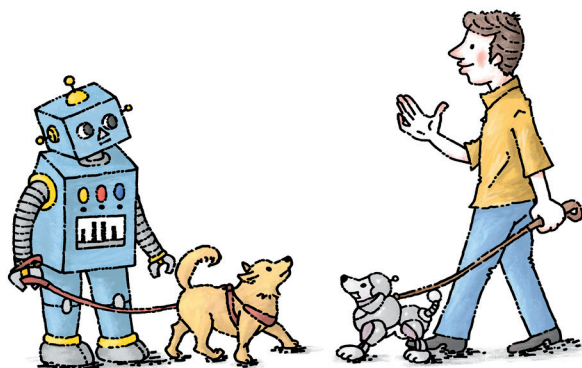


Vol.62
2025 Summer
ネクストコム

情報通信の現在と未来を展望する

Nextcom

特集 ロボティクス



Feature Papers

特集論文

ロボット社会を創る哲学

呉羽 真 山口大学 国際総合科学部 講師

特集論文

ロボットに適用される法令と
ISO標準・JIS規格の交点

新保 史生 慶應義塾大学 総合政策学部 教授

特集論文

脳が長持ちする会話を支援する
ロボットの開発

大武 美保子 特定国立研究開発法人理化学研究所
革新知能統合研究センター
認知行動支援技術チーム チームディレクター

Special Contribution

特別寄稿

ガンダムを作り、夢の種をまく

ハルトノ ピトヨ 中京大学 工学部 電気電子工学科 教授

Articles

5年後の未来を探せ

上田 祥代さんに聞く

津田塾大学 学芸学部 情報科学科 准教授

情報技術で拡張された社会において
“私”と認識できる身体の境界を探る

江口 絵理 ライター

明日の言葉

ロボットを開発することで、
人間を理解することができる
……石黒 浩

日本を代表するロボット工学者は、
そのロボット研究には、
認知科学や脳科学だけでは解明できない
「人間」について調べる目的があると言う。

特集

ロボティクス

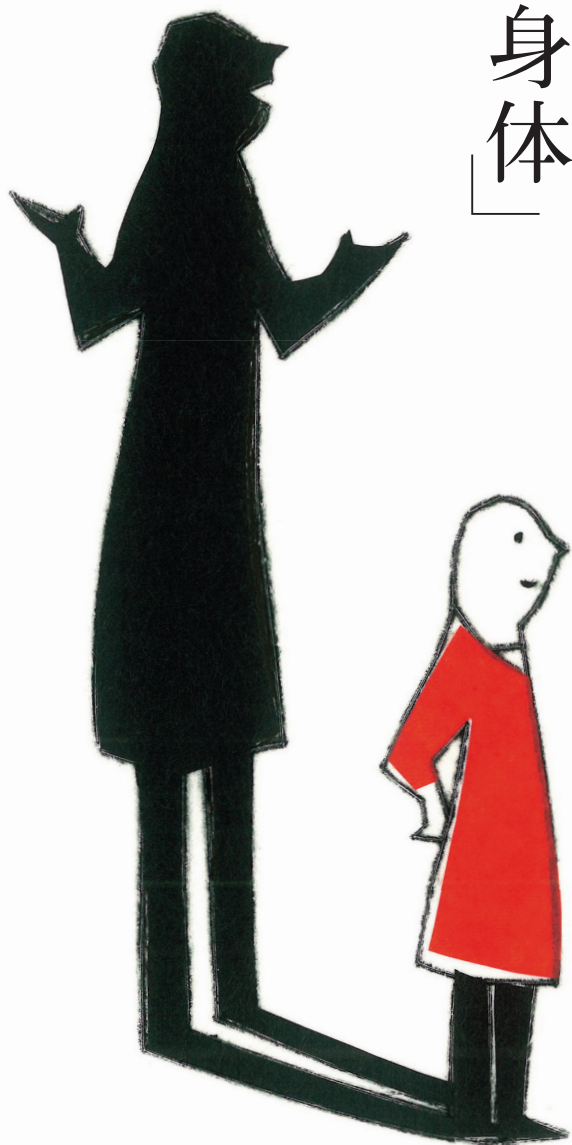
- 2 | **すでに始まってしまった未来について**
AIと身体
平野 啓一郎 作家
- 4 | 特集論文
ロボット社会を創る哲学
呉羽 真 山口大学 国際総合科学部 講師
- 12 | 特集論文
ロボットに適用される法令と
ISO標準・JIS規格の交点
新保 史生 慶應義塾大学 総合政策学部 教授
- 22 | 特集論文
脳が長持ちする会話を支援するロボットの開発
大武 美保子 特定国立研究開発法人理化学研究所 革新知能統合研究センター
認知行動支援技術チーム チームディレクター
- 31 | 特別寄稿
ガンダムを作り、夢の種をまく
ハルトノ ピトヨ 中京大学 工学部 電気電子工学科 教授
- 42 | 5年後の未来を探せ
上田 祥代さんに聞く
津田塾大学 学芸学部 情報科学科 准教授
情報技術で拡張された社会において
“私”と認識できる身体の境界を探る
江口 絵理 ライター
- 48 | 「Nextcom」論文公募のお知らせ
2025年度 著書出版・海外学会等参加助成に関するお知らせ
- 49 | 「明日の言葉」出典解説

すでに始まってしまった未来について——⑥②

文：平野啓一郎

絵：大坪紀久子

AIと身体



現在のAI研究の延長上に、そのままAGI*の可能性があるのかどうか、という議論を昨今よく耳にする。そもそも、AGIというより、人間の「知性」自体の定義が曖昧なだけに、これは解釈次第だろう。

LLM**以降、AIは確かに、多くのタスクをこなすことが可能となっており、それを以て「汎用的」と呼べなくもないが、しかし、そもそも人間同等の、或いは人間を超えるような、と謳われていたAGIとは、そういうことなのかとえば、物足りないだろう。

人間の脳は、部位ごとに複雑に機能が分化しており、まだわからないことも多い。深層学習一本槍で、人間の知性を超えるという発想には、どんな意味があるのか？ AI研究者は、もっと神経科学の専門家などとの議論を深めるべきだろう。

人間の脳とAIとは、そもそもの仕組みが違うが、最も大きな点は、身体を所有しているかどうかである。それに伴う内分泌系もない。人間は身体を通じて、絶えず外部環境と交渉しており、その思考の根底には、快不快がある。

小説家として、私が真剣にものを考えるのは、この世界に生きていることに、喜怒哀楽があるからで、それを感じ取るのは、身体あってこそである。心理学のジェームズ＝ランゲ説は、恐いから震えるのではなく、震えるから恐いのだと、感情に先行する身体反応を重視した。

なぜ自分は、ただ生きていることに、これほど苦悩を感じ、孤独を覚えるのか？ なぜこの社会は、このような構造をしており、何故それに、自分はうまく適応できないのか？

こうした身体的な不快と結びついた問いに答えようとすることこそが、人間の知性であり、そこから紡がれた言葉をどれほど学習しようと、それは模造に過ぎない。

その意味では、AIのロボット的な身体の実験は、AGIへの一つの可能性かもしれない。しかし、そうまでして、^{なぜなら}そもそもAIを人間に擬える必要があるのかどうか。

*AGI=Artificial General Intelligence (汎用型人工知能)：人間同様の知識と知能を有し、問題に対処できるAI。

**LLM=Large Language Model (大規模言語モデル)：膨大なデータと深層学習により言語処理を行うAI。

Keiichiro Hirano

小説家。1975年生まれ。1999年京都大学在学中に『日蝕』により芥川賞を受賞。以後、『葬送』、『ドーン』、『空白を満たしなさい』、『透明な迷宮』、『マチネの終わりに』、『ある男』、『「カッコいい」とは何か』、『本心』、『富士山』など、数々の作品を発表。『三島由紀夫論』(新潮社)で2023年、小林秀雄賞受賞。

特集 ロボティクス

1941年、アシモフの短編小説『Liar!』に初めて登場したroboticsは、「ロボットの設計や制御に関する科学技術」を指す造語だった。

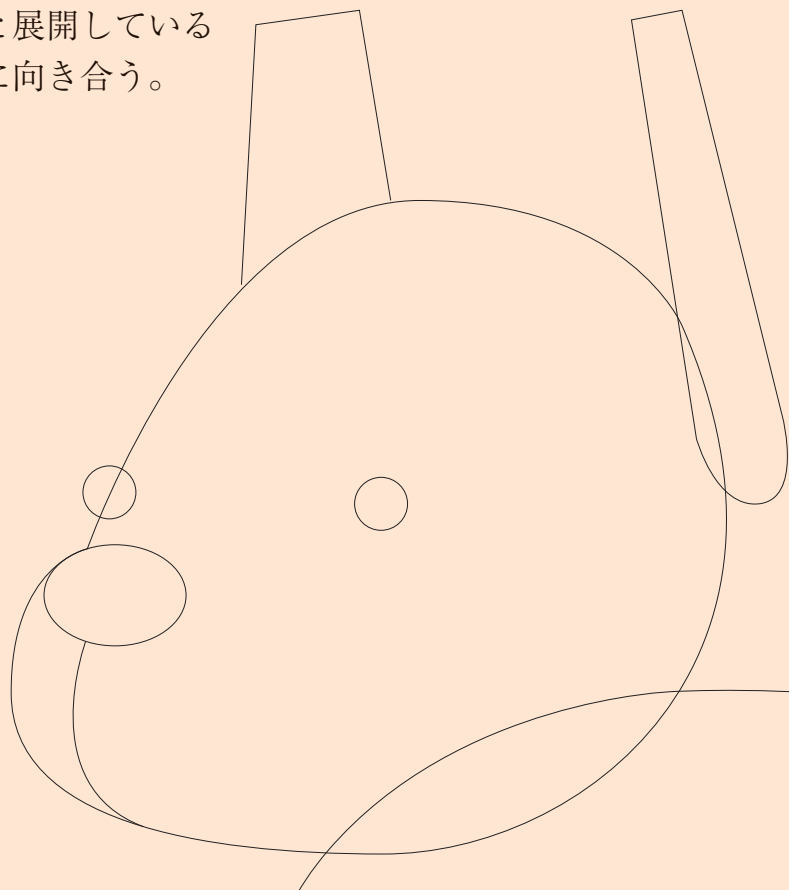
その意味はその後、飛躍的に深化してきた。

産業分野から、医療や生活、宇宙などへと適用範囲は拡大。

AIやバイオテクノロジーとも融合し、

より総合的な概念へと展開している

ロボティクスの課題に向き合う。



ロボティクス1

ロボット社会を創る哲学

山口大学 国際総合科学部 講師

呉羽 真

Makoto Kureha

望ましいロボット社会は到来するか？

この問いは無意味だ。未来とは予測するのではなく、創るべきものだからだ。

では、いかにして望ましいロボット社会を創れるのか？ 優れたロボット技術を開発するだけでは不十分だ。

技術とは社会に埋め込まれたものであり、それを社会に役立てるには、

社会的な慣習や制度を整備・改革しなければならないのだ。

ただし、問題のある社会慣習を揺さぶるために、ロボットが役に立つかもしれない。

本稿は、技術哲学の知見に基づき、また介護や障害支援におけるロボット導入の失敗例を紹介しながら、

以上のことを示し、望ましいロボット社会を創る道筋を指し示す。

キーワード

技術哲学 ロボティクス 技術的解決 介護 障害支援

1. はじめに

少子高齢化による労働人口減少問題をはじめ、さまざまな社会問題への解決策としてロボットへの期待が高まると同時に、ロボットによる技術的失業等の事態への懸念も生じている。ロボット社会は到来するか？ それは私たちにとって望ましいものなのか？ こういった疑問を抱く人は多いだろう。

だが、技術に関する未来予測が当たらないことを歴

史は示してきた¹⁾。そこで、ホログラフィーの発明でノーベル物理学賞を受賞した電子工学者ガボールは、「未来は予測することができない。しかし、未来を発明することはできる」（ゲイバー 1985, p. 299）と述べ、またパソコンの生みの親とされるコンピューター科学者ケイは、「未来を予測する最良の方法はそれを発明することだ」（ケイ 1986, p. 97）と述べた²⁾。これらの言葉は、いまだ定まっていない未来を自らの手により良く創造する試みを促すものとして、技術者や研究者を鼓舞してきた（e.g. 石黒 2021）。

とはいえ、ロボット社会を創るには何をすればよいのだろうか？ 単に優れたロボット技術を開発すれば望ましいロボット社会が実現するのか？ 本稿では、筆者が専門とする「技術哲学」および関連分野の知見に基づき、望ましいロボット社会を創るために採るべき道筋を指し示すことを試みる。

