

当財団では、産・学・官のネットワークづくりと情報交換の場を提供することを目的として、社会、経済から最新技術に至る幅広い分野の中から、時宜にかなったテーマを選定し、中部社研フォーラムを開催しております。

本レポートは、第289回（2017年9月27日）での講演「ロボットと人工知能の最新技術およびロボカップ2017名古屋世界大会プロジェクト」を元に、講演者の愛知県立大学情報科学部教授、同大学次世代ロボット研究所副所長 小林邦和氏にその概要を執筆いただいたものです。

ロボットと人工知能の最新技術および ロボカップ2017名古屋世界大会プロジェクト

愛知県立大学情報科学部教授

愛知県立大学次世代ロボット研究所副所長 小林 邦和



はじめに

ロボカップ（RoboCup）は、ロボット競技会という形式をもつ世界的なロボットプロジェクトである。記念すべき第1回大会は、1997年に当地名古屋で開催され、それから20年ぶりの今年（2017年）、再び名古屋で第21回大会が開催された。4日間の大会期間中、競技者は2,532名（42か国、392チーム）、一般来場者は129,615名^(※1)を集め、成功裏に終了した。本稿では、今年7月に開催されたロボカップ2017名古屋世界大会から垣間見えるロボットや人工知能の最新技術、ロボカッププロジェクトの活動内容や目指す方向性について紹介する。

ロボカップの概要

ロボカップは、1993年に浅田稔（現国立大学法人大阪大学教授）、北野宏明（現株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所代表取締役社長兼所長）、松原仁（現公立大学法人はこだて未来大学教授）という3名の日本人研究者により提唱され、人工知能とロボット工学の融合を目指すロボットプロジェクトである。本プロジェクトは、「2050

年までに、人間のワールドカップチャンピオンと対戦して勝つ、完全自律型ヒューマノイドロボットチームを開発する」という分かりやすいが、とてつもなく壮大な目標を掲げたランドマークプロジェクト^(※2)である。主な目的は、人工知能とロボット工学を融合させることで、新規の研究分野を開拓し、そこで生み出された理論や技術を社会へ還元することである。

ロボカップの歴史

ロボカップの第1回大会は、1997年、11か国38チームが名古屋に集まり開催された。それから20年ぶりに再び名古屋大会が開催され、42か国392チームが集結した。この20年間で、ロボカップは参加国が約4倍、参加チームが約10倍という成長を遂げている。また大会は参加チーム、競技参加者、一般参加者とも増加し、日本で誕生したプロジェクトであるが、現在では45か国以上の国や地域へ広がりを見せている。

表1に、第1回からこれまでの世界大会の開催地や参加チーム数の一覧を示す [RoboCup, 2017]。第1回大会は名古屋で開催されたが、当時はサッカーシミュレーションリーグ (Simulation League)、

(※1) 競技者数と一般来場者数は、ロボカップ2017名古屋世界大会実行委員会の公式発表の情報である。

(※2) 一見、壮大で夢と思えるような高い目標を掲げることで、多くの研究者の注目を集め、参加を促すことで、当該分野の研究を推進していくというプロジェクトを意味する。

小型リーグ (Small Size League; SSL)、中型リーグ (Middle Size League; MSL) の3つの競技種目のみであった。なお、第1回大会の前年(※3)に、大阪でIROS1996というロボット系国際会議の開催期間中に、プレ大会が開催されている。翌1998年のパリ大会では、サッカー標準プラットフォームリーグ (Standard Platform League; SPL) が加わった。当時の標準機は、ソニーの4足歩行型ロボットAIBOが採用されていた。2000年のメルボルン大会では、サッカーヒューマノイドリーグ (Humanoid League) が加わり、現在のロボカップサッカーの5つの競技種目が出そろった。また同大会では、サッカー以外の競技として、レ

スキューリーグ (Rescue League) やジュニアリーグ (Junior League) が開始された。さらに、2006年のブレーメン大会では、@ホーム (アットホームと発音) リーグ (@Home League)、2012年のメキシコシティ大会では、ロジスティクスリーグ (Logistics League) が加わった。

ロボカップの競技種目

現在、ロボカップは、ロボカップサッカー、ロボカップインダストリアル、ロボカップレスキュー、ロボカップ@ホーム、ロボカップジュニアという5つの競技種目から構成されている。

表1：ロボカップ世界大会の開催概要一覧

開催回数	開催年	開催地	参加国数	参加チーム数
1	1997	名古屋 (日本)	11	38
2	1998	パリ (フランス)	19	63
3	1999	ストックホルム (スウェーデン)	23	85
4	2000	メルボルン (オーストラリア)	19	110
5	2001	シアトル (アメリカ)	22	141
6	2002	福岡、釜山 (韓国)	29	197
7	2003	パドヴァ (イタリア)	35	238
8	2004	リスボン (ポルトガル)	37	345
9	2005	大阪 (日本)	36	387
10	2006	ブレーメン (ドイツ)	35	440
11	2007	アトランタ (アメリカ)	39	321
12	2008	蘇州 (中国)	35	373
13	2009	グラーツ (オーストリア)	43	407
14	2010	シンガポール	40	500
15	2011	イスタンブール (トルコ)	40	451
16	2012	メキシコシティ (メキシコ)	40	381
17	2013	アイントホーフェン (オランダ)	45	410
18	2014	ジョアンペソア (ブラジル)	45	358
19	2015	合肥 (中国)	— (非公表)	— (非公表)
20	2016	ライプチヒ (ドイツ)	40	500
21	2017	名古屋 (日本)	42	392
22	2018	モントリオール (カナダ)	— (未開催)	— (未開催)
23	2019	シドニー (オーストラリア)	— (未開催)	— (未開催)

