

# 2015年度-2017年度 産学ロボット技術開発支援事業

## 成果報告書



公立大学法人会津大学



# 目次

1	はじめに	1
2	産学ロボット技術開発支援事業プロジェクト概要	2
3	プロジェクト報告	
3.1	E1 援竜	6
3.2	E2 スパイダ	8
3.3	D1: WiFi による無線群ドローンの OpenRTM による表現	10
3.4	D2: Research and Development of Doronet	15
3.5	G: Research and Development of Gesture Controlled Prospective Upward Robots called “Gorone”	20
3.6	N: ロボット間通信のためのマルチホップ環境構築	23
3.7	I1: 移動ロボットのための画像処理による環境状況の可視化	28
3.8	I2: Research and Development for Reconstruction of 3D images from Video Based on Accumulated-Motion-Parallax method and Frontward-Motion-Parallax method	33
3.9	R1: RTC-Library-FUKUSHIMA	39
3.10	R2: ロボット・テクノロジー・コンポーネント標準化支援	44
3.11	R3: RT Component for Data Acquisition	48
3.12	R4: Cloud Robotics	53
3.13	R5: ロボット技術者育成	57
3.14	R6: ソフトロボットシミュレーション	63
3.15	統合デモ、クラウド連携	66
4	参画企業の取組み	
4.1	アイザックの取組み	68
4.2	会津ラボの取組み	73
4.3	FSK の取組み	77
4.4	GClue の取組み	82
4.5	東日本計算センターの取組み	87
4.6	メカテックの取組み	93
4.7	NJK：メディアドライブの取組み	96
5	産学ロボット技術開発支援事業と産業技術総合研究所の連携	102
6	今後に向けて	107
-	論文・知的財産関係リスト	110
-	プロジェクトメンバーリスト	115

# 1章 はじめに

会津大学 岩瀬 次郎

会津大学の産学ロボット技術開発事業は、浜通りの復興を目指すイノベーションコースト構想の一環として、会津大学がロボット関連企業等と連携し、2015年から開始された。

会津大学の有する ICT の研究・技術を活かし、県内を中心としたロボット関連企業、IT ベンチャー企業、計 8 社と連携し、災害対応ロボットなどロボット試作機の研究開発を進めてきた。大型災害対応ロボット、小型災害対応ロボット、鳥瞰視点カメラロボット（ドローン）、虫瞰視点カメラロボット（ゴローン）の導入、実証を行った。先端 ICT 研究による付加価値として、操作機能の高度化、制御、自律化、画像認識、ネットワーク技術等の有効性を実証し、ロボット間の連携による空中と地面の各種データの収集、複合体としてのロボット群を実現するクラウドロボティクスの第一段階にも到達した。また、ロボットの開発に欠かせないシミュレーターでは、通常の鋼体モデルによるシミュレーションに加え軟体シミュレーションにも着手した。知財としては、特許 4 件（含む出願中）、商標 2 件を登録した。

ロボットソフトウェアの開発では、標準化により再利用を推進し、ロボット開発の高品質化、コスト削減、スピードアップを図るため産総研の RT ミドルウェア（Robotics Technologies -Middleware: RTM）に準拠した開発を行った。会津大学の先端 ICT ラボ内に「ソフトウェアライブラリふくしま」基盤を整備し、開発したソフトウェアをロボットソフトウェア部品（RTComponent: RTC）をオープンソースとして格納した。当事業では 120 余りのソフトウェア部品が

登録され、2017 年 11 月には日本ロボット工業会より「第 3 回 RT ミドルウェア普及貢献賞」を受賞し、その実績が高く評価された。

人材育成の面では、“Dual-ware”（HW & SW）を理解したロボット技術者の育成を図り、e-learning やクラスルーム形式の研修用ロボットを用いたロボットソフトウェア（RTC）研修を開発し、初級レベルから上級レベルまで実施した。研修は、会津地区に限らず、郡山、南相馬など県内 8 か所で実施し、企業、学生等約 150 名が受講した。

事業化の面ではまだ緒についたばかりではあるが、開発済ロボットを活用した保守サービス、ハードやソフトウェアの要素技術の活用などで試行が始まった。

本事業では 14 のサブプロジェクトを実施し、それぞれ産学連携で進めてきた。本報告書はその集大成として、第 2 章でプロジェクト全体を俯瞰し、サブプロジェクトに関しては第 3 章で各サブプロジェクトごとに学術的な面からの成果、第 4 章では参加企業の立場からプロジェクトの成果を報告する。第 5 章はアドバイザーとして参加してきた産業技術総合研究所から見た本事業を振り返り、第 6 章で本事業の成果を基に今後の展望を述べる。

今後は当 3 年間の実績を基に、県内企業と連携し、ロボット SW ライブラリを基盤としたロボット開発と人材育成を進めていく。リアル、サイバー両空間での人・機械・計算機の協働をコンセプトに、AI、IoT 等先端 ICT 研究を適用し、福島ロボットテストフィールドも活用したふくしまブランドの高付加価値ロボットの開発を推進する。

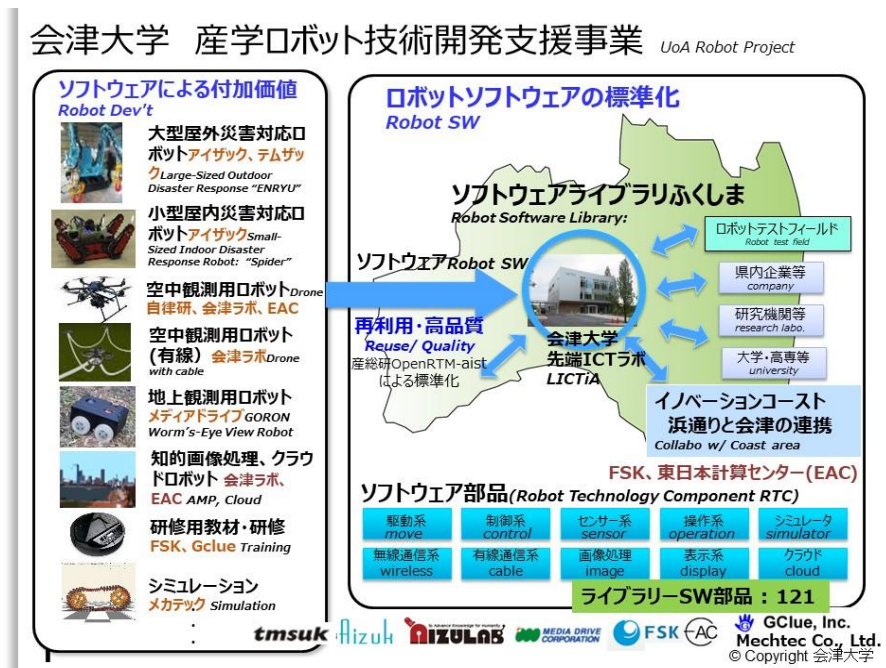


Fig. 1 会津大学 産学ロボット技術開発支援事業の概要

# 2章 産学ロボット技術開発支援事業プロジェクト概要

会津大学 成瀬 継太郎

Abstract: This article reports the overview of the support project of robot technology development at the University of Aizu from AY2015 to AY2017. The key idea of the project is to contribute to robot technology from development of software with robot middleware and an integrated information system of robots. We have done the following four items for the contribution, (i) the development of platform robots and the introduction of robot middleware called OpenRTM-aist for connecting robots with different OS or computer languages, (ii) the open and management of public robot software library by the middleware, (iii) the cloud robotics system, which involves the development of robot log database for heterogeneous platform robots, and the application of stored data, and the development of networked system, and (iv) the development of human resource development program for the middleware. Eventually, the contribution of the three items was displayed with demonstration systems with different robots connected through OpenRTM-aist.

## 1. はじめに

昨今のロボットの進歩は著しく、様々なシステムがデモンストレーションされているが、そのほとんどは独立に制御されている。例えば自動運転車両では人間の行っている作業を自動化したものであり、外界をセンシングし、ハンドルとアクセル、ブレーキの操作を決定し、実行する。一方で、複数のロボットをネットワークにより情報共有し、より高度なことが行われることが期待されるが、まだそれは実現されていない。その原因は異種複数ロボットのための情報システムが未確立だからであると、我々は考える。

会津大学では、2015年度から2017年度にロボット技術開発支援事業プロジェクトとして、産学連携でロボット技術をソフトウェアと情報システムの面から向上させてきた。その主な成果は以下の四点である。(i) いくつかのロボットを開発すると共に、プラットフォームとして OpenRTM-aist<sup>(1)</sup>と呼ばれるロボットミドルウェアを導入、異なる OS や開発言語のロボットやソフトウェアからなる前述ロボット群をつなげるようにしたこと、(ii) ロボットミドルウェアに対応したソフトウェアライブラリの開発と運営を行い、開発済みのソフトウェアを無料で使えるようにしたこと、(iii) 異種複数ロボットのためクラウドロボットシステム開発として、異種複数ロボットのデータを統一的に保持・管理するデータベースを開発、蓄えられたデータの利用、ネットワーク化したロボットシステムの構築、(iv) ロボットミドルウェアのための人材育成プログラムを開発し、講習会を通じて人材を育成したこと。最終的な成果として、このプロジェクトで開発した異種複数のロボットを同じく開発したソフトウェアと統合することで、遠隔操作ロボットシステムを開発し、デモンストレーションを行った。

以下では、各項目についてより詳細に報告する。

## 2. プラットフォームロボットの開発とロボットミドルウェア OpenRTM-aist の導入

従来のロボットは、特定の目的のために個別に設計されたものが多く、ソフトウェアもその都度開発されてきた。しか

し、ロボットのソフトウェアの再利用のためにライブラリ化が行われている。このようなライブラリやフレームワークはロボットミドルウェアと呼ばれる。本プロジェクトでは産業技術総合研究所が開発した OpenRTM-aist<sup>(1)</sup>を導入し、ソフトウェアの再利用性を高めることにより、信頼性の向上と開発コストの低減を目指す。

OpenRTM-aist ではソフトウェアサブルーチンは RTC と呼ばれるプロセス単位で実現され、通信は事前に定義された RTC 間のポートで行われる。そのため RTC の独立性が高いことと、複数の OS で動作し様々なコンピュータ言語で開発できるという利点もある。

まず、本プロジェクトではプラットフォームロボットとして、大型屋外災害対応ロボット、小型屋内災害対応ロボット、空中観測用ロボット、地上観測用ロボット、教材用ロボットを開発し、それを OpenRTM-aist を導入する対象のロボットとし、基本制御ソフトウェアを RTC で実装する。

次に、知的画像処理に代表される、会津大学で研究開発してきた情報処理技術を RTC として実装し、プラットフォームロボットで使えるようにする。

そしてこれらの組み合わせで単体ロボットの制御と操作を OpenRTM-aist で実現できるようにした。この部分を Fig. 1 左側に示す。

## 3. ロボットミドルウェアに対応したソフトウェアライブラリである RTC ライブラリふくしまの開発と運用

RTC で実装されたソフトウェアを再利用しやすくするために、本プロジェクトでは RTC ライブラリふくしまと呼ばれるソフトウェアライブラリを開発した<sup>(2)</sup>。ここではソフトウェアは無料のオープンソースとして公開しており、ユーザはそのまま使うことも、用途に応じてソースコードを書き換えることも、自分が開発した RTC を新しいオープンソースソフトウェアとして公開することもできる。この部分を Fig. 1 の右側に示す。

ロボットシステムの開発においてソフトウェアの開発コストは大きな割合を占めている。このライブラリを使うこと

で、最新の技術に基づくソフトウェアを導入することや、たくさんのプロジェクトで使われた信頼性の高いソフトウェアを無料で即座に導入することが可能になる。

その結果、各ロボットの開発者は、そのロボットに特有な部分の開発に専念することが可能になり、開発効率の向上が期待できる。

さらに、ソフトウェアが RTC として標準化しているため、他者により開発された技術の導入が容易になる。その結果、ロボット開発の新規参加者にとっては参加障壁が低くなり、新しい技術やアイデアオープンイノベーションが期待できる。

#### 4. 異種複数ロボットのためクラウドロボティクスシステムの開発

OpenRTM-aist によるロボットソフトウェアの開発の利点として、異種複数のロボットを一つのネットワークに接続することが可能になり、その結果、ネットワークロボットシステムの構築が容易になることが挙げられる。

具体的には、ソフトウェアを RTC 化する際にデータの形式も標準化したため異種複数のロボットで生成される各種センサデータ等を単一のデータベースに統一的に保存することが可能になった。これは重要なことである。従来のロボットデータはロボットのセンサ機器に依存した固有の形式で保存していたため再利用性がほとんどなかったが、本プロジェクトではあるロボットが取得したデータを他のロボットが利用することが可能になった。

さらに、このネットワークは作業現場でのローカルネットワーク（あるいはエッジネットワーク）だけでなく、インターネット（あるいはクラウドネットワーク）に接続することも可能になる。これによって必要に応じて、大規模なデータ

の蓄積、高速計算機システムの利用、外部作業者による大規模データ解析や学習が可能になる。

本プロジェクトではこの概念をクラウドロボティクスと呼び、Fig. 2 に示すようなネットワークロボットシステムを開発した。これは必要に応じて自由にロボットや必要とするソフトウェアを接続することができる。さらに計算機資源と通信速度により、ネットワークの様々な箇所に処理ソフトウェアを配置して実行することも可能である。

このクラウドロボティクスシステムの例として第2回会津大学ロボットシンポジウムでは2016年度の開発成果を Fig. 3

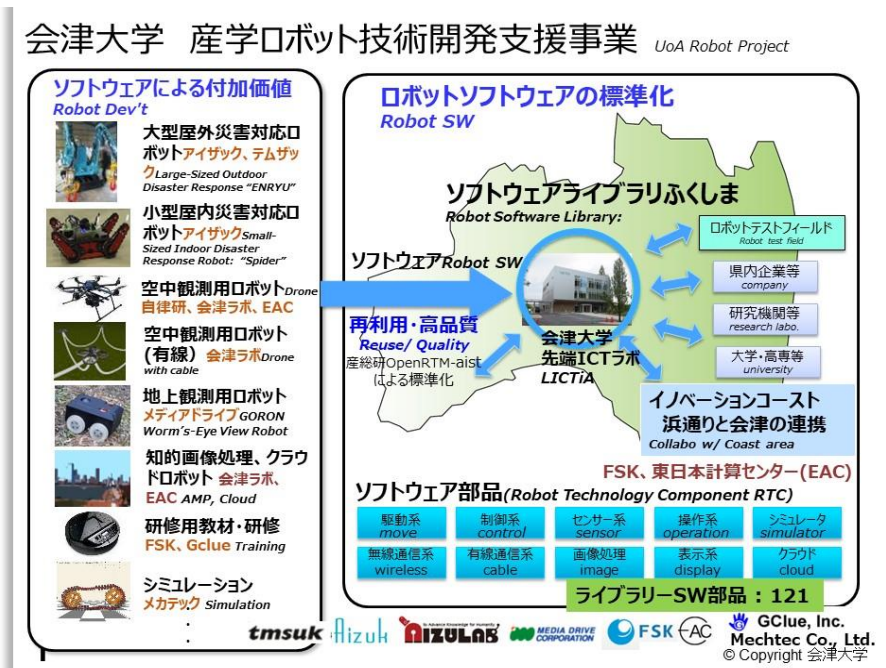


Fig. 1 プラットフォームロボットとロボットミドルウェアの導入、およびソフトウェアライブラリの概念図

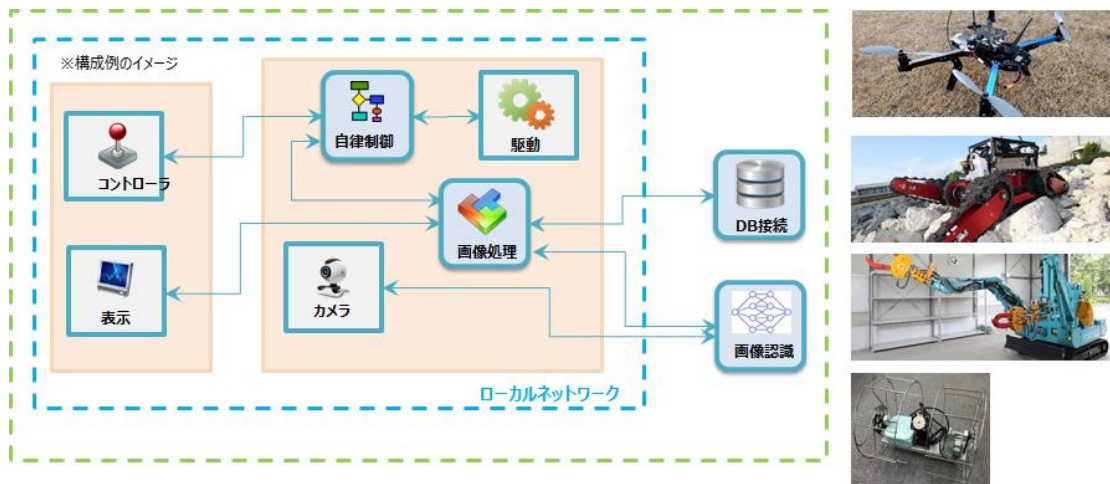


Fig. 2 異種複数ロボットのための情報システムの概念図



Fig. 3 2016年度に行った複数ロボットの統合システムのデモンストレーション

のような統合システムとしてデモンストレーションを行った。

これは災害対応のシナリオを想定し、調査と作業の二つのフェーズからなる。調査フェーズでは、空中観測用ロボット（ドローン）が作業現場の空撮動画を撮影し、そこから最新で高精細の写真地図を作成しておく。

次に作業フェーズとして作業現場には調査用と小型災害対応ロボットと地上観測用ロボット、そして作業用の大型災害対応ロボットからなる遠隔操作型のネットワークロボットシステムを構成する。

作業者は大型災害対応ロボットをメインで操作するが、そのロボットに搭載したカメラ画像のみでは周囲の状況を把握することが困難である。そこで本システムでは、事前に作成した最新高精細の写真地図に大型のロボット現在位置を表示し、上空から見たような画面を用いて直感的で容易にロボットを移動させることが可能になった。

その後、大型ロボットで物体の把持と輸送を行うが、これも大型ロボットのカメラ画像のみでは奥行きが難しい。しかし本システムでは小型ロボットや地上観測ロボットのカメラ画像を見ながら操作することができるため、短い時間で物体の把持と輸送が可能になった。これがクラウドロボティクスシステムの効果である。

さらにクラウドロボティクスシステムの例として第3回会

津大学ロボットシンポジウムでは 2017 年度の開発成果として、現実空間と仮想空間の融合をテーマとしたデモンストレーションを行った。

ロボットからの状況観測にはカメラ画像が使われることが多いが、ロボット自身の姿を任意の角度から見ることは不可能である。そのためアーム型ロボットでは、アームの関節角度や対象物までの位置関係が分からないため直感的な操作が難しい。

しかし、クラウドロボティクスシステムでは、ロボットのアームの角度データを知ることができるので、シミュレータという仮想空間にロボットアームを表示し、それを任意の視点から見る事が可能になる。

Fig. 4 はそれの例であり、上の写真は実際のロボットと階段を外部カメラで撮影した画像、下の絵は同じ状況をシミュレータで再現したものである。ロボットの操作者はシミュレータの画面を参考にしながら、ロボットの周囲の状況を理解し、ロボットの操作を行うことが可能になる。これはロボット情報システムによって、カメラ画像という現実以上に現実空間を知覚することを可能にするため、我々はこれを拡張空間法と呼び、遠隔からの操作性を向上している。

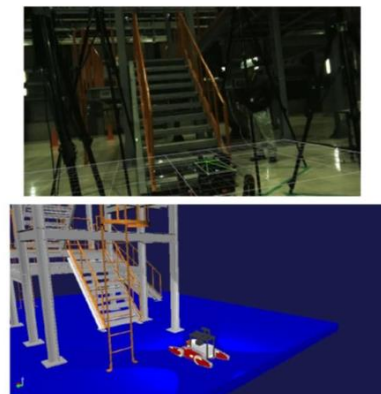


Fig. 4 2017年度の統合システムのイメージ。拡張空間法による遠隔ロボットの操作

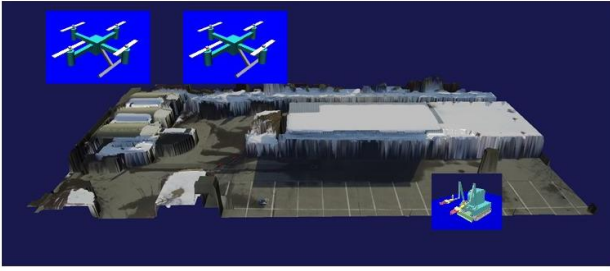


Fig. 5 拡張空間法による屋外ロボットの表示の例

同様に Fig. 5 は屋外ロボットでの事例である。図の建物は空撮動画から知的画像処理技術により三次元モデルにし、それをシミュレータで表示したものである。そこに実際のロボットとして空中ロボットと大型災害対応ロボットの過去の移動軌跡を表示して作業をレビューすることが可能である。さらにシミュレータの機能を利用して作業計画や操作練習も可能になる。このような拡張空間法は新しく使いやすいロボットの操作法を提供する。これもクラウドロボティクスの効果である。

## 5. ロボットミドルウェアのための人材育成プログラム

ここまで述べてきたようにロボットミドルウェアすることによってクラウドロボティクスという、これまでのシステムではできなかった異種複数ロボット間での知的情報処理が可能になった。しかし、これを実現できる技術者は、従来のロボティクス技術に含まれる機械工学、電気工学、制御工学に加えて、情報工学、とくにソフトウェア開発、ネットワーク、データベースも知っていなければならない。

我々はこのような新しい技術者をハードウェアとソフトウェアの両者に習熟している新しい技術者、デュアルウェアエンジニアと呼び、このプロジェクトで人材育成プログラムを開発し、それに従い講習会を実施、人材育成を行ったきた。

具体的には、三種類の難易度の講習会を実施した。RTM 初級講習会は、RTC を組み合わせてロボットシステムを構築することができるようになることが目的である。これは移動ロボットを教材として、福島県内三か所で実施した。

RTM 中級講習会は移動ロボットを対象に、そのソフトウェアである RTC を開発できるようになることが課題であり、県内二か所で実施した。

RTM 上級講習会は、ロボットアームと画像処理のソフトウェアを RTC として開発することを課題とし、県内一ヶ所で実施した。

さらにロボットハッカソンとして、与えられた問題に対するロボットシステムを試作するという実践的な問題解決型の人材育成活動も行った。

## 6. おわりに

これまで述べてきたように、本プロジェクトでは新しいロボット情報システムとしてクラウドロボティクスという概念を開発し、OpenRTM-aist というロボットミドルウェアを軸に据え、ソフトウェアライブラリと人材育成を両輪にコミュニティの拡大を行ってきた。

見方を変えて、本プロジェクトで行ったことを年度別に整理すると以下ようになる。

- 2015 年度: プラットフォームロボットの開発と知的情報処理ソフトウェアの RTC 化、ソフトウェアライブラリの開発
- 2016 年度: クラウドロボティクスに対応したデータベースの開発と情報連携による異種複数ロボットによる遠隔操作ロボットシステムの開発
- 2017 年度: クラウドロボティクスによるデータの蓄積と再利用、さらに現実空間と仮想空間を統合した拡張空間法によるクラウドロボティクスシステムの開発

本プロジェクトではロボット技術を情報システムの面から開発支援してきた。ここでの成果を礎に、さらに発展、普及させることにより、イノベーションコースト構想の推進とロボット産業革命の地ふくしまの実現のために、我々はこれからも尽力していきたい。

## 文 献

- (1) <https://www.openrtm.org/openrtm/>
- (2) <https://rtc-fukushima.jp/>

# 3章 プロジェクト報告

## 3.1. E1: 援竜

会津大学 成瀬 継太郎

Abstract: This article presents the development of OpenRTM-aist compatible Enryu: the large outfield disaster response robot. Enryu itself is a legacy robot, which means it is a standalone with a designated control console. In this project, we have developed OpenRTM-aist compatible Enryu by introducing a companion PC to it. As a result, the OpenRTM-aist compatible Enryu can be connected to other sensor such as RTK-GNSS and to a robot information system with other robots.

### 1. はじめに

援竜はテムザック社で開発されたモデル名が T54 という大型災害対応ロボットである。これはスタンドアローン型のロボットであり、専用操縦システムから操作するというレガシーロボットであった。本プロジェクトでは、それを他のセンサや情報システムと結合できるように OpenRTM-aist の導入を行った。我々はこの新しい援竜を前述の T54 と区別するために T54 改 OpenRTM と呼んでいる。

本プロジェクトの目的はレガシーロボットの OpenRTM-aist 化であり、本稿ではその開発成果を報告する。

### 2. プロジェクトの目的

本プロジェクトの目的は T54 という大型屋外内燃機関車両型のレガシーロボットの OpenRTM-aist 化と、その開発事

例からベストプラクティスを導くことである。

T54 の情報システムは専用操縦システムと援竜本体から構成され、それらが WindowsXP で動作する FA 用 PC に接続され、Visual Basic で開発されていたソフトウェアで制御されていた。

このようなレガシーロボットに OpenRTM-aist を導入するために、専用操縦システムの部分に新しい PC を導入し、OpenRTM-aist のコマンドを援竜内部のコマンドに変更することにより対応することにした。具体的な開発内容については次節で説明する。

Fig. 1 に援竜に関するイノベーションアーキテクチャ図を示す。とくに土木用台車改造、内燃機関エンジン、GNSS ナビ、操作 IF という部分に本ロボットの特徴がある。

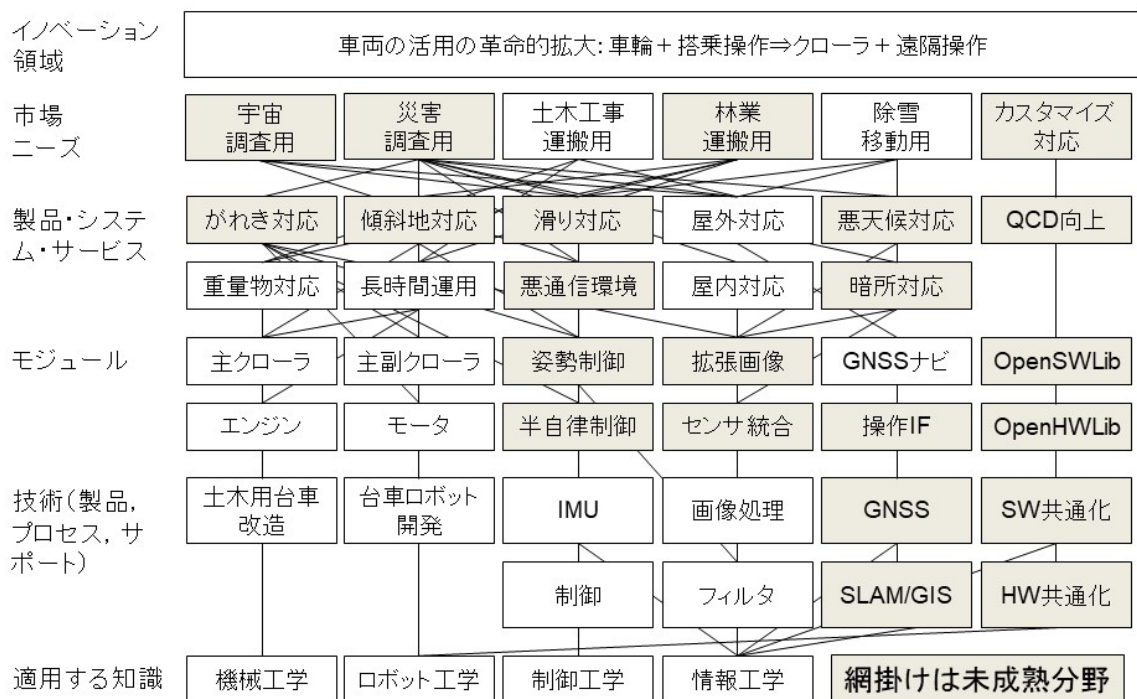


Fig. 1 援竜、T54 改 OpenRTM のイノベーションアーキテクチャ図



### 3. プロジェクトの成果

前節で述べた手法で T54 改 OpenRTM を開発した. 具体的な開発内容は以下のものである.

- T54 の制御コマンド解析し, それを OpenRTM-aist から実行できるように新しい制御コマンドを設計し, それを RTC として開発した(Fig.2).
- 同様に T54 の内部状態を示すステータスコマンドを解析し, それを表示する RTC を開発した(Fig.2).
- T54 に搭載しているカメラを IP カメラとしてアクセスできるように, 汎用的なインターフェースと接続できるようにした(Fig.3).
- センサシステムとして, 新たに RTK-GNSS を導入し, 屋外での高精度な緯度と経度の取得を可能にした. そして RTK-GNSS の受信機と通信をする RTC を開発し, OpenRTM-aist でデータの受信できるようにした (Fig. 4).
- 遠隔操作システムとしてはゲームパッド RTC と T54 改 OpenRTM の RTC を接続し, モニタシステムとしてはノート PC によるカメラビューアを導入し, 小型軽量の操作システムを実現した(Fig.2).
- RTK-GNSS を別プロジェクトで開発された写真地図アプリケーションと接続することにより, 真上から見下ろした分かりやすい視点から T54 のナビゲーションを可能にした(Fig. 5).

### 4. おわりに

本稿では, 援竜の OpenRTM 化の事例を報告した. 我々の身の回りには, 例えば除雪機や農作業機のように IT 化, スマート化されていない機械がたくさん存在するが, 本報告での手法は汎用的であるため, 様々な領域でのレガシーロボットのスマート化へ導入することが可能である. 本報告がその参考になれば幸いである.



Fig. 2 援竜, T54 改 OpenRTM の遠隔操作システム



Fig. 3 援竜, T54 改 OpenRTM のカメラビューア画面



Fig. 4 高精度 RTK-GNSS の導入

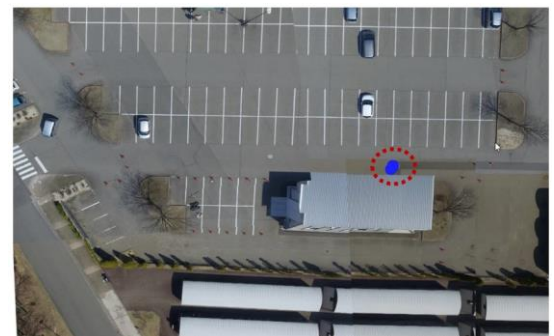


Fig. 5 高精度 RTK-GNSS と写真地図アプリケーションによる俯瞰画像によるナビゲーション

## 3.2. E2:スパイダ

会津大学 成瀬 継太郎

Abstract: This article presents the development of SPIDER, which is a small size motor-driven disaster response robot with two arms for mainly for inspection. Because SPIDER is a totally new robot, it can be considered as an instance of a whole process of robot design and development. The main objective of this robot is to establish a control system with such a large number of degrees of freedom and many sensors.

### 1. はじめに

スパイダはモータ駆動による小型で屋内用の、主に調査用の災害対応ロボットである。台車部分には左右二つのメインクローラに加え、前後左右に四つのサブクローラがあり、これにより高い走行性を有している。さらに二つのアームを搭載し、小さな物体の把持や輸送が可能である。

スパイダは本プロジェクトのために開発され、最初から OpenRTM-aist 対応を考えて設計している。そのため開発のポイントは、高い自由度を持つロボットを制御するための知的制御を開発することである。

### 2. プロジェクトの目的

スパイダの特徴は操作自由度の多さであり、台車部で6自由度、各アームが7自由度ある。そのため操作が煩雑になってしまい、必然的に多数のセンサと知的な操作インタフェース、自動制御が必要なる。そこで本プロジェクトの目的は、

多操作自由度かつ多センサロボットの開発と、そのための情報システム開発である。主な開発内容は、機械・電気・制御部の設計と開発、制御と操作 RTC の開発、センサ情報 RTC の開発、他のソフトウェアとの連携、シミュレータとの連携である。具体的な開発内容は次節で説明する。

Fig.1 にスパイダのイノベーションアーキテクチャ図を示す。本プロジェクトで重要な部分は台車ロボット開発、主副クローラ、がれき対応、姿勢制御、傾斜地対応、IMU、半自動制御、センサ統合、拡張画像、SLAM、操作 IF である。

### 3. プロジェクトの成果

スパイダの単体ロボットとしての開発内容は以下のように整理できる(Fig. 2, Fig. 3).

- 機械
  - 台車機構：6 自由度
  - 双腕アーム機構：各アーム 7 自由度
- 電気



Fig. 1. スパイダ用 OpenRTM のイノベーションアーキテクチャ図

- 台車モータ制御回路
- センサ回路と専用基盤の設計と製作
- 制御
  - 台車モータ制御ソフトウェア
- 情報：センサソフトウェア
  - 光学カメラ
  - IMU: 慣性センサ
  - LRF: レーザ測長器
  - ToF: 奥行きカメラ

遠隔操作ロボットシステムとしては以下を開発した。

- ゲームパッドによる操作とロボット情報モニタシステム
- 段差乗り越えの自律制御

システムインテグレーションに関しては、以下を行った。

- 立体画像ソフトウェアとの連携(Fig. 4)
- カメラビューアとの連携
- シミュレータとの連携(Fig. 3)

ロボットの走行性能に関しては、日常環境の他に模擬階段(Fig. 5)やロボットの標準テストコース(Fig. 6)での走行試験を行い、高い走破性能有することを検証した。

#### 4. おわりに

本稿では、スパイダという小型電動の災害対応ロボットの開発事例を報告した。サブクローラを含むロボットは、不整地環境で高い走破性能を有するが操作は難しい。本プロジェクトで開発した自律制御技術ベースに、さらに洗練させることで誰もが簡単にこのタイプのロボットを運転することが可能になることであろう。

さらに、不整地は災害現場だけにあるものではない。我々の日常環境も、階段、法面など不整地である。スパイダのサブクローラの動作原理をベースにより車輪のような廉価で高効率の駆動機構に適用することで、日常生活で使える新しい台車ロボットも期待される。



Fig. 2. 不整地を走行するスパイダの台車部

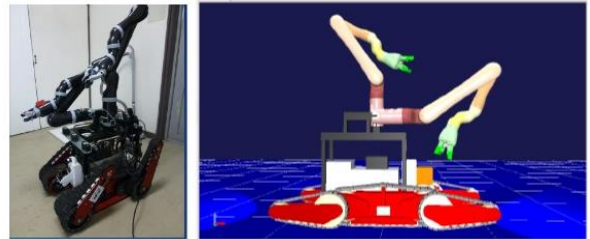


Fig. 3. 双腕を搭載したスパイダと対応するシミュレータモデル

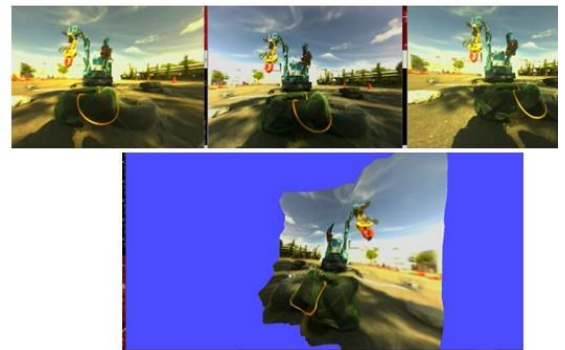


Fig. 4. スパイダに搭載した3台のカメラ画像(上)とそこから生成された立体画像(下)

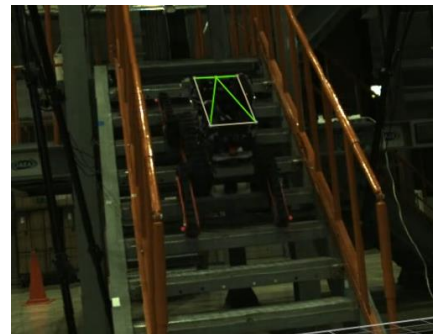


Fig. 5. 模擬階段を走るスパイダ

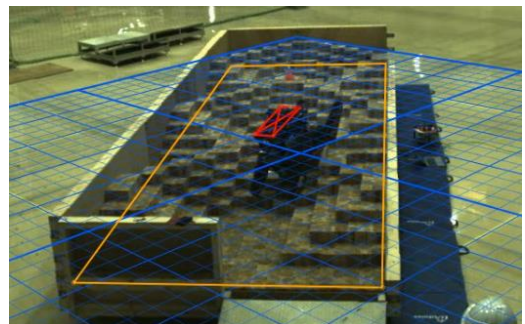


Fig. 6. 標準テストコースを走るスパイダ

### 3.3. D1: WiFi による無線群ドローンの OpenRTM による表現

会津大学 矢口 勇一

株式会社東日本計算センター 丹内 智博 羽賀 公亮 三本松 晃平

Abstract: This project aimed to develop a series of software components of drone formation flight for constructing drone fleets on WiFi environment. We designed the UAS with Dronecode based multicopters or ACSL drones, OpenRTM for connecting whole computers, and an algorithm of leader-follower drone formation flight with a virtual leader. We developed an entire system and this system is quite stable to move in a WiFi environment.

#### 1. まえがき

無人航空機システム (UAS) は 20 世紀中期より特に力を入れて研究されており、近年は DJI や Parrot 等のメーカーによってマルチコプター型の無人航空機 (UAV、ドローン) が販売されるようになった。これらドローンの利用シーンは、IoT などに象徴されるセンサやカメラ等の観測機器を、空中で移動させて計測させることが主であるため、目下クラウドサービスと併せて Drone as a Service (DaaS) として各企業が開発を進めている<sup>(1)</sup>。

本研究では、こうした背景の中、複数台ドローンが隊列を組んでドローン艦隊を作成<sup>(2)</sup>し、広範囲の作業度を同時にこなすという将来像を描いて研究している (Table 1)。その中で、頑健な隊列航行システムを構築するために、OpenRTM-AIST<sup>(3)</sup>を用いてコンピュータによってドローンの隊列制御を容易に行うことのできるロボットシステムを構築することが本研究の主題である。一方で、OpenRTM は Windows や Linux 等、マルチプラットフォームで動作可能とは言え、ある程度の CPU パワーがないと動作しないという問題がある。そのため、本研究では、OpenRTM を動作させるコンピュータとして Raspberry Pi を使用し、その上にフライトコントローラーとして動作可能な Navio+及び Navio2 というボードを実装、それらをフライトコントローラーとしてドローンを自作し、ドローン単体のオペレーターコンポーネント、複合動作の経路プランナーコンポーネント、地上操作のコントローラーコンポーネントと、それらのコマンド及び動作状態のログを突き合わせるログ表示システムを開発し、3 台の並列型隊列飛行の実現を目指した。

#### 2. システムデザイン

##### (2.1) ハードウェア及びソフトウェア構成

本プロジェクトでは、Fig. 1 のような構成のドローンの隊列飛行を実現する。

- Drone Hardware Specification
  - 自律制御システム研究所製 MS06-LA
    - ◇ Type: Hexacopter、Max payload 9kg
    - ◇ FC 部: 自律制御システム研究所製クローズ

ド FC

- ◇ API 部: 自律制御システム研究所製 Java based API
- 3DR DIY Quad Kit (自作機)
  - ◇ Type: Quadcopter、Max payload 1000g
  - ◇ FC 部: Emlid Navio+ or Navio2、オープンソース系 Ardupilot ソフトウェア
  - ◇ CC 部: Raspberry Pi 2 model B or 3
  - ◇ API 部: Dronekit-Python、Mavlink
- TAROT IRONMAN TL650 (自作機)
  - Type: Quadcopter、Max payload 2.5kg
  - FC 部: Pixhawk FC、オープンソース系 Ardupilot ソフトウェア
  - CC 部: Raspberry PI 2 model B UART 接続
  - API 部: Dronekit-Python、Mavlink
- TAROT IRONMAN TL650 改 (自作機)
  - Type: Quadcopter、Max payload 2.5kg
  - FC 部: Navio2、オープンソース系 Ardupilot ソフトウェア
  - CC 部: Raspberry Pi 3
  - API 部: Dronekit-Python、Mavlink
- Ground station and simulation specification
  - Ground Station PC
    - ◇ PC: Lenovo T550 Entry PC
    - ◇ OS: Ubuntu 14.04 LTS
    - ◇ RT Platform: OpenRTM、Python、g++、Kivy、PyQt、etc.
    - ◇ Controller: PS4 Gamepad
  - Simulation PC
    - ◇ PC: Lenovo T550 Entry PC
    - ◇ OS: Ubuntu 14.04 LTS
    - ◇ RT Platform: OpenRTM、Ardupilot SITL、Flight Gear Simulator

異なるメーカーないし異なるサイズのドローンを隊列で動作させるため、本プロジェクトでは直接の機体の制御部分に立ち入らず、Waypoint と呼ばれるドローン内部の自律

Table 1 Comparison of conventional 3D flocking and formation flight

Authors	Year	Vehicle	N	Decentralized?	Collision-avoidance?	Dependency	Uniqueness
Hauert et al. [10]	2011	Fixed-wing	10	Yes	Weak/not crucial	GPS	First 10 autonomous
Bürkle et al. [11]	2011	Quadrotor	5	No interaction	No	GPS, Ground control station	Extensible framework
Hoffmann et al. [12]	2011	Quadrotor	3	Yes	Yes	GPS+base station	Extensible framework, good vehicle dynamics
Quintero et al. [13]	2013	Fixed-wing	3	No	No	GPS, ground control station	Distributed sensing
Vásárhelyi et al. [6]	2014	Quadrotor	10	Yes	Yes	GPS	Optimized for relative error
Yaguchi et al. (this paper)	2017	Quadrotor, Hexrotor	3	No	Weak	GPS, ground control station	Extensible framework, different manufacturer support

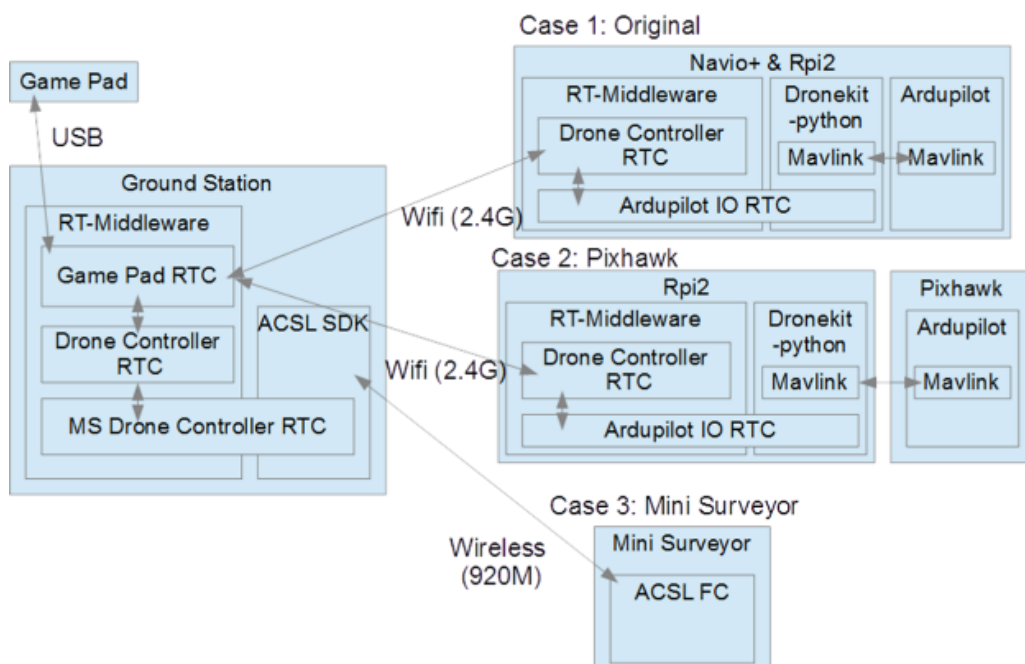


Fig. 1 本プロジェクトにおける隊列制御のためのコンポーネント構成

制御機構を利用して隊列飛行を行う。しかしながら、ArduPilot系のFCソフトウェアで実現されているWaypointの仕様と、自律制御システム研究所で採用しているWaypointの仕様が異なるため、一部完全に同一の動作をすることができないため、その部分は自律制御システム研究所の動作仕様を一部削除して、隊列の旋回動作を行えない構成にしている。

### 〈2・2〉 隊列飛行アルゴリズム

隊列制御は、仮想リーダーを定義して、この仮想リーダーに従うように全てのドローンが一定のルールで隊列を組むように計算する<sup>(4)</sup>。この時に、航行のためのプランニングを行うコンポーネントは、ドローンに対してWaypointを指示する。この場合、ドローンの動作の如何によっては、状態や外乱等の問題で足並みが完全にそろわないケースが存在するが、仮想リーダーを適宜補正することによって、全体の足並みをそろえることができるようにアルゴリズムを構築している (Fig. 2)。なお、旋回時には並列の隊列を崩さないよ

うに、ピボットターンを行うことができるようにしている (Fig. 3)。

- Definition

- Drone state of virtual leader:

$$\mathbf{D}_0(t) = [\mathbf{x}_0(t)^T \quad \mathbf{v}_0(t)^T \quad \boldsymbol{\theta}_0(t)^T \quad \boldsymbol{\omega}_0(t)^T]^T \quad (1)$$

- Home position of virtual leader:

$$\mathbf{x}_0(0) = \frac{\sum_{k=1}^N \mathbf{x}_k(0)}{N} \quad (2)$$

- Home angle of virtual leader:

$$\boldsymbol{\theta}_0(0) = \frac{\sum_{k=1}^N \boldsymbol{\theta}_k(0)}{N} \quad (3)$$

- Home velocity and angular velocity:

$$\mathbf{v}_0(0)^T = \mathbf{0}, \boldsymbol{\omega}_0(0) = \mathbf{0}. \quad (4)$$

- Position residual (constant):

$$\mathbf{p}_n(t) = \mathbf{x}_0(0) - \mathbf{x}_n(t) \quad (5)$$

- Drone command:

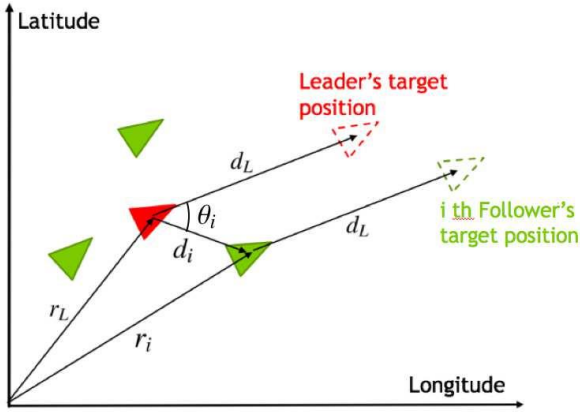


Fig. 2 仮想リーダーによるリーダーフォロワー制御

$$\mathbf{D}_c(t) = [\mathbf{c}_x(t)^T \quad \mathbf{c}_v(t)^T \quad \mathbf{c}_\theta(t) \quad \mathbf{c}_\omega(t)]^T \quad (6)$$

- Command position:

$$\mathbf{c}_x(t) = [x_c(t) \quad y_c(t) \quad z_c(t)]^T, \quad (7)$$

$$|\mathbf{c}_x(t)| > v_c(t)$$

$v_c(t)$ : = actual command speed value

- Command velocity:

$$\mathbf{c}_v(t) = v_c(t) \frac{\mathbf{c}_x(t)}{|\mathbf{c}_x(t)|}, \quad (8)$$

- Command angle:

$$\mathbf{c}_\theta(t) = (-\pi \leq \theta_n(t) < \pi) \quad (9)$$

- Command angle velocity:

$$\mathbf{c}_\omega(t) = \left[ \cos\left(\arcsin\left(\frac{v_c(t)}{r}\right)\right) \quad \sin\left(\arcsin\left(\frac{v_c(t)}{r}\right)\right) \right] \quad (10)$$

$$r = \|\mathbf{x}_R(t) - \mathbf{x}_L(t)\|$$

- Translation flight

- Leader Position:

$$\widehat{\mathbf{x}}_0(t) = \mathbf{x}_0(t) + \mathbf{c}_x(t) \quad (11)$$

- Leader Velocity:

$$\widehat{\mathbf{v}}_0(t) = \mathbf{c}_v(t) \quad (12)$$

- Drones Position:

$$\widehat{\mathbf{x}}_n(t) = \widehat{\mathbf{x}}_0(t) + \mathbf{p}_n \quad (13)$$

- Drones Velocity:

$$\widehat{\mathbf{v}}_n(t) = \mathbf{c}_v(t) \frac{\|\widehat{\mathbf{x}}_n(t) - \mathbf{x}_n(t)\|}{\|\mathbf{c}_x(t)\|} \quad (14)$$

$\widehat{\mathbf{v}}_n(t)$  := the set velocity.

- Next Leader Position:

$$\mathbf{x}_0(t+1) = \mathbf{x}_0(t) + \frac{\sum_{k=1}^N |\mathbf{v}_k(t)|}{N} \frac{\mathbf{c}_x(t)}{\|\mathbf{c}_x(t)\|} \quad (15)$$

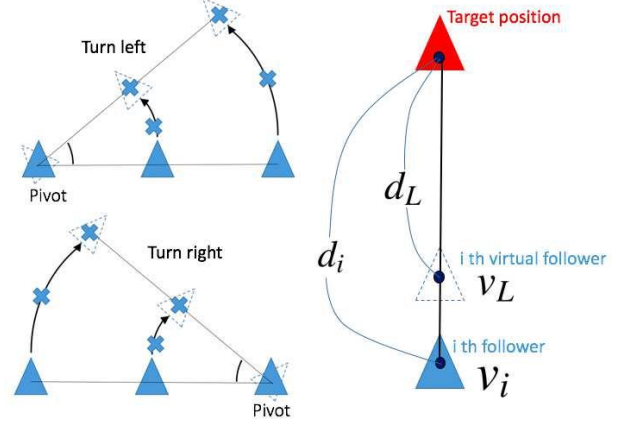


Fig. 3 旋回動作における隊列制御の一例

- Fixed Leader Velocity in time t:

$$\mathbf{v}_0(t) = \frac{\sum_{k=1}^N |\mathbf{v}_k(t)|}{N} \frac{\mathbf{c}_x(t)}{\|\mathbf{c}_x(t)\|} \quad (16)$$

- Rotation flight

- Leader Position:

$$\widehat{\mathbf{x}}_0(t) = \mathbf{x}_0(t) \quad (17)$$

- Leader Velocity:

$$\widehat{\mathbf{v}}_0(t) = \mathbf{0} \quad (18)$$

- Drones Position

$$\widehat{\mathbf{x}}_n(t) = \widehat{\mathbf{x}}_0(t) + \mathbf{p}_n \quad (19)$$

- Drones Velocity

$$\widehat{\mathbf{v}}_n(t) = \mathbf{c}_v(t) \quad (20)$$

◇ If any drones arrive to objective position (about 1m radius), drones should stop.

