

米国におけるロボットに関する取り組みの現状

八山 幸司
JETRO/IPA New York

1 はじめに

コンピュータの発達とともに進化してきたロボットは製造分野を中心に活用されてきたが、近年、IT 技術により人間と協調して働くロボットが登場し始めている。これまでのロボットの多くは、予めプログラムされた作業を正確に行うものというイメージであったが、最先端のセンサーを使って様々な情報を集め、人工知能によりロボットが状況を判断して自律して行動することが可能となった。このことにより、単に人間の代わりに作業を行うのではなく、人間と一緒に行動するロボットへと発展している。今号では、人々のライフスタイルを変え、社会に大きな変革をもたらそうとするロボットの最新動向を紹介する。

最初にロボット市場と経済への効果について紹介する。世界のロボットの市場は 2016 年を境に急成長すると見られ、その中でも消費者向けロボットが大きく伸びると見られている。但し、現在の米国ロボット市場を支えているのは産業ロボットが中心であり、その中で自動車分野が 6 割を占めている。また、今後ロボット分野への投資が進むことで、さらなる生産性の向上が期待されている一方、ロボットの普及による雇用の変化も予測されている。しかし技術革新は異なる分野で新たな雇用を生み出していくと見られ、将来的な雇用の変化に合わせて新しい知識や技術を学ぶための教育も必要になるとの指摘がなされている。

次にロボットの活用状況について紹介する。ものづくり分野からは協働作業が可能なロボットが注目を集めており、安価で作業内容の指示にプログラムが不要な Baxter や、精密作業が可能で高い安全性を持つ YuMi といったロボットは人間の隣で作業することが可能となっている。サービス分野ではホテル内を歩き回るロボット執事 Botlr や、人間と会話をしながら売り場まで案内する接客ロボット Oshbot といったものがある。医療分野からは Interactive Motion Technologies 社のリハビリロボットや、エボラウィルスの消毒も可能な Xenex 社の消毒ロボット Little Moe が活用されている。軍事分野では兵士の長距離行軍を可能にするウェアラブルデバイスや、自動で潜水艦の索敵と追跡を行うロボット船などが開発されている。様々な活用が期待されるドローンでは、Amazon 社がドローン配送サービスの安全性確保のために技術的な整備を進めており、CyPhy Works 社では軍事分野の技術を使って民間で活用出来るドローンの開発へとシフトしている。

ロボットの最先端研究では大学の研究機関や最先端技術について紹介する。マサチューセッツ工科大学では同大学のコンピュータ科学・人工知能研究所で多くのロボット開発が進められており、今年 5 月にも最新の 4 足歩行型ロボット Cheetah を発表した他、これまで数多くのベンチャー企業を排出している。ロボット研究で世界トップレベルのカーネギーメロン大学では、軍事や企業との共同研究を通して最新のロボット研究が進められており、特に自動運転車の開発では最先端の研究が行われている。ロボット向け最先端技術の開発に関しては、脳神経回路に近い働きをするニューロモフィック・チップや物体認識アルゴリズムについて紹介する。

最後に政府の取り組みについて紹介する。米連邦政府によるロボット分野への投資はオバマ大統領が提言した国家ロボティクス・イニシアチブを通して行われており、2016 年度も重要分野として投資が続くと見られている。国防高等研究計画局 (Defense Advanced Research Projects Agency: DARPA) が開催するロボットの競技大会は世界中から注目を集めており、2015 年 6 月に開催された「DARPA ロボティクス・チャレンジ」では災害救助ロボットの性能が競われた。ロボットの実用化に大きな影響を与える法規制に関しては、ロボットカーの走行許可で揺れる道路交通法、ドローンの商業利用に関連した航空規制、様々な電波の許可に踏み切る連邦通信委員会の対応について紹介する。

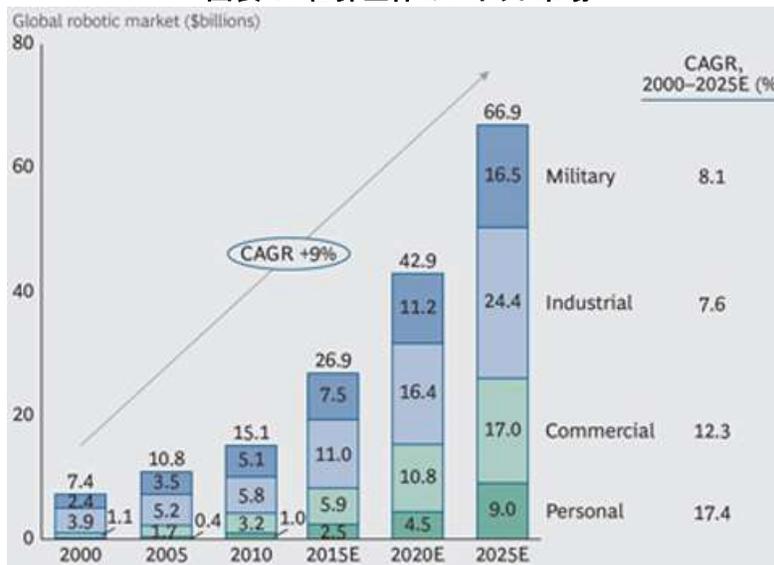
今号で紹介する最先端ロボットは大学機関の研究やそこから生まれたベンチャー企業によるものが多く、1つ1つの革新的な技術をうまく実用化につなげ、大きなイノベーション創出につながっていると言う点で目を見張るものがある。一方で、ドローンやロボットカーのように新しいビジネスに対する法規制も議論が盛んであり、ロボットに対して注目が大きいことがわかる。様々な分野でロボット社会の形成が進んでいる米国の状況を紹介したい。

2 ロボット市場の概況と経済効果

(1) ロボット市場の概況

世界のロボット市場は 2025 年まで各分野で成長が続き、その中でも消費者向けとビジネス向けロボットの市場で急成長が見込まれている。米コンサルティング企業 Boston Consulting Group 社によると、ロボット市場は 2025 年まで世界全体で 66.9 億ドルの市場規模に達し、年間 10.4%の成長率で拡大が続くと見ている。その中でも消費者向けロボットとビジネス向けロボットの市場がそれぞれ年間成長率 15.8%と 11.8%で急成長が見込まれ、2025 年には市場全体の約 4 割を占めると見られている¹。図表 1 は世界のロボット市場の成長を示したものとなっている。

図表 1: 世界全体のロボット市場



出典: Boston Consulting Group²

上記のように、消費者向けロボット市場は今後大きく拡大していくと見られているが、その要因として、家庭向けお掃除ロボット、テレプレゼンスロボット³、ホームエンターテイメント用ロボットが大きく普及すると予想されていることがある⁴。また、こうしたロボット市場の拡大が予想される背景には、スマートフォンを始めたとしたモバイル端末の普及なども影響している。モバイル端末の普及に伴い、カメラ、センサー、バッテリー、小型プロセッサといった技術が大きく発展したことにより、各パーツの価格低下が様々なロボットの製品化の

¹ https://www.bcgperspectives.com/content/articles/business_unit_strategy_innovation_rise_of_robotics/

² https://www.bcgperspectives.com/content/articles/business_unit_strategy_innovation_rise_of_robotics/