(※3) 1996年に開催された知能ロボットと知能システムに関する国際会議 (IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems)、通称IROS2016。第1回会議は、1988年に東京で開催され、現在ではロボット系国際会議のトップ会議 (論文採択率の低いレベルの高い会議) の1つに数えられる。

ロボカップサッカー

ロボカップサッカー (RoboCup Soccer) は、複数のロボットで編成されたチームでサッカー競技を行うという、ロボカップ本来の目的達成を目指す競技である。本リーグには、シミュレーションリーグ (Simulation League)、小型リーグ (Small Size League; SSL)、中型リーグ (Middle Size League; MSL)、標準プラットフォームリーグ (Standard Platform League; SPL)、ヒューマノイドリーグ (Humanoid League) の5つの競技種目がある。

シミュレーションリーグは、実際にロボットを用いず、シミュレータ上で11対11のプレイヤー (エージェント) がサッカー競技を行うことが特徴である。ボールの移動方向が縦横の平面のみの2Dシミュレーション (写真1参照) と垂直方向にも移動可能な3Dシミュレーション (写真2参照) の2つの種目から構成されている。どちらの種目でも、人工知能技術などを用いた人間のサッカーチーム並みの戦略が見られることが魅力となっている。

また、小型リーグは、直径18cm、高さ15cm以内に収まるサイズ (両手のひらに乗る大きさ) のロボットを1チーム6台ずつ用いて競技を行う (写真3参照)。フィールドは長さ9m、幅6mの緑色カーペット、ボールはオレンジ色のゴルフボールを使用する。フィールド上方に設置された4台のカメラからの映像を処理して、ボールとロボットの位置情報を受け取り、ロボットは無線通信で自律的かつ戦略的に動作することが特徴となっている。最大の魅力は、スピードの速さとチームの連携プレーとなっている。

一方、中型リーグは、幅と奥行きが52cm、高さ80cm以内に収まるサイズのロボットを1チーム5台ずつ用いて競技を行う (写真4参照)。フィールドは長さ18m (最大)、幅12m (最大) の緑色カーペット、ボールは人間のサッカーボールと同

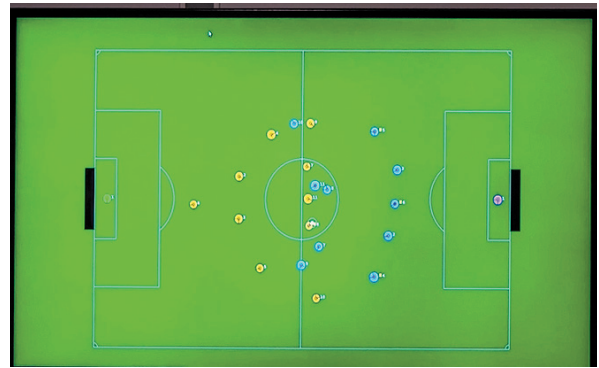


写真1：ロボカップサッカー2Dシミュレーションリーグ

(出典：ロボカップ2017名古屋世界大会Webサイト)



写真2：ロボカップサッカー3Dシミュレーションリーグ

(出典：ロボカップ2017名古屋世界大会Webサイト)

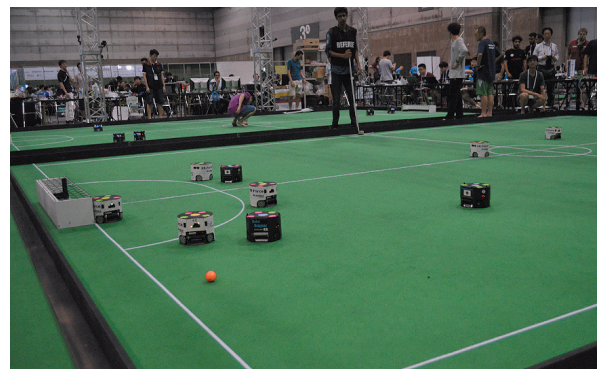


写真3：ロボカップサッカー小型リーグ

(ロボカップ2017名古屋世界大会)

じ5号球を使用している。小型リーグと異なり、カメラなどのセンサーやコンピュータをロボットに搭載し、すべての処理をロボット単体で閉じて行っていることが特徴である。

さらに、標準プラットフォームリーグでは、ソ

(※4) 2Dは2Dimension、つまり2次元の意味である。

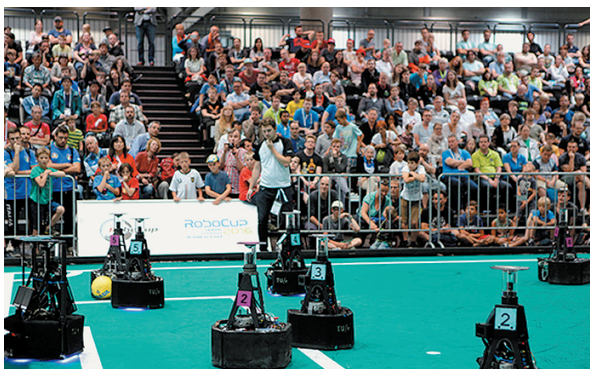


写真4：ロボカップサッカー中型リーグ
(出典：ロボカップ2017名古屋世界大会Webサイト)