2. 技術哲学とは何か

まず、「技術哲学」という分野について解説しよう。科学哲学が「科学とは何か」を哲学的に解明しようと試みるように、技術哲学とは「技術とは何か」を解明しようと試みる哲学分野である。それは、技術の開発・利用に関する倫理的問題を扱う「技術倫理」（「ロボット倫理」もその一分野である）とは別の分野だが、深い関わりを持つ。伝統的に哲学において技術は科学ほど注目されてこなかったのであり、技術哲学は科学哲学ほど議論が洗練されているとはいえない。だが、技術が私たちの生活を根本から形作るようになるにつれて、それに関する哲学研究も次第に活況を呈し、日本でも同分野の概説書の出版が相次いでいる（e.g. 村田 2023；クーケルバーク 2023；金光 & 吉永編 2024）。

技術哲学の中心的課題とされてきたのは、技術の本性に加えて、技術と科学の関係や、技術と社会の関係を理解することである。だが近年、このように技術およびその社会との関係を反省し、理解することを目指す従来の「反省的技術哲学」に対し、社会にとって有益な技術を生み出すことを目指す「構築的技術哲学」が必要だ、という声も上がっている（Brey 2016）。以下では、筆者の研究紹介も交えつつ、ロボット技術に関する構築的技術哲学の可能性を示してみせよう。

3. 未来は発明できる——技術決定論の誤り

まず、「未来を発明する」ことは可能か、を確認し

よう。これと関連した技術についての哲学説に、技術は自律的に（社会の在り方とは独立に）発展し、社会の在り方を決定する、という「技術決定論」がある。この説を明示的に主張する人は多くないかもしれないが、それは「家電製品は家事労働を減らした」、「インターネットが人間関係を変える」、「ロボットが労働を変える」、といった技術についての語り方のうちに含まれている。技術決定論には悲観的なものと楽観的なものの両者が含まれる。例えば、「インターネットが人間関係を変える」という決定論のバリエーションには、それが人間関係を貧しくするというものもあれば、豊かにするというものもある。また、「ロボットが労働を変える」には、それが仕事を奪うというバージョンも、それが人間を非創造的な仕事から解放するというバージョンもある。

技術決定論が正しいとすれば、「未来を発明する」ことは不可能であることになる。だからこそ、本稿冒頭で紹介したガボールは、マルクスに代表される決定論を批判した。それだけでなく、技術決定論は技術哲学でも批判を受けてきた。技術史を振り返れば、それに反する事例は数多く見つかるのだ。

コーワンは、技術史の古典とされる著書（コーワン 2010）において、工業化と家庭電化は主婦の家事労働を軽減させなかった、と論じている。まず、19世紀の工業化がもたらした道具は、家庭内で男性が担当していた仕事だけを減らしたという。例えば、19世紀に製粉機の発展により小麦粉が安価で買えるようになると、それまで男性が担っていた粉ひきの仕事はなくなり、その一方で女性は（コーンミールに代えて）手間のかかる白パンを焼くようになった。また、20世紀に家電製品が普及したときも、女性は、家庭の生活水準と社会的地位の維持のために、より多くの仕事を引き受けたとされる。例えば、洗濯機が家庭に導入されると、要求される清潔さの水準が上がり、毎日洗濯することが求められるようになった。この過程で、かつては女性が男性（や子ども）と分担していた家事労

働が女性に集中するようになったことも、女性の負担軽減を阻んだ。コーワンによれば、家事に関する技術システムは、男性が働きに出る一方で、女性は家にとどまり、主婦として家事労働に専従することを前提に作り上げられた。この事例は、「家電製品は家事労働を減らした」という技術決定論への反例を成すと同時に、技術が人々にとって持つ意味やそれが社会に及ぼす影響が社会的要因の影響を受けることを示している。

コーワンの挙げた事例は、人間を利するために生み出された技術が想定外の不利益をもたらすことを示す例として言及されることがある(e.g. テナー 1999)。だがコーワンは、女性の家事負担は増え続けてきたが、それは不可避の帰結ではなく、別の道(例えば家事の企業化)もあり得たと論じている。また、技術が自律的に発展するわけではないとすれば、楽観的な技術決定論だけでなく、悲観的な技術決定論もまた誤りだということになる。例えば、インターネットやソーシャルメディア、テレビ会議のようなコミュニケーションメディアが人間関係を貧困化させる、という言説が世間に流布しているが、筆者(呉羽 2024)が示してきたように、こうした言説は経験的証拠によって支持されない。メディアの影響はその利用法やそれを規定する社会的要因によって大きく異なるのだ。

以上の事実から得られる教訓は、技術とは単なる〈物〉ではなく、社会に埋め込まれた〈物〉である、ということだ(cf. Johnson 2009)。すなわち、技術は社会に影響を及ぼすが、その影響がどんなものになるかは、物質的人工物の特性のみによって決まるのではな

く、それを取り巻く社会の特性に左右される。従って、どのような社会でそれが作られ、使われるかを無視して、技術が社会にどのような影響を及ぼすかを言うことはできないのである。裏返せばこれは、社会が技術に翻弄されるばかりでなく、むしろ技術を形作ることができる、すなわち「未来を発明する」ことは可能だ、ということでもある。

4. ロボットは問題を解決しない ——技術的解決の失敗

前節で示したように技術が社会に及ぼす影響が社会的要因に依存するのだとすれば、未来を発明することは可能である一方で、技術だけでは社会問題を解決できないことになる。もっぱら技術に頼って社会問題を解決しようとするアプローチは、「技術的解決(technological fix)」と呼ばれ、しばしば問題視されてきた。この言葉を生み出した物理学者ワインバーグ(Weinberg 1966)によれば、技術は社会が取り得る選択肢を増やし、問題解決を容易にするものの、それ自体が問題を解決するものではない。彼はその難点として、その場しのぎの解決を与えるに過ぎず、また新たな問題を生み出す、といった点を挙げている。ロボットを問題解決に役立てようとする試みでも、こうした難点が浮かび上がっている。

日本政府は、2015年に策定された「ロボット新戦略」に見られるように、少子高齢化による労働人口減少を見据えて、介護等の分野において、ロボットの導入を促進することを国家戦略としてきた。この動向に呼応

して介護ロボットを開発している企業もある。だが、ロボットを導入する介護施設や在宅介護者は政府や企業の思惑通りに増えてはおらず、日本における介護へのロボットの導入は成功しているとはいえない。人類学者のライトは、『ロボットは日本を救わない』と題した著書 (Wright 2023) で、エスノグラフィーを通してその理由を探った。その結果として示されたのは、介護ロボットが、それ自体が人間による世話を必要とするために、介護士の仕事を減らすどころかむしろ増やしており、また人間同士の関わりを減らしてもいる、ということだ。ライトによれば、ロボットの導入がもたらしているものは、人間のやっていた仕事をロボットがこなしてくれる ‘replacement’ ではなく、人間がそれらの仕事を行う際に重視されていたもの——スキルや人間関係——が居場所を失う ‘displacement’ である (ibid., p. 132)。ライトが示した介護ロボット導入の失敗は、コーワンが示した家電技術導入の失敗をなぞっているように見える。ライトは、介護労働者たちが頻繁に口にする「余裕」こそ良い介護にとっての必要条件だ、と論じる。そのためには、結局のところ、介護危機を招来した政治的・経済的な社会の選択を見直し、介護労働者の賃金の引き上げや労働条件の改善等の社会的解決策を採ることが求められる。

ロボットによる技術的解決の失敗例をもう一つ挙げよう。ロボットを含む技術を障害の問題の解決に役立てる、という発想はしばしば見られるものであり、技術で障害をなくそう、と唱える技術者もいる。だが、技術哲学者シュー (Shew 2023) は、技術による障害の除去を自明に良いとする考え方を「テクノエイブリ

ズム」と呼び、批判する。シューによれば、テクノエイブリズムは、障害のある生を不当におとしめる偏見に基づいており、その問題は以下の点にある。「(社会的カテゴリーとしての) 障害は、技術によって解決されるべき問題ではない。(……) 障害を問題としてフレミングすることは、真の問題から注意をそらす。すなわち、世界は障害を持つ人々を排除するように設定されている、という問題から」 (ibid., p. 56)。SF 作家キム・チョヨプ (キム & キム 2022, 5 章) の言及するロボットスーツの例が、そのことを示している。歩行困難な身体障害者を歩けるようにするロボットスーツがしばしばメディアで取り上げられるが、障害学者はこうした風潮に批判的であるという。身体障害者の困難を取り除くには、車椅子や歩行車といった、現在の技術水準で実現可能なさまざまな選択肢がある。それにもかかわらず、高性能の義足やロボットスーツが世間の脚光を浴びるのは、それが可能にする二足歩行を正常と見なす健常者中心主義的な偏見のためだ、とキムは述べる。車椅子や歩行車の利用を阻んでいるのは、それらがどこでも通行できるような環境整備がなされていないことだが、ロボットスーツがもてはやされるとき、この問題は置き去りにされてしまう。また、健常者中心主義が社会を支配する限り、技術だけで十分な解決策が提供できるわけではない。キム・チョヨプの共著者で作家・弁護士・パフォーマーのキム・ウォニョン (ibid., 6 章) が述べるように、障害者がその「欠陥」とされるものをロボットスーツのような技術で補っても、この社会で「正常」とは見なされないからだ。障害者の直面する困難を取り除くには、

障害をなくすのではなく、障害を持ちながら不自由なく生きられるようにすることを目指すべきであり、そのためには環境整備や偏見の払拭の努力が欠かせないのだ。

5. ロボットのための慣習や制度を創る ——改善論的技術哲学

前節で、ロボット社会を創るにはロボット技術だけでは十分でない、という点を確認した。それでは、他に何が必要なのか？ 技術を問題解決に役立つよう機能させるには、技術だけでなく、その利用法を規定する慣習やルールも整備しなければならないのだ。前出(3節)の家事労働の例に即して、この点を具体的に述べよう。

増え続けてきた女性の家事負担を減らすにはどうしたらよいだろうか？ コーワン(2010)は、家事労働の技術システムを変化させることは困難だが、それを支配しているルールを修正すればよい、と述べる。すなわち、問題の一端を担っているのは、人々が暗黙裡に受け入れてきたルール——社会的地位を保つために必要以上の家事を生じさせているルール(週に一度はシーツを洗う、等)や、家事労働を女性だけに押し付けるルール(子育てには女性が適している、等)——であり、これらのルールを拒否したり変更したりすることが問題の解決につながる、というのである。

コーワンの提案は現在進行中のロボットの導入方法にも示唆を与えるだろう。ロボットの介護への導入が失敗しているのは、どのようなルールや慣習の下でそ

れが導入されたからだろうか、と問うてみるわけだ。ロボットの社会実装に伴ってその悪用や暴走を防ぐ法整備が必要だ、という声はしばしば聞かれるが、問題はもっと根深い。悪意ある人や制御不可能なロボットが現れなくても、暗黙裡に社会に浸透し、人々の行動を方向付けている慣習やルールが技術の有効活用を阻む可能性があるのだ。そこで筆者(呉羽 2024)は、構築的技術哲学の一つの試みとして、悲観論にも楽観論にも陥らず、技術を社会に役立てる方策を探る「改善論的技術哲学」を提唱してきた。これは、技術と慣習の両面に目を配りつつ、技術の有効活用を阻んでいる問題を特定し、除去する知的努力の必要性を説くものである。

6. 文化に配慮したロボットの導入？ ——テクノアニミズム論の問題

ここまでで、ロボットを社会問題の解決に役立てられるかは、それが用いられる社会の文化的特性を含む社会的要因に依存する、ということを確認してきた。以下では、筆者の研究から、捉え難い「文化」とロボットの関係に関する話題を紹介しよう。

誰もが知るように、社会ごとに文化的特性は異なる。そこで近年、ロボットを導入するに際しても、各社会に特有の文化に配慮したアプローチを採るべきだ、と説く論者(e.g. Suzuki 2023)が現れている。この方針自体にとがめるべき点はないが、問題はそこで「文化」と呼ばれるものが、往々にして、科学的証拠に基づかないステレオタイプによって同定されることで

ある。ロボットに関するそうしたステレオタイプの言説の代表例に、日本人は万物に魂を認めるアニミズムを信奉しているが故に、ロボットに対して好意的態度を取る、という「テクノアニミズム論」がある。人類学者が提唱し、ロボット工学や世間にも広く流布してきたこの説は、ロボット倫理の文献(e.g. クーケルパーク 2024)でも頻繁に言及されるようになっている³⁾。だが、呉羽(2021)で示したように、この説は無根拠である。日本人の間でアニミズム的傾向が根強いことを示す証拠がある一方で、ヒューマン=ロボット・インタラクション(HRI)のこれまでの研究は、日本人が西洋人に比べてロボットに対して好意的傾向を持つことを示していないのだ⁴⁾。そこで筆者は、日本社会はロボットに好意的だ、というのは、日本の政府、産業、アカデミアが作り出してきたイメージに過ぎない、と論じた。

さらに、経験的探究によって示されるこうした事実を引き合いに出すまでもなく、テクノアニミズム論はそもそも「文化」の捉え方を誤っている。それは、「文化本質主義」、すなわち『『民族や文化は、それぞれ、独自の本質的な特性を持っている』という考え方』(高野 2019, p. 23)を前提している。だが、文化とは民族に固定的な仕方で備わったものではなく、むしろ創られるものなのだ。