³ 自律走行が可能なテレビ会議用のロボット。オフィス内を歩きながら打ち合わせなどが出来る。

⁴ <http://www.businessinsider.com/growth-statistics-for-robots-market-2015-2>

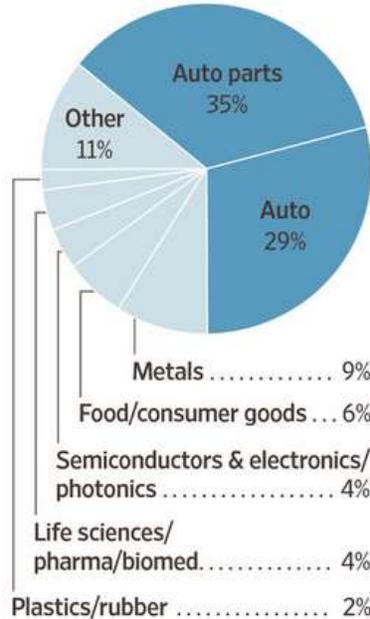
実現へとつながったわけである。また、ロボットに指示を出すインターフェースにモバイル端末を使用することで、ロボットの開発・製造コストは削減できるため、モバイル端末との連携がロボットの価格を企業や消費者が求める価格に近づけつつあるといった点も指摘できる。とはいえ、多機能で最先端のロボットの多くはまだまだ高価であり、人間に近い動作をするロボットは不気味と捉えられることが多いなど、ロボットの普及には解決すべき課題も多く残されている⁵。

a. 米国のロボット市場

米国のロボット業界団体 Robotic Industries Association によると、2014 年の北米におけるロボットの出荷台数は前年比で 28%増加の 2 万 7,685 台となっており、売上ベースでは 19%増加の 16 億ドルとなっている。現在の米国ロボット市場を支えるのは消費者向けロボットではなく産業向けロボットであり、米国でも消費者向けロボットが今後伸びていくとは間違いないと見られるものの、これまでのところは産業向けロボットの成長が顕著である。特に自動車業界からの注文が前年比 45%と急増したことが 2014 年度の米国市場を牽引しており、自動車業界以外にも、プラスチック・ゴム(25%)、半導体・エレクトロニクス(21%)、金属加工(16%)などの業界でロボット導入が進んでいる。ロボット導入の増加率を用途別に見た場合、アーク溶接やスポット溶接を行うロボットの出荷台数が 58%と 57%の増加と最も多く、続いて組み立て(16%)や運搬(11%)といった用途が続いている⁶。

図表 2 は米国における分野別のロボットの導入状況となっており、現在ロボットを活用している産業は自動車業界だけで 6 割以上を占めている⁷。

図表 2: 米国における分野別のロボットの導入状況



出典: Wall Street Journal⁸

⁵ <http://www.businessinsider.com/growth-statistics-for-robots-market-2015-2>

<http://fortune.com/2014/08/27/exoskeletons-wearable-robotics/>

⁶ http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-News/North-American-Robotics-Market-Continues-Breaking-Records-with-Strongest-Opening-Quarter-Ever/content_id/5367

⁷ <http://www.wsj.com/articles/meet-the-new-generation-of-robots-for-manufacturing-1433300884>

⁸ <http://www.wsj.com/articles/meet-the-new-generation-of-robots-for-manufacturing-1433300884>

b. ドローンの状況

最近注目を集めているドローンであるが、全米家電協会 (Consumer Electronics Association) によると、民間用ドローンは 2015 年だけで約 42 万 5,000 台が世界中で販売され、市場規模は前年比で 1.5 倍の 1 億 3,000 万ドルに到達、2018 年までには少なくとも 10 億ドル規模にまで急拡大すると考えられている⁹。特に、米国内におけるドローンの商業利用を禁止していた連邦航空局 (Federal Aviation Administration: FAA) が 2015 年 2 月、商業利用を条件付きで認めるための明確なルールを出し、ドローンの業務利用の道が開けたことが、ドローン市場の急成長を後押ししているとされている。これまではドローンを実験的にしか業務利用できなかったところ、FAA のルールが明確となったことにより、企業の間で正式に業務利用するという動きが出てきている¹⁰。現在のドローン市場では軍事分野売上の割合が圧倒的に大きいものの、民間用ドローンは 2020 年まで年間 19% の成長率で急成長が続くと見られている¹¹。

(2) ロボットの普及に伴うビジネス界の変化

ロボットの普及によって生産性向上が期待されると同時に、ビジネス界では様々な変化が生まれると見られている。ハーバード大学の調査では、1993 年から 2007 年にかけて、ロボットや IT の登場により世界全体の生産性が向上したことが明らかになっているが、その中でロボットが生産性の向上に果たした割合は 0.36% と言われている。IT の貢献は 0.6% と言われているものの IT の技術革新にはロボットの 5 倍にあたる投資が行われており、今後のロボットへの投資額が増えることによってロボットが生産性向上へ果たす役割は拡大すると期待されている¹²。

また、米調査会社 Gartner 社は、技術革新に伴う新しいビジネスの発達とライフスタイルの変化により、デジタルビジネスに関連した雇用は 2018 年までに 5 倍に増加し、従来のビジネスプロセスに必要な労働力が半分になると指摘しているが、これにはロボットも関与するとされている。例えば、冷蔵庫が保存されている食料を見て自分で食糧品を発注し、ショッピングサイトのロボットが在庫を用意し、ドローンが自動で家まで配達するといったビジネスモデルが確立されると、スーパーマーケットの店員や配達ドライバーといった雇用を減少させると分析している¹³。こうしたロボットに置き換えられる可能性がある業務分野については、University of Oxford がその研究において、ホテル業や外食産業が 87% と最も大きいとしており、続いて交通機関や倉庫内業務 (75%)、不動産業 (67%) を挙げておる¹⁴。また、米ニュースメディア USA TODAY は、経理、トラック運転手、警備員、カスタマーサービスなどを挙げている¹⁵。

なお、このイギリス University of Oxford の研究では、2035 年までに米国の雇用の約半分がロボットに置き換えられ、特に高い技術を必要としない未熟練労働者の仕事の 70% はロボットが代替するようになると分析している¹⁶。その一方で、米シンクタンク Pew Research Institute などは専門家の意見をまとめた報告書の中で、専門家の 48% が現在のビジネスモデルの中でロボットの導入により雇用が減少するものの、人間の能力を必要とする雇用が新たに生まれるとの回答を紹介している。歴史的に見ても、産業革命や技術革新が起こるたびに人間の創意工夫により新しい雇用が創出されたり、人々は技術革新に対応する形でライフスタイルを変化させており、いくつかの仕事がロボットに置き換わっても全体の雇用数は変わらないという考えも多い。とはいえ、ロボット社会における雇用の変化に順応していくためには、新しい知識や技術を学

⁹ <http://www.geekwire.com/2015/no-fad-consumer-drones-will-become-1b-global-sector-2018-economist-predicts/>

¹⁰ <http://westernfarmpress.com/miscellaneous/agriculture-farm-two-thirds-uav-drone-market>

<http://fortune.com/2015/05/18/drone-agriculture/>

¹¹ <http://www.businessinsider.com/uav-or-commercial-drone-market-forecast-2015-2>

¹² <https://hbr.org/2015/06/robots-seem-to-be-improving-productivity-not-costing-jobs>

¹³ <http://www.gartner.com/newsroom/id/2866617>

<http://mashable.com/2014/12/15/robots-take-jobs/>

¹⁴ <http://www.techtimes.com/articles/41932/20150324/robots-replace-half-jobs-20-years.htm>

¹⁵ <http://www.usatoday.com/story/news/nation/2014/10/28/low-skill-workers-face-mechanization-challenge/16392981/>

¹⁶ <http://mobile.nytimes.com/blogs/bits/2015/06/04/new-research-says-robots-are-unlikely-to-eat-our-jobs/>

んでいくことが必要であることは間違いなく、現在の教育システムを将来的な雇用の変化に合わせて変えていく必要があるといった声が出ている¹⁷。

3 ロボットの活用状況

(1) ものづくり分野

最新の産業ロボットを見ると、ものづくりの面で人と協働可能なロボットが登場している。代表例が Rethink Robotics 社で開発されているロボット Baxter であり、このロボットは 2 つのアームを使って仕分けや箱詰めといった作業を行うことができる仕組みとなっている。作業を指示する場合にも複雑なプログラミングは必要なく、Baxter のアームを手にとって動かすだけで作業手順を覚えさせることができる。頭部に取り付けられた 360 度を監視するセンサーでは、人間の接近を感知することができるほか、アームが人に当たった場合でも関節部に取り付けられた直列弾性アクチュエータ (Series Elastic Actuators) によって衝撃を和らげられるなど、高い安全性も確保している¹⁸。Baxter は単純作業用であるため、高速で精密な作業を行うことはできないものの、価格は 2 万 5,000 ドルと他の作業ロボットに比べ低価格に抑えられており、導入コストの高さからロボットの導入を控えてきた中小企業の間でも普及しつつある¹⁹。2015 年 3 月には同社から次世代のロボット Sawyer の開発が発表されており、詳細な機能は公開されていないものの、Baxter よりも小型で電子回路の基板などを取り扱う精密作業が可能なロボットになるのではないかと期待されている²⁰。図表 3 は工場稼働する Baxter となっている。