写真7：ロボカップサッカーヒューマノイドリーグ（ティーンサイズ）
(出典：ロボカップ2017名古屋世界大会Webサイト)



写真5：ロボカップサッカー標準プラットフォームリーグ
(ロボカップ2017名古屋世界大会)



写真8：ロボカップサッカーヒューマノイドリーグ（アダルトサイズ）
(出典：ロボカップ2017名古屋世界大会Webサイト)



写真6：ロボカップサッカーヒューマノイドリーグ（キッドサイズ）
(出典：ロボカップ2017名古屋世界大会Webサイト)

フトバンクロボティクス社の人型ロボットNAO（ナオと発音）を標準機とし、1チーム5台ずつ用いてサッカー競技を行う（写真5参照）。標準機を用いることで、各チームはハードウェアの条件は同一となるので、人工知能を用いたソフトウェア技術のみで競う形式となる。しかしながら、標準機のNAOはサッカーに特化したロボットでは

ないので、CPUの性能や動作に限界があるので、アルゴリズムの工夫が重要となる。

最後に、ヒューマノイドリーグは自作した人型ロボットを用いて競技を行うが、サイズに応じて、キッド（身長40～90cm、1チーム4台）（写真6参照）、ティーン（身長80～140cm、1チーム3台）（写真7参照）、アダルト（身長130～180cm、1チーム1台）（写真8参照）の3つの種目がある。標準プラットフォームリーグと異なり、ハードウェアを自作できるので、高性能のカメラや画像処理ボードを搭載し、最新の人工知能技術を駆使できることが特徴となっている。

ロボカップインダストリアル

ロボカップインダストリアル（RoboCup Industrial）は、移動可能な産業用ロボットを用いて、倉庫や工場内（屋内）の環境で、物流や倉

庫管理システムを題材とした競技である。本リーグでは、インダストリー4.0^(※5)を視野に入れ、ロボットによる自動化・自律化・移動可能なロボット技術を競うことを目的としている。ロジスティクスリーグ（写真9参照）と@ワークリーグ（写真10参照）の2つの競技種目がある。

まず、ロジスティクスリーグ（Logistics League）は、多品種少量生産を行う工場で、製品を作るために複数の素材を複数の加工機械に運ぶ機能の実現を目指している。そのため、複数台のロボットが加工機械の間を動き回り、協調して効率の良い生産のプランニングとスケジューリングを実現する競技である。一方、@ワーク（アットワークと発音）リーグ（@Work League）は、スマート工場^(※6)において、ロボットアームを備えた移動ロボッ



写真9：ロボカップインダストリアル（ロジスティクスリーグ）
（出典：ロボカップ2017名古屋世界大会Webサイト）

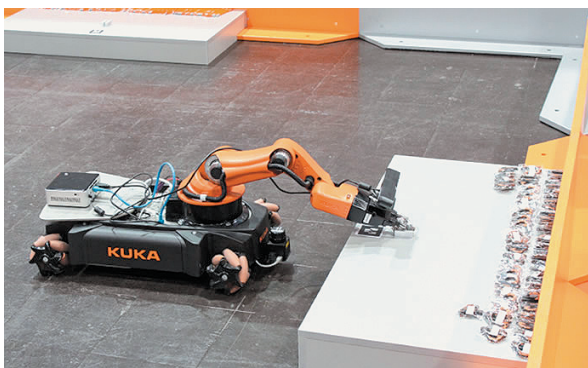


写真10：ロボカップインダストリアル（@ワークリーグ）
（出典：ロボカップ2017名古屋世界大会Webサイト）

トが人間を支援することを目指している。そのため、車輪などの移動機構を備えたロボットアームが部品を検知して回収し、目的地へ運搬することを実現する競技である。

ロボカップレスキュー

ロボカップレスキュー（RoboCup Rescue）は、地震などの大規模災害を想定し、戦略を練って計画的に救助活動を行う競技である。元々は、1995年の阪神大震災を発端にして開始された。本リーグでは、ロボットが自律的に情報収集を行いながられきや障害物を乗り越え、救助活動を行うレスキューロボットリーグ（Rescue Robot League）（写真11参照）と、コンピュータ画面上で刻一刻と進行する災害地域において、複数の自律ロボットのチームワークによる救助活動をシミュレータ上で行うレスキューシミュレーションリーグ（Rescue Simulation League）（写真12参照）の2つの競技種目がある。

まず、レスキューロボットリーグは、災害現場を想定したフィールド内に複数配置された被災者をロボットが探索して発見や救命活動を行う競技である。一方、レスキューシミュレーションリーグは、コンピュータ内に仮想的に作成された市街地で、大規模災害が発生したことを想定し、エー