- Left side drone:

$$\mathbf{D}_L(t) = [\mathbf{x}_L(t)^T \quad \mathbf{v}_L(t)^T \quad \theta_L(t) \quad \omega_L(t)]^T \quad (21)$$

- Right side drone:

$$\mathbf{D}_R(t) = [\mathbf{x}_R(t)^T \quad \mathbf{v}_R(t)^T \quad \theta_R(t) \quad \omega_R(t)]^T \quad (22)$$

- Turning radius:

$$r = \|\mathbf{x}_L(t) - \mathbf{x}_R(t)\| \quad (23)$$

- Turning angle:

$$\mathbf{c}_\omega(t) = \arcsin\left(\frac{\|\mathbf{c}_v(t)\|}{c}\right) \quad (24)$$

- Rotation matrix:

$$\mathbf{R}(\theta) = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & \mathbf{0} \\ \sin\theta & \cos\theta & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{pmatrix} \quad (25)$$

- When push gamepad button (Right turn:  $P = R$ , Left turn:  $P = L$ )

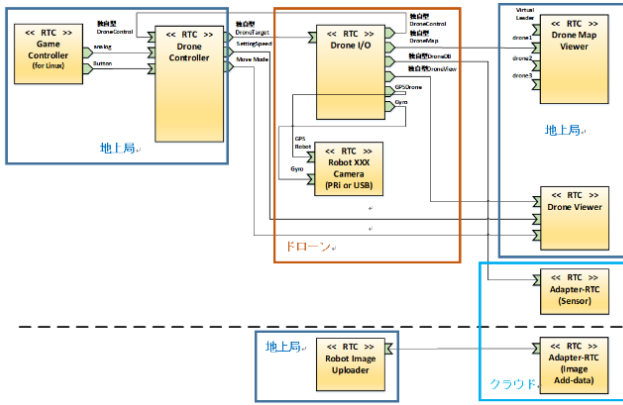


Fig. 4 単体ドローンの RTC 構成

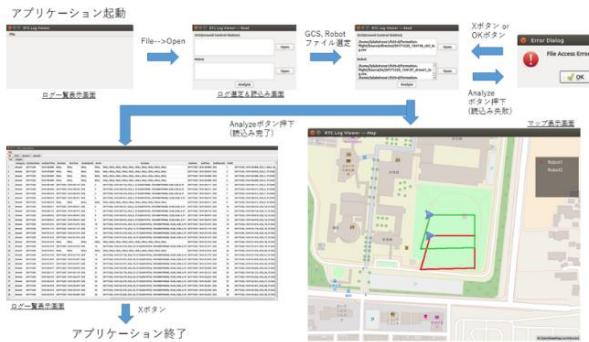


Fig. 5 Drone Log Viewer

- ◇ Leader Target Position:

$$\widehat{\mathbf{x}}_0(t) = \mathbf{x}_0(t) + \mathbf{c}_x(t) \quad (26)$$

- ◇ Leader Target Angular Velocity:

$$\widehat{\boldsymbol{\omega}}_0(t) = \mathbf{c}_\omega(t) \quad (27)$$

- ◇ Leader Target Velocity:

$$\widehat{\mathbf{v}}_0(t) = \frac{\mathbf{c}_v(t)}{2} \quad (28)$$

- ◇ Drones Target Position:

$$\widehat{\mathbf{x}}_n(t) = \widehat{\mathbf{x}}_0(t) + \mathbf{p}_n \mathbf{R}(\mathbf{c}_\omega(t)) \quad (29)$$

- ◇ Drones Target Velocity:

$$\widehat{\mathbf{v}}_n(t) = \mathbf{c}_v(t) \frac{\|\mathbf{x}_n(t) - \mathbf{x}_p(t)\|}{r} \quad (30)$$

- ◇ Drones Target Angular Velocity:

$$\widehat{\boldsymbol{\omega}}_n(t) = \arctan \left( \frac{\boldsymbol{\theta}_0(t) \times (\widehat{\mathbf{x}}_n(t) - \mathbf{x}_n(t))}{\boldsymbol{\theta}_0(t) \cdot (\widehat{\mathbf{x}}_n(t) - \mathbf{x}_n(t))} \right) \quad (31)$$

- ◇ Next Leader Position:

$$\mathbf{x}_0(t+1) = \mathbf{x}_0(t) + \frac{\sum_{k=1}^N |\mathbf{v}_k(t)|}{N} \frac{\mathbf{c}_x(t)}{\|\mathbf{c}_x(t)\|} \quad (32)$$

- ◇ Fixed Leader Velocity in time t:

$$\mathbf{v}_0(t) = \frac{\sum_{k=1}^N |\mathbf{v}_k(t)|}{N} \frac{\mathbf{c}_x(t)}{\|\mathbf{c}_x(t)\|} \quad (33)$$

## (2.3) RT Component としてのデザイン

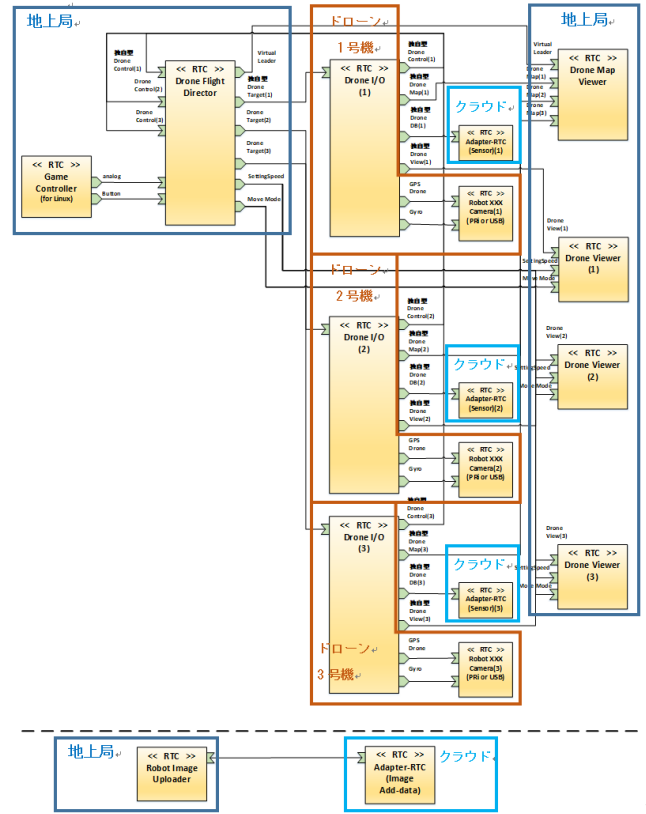


Fig. 6 隊列ドローンの RTC 構成

本プロジェクトでは、単体ドローンによるテストの構成 (Fig. 4) と、複数台ドローンによる隊列飛行のテスト構成 (Fig. 5) の2つの構成を考慮して RT システムを構築している。コンポーネントの種類と機能は以下の通りである。

- DroneIO: ドローン本体に対する制御の入力(Waypoint Base) とドローンの状態を出力する。
- Drone Controller: ドローン単体に対する制御コマンドを、ゲームコントローラからデコードして送出する。
- Drone Flight Director: ゲームコントローラのコマンドをデコードし、隊列ドローンのフォーメーションを計算し、各ドローンへ制御コマンドを送出する。
- Drone Viewer: ドローン内部の状態 (バッテリー、姿勢、モード等) の表示を行う。
- Drone Map Viewer: 構成しているドローンの 2D ポジションと向きを表示する。単機・複数機両対応となる。
- Robot Camera: DroneIO から出力されるポジションデータと併せて、スチルカメラの画像を取得し保存する。
- Adapter RTC: ドローンの状態をクラウド環境で受信し、DB へ保存する。

なお、これら RTC 毎に動作が発生した場合に全てログとして保存し、別に作成された Drone Log Viewer (Fig. 6) によって動作の突合せを確認することができるように構築した。

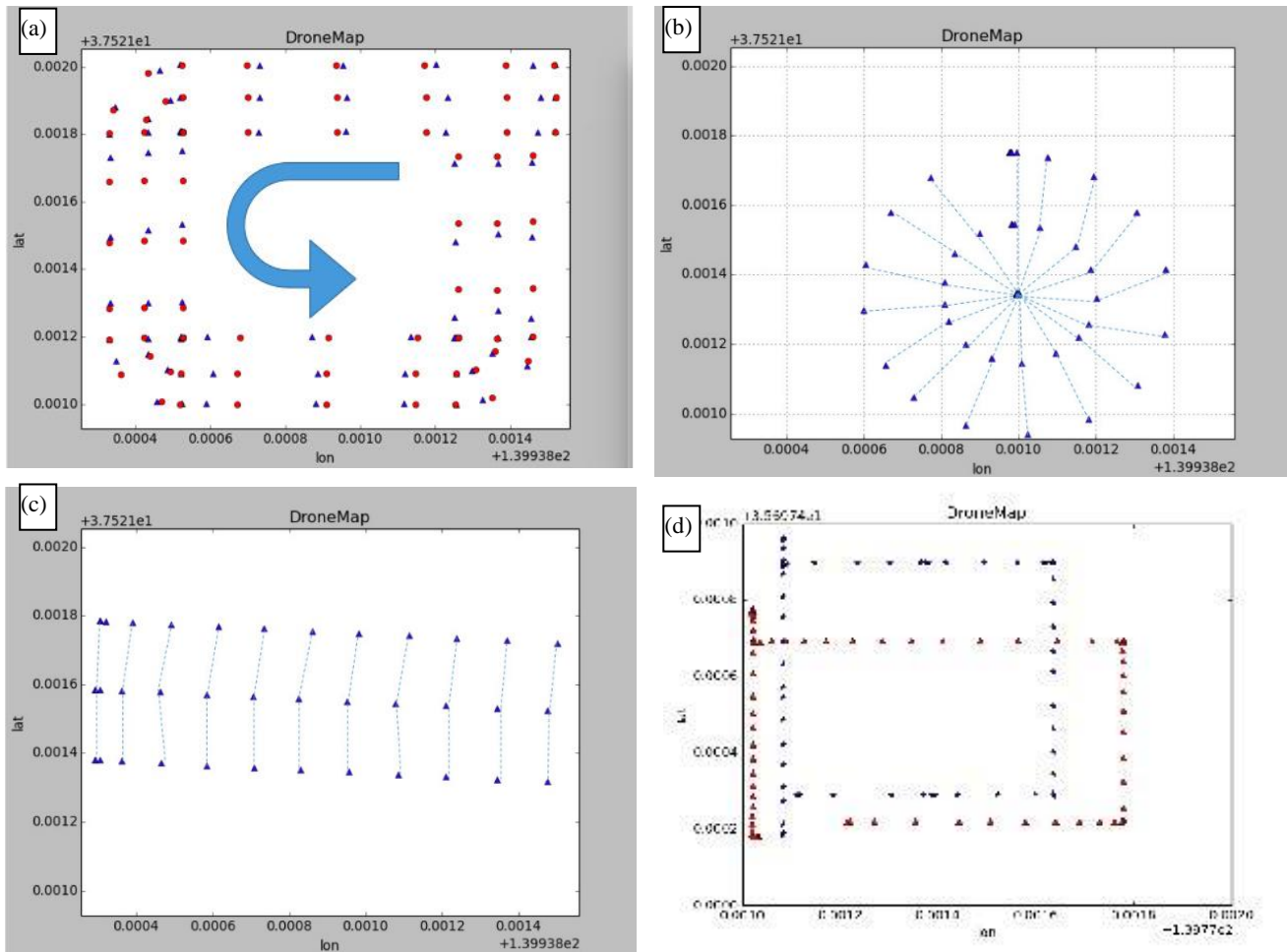


Fig. 7 無線群ドローン隊列フライト試験の結果

### 3. 隊列制御システムの実験結果

隊列制御システムについて、実証実験を行い、旋回動作、並進動作共に安定して同一機種、異機種混合で動作可能であることをシミュレーター (Fig. 7)・実機共に確認した。なお、実験結果の実際の映像は、別資料として提示する。

### 4. むすび

本プロジェクトでは、OpenRTM を用いてコンピュータによってドローンの隊列制御を容易に行うことのできるロボットシステムを構築することができた。特に、DronelO と呼ばれる各ドローンメーカーに特化した指示ソフトウェアを組み込むことができれば、容易に複数台を同時に操ることができると確認できた。また、本プロジェクトを通して、実際に研究発表を行い、国内外に成果を発信することができた<sup>(4-5)</sup>。

### 文 献

- (1) infor, “Are you ready for drone-as-a-service (DaaS)?”, <http://blogs.infor.com/insights/2017/07/are-you-ready-for-drone-as-a-service-daas.html>, July, 2017. (Accessed in Feb. 5, 2018)
- (2) D. C'amara, “Cavalry to the rescue: Drones fleet to help rescuers operations over disasters scenarios,” in *Antenna Measurements & Applications (CAMA), 2014 IEEE Conference on*. IEEE, 2014, pp. 1–4.
- (3) [3] N. Ando, T. Suehiro, and T. Kotoku, “A software platform for component based rt-system development: Openrtm-aist,” in *International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots*. Springer, 2008, pp. 87–98.
- (4) Yuichi Yaguchi, Yoshiaki Nitta, Satoshi Ishizaka, Tomohiro Tannai, Takaaki Mamiya, Keitaro Naruse, Shuzo Nakano, “Formation control for different maker drones from a game pad”, RO-MAN 2017, pp. 1373-1378, August, 2017.
- (5) 矢口勇一, 新田喜章, 石坂論, 丹内智博, 間宮隆瑛, 成瀬継太郎, 中野修三, “異種ドローンによる複数台同時制御のための RT コンポーネント”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017, pp. 2A2-J11, 2017.



## 3.4. D2: Research and Development of Doronet

### - Drone Network Connected by Cables -

University of Aizu Ryuichi Oka and Aizu Lab Keisuke Hata

Abstract: We proposed a new type of drone called Dronet which is connected by a cable. The dynamical model of a dronet composed of two drones is shown and the stability control method of a dronet is also proposed based on PID control. We showed simulation results of many types of dronets. We made hardware of dronet. We tested light of the dronet. We could confirm that the hardware worked well in flight under the several situations, and the correctness of the proposed stability control.

#### 1. Introduction

We proposed a new type of drone called "Dronet." A dronet is composed of many drones. Each drone of a dronet is connected by cables with neighboring drones. Drones of a dronet are taking distributed control for stabilizing the dronet and reaching the target place. The flight for reaching a target place is realized by stabilization of a dronet against a virtual and external force additionally introduced. A dronet can realize new functions which are not realized by a group of conventional drones.

Two types of dronet are proposed, that is, a dronet with a power supply cable from the ground, and a dronet without power supply from the ground. The latter type of dronet has drones which are used for only carrying batteries. Both types of dronet are robust against external forces like the wind for capturing video data of scene by cameras, and able to carry a heavy object by summing up payload of many drones.

A drone with a cable for supplying power from the ground is able to stay in the air for a long time. Therefore, the dronet with line shape can enter the internal space of buildings or bridges so that cameras or laser sensors can work for a long time in the space for obtaining necessary sensor data.

The sub-images indicate the simulations of dronet motion: 1) doronet carrying an object, 2) dronet with a broken drone, 3) dronet with line shape. A hardware under construction is also shown.

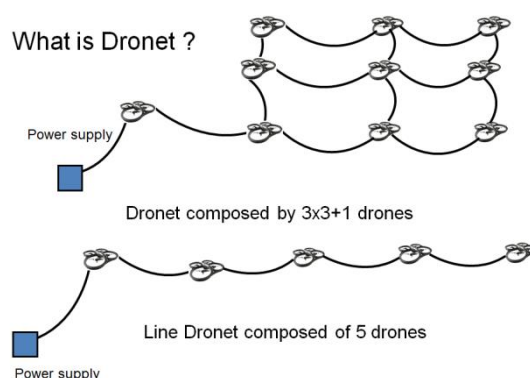
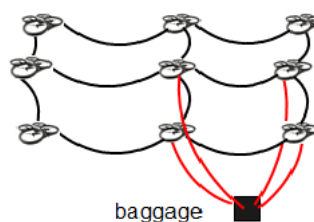


Fig. 1 Two topologies of drone network of dronet with electric power supplied from the ground.

#### Dronet without no power cable from the ground



Some drones supply power to rest of drones in return

Fig. 2 A Dronet without electric power supplied from the ground and carry a baggage.

#### 2. Net structure of Dronet of its distributed control method

A doronet is composed of multiple drones and each pairs of drones is connected by a cable with a constant length. Any type

of topology is possible to determine the network structure of a dronet. Inside of a cable two kinds of lines is implemented, namely, light cable for realizing information communication and electric power cable to be supplied from the ground.

A cable has weight so that its shape takes a form called catenary curve. Then we define a type of catenary curve as stable state. A stable state is represented by a pair of angle determined by horizontal line of connected two drones and the catenary curve of a cable. The angle can be easily measured by using conventional two joint devise with angle sensor or joystick or detection a mark on the cable by a camera sensor. Two angles for a pair of drones can be determined for defining a stable state of the pair. Two angles become same in the case of two drones are holding the same height and taking the same weight, while they are different in the case that they are holding different heights or different weights. If each drone of a pair takes the value of angle parameter, whether they are same or different, determined in advance, the pair is in the stable state. In the stable state of a pair, the distance between drones of a pair becomes constant. Assuming two drones of a pair have the same weight and the stable state is determined by horizontal position. If the distance between two drones of a pair becomes smaller than a fixed length which determined by a stable state, the angles become larger than a fixed value of stable state. We can also consider the opposite case. In order to maintain the stable state of a pair of drones, we need to real-timely control each drone based on dynamical system of dronet. A dronet has many drones connected by cables, therefore the control mechanism becomes distributed control system. The analysis of the distributed control system is not well investigated. Relaxation method could be suitable to investigate it.

On the other hand, we can consider tension of cable, so that tension-based analysis is possible, however here we do not discuss about it.

## 2.1 Dynamical system between drones

A dronet is composed of more than two drones. Basic dynamical system is simply considered by using a drone composed of two drones. Dynamical system of dronet composed of more than two drones, having arbitrary topology, or having a cable connected with an electric power supply device on the ground, can be formalized by extending the case of a dronet with two drones. Moreover, in order to distribute total weight of luggage load to drones, we need to use additional cables for connecting drones and the luggage. We can assume the case that some drones break down and the drones must to be taken as a kind of luggage. We can consider appropriate

dynamical model for these cases based on the two drones model of a dronet.

Moreover, in order to arrive the target place from the present place, we make an additional angle determined by the three-dimensional distance between the present place and the target place. Then we consider the distance to be shortened and make a virtual force in the 3-dimensional space. The virtual force has three dimensional angles and a constant force size. The virtual force is treated as a noise force added from outside of dronet in the dynamical system.

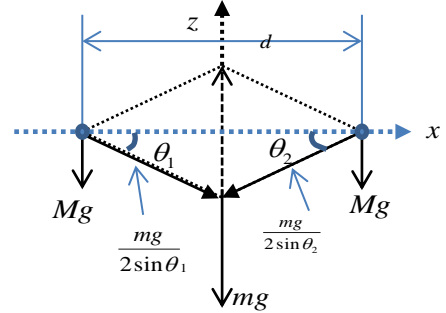


Fig. 3 Definition of stable state of a dronet composed of two drones connected by a cable.

Figure 3 shows the definition of stable state of a dronet with two drones which keep a horizontal position, where  $x$  indicates horizontal axis,  $z$  indicates gravity axis. The circle indicates a drone. The horizontal distance between drones is indicated by  $d$  [cm] and they are connected by a cable with the length  $L$  [cm]. Physically the cable takes its shape of catenary curve. However, we approximate the shape by two straight lines as shown figure 3. In figure 3,  $M, m$  are masses of a drone and a cable, respectively. Angles  $\theta_1, \theta_2$  indicate tangent angles of two drones between a horizontal line and the tangential line at the end of catenary curve, respectively. The stable state of a dronet is defined by setting  $\theta_1, \theta_2$ . Usually the weight of cable at the middle point of cable. Left and right tensions of cable from the middle point are  $mg / (2 \sin \theta_1), mg / (2 \sin \theta_2)$ , respectively. The distance between drones  $d = L \cos \theta_1 (= L \cos \theta_2)$  takes a fixed value for a stable state. Then two forces work for  $x, z$  axes as follows:

$$F_{z\_stable}^1 = Mg + \frac{mg}{2}, F_{x\_stable}^1 = \frac{\cos \theta_1 mg}{2 \sin \theta_1},$$

$$F_{z\_stable}^2 = Mg + \frac{mg}{2}, F_{x\_stable}^2 = \frac{\cos \theta_2 mg}{2 \sin \theta_2}.$$

## 2.2 Control for stabilization

Let us consider the case that left drones of figure 3 takes an angle  $\theta(t)$  between a horizontal line and the cable. Then  $\theta(t)$  is not equal to the stable angle  $\theta_{fixed}$ .  $\theta(t)$  is measured by a sensor. Then we can describe the related forces as follows:

$$F_z^1(t) = Mg + \frac{mg}{2}, F_x^1(t) = \frac{\cos\theta(t)mg}{2\sin\theta(t)},$$

$$c(t) = (F_z^1(t), F_x^1(t)), F_{fixed} = (F_{z\_stable}^1, F_{x\_stable}^1)$$

In order to stabilize the dronet, we need a force  $c(t)$  which should be generated.

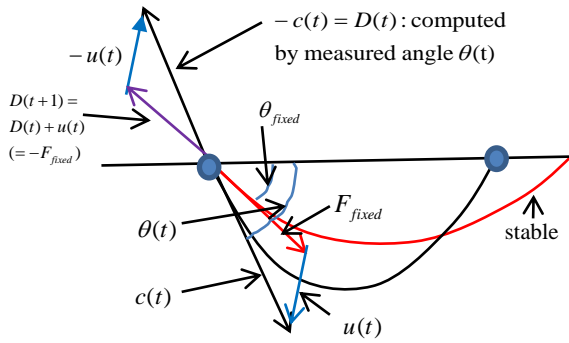


Fig. 4 Dynamical system for stabilizing a dronet with two drones.

Let us consider a control force which stabilize an unstable state of present time  $t$ . In order to obtain the stable state, we consider control for making an ant-force  $-c(t)$  should become a force  $-F_{fixed}$ . Assuming  $u(t) = c(t) - F_{fixed}$ , then an equation  $-c(t) - u(t) = -F_{fixed}$  holds. Therefore, we need to determine  $u(t)$  based on PID control method. Assuming  $e(t) = c(t) - F_{fixed}$  we adopt PID formulation:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

, where  $K_p, K_i, K_d$  are parameters. In figure4, thrust of drone at time  $t$  is represented by  $D(t)(= -c(t))$ , then at time  $t+1$ , it is determined by  $D(t+1) = D(t) + u(t)$ . In order to arrive a given target place, the needed thrust denoted by  $Q(t)$  is determined by,  $D(t+1) = D(t) + u(t) + Q(t)$ .

Hereupon, the additional factor denoted by  $Q(t)$  makes a dronet unstable state as well as external forces like the wind etc.

The above discussion concerns only the case of two-dimensional  $(z, x)$ , a dronet of 2 connected drones and horizontally stable state. In general, a dronet is composed of more than 2 drones and also its network topology is taking arbitrary. Moreover, its flying space is three-dimension,  $(z, x, y)$ -space and also connection between drones is three-dimensional, namely, angles  $\theta$  becomes three-dimensional vector. We need to consider the cases that a stable state with different heights of connected drones and a cable connected between a drone and the battery on the ground. Moreover, we need to model dynamical systems for the cases that baggage weight is distributed to many drones of a dronet, a broken drone of a dronet is treated as a baggage during flying. These dynamical systems can be made by extending the model described in the above. We do not show the models, however we show simulation results using the models.

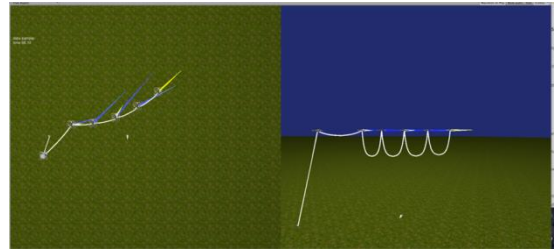


Fig. 5 Line topology dronet with a cable connected to the electric power supply of the ground

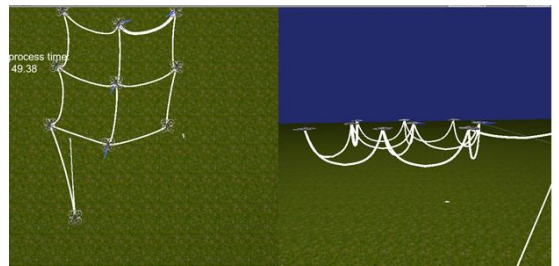


Fig. 6 A dronet with  $3 \times 3$  topology of drones and with a cable connected to the electric power supply from the ground

We appreciate Mr. Shinjo of Aizu-lab Inc. for implementing hardware of a dronet and simulating behaviors of dronet flying.

## References

- (1) Ryuichi Oka, Keisuke Hata: "Dronet --Drone Network Connected by Cables," Journal of The Society of Instrument and Control Engineer, Vol.56, January, pp.40-43, 2017. (in Japanese) .
- (2) Ryuichi Oka, "Arbitrary network connection of drones and its control method", Patent application, Tokugan-2015-177680 (September 9, 2015).

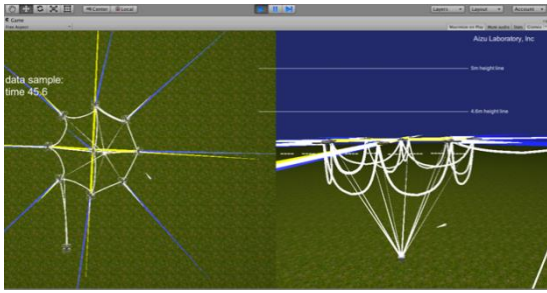


Fig. 7 A dronet carrying a baggage with a cable connected to the electric power supply from the ground

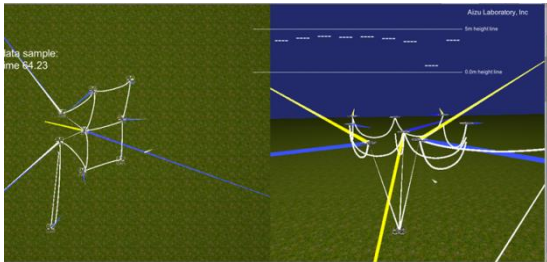


Fig. 8 A dronet carrying a broken drone as a baggage. The dronet has a cable connected to the electric power supply of the ground

## 4. Hardware implementation of a dronet

Hardware of a dronet was made and also test flying was conducted. The topology of the dronet is line-wise and is composed of three drones. The shot of video capturing flight of a dronet is shown in Fig. 9.

## 5. Conclusion

We proposed a new type of drone called Dronet, which is composed of multiple drones each of which is connected by a cable. The dynamical model of a dronet composed of two drones is shown and the stability control method is also proposed. We showed simulation results of many types of dronets and flying situations. We made a hardware of dronet. We tested a dronet flight and confirmed the dronet works in flight under many conditions and correctness of the stability control model.

## Acknowledgement



Fig. 9 Flying of a dronet of line connected three drones.

# 3.5. G: Research and Development of Gesture Controlled Prospective Upward Robots called “Gorone”

University of Aizu   Ryuichi Oka and NJK   Hiroshi Matsumura

**Abstract:** We developed a mobile robot called “Gorone” of which motions are controlled by human gestures . Human gestures are captured by a camera on the Gorone. A family of robots called “Gorone” includes two kinds of prospective upward robots. One kind of Gorone includes two types of robots, namely, wired and non-wired robots, without wheels for automatic self-moving. A non-wired Gorone is located at the suitable place by throwing from a drone or a person, and they measure many kinds of sensor data around it. A wired Gorone can be moved forward and backward by pushing the wire by human force, and continuously measuring many kinds of sensor data during moving time. Both Gorones have stabilization mechanism against arbitrary rotation of the robot. Therefore, a camera sensor and light devices can keep the working position against rotation by external forces. Another kind of Gorone is a robot which has two wheels for self-moving and also is possible to wirelessly communicate between the robot and a computer. Each robot of two kinds has a camera sensor and two light devices and a wireless antenna. The motion of the latter robot can be controlled by wireless and remote commands by human gestures captured by a camera on the robot.

## 1. Introduction

There are two categories of robot, namely, bird’s eyes robot and insect’ eyes (prospective upward) robots. We developed robots that are called “Gorone” which belong to the latter category.

Gorone includes two types of robots. One type of Gorone includes wired and non-wired robots. They have no wheel for automatic self-moving. But stabilization mechanism is implemented against arbitrary rotation of the robot. Therefore, a camera sensor and light devices can keep the working position against rotation by external forces. This kind of robot is described in another paper by H.Matsumura.

Another category Gorone indicates a robot which has two wheels for self-moving, and also is possible to wirelessly communicate between the robot and a computer.

Our paper focuses on this mobile robot.

Conventionally, a mobile robot equipped with a laser, an ultrasonic sensor, a kinetic sensor, etc. detects and keeps track of a stationary person in the vicinity. It can be said that there is rarely a research that a mobile robot equipped with a moving image of a single camera recognizes a gesture of a moving person in the surroundings and operates accordingly. The reason is that there is no technique for recognizing a specific gesture without specifying the start and end times, in a moving background and in an environment with an unspecified number of moving people.

## 2. Controlling a mobile robot by gestures

A mobile robot has one battery for driving two wheels and supplies electric power of two lamps, a camera, and a wireless antenna. The hardware of Gorone is shown by Fig. 1. The motion of the robot can be controlled by wireless and remote commands made by human gestures captured by a camera on the robot. Each gesture corresponds to each action of robot such as right or left straight motion, right or left curving motion, forward or backward motions, lamps on and off, etc.

The camera of Gorone captures real-timely the scene around the Gorone by video and sends a stream of image to a computer by wireless communication channel. Figure 2 shows one frame image of video captured by a camera. The video rate for sending to a computer is 10 or 15 frames per second. The rate also synchronizes with the frame rate of gesture recognition, namely, recognition of gesture can be real-timely obtained at each frame. Therefore, a Gorone accepts frame-wisely a control command.

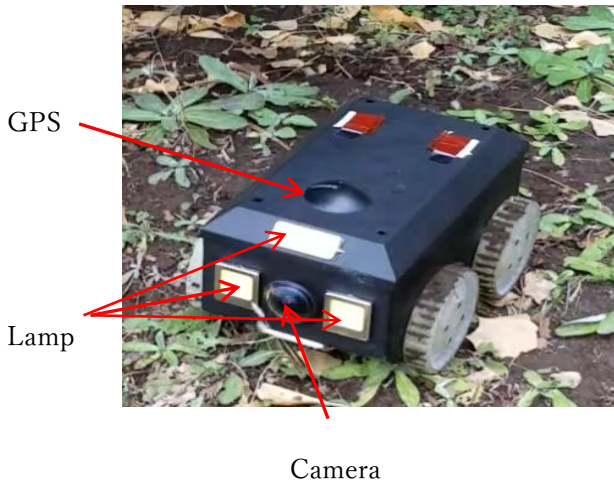


Fig. 1 Insect' eyes mobile robot "Gorone"

### 3. Available gestures for controlling a mobile robot Gorone

The ability of control depends on how and what gestures can be recognized. Considering the real situation in which a mobile robot is moving, we require many functions for recognizing algorithms such as segmentation-free abilities in both in time and space. Moreover, a mobile robot is moving and background in video is moving when a camera is capturing human motions. Occlusion happens such as that other objects are entering into the scene of the camera.



Fig. 2 One shot image of a stream of video captured by a camera on the Gorone.

We have already proposed a matching algorithm called Time-space Continuous Dynamic Programming (TSCDP) <sup>(1),(2)</sup>. for segmentation-free recognition of complex and multiple motions from a video stream. Segmentation-free characteristics work in both time and spatial position so that determination of both starting and

ending times of each motion is not required, and any spatial position of each motion is allowed for recognition.

Moreover, multiple and complex motions in a scene are also recognized. Moving background and occlusion are also allowed. The video captured by a moving camera is allowed. These functions have not been realized by conventional methods including HMM etc. so far.

There are many other sensors using infrared (Kinect etc.) and laser devices, and accelerometer for capturing human motions. However, these functions are out of scope even we use these devices.

The figures are showing several applications of motion recognition including complex and connected Chinese characters and also new functions such as detection of moving cars realized by TSCDP. The realized functions provide actual and ideal solutions which have been required to realize the real world applications of motion recognition technology.

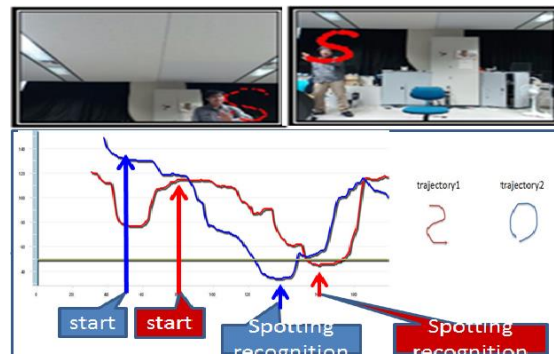


Fig. 3 Left figure shows the position-free situation of gesture performance. Arbitrary position in the scene is allowed to recognize gestures by TSCDP. Right figure shows time-segmentation-free situation. Any time for starting and ending of gesture performance is allowed by TSCDP. Combination of position-free and time-segmentation is also allowed.

## Timely segmentation-free recognition

No requirement for determining of starting and ending time of input motions

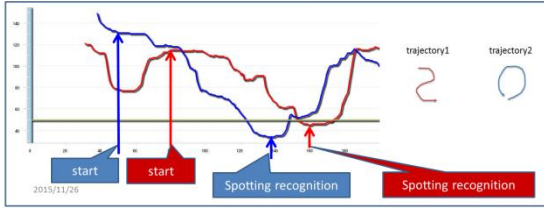


Fig.4 Bottom figure shows how time-segmentation-free recognition becomes possible. TSCDP makes a stream of minimum matching value between an input stream and a reference time-space pattern. The computation of minimum matching value is carried out without any segmentation of input stream. Then a local dip of stream determines both recognition (spotting) time of the reference pattern corresponding to a category and its duration of input pattern which is posteriori determined by back tracing of minimum matching. This mechanism is called spotting matching. Right and bottom parts of Fig. 4 show the different times of spotting recognition

## Robust to occlusion

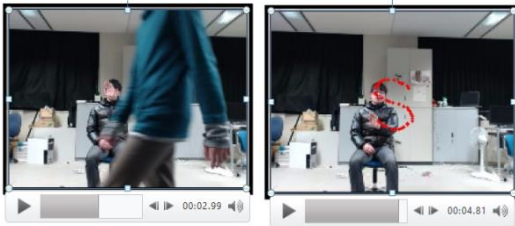


Fig. 5 Occlusion is one of the most difficult problems to be overcome for gesture recognition. If a moving object is entering between a camera and gesture performance, a certain period of video cannot capture the gesture performance. In this situation, the output value of TSCDP becomes larger in proportion to the time length of occlusion. Then if we can detect a local dip of TSCDP output value which is smaller than a threshold value, the gesture is well recognized. This is the way how TSCDP becomes robust against occlusion.

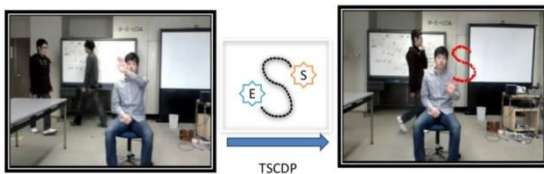


Fig.6 Moving background has no influence to the recognition ability of TSCDP. Moving background occurs frequently in the real world. TSCDP is strongly robust to moving background. Fig. 6 shows that one or two persons are moving at the background of gesture performance. But the back ground motion has no effect for recognition by TSCDP.

At the present time, the gesture instruction is performed by recognition of the four actions instructing the mobile robot Gorone

to turn clockwise, counterclockwise, and switch on and off the light mounted on the robot. Currently, the number of gestures to identify is small, therefore we plan to increase that number in the near future.

If we implement the recognition algorithm with FPGA, etc., we can make gesture recognition inside of the mobile robot "Gorone" without sending video data wirelessly to an outside computer.

## 4. Conclusion

We presented one of the results concerning Gorone project. There is another result of Gorone project which is described in another paper of the proceedings. Our paper only focused on the gesture control of a mobile robot of Gorone.

## Acknowledgement

We very much appreciate members of MediaDrive Division of NJK Corp, Mr. Endow, Mr.Yamashita, and Hongo Mechanic Mr.Tomoda for making hardware and software of Gorone.

## References

- (1) Yuki Niitsuma, Syunpei Torii, Yuichi Yaguchi & Ryuichi Oka: "Time-segmentation and position-free recognition of air-drawn gestures and characters in videos", Multimedia Tools and Applications, An International Journal, ISSN 1380-7501, Volume 75, Number 19, pp.11615—11639 (2016)
- (2) Ryuichi Oka, "Motion Image Processing and Motion Image processing Program," Patent number 5608194, Registered 2014, September 5.



## 3.6. N: ロボット間通信のためのマルチホップ環境構築

会津大学 矢口 勇一 渡部 有隆 成瀬 継太郎

株式会社東日本計算センター 迎田 俊二 伊藤 盛人 松本 美勝

Abstract: This project aimed to apply multi-hop communication on the multiple robot collaboration using OpenRTM environment. We implemented STP and OLSR on wired or wireless communication, and we developed a visualization tool using OpenRTM to measure how the communication is connected or interrupted. In our experiment, we can analyze the quality of wireless multi-hop communication and the various settings of drone position.

### 1. まえがき

ロボットを実環境で動作させる場合に、ロボット本体の信頼性、安全性は非常に多く議論されているが、一方でロボットを通信で制御する場合にはその通信の精度や性能が問題となる。特に、移動ロボット等の場合は、有線接続による伝送が難しいため、無線による移動体通信によってコマンド伝送を行う必要があるが、同一チャンネル上で複数台の無線機器が存在する場合は輻輳が起きてしまうため、どうしても通信品質の劣化が免れない状況となってしまう。また、一般的に WiFi で使用される 2.4GHz 帯や 5GHz 帯のマイクロ波は回折が起らないため、建物内部や建物を挟んだ裏側に行く場合は通信が途絶えてしまう危険性がある。

本研究では、それらの輻輳や通信の断絶の回避策の一つとして、セルラー通信方式ではなく、マルチホップ通信方式によるロボット間通信を行うことを目的として (Fig. 1)、それらの通信品質を監視する RT コンポーネントや、通信の切り替わり等を可視化することを行った。

### 2. システムデザイン

#### 〈2・1〉 ハードウェア及びソフトウェア構成

本研究におけるマルチホップ通信については、3通りのハードウェア構成を考察する。

- 有線 LAN: 1000BASE-T
- 無線 LAN: WiFi IEEE 802-11b/n/ac 2.4GHz

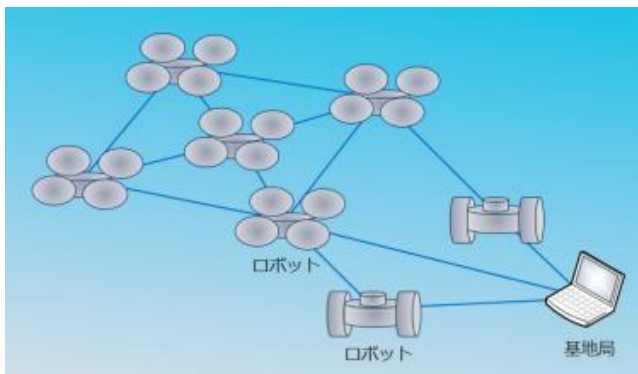


Fig. 1 想定するネットワークデザイン: メッシュネットワーク

- Zigbee: IEEE 802-15.4 2.4GHz  
また、本研究におけるマルチホップ通信を行うためのルーティングプロトコルは以下の物を使うこととする。

- 有線 LAN: STP<sup>(1)</sup> (Spanning Tree Protocol)
- 無線 LAN: OLSR<sup>(2)</sup> (Optimized Link State Routing)
- Zigbee: Zigbee 内ルーティング (FFD)

また、マルチホップ環境を Visualize するために、簡易的なロボットの代替としてのハードウェアを Raspberry Pi 2 Model B を使用、OS は Raspbian Whizzy 及び Jessie を用いて、ルーティングソフトウェア (stpd、olsrd) を動作させ、このルーティングソフトウェアのログを OpenRTM で収集する形で、ルーティングの ON/OFF を表示できるように作成した。

さらに、無線メッシュネットワークの実現とロボットへの適用のために、D1 プロジェクトで用いているドローンへこれらのルーティングシステムを搭載し、通信の ON/OFF、スループットの計測、及び ON/OFF 条件の検出を行うようにした (Fig. 2)。その時に表示するアプリケーションとして、D1 プロジェクトで作成されたマップ UI にネットワーク経路をオーバーレイ表示するコンポーネントを作成し、通信の切り替わりをデモンストレーションできるようにしている (Fig. 3)。

#### 〈2・2〉 OpenRTM によるルーティング表示システム

OpenRTM を用いたルーティング表示システムでは、各ロボットに搭載される Raspberry Pi 上にインストールされるメッシュネットワーク用ルーティングプロトコルデーモンである olsrd の情報をオーバーレイする形で構築している。そ

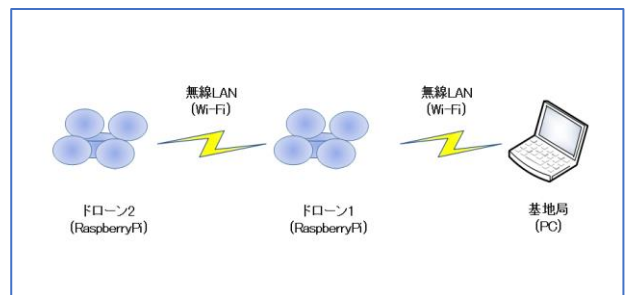


Fig. 2 ドローンを用いたマルチホップの例

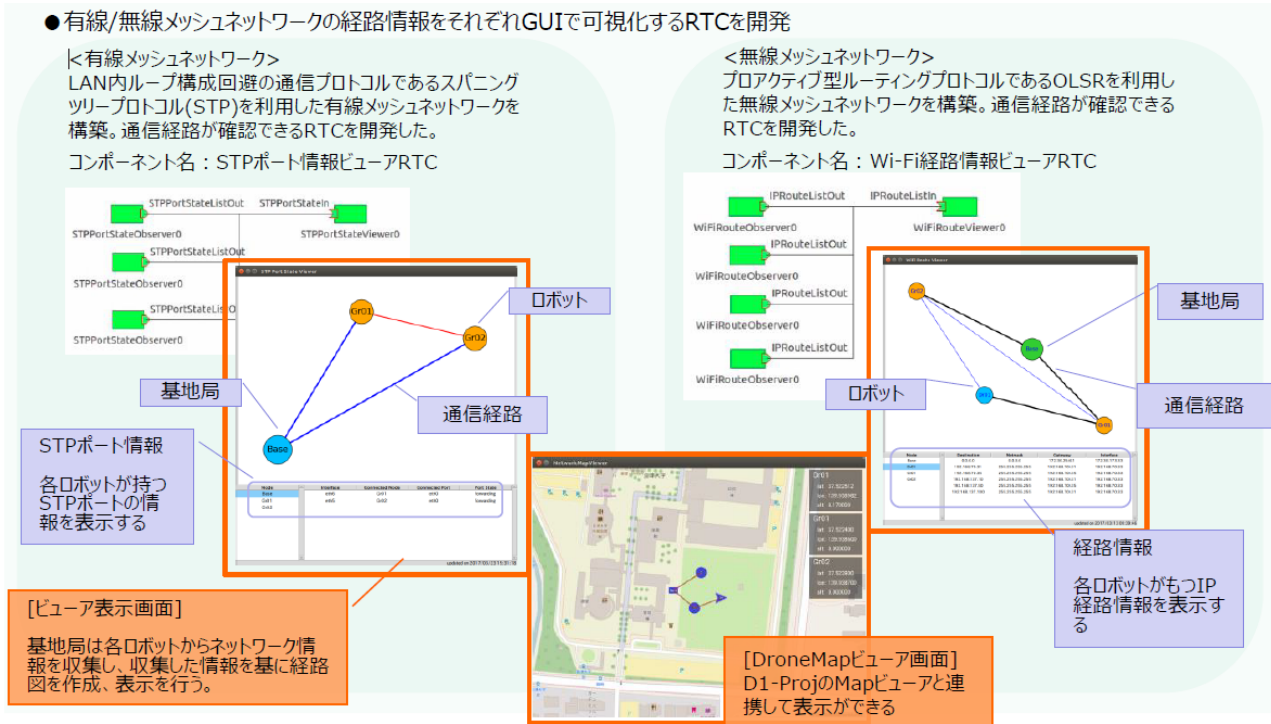


Fig. 3 有線/無線メッシュネットワークの経路情報の表示用 RT コンポーネント

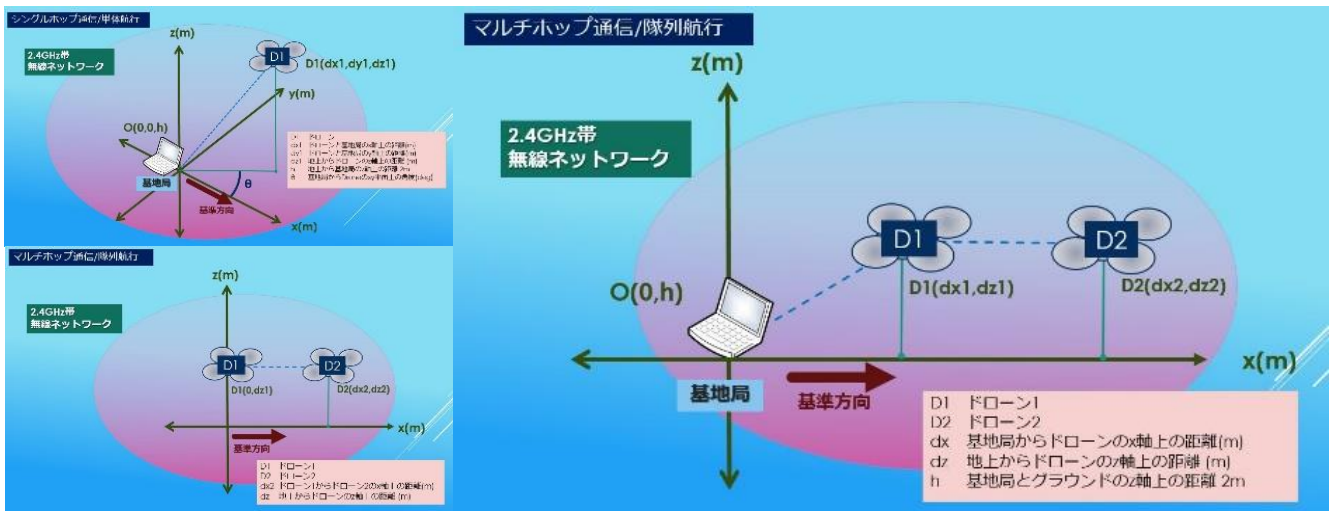


Fig. 4 マルチホップ測定に関する機種アサイン

それぞれ、STPポート情報ビューア、WiFi経路情報ビューアとして構築され、接続されている通信経路と実際に通信が行われている経路を表示可能とした (Fig. 3)。しかしながら、この時点で、Zigbeeの通信においては、OpenRTM化することが不可能であったため、本研究のハードウェア候補からは外れている。

### 3. マルチホップ通信の検証

#### 〈3・1〉 有線マルチホップ通信の検証

有線マルチホップでは、Raspberry Pi 2 Model B を用いて、実際にネットワークケーブルを着脱する形で検証を行い、正しく動作していることが確認された。しかしながら、通信

の途絶に関わる再ルーティングでは、若干の再計算による通信断絶時間の延長があるため、OpenRTMでのロボット構築ではこの点を考慮する必要がある。

#### 〈3・2〉 無線マルチホップ通信の検証

無線マルチホップ通信については、有線マルチホップと異なり、回折や反射等に起因する通信の輻輳や電波強度に関するアンテナの感度抑圧、機体セッティングによる遮蔽等、様々な要因があるため、ただ距離を稼げばルーティングの変更が行われるわけではない。そのため、無線マルチホップの検証では、通信のスループットに着目した機体ポジションの構成の比較を行う。

Fig. 4 は実際のドローンを用いたマルチホップ通信の形

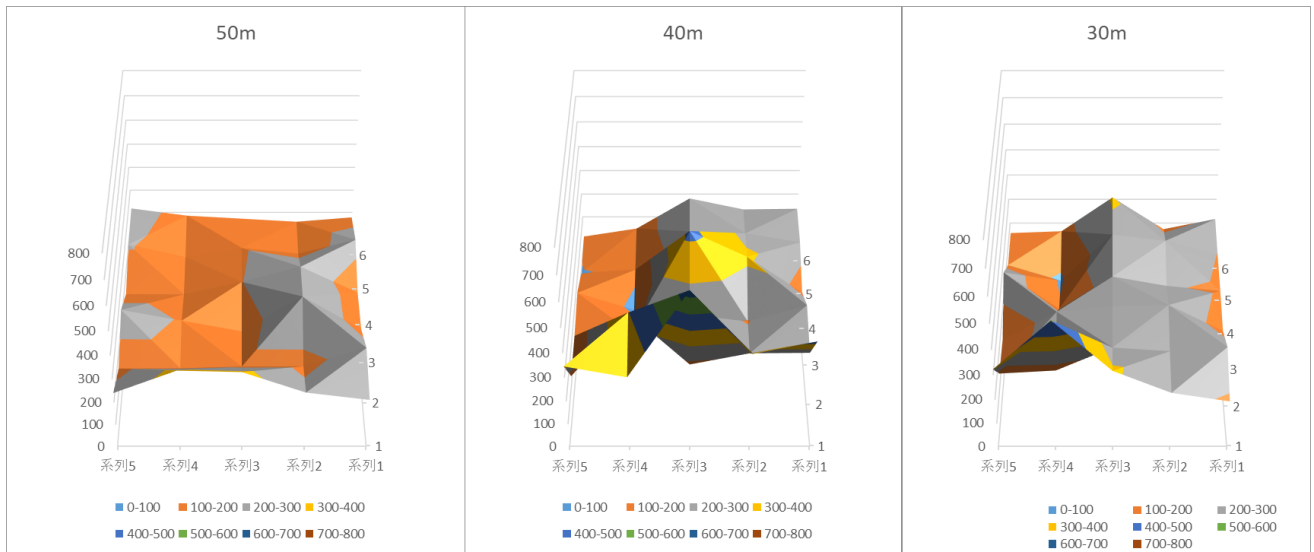


Fig. 5 地上局対ドローン間通信におけるスループットの変化

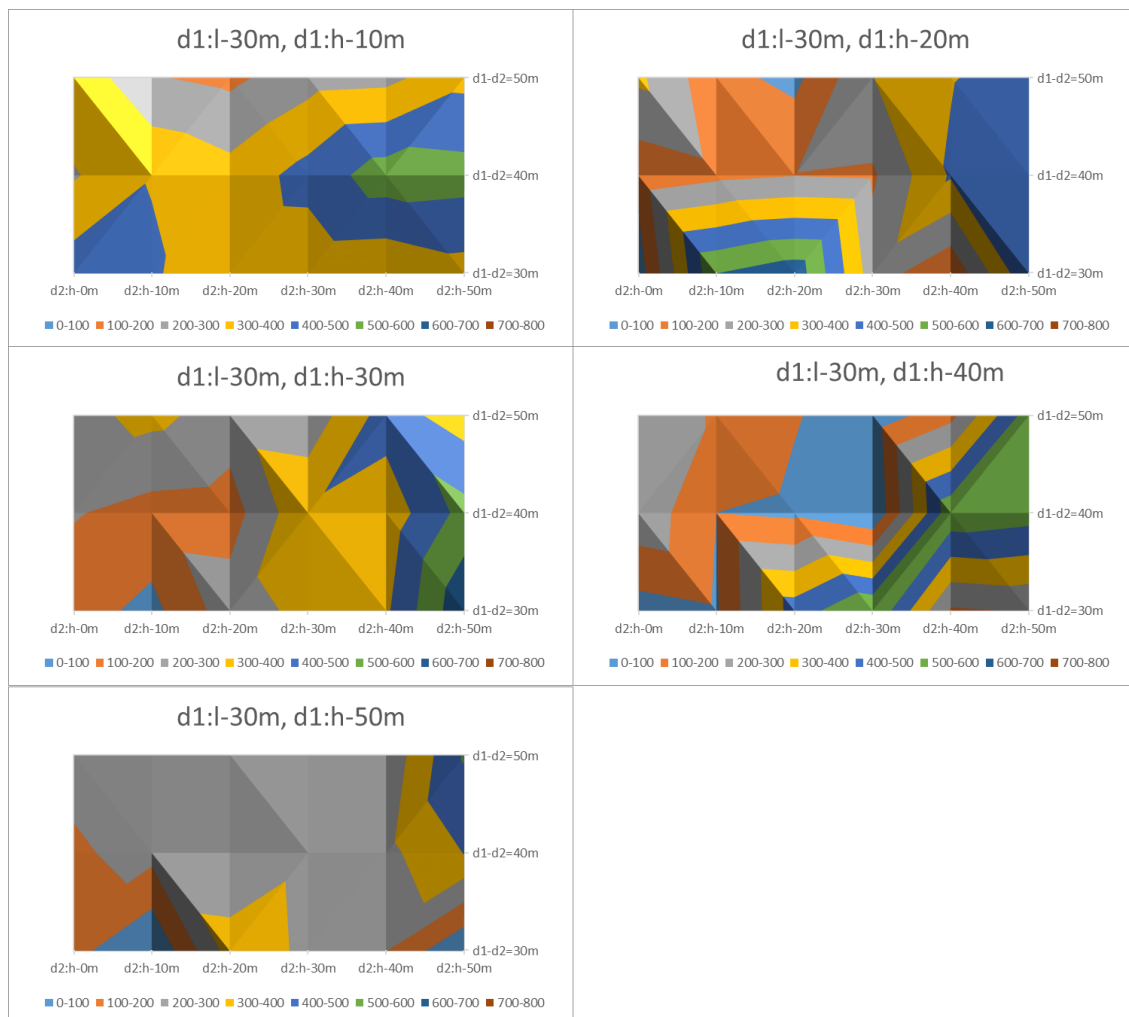


Fig. 6 ドローン対ドローン間通信におけるスループットの比較

であるが、地上局（固定）からドローン、ドローン間通信、また、それを繋いだマルチホップ通信の 3 パターンが存在することになる。これらのパターンの中で、どのようなドローンのポジショニングがよく通信が導通するのかをテスト

を行った。

さらに、Fig. 4 の右図に代表されるようなマルチホップの時に、地上局とドローンとのルーティングの切り替わりが起こるかどうか、その中で OpenRTM の信号の伝送が正確

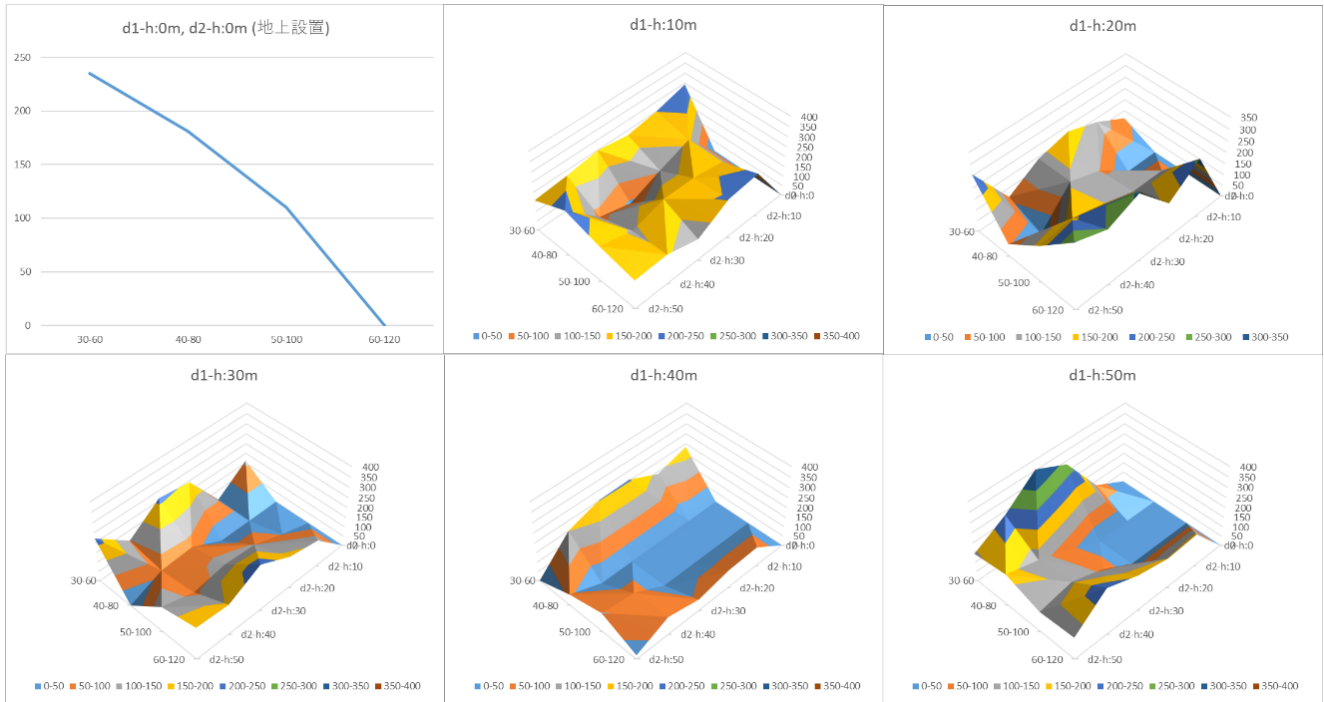


Fig. 7 マルチホップ通信におけるスループットの比較

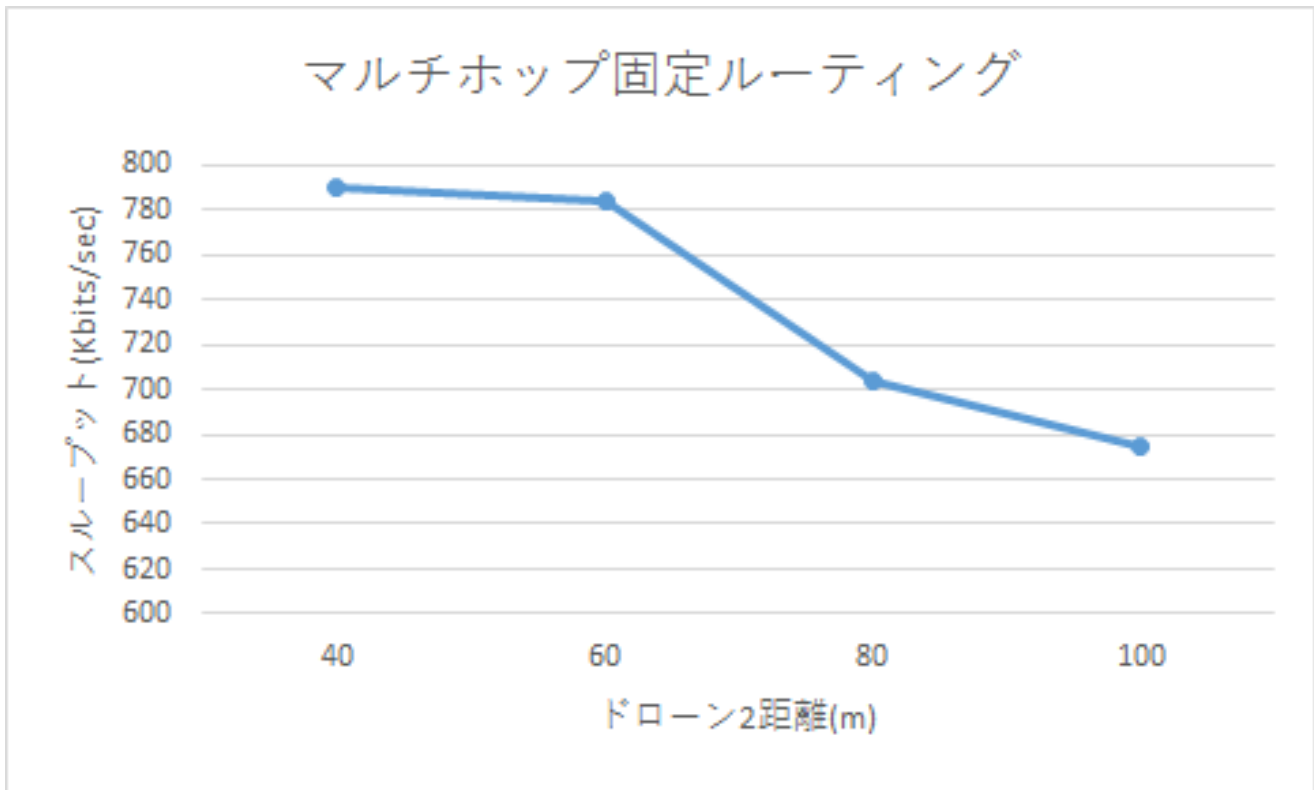


Fig. 8 マルチホップ固定ルーティング時のスループット

に行われるのかどうかの検証も併せて行った。

### 〈3・2・1〉 地上局対ドローンの通信検証

地上局対ドローン間通信のスループットの変化を Fig. 5 に示す。Fig. 5 の中で注目すべき点は、地上局から近い辺り

の通信は本来はスループットが高く、遠くなるにつれて低くなると思われるが、この中には適正距離がある模様で、20～30m 離れた位置の方がスループットが高くなる場合が多い。距離と併せて、地上局とドローンの角度が大きくなると、スループットが落ちるという傾向が発生している。

### 〈3・2・2〉 ドローン対ドローンの通信検証

空中で飛翔するドローン間の通信におけるスループットの計測を Fig. 6 に記す。空中で飛翔するドローン間では、一般的にグラウンドでの電波の反射が少ない場合にスループットが上昇する傾向があるが、本実験で用いた機体の構成が、ドローンの上部方向に強く電波を発生し、下部方向は機体のプレートに遮蔽されるという特徴があったため、平行ないし 10m 程度の差の部分では比較的スループットが安定するという結果が得られている。特に、d1 ポジションが 40m、d2 ポジションが 40m~50m の高さにある場合に非常に良好なスループットが得られている。

### 〈3・2・3〉 マルチホップ通信のスループット検証

3.1.1 及び 3.1.2 を理論的には総合する形でのマルチホップのスループット計測の結果を Fig. 7 に示す。

Fig. 7 で顕著に示されているのは、特にドローンのアンテナからの仰角・俯角が大きく設定されているパターンの場合に通信が行われなくなっていること、遠方に行くと、2 機目がグラウンドに接していると導通しないケースが多いこと、さらに、2 機合計で 120m まで遠くに飛ばしてもそこそこのスループットが得られているということがわかる。当初、ドローンの限界距離を 100m として考えて設計していたが、シングルホップで 150m 程度、マルチホップでも 200m の距離までドローンを遠方に飛ばしても導通することを確認している。

### 〈3・2・4〉 マルチホップ通信の固定・自律ルーティングでの通信検証

Fig. 8 及び Table 1 はマルチホップ固定ルーティング時のスループットとシングルホップとの比較である。シングルホップは間に何も挟まず、通信規格も高速な通信規格 (802.11n) が適用されているため、スループットはメガオーダーとなるが、今回のマルチホップ固定ルーティングでは、ルーティング時の仕様により、低速な通信規格 (802.11b) しか使用できずに結果的にスループットが大幅に下がっている。また、Table 2、3 では、動的切り替えを行った場合における通信途絶時間を表示しているが、内部のルーティング切替及び RTC 通信の切り替えで全て 20 秒近くの途絶があることが確認されている。そのため、自律制御を組み込んだドローン等では通信が戻るまで待つことで利用は可能だが、そうではないロボットでは暴走する恐れがあることが分かった。

## 4. むすび

本プロジェクトでは、ロボットで使用できると思われるマルチホップ通信技術を OpenRTM を用いて可視化し、実際

のロボットでの通信に利用できるのかを検証した。その結果、有線マルチホップについては正しく通信路が反映され、マルチホップ通信が行えている。無線マルチホップをドローンに適用する場合は、伝送の遅延、スループットが低くなること、切り替えの時に 20 秒程度のコネクションエラーが発生すること等、問題が非常に多いが、それらを高速に処理できるようにすることで、実際に使用可能なマルチホップ通信の技術やアルゴリズム生成に向かえると期待する。

Table 1 データポート通信のスループット計測結果

No	経路	データサイズ (Kbits)	通信時間 (sec)	スループット (Kbits/sec)
1	Single: 30m	80	0.023	3,478
2	Multi:30m (基地局-D1-D2)		0.114	701

Table 2 single-multihop 切替時の通信途絶時間

No	RTC 全体途絶時間(sec)	内部切替時間 (sec)	RTC 切替時間 (sec)
1	9sec	4sec	5sec
2	20sec	11sec	9sec

Table 3 multihop-single 切替時の通信途絶時間

No	RTC 全体途絶時間(sec)	内部切替時間 (sec)	RTC 切替時間 (sec)
1	20sec	11sec	9sec
2	27sec	13sec	14sec

## 文 献

- (1) Perlman, Radia. "An Algorithm for Distributed Computation of a Spanning Tree in an Extended LAN". ACM SIGCOMM Computer Communication Review. Vol.15, No. 4, pp. 44-53, 1985. doi:10.1145/318951.319004.
- (2) Abolhasan, Mehran, Brett Hagelstein, and JC-P. Wang. "Real-world performance of current proactive multi-hop mesh protocols." Communications, 2009. APCC 2009. 15th Asia-Pacific Conference on. IEEE, 2009. pp. 1-4.

