解説

ロボカップ西暦2050年を目指して（その2）[†]

奥川 雅之^{*1}・伊藤 暢浩^{*2}・岡田 浩之^{*3}・

植村 渉^{*4}・高橋 友一^{*5}・杉浦 孔明^{*6}

1. レスキュー実機リーグ

1.1. 概要

レスキュー実機リーグは、東日本や阪神淡路大震災のような大規模災害に対してロバストな社会を創ることを目指し「2050年にレスキュー隊とロボットが協力して被災地で要救助者の探査・救助活動を実施する」ことを目標としている。レスキューロボット（災害対応ロボット）は、福島第一原子力発電所での線量調査等に代表される人間が行うことが極めて厳しい環境での活用が期待されている。ロボカップレスキュー実機リーグでは、競技を通じて、災害対応ロボットの定量的な性能評価を行うことで、実用的な関連要素技術の研究開発を促進することをねらっている[1,2]。そのためには、性能試験項目、試験条件、評価方法などについて、実際の災害現場での要求性能を満たすよう設定することが極めて重要である。アメリカ国立標準技術研究所（NIST：National Institute of Standards and Technology）により災害対応ロボットの性能を評価する標準性能評価試験法（STM：Standard Test Method）が提唱されており、ASTM（American Society for Testing and Materials）インターナショナルにてその詳細がまとめられている。

レスキュー実機リーグの競技内容は、直接目視できない場所から遠隔操縦もしくは自律制御ロボットにより実スケールの災害現場を模したフィールド内にある被災者を模した人形やタグ等（以降 Victim と表記）を探索し、その数と状態を調査する時間の早さ、そして、調査結果の場所を示した地図の作成精度を競うものである。1995年の阪神・淡路大震災を契機にロボットの大規模災害時の被災者探索への応用を目的にリーグの設置が検討され、2001年のシアトル大会より世界大会が開催された。日本でも2003年の新潟大会よりジャパンオープンを開催している。

競技フィールドはパレットと呼ばれる正方形の区画（世界大会 1.2×1.2 m、日本大会 0.9×0.9 m）を組み合わせる構成されており、パレット内にはSTMに基づいた障害物が設置されている（図1(a)）。探索対象である Victim は、要救助者がガレキに埋もれていることを想定し、穴の空いた箱（Victim Box）や壁に開けられた穴の中に設置されている（図1(b)）。Victim 周辺には、視力検査で用いられる記号（ランドルト環）、音声再生用のCDプレーヤー、人の体温を模した熱源などが置かれ

[†] RoboCup As a New Standard Problem of Robot and Artificial Intelligence

Masayuki OKUGAWA, Nobuhiro ITO, Hiroyuki OKADA, Wataru UEMURA, Tomoichi TAKAHASHI, and Komei SUGIURA

^{*1} 愛知工業大学工学部

Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology

^{*2} 愛知工業大学情報科学部

Faculty of Information Science, Aichi Institute of Technology

^{*3} 玉川大学工学部

Faculty of Engineering, Tamagawa University

^{*4} 龍谷大学理工学部

Faculty of Science and Technology, Ryukoku University

^{*5} 名城大学理工学部

Department of Information Engineering, Meijo University

^{*6} 情報通信研究機構先進の音声翻訳研究開発推進センター

National Institute of Information and Communications Technology

(a) 競技フィールド

(b) Victim Box

(c) 競技用ロボット：遠隔操縦型

(d) 競技用ロボット：自律型

図1 レスキュー実機リーグの様子(2015)

図2 作成された地図の例

ている。呼吸を模した二酸化炭素ガスがある場合もあり、ロボットに搭載されたカメラや各種センサによりそれらの情報を収集する。図1(c)(d)に競技中のロボットの様子を示す。ロボットは遠隔操縦型と完全自律型に分類されており、遠隔操縦型は、主に不整地での移動性能とVictim探索／調査能力が求められる。一方、自律ロボットは、主にVictimの自動探索や地図生成の能力を競う。また、ロボットに搭載されたマニピュレーション用アームにより救援物資や危険物を模擬した物体(ペットボトル)を把持し、移動させる競技も遠隔操縦型では行われている。基本的にはVictimを発見や各タスクの達成等によって得点を得る。

多くのロボットには測域センサやジャイロセンサ等が搭載され、センサ情報にもとづき自己位置推定と地図作成(SLAM: Simultaneous Localization and Mapping)を行っている。ドイツチームにより開発されたSLAMのプログラム「Hector SLAM」はオープンソースとして公開されており、レスキュー実機リーグでのSLAM普及に大きく寄与している。不整地を移動しながら正確な地図を作成するためには、ロボットの姿勢角変化を考慮する必要がある。各チームの対応が試されている(図2)。

競技種目は、移動能力、マニピュレーション能力、環境認識と地図作成能力の全てが必要な総合競技と「チャレンジ」と呼ばれる個別能力を評価する競技(移動能力、マニピュレーション、自律移動地図作成、飛行能力、操縦支援)が用意されている。

1.2. ルール変更

2016年のドイツ大会から大幅にルールが変更され、従来の災害現場で想定されるシナリオをベースとした競技から、災害現場におけるタスクを明確化した競技となった。より一層STMに基づく競技内容になったと言える。各ロボットの性能をより明確に評価しようという試みである。新ルールでは、災害対応ロボットに

図3 レスキュー実機リーグの様子(新ルール, 2016)