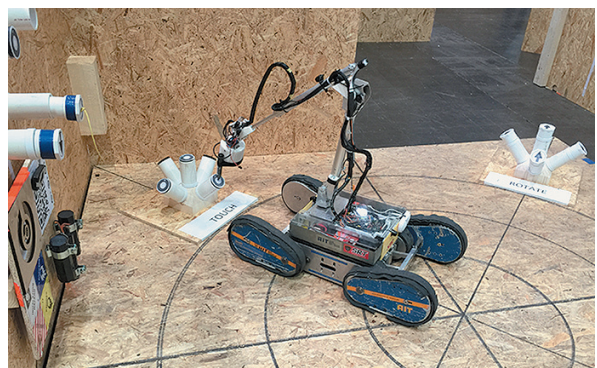


写真11：ロボカップレスキュー（ロボットリーグ）
（出典：ロボカップ2017名古屋世界大会Webサイト）

（※5）IT技術を駆使した製造業の革新を目指し、機械同士や、機械と人が連携して動くことにより、製造現場が最適化されることを目指している。元々は、ドイツで第4次産業革命を推進する官民一体型の国家プロジェクトとして始まった。

（※6）インダストリー4.0を見据え、高度な工場自動化を実現した上で、工場内の機器や設備を相互にネットワークで接続し、設備と設備、設備と人をネットワークで接続することで生産革新を実現する工場の意味である。

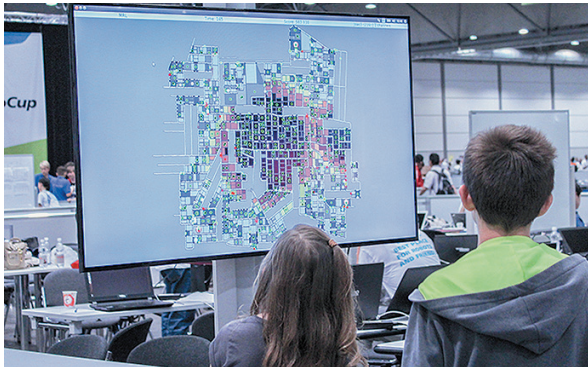


写真12: ロボカップレスキュー (シミュレーションリーグ)

(出典: ロボカップ2017名古屋世界大会Webサイト)

ジェントと呼ばれる救助隊や消防隊、道路警戒隊が、市民などの要救助者を探して救助するシミュレータ内の競技である。

ロボカップ@ホーム

ロボカップ@ホーム (RoboCup @Home) は、日常生活でのロボットの利用を想定し、リビングやキッチンなどの家庭環境において、いかに人間との暮らしに役立つ作業を遂行できるかを競う。ドアの開閉やモノの把持といったロボットアームやマニピュレーション技術が重要となる。また、人間の追尾やロボットと人の自然なコミュニケーションも重視される技術となっている。本リーグでは、自作したロボットで競うオープンプラットフォームリーグ (Open Platform League; OPL) (写真13参照)、標準機を使うリーグに大別される。後者の標準機を使うリーグは、トヨタ自動車の生活支援ロボットHSR (Human Support Robot) を用いるドメスティック標準プラットフォームリーグ (Domestic Standard Platform League; DSPL) (写真14参照) と、ソフトバンクロボティクス社の人型ロボットPepperを用いるソーシャル標準プラットフォームリーグ (Social Standard Platform League; SSPL) の2つに分かれている。従って、@ホームリーグは、OPL、DSPL、SSPLの合計3つの競技種目がある。

いずれの競技種目でも、ロボットへの指示はすべて人間の音声で行われるため、音声対話技術が



写真13: ロボカップ@ホーム (オープンプラットフォームリーグ)

(出典: ロボカップ2017名古屋世界大会Webサイト)



写真14: ロボカップ@ホーム (ドメスティック標準プラットフォームリーグ)

(出典: ロボカップ2017名古屋世界大会Webサイト)

重要となる。また環境はリビングやキッチンといった普通の部屋で、家具が設置されているため、家具を検知し、避けるように移動するといった技術も必要となる。

ロボカップジュニア

ロボカップジュニア (RoboCup Junior) は、将来のロボット技術者を育成することを主目的としているため、11歳から19歳までの競技者が参加できるリーグである。最も重視されるのは、同一チームのメンバーが助け合い、力を合わせる協同

学習の場を提供することである。本リーグでは、サッカー (Soccer) (写真15参照)、レスキュー (Rescue) (写真16参照)、オンステージ (On-Stage) (写真17参照) の3つの競技種目がある。

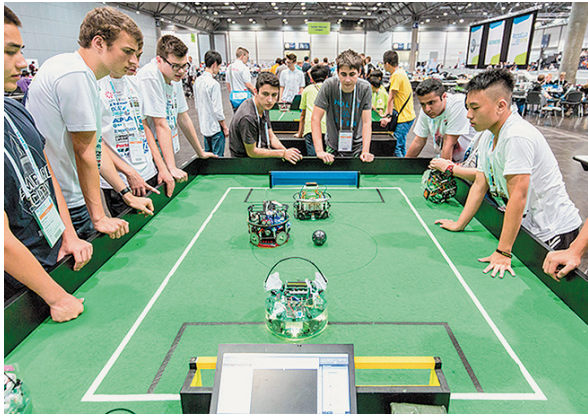


写真15：ロボカップジュニア（サッカーリーグ）
 (出典：ロボカップ2017名古屋世界大会Webサイト)