## 3.7. II: 移動ロボットのための画像処理による環境状況の可視化

会津大学 矢口 勇一 成瀬 継太郎

株式会社東日本計算センター 鈴木 教文 佐藤 隆司 吉田 章彦

Abstract : To operate mobile robot from remote place, visualization of field environment is most important to escape obstacles or grab objects. This development is applicable vision-based field visualization for mobile robot such as 8-direction camera matting, easy bird's view map construction and instantaneous 3D reconstruction from several images with joint module of these 3D surfaces to express 3D fields.

### 1. はじめに

移動ロボットを遠隔操作するためには、少なくとも1つのカメラ以上のセンサが必要であること、及びそれらのデータが中断なく操作者に供給され、操作者がこれを目視しながらロボットを操作できることが必須である。また、この『操作できる』という要求は、単にカメラ画像を見ながら感覚的に操作するだけではなく、地上ロボットであれば地表面の3D形状や障害物などを捕捉し、安全に走行できることが要求される。また、空中ロボットであれば、空中姿勢の制御や、飛翔方向に対する障害物等の捕捉、及び被写体等のターゲットが確実に撮影できることが要求される。一方で、ロボットの安定性という点、姿勢制御の安定性や物理的な特性(重心位置等)による安定性などを指すことが一般的であり、遠隔操作における操作者に対する可視化に対する安定性については研究されている<sup>(1)(2)</sup>ものの、RT-Middlewareのコンポーネントとしては聊か以上に乏しいものがある。

本研究は、クローラ型ロボット『スパイダ』や災害対応大型双腕ロボット『援竜』の遠隔操作に資するための画像処理コンポーネントを作成することから始められ、最終的に複数台のロボットを監視・共同利用するための2次元マップの提供までが本研究の目的となる。また、環境の可視化に対して、2次元の画像を展開し、広域的な2次元のマップまたは局所的な3次元のオンタイムによる再構成を目的としている。また、これらの画像処理コンポーネントをOpenRTM-aist<sup>(3)</sup>上から利用できるようにするため、全てのコンポーネントをRTComponentとして作成し、システム化することを提案する。

### 2. 8方向カメラによる俯瞰画像生成

スパイダには当初8方向に魚眼カメラを装着して、スパイダの上部から俯瞰的に見た2D局所エリアマッピングを行うことで、連続的に高さに変化するフィールドでスパイダを動作させることを考察して、8方向カメラによる俯瞰画像生成を行うコンポーネントを試作した。これは、魚眼カ

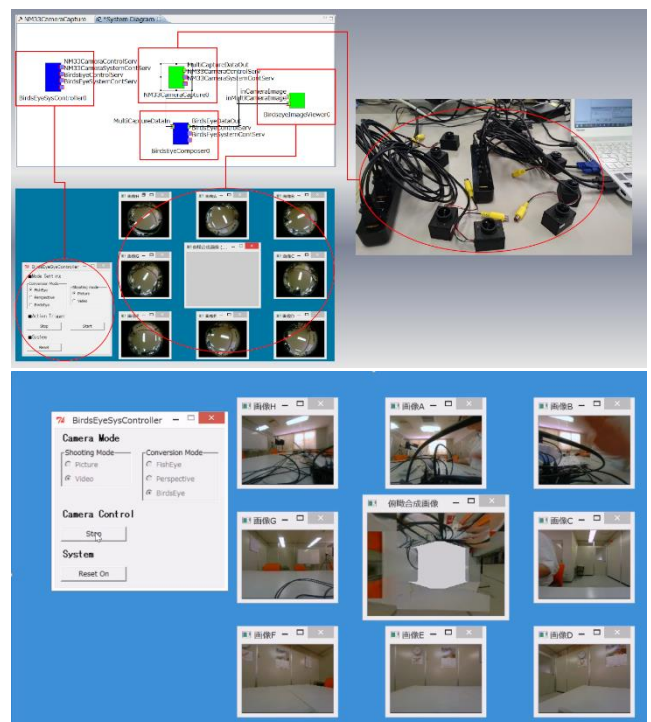


Fig. 1 スパイダで用いる8方向カメラによる俯瞰画像生成 RTC

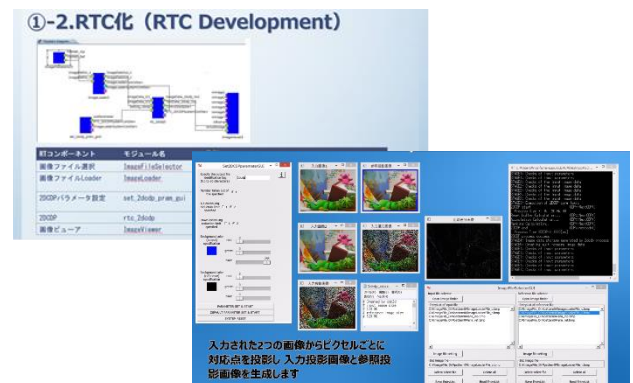


Fig. 2 2DCDP アルゴリズムの RTC 化とその結果

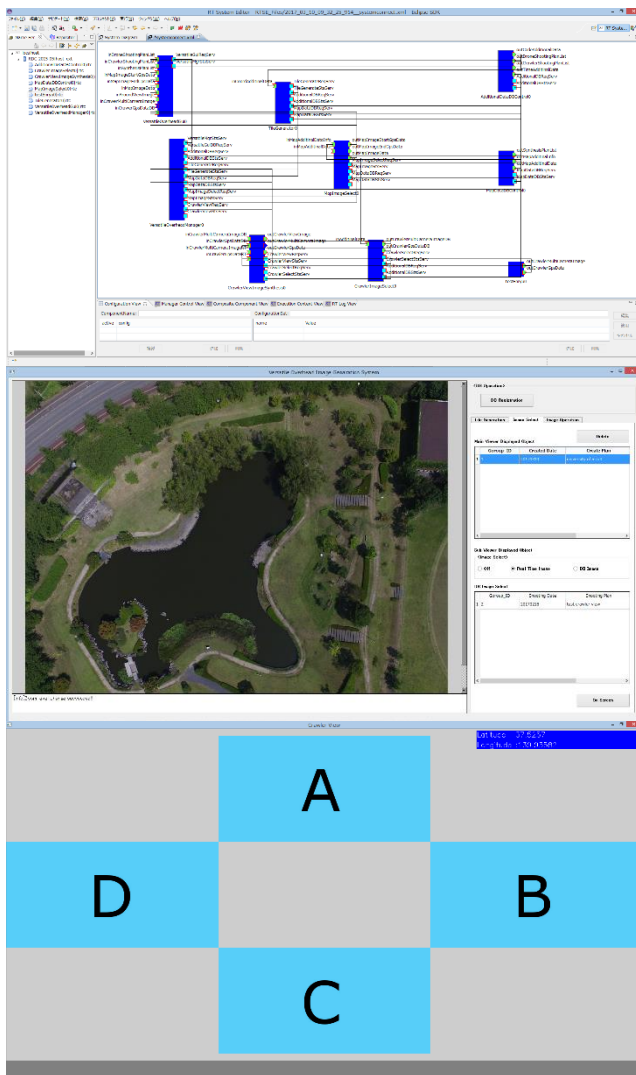


Fig. 3 汎用的な俯瞰画像生成システム RTC

メラで上部から見た 2 次元画像へとカメラ校正を行いマッピングする方法を取る。

この研究については、8 方向カメラを同時に動作させて、それらを各別々なウィンドウにて表示し、並べることで大体の俯瞰的な見え方ができるようなシステムを構築することができている。一方で、詳細なカメラのキャリブレーションや、スパイダの仕様変更に合わせて、最終的な 8 方向カメラシステムは 4 章の汎用的な俯瞰画像生成システムの一部品として構築されることとなった。2015 年度における成果としての Fig. 1 に見られるシステムの形にとどまっている。

### 3. 2 次元連続 DP 法による対象オブジェクトの認識

2015 年度は、矢口、岡、井関の持つ特許<sup>(4)</sup>である 2 次元連続 DP 法を用いた画像のマッチングの RT Component も作成した。これは、今後のオンタイムまたはリアルタイムでの 3D 環境マップ復元を睨んだ試みである。2 画像間のパターンを正確にマッチングできれば、ステレオ視等の応用につながる

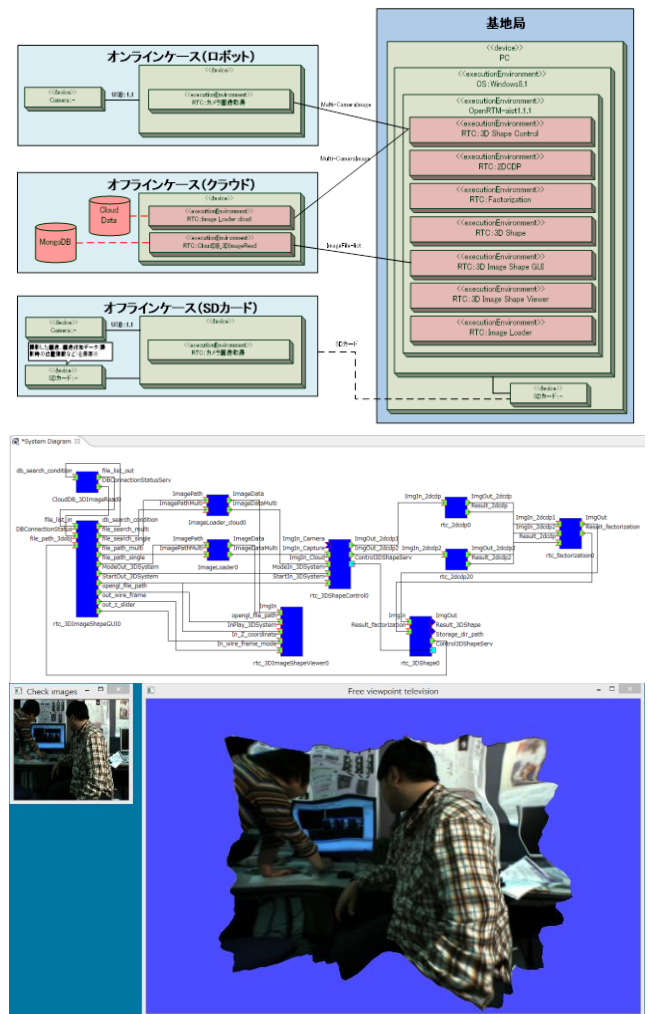


Fig. 4 2DCDP を用いた連続的な 3D 画像生成システム RTC

ためである。2 次元連続 DP 法は矢口ら<sup>(5)</sup>の論文で既に実装されているものであるので、これを利用して RT コンポーネント化した (Fig. 2)。

### 4. 汎用的な俯瞰画像生成システムの構築

2016 年度は、先の 8 方向カメラの俯瞰画像システムと、2DCDP システムをアップグレードする形で、ロボットの遠隔操縦を助けるためのポジショニング及び 3D 知覚を与えるシステムを構築した。まずは汎用的な俯瞰画像生成システムの構築について説明する。実際に俯瞰画像を利用するシーンを考慮すると、自動車の車庫入れ等と同様に死角を可視化する目的で使用される周辺環境の俯瞰視界の確保の他に、ドローンの UTM 等、広域ないし作業領域の全景を把握しながら、鳥瞰視点における 2 次元の操作性を担保する俯瞰視界の確保と 2 通りのケースが存在する。そのため、双方の俯瞰視界を確保するために、汎用的な俯瞰画像生成システムとして、2016 年度の RTC を拡張し、ドローン等から取得される画像をタイルマップ状にして Google Maps の衛星写真マップのようにして表示をするシステムを追加した。これによって、先に構築している 8 方向マップと共に、

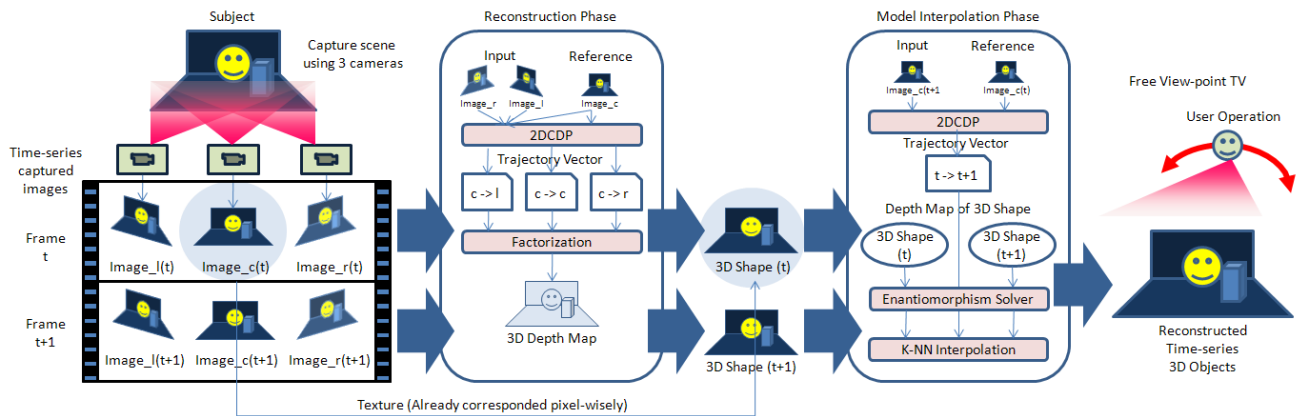


Fig. 5 2DCDPを用いた連続的な3D奥行きを用いるフレーム画像生成のプロセス

鳥瞰視点をロボットが得ることができるようになった (Fig. 3). なお、本システムで使用されるコンポーネント数は8である。

### 5. 連続的な3D奥行きを持つフレーム画像生成

続いて、2015年度の2DCDPコンポーネントを拡張した、3D奥行きを持つフレーム画像生成システムを構築した。これは、矢口ら<sup>(6)</sup>の論文で構築されている、3台のカメラ画像を取得し、それらに対して2DCDPを用いることで得られた画像対応情報を用いて、因子分解法 (Factorization)<sup>(7)</sup>によって3次元の奥行きを復元する方法である (Fig. 5)。

平成27年度では、2DCDPコンポーネントを作成したので、それを、メモリやCPU速度を考慮した高性能なPCに導入し、3つのカメラ入力、2つの2DCDPコンポーネントに加え、Factorization RTC、3D Shape RTCなど、10のコンポーネントを接続して、120x80のサイズの画像に対して1FPS程度の速度で更新する連続的な3D奥行きを持つフレーム画像生成システムを構築できた (Fig. 4)。

### 6. 遠隔操作のためのマッピングプロットユーザーインターフェースの構築

2017年度では、平成28年度に構築した2つのコンポーネントを、さらにロボットプロジェクトの全体シナリオに即した形でアップグレードすることを行い、IIプロジェクト全体の最終的な成果とした。4章で記述した汎用的な俯瞰画像生成システムの情報に加えて、2Dロボットマッピングツールとして、複数台のロボットの状態表示を行うコンポーネント、クラウドにアップロードされたデータを再表示するコンポーネント等を追加して、より実践的に使えるツールとして構成した。また、各ロボットの情報を表示させるためのデータ変換用コンポーネントを作成し、有機的にデータの受け渡しを可能とした (Table 1)。ユーザーインターフェースはより実践的に使いやすいインターフェースとして洗練された。なお、前年度の資源を含めながら、実際に使用する際に起動する本システムのコンポーネント数は11以上となり、連携するものによっては非常に多くのコンポーネント

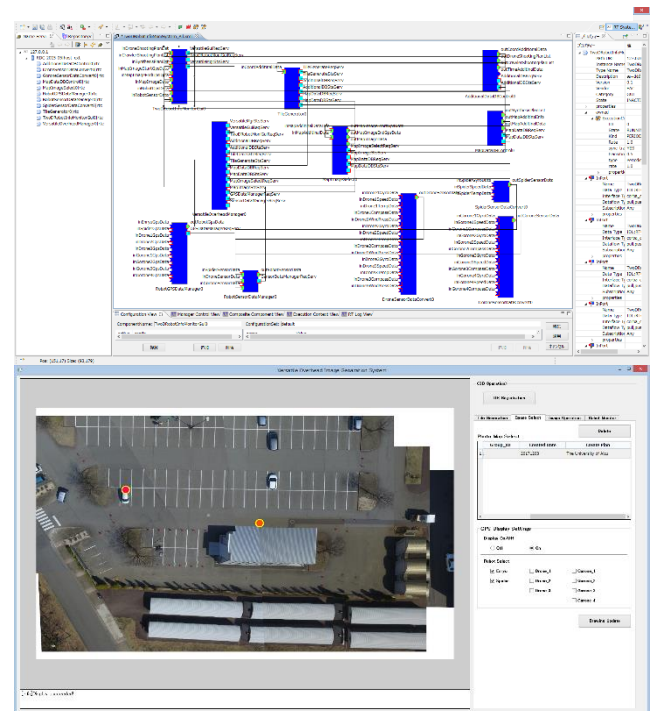


Fig. 6 遠隔操作のための俯瞰画像とロボットの位置姿勢表示 RTC

を扱うシステムとなった (Fig. 6)。

### 7. 3D俯瞰画像生成のための3D奥行き画像の結合

平成29年度ではさらに前年度の連続的な3D奥行きを持つフレーム画像生成を用いて、溝江ら<sup>(8)</sup>によって提案されている3D俯瞰画像生成のコンポーネントを構築した。前年度の3D奥行きを持つフレーム画像生成のコンポーネント群に加えて、ピクセルの対応関係から2つのフレーム間の貼り合わせを計算し、3D奥行きの値を補正しながら、連続的に生成された奥行き画像を貼り合わせて地形図としていくものである。溝江らの方法では、貼り合わせ方法としてモデルの並進と回転、鏡像を加味した6点の変換行列を、RANSAC法を用いて準最適解を計算し、貼り合わせていくが、今回はPoint Cloud Library内に含まれている最小二乗法を用いた準



Table 1 2D ロボット情報モニタシステム RTC 群の構成

No	コンポーネント名称	h28/h29 開発	機能概要
①	2Dロボット情報モニタGUI	h29	本システムのGUI 写真地図表示や災害対応ロボット現在地/センサ情報表示、操作キー押下状態などを提供する
②	多目的俯瞰画像合成マネージャ	h29	(1)GUIからのキーイベントを各コンポーネントへ指示を出す (2)本システムの動作状態を管理する
③	画像付加データDB制御	h28	画像付加データのDB登録や、データの読み出しなどを行う
④	地図データDB制御	h28	地図データのDB登録や、データの読み出しなどを行う
⑤	タイル生成	h28	(1)画像付加データDBから取得したドローン撮影画像からタイル画像を生成する (2)生成したタイル画像は座標も含めて俯瞰画像データDBへ情報する
⑥	地図画像セレクト	h28	地図データDBから該当するタイル画像を検索し提供する
⑦	ロボットGPSデータ管理	h29	災害対応ロボットから取得したGPSデータをJsonデータに変換し一括して提供する
⑧	ロボットセンサデータ管理	h29	災害対応ロボットから取得した各種センサデータを一括して提供する
⑨	スパイダーセンサデータ変換	h29	スパイダーから取得した速度やGyroなどの各種センサデータをJsonデータに変換し一括して提供する
⑩	ドローンセンサデータ変換	h29	ドローン_1~3から取得した速度やGyroなどの各種センサデータをJsonデータに変換し一括して提供する
⑪	ゴローンセンサデータ変換	h29	ゴローン_1~3から取得した速度やGyroなどの各種センサデータをJsonデータに変換し一括して提供する

最適解の計算を用いて貼り合わせた。結果として、本コンポーネントの 3D 形状の貼り合わせは達成されてはいるが、2DCDP を用いた 3D 奥行画像の生成部分にノイズが多く含まれるため、モデルとして正確ではない状態である (Fig. 7)。しかしながら、本システムとしては、今後ステレオ視や Lidar による 3D 点群モデル、Wide Baseline Stereo 等のモデルを集約するためのシステムとして、利活用することができると考えられる。

## 8. 遠隔操縦のための複数台カメラ集約コンポーネント

最後に、直接的に RT Component として作成してはいないが、ロボットの操作系に非常に有効と考えられる、ストリーム映像の集約を行うことのできるソフトウェアを開発した。OpenCV で生成された画像群を OpenRTM の通信でそのまま伝送することは、通信を逼迫するだけではなく、伝送路によっては 2 秒以上の遅延を発生させるため、遠隔操縦には向かない。そのため、GStreamer を用いた UDP 伝送によって、0.3 秒程度の遅延に抑えることを考慮して、そうして

Table 2 3D マップ生成システム RTC 群の構成

コンポーネント名称	機能概要
3DMapGenerativeGUI RTC	本システムを操作するための制御画面を管理するコンポーネント
3DMapGenerativeControl RTC	3D マップ生成に必要な情報の管理、及び各コンポーネントへの指示を出すコンポーネント
Factorization RTC	因子分解法のコアロジックを実装したコンポーネント また、同時に軌跡データファイルの保存も行います
3DMapFindCorrespondence RTC	2つの軌跡データファイルより対応点が一致するピクセルを検出し、座標を出力するコンポーネント
3DMapCalcAffineTransform RTC	2つの対応点の座標からどれだけ移動しているか、アフィン変換計算を行うコンポーネント
3DMapVRMLConverter RTC	3D オブジェクトから VRML 形式へ変換するコンポーネント アフィン変換計算結果ファイルを入力することで、移動量を織り込んだ VRML へ変換します

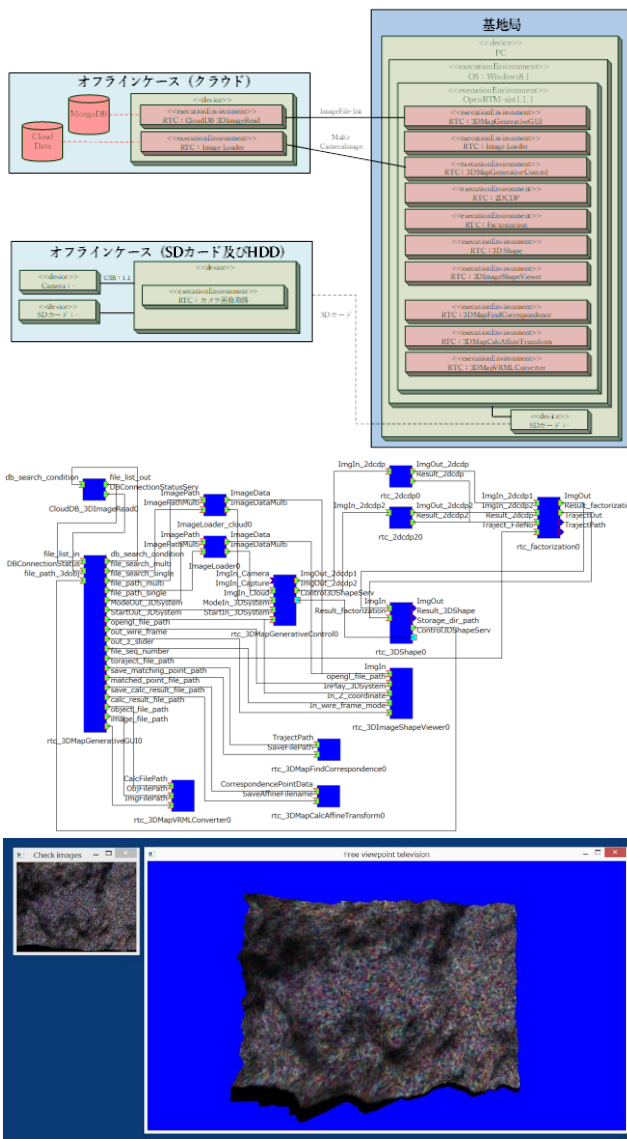


Fig. 7 2DCDPを用いた3Dマップ生成システム

伝送されたストリーム映像を、9つまで集約できるソフトウェアをPythonベースで構築した (Fig. 8).

## 9. まとめ

本研究は、クローラ型ロボット『スパイダ』や災害対応大型双腕ロボット『援竜』の遠隔操縦に資するための画像処理コンポーネントを作成し、2D平面による遠隔操縦用のマップシステム及び3D化した奥行き画像によるマップシステムを構築した。また、遠隔操縦のための複数台カメラの集約コンポーネントを加えて、実際にロボットを遠隔操縦できるように、デモンストレーションにおいても確実に動作できるシステムを構築した。

OpenRTMにおけるこうした画像処理や映像ベースのコンポーネントは非常に少なく、システムとしてまとまった形で提供される例は余りない。今後も、オープンソース等で信頼できる種々のライブラリの組み合わせを用いて、ロボッ

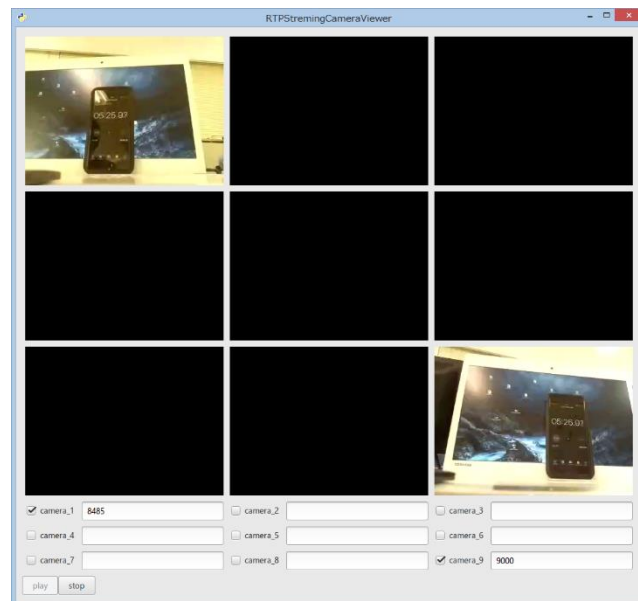


Fig. 8 遠隔操縦のためのカメラ情報集約アプリケーション

トの遠隔操縦や自律制御などに資するコンポーネント群を提供していきたいと考えている。

## 文 献

- (1) Kelly, Alonzo, et al. "Real-time photorealistic virtualized reality interface for remote mobile robot control." The International Journal of Robotics Research 30.3 (2011): 384-404.
- (2) Saitoh, Kensaku, et al. "A 2D-3D integrated interface for mobile robot control using omnidirectional images and 3D geometric models." Proceedings of the 5th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. IEEE Computer Society, 2006.
- (3) Ando, Noriaki, Takashi Suehiro, and Tetsuo Kotoku. "A software platform for component based rt-system development: Openrtm-aist." International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008.
- (4) 岡隆一, 矢口勇一, 井関健太, "画像パターンマッチング装置、画像パターンマッチング方法および画像パターンマッチング用プログラム", 特許第5247481号
- (5) Yaguchi, Yuichi, Kenta Iseki, and Ryuichi Oka. "Full pixel matching between images for non-linear registration of objects." Information and Media Technologies 5.2 (2010): 596-609.
- (6) Yuichi Yaguchi, Takashi Matsuzaki, Yuichi Okuyama, Kazuaki Takahashi, Ryuichi Oka: A Free-viewpoint TV System. MVA 2011: 116-119
- (7) Kanatani, Kenichi, and Yasuyuki Sugaya. "Factorization without factorization: complete recipe." Mem. Fac. Eng. Okayama Univ 38.1&2 (2004): 61-72.
- (8) Shinya Mizoe, Yuichi Yaguchi, Kazuaki Takahashi, Kazuhiro Ota, Ryuichi Oka: Reconstructing 3D Land Surface from a Sequence of Aerial Images. MVA 2011: 365-368

# 3.8. I2: Research and Development for Reconstruction of 3D images from Video Based on Accumulated-Motion-Parallax method and Frontward-Motion-Parallax method

University of Aizu Ryuichi Oka

**Abstract:** We developed new two methods, Accumulated-Motion-Parallax (AMP) method and Frontward-Motion-Parallax (FMP) method, for reconstructing a distance scene from a single video. AMP reconstructs a distance scene of static objects from a single video captured by a camera attached to right/left side of a vehicle. FMP reconstructs a distance scene of static and moving objects captured by a camera attached to head/tail of a vehicle. These two methods are applicable for automatic car driving as a distance sensor or constructing a 3D city map, etc.

## 1. Introduction

There are conventional methods for reconstructing a 3D image from motion image. Multi-stereo method and factorization method are typical ones. Historical motion parallax phenomenon is well known. Human eyes cognize objects in a moving scene faster for nearer objects. Stereo vision is a method for obtaining a distance value of a point of an object based on geometry of two images in scene. There are some methods using directly motion parallax, namely, Epipolar-Plane-Image (EPI) method by M.Yamamoto, R.C. Bolles, etc. However EPI method does not work well so far. Main reasons are 1) detection of motion parallax, 2) computational model for obtaining distance values using extracted motion parallax of 1).

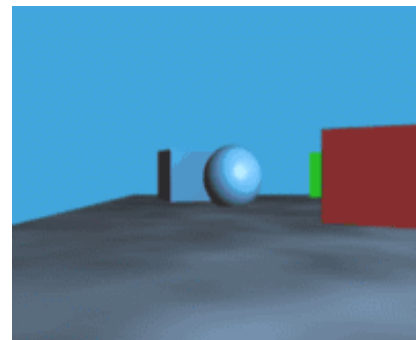
We proposed two methods called Accumulated-Motion-Parallax (AMP) method and Frontward-Motion-Parallax (FMP) method. These two methods works well for extracting static and moving distance scenes from a single video.

## 2. Motion parallax

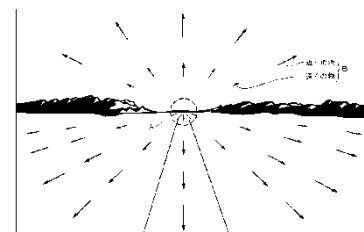
Let us consider two phenomena of motion parallax. The first one is a phenomenon which occurs when a camera moves right direction or left direction as shown in figure 1-(a). Velocities of nearer objects in the moving scene of the camera move faster than those of distant objects. The second one is a phenomenon which

occurs when a camera moves forward/backward direction as shown in figure1-(b). All objects in the scene move on the other hand radially (forward direction of camera motion) or radially (backward direction of camera motion). Velocities of near objects in the moving scene of the camera moves faster than those of distant objects.

Based on these two kinds of motion parallax, we developed two algorithms <sup>(1)(2)(3)</sup> which are described in this paper.



(a) Motion parallax by right or left moving



(b) Motion parallax by forward (or backward) moving

Fig. 1 Two kinds of motion parallax phenomena

### 3. Four camera angles from a moving car

Video showing the two kinds of motion parallax phenomena discussed in the section 2 is easily obtained by cameras on a car (see Fig. 2). Assuming the car goes to the right direction, camera that is attached to both sides of the car captures video showing the motion parallax of figure 1-(a). Video captured by a camera on the front or the tail of the car shows another motion parallax phenomenon of figure 1-(b).

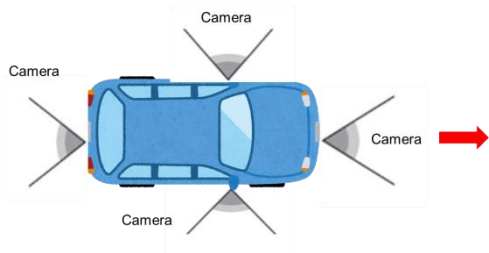


Fig. 2 Four camera angles from a moving car

Table 1 Application fields of two methods

Accumulated Motion Parallax		Camera	
		Moving	Static
Objects	Moving	×	△
	Static	○	×

Frontward Motion Parallax		Camera	
		Moving	Static
Objects	Moving	○	○
	Static	○	×

### 4. Accumulated-Motion-Parallax method

We consider detection of motion parallax of type Fig. 1-(a) from a single video. The video is obtained from a camera attached to right/left side of a vehicle. Then we compare two images of frame image at time  $t$  and a slice image at location  $x_0$  of  $x$ -axis, namely, and  $\{f(x_0, y, t), 1 \leq y \leq Y, 1 \leq t \leq T\}$ . We can see motion parallax of type figure 1-(a), namely, nearer pixel location of object in the slice image corresponds to the longer position from the point  $x_0$ . We extract the correspondence for all pixels of a slice image by using continuous dynamic programming (CDP) and back tracing of matching (see Fig. 5). The application of CDP is to

optimally obtain accumulated motion parallax. Then we can obtain matching pairs between a pixel of a slice image and a pixel of a frame image. The consecutive pixels of a frame image makes a vector filed of motion parallax (see Fig. 6)

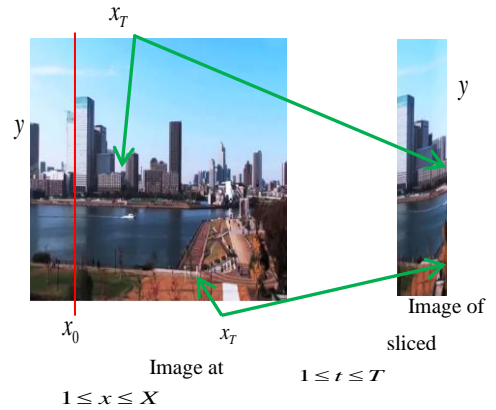


Fig. 3 Motion parallax exists between a frame image and a slice image.

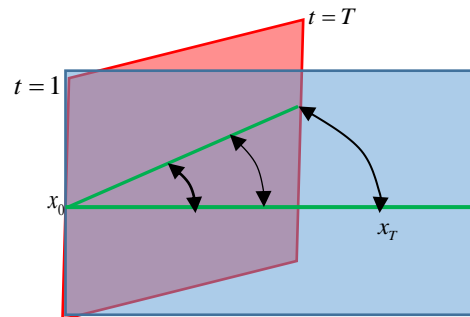


Fig. 4 Application of continuous dynamic programming for matching between a pixel sequence of a slice image and a pixel sequence of a frame image.

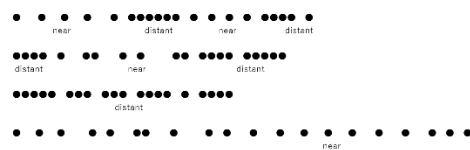
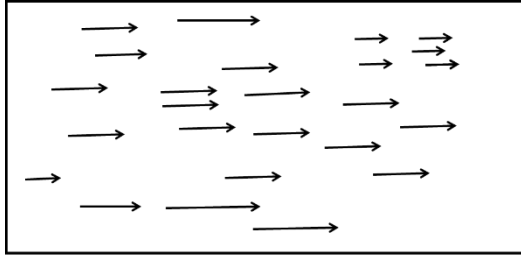


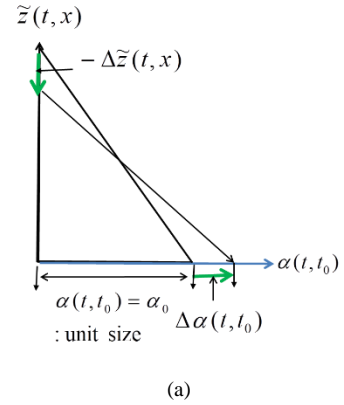
Fig. 5 Back tracing points of the result of CDP. Each interval between two consecutive points makes a motion parallax feature with location, orientation and size in a frame image.



A distribution of amp on a frame image

Fig. 6 Vector field of a frame image representing motion parallax features.

We can assign a distance value to each motion parallax feature or a summation of motion parallax features or average of a set of motion parallax features of a region. Let  $q$  be a scaler value of size of motion parallax feature, and  $\tilde{z}(t, x)$  be a variable of virtual distance corresponding to the motion parallax,  $\alpha_0$  be a unit size corresponding to  $\tilde{z}(t, x)$ , then we can assume the relation  $\Delta\alpha(t, t_0)$  and  $\Delta\tilde{z}(t, x)$  is described in figure 7-(a) based on geometrical model of the characteristic of motion parallax. Using the model, we can derive a differential equation for  $\tilde{z}(t, x)$  and its solution as shown in figure 7-(b). The solution  $\tilde{z}(t, x)$  is a virtual distance because it has two unknown parameters  $a, b$ . They are determined by two boundary conditions in each experiment. After determination of them, a virtual distance becomes a real distance corresponding each motion parallax parameter  $q$ .



(a)

virtual distance corresponding from  $x(t_0)$  to  $x(t)$ :  $\tilde{z}(t, x)$   
 accumulated motion parallax from  $x(t_0)$  to  $x(t)$ :

$$\alpha(t, t_0) = \sum_{\tau=t_0}^{t=\tau} \Delta x(\tau), \Delta \text{AMP} : \Delta\alpha(t, t_0) = \alpha(t + \Delta t, t_0) - \alpha(t, t_0)$$

$\alpha_0$  : unit constant value corresponding distance  $z$

AMP property  $\tilde{z}(t, x) : \alpha_0 = -\Delta\tilde{z}(t, x) : \Delta\alpha(t, t_0)$

$$-\Delta\tilde{z}(t, x)\alpha_0 = \tilde{z}(t, x)\Delta\alpha(t, t_0), \frac{\Delta\tilde{z}(t, x)}{\tilde{z}(t, x)} = -\frac{1}{\alpha_0}\Delta\alpha(t, t_0)$$

$$\log \tilde{z}(t, x) = -\frac{1}{\alpha_0}\alpha(t, t_0) + c \rightarrow \tilde{z}(t, x) = ae^{-b\alpha(t, t_0)}, a > 0, b = \frac{1}{\alpha_0} > 0.$$

If  $a, b$  are determined,  $\tilde{z}(t, x)$  becomes a real distance.

It is possible to take  $\alpha(t, t_0)$  as local disparity which is obtained by segmenting global disparity.

(b)

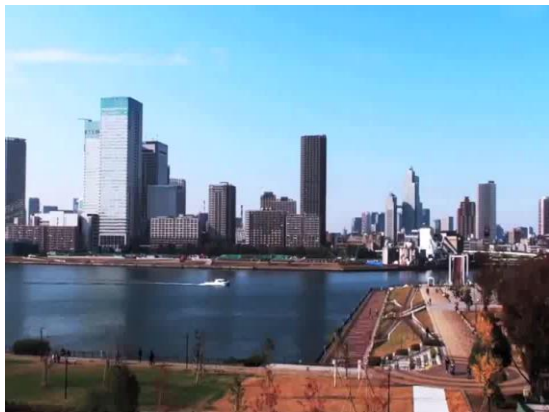
Fig. 7. (a): Geometrical model of AMP and (b) Computation model for derivation of a variable of virtual distance  $\tilde{z}(t, x)$ .



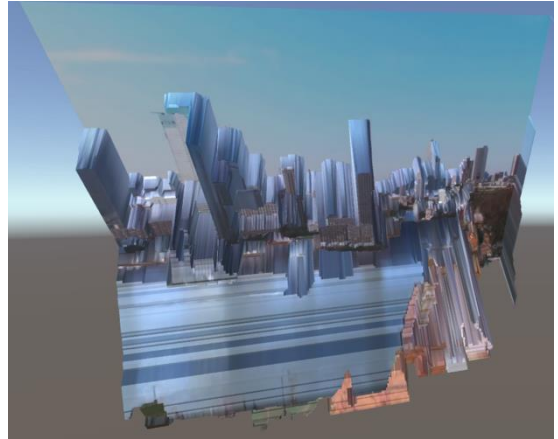
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 8 Video and 3D image : (a)  $\rightarrow$  (b), (c)  $\rightarrow$  (d)

## 5. Frontward-Motion-Parallax method

FMP is applicable to forward and backward camera angles as shown in figure 2. In the video obtained by a forward moving camera, we can see the phenomenon shown in figure 1-(b). We consider this case, but the case of backward moving camera can be treated in the same way of forward case. Concerning FMP, there are two important aspects compared with APM. First one is that FMP constructs a moving distance scene including both static and moving objects. Second one is that the processing is pixel-wise tracking of each pixel of frame of motion image, but tracking pixel is selected in a frame image. The selection is usually by region segmentation such as mean-shift algorithm. Each region is usually correspond a static or moving object and one pixel is selected to pixel tracking.

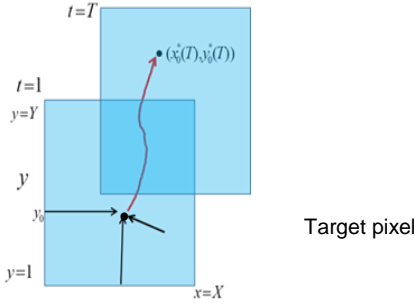


Fig. 9 Dynamic programming is used for tracking of target pixel in video data. A target pixel is selected in a object region obtained by mean-shift algorithm.

The motion parallax by pixel tracking is determined as follows:

Let be  $(x_0, y_0), (x_0^*(T), y_0^*(T))$  a location of target pixel and its end location, respectively. Then its motion parallax is defined by

$$q(x_0, y_0, T) = \sqrt{(x_0 - x_0^*(T))^2 + (y_0 - y_0^*(T))^2}.$$

Hereupon, reflecting the phenomenon of forward motion parallax, we need to apply correction processing for the above motion parallax  $q(x_0, y_0, T)$  by multiplying a correction parameter,  $\rho = X - \kappa|x_c - x_i| + Y - \kappa|y_c - y_i|$ , where  $X, Y$  are horizontal and vertical sizes of image,  $(x_c, y_c)$  is the center of a camera, and  $(x_i, y_i)$  is location of  $i$ -motion parallax, and  $\kappa$  is a parameter.

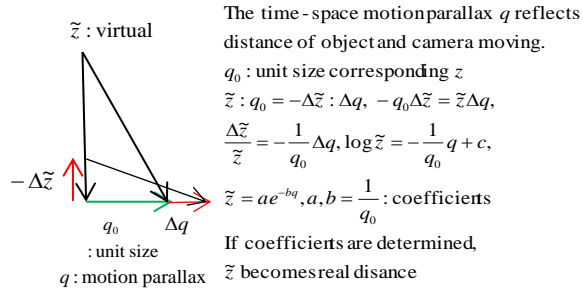


Fig. 10 Geometrical model of FMP (left picture) and derivation of virtual distance function from motion parallax parameter (right part).

### 5.1. Experimental results of Frontward-Motion-Parallax Method

At each time  $t$ , we applied conventional mean-shift algorithm to each frame image for region segmentation. Usually each region

has almost the same texture, therefore it indicates the same object in the duration  $[t - T, t]$  motion image. We select a pixel in each region at  $t$  and determine it a target pixel for tracking in the video with duration  $[t - T, t]$  using dynamic programming. Then we can obtain accumulated motion parallax parameter  $q$ . Hereupon, accumulation means that the value of  $q$  is a summation of local motion parallax for interval  $T$ .

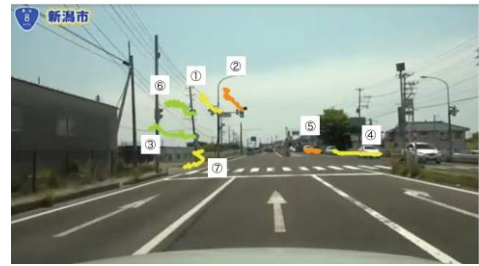
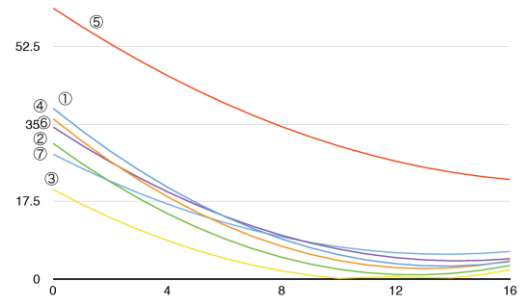


Fig. 11 A shot image of the result of FMP. It shows five pixels (regions) tracking results (right) and transient of distances of them (left).

In Fig. 11, ①, ②, ③ indicate static objects, ④ and ⑤ indicates a moving car. The car ④ is coming and relatively nearer to the camera. Then its motion parallax becomes larger than that of static object and the transition of distance seems to be like a quite near static object. On the other hand, ⑤ is more distant from a camera, then the distance value is large even it moves coming to a camera. These results are consistent with visual phenomena.

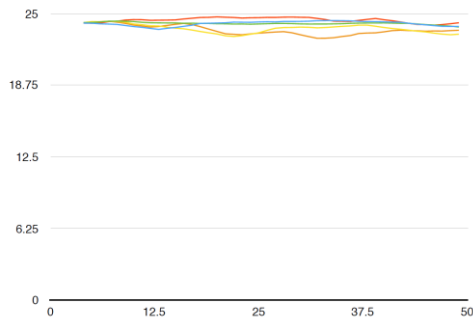


Fig. 12 A distance (vertical) [m] of each region of walking people on the pedestrian when a car stopped at the traffic signal. Horizontal axis indicates time.

In figure 12, walking people are captured by a camera on the car which stopped, therefore moving objects make their own motion parallax. FMP makes distance map for each moving objects. The distance value of near walking person is smaller than that of distant walking person.

## 6. Conclusion

We proposed two methods called Accumulated-Motion-Parallax (APM) Method and Frontward-Motion-Parallax (FPM) Method for making distance scene from a single video. AMP makes a static distance scene and FMP makes a static and motion distance scene.

## Acknowledgment

I appreciate Dr. Hata, Mr. Igarashi, and Dr. Rasika of Aizu-lab, Inc. for implementing algorithms of AMP and FMP proposed by R.Oka.

## References

- (1) Ryuichi Oka, "Image distance calculation device and image distance calculation method and image distance calculation program", Patent application, Tokugan 2016-170795, (2016, Sept. 1)
- (2) Ryuichi Oka, "Image distance calculation and computer-readable, non-transitory storage medium storing image distance calculation program", Patent application, Tokugan 2017-158781, (2017, Aug. 21)
- (3) Ryuichi Oka, "Device for calculating a distance motion image and program for calculation a distance motion image", Patent application, Tokugan 2017-235



### 3.9. R1: RTC-Library-FUKUSHIMA

会津大学 渡部 有隆

株式会社 FSK 荒川 弘栄 馬上 雄 蛭田 聡

Abstract: A robot system is not just a collection of hardware devices, but is designed with software. Especially, the software technology plays a key role in integrating heterogeneous functional elements which include controllers for different hardware devices (e.g. motors), sensors obtaining different types of data (e.g. cameras), and algorithms for artificial intelligence (e.g. image processing).

The aim of this project was to construct a software library of Robot Technology Components (RTC) based on OpenRTM-aist, which is RT-Middleware developed by AIST. RT-Middleware is one of promising technologies to easily integrate heterogeneous elements, services and systems by using modularized components. The development and popularization of the RTC software library can be a basis for robot software development in Fukushima Innovation Coast Scheme as well as for promoting the standardization of the development. The library will contribute to facilitating high-quality and rapid development as well as to enhancing cost reduction and reusability of the components. In this report, building blocks of the Web site, which is a special interface for the software library, and its functionalities are presented. In addition, a set of RT components and educational materials registered in the library are demonstrated. More than 120 software components have been registered and they can contribute to the development of robot systems by the third parties as well as to foster robot engineers.

#### 1. まえがき

ロボットシステムは単なるハードウェアデバイスの集合ではなく、その多くをソフトウェア技術が占めている。ロボット開発におけるソフトウェア基盤としてのプラットフォームが数多く開発されているように、今やソフトウェアはロボット開発には欠かせない技術となっている。特に、ハードウェア機器（例えば、モーター）、データ収集のためのセンサ（例えば、カメラ）、人工知能のためのアルゴリズム（例えば、画像処理）等、異質で多様な機能要素を統合するための技術として、ソフトウェアが大きな役割を果たす。

本プロジェクトでは、国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下「産総研」）で開発されたロボット開発のための RT ミドルウェアである OpenRTM-aist<sup>(1)</sup> を利用し、ロボット産業振興のためのロボット・テクノロジー・コンポーネント（以下「RTC」）のソフトウェアライブラリの構築を行った。RT ミドルウェアはモジュール化・コンポーネント化された RTC を用いることにより、異質で多様なデバイス・サービスを容易に統合することを可能とする、ロボット開発において極めて有望な技術である。本プロジェクトは、ライブラリ基盤の整備と普及によって、ロボット関連ソフトウェアの標準化、インターフェースの共通化を図り、再利用を促し、結果としてロボット開発の高品質化、コスト削減、スピードアップを目指すものである。さらに、RTC ソフトウェアライブラリを、福島・国際研究産業都市（イノベーションコースト）構想におけるソフトウェア開発運用基盤と位置づけ、そのコンテンツと機能の拡充を継続的に行っている。

本報告書では、ソフトウェアライブラリのサイト構成と主要機能について解説する。さらに、ライブラリとして格納された RT コンポーネント群及び教育資料を紹介する。

#### 2. サイト構成

ここでは、RTC-Library-FUKUSHIMA のサイト構成を解説する。

##### 〈2.1〉 構成要素

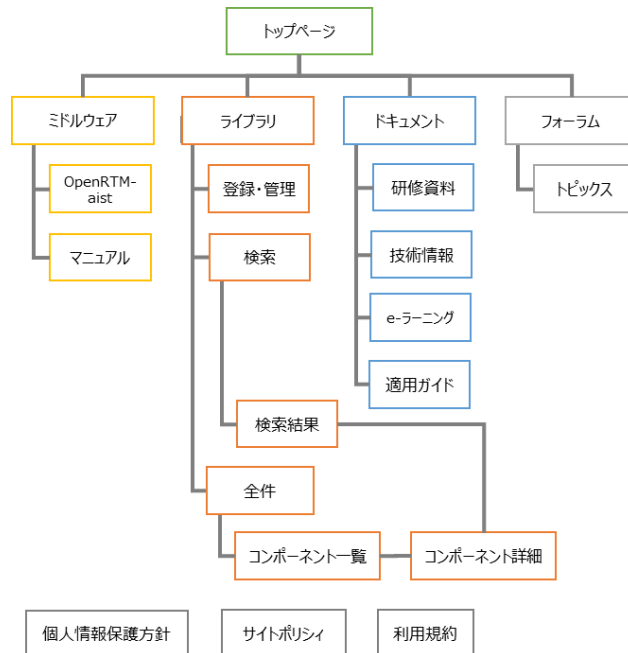


Fig.1 RTC-Library-FUKUSHIMA サイト構成

RTC-Library-FUKUSHIMA<sup>(2)</sup>は Fig. 1 に示す4つのセクションから構成されている。「ミドルウェア」では、RTC-Library-FUKUSHIMA において活用する OpenRTM-aist の概要解説とともに、公式 WEB サイトやインストールマニュアルへのリンクが記載されている。

「ライブラリ」がリポジトリへの入り口であり、本サイトの主要なコンテンツである。このセクションでは、RT コンポーネント及び RT コンポーネントを統合して機能を提供するパッケージの検索を行うことができる。検索・登録機能の詳細については、第3章で解説する。

「ドキュメント」では、主に RT コンポーネントや関連する教育資料及び研修で参照する資料のアーカイブが提供されている。各種技術情報や RT コンポーネントの適用ガイドも掲載されている。さらに、RT ミドルウェアの自主学習を支援するe-ラーニングの教育資料を閲覧することができる。

「フォーラム」には、ユーザや会員が意見交換・情報交換を行う場として、いくつかのトピックに応じた掲示板が設けられている。このセクションでは、RT コンポーネント、パッケージ、シミュレータ等に関する話題についての情報が得られ、議論することができる。

### 〈2・2〉 システムアーキテクチャ

ロボットソフトウェアコンポーネントを格納する RTC-Library-FUKUSHIMA は、会津大学先端 ICT ラボ内に構築され、Table 1 に示すインフラ上に実装された。

Table 1 RTC-Library-FUKUSHIMA システム詳細

回線	ベストエフォート 100Mbps/1Gbps 以上
VPN	メンテナンス用の VPN 接続が可能
セキュリティ	ファイアーウォール・SSL 対応
OS	CentOS
Web Server	Apache
CPU	Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2680 v3 @ 2.50GHz
Memory	2 GB
HDD	50 GB
Database	MySQL
監視サーバ	Nagios によるサーバ監視
ドメイン	rtc-fukushima.jp
CMS	WordPress

## 3. 主要機能

ここでは、RTC-Library-FUKUSHIMA の主な機能について解説する。Fig.2 は、RTC-Library-FUKUSHIMA におけるコンポーネント管理のおおまかな流れを示す。

### 〈3・1〉 コンポーネント登録

ユーザはサイトに掲載されているコンポーネント登録ガイドラインを参考に、RT コンポーネントを登録することができる。各コンポーネントは、RTC Builder から出力された RTC.xml を指定することにより、その基本情報を一括して登録することができる。RTC.xml には、モジュール名やバージョンをはじめ、データポートやコンフィグレーション等、RTC が備える様々なプロパティが定義されている。各コン

ポーネントは、RTC.xml に加えて Table.2 に示す情報を入力することで登録が行われる。

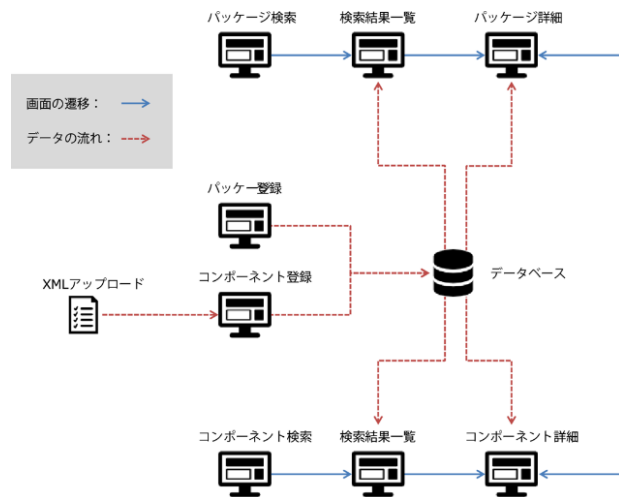


Fig.2 コンポーネント管理概念図

Table 2 RT コンポーネント登録項目

コンポーネント名	登録する RTC の名称
概要	RTC の機能の概要説明
カテゴリ	RTC の機能の分類の選択
タグ	RTC に関連するタグの選択
ハードウェア	RTC が使用する機材
問い合わせ先	RTC に関する問い合わせ先
ライセンス	RTC のライセンスを選択
著作権	RTC の著作権元
ドキュメント	RTC のマニュアル等
ファイル	RTC を zip 形式にしたファイル
イメージ画像	RTC 表示用の画像
関連リンク	RTC に関連するリンク

RT コンポーネントを GitHub で公開している場合、GitHub リポジトリの URL を入力することで、コンテンツへのリンクを公開することができる。この場合も、上記項目を登録することにより、ライブラリ検索機能によりアクセスできるようになる。

### <3>2 コンポーネント検索

Fig.3 は、RTC-Library-FUKUSHIMA のコンポーネント検索画面を示す。RTC-Library-FUKUSHIMA の検索システムでは、RT コンポーネント、パッケージ、あるいはその両方、に対して検索をかけることができる。検索は主に、カテゴリ検索、タグ検索、キーワード検索をサポートしている。

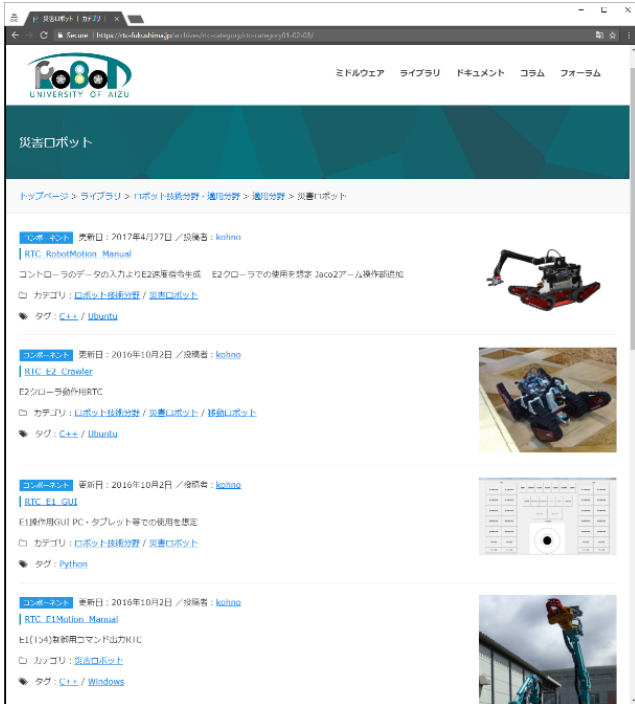


Fig.3 RTC-Library-FUKUSHIMA 検索画面例

カテゴリ検索では、あらかじめ定められた分類表に基づいた階層構造から、目的のコンポーネントにアクセスすることができる。カテゴリはロボット技術分野・適用分野、基本機能別分野、ハードウェア技術分野に大きく分類され、それぞれの中分類、小分類から分野を指定することができる。