要求される性能を Maneuvering (操縦), Mobility (走破性), Dexterity (器用さ), Exploration (探索) の4つのカテゴリに分け、各カテゴリには5つのテストがあり、合計20種類のテストフィールドが用意された。各テストを行う前に、基本的な調査能力や作業の器用さを評価する Readiness Test を毎回行い基礎点とした。Readiness Test は、Identification Task と Dexterity Task に分けられた10種類のものが用意された。予選は、チームが事前に選んだテストフィールドに対して15分間の反復走行を行い、反復走行回数(片道単位)に応じて得点される。ロボットの各能力、信頼性、操縦者の技量、自律性(操縦支援含)を評価するものである。自律走行する場合は競技時間が5分間延長される。予選競技中の様子を図3に示す。この予選の結果から決勝進出チームが決定される。決勝では、各テストフィールドを連結し、より複雑なシナリオをベースとした競技を行う。決勝では、複数のテストを制限された時間内で行い、総合的なVictim探索／調査および地図作成精度の性能を評価するものである。また、ロボットのクラスは、従来と同様に遠隔操縦型と自律型であるが、600 mm 平方の隙間を通過できる小型ロボットや屋外ロボット、超小型飛行ロボットに分けられた。「チャレンジ」は、Maneuvering, Mobility, Dexterity, Exploration の4分野と屋外と超小型飛行ロボットが用意された。

1.3. 将来展望

災害対応ロボットの研究開発が困難な点は、ロボットの活動空間や条件が明確に定まっていないことである。そのため、現場での課題を抽象化し、実災害で要求されるタスクを模擬することにより、解決すべき課題を標準化(ベンチマーク問題)し、ロボット技術の向上やシステムインテグレーション手法を確立していくことが必要とされる。ロボカップレスキューのようにSTMを基にした競技は、研究開発の促進に有効であると言われている[5]。このような流れの中、経済産業省の諮問会議が公表したロボット新戦略の中で、ロボット国際大会(WRS: World Robot Summit)を2020年に開催することが決定している[6]。WRSでは、災害分野の競技(トンネル災害対応・復旧/プラント災害予防)が設けられている。WRSが実環境を強く意識した競技であるのに対して、ロボカップレスキュー実機リーグは、災害対応ロボットの基本性能を評価する競技としての位置付けになる。種々の災害を想定し、それらに応じたベンチマーク問題の数を増やすことにより、災害対応ロボット技術が成熟すれば、多くの現場での活用が期待される。具体的な実環境に対する課題に取り組むWRSとの連携により、災害対応ロボットの研究開発がより一層促進され、2050年までに掲げているレスキュー隊との連携や社会インフラ調査点検といった社会実装に貢献するものとする。

2. レスキューシミュレーションリーグ

2.1. リーグ概要

レスキューシミュレーションリーグは災害救助という重要な問題に対して、サッカーの実機やシミュレーションリーグで培ってきた研究成果を生かしながら、より高度な人工知能やロボティクス等の研究・開発を促進する目的で2001年に正式競技としてスタートした[7]。現在では次の3つの競技がある。

エージェント競技：様々な地域における都市直下型地震の災害救助シミュレーションを用いた競技である。競技の対象となる様々な地域で発生する地震と、それに伴う火災・建物倒壊・道路閉塞などに対して、複数の自律型ロボット(エージェント)を用いて災害救助活動を行い、できる限り多くの被災者を救助することを競う。能力の異なる多数のエージェントを利用する。

仮想ロボット競技：ロボカップレスキューの実機競技をシミュレーションにした競技である。主に都市部の建物内などで、被災した市民を発見する救助活動をシミュレーションする。使用するロボットの自律型及び半自律型制御プログラム

や、ロボットを操作するためのインタフェースなどが競技対象となる。

インフラストラクチャ競技：レスキューシミュレーションリーグで使用する様々な競技用プログラムや、リーグの発展を目的とした取り組み等を競う競技である。レスキューシミュレーションリーグの発展・運営サポートを目的としており、論文発表と開発ソフトウェアの優劣によって競われる。

以降、主要な競技となるエージェント競技と仮想ロボット競技について説明していく。

2.2. エージェント競技

2.2.1. 競技内容

エージェント競技はレスキューシミュレーションリーグで最初に始まった競技で、主にマルチエージェント(ここでは自律的に動作する複数のソフトウェアロボット)のアルゴリズムを対象の研究開発を目的としている[8]。

エージェント競技で使用する災害救助シミュレータでは、都市直下型地震を対象とし、それに伴って生じる家屋の火災延焼、ガス等の爆発、建物倒壊に伴う道路閉塞及び被災者の埋没、通信障害などの二次災害をシミュレーションする。

競技会では、各試合ごとに地域が変更され、シミュレータ用に作成された実在する都市や、実在しない仮想都市の地図上に、上述の二次災害が発生するように設定されている。試合の災害等の設定は競技会の技術委員によって準備される。この設定は地図と合わせてシナリオと呼ばれ、1日に約5つのシナリオが試合としておこなわれる。

競技参加者が作成するエージェントは次の3種類である。

消防隊(Fire Brigade)：消火能力を持つエージェントで、建物の火災消火や、延焼を防止するための予備消火をおこなう。

土木隊(Police Force)：建物倒壊によって生じる、がれきの除去をおこなう。

救急隊(Ambulance Team)：建物に閉じ込められたり、建物の下敷きになっている被災者を救助し、避難所への搬送をおこなう。

どのエージェントも視界は制限されているので、複数のエージェントで協力し合って、効率よく被災地の災害情報を収集する必要がある。また、情報に基づいて、それら災害を抑えるのに必要なエージェントを割り当てながら動作する必要がある。また、より多くの被災者を救出するためには、火災から守り、短時間で