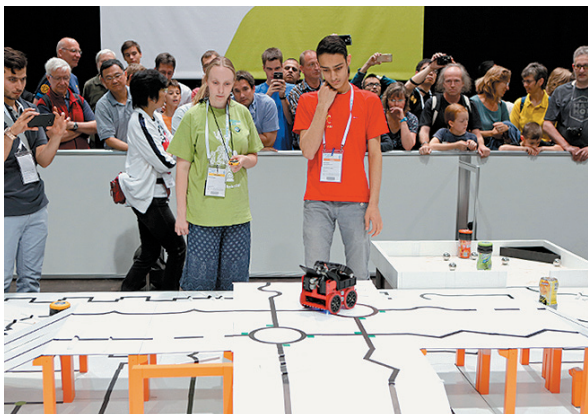


写真16：ロボカップジュニア（レスキューリーグ）
 (出典：ロボカップ2017名古屋世界大会Webサイト)

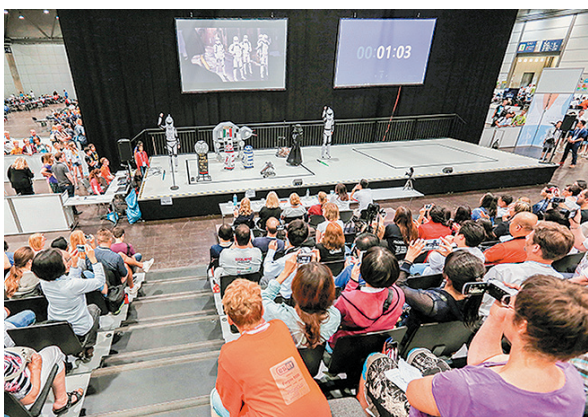


写真17：ロボカップジュニア（オンステージリーグ）
 (出典：ロボカップ2017名古屋世界大会Webサイト)

サッカーでは、各チーム2台のロボットを用い、無線通信で連携を取りながらサッカー競技を行う。またレスキューは、ロボットがさまざまな障害を乗り越えて被災者を見つけ出す競技であり、実機を使うリーグとシミュレーションリーグの2つの競技種目がある。さらに、オンステージでは、ロボットの台数や大きさにとらわれずに、ロボットのメカニズム（動作機構）の探求や、ロボットと人間のコラボレーションを目指すなど、発想力や芸術性で競うジュニアリーグ独自の競技種目である。

ロボカップ2017名古屋大会

先述の通り、今年のロボカップ世界大会は、第1回大会以来、20年ぶりに名古屋で開催された。7月25日（火）と26日（水）の両日（ジュニアは26日のみ）は、競技者によるセットアップ期間（会場の環境に合わせたロボットの調整など）、7月27日（木）から30日（日）の4日間は競技会、7月31日（月）はロボカップシンポジウム（研究論文の発表）となっている。結果的に、一般来場者が入場できる競技会の4日間で、129,615名を集客する一大イベントとなった。

第1回から今大会までの20年間で、ロボットハードウェアとロボットソフトウェアの両者とも、格段の進歩を遂げている。例えば、第1回大会では、人型ロボットを用いたリーグは存在すらしなかったが、現在ではサッカー標準プラットフォームリーグやヒューマノイドリーグといった2つのリーグが存在するまでに成長した。再掲するが、ロボカップの目標は、「2050年までに、人間のワールドカップチャンピオンと対戦して勝つ、完全自律型ヒューマノイドロボットチームを開発する」ということなので、最終的にはハードウェアは人型ロボットという形状で実施しなければならない。また人間と対戦するためには、人間に怪我を負わせないために、ハードウェアの軽量化やロボットの表面素材の研究も重要となってくる。

ロボカップの目指す方向性

先述の通り、元々ロボカップは、人工知能とロボット工学を融合させることで、新しい研究分野を開拓し、新しく生み出された理論や技術を社会へ還元することを目的として誕生した。これが意味することは、ロボットの社会導入のためには、ロボットハードウェアとロボットソフトウェアは車の両輪の関係であり、どちらかが他方に従属する関係ではないことを意味する。

本節では、ロボカップの基本要素となるロボットと人工知能の歴史から将来展望を眺めることで、ロボカップの目指す方向性について述べていく。

ロボット

ロボットという言葉の起源は、1920年にチェコの劇作家カレル・チャペックが発表した戯曲『RUR (Rossum's Universal Robots, 和訳：ロッサム万能ロボット製造会社)』にさかのぼる。また言葉の由来は、その戯曲に出てくるチェコ語のrobotaやrobotnikである。ここで、robotaは日本語で強制労働、robotnikは労働者を意味する言葉である。従って、ロボットは、元来「人間に代わって辛い仕事をしてくれるもの」という意味が込められている言葉である。

一般的に、ロボットは、産業ロボットとサービスロボットに大別される。産業ロボットの代表例は、自動車や家電から食品の製造工場で稼働するアーム型ロボットである。日本では、世界に先駆け1960年代から製造工場で導入され、ものづくり立国日本を支える屋台骨として活躍してきた。しかしながら、産業ロボットは工場など屋内での使用に限定され、作業内容についても、あらかじめ設計者が与えた（プログラムした）ことしかできないという制約がある。この作業内容を適宜変更することを目指し、アメリカのリシンク・ロボティクス社（ロボットの父と呼ばれるロドニー・ブルッ

クス (Rodney Brooks) が創業) は、2012年にバクスター (Baxter) という次世代産業ロボットを開発した。バクスターは、これまで作業内容を変更するためには、再プログラミングなど膨大な時間とコストがかかっていた点を改善した。つまり、製造会社へ再プログラミングを発注するのではなく、人間がロボットに手取り足取り教える（模倣学習）を行うことで、簡単に作業内容の変更を行うフレームワークを提供することに成功した。同時に、これまで産業ロボットは1,000万円以上の導入コストがかかっていた点も、バクスターは200万円以下という価格設定で、中小企業も導入しやすくすることが可能となった。ただし、現状では軽作業しか行えないという問題を抱えている。