タグ検索では、あらかじめ登録されたタグ（キーワード）を選択することで、関連するコンポーネントにアクセスすることができる。キーワード検索では、プログラミング言語とハードウェアに関するキーワード及び、RT コンポーネントにおける基本項目、データポート、コンフィグレーション、OS、依存ライブラリに関するキーワードを指定し、対象コンポーネントを絞り込むことができる。

## 4. コンポーネント群

### <4>1 カテゴリ別登録コンポーネント

ここでは、本プロジェクトにおいて RTC-Library-FUKUSHIMA に格納された RT コンポーネント群をカテゴリ別に紹介する（2018/02/19 現在）。Table3 はライブラリに登録されたカテゴリ別のコンポーネントを示す。

Table 3 カテゴリ別コンポーネント

ロボット技術分野・適用分野		
ロボット技術分野(47)	移動ロボット	16
	飛行ロボット	0
	ドローン	13
	水中ロボット	0
	遠隔操作・テレオペレーション	0
	ヒューマノイド	0
	二足歩行	0
	マニピュレータ	1
	垂直多関節ロボット	0
	スカラーロボット	0
	パラレルロボット	0
	多指ハンド	0
	群ロボット	0
	マイクロ・ナノロボット	0
	手術ロボット	0
	惑星探査ロボット	0
	生物模倣ロボット	0
ユビキタスロボット	0	
モバイルマニピュレーション	0	
ITS	0	
適用分野(6)	産業用ロボット	0
	サービスロボット	0
	医療ロボット	0
	介護ロボット	0
	農業ロボット	0
	林業ロボット	0
	漁業ロボット	0
	災害ロボット	6
	レスキューロボット	0
	極限作業ロボット	0
	宇宙ロボット	0
エンターテインメントロボット	0	
基本機能別分野		
移動(17)	自己位置同定	0
	地図作成	17
	SLAM	0
	走行制御	0
	歩行制御	0
	飛行制御	0
	経路プランニング	0
	モーションプランニング	0
	歩容プランニング	0
ナビゲーション	0	

	障害物回避	0
作業(1)	ティーチング	0
	把持制御	0
	マニピュレータ制御	1
	協調制御	0
	作業プランニング	0
	作業軌道生成	0
	タスク	0
	スキル	0
	見まね作業	0
	コンプライアンス制御	0
	インピーダンス制御	0
	対話(0)	音声認識
音声処理		0
音源同定		0
話者認識・推定		0
音声合成		0
対話シナリオ生成		0
対話シナリオ実行		0
画像認識・処理(36)		コンピュータビジョン
	画像処理	16
	画像認識	0
	パターン認識	0
	対象物位置推定	0
	キャリブレーション	0
	顔認識	0
	人物認識	0
	ボーン認識	0
	ジェスチャ認識	0
	トラッキング	0
	人工知能(0)	推論
認識		0
エージェントシステム		0
機械学習		0
ニューラルネット		0
ディープラーニング		0
その他(21)	シミュレーション	0
	環境認識	0
	モニタリング	12
	空間知能化	0
	センサネットワーク	0
	分散ロボットシステム	1
	自己組織化	0
	モデリング	0
	運動学	0
	動力学	0
	アーキテクチャ	0
	プロトコル	1

	ミドルウェア	1
	安全	0
ハードウェア技術分野		
センシング(30)	カメラ	13
	光センサ	0
	赤外線センサ	0
	マイク	0
	触覚センサ	0
	力覚センサ	0
	トルクセンサ	0
	圧力センサ	0
	重量センサ	0
	レーザー測域センサ	2
	生体情報	0
	IMU	1
	加速度センサ	1
	ジャイロセンサ	1
	方位センサ	1
	温度センサ	0
湿度センサ	0	
GPS	5	
アクチュエータ(2)	電動回転モーター	0
	電動直動モーター	2
	油圧回転アクチュエータ	0
	油圧直動アクチュエータ	0
	人工筋肉アクチュエータ	0

本プロジェクトでは、主なシナリオとして災害対応ロボットを想定しているため、地上移動ロボットやドローンを制御するための RT コンポーネントが多く開発されライブラリに登録された。また、データの二次利用を促進するための、センサ情報や画像データを収集するための RT コンポーネントも数多く登録された。

#### <4・2> 再利用と関連性

Table 4 はライブラリに登録された各コンポーネントの利用数を示す。

Table 4 コンポーネントの利用状況

タイトル	利用数
RTC_GameController	3
ドローンビューア	2
ドローン I/O	2
RTC_GameController_Win	2
ロボット USB カメラ	2
ImageLoader	2
2DCDP	2
Factorization	2
3DShape	2

3DImageShapeViewer	2
CloudDB_3DImageRead	2
ドローンマップビューア	2
MapDataDBControl	2
MapImageSelect	2
TileGenerator	2
AdditionalDataDBControl	2
ロボットイメージ Uploader	2
ロボット RPi カメラ	2
俯瞰画像合成 RTC	1
カメラ操作 RTC	1
俯瞰合成画像ビューア RTC	1
画像ビューア RTC	1
2 DCDP パラメータ設定 RTC	1
IP 経路情報監視	1
IP 経路情報ビューア	1
2DCDP_画像ファイルローダーRTC	1
2DCDP_画像イメージファイルセレクト	1
2DCDP_コアロジック RTC	1
Wi-Fi 近隣ノードビューア	1
Wi-Fi 近隣ノード報告	1
RTC_E1Motion_Manual	1
T54_ProtocolConv_TcpOutComp	1
RTC_E1_GUI	1
RTC_Camera_Multi	1
RTC_Camera_Multi_Viewer	1
ドローンコントローラ	1
RTC_E2_Crawler	1
RTC_LRF_ScanMode_PCL	1
RTC_NineDOF_Arduino	1
RTC_RobotMotion_Manual	1
RTC_View_Gui	1
RTC_PCL_LRFtoPCL	1
RaspiCam	1
3DShapeControl	1
3DImageShapeGUI	1
MiniSV06LA	1
ドローンフライトディレクター	1
STP ポート状態監視	1
STP ポート状態ビューア	1
Wi-Fi 経路情報監視	1
Wi-Fi 経路情報ビューア	1
CrawlerImageSelect	1
CrawlerViewImageSynthesis	1
VersatileOverheadGui	1
VersatileOverheadManager	1
CameraImageConvert	1
CameraImageViewer	1

PanTiltComp	1
TkCameraControlComp	1
3DMapVRMLConverter	1
3DMapCalcAffineTransform	1
3DMapFindCorrespondence	1
3DMapGenerativeControl	1
3DMapGenerativeGUI	1
TwoDRobotInfoMonitorGui	1
DroneSensorDataConvert	1
GoroneSensorDataConvert	1
SpiderSensorDataConvert	1
RobotGPSDataManager	1
RobotSensorDataManager	1
VersatileOverheadManager	1
仮想リーダー機 高度ビューア	1
EV3Mindstorms	1
速度ベクトルコンバータ	1
NM33 カメラ画像取得 RTC	1

## 5. 教育資料

ドキュメントセクションには、これまでに開催した RT ミドルウェア講習会のテキストおよび e-ラーニング資料が公開されている。初級、中級、及び上級講習会で利用された、事前準備資料、テキスト、課題等を自由に閲覧することができる。e-ラーニングのコンテンツは、RT ミドルウェアの普及を目的に、事前知識、インストール、コンポーネント実行から、教育用小型ロボット EV3 をコントロールするまでの方法を、テキストや画像を用いて丁寧に解説する構成となっている。また、動画によるデモンストレーションや章末のクイズにより、学習者の演習を支援するコンテンツとなっている。また、実機と対応するモデルを用いたシミュレータをコントローラで動かすことができるパッケージなど、コレオノイドと連携した e-ラーニング資料も提供している。

## 6. むすび

本報告書では、ロボットテクノロジーコンポーネント群のレポジトリである RTC-Library-FUKUSHIMA の機能及びコンテンツについて報告した。現在までに約 120 件の RT コンポーネントが格納され、継続的なコンテンツ拡充の基盤となった。本ライブラリは、さらなるコンポーネントの開発と再利用を促すことで、第三者によるロボット開発の推進やロボットソフトウェア技術者育成へ貢献することを目差している。

## 文 献

- (1) <https://www.openrtm.org/openrtm/>
- (2) <https://rtc-fukushima.jp/>

## 3.10. R2: ロボット・テクノロジー・コンポーネント標準化支援

会津大学 渡部 有隆

株式会社東日本計算センター 小林 清志 鈴木 教文

Abstract: In system development, practices of project teams and skills of engineers have great influence on its productivity and quality. This implies that maintainability and reusability as well as the productivity and quality can not be guaranteed unless standards are defined for both procedures and products, when a number of developers work at the same time with common goal. Such criteria and standardization are quite important when a number of project teams from different companies develop systems according to a common framework. In this project, a guideline for supporting the standardization and communalize of robot software development have been developed. The aim of this project is to establish standard methods and common specifications of the interface for Robot Technology Components which are developed in Fukushima Innovation Coast Scheme. The methods and specifications in the guideline can promote the maintainability and reusability as well as the productivity and quality of RT components developed by the companies involved. In addition, we can offer reliability and show compliance to the end-users by demonstrating processes of how the RT components registered in the library are developed. Methods for designing and testing robot software components to make them safe and robust, have also been provided.

### 1. まえがき

ソフトウェア開発やシステム開発は、プロジェクトチームの慣例や技術者の能力が生産性と品質に大きく影響する活動である。これは、多数の開発要員が共通の目標へ向かい同時に作業を行う場合、作業手順や生産物にあらかじめ基準を定めておかなければ、その生産性や品質だけでなく、保守性や再利用性が保障できないことを示す。このような基準あるいは標準化は、異なる企業やプロジェクトチームが共通のフレームワークに従って開発する場合には特に重要になると考えられる。

本プロジェクトでは、ロボットバレー創出推進事業において開発されるロボット・テクノロジー・コンポーネント(以下「RTC」)に対して、生産性及び品質の向上を図るため、ソフトウェア開発の標準手法とインタフェースの共通仕様を確立することを目的とし、その「標準化」・「共通化」を支援するためのガイドラインを策定した。本ガイドラインにより確立された手法・仕様により、各 RTC 開発企業における、生産性及び、品質の向上の他、再利用を促進することができる。さらに、RTC-Library-FUKUSHIMA に登録される RTC がどのような基準で開発され、登録までの工程を踏んでいるかを明確に示すことで、RTC の利用者に対して信頼性とコンプライアンスを示すことができる。また、ソフトウェアの安全性・堅牢性を考慮したロボットソフトウェアコンポーネントの設計・テスト手法及びオープンソースソフトウェア(OSS)を用いたソフトウェア開発についても提示し、その指針を本ガイドラインへ含めた。

本報告書では、プロジェクトで作成した開発ガイドライン、ロボットソフトウェア安全における設計ノウハウの概要を示す。

### 2. 開発ガイドライン

#### <2.1>概要

ここでは、開発ガイドラインの内容を解説する。はじめに、本ガイドラインの目的、対象範囲、対象読者、および全体構想について確認する。

本ガイドラインの目的は、ロボット開発事業に参画する企業、団体に向け、ロボットソフトウェア (RT コンポーネントやパッケージ) の開発が効率的かつ、一定水準の品質をもって行われるために必要な基礎知識及び、方法や指針を提供することである。

本ガイドラインの対象者は、ロボットの機能要素単位で開発を行っていくロボット用ソフトウェア (RT コンポーネントやパッケージ) の開発者である。本事業は、浜通りのロボット開発企業育成を目的としていることから、ロボット開発が初めてとなる開発者を対象としている。また、開発プロジェクトを立ち上げ、推進する役割を担うプロジェクト管理者・支援担当者に役立つ内容も含まれている。

ガイドラインの本体は、ロボット開発の現状の紹介からはじめ、実施の開発において「どのように進めるのか」「何が必要か」といった開発の過程と成果物について参考となる内容を記述した。続いて、開発されるソフトウェアの「品質確保」のための考慮点や、開発されたソフトウェアの著作権に関する扱いについて記述した。さらに、本事業の目的のひとつである「RTC-Library-FUKUSHIMA」への登録に向けて、その登録方法についてまとめた。

本ガイドラインは以下に示す章から構成されている。

#### <2.2>ロボット開発

この章からは、ロボット開発の現状、ロボットソフトウェ

アの開発手法、ロボット開発におけるプロセスを学ぶことができる。

ロボット開発の現状については、ロボットを「部分的要素とその要素の動作を実現するソフトウェア」の集合体から成るものと捉え、それらの部品を選択して組み合わせることで、ロボット開発に参画できることを示した。さらに、再利用を図るために共通機能を提供するロボットミドルウェアによるロボットソフトウェア開発が活発化していることを紹介し、様々なアプリケーション分野において、部品を組み合わせることで、要求を実現し、効率的かつ短い開発期間でロボット開発を行うことができることを示した。また、このような開発手法においては、ハードウェア開発とソフトウェア開発の分業が可能であることを示し、ロボットソフトウェア開発のみでもロボット開発として捉えることが可能であり、既存の機器を基にソフトウェアの開発から開始することも可能な状況になっていることを示した。

ロボットソフトウェアの開発については、RT コンポーネントの概要とともに、その特長である再利用性、選択肢の柔軟性、信頼性、堅牢性について詳しく解説し、コンポーネントベース開発 (Component Based Development) およびそれを實現する基盤であるミドルウェアにより、いかにシステムを効率的に開発することができるかを解説した。

ロボット開発のプロセスについては、ロボット開発をある意味「組み込みシステムを構築すること」と捉え、本ガイドラインが「組み込みシステムを構築する手法」を考慮し、適用していることを示した。具体的には、本ガイドラインで提唱するロボットソフトウェアの開発では、これまでに考案された「組み込みソフトウェアの開発プロセスガイド (Embedded System Development Process Reference: ESPR)」における、「ソフトウェアエンジニアリングプロセス」を考慮している。

### 〈2.3〉ソフトウェア開発プロセス

この章では、本ガイドラインが対象とするロボットソフトウェア開発のプロセスの基本として考慮する「ソフトウェアエンジニアリングプロセス」の構成要素を確認し、ロボットソフトウェア開発プロセスの詳細を学ぶことができる。本ガイドラインが提示するロボットソフトウェア開発のプロセスは、ソフトウェアの高品質及び安全性を考慮し、基本モデルであるウォーターフォールモデルに基づいている。ウォーターフォールモデルは「V字モデル」とも呼ばれており、V字モデルは Fig.1 に示すように「要求を定義し詳細化してソフトウェアを開発する流れ」と「開発されたソフトウェアが要求通りに正しく機能しているかを確認する流れ」に分け、それぞれの作業の対応関係を示したモデルである。



Fig.1 V字モデル

本ガイドラインでは、このV字モデルの各工程である要件定義、基本設計、詳細設計、コーディング、単体テスト、結合テスト、システムテストについての内容を詳しく解説した。

### 〈2.4〉ソフトウェア品質

この章では、「高品質なソフトウェア」「信頼性の高いソフトウェア」を開発するための指針を示している。

はじめに、一般的なソフトウェア品質と開発プロセスの考え方、及び一般的に知られているソフトウェアの品質向上のための活動である「予防活動」「検知活動」「修正活動」について紹介した上で、本事業で実施する内容を記述した。具体的には、本事業においては「V字モデル」での開発を推奨し、各プロセスにおける成果物に対して、第三者レビューを実施し、体系的で厳格なレビューを行うために、「レビュー議事録」を作成することをガイドラインとして提示した。さらに、開発されたソフトウェアの検証と妥当性確認を行うテストプロセスにおいて推奨される実施項目を提示した。具体的には、テスト手法として「単体テスト」「結合テスト」「システムテスト」を実施すること、テスト技法として「同値分割」「境界値分析」「異常値・特異値分析」の実施を推奨している。テストプロセスを支援するため、本ガイドラインでは高品質なソフトウェア開発へ向けてのプロセスチェックリストを提供している。

### 〈2.5〉書作物とライセンス

この章には、ソフトウェアに関する著作物及びライセンスの概念を解説し、OSS ライセンスの付与プロセス及び本事業において開発されるソースコードやマニュアルに対する著作権表示について記述した。

本事業で開発されるソフトウェアは「広く自由に利用してもらおう」という目的から、ガイドラインは、作成したコンポーネントには、基本的には「New BSD License」を付与することを推奨する。

一方、本事業においては、既存のOSSを利用して、より効率的に開発を行うことを推奨しているため、既存OSSを改変してソフトウェアを開発することが考えられる。その場合、開発したソフトウェアが既存の著作物をどの範囲で

利用しているかにより、該当する著作物に付与するライセンスに制約が生じる。そのため、既存の OSS を利用したソフトウェアの開発には十分注意する必要がある、OSS の利用やライセンス付与プロセスの指針を策定することは極めて重要である。本ガイドラインには、Fig.2 に示すように、開発プロセスに対して「OSS 利用計画書作成プロセス」「OSS 利用検査プロセス」「OSS 利用評価プロセス」から成る OSS 利用妥当性確認が組み込まれている。これらの各プロセスの指針を、その前提、手順、成果物という形式で、ガイドラインに記述した。



Fig.2 OSS 利用を考慮した開発プロセス

### 〈2・6〉RTC-Library-FUKUSHIMA への登録

この章には、開発されたソフトウェアを、RTC-Library-FUKUSHIMA へ登録するための手順を記述した。

具体的には、RTC.xml の内容、ユーザーズマニュアルの記述方法、RT コンポーネントを登録・更新する際に設定する項目の詳細を記述した。本ガイドラインには、コンポーネント登録（及びコンポーネント検索）の際にキーとなるカテゴリー一覧及びタグ一覧を確認することができる（RTC-Library-FUKUSHIMA 報告書参照）。なお、この章におけるガイドラインは、RTC-Library-FUKUSHIMA のドキュメントセクション及びコンポーネント登録の際の補足資料として、WEB 上で閲覧することができる。

また、本プロジェクトでは、著作権表示および OSS ライセンス付与対応の必要性を利用者・登録者へ示すため、RTC-Library-FUKUSHIMA オープンソースソフトウェア登録確認ガイドラインを策定した。本ガイドラインでは、著作権及び OSS ライセンスの概念を解説し、OSS 登録時の確認項目をまとめた。

### 3. 安全性・堅牢性を考慮したロボットソフトウェア設計・テスト手法

人間と共存することを想定したロボットの開発において、ロボット安全に対する取り組みは欠かせない。ロボット

ソフトウェア開発においては、その安全性・堅牢性（ソフトウェアセーフティ）を高めるプロセスが極めて重要になる。

本プロジェクトでは、ソフトウェアセーフティを考慮した際に、ロボットソフトウェア開発において、実施すべき項目・手法を検討し、ノウハウ集としてまとめた。特に「設計」・「コーディング」・「テスト」の各工程において考慮すべき内容を調査し、標準化に向けた検討を行った。具体的には、ロボットソフトウェア開発が、ある意味「機器に組み込まれるソフトウェアを開発する」と捉え、これまでに組み込みソフトウェア開発において培った知識と経験をベースに、ノウハウ集をまとめた。Table 1、2、3 はそれぞれロボットソフトウェア設計工程、コーディング工程、テスト工程における、チェックリストを示す。

Table 1 設計工程チェックリスト

No	Category	設計時の考慮点
1	初期化	RTC で使用する全ての変数を意味のある値で初期化しているか？ 例：signed char で宣言した変数を 0xFF で初期化すると“-1”を意味する。この初期化は意図通りか？
2	初期化	RTC で参照している変数を初期化せずに参照していないか？ (変数の値が不定な状態で参照することがないこと)
3	変則入力	Key 多重押しに関する振る舞いは明確になっているか？ 例：多重押しを検出した場合、Key Off 検出と同じ振る舞いとする。など
4	変則入力	RTC 起動前から押されている Key の振る舞いを明確にしているか？ 例：RTC 起動前から押されている Key は無効にする。など
5	変則入力	入力を待っている処理があった場合、その処理が中断された時に初期化や保持するデータは明確になっているか？ 例：Key の押し続け中に多重押し等により中断されたときに、押し続けのデータは無効になっているか？
6	異常入力	制御ハードウェアや接続 RTC より不定なデータを読み込んだ時にどのようなになるか明確になっているか？データ破棄や初期化などを考慮しているか？ (不定データを入力したときの誤動作を防止)
7	電源供給不足による誤動作	制御ハードウェアに電源が供給されていないのにスイッチの入力や制御 IC 等への出力をするような設計になっていないか？ (制御ハードウェアがどこから電源を取っているのか明確にする)
8	電源安定不足による誤動作	制御ハードウェアの電源が安定していないのにスイッチの入力や制御 IC 等への出力をするような設計になっていないか？ (制御ハードウェアが安定する時間を明確にする)
9	閉ループ	入力待ち処理では、必ずガードタイムまたはリトライカウントを設けているか？ ガードタイム時間をオーバーした場合に、どのように処理するかは明確になっているか？ (期待した入力が無かった場合、どのような動作にならなければいけないかを考慮する)



Table 2 コーディング工程チェックリスト

No	Category	設計時の考慮点
1	初期化	RTC で使用する全ての変数を意味のある値で初期化しているか？ 例：signed char で宣言した変数を 0xFF で初期化すると“-1”を意味する。この初期化は意図通りか？
2	初期化	RTC で参照している変数を初期化せずに参照していないか？ (変数の値が不定な状態で参照することがないこと) 例：AUTO 変数を初期化せずに参照していないか？
3	データ保証	データ送信中及び送信待ち中に送信データを上書きしない設計になっているか？
4	データ保証	受信中のデータは、受信が完了するまで参照できないように考慮されているか？
5	独立性	コンパイルスイッチで処理内容が異なる場合、コンパイルスイッチの値が変わっても正しく処理が動作することを確認したか？
6	独立性	取得関数を削除した場合、取得関数の呼び出し元関数で取得関数を使用しなくても問題ない設計になっているか？
7	独立性	取得関数の処理内容を変更した場合、呼び出し元関数に影響が無いことを確認したか？
8	保守性	同じタイミングで実行する処理がある場合、関数化しているか？ 例：同じタイミングで初期化が必要な変数などがある場合、関数化する。
9	保守性	変数に同じ値をセットする箇所が二か所以上ある場合、値を定数化しセットしているか？
10	保守性	定数の削除、値の変更を行った場合、定数を使用している全ての処理に影響がない事を確認したか？
11	保守性	変数のサイズに変更があった場合、プログラムに影響がないようになっているか？ (バッファサイズの変更をするときは、プログラムに影響がないように設計することを考慮する)
12	閉ループ	入力待ち処理では、必ずガードタイマまたはリトライカウントを設けているか？ ガードタイマ時間をオーバーした場合に、どのように処理するかは明確になっているか？ (期待した入力が無かった場合、どのような動作にならなければならないかを考慮する)
13	変則入力	入力を待っている処理があった場合、その処理が中断された時に初期化や保持するデータは明確になっているか？ 例：Key の押し続け中に多重押し等により中断されたときに、押し続けのデータは無効になっているか？
14	異常検出	処理が失敗し、致命的な事象が発生する場合、ガード処理は入れているか？ 例：メモリを確保できなかった場合、通常の処理を実行せずにユーザーに異常状態を通知するなど
15	リソース管理	RTC で確保したメモリを適切なタイミングで開放しているか？ (メモリークを起こしていないか？を確認する)
16	ケアレスミス	加算/減算処理がある場合、加算時のオーバーフロー、減算時のアンダーフローを考慮しているか？
17	ケアレスミス	除算処理がある場合、0 で割る事はないか？
18	ケアレスミス	テーブルデータを使用している場合、範囲外のチェックに問題はないか？また、テーブルの MAX 値は正しいか？
19	ケアレスミス	変数に値をセットする場合、宣言した型より大きな値をセットする事はないか？
20	ケアレスミス	コネクション処理を実行した場合、クローズ処理を実行しているか？ 例：ファイルのファイルクローズを確実に実行しているか？

Table 3 テスト工程チェックリスト

No	Category	設計時の考慮点
1	網羅性	関数内の全分岐をテストケースで網羅しているか確認したか？
2	境界値テスト	データの境界値分析を行い、適切な値でテストを実施しているか？ 例：1-10 の範囲の項目の場合、0 と 11 は無効になり、1 と 10 は正常に処理されること
3	異常値テスト	データの異常値・特異値分析を行い、適切な値でテストを実施しているか？ 例：1-10 の範囲の項目の場合、文字データ（英字、2 バイト文字）、0 以下、11 以上は異常値になりエラー処理が実行されること
4	デグレードテスト	処理を追加/変更したことで、処理時間が変更し、他の処理に影響を与えてしまうことはないか？ (実行時間の延長により、他の処理に影響を与えることの防止)
5	デグレードテスト	処理を追加/変更したことで、デグレードが発生していないことを動作確認しているか？ 例：追加/変更部以外が単体テストの入力・出力値が変更前と変更後で同じ結果になること
6	設計内容テスト	変数の設計内容とプログラムの内容に食い違いがないことを確認しているか？ (変数の初期化スケ/モレ防止)

#### 4. むすび

本報告書では、ロボットソフトウェア開発における開発ガイドラインの内容を示した。本ガイドラインは、ロボットソフトウェア開発の生産性を向上させるだけでなく、RTC-Library-FUKUSHIMA に登録される RTC の品質と再利用性を高めるための指針として、不可欠なものである。また、ロボットソフトウェア安全における設計ノウハウは、多様なロボットシステムの事例研究を考慮することで、さらに拡充することができると考えられる。これらの成果を統合することにより、多様なロボット開発プロジェクトに対して、より安全で堅牢なロボットソフトウェアの開発を支援するガイドラインを提供することができるだろう。

### 3.11. R3: RT Component for Data Acquisition

University of Aizu Yutaka Watanobe and Aizu Lab Yukinori Yamaguchi

Abstract: In the cloud robotics environment, software components take on an important role to acquire data from heterogeneous devices as well as to connect robots and databases. In this project, architectures of the data acquisition system with Robotic Technology Components have been proposed considering possible scenarios, features and limitations of related technologies for the cloud robotics. In this report, target data, architectures for different scenarios are presented. Experimental implementation conducted in some sub-projects will also be demonstrated.

#### 1. Introduction

With the rapid expansion of technologies for network, storage and processing units as well as standardization, it is expected that robot systems and their devices will collaborate as parts of a cloud robotics environment. In the cloud robotics environment, software components which acquire data from different devices for knowledge sharing will take on an important role and their performance can vary depending on design and architectures for specific scenarios to collect valuable data. In addition, ordinal robotic technology components and the data acquisition components should coexist with interoperability for effective development of robot systems.

In this project, possible architectures of the data acquisition system with Robotic Technology Components have been proposed. The aim of the architecture is to provide environment where data from sensors of different robot systems and humans are accumulated into a common database deployed on the server and the data can be utilized for different purposes both online and offline. The secondary use of the data includes the analysis of robot systems as well as the creation of information resources such as images, maps for navigation, and models for object recognition which can be used for both the actual world and virtual world in simulators. In this project, we employ and develop Robotic Technology Components oriented to RT Middleware. Although, RT Middleware is one of promising basis to organize the cloud robotics environment, its features and limitations as the data acquisition system should be carefully examined. To test and realize the data acquisition environment based on the RT Middleware, special RT Components called DBRTC which connect robots and database management systems, have been developed. Evaluations of their communication accuracy have also been conducted.

In this report, target data, and the architectures for different scenarios are presented. Experimental implementation conducted in some sub projects will also be demonstrated.

#### 2. Target Data

In the cloud robotics environment, all data can be valuable information resources for both real time processing and the secondary use. Some selected examples of the accumulated data from different robots developed in this project, are presented in the following tables:

Table 1 Data from a Drone

Name	Data Type	Unit	Note
GPS (Home)	GPSData		Latitude [DEG], longitude [DEG], Altitude [m]
GPS (Drone)	GPSData		Latitude [DEG], longitude [DEG], Altitude [m]
Battery	TimedFloat	V	Current voltage value
Flight Time	Time	mm:ss	Flight time of the drone
Gyro	TimedFloatSeq	rad	Pitch angle, roll angle and yaw angle
Acceleration	TimedFloatSeq	m/sec	x, y, z
Magnetic Compass	TimedFloat	deg	Nothr:0° East:90° South:180°...
Temperature	TimedFloat	°C	
Pressure	TimedFloat	Pa	
Flight Mode	TimedString	-	Current flight mode
Move Mode	TimedString	-	Current move mode
Target Velocity	TimedFloat	m/s	Set up target velocity

Table 2 Data from a Small-size Crawler Robot

Name	Data Type	Unit	Note
Acceleration	TimedAcceleration3D	g	
Angle rate	TimedAngularVelocity3D	deg/sec	
Geomagnetism	TimedDoubleSeq	µT	
GPS	GPSData		
Image	CameraImage		Jpeg compressed image

Table 3 Data from a Game Controller

Category	Data Type	Unit	Note
Controller_Type	TimedString	String	PS4 controller
Button	TimedULong	Hex	Status of buttons on the controller
Analog	TimedDoubleSeq	Double Array	Status of the analog stick button

Table 4 Data from Motion Controller from a Large-scale Double Arm Robot

Category	Data Type	Unit	Note
Command	TimedString	String	Operation commands for E1

Table 5 Data from GUI Controller from a Large-scale Double Arm Robot

Category	Data Type	Unit	Note
Controller_Type	TimedString	String	Const. "E1_GUI"
Button	TimedULong	Hex	Status of buttons on the controller
Analog	TimedDoubleSeq	Double	Status of the analog stick button

Table 6 Data from Motion Controller from a Middle-scale Double Arm

Robot

Category	Data Type	Unit	Note
Velocity	TimedVelocity2D	vx,vy:[m/s] va:[rad/s]	Velocity of main crawler
Sub_CrawlerAngle	TimedDoubleSeq	[rad]	Target angle of sub-crawler
Mode	TimedLongSeq	Long Array	Operation mode
MOT_Main	TimedLongSeq	Long Array, PWM [%]	PWM operation for main crawler
MOT_Sub	TimedLongSeq	Long Array, PWM [%]	PWM operation for sub-crawler
Scan_Mode	TimedLongSeq	Long Array	LRF Scan mode

Table 7 Velocity Commands to Micro Computer of a Middle-scale

Double Arm Robot

Category	Data Type	Unit	Note
Odometry	TimedPose3D	Long Array	Position of the body
Velocity_Out	TimedVelocity2D	vx,vy:[m/s] va:[rad/s]	Current velocity of the main crawler
Load	TimedDoubleSeq	Array of motor current [A]	Each motor load
Sub_Angle_Out	TimedDoubleSeq	Array of sub crawler angles [Deg]	Current angle of sub-crawler

Table 8 Camera Image Acquisition RTC

Category	Data Type	Range	Note
Camera_Raw_Out	MultiCameraImages	Images from 4 cameras (Max is 8)	Raw image data
Camera_Dist_Out	MultiCameraImages	Images from 4 cameras (Max is 8)	Adjusted image data

Table 9 Communication Data between PC-Arduino-IMU

Category	Data Type	Unit	Note
Pose_Out	TimedPose3D	position:[m] orientation:[rad]	Position and orientation
Position_Out	TimedPoint3D	[m]	Position, 0 if not available
Orientation_Out	TimedOrientation3D	[rad]	Orientation output
Acc	TimedAcceleration3D	[g]	Acceleration data
Gyro	TimedAngularAcceleration3D	[deg/s]	Angular velocity
Mag	TimedVector3D	[ $\mu$ T]	Geomagnetism data
Temp	TimedDouble	[ $^{\circ}$ C]	Temperature data

Table 10 Transformation from LRF Range Data to PointCloud

Category	Data Type	Unit	Note
PCL_Out0	PointCloud:1.0	[m]	PCL output of LRF0

Table 11 Transformation from LRF Range Data to Point Cloud (3D)

Category	Data Type	Unit	Note
PCL_Out0	PointCloud:1.0	[m]	

First of all, data related to status of each robot should be considered. The status is useful to organize optimal and safe movement of the robots. Positions, accelerations, velocities and angles as well as their foreseeable values and derived values such as distances, are necessary for automated and optimal control. They are also significant data to create the safe robot environment where functions for danger avoidance and emergency stop are properly activated.

Not only the data from robots, but also logged data from their controllers should be utilized. Consistencies between actual movement of robots and the corresponding command logs can be analyzed for finding accident caution as well as for improving the robot system as a whole.

In addition to such information related to primitive data, multimedia data take on important roles in many scenarios. The images related to overhead views, environmental information and other information such as sounds are employed to observe the

situations of current and past. Besides, such images can be processed in many ways at the base stations and be transported through the network as feedback for other services.

The important thing is that these data can be accumulated into the storage both online and offline. The online accumulation is oriented to real time processing to control robots more intelligently. On the other hand, the offline accumulation is oriented to the organization of optimal environments, for example with maps and paths which can be calculated in advance by available resources.

As seen above, intelligence, safety and reliability of the robot system are dependent on quality of data. So, the data acquisition system with higher accuracy is required to create valuable data in the environments and to make the cloud robot environment more intelligent and reliable.

### 3. Methods for Data Acquisition

There are a number of technologies and frameworks to construct a system where different devices and robots are connected. One of the solutions is to employ RT Middleware where robotic technology components (RT Components) with standardized interfaces are deployed. The important thing is that, robotic technology components and the data acquisition components should coexist so that their reusability and interoperability are maintained. This means that a software component for data acquisition should be implemented as an RT Component for the interoperability. In the environment based on the RT Middleware, a number of components can be senders which generate (read-out) data and a few components can be receivers (gatherers). The receiver components should be constructed with a database management system at the server side.

Although, RT Middleware is well designed and implemented for real time processing, it is clear that there are suitable configurations to collect data from a number of different robots through the network. The number of ports involved in a component, their communication types, frequency and buffering algorithms are representative features to be adjusted. Besides, we should consider that there are limited computational and communicational resources in both sender and receiver components. In many cases, computational power for a robot should be assigned for its core logic. That is why, for establishing the data acquisition system based on the components, its performance and accuracy of the adopted technologies should be carefully evaluated so that we can demonstrate the robot system under required scenario, situations and conditions. It is very important especially for creating mission critical systems where even a few pieces of lack of data and latency cause a big effect to the environment and the goal of the project.

#### 4. Architecture for Different Scenarios

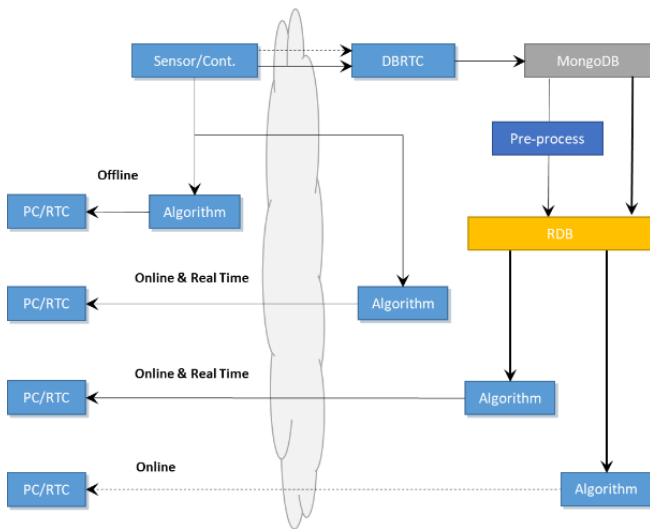


Fig. 1 Architecture for Different Scenarios

Fig. 1 shows possible architecture for different scenarios of the cloud robotics environment. In the architecture, different components which output data (e.g. sensors and controllers) send data to the server side through the network. DBRTC is a special RT Component which bridges the sender components and the database. In other words, DBRTC is the receiver component which writes the data to the primary database. In this architecture, the primary database and the secondary database are deployed in the server. The primary database is to receive and write data with faster way as much as possible, so it is realized by the Key-Value method of MongoDB. On the other hand, the secondary database is to provide organized data after cleaning the raw data in the primary database. So, the secondary database employs relational database system so that other components can obtain target data in more sophisticated query languages.

The architecture is oriented to different scenarios which vary depending on communication types (online or offline), timing (real time or not) and usage of the databases. The first scenario is related to an environment where an RT Component employs processed data from the sensors through an intelligent algorithm offline. The second scenario is an advanced case of the first scenario where the intelligent algorithm is performed on the cloud. For example, for controlling a drone, we can leave heavy image processing to the server capability. Other scenarios employ the database systems on the cloud. Although, it is still technically difficult to use the data in real time online, the organized data in both the primary and secondary database can be utilized for a number of different purposes.

#### 5. Experimental Implementations

In this project, toward the establishment of the cloud robotics

environment, experimental components called DBRTC to connect RT Components and database have been developed. The aim of the experimental components is to evaluate the applicability of the architecture based on OpenRTM-aist for the data acquisition system by analyzing accuracy of the sending data, and to find limitations as well as acceptable environmental settings for the feasible scenarios. In OpenRTM-aist, the developers can create RT Components and the corresponding robot systems very flexibly. For example, each component can have any number of in-ports and out-ports, their communication types and buffer size are parameterized, frequency of functions periodically activated can be specified, and variables defined in the component can be controllable through configuration setting, compatible in-port and out-port can be easily connected, and so on. Although, default values and setting are suitable for many cases, the robot system where a number of components and their connection are involved, should be carefully designed especially for applications where real time processing and data acquisition with higher accuracy are required.

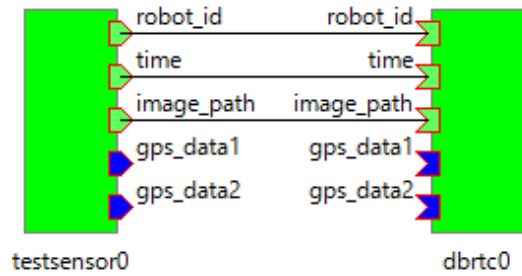


Fig. 2 An example of a pair of the sender and the corresponding DBRTC

In addition to the performance and accuracy issues, our goal includes the enhancement of the development productivity. We realized it by generalization and automation for the development of DBRTC which enable developers create the data acquisition components without special efforts. Generally, a robotic technology component is created using RTCBuilder with which the framework of the standardized interfaces is automatically generated and the developer can embed the core logic for the corresponding functionality. On the other hand, we developed DBRTCBuilder to automatically generate a DBRTC, which can be a data acquisition component for the corresponding sender component. The main feature of the builder is that the DBRTC is generated with RTC.xml of the corresponding sender component which is compatible to the DBRTC. Fig. 2 shows an example of a

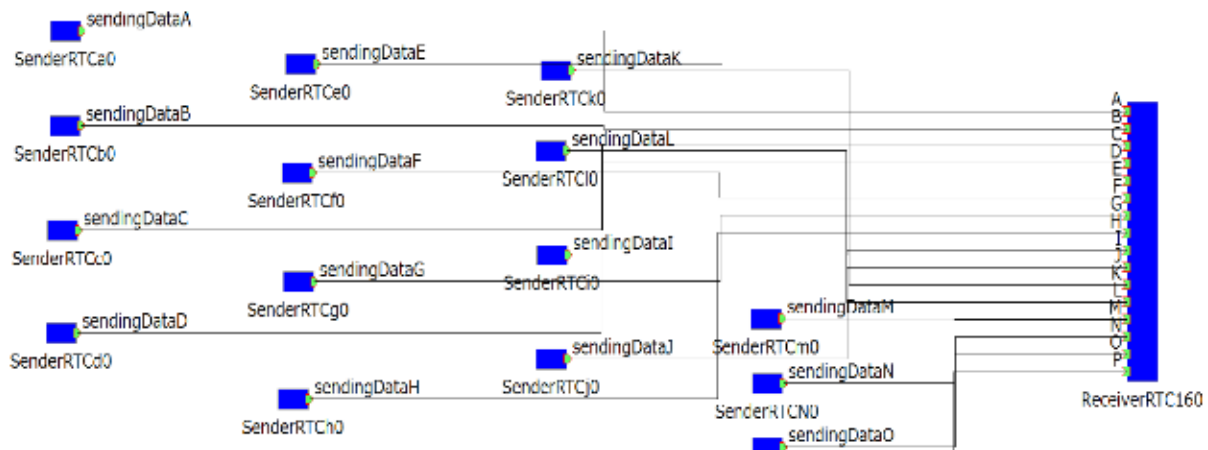


Fig. 3 A data acquisition system with multiple-sender components and a receiver component

pair of the sender component and the compatible DBRTC, which is generated by DBRTCBuilder.

## 6. Evaluation

As the first experiment, the communication between the sender components and the DBRTC through VPN has been examined. An RT Component has a number of configurations for different settings. The frequency of an event-driven RT Component is 1000 Hz by default, but we realized that it is not suitable for the data acquisition purpose. Under the default setting, although the receiver and the DBRTC can communicate, the setting causes a number of occurrences of lack of data. So, to prevent the occurrence of missing data due to the frequency, we should examine the suitable configuration of the components as well as of the database. In this project, although it depends on circumstances, we have concluded that one of the suitable frequencies is 5 Hz for both the sender and receiver components considering stable communication and the scenario of the cloud robotics environment we pursue with the global network.

As the second experiment, communication between multiple-sender and the receiver has been considered as shown in Fig. 3. In this experiments, accuracy of data successfully sent to the receiver was analyzed for different environmental settings including some extreme cases. The experiments have been conducted based on the following procedure with different configuration parameters as well as with different hardware settings.

- Activate the receiver component and N sender components, at the same time.
  - Each sender component sends a data at a specified frequency  $F_s$ .
  - The receiver component reads the corresponding in-port at a specified frequency  $F_r$ .
  - The sender component is deactivated automatically

when it has sent 1000 data.

After the sender finishes sending the data, accuracy was analyzed based on contents of the database in the receiver.

In this sub-project, two types of hardware setting 1) an architecture based on a local machine and 2) an architecture based on distributed machines, have been considered.

In the first experiment, the sender components and the receiver component are deployed on the same local machine which means that all components rely on the same CPU. In this environmental setting, there is no bottlenecks related to the network. In the second experiment, the sender components are deployed on different Raspberry Pi in the local network, and the receiver component is deployed on the local machine. In this environmental setting, each component runs in its own CPU, but there can be some influence by the network connection.

As configurations parameters where  $F_s, F_r = 1000$  Hz and  $F_s, F_r = 100$  Hz have been considered in the experiments.

It is clear that the accuracy depends on the number of sender components N. It is a good guess that the accuracy decreases when the number of the components increases because many components use more computational and communicational resources than a few components. In the experiments, the architectures where  $N = 1, 2, 3, \dots, 16$  sender components were examined.

The results of the experiments based on a local machine showed that computational resources influence the performance and the accuracy of the communication between RT Components. The first experiment based on a local PC where  $F_s = 1000$  and  $F_r = 1000$  demonstrates one of extreme cases to see the limitation. In the experiment with the higher frequency, it is clear that the accuracy decreases as the number of sender components grows. Since the experiments do not depend on the network, this is because of the limitation of the single CPU. Even for the experiment with lower frequency, the communication is unstable and the number of the

data successfully sent is not perfect. So, these results imply that the corresponding architectures and configurations are available for small systems where a few components are involved but not acceptable for mission critical systems.

On the other hand, quite opposite results have been observed from the experiments based on the distributed machines. In the experiment where a number of tiny computers with higher frequency were involved, all data from the sender components successfully arrived to the receiver components regardless the number of components. It could be due to the fact that the components can exclusively use computational resources of the corresponding machine while the network resources should be shared with a number of ports. The result of the experiment with receiver component of lower frequency which has a number of missing data, implies that the computational resource and the frequency setting are much more important than the network resource for this environmental setting. These results demonstrate that RT Components work well enough in the distributed machines where each component can use its own CPU resource.

To investigate the features of the distributed architecture, the experiments where the senders and the receiver use different frequency have also been conducted. The results of the experiment where  $F_s = 100$  and  $F_r = 1000$  shows that we can obtain more stable results by increasing the frequency of the receiver. This implies that some data have been missed in the experiment where  $F_s = 100$  and  $F_r = 100$  because of the lower frequency of the receiver. This problem should be resolved by the implementation of a ring buffer of the corresponding in-port. The experimental results reveal that we need to modify or extend the implementation of the ring buffer to avoid missing data for some mission critical application.

## 7. Conclusion

In this report, target data, architectures for the data acquisition system in the cloud robotics environment have been presented. In the sub-project, a special data acquisition component called DBRTC and the corresponding builder, which automates the creation of the data acquisition components, have been developed. To simulate different types of cloud robotics environment, the accuracy of communication between sender components and a receiver component has been analyzed with different parameters and setting. The results showed that the data acquisition environment based on RT Middleware is applicable enough for cloud robotics environments with lower frequency or simple scenarios based on distributed machines. On the other hand, the results have also demonstrated that there can be limitations depending on the frequency, the number of local/global components involved and the size of data. In addition, the experimental results reveal that the implementation especially for buffering of the receiver should be adjusted to avoid missing data

for mission critical applications.

## References

---

- (1) <https://www.openrtm.org/openrtm/>

## 3.12. R4: Cloud Robotics

University of Aizu Yutaka Watanobe

Abstract: Although, Cloud Robotics is a grand conception of the project, advanced technologies for different fields are required to transform the concept of IoR to Cloud Robotics. In this project, toward establishment of the cloud robotics environment, a number of fundamental researches related to messaging interface, data acquisition components, resource management and software development tools, have been conducted within sub-projects. This report presents some proposals and results from the selected sub-projects.

### 1. Introduction

Internet of Things (IoT) or Internet of Robots (IoR) is the network of different components such as hardware devices, sensors, and other programs as well as is the concept to connect them for exchanging data. The concept of IoR is emerging not only in industrial fields but also in daily life including medical, security, disaster defense, agriculture, environment, etc. Besides, current trends related to big-data analysis and frameworks for artificial intelligence will accelerate the needs and attractiveness of IoR. However, it is still difficult to construct IoR environments where robots as a service are available. This situation points to the critical need for new innovations to develop the concept of IoR into Cloud Robotics where people can easily construct and manage robot services. Especially, technologies for network communication, messaging interface, data acquisition, resource management, standardization, and development tools should be considered for the next generation.

In this project, toward the cloud robotics, a number of fundamental researches have been conducted within sub-projects. The fundamental research includes:

- Brokered Pub/Sub message interfaces to enhance communication methods
- Pub/Sub messaging interface using bridges of message brokers
- Design of a platform for cloud robotics developing environment
- QoS-aware Robotic Streaming Workflow Allocation in Cloud Robotics Systems

In this report, a concept and a possible scenario of the robot cooperation in the cloud robotics environment which the project promotes, are presented. Some research results obtained from the sub-projects are also demonstrated.

### 2. Concept of Cloud Robotics

The cloud robotics is characterized by features of Robot As A Service (RaaS), Internet of Robot (IoR) and Wisdom of Crowds

(WoC). The aim of this project is to enhance the concept of IoR toward RaaS by computer science and engineering solving technical problems on messaging interfaces, data acquisition, resource management, and development methodologies of components. RaaS is a concept where people can easily integrate components deployed on both local and global areas to provide robot services. Our final goal is the establishment of a new type of service form as well as market based on the cloud robotics environments.

### 3. Scenario of Cloud Robotics

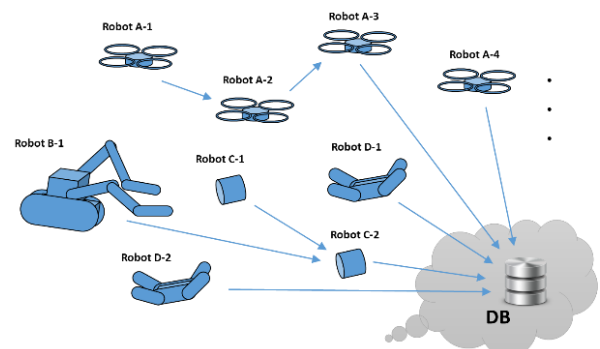


Fig. 1 Scenario of Cloud Robotics.

Fig. 1 shows the concept of the cloud robotics. In the cloud robotics, a number of components related to devices and services are connected to communicate each other. Generally, information obtained from a robot can be employed to make decisions of other robots and people in the base-station. To do so online and offline, useful information resources should be accumulated to databases deployed on one of the base-stations.

In this project, items involved in possible scenarios of cloud robotics are considered especially for disaster response. In the disaster site, a robot system is organized in such a way that different types of robots serve different functions from various perspectives collaborating each other and they are controlled by people (or machines) in the base-stations. In this project, for a scene of a disaster, the following types of robots and base-stations have been developed:

- **Large-scale double arm robots** which are to wipe away large rubbles. In a disaster, the robots should be remotely controlled from the base-station. So, camera images and other information such as circumjacent 3D points data should be sent to the stations and use them to make decisions related to the arm movement and their movement path.
- **Middle-size crawler robots** which prowl around debris on the ground. The crawler robots can run through bumpy and sloping area. They also record circumstance as images and movies from different directions. Such images can be useful to see conditions around them and find survivors and danger points in the rubbles.
- **Small-size crawler robots** which can explore more flexibly on the ground. In addition to cameras, different sensors and devices such as sound recognitions systems can be mounted to the small robots. One of important roles of such small-size robots is to transfer data as a mobile relay stations on the ground.
- **Drones** which look down and observe the ground continuously. One of their main roles is to send airborne imagery data and the space information to the base stations and other robots. Environmental information such as pressure and temperature is also recorded. The important thing is that a number of drones can organize a cluster and flies in formation to collect data from wide area over a long time. Such drones can also be mobile stations to transfer data between different robots.
- **Dronet** is a cluster of multiple drones connected by wires. The advantage of the dronet system is that it can fly over a long time by receiving power from the ground permanently. In addition, the dronet system which consists of a number of drones has more powerful payload to convey a heavy thing.
- **Local base-station** is to control the different robots remotely based on both peoples and machines decisions. The local base-station is an environment where images, status of robots, other environmental information can be observed on screens. The controllers for the robots and user interfaces are also deployed on the station. The local base-station is connected to the cloud base-station to obtain important data and optimal instructions.
- **Cloud base-station** is to accumulate data from the robots and the local base-station, and perform elaborate calculation to feedback optimal data and instructions. The calculations can be based on image processing and other algorithms for artificial intelligence. For example, overhead view can be constructed from a number of airborne imagery data from drones. To accumulate the data, database management systems, storages and the

corresponding API should be deployed on the cloud base-station. So, generally, the cloud base-station should have high performance computational environment.

#### 4. Results from Sub-Projects

As mentioned in the Introduction, advanced technologies for different fields are required to transform the concept of IoR to the cloud robotics environment. In this section, some research results related to messaging interface, resource management, and software development tools are presented from selected sub-projects. The research for the data acquisition methods is presented in another report.

##### **Brokered Pub/Sub message interfaces to enhance communication methods**

Although, as one of standard communication interfaces, CORBA interface is used in OpenRTM-aist by default, there is still limitation depending on the network architectures for the required robot systems.

In this sub-project, to enhance the communication methods in the cloud robotics environment, experimental systems of the brokered Pub/Sub messaging interfaces have been developed and evaluated<sup>(1)</sup>. The implementations and results of the experiments have shown that the proposed Pub/Sub messaging interfaces are promising ways to develop and enhance the cloud robotics environment in terms of the following advantages over the CORBA interface:

- **Flexibility and extensibility of the robot system.** A single component can be incorporated in the system regardless existence of communications partners.
- **Multipoint-to-multipoint communication.** The interface employs a special server dedicated to messaging. So, we can adopt a hardware-based broker which a large number of connections from the corresponding nodes exert little influence on the performance.
- **Data transfer beyond firewall.** Although, the firewall should be configured properly at the server side (broker), it can be performed at a local setting.
- **System development without dependence on the network environment.** Components can be connected without dependence on the network environment on the client sides as long as the firewall are properly configured and messages is reachable from the client to the server (broker).
- **Reliability of data transfer.** There are many options of borkers and messaging protocols which can control the reachability as QoS.
- **Persistence of the messages.** Even if a receiver is under



suspension, the corresponding messages can be queued at the broker, and be retransmitted after restoration of the receiver.

### Pub/Sub messaging interface using bridges of message brokers

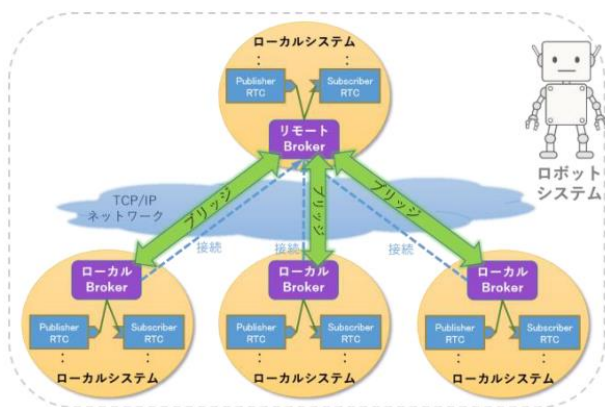


Fig. 2 An example of robot systems using brokered Pub/Sub messaging interface with MQTT Bridge

The proposed Pub/Sub messaging interface can be enhanced by the bridges of message brokers. This architecture can efficiently distribute a load and enhance expandability of a robot system. Besides, the message brokers can be loosely connected by bridges and they make the robot system more robust. Specifically, we can construct the cloud robotics environment which consists of several local systems where each local system is accompanied by the corresponding brokers. The local systems are loosely connected and realize the safety robot environment having fault tolerance. In this sub-project, architectures of the cloud robotics environment with bridges of multiple brokers have been proposed<sup>(2)</sup>. To evaluate the proposed architecture, performance evaluation of different topologies of a network have also been conducted.

In the experiment, MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) protocol and the corresponding software broker were employed. One of attractive features of the protocol is MQTT Bridge which can distribute brokers to local systems. Advantages of the bridge with multiple brokers comparing with a single broker includes the expansion of the number of clients, the load dispersion and automatic recovery of bridges from the failure. The aim of this research is to find more efficient topology in terms of real time processing, stability, continuity, and robustness as well as of possibility and maintainability for connecting beyond firewall and NAT. Fig. 2 shows the proposed topology of a robot system using brokered Pub/Sub messaging interface with MQTT Bridge and multiple brokers. The main idea of the topology is to place the server with a remote broker for the connection between local systems. More specifically, in the topology, a broker is deployed to each local environment, and the bridge is limited to connections

between the cloud side and the end-point. Thus, the system as a whole consists of a number of local systems which are independent of the network. Advantages of the operation with the bridges include:

- The system does not stop even under the unstable network environment,
- A system failure at a local system does not affect the other local systems,
- A local system can be added/removed to/from the system flexibly, and
- Communications between local systems can be realized beyond firewall and NAT.

To evaluate the performance of MQTT communication interface, benchmark tests have been conducted comparing with that of CORBA communication interface. In the tests, Mosquitto was employed for the implementation and the communication between two local systems with the corresponding brokers has been examined. The results of the experiment have shown that the communication interface based on Mosquitto can keep performance for higher frequency, and we have concluded that the proposed architecture demonstrates its potential for communication of small data chunks with higher frequency. Such advantages and characteristics show that the approach can be applied to real time system as well as the cloud robotics environment with the TCP/IP network.

### Design of a platform for cloud robotics developing environment

Although, RT Middleware has advantages such as GUI editors and other support tools, it requires laborious processes to install related software and set up the network. Besides, the operations and setting depend in a large part on the corresponding operating system (for example, finding applications and target components from the file system). So, when we employ RT-Middleware, the initial costs remain for developing robot services as well as for education.

In this sub-project, an architecture for cloud robotics development environment has been proposed<sup>(3)</sup>. In the proposed development environment, the RT-Middleware and related platforms are deployed in the server in the cloud, and it enables users to construct and manipulate a robot system, through WEB browsers where required RT Components are easily involved. Although, there are several technical issues to be solved, the evaluation of its usage process has shown that the proposed environment enables users construct a system with less operations. One of attractive advantages of the proposed environment is that the user can integrate components from the repository deployed on the server (e.g. RTC-Library-FUKUSHIMA).

## QoS-aware Robotic Streaming Workflow Allocation in Cloud Robotics Systems<sup>(4)</sup>

Current solutions of computation offloading for cloud robotics face challenges: 1) traditional approaches do not consider the characteristics of networked cloud robotics (NCR)(e.g., heterogeneity and robotic cooperation); 2) they fail to capture the characteristics of tasks in a robotic streaming workflow (RSW) (e.g., strict latency requirements and different task semantics); and 3) they do not consider quality-of-service (QoS) issues for cloud robotics. In this sub-project, we addressed these issues by proposing a QoS-aware RSW allocation algorithm for NCR with joint optimization of latency, energy efficiency, and cost, while considering the characteristics of RSW and NCR. We first proposed a novel framework that combines robot individuals, robot clusters, and a remote cloud for computation offloading. We then formulated the joint QoS optimization problem for RSW allocation in NCR while considering latency, energy consumption, and operating cost, and showed that the problem is NP-hard. Next, we constructed a data flow graph based on the characteristics of RSW and NCR, and transformed the RSW allocation problem into a mixed-integer linear programming problem. To obtain an optimal solution in reasonable time, we also developed a heuristic-based algorithm. Experiments demonstrate significant performance gains, with improved QoS and reduced execution times.