図4 エージェント競技の実行画面

避難所まで移動できるように、閉塞した道路を必要に応じて啓開し、被災者を搬送する必要がある。つまり3種類のエージェントを適切に協調動作させなくてはならない。

各シナリオ毎に、使用可能なエージェント数が異なるので、競技参加者は、どのようなシナリオにも対応できるエージェントの戦略(アルゴリズム)を準備する必要がある。

試合の様子を図4に示す。この図は神戸市長田区でのシミュレーションを示しており、地図の中央部に3箇所火災が発生している。したがって、このシナリオでは、これらの火災が合わさって1つの大きな火災にならないよう延焼を防ぎながら、できる限り多くの被災者を避難所まで搬送することがポイントとなる。つまり消防隊、土木隊、救急隊の異種エージェント間協調動作の効率化が大きな研究課題となる。

2.2.2. 技術的なトピック

エージェント競技では、今年から全チームが同一のソフトウェアアーキテクチャを採用することとなった(図5)。図中の下側の部分がアルゴリズムモジュールで、上側の部分が全チームで共通の部分である。

エージェント競技では毎年、参加チームのソースコードを公開してきたが、年々複雑化して、可読性も低く、またリーグで取り組む研究課題も発散してしまうため、図5に示すようなアーキテクチャを提供するエージェント開発フレームワークを採用することになった。このフレームワークにより、エージェントプログラムのモジュール性が向上させられるため、次年度以降のソースコードの再利用性は大幅な改善が期待できる。

また今年は初年度として、予選突破時の上位チーム

図5 SSLの試合の様子

の「タスク割り当て」モジュールを全チームが採用して試合をするテクニカル・チャレンジが計画されており、技術的な見所の一つである。

この統一されたアーキテクチャについては次のURLから情報を得ることができる。

<http://aitech.ac.jp/maslab/rcrswiki/>

2.2.3. 主要な参加チーム

エージェント競技の世界大会には約18チームが選抜されて出場する。主要なチームは日本のNAITO Rescue(愛知工業大)、Ri-one(立命館大)の他、MRL(イラン)、GUC_ArtSapience(エジプト)、RoboAKUT(トルコ)、SCU_Yunlu(中国)などである。近年、エージェント競技では女性の進出がめざましく、イランから女性だけのチームがエントリーされているだけでなく、技術委員にも女性の委員が選出されている。

2.3. 仮想ロボット競技

2.3.1. 競技内容

仮想ロボット競技は、レスキューの実機リーグのシミュレーション版で、制限時間内に、いかに効率よく被災者を発見できるかを競う競技である。

参加者は、定められたルールに従って、コンピュータ内に仮想的なロボットを作成し、そのロボットを制御するためのプログラムを用意することになる。競技ではロボットが自ら全てを制御する完全自律型のロボットと、人による遠隔操作とロボットの自律動作を組み合わせた半自律型のロボットを使用する。また、ロボットを使って被災者を捜していくためのロボット操作用インターフェースの開発も競技の一部となっている。

この競技は、まだまだ発展途上であるが、Gazebo(ロボット物理シミュレータ)とROS(Robot Operating System)を採用しており、競技の成果を実際のロボットで活用することも目指しているのが大きな特徴である。

2.3.2. 技術的なトピック

この競技の大きな特徴は、ロボットを実際に使用せず、実機リーグの競技をおこなうことができる点にあ

(a) ロボット4台分の情報 (b) マップ情報の統合の様子

図6 4台分のマップ情報を統合

る。また、実機を使用しないため、実機リーグよりも広いフィールドと多くのロボットを使用して、試合を実現可能である。

図6は4台のロボットが得た地形(マップ)の情報を統合し、自動的に1つにしている様子である。このマップを統合するアルゴリズムは研究対象の一つとなる。

また、図7は1人で4台のロボットを操作している様子である。このようなインタフェースの設計と実現も大きな研究課題である。

2.3.3. 主な参加チーム

仮想ロボット競技は毎年5～8チーム前後の参加があり、全チームで競技をするだけでなく、競技自体を改善している。主要な参加チームは、本稿でも貴重な競技情報を頂いた中京大学の清水優生氏が所属する日本チームのHinomiyaguraをはじめ、オランダのAmsterdam Oxford Joint Rescue Forces, イタリアのPoAReT, トルコのYildiz, イランのMRL, 中国のCSU_YunLuなどのチームである。

2.4. 今後の展望

レスキューシミュレーションリーグは、サッカーシミュレーションと異なり、災害救助分野の研究成果による社会貢献を目指していることも大きな特徴である。今後もレスキューシミュレーションリーグの研究によって、より多くの人々が安心して暮らせる世の中に貢献することを目指していく。

3. ロボカップ@ホーム

3.1. 目的と意義

2007年のアトランタ世界大会より正式種目として採用された、ロボカップ@ホームはキッチンやリビングなどの家庭において、人とロボットが協調して仕事を行うロボットの実現を目指し、その技術を競技で競うものである[9,10]。

ロボカップ@ホームの競技はいくつかの共通の課題とそれぞれのチームが独自に設定するOpen Challenge, Final競技から構成され、共通課題はテクニカルコミ