一方、サービスロボットの代表例は、最大のシェアを有す掃除ロボットであろう。元々、掃除ロボットは、アメリカのアイロボット社（こちらの会社もロドニー・ブルックスが創業）が、2002年に開発したルンバ (Roomba) が先駆けとなっている。しかしながら、サービスロボットも、産業ロボットと同様、ほとんどの場合屋内での使用に限定され、作業内容についても、あらかじめ設計者が与えたことしかできないという制約がある。今後はネットワークを介したクラウドサービスと連携を行い、作業内容の適応的な変更を議論していく必要がある。特にサービスロボットに関しては、医療、清掃、警備、物流、防災、介護・福祉、家事支援など幅広い分野において、その需要が拡大してきている。しかしながら、ロボットの知能化技術と安全基準の確立、基本ソフトウェアの標準化の遅れという諸般の問題により、ロボットの導入が進んでいないという現状がある。安全基準に関しては、日本が主導した国際安全基準ISO13482が2014年2月に発行されたことにより、以前に比べて導入は容易になっている。また基本ソフトウェアに関しては、これまでメーカーごと、ロボットごとに基本ソフトウェアが異なっていたため、研

(※7) 産業用ロボットとも言う。

究開発に多大な労力とコストがかかっていた。しかしながら、近年基本ソフトウェアは、2007年にアメリカのウィロー・ガレージ社がリリースしたROS（Robot Operating System）に標準化され、開発効率が高くなってきた。一方、知能化技術に関しては、未だ技術的なブレイクスルーが起っていないのが現状である。ただ、昨今流行りの深層学習（ディープラーニング）は、そのブレイクスルーを起こす可能性を持つものと思われる。

日本をはじめとする先進国がロボット産業を推進する要因として、先進国が抱える少子高齢化という問題がある。日本では現状の出生率が改善されない場合、生産年齢人口（15歳～64歳）が、2030年に1,144万人、2050年に3,755万人も減少（いずれも2010年比）するという試算が公表されている（2012年に国立社会保障・人口問題研究所が行った調査結果）。このような試算に基づき、特に日本では、労働力を代替するものとして、ロボットにかかる期待は大きい。日本政府や愛知県もロボット産業を活性化するために、具体策を立案している。例えば、経済産業省は、ロボット分野において、2008年にアカデミックロードマップ、2010年に技術戦略マップ、2015年にはロボット新戦略という産官学が協同して、ロボット産業を活性化する政策を提言してきた。また、愛知県は2010年からあいち産業労働ビジョンの中で、ロボット産業の育成を重点政策として位置づけてきた。このような流れの中で、ロボカッププロジェクトは、20年以上も前から、少子高齢化を見据え、人工知能とロボット工学の融合による新分野の開拓を行ってきたことになるので、先見の明があったということであろう。

人工知能

人工知能分野における研究の歴史を表2にまとめる。同表より、人工知能（Artificial Intelligence）は1956年に誕生し、昨年（2016年）還暦を迎えた

比較的新しい用語であることが分かる。人工知能では、研究のアプローチとして、トップダウン型（推論型）とボトムアップ型（学習型）という2つに大別される。前者は、知識はすでにあるという立場、つまり知識を基にして新しい結論を得るアプローチである。代表例として、エキスパートシステムが挙げられる。一方、後者は、知識は新たに獲得するという立場、つまり情報から将来使えそうな知識を得るアプローチである。代表例として、ニューラルネットワークが挙げられる。以前は、この2つのアプローチは、人工知能とニューラルネットワークとして独自の道を歩んでいたが、近年統合され、ニューラルネットワークは人工知能分野の一部となっている。

近年、人工知能の分野では、深層学習（ディープラーニング）という超多層ニューラルネットワーク（ディープニューラルネットワーク）の学習法が脚光を浴びている。この深層学習は、人工知能の1つの分野である機械学習の中の一種の学習法である。ベン図^(※8)を使って表現すると、図1のようになる。この深層学習が起点となり、第3次ニューロワークブームが勃興した。この深層学習や超多層ニューラルネットワークに関しては、2人の日本人研究者が重要な貢献を行っている。1人目は、1967年に誤差逆伝播法を提案した甘利俊一で、