### 5. Conclusion

In this project, we have considered different scenarios of the cloud robotics especially for disaster response. Results from a number of research groups related to messaging interface, data acquisition components, resource management and software development tools, will be basis for the further development of the cloud robotics environment in the project.

---

### References

- (1) Daishi Yoshino, Yutaka Watanobe, Yuichi Yaguchi, Keita Nakamura, and Keitaro Naruse, Application possibility of OpenRTM-aist-based integrated robot systems using CORBA interfaces and brokered Pub/Sub messaging interfaces, *Robotics and Mechatronics (Robomec)*, 2A2-J08, 2017.
- (2) Daishi Yoshino, Yutaka Watanobe, Yuichi Yaguchi, Keita Nakamura, Jun Ogawa, and Keitaro Naruse, Publish/Subscribe Messaging Interface using Bridges among Message Brokers on RT Middleware, *SICE SI 2017*
- (3) Keigo Annma, Yuichi Yaguchi, Yutaka Watanobe, Keitaro Naruse, Construct Cloud base RTM and automatic deploy to Raspberry PI, *Robotics and Mechatronics (Robomec) 2017(0)*, 2A2-K07, 2017.
- (4) Wuhui Chen, Yuichi Yaguchi, Keitaro Naruse, Yutaka Watanobe, and Keita Nakamura, QoS-aware Robotic Streaming Workflow Allocation in Cloud Robotics Systems, *IEEE Transactions on Services Computing* (Accepted).

## 3.13. R5: ロボット技術者育成

会津大学 中村 啓太

株式会社 FSK 荒川 弘栄 馬上 雄 株式会社 GClue 佐々木 陽

Abstract: This report shows the trainings for robot engineers in the project for the robot technology development and support at the University of Aizu. In particular, the report shows our RT middleware workshop, e-learning and hackathon trial to obtain knowledge for controlling the robot by OpenRTM-aist. Moreover, it describes our education effort for robot engineers in a training course by Fukushima Prefecture. Finally, we remark the education and training for future robot engineers.

### 1. はじめに

この節では、会津大学ロボット技術開発支援事業で取り組んだロボット技術者育成について述べる。

特に、RT ミドルウェアの1つである OpenRTM-aist<sup>(1)</sup>の技術取得を目的とした RT ミドルウェア講習会を2章で報告する。また3章では、ロボットハッカソントライアルについて報告する。そして4章では、福島県主催のロボット関連産業で求められる技術を幅広く学ぶことを目的とした、ロボット関連人材育成研修に関する取り組みについて報告する。最後に、これからのロボット技術者についての意見を述べて、本稿をまとめる。

### 2. RT ミドルウェア講習会

本ロボット技術開発支援事業では、会津大学の強みである ICT を活用したロボット開発の技術支援、および福島・国際研究産業都市(イノベーションコースト) 構想実現への貢献を目的としている。その取り組みの一環として、「RT ミドルウェア講習会」を8回実施した (Table.1)。

この講習会では、「初級」、「中級」、「上級」の3種類の講習会を開催し、延べ143名の方の受講者が集まった。すべての講習会の立案、設計などの講習会開催に向けた取り組みは、株式会社 FSK が担当した。また、主にロボット事業に関わる教員が講師となり、多くの会津大学学生がティーチングアシスタントとして参加した。

#### 〈2・1〉 初級講習会

初級講習会は3年間で計5回開催された。このレベルでは、RT ミドルウェアやRT コンポーネントの概念、作成方法、各種ツールの使い方を習得し、実際にRT コンポーネントを作成することを目的とした。実際に、ロボットを動作させてRT ミドルウェアの使い方を実践形式で行った。

また、初級講習会の内容はRTC-Library-FUKUSHIMA<sup>(2)</sup>上のe-learningで学ぶことができる。

初級講習会の概要を以下に示す。

第1部 : OpenRTM-aist および RT コンポーネントプロ

Table 1. 講習会開催日程

回数	開催時	受講レベル	開催場所	受講者数
1	2015.6	初級	会津大学	20
2	2016.11	初級	会津大学	18
3	2016.12	初級	いわき明星大学	17
4	2017.1	初級	日本大学工学部	16
5	2017.3	中級	会津大学	20
6	2017.8	初級	南相馬市	16
7	2017.9	中級	日本大学工学部	20
8	2017.12	上級	会津大学	16

プログラミングの概要 (座学)

第2部 : RTSystemEditor の使い方

第3部 : ロボット操作実習

#### 〈2・2〉 中級講習会

中級講習会は3年間で計2回開催された。初級講習会では、RT ミドルウェアでロボットを動かす仕組みについて学び、決められたコンポーネントでロボット操作を行ったが、中級講習会では、受講者の考えを反映させながら、各々でコンポーネントを作成し、実際にロボットを制御させることを目的とした。

このレベルでは、ロボットに取り付けられているセンサ情報を入力し、その値に基づいてロボットのアクチュエータを制御するプログラムを作成することで、予め用意した専用コースを自動的に走破することが可能になる。

中級講習会の概要を以下に示す。

座学 : 教育版レゴ® マインドストーム®EV3<sup>(3)</sup>の概要と実習の内容説明

実習1 : 基礎 EV3 のセンサを使用した自動走行

実習2 : 応用 コントローラで EV3 を操作

#### 〈2・3〉 上級講習会

上級講習会は3年間で計1回開催された。初級講習会、

中級講習会での知識を踏まえて、プログラム開発、ロボット制御までの過程を体験することを目的とした。教材には、ロボットアームとカメラを使用し、実際のロボット動作に必要なモーターの動かし方、およびカメラで取得したデータを画像処理アルゴリズムに適用して、必要な情報を抽出する方法を、実践形式で行う。さらに、災害対応に向けたロボットのアイデアを受講者自身が考え、そのアイデアの実現を講習の成果物として発表することをを行った。

上級講習会の概要を以下に示す。

1 日目：ロボットアームの把持

座学：ロボットアームの制御

実習：ロボットアームの動作

2 日目：画像処理による輪郭抽出

座学：画像処理について

実習：画像処理で物体を認識する

ミニロボットハッカソン：画像処理とロボットアーム

による災害対応に向けたロボットのアイデア

### 3. ロボットハッカソントライアル

ロボット技術の向上、RTC-Library-FUKUSHIMA の活用、OpenRTM-aist の普及を目的とし、平成 29 年 3 月 22 日、23 日でロボットハッカソントライアルを開催した。

このロボットハッカソントライアルでは、予め設定した暗闇まじりのコースを、遠隔操作でロボットを探索し、決められたオブジェクトを撮影するタスクに対し、参加者が自由にロボットシステムを製作、試行錯誤で改良することをを行った。今回のハッカソントライアルでは、オブジェクトの撮影精度（鮮明さ、位置）、コースの走破時間を競うこととした。

### 4. 福島県ロボット人材育成研修

制御技術を中心に、ロボット関連産業で求められる技術などを幅広く学ぶことができる福島県独自の人材育成カリキュラムを策定したロボット関連産業を担う人材を育成するための研修<sup>(4)</sup>を、2017 年 10 月から計 17 回、郡山市（テクノアカデミー郡山）と南相馬市（テクノアカデミー浜）で行われている。本学では、株式会社 FSK、株式会社 GClue と協力し、『ROS、RTM によるロボットプログラミング』という題目で、計 30 時間（計 20 コマ×90 分）の講習を担当している。

この講習会の目的を『ソフトウェアを利用したロボット開発を経験する』とし、株式会社 GClue が開発したマウス型ロボットの組み立て（Fig.1）を実際に行い、Raspberry Pi でモーターを制御することを行う。また、自力で一からロボットプログラミングができるように、Raspberry Pi の導入、パソコンから遠隔で Raspberry Pi に接続して操作、基本的な Python プログラミングもこの講習で扱うようにしている。さらに、RT ミドルウェア講習会の内容である、OpenRTM-

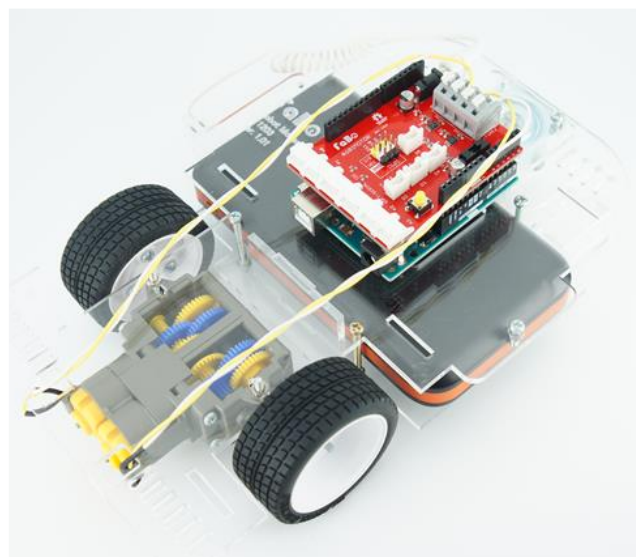


Fig.1 マウス型ロボット

aist による基本的なコンポーネントの作成、RTC-Library-FUKUSHIMA に登録されているコンポーネントとの連携、ミドルウェア ROS<sup>(5)</sup>の実用例紹介を行い、遠隔操作ロボットシステム的设计、実装、チューニングをできるようにカリキュラムを構築した。

### 5. おわりに

本節では、会津大学ロボット技術開発支援事業で取り組んだ、ロボット技術者育成について紹介した。この3年間の人材育成では、主にミドルウェアを導入したロボット制御プログラムを作成できるような講習会などを立案・実施してきた。

しかしながら、ロボット技術者は、機械・電子・情報などの専門分野の知識が必要であるため、これらの分野を学べるようなロボット技術者育成ができるような講習会を企画する必要がある。たとえば、工学系学科として日本で初めて「実践的な研究・教育科目」「集中型教育」プログラムを導入した千葉工業大学未来ロボティクス学科<sup>(6)</sup>で行われている3つの分野を跨ぐ実践的演習や Open Academic Robot Kit<sup>(7)</sup>に代表される安価で 3D プリンタで印刷可能なパーツを自由に組み合わせて、Standard Test Methods for Response Robots<sup>(8)</sup>を達成するロボット競技などが参考になると考える。

また、本学が提唱するクラウドロボティクスを実現するためには、ロボットの回路や機構に関わるハードウェアの知識、およびロボット制御プログラムに関わるソフトウェアの知識を備えた従来のロボット SI のスキルだけでなく、クラウド要素であるネットワーク、データベース、セキュリティの知識を備わる人材が必要であるため、そのような知識を身につけられる技術者育成カリキュラムを構築する必要がある（Fig.2）。

スキル レベル	クラウド ロボティクス	ロボットSI	ロボットSW	ロボット回路	ロボット機構
レベル 5	クラウド (DB, AI, 機械学習など) を活用した知的ロボットネットワーク設計	HW・SWを含む実用的ロボットシステムを設計			
レベル 4	クラウドを活用したロボットシステムの設計 (セキュリティ対策の基本を含む)	HW・SWを含む高度なロボットサブシステムを設計	実用的なロボットシステムSWを設計	実用的なロボットシステム回路を設計	実用的なロボットシステム機構を設計
レベル 3	クラウドを活用して Network, DB, AI, 機械学習などの基本をロボットに適用	HW・SWを含むロボットサブシステムの基本設計	ロボットシステムの基本 SW設計 AI, 機械学習などの要素技術習得	ロボットシステムの基本回路設計	ロボットシステムの基本機構設計
レベル 2	Network, DB, セキュリティなどのクラウド要素技術習得	ロボットミドルウェアの仕組みを理解し, ロボットシステムを実装	OSSなどを活用したサブシステムの機能実現	ロボットサブシステムの基本回路設計	ロボットサブシステムの基本機構設計
レベル 1	Network, DBの仕組みの理解	プログラムによる回路制御	C言語などによるプログラミングスキルの取得	ロボットサブシステムの回路理解	ロボットサブシステムの機構理解

Fig.2 ロボット人材スキルレベル

## 付 録

### 謝 辞

RTM 講習会および福島県ロボット人材育成研修のティーチングアシスタントとしてご協力頂いた会津大学の宮地利宗くん、平出大貴くん、渡部未来くん、森内啓介くん、齊藤智博くん、嶺田築くん、横川真美さん、吉田将司くん、新田喜章くん、松本拓くん、石坂諭くん、大谷育未くん、中澤遥菜さん、井上千徳くん、大山良明くん、間宮隆瑛くん、濱谷圭輔くん、本多健くん、神ノ門真吾くん、阿部文明くん、松井洸太くん、出縄飛竜くんにご心より感謝致します。

1. ロボット事業に関わる教員によるロボットカリキュラム作成に向けた講義内容のブレインストーミング結果
2. 千葉工業大学未来ロボティクス学科カリキュラムまとめ

### 文 献

- (1) OpenRTM-aist official website | OpenRTM-aist :  
<https://www.openrtm.org/openrtm/ja/content/openrtm-aist-official-website>  
(参照 : 2018-2-20)
- (2) RTC-Library-FUKUSHIMA | OpenRTM-aist を利用した、ロボット・テクノロジー・コンポーネント (RTC) ライブラリサイト :  
<https://rtc-fukushima.jp/> (参照 : 2018-2-20)
- (3) LEGO® MINDSTORMS® - LEGO.com JP :  
<https://www.lego.com/ja-jp/products/themes/mindstorms>  
(参照 : 2018-2-20)
- (4) 『ロボット関連人材育成研修』いよいよ開講 !! - 福島県ホームページ :  
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/32021e/robo-jinzai-ikusei.html>  
(参照 : 2018-2-20)
- (5) ja - ROS Wiki : <http://wiki.ros.org/ja> (参照 : 2018-2-20)
- (6) 未来ロボティクス学科 : トップ : <http://www.robotics.it-chiba.ac.jp/>  
(参照 : 2018-2-20)
- (7) The Open Academic Robot Kit - Lowering the Barrier of Entry into Research Level Robotics : <http://oarkit.intelligentrobots.org/home/>  
(参照 : 2018-2-20)
- (8) Standard Test Methods for Response Robots | NIST :  
<https://www.nist.gov/el/intelligent-systems-division-73500/response-robots> (参照 : 2018-2-20)

付録1：ロボット事業に関わる教員によるロボットカリキュラム作成に向けた講義内容のブレインストーミング結果

カテゴリ	会津大学の講義で行っている内容	会津大学の講義で行っていない内容
ME	力学（運動方程式、動力学、運動学）、組み込みCAD、モジュール、ブレッドボード、オシロスコープ、テスター、計測工学	ロボットシミュレーション、機械力学（応力、ひずみ、ヤング率）、弾性体、材料力学（加工、切削）、流体練成、ソフトマテリアル、工学機械のメンテナンス、組み立て、操作、機体設計（CAD/CAM）、プリント基板、3Dプリンタ、レーザカッター
Control	制御理論（古典制御、PID制御、現代制御、システムモデル、ボード線図、周波数解析、状態空間、レギュレータ、オブザーバ、ロボットアーム、車輪駆動、非線形システム、運動学、逆運動学）	
Embed	マイコン（組み込み）、アクチュエータ、論理回路（ゲート作製、ALU、タイマー設計、CPU、FPGA）	センサ（GPS、IMU、レーザ距離計、通信モジュール、モーションキャプチャ、カメラ）、通信モデル（Pub/Sub）
Network	ネットワーク（TCP、UDP、http、rtsp、プロトコル、xbee、wifi）、メディア（音声、画像）	無線工学（アンテナ、無線電波）、ネットワークシステムの構築（マルチホップ、冗長性）
Math	線形代数、微積分学、確率統計、微分方程式、ラプラス変換	
Physics	力学、電磁気学	材料力学、熱力学、流体力学、航空力学
HMI		Human Machine Interface
Middleware		OpenRTM、ROS、標準化
Secure / Security		安全工学、ISO、セキュリティ
General education		クリエイティブ工学、社会システムの一要素としてのロボット、ロボットにおける法律・制度、インタラクティブデザイン、プレゼンテーション（TED）
Practice		現代的なロボット設計（CAD→シミュレーション→構築→テスト）、モデル設計（デジタルマニュファクチャリング）、モデリング、シミュレーション、3DCAD実習、有限要素法、Matlab、シミュレータ
Computer Science	人工知能、機械学習、ニューラルネットワーク、ML / DNN、メタヒューリスティクス、数値解析（オイラー、ルンゲクッタ）、言語処理（機械言語、自然言語）、アルゴリズム（最適性原理、DD、教科学習、経路計画）、ロボットビジョン（OpenCV、3次元描画、画像処理、SLAM）	
EE	電気回路（オームの法則、キルヒホッフ、テブナン、インピーダンス、交流回路、リアクタンス、ブレッドボード、ADC、センサ）、電子回路（トランジスタ、ダイオード）	信号処理（フィルタ回路、デジタル、アナログ、パルス回路）
Programming	プログラム（C言語、C++、Java、Python、アセンブリ、描画）、インタフェース、物理シミュレーション、力学シミュレータ	
Database	データサイエンス、DB、DBMS、ストレージ、フレームワーク、データマイニング、NoSQL、トランザクション、SQL言語、RDB、セマンティックウェブ	
Parallel computing	クラウド、グリッドコンピューティング、スレッド処理、スパコン	ハイブリッドコネクション

Software	ソフトウェア工学 (UML、OOP、AOP、デバッグ、品質管理、プロマネ、システム管理)、Linux、仮想マシン、システム設計 (アジャイル、IDE、API、Object、Service Comp.、テスト(JUnit))	バージョン管理(Git)、オープンソース
----------	---	----------------------

付録2：千葉工業大学未来ロボティクス学科カリキュラムまとめ

年次	科目名	キーワード
1年次	プログラミング基礎	C言語
	未来ロボティクス総合セミナー	人間力の向上、ロボット研究
	数学基礎	微分、積分
	機械製図	平面図、立体図
	ロボット機構学	機構設計、リンク機構、センサ、フィードバック制御、車輪型ロボット、マニピュレータ、歩行ロボット
	線形代数学	行列、固有値、固有ベクトル
	微分積分学	微分、偏微分、ヤコビ行列、積分、微分方程式
	物理学基礎	力学
	ロボット設計製作論実習1 [演習]	3DCAD、オドメトリ、プログラミングを用いた制御、ロボット調整
	ロボット電子回路 [演習]	直流回路、組み込みコンピュータ、電源、通信、モーター駆動、センサ、音声入出力回路、発光受光回路
	ロボットプログラミング [演習]	アルゴリズム、データ構造、剛体シミュレーション(描画付き)、制御プログラミング
ロボティクスチャレンジ [演習]	工作機械安全講習、回路製作、マイコン	
2年次	メカニクス1	質点の力学
	制御工学	PID制御系設計、システムの状態変数表示、極配置法
	電気電子回路論	直流、交流、過度現象、ダイオード、トランジスタ、オペアンプ、論理回路
	信号処理	アナログ、デジタル、FFT、DFT、デジタルフィルタ、音声信号
	ロボットマニピュレータ	運動学、逆運動学、動力学、制御
	センサ工学	計測、制御、力覚センサ、距離センサ、信号処理、AD・DA変換、ノイズフィルタリング(パッシブ・アクティブ)、画像処理(ロボットビジョン)
	数値解析	2進数、連立1次方程式、非線形方程式、関数補間、近似
	ロボット設計製作論実習2 [演習]	モーター機械系の設計・製作、マイコンを利用した制御、倒立振子の制御
ロボット設計製作論実習3 [演習]	機械設計製図、機械工作、エアシリンダを使用したオリジナルハンド設計製作	
3年次	ロボット制御学	リレー・シーケンス回路、タイマ・カウンタ回路
	科学技術開発マネジメント	経営戦略、開発シナリオ、知的財産権
	科学技術基礎英語	Clear、Concise、Correct
	数値解析学2	数値積分、微分方程式、多変量解析、動的計画法

	メカニクス 2	剛体の力学
	組み込み用コンピュータ実装論	Linux、ソフトウェア、ハードウェア、ネットワーク、アーキテクチャ、組み込みデバイス設計、制御プログラミングの構築、自律ロボットの制御
	認識工学	音声信号、DP マッチング、隠れマルコフモデル、自然言語処理、パターン認識
	ロボットシステム学	Raspberry Pi、TCP/IP、Linux (OS)、ファイルシステム、デバイスドライバ、ソフトウェアライセンス、クリエイティブコモンズ、Git と GitHub、ROS
	コミュニケーション論	プレゼンテーション (英語)
	ロボットビジョン	ビジョンセンサ、画像処理、ステレオ、深層学習、SLAM
	認知科学	認知ロボティクス、意思決定、ベイズの定理
	ロボットインタフェース設計論	デジタルとアナログ、パラレルとシリアル、符号化、エラー訂正・検出、人間工学
	ロボット構造力学	応力とひずみ (変形)、せん断とねじり
	アクチュエータ工学	DC モータ、ブラシレスモータ、ステッピングモータ、空気圧アクチュエータ
	CAD/CAM/CAE	CAD、CAM、CAE、CNC 加工機
	流体力学	静止流体、運動方程式、完全流体、航空力学
	ロボット設計製作論実習 4 [演習]	研究レベルの設計製作や実験・解析
	ロボット設計製作論実習 5 [演習]	研究レベルの設計製作や実験・解析
4 年次	基礎統計学	確率、統計
	卒業研究	



## 3.14. R6: ソフトロボットシミュレーション

会津大学 小川 純 成瀬 継太郎

株式会社メカテック 平 美紀

Abstract: This project aims to develop a novel robot simulator with physics engine by analyzing the motion of robot modeled with rigid-bodied parts and soft-bodied parts. In this project, Japanese translation of Voxelyze manual was made, and then functional expansion of native soft-bodied dynamics engine Voxelyze developed in Cornell University was developed. As the result, we have established simulation technique of mobile crawler robot and motional analysis method of mobility on a plane with step and surface pressure visualization based on pressure-sensitive sheet model. The physics engine will contribute to future digital manufacturing for all robotics designers.

### 1. まえがき

#### 〈1・1〉背景

災害現場において導入される災害対策用作業ロボットでは、移動機構としてクローラ走行方式を採用することが多い。この理由は、ロボットが瓦礫や軟弱地盤等の不安定な足場での繊細な作業を要求されることに起因しており、接地面積が大きく、機体重量から受ける負荷を分散することで安定性の高い移動を実現できるためである<sup>(1),(2)</sup>。クローラロボットの走行において、クローラベルトで起きている力学的变化を可視化し、その結果を用いて与えられた作業を効率的にこなすためのクローラベルトの最適形状、制御方法を検証することのできる方法としてロボットシミュレーション技術がある。ロボットシミュレーションでは、ロボットに状態を決定する力とモーメントをオイラー法などの数値積分法にて計算する物理エンジンと呼ばれるソフトウェアライブラリを技術的コアとしている。

#### 〈1・2〉技術的課題

一般的にロボットシミュレーションでは ODE 等の対象物を球や箱の基本形状の複合体とした剛体系でモデルを表現する物理エンジンを用いたシミュレーション方式を採用している。この最大の理由は、ロボット部品の拘束条件（衝突判定）に関する高速な演算アルゴリズムが確立されているためである。しかし、この方式では物体形状が凸形状であることが高速性を保つ条件であり、多点衝突なども計算安定性の観点から不得手としている。そのため、クローラベルトの運動を従来の剛体シミュレーションで再現する場合、カプセル形状の剛体に並進方向のカベクトルを与えることで近似的に表現することが多いが、その動作の再現精度は低い。本研究では、クローラベルトの運動が、本質的に形状変形や環境との多点接地の相互作用の概念が必要であることを踏まえ、従来の剛体シミュレーション方式に代わり、応用力学に基づく弾性体系でロボットモデルの運動を記述するソフトロボットシミュレーション技術の進展を対象として

いる。

#### 〈1・3〉開発目標

本プロジェクトでは、Voxelyze<sup>(3),(4)</sup> (2014 年米国コーネル大学 Hiller らが開発、異種材質をひとつの力学系に記述可能な弾性体用物理エンジン) の機能拡張を起点に、剛体部品と軟質部品が埋め込まれた汎用的なロボットモデルの動作を高精度で解析するための、新しい物理エンジンとロボットシミュレータの開発を目指している。

このプロジェクトを進めるにあたり、(1)弾性体エンジン Voxelyze の仕様理解と和訳リファレンスの提供、(2) 機能拡張、(3)クローラロボットの解析、(4)剛体エンジンと統合したハイブリッド物理エンジンの手順で取り組んだ。2017 年度は、(3-a)可動式クローラロボットの移動シミュレーション、(3-b)感圧シートモデルに基づいた面圧の動的可視化、によるクローラロボットの力学的解析を実施した。本項は 2. 成果物、3.展望の構成で述べる。

## 2. 開発工程と成果物

### 〈2・1〉弾性体エンジンの和訳リファレンスの提供

ソフトロボットシミュレーションの導入の目的で、オープンソースソフトウェアライブラリとして github 上 (<https://github.com/jonhiller/Voxelyze>) で公開されている Voxelyze の和訳リファレンスの作成に着手した。ここでの狙いとして、計算機における弾性体に関する動力学演算処理方法の基礎的な理解を進め、ロボットシミュレータに導入する際に補完または拡充しなければならない機能を検証することである。

検証の結果として、寸法、弾性率、密度、熱膨張係数、摩擦係数および粘性減衰係数のパラメータをボクセルに導入することで弾性体ボクセルから成る一つの力学系としてモデルを扱っている点、ボクセルを用いることでモデル表現の解像度を上げることができ多点接地に対する数値解析も容易となる利点を明確にした。しかし、ロボットシミュレータ

の観点からみる物理エンジンとしては、最小の弾性体素子にはボクセル幾何形状しか選択できない点、隣接配置した弾性体素子が結合してしまうため異なる部品密接状態が表現できない点、この課題に対して専用 CAD ソフトウェアによるモデルインポートしか扱えない点、などを明らかにした。前述の調査と課題、追加機能の実装については、共同研究を行っている株式会社メカテックが報告書として納品している。

## 〈2・2〉 機能拡充

従来仕様ではボクセル素子は整数インデックス  $I(x,y,z)$  で管理されており、インデックスが隣接するボクセルは自動的にバネダンパ結合が付与されてしまい、ギアと車輪のように密接する異なるオブジェクト同士のシミュレーションができない。この問題を解決するために、オブジェクト後にレイヤの概念を導入し、一つのオブジェクトは一つのレイヤに記述する仕様にした。この機能では、レイヤ間のオブジェクトが隣接しないようなインデックスを与えた後、隣接する位置まで平行移動してオブジェクトを配置する。この機能により密接したオブジェクト配置が可能となり、クローラベルトの巻き込み動作を可能とした。また、モデリングを容易にするためにマテリアル情報とオブジェクト、該当レイヤを記述する JSON 形式のファイルを読み込むことで、ユーザが計算した幾何形状のモデルの動きを Voxelize 上で

本研究の大目標は、汎用的なロボットの運動をシミュレートするための動力学エンジンの開発であるが、ここではその一例として弾性体エンジンで記述されたクローラロボット (Fig.1 参照) の運動について考察を実施した。環境として有限面積の地面、段差モデル、感圧シート (Fig.1、2、4 参照) をモデリングし、その上を走行させる検証実験を行った。弾性体モデルで表現するとクローラベルトのラグ部分に着目した力学的な変化を数値データとして取得できる (Fig.3)。この結果から局部が隣接素子との結合、摩擦、接地による外力を受けて、異なる様相を示すことが確認できる。これは従来の剛体モデル、単純なバネ・ダンパ結合モデルで表現した弾性体モデルでは解析が困難な情報であり、本シミュレーションモデルが従来の物理エンジンと比べてマイクロな視点から定量的な解析ができることを示している。また、感圧シートモデルでは、クローラベルトが平地を移動している場合において環境に与える圧力を動的に可視化する手法について提案しており、実機ではセンサが取り付け困難な位置における面圧解析を可能としている。

## 〈2・4〉 剛体エンジンとのハイブリッドエンジン

クローラロボットのシミュレーションの結果、全ての部品を弾性体で表現してしまうと硬い素材の金属部品の表現や計算時間の増大を招く問題点を明らかにした。このため、既存の剛体エンジンの機能を弾性体の計算を必要としない

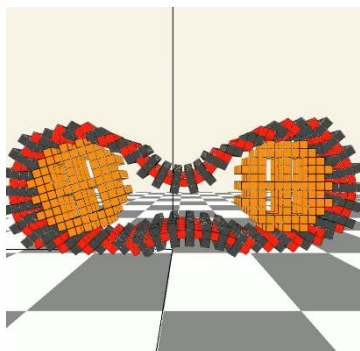


Fig.1 クローラロボットモデル

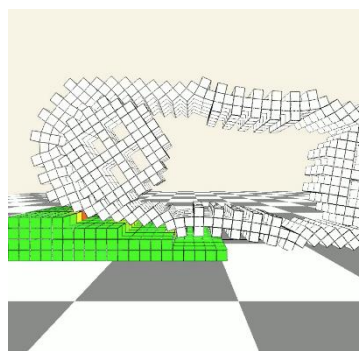


Fig.2 階段昇降シミュレーション

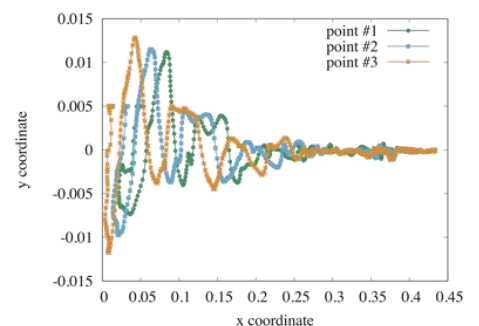


Fig.3 局所の移動軌跡 (位置変位)

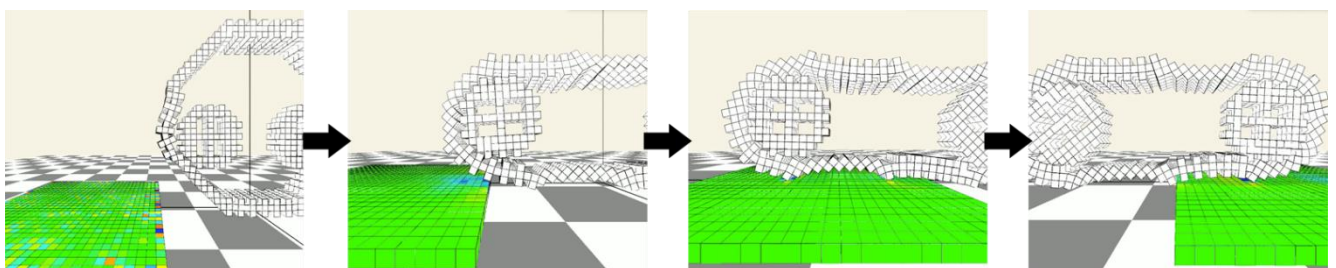


Fig.4 平面走行時の圧力分析の事例

実行できる機能を実現した。

## 〈2・3〉 クローラロボットへの適用

部分に適用し、弾性素材の部品は弾性体計算用エンジンで処理するハイブリッドエンジンの構築に取り掛かっている。現在まで、統一的に二つの動力学エンジンを管理する機能まで実装完了している。このエンジンは、本プロジェクト

で明らかにした Voxelyze の不足点である別の幾何形状（球、円筒、カプセルなど）による弾性体素子の表現とそれに伴う拘束条件の計算処理を新実装し、幅広いオブジェクトの動力学計算をロボットという一つの系をシミュレーションするコア技術として期待ができる。

### 3. あとがき

#### 〈3・1〉 結論

本研究では、異種材質の部品で構成される複合体を変形や多点接触を考慮するクローラベルトのシミュレーション方法について取り組んだ。ソフトロボットシミュレーションでは、局所的部分における接地摩擦による力学的変化が、大変形を伴うクローラベルトにおいても計測することが可能となる。

#### 〈3・2〉 今後の展望

本研究で検証したクローラロボットはソフトロボットシミュレーションの解析事例を示す一例に過ぎず、今後は汎用的なロボットを題材とした場合における、力学系の一般的な特性を追求する数値解析方法の確立が求められる。また、クローラロボットの事例においても段差の乗り上げ動作や旋回動作に適した形状や制御方法を探るための手立てを提供するなどソフトロボットシミュレーションの有効性を示していく必要もある。加えて、剛体エンジンと弾性体エンジンのハイブリッド化設計を目的とした弾性体形状をフレキシブルに選択可能な弾性体エンジンの開発も必要である。

前述の開発・研究課題に挑戦していくことで、本研究が開発する会津大学発の新動力学エンジンは、すべてのロボット工学デザイナーのための将来のデジタル製造に貢献が期待できる。

## 文 献

- (1) 小柳栄次, "サブクローラを持つレスキューロボット." 日本ロボット学会誌 vol. 28, no. 2, pp. 147-150, 2010.
- (2) 北野昌則, and 久間誠, "クローラ型車両の傾斜地における旋回性能について." 農業機械学会誌 vol. 38, no. 4, pp. 523-528, 1977.
- (3) J. Hiller, and H. Lipson, Dynamic simulation of soft multimaterial 3d-printed objects: Soft Robotics. Vol. 1, no. 1, pp. 88—101, 2014
- (4) Lecture 5: STRESS-STRAIN MATERIAL LAWS <http://www.colorado.edu/engineering/CAS/courses.d/Structures.d/IAST.Lect05.d/IAST.Lect05.pdf>. (accessed July 15, 2017).

## 3.15. 統合デモ、クラウド連携

会津大学 成瀬 継太郎

Abstract: This article presents the demonstration systems of our integrated multiple robot systems and database shown in AY2016 and 2017. The objective of this entire project is to develop an integrated robot system by connecting multiple heterogeneous robots for sharing information taken by other robots. The challenges in AY2016 demonstration system is (a) to share data taken by aerial robots are stored into a database, a latest and fine photo map is built from it, and the map is utilized for ground robot navigation, and (b) to establish an edge network by three different ground robots. The ones in AY2017 is (c) to navigate a ground robot by the augmented space in which all of the actual robot data are displayed with a robot simulator, allowing a robot operator to recognize a robot workspace better than just by camera viewers.

### 1. はじめに

会津大学ロボット技術開発支援事業の大きな目的は、ロボットミドルウェアを導入することにより異種複数ロボットからなる情報システムを構築できるようにし、単体ロボットではできない作業を実現することである。

本稿では、我々が行った 2016 年度の 2017 年度の二つの統合デモンストレーション事例を説明しながら、本事業での達成点を示す。

### 2. 2016 年度統合デモンストレーション

このデモンストレーションの目的は、あるロボットが取得したデータを共有し他の用途に使うことである。この共有は二種類あり、一つは空中ロボットが撮影した画像を加工し、後で地上用ロボットのナビゲーションに使うことである。もう一つは、地上用ロボットがアームで作業する際に他のロボットからのカメラ画像を利用することにより遠隔操作を実現しやすくすることである。

このシナリオを Fig. 1 に示す。これは災害現場での作業を想定し、調査フェーズとして空中ロボットによる情報収集と地上ロボットによる作業の二つのフェーズからなる。

まず、空中ロボットが作業領域上空を飛行し、空撮動画を取得する。空中ロボットが着陸した後にデータを取り出し、空撮動画と飛行データを地上の計算に保存する。その後、



Fig. 1 2016 年度統合デモンストレーションのシナリオ

Fig. 2 に示されるように空撮動画から写真地図の作成を行う。これは Google Map のような写真地図であるが、空中ロボットによって低い高度で撮影された最新の画像を使うため、より詳細な情報を利用することができる。

次に作業フェーズであるが、目的は大型災害対応ロボット援竜 (Fig. 1 の青いロボット) が対象物の前まで移動し、重量物の把持を行うことである。

移動に関しては、援竜に搭載したカメラからでは奥行きが分からないため、建物に衝突するリスクがある。そこで本デモンストレーションでは、援竜の実際の緯度と経度を高精度 GNSS で取得し、それを前述写真地図の上にプロットする。写真地図の位置ピクセルは 10cm 程度、高精度 GNSS の誤差は 2cm 程度なのに対し、援竜のサイズは 5m 程度なので、写真地図は非常に正確である。よって、援竜の遠隔移動操作は、まるでゲームの画面を見ているかのように行うことができる。

援竜が現場に到着すると、把持と輸送作業を行う。しかし、対象物を把持する際には、対象物との距離や地面までの距離を把握したいが、援竜のカメラだけではそれを知覚することができない。そこで作業現場にローカル (エッジ) ネットワークを設営し、援竜、スパイダ、地上観測用ロボットゴローンの三者からなるロボットシステムを Fig. 3 のよ

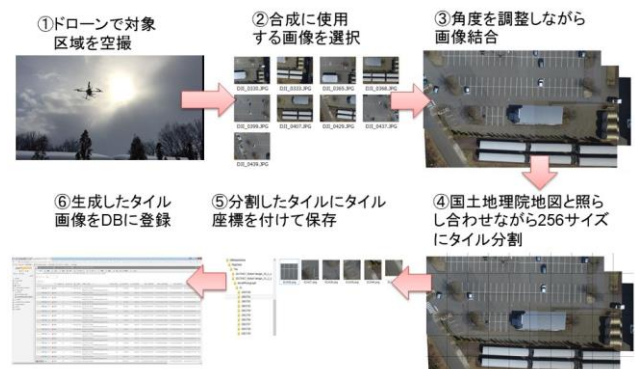


Fig. 2 空撮動画から写真地図の作成

うに構築する。援竜のアームをスパイダが横から、ゴローンが正面から見ることで援竜単体では困難であった遠隔把持が達成された。

### 3. 2017 年度統合デモンストレーション

こちらのデモンストレーションの目的は、屋内でのスパイダによる遠隔移動と遠隔把持である。スパイダは二つのアームがあるため、操作者は各アームがどのような位置にあるかが分かりにくい。また、他のロボットは対象物を観測するのみ用いられるため、スパイダを直接観測することはできない。このような環境において、このデモンストレーションでは拡張空間法により遠隔操作の性能を向上する。

ここでは前提として、作業空間に何がどこにあるかは事前に知り得るものとし、既にシミュレータ上で表現できているものとする(Fig. 4)。現実のロボットからはアーム角度と位置を出力し、それをシミュレータ上のロボットに合成して表現する。そのため、このシミュレータの画面は多少の誤差を含むが、現実空間の状況を反映したものである。実際のロボットが動くとき、シミュレータ内のロボットも連動して移動する。

ロボットの操作者は、このシミュレータ画面を見ながら作業空間内のロボットのアームの角度と位置を把握することができる。とくに多関節ロボットアームの場合、それ以上ハンドを動かさない姿勢が存在するが、カメラ画像だけだとそれが知覚できない。しかし拡張空間法により、現実空間のデータを反映した仮想空間では、任意の視点をかえることにより、直感的な操作が可能になる。

さらに、細かな作業は実際のカメラ画像を見ながら作業を行うことができ、現実空間と仮想空間の両者の利点を享受できる(Fig. 5)。

一方、屋外ロボットに関しても拡張空間法を適用することが可能である。Fig. 6 は会津大学のロボット格納庫の周りに配置された援竜と空中ロボットのシミュレータ内の画面である。ロボット格納庫のモデルは事前に空中ロボットにより撮影された空撮動画から、本事業の別プロジェクトで開発された三次元モデル生成技術によって構成されたもの



Fig. 3 2016 年度統合デモンストレーションの作業フェーズのローカルネットワーク

である。実際の画像から作られたため自然物のようなモデルになっている。この環境内でロボットの位置や状態のモニタや、ロボットシミュレーションを行うことも可能であり、操作者の訓練や作業計画立案に利用することができる。

### 4. おわりに

本稿では、2016 年度と 2017 年度に行った二つの統合デモンストレーションを説明した。どちらの事例でも、ミドルウェアを導入した異種複数ロボット情報システムにより、単体のロボットでは実現できないことが達成された。我々はこれこそが本事業の大きな達成点であると認識している。

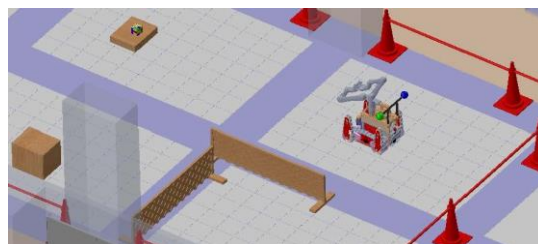


Fig. 4 不整地を走行するスパイダの台車部

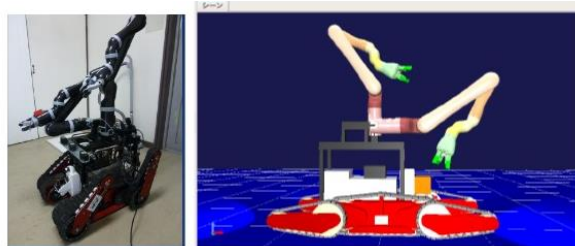


Fig. 5 双腕を搭載したスパイダと対応するシミュレータモデル

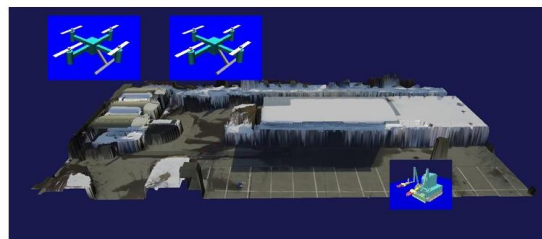


Fig. 6 屋外作業空間における仮想空間法

# 4章 参画企業の取組み

## 4.1. アイザックの取組み

### —RTM仕様災害対応ロボットの開発—

#### 株式会社アイザック 三好 眞夫

概要： 弊社では、平成27年より、大型災害対応ロボット、小型電動クローラロボット、教材用小型クローラロボットの開発を行ってきた。本事業の、ユニークな産学連携の構図と、その取組みによって新規に獲得した技術について、獲得した技術を踏まえた今後の事業展望について、本事業の成果として報告する。

#### 1. まえがき

弊社は、平成24年に創業以来、サービスロボットの開発を行ってきた。創業当初より、会津大学とは、災害対応ロボットだけでなく、農業、林業等、広く様々な分野で、産学連携の取組みを行ってきた。

ロボットを構成する3様相である【機械】【電気】【制御】のうち、制御、即ちソフトウェアは、ロボットの頭脳であり、ロボットの価値を高める非常に重要なセクションであるが、コンピュータ上で動作するソフトウェアに比べ、近年活発化してきているとはいえ、まだまだロボット向けのソフトウェアライブラリやカンファレンスの数が非常に少ない。そのため、ロボット開発を行う技術者は、ハードウェアに合わせて、その都度ソフトウェアを一から開発する必要があった。

本事業に於いて、会津大学発ベンチャーや地元の企業と連携し、会津大学主導のもと、RTC-Library-FUKUSHIMA (<https://rtc-fukushima.jp/>) が整備されたことは、災害対応ロボットだけでなく今後のサービスロボット市場の活性化にも大きく貢献するものである。

#### 2. これまでにない新しい産学連携の取組み

従来の産学連携では、企業が解決したい技術的な課題を大学や研究機関に持ち込むことで、大学からの知見提供を受けるといった構図 (Fig.1) が一般的であった。しかし、本事業に於ける産学連携では、「ロボット技術開発支援」という課題を解決する為に、大学が主体となり、地元企業群との連携を積極的に進めた構図 (Fig.2) となっている。

さらに、これまでコーディネーターという立場が主であった行政が、本事業に於ける資金調達とマーケティング、そして事業推進を担った点も本事業の成功の要因として非常に大きい。従来の構図では、資金調達は企業の予算により行われており、開発の成功に係るリスクを企業が負う形となっていた。企業は産学連携の成果を製品化し、市場に投入することで、投入資金の回収と、次の産学連携の資金に充てることとなる。しかしながら、成果を製品化するフェーズと、製

品化した製品を販売するフェーズに多くの時間を費やす必要があることから、特に、一定の研究開発予算を持たない中小企業においては、産学連携の継続・持続という判断は、非常に困難なものであった。加えて、企業が事業化に注力する一方で、大学は、研究成果の充実という使命を負っており、権利化したい企業と、公表したい大学側で、多くの軋轢を産んできた。このことも、産学連携の継続性を阻害する一因であったと言える。

しかし、本事業では、福島県が事業全体の推進と、資金調達を行い、大学が事業実現の為に研究課題と併せて、事業の実現に向けた必要技術の調達を学内だけではなく地元企業群にも求め、更に企業の事業活動に対して、積極的にリーディングを行っている。また事業化と市場の拡大という、これまで、企業が担ってきた領域に対して、大学・行政・企業が丸となって取り組む姿勢があり、参画企業の一員として、それを非常に強く感じられた。弊社のような中小企業では特に、事業化・市場投入のハードルは非常に高く、創業以来苦心惨憺を重ねてきた。そのハードルを越えることを大学、行政及び企業の各人が叡智を集め、越えていこうとする今回の全く新しい産学連携の姿こそ、今後、我が国の産学連会のデファクトスタンダードとなってほしい。

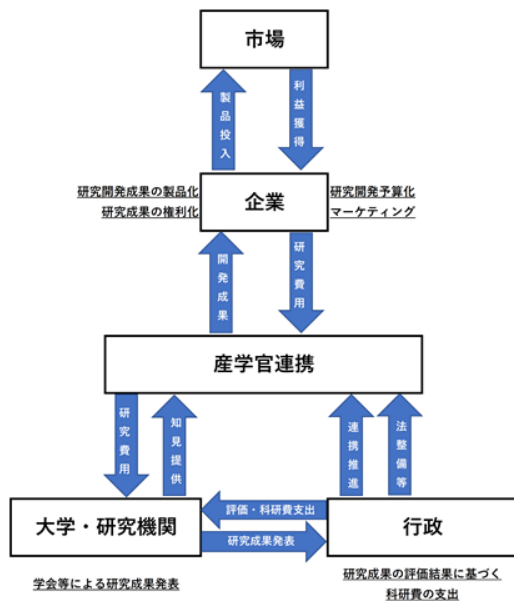


Fig. 1 従来の産学連携のスタイル

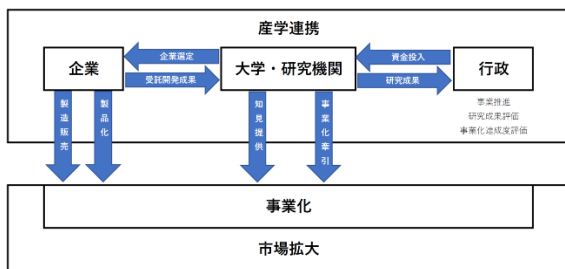


Fig. 2 本事業で適用した産学連携のスタイル

### 3. 本プロジェクトにより習得した技術

弊社は、本事業では大きく分けて以下の3つの開発プロジェクトを担当した。

全てのプロジェクトにおいて、国立研究開発法人産業技術総合研究所により開発されたロボットシステム向けミドルウェアである OpenRTM-aist を導入し、モーターセンサ等の制御の為に RT コンポーネントを利用している。OpenRTM の使用に準拠している為、蓄積された RTC 群を利用することで、機能追加・高機能化等を比較的容易に実現可能である。

#### 〈3・1〉 RTM 仕様災害対応大型クローラロボット (T-54 援竜) (以下 E1 とする)

T54 援竜 (株式会社テムザック社製/本社:九州) 本体の RTM 化により、専用操縦装置に依存しない操作系を開発した。また、GPS の読み取り RTC の開発と、データ表示用 GUI を作成し、他社開発の俯瞰画像 RTC 群とデータを共有することで、E1 単体では取得できない環境情報を取得しながら、遠隔操作が可能となった。加えて、遠隔操作を容易にする為、コレオノイドモデルを作成し、シミュレータ上でロボットの状態表示、動作シミュレーションを可能にした。ロボットの外観を Fig.3 に示す。

#### 〈3・2〉 RTM 仕様災害対応小型電動クローラロボット (以下 E2 とする)

遠隔操作で、屋内不整地の踏破を目的とした、メインクローラ及び4本のサブクローラを有する小型クローラロボットスパイダ (アイザック社製) に6軸アームを搭載し、物体の把持や簡易な作業を行うことができる。ロボットの外観を Fig.4 に示す。

遠隔操作を補助する為のセンサとして、USB カメラ、9軸センサ、LRF、GPS、ToF カメラが搭載されている。これらのセンサ情報を見ながらロボットの操縦を行う。ロボットの操縦機には、タブレット端末やゲームコントローラを用いる。

階段の斜度を ToF カメラで認識し、サブクローラを斜度と併せて制御。階段登坂中はサブクローラを階段に設置させる機能を有しており、これにより前進指令を送るだけで、階段登坂が可能。9軸センサからの機体の傾き情報をフィードバックさせ、機体が階段登坂中であるかを判断する。

また、本体制御用 PC に海外製のロボット用ミドルウェア ROS(indigo)を導入した。ROS パッケージの1つである Hector SLAM を導入し、LRF による周囲環境 2D 地図作成機能と自己位置推定機能を追加した。ROS-OpenRTM 間で通信することで、OpenRTM 側に ROS で推定した自己位置座標データを送信するシステムを構築した。この自己位置座標データにより、ロボットの簡易自律移動が可能となる。

#### 〈3・3〉 RTM 仕様教材用小型電動クローラロボット (以下 R5 とする)

ロボット技術者養成に教材用として開発したメインクローラ及びサブクローラを有する小型クローラロボットである。ロボットの外観を Fig.5 に示す。ロボットの操縦機には、PS4 ゲームコントローラを用いる。PC(RaspberryPi3)を1台搭載しており、各クローラ動作の為にモーター制御指令値の生成を行う。生成した指令値はモーター制御用マイコンに送られ、モーターを駆動させる。T54 援竜 (株式会社テムザック社製/本社:九州) 本体の RTM 化により、専用操縦装置に依存しない操作系を開発した。また、GPS の読み取り RTC の開発と、データ表示用 GUI を作成し、他社開発の俯瞰画像 RTC 群とデータを共有することで、E1 単体では取得できない環境情報を取得しながら、遠隔操作が可能となった。加えて、遠隔操作を容易にする為、コレオノイドモデルを作成し、シミュレータ上でロボットの状態表示、動作シミュレーションを可能にした。

### 4. 本プロジェクトにより習得した技術

#### 〈4・1〉 建設機械・農業機械・林業機械の遠隔操縦 (E1)

内燃機関を持つ、重量機械の RTM 化による、遠隔操作が実現可能。

人手不足が深刻な領域への無人化の提案及び、操縦機器の標準化の提案が可能。

#### 〈4・2〉 認識物体の自動取得 (E2)

空間認識・静止画解析・アーム制御アプリケーションを用いて、特にサンプルリターンロボットの開発では、目的物を自動で認識し、把持・取得に必要な制御を自動で実現。介護・医療分野への応用・展開可能。

#### 〈4・3〉 自律制御 (E2)

空間認識と機体制御アプリケーションにより、ロボットの種類を問わず、自律制御が可能。周辺環境のより正確な認識と、移動物体に対する回避が課題となるが、危険作業現場における自律制御、搬送ロボットへの応用が可能。

#### 〈4・4〉 ロボット技術教材用ロボット(R5)

標準化されたロボットの体系的な学習が可能。ロボットの3要素である【電気】【機械】【制御】技術を横断的に学習可能。工業高校・高専・大学・研究機関・企業向けに販売。

#### 〈4・5〉 RTC-Library-FUKUSHIMA の活用

既存のロボット開発事業での、コンポーネントの利用。

弊社開発 RTC のカスタマイズ、使用補助等。



Fig.3 RTM仕様災害対応大型クローラロボット (T-54 援竜)

## 5. おわりに

本事業での三年間を振り返ってみると、新たに保有した数々の要素技術はもちろんであるが、それ以上に、企業の中だけでは到達できないような思わぬ事業化のアイデアや、研究開発に対する考え方を学ぶことができた点が非常に大きい。その多くが企業同士の横のつながりではなく、企業と大学、そして行政の3つの異なる性質を持つ組織が垣根を越えて真剣に事業化と、ロボット市場の拡大を目指す数々の取り組みの中から生まれてきたものである。ある時には、大学は、我々に技術と知見を与えてくれる先生であり、またある時は我々の技術・サービスを提供させていただくお客様であった。

大学・研究機関が、企業と目線を合わせて、一緒になって事業化を考えてくれたことにより、本事業の成功につながったものとする。今後、イノベーションコスト構想を推進していく福島県にとっても、本事業の成果は、ふくしまの復興を加速させ、ロボット産業の創出と市場拡大につながる原動力となっていくことと確信している。



Fig.4 RTM仕様災害対応小型電動クローラロボット



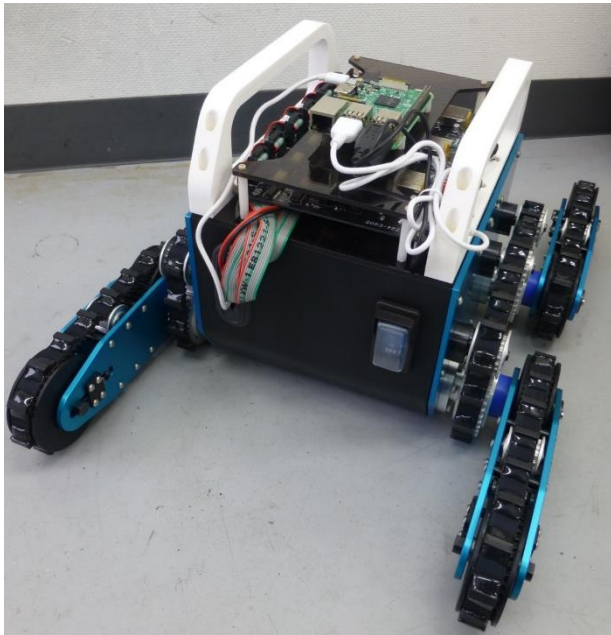


Fig.5 RTM仕様教材用小型電動クローラロボット

■詳細版：遠隔操作クローラロボット(E1, E2)、ゴローン(G)

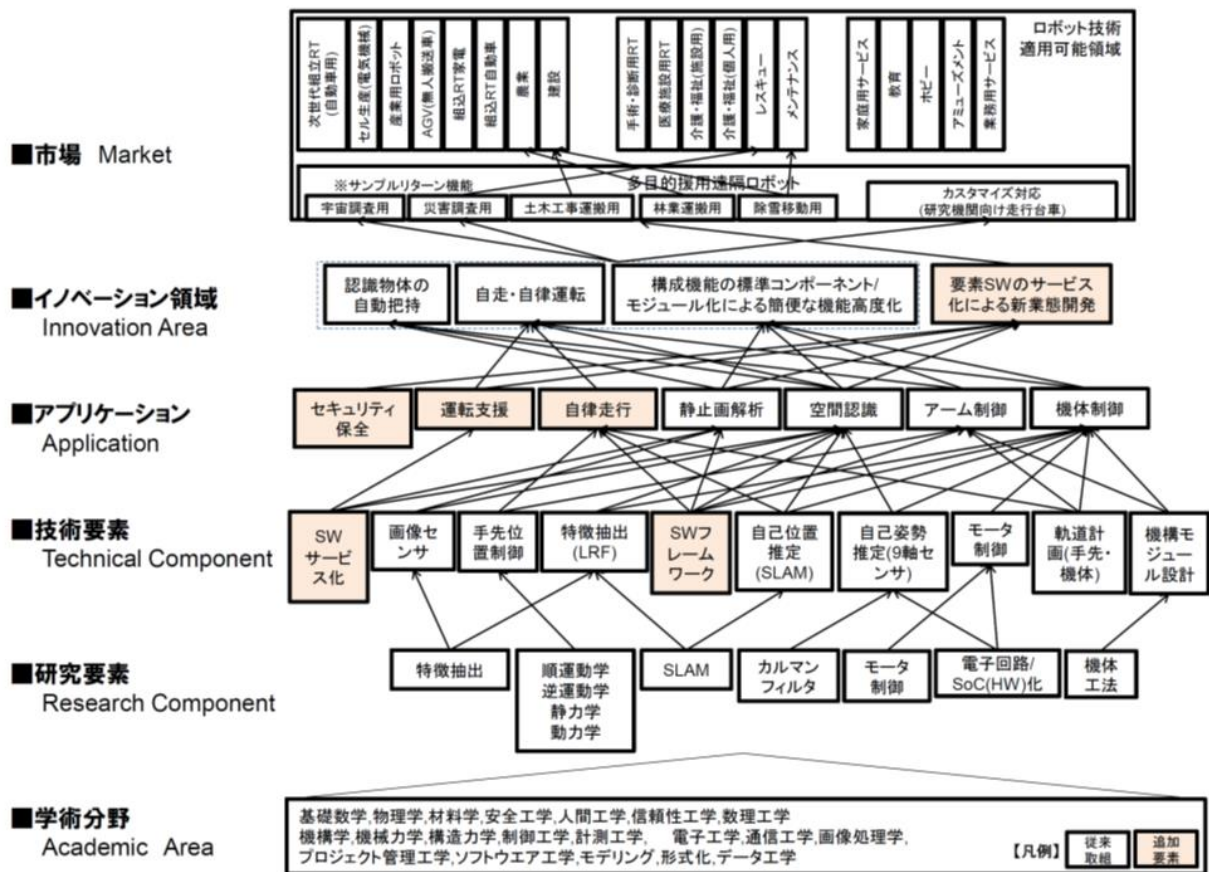


Fig.6 イノベーションアーキテクチャ図

付録1：企業情報

社名	株式会社アイザック
本社所在地	〒965-0033 福島県会津若松市行仁町 9-28
いわき技術開発センター	〒971-8145 福島県いわき市鹿島町船戸字沼田 1 1
TEL	0242-85-8590
FAX	0242-85-8591
設立	平成 24 年 8 月
資本金	330 百万円
代表取締役会長	南 嘉輝
代表取締役社長	三好眞夫
従業員数	17 名
開発項目	医療・介護ロボット、遠隔操作ロボット等
株主構成	一般財団法人温知会 株式会社みずほ銀行 パラマウントベッド株式会社 東宝ホールディングス株式会社 株式会社あさひ調剤 株式会社ビー・エム・エル 株式会社アインファーマシーズ 株式会社テムザック 有限会社会津エンジニアリング

付録2：沿革

平成24年8月	・ 通知会会津中央病院、東証一部上場の医療福祉関連企業、大手都市銀行、ロボットメーカー等が出資する東北発の医療介護ロボット等の開発会社として設立。 ・ 福島復興として、福島県が医療福祉機器の研究開発を助成し、産業振興を実現する「ふくしま医療福祉機器開発事業補助金」の採択を受け、介護ロボット「移乗・移動ロボットシステム」の開発から活動を始動。
平成25年度	・ 福島医療機器開発補助金の継続。 会津大学・地元企業らと、文部科学省JST（科学技術振興機構）の復興促進型プロジェクトの採択を受ける。
平成26年度	・ 福島医療機器開発補助金の継続。 ・ 文部科学省JST（科学技術振興機構）の復興促進型プロジェクト継続。 ・ (株)栄製作所・(株)TH放電・(株)アイザック・会津大学の共同プロジェクトが災害対応ロボット産業集積支援事業の採択を受ける。
平成27年度	・ 会津大学・(株)テムザック・(株)アイザックの3者による、連携基本協定締結。 ・ 会津大学ロボットバレー事業へ参画。
平成28年9月10日	福島県より「平成28年度地域復興実用化開発等促進事業費補助金」の採択を受ける(下記2事業)。 ・ 住民の健康確保につながる医学(医療機器等)分野 「福島県内100%部品調達に向けた移乗介助・移動支援・見守り支援機器実用化開発」(移乗支援・移動支援・見守り支援を包括的に実用化するシステムの開発) ・ ロボット分野 「自動バッテリー交換システムの開発」(ドローンの安全な連続航行を実現するためのバッテリー交換・バッテリー給電・バッテリー管理の自動化)

付録3：アクセス



**アイザック本社（福島県会津若松市行仁町）**  
 旧温泉旅館跡、連福荘跡内に立地  
 お車でお越しの際は、こちらの門の前に駐車いただき、門の東側（門を正面にして右手）の建物一階の事務所へお越しください。

## 4.2. 会津ラボの取組み

株式会社会津ラボ 遠藤 貴幸

概要：長時間可能な自動制御有線ドローンによる、点検事業への発展。ドローンへ搭載した単眼カメラによって、作業現場・災害現場の3D作成。それらドローン制御・飛行データならびに、画像データをRTCでCloudへ蓄積する。

### 1. まえがき

会津大学では「ロボット技術開発支援事業」の研究開発において、最大のICT専門の大学としての強みを生かしたロボット開発の技術支援を行うことにより、福島・国際研究産業都市（イノベーションコースト）構想の実現に貢献するとともに、東日本大震災・原子力災害からの福島県の復興・再生に寄与する。その中で会津ラボの取組みは、災害現場での長時間飛行が可能な自動制御有線ドローン（Dronet）、単眼カメラで撮影した映像から距離画像より3Dモデリングを作成し現場の状況把握（AMP）、またそれらロボット制御や自位置特定、映像転送処理をOpenRTMに準拠したコンポーネント（RTC）によって制御、等があり、これらの開発および事業化計画について報告を行う。

### 2. 有線ドローン（Dronet）

ドローンの安定飛行や群飛行によるペイロード（積載量）の加算、赤外線や超音波などを用いない位置制御による省コスト化を目的とする。

有線給電による長時間飛行や、群飛行による単体のドローンではできない作業を実現することで様々な産業分野への応用が可能となる。

（1）研究の全体像・開発方針 Dronetは複数のドローンをケーブルにより接続し、ドローン間のケーブルの角度からドローン同士の距離（水平方向）制御、ドローン間のケーブル角度差を用いた高度制御を行う。現状のDronetは3機で構成されており、3機のドローンを三角状に接続した三角型（Fig.1(1)）と、直列に接続したヘビ型（Fig.1(2)）の二種類が存在する。

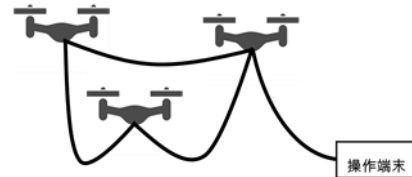


Fig.1(1) Dronet 外観(三角型)

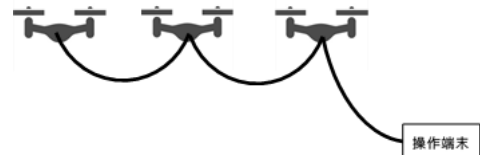


Fig.1(2) Dronet 外観(ヘビ型)

操縦者は、地上側の操作端末か Web ブラウザからクラウドシステムを利用して離陸・着陸の操作を行うことができる。移動や位置の安定化は各ドローンが自律的に行い、目標地点に移動後に自動着陸する。また、緊急時を想定してドローン付属のリモートコントローラーより手動操作を介入させ、各種動作および着陸を行うことができる。Dronetにおけるイノベーションアーキテクチャ図を、本章の最後に示す。

### 3. Accumulated Motion Parallax (AMP)

AMPは、当初は Video Slice Method（以下、VSM）という3次元再構成アルゴリズムから開始して転換したアルゴリズムである。VSMは動画の1画面からx軸を一定間隔で時間軸方向に切り出し(y-x平面からy-t平面へ変換)ながら一定時間再生し、Line to Image DPとよばれる Dynamic Programmingの応用的手法によって短冊内のオブジェクトの動画内での移動距離をピクセル単位で算出する。この距離が動画内における動的視差（Motion Parallax）として観測される。この動的視差は近い物体ほど視差が大きくなり、遠い物体であれば視差は小さくなる性質があるため、これを利用して動画内の物体の奥行きを推定することが可能となる。このVSMによって3次元再構成を行うことにより Fig. 2のように風景の流れるような動画から3次元画像を構成することが可能となる。



Fig.2 VSMによる3次元再構成

しかしながら、このVSMにおける距離計算手法は従来のステレオカメラなどに用いられる距離計算手法を発展させたものであり、カメラの移動速度を入力パラメータとして用いる必要があるため動画のみで計算精度を確保することは難しい。そこで、動画内のダイナミックレンジ（動画内の物体のカメラからの最大距離と最小距離）をあらかじめ入力し、取得したMotion Parallaxから一定精度で距離推定が可能なものとしたのがAMPである。

#### 4. ロボット用 RTC-DB (DBRTC)

データをサーバーに集めることは一般的に行われていることであろう。この事業において、プラットフォームにOpenRTM-aistを採用するにあたり、コンポーネントと呼ばれるRTC同士を接続して機能させる必要であった。また、各ロボットからのデータを集約して再利用等を図るため、データを格納するサーバーが必要となった。

ロボット側クライアントとサーバーの採用、RTCと呼ばれるコンポーネント同士の接続によつての機能実現とその共通化を図った。

具体的には、ロボットとデータベース（以下、DB）の間にDBRTCというコンポーネントを配置し、各ロボットはDBRTCと接続、DBRTCはデータベースと接続、結果ロボットからのデータはDBへ書き込まれるという構成で実現している (Fig.3).