図表 3: 産業用ロボット Baxter



出典: GE²¹

スイスの産業用ロボットメーカー ABB Robotics 社なども、人と協働可能なロボット YuMi を開発している。YuMi はアームに取り付けられたカメラを使って必要なパーツを探しだし、つまみ上げ、製造行程に役立てるというロボットで、精密機器の製造パーツも丁寧に扱うことができるように設計されている点が特徴である。針に糸を通すことができるほど精密作業が可能であるため、従来は人間による手作業が必要であった時計やスマートフォンなどの製造行程での活用が期待されている。YuMi は高さ 56cm と小型であるものの、取り付けられた 2 本のアームを広げると 162cm と人間に近いサイズとなる。軽量のボディは衝撃を吸収するパッドで覆われ、衝突を感知した場合には瞬時に作業を中断するなど、人間の隣で作業することを想定し

¹⁷ <http://www.pewinternet.org/2014/08/06/future-of-jobs/>

¹⁸ <http://www.rethinkrobotics.com/safety-compliance/>

¹⁹ <http://blogs.wsj.com/venturecapital/2015/01/08/rethink-robotics-raises-26-6m-to-go-global-with-its-robots/>

²⁰ <http://www.rethinkrobotics.com/sawyer-intera-3/>

²¹ <http://www.gereports.com/post/108438757955/someones-gotta-do-it-this-collaborative-robot>

た安全性対策もなされている。価格は 4 万ドルを予定しているとのことである²²。図表 4 はロボット見本市ハノーバーメッセ (Hannover messe) でドイツのメルケル首相が安全性を確認している YuMi となっている。

図表 4: ABB Robotics 社の YuMi



出典: ABB²³

(2) サービス分野

カリフォルニア州シリコンバレーのホテルチェーン Aloft Hotel では、宿泊客の部屋まで移動して依頼された物品を届けるというサービスロボットを導入している。Botlr と名づけられたこのロボットは、障害物をよけながらホテル内を移動することが可能であり、違う階に移動する際には搭載された WiFi と 4G 回線を通してエレベーターを呼び出し自分で乗り降りする仕組みとなっている。現在は宿泊客から注文されたスナック菓子やアメニティを客室まで届けるルームサービス用となっているが、将来的にはホテルの様々な業務をこなしていくことが期待されている²⁴。図表 5 はロボット執事 Botlr となっている。

図表 5: ホテルのロボット執事 Botlr



出典: WIRED²⁵

²² <http://www.roboticstomorrow.com/article/2015/04/automate-2015-new-era-of-industrial-robots/5840>

<http://www.wsj.com/articles/new-robots-designed-to-be-more-agile-and-work-next-to-humans-1428945644>

²³ <http://www.abb.com/cawp/seitp202/db0686585a68fe9fc1257e26003d1b0b.aspx>

²⁴ <http://www.businessinsider.com/robot-room-service-video-aloft-hotel-2015-3>

²⁵ <http://www.wired.com/2014/08/meet-the-company-designing-robot-bellhops-for-hotels/>

米大手ホームセンターLowe's では、店内を案内する接客用ロボット Oshbot を利用している。この Oshbot は客が来店するとまずあいさつをし、客が案内を必要としていれば売り場までエスコートするというものである。Oshbot は英語とスペイン語を使ってコミュニケーションを取ることができ、自然言語処理による自然な会話で接客できるという特徴をもつ。また、前後に取り付けられた 2 つの大型ディスプレイを通して、人間の店員とやり取りしたり、来客に対して特価品を宣伝したりすることもできる。さらに頭部の 3D スキャナーを使って製品を読み取る機能を有しており、客が持参した購入希望商品を認識して同じサイズの製品の在庫情報を確認するなど、きめ細かい接客も実現する²⁶。図表 6 は接客ロボット Oshbot となっている。

図表 6: ホームセンターの接客ロボット Oshbot



出典: Popular Science²⁷

(3) 介護・医療・健康分野

介護・医療・健康分野では、Interactive Motion Technologies 社が、脳卒中などで運動麻痺の障がいが残る患者を対象に運動機能を改善するためのリハビリ用訓練ロボットの開発を進めている。同社で開発された手首用リハビリロボット InMotion WRIST は操縦桿がついた外骨格型ロボットであり、患者は操縦桿を操作して画面に映し出されたターゲットを狙ってゲーム感覚でリハビリを行うことができ、患者の操縦桿を傾ける力が弱い場合にはロボットが動きをサポートしていくことで患者の筋力や運動能力を向上させていく²⁸。InMotion WRIST をはじめとした上腕用のリハビリロボットはすでに FDA から承認を得ており、下肢リハビリ機器については試験中の段階となっている。同社の代表を務めるマサチューセッツ工科大学の Krebs 教授に話を聞いたところ、同社は全米 38 病院と連携し、また日本を含む海外 13 か国の病院とも連携して研究を進めており、リハビリはロボット実用化において非常に有望な分野ではないかとのことであった。

図表 7 は Interactive Motion Technologies 社のリハビリロボットとなっている。

²⁶ http://www.wsj.com/articles/newest-workers-for-lowes-robots-1414468866?utm_content=buffercb31c

²⁷ <http://www.popsci.com/article/technology/time-holidays-stores-add-robot-sales-clerks>

²⁸ <http://www.gettingbacktolife.com/inmotion-robots-shoulder-elbow-and-wrist>

図表 7: Interactive Motion Technologies 社のリハビリロボット



出典: Interactive Motion Technologies、Indiana University Health²⁹

また、Google 社と Johnson & Johnson (J&J) 社などもこの分野のロボットの研究に乗り出している。具体的には、両社は 2015 年 3 月、ロボットによる手術の高度なアシストが可能なロボット手術台を共同研究していくことを発表した。手術による出血や傷を抑え、患者の身体への影響をできるだけ低減する低侵襲医療を実現するためには、患者の体内を可視化できる術者支援ロボットが不可欠という前提にもとづき、両社は Google 社のソフトウェア技術と J&J 社の最新の医療機器を使ってロボット手術台の開発を共同で進めるといふ。先進的な画像処理技術やセンサーを活用し、患者の血管や神経回路、腫瘍の形状などをリアルタイムで 1 つの画面に統合することで、これまで複数のモニターを確認しながら手術を進めていた術者の負担の大幅な軽減が期待されている³⁰。

このほか、カリフォルニア州を拠点とするロボットベンチャー企業 Xenex 社では、強力な紫外線を照射してウイルスを破壊することで、病院内の設備を消毒するロボット Little Moe の開発が進められている。同ロボットは自律走行が出来ないため、人間が運搬する必要はあるものの、部屋のサイズなどを設定すると強力な紫外線を照射して病室の表面に付着しているウイルスやバクテリアの 99.9% を 5 分で死滅させることができるという特徴をもつ。強力な紫外線でウイルスの DNA を破壊することで消毒していく仕組みとなっており、2014 年に米国で拡大が懸念されたエボラウイルスも 2 分で死滅させることが可能とされている³¹。

(4) 軍事分野

国防高等研究計画局 (Defense Advanced Research Projects Agency: DARPA) では、兵士による長距離の行軍を可能にするウェアラブルロボットの開発を複数の大学や企業と共同で進めている。具体的には、Warrior Web と呼ばれる研究プログラムのもとウェアラブルスーツの開発が進められており、従来のように大きくて重量のある強化外骨格型 (exoskeleton) ではなく、戦闘服の下に着用可能で軽くて柔らかい素材を使った歩行サポートシステムの開発が目標とされている。

既に、共同研究先の 1 つであるハーバード大学から Soft Exosuits と呼ばれるウェアラブルスーツが発表されている。これは、太ももやふくらはぎに取り付けられた伸縮性のあるセンサーで兵士の足の動きを感知し、

²⁹ <http://interactive-motion.com/healthcarereform/upper-extremity-rehabilitation/inmotion-wrist/>

<http://iuhealth.org/neurology-neurosurgery/experience/#section-4>

³⁰ http://blogs.wsj.com/digits/2015/03/27/google-moves-to-the-operating-room-in-robotics-deal-with-ji/?mod=rss_Technology