7. ロボットで文化を創る ——クリティカル・ロボティクス

前節で論じたように文化が創られるものであるとす

れば、ロボットで文化を創ることもできるのではないだろうか？ 技術だけで問題は解決しない。だが、慣習や制度を変えるには、地道で膨大な努力が必要とされる。そこで、技術を用いて問題を生じさせている社会慣習を問い直すことで、そうした慣習の変革を促そう、という発想である。筆者はこのようにロボットを用いて慣習的な社会規範への問題提起を行うアプローチを「クリティカル・ロボティクス」と名付け、提唱してきた。さまざまな技術の中でも、特にロボットは人間の在り方を映し出す象徴的意味を持つため、問題提起の有効な手段になると考えられる。これは、社会的な問題解決に技術を役立てる点で、技術的解決とは異なるアプローチである⁵⁾。

筆者がクリティカル・ロボティクスの着想に至ったロボットの謝罪の是非を巡る研究(Kureha 2023)を紹介しよう。近年、謝罪機能を組み込んだロボットが登場している。ロボットの謝罪に信頼回復効果が認められるという報告もあるが、自らの振る舞いに責任を負えないロボットに謝罪させることは責任の誤帰属を誘発し、社会に悪影響を及ぼす懸念がある。確かに、人間間の謝罪において責任がない場面での謝罪が許容されているため、人間社会の慣習的規範に照らしてロボットの謝罪は禁止されるべきとまではいえない。そうだとすると、謝罪を巡る当該の社会規範そのものが責任の所在を曖昧にするものであり、問題をはらんでいるのではないだろうか？ そこで筆者は、「謝らないロボット」の製作を通して、謝罪を巡る人々の考えを揺さぶり、上記の規範の妥当性を問い直す研究をロボティクスは展開すべきだ、と提案した。このよう

なクリティカル・ロボティクスの可能性は未知数であるとはいえ、謝罪の問題だけでなく、本稿で言及してきたジェンダーや障害の問題にも応用可能かもしれない。

謝辞

本研究は、JST ムーンショット型研究開発事業、JPMJMS2215の支援を受けたものである。



Makoto Kureha

呉羽 真

山口大学 国際総合科学部 講師
京都大学大学院文学研究科修了。博士(文学)。大阪大学大学院基礎工学研究科特任助教(常勤)等を経て、2021年から現職。専門は技術哲学、科学技術倫理、等。

著書に『技術哲学』(共著、昭和堂、2024)、『宇宙開発をみんなで議論しよう』(共編著、名古屋大学出版会、2022)、『人工知能と人間・社会』(共著、勁草書房、2020)、『宇宙倫理学』(共編著、昭和堂、2018)など。訳書にキャサリン・ホーリー『信頼と不信の哲学入門』(共訳、岩波書店、2024)、アンディ・クラーク『生まれながらのサイボーグ』(共訳、春秋社、2015)。

注

- 1) 鈴木(2018, pp. 8-9)は外れた技術予測の例を列挙している。なお鈴木は、ヴェルヌやカーツワイル的の中した予測を挙げて、技術に関する十分な知識があれば正確な予測は可能だ、と述べている。だが、彼らの予測が当たったのは技術に関する知識のおかげか(例えば、小説家のヴェルヌがその知識を十分に持ち、飛行機は不可能と予測した物理学者のケルヴィン卿がそれを欠いていたか)は疑問である。
- 2) 「未来を予測する最良の方法はそれを発明することだ」はリンカーンやドラッカー、プリゴジンの言葉とされることもあるが、いずれも出典は確認されていない(quotereasearch 2012)。なおケイ(Kay 1972)は、小説家・詩人パヴェーゼが日記に記した言葉「世界を知るためには、それを自ら構築しなければならない」(Pavese 1961, p. 328)を引用しており、これがケイの言葉の原型と見なせる。
- 3) テクノアニミズム論のルーツについても呉羽(2021)を参照せよ。
- 4) 田中(2023)は、日本人がAIに好意的である理由について調査を行い、その中でアニミズムがAIに対する好意と警戒をともに強めることを示した。この研究は、アニミズムがAI・ロボットへの好意に必ずしも結び付かない、という呉羽(2021)の主張を実証的に示した点で意義がある。ただし、この際に田中は、日本人がAIに対して好意的な傾向がある、ということ自体の十分な根拠を挙げていない。まず、彼は日本人が人間型のロボットに対して好意的傾向を示すHRI分野の研究を挙げるが、それらの研究ではロボット一般に関しては特に好意的傾向が認められていない(なお、テクノアニミズム論は特に人間型のロボットに定位したものではない。cf. 呉羽2021)。また、田中はAIに対する日本人の好意を示す調査結果も挙げているが、実際にはそれに反する調査結果(e.g. Maslej et al. 2023)もある。
- 5) 構築的技術哲学では、技術の設計に道徳的価値への配慮を埋め込む「価値に敏感な設計(VSD: value-sensitive design)」を重視しているが(cf. Brey 2016)、クリティカル・ロボティクスはVSDの一種と見なせる。

参考文献

- Brey, P. 2016. 'Constructive philosophy of technology and responsible innovation,' in A. W. M. Meijers, P. Kroes, P. E. Vermaas & M. Franssen (eds.), *Philosophy of Technology After the Empirical Turn*, pp. 127-143, Springer.
- Johnson, D. G. 2009. *Computer Ethics* (4th Edition), Pearson.
- Kay, A. 1972. 'A personal computer for children of all ages,' *ACM '72: Proceedings of the ACM annual conference* 1(1).
- Kureha, M. 2023. 'On the moral permissibility of robot apologies,' *AI & Society* 39(6): 2829-2839.
- Maslej, N., et al. 2023. *The AI Index 2023 Annual Report*, AI Index Steering Committee, Institute for Human-Centered AI, Stanford University.
- Pavese, C. 1961. *The Burning Brand: Diaries 1935-1950*, translated by A. E. Murch, Walker.
- quoteresearch 2012. 'Quote origin: We cannot predict the future, but we can invent it,' *Quote Investigator*®, Sep. 27, 2012. URL = <<https://quoteinvestigator.com/2012/09/27/invent-the-future/>>, 2025年2月25日閲覧.
- Shew, A. 2023. *Against Technoableism: Rethinking Who Needs Improvement*, W. W. Norton & Company.
- Suzuki S. 2023. 'We need a culturally aware approach to AI,' *Nature Human Behaviour* 7(11): 1816-1817.
- Weinberg, A. M. 1966. 'Can technology replace social engineering?' *Bulletin of the Atomic Scientists* 12(10): 4-8.
- Wright, J. 2023. *Robots Won't Save Japan: An Ethnography of Eldercare Automation*, Cornell University Press.
- 石黒浩 2021.『ロボットと人間——人とは何か』, 岩波書店.
- 金光秀和, 吉永明弘編 2024.『技術哲学』, 昭和堂.
- キム・チョヨプ, キム・ウォニョン 2022.『サイボーグになる——テクノロジーと障害, わたしたちの不完全さについて』, 牧野美加訳, 岩波書店. [原著2021]
- クーケルバーク, M. 2023.『技術哲学講義』, 直江清隆, 久木田水生監訳, 丸善出版. [原著2020]
- 2024.『ロボット倫理学』, 田畑暁生訳, 青土社. [原著2022]
- 呉羽真 2021.「日本人とロボット——テクノアニミズム論への批判」, 『Contemporary and Applied Philosophy』 13: 62-82.
- 2024.「対面神話を乗り越える——コミュニケーションメディアの技術哲学Ⅲ」, 『科学哲学』 56(2): 3-21.
- ケイ, A. 1986.「未来を発明する」, P・H・ウィンストン, K・A・ブレンダギャスト編, 『AIビジネス』所収, 97～107頁, 森健一, 南川忠利, 麻田治男訳, 近代科学社. [原著1984]
- ゲイバー, D. 1985.『未来を発明する 新装版』, 香山健一訳, 竹内書店新社. [原著1963]
- コーワン, R. S. 2010.『お母さんは忙しくなるばかり——家事労働とテクノロジーの社会史』, 高橋雄造訳, 法政大学出版局. [原著1983]
- 鈴木貴之 2018.『100年後の世界——SF映画から考えるテクノロジーと社会の未来』, 化学同人.
- 高野陽太郎 2019.『日本人論の危険なあやまち——文化ステレオタイプの誘惑と罠』, ディスカヴァー・トゥエンティワン.
- 田中辰雄 2023.「日本はなぜ AI に好意的なのか」, 『GLOCOM Discussion Paper Series』 23-002: 1-23.
- テナー, E. 1999.『逆襲するテクノロジー——なぜ科学技術は人間を裏切るのか』, 山口剛, 粥川準二訳, 早川書房. [原著1996]
- 村田純一 2023.『技術の哲学——古代ギリシャから現代まで』, 講談社.

ロボティクス2

ロボットに適用される法令と ISO標準・JIS規格の交点

慶應義塾大学 総合政策学部 教授

新保 史生

Fumio Shimpō

サイバー・フィジカル社会に向けたロボット・AI・アバターの利用に伴い適用される法令と国際標準及びJIS規格を整理する。
産業、サービス、協働ロボットなどの技術的特性に基づくロボットの分類と共に、ロボットに関する明文規定がある労働安全、通信規制、経済安全保障、医療、研究開発などの現行法令を確認した上で、ROS (Robot Operating System) の構成要素に基づきロボットの設計、安全性、操作、利用、データ保護などの関連法令や規格を把握する。

キーワード

ロボット AI アバター ISO JIS

1. はじめに

2016年に『Nextcom』第27号に掲載された拙稿「ロボット法学の幕開け¹⁾」において、ロボットと法を巡る問題について論じて以来、現在に至るまで、ロボットやAIをはじめとする新興技術の進化は、当時の予想をはるかに上回る速度で進んでおり、その能力も想像を超えるものとなっている。一方で、ロボットと法を巡る問題に関する議論は一時のAIブームの影響もあり、法学系論文において「ロボット」や「AI」と

いった用語が頻繁に見受けられるようになったものの、技術の進化に比べると法学分野における議論や研究が十分に進んでいるとは言い難い状況にある。さらに、AI統治に関する法整備は、わが国において未完であり、現状では断片的な検討や既存の法令解釈と共にパッチワーク的な法改正やガイドラインの策定にとどまっている。

そこで、本稿では、ロボットと法を巡る研究の進捗を振り返る上で、その基礎となるロボットに関する法令と関連規格を整理し確認しておきたい。

2. ロボットとは

ロボットに適用される法令を確認するに当たり、(1)「規格」と(2)「技術特性」からロボットの分類を行いたい。

(1)「規格」に基づく分類は、ISO 標準や日本産業規格(JIS)による分類がある。ロボットの種類ごとに安全基準や技術仕様が規定されており、(a)産業用ロボット(ISO 10218-1及び²⁾、(b)サービスロボット(JIS B 0187³⁾及びISO 13482⁴⁾、(c)協働ロボット(ISO 10218-1及びISO/TS 15066⁵⁾)に分けられる。

ロボットの定義は、JIS B 0134:2024⁶⁾「ロボティクス—用語」(2024年10月21日改正⁷⁾)の3.1において、「プログラムによって動作し、ある程度の自律性を持ち、移動、マニピュレーション又は位置決めを行う運動機構(注釈1:ロボットは、制御システムを含む。注釈2:ロボットの機構の例として、マニピュレータ、移動架台及び装着型ロボットがある。)」と定義されている。当該規格が定める「一般の用語及び定義」としては、自律性(3.2)、ロボット技術(3.3)、制御システム、ロボットコントローラ(3.4)、ロボティクスデバイス(3.5)、産業用ロボット(3.6)、サービスロボット(3.7)、医用ロボット(3.8)、産業用ロボットシステム、ロボットシステム(3.9)、ロボティクス(3.10)、オペレータ(3.11)、タスクプログラマ(3.12)、協働(3.13)、ロボット協調(3.14)が定められている。

その他のロボティクス関連用語規格としては、JIS B 0144⁸⁾「電子部品実装ロボット—用語」、JIS B 0185⁹⁾「知能ロボット—用語」、JIS B 0186¹⁰⁾「移動ロボット—用語」、JIS B 0187「サービスロボット—用語」及びJIS B 8442¹¹⁾「産業用マニピュレーティングロボット—エンドエフェクタ自動交換装置—用語及び特性の表し方」がある。

(2)規格に基づく分類を踏まえてロボットの技術的特性の観点から分類すると、(a)産業用ロボットと

(b)サービスロボット(生活支援ロボット)に大別することができ、産業用ロボットとして人間と協調して働くことを目的とする(c)協働ロボット、自律的に動作する(d)自律型ロボット、産業用とサービスロボットの双方の役割を担う(e)ヒューマノイド、使用環境によっていずれにも分類できる(f)医用ロボットなどがある。

その他の技術的特性による定義としては、生活支援ロボットの規格である「ISO13482」に基づくJIS B8445、B8446-1、B8446-2及びB8446-3においては、生活支援ロボットを「移動型」「装着型」「搭乗型」の3タイプに分けて定義している。

