo.set_pos_ctrl_gain(axis, gain);
    }
    /* 中略*/
};
```

# サービスプロバイダ・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