³¹ <http://techcrunch.com/2014/10/03/little-moe-is-a-robot-that-hunts-and-kills-ebola/>
<http://www.cbsnews.com/news/germ-zapping-robot-combats-hospital-infections/>

モーターで踵に取り付けられたワイヤーを巻き上げることで、兵士の地面を蹴る力をアシストするという点が特徴となっている³²。

なお、Warrior Web プログラムは基礎研究となるタスク A が終了して実用化に向けたタスク B が始まっており、今後は 100 ワット以下の消費電力で稼働するウェアラブルロボットの開発なども目指されている。図表 8 はハーバード大学のウェアラブルロボットとなっている。

図表 8:ハーバード大学のウェアラブルロボット



出典: Harvard University³³

DARPA ではこのほか、様々な種類の軍用ドローンを開発する一環で、自律飛行しながら建物の中を探索して標的を追跡する超小型のドローンの開発などが進められている。ドローンのサイズを鳥や虫のように超小型化することで飛行速度を大きく高め、窓から建物内へ侵入することができる点が特徴という。現時点ではオペレーターによる操縦が必要となるが、将来的には飛行中に通信を行わずに自律飛行できるようにするという³⁴。ドローンに関しては多くの商用分野でも開発が進んでいるため、それらについては後述する。

このほか、米海軍でも他国の潜水艦を自動で追跡するロボット船 Sea Hunter の開発が進められている。このロボット船は海中を索敵しながら航行し、不審な潜水艦を発見した場合には 60 日～90 日という長期間にわたって自律航行しながら追跡可能となっている。静粛性に優れているため、沿岸部など雑音が多い海域でも小さな音を聞き分けることが出来るなど、索敵・追跡ともに高い能力を持つロボット船になるとして期待されている。同船は 2015 年秋からプロトタイプの実験航行を始める予定となっている³⁵。

(5) ドローン

ドローンの商用利用の代表格として、Amazon 社によるドローン活用形即日配送サービス Prime Air があげられる。まだ準備期間であるが、配送用のドローンは最大で 5 ポンド(約 2.26kg)の重量の物を 1 時間以内にユーザーまで届けることが可能になるという。Amazon 社が販売する製品の 86%が 5 ポンドという重

³² <http://www.army-technology.com/features/featureflexible-spiderman-exosuits-the-end-of-the-bulky-exoskeleton-4371576/>

³³ <http://people.seas.harvard.edu/~aasbeck/research.html>

³⁴ <http://www.foxnews.com/tech/2014/12/31/drones-to-zoom-into-buildings-and-hunt-inside/>

³⁵ <http://thediomat.com/2015/06/us-navy-to-deploy-robot-ships-to-track-chinese-and-russian-subs/>

量内で収まるため、サービスが実現すれば多くのユーザーに利用されると期待されている³⁶。なお、2015 年 7 月にワシントン州 Seattle 在住の男性が Twitter 上で、「Prime Air のドローン配送のために、来週 Amazon 社のドローンが私の家のバックヤードをスキャンしてくる！」と発言したことから、Amazon 社がドローンを使って地形のスキャンなどを行っていることが判明している。ドローン配送では、障害物や人を自動で避ける障害物回避能力 (Sense-And-Avoid: SAA) が最も重要な機能となるが、一般向けドローンには搭載されていないため、Amazon 社はスキャンしたデータをもとに SAA を改善しながら安全性の高い配送サービスの実現に向けて取り組んでいるようである。なお、現在の連邦航空局 (Federal Aviation Administration: FAA) の規制ではまだ十分な商用利用は難しい点があるものの (後述)、Amazon 社はドローンの商業利用に関する法律が整備され次第 Amazon Prime Air を開始する意向を示している³⁷。図表 9 は Amazon 社のドローンとなっている。

図表 9: Amazon 社のドローン



出典: Tuhinternational³⁸

このほか、CyPhy Works 社ではこれまでの軍事用ドローン開発ノウハウを用いて、ビジネス用ドローンの開発へとシフトしようとしている。軍事用ドローンの開発では規制を受けずに様々なテストを重ねることができたため様々な製品開発を進めることができたが、農業をはじめとしたビジネス分野の拡大から民間用ドローンの開発へと着手し始めた。同社に話を聞いたところ、今後の有望な分野として、農業、防犯・セキュリティ等が考えられるとのこと。また現在、GPS を用いない超小型ドローンや配達用ドローンの開発を計画しており、将来的にはドローンで集めたデータをクラウド上に集約して多くの人に利用してもらうモデルを考えているとのことである。図表 10 は、CyPhy Works 社の様子である。

図表 10: CyPhy Works 社の様子



³⁶ <http://www.cbsnews.com/news/amazon-unveils-futuristic-plan-delivery-by-drone/>

<http://qz.com/381546/amazon-can-now-test-its-drone-delivery-system-in-the-us-for-real-this-time/>

³⁷ <http://www.forbes.com/sites/ryanmac/2015/07/02/amazon-scanning-backyards-in-seattle-suggesting-drone-delivery-in-its-sights/>

³⁸ <http://tuhinternational.com/2013/12/03/amazon-prime-air/amazon-prime-air-2/>

4 ロボットの最先端研究

(1) 大学による研究

a. MIT

マサチューセッツ工科大学 (MIT) 内で最も大きな研究所であるコンピュータ科学・人工知能研究所 (Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory: CSAIL) は、最先端の人工知能やロボットの研究を進めていることで知られており、既に iRobot 社、Boston Dynamics 社、Rethink Robotics 社といった最先端のロボット企業を輩出している。2015 年 5 月には、最新の 4 足歩行型ロボット Cheetah を発表しており、この Cheetah は平地を時速 10 マイル (時速 16km) で走り、連続した障害物でも時速 5 マイル (時速 8km) で飛び越える能力を持っている点の特徴。歩行機構の改良により地面を強く蹴ることができるようになったため、柔らかい芝生の上でも走り回ることが可能という³⁹。図表 11 は MIT の Cheetah となっている。

図表 11: MIT の 4 足歩行ロボット Cheetah



出典: Boston magazine、MIT⁴⁰

CSAIL では将来の IT 発展の基盤となるアーキテクチャ、インフラの研究、人々の生活やビジネスの向上に資するイノベティブな技術開発に取り組んでおり、将来の IT 発展の基盤となるアーキテクチャ・インフラの研究や人々の生活・ビジネスの向上に資するイノベティブな技術開発に取り組んでおり、研究分野も、ロボット、人工知能、ネットワーク、サイバーセキュリティなど多岐にわたる。同研究所で取り組まれている最新の研究には以下のようなものがある。

- カメラやセンサーを使わずに微弱な電波で人の動きを感知する技術
- 高解像カメラ・モニターで人の瞳の微動する動きや皮膚の色の小さな変化を読み取り健康状態などを判断する技術
- 画面に映されたシーンから、その場所や状況を認識させるための技術 (ロボットの障害物を感知する性能を向上させるために使われる)
- ボディや内部機構がソフトな素材でできた、滑らかな動きができるロボット
- 空中から海中まで移動できるドローン
- 自動運転車が、天候状態に伴う路面の状況変化や周囲の車の運行状況などを分析する技術

³⁹ <http://newsoffice.mit.edu/2015/cheetah-robot-lands-running-jump-0529>

<http://arstechnica.com/science/2014/09/mit-researchers-take-cheetah-robot-out-for-a-run-without-a-leash/>

⁴⁰ <http://www.bostonmagazine.com/news/blog/2014/09/15/mit-cheetah-jump-video/>

<http://newsoffice.mit.edu/2015/cheetah-robot-lands-running-jump-0529>

なお、MIT からはパーソナルアシテッド型ロボット JIBO なども生まれている。JIBO は家族の一員として機能する対話型 AI ロボットであり、音声コントロール、自然言語処理での会話が可能である点、写真撮影、ホームコントロール、電子メールや書籍などのテキストリーディング、リマインダ、メッセージ通知、テレプレゼンスを実行する点、自動学習により生活に溶け込む点などが特徴となっている。同様の機能をもつロボットとして、移動型の Robotbase などもある。図表 12 の左が JIBO となっており、右が Robotbase である。

図表 12: JIBO(左)と Robotbase(右)