(a)産業用ロボットは、JIS B 0134:2024 (3.6)において、「自動制御され、再プログラム可能で、多目的なマニピュレータであり、三軸以上でプログラム可能で、一定箇所又は移動架台に固定され、産業自動化のアプリケーションに用いられるロボット」と定義されている。工場や製造現場で使用され、自動化された作業を行うロボットとして、プログラム制御、固定設置、人との隔離運用を特徴としている。

(b)サービスロボットは、同(3.7)において、サービスロボットを「人又は設備にとって有益なタスクを実行する、個人用又は業務用のロボット」と定義されており、人と直接接触し、家庭や商業施設向けであることを特徴としている。

(c)協働ロボットは、同(3.13)では「協働」の定義を「人と同じ空間で働くように設計されたロボットと人による作業」としており、人と協働作業を行うこと、力制御、安全停止機能を備えていることを特徴としている。産業用途であるが人間と共同で作業を行うように設計され、センサやAIを活用して人間の動きを認識して安全に作業できるロボットである。旧規格の「協働運転」及び「協働ロボット」をまとめた概念として定義の変更がなされている。

(d)自律型ロボットは、同(3.2)において「自律性」の定義を「人の介入なしに、現在の状態及びセンシ

グに基づいて所期のタスクを実行する能力」とし、同(6.13.4)が「自律モード」について「ロボットの機能が、人間の直接介入なしに、与えられた任務を達成する運転モード」と定義している。AIを搭載し自律的に移動しながら作業を行うロボット(自動運転車、配送やお掃除ロボットなど)をはじめ、公道や施設内の移動など自律性を有するロボットの開発や普及が進んでいることに鑑みて、2024年の同規格の改正では、「ロボット」(3.2)の定義の変更と「自律性」(3.2)への補足説明とし自律性の程度についての説明及び例示が注釈1として追加されている。さらに、「ロボット技術」(3.3)の定義が2024年の改正で追加され、ロボット又はその制御システムの設計に広く用いられ、実用的な知識として特に自律性を高めるために用いられる認識、推論及び計画のアルゴリズムを意味する定義となっている。

なお、自律性の尺度は、一定の自律性を有する医用電気機器及び医用電気システムに関する技術報告書であるIEC/TR 60601-4-1:2017¹²⁾に規定がある。製造者がリスクマネジメントやユーザビリティエンジニアリングプロセスを実施する際の重要な意思決定や手順について支援し、自律性を有する機器やシステムの基本的な安全性と基本性能に関する考慮事項が示されている。

(e)ヒューマノイドは、「人間形ロボット、ヒューマノイドロボット」(4.15.5)として「胴体、頭部及び肢を持ち、外観及び動作が人のようなロボット」と定義されている。また、人間に酷似した外見を持つ遠隔操作型アンドロイドを「ジェミノイド(Geminoid)¹³⁾」と称している。特定の個人をモデルとした当該人物の外見を忠実に再現したロボットとしての「ジェミノイド」という名称は、「双子」を意味する「gemini」と「アンドロイド(android)」を組み合わせた造語として、大阪大学の石黒浩教授が提唱した概念である。

(f)医用ロボットは、「医用電気装置又は医用電気システムとしての用途を目的としたロボット」同(3.8)

と定義されている。医療分野で使用されるロボットや、人体の一部として機能する義肢・補助装置、外科手術支援、介護支援やリハビリなどで用いられるロボットであり、産業用ロボットともサービスロボットとも見なされていない。

その他、従来のロボットの分類には含まれないが、「サイバネティック・アバター」に関する研究が進んでいる。サイバネティック・アバターとは、遠隔操作によって人間の代わりに行動したり、複数のアバターを同時に操作してさまざまなタスクを実行するなど、人間の能力を拡張し、物理的・時間的・空間的制約から解放することを目的として設計された、物理的なロボットやバーチャルなアバターを含む概念である。「総合科学技術・イノベーション会議」が推進する「ムーンショット型研究開発制度」の目標1では、2050年までにこの技術を活用して、人々が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会の実現を目指している。

3. ロボットと法

3.1 ロボットと法令

法令において、ロボットに関する規定を明記しているものは、大きく五つのカテゴリーに分類できる。

(1)労働安全に関する規定として、労働環境におけるロボットの安全管理に関して、「労働安全衛生規則(昭和47年労働省令第32号)」において、労働者の安全確保を目的とした産業用ロボットを含む機械の安全対策が定められている。また、「労働安全コンサルタント及び労働衛生コンサルタント規則(昭和48年労働省令第3号)」においては、労働安全の専門家が求められる知識の範囲の一つとして「産業用ロボット」が含まれている。

(2)通信規制に関する規定として、ロボットが通信設備として利用される場合に「電波法施行規則(昭和25年電波監理委員会規則第14号)」が適用される。同

規則では、通信設備以外で許可を要する設備の一つとしてロボットが対象となる場合がある。

(3)経済安全保障に関する規定として、ロボット技術や製品が特定重要物資として管理対象となっている。「経済施策を一体的に講ずることによる安全保障の確保の推進に関する法律施行令(令和4年政令第394号)」では、第1条第4号において、工作機械及び産業用ロボットが「特定重要物資」として指定されている。また、「輸出貿易管理令別表第一及び外国為替令別表の規定に基づき貨物又は技術を定める省令(平成3年通商産業省令第49号)」では、産業用ロボットを含む特定技術の輸出規制が定められている。

(4)研究開発について、ロボットの研究開発を促進するために、特定の事業や特区制度を通じた支援が規定されている。「国家戦略特別区域法施行規則(平成26年内閣府令第20号)」では、医療や介護分野におけるロボットの研究開発及び製造に関する事業が対象とされており、これには関連施設や設備の整備・運営も含まれる。同様の規定は、「総合特別区域法施行規則(平成23年内閣府令第39号)」にもある。

(5)医療分野に関する規定として、ロボットが医療機器として利用される場合、その品質や安全性の確保が求められる。「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律施行規則(昭和36年厚生省令第1号)」では、別表第二(第181条関係)において、「手術用ロボット」が理学診療用器具として明記されている。

3.2 ROS (Robot Operating System)の構成要素と法

ロボットと個別法令については、オープンソースのロボット制御ソフトウェア及びそれらを含むロボット開発プラットフォームであるROS¹⁴⁾(Robot Operating System)の構成要素に照らして関係する法令を筆者が整理¹⁵⁾していることから、本稿ではそのアップデートを兼ねて関係法令を紹介する。

ROSとは何かという点については、ROSプロジェクトのBrian Gerkeyによる「plumbing(通信)、tools(ツール群)、capabilities(機能群)、ecosystem(エコシステム)¹⁶⁾」というROSを構成する四つの要素を

図表 ROSを構成する要素

plumbing (通信)	分散コンピューティングシステムを迅速かつ容易に構築するために設計された出版・購読型(publish/subscribe)のメッセージ通信基盤を提供するもの。
tools (ツール群)	分散コンピューティングシステムの設定、起動、イントロスペクト、デバッグ、可視化、ロギング、テスト及び停止を行うための広範なツールセットを提供するもの。
capabilities (機能群)	モビリティ、マニピュレーション、知覚等のロボット機能を実装する際に有用である多様なライブラリ群を提供するもの。
ecosystem (エコシステム)	世界中の開発者から提供されている何千ものROSパッケージを探索し学習することができるワンストップのサービス。

踏まえて、「ロボットと法(ロボットと法令その他の規範)」について考える。最新の ROS2 では、①スクラッチ開発、② DDS (Data Distribution Service) の採用、③マスターレス化、④リアルタイム制御、⑤複数台ロボット対応が新たに実装されている。

「通信、ツール群、機能群」と法については、主にロボットと安全に係る法令を確認する必要がある、①ロボットの設計や製造に係る製造物としての安全性を確保するための法令その他の規範と、②ロボットの操作や利用における安全確保の両面から適用される法令がある。また、「通信(plumbing)」は出版・購読型の通信基盤とミドルウェアから構成されるものであり、製造物責任法との関係においては、(a)ハードウェアとしてのロボット本体、(b) OS 及びアプリケーション、(c)ミドルウェアに分けての検討が必要である。

3.3 ロボットの設計や製造に係る製造物としての安全性を確保するための法令その他の規範

「製造物」としてのロボットは、「製造物責任法(通称:PL 法)(平成6年7月1日法律第85号)」が適用される。家庭用ロボットの安全基準は「消費生活用製品安全法(昭和48年法律第31号)」、電源を使用するロボットの安全基準は「電気用品安全法(昭和41年法律第234号)」、ロボットによる通信については、「電波法(昭和25年5月2日法律第131号)」が適用される。

産業用ロボットには、ロボットによる事故を防ぎ作業者の安全を確保するために詳細な規格が定められて

いる。ISO10218-1(産業用ロボットの安全要求事項:ロボットの設計や製造において、安全性をどのように保証するか検討するための手引きとされ、リスク除去の要求事項を定める)、ISO10218-2(ロボットインテグレーション、設置、機能試験、その他各安全防護の指針について記載)、ISO10218-1を補足するための協働ロボットの安全規格である ISO/TS15066 がある。

(a)ハードウェアとしてのロボット本体は「有体物」として製造物責任法の対象となる。一方、(b) OS 及びアプリケーションは「無体物」であり対象とはならない。ただし、それらがロボットを制御するためのシステムにインストールされハードウェアと一体になったものとして扱われる場合には、製造物責任法の対象となることがある。なお、OS やアプリケーションの不具合がその製造物自体の欠陥と解される場合には、その欠陥と損害との間に因果関係が認められるときには、当該 OS 等を開発した側ではなくそれを組み込んだロボットを開発・製造した製造物の製造業者等にこの法律による損害賠償責任が生ずることがある。(c)ミドルウェアについては、サーバの本体など有体物の結果については(a)のハードウェア同様であるが、クラウド上でのデータベースやサービスの提供などに伴うデータの消失等の欠陥については製造物責任法の対象ではなく、債務不履行責任又は不法行為責任に基づく損害賠償請求がなされることが考えられる。

プロジェクト管理、デバッグ、シミュレーションや可視化などのツール群に係るプログラム、ロボットの

移動、マニピュレーションや知覚などをロボットに実装する機能群、その他ロボットのデザインなどは、知的財産法（著作権、特許、実用新案、意匠、商標、半導体回路）や JIS 規格などの産業規格が適用される。特に、2015年の商標法改正では、これまでは、文字や図形、記号、立体的なものなどが商標の保護対象であったが、「音その他政令で定めるもの」が追加され、「音、ホログラム、位置、色彩、動き」へと対象が拡充されている。これにより、ロボットを操作するコントローラのボタン部分の図形（位置商標）や、自動車の形状からロボットの形状に変形する玩具は意匠登録がなされてきており、ロボットの特徴ある動作を「動き商標」として商標登録することも可能となっている。

3.4 ロボットのセキュリティにおける 安全確保を目的とする法令等

ロボット技術の進展に伴い、情報セキュリティ確保の重要性が高まっており、ロボットが IoT や AI 技術と連携して動作する場合、不正なアクセスやプログラムの改ざんやマルウェアの脅威がある。これらの問題に対処する法令としては、刑法（不正指令電磁的記録に関する罪）や不正アクセス禁止法（平成11年法律第128号）の適用が考えられる。

3.5 ロボットの動作における 安全確保を目的とする法令等

ロボットの動作に伴い適用される法令としては、

(1) ロボットによる公道走行、(2) ドローン等の空中移動ロボット、(3) 医療機器としての利用、(4) 警備における利用などが挙げられる。

(1) ロボットによる公道走行は道路交通法（昭和35年法律第105号）が適用され、その運行装置には道路運送車両法（昭和26年法律第185号）が適用される。2020年4月に施行された改正道路交通法により車の保安基準が改正され、改正道路運送車両法により自動運行装置（レベル3）を用いた自動運転車を販売し公道を走行させることが可能となった。さらに、2022年4月の改正（2023年4月施行）により無人運転車（レベル4）の公道走行も「特定自動運行」として認められている。無人走行によるバスやタクシーなどの旅客運送事業や自動運転の車で貨物輸送事業を行う自動車運送業者には、道路運送法（昭和26年法律第183号）が適用され、さらに後者については貨物自動車運送事業法（平成元年法律第83号）も適用される。なお、自動運転車や無人車両についても自動車損害賠償保障法（自賠法）（昭和30年法律第97号）の適用を受ける。

(2) ドローン等の空中移動ロボットは、航空法（昭和27年法律第231号）の適用を受ける。2022年の改正航空法では、レベル4（有人地帯での目視外飛行）まで認められるようになっている。

(3) 手術ロボットなどの医療機器としての利用には、医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律（昭和35年法律第145号）（略称：薬機法）が適用される。