図7 1名で4台のロボットを操作できるGUI

ッティーの主導でメーリングリストなどで協議を重ねた上で毎年、技術の進歩と課題の難易度を適切に制御するため、様々な視点で難度の高い課題に変更される[14]。また、競技会において勝敗は単純に課題の成功・失敗だけで決めるのではなく、以下に挙げるような様々な視点から評価されるようになっており、単にロボット技術を競うのではなく、現実の家庭で使うという実用性を重視した競技であることがわかる。また、動作の信頼性・確実性もまた評価の対象とするため一部の競技を除き競技は基本的に一発勝負であり、再試行は減点の対象となる。

- ・ロボットと人が自然なコミュニケーションをしているか？
- ・応用志向であるか？
- ・技術的に新しい事に挑戦しているか？
- ・セットアップに時間をかけていないか？
- ・観客が見ていて楽しいか？
- ・実用的な時間で動作するか？

3.2. 競技の進め方

世界大会では2日間のセットアップ期間とそれに続く4日間の競技期間で実施される。競技が行われる部屋のレイアウトや競技で使われるオブジェクト(ペットボトルや食品などの日用品、本棚や机などの家具)は事前に競技者には公開されず、セットアップ期間に参加者に知らされる。従って、セットアップ期間にいか調整を行うかが競技の成績に影響することになる。図8は競技会場の様子である。

2017年名古屋大会のルールブック[14]によれば、ステージ1の4種目とステージ2の4種目、さらには最終日のFinal種目で優勝を争う。ステージ1では物体の把持や音声対話、ナビゲーションといった基盤技術を競う種目が実施され、4種目の合計得点の上位チームがス

図8 ロボカップ@ホームの競技場の様子

ステージ2に進出する。ステージ1の各種目では、制限時間内であれば3回までの試行が許され、そのうち良い成績を獲得した2回の試行の平均点をチームのスコアに採用する。これは、偶然や運に左右されることを避け、客観的な評価をするためのものであり、各試行の合間にロボットを調整するためではない。

参加チームの半数のチームが進出するステージ2では、実際に営業しているレストランで給仕を行ったり、オペレータによってその場でランダムに生成されて音声で与えられる指示を実行するような、より実用的な競技が行われる。また、ステージ2の種目の一つであるOpenChallengeは自チームのロボットの性能に関して、研究面で優れている点をデモとプレゼンテーションによりアピールする、オープンタスクである。

ステージ1とステージ2の合計得点の上位5チームが最終日のFinalに進出する。Finalでは各チームが自由にデモとプレゼンテーションを行い、ロボットの専門家だけではなく、産業界やメディアなどの代表者が様々な観点から採点を行う。Finalが終了した時点で、ステージ1とステージ2の合計得点およびFinalの得点を総合的に評価して、一位から三位の表彰チームと、特に技術面に優れたチームに与えられるInnovation Awardが決定する。

3.3. ロボカップ@ホームの種目のいくつか

3.3.1. Speech & Person Recognition

Speech & Person Recognitionは人物の認識と音声対話を目的とした種目であり、人混みの人数を数えたり、男性と女性、立ったり座ったりの姿勢を認識する。また、音声対話では音源定位の機能によりロボットを取り囲んだ複数の人物からの質問に適切に応答することを求められる。

図9はSpeech & Person Recognitionの競技の様子である。ロボットは群衆の人数は6名、男性が5名、女性が

図9 Speech & Person Recognition 競技の様子

1名、立っている人物が2名、座っている人物が3名、床に横たわっている人物が1名と答えることができれば満点を獲得する。

3.3.2. Restaurant

Restaurantでは実際のレストランやショッピングモールのような環境におけるロボットの性能を評価する。この競技では地図作成、未知環境における安全な移動、ジェスチャー認識、人間とロボットのインタラクションおよび物体の認識と把持が重視される。ロボットは実際の環境で地図を作成し、人々が周囲を歩いている状況下で、飲み物や軽食の注文などに応じることを競う。

この競技では各チームにレストラン競技を実施する場所を通知するのは競技開始約1時間前であり、予め地図を作成したり、実際の環境でセンサのパラメータ調整を行うことは不可能である。15分の競技時間は前半の案内フェーズと後半の注文フェーズに分かれる。案内フェーズでは、ウェイト役の人物の後ろを追跡し、3つのテーブルを順に案内される。テーブルに近づいたらウェイトはロボットに対して、テーブルの番号を音声で告げるので、ロボットはテーブルの位置と番号を記憶する。また、注文フェーズでの自律移動の為の地図を常にアップデートしながら移動する必要がある。3つのテーブルを廻り、案内フェーズが終わり、いったんキッチンに戻る。キッチンでは、どのテーブルに注文をとりに行くのかをロボットがウェイトに尋ねる。続いて、ロボットは指示されたテーブルへ行き、注文を取る。この際のロボットと客のやり取りは自然でなければならない。1番目のテーブルの注文を

プロコミュニティへの貢献や学術論文を書くことによる貢献なども評価項目になるので注意が必要である。特に自分たちの技術を学術論文やオープンソースソフトウェアとして公開することは重要な評価項目になっている。

ロボカップ@ホームリーグはジャパンオープンでは20チーム、250人以上の参加者。世界大会でも20チーム以上が参加するロボカップの中でも中心的なリーグに成長してきた。今後も、サービスロボットの市場が大きくなるにつれ家庭でのロボット技術の研究開発はますます加速すると思われる。読者各位のロボカップ@ホームリーグへの参加を期待して歓迎する次第である。