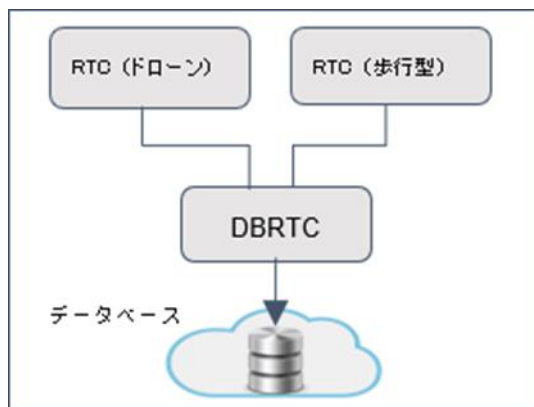


Fig.3 DBRTC 環境概略図

### 5. 実証検証

#### 〈5・1〉 日産 EV 車 e-NV200 と Dronet

有線接続ドローンは、有線給電による長時間稼働が最大の強みであるが、電源の供給源を確保する必要性が求められ、災害活動および点検活動においても、インバーター発電

機を携え移動し、現地にて飛行準備を行う必要がある。

日産 EV 車「e-NV200」の、100V 端子より電源を供給し Dronet の飛行検証を実施した。発電機等、搭載の必要性が無いため車内にドローンを格納後、現地へ移動し点検を行うことが可能である。

過去5回の検証を実施し、いずれも実運用として問題の無いことを確認した。

プレスリリース URL :

<http://www.aizulab.com/pdf/20160704aizulab.pdf>



Fig.4 e-NV200 接続イメージ図

#### 〈5・2〉 風車ドローン実証

2016年10月に柏崎市稚谷において小型風力発電の風車目視点検活用検証を実施した。検証内容として、飛行安定性、風車、タワーのボルト部のマーキング確認、ブレードの摩耗状況確認、風車本体部各所の損傷有無などを確認した。結果風車との離隔を5m程度とりつけ飛行、有線でも正面側は問題なかったが、裏面側への回り込みは、有線を考慮した飛行を必要とした。自動飛行のオペレーションに改善の余地がある。目視確認としては4Kカメラである為、十分にマーキングを確認することができた。

検証動画 URL :

<https://www.youtube.com/watch?v=E7VHRG8A7kg>



Fig.5 風車ドローン検証写真

## 6. 事業化計画

これまでの取組みにより、災害対応、点検事業への参画がより具体的になったと考える。会津ラボとして、事業化に向けた取組みを報告する。

### 〈6・1〉 道路トンネル定期点検事業

笹子トンネル天井板コンクリート落下事故以来、5年に1度の点検が基本となる。点検事業が限られている中、日々の膨大な点検業務に追われ、全ての点検業務を受けられない現状である。トンネル内点検の自動飛行制御プログラムを搭載。サーモカメラ、超音波センサ、IRセンサ等を用い、目視1次点検を目指す。



Fig.6 トンネル点検イメージ

### 〈6・2〉 風車目視点検事業

4Kカメラを搭載した有線ドローンを使用した目視点検を、有線ドローンの長時間飛行のメリットを生かし、時間をかけて「主要な点検対象箇所」「目視確認が難しい箇所」「ナットやパーツの状態」をさまざまな角度から撮影。その後に行われる人的な点検作業に有用な高精度の映像より目視点検を実施する。AMPによる3Dモデルを生かし、より立体的に風車の異常箇所、破損箇所を記録し、次回点検の計画として有用である。有線ドローンの特徴を生かし、風車のさまざまな箇所の目視点検を目指す。



Fig.7 風車ドローン目視点検写真

### 〈6・3〉 風車レセプター点検事業

平成29年度より、風力発電風車に対する3年毎の定期点検が義務化されることから、ブレード内部のレセプターに対する導通試験が必須となる。ドローンを利用して導通試験が出来る事で、短期間で作業着手、実施が見込め、また

単位作業時間あたりの風車点検本数の向上、高所作業車および高所作業人員に掛かる費用削減に寄与する事が出来るサービス展開を目指す。



Fig.8 レセプター点検イメージ

## 7. 事業化に向けての今後の取組み

事業化モデルとしては多様に打ち出すことが可能であるが、多くの検証が重要な課題となってくる。また、安全性を十分に配慮した設計が重要であることを踏まえ、リスクアセスメントを用いた、オペレーションを確実に事項することにより、より多くの関係者が有線ドローンを活用できる環境づくりを徹底し、依頼者の利益になる活動を行っている。最後に屋外点検、部品商品輸送において市場が見込めるDronet におけるイノベーションアーキテクチャ図を掲載する。

# Dronet イノベーションアーキテクチャ

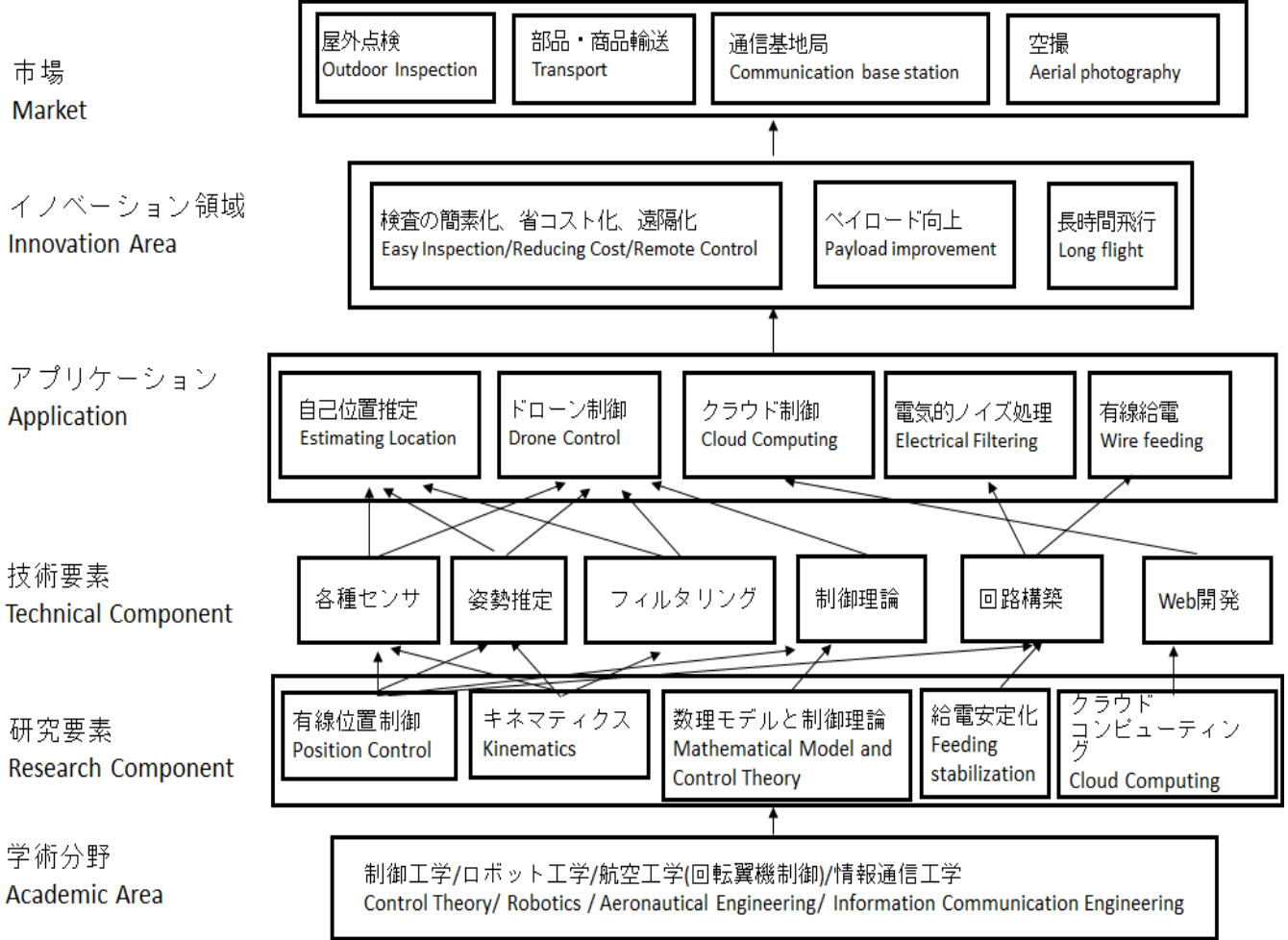


Fig.9 Dronet におけるイノベーションアーキテクチャ図

## 4.3. FSKの取組み

### ーロボットSWライブラリ、ロボット教育よりー

#### 株式会社FSK 荒川 弘栄

概要：当プロジェクトにおいて、弊社はソフトウェアライブラリの構築・運用とロボット教育を担当した。ソフトウェアライブラリを構築し RT ミドルウェアで作成したコンポーネントを初心者でも使いやすい形で提供する仕組みを作り上げた。ロボット教育では合計 8 回の講習会を開催した。これらの経験により、RT ミドルウェアの知識、ロボット講習会の開催ノウハウ、ロボット技術を習得し、弊社の今後のロボット事業への展開への基礎を築いた。

#### 1. まえがき

弊社は創立以来 55 年間、ソフトウェアの開発、運用保守業務を軸に業務展開してきたが、この度、縁があり会津大学と連携、本プロジェクトに参画することによりロボット関連事業に進出することが出来た。

当プロジェクトにおいて、弊社は RTC ライブラリの構築・運用とロボット教育を担当した。RTC ライブラリの構築では RT ミドルウェアで作成したコンポーネントが初心者でも使いやすいようにライブラリを構築した。ロボット教育では合計 8 回の講習会を開催した。

これらの経験により、RT ミドルウェアの知識、ロボット講習会の開催ノウハウ、ロボット技術を習得し、弊社の今後のロボット事業への展開への基礎を築くことができ、新たな分野へのチャレンジでいろいろな課題を抱えながらも、会津大学に助言頂き滞りなくプロジェクトを遂行することが出来た。

今後はさらに技術習得に励み、浜通り地方のロボット関連事業のリーディングカンパニーとして活動していきたい。

#### 2. FSKについて

弊社株式会社FSKは福島県のいわき市に本社がある。昭和 38 年に常磐炭鉱(株) (現常磐興産株式会社) の電子計算部門が分離し(株)福島総合計算センターとして設立され、平成 16 年 12 月、商号を現在の株式会社FSKとし、現在に至っている。

システム構築からシステム運用支援、システム保守、業務支援まで、トータルでサービスを提供しており、主に地方自治体の税業務受託処理サービス、住民情報システム、財務会計システム、介護保険システムの開発・導入やアウトソーシング事業等の業務を行っている。そして、民間企業向けにもリゾートホテル向けシステム、生産管理システム、財務会計システム、運行管理システム等の開発・導入・運用保守管理を行っており、幅広い業務に精通している。

また、IS09001、情報セキュリティマネジメントシステム

適合性評価制度 ISO/IEC 27001、プライバシーマーク使用許諾事業者の認証資格を取得しており、品質、セキュリティにおいても信頼していただける会社であると自負している。

#### 3. 会津大学との交流・ロボット分野への進出

以前から会津大学とは、会津 IT 秋フォーラム等に協賛、福島県情報産業協会(FIIA)を通じて交流等をして来ているが、特に東日本大震災以降、産学連携の取り組みについては定期的に意見交換をしてきた。

弊社でも震災や原発事故の影響が大きい浜通り地方で何か復興の支援が出来ないかと検討していたところ、本プロジェクトの企画を知り、ロボット分野での活動に参画することとした。

#### 4. 本プロジェクトで習得した技術

今回のプロジェクトで弊社は「RTC ライブラリの構築」と「教育研修」について担当した。

RTC ライブラリは RTC (ロボット・テクノロジー・コンポーネント: RT ミドルウェアで作られたコンポーネント) に特化したライブラリサイトで、ロボットソフトウェアにさほど詳しくなくても、登録・検索のしやすいサイトを目指し構築した。そして、コンポーネント登録・検索以外のフォーラム機能やドキュメントを掲載する機能などを付け、より分かりやすく、簡単に理解できるような工夫もした。

また、簡単な e-ラーニングも付加し、このサイトだけで RT ミドルウェアや RT コンポーネントを学習し動作させることができるようになっているので、場所を問わず、RTC について理解できるようになっている。

教育研修では、8 回の講習会を実施した。初級、中級、上

級の受講者の知識レベルに合わせた講習会を開催し、延べ143名の方に受講していただいた。すべての講習会で、その内容の立案・設計、講習会開催に向けた案内資料の作成、案内、受講者の募集を行い、全体を取り仕切ることを行った。

尚、これらライブラリ、e-ラーニング、講習会の資料は全て構築したサイト「RTC-Library-FUKUSHIMA」(<https://rtc-fukushima.jp/>)に保存してある。

RTC ライブラリ構築と教育研修で以下の内容を習得した。

- ① 技術的なノウハウ
  - ・ RT ミドルウェアで作成されたコンポーネント構造
  - ・ RT ミドルウェアを使ったコンポーネント作成
  - ・ RT ミドルウェアを使ったロボットシステムの構築
  - ・ シミュレータ (Choreonoid) でのモデル作成、RT ミドルウェアでの動作
- ② 業務プロセス的なノウハウ
  - ・ ロボット関連サイトの構築ノウハウ
  - ・ 教育研修用教材の選定・作成方法
  - ・ ロボット講習会開催の設計業務
  - ・ ロボット講習会開催の事務業務
  - ・ e-ラーニング教材作成方法

Table.1 講習会開催実績

回	開催年度	レベル	開催場所	受講人数
1	2015	初級	会津大学	20
2	2016	初級	会津大学	18
3		初級	いわき明星大学	17
4		初級	日本大学工学部	16
5		中級	会津大学	20
6	2017	初級	南相馬市	16
7		中級	日本大学工学部	20
8		上級	会津大学	16

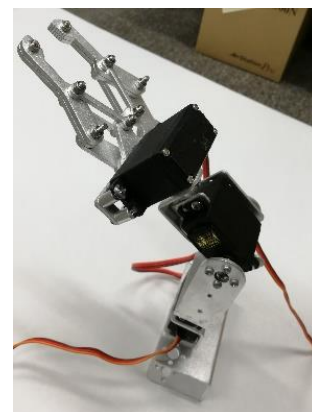
初級開催数	5回	受講者数	87
中級開催数	2回	受講者数	40
上級開催数	1回	受講者数	16
合計開催数		合計受講者数	143



Fig.1 講習会の様子



Fig.2 講習会教材



## 5. 技術以外で習得したもの

今回の業務ではプロジェクトに参画している他企業との連携も多くあった。

月1回開催している「RTCライブラリふくしま研究会」は各企業が集まり、進捗状況や問題点、情報提供を行う場だった。そこではロボット開発における課題や問題点が数多く議論されていた。この会議は初めてロボット事業に参画する弊社にとって、現場の生の声を聴くことができる貴重な場所となった。安全性に関する人的考慮点、運用方法、整備の必要性などソフトウェアだけでは補えない、ロボット関連全体の知識を得ることができた。

また、弊社は浜通り地方の会社で、これまでは会津地方の企業との取引は少なく、また、ロボット関連企業との交流もなかったのだが、このプロジェクトを通して交流を深めることができた。この交流は今後の事業展開において大きな力になると考えている。



## 6. 本事業の成果物

ソフトウェアライブラリは会津大学先端 ICT ラボ (LICTIA) のクラウドに構築した環境を成果物とし、そこに機能追加を行いながら運用している。運用にあたってはネットワーク監視装置なども導入しながら安全で安定した環境を提供している。

教育研修では講習会の受講者向けのテキストや e-ラーニングを RTC-Library-FUKUSHIMA で公開しつつ、受講者向けテキスト、講習会の説明用スライド、講習会用のサーバ構築資料、会場のネットワーク環境設定資料等を成果物とした。これらは紙文書とともに今後の講習会開催内容にあわせたメンテナンスがしやすいように電子媒体でも納入している。

## 7. 事業展開

弊社ではロボット事業を展開するにあたり、現在すでに確立されている自治体関係の営業チャネルを生かしていきたい。自治体では介護や教育、災害対応、受付自動化などのロボット関連の需要が増えることが予想され、このプロジェクトで習得した技術やノウハウ、企業間交流を駆使し、提案、受注することができると考えている。

また、南相馬市に完成するロボットテストフィールドに関係し、浜通り地方のロボット関連事業が盛んになることも予想される。そこで、その周辺自治体、企業に向けて、弊社ですでにスキルのあるシステム構築や運用保守業務を担いながら、今回の事業で得たロボット関連の業務支援を行うといった、分野を問わない新しい総合的な形態の業務を

提案することができる。

弊社ではこれらの機会を生かし、浜通り地方のロボット関連事業をリードしていきたい。

今後の事業展開における具体的なキーワードは次のようになる。

- ① 顧客
  - ・ 自治体
  - ・ 民間企業
  - ・ 学校 (高校・大学)
- ② 業務
  - ・ 教育、研修
  - ・ 運用・保守
  - ・ ドキュメント作成、ドキュメントメンテナンス
- ③ 技術・プロセス・ノウハウ
  - ・ 事務システム開発・構築
  - ・ ロボットソフトウェアライブラリ構築
  - ・ RT ミドルウェアでロボットシステム開発
  - ・ RT コンポーネント作成
  - ・ ROSとの連携
  - ・ ロボットシミュレータ
  - ・ Choreonoid
  - ・ センサ活用

弊社ではこれらのキーワードを基に事務系システム、ロボット系システムを問わない総合的なシステム全般を扱う企業として事業展開する。

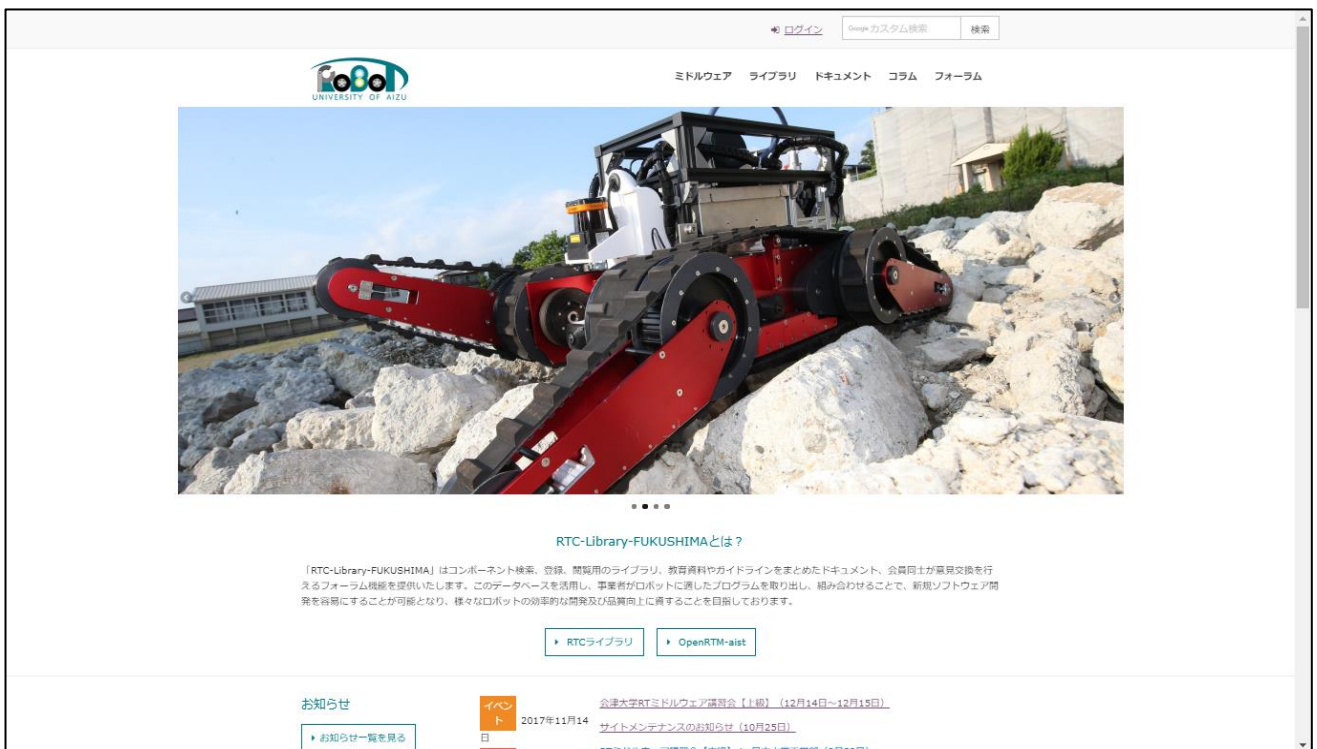


Fig.3 RTC-Library-FUKUSHIMA <https://rtc-fukushima.jp/>

## 8. 今後数年の重点展開

今後数年については Fig. 4 イノベーションアーキテクチャ図に示すように県内教育機関や企業に向け、講習・研修・講師派遣、教材コンテンツ開発に重点を置いて展開していく。また、習得した技術要素を基とした技術者派遣などでさらなる技術力向上を図っていきたいと考えている。

講習会の開催については、技術やノウハウ面での課題は少ないが、どのようにして収益を確保するかが大きな課題となる。かかる主な経費は講習内容の検討や設計、実装を含めた開催準備までの人件費、当日の人件費、教材・材料、移動の為の費用などであるが、今回はプロジェクト側で負担したため講習会の参加者は無料で受講できた。事業化にあたっては、自治体や学校など、開催者に費用を負担してもらう方法、受講者自身に費用を負担してもらう方法が考えられる。前者については今回のプロジェクトとほぼ同様の形態であり継続していきたいと考えている。後者については、今回のプロジェクトの講習会内容を踏襲しながら、講習会受講後の付加価値を付けることで有償化できるのではないかと考えている。具体的には持ち帰れる教材を使った講習

会内容にし、講習会後の継続学習、応用学習ができるような仕組みを作っていくことで付加価値を付け、受講者にとって魅力的なものとする必要がある。

技術者派遣では今回交流のあった企業、自治体、団体向けに今回のプロジェクトで得たノウハウや技術を基に展開していくことを考えている。また、県内のロボット関連企業を中心に RT ミドルウェアを取り入れていない企業へも積極的な派遣を行い RT ミドルウェアの効率的な開発を勧めていきたい。

## 9. 最後に

この度、会津大学とのプロジェクトに参画させていただき、技術面、交流面を問わず多くの成果を得ることができた。今後もこの太い絆を生かし、福島県の産業発展に寄与していく所存である。

冒頭の繰り返しになるが、今後はさらに技術習得に励み、浜通り地方のロボット関連事業のリーディングカンパニーとして活動していきたい。最後に弊社概要を付録に記す。

### ■詳細版:教育、要素ソフトウェア流通—ビジネスモデル

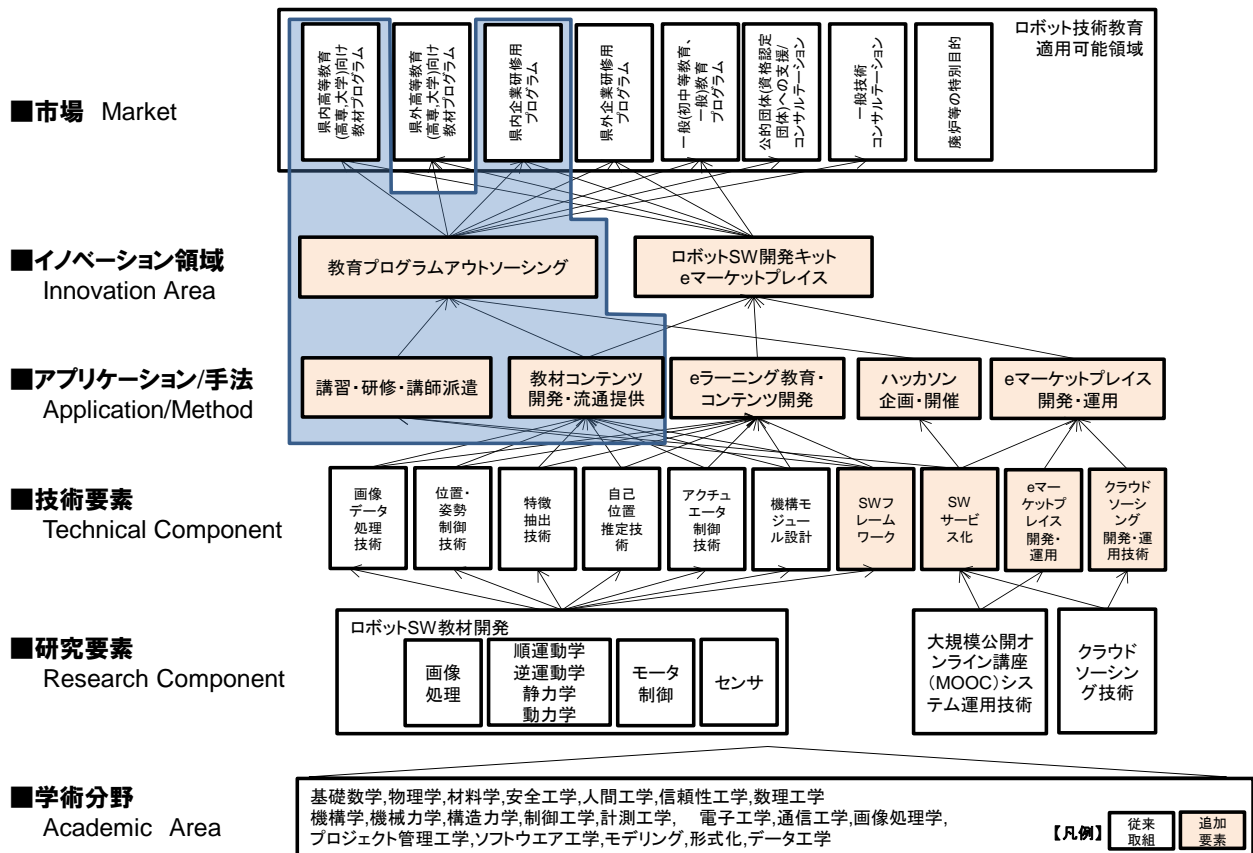


Fig.4 イノベーションアーキテクチャ図

付録1: 株式会社 FSK の概要



株式会社 F S K  
 所在地 〒973-8402  
 福島県いわき市内郷御厩町 3-168  
 設立 1963年6月  
 従業員数 84名  
 URL <http://www.fsk-brain.co.jp>

付録2: 株式会社 F S K 沿革 (抜粋)

	沿革
昭和38年	常磐炭鉱(株)(現常磐興産株式会社)の電子計算部門が分離し(株)福島総合計算センターとして設立
昭和42年	地方自治体の税業務処理受託サービスを開始
昭和58年	いわき市内郷御厩町に新社屋を設立
昭和59年	電子計算機システム安全対策実施認定事業所認定を受ける
平成4年	地方自治体住民情報システムの稼働(以降、財務会計システム、図書館システム他多数の自治体関連システムを稼働させる)
平成16年	商号を現在の株式会社FSKに変更
平成27年	会津大学産学ロボット開発支援事業プロジェクトに参画 ・産学連携支援センター(UBIC)に事務所を借り、常駐2名(他3名がいわき)体制で参画

## 4.4. GClue の取組み

株式会社 GClue 佐々木 陽 穂積 智 永山 豪雄

概要：株式会社 GClue では、2016 年度、2017 年度に本プロジェクトに参加し、OpenRTM 対応の教育用ロボットキットの開発をおこなってきた。2016 年度は、ロボットカーキットを開発し、2017 年度は、ロボットアームキットの開発をおこなった。

### 1. 教育用ロボットキット

株式会社 GClue では、本プロジェクトにおいて教育用ロボットキットの開発をおこなった。参加 1 年目の 2016 年度には、OpenRTM に対応したロボットカーキット(2 種類)を、参加 2 年目の 2017 年度は、OpenRTM に対応したロボットアームキット(2 種類)の検証開発をおこなってきた。

本開発をおこなう目的は、安価で身近な教育用ロボットキットの提供である。それを実現するために、オープンソースハードウェアでカスタマイズ可能なロボットカーキットの開発をおこなった。さらに、これからのロボットキットを OpenRTM に対応させる事で、ソフトウェアの汎用性と再利用性高いロボットキットを実現する事が可能になった。

### 2. ロボットカーキット(2016 年度)

2016 年度は、ロボットカーキットの開発をおこなった。下記項目を基本設計方針として、設計をおこなった。

1. オープンソースハードウェアである事
2. ホームセンター等で購入可能な部品群で構成する事
3. OpenRTM で制御可能な事

ロボットカーキットの主要部品は、オープンソースハードウェアと汎用的なパーツで構成し、ソフトウェア部は、OpenRTM で制御可能にする事で、汎用性と拡張性のあるロボットカーキットの実現を目指した。

2016 年度に開発したロボットカーキットは、4 輪型(Type1 型)と、3 輪型の(Type2 型)の 2 種類である。4 輪型(Type1)は、1 つのサーボモーターと 1 つの DC モーターをベースに車輪は 4 輪の構成とし、3 輪型(Type2)は 2 つのモーターをベースに車輪は 2 輪 + キャスターの構成で開発をおこなった。

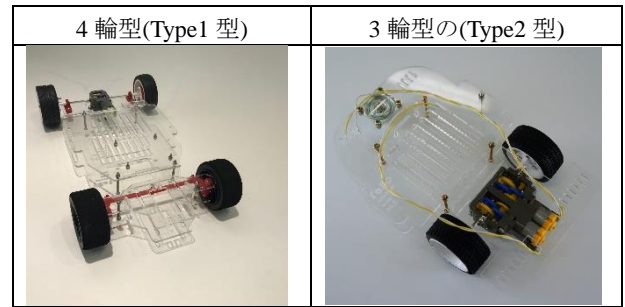


Fig.1 2016 年度開発のロボットカーキットの種類

ロボットカーキットの構成部品は、ホームセンター等で購入可能な部品群とレーザーカッターや 3D Printer で製造可能な部品で構成されている。レーザーカッターの切出しデータは AI(Adobe Illustrator)形式で開発し、3D モデルデータは STL 形式で作成をおこない、オープンソースハードウェアとして公開した。また、その他の部品は、地方都市の玩具店やホームセンターでも購入可能な部品群になるように、工夫して選定をおこなった。(参考: Table 1 ロボットカーキット Type1 型の構成部品例)。

Table 1 ロボットカーキット Type1 型の構成部品例

番号	部品名	製造方法
1	スポーツタイヤセット一式	既製品を流用
2	シングルギアボックス	既製品を流用
3	DC Motor(6V)	既製品を流用
4	サーボモーター	既製品を流用
5	アクリルシャーシー式	Laser Cutter で製造
6	ネジ一式	既製品を流用
7	フロントタイヤマウンタ	3D Printer で製造
8	ステアリングシャフト	3D Printer で製造
9	サーボフォルダ	3D Printer で製造
10	150mm 六角シャフト	既製品を流用
11	ベアリング	既製品を流用

また、本ロボットカーキットは、RaspberryPi3 と拡張ボード(Motor Shield)を搭載する事で、OpenRTM からの制御を可能にした。拡張ボード(Motor Shield)は、Motor Driver には Texus Instrument 社製の DRV8830 を 2 個搭載し、2 個のモーターの制御を実現した。DRV8830 で制御可能な DC モーターのスペックは、5V で 1A となっている。一般的なマブチ

130 モーター等の制御が可能だが、トルクの関係で、独自に中国から調達した 130 モーターと同規格の大きさのモーターを用いる事とした。また、サーボの制御には NXP Semiconductors 社製の PCA9685 を搭載し、6 つの PWM の制御を実現した。また、センサ等の入出力用に、Microchip Technology 社製の AD Converter である MCP3008 を搭載し、4 つの Analog Input 端子も拡張した。また、3 つの I2C 端子と 1 つの Serial 端子、4 つの GPIO 端子も拡張をおこなった。



Fig.2 RaspberryPi3 用拡張ボード(Motor Shield)

拡張ボード(Motor Shield)のおかげで、RaspberryPi3 から、DC モーターとサーボモーターの制御、さらにセンサ値の読み込み等が同時に制御可能となった。この基板を制御する Python のライブラリと、RTC のサンプルの開発も同時におこない OpenRTM からの制御を実現した。

2017 年 5 月開催のロボティクス・メカトロニクス 講演会 2017 in Fukushima の展示では、ゲーム用 Driver Controller を RTC 化し、本ロボットキットと VR を連携した仮想 Driver Controller のデモを OpenRTM をベースにおこなった。



Fig.3 ロボティクス・メカトロニクス 講演会での展示

また、同時に本ロボットカーキット向けのロボットカーの組立マニュアルの作成もおこなった。組立マニュアルには、組立方法の説明や必要な部品のリスト等を掲載した。また、3D Printer や Laser Cutter で製造可能な部品群のリス

トも掲載した。

組立マニュアルをベースに、会津大学のインターン生に、実際の組立を実施してもらったところ、大人ならば概ね 4 時間程度で組み立てを完了する事が可能であった。その一方で、数名の学生がアクリルを組立時に破損してしまうケースも発生したため、アクリル部位の強度補強や形の変更等も実施した。組立マニュアルもオープンな形にし、github 上で誰もが閲覧可能な形で公開した。



Fig.4 組立マニュアルイメージ

2016 年度に開発したロボットカーキットは、構成部品をオープンソースハードウェアで構成し、RaspberryPi3 を搭載可能とすることで、幅広い拡張性を実現する事に成功した。例えば、USB カメラ等を搭載する場合は、レーザーカッターで、USB カメラ搭載用のマウントを作成し、そこに USB カメラを乗せる事で、ハードウェアとソフトウェアの両面から、容易に機能拡張が可能な構成を実現してきた。

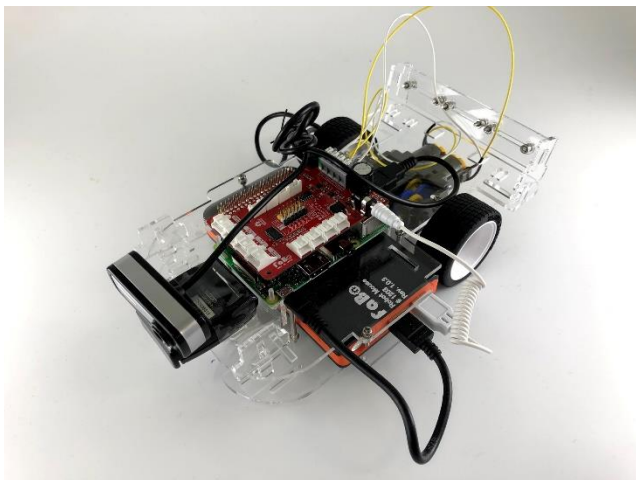


Fig.5 USB カメラ拡張の拡張例

他の事例としては、前方に 3 方向の LiDar を搭載し、Deep Learning の学習済みデータで制御可能なロボットカーの試作なども実験的におこなった。

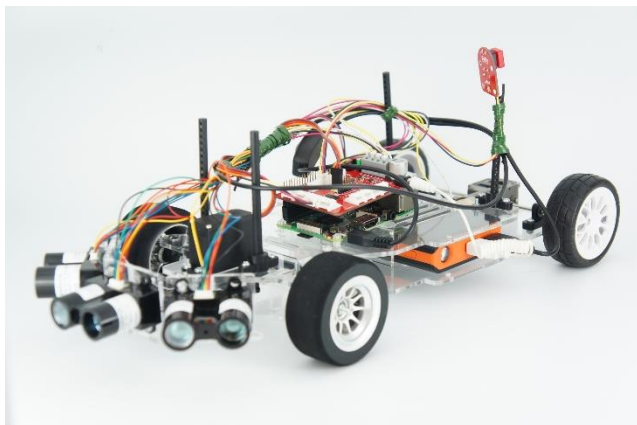


Fig.6 Deep Learning 搭載の拡張例

### 3. ロボットアームキット(2017 年度)

2017 年度は、2016 年度のロボットカーの続編とし、モノを掴むためのロボットアームキットの作成をおこなった。ロボットカーキットと同様、下記項目を基本設計方針として、開発と検証を進めていった。

1. オープンソースハードウェアである事
2. ホームセンター等で購入可能な部品群で構成する事
3. OpenRTM で制御可能な事

2017 年度に、開発をおこなったロボットアームキットは、ロボットカーキット等に装着可能な設置型(Type1)と、ロボットアームキット単体で動作する据置型(Type2)の 2 種類の開発をおこなった。設置型(Type1)は、3 つのサーボモーターにより構成し、据置型(Type2)は、6 つのステッピ

ングモーターと 1 つのサーボモーターで構成した。

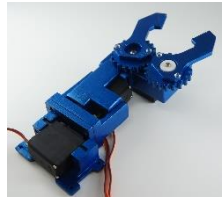

設置型(Type1)	据置型(Type2)
	

Fig.7 ロボットアームキットの種類

設置型(Type1)のロボットアームキットの構成部品は、3D Printer を用いて製造可能で、モデルデータは SLT 形式で新規に設計し、オープンソースハードウェアで公開した。設置型(Type1)は、印刷部品も少なく、印刷の原価は数千円で印刷でき、安価なロボットアームキットを実現する事に成功した。

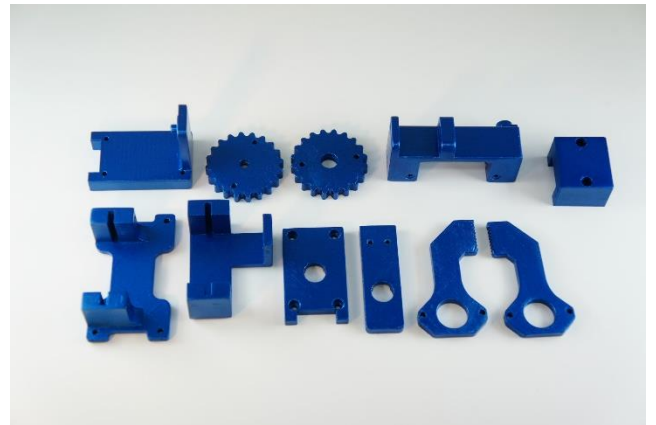


Fig.8 設置型(Type1)の構成部品

設置型(Type1)を組立てると、寿司サイズのオブジェクト等を掴み取る事が可能である。また、組立には、1 時間程度の時間を要するが非常に安易に組立可能な構成となっている。

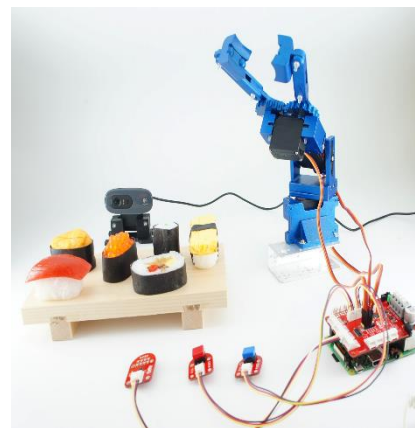


Fig.9 設置型(Type1)の応用例

据置型(Type2)は、MIT ライセンスで github に公開されて

いる BCN3D MOVEO を fork し、3D Printer での印刷し検証をおこなった。オープンソースハードウェアで公開されている STL データと組立マニュアルをベースに、印刷し動作検証をおこなった。3D Printer での印刷には、300 時間程度の時間を要し、印刷物が大きいため、印刷の失敗も何度も発生してしまった。1つの加工で1ヶ月程度かかってしまうために、3D Printer の印刷の工数に大きな問題を抱えている事が判明した。日本国内での 3D Print サービスで印刷した場合は、20 万円程度の印刷費がかかるため、今後は印刷コストをいかに削減するかが大きな課題となってくる。



Fig.10 据置型(Type2)の構成部品



Fig.11 据置型(Type2)の完成イメージ

また、ロボットアームキットの制御基板は、設置型(Type1)は、2016 年度のロボットカーキットの RaspberryPi3 用拡張ボードを用いて制御する事が可能である。そのため、基板の改良はおこなわず、Python のライブラリと RTC の試作をおこなうことで、設置型(Type1)は、OpenRTM との連携を実現した。

据置型(Type2)は、ステッピングモーターを 6 個制御する

必要があるため、独自の基板の試作をおこなった。試作した基板には、STMicroelectronics 社製の L6470 を搭載し、RaspberryPi3 からの制御を実現した。また、東芝製の TB6560 の検証も同時におこない、RTC の試作もおこなった。

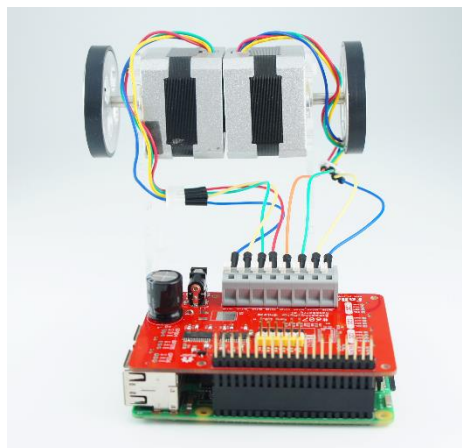


Fig.12 RaspberryPi3 用 Stepping Motor シールドの試作

#### 4. ロボットキットを使つての教育

開発したロボットキットを使つての教育では、2016 年度は、弊社の冬季インターンシップの中で、会津大学生 5 名に、ロボットカーの組立から RTC の作成までの実習を実施した。2017 年には、日本高専機構と連携し、本ロボットカーキットを用いたロボットプログラムのハンズオン講義を、全国 10 校の高専で実践した。2018 年には、福島県主催のロボット関連人材育成研修の教材としても採用され、ロボットカーの組み立ての講習を実施した。また、子供向けには、東京にある Fab スペース「Techshop Tokyo」で、子供向けのロボット研修も実施した。ロボットそのものを自作する経験ができる内容となっており、受講者からは好評をいただいている。

#### 5. 今後の開発

今後は、2016 年度、2017 年度に開発したロボットキットを進化すべく、STL、AI 等のデータや組立マニュアルをオープンソースハードウェアとして公開し、ハンズオンセミナー等のフィードバックから、その改善部分を常時更新していく予定である。また、実際の教育現場への導入を積極的におこない、ロボットキット教材としての完成度も高めていければと考えている。

■詳細版:教育用ロボットカー ビジネスモデル案

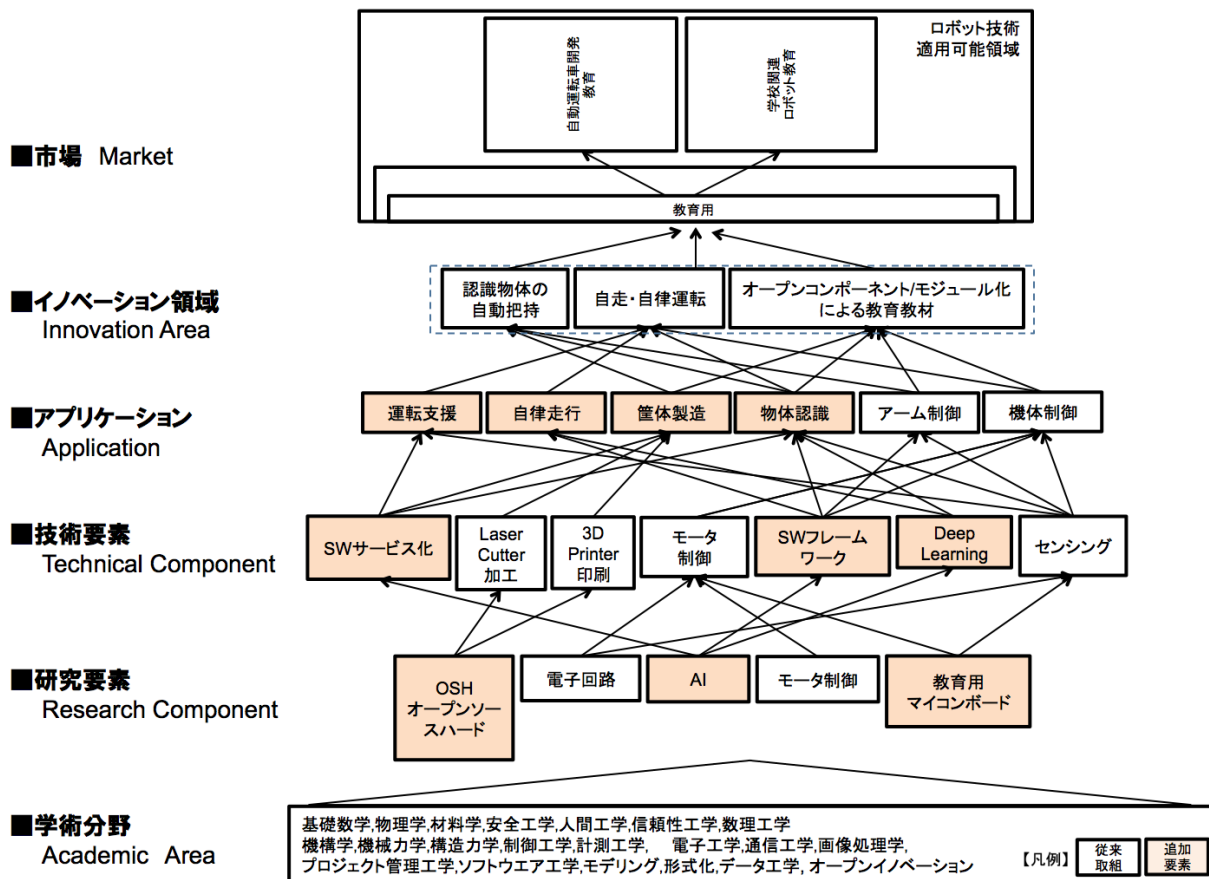


Fig.13 イノベーションアーキテクチャ図



## 4.5. 東日本計算センターの取組み

—ドローン、知的画像処理、ネットワーク、RTC-IF 共通化—

株式会社東日本計算センター 中野 修三

概要：「会津大学ロボットバレー創出推進事業」において、弊社は D1-Proj：ドローン、I1-Proj：知的画像処理(3D 画像生成、俯瞰画像合成)、N-Proj：ネットワーク、R2-Proj：RTC-IF 共通化を担当した。弊社のこれまでの組込みソフト開発の経験を活かし、RT コンポーネントの開発と開発ガイドラインの整備を行った。この事業に参画できたことで、ロボットソフト開発分野への第一歩を踏み出し、3 年間の取組みによって、新しいロボットソフト開発案件の受託、補助金を活用した自社独自の研究開発/実証、企業連携によるロボットソフト開発につながってきており、弊社のロボット事業の礎となった。

### 1. まえがき

東日本大震災の復興に向けて、福島県浜通り地域には福島イノベーションコースト構想が立ち上がり、弊社も浜通り(いわき市)に本社を置く企業として、新たな事業分野に挑戦し、自社の業績向上はもちろん、地域の復興に寄与したいと考えていた。

福島イノベーションコースト構想の取組み分野の中で、これまでの組込みソフト開発の経験を活かせるものとして、ロボットソフト開発を選んだものの、どう取り掛かっていけばよいか苦慮していたところに、「会津大学ロボットバレー創出推進事業」(以下、本事業)への参画の声をかけていただき、ロボットソフト開発分野への第一歩を踏み出すことができた。

本事業の取組みの成果を、ロボット開発に関わる教育機関や企業などに示したところ、新しいロボットソフト開発案件の受託につながり、現在も継続している。また福島イノベーションコースト構想に基づく地域復興実用化開発等促進事業費補助金(以下、実用化補助金)を活用して、自社独自の研究開発/実証を行うことで、更に案件の打診を受けることが増え、企業連携によるロボットソフト開発につながってきている。会津大学とのこの3年間の取組みは、弊社のロボット事業の礎となった。

### 2. 東日本計算センターについて

株式会社東日本計算センターは、福島県いわき市に本社があり、東京統括事業所/横浜事業所/日立事業所/会津オフィスに拠点がある。

1965(昭和 40)年の設立から受託計算業務、センター業務から出発し、システムエンジニアサービス、ソリューションサービス、システムインテグレーションサービス、セキュリティコンサルティング、お客様のコアビジネス周辺のビジネスプロセスアウトソーシング業務と徐々に事業内容を拡

大し、創業 50 年を越え、お客様、地域に貢献してきた。

半歩先の技術を研究、実証するために、研究・開発センターを設置し、この部門を中心とし、各事業部が連携して、ロボット事業に取り組んでいる。

#### ●企業理念

ICT サービスを通じ

『社会とともに』『お客様とともに』『社員とともに』  
発展していくことを目指す。

#### ●企業ビジョン

経営・ソフトウェア・サービス・研究開発のすべてにおいて、顧客の期待を大きく超える品質を提供する。

### 3. 本プロジェクトで習得した技術と成果

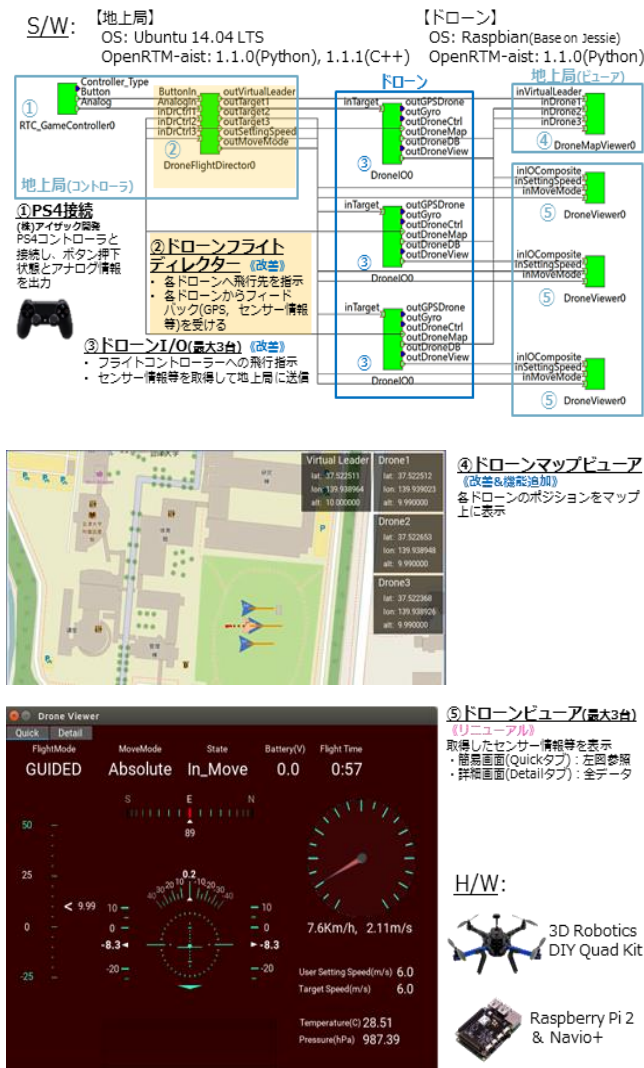
#### <3-1> D1-Proj：ドローン

ドローンを隊列飛行させる飛行制御の開発に取り組み、また飛行状況をビジュアル的に表示するビューア、飛行履歴データを表示するビューアの開発も行った。

本事業では RT ミドルウェアでの開発であったが、これらを発展させた実用化補助金を活用した自社開発では、ROS 上での開発を行った。

これらを通して得られた、隊列飛行すなわち同一機体による群飛行、異なる機体による協調飛行には、関心を寄せる企業があり、新規案件の打診を受けている。

弊社は本事業の中でドローンを担当し、これをきっかけとして、ドローン活用を見据えた機能開発に取り組んできたところであり、今後はドローンビジネスの事業化を目指していきたい。



これらの技術を基礎として、各社が開発したロボットから位置情報 (GPS データ) を取得し、2D マップ上にロボットの位置の表示を実現するロボット間連携を実現した。また、国立研究開発法人産業技術総合研究所が開発したロボットシミュレータ「Choreonoid(コレオノイド)」上で、ロボットモデル/環境モデル作成や移動履歴データに基づく軌跡表示なども行った。

これらの画像処理は、ロボット本体の制御とは違うが、ロボットをさまざまな用途に活用していく上では欠かせない技術なので、さらなる技術の習得とレベルアップを図っていききたい。

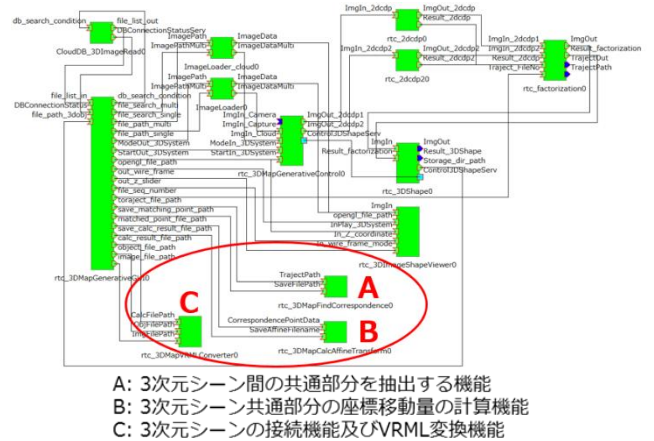


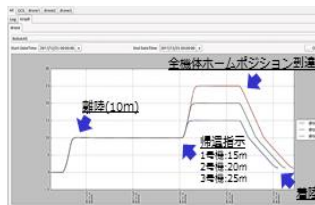
Fig.2 3D マップ生成システムのシステム構成図

【ドローンRTCログビューア】

①地上局(操縦ログ)〜ドローン(航行ログ)の送受信データを時系列で一覧表示

時刻	送信元	受信先	送信ID	受信ID	受信データ
2017/12/19 13:38:40.210	地上局	ドローン	1	1	...
2017/12/19 13:38:40.215	ドローン	地上局	2	2	...
2017/12/19 13:38:40.220	地上局	ドローン	3	3	...
2017/12/19 13:38:40.225	ドローン	地上局	4	4	...