出典: Drive The Distinct, Robotbase⁴¹

b. カーネギーメロン大学

カーネギーメロン大学のロボット研究は世界でもトップレベルと言われており、世界初となるロボット研究所 (Robotics Institute) を中心にロボット研究を行っている。研究の約半数が DARPA や米軍を含む国防総省からの資金援助によるものとなっているが、General Motors (GM) 社と自動運転システムを共同研究するなど企業との連携も少なくない。また、同大学にはソフトウェアとインターネットセキュリティの研究で世界的に有名なソフトウェア工学研究所 (Software Engineering Institute: SEI) があり、ロボット工学と情報工学の分野で最先端の研究が進められている⁴²。Robotics Institute についてはロボット大会で様々な業績を残している。2005 年の「DARPA グランド・チャレンジ」では 2 位に終わったものの、2007 年に開かれた同大会では GM 社と共同開発したロボットカー Boss で優勝を果たした。2015 年の災害救助ロボットの競技大会「DARPA ロボティクス・チャレンジ」では二足歩行ロボット Chimp で 3 位に入賞した。Chimp は両手両足に取り付けられたローラーを使って瓦礫の上を這って進み、人間の助けを借りずに自力で立ち上がるなど会場を驚かせた。図表 13 の左はロボットカー Boss で右が二足歩行ロボット Chimp となっている。

図表 13: ロボットカー Boss(左)と二足歩行ロボット Chimp(右)



出典: WIRED、Reuters⁴³

⁴¹ <http://www.drivethedistrict.com/2014/11/06/jibo-robot-thats-moving/>

<https://www.robotbase.com/robot>

⁴² http://www.roboticsbusinessreview.com/article/carneige_mellon_the_worlds_premier_robotics_institute

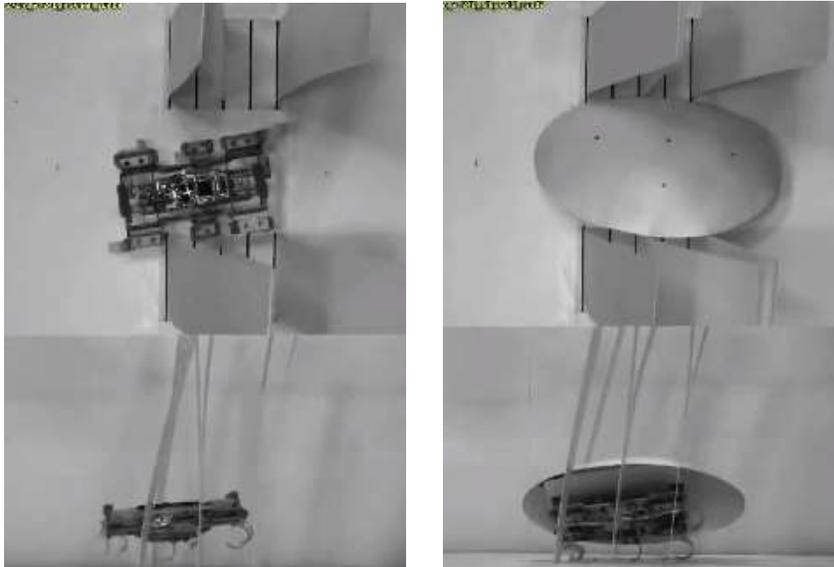
⁴³ <http://www.wired.com/2012/02/autonomous-vehicle-history/>

多数の研究が商業化につながっており、例としてはプログラミング学習用ロボット Finch や、Red Whittaker 教授によって設立された月面探査ロボットを開発する Astrobotic 社などがある。Astrobotic 社は 2016 年に民間宇宙輸送サービス企業 SpaceX 社のロケットで宇宙へロボットを送り出す予定となっている⁴⁴。

c. カリフォルニア大学バークレー校

カリフォルニア大学バークレー校のロボット研究は Robotics and Intelligent Machines Lab(ロボティクス・知的マシン研究所)を中心として進められており、その中にある複数の研究室からは先進的でユニークなロボットが生まれている。Biomimetic Millisystems Lab(生体模倣・ミリシステム研究所)では、生物の細かい動きや形状を模倣することでロボットの機動性を向上させるための研究を進めている。2015 年 6 月に同研究室が発表した虫型ロボット VelociRoACH は、体の形をゴキブリに近づけることで障害物の多い場所をすり抜けることができるようになってきている。通常の四角い形をしているロボットだと障害物にひっかかってしまうことが多いが、体の形に丸みを持たせていくことで体を傾かせ障害物の間をすり抜けることが可能となった。VelociRoACH には特別なソフトウェアやセンサーが追加されておらず楕円型のカバーをかぶせているだけであり、研究者は多様な地形や生物の形態を研究していくことで、様々な環境を突き進むロボットのセンサーや制御装置を最小限にすることが可能になると語っている⁴⁵。図表 14 は、カバーをしていない VelociRoACH(左)とカバーを取り付けた VelociRoACH(右)が障害物を乗り越える様子を比較したものとなっている。

図表 14: VelociRoACH が障害物を乗り越える様子の比較



出典: Berkeley News⁴⁶

学習ロボットを研究する Robot Learning Group からは、2015 年 5 月に自分で作業手順を考えるロボット BRETT が発表されている。BRETT は人工知能技術の 1 つであるディープラーニングを応用したもので、作業の最初と終わりの状態を与えるだけで、自分で学習しながら作業を進めることができる機能を持っているアルゴリズムに組み込まれた報酬関数(reward function)によって、ロボットの動作が作業完了に近づけ

<http://in.reuters.com/news/picture/robot-rescuers?articleId=INRTX1FOIV>

⁴⁴ http://www.roboticsbusinessreview.com/article/carneige_mellon_the_worlds_premier_robotics_institute
<https://www.astrobotic.com/>

⁴⁵ <http://wired.jp/2015/06/30/robot-cockroach-study/>

<http://www.popsci.com/roach-body-inspired-robot-navigates-through-rubble>

⁴⁶ <http://news.berkeley.edu/2015/06/24/streamlined-cockroaches-inspire-highly-maneuverable-robots/>

ば高い点数が与えられ、リアルタイムで点数を学習機能(ニューラルネットワーク)にフィードバックされることで、どの動作が作業を進めるのに必要か学ぶことができる仕組みとなっている。BRETT はレゴブロックを組み合わせる、洋服をハンガーにかけ、おもちゃの飛行機を組み立てる、水筒のふたを回して締めるなど、様々な作業手順を自分で考え事前のプログラミング無しで完了させており、標準的な課題であればわずか 10 分で作業をマスターしたという。環境に合わせてプログラムし直す手間がなくなり、同じソフトウェアで異なるタスクをこなすロボットが可能になると研究者は述べている⁴⁷。図表 15 は水筒のふたを閉める手順を学習している BRETT となっている。

図表 15: ディープラーニングを応用したロボット BRETT



出典: UC Berkeley⁴⁸

(2) ロボット向け最先端技術の開発

a. ニューロモーフィック・チップ

ロボットに人間の脳と同等の学習機能を与え効率的な処理を実現するニューロモーフィック・チップ (Neuromorphic chip) の開発が進められている。最先端の人工知能研究においては、ソフトウェアベースで人間の脳に近い働きを実現するという動きがあるが、ニューロモーフィック・チップは人間の脳に近い働きをするプロセッサ⁴⁹を開発し、ソフトウェアを介するのではなくハードウェア上でそのまま人工知能に必要な処理を行えるようにすることを目的としている。ニューロモーフィック・チップを使用することで、ソフトウェアベースでは莫大なコンピュータリソースを必要としていた人工知能処理を小型なチップ上で効率的に行えるため、ロボットへの活用が期待されている。

例えば、IBM 社が 2014 年 8 月に発表したニューロモーフィック・チップ TrueNorth は、チップ上に配置された 4,096 個のプロセッサ・コア⁵⁰がネットワークで結ばれ、各プロセッサ・コアが処理を行いながら人間の脳神経のように通信する仕組みとなっている⁵¹。TrueNorth そのものに学習機能はないものの、学習させた人工知能の神経回路の情報を組み込むことで人工知能として動かすことができ、これまでになくレベルの省電力での処理が実現するという特徴もある⁵²。

⁴⁷ <http://news.berkeley.edu/2015/05/21/deep-learning-robot-masters-skills-via-trial-and-error/>

⁴⁸ <http://news.berkeley.edu/2015/05/21/deep-learning-robot-masters-skills-via-trial-and-error/>

⁴⁹ コンピュータ内で処理を行う演算装置を指す。パソコンなどの通常のコンピュータでは CPU がプロセッサにあたる。

⁵⁰ プロセッサの中で実際に演算処理を行う回路。1 つの CPU 内に複数のプロセッサ・コアが集積されるマルチコアプロセッサなどもある。

⁵¹ <http://www.wired.co.uk/news/archive/2014-08/08/ibm-brain-like-chip>

<http://arstechnica.com/science/2014/08/ibm-researchers-make-a-chip-full-of-artificial-neurons/>

⁵² <http://arstechnica.com/science/2014/08/ibm-researchers-make-a-chip-full-of-artificial-neurons/>

Qualcomm 社も 2013 年にニューロモーフィック・チップの開発を進めることを公表しており、2015 年 3 月には新しいモバイル向け SoC (System-on-a-chip)⁵³の中に Zeroth と呼ばれる学習機能を搭載することを発表した。Zeroth は機械学習を行う処理装置としての機能を持ち、スマートフォン上で繰り返し使用することで顔認識能力、ワイヤレスの自動検出、音声認識を最適化していくことが可能になると見られている。同社では、Zeroth に次世代のコンピュータ(コグニティブ・コンピューティング⁵⁴)としてのプラットフォーム的役割を担わせる予定であり、将来的にはウェアラブルデバイスや自動車に搭載していくことを目標としている⁵⁵。

b. 物体認識アルゴリズム

ロボットが状況判断しながら行動するためには、物体を認識するためのアルゴリズムが不可欠である。そうした中、MIT が 2015 年 1 月に発表した新しい物体認識アルゴリズムが、ロボットの物体認識機能に役立つとして注目されている。このアルゴリズムでは、従来の方法に比べて 4 倍多くの物体を認識する点、認識速度が従来の 10 倍になっている点などが特徴である。

この物体認識アルゴリズムは、物体を異なる角度から確認し、得られた情報からロボットが複数の仮説を立てることで複数の物体の中でどれが同一でどれが異なる物なのか判断していくというものである。仮説が増えていくことで処理が大きくなり動作の 1 つ 1 つに時間がかかるといった問題が生じるため、ロボットが立てた仮説を全て使用するのではなく、ランダムにいくつかの仮説をサンプルとして抽出することで物体の特定にかかる時間を大きく短縮している。ロボットが立てた仮説のそれぞれが大きく異なるため、全ての仮説を利用しなくても判断のために十分な数のサンプルがあれば判断が可能というわけである。⁵⁶

5 政府の取り組み

(1) 米連邦政府による支援

a. ロボット分野への投資

オバマ大統領は 2011 年 6 月、国家ロボティクス・イニシアチブ (National Robotics Initiative: NRI) と呼ばれるロボット開発支援プログラムを発表した。NRI はロボットの研究開発に資金支援するプログラムであり、これまで既に製造、宇宙、医療、食料生産(農業)の分野におけるロボットの研究開発に対して約 3 億ドルが投じられている。特に人間との協調作業が可能なロボットの開発に焦点が当てられており、研究内容はロボットの制御、知覚、人間とロボット間の意思疎通、言語処理、ロボットのネットワーク化、機動力、マニピュレーター、ロボット義肢やロボットスーツの開発と広範囲に及んでいる⁵⁷。この NRI は 2011 年 6 月に発表された先進製造パートナーシップ (Advanced Manufacturing Partnership) 施策のうちの 1 つとして進められてきたものであるが、2016 年度大統領予算教書の中でも製造関連研究開発の重点分野として NRI への投資を続けていくことが明記されており、引き続きロボット研究への投資が進められていくとみられる⁵⁸。

⁵³ コンピュータのシステムに必要な機能を 1 つのチップ上にまとめたもの。

⁵⁴ コンピュータが人間のように学習して考えることを目的とした次世代コンピュータの構想。計算機としての第一世代とプログラム方式の第二世代に続く、第三世代のコンピュータがコグニティブコンピュータ。

<http://www.forbes.com/sites/ibm/2014/02/03/cognitive-computing-ushers-in-new-era-of-it/>

⁵⁵ <http://www.cnet.com/news/qualcomms-zeroth-platform-could-make-your-smartphone-much-smarter/>

⁵⁶ <http://newsoffice.mit.edu/2015/algorithm-for-better-robot-object-recognition-0112>

⁵⁷ <http://www.nsf.gov/pubs/2012/nsf12607/nsf12607.htm>

<http://www.cnbc.com/id/102726733>

⁵⁸ <https://www.whitehouse.gov/blog/2011/08/03/supporting-president-s-national-robotics-initiative>

https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/budget/fy2016/assets/ap_19_research.pdf

このほか、連邦議会でもロボットの研究開発を支援する動きが高まっており、下院議会の超党派メンバーで構成されるロボティクス諮問委員会(Robotics Caucus Advisory Committee)がロボットの開発目標について示したロードマップ⁵⁹を公表している。ロードマップでは、以下の 6 分野別に今後の開発目標が示されている⁶⁰。

分野	開発目標
製造業	工場への材料の運搬、倉庫や流通施設での輸送 自律走行車の安全運転の実証 人の手や腕と同様に器用な操作が可能となる腕型ロボット 人間と協働作業を行うロボットの開発
医療	高度な手術を支援するロボットの開発 外科手術でしか到達できない体内の部位の治療する小型ロボット
ヘルスケア	遠隔地に居住する患者への診察を目的としたロボット リハビリ支援等を行うロボット
サービス業	モビリティ機能を有したサービスロボットの安全性向上 人の行動を認知、習得する能力を有するサービスロボットの開発
宇宙	センシングと検知データを活用したロボットの障害物回避機能の向上 想定外の事態に対応する性能 精密な操作が可能となる腕型ロボットの開発
軍事	無人機によって収集されたデータに基づいて目標の位置や脅威を把握する機能の拡大

b. DARPA ロボティクス・チャレンジ

DARPA では、2004 年から 2007 年にかけてロボットカーのレース大会として「DARPA グランド・チャレンジ (DARPA Grand Challenge: DGC)」を開催していたほか⁶¹、2013 年からは災害救助用ロボットの競技大会「DARPA ロボティクス・チャレンジ (DARPA Robotics Challenge: DRC)」を開催している。

2004 年に開催された「DARPA グランド・チャレンジ」では 25 チームが 150 マイルのコースに挑戦したものの、完走できたロボットカーは 1 台もなく、最長距離を走ったロボットカーでもわずか 7.5 マイルであるなど、難易度の高さが示された。2005 年に開催された大会では、トンネルやセンサーを狂わせるような障害物が設置されるなどさらに難易度の高いコースが用意されたが、5 台のロボットカーが完走を果たした。2007 年に開催された大会は「DARPA アーバン・チャレンジ」と呼ばれ都市部を想定したコースが用意された。前大会とは異なり交通ルールに従って走行する必要があるなど、ロボットカーの状況判断の能力が試される内容であった⁶²。

「DARPA ロボティクス・チャレンジ(DRC)」は 2011 年に発生した福島第一原子力発電所事故を受けて立案されたもので、人間が立ち入ることができない状況下で緊急対応ができるロボットの活用を想定し、競技で用意されたコースも人間の制御化でロボットが建物内に入りバルブを回して可燃性ガスを開放するという内容になっている。2013 年に予選が開催され、2015 年 6 月にカリフォルニア州 Pomona で開催された本戦では世界中から集まった 23 チームが参加した⁶³。予選と本戦ではコースに若干違いはあるが、「自動車の運転」、「自動車から降りる」、「ドアを開けて部屋に入る」、「バルブを開ける」、「ドリルを使って壁を破壊」、「ガレキを超える」、「階段を上る」に加えて、作業内容を事前に知らされないサプライズタスクの 8 つの課題

⁵⁹ A Roadmap for U.S. Robotics From Internet to Robotics

⁶⁰ <https://robotics-vo.us/sites/default/files/2013%20Robotics%20Roadmap-rs.pdf>

⁶¹ 2007 年の大会は DARPA Urban Challenge と呼ばれる。

⁶² <http://www.popsci.com/darpa-robotics-challenge-was-bust-why-darpa-needs-try-again>

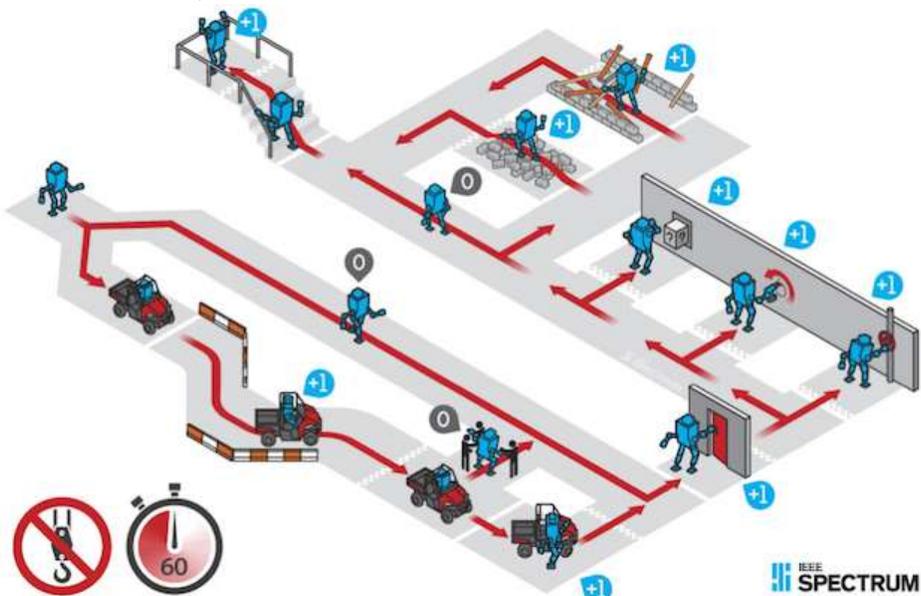
⁶³ <http://www.theverge.com/2015/6/12/8768871/darpa-robotics-challenge-2015-winners>

を 60 分以内で競い合うものであった。予選では電源ケーブルによる電力の供給が可能だったが、本戦ではバッテリー駆動のみで難易度が高くなっていったという。そのポイントは、ロボット操作を無線で遠隔操作しながら、無線妨害を乗り越えるという点があった。

そうした中、優勝した韓国の Team KAIST のロボットは脚部が様々に変形する機能を有しており、腰を 180 度回転させることで階段をのぼる際につまずきを減らしたり、物を掴む時にはヒザをついて安定させるなど様々な工夫が凝らされたものであった。2 位の Team IHMC Robotics は個人リサーチャーで構成されたチームであるが、ベンチャー企業 Boston Dynamics 社が開発したロボット Atlas を使用しており、唯一 DRC 本戦ですべての課題をこなしたという。3 位のカーネギーメロン大学のロボット CHIMP は、転倒しても自力で起き上がるなど高い能力を見せた⁶⁴。

図表 16 は「DARPA ロボティクス・チャレンジ(DRC)」のコース内容である。

図表 16: DARPA ロボティクス・チャレンジのコース



出典: IEEE⁶⁵

(2) ロボットの法規制

a. 公道利用規制(道路交通法など)

米国における自動運転車の公道走行は、州政府が検討を行う形となっている。ただし、国家道路交通安全局(National Highway Traffic Safety Administration: NHTSA)⁶⁶は自動運転車の安全基準を策定する中で、州政府による自動運転車の公道走行許可は実験目的に留めるべきとの見解を示している⁶⁷。そのため、現時点で走行許可を出しているカリフォルニア州、ネバダ州、ミシガン州、フロリダ州でも全て商業利用ではなく試験走行を許可するだけとなっている⁶⁸。以下、各州が定める規制をまとめる。

⁶⁴ <http://www.theverge.com/2015/6/12/8768871/darpa-robotics-challenge-2015-winners>

⁶⁵ <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/humanoids/drc-finals-course>

⁶⁶ 米運輸省(Department of Transportation: DOT)内で自動車の安全性に関する調査や安全規格の策定を行う部局。

⁶⁷

<http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/U.S.+Department+of+Transportation+Releases+Policy+on+Automated+Vehicle+Development>

⁶⁸ http://cyberlaw.stanford.edu/wiki/index.php/Automated_Driving:_Legislative_and_Regulatory_Action#Enacted
<http://www.ncsl.org/research/transportation/autonomous-vehicles-legislation.aspx>

州	自動運転車の走行基準
カリフォルニア州 ⁶⁹	自動運転車両を製造した企業の指名したドライバーのみ運転可能。
ネバダ州 ⁷⁰	ドライバーは運転免許に特別記載を受ける必要がある。
ミシガン州 ⁷¹	特定の条件下でのみ走行可能。事前に許可されたドライバーのみ運転可能。
フロリダ州 ⁷²	自動運転車の走行の規制や禁止をしないが、自動運転システムを使用した者が責任を負う。

なお、NHTSA は 2015 年 5 月に車車間通信 (Vehicle to Vehicle: V2V) の導入を進めるために、安全基準の策定のスケジュールを早めていくことを発表している。2016 年内に行政管理予算局 (Office of Budget) に V2V の安全基準を提出するとしていた当初のスケジュールを、2015 年末までに前倒しすることで V2V の導入を早めていくとしており、同時に 5.9GHz の周波数帯域を使った V2V の実証実験も進めていく⁷³。参考までに、NHTSA からは 2015 年 6 月に飲酒運転防止システムの試作機なども公開されている。このシステムではドライバーの呼気やエンジン・スタートボタンに触れた指を測定して、血中アルコール濃度が 0.08mg 以上の場合は自動車を始動させてない仕組みとなっている⁷⁴。

b. ドローン規制 (航空法など)

ドローン⁷⁵に関しては、2012 年に制定された FAA 改革法「FAA Modernization and Reform Act of 2012 (2012 年 FAA 近代化及び改革法: 以下 2012 年法)」の中で、2015 年 9 月 30 日までに商用ドローンを米国の空域で運用できるようにすることが定められていたが、現在の進捗状況では期日までに間に合わない見通しとなっている⁷⁶。FAA は 2012 年法に基づきドローンの商業利用を原則禁止としていたが、2015 年 2 月に新しい規制枠組み案を発表し、一定の条件を満たし FAA が承認した場合に限り規制免除していくことで当面のドローンの商業利用を認める方針を発表した。FAA から発表された規制枠組み案は以下のようになっている⁷⁷。

- ドローンの重量は 55 ポンド (約 25kg) までで、飛行速度は時速 100 マイル (約 160 キロ) 以下。
- 運用できる時間は日中のみ。
- 操縦者がドローンを視認できる範囲で、高度 500 フィート (約 152 メートル) 以下のみ飛行可能。
- 空港から 5 海里 (9.26km) 以内と、関係者以外の頭上の飛行禁止。
- 筆記試験に合格したオペレーター (操縦者) は有効期限 2 年間の運航資格を与えられる。

これについて、ドローンを使った即日配送サービスを予定している Amazon 社は視認範囲でしかドローンを運用できないという制約があることに大きく反発、既に FAA でドローンの事案を担当する Jim Williams 氏は 2015 年 5 月にこの条件を緩和していく方針であると発表している。FAA は、ドローンに設置されたカメラを通した映像は視界が狭いことから、カメラの映像を通したドローンの監視を認めない方針であったが、ゴーグル型ヘッドマウントディスプレイなどを使って視野の広い映像を利用すればこの問題を解決できるという

⁶⁹ <http://techcrunch.com/2014/05/22/california-will-start-granting-licenses-for-driverless-cars-in-september/>

⁷⁰ <http://leg.state.nv.us/NRS/NRS-482A.html#NRS482ASec050>

⁷¹ http://cyberlaw.stanford.edu/wiki/index.php/Automated_Driving:_Legislative_and_Regulatory_Action

⁷² <http://cyberlaw.stanford.edu/blog/2012/02/autonomous-driving-bill-introduced-california-plus-other-state-developments>

⁷³ <http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/2015/nhtsa-will-accelerate-v2v-efforts>

⁷⁴ <http://www.techspot.com/news/60922-nhtsa-wants-use-technology-curb-drunk-driving.html>

⁷⁵ FAA では小型無人航空システム (Small Unmanned Aircraft System) と呼んでいる。

⁷⁶ <http://rt.com/usa/245345-amazon-test-drones-canada/>

⁷⁷ https://www.washingtonpost.com/world/national-security/faa-releases-proposed-rules-for-domestic-drone-use/2015/02/15/6787bdce-b51b-11e4-a200-c008a01a6692_story.html

<http://www.wsj.com/articles/obama-issues-privacy-rules-for-government-drones-in-u-s-1424015402>

判断となったようである⁷⁸。なお、200 フィート(約 61 メートル)以下でのドローンの運用を申請している企業の多くが規制免除を受けていることから、FAA が 200 フィート以下での運用には一律で許可を出していると見る向きもある⁷⁹。

個人利用のドローンについても商業利用に近いルールが定められており、ドローンの重量 55 ポンド以下、高度 400 フィート(約 122 メートル)、ドローンを視認できる範囲のみ、空港やスタジアム近辺の飛行禁止といったルールが規定されている⁸⁰。個人利用であってもドローンは航空機と同様に、連邦航空規定(Federal Aviation Regulations)で定められる飛行制限空域(Restricted airspace)や一時飛行制限(Temporary Flight Restriction)の空域での飛行が認められておらず、国立公園でも安全性や山火事の危険からドローンの使用が禁止されている⁸¹。

しかしながら、趣味や娯楽でドローンを使用する個人に飛行禁止空域についての周知が徹底されていないために、全域飛行禁止のワシントン D.C.でドローンを飛ばしてホワイトハウスに墜落させてしまったケースや⁸²、ハワイの国立公園でドローンを飛ばそうとした男性が警備員のレンジャーにテイザー銃(スタンガン)で撃たれるといったトラブルが発生している⁸³。そのため、FAA はドローンの飛行禁止空域を周知させるために、自治体や州政府に対して飛行禁止であることを示す「NO DRONE ZONE」と書かれたデジタル素材の提供や⁸⁴、ドローンの使用者が飛行可能空域であるかを確認できるモバイルアプリ B4UFLY の開発を進めている⁸⁵。図表 17 は NO DRONE ZONE のデジタル素材(左)と開発中の B4UFLY(右)となっている。

図表 17: NO DRONE ZONE のデジタル素材(左)と開発中の B4UFLY(右)



出典: FAA⁸⁶

⁷⁸ http://www.gizmodo.jp/2015/05/post_17062.html

⁷⁹ <http://fortune.com/2015/03/24/faa-commercial-drone-approval/>

⁸⁰ https://www.faa.gov/uas/model_aircraft/

⁸¹ https://www.faa.gov/news/press_releases/news_story.cfm?newsId=18295

⁸² <http://www.cnn.com/2015/05/14/politics/white-house-drone-arrest/>

⁸³ <http://www.hawaiinewsnow.com/clip/11435375/10pm-report-drone-operator-chased-tased-by-ranger-at-hawaii-volcanoes-national-park>

⁸⁴ http://www.faa.gov/uas/no_drone_zone/

⁸⁵ <http://www.faa.gov/uas/b4ufly/>

⁸⁶ <http://www.faa.gov/uas/b4ufly/>

http://www.faa.gov/uas/no_drone_zone/

c. 電波利用規制(電磁法)

連邦通信委員会(Federal Communications Commission:FCC)は 2014 年 10 月、次世代の高速通信で使用する周波数帯域に、24GHz 以上の周波数帯域で検討していく事を発表した。ミリ波と呼ばれるこの周波数帯域を第 5 世代の無線通信規格(5G)に使用することで、10Gbps というこれまでにない高速なデータ通信が可能となる。地上で運用するロボットや高度を飛ぶドローンなどへの使用にも適しており、FCC は 2020 年の使用開始を目指している⁸⁷。

また、FCC は続く 2015 年 4 月には、軍用や一部の ISP 事業者にしか使用を許可していなかった 3550MHz~3700Mhz の周波数帯を民間事業者に開放することも決定している。今回開放した周波数帯は、携帯電話キャリアが使用している 600MHz~700MHz 帯に比べ電波の到達距離や障害物の貫通性で劣るものの大量のデータ通信が可能であるため、狭い範囲でデータ共有を行う都市部での利用に適している。FCC はこの周波数帯域をイノベーションバンド(Innovation bandwidth)と呼び、同周波数帯によりこれまでにないモバイルデータ通信が実現するとしている⁸⁸。

d. 連邦省庁を横断するロボット委員会設立の提案

複雑な IT 技術を使用するロボットの安全性を担保するために、連邦省庁を横断する形のロボット委員会の設立が提案されている。これは IT 法規制に詳しい University of Washington の Ryan Calo 教授と米シンクタンク Brookings Institution が 2014 年 9 月に発表した報告書の中で発表したもので、ロボットの法規制を包括的に進めるためには、連邦省庁を横断的に取りまとめる連邦ロボット委員会(Federal Robotics Commission)が必要であるとの訴えである。2009 年に発生したトヨタのリコール問題では、多数の専門家がソフトウェアの問題を指摘していたにもかかわらず、NHTSA はフロアマットがアクセルにひっかかる設計上の問題であると主張し続け、NASA へソフトウェアの解析を依頼するまでリコールを待たせる結果となった。宇宙開発とは関係のない技術的な問題でも今後 NASA の協力は必要となっていくと見られており、技術革新による問題を解決していくためには連邦省庁間の協力が必要不可欠であることから、連邦ロボット委員会の早い設立が期待されている⁸⁹。

⁸⁷ <http://www.fiercewireless.com/tech/story/5g-visions-include-drones-robots-high-altitude-balloons/2015-01-19>

<http://www.radioworld.com/article/fcc-comments-urge-allocation-of-spectrum-above--ghz-for-g/274351>

<http://www.fiercemobileit.com/story/fcc-looks-clear-land-5g-mobile-service/2014-10-20>

⁸⁸ <http://www.fiercewireless.com/tech/story/fcc-votes-adopt-new-35-ghz-spectrum-sharing-plan-innovation-band/2015-04-17>

<http://www.wsj.com/articles/fcc-nears-opening-some-airwaves-for-cheaper-wireless-use-1427495489>

⁸⁹ <http://www.brookings.edu/research/reports/2/2014/09/case-for-federal-robotics-commission>

6 終わりに

IT の進歩に伴いロボット技術も大きく発展してきたが、特に近年は IoT や人工知能など先端的 IT のロボットへの導入が進み、「ロボット革命」と呼ばれるように、これまでロボットの活用が進んでいなかった様々な分野でも実用化が進んでいる。このような中、日本では本年 1 月に「ロボット新戦略」が取りまとめられ、国をあげてロボットの開発・実用化を一層進めることとなっているが⁹⁰、今回紹介したように、米国でも同様にロボットの開発・実用化が急速に進み、様々な分野での活用がみられる。さらに米国では、今回インタビューした研究者も含め、米国人以外に南米、欧州、アジアなど様々な国の出身者が研究・開発を行っており、その英知を結集している状況は、日本も見習う点があるのではないだろうか。

また革新的な技術の実用化で必ず問題になるのが、適正な規制の在り方である。すでにドローンで大きな議論が起きているが、今後の革新的なロボットの実用化において、規制の在り方は重要な問題と考えられる。この点では、日米ともに同じ課題を抱えていると言える。

ロボットの急速な発展により、人とロボットが協働する新しい社会が創造されようとしている中、ロボット大国である我が国がさらに世界をリードしていくためにも、米国の状況は大いに参考になるのではないだろうか。

※ 本レポートは、注記した参考資料等を利用して作成しているものであり、本レポートの内容に関しては、その有用性、正確性、知的財産権の不侵害等の一切について、執筆者及び執筆者が所属する組織が如何なる保証をするものでもありません。また、本レポートの読者が、本レポート内の情報の利用によって損害を被った場合も、執筆者及び執筆者が所属する組織が如何なる責任を負うものでもありません。

⁹⁰ <http://www.meti.go.jp/press/2014/01/20150123004/20150123004.html>