

実機自律移動ロボット競技大会における無選手試合の提案と課題

About an Autonomous Robot Competition without Participants at the Competition Venue

植村 渉^{1*}

¹ 龍谷大学
¹ Ryukoku University

Abstract: Covid-19 の影響により、世界的にロボットの競技大会が中止や延期となっている。一方でロボットの自律移動や自動制御を競う大会は、競技が始まると選手はロボットに触る必要が無いため、会場にいなくても競技できる可能性がある。しかし、ロボットの調整、特にハードウェアの調整には、実際にロボットに触る必要があり、遠隔での実施は難しい。そこで本研究ではロボットを大会会場に送り込み、現地運営スタッフが選手の代わりにロボットに触ることで大会を実施する無選手試合を提案し、その問題点や課題を検討する。また、同条件下で 2020 年 9 月 19 日から 22 日にかけて実施した RoboCup JapanOpen 2020 Logistics League についても報告し、with コロナのニューノーマルな世界でのロボット競技大会の形を模索する。

1 はじめに

世界的なロボット技術のデファクト・スタンダード化を推進する研究として、National Institute of Standards and Technology (NIST:米国標準技術研究所) では Joe らによりロボットアームによるパーツの取り付けやケーブルの取り回しのタスクが提案されている [1]。現在の工場が必要とされている加工技術に加え、これからの工場の組立作業で必要となる技術が含まれている。また、横小路らによる組立タスク [2] では、工場のラインの最適化を想定しており、作成する製品が変わったときの段取り替え時間 (リードタイム) を減らし、究極には一品物をラインで作ることを目標としてタスクを設定している。そのためには、作成する製品の仕様が直前に変わる仕組み (サプライズ) が用意されており、現状の教示を中心とした固定的なロボットアームの動作では対応できず、柔軟な動きができるロボットが求められている。しかし、COVID-19 の影響により、実機ロボットの大会の中止が相次いでいる。

自律移動ロボットの世界大会である RoboCup (2020 年 6 月フランス、一年延期) [3] や、若年者ものづくり競技大会のロボットソフト組込職種 (2020 年 7 月、中止) [4]、東京オリンピックに対してロボットのオリンピックを開催しようという目的で企画された World Robot Summit (2020 年 10 月、翌年に延期) [5] などである。大会で用いるロボットが共通仕様の場合は、プ

ログラムを会場に送ることで競技を実施する大会がある。2020 年 9 月に AWS DeepRacer フィジカルリモートレース [6] が実施された。この大会は、車型の共通仕様のロボットに対して、参加者のプログラムを動かす、ソフトウェアで制御する仕組みである。そして、各参加者は、持ち時間 4 分の中で、人手や強化学習などでの調整を経て、コースを走る車を仕上げ、最速の周回ラップを競う。ハードウェアが共通仕様であり、ハードウェアに対する調整が不要なため、遠隔で実施することができた大会である。各チームがロボットを作り込んでいる場合、選手がロボットに触って調整する必要がある。技能五輪移動式ロボット職種 (2020 年 11 月、無観客試合で開催予定) [7] は 1 チーム 2 名という人数制限があるため、三密を避けることで開催する予定である。しかし、人数制限のない大会では会場での三密を避けることができないため、各チームが自分の研究室で協議を行い、それを中継することで大会として扱う。ミニ四駆 AI 大会 (2020 年 9 月実施、中継) [8] や International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)2020 Open Cloud Robot Table Organization Challenge (2020 年 10 月、中継) [9] などである。国際大会は、国外の選手が開催国に入国する必要があるが、2020 年 10 月現在、日本では入国者には少なくとも 2 週間の隔離を必要とするため、実質、国外の選手が日本の国際大会に参加することができない。一方で、IROS のように各チームを中継で結んで競技することも可能であるが、選手やロボットの動きを全て把握することができず、不正が行われる危険性がある。また、競技直前にチームへ通知するサプライズ