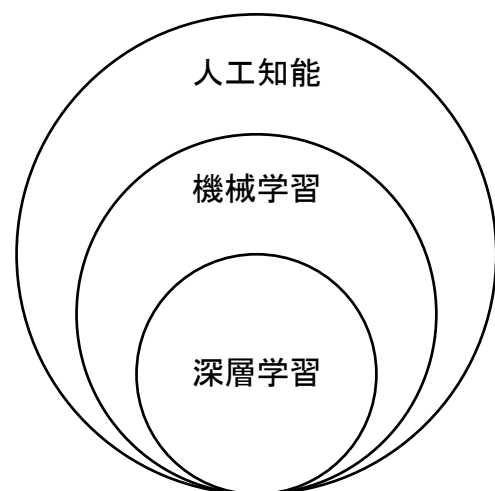


図1：人工知能、機械学習、深層学習の関係

(※8) 複数の集合の関係や集合の範囲を視覚的に分かりやすく、図式化したものである。

表2：人工知能研究の歴史（簡略版）

年代	トピック	内容
1943	形式ニューロン	W.McCullochとW.Pittsが初めてのニューロンモデルを提案
1950	チューリングテスト	A.M.Turingが知的活動のテスト方法を提案
1956	ダートマス会議	J.McCarthyがArtificial Intelligenceという言葉を用いて初めて使用
1958	パーセプトロン	F.Rosenblattが初めてニューラルネットワークモデルを提案（第1次ニューロブームの勃興）
1959	世界チャンピオン（人間）への挑戦	A.Samuelがチェッカーのプログラムを開発
1968	パーセプトロン限界説	M.MinskyとS.Papertが指摘（第1次ニューロブームの終焉）
1969	フレーム問題	J.McCarthyらが人工知能最大の難問を指摘
1974	エキスパートシステム	E.H.ShortliffeがMYCIN（医療診断システム）を開発
1986	誤差逆伝播法	D.E.Rumelhartらが3層NNの学習方法を再発見（第2次ニューロブームの勃興） ※1967年に甘利俊一が誤差逆伝播法を提案
1986	包摂アーキテクチャ	R.Brooksが行動型人工知能を提唱
1997	世界チャンピオン打破	IBMがチェスプログラムDeep Blueを開発
2006	ディープネットワーク	G.E.Hintonらが超多層NNの学習方法を提案
2012	スーパービジョン	G.E.HintonらがILSVRCコンテストで10%超（前年比）の認識精度向上を達成（第3次ニューロブームの勃興）
2012	グーグルの猫	Google X Labが大量の画像から猫の概念を獲得
2017	世界チャンピオン打破	Alpha Goが柯潔（世界トップ棋士）に3連勝 ※1979年に福島邦彦がネオコグニトロン（CNNの原型）を提案

1986年にD.E.Rumelhartらにより、3層ニューラルネットワークの学習方法として再発見されることで脚光を浴びた。2人目は、1979年にネオコグニトロンを提案した福島邦彦で、2017年に囲碁の世界ナンバーワン棋士に勝利した基盤モデル畳み込みニューラルネットワークの原型を提案したことで注目を集めた。

深層学習に基づいた人工知能技術の急速な進展により、シンギュラリティ（技術特異点）の問題（通称、2045年問題）がクローズアップされるようになってきた。このようなことにより、人工知能は、一時期欧米を中心に大変脅威を持って迎えられていた。それを如実に表す一例として、2015年2月にグローバルチャレンジ財団が公表した「人間の文明を脅かす12の脅威（12 Risks That Threaten Human Civilization）」の中で、人工

知能が人類滅亡の12のシナリオに加えられたことが挙げられる。

一方では、ジェンソン・フアン（NVIDIA社のCEO）は、2045年問題が根拠にしているムーアの法則はすでに破綻していると、2017年5月のコンピューテックス台北2017で発言している。この発言は、長年アカデミック界でささやかれてきたことであるが、大手半導体メーカーとして初めて言及したことで世界的に注目を集めた。つまり、この発言は、2045年にシンギュラリティは来ないということの意味している。またロボットの父と言われるロドニー・ブルックス（アイロボット社やリシンク・ロボティクス社の創業者、MIT教授）は、2016年10月に韓国で開催されたロボットワールド2016で、「2045年問題は過度な考えである。ロボットが人間レベルに到達するには、500

（※9）2045年にコンピュータの性能が人間の頭脳を超えるというムーアの法則に基づく予測である。提唱者はレイ・カーツワイルで、彼が2005年に著した著書「The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology」がきっかけで世界中に広まった。

年はかかるだろう」と発言している。これは現在の人工知能は、特定の定まった業務は得意であるが、すべてのことを全体的に上手くこなすことは不得手ということが根拠となっている。さらに、東ロボくんの母と呼ばれている大学共同利用機関法人情報・システム研究機構国立情報学研究所（National Institute of Informatics; NII）の新井紀子教授は、2017年6月に東京で開催された教育専門展（NEE2017）で、「シンギュラリティは来ない」と明言している。これはAIの学習能力には限界があり、特に自然言語の意味理解（読解力）は不得手だということが東ロボくんプロジェクトの失敗により明らかとなったことが根拠となっている。

今後のロボカップ

ロボカップは、20年以上の歴史を持つロボットプロジェクトである。これまでロボカップで生み出された研究成果は、さまざまな分野へ応用されている。最も成功した事例として、キバ・システム社（現アマゾン・ロボティクス社）のロボット物流システムが挙げられる。キバ・システム社の創業者の1人は、ロボカップ小型リーグで、4度の世界チャンピオンに輝いたアメリカのコーネル大学のチームを率いたラファエロ・ダンドリーア（Raffaello D'Andrea）である。今後もロボカップは、プロジェクトの存在意義を示すためにも、このような成功事例をたくさん世に出していく必要がある。

他のロボットプロジェクト

本節では、ロボカップ以外の2つのロボットプロジェクトについて紹介する。1つは世界最大規模のDARPA（Defense Advanced Research Projects Agency）プロジェクト、もう1つは日本発のワールドロボットサミット（World Robot

