

ものづくり分野での競技大会

— Industrie 4.0 を目指して —

植村 渉
Wataru UEMURA

理工学部電子情報学科 講師
Associate Professor, Department of Electronics and Informatics



はじめに

ディープラーニングの研究によって人工知能が注目を浴び、人間の仕事がロボットに取って代わられるという危機感が世の中に起こり始めている。少しあおり気味なブームのように思えるが、一方で、実際に人工知能が日常生活に入り込んできているのも事実である。また、人工知能はソフトウェア面での技術であるが、ハードウェア面に対応するロボットの技術も発展しており、工場のオートメーション化はドイツの国策 Industrie 4.0 として有名である。著者は、2015年8-9月と、2016年3月にドイツに短期研究員で滞在し、工場のオートメーション化 (Factory Automation: FA) の研究に関わった。そして、2016年は名古屋で開催された RoboCup 世界大会の RoboCup Industrial の現地実行委員長を務め、現在も、RoboCup Logistics League の組織委員を担当している。また、若年者ものづくり競技大会のロボットソフト組み込み職種や技能五輪全国大会の移動式ロボットの運営委員を担当しており、2020年の東京オリンピックに合わせて開催されるロボット版オリンピックである World Robot Summit のものづくり分野の委員を担当している。これらの経験、立場を通して、現在のものづくり分野におけるロボ

ット競技を紹介すると共に、これからの世界について論じたいと思う。

Amazon Robotics Challenge

工場におけるオートメーション化では、大きく分けて2つの自動化が考えられる。製品を部品から組み立てるための加工工程と、その部品や仕上がった製品を必要な所に運搬する配送工程である。前者は産業用のアームロボットの制御が主体であり、World Robot Summit のものづくり分野の競技課題として扱っている。後者は工場内での搬送ロボットのプランニングが研究の主体である。また、このような搬送ロボットを automated guided vehicle (AGV) と呼び、例えばアマゾンの在庫センターで棚を運搬するロボットが挙げられる。なお、アマゾンの在庫センターのロボットは、RoboCup 小型リーグから生まれたベンチャー企業である Kiva System が元となっている。そして、そのロボットが運んできた棚から商品を取り出して荷物に詰め込む作業は、現在人手で行っているが、次はこの部分が自動化される予定であり、Amazon Robotics Challenge (ARC) という形で競技化されている。2017年12月時点にて、ARC の終了が競技関係者のメーリングリストにてアナウンスされた。Amazon として

は、もう研究や競技の対象ではなく、実用化の段階に入ったということなのかもしれない。今後の動向に注目する必要がある。

RoboCup Industrial

RoboCup Logistics League

RoboCup には、ものづくり分野を扱うリーグとして RoboCup Industrial があり、RoboCup Logistics League と @Work の2つの競技がある。Logistics League は、工場のオートメーション化を想定した自律移動ロボットの競技である。ドイツのフェスト社製の全方位移動型ロボットである Robotino を用いて、工場の搬送問題を解決する競技である（図1）。

工場のラインは、以前は大量消費の時代であったため、一つの商品をいかに低コストで素早く作るかがポイントであった。しかし、この観点は中国を始め人件費の安いアジア圏に生産現場が移ったために、日本の工場では太刀打ちできなくなっている。この先は、多品種少量生産のラインが必要となり、例えば一つのラインで複数の種類の製品を作ることが要求される。さらには、品種が変わってもラインを止めることなく対応できる事が求められ、究極としては一品物の製品を作るラインが考えられる。

複数の種類の生産を作るには、その生産物に応じ



図1 Logistics League では、変種変量の製品を作るため、移動式ロボットが素材となるワークを加工するマシン（MPS）の元へ運ぶ。

た部品の供給が必要となり、また、それに応じた加工機器が必要となる。Logistics league は、まさにこの内容を競技にしたものであり、様々な種類の製品のオーダーに対して、どの部品を用意し、どの加工機器を使ってどの順番で加工するのかを考える競技になっている。通常、この種のロボット競技は、ロボットの台数が多い方が有利になることが多い。例えばサッカーでは、退場した選手が多いチームが不利になるのは容易に想像できるだろう。ただ、AIBO でサッカーをしていたころは、フィールド上に相手チームの選手が0人（0匹?）になっても、ボールを見つけられずにいたこともある（図2）。一方、Logistics League ではマルチエージェントシステムであるが故に、ロボットの台数が増えると複雑さが増すという問題がある。1台のロボットを使って製品を作るのであれば、オーダーを順番に処理するしか方法がなく、また、その製品を作るために必要な処理を順番の一つずつこなすだけである。しかし複数のロボットが協調して動作する場合、どこのタスクを別のロボットに担当してもらうのが良いのかを考える必要がある。ここで、一つの製品を作るために必要なタスクが、逐次的ではなく並列的な部分があり、さらにタスク間の依存関係があるため、話がややこしくなる。並列部分を他のロボットに割り当てれば良いのかというと単純にそうはいかず、そのタスクで必要となる加工機械が処理する時間や、加工機械間を動き回る時間（距離に依



図2 ペット型ロボットである AIBO を使ってサッカーを行う RoboCup 四足リーグ。

存)によって、自分でやった方が早い場合もあるし、相手に任せた方が良い場合もある。いろいろなパターンを考慮するよりも、全部自分でやる(=シングルエージェント)方が難易度が低いという残念な状況になる。なお、同様の問題は並列コンピュータの分野でも起こりえる。

現在、Logistics League は、ドイツのアーヘン工科大学の Carologistics チームが3年連続して優勝している。これは、2014年にルールが変更され、上記のプランニングに加え、加工機器へのアプローチやワークの受け渡しが必要となったため、ソフトウェアだけでなくハードウェアの開発が必要となり、ほとんどのチームが脱落してしまったからである。Carologistics は、新規参入を促すために自チームのソースコードを公開している。また、Fawkes というミドルウェアを用いており、ロボット開発を容易なものにしようと努力している。ただし、ロボット制御すべてを扱っているため、Fawkes の全貌を理解するのは大変困難である。私が2016年3月に1ヶ月間研究員として滞在したときも、そのFawkes の理解・習得を目指したが時間が足りず、残念ながら途中で研究員の期間が終わってしまった。

RoboCup Industrial-@Work

RoboCup Industrial には2つの競技があり、Logistics League に加え@Work がある。こちらはドイツの Kuka 社製の移動式アームロボットを用いて、フィールド上に配置された部品を指定されたとおり集めてくる競技である。一品物の製品を作るには、それに応じた部品を準備する必要があるため、その部分を競技にした形である(図3)。RoboCup Industrial では、将来的にはこれら2つの競技が関連するように Crossover チャレンジを実施している。@Work で集めたパーツを Logistics League のロボットが受け取り、加工機械へと持って行き、製品を仕上げるイメージである。



図3 RoboCup @Work では、オーダーに応じてロボットが必要なパーツを集めてくる競技である。

RoboCup JapanOpen

RoboCup 世界大会は、1996年に日本での開催を始めとし、世界各国で毎年開催されている。2017年は再び日本に帰ってきて、7月下旬に名古屋で開催した。来年はカナダモントリオールで開催予定である。

また、各国でも大会を開催しており、日本では例年ゴールデンウィークの5月上旬にジャパンオープンを開催している。これは国内大会ではなく世界に対してオープンにしているため、外国からの参加も多い。ジャパンオープンには、中国・台湾・韓国・タイなどの近隣諸国からの参加が多い。同様のオープン大会は、他にはドイツで開催されるジャーマンオープンや、イランオープン、シンガポールオープンあたりが毎年開催しており、それ以外には、ロシアオープンやポルトガルオープンなどもある。

RoboCup GermanOpen

Logistics League は、ドイツのフエスト社の製品を使っている関係で、ジャーマンオープンが世界大会のプレ大会的な位置づけになり、新しいルールの確認が行われる。そのため、龍谷大学のチームである BabyTigers-R も、過去に2回、ジャーマンオープンに参加している。

RoboCup Asia Pacific 大会

世界大会は規模が大きくなりすぎたため、新しい競技を追加する余裕がなくなっている。そこで、世界大会と各国で開催しているオープン大会の中間的な位置づけとして、RoboCup Asia Pacific 大会が提案された。

名前の通りアジア・太平洋圏内の各国で実施する大会であり、第1回目はタイ・バンコクで開催される予定である。もちろん、世界大会やオープン大会と同様、この大会も参加可能国に制限はない。2018年にイランで実施し、2020年は日本で実施する予定である。同年に後述する World Robot Summit も同時期に行う予定で、2020年はオリンピックと合わせて、日本は世界的な大会が目白押しとなる。競技会に合わせて、ロボットの技術の飛躍が楽しみである。

技能五輪—若年者ものづくり競技大会

メカトロニクス職種

Logistics League の加工機械は、現在はフェスト社製の Module Production System (MPS) を利用している。この機器は技能五輪のメカトロニクス職種でも利用されている。名前の通りモジュール化されたシステムになっており、すべての MPS を同じ手順で制御できる仕組みになっている。そして、MPS を複数連結することができ、MPS 上のベルトコンベアを介して製品が流れるため、MPS の順番に入れ替えが簡単に実現できる。フェスト社ではバルブなどのパーツも生産・販売しているが、実際のフェスト社のバルブ生産工場において、この MPS と同じ仕組みの加工機械が導入されている。それ故、作業者は MPS で使い方を習得すれば、実際の工場の加工機械を簡単に扱うことができるようになる。

移動式ロボット職種—ロボットソフト組み込み職種

同様に、Logistics League でワークを搬送するロボットである Robotino は、若年者ものづくり競技大会のロボットソフト組み込み職種と、技能五輪の

移動式ロボット職種の競技でも使われている。この2つの競技は、類似した競技となっており、参加できる対象者の条件が異なる。

以前は、共通のロボットとして Robotino を用いていたが、現在はロボット自身も自作することになっている。これは技能五輪の移動式ロボット職種の世界大会が、そのような方針に変更したため、国内大会と若年者の大会もそれに追従して変更した。

World Robot Summit

ものづくり分野—組み立て競技

一方、2020年のロボット世界大会実施を目指している World Robot Summit のものづくり分野では、工場における製品組み上げを課題とした競技を行う。現在の加工工場では、例えば iPhone の組み上げを全自動で行うと言ったように、細かな機械の組み上げができるようになってきているが、それらは専用の機器・工具を用いて実現している。その場合、組み上げ対象の製品が変わると、加工機械を入れ替える必要があり、その都度技術者が調整を行う必要がある。

少量多品種のものづくりを行うには、機器の入れ替えに時間がかかるとラインを止める時間が長くなり、コストが高くなる。そのため、いかに短時間で入れ替えて、次の製品に対応できるかが重要である。World Robot Summit のものづくり分野では、自動車の自動運転のレベルと同様に、工場の生産ロボットの対応度にレベルを設けて、将来的な目標を見据えている。現状では、一つの品種にのみ対応していて、機器の使い回しができない（レベル1）。そこから、入れ替え時間を短くし、機器の使い回しができるようになり、最終的には数時間で入れ替えて、同一機器をそのまますべて使い回せるレベル5が工場のオートメーション化の将来像である。

Manufacturing Robot Competition

World Robot Summit は、2020年の世界大会、そしてその前段階として2018年の東京大会の開催を

予定している。それに先立ち、ものづくり分野では、2017年にロボットの国際会議である International Robotics Symposium (IROS 2017) において開催された 2nd Manufacturing Robot Competition の競技として、ギアユニット課題を扱った。この Manufacturing Robot Competition では、午前に manupuration の競技を行い、午後に Service の競技を行った。そして、午前の manupuration として、アメリカの国立標準化研究所 (National Institute Standard Technology: NIST) が扱う競技と私たち World Robot Summit が扱う競技の2つの競技を行った。

タスクボード

NIST の競技は、はめ込みを主とした部品をボードに設置して、そのボードに対して競技を行ったため、タスクボードと呼んでいる。家電製品の組み立てに必要な要素を競う標準的なタスクとなっており、コネクタのはめ込みやナットの締め付け、ギアの設置、そして、ネジ締めなどを行う。この競技では、まず、ボードにつけられているパーツを取り外して、横の指定された場所に置くことが求められる。その次に、その置いたパーツをもう一度ボードに取り付けるというタスクである。人間が手で行うには簡単であるが、それをロボットで行う難しさを確認すると共に、工場での加工作業の無人化には必要な課題である。

ギアユニットタスク

World Robot Summit ものづくり分野の2017年の課題は、大小2つのギアを持つユニットの組み立てである。これは、3つのサブタスクに分けることができ、1) 台にシャフトを取り付ける工程、2) シャフトにギアをはめる工程、3) ナットを締める工程となっている。

ロボットの指先でナットを締め上げるにはトルクが足りないため、本大会ではスパナなどの工具を使うことを推奨した。しかし、スパナの持ち上げや持ち替えが難しく、どのチームもそこまで挑戦しなかつ

た。実際、スパナで締める動作は、アームの可動域を広くとる必要があるため、かなり難易度が高いタスクであったと思う。改めて、人間の手の自由度の高さと、制御の複雑さを確認した。

サービスタスク

午後のタスクは、手先の器用さを競うタスクであり、スプーンやフォークをトレイの中の指定された場所に置いたり、コップの中のスプーンをかき混ぜたりといった10個のタスクを競う競技である。こちらも、人間の手では簡単にできるが、柔軟性のない機械の手には難しいタスクである。

午前、午後のいずれのタスクも、ロボットアームの制御にいろいろな分野の技術を使うことを想定していた。例えば、画像認識や機械学習、強化学習、センサ値によるフィードバック制御や把持、また、ロボットアームの先端のグリップ部分の開発なども含まれる。しかし、午前の部で優勝した中国のチームは、リシンク・ロボティクス社製の Sawyer というアームの教示能力のみでタスクを完了した。

World Robot Summit 東京大会

2020年の World Robot Summit の世界大会に先駆けて、2018年10月に東京ビッグサイトにて東京大会を実施する予定である。ものづくり分野としては、2018年1月にルールを公開し、参加チームを募集し、春に参加チーム決定のアナウンスを行う予定である。

東京大会では、ものづくり分野は組み立て競技として図4に示されるベルトドライブユニットを扱う。この製品は、自動改札機の切符が吸い込まれていく部分を想定したものとなっている。そのため、正しく組み上げられた製品は、電源を実際につなぐと動くはずである。

このユニットを組み上げるには、M3のサイズのネジを締め上げる必要がある。これは人間の手で作業しても、結構難しい作業であるが、それをロボッ

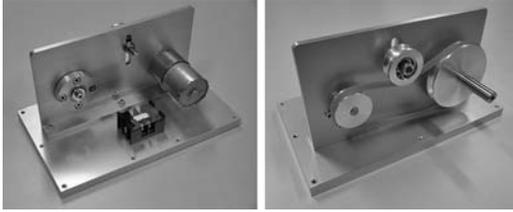


図4 2018 東京大会の製品組立チャレンジでの対象製品となるベルトドライブユニットの概観（ベースプレートのサイズは $200\text{ mm} \times 120\text{ mm}$ を予定）（ベルトドライブユニットは今後設計変更される場合があります）

トにさせようというチャレンジである。

World Robot Summit 世界大会

World Robot Summit の世界大会は、東京オリンピックと同じ2020年に愛知で開催される。なお、災害インフラ関係の一部競技は福島で別時期に開催予定である。ものづくり分野に関しては、2018年の東京大会で参加者のレベルを確認してから、2020年の課題を扱う予定であるため、現段階では詳細は

決まっていない。当然ながら、2018年の大会よりも難しいものになる。

おわりに

現在私が担当しているものづくり関係のロボット競技大会について、紹介をした。いずれも、変種変量の生産を目指しており、今までの固定的な生産設備ではなく、随時変化する設備を目指していることがわかる。この先、Industrie 4.0として、工場内の様子が大きく変わることになる。ただ、Industrie 4.0という新しい技術が存在する訳でなく、既存の技術の組み合わせで、新しい製造方法を生み出していくことになる。そして、いずれのロボット競技も、そのような新しい工場現場を想定した競技となっており、今後の技術発展につながることを期待されている。

謝辞

本稿は、2015年度短期海外研究員の研究成果である。