4. RoboCup Industrial

4.1. 目的

高度経済成長期においては、大量消費のために同一種の商品の大量生産が有効であり、工場では商品ごとにラインを用意していた。しかし、現在の工場は少量多品種の生産が求められており、固定的なラインではなく、様々な種類の生産要求に合わせて、柔軟な対応ができるラインが必要となっている。そのような次世代の工場での技術はFactory Automationや、Smart Factoryとして注目されている。1つの製品を作るには、複数のパーツを組み上げる必要があり、また、複数種類の組み上げ用の加工機器を効率よく利用する必要がある。RoboCup Industrialは、これらの生産過程を扱ったリーグであり、パーツの組み上げ順序と加工機器の利用順序のプランニングに焦点を当てたLogistics Leagueとロボットハンドによるパーツの取り扱いに焦点を当てた@Workの2つのリーグがある。

元々、これら2つのリーグは別々のリーグとして歩んできたが、2016年から統合を意識して情報交換や競技交流を行っている。それゆえ、それぞれがリーグと呼ばれている。また、両リーグともスポンサー企業がついており、競技に使う機器は、その企業のロボットを使っている。いずれもドイツの企業で、Logistics LeagueはFesto Didactic社、@WorkはKUKA社である。Logistics Leagueの運営には、Festo社の社員も関わっており、技術的にも資金的にも助けて頂いている状態である。

著者は2011年からLogistics Leagueに参加しているが、@Workは別のリーグ扱いであったため、ほとんど知識を持っていない。それ故本稿では、Logistics Leagueについての紹介のみとさせて頂く。

4.2. 歴史

Logistics Leagueでは、Festo社の全方位移動ロボッ

図11 Logistics Leagueの試合の様子。各チームのロボット(Robotino3®)と素材を加工するマシン(MPS)。

トRobotino®を利用して競技を行う。2009年にはFesto Hockey Challengeを実施し、Robotino®でホッケーの試合を行った。標準のRobotino®ではボールがつかめなかったため、サッカーではなくホッケーとなっている。しかし、RoboCupにはすでにいくつかのサッカーリーグが存在したため、新たにホッケーを開催する必要がなかった。そこで、2010年と2011年に工場での製品搬送を扱った競技としてFesto Logistics Competition (FLC)を実施した。このときはデモンストレーション競技として行われ、2012年から正式にリーグへと昇格した。

当初Logistics Leagueでは、製品の素材としてホッケーのパックを扱っていた。これは最初のホッケー競技の時の道具を流用したためである。しかし、観客から見て何を搬送しているのかわかりにくかったため、競技内容を見直し、Festo社がメカトロニクス用に販売しているModular Production System (MPS)を用いて、ベルトコンベア上で実際に加工作業をする形式へと変更した(図11)。これに伴って、素材の取得と設置をするグリッパーやアームを自作してRobotino®に取り付ける必要が出た。2016年からは、重ねられる素材を採用して、加工機が素材を重ねることで、素材の加工される様子がわかりやすくなるように変更した。また、これによって、素材の組み合わせパターンが増えたため、できあがる製品の種類が3種から約250種へと増加した。

それ以外にも、実際の工場の環境に近づくように、理想的な条件をやめて、実環境下での競技へと変更をし続けている。たとえば、今まではフィールドの床はパネルを使っていたが、会場の床をそのまま使うようになったり、MPSの配置(座標と向き)をランダムにすることで、フィールド上の経路計画やMPSへの接近経

路計画において動的な対応を求めたりしている。一方で、競技であるが故に実際の工場から少し異なる条件になっている部分もある。たとえば、試合の最初のフェーズではMPSの加工種別がわからないため、各ロボットが判別して審判のパソコン(RefBox)に報告する必要があるが、次のフェーズに入るとRefBoxから教えてもらえる。また、味方のロボットとは通信できるが、相手のロボットとは通信できないので、移動時に適度に障害物回避をする必要がある。

当初は、Robotino2®本体は無改造で、センサ等の取り付けのみ自由にできるルールであった。現在は、Robotino3®をメインに利用しているが、計算機力不足とOSのバージョン等の問題により、ノートパソコン等を別途搭載しても良いようになっている。さらにRobotino®の制御だけでなく、グリッパーの作製と制御が競技の重要なポイントの一つとなっており、ハードウェアとソフトウェアの両方の知識・技術が要求される競技である。

また、テクニカルチャレンジの一つとして、ハードウェア面の不安定さを軽減するために、シミュレーション上での競技も用意している。ただ、実際は、シミュレーション用に各ロボットのプログラムを用意する必要があり、そこまで時間と労力を割けるチームがほとんどなく、競技として成立していないのが現状である。今後、挑戦するチームが増えることを期待する。

4.3. 注目チーム、チーム紹介

Festo社がドイツの企業である関係より、ドイツからの参加チーム数が多く、また、ドイツのチームが強い傾向にある。2014年までは、ドイツのミュンヘン工科大学のTUMsBendingUnits¹が強かったが、主力メンバーが卒業した関係で2015年からは不参加となっている。BendingUnitsと並んで優勝争いをしていたのが、同じくドイツのアーヘン工科大学のCarologistics [15]である。ここのチームでは、ロボットミドルウェアとしてFawkes [16]を開発、公開しており、過去にはStandard Platform League (SPL)のNAOにも使っていたミドルウェアである。そのときに作成したAdaptive Monte Carlo Localization (AMCL)や経路計画の資源をそのままRobotino®に流用することができ、汎用性のある開発が可能となっている。Carologisticsは、2014年と2015年の優勝したときのプログラムソースを公開[17]しており、Fawkesの大量の資源を提供している。また、2015年冬にはWinter Schoolを開催し、Logistics Leagueで使っているFawkes周りの技術の勉強会を行った。この時