(4) ロボットを警備において利用する場合、警備業法(昭和47年7月5日法律第117号)第2条第5項は「機械警備業務」について定めている。ただし、ロボットなど機械を用いた警備は通報のみが認められており、警備システムそのものによる実力行使は認められていない。刑事訴訟法213条による現行犯逮捕に伴う有形力行使も、社会通年上必要かつ相当な範囲において「警察官と私人の別を問わず」認められるが、当該有形力の行使は自然人を前提としたものである。よって、ロボットが法令遵守のための動作をすることは、現行の警備法においてはできない。警備ロボには、法律を守らせるために必要かつ確実な動作をさせることができると考えられるが、警備業法が人による警備の執行のみを前提とした法律であるが故に、自律型のロボットが警備を行うまでには至っていない。

3.6 ロボットの操作や利用における 安全確保を目的とする法令等

ロボットの操作や利用における安全確保については、「労働安全衛生法」(通称: 労安衛法)(昭和47年6月8日法律第57号)が適用される。同法は、①危険防止のために必要な措置、②安全衛生教育や就業に当たって必要な措置、③労働者の健康保持や増進の措置について定めている。同法が定める措置の詳細事項は、「労働安全衛生規則」(昭和47年9月30日労働省令第32号)(以下「安衛則」という。)で定められており、産業用ロボットについての措置は、同規則第2編1章9節(第150条の3ないし第151条)に、①教示等(150条の3)、②運転中の危険の防止(150条の4)、③検査等(150条の5)、④点検(151条)について定められている。

労安衛法20条に基づく安衛則150条の4(運転中の危険の防止)は、産業用ロボット(定格出力が80W(ワット)を超えるもの。)に接触することにより危険が生ずるおそれがあるときは、さく又は囲い等を設けることと定めている(いわゆる80ワット規制)。この規

定については、産業用ロボットと人との協働作業が可能か否か明確でなかったことから、平成25年6月14日に閣議決定された規制改革実施計画において安全基準の明確化を図ることが示され、平成25年12月24日付基発1224第2号通達(以下、「2号通達」という。)により、産業用ロボットと人との協働作業が可能となる安全基準が明確化されている。なお、出力が80W未満の産業用ロボットを導入する際は、ロボットの周囲に安全柵の設置義務はない。

2号通達では、リスクアセスメントにより危険のおそれが無くなったと評価できるときは、協働作業が可能としている。産業用ロボットを使用する事業者が、労安衛法第28の2による危険性等の調査(リスクアセスメント)に基づく措置を実施し、産業用ロボットに接触することにより労働者に危険の生ずるおそれが無くなったと評価できるときは、「労働者に危険が生ずるおそれのあるとき」に該当しないことが示された。評価結果は、「危険性又は有害性等の調査等に関する指針」(平成18年3月10日付指針公示第1号)に基づき記録し保管しなければならない。また、当該指針の9の(3)前段アの「はさまれ、墜落等の物理的な作用」の危険性による負傷の重篤度及びそれらが発生する可能性の度合いの見積もりに当たっては、基発第339号労働省労働基準局長通達(施行通達)別紙によって①産業用ロボットのマニプレータ等の力及び運動エネルギー、②産業用ロボットのマニプレータ等と周辺構造物に拘束される可能性、③マニプレータ等の形状や作業の状況(突起のあるマニプレータ等が眼などに激突するおそれがある場合、マニプレータ等の一部が鋭利である場合、関節のある産業用ロボットのマニプレータ間にはさまれる可能性がある場合等)について特に留意することが定められている。

さらに、2号通達では、ISO規格に定める措置を実施した場合も、協働作業を可能としている。前述のISO10218-1:2011及びISO10218-2:2011に基づいて設計、製造及び設置された産業用ロボット(産業用ロ

ボットの設計者、製造者及び設置者が別紙に定める技術ファイル及び適合宣言書を作成しているものに限る。)を、その使用条件に基づき適切に使用している場合にその対象となる。

3.7 ロボットの利用に伴う

情報の取り扱いに関する法令等

ロボットに装着されているカメラやセンサー等が収集するデータには、特定の個人を識別することができる個人情報が含まれることも多いことから、個人情報の保護に関する法律(通称：個人情報保護法)(平成15年5月30日法律第57号)に基づく個人情報取扱事業者の義務については慎重に検討が必要である。AIが搭載されたロボットについて学習データの利用などについては著作権法(明治32年3月4日法律第39号)が適用される。また、ロボットによる営業秘密の取得や限定提供データの保護については、不正競争防止法(平成5年5月19日法律第47号)が適用される。

その他、情報の取り扱いにおいて秘密として保護すべき情報については、各種秘密保持義務が課されている法令に基づく取り扱いが義務付けられる。

4. おわりに

ロボット技術の進化は社会のあらゆる分野に影響を与え、法制度もその変化に応じた対応が求められている。しかしながら、現行の法規制は、個別分野における断片的な対応や既存の枠組みの延長にとどまる部分が多く、自律型ロボットに見られるようにAIによるロボット技術の進展や新たな社会的課題に対応し切れていないのが現状である。特に、ロボットの自律性や人間との協働に関する安全性、情報セキュリティ、データの取り扱いに関する課題は、今後の法制度設計において中心的な課題として引き続き検討が必要である。また、国際的な規格や法令との整合性を検討することは、国内外でのロボット技術の円滑な導入や普及

には不可欠である。

本稿が、ロボット法におけるさらなる研究や実務的な議論の深化に資することを願いつつ、今後も法制度と技術との適切な関係構築を目指した研究を継続する必要性を改めて強調したい。

謝辞

本研究は、JST ムーンショット型研究開発事業、JPMJMS2215の支援を受けたものです。



Fumio Shimpo

新保 史生

慶應義塾大学 総合政策学部 教授
専門は、憲法、情報法、ロボット法。ムーンショット型研究開発事業「目標1 研究開発プロジェクト：アバターを安全かつ信頼して利用できる社会の実現」のプロジェクトマネージャー、総務省情報通信政策研究所特別研究員、情報ネットワーク法学会「ロボット法研究会」主査、日本ロボット学会「ロボットの法及び倫理に関する研究専門委員会」幹事、情報法制学会運営委員、憲法学会常務理事、情報通信学会理事、法とコンピュータ学会理事。経済協力開発機構(OECD) デジタル経済セキュリティ・プライバシー部会(SPDE)副議長(2009～2016年)、個人情報保護委員会専門委員(2018～2023年)等を歴任。

注

- 1) 新保 史生「ロボット法学の幕開け」Nextcom Vol.27(特集 IoTとイノベーション) (2016) PP.22-35。
- 2) ISO 10218-1:2011 (Robots and Robotic Devices - Safety Requirements for Industrial Robots - Part 1: Robots) 産業用ロボットの安全要求事項を規定した国際標準規格であり、ロボットの設計、製造、運用に関する安全基準を含む。JIS B 8433-1:2015 (ロボット及びロボティックデバイス—産業用ロボットのための安全要求事項—第1部: ロボット) 産業用ロボットの安全要求事項を定めた日本産業規格であり、ロボットを他の機器や機械と組み合わせるロボットシステムのインテグレーション、設置、機能試験、プログラミング、運転、保守及び修理における安全要求事項を規定している。ISO 10218-2:2011 (Robots and Robotic Devices - Safety Requirements for Industrial Robots - Part 2: Robot Systems and Integration) 産業用ロボットシステム及びインテグレーションに関する安全要求事項を規定した国際標準規格。JIS B 8433-2:2015 (ロボット及びロボティックデバイス—産業用ロボットのための安全要求事項—第2部: ロボットシステム及びインテグレーション) 産業用ロボットシステム及びインテグレーションに関する安全要求事項を定めた日本産業規格。
- 3) JIS B 0187:2005 (サービスロボット—用語) サービスロボットに関連する用語を定義した規格。
- 4) ISO 13482:2014 (Robots and Robotic Devices - Safety Requirements for Personal Care Robots) 生活支援ロボットの安全基準を定めた規格 (ISO 13482の制定は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「生活支援ロボット実用化プロジェクト」による検討をISOに提供して規格策定に至ったもの)。国内規格は、JIS B 8445:2016 (ロボット及びロボティックデバイス—生活支援ロボットの安全要求事項) 生活支援ロボットの安全基準、JIS B 8446-1:2016 (生活支援ロボットの安全要求事項—第1部: マニピュレータを備えない静的安定移動作業型ロボット) 静的安定移動作業型の単関節ロボットの安全基準、JIS B 8446-2:2016 (生活支援ロボットの安全要求事項—第2部: 低出力装着型身体アシストロボット) 低出力装着型身体アシストロボットの安全要求事項、JIS B 8446-3:2016 (生活支援ロボットの安全要求事項—第3部: 倒立振子制御式搭乗型ロボット) 倒立振子制御式搭乗型ロボットの安全要求事項を定める規格がある。これらの規格に加え、生活支援ロボットには、ISO 18646-4:2021 (Robotics - Performance Criteria and Related Test Methods for Service Robots - Part 4: Lower-Back Support Robots) 腰補助ロボットの性能基準及び関連試験方法を規定した規格及びJIS B 8456-1:2023 (生活支援ロボット—第1部: 腰補助用装着型身体アシストロボット) 腰補助ロボットの標準規格を規定した規格がある。
- 5) ISO/TS 15066:2016 (Robots and Robotic Devices - Collaborative Robots) 協働ロボットに関する標準仕様書であり、産業用協働ロボットシステムとその作業環境の安全要求事項を規定。ISO 10218-1及びISO 10218-2に記されている産業用協働ロボットの運転に関する要求事項及びガイダンスを補完。TS B 0033:2017 (ロボット及びロボティックデバイス—協働ロボット) 協働ロボットに関する標準仕様書であり、産業用協働ロボットシステムとその作業環境の安全要求事項を規定。ISO 10218-1及びISO 10218-2に記されている産業用協働ロボットの運転に関する要求事項及びガイダンスを補完。
- 6) ISO 8373:2021 (Robotics - Vocabulary) ロボット技術に関する用語を定義した規格。JIS B 0134:2024 (ロボティクス—用語) ロボット技術に関する用語を定義した規格。「ISO 8373:2021」(Robotics - Vocabulary) との整合化を図るべく、「JIS B 0134:1998」(産業用マニピュレーティングロボット—用語) として改正され、「JIS B 0134:2015」として改正された後、現行規格に至る。また、図記号の定義は、JIS B 0138:1996 (産業用ロボット—図記号) に定められている。
- 7) 2024年10月21日の改正版では、ロボット技術の発展に伴う新しい用語の追加や修正、サービスや医療分野への対応強化、産業用ロボットの形態や性能に関する使用されていない用語の除外がなされている。
- 8) JIS B 0144:2000 (電子部品実装ロボット—用語) 電子部品の実装に用いられるロボット関連の用語を定義。
- 9) JIS B 0185:2002 (知能ロボット—用語) 知能ロボットに関する基本用語を定義。
- 10) JIS B 0186:2020 (移動ロボット—用語) 移動ロボットに関する基本的な用語を定義。

注

- 11) ISO 11593:1996 (Manipulating Industrial Robots - Automatic End Effector Exchange Systems - Vocabulary and Presentation of Characteristics) エンドエフェクタ自動交換装置の用語と特性表記を規定。ISO 9946:1999 (Manipulating Industrial Robots - Presentation of Characteristics) 産業用マニピュレーティングロボットの特性を表す方法を規定した規格。JIS B 8431:1999 (産業用マニピュレーティングロボット—特性の表し方) 産業用マニピュレーティングロボットの特性を表す方法を規定した規格。ISO 9283:1998 (Manipulating Industrial Robots - Performance Criteria and Related Test Methods) ロボットの性能測定と試験方法を規定した国際標準規格。JIS B 8432:1999 (産業用マニピュレーティングロボット—性能項目及び試験方法) ロボットの性能測定と試験方法を規定した規格。JIS B 8442:1997 (産業用マニピュレーティングロボット—エンドエフェクタ自動交換装置—用語及び特性の表し方) エンドエフェクタ自動交換装置の用語と特性表記を規定。ISO 9409-1:2004 (Manipulating Industrial Robots - Mechanical Interfaces - Part 1: Plates) 産業用ロボットのフランジ形メカニカルインタフェースの仕様を規定。JIS B 8436:2005 (産業用マニピュレーティングロボット—メカニカルインタフェース—フランジ形) 産業用ロボットのフランジ形メカニカルインタフェースの仕様を規定。
- 12) IEC/TR 60601-4-1:2017 (Medical electrical equipment Part 4-1: Guidance and interpretation - Medical electrical equipment and medical electrical systems employing a degree of autonomy) 一定の自律性を有する医用電気機器及び医用電気システムに関する技術報告書を示したIEC規格。
- 13) 大阪大学大学院 基礎工学研究科 石黒研究室「ジェミノイド—モデルの人に酷似した外見を持つアンドロイド」
<https://www.irl.sys.es.osaka-u.ac.jp/projects/geminoid?utm_source=chatgpt.com>。
- 14) ROS - Robot Operating System<<https://www.ros.org/>>.
- 15) 新保史生、吉川雄一郎、酒井和紀、原田伸一郎「法律を守り・守らせるロボットの社会実装に向けた研究」人工知能学会誌38巻5号(2023)PP.730-737。
- 16) What is ROS exactly? Middleware, Framework, Operating System?
<<https://answers.ros.org/question/12230/what-is-ros-exactly-middleware-framework-operating-system/>>
(Updated Jan 29, 2014): Brian Gerkey (Dec 6, 2011).