②センサー情報のグラフ化



③飛行軌跡



Fig.1 ドローンにおける RTC 構成とシステム概要

<3・2>11-Proj : 知的画像処理(3D 画像生成、俯瞰画像合成)

3D 画像生成では、会津大学の保有技術である 2DCDP を活用し、3D 画像を生成した。俯瞰画像合成では、ドローンが撮影した画像から、タイル構成のマップを策した。

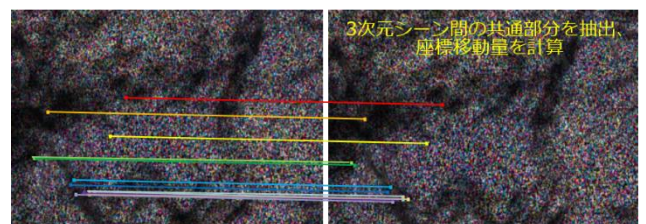


Fig.3 ドローン静止画像間の共通部を対応付け後、3D マッピング

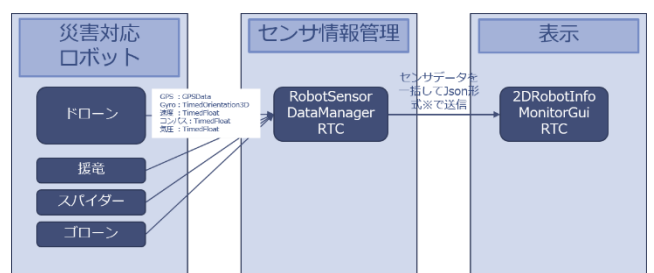


Fig.4 ロボット情報モニタシステムのアーキテクチャ構成



Fig.5 ロボット情報モニタシステムの画面



Fig.6 Choreonoid による仮想空間での移動軌跡

### <3・3> N-Proj : ネットワーク

災害現場など不安定な通信・経路の環境下でも、安定した通信が確保できるメッシュネットワークを構築した。

構築したネットワークに対しては、有線及び無線それぞれについて通信経路の視覚化の取組み、スループット調査を行った。その結果、まだ技術課題も残っており、今後実際の現場でも十分に利用できるネットワーク構築を、引き続き自社の研究開発テーマとして取り組んでいきたいと考えている。

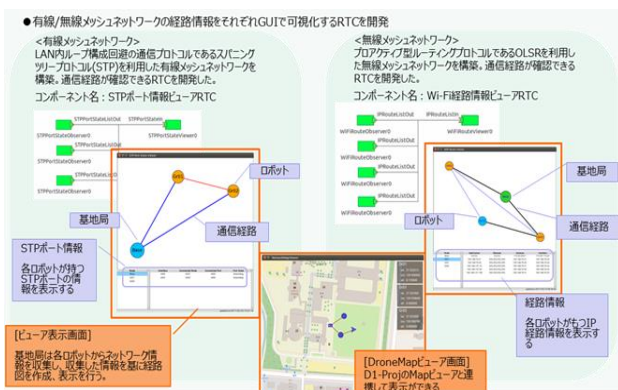


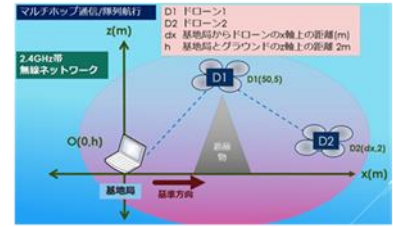
Fig.7 経路情報を GUI上で可視化する RTC 概要

### スループット研究成果 (自律ルーティング)

●研究内容  
基地局とドローンとの間に遮蔽物を挟み、基地局とのシングルホップ（直接通信）を途絶させ経路切り替え発生時のRTC通信の信頼性とスループットを検証した。

<計測条件>

- ・基地局及びドローン間はRTCのデータポートを接続
- ・経路の切り替えには“自律ルーティングプロトコル (OLSR<sup>\*1</sup>)”を使用



\*1 OLSR  
Optimized Link State Routing

Fig.8 スループット調査の概要

### <3・4> R2-Proj : RTC-IF 共通化

本事業のコンセプトである開発効率化と再利用のため、弊社は標準化支援業務を担当した。

これまで弊社が組込みソフト開発の中で実施してきた開発プロセスを、ロボットソフト開発に適用した形で開発ガイドラインとしてまとめた。これについては、これからロボットソフト開発に参入してくる企業のための一つの指針となるものと考えている。

また弊社ではお客様の要求仕様に基づく受託開発を行うことが多く、その場合にオープンソースソフトウェア (OSS) を利用するケースはほとんどなかった。本事業では、ロボットソフトウェアの基盤となる RT ミドルウェアが OSS であり、様々な機能実現に各種の OSS を利用して開発を行った。各社が開発した RT コンポーネント自体も OSS として公開するため、標準化支援業務として OSS 活用の手順を定め各社への展開を図った。OSS に関してはまだ十分な知見を得られてはいないが、今後の OSS ビジネスを検討するうえで、貴重な取り組みとなった。

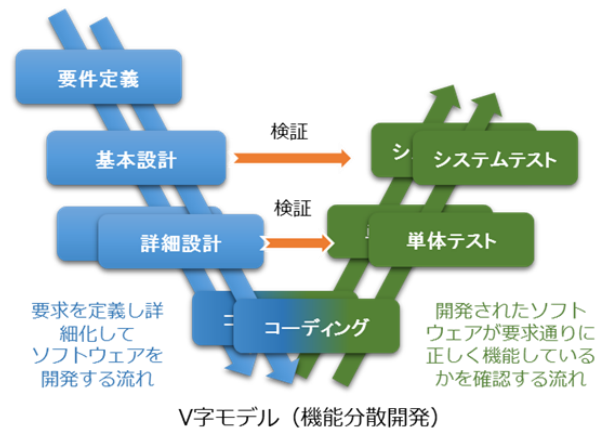
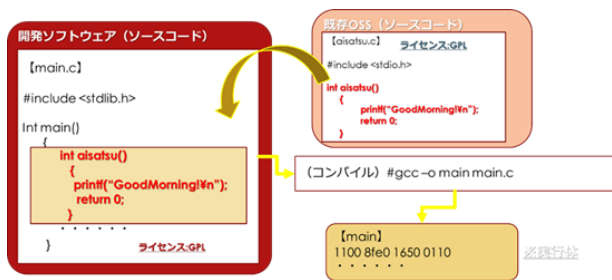


Fig.9 機能分散開発における V 字モデルの概念



OSS利用時のライセンスの事例

Fig.10 OSS 利用時のライセンス活用手順の事例

#### 4. 技術面以外の成果

本事業ではプロジェクトに参加している他企業との連携も多くあった。

月1回開催している「RTC ライブラリふくしま研究会」は各企業が集まり、それ以外にも様々な企業間と接する機会があり、担当者間の人的な交流から会社の交流へも発展し、ロボット事業における連携を協議する場面も出てきている。今後より具体的な事業展開になることが大いに期待される。

#### 5. 今後の事業展開

ロボット事業の展開は、ドローンによる農業分野、工事進捗確認、環境モニタリングなどへの活用に向けて、新規案件

として打診を受けている。まだまだ事業化には至っていないが、今後期待を持てる分野であるので、一つ一つ実績を重ねていきたい。活用分野では、災害・事故現場や浜通り地方が抱える大きな課題の廃炉に向けた取り組みも進めていきたいと考えている。

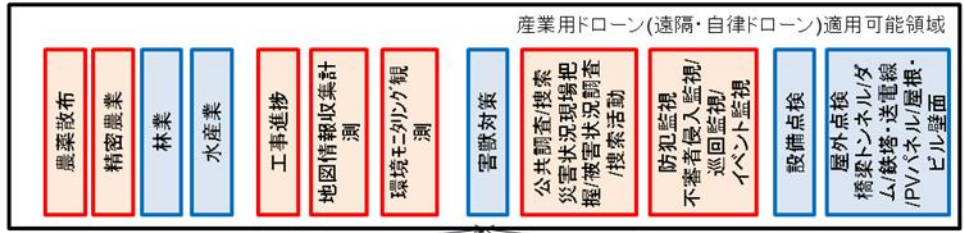
南相馬市には福島ロボットテストフィールドができて、地域一体となってロボット産業の活性化に取り組んでいるが、弊社の本社があるいわき市でもロボット産業が活性化されるように、微力ながら地域に貢献していきたい。その一つとして、いわき市三和地区にある廃校となった小学校を活用し、新技術の研究開発拠点とするとともに、地域に開かれた IT 拠点としていく。

#### 6. 最後に

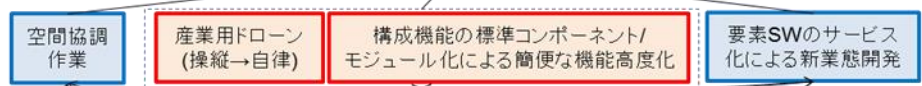
本事業を通して、会津大学との産学連携という形でプロジェクトを進めてくることができた。また本事業に取り掛かるにあたって、会津大学先端 ICT ラボ(LICTiA)のプロジェクトルームをお借りし、会津オフィス設けることができた。会津オフィスは会津大学だけでなく、会津地方の活動拠点となっている。今後も、様々な場面での連携、ご支援を継続してお願いしたい。この会津大学とのご縁ならびに本事業に関わった各企業とのご縁を活かして、ロボットビジネスの事業化はもちろん、福島県のロボット産業の発展に貢献していきたいと考えている。

■詳細版:無線群ドローン(D1)

■市場 Market



■イノベーション領域 Innovation Area



■アプリケーション Application



■技術要素 Technical Component



■研究要素 Research Component



■学術分野 Academic Area

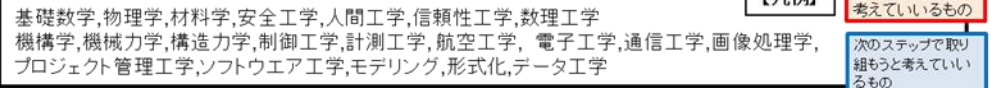


Fig.11 イノベーションアーキテクチャ図

添付.1: 株式会社東日本計算センターのご紹介



●会社概要

株式会社 東日本計算センター  
 EAC(East Japan Accounting Center Co.,Ltd.)  
 本社 〒970-8026 福島県いわき市平字研町2  
 代表者 代表取締役社長 鷲 弘樹  
 設立 1965(昭和40)年11月6日  
 URL <https://www.eac-inc.co.jp>

●沿革	
1965年 11月	福島県平市大町20番地に、株式会社東日本計算センター (EAC) 設立
1966年 1月	日本ユニバック株式会社 (現日本ユニシス株式会社) より電子計算機を購入・設置 地方自治体、金融機関、民間企業等の業務受託を開始
1966年 11月	14市町村合併により、福島県いわき市平字大町20番地に地名変更
1973年 4月	東京都文京区本郷一丁目に東京支店を開設
1978年 8月	東京都新宿区新宿五丁目の伊勢丹第2別館に東京支店を移転
1982年 2月	福島県いわき市平字研町2番地に、本社社屋を新築
1982年 4月	同敷地内に新館を増築し、社内全部門の移転完了
1982年 12月	株式会社東日本システムエンジニアリング (ESE) を設立 仙台通商産業局 (現東北経済産業局) 第1号情報処理サービス業電子計算機システム安全対策実施事業所に認定
1983年 3月	株式会社東日本ソフトウェアビジネス (ESB) を設立
1988年 4月	株式会社アルパインソフトウェア (ASI) を設立
1988年 9月	東京都台東区下谷に上野統合事業所を開設
1993年 1月	東京都新宿区西落合二丁目の伊勢丹落合センターに東京支店を移転
1996年 2月	神奈川県横浜市鶴見区鶴見市場に横浜事業所を開設
1998年 6月	東京都新宿区新宿二丁目に東京支店を移転
2001年 1月	新宿区新宿三丁目に上野統合事業所を移転し、東京統括事業所として開設
2001年 7月	東京統括事業所にて、データセンター業務を開始
2003年 11月	情報セキュリティマネジメントシステム (ISMS) の認証取得
2004年 12月	情報セキュリティマネジメントシステム (ISMS) の範囲拡大
2005年 10月	日本セキュリティ監査協会 (JASA) 入会
2005年 11月	情報セキュリティマネジメントシステム (BS7799) の認証取得
2006年 11月	創立40周年記念式典 新事業部制に移行
2007年 10月	情報セキュリティマネジメントシステム ISO/IEC27001の認証取得
2009年 3月	東京支店を、東京都新宿三丁目の東京統括事業所に統合
2011年 3月	東日本大震災発生、福島第一原子力発電所事故 BCP発動
2013年 4月	神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央四丁目に横浜事業所を移転
2014年 2月	プライバシーマークの認証取得
2015年 10月	50周年記念感謝の会開催
2016年 3月	品質マネジメントシステム ISO9001の認証取得
2017年 9月	茨城県日立市大みか町一丁目に日立事業所を移転
2017年 12月	福島民報社「ふくしま産業賞 特別賞」受賞
2017年 12月	経済産業省の『地域未来牽引企業』(全国2,148社) に選定

## 4.6. メカテックの取組み

### ーソフトロボットシミュレーションー

#### 株式会社メカテック 平 美紀

概要：メカテックは会津大学との産学連携にて「ソフトロボットシミュレーション」プロジェクトにおいて、剛体と弾性体のハイブリッドな動力学計算エンジンの開発を目指している。ここでは、本プロジェクトがこれまでに行ってきた成果、これからの課題を報告するとともに、この技術の事業化への可能性を示したい。

#### 1. まえがき

メカテックは2017年6月より「ソフトロボットシミュレーション」プロジェクトにて、委託業務を受け、会津大学ロボット技術開発支援事業に携わっている。

本プロジェクトでは、剛体と弾性体を組み合わせたひとつの運動体をシミュレーションするための動力学計算エンジンの開発を目指している。始動からまだ半年ほどになるが、本プロジェクトについてのこれまでの成果を報告する。

#### 2. プロジェクトでの取組み

##### 〈2・1〉 これまでの経緯

本プロジェクトは、クローラロボットのベルト部のようなゴムの柔らかい運動体をシミュレーションすることを大きな目標とし、剛体シミュレータでは表現できない解像度の高いシミュレーションを行うことを目指して始動した。

まず初めに、弾性体のシミュレーションを行う手段として、オープンソースライブラリの [Voxelyze](#) という弾性体動力学計算エンジンの導入を検討した。Voxelyze は、シミュレーションモデルを弾性体 Voxel で表現し、個々の Voxel に物理特性（寸法、弾性率、密度、熱膨張係数、摩擦係数、粘性減衰係数）を導入することで、Voxel 単位での力学的変移を観測することが可能である。また、複数の Voxel を用いて1つのモデルを表現することができ、予め接触した Voxel は質量ばねダンパ系で結合され、Voxel 間の力学的相互作用が計算される。よって、Voxelyze を導入することで、1つのシミュレーションモデルを微細に分析することができ精密な数値解析や解像度の高いシミュレーションが可能となると考えた。ただし、この Voxelyze ライブラリは弾性体構造物の材料特性を調査、シミュレーションするための動力学計算エンジンであるため、本プロジェクトが目指す弾性運動体のシミュレーションに適合するか、を検証することが最初の主題となった。よってこの Voxelyze を用いて簡単なシミュレータを作成、および車輪やクローラベルトのモデリングを行うことで、Voxelyze の調査、検証を進めた。

##### 〈2・2〉 これまでの成果

開発環境の整備も含め、モデリングについても試行錯誤

の繰り返しだったが、

(1) Voxelyze 導入手順の確立

(2) 単体の弾性運動体についてのシミュレーション手順の確立

(3) 複合体の弾性運動体のシミュレーション手法の確立と、順を追って成果を積み重ねてきた。そしてクローラベルトのように、駆動部ギアの回転の力の伝達により、ベルトが回転するモデルの作成に至った (Fig. 1 参照)。このモデルは Fig. 1 のように3つのモデル系から構成される。

①クローラベルト部

①-1.ベルト部分

①-2.ラグ部分

②動力ギア

③サポートギア

この各モデルに対し、以下の外力を加える。

①-1：ベルトが回転する方向への外力

(ただし、②の動力ギアと接触した場合のみ)

②：向かって左手方向へ地面と平行の外力

③：向かって右手方向へ地面と平行の外力

②、③への外力でベルトへの張力、①-1 への外力で動力ギアから受ける力の伝達を表した。

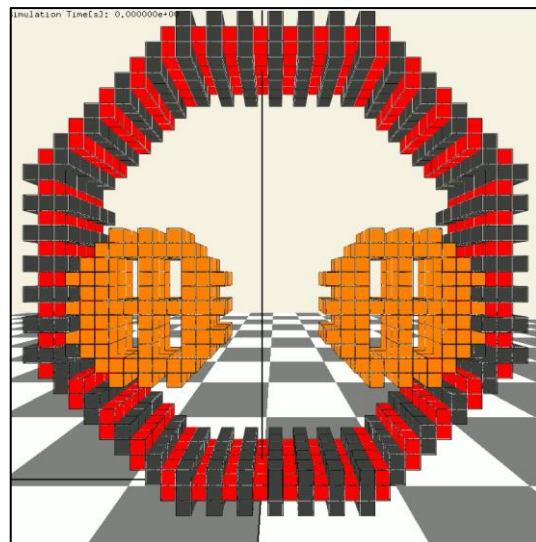


Fig. 1 Crawler belt Simulation Model.

このシミュレーションにて、シミュレーション開始後は、②、③のギアに与えられた外力によってベルトが伸縮し（Fig. 2 参照）、②、③への外力とベルトの張力の釣り合いが取れた後、ベルトが緩むことなく走行する様子（Fig. 3 参照）が観察でき、剛体シミュレータよりもより緻密なシミュレーション結果が得られた。

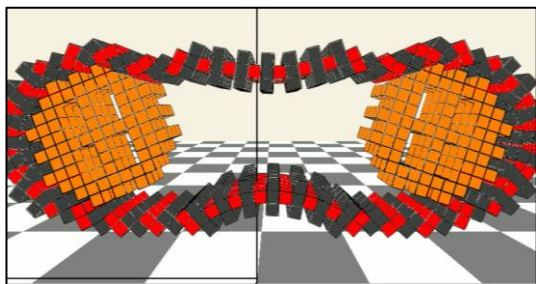


Fig. 2 Stretch of Crawler belt

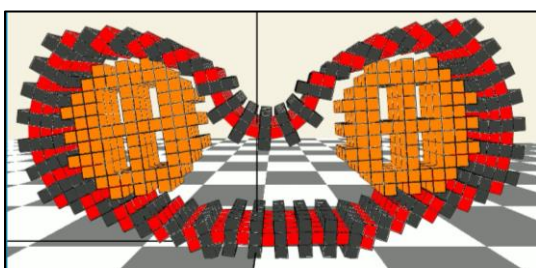


Fig. 3 Running of Crawler belt

### 〈2・3〉 現状の課題と今後の目標

試行錯誤を重ねるにつれ、クローラベルトのモデリング精度は微量ながら向上を見せている。しかし、問題点も表面化してきている。それは、シミュレーション中に物理演算が不安定となり、モデルが崩壊する事象である。不安定化の原因は残念ながら明確になっていないが、そもそも Voxelyze

は構造物をシミュレーションするための物理計算エンジンであるため、運動体のシミュレーションが適当でないことも想定される。このことを受け、一旦 Voxelyze での弾性運動体のシミュレーションを見送り、新たな計算エンジンの開発を検討することとした。

今後は、剛体動力学計算エンジンと弾性体動力学計算エンジンを組み合わせた、ハイブリッドな動力学計算エンジンの開発を行っていく。また、新規動力学計算エンジンの評価として、剛体シミュレータや Voxelyze とのシミュレーション結果との比較を考えている。現状の想定モデルはスポンジタイヤのような外周が柔らかい形状の車輪としており、車輪が回転、もしくは静止状態にて自重で柔らかい部分がつぶれる様子を観察し、比較していきたい。

## 3. 産学連携

### 〈3・1〉 プロジェクトに対する役割

メカテックは、様々な分野のお客様の要望に応じて、お客様の専用機を作り続けてきた産業機械や産業用ロボットのセットアップメーカーで、簡単な治具製作を始め制御機器など、機械を包括的に扱ってきた。当然、分野やお客様の業態により要求されることは異なるが、その要求に全力で対応してきたメカテックは、意識しないまでも、自然と様々な構造の機械を扱うこととなった。よって物体（ハードウェア）の構造についての理解は習熟していると自負している。このような背景を踏まえ、本プロジェクトの本質的な部分である、運動体の構造についての理解や製造を通しての経験を用いて本プロジェクトに貢献したいと考えている。

### 〈3・2〉 産学連携への意義

メカテックは産学連携事業を長期的な視点でとらえ、産学連携にて生み出される新しい技術によって、何らかの市場が拡大し、それによって企業の活躍する場が広がる、という波及効果が得られる事業ととらえている。そのため、メカテックで力になれることがあれば、尽力していきたいと考えている。

また、メカテックは、企業としての成長を図る手段として、これからも新技術を備えていかなければならない。そのため、産学連携を通して新技術への情報感度を高め、情報を吸収する窓口を広く開けておきたいと考えている。

## 4. 事業展開

本プロジェクトは、まだ始まったばかりであり、様々な可能性があるが、現状考え得る市場や技術要素などをインバージョンアーキテクチャ図（Fig. 4 参照）にて示す。Fig. 4 に示す通り、剛体と弾性体を組み合わせたひとつの運動体をシミュレーションするための動力学計算エンジンは、広く、多くの分野での活用が可能になると考えている。

また、メカテックでは、機械設計や製造工程にこのシミュレーション技術を取り入れることで、「技能を技術にする」事が実現可能になると期待している。



設計においては、ロボット、もしくは機械の動作シミュレーションを行うことで、モータやシリンダに必要な力や速度など、動作にかかわる要素について、ある一定の境界値を取得することが可能となると想定される。そうなれば、設計者はそれを元にコストや冗長性、継続性などを考慮して選定を行えばよい。このように経験値からではなく、物理的な数値計算によって導き出された情報により、多角的にバランスの取れた設計が可能になる。そして、製造工程においては、例として、ロボットアームへのケーブルの配線作業を挙げると、可動域への配線はロボットとケーブルの動きを考慮する必要があり、経験がモノを言う難しい作業である。トライアンドエラーで何度も配線し直す事も珍しくはない。しかし、ここでシミュレータを用いれば、最適な配線経路をシミュレーションでき、その結果の通りに配線するだけで、だれでも難しい配線作業が可能となる。

このように、シーンにより様々な用途があり、考え方次第で多方面に展開していきける技術である。

## 5. 結論

この「ソフトロボットシミュレーション」プロジェクトは若いプロジェクトで、研究要素が強く、事業化での即時性はまだ見込めない。しかし、現実の世界には、ロボットのシリンダとウレタン、自動車タイヤのホイールとゴム、人体の骨格と筋肉など、本プロジェクトが対象としている剛体と弾性体の組み合わせが多数存在している。ゆえに、広くどのような分野にも展開できる可能性は高く、未来が大いに期待できる技術である。メカテックも大きな展開を期待しつつ今後もプロジェクトに尽力していきたい。

## 文 献

- (1) Hiller, J. and Lipson, H. Dynamic Simulation of Soft Multimaterial 3D-Printed Objects: Soft Robotics. 2014:1(1):88-101

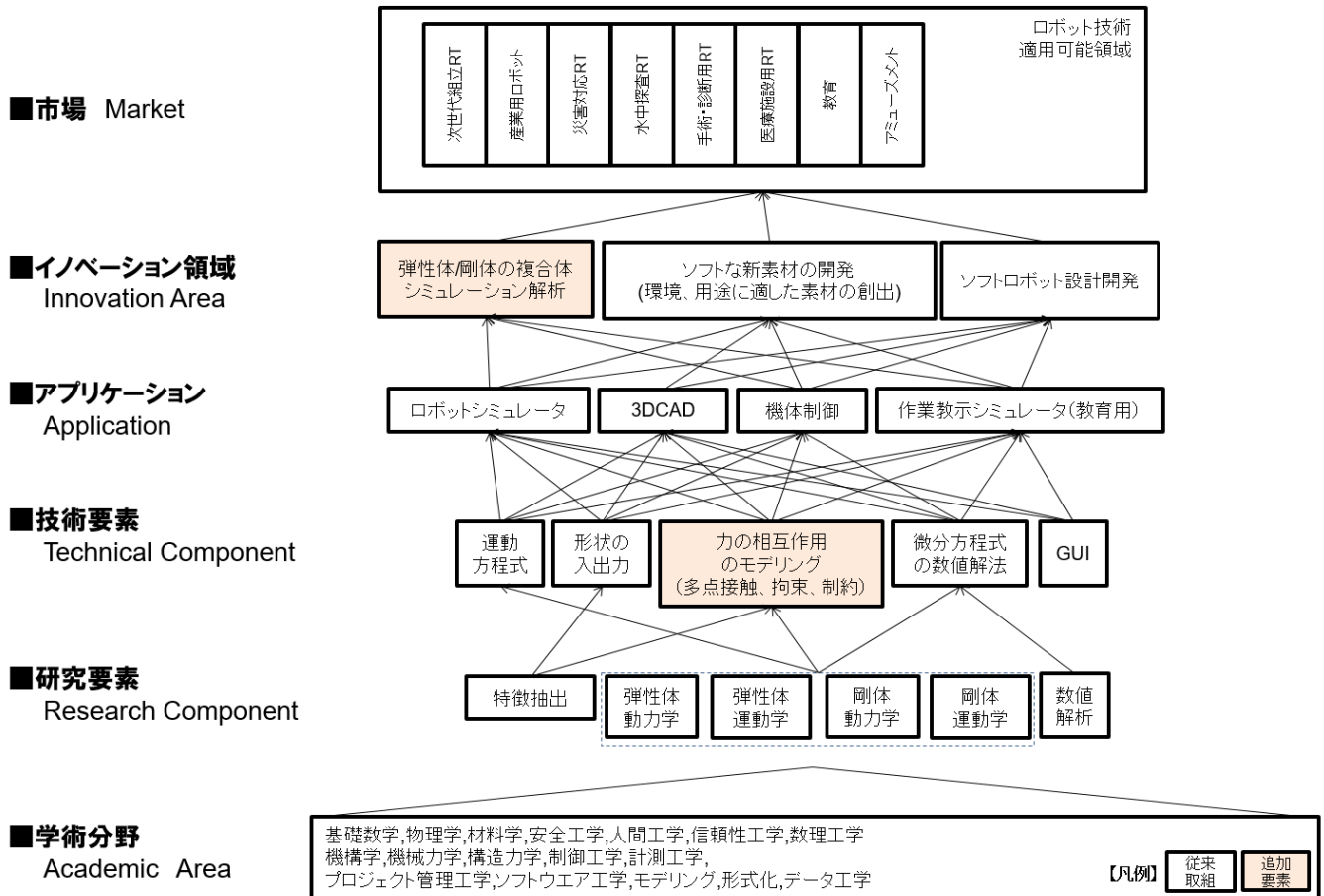


Fig.4 イノベーションアーキテクチャ図

## 4.7. NJK:メディアドライブの取組み

### — 虫瞰視点ロボット（ゴローン）の開発 —

株式会社 NJK メディアドライブ事業部 松村 博 遠藤 健 山下 浩生  
会津大学 岡 隆一

Abstract: Against the drone that collects information from the sky, we have developed an insect's-eye view robot. The robot which is named as "Gorone" has the functions to shoot the ground situations and to transfer that data to server. In fiscal year (FY) 2015, we have developed a wireless-type Gorone V1 that drops from the sky to observe the surrounding situations, and a wired-type Gorone V1 to observe the inside of narrow space like groove. In FY 2016, we have developed a wireless- and wired-type Gorone V2 by adding a self-propelled function to Gorone V1. In FY 2017, we have developed a function for quickly browsing, searching and visualizing the data taken by Gorone on the server. We have also developed a function to learn and acquire changes in surrounding environment using a wireless-type Gorone V3 which is adapted by removing LED illumination from the wireless-type Gorone V2. A function to monitor objects with the collaboration of multiple Gorones has also been developed. The developed results have been used to investigate the business possibility as a platform of capturing video and audio data, and as a system of extracting flow lines by combining with TSCDP (Time-Space Continuous Dynamic Programming), which is the research result of The University of Aizu.

#### 1. まえがき

上空から地上の状況を撮影して、立体的な地形図を作成したり、橋やトンネル、太陽光発電パネルなどのメンテナンスを上空から行う、などの用途で、ドローンの市場が急拡大しており、最近では大小のドローンが手ごろな価格で入手できるようになってきた。しかし、長時間の飛行や地上の状況を細かく観察する必要がある場合には、撮影した画像の詳細な解析や、別途、地上での詳細な観察が必要になる場合も多い。そこで、ドローンと連携するなどして地上の状況を撮影し、その映像をサーバーに転送する機能をもった虫瞰視点ロボット（ゴローン）を、会津大学の、3年間（2015～2017年度）の「産学ロボット技術開発支援事業」で開発した。

2015年度は、上空から落下させて周囲の状況を撮影する無線型ゴローン V1、および溝の中などに入れて内部の状況を撮影する有線型ゴローン V1 を開発した。2016年度は、ゴローン自体に自走機能をつけて無線制御で周囲の状況を撮影することができる無線型ゴローン V2、および有線制御距離を長くした有線型ゴローン V2 を開発した。2017年度は、ゴローンで撮影した映像データを速覧・検索・可視化する機能と、2016年度に開発した無線型ゴローン V2 から LED 照明を外した無線型ゴローン V3 を 2 台作り、ゴローンの置かれた環境での周囲の動きを検出して、ゴローンが反応するための動きを学習・獲得する機能と、複数台のゴローンが協調して対象を監視する機能の実現に向けた検討を進めた。

3年間の成果は、映像・音響データ収集プラットフォームとして、また、時空間の動作を検出することができる TSCDP (会津大学の研究成果) <sup>(1),(2)</sup> と組合せて動線抽出を行うシス

テムとして、ビジネスの可能性を調査した。

2章ではゴローン V1 について、3章ではゴローン V2 について、4章では無線型ゴローン V3 と、V3 を利用して実現した、ゴローン自身が環境に存在する動きを検出して学習・獲得して、その動きに反応する、自己学習機能（教師無し学習機能）と複数ゴローン同士の協調制御機能、および収集した映像データの速覧・検索・可視化機能について、5章ではゴローンの利用例、6章ではゴローンのビジネス化に関する検討について説明した。

#### 2. ゴローン V1

ゴローン V1 では、5m 程度の高さから落として、落下地点の周囲の状況を監視することができる無線型ゴローン V1 と、5m 程度の溝の中や、長期観測が必要な場合を想定した有線型ゴローン V1 の 2 種類のゴローンを開発した。

##### 〈2・1〉 無線型ゴローン V1

無線型ゴローン V1 は、5m 程度の高さから落として、落下地点の周囲の映像データを撮影し、無線 LAN でサーバーに送信することができるもので、

- i) 停止位置に関係なく、カメラの位置が同じになる機構
- ii) ビデオカメラ（LED 照明付）、及びカメラのパン・チルト制御が可能な雲台
- iii) 地面を転がりながら移動できる構造
- iv) バッテリー駆動

等が特徴である。無線型ゴローンの外観と、カメラ雲台の外観写真を Fig. 1 に示した。

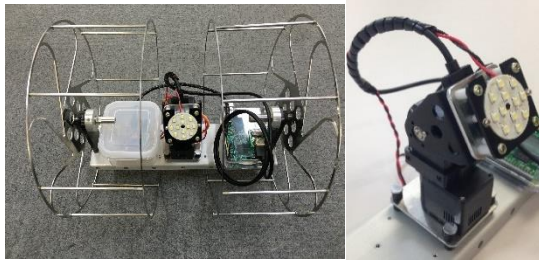


Fig.1 無線型ゴローン V1 の外観 (左)、カメラ雲台 (右)

### (1) 無線型ゴローン V1 の機構

機構部分は、5m 程度の高さから落としても壊れなく、落下後に地上を転がることができるように設計した。上記から、形状は Fig. 1 に示すような円筒形にして軽量化し、落下の衝撃を吸収するために接地部分を細いステンレス部材を使用してクッション効果も持たせた。また、カメラと電気回路は落下地点に関係なく同じ方向を向くように設計した。

### (2) 無線型ゴローン V1 の電気回路

電気回路は、CPU (ラズベリーパイ)、パン・チルト制御可能な雲台、ビデオカメラ、LED 照明、バッテリー、などで構成され、これらの部品は Fig.1 に示したように同一の取り付け台に固定した。

### (3) 無線型ゴローン V1 の制御ソフトウェア

制御ソフトウェアは CPU 上で動作し、下記の動作の制御を無線 LAN 経由で行うことができる。また、これらの制御モジュールは成果物として Open-RTC 化した。

- i) LED 照明の ON-OFF
- ii) カメラ雲台のパン・チルト制御
- iii) カメラで撮影したビデオデータの転送
- iv) ゴローン V1 全体の制御

### 〈2・2〉 有線型ゴローン V1

有線型ゴローン V1 は、5m 程度の溝内の観測や、長期観測が必要な場合を想定して設計したもので、有線 LAN によりゴローンの制御、撮影したビデオデータの転送を行い、電源も有線供給とし、

- i) カメラ制御は、無線型と同じ
- ii) 有線 LAN 制御・有線給電 (長時間観測)
- iii) 有線による確実な回収が可能

等が特徴であり、外観写真を Fig.2 に示した。

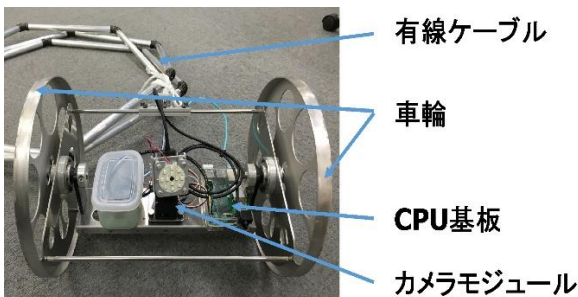


Fig.2 有線型ゴローン V1 の外観

### (1) 有線型ゴローン V1 の機構

機構部分の設計では、無線型ゴローン V1 と極力部品を共通化し、有線による移動がスムーズにできるように、左右の車輪に相当する部分の幅を広くし、有線制御線を中心部分に取付けた。有線制御線は、ゴローンの手動移動が確実にできるように、Fig.2 に示したように 30cm 程度の円筒をフレキシブルな部材でつないで作製した。また、カメラなどの取り付け方法は無線型と同じである。

### (2) 有線型ゴローン V1 の電気回路

電気回路は、バッテリーを無くして有線給電とし、有線 LAN を使用して制御、観測データの転送を行うこと以外は、無線型と同じである。

### (3) 有線型ゴローン V1 の制御ソフトウェア

無線型ゴローン V1 と同様の制御を、有線 LAN を介して行う以外は、無線型と同じである。

## 3. ゴローン V2

ゴローン V2 は、ゴローン V1 にモーターを搭載して自走できるようにした。

無線型ゴローン V2 は無線 LAN を介して動作の制御を行い、周囲の状況をビデオカメラで撮影してサーバーに転送することができる。一方、有線型ゴローン V2 は 10m 以上の長い溝の中や、人間が入れない場所に移動させて、その場所の状況を長時間観測して、観測データは有線 LAN を介してサーバーに転送する仕組みになっている。

### 〈3・1〉 無線型ゴローン V2

無線型ゴローン V2 は、V1 にモーターと車輪を付けて自走できるようにしたもので、防水も考慮した設計になっており、外観写真を Fig.3 に示した。

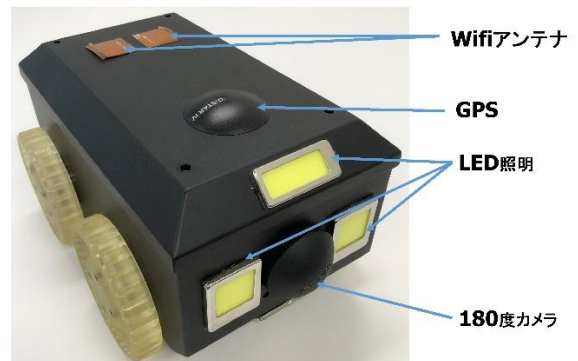


Fig.3 無線型ゴローン V2 の外観

無線型ゴローン V2 の特徴は、無線 LAN を介して制御して、その場の状況を撮影したビデオデータは無線 LAN を介してサーバーに転送することができ、

- i) 180 度撮影できるビデオカメラ搭載
- ii) ステレオマイク、LED 照明付き搭載
- iii) バッテリー駆動

などが特徴である。

### (1) 無線型ゴローン V2 の機構

機構部分は、当初、前進後退、左右回転などを行うために、4つの車輪ごとにサーボモーターを取付ける検討をしたが、最終的には左右の2つの車輪を1個のサーボモーターで駆動する方式とし、2個のサーボモーター駆動とした。筐体はできるだけ小型化して、走行時にスリップしないように重量は5Kg程度とし、防水のために密閉した構造にした。機構部の写真をFig.4に示した。

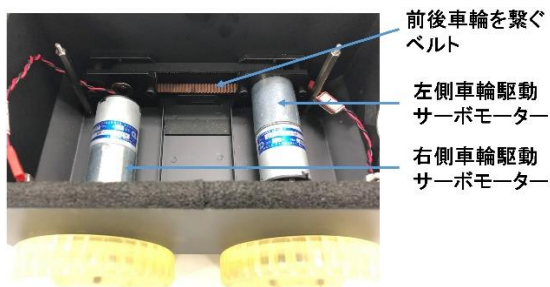


Fig.4 無線型ゴローン V2 の機構部

### (2) 無線型ゴローン V2 の電気回路

電気回路は、CPU、180度ビデオカメラ、3個のLED照明、2個のサーボモーター、駆動用バッテリー、などで構成され、Fig.5に示したように筐体内に固定した。

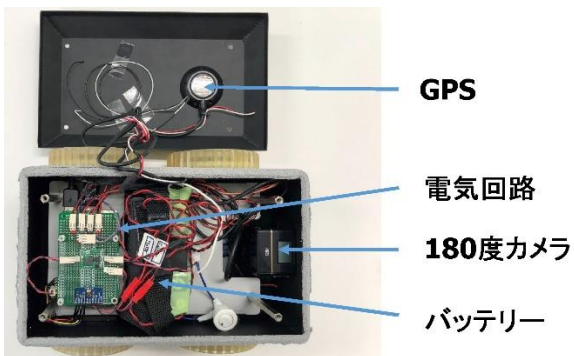


Fig.5 電気回路部分の写真

### (3) 無線型ゴローン V2 の制御ソフトウェア

制御ソフトウェアは、CPU上で動作し、下記の制御を無線LAN経由で行う。また、これらの制御モジュールは成果物としてOpen-RTC化した。

- i) 2個のサーボモーターの制御
- ii) LED照明のON-OFF
- iii) 9軸センサ(加速度、角速度、地磁気、GPS)のデータ取得
- iv) カメラで撮影したビデオデータの転送
- v) ゴローン V2 全体の制御

#### <3.2> 有線型ゴローン V2

有線型ゴローン V2 は、無線型ゴローン V2 を先頭ゴローンとし、約5m間隔にFig.6で示したように、中継ゴローンを配置し、10m以上の長距離制御を可能とした。

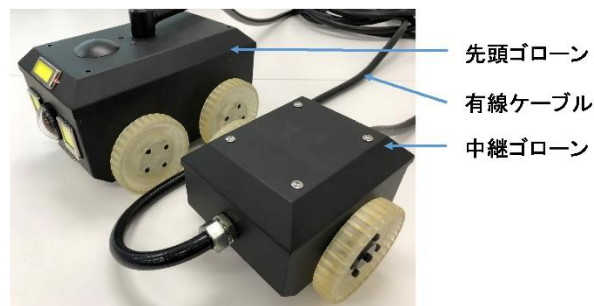


Fig.6 先頭ゴローンと中継ゴローンの外観

### (1) 有線型ゴローン V2 の機構

先頭ゴローンと制御距離を延ばすための中継ゴローンとで構成され、それぞれはFig.6に示した形状とした。

先頭ゴローンは無線型ゴローン V2 と同様の機構で、中継ゴローンは車輪を両側に1個ずつ付け、ディファレンシャルギヤを経由して1個のサーボモーターで2つの車輪を駆動する設計とした。中継ゴローンの機構部分をFig.7に示した。

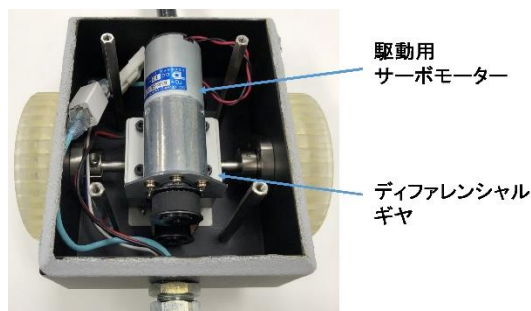


Fig.7 中継ゴローンの内部写真

### (2) 有線型ゴローン V2 の電気回路

先頭ゴローンの電気回路は、制御を有線LANで行う以外は無線型ゴローン V2 と同じである。また、中継ゴローンは有線LANで1個のモーターを、先頭ゴローンからの指示で駆動するための電気回路を付けた。

### (3) 有線型ゴローン V2 の制御ソフトウェア

先頭ゴローンの制御ソフトウェアは、CPU上で動作し、下記の動作の制御を有線LAN経由で行うことができる。また、中継ゴローンは、先頭ゴローンからの指令により先頭ゴローンと同じ速度で前進後退するようになっている。これらの制御モジュールは成果物としてOpen-RTC化した。

- i) 先頭ゴローン、2個のサーボモーターの制御
- ii) 先頭ゴローンのLEDのON-OFF
- iii) 9軸センサ(加速度、角速度、地磁気、GPS)のデータ取得
- iv) カメラで撮影したビデオデータの転送
- v) 中継ゴローンの制御
- vi) ゴローン V2 全体の制御

## 4. ゴローン V3

### 〈4・1〉 無線型ゴローン V3 の制御ソフトウェア

ゴローン V3 は、無線型ゴローン V2 から LED 照明を外して無線型ゴローン V3 を作り、有線型ゴローンは、特に改良はしていない。

LED 照明を外した無線型ゴローン V3 を 2 台、新たに作り、これを利用して、180 度カメラで撮影した画像から周囲の環境動作を学習しながら獲得していく機能と、複数台のゴローン V3 が協調して対象を観測する機能、観測したサーバー上のデータを速覧・検索・可視化するソフトウェアを開発した。

#### (1) 無線型ゴローン V3 の自己学習機能

無線型ゴローン V3 の 180 度ビデオカメラ画像を利用して、8 方向 (Fig. 8 左図) に動く小さい時空間動作を、TSCDP でリアルタイムに検出する。検出した動作は、終点と始点が時空間で一定間隔の場合に繋いでいくという操作を一定時間繰り返し、その時間内での動作を学習・獲得した線分の繋がりを学習結果パターンとして登録していく。

次に、登録された学習パターンを TSCDP の参照パターンとして、新しい環境で参照パターンと同じ動作が検出されると反応する、という自己学習機能を作成し、人間の動作 (ジェスチャー) を対象として有効性を確認した。

図 8 右図は、ゴローンが周囲の動きを学習して図 8 右図の下方に示した 4 つの円形の動きを獲得した例で、この 4 つの動きを TSCDP の参照パターンとして反応する、学習済みゴローンができた状態を示している。



Fig.8 左図：8 方向の動きを検出する参照パターン

右図：ゴローンが 4 つの動きを学習した画面例

#### (2) ゴローン同士の協調制御

複数のゴローンを、個々に制御することは面倒であり、ゴローン同士が連携と取りながら対象をうまく監視する方式を検討した。

上記を実現するために、ドローン間で通信ができるようにして、いくつかのモード (同じ方向を向く、それぞれが指定した角度に動く、特定のゴローンの指示に従う、など) を用意して、協調動作について検討した。

#### (3) 収集データの速覧、検索、可視化

ゴローンやドローンで撮影したビデオ映像は自然と増えて来て、使うときに必要なビデオを探すのが大変になる場合が想定される。

蓄積したビデオデータを効率よく探す方法として、

- i) ビデオデータの速覧技術 (ショット検出)

- ii) ビデオデータの検索技術 (ビデオ検索)

- iii) ビデオデータの可視化技術

をサーバー上に実装した。

i) は、ビデオデータの変化部分を見つけるショット検出技術であり、フレーム間の画像特徴の差分をとり、その大きさに指定した値以上の差が検出された時の画像を表示する機能で、実際にショット検出した画面例を Fig.9 に示した。

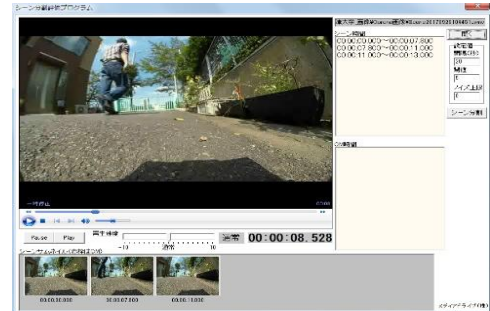


Fig.9 ショット検出した画面例

ii) は、探したい場面を、例えば 1) の結果を蓄積しておいて、そのなかから探したいビデオクリップをクエリーにして、蓄積したビデオを検索する方式で、検索結果例を Fig.10 に示した。



Fig.10 ビデオ検索結果を表示した画面例  
(左上：クエリービデオ、右側：検索結果)

iii) は、蓄積した大量のビデオデータの特徴あるフレーム画像 (ショット検出画像：1) などの画像特徴を 3 次元化して表示し、可視化できるようにしたもので、表示例を Fig.11 に示した。画面上で、見たい画像をクリックすると、その画像が含まれるビデオを、その位置から再生することができる。

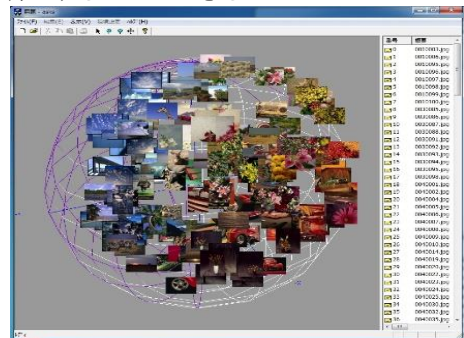


Fig.11 大量のビデオデータを可視化した画面例

## 5. ゴロンの利用例

ゴロンの利用が想定される場面例を、下記に分野ごとに示した。

- i) 災害時などの監視・調査（災害、防災）
- ii) ダムなどの異常状態の監視（異常監視）

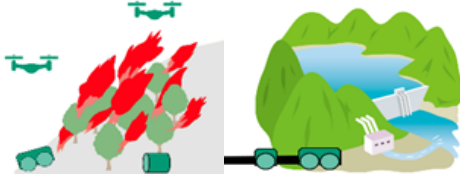


Fig.12 左図：i)、右図：ii) のイメージ図

- iii) 農作物の生育状態や異常状態の監視（農業）
- iv) 交通状況や、人の流れなどの監視（交通）



Fig.13 左図：iii)、右図：iv) のイメージ図

## 6. ビジネス化に対する検討

今回のプロジェクトで開発したゴロンをビジネス展開するにあたり、下記の可能性を検討し、当社フェアや当社ホームページなどに公開した。また、今回のプロジェクトで展示した国際ロボット展などでアピールするなどして、ビジネスの可能性を検討した。

- i) ゴロン自体のプラットフォーム販売
- ii) ゴロン V1 に搭載したパン・チルト制御できる雲台とビデオカメラの販売
- iii) 開発したアプリケーションの販売
  - ・ TSCDP を利用した動線検出技術
  - ・ TSCDP を利用したジェスチャー認識技術
  - ・ ビデオ映像の速覧・検索・可視化技術



Fig.15 ゴロンカメラからの映像を、TSCDPを利用して動線抽出する利用例を示したパネル



Fig.16 展示会で利用したパンフレット



Fig.14 ゴロン V2 の利用例を示したパネル

また、ゴロン関連技術のイノベーションアーキテクチャ図を Fig. 17 に示した。

## 7. むすび

空中から地上の状況を監視するドローンに対して、地上で周囲の状況を監視する虫瞰視点ロボット、ゴロンを開発した。ゴロンには、無線 LAN で制御するバッテリー駆動の「無線型ゴロン」と、有線 LAN 経由で制御するケーブル給電方式の「有線型ゴロン」があり、それぞれ、モーター駆動系が無いものと、駆動系付きの 2 種類を開発した。

また、無線型ゴロン V2、V3 を利用して、環境に適応した行動を獲得する技術や、複数のゴロンが協調して監視する技術の調査研究、収集したビデオデータを速覧・検索・可視化する機能を試作した。

さらに、上記4種類のごローンに関する使用方法を検討し、簡単なデモソフトや紹介パネル、パンフレットを作成し、関連するフェアでの展示やホームページに公開してビジネス化の調査も進めた。

地上の状況を監視するゴローンのような虫瞰視点ロボットはドローンと連携して使用する例が報告されているが、今回のプロジェクトで進めたような、周囲の環境に存在する動きを学習して行動を獲得していく技術や、複数のゴローンが協調して動作する技術の報告は、新しい試みと考えている。

今後、ゴローン自体をプラットフォームとして、色々な場面で利用することや、TSCDPを利用した動線抽出などの

ソフトウェアと組合せて、さらに発展させていきたい。

最後に、ゴローンの機構部分の設計・組立を担当した、本郷メカニクスの友田代表に感謝します。

## 文 献

- (1)Yuki Niitsuma, Syunpei Torii, Yuichi Yaguchi & Ryuichi Oka:"Time-segmentation and position-free recognition of air-drawn gestures and characters in videos", Multimedia Tools and Applications, An International Journal, ISSN 1380-7501, Volume 75, Number 19, pp.11615--11639.
- (2)岡 隆一："動画画像処理装置および動画画像処理プログラム", 特許第5608194号(平成26年9月5日)

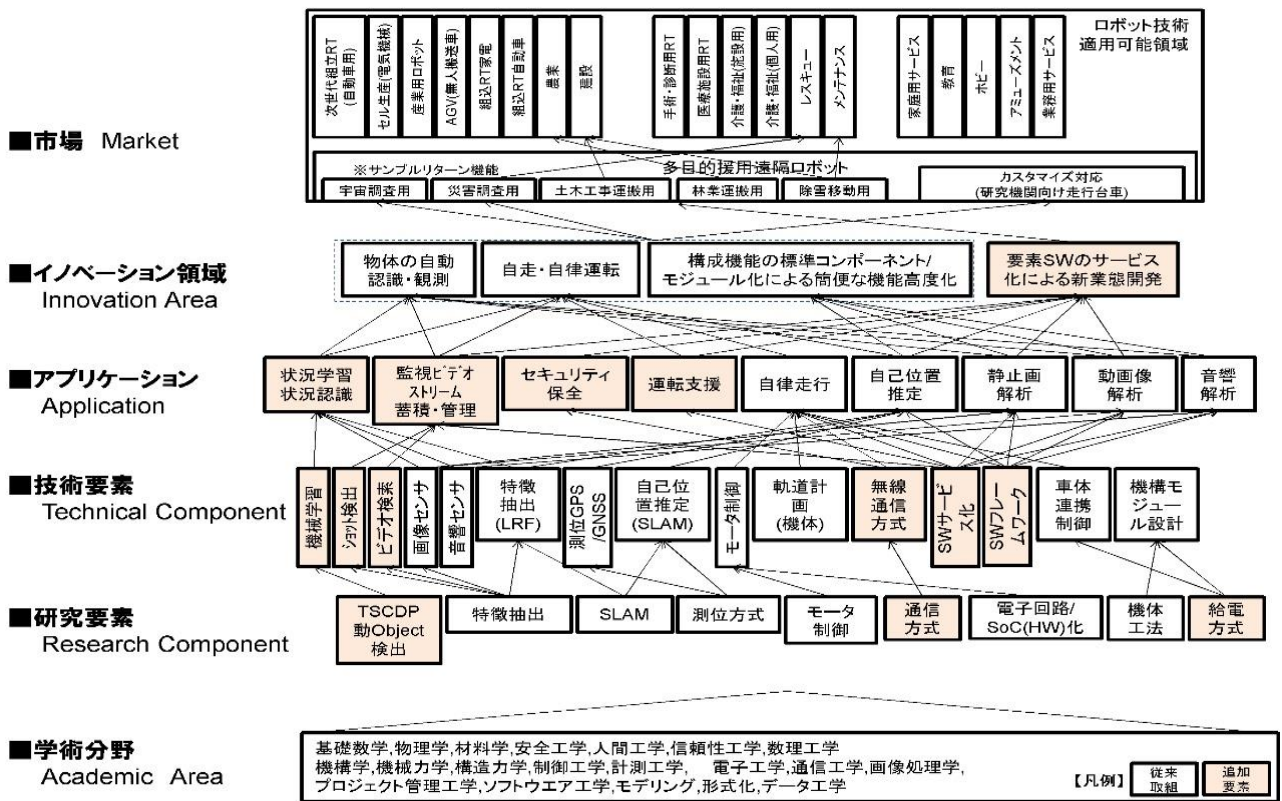


Fig.17 イノベーションアーキテクチャ図

# 5章 産学ロボット技術開発支援事業と産業技術総合研究所の連携

国立研究開発法人産業技術総合研究所 安藤 慶昭

概要：国立研究開発法人産業技術総合研究所は福島県による補助事業「産学ロボット技術開発支援事業」（以下本事業と称する）において、ロボットのソフトウェアに関する二つの技術（ロボット開発基盤：RT ミドルウェアとロボット用シミュレータ：Choreonoid）に関して連携させていただいた。本稿では、連携に至る経緯と本事業での関わり方について三年間を振り返る。

## 1. はじめに

国立研究開発法人産業技術総合研究所（産総研）は本事業において、ロボットのソフトウェアに関する二つの技術（ロボット開発基盤：RT ミドルウェアとロボット用シミュレータ：Choreonoid）に関して連携させていただいた。

RT ミドルウェア（以下 RTM）とは、ロボット機能要素のソフトウェアモジュール（RT コンポーネント：以下 RTC）を多数組み合わせることでロボットシステムを構築するためのソフトウェアプラットフォームである（Fig.1）。ロボット機能要素を RTC として作成し、ソフトウェアの蓄積や再利用性・信頼性の向上、システム構成の柔軟性向上を図ることで、ロボット開発を効率化する。

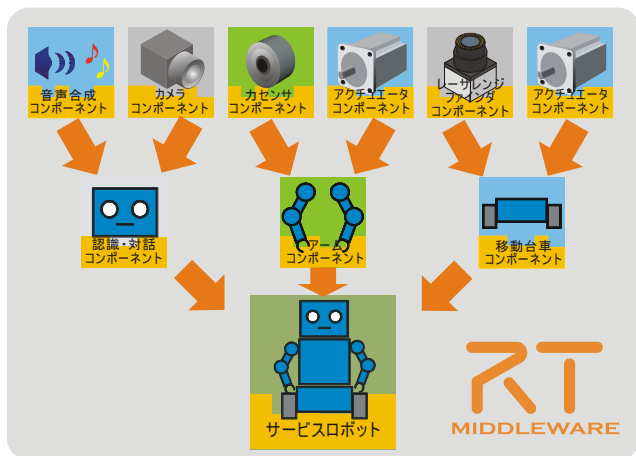


Fig.1 RT コンポーネントの組み合わせで構築するロボットシステム

産総研では 2005 年からオープンソース実装：OpenRTM-aist<sup>(1)</sup> を一般に公開するとともに、国際標準化団体 OMG (Object Management Group) において標準化<sup>(2)</sup>、普及活動等を実施してきた。

Choreonoid<sup>(3)</sup> は産総研が開発するオープンソースのロボット用統合 GUI ソフトウェアである。標準で動力学シミュレーション機能や動作振り付け機能を備え、産総研が開発するヒューマノイドロボットのハードウェア・ソフトウェア設計や制御・動作生成などに利用されているほか、一般的なロボットシミュレーション、2015 年に行われたシミュレーションによる災害対応ロボット競技会：ジャパンバーチャルロボティクスチャレンジ(JVRC)<sup>(4)</sup> の標準シミュレー

タとして採用される等、広く利用されている。

本稿では本事業において 2015 年から 3 年間にわたり取り組まれてきた RT ミドルウェア・Choreonoid という二つのロボットのソフトウェア技術に関して、本事業と産総研との連携について振り返る。

## 2. 連携までの経緯

### 〈2・1〉 産学ロボット技術開発支援事業との出会い

本事業のことを初めて伺ったのは、私が産総研から経済産業省出向中の 2015 年 2 月のことである。ちょうどこの時は、経済産業省主導で 2014 年 9 月から始まったロボット革命実現会議<sup>(2)</sup> と、その議論の結果である「ロボット新戦略」の取りまとめが終わり、この新戦略に基づき、ロボットに関する様々な施策がまさに動き出そうとしている時期であった。福島県は「イノベーションコースト構想」に関連して、「福島浜通りロボット実証区域」や「ロボットテストフィールド」等、ロボットに関連する諸施策が動いていた。私自身も 4 月の帰任を前に、最後の仕事として福島浜通りロボット実証区域に関する仕事等にもあたらせていただいていた時期であり、ロボット研究開発・実証・産業化の中心地としての福島県に対する期待の高まりを身近に感じていたところであった。



Fig.2 ロボット革命実現会議（2014年9月11日）とロボット新戦略

そんな中、会津大学が翌年度立ち上げるロボット開発事業において、私の研究テーマである RT ミドルウェアに興味を持っていただいているとのお話を聞き、2015 年 2 月には



経済産業省に岩瀬理事他の皆様にお越しいただき、本ロボット技術開発支援事業についてのお話を伺った。本事業において会津大学では、ロボット開発に取り組む過程でロボット関連ソフトウェアについて、ソフトウェアの標準化、開発ガイドラインの作成、ソフトウェアの蓄積基盤の確立などを目指しており、その基盤としてRTミドルウェアを活用したいとお申し出があった。まさにRTミドルウェアが目指していたロボット開発・実装の体系化にチャレンジする内容で、ぜひとも何らかの形で関与させていただきたいとの思いを強くした。

## 〈2・2〉 RT ミドルウェアの状況

当時1年間の経済産業省への出向中であり、その間は研究所のスタッフにRTミドルウェアの保守作業やWeb・メーリングリスト運営等を任せ、新規機能の開発については一旦停止していたものの、帰任後の新規機能開発や普及活動に向けて構想を巡らせていた。

RTミドルウェアという考え方が提案され、実装・標準化を進めて10年以上経っていたが、いつも壁となるのはモデルベースおよびコンポーネント指向によるシステム構築という考えが、RTミドルウェアのユーザであるロボット開発者・研究者、特に機械系技術者にはなかなか理解されないことであった。ところが、本開発事業に参加する会津大学並びに参加企業各社は、情報工学やソフトウェア技術の専門家が多く、RTミドルウェアの考え方をすぐに自然なものと理解していただいたことは大きな希望となった。

## 〈2・3〉 技術コンサルティング制度による連携

その後、産総研として本ロボット技術開発事業にどのように関与・連携するかについて検討された。通常、産総研が外部組織と連携する場合、共同研究、受託研究や技術移転等いくつかの制度が利用可能である。本事業に対して、産総研がどのように協力可能か検討した結果、当時新たに制度化された「技術コンサルティング」制度を利用することとした。他の制度では、一般的な研究開発の主体が産総研または両者にあるのに対し、技術コンサルティング制度は、研究開発の主体はコンサルティングを依頼する側にあり、それを産総研が技術的にサポートすることを目的とする制度である。

本事業ではまさに、会津大学と福島県内企業が主体的にロボットの研究開発を進め、その中で産総研がRTミドルウェアに関する技術的なサポートを実施するという構造であり、技術コンサルティング制度の利用による連携が適していた。

## 3. 連携テーマ

技術コンサルティングに基づく連携の内容については、大きく分けて以下の4つのテーマとした。

- ① ソフトウェアライブラリ構築に関する技術支援
- ② 研修プログラム構築に関する技術支援

- ③ ロボットソフトウェアのRTC化作業への技術支援
- ④ その他ロボットソフトウェア全般に関する助言

これらの技術支援を行う上で参考としたのは、2007～2011年度に行われたNEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」である。このプロジェクトでは、国内の様々な大学・研究機関・企業が保有するロボットの知能化に関わる諸技術をRTコンポーネント化して蓄積・流通させることを目的としたプロジェクトであった。

まず、①ソフトウェアライブラリ構築に関する技術支援については、産総研で運営するOpenRTM-aistのポータルサイトであるopenrtm.orgおよび、上記NEDOプロジェクトで作成されたRTC再利用Webサイト（最終的にはopenrtm.orgに統合）などがある。関係者が作成したRTCのソースコードやドキュメントを登録、再利用する仕組みを作成した。②研修プログラムについては、10年以上に渡り延べ70回以上・1000人以上の産総研主催の講習会を開催している実績がある。また、③ロボットソフトウェアのRTC化作業に関しては、上記プロジェクトにおいてのRTC開発実績に加えて10年以上に渡りメーリングリスト・Webフォーラム上でユーザコミュニティの運営実績がある。④その他ロボットソフトウェア全般に関しては、産総研内のロボットソフトウェアに精通した研究者をメンバーとすることで、様々な面から支援可能な体制とした。

## 4. 連携活動

### 〈4・1〉 RTC-Library-FUKUSHIMA

本事業では、開発されたソフトウェア資産をライブラリ化し一般公開することを目的としたポータルサイト「RTC-Library-FUKUSHIMA」の公開および運営を行った。

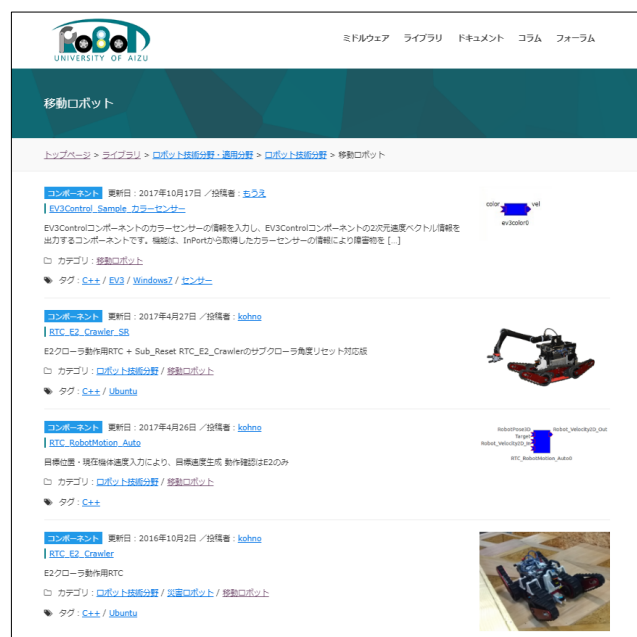


Fig.3 検索が容易なRTCダウンロードページ

RT コンポーネントはモジュール化されたロボット機能要素であり、OMG 標準である”Robotic Technology Component Specification<sup>(2)</sup>” に基づいた共通インタフェースとプロファイル情報を持つことが規定されている。RTC ソースコード自動生成ツール RTCBuilder は、RTC のひな型ソースコードと同時に XML 形式のプロファイル情報を生成する。プロファイル情報からは、RTC が有するデータポートの数やデータ型の種類、サービスポート・コンフィギュレーションパラメータなどの情報を得ることができる。加えて、RTCBuilder から RTC の詳細仕様を付加情報として入力することで、ドキュメントツール doxygen によるドキュメント自動生成が可能となる。

RTC-Library-FUKUSHIMA ではこれらの情報を上手に利用し、RTC の配布ページの検索性向上や登録ページの自動生成等が行われるようになってきている (3)。これらの機能は、産総研の openrtm.org における RTC 登録ページにはなかった画期的機能であり、RTC 標準仕様の思想を非常によく理解・活用している良い事例である。このほか、RTC 再利用時にライセンスが明記されていないものは第三者が使いづらいといった経験からライセンスを明記する機能、検索性向上のため RTC のカテゴリや利用分野などのキーワードをあらかじめ決めておくなど、利用者の立場に立った使いやすい Web ページとなっている点は特筆に値する。本 Web ページが広く一般に周知され今後ますます RTC の集積と再利用が進められることを期待したい。

#### 〈4・2〉 RT ミドルウェア講習会

ロボット開発においては、ハード・ソフト両方を扱うことのできる技術者が求められている。本事業ではそうしたエンジニア育成を目的として研修プログラムの構築も進められた。

まず初めに、産総研が実施する RT ミドルウェア講習会をご理解いただくために、2015 年 6 月 24 日に会津大学において産総研による RT ミドルウェア講習会が行われた。学生 10 名、企業からの参加者 10 名の計 20 名を集めて、RT ミドルウェアの基礎から、移動ロボット Kobuki を実際に制御する実習等が実施された。



Fig. 4 会津大学での第 1 回 RTM 講習会の様子

その後は、本事業において RTM 講習会コンテンツを独自に作成いただき、福島県内で積極的に独自の講習会を開催していただいた。講習内容も、これまで産総研で行われていたものは、初心者向けのみであったものを、初級・中級・上級レベルごとにそれぞれの教材を作成し、講習会を開催していただいたことは画期的であった。これに加えて、短期的に参加者に集中開発を促す RTM ハッカソンを会津大学で独自に開催したことは特筆すべきことである。

また、Web ページには e ラーニングによる自主学習可能な Web ページが開設されていることも技術者育成に大きく貢献する機能である。

#### 〈4・3〉 RT ミドルウェア技術支援

本事業では、ロボットの開発を RTM を利用して行ううえでの技術的支援を産総研として行ってきた。開始直後は基本的利用法に関する質問等が多かったが、開発が進むにつれ、RT ミドルウェアの内部に関わる質問や、高度な利用法などの提案もなされるようになった。これは、我々としても新たな研究課題につながる内容であり、RT ミドルウェアの新機能開発を進めるうえで大いに参考となった。

例えば、RTC 同士の通信に Pub-Sub 型通信の Solace や MQTT<sup>(5)</sup> を導入する会津大学の試みや、ロボットのデータをクラウドに収集する DB-RTC<sup>(6)</sup> の開発などの事例がある。産総研としてこれらの要望や事例を参考に、前者はマルチプロトコル対応のデータポートアーキテクチャの開発 (Fig. 5)、後者は分散ロギングフレームワーク : fluentd ベースの分散ロギング機構の導入などにつながった。会津大学の情報分野に精通した多くのロボット研究者と議論する機会を得ることで新たな展開へつながった良い連携事例である。

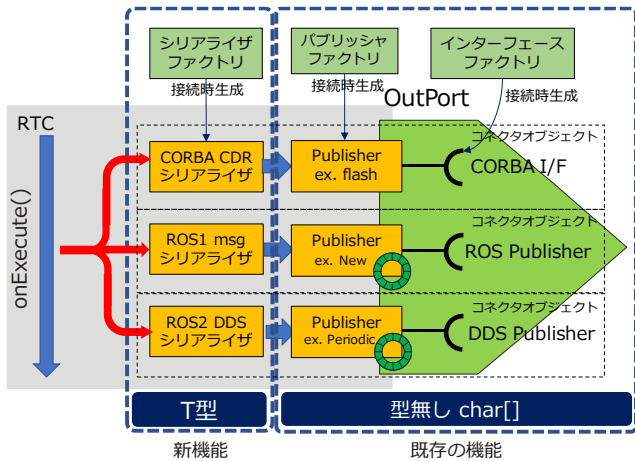


Fig. 5 開発中のマルチプロトコル通信フレームワーク

#### 〈4.4〉 RTC 開発プロセス標準化

上述の次世代ロボット知能化技術開発プロジェクトにおいては、移動機能、マニピュレーション機能（単腕・双腕、視覚含）、対話機能などについて、RT コンポーネントによるモジュール化とその標準アーキテクチャと基本データ型を定めるなど、標準化を行ってきた。一方で、モジュール分割方法を含む開発プロセスの標準化、ライセンスを含むオープンソースコードの取り扱いについても、多くのロボット開発者にとっては何らかの指針が必要であった。

本事業では、これらの課題への取り組みとしてロボット開発プロセスの標準化が進められてきた。ソフトウェア企業においては開発プロセスに関する知見の蓄積があり、これを RTM をベースとしたロボット開発に適用させる形で、開発プロセスの標準化が行われたことは意義深い。加えて、オープンソースの取り扱いについても、OSS 混入検出ツールの利用、ライセンス毎の取り扱い等についてガイドラインが定められたことは、産総研としても大いに参考となる事例である。現在実施されている NEDO「ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト」においても、こうした取り組みを参考にしつつ、ロボット革命イニシアティブ協議会内において、安全を含むロボット開発プロセスや特許・ライセンスの取り扱いについて議論を進めたいと考えているところである。

#### 〈4.5〉 Choreonoid の活用

2016 年度からは、産総研で開発しているロボット用シミュレータ“Choreonoid”を本事業で活用していただけることとなった。2016 年の 10 月には会津大学において産総研による Choreonoid 講習会が実施され、その後は本事業におけるロボット開発に活用されている。Choreonoid は経済産業省、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 主催の国際的なロボットの競技会・展示会である「World Robot Summit (WRS) 2018」におけるトンネル事故災害対応・復旧チャレンジシミュレーション競技の公式シミュレータとして利用や、福島ロボットテストフィールド

での利用が予定されている。こうした背景から、ロボット開発におけるシミュレーション技術およびソフトウェア技術に関して、会津大学を始めとする参加各企業に対する期待は非常に高まっているといえる。

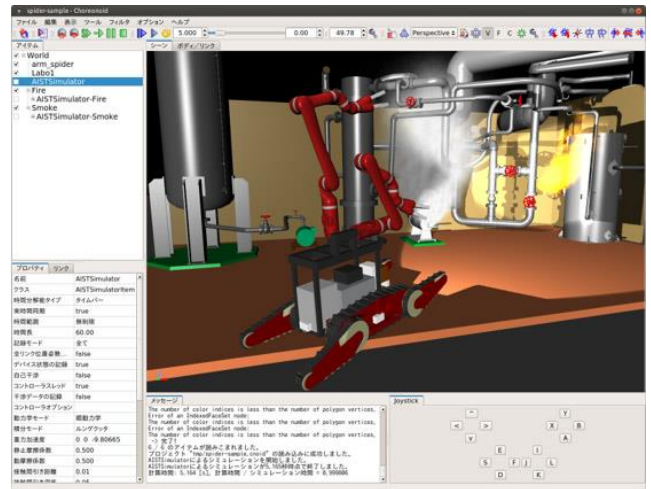


Fig. 6 ロボットシミュレータ Choreonoid

#### 〈4.6〉 RTM 普及貢献賞

日本ロボット工業会・ロボットビジネス推進協議会の RT ミドルウェア WG（主査：平井成興氏）では、毎年 RT ミドルウェアの普及発展に寄与した個人・団体を表彰する「RT ミドルウェア普及貢献賞」の表彰を行っている。2015 年から始められたこの表彰は、これまで 17 組の個人や組織が表彰されてきた。

2017 年度の表彰においては、本事業で運営されている RT コンポーネントのライブラリサイト「RTC-Library-FUKUSHIMA」を通じ RT コンポーネントの一般公開や、Web サイトでの開発成果の公開、福島県内で RT ミドルウェア講習会やハッカソン等を多数実施するなど、RT ミドルウェアの普及・広報に多大なる貢献が評価され、本事業に参加の会津大学を始めとする 7 組織の活動が認められ出版広報分野での受賞に至った (Fig. 7)。



Fig. 7 RT ミドルウェア普及貢献賞の受賞

## 5. おわりに

本稿では、2015 年度から 3 年間実施された「産学ロボッ

ト技術開発支援事業」と産総研との連携について振り返った。当初は RT ミドルウェアと Choreonoid について産総研による技術支援を行うという枠組みのもと始まったが、情報科学およびソフトウェア技術に精通した大学・企業と連携させていただくことで、産総研としても得るところの多い意義深い事業であった。本事業に関与させていただいたことに改めて感謝申し上げたい。

今後、ロボットにおけるソフトウェア技術の比重はますます高まり、人材育成やロボット開発手法等、本事業で取り組まれた諸技術の重要性は高まるであろう。培われた技術を基盤とし、本事業の参加大学・企業が中心となって、福島県がロボットイノベーションの中心となることを期待したい。

## 文 献

---

- (1) OpenRTM-aist official website: <https://openrtm.org>
- (2) OMG available specification, "Robotic Technology Component Specification version 1.1", formal/12-09-01, <http://www.omg.org/spec/RTC>
- (3) Choreonoid ホームページ, <http://choreonoid.org/ja/>
- (4) ジャパンバーチャルロボティクスチャレンジ(Japan Virtual Robotics Challenge: JVRC), <http://www.jvrc.org/>
- (5) 吉野 大志, 渡部 有隆, 矢口 勇一, 中村 啓太, 小川 純, 成瀬 継太郎."メッセージ Broker 間のブリッジを応用した RT ミドルウェアにおける Pub/Sub 型通信インタフェース", 計測自動制御学会 SI2017, 2017.12
- (6) 井上 千徳, 矢口 勇一, 成瀬 継太郎, 渡部 有隆, 嶺田 築, Pham, Cuong, Hung, 濱谷 圭輔, Pathberiyage, Venushka, Thisara Dharmasiri, 大山 良明, 中澤 遙 菜, 間宮 隆瑛, 松本 拓, 安間 奎伍, 吉野 大志, 中村 啓太, "RT コンポーネントを用いたセンサーデータ収集基盤の開発", 計測自動制御学会 SI2016, 2016.12

# 6章 今後に向けて

会津大学 成瀬 継太郎

Abstract: This article presents the future works on the robotic technology research and development based on the AY2015-2017 project of robotic technology research and development, which includes the future view of robotic information systems, issues to be solved, and technologies to be developed.

## 1. はじめに

本稿では、2015年度から2017年度に会津大学で行われたロボット技術開発支援事業プロジェクトの成果から見えたロボット情報システムの未来像と次の課題を述べる。

## 2. ロボット情報システムの未来像

本プロジェクトでは産学連携の研究開発体制下、異種複数ロボットと多様なソフトウェアを結合することを目的として、ロボットミドルウェア導入、ソフトウェアライブラリの公開と運用、人材教育を行ってきた。その結果として、クラウドロボティクスの概念を提案し、その事例として統合型のロボット情報システムを開発した。

その結果として見えてきた次世代ロボット技術のイメージをFig. 1に示す。これには以下の鍵となるアイデアが含まれる。

### 〈2・1〉 ロボットデータ技術の利用とサービスの提供

本プロジェクトではソフトウェアライブラリを提供した

が、次のステップはサービスの提供である。

クラウドロボティクス技術によってソフトウェアはネットワークのどこに配置しても動作することが可能になった。よって我々が開発したソフトウェアライブラリは静的なオープンソース型のライブラリの機能に付け加えて、動的なサービス提供も可能になる。具体的には、異種複数ロボットを結合するための計算機資源と制御ソフトウェアの提供、さらに実ロボットからのデータの集約、蓄積、再利用である。我々はこの概念をロボティクスクラウドと名付ける。

ロボティクスクラウドが可能になると、ロボット固有の情報処理とデータ再利用に伴う処理が分離できるため、これまで他分野でビッグデータ解析や人工知能といった情報処理を行ってきた技術者がロボット分野に参加することが可能になる。Fig. 1の中央部分にこれを示す。

本プロジェクトではロボット開発におけるソフトウェアと情報処理技術の重要性について言及してきたが、その次のステップがロボティクスクラウドである。

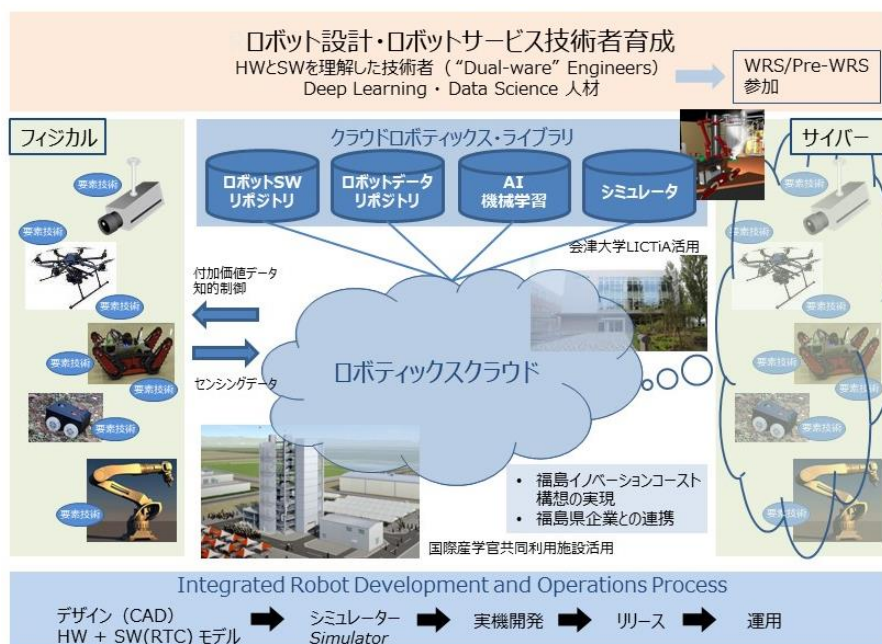


Fig. 1 会津大学考える次世代ロボット技術

## 〈2・2〉 ロボットデータと拡張空間法

本プロジェクトでは拡張空間法として、現実空間（フィジカル）のロボットデータを仮想空間（サイバー）に表示し、ロボットの操作性を向上する情報システムの開発を行った。ロボティクスクラウドによって、これの利用が一層進むと考えられる。

異種複数ロボットから様々な環境で動作した結果、得られた多様なデータがロボティクスクラウドに蓄えられる。このデータは様々な目的に再利用することができる。

例えば、ロボットの動作結果を対象に、ロボットの性能評価や環境の複雑性の評価を行うことができる。さらにこれらデータから現実空間を高い精度で模倣した仮想空間を構築することも可能になる。すると、シミュレータを利用してロボット機構の設計、制御器の開発、ソフトウェアテストが可能になる。その後実際にロボットを開発・実装し、現実空間で検証することになり、ロボット開発サイクルを速め開発コストを大きく短縮することも期待できる。

また、仮想空間を利用するためロボット技術者の人材育成においても E-learning の導入が可能になり、手元にロボットを保持することがなくても学習機会の提供が可能になる。この結果、ロボット技術者数の増大と質の向上も期待できる。したがって必要となるロボットハードウェアとソフトウェアの両面を理解するデュアルウェアエンジニアの育成もより加速する、と思われる。

## 3. 次の課題

前述のロボティクスクラウドを実現するためには、以下の技術的な課題を解決する必要がある。

### 〈3・1〉 新しいロボットミドルウェア

本プロジェクトでは OpenRTM-aist を導入したが、別の大きな勢力として ROS/ROS2<sup>(1)</sup>が挙げられる。ROS は 2007 年に開発が始まったオープンソース型のロボットソフトウェアフレームワークである。米国を中心にユーザ数は多いが、

対応している OS が Ubuntu だけであることと、単一ロボットを対象としており、基本設計が古いこと、並びに独自通信規約を採用しているため、異種複数ロボットを結合することを目的とした本プロジェクトでは採用しなかった。

一方、2017 年に ROS2 という新しいフレームワークが発表された<sup>(1)</sup>。こちらは DDS(Data Distribution Service)という標準的な通信規格を採用している。今後、ROS2 に対応したソフトウェアが増大することが予想される。

本プロジェクトでは OpenRTM-aist を採用したが、これも近い将来 DDS に対応することが予想される。そのため次世代のロボット情報システムは DDS により緩く結合したシステムになる可能性が高い。

そのためロボティクスクラウドの実現のためには、ローカル（あるいはエッジ）ネットワーク内で DDS により結合したロボットとソフトウェアに対して、グローバル（あるいはクラウド）ネットワークにある大規模ソフトウェアを有機的に結合する基板技術が必要となる。さらに、それは大量の人間と機械（ロボットとセンサ）と計算機が結合したシステムの中で情報が循環するモデルになり、そのためのソフトウェア設計論も必要になる。この概念を Fig. 2 に示す。

### 〈3・2〉 新しいロボットシミュレータ

ロボティクスクラウドのためにはロボットシミュレータの利用が不可欠であるが、そのためにはシミュレーション能力を向上する必要がある。

従来のロボットシミュレータは、剛体と呼ばれる変形しない物体を仮定し、計算機内部ではその前提でモデル化をしていた。しかし実際にロボットに使われる物体、とくに接触する部分は変形可能である。例えば、タイヤ、クローラベルト、ロボットハンドなどである。そのため、従来シミュレータでは、段差がある不整地を走行するロボット等の運動は計算ができないか、できた場合でも実際の運動とは大きく異なるものになっていた。

次世代のシミュレータはこのような相互作用を表現でき

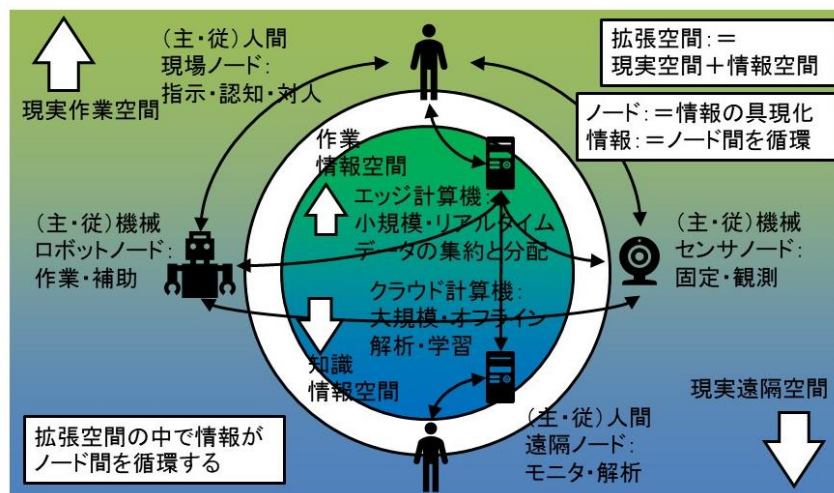


Fig. 2 ロボティクスクラウドと拡張空間法と情報循環モデル

るロボットの内部表現方法と高速で安定な数値計算方法が必要である。とくにクラウドの利用により高速な計算資源を前提にできるので、シミュレーションに基盤技術の開発が課題であると我々は考える。

### 〈3・3〉 新しい要素技術と社会実装

さらに前述概念をささえるためには、下記技術を含んだ要素技術の開発が必要である。

- ロボットシステムインテグレーションとそれを支えるロボットソフトウェア工学技術の開発
- ネットワーク化されたマルチロボットのための多重時間スケールのプログラミングモデルとネットワーク状況に応じたソフトウェアノード配置の設計論
- 非同期自律バッファリング機能を持つ、マルチメディアリアルタイム DDS 通信の処理デバイスの開発
- これらの機能を実環境で検証するための試験施設とロボット情報システムのインフラの整備、将来的な社会実装

とくに最後の項目に関しては、ロボット技術の社会実装と関連してくる。Fig. 3 に示すように従来のロボット技術は単体ロボットのものであり、機械工学、電気工学、制御工学の統合であった。しかし、ロボットと計算機技術の発達により、情報工学の比重が大きくなってきた。さらに、将来は異種複数ロボットを結合したシステムが生活空間で動くことになる。そのときはロボティクスクラウドの概念をベースに、システムの安全と安心、さらにそれを運用するための社会インフラとしてのロボット情報基盤の整備と運用が必要になるであろう。我々の考えるロボティクスクラウドはそれを情報の面から支えるものである。

## 4. おわりに

本稿では、本プロジェクトの成果から見えてきた次世代のロボット情報システムに必要な技術を述べた。とくにロボットのための情報基盤の開発と整備を行うことによって、他分野からロボット分野へ新しい技術者の参入が期待される。そして、新しい技術やアイデアの導入を通じたオープンイノベーションが期待できる。

2019 年度には福島ロボットテストフィールドがオープン

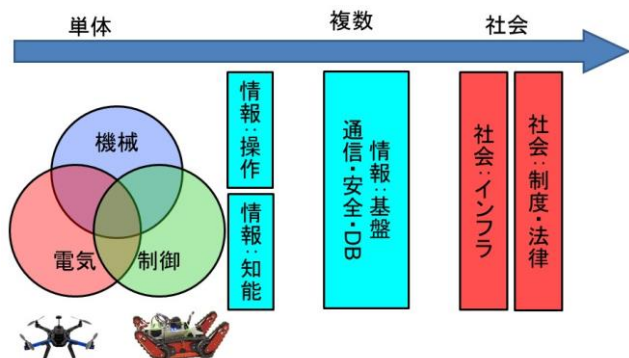


Fig. 3 総合技術としてのロボット

し、ロボット技術の一層の発展が期待されている。そこでのデータ計測や解析のためには本稿で述べた次世代のロボット情報システムが必要になるであろう。我々は本プロジェクトで得た知見をそのような分野にも適用し、イノベーションコスト構想の推進とロボット産業革命の地ふくしまの実現に貢献したいと考えている。

## 謝 辞

これまでのプロジェクト運営にあたり、産学ロボット技術開発支援事業研究開発推進会議委員の皆様には、多大なるご協力を賜り心より御礼申し上げます。

2016 年度産学ロボット技術開発支援事業研究開発推進会議委員

- 石川 宏幸様 (株式会社エヌケー製作所)
- 秋本 修様 (株式会社日立製作所)
- 米倉 淳様 (国立研究開発法人科学技術振興機構)
- 山田 理様 (福島県ハイテクプラザ)

2017 年度産学ロボット技術開発支援事業研究開発推進会議委員

- 柳 景一様 (福島コンピュータシステム株式会社)
- 秋本 修様 (株式会社日立製作所)
- 米倉 淳様 (国立研究開発法人科学技術振興機構)
- 大和田野 芳郎様 (福島県ハイテクプラザ)

## 文 献

- (1) <http://wiki.ros.org/>

# 論文・知的財産関係リスト

概要：3 ヶ年で当該事業から発表された論文、並びに知的資産リストを以下に記す。

## 1. 成果概要

Table 1. 成果概要

項目	平成 27 年度 (2015 年度)	平成 28 年度 (2016 年度)	平成 29 年度 (2017 年度)
学術論文誌掲載論文	1	0	5 (他 6 審査中)
国際会議発表論文	2	4	12
国内学会発表論文	11	18	25
特許出願数	1	1	4
登録特許数	0	0	0
登録商標数	2	0	0
主要対外活動	-	11	16
特記	-	受賞 3	受賞 4

## 2. 学術論文誌掲載論文リスト

- Taku Matsumoto, Yoshiaki Oyama, Jun Ogawa, Keita Nakamura and Keitaro Naruse, "Modeling the drawbar pull of a rod wheel in loose soil", Journal of Artificial Life and Robotics, Volume 22 Issue 4, December 2017, Pp.503-508, (2017).
- Wuhui Chen, Yuichi Yaguchi, Keitaro Naruse, Yutaka Watanobe, Keita Nakamura, "QoS-aware Robotic Streaming Workflow Allocation in Cloud Robotics Systems", IEEE Transactions on Services Computing, Volume: PP, Issue: 99, (2018).
- Yuki Niitsuma, Syunpei Torii, Yuichi Yaguchi, Ryuichi Oka, "Time-segmentation- And position-free recognition from video of air-drawn gestures and characters", Multimedia Tools and Applications, Springer, pp 1-25, May, 2015, DOI: 10.1007/s11042-015-2669-3
- 岡 隆一、島 圭佑、” ドローン ネット --有線結合ドローンネットワーク”, 計測と制御、第 5 6 巻、第 1 号、2017 年 1 月、pp. 40-43.
- Matsumoto, Taku, et al. "Mechanism of generating drawbar pull of rod wheel on loose soil." Artificial Life and Robotics 22.4 (2017): 503-508.
- W. Chen, Y. Yaguchi, K. Naruse, Y. Watanobe and K. Nakamura, "QoS-aware Robotic Streaming Workflow Allocation in Cloud Robotics Systems," in IEEE Transactions on Services Computing, vol. PP, no. 99, pp. 1-1. doi: 10.1109/TSC.2018.2803826

## 3. 国際会議論文リスト

### <3・1> 2015 年度

- K. Naruse, "Predicting the disconnection of flocking agents in a swarm," 2015 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Busan, 2015, pp. 1783-1788. doi: 10.1109/AIM.2015.7222805
- Yuichi Yaguchi, Yuta Hiroto, Takaaki Mamiya, Ryuichi Oka, "A Coarse-to-Fine Strategy for Full Pixel Image-Matching in High-Resolution Images," The 16th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS2015)

### <3・2> 2016 年度

- H. Nakazawa, K. Nakamura and K. Naruse, "Collision identification in weeding robot with acceleration standard deviation," 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), Qingdao, Dec. 2016, pp. 2026-2032. doi: 10.1109/ROBIO.2016.7866627
- C. H. Pham, Y. Yaguchi and K. Naruse, "Feature Descriptors: A Review of Multiple Cues Approaches," 2016 IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT), Nadi, Dec. 2016, pp. 310-315. doi: 10.1109/CIT.2016.61
- K. Nakamura, M. Kimura, T. Anazawa, T. Takahashi and K. Naruse, "Investigation of weeding ability and plant damage for rice field weeding robots," 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), Sapporo, Dec. 2016, pp. 899-905. doi:



10.1109/SII.2016.7844114

- T. Matsumoto, Y. Oyama, K. Nakamura, K. Naruse, "Frequency Based Modeling of Drawbar Pull for Rod Wheel on Loose Soil", ISAROB 2017, Jan. 2017

### 〈3・3〉 2017 年度

- Nakamura, Keita, Kizuku Mineta, and Keitaro Naruse. "Investigation of 3D Reconstruction from Time-series Images by Towing Camera." IFAC-PapersOnLine 50.1 (2017): 10317-10322.
- W. F. Shih, K. Naruse and S. H. Wu, "Implement human-robot interaction via robot's emotion model," 2017 IEEE 8th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST), Taichung, 2017, pp. 580-585. doi: 10.1109/ICAwST.2017.8256522
- Yuichi Yaguchi, Yoshiaki Nitta, Satoshi Ishizaka, Tomohiro Tannai, Takaaki Mamiya, Keitaro Naruse and Shuzo Nakano, "Formation control for different maker drones from a game pad," 2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), Lisbon, 2017, pp. 1373-1378. doi: 10.1109/ROMAN.2017.8172483
- Y. Yaguchi, K. Moriuchi and K. Anma, "Comparison of camera configuration for real-time drone route planning in 3D building maze," 2017 IEEE 8th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST), Taichung, 2017, pp. 244-249. doi: 10.1109/ICAwST.2017.8256455
- Haruna Nakazawa, Jun Ogawa, Keita Nakamura and Keitaro Naruse, "Robot Sweep Path Planning with Weak Field Constrains under Large Motion Disturbance," SWARM 2016, Kyoto, Japan, Oct., 2017
- Keisuke Hamatani, Jun Ogawa, Keita Nakamura and Keitaro Naruse, "Distributed Localization by Camera Robots with Consensus Filter," SWARM 2016, Kyoto, Japan, Oct. 2017.
- Ryuhei Yamada, Yuichi Yaguchi, Masashi Yoshida, "Performances of 3D mapping and odometry tools, and of a visualization system for analyzing accidents of unmanned aerial vehicles," ISAROB2018, pp. 389-394, Beppu, Japan, Jan. 2018.
- Ikumi Otani, Yuichi Yaguchi, Keita Nakamura, Keitaro Naruse, "Quantitative Evaluation of Streaming Image Quality for The Robot Teleoperation," ISAROB2018, pp. 230-235, Beppu, Japan, Jan. 2018.
- Fumiaki Abe, Keita Nakamura, Jun Ogawa, Keitaro Naruse, "Stable Pulling Out Strategy for Small Disaster Response Robot with Dual-arm," ISAROB2018, pp. 279-284, Beppu, Japan, Jan. 2018.
- Keitaro Naruse, "Distributed Localization by Camera Robots with Consensus Filter," ICDP 2018, Hokkaido, Japan, Mar. 2018.
- Keita Nakamura, Daisuke Kai, Kizuku Mineta, Jun Ogawa, Keitaro Naruse, "Improvement for 3D Reconstruction Considering Passive Rotation by Towing Camera," ICDP 2018, Hokkaido, Japan, Mar. 2018.
- Jun Ogawa, Miki Taira, Keita Nakamura, Keitaro Naruse, "Cellular Automaton Approach for Motion Pattern Analysis of Soft-bodied Agent," ICDP 2018, Hokkaido, Japan, Mar. 2018.

## 4. 国内会議論文リスト

### 〈4・1〉 2015 年度

- 赤間裕平, 成瀬継太郎, "初期速度が群れ形成エージェントに及ぼす影響", 精密工学会学術講演会講演論文集 2015A 巻 (2015) M21, Sep. 2015.
- 赤間裕平, 成瀬継太郎, "分離指標を用いた群れ形成 エージェントの制御," SI2015, 1A3-2, Dec. 2015.
- 嶺田築, 成瀬継太郎, "位置の距離を観測とするカルマン合意フィルタを用いた複数移動ロボットの位置推定," SI2015, 1A1-5, Dec. 2015.
- 横川真美, 成瀬継太郎, "Localization of mobile robot by using sensors and Kalman filter," 平成 27 年度 第 3 回情報処理学会東北支部研究会, Jan. 2016.
- 間宮隆瑛, 矢口勇一, "Developing A Scheme of Controlling Drones using OpenRTM-aist," 平成 27 年度 第 3 回情報処理学会東北支部研究会, Jan. 2016.
- 井上千徳, 矢口勇一, 佐藤彰, "Visualizing State Cluster of Indicator Sequence in Sewage Treatment Facilities," 平成 27 年度 第 3 回情報処理学会東北支部研究会, Jan. 2016.
- 樋口彩, 矢口勇一, "2つの全方位カメラを用いた全方位距離画像生成," 平成 27 年度 第 3 回情報処理学会東北支部研究会, Jan. 2016.
- 伊藤諒平, 成瀬継太郎, "二足歩行機のスリップ発生時のエネルギー量の変化に基づいた制御と回復性," 精密工学会学術講演会講演論文集 2016S 巻 (2016) H06, Mar. 2016.

- 赤間裕平, 成瀬継太郎, "巨大群れ形成のための局所エネルギー制御," 精密工学会学術講演会講演論文集 2016S 巻 (2016) H20, Mar. 2016.
- 佐藤慎也, 矢口勇一, 奥平恭子, 出村裕英, "光学顕微鏡断層撮影に基づくシリカエアロゲル中にできた孔の 3D 形状復元," 第 78 回全国大会講演論文集 2016 (1), 237-238, Mar. 2016.
- 橋本真一, 矢口勇一, 成瀬継太郎, "ピクセルワイズな対応点からの 3 次元広域形状復元," 第 78 回全国大会講演論文集 2016 (1), 285-286, Mar. 2016.

#### <4・2> 2016 年度

- 間宮隆瑛, 矢口勇一, 成瀬継太郎, 新田喜章, "OpenRTM-aist を用いたドローン制御スキームの作成," ROBOMECH2016, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2016, 2P2-02b3, Yokohama, Jun. 2016.
- 濱谷圭輔, 成瀬継太郎, "Topological distance に基づいた群れ形成アルゴリズム," ROBOMECH2016, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2016, 1A1-05a6, Yokohama, Jun. 2016.
- 松本拓, 成瀬継太郎, "軟弱地盤におけるロッド車輪モデルの開発と検証," ROBOMECH2016, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2016, 1P1-04a6, Yokohama, Jun. 2016.
- 中澤遥菜, 中村啓太, 成瀬継太郎, "加速度センサを用いた水田除草用ロボットの衝突識別判定," 精密工学会学術講演会講演論文集 2016A 巻 (2016) A15, Sep. 2016. [Best Presentation Award]
- 松本 拓, 中村啓太, 成瀬継太郎, "周期成分と非周期成分の分解による軟弱地盤におけるロッド型車輪の駆動力モデルの開発と検証," RSJ2016, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会, 3U1-03, Yamagata, Sep. 2016.
- 安間奎伍, 矢口勇一, 渡部有隆, 成瀬継太郎, "RT ミドルウェアを用いたクラウドロボティクス開発基盤の考察," SI2016 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, 3G2-4, pp. 2557-2560, Dec. 2016.
- 井上 千徳, 矢口 勇一, 成瀬 継太郎, 渡部 有隆, 嶺田 築, Pham, Cuong, Hung, 濱谷 圭輔, Pathberiyage, Venushka, Thisara Dharmasiri, 大山 良明, 中澤 遙菜, 間宮 隆瑛, 松本 拓, 安間 奎伍, 吉野 大志, 中村 啓太, "RT コンポーネントを用いたセンサーデータ収集基盤の開発," SI2016 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, 1N3-1, Dec. 2016.
- 阿部 文明, 中村 啓太, 成瀬 継太郎, "画像処理による遠隔操作アームのための把持点の提示," 計測自動制御学会 東北支部 第 305 回 研究集会, 305-16, Nov. 2016.
- 嶺田 築, 中村 啓太, 成瀬 継太郎, "建物内の調査のための受動的な回転運動を行う牽引カメラによる 3 次元復元の検証," 計測自動制御学会 東北支部 第 305 回 研究集会, 305-17, Nov. 2016.
- 濱谷 圭輔, 中村 啓太, 成瀬 継太郎, "超分散カメラロボットによる自己位置推定," 計測自動制御学会 東北支部 第 305 回 研究集会, 305-18, Nov. 2016.
- 神ノ門 真吾, 大山 良明, 嶺田 築, 横川 真美, 松本 拓, 中澤 遙菜, 阿部 文明, 本多 健, 中村 啓太, 成瀬 継太郎(会津大学), "水田除草用ロボットののための GPS 測定装置による観測点分布の調査と要因解明," 計測自動制御学会 東北支部 第 305 回 研究集会, 305-19, Nov. 2016.
- 大山 良明, 松本 拓, 中村 啓太, 成瀬 継太郎, "水田除草用ロボットののための ロッド車輪による土の掘り起こし体積の調査," 計測自動制御学会 東北支部 第 305 回 研究集会, 305-20, Nov. 2016.
- 嶺田 築, 成瀬 継太郎, 中村 啓太, "受動的な回転運動を行う牽引カメラによる時系列画像からの 3 次元復元の検証," SI2016, 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, 1F4-1, Dec. 2016.
- 大山 良明, 松本 拓, 中村 啓太, 成瀬 継太郎, "水田除草用ロボットに用いるロッド車輪の土による掘り起こし体積の調査," SI2016, 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, 2D1-2, Dec. 2016.
- 濱谷 圭輔, 中村 啓太, "超分散カメラロボットによる自己位置推定," SI2016, 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, 1D3-2, Dec. 2016.
- 吉野 大志, 安間 奎伍, 成瀬 継太郎, 矢口 勇一, 渡部 有隆, 中村 啓太, "Solace を用いた OpenRTMaist の Pub/Sub 型メッセージ通信の実装と応用," SI2016, 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, 3G3-3, Dec. 2016.
- 森内啓介, 矢口勇一, "位置推定とデブスカメラを用いたドローンの 3 次元の逐次迷路探索," 平成 28 年度 第 3 回情報処理学会東北支部研究会, 3-1, Jan. 2017.
- 佐藤 拳, 大山 良明, 嶺田 築, 濱谷 佳輔, 中澤 遙菜, 阿部 文明, 中村 啓太, 成瀬 継太郎, "外部観測カメラによる水田除草用ロボットの自己位置検出," 平成 28 年度 第 3 回情報処理学会東北支部研究会, 3-2, Jan. 2017.

#### <4・3> 2017 年度

- 吉田将司, 矢口勇一, "ドローンのための単眼カメラによる周辺環境の再構築," ROBOMECH2017, ロボティクス・メカトロ

ニクス講演会講演概要集 2017, 2P2-A04, May, 2017.

- 大谷育未, 矢口勇一, "FaBo センサの RTC 化による簡単なロボットプロトタイピング," ROBOMECH2017, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017, 2A2-K12, May, 2017.
- 吉野大志, 渡部有隆, 矢口勇一, 中村啓太, 成瀬継太郎, "OpenRTM-aist における CORBA 通信とメッセージ Broker 付き Pub/Sub 型メッセージ通信による共存システムの可能性と応用例," ROBOMECH2017, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017, 2A2-J08, May, 2017.
- 安間奎伍, 矢口勇一, 渡部有隆, 成瀬継太郎, "Cloud base の RTM 構築と Raspberry Pi への自動デプロイ," ROBOMECH2017, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017, 2A2-K07, May, 2017.
- 矢口勇一, 新田智章, 石坂諭, 丹内智博, 間宮隆瑛, 成瀬継太郎, 中野 修三, "異種ドローンによる複数台同時制御のための RT コンポーネント," ROBOMECH2017, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017, 2A2-J11, May, 2017.
- W. CHEN, Y. YAGUCHI, K. NARUSE, Y. WATANOBE, K. NAKAMURA, "Latency-Aware Computation Offloading Algorithm for Cloud Robotics," The Proceedings of JSME annual Conference on Robotics and Mechatronics (Robomech2018), 1P2-I02, May. 2017,
- 矢口勇一, 森内啓介, "デブスカメラを用いたドローンの逐次三次元迷路探索," ROBOMECH2017, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017, 1P1-H08, May, 2017.
- 神ノ門真吾, 大山良明, 嶺田築, 横川真美, 松本拓, 中澤遥菜, 阿部文明, 本多健, 中村啓太, 成瀬継太郎, "水田除草用ロボットのための複数 GPS 測定装置による観測点分布の調査," ROBOMECH2017, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017, 1A1-D03, May, 2017.
- 濱谷圭輔, 小川純, 中村啓太, 成瀬継太郎, 尾川順子, 久保田孝, "コンセンサスに基づいた超分散カメラロボットによる自己位置推定," ROBOMECH2017, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017, 2A1-H09, May, 2017.
- 中澤遥菜, 小川純, 中村啓太, 成瀬継太郎, "掃引ロボットの移動誤差を考慮した経路計画の提案," ROBOMECH2017, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017, 2P1-H04, May, 2017.
- 田村雄介ら (13: 成瀬継太郎), "福島第一原子力発電所の廃止措置のための遠隔操作技術の開発と人材育成," ROBOMECH2017, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017, 2P1-R01, May, 2017.
- 阿部文明, 中村啓太, 小川純, 成瀬継太郎, "大型遠隔操縦ロボットのための Hough 変換を用いた楕円検出による対象物把持点の提示," ROBOMECH2017, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017, 2P1-R09, May, 2017.
- 松本拓, 大山良明, 小川純, 中村啓太, 成瀬継太郎, "土壌との相互作用を考慮したロッド型車輪の駆動力発生メカニズムのモデリング," ROBOMECH2017, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017, 2P2-C08, May, 2017.
- 大山良明, 中村啓太, 小川純, 松本拓, 成瀬継太郎, "土壌粒子との相互作用を考慮したロッド車輪による掘り起こし体積のモデル化," ROBOMECH2017, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2017, 2P2-C09, May, 2017.
- Ryuichi Oka, Ranaweera Rasika, "Region-wise 3D Image Reconstruction from Video Based on Accumulated Motion Parallax", MIRU 2017, PS1-5 2017,08/08.
- 佐藤 拳, 大山 良明, 嶺田 築, 濱谷 圭輔, 横川 真美, 松本 拓, 中澤 陽菜, 阿部 文明, 神ノ門 慎吾, 本多 健, 中村 啓太, 成瀬 継太郎, "外部観測カメラによる水田除草用ロボットのナビゲーション," 精密工学会学術講演会講演論文集 2017S 巻 (2017), A15, Sep. 2017.
- 神ノ門真吾, 小川 純, 阿部文明, 中村啓太, 成瀬継太郎, "RTK-GNSS によるアイガモロボットの制御のための測位精度の検証," 精密工学会秋季大会学術講演会, I33, Sep. 2017.
- 横川真美, 小川 純, 中村啓太, 成瀬継太郎, "拡張カルマンフィルタと慣性センサを用いた水田除草ロボットの3次元姿勢推定," 精密工学会秋季大会学術講演会, Sep. 2017.
- 中村啓太, 小川 純, 成瀬継太郎, "進化ロボティクスにおけるコーチングに基づいた行動パターンのラベリング," 精密工学会秋季大会学術講演会, Sep. 2017.
- 小川 純, 平 美記, 中村啓太, 成瀬継太郎, "弾性体ボクセルを用いたクローラロボットシミュレーション," 精密工学会秋季大会学術講演会, Sep. 2017.
- 吉野 大志, 渡部 有隆, 矢口 勇一, 中村 啓太, 小川 純, 成瀬 継太郎, "メッセージ Broker 間のブリッジを応用した RT ミドルウェアにおける Pub/Sub 型通信インタフェース," SI2017, 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, 3B1-04, Dec. 2017.
- 小川 純, 中村 啓太, 成瀬 継太郎, "固定トポロジーの結合振動子系による生物表現," SI2017, 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, 3C6-10, Dec. 2017.
- 阿部 文明, 中村 啓太, 小川 純, 成瀬 継太郎, "双腕ロボットのための急激な回転中心の変化を考慮した安定引き抜き戦略," SI2017, 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, 3C6-15, Dec. 2017.
- 中澤 遥菜, 中村 啓太, 小川 純, 成瀬 継太郎, "移動が不確実であるロボットのための確率論に基づいた経路計画,"

SI2017, 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, 3C6-17, Dec. 2017.

- 大谷 育未, 中村 啓太, 矢口 勇一, 成瀬 継太郎, "ベンチマークに基づいたロボットの操作性と映像遅延の関係," 日本機械学会東北学生会 第 48 回学生員卒業研究発表講演会, 602, Mar. 2018.

## 5. 出願特許リスト

Table 2. 出願特許一覧

出願提出日	出願番号, 出願者	発明の名称(備考)
2015年9月9日	特願 2015-177680, 岡 隆一	ドローン及びドローン群(Dronet)
2016年9月1日	特願 2016-170795, 岡 隆一	画像距離算出装置、画像距離算出方法および画像距離算出用プログラム (AMP)
2017年8月21日	特願 2017-158781, 岡 隆一	画像距離算出装置、画像距離算出方法および画像距離算出用プログラム (AMP 国内優先権主張出願)
2017年8月28日	PCT/JP2017/030813 (国際出願番号), 岡 隆一	画像距離算出装置および画像距離算出用プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な非一過性の記録媒体 (AMP 国際特許出願)
2017年10月2日	特願 2017-192767, 岡 隆一	音声認識装置および音声認識プログラム (音声)
2017年12月7日	特願 2017-235198, 岡 隆一	動画画像距離算出装置および動画画像距離算出用プログラム (FMP)

## 6. 登録商標リスト

Table 3. 登録商標一覧

登録日	商標登録	商標登録番号
2016年9月9日	ポリドロネット polydronet	第 5880813 号 (T 5880813)
2016年10月28日	ドロネット dronet	第 5891570 号(T 5891570)

# プロジェクトメンバーリスト

## 公立大学法人会津大学

理事長兼学長	岡 隆一
理事兼復興支援センター長	岩瀬 次郎
復興支援センター 教授	屋代 眞
復興支援センター 特任教授	石川 安則 (2016.8-2017.3)
復興支援センター 特任教授	菊地 伸治 (2017.6-)
情報システム学部門 ロボット工学 教授	成瀬 継太郎
情報システム学部門データベースシステム学 上級准教授	渡部 有隆
情報システム学部門 ロボット工学講座 准教授	矢口 勇一
復興支援センター 准教授	中村 啓太 (2016.4-)
復興支援センター 准教授	小川 純 (2017.2-)
ロボット情報工学クラスター 特別研究支援者	吉野 大志 (2016.4-)
ロボット情報工学クラスター 特別研究支援者	安間 奎伍 (2016.4-)
ロボット情報工学クラスター 特別研究支援者	陳 武輝 (2016.4-2017.3)
ロボット情報工学クラスター 研究支援者	原澤 輝 (2017.2-2017.3)
事務局 企画連携課主幹兼副課長	吉田 淳
復興支援センター 特定プロジェクト支援者	軒澤 沙織
復興支援センター 特定プロジェクト支援者	金田 真紀 (2015.9-2017.7)
ロボット情報工学クラスター 特別研究支援者	芳賀 明香 (2015.12-)

## 株式会社アイザック

代表取締役社長	三好 眞夫
企画部長	馬場 法孝
研究開発部	本木 保成
研究開発部	河野 智也
研究開発部	齋藤 千明

## 株式会社社会津ラボ

代表取締役社長	久田 雅之
マネージャー	遠藤 貴幸
開発部 研究員	畠 圭佑
開発部 研究員	新城 惇也
開発部 研究員	山口 幸則
開発部 研究員	五十嵐 駿介

## 株式会社 FSK

産業システム部	システム開発課	課長	荒川 弘栄
産業システム部	システム開発課		馬上 雄
産業システム部	システム開発課		蛭田 聡
システム営業部	営業2課	課長	小林 剛

## 株式会社エヌジェーケー

メディアドライブ事業部フェロー	松村 博
メディアドライブ事業部グループ主任	遠藤 健
メディアドライブ事業部新技術グループリーダー	山下 浩生

## 株式会社東日本計算センター

R&D センター センター長	
R&D センター 主査研究員	中野 修三
R&D センター チームサブリーダー	小林 清志 (2016.4-2017.9)
R&D センター	丹内 智博
R&D センター	羽賀 公亮 (2016.10-2017.5)
エンベデットシステム事業部 プロジェクトマネージャー	坂林 亮治 (2015.4-2016.3)
エンベデットシステム事業部 プロジェクトマネージャー	鈴木 教文
エンベデットシステム事業部 チームサブリーダー	松本 美勝 (2015.9-2016.3)
エンベデットシステム事業部	佐藤 隆司
セキュリティソリューション部	迎田 俊二
iwaki 開発センター	伊藤 盛人 (2015.4-2016.3)
iwaki 開発センター	三本松 晃平 (2016.8-)
iwaki 開発センター	阿部 英明 (2016.4-2017.3)
	吉田 章彦 (2017.4-)

## 株式会社 GClue

代表取締役社長	佐々木 陽
取締役	高野 康
エンジニア	穂積 智
エンジニア	永山 豪雄

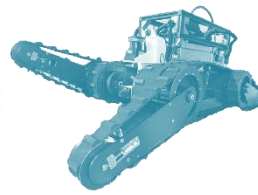
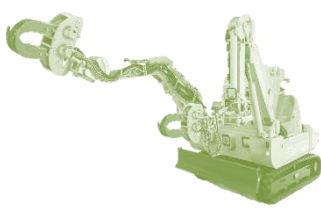
## 株式会社メカテック

制御技術グループ 平 美紀

## 国立研究開発法人産業技術総合研究所

ロボットイノベーション研究センター	
ロボットソフトウェアプラットフォーム研究チーム長	安藤 慶昭
知能システム研究部門 ヒューマノイド研究グループ 主任研究員	中岡 慎一郎





公立大学法人会津大学

〒965-8580 会津若松市一箕町鶴賀字上居合 90 番地

電話 0242-37-2533 (復興支援センター)

FAX 0242-37-2687 (復興支援センター)