の講習内容はYouTubeでも視聴でき、新規参入の壁を積極的に下げる努力を行っている。この功績が認められ、RoboCup2016では第1回International Harting Open Source Award 3位を受賞している。

そのほか、常連チームとしては、スイスのSolidusや、ドイツのLeuphana大学、そして日本からは、龍谷大学のBabyTigers-R [18]が毎年参加している。どのチームも、ロボット技術の向上に力を注いで切磋琢磨しており、仲が良いのが特徴である。手前味噌な紹介で申し訳ないが、このRoboCupでの交流を通じて、龍谷大学とLeuphana大学は学生交換協定を結ぶことができ、2015年度からの2年間で6人の学生と1人の教員が日独間で留学している。

4.4. まとめ

工場での自動化を想定したRoboCup Industrialには、Logistics Leagueと@Workの2つのリーグがある。Logistics leagueでは、製品加工のための効率的なプランニングとスケジューリングが求められ、3台のロボットを用いて、加工機器間を動き回る。

実際の工場の環境に近づくように、ルールを変更し続けており、まだまだ発展途中のリーグではあるが、だからこそこれからの技術や向上が期待できる状態である。日本のみならず、アジア圏からの参加チームがBabyTigers-Rのみのため、新規参入を強く歓迎する。

5. ロボカップジュニア

2000年から始まったロボカップジュニアは、参加する児童、生徒の技術の向上を目指すだけでなく、「ロボットと人間が共生する未来を創造する市民を育成する取り組み」として、科学と人間・社会性の啓蒙・啓発普及の場を提供する事を目的にしている。

5.1. リーグの競技内容

サッカーだけでスタートしたジュニアは、2003年にはダンス(2015年にオンステージに名称変更)、翌年にレスキューのリーグが加わった3つのサブリーグで、運営されている(図12)。各リーグの特徴を以下に示す。

サッカー: 2台のロボットから構成されるチームが、黄色と青色に塗り分けられたゴールに赤外線発光するボールを入れあう。フィールドは小型ロボットリーグと同じ緑色カーペットを使用し、直径22 cm、高さ22 cmの円筒に収まるサイズのロボットに、色センサや地磁気センサを実装し、センサ情報に基づき自律動作するロボットを製作する。

レスキュー: ラインに沿って移動しながら、障害物、

¹ 2014年にBavarian Bendingunitsへと改名。

図12 ジュニア競技(左上からサッカー, レスキュー, オンステージ, サッカービッグフィールド)

坂道, 切れ目などの課題を乗り越えて, 救助現場にいる球状の被災者を探索し, 避難場所に運ぶ「ライン部門」と壁で区切られた迷路を移動しながら被災者を探索し, レスキューキットを渡す「メイズ部門」がある. 2013年には, 仮想空間と実機ロボットを組み合わせた3つ目の部門が始まった.

オンステージ: 舞台の上で人とロボットがパフォーマンスを繰り広げ, 作成したロボットの機能を競う. ロボット, プログラム, パフォーマンスの構成, 衣装, 振り付け, 独創性, 創作性, エンターテインメント性, マナーなどを評価対象としている.

ジュニアリーグには7月1日現在で19歳以下の生徒が参加でき, ルールは適宜見直される[19]. 2017年7月に開催される名古屋大会では, 参加者の年齢や競技内容の違いで9個のサブリーグが開催される.

5.2. 大会運営

2016年7月にライプツィヒ市(ドイツ)で開催された世界大会には, 世界34の国・地域から207チーム, 807名のジュニアが参加した. ジュニアの場合は, 各地域(日本の場合は日本)での大会から選出されたチームが世界大会に参加する仕組みである. 日本国内では, 毎年10月末から全国各地でノード大会が開催され, ノード大会で選ばれたチームによるブロック大会が2月までに開催され, 春休みに開催される全国大会であるジャパンオープンへの出場権を競う[20]. そして, ジャパンオープンの成績に基づいて世界大会に出場するチームが決まる.

図13 ポスター(左から国内大会, 世界大会)

2016年は, 日本全国で1,019チーム(2,465人)が68地点で開催されたノード大会に参加した. ノード大会で選ばれたチームは, 北海道から沖縄にいたる23ブロック大会に進み, ブロック大会で選出された213チーム(545名)が, ジャパンオープンで世界大会を目指した. 15チームが世界大会に参加した.

5.3. 教育活動として

ロボカップジュニアでは, 競技結果だけでなく, ポスター作成によるプレゼンテーションや競技後にチームメンバーへのインタビューなどにより, コミュニケーション能力や問題解決能力などの涵養も目標に掲げている. 図13に, ジャパンオープンと国際大会のポスターの例を示す. ポスターは会場に展示され, 説明内容, 視覚的なアピールなどの評価項目で, 複数名の審査員が評価し, 優秀なポスターを表彰している. インタビューでは, 審判員から参加者に, ロボット・プログラムなどに関する内容や作成過程, オンステージでは振り付けなどについて口頭で質問がある. 参加者は自分達で製作したロボットやプログラムの作成過程を自ら説明, 回答することが求められる.