ロボティクス3

脳が長持ちする会話を支援する ロボットの開発

特定国立研究開発法人理化学研究所 革新知能統合研究センター
認知行動支援技術チーム チームディレクター

大武 美保子

Mihoko Otake

高齢者の約4人に1人は認知症または認知症予備軍といわれる現代。

2025年には認知症または認知症予備軍の数が約1,000万人に達すると推計されている。

そして、95歳以上の約8割が認知症であると推計されている。

しかし、認知症を予防する具体的な方策が知られているにもかかわらず、普及していない。

もしも普及すれば、劇的に状況が改善する可能性を秘めている。

本稿では、認知症予防、特に会話による認知的介入の考え方と、それに基づいて考案した会話支援手法を紹介する。

その上で、認知症を防ぐ社会の構想と、実現に向けた「脳が長持ちする会話」を支援するロボットの開発と効果検証、利用評価、導入事例、そして将来の展望について述べる。

キーワード

認知症予防 会話支援 ロボット 共想法 脳

1. 認知症予防にロボットを活用する

ロボティクスは、ロボットの構想、設計、製造、運用などを対象とした工学の一分野であり、人間の役に立つロボットを実現する学問である。これまでは工場の生産用途、飲食店での配膳用途などで活躍するロボットがメジャーであったが、今後は高齢化を支える介護や医療、災害救助、警備、農業、観光、エンター

テインメントといった幅広い分野での活躍が期待されている^[1]。そのような中、筆者は、認知症予防にロボットを用いる取り組みをしている。具体的にはロボットと人とが協働して、人に所定の効果、ここでは、認知症予防効果をもたらすグループ会話ができるよう働きかけるロボットや、人と対話することを通じて、人が所定の認知機能を活用するよう促すロボットを開発している。なぜ、会話が認知症予防につながるのか？ なぜ、会話をロボットが支援することが、認

知症予防に有効と考えられるのか？ 本稿では、脳の仕組みに基づく認知症予防の考え方について解説する。そして、認知症予防の考え方に沿って開発した会話支援手法と、会話支援手法に準拠した会話を支援するロボットを開発し、利用評価した事例について紹介する。認知症予防というと、高齢者以外の世代からは、まだ先の話と思われることが多い。実際には、生涯にわたる脳の使い方が、脳を長持ちさせることにつながるものが広く知られるよう、認知症予防を「脳が長持ちする」と言い換えて発信することとし、『脳が長持ちする会話』という書籍を出版した(図表1、次頁)^[2]。

2. 会話で脳の状態を推定し、介入する

認知症とは、医学が扱う対象で、情報学が扱う対象ではないと考えられていた。ところが、その仕組みをひもとくと、生涯にわたる生活習慣、特に思考や行動の習慣が、認知症発症確率を左右することが分かった。脳は情報処理機械と捉えることができ、入出力によって、内部状態を変化させることができる。情報学の観点から、認知症予防にアプローチすることが可能であると筆者は気付いたのである。

思考パターンが顕在化する行動の一つに、会話がある。会話を注意深く観察すると、会話している人の思考過程をある程度推定することができる。さらに、会話にルールを設定することで、会話を構成する複数種類の行動とその基となる思考を、高い確率で促すことが可能となる。会話で脳の状態を推定し、脳の状態に介入することが、原理的に可能である。これは脳の仕組み上自明であるが、具体的にどのようにすれば、脳の状態を推定したり、所定の状態に遷移させたりすることができるかは、明らかでなかった。そこで、認知症発症の仕組みに基づいて有効と考えられる行動を挙げ、そのような行動を促す会話支援手法を考案した。当初は、会話の司会進行を人が行っていたが、これを

ロボットに置き換えることで、質を担保し、サービスをスケールさせることが可能になり得ることから、会話支援手法に準拠して、会話を支援するロボットを開発することとした^[3]。

ここで、認知症の定義について整理する。認知症とは、脳や身体の疾患を原因として、記憶・判断力などの障害が起こり、普通の社会生活に支障がある状態を指す。認知症の原因疾患は70種類以上が知られているが、そのうち70%がアルツハイマー病、20%が脳梗塞や脳出血などの脳血管障害である。このため、認知症を予防する際に想定されるのは、アルツハイマー病と脳血管障害の予防である。それ以外の原因疾患による発症を想定していない点について、あらかじめ述べておきたい。また、アルツハイマー病や脳血管障害は、他の疾患、例えば感染症などと同様、発症を100%防ぐことは困難であるが、確率を下げるができるという意味で、予防できると述べることを、ここで確認したい。

3. 認知症を予防する2段階アプローチ

認知症は、早いうちから適切な予防を始めることで、発症の確率を劇的に減らすことが期待できる。その予防には、2段階のアプローチがある。

1段階目：原因疾患である、アルツハイマー病や脳血管障害を防ぐ

2段階目：アルツハイマー病の病理変化や脳血管障害があっても認知機能が低下するのを防ぐ

前者には、食生活や運動により、生理的要因にアプローチすることが有効である。具体的にはウォーキングや水泳などの有酸素運動を行ったり、野菜や果実、魚を食べる頻度を増やしたり、ワインをたしなむなど抗酸化作用がある食べ物や飲み物を摂ったりすること

が挙げられる。食生活の改善と適度な運動によって代謝を促し、認知症発症の主な原因疾患である脳血管障害やアルツハイマー型認知症の病理的兆候の一つであるアミロイド β タンパク質の沈着を抑えることを目指す。

後者には、知的活動や社会的交流により、認知的要因にアプローチすることが有効である。脳血管障害やアルツハイマー型認知症の病理的兆候が脳に見られたとしても、脳の中の神経細胞同士のネットワークを保つことで、認知機能低下を遅らせることが可能であることが知られている。認知機能を発揮するために必要な神経ネットワークを保つためには、その神経ネットワークを必要とする活動をすることが有効である。

4. 低下しやすい三つの認知機能を活用する「共想法」の提唱

加齢とともに低下しやすく、認知症を発症すると著しく機能低下して日常生活に支障をきたす三つの認知

機能が知られている。体験したことを覚えるときに発揮される「体験記憶」機能、二つ以上のことを同時進行するときに発揮される「注意分割」機能、計画や段取りを考えて実行するときに発揮される「計画実行」機能である。

人とのつながりが少ない人は、多い人と比べて、認知症を発症する割合が高いという疫学研究がある^[4]。人との交流の中で、低下しやすい認知機能を活用する機会がより少ないためと考えられる。ただし、人との交流の仕方には個人差が大きいので、全ての人との交流が認知症予防につながるとは考えられない。そこで、認知症予防につながる社会的交流を高い確率で発生させる会話支援手法「共想法」を提唱している^[5]。三つの低下しやすい認知機能を活用できるように会話にルールを加えたものである。筆者が開発している脳が長持ちする会話を支援するロボットは、「共想法」の進行役を担うことから、共想法の手順を説明する。

共想法は、複数人(4人から6人ほど)が集って行う会話を支援する手法で、1対1や遠隔での実施も可能

図表1 『脳が長持ちする会話』



図表2 共想法での行動と活用する認知機能

認知機能	共想法での行動
体験記憶	最近の体験について話したり聴いたりする
注意分割	「写真を見る」「人の話を聴く」「質問を考える」それを基に「話す」ことで複数のことを同時に行う
計画実行	テーマに沿って行動し、時間を意識して分かりやすく話す

出典：参考文献[2]

である。共想法は、二つのルールによって定義される。

ルール1：あらかじめ設定されたテーマに沿って、
参加者が写真と話題を持ち寄る

ルール2：参加者が「話す」「聴く」「質問する」
「答える」順序と持ち時間を設定する

テーマは、これまでに100種類以上を考案し、試行している。関連手法である回想法との違いは、テーマを過去に設定するのではなく、「最近」や「現在」に注意が向くように設定する点にある。例えば、「季節の楽しみ」、「10分歩いて見つけたもの」といったテーマを設定する。参加者は共想法実践当日までにテーマに沿った写真を撮って、準備する。

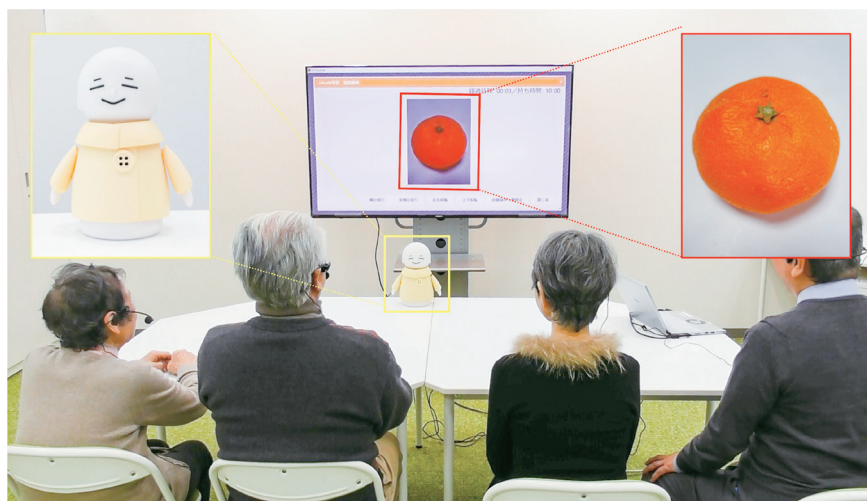
参加者はまず、1分間で自分の写真について話をする。参加メンバーが撮った写真が、1枚ずつ順にモニターに映し出される。写真1枚につき1人1分間で考えたことや感想を話し、他のメンバーは話をよく聴いて、質問を考える。次に、2分間で質問をする。1枚の写真につき2分間、他のメンバーが順番に質問し、話し手はその質問に答えていく。

共想法の活動とその活動を通じて活用される認知機能の関係について図表2に示す。定期的に共想法に参加するようになると、体験を覚えて思い出す、を定期的に行うことになり、共想法が体験記憶のサイクルを回すペースメーカーになる。そして、話題を見つけるために、テーマを意識しながら生活することで注意分割機能を、話題を作り出すために積極的に行動を起こすことで「計画実行」機能を使う。

5. 訓練効果を高めるための 会話支援ロボット「ぼのちゃん」の開発

共想法は、少人数で実施する方が効果が期待できる。なぜならば、人数が少ないほど単位時間当たりに1人が質問する時間が増えるためである。しかし、グループごとに司会者を配置すると、運営にコストがか

図表3 会話支援ロボット「ぼのちゃん」が共想法形式のグループ会話を司会進行する様子



出典：参考文献[2]

かり、サービスをスケールさせることが難しくなる。また、質問の時間には自由度があるため、誰かが多く発言すると、結果として他の人の発言の機会が奪われることになる。サービスの質を担保するためには、発言量を測定し、バランスを取る必要がある。さらに、ルールを守らない参加者がいたときに、人間の司会者では躊躇してしまうところ、ロボットであれば遠慮なく指摘することが可能となる。そこで、共想法の一連のプロセスを支援する共想法支援システムと、そのシステムと連携して動作する会話支援ロボット「ほのちゃん」を開発した。ほのは、「ほのほの」という言葉のうちの「ほの」に由来しており、参加者がほのほのした気持ちで臆せず会話ができるよう、雰囲気をつくることを意図した意匠となっている。

ロボットは、共想法のルールに沿って時間通りに司会進行し、話題提供、もしくは質問に答える参加者を順に指し示す。発言量計測を行う場合、発言量が少ない人を当て、発言量が多く発言が長い参加者の発言

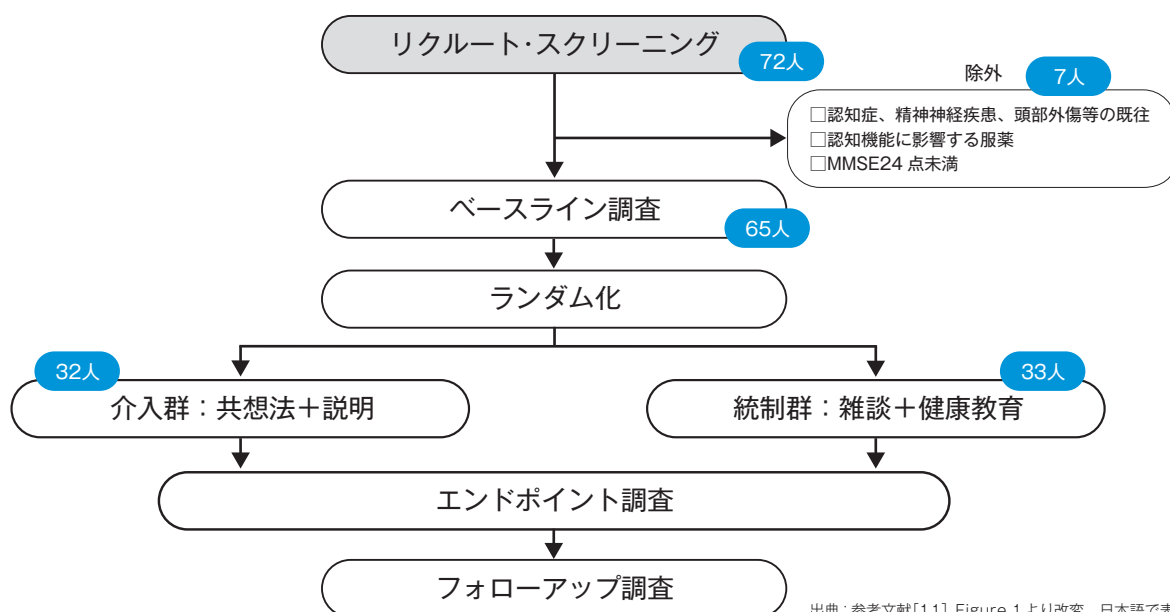
を止める機能を有する^[6]。共想法は商標登録^[7]している他、発言量制御など、共想法を中心とする会話を支援する一連の基盤技術^[8]は、特許として登録されており、筆者が所属していた千葉大学が特許権者となり、ライセンスを行っている。