*連絡先：龍谷大学先端理工学部電子情報通信課程
〒520-2194 滋賀県大津市瀬田大江町横谷 1-5
E-mail: wataru@rins.ryukoku.ac.jp

の部品を扱うことも難しい。

本研究では、そのような条件下において自律移動ロボットの実機競技の実現性について検討する。具体的には、RoboCup Logistics League[10, 16, 17]を対象とする。この競技大会では、移動式ロボットの部分は全チーム共通であるが、物を掴むためのハンドやグリッパ部分は各チームが作る必要があり、それに関連するセンサー類もチーム毎に異なる。ロボットシステムの土台部分は各チーム統一されているが、上に載っている物がチーム毎に異なるため、ハードウェアが共通の競技と個別の協議の両方の特徴を持つ。遠隔操作に関連する対象としては、選手、審判、そして運営の3者になるため、それらの組み合わせにより、開催に必要な項目を検討する。

本節では、本研究で対象とする競技大会である RoboCup Logistics League (RCLL) について説明する。RCLL は工場のオートメーション化を想定した自動搬送車のプランニングを主とした競技である。作成する製品を構成する要素としてワークを用い、ベース、リング、キャップの3つの素材で構成される。それぞれ色が数種類あり、製品のオプションによってリングの数が変わる。現在は0個から2個までの注文が用意されている。それらを加工する機器としてフェスト社製の Modular Production Systemt (MPS) を用いる。MPS は、モジュラー単位で装置を組み付けることができるシステムになっており、工場のラインと加工機器を想定して装置が組み付けられている。MPS は5種類あり、いくつか同じ種類のMPS が配置されているが、作業対象が異なるため、同一のMPS は存在しない。いずれのMPS にも、素材や製品を扱うためのベルトコンベアが中央に置かれており、MPS の種類によって、ベルトコンベアを経由してロボットからワークを受け取ったり、加工したりし、その作業結果のワークを再度ベルトコンベアに置いて、ロボットがそれを受け取るという仕組みになっている。RCLL では、移動部は各チーム共通で、例えばモーターの種類を変更するなどの手を加えることは許されていないが、センサーの追加やワークを掴むためのグリッパの追加は各チームに任されている。

2020年現在のルールではフィールドは14m × 8mの広さで、試合の開始時に各チームに対して7台、計14台の Modular Production Systemt (MPS) を配置する。工場のラインが頻繁に変わることを想定しており、MPS の配置は試合ごとにランダムに決定される。これらのMPS を区別するために側面にマーカーが付けられている。探索フェーズでは、頻繁な段取り替えへの対応を課題としており、ロボットにMPS の場所や書類の情報は伝えられておらず、それを調べることで得点となる。ロボットはマーカーを見ることでどの場所のどの向きにどの種類のMPS が置かれているかを把握して、審判のプログラムに伝える。

審判のプログラム (RefBox) は、各チームのロボットに対して競技に必要な注文情報などを伝え、ロボットは自分の位置情報などをビーコンとして返信する。これらの通信には ProtoBuff[11] を利用しており、RefBox から両チームに配信する情報は平文で送るが、チームから送信する情報は相手チームに見られると困るため各チームに配布した鍵情報で暗号化して送る。MPS の制御も RefBox の仕事であり、ロボットから「ワークを置いた」とか「黒色のベースを提出して欲しい」といった要求を受け取り、MPS にその指示を出す中継器の仕事も行う。また、ロボットが指示を間違えたときや、定期的なタイミングでMPS は利用休止状態になるが、その指示も RefBox が扱う。なお、RefBox とロボット間の通信には、ProtoBuff を用い、RefBox とMPS 間の通信には OPCUA のプロトコルが使われている。