世界大会においては, チームは英語版のポスターを用意し, インタビューは英語で実施される. 国・地域間の交流を図るために, 会場で複数の地域のチームから成る混合チームを構成し, 他地域のメンバーとコミュニケーションをとり, ゲームをする. 図12の右下の写真は, 混合チームによるサッカーゲームの写真である. そこでは, 1チーム5台のロボットが通常のフィールドの4倍の大きさのフィールドでのゲームをする.

5.4. 今後に向けて, 将来展望

2012年度学習指導要領の変更時に, 中学校技術・家庭科で「プログラムによる計測・制御」が必修になった[21]. その時, ジュニアサッカーが複数の教科書に紹介された. また, 2016年12月に発表された中央教育審議会の答申では, 義務教育段階からのプログラミング

教育, ロボットを用いたアクティブラーニングなどが提案されている[22].

科学・技術教育の場の一つとして, ロボカップジュニアの活動が学びの場を提供していく機会は, 今まで以上にあると予想される. ロボカップジュニアの活動は, 平成17年度から2期10年科学技術振興機構の国際科学技術コンテスト支援事業の支援を頂いてきた[23]. 今後, これまでに実績に基づき, 国内で多くの方に利用できる教材や世界につながっている場を提供することで, さらに世の中に役立つ活動を目指す.

6. ロボカップの未来

1997年に名古屋で第1回大会が開催されたロボカップは, 近年では400チーム, 2500~3000人が参加する国際的な競技会に成長した. 2017年ロボカップ世界大会は, 7月27~31日に名古屋で開催される予定である. 2018年はカナダ, 2019年はオーストラリアでの世界大会開催が予定されている. 世界大会に準ずる大会であるアジア・パシフィック大会については, プレ大会が2016年に中国において開催され, 2017年はタイでの開催が予定されている. 今後, アジア・パシフィック大会を2020年に日本に誘致することが期待されている.

2017年から開始される新しい試みとしては, @ホーム標準プラットフォームリーグが挙げられる. 2007年に開始された@ホームリーグでは, 把持・移動・音声対話などの幅広い機能が要求されることから, ハードウェアの構築および維持にチームの負担が集中していた. 実際に, タスク中に発生するトラブルの多くはチーム特有のハードウェアに由来するものである. このことから, @ホームリーグにおいてハードウェアを標準化し, ソフトウェアに注力できる枠組みの構築が開始された. ハードウェア標準化の先例としては, サッカー標準プラットフォームリーグにおけるNAOの採用が挙げられる. NAOはロボカップの標準機として採用されたことを契機として, ロボティクスや人工知能分野における研究プラットフォームの地位を確立した. すなわち, 標準化には企業側にもメリットがあるため, 標準機の公募には11社から提案が集まった. 最終的に, トヨタ自動車製HSRおよびソフトバンクロボティクス製Pepperの二者が標準機として採用された. また, その後標準機のユーザーチームも公募され, 10チームずつが採択されている.

今後, @ホームリーグでは, 独自ハードウェアによるリーグ(OPL), HSRによる標準機リーグ(DSPL), Pepperによる標準機リーグ(SSPL)の3つのリーグが開始される. @ホームリーグでは, ミドルウェアとしてROS (Robot Operating System)を採用することが一般的

であり, 標準機とROSの組み合わせにより, 参入障壁が大幅に下がることが期待される. また, 上位チームがソフトウェアをオープンソース化することで, 参加チームだけでなくロボティクスコミュニティ全体にとってメリットが発生する. 2017年5月に開催されるジャパン・オープンでは, 世界大会に先駆けて@ホーム標準機リーグが初めて開催される予定である. さらに, 世界大会後には, 標準機のユーザーチームを新たに公募する予定であるので, 応募を検討されたい.

ロボカップ発の大きな社会インパクトも生まれ始めている. ロボカップ小型ロボットリーグで活躍したRaffaello D'AndreaはKiva Systems (現Amazon Robotics)を共同創業し, 自律ロボットによる倉庫自動化に取り組んだ. Amazonにおける倉庫自動化によるコスト削減は, 年間4.5~9億ドルと試算されている. Amazon Roboticsは, 棚から商品をピッキングを自動化するロボットの競技会Amazon Picking Challenge (現Amazon Robotics Challenge: ARC)を2015年に開始した. ARCはロボカップのリーグではないものの, 2016年および2017年のロボカップ世界大会と併催されることが決定されている. 以上のように, 今日では, ロボカップは学術研究から応用タスクまでを含む幅広い競技会となっている.

謝辞

本研究の一部は, JST CRESTの支援を受けたものである.