共想法支援システムと連動して、会話支援ロボット「ほのちゃん」が共想法形式のグループ会話を司会進行する様子を図表3（前頁）に示す。

6. 認知的介入プログラム「PICMOR」の効果検証

会話支援ロボット「ほのちゃん」が司会する共想法形式のグループ会話による認知的介入プログラムをPICMORプログラムと名付け、PICMORプログラムのランダム化比較試験を行い、効果を検証した^[9]。PICMORとは、Photo-Integrated Conversation Moderated by Robotsの頭文字を取ったもので、

図表4 PICMORプログラムのランダム化比較試験の流れ



出典：参考文献[11] Figure 1より改変、日本語で表記

pickup more information というフレーズの最初の2語の3文字ずつを取ったものでもあり、共想法を通じて、周囲からより多くの情報を取得できるようにという狙いを表している。PICMOR プログラムのランダム化比較試験の流れを図表4に示す。

72人の在宅高齢者を対象に、スクリーニングを行い、認知症でないなど条件を満たす65人の高齢者を選出、32人の介入群と33人の統制群にランダムに分けた。介入群、統制群、それぞれに4人ずつ(統制群は1グループのみ5人)のグループを構成し、グループ会話を30分ずつ行った。全12回週1回ずつ、各回、介入群はPICMOR プログラムとプログラムに効果的に参加するための説明セッション、統制群は雑談と健康教育セッションに参加した。前後に認知機能検査と質問紙調査と、条件を統制しない雑談、介入後にMRI 撮像を行った。

ランダム化比較試験の結果、「1分間に言える“か”で始まる単語数」で測定できる、言語流暢性について、共想法を実践するPICMOR プログラムに参加した介入群の方が自由に雑談した統制群に比べて、単語数が有意に向上するという結果が得られた。言語流暢性とは、言葉の出でやすさ、つまり、言葉を取り出す能力を指す。どれくらいスラスラと言葉が出てくるかが、認知的柔軟性や創造性にも関わるとされる。言語流暢性も加齢とともに低下しやすく、認知症になると極端に低下することが知られている認知機能である。このため、言語流暢性が向上したということは、認知症になると低下する認知機能を底上げし、認知症発症までの時間を先送りすることにつながるといえる。

この時、言語流暢性に関連する脳内領域の体積が、介入群において有意に大きいこと^[10]、脳内の機能的結合が、統制群に対し、介入群において有意に強い、もしくは弱いこと^[11]、脳領野間の白質連絡が統制群に対し、介入群において強い結合の箇所があり、その逆は見られないこと^[12]を明らかにした。介入前の脳

画像を取得していないため、介入効果によると明確には言えないものの、会話支援ロボットを用いた介入プログラムが、脳の中の神経細胞同士のネットワークを保つ可能性を確認した。

7. 認知症予防のための会話支援ロボット「ほのちゃん」の利用評価

共想法支援システムと連携して動作する会話支援ロボット「ほのちゃん」が、参加者にどのように受容されているのかを調べる利用評価実験を行った。具体的には、司会進行を会話支援ロボットと連携して動作させた場合と、音声のみで行った場合とを比較した。その結果、ロボットによる司会進行の方が、音声のみによる司会進行に比べて、使いやすいとの評価が得られた。一方、主観評価により、発話量が多い人にとって、発話を止められる場合、ロボットによる指示より音声による指示が好まれることが分かった。自由記述を分析したところ、その理由は、面と向かって発話を止められるのは恥ずかしいからということであった。以上のことから、ロボットによる司会進行は、音声による司会進行と比べて、一部条件があるものの、おおむね受け入れられることが確かめられた^[13]。

8. 認知症予防の当事者研究拠点「ほのぼの研究所」と会話支援ロボットの導入事例

会話支援ロボットの開発プロセスに関わり、導入する現場でもある、認知症予防の当事者研究拠点「ほのぼの研究所」について述べる^[14]。ほのぼの研究所は、2007年に任意団体として、2008年よりNPO 法人化した研究拠点である。共想法の実験参加者として参加いただいた高齢者、最近では40～50代を含む全世代の中で、興味を持ち、今度は実施者の立場と一緒に活動している人々が核になってできている組織である。ほのぼの研究所における活動は、認知症予防の当事者

の視点で行う当事者研究と位置付けることができる。

共想法支援システムと連携して動作する会話支援ロボット「ほのちゃん」は、理化学研究所におけるランダム化比較試験で用いた。その他、当事者研究拠点「ほのぼの研究所」において、初期のバージョンより利用評価してきた。執筆時点では、研究拠点や協働事業者の拠点において、実運用されている。

ほのぼの研究所では、定期的な共想法の実施は遠隔で行っているが、共想法を体験する講座や、街歩きと共想法を組み合わせた街歩き共想法^[15]においては、対面で共想法を実施しており、共想法支援システムと連携して動作する会話支援ロボット「ほのちゃん」を活用している。協働事業者である介護施設でも、入所および通所高齢者を対象に活用している。いずれのケースにおいても、決められた時間内に共想法を活発に実施し、実施とともに記録を残すことができるシステムとして活用されている。

9. 認知症を予防する社会の実現に向けて

認知症を予防する社会は果たして実現できるであろうか？ ここで、実現に向けた見通しについてお伝えしたい。筆者は、口腔ケアの分野で行われた8020運動—80歳で20本の歯を残そう—をお手本にすれば、実現可能であると確信している。8020運動が功を奏し、歯がない人の割合は年々顕著に減った。1975年には55歳から64歳の約5人に1人が、虫歯や歯周病のために一本も歯がない状態、という状況であった。この年代は現在であれば現役世代であるが、実に20%の人は、歯がなかったことになる。ところが、8020運動が展開されて、歯を磨く習慣や歯科健診が普及した結果、2005年には同じ世代で歯がない人の割合は全体の2%まで減少した。たった30年間でその割合が10分の1になったのである^[16]。認知症に関してはまだ「歯磨き」に相当するようなケアが普及していないので、まさに口腔ケアにおける1975年の状態にある。

今後、歯をケアするように認知機能もケアするようになれば、これからの30年間で認知症を発症する割合を10分の1に減らすことも夢ではないと考えている。そこで、「脳が長持ちする会話」の考え方を普及すべく、書籍を出版した他、【長持ち脳】と題するインスタグラム^[17]や公式 LINE アカウント^[18]、YouTubeチャンネル^[19]などを制作し、SNSでの発信に取り組んでいる。

10. まとめと今後の展望

本稿では、認知症予防にロボットを活用していることと、会話で脳の状態を推定し、介入することができること、脳が認知症を予防する2段階アプローチについて述べた後、アルツハイマー病の病理変化や脳血管障害があっても認知機能が低下するのを防ぐ2段階目の認知的アプローチとして、提唱している会話支援手法「共想法」を紹介した。次に、共想法の一連のプロセスを支援する共想法支援システムと、そのシステムと連携して動作する会話支援ロボット「ほのちゃん」、会話支援ロボットが司会進行する共想法形式のグループ会話による認知的介入プログラムである「PICMORプログラム」の開発と、効果検証について解説した。そして、会話支援ロボット「ほのちゃん」の利用評価と、認知症予防の当事者研究拠点「ほのぼの研究所」を中心とする導入事例を挙げた。最後に、認知症を予防する社会の実現に向けた見通しについて述べた。

本稿で紹介した、共想法支援システムと、そのシステムと連携して動作する会話支援ロボット「ほのちゃん」は、口腔ケアにおける歯ブラシのような、認知機能をケアするための基本的な道具として使われるようになることを目指している。そのために、商標、意匠、特許を押さえた上で、事業化を見据えた製品試作レベルのシステムとロボットを開発し、エビデンスを収集し、現場での導入実績を積み重ねている。今後は、共想法に立脚した認知症予防サービスの事業化に興味がある企業と共に、事業に利用可能なシステムを

開発し、事業化と普及に取り組みながら、より効果的な介入を実現するために機序の解明と、より高い効果を得るための基盤技術を開発する基礎研究を推進したいと考えている。

謝辞

一連の研究は、筆者がチームディレクターを務める、理化学研究所の認知行動支援技術チーム^[20]のメンバー、以前主宰した東京大学と千葉大学の大武研究室卒業生と、筆者が代表理事・所長を務めるNPO法人ほのぼの研究所^[21]の市民研究員、多くの共同研究者と共に行ってきた。そして、科学研究費補助金(JP18KT0035, JP19H01138, JP20H05022, JP20H05574, JP20K19471, JP22H04872, JP22H00544)、科学技術振興機構(JPMJCR20G1, JPMJPF2101, JPMJMS2237)の支援を受けた。研究参加者をはじめとする民産官学の関係者のご支援、ご協力、ご指導に心から感謝している。



Mihoko Otake

大武 美保子

特定国立研究開発法人 理化学研究所 革新知能統合研究センター 目的指向基盤技術研究グループ 認知行動支援技術チーム チームディレクター

博士(工学・東京大学)。日本学術振興会特別研究員、東京大学大学院特任助手、助教授、准教授などを経て、2017年より現職。認知症予防のためのAI・ロボット研究を推進。同時に、創設したNPO 法人ほのぼの研究所の代表理事・所長、東京農工大学客員教授を務める。科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞、人工知能学会 現場イノベーション賞、ドコモ・モバイル・サイエンス賞「社会科学部門」選考委員特別賞などを受賞。主著に、『脳が長持ちする会話』(ウェッジ)、『介護に役立つ共想法』(中央法規出版)、『Electroactive Polymer Gel Robots』(Springer)など。

参考文献

- [1] docomo business Watch: ロボティクスとは, <https://www.ntt.com/bizon/glossary/j-r/robotics.html>
- [2] 大武美保子: 脳が長持ちする会話, ウェッジ (2024).
- [3] 大武美保子: 認知症予防のための会話支援ロボット「ほのちゃん」の開発と導入事例. 認知症の予防・診断・介護DX, 第1編第1章第8節, エヌ・ティー・エス, 2024.
- [4] Fratiglioni L et al.: Influence of social network on occurrence of dementia: a community-based longitudinal study, *Lancet*, 355(9212):1315, 2000.
- [5] 大武美保子: 介護に役立つ共想法: 認知症の予防と快復のための新しいコミュニケーション, 中央法規 (2011).
- [6] 大武美保子: 《第12回》認知症予防のための会話支援機器, 計測と制御, 56(6): 463, 2017.
- [7] 商標登録第5407810.
- [8] 特許6886689, 6838739, 6833209, 6831110, 6469779, 6206913, 5799410.
- [9] Otake-Matsuura M et al.: Cognitive Intervention Through Photo-Integrated Conversation Moderated by Robots (PICMOR) Program: A Randomized Controlled Trial, *Frontiers in Robotics and AI*, 8:633076, 2021.
- [10] Sugimoto H and Otake-Matsuura M: A pilot voxel-based morphometry study of older adults after the PICMOR intervention program. *BMC Geriatrics*, 22(1):63, 2022.