Summit; WRS）というプロジェクトを紹介する。

DARPAプロジェクト

本プロジェクトは、アメリカ国防高等研究計画局（Defense Advanced Research Projects Agency; DARPA）が主催し、1958年から始まった歴史あるロボットプロジェクトである。現在では、年間3,000億円の巨額の予算を使い、人工知能からロボット工学まで幅広い研究に助成を行っている世界最大規模のロボットプロジェクトである。

本プロジェクトは、アメリカ国防総省の下部組織であるDARPAが主催していることもあり、その主たる目標は軍事技術の研究開発となっている。具体的には、技術的脅威から守ることと、それを生み出すこと（Preventing and Creating Technological Surprise）を掲げたプロジェクトである。これまでの約60年間で、ARPANET（インターネットの前身）、Siri（音声認識システム）、Rumba（掃除ロボット）などさまざまな派生技術を生み出してきている。

本プロジェクトでは、日本の福島原発事故における甚大な被害を鑑み、災害救助用ロボットの研究開発に向けた活動も行っている。代表的なプロジェクトとして、DARPAロボティクスチャレンジがある。本プロジェクトは、2013年12月にアメリカのフロリダ州で16チームを集めた予選会が開催された。この予選会では、日本の株式会社SCHAFTが首位で通過したが、それに目を付けたGoogleが株式会社SCHAFTを買収したため、本大会へは不出場となった。本大会は、2015年6月にアメリカのカリフォルニア州で開催され、日本から参加した5チームを含め、全25チームが参加した。優勝は韓国科学技術院（Korea Advanced Institute of Science & Technology; KAIST）のチームKAIST、優勝賞金は200万ドルであった。残念ながら、日本チームの最高位は10位のチームAIST-NEDO（国立研究開発法人産業総合研究所

（※10）正式名称は「ロボットは東大に入れるか」で、プロジェクトの大目標として、2016年度までに大学入試センター試験にて高得点を獲得、2021年度の東京大学入学試験突破を掲げていた。

と国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の合同チーム)であった。

ワールドロボットサミットプロジェクト

本プロジェクトは、「人間とロボットが共生し協働する世界を実現する」という目標を掲げている。その実現方法として、ロボット競技会(World Robot Challenge)とロボット展示会(World Robot Expo)を実施することで、世界中のロボット関係者が一堂に会し、日々の生活、社会、産業分野でのロボットの社会実装と研究開発を加速させるという新しいロボットプロジェクトである。主催者は、経済産業省と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)である。

ロボット競技会では、以下の4つの競技種目が実施される予定である。

1. 産業ロボティクスカテゴリー (Industrial Robotics Category) (ものづくり)
2. サービスロボティクスカテゴリー (Service Robotics Category) (サービス)
3. 災害ロボティクスカテゴリー (Disaster Robotics Category) (インフラ・災害対応)
4. ジュニアカテゴリー (Junior Category) (ジュニア)

産業ロボティクスカテゴリーでは、工業製品などの組み立てに必要な技術要素を含んだモデル製品を早く正確に組み立てるといふ、製品組立チャレンジという競技がある。また、サービスロボティクスカテゴリーでは、家庭における片づけ(整理整頓、収納など)や留守番対応を対象としたパートナーロボットチャレンジ(実機リーグとシミュレーションリーグ)と店舗における食品など複数種類の商品の品出し・入れ替え、客や従業員とのインタラクション、トイレの清掃を対象としたフューチャーコンビニエンスストアチャレンジという2つの競技がある。それから、災害ロボティクスカテゴリーでは、数種のインフラ点検項目に基づく点検、メンテナンス(バルブ開閉)を対象とした

プラント災害予防チャレンジ、トンネル災害を想定した情報収集、緊急対応(人命救助、障害物排除等)を対象としたトンネル事故災害対応・復旧チャレンジ、災害予防・対応で必要となる標準性能評価(移動能力、センシング能力、情報収集能力、無線通信能力、遠隔操作性能、現場展開能力、耐久性)を対象とした災害対応標準性能評価チャレンジという3つの競技がある。さらに、ジュニアカテゴリーでは、学校環境においてニーズのありそうなタスクとそれを実現するプラットフォームロボットをプログラミングするスクールロボットチャレンジと、サービス分野と同様のタスクを設定しロボットを製作するホームロボットチャレンジという2つの競技がある。

2020年に愛知県と福島県で開催される本大会に先駆けて、プレ大会(World Robot Summit 2018)が、2018年10月17日(水)から21日(日)の間、東京ビッグサイトで開催される予定である。また本大会(World Robot Summit 2020)は、2020年10月上旬に愛知県国際展示場(2019年秋完成予定)、2020年8月中旬に福島ロボットテストフィールド(災害ロボティクスカテゴリーの一部の競技のみ)で開催される予定である。

おわりに

本稿では、世界的なロボットプロジェクトであるロボカップの概要、歴史、競技種目、今年開催されたロボカップ2017名古屋世界大会、そして今後のロボカップの方向性について述べた。愛知県は、今年のロボカップ2017名古屋世界大会を皮切りに、2020年のロボカップアジア・パシフィック大会、ワールドロボットサミットまで世界的なロボット競技会が続いていく。従って、この契機を生かし、愛知県のロボット産業のさらなる活性化につなげるように努力していく必要がある。

参考文献

RoboCup. (2017年10月30日). 参照先: RoboCup Wiki: <https://en.wikipedia.org/wiki/RoboCup>