参考文献

- [1] 田所諭: ロボカップレスキュー, 日本ロボット学会誌, 20(1), pp.20-23, 2002.
- [2] H. L. Akin, et al.: RoboCup Rescue Robot and Simulation Leagues, AI Magazine, Vol. 34, No. 1, pp. 78-87, 2013.
- [3] S. Kohlbrecher, et al.: Hector Open Source Modules for Autonomous Mapping and Navigation with Rescue Robots, Springer-Verlag, RoboCup 2013: Robot World Cup XVII (Lecture Notes in Computer Science Vol. 8371), pp.624-631, 2014.
- [4] A. Jacoff, et al.: Guide for Evaluating, Purchasing, and Training with Response Robots Using DHS-NIST-ASTM International Standard Test Methods, <https://www.nist.gov/programs-projects/department-homeland-security-response-robot-performance-standards>
- [5] A. Jacoff, et al.: Using Competitions to Advance the Development of Standard Test Methods for Response Robots, Proc. of the Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems, 2012, pp.182-189, 2012.
- [6] ロボット革命実現会議, ロボット新戦略, 経済産業省, 2015.1.23.
- [7] RoboCup レスキューシミュレーションリーグ・ホームページ: http://wiki.robocup.org/Rescue_Simulation_

- League
- [8] RoboCupRescue エージェント競技ホームページ：
<http://roborescue.sourceforge.net/>
- [9] 岡田浩之，大森隆司：ロボカップ@ホーム：人とロボットの共存を目指して，人工知能学会誌，25(2)，pp.229-236，2010.
- [10] 杉浦孔明：ロボカップ道しるべ第8回「ロボカップ@ホームリーグ」，情報処理，53(3)，pp.250-261，2012.
- [11] 村永和哉，岡田浩之，村山純一，小田桐康暁，中本啓之：ロボカップ@ホームのオープンプラットフォーム化，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集，2P1-K16，2011.
- [12] 生活支援ロボット(HSR)：http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/partner_robot/
- [13] Pepper：<http://www.softbank.jp/robot/>
- [14] ロボカップ@ホーム2017年のルールのディスカッション：<https://github.com/RoboCupAtHome/RuleBook/issues>
- [15] <https://www.carologistics.org/>
- [16] <https://www.fawkesrobotics.org/>
- [17] <https://www.fawkesrobotics.org/projects/rc112016-release/>
- [18] <http://friede.elec.ryukoku.ac.jp/trac/lab/wiki/BabyTigers-R>
- [19] 金田忠裕：ロボカップ道しるべ：ロボカップジュニアジャパンの活動，情報処理，53(9)，pp.955-961，2012. <http://ci.nii.ac.jp/naid/40019414552/>
- [20] (一社)ロボカップジュニアジャパン：<http://www.robocupjunior.jp/>
- [21] 文部科学省 中学校学習指導要領：http://www.mext.go.jp/a/_menu/shotou/new-cs/youryou/chu/gika.htm
- [22] 中教審第197号2016年12月21日：http://www.mext.go.jp/b/_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1380731.htm
- [23] 国際科学技術コンテスト：<http://www.jst.go.jp/cpse/contest/index.html>
- (2017年2月18日 受付)
- [問い合わせ先]
〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8
機械振興会館内
NPO法人ロボカップ日本委員会
TEL：080-7739-2978
E-mail：office@robocup.or.jp

著者紹介

おくがわ まさき
奥川 雅之 [非会員]

1996年岐阜大学大学院工学研究科機械工学専攻博士前期課程修了。同年岐阜工業高等専門学校機械工学科助手，2003年同講師，2004年同助教授，2007年同准教授，2009年愛知工業大学工学部機械学科准教授，現在に至る。スマート構造およびレスキュー工学等に関する研究に従事。日本機械学会，計測自動制御学会，IEEE等各会員，博士(工学)。

いとう のぶひろ
伊藤 暢浩 [非会員]

1999年名古屋工業大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。同年，名古屋工業大学電気情報工学科助手を経て，2015年4月より愛知工業大学情報科学部情報科学科教授。IEEE，人工知能学会，情報処理学会などの会員。

おかだ ひろし
岡田 浩之 [非会員]

1986年(株)富士通研究所入社。東京農工大学大学院生物システム応用科学研究所博士後期課程修了。2002年東海大学理学部助教授を経て，2006年4月より玉川大学工学部教授，現在に到る。赤ちゃんの発達とロボットを融合させた研究に興味をもつ。ロボットを通じて，人間を知ることが目標。2008年，2010年ロボカップ@ホームリーグ世界大会優勝。博士(工学)。日本認知科学会，日本赤ちゃん学会，日本ロボット学会，人工知能学会などの会員。

うえむら わたる
植村 渉 [正会員]

2000年大阪市立大学工学部応用物理学専攻卒業，2005年同大学大学院工学研究科電子情報系専攻博士課程修了。同年龍谷大学理工学部助手。助教を経て現在同講師。博士(工学)。2009年計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 奨励賞受賞。人工知能学会，電子情報通信学会，IEEEなどの会員。

たかはし ともいち
高橋 友一 [非会員]

1974年名古屋大学理学部物理学科卒業、1976名古屋大学大学院工学研究科修了。電々公社（現NTT）電気通信研究所に勤務、ATR通信研究所などを経て、現在、名城大学理工学部教授。工学博士。ロボカップジュニア・ジャパン代表理事。IEEE、ACM、情報処理学会、人工知能学会、日本ロボット学会などの会員。

すぎうら こうめい
杉浦 孔明 [非会員]

2002年京都大学工学部電気電子工学科卒業。2004年同情報学研究科修士課程修了。2007年同博士後期課程修了。博士(情報学)。日本学術振興会特別研究員、ATR音声言語コミュニケーション研究所研究員を経て、現在、情報通信研究機構 先進的音声翻訳研究開発推進センター主任研究員。ロボカップ国際委員会理事を兼務。サービスロボット、機械学習、クラウドロボティクス、音声対話システム、情報検索、推薦システムなどの研究に従事。2008年、2010年ロボカップ@ホームリーグ世界大会優勝。計測自動制御学会、情報処理学会、人工知能学会、日本ロボット学会、IEEEなどの会員。