このように Logistics League は、ハードウェアの作成から通信プロトコルの利用、そしてソフトウェアの作成と幅広い技術が求められる。それゆえ、新規参入が難しく、参加チーム数少ない。そのため、Logistics League の技術を要素に分解し、それぞれを競うことで、新規チームの参入を促す競技が提案されている。これを Technical Entry Challenge (TEC) と呼ぶ。TEC では、要素技術として5つのスキルに分解し、それぞれに対して3通りの難易度を設定している (表1参照)。5つのスキルは、1) 移動 (Driving)、2) 位置 (Positioning)、3) 認識 (Detecting)、4) 把持 (Gripping)、5) 通信 (Communication) となっている。各チーム、競技開始前にスキルを選択し、挑戦する。成功したスキルは、選べなくなるが、失敗したときは再度挑戦することができる。

2020年9月に龍谷大学で実施した RoboCup Japan Open 2020 Logistics League [14] は、このTECを扱っている。若年者ものづくり競技大会に Robotino で参加していた3高校4チームが初参加し、龍谷大学の BabyTigers-R[15] と合わせて5チームで技術を競った。

2 遠隔対応

まず、遠隔で実施するにあたり会場である龍谷大学と各参加チームとをインターネット経由でつなぐ必要がある。ネットワークの接続図を図1に示す。ロボットシステムそのものの組み立てを含むハードウェアの調整や、会場のネットワークへの接続に関しては会場での人手が必要となる。それらの作業を会場にいる運営スタッフが代行することで、無選手試合を実現する。各チームと大会会場とをインターネットでつなぎ、ビデオ会議などを利用して選手が会場スタッフに指示を出し、会場での調整を行う方法である。

表 1: RoboCup Logistics League Technical Entry Challenge の課題 [13]

Level	Points	Topics				
		Driving	Positioning	Detecting	Gripping	Communication
3	50	Nbr 13	Nbr 23	Nbr 33	Nbr 43	Nbr 53
2	30	Nbr 12	Nbr 22	Nbr 32	Nbr 42	Nbr 52
1	10	Nbr 11	Nbr 21	Nbr 31	Nbr 41	Nbr 51

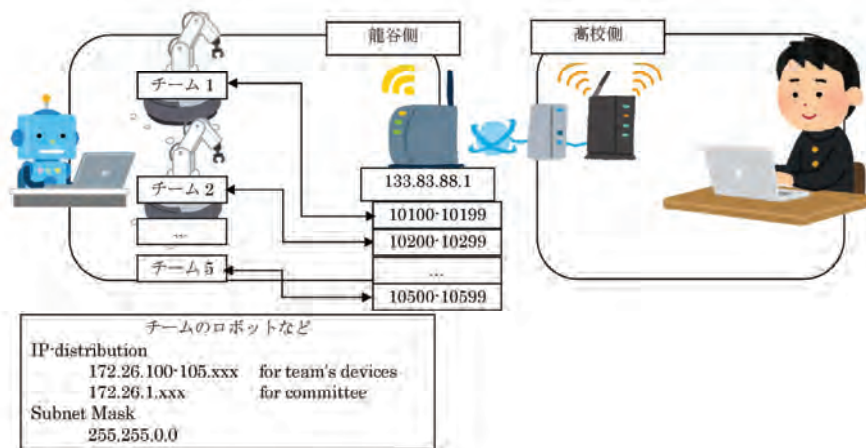


図 1: 大会会場と各チームとの間のネットワーク接続イメージ図

なお、所属する高校（県）によるインターネット利用ポリシーもそれぞれ異なり、ソフトウェアの制限や使えるネットワークプロトコルやポートの制限もバラバラで、それらに対する解除申請も一律に進める事ができなかった。

オンライン化で考慮すべきことは、選手・運営・審判のそれぞれの視点で考える必要があるが、実際はそれぞれの2組間（もしくは3組間）でのやり取りが主となる。それらの項目を表2に示す。

また、2020年9月に実施した大会では、会場のフィールド周囲に8つのカメラを設置し、オンライン会議システムであるzoomにそれぞれのカメラを接続した2. 選手も同様にzoomに接続し、話者を選択する形でカメラのつながっているパソコンを選ぶことで見たい視点を選べるようにした。今後はVirtual Reality (VR) を利用し、選手があたかも会場にいるように周囲を見渡せるようにすることで、調整が行いやすくなると考えられる。移動式ロボットにVR用のカメラを設置することで、会場内を自由に移動する方法も可能であると考えられる。

3 まとめ

ロボット技術は特に工業の分野において発展しているが、それぞれの分野に特化しているため、技術を客



図 2: 競技フィールドの周囲にカメラを設置し、オンライン会議システムに接続。競技者はカメラのアカウントを選択することで画面を大きくすることが可能。

観的に測ることが難しくなっている。そのため、工業分野で必要とされる標準的な技術を盛り込んだ課題を用意することにより、各技術の相対的な比較ができるようになる。この先の技術目標を見据えることができるようになる。このように世界的なロボット技術のデファクト・スタンダードが必要とされている中で、我が国発の目標設定に基づいた技術の競争の場（大会）を設定することによりデファクト・スタンダード化を推進するプロジェクトが進んでいる。一方で、COVID-19の世界的な流行によって、ロボットを始めとする競技

表 2: オンライン大会の視点での選手・運営・審判の相互関係

■ 選手-運営間のやり取り（選手から運営への要求事項）

- ハードウェア（ロボットやセンサ、取り付け機器）の調整
 - － 自由に操作できるカメラ（現在は現地スタッフが手足や目となって対応）
 - － センサの感度、取り付け位置、ロボット設置位置、ケーブルなどの調整
 - － ハードを触ることによる調整
- 現地の状況の確認
 - － センサのノイズ源の確認
 - － ロボットとフィールド上の物体との位置関係の確認（あとちょっと右 など）
- ネットワーク（不調）への対応
 - － 無線 LAN が途切れてロボットと通信できない（他チームの影響）
 - － テレビ電話における快適な通話（ノートパソコンのマイクにノイズが乗る）
 - － 遠隔操縦の方法（ロボットに直接ログイン、zoom などの遠隔操作機能の利用）

■ 選手-審判官のやり取り（審判から選手への要求事項）

- 非公開の課題の扱い
 - － ランダム配置やサプライズ情報を選手に見せない方法
 - － 選手が不正をしないことを確認する方法
- 制限時間の必要性（選手ではなく運営が作業をするため）

■ 運営-審判官のやり取り

- 両者ともに現地にいるため従来と変わらない。ただし、課題が見つかる可能性はある。

大会は軒並み中止になったり延期になったりしている。各チームでロボットを動かして、それを中継することで競技を行う大会もあるが、公平性の担保が難しい。このような COVID-19 の影響下において、実機ロボットの大会を開催するために、無選手試合を行った。ロボットを会場に送り、選手は会場の運営スタッフとやりとりして遠隔から参加することで、公平性を確保したロボット競技大会となる。しかし、選手が遠隔で参加するため、今までの大会と同等の質を保証することは大変難しい。これに対して、選手、運営、審判のそれぞれの立場で今までの大会と同じ質を保証する工夫が必要である。それらの組み合わせを元に、必要となる要素を検討した。

これからのニューコロナの世界では、実機ロボットの大会は実際に行うにしても会場では実施できないため、各研究室でロボットを動かしてライブ配信（動画配信）するなどの方法になっていくと考えられる。会場で実機を動かしながら大会を実施するためにも、本研究の要素項目が重要となる。もしコロナが収束しても、海外の会場に選手全員で移動しなくても参加できる方法となるため、需要のあるロボットの大会の実施方法になると考えられる。

参考文献

- [1] Joe Falco, Kenneth Kimble, Karl Van Wyk, Elena Messina, Yu Sun, Mizuho Shibata, Wataru Uemura, and Yasuyoshi Yokokohji. “Benchmarking Protocols for Evaluating Small Parts Robotic Assembly Systems”. *IEEE Robotics and Automation Letters*, Vol. 5, pp. 883–889, (2020).
- [2] Yasuyoshi Yokokohji, Yoshihiro Kawai, Mizuho Shibata, Yasumichi Aiyama, Shinya Kotosaka, Wataru Uemura, Akio Noda, Hiroki Dobashi, Takeshi Sakaguchi, and Kazuhito Yokoi. “Assembly Challenge: a robot competition of the Industrial Robotics Category, World Robot Summit – summary of the pre-competition in 2018”. *Advanced Robotics*, Vol. 33, pp. 876–899, (2019).
- [3] ロボカップ日本委員会ニュース, “RoboCup2020 Bordeaux (ロボカップ世界大会ボルドー) は 1 年延期されます”, <http://www.robocup.or.jp/news/entry-133.html>, (2020 年 11 月 09 日 閲覧)
- [4] 厚生労働省報道発表資料, “第 15 回「若年者ものづくり競技大会」の開催を中止します”,

- https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_10848.html,
(2020年11月09日閲覧)
- [5] 経済産業省ニュースリリース,
“World Robot Summit 2020 (ワールドロボット
サミット 2020) の開催を延期します”,
<https://www.meti.go.jp/press/2020/04/20200417001/20200417001.html>,
(2020年11月09日閲覧)
- [6] aws, “AWS DeepRacer フィジカルリモートレース”,
https://pages.awscloud.com/DeepRacerPhysicalRemoteRace_01.LandingPage.html,
(2020年11月09日閲覧)
- [7] 厚生労働省報道発表資料, “「第58回技能五輪全国大会」と「第40回全国アビリンピック (全国障害者技能競技大会)」を無観客で11月に開催します”,
https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_13026.html,
(2020年11月09日閲覧)
- [8] ミニ四駆 AI 大会, “ミニ四駆 AI 大会 in FSS2020”,
<https://sites.google.com/site/ai4wdcar/home/taikai/fss2020?authuser=0>,
(2020年11月09日閲覧)
- [9] International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), “Robotic Grasping and Manipulation Competition”,
https://rpal.cse.usf.edu/competition_iros2020/,
(2020年11月09日閲覧)
- [10] RoboCup Logistics League,
<https://ll.robocup.org/home/>,
(2020年11月09日閲覧)
- [11] RoboCup Logistics League, Referee Box
<http://www.robocup-logistics.org/refbox> (2020年11月09日閲覧)
- [12] Tim Niemueller, “Referee Box for the RoboCup Logistics League Integration Manual 2014”,
<http://www.robocup-logistics.org/refbox/llsf-refbox-manual-2015.pdf?attredirects=0&d=1>
(2020年11月09日閲覧)
- [13] “Technical Entry Challenge”,
<https://vega.elec.ryukoku.ac.jp/trac/wiki/robocupLogisticsLeague/JapanOpen2020/rulebook>
(2020年11月09日閲覧)
- [14] “ロボカップ“無観客・無選手” 龍谷大でロジスティクスリーグ”, 日刊工業新聞 (2020/9/18
05:00),
<https://www.nikkan.co.jp/articles/view/571675>
(2020年11月09日閲覧)
- [15] BabyTigers - R,
<https://vega.elec.ryukoku.ac.jp/trac/wiki/BabyTigers-R>
(2020年11月09日閲覧)
- [16] 植村 渉, “RoboCup Logistics League におけるフィールド内の障害物検知に関する一考察”, 人工知能学会第54回SIG-Challenge研究会, pp. 28-30, (2020).
- [17] 山北善輝, 辻和輝, 植村渉. “RoboCup Logistics League 用通信プログラムを搭載した組込機器の作成と評価”. 人工知能学会第53回SIG-Challenge研究会, pp. 14-17, (2019).