参考文献

- [11] Sugimoto H, Kawagoe T and Otake-Matsuura M: Characteristics of resting-state functional connectivity in older adults after the PICMOR intervention program: a preliminary report, *BMC Geriatrics*, 20(1):486, 2020.
- [12] Sugimoto H and Otake-Matsuura M: Tract-Based Spatial Statistics Analysis of Diffusion Tensor Imaging in Older Adults After the PICMOR Intervention Program: A Pilot Study, *Frontiers in Aging Neuroscience*, 14:867417, 2022.
- [13] Seaborn K et al.: Voice Over Body? Older Adults' Reactions to Robot and Voice Assistant Facilitators of Group Conversation: *International Journal of Social Robotics*, 15, 143, 2023.
- [14] 大武美保子: 認知症の予防と支援に役立つ人工知能と高齢者とともに作る認知症予防支援サービスの開発: *人工知能*, 31(3), 363, 2016.
- [15] 大武美保子: 会話におけるこころの時間の推定と街歩き共想法による体験記憶と近時記憶の支援 (<特集> 人の認知を拡張し健康を促進する環境知能), *人工知能*, 30(6), 745, 2015.
- [16] 歯科疾患実態調査報告解析検討委員会編, 解説 平成17年歯科疾患実態調査, 口腔保健協会 (2005).
- [17] インスタグラム: <https://www.instagram.com/brain.robot/>
- [18] 公式 LINE: <http://lin.ee/7zAfQl2Q>
- [19] YouTubeチャンネル: <https://www.youtube.com/@brain.fonobono>
- [20] 認知行動支援技術チーム: https://aip.riken.jp/labs/goalorient_tech/cogn_behav_assist_tech/
- [21] NPO法人ほのぼの研究所: <http://www.fonobono.org/>

ガンダムを作り、 夢の種をまく

■ 中京大学 工学部 電気電子工学科 教授

ハルトノ ピトヨ

Pitoyo Hartono

ガンダム GLOBAL CHALLENGEは実物大“動くガンダム”の制作を目的とする
2014年に立ち上がったプロジェクトである。実物大“動くガンダム”は2020年に完成して、
3年3カ月にわたって一般公開され、178万人もの来場者を誇る。
本稿は、10年にわたってこのチャレンジに携わった一人の視点からの回想録である。

キーワード

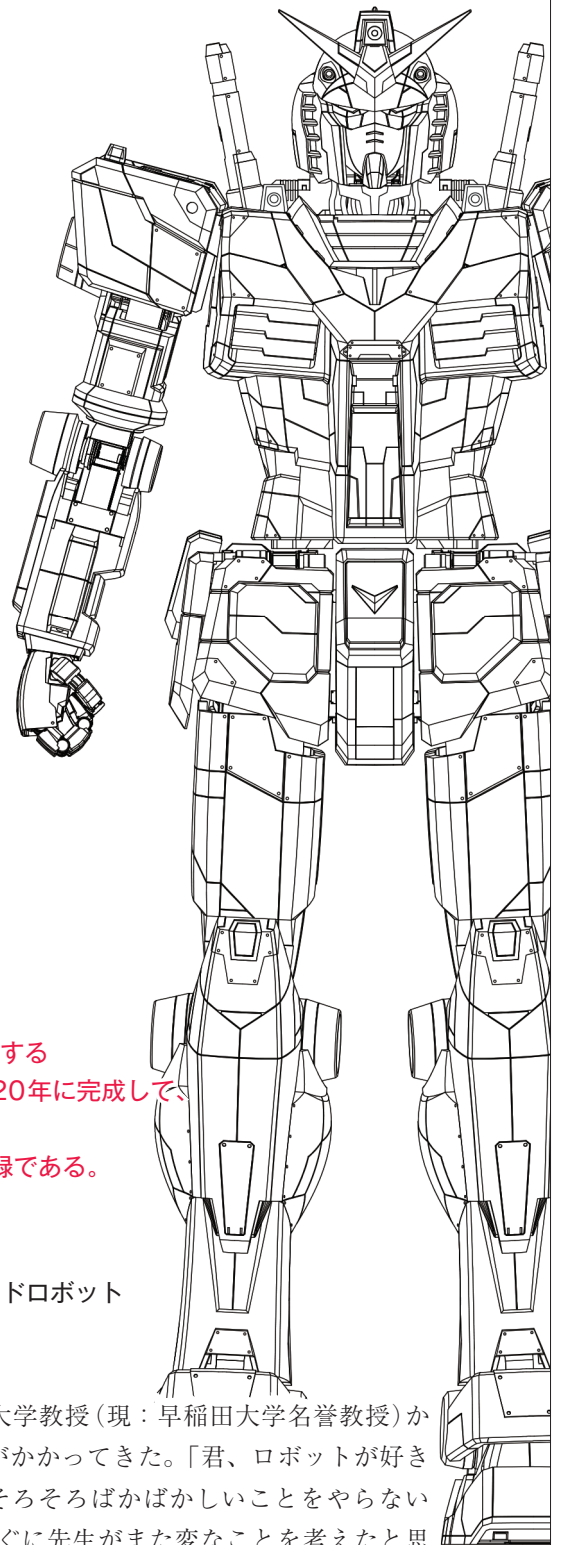
ガンダム ガンダム GLOBAL CHALLENGE (GGC) ヒューマノイドロボット
GUNDAM FACTORY YOKOHAMA (GFY)

始まりは一本の電話から

本稿は技術解説書でもなく、ましてや学术论文でもない。本稿は、10年にわたり実物大“動くガンダム”を世に送り出すチャレンジに携わる多くの人々の中の一人の視点からのストーリーであることをあらかじめ読者の皆さんにお伝えをしたい。

事の始まりは2014年の初夏ごろに起こった。筆者が研究室で仕事をしていたところ、大学の恩師、橋

本周司早稲田大学教授(現：早稲田大学名誉教授)から一本の電話がかかってきた。「君、ロボットが好きでしょう？ そろそろばかばかしいことをやらないか?」。私はすぐに先生がまた変なことを考えたと思いながら、「ばかばかしいことって何ですか?」と聞いた。すると先生は、「実物大の“動くガンダム”を作ろう!」。私は頭で考える前に「ぜひ!」と返事をした。大学で働いている私に、アニメのロボットを作るという夢の中の夢のような話はそうはない。こんな幸せなことはない。電話を置いてからはガンダムのこと



ばかり考え、その日は全く仕事にならなかった。

『機動戦士ガンダム』は1979年に初めて放送されたアニメであり、その中でモビルスーツという搭乗型ロボットが数多く登場し、リアリスティックなファンタジーが展開された。私はその時期日本にいなかったため、リアルタイムで『機動戦士ガンダム』の放送を見ていなかった。存在は知っていたが、初めて『機動戦士ガンダム』を見たのは90年代の終わりだった。ガンダムとの出会いは、橋本先生の研究室の博士課程の学生だった頃のある真夜中であった。研究に行き詰まり、研究室の中をうろろうしていた時に、研究仲間の一人が、「少し休んでこれを見よう！」と『機動戦士ガンダム』のビデオを再生した。私は数話でそのとりことなり、数日間研究もせず『機動戦士ガンダム』の全話を見終えた。

工学者を魅了するメカデザイン

私はもともと日本のロボットアニメが大好きであり、かなりのロボットアニメを見たが、『機動戦士ガンダム』はそれまでのアニメとは全く異なっていた。それまで見たアニメは善と悪の戦いを軸とするストーリーを展開したものが多かったが、『機動戦士ガンダム』は壮大な宇宙を舞台とした叙事詩といっても過言ではない。登場する人物の一人一人が非常に魅力的で

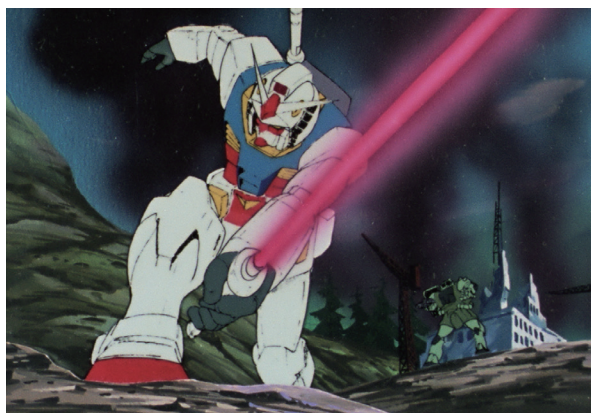
あり、複雑な人間関係もそれを際立たせた。しかし、工学を学ぶ者としては、やはり『機動戦士ガンダム』に登場する数々のメカのデザインが何よりも素晴らしい。それらのメカの形と機能の関連性が何となく現実的であり、「フィクションだけど、もしかすると作れる」と「勘違い」を誘発するようなものが多く、工学者にとっては誘惑的なものであった。きっとそう思うのは私だけではない。

境界への挑戦

先生からお電話を頂いた数時間後には少し冷静になり、わくわく感を抱えたまま心配にもなった。自分が視聴者として楽しむ人ではなく、大勢の人が楽しめるガンダムを作る側に回るとすると、焦りも出てきた。私はニューラルネットワークの研究者であり、知能の創発が主な研究テーマである。研究活動の中で、ロボットを作った経験は多くあるが、高さ50cm以上のロボットを作ったことがない。複雑な機械設計の経験もない。なぜ橋本先生はロボットの専門家ではなく、私を誘ったのかが謎であった（いまだにその謎は解けていない）。

しかし、引き受けたからには何とか最後まで実物大動くガンダムを実現したい。そのためには、少し話を整理する必要がある。まず、ガンダムを作るのに何が

図表 1
機動戦士ガンダム
RX-78-2 ガンダム



© 創通・サンライズ
P31～P41全ての画像クレジット

難しいかを冷静に考えることから始めた。その時点では何を作り、それをどう動かすかに関して具体的な計画はないが、先生のお話の中で、「実物大」、「ガンダム」、「動く」といったキーワードを頼りに考えた。

まずは、アニメ『機動戦士ガンダム』の中で主人公が動かすRX-78-2ガンダムというモビルスーツを想定する。このRX-78-2は全長が18mの人間型ロボットである。18mはおよそ6階建てのビルに相当する高さであるので、動かしにくいとイメージが湧く。でも、具体的にはどう動きにくいかを定量的に考える必要がある。ガンダムは人型であるので、その動きにくさを概算するのに人間と比較するのが分かりやすい。

ガンダムの全長は背の高い人の大体10倍と考えてよい。ロボットは立体物であるので、高さが10倍であるからには幅も奥行きも10倍である必要がある。つまり、体積は人間の $10 \times 10 \times 10 = 10^3$ であるので、その重量が人間の 10^3 倍以上になると想定できる。さらに、慣性モーメントを考えると、物の動かしにくさはそのものの長さの2乗に比例するので、18mのガンダムは人間の $10^3 \times 10^2 = 10^5$ 倍以上に動かしにくいという概算になる。世の中には多くの人間型ロボット（ヒューマノイド）が存在するが、このスケールのものはなく、参考にできるものがない。

つまり、実物大“動くガンダム”を実現するためには、ロボティクス技術だけに頼ることができないこと

は最初から明らかであった。2～3mのロボットの試作機を作っても、スケールの違いから参考になることはなく、実物大の“動くガンダム”は「一発勝負」で開発する必要があることも分かった。

その時点でこの実物大ガンダムをどのようにして実現できるかは全く見当が付かなかったが「不可能」と思ったことはなかった。アニメの中のガンダムがフィクションとリアルの狭間にあるかのように、この実物大ガンダムも同じである。実現可能と不可能の境界にあり、工学者にとってはこれ以上ないチャレンジであったと考えた。先生の電話から1カ月後、私は正式にガンダム GLOBAL CHALLENGE (GGC)の一員となった。私の位置付けは5人のリーダーの1人であり、橋本先生と技術監修を担うことになった。

オープンイノベーションでのプロジェクト 始動

GGCは『機動戦士ガンダム』の1979年の放送から40周年を記念するために立ち上がったプロジェクトの一つである。2009年には放送30周年プロジェクトの際、お台場の潮風公園に実物大のガンダム立像が立ち（図表2）、その年の7月11日～8月31日の52日間で約415万人超が訪れたことから、世間のガンダムへの注目度がいかに高いかが分かる。

図表2
潮風公園（東京都品川区）に
立つガンダム



そのため、40周年を記念するときは、当時の株式会社サンライズ 代表取締役社長の宮河恭夫さんが「ガンダムが実際に動いたら、みんながもっと喜ぶだろう」という大胆な発想を持ち、GGCを立ち上げた。しかし、どのモビルスーツをどのように動かすかに関しては何も決まらず、GGCはオープンイノベーション型のプロジェクトとして始まった。ここで言うオープンイノベーションとは作るものとそれを実現するアイデアを世界中から公募し、動くガンダムの実現につながる提案があったらそれを採用し、実現プロセスそのものも世界に公開するという計画だった。

アイデアの公募は2014年7月から2015年2月末まで行われた。結果、国内外から30件以上の応募があった。海外からは、アメリカ、イギリス、オーストラリア、フランス、台湾、メキシコ、マレーシアからさまざまなアイデアが寄せられた。応募者は年齢も職業もさまざまであるが、共通するのは、ガンダムがとても好きであり、実世界でそれを動かしたいという気持ちだった。

寄せられた提案の中には斬新で興味深いアイデアもいくつかあった。例えば、18mのロボットの重量を軽減するため、動力源をロボットの外側に設置し、マリオネットのようにガンダムを動かす。その他に、安定した二足歩行を実現するために、ガンダムの足に巨大な電磁石を設置し、金属の板の上に歩かせる。また、私が個人的に好きなのは、一体のロボットではなく、ガンダムと敵モビルスーツのザクに相撲を取らせることで、二つの人間型ロボットを事実4足ロボットとして制御し、安定化を図るという面白い発想であった。

私の最初の仕事はこれらの応募を審査し、他の審査員と“動くガンダム”につながるアイデアを選定することであった。結果的にはアイデアの斬新さから4人の応募者をGGCメンバーとして迎え入れるが、直接動くガンダムの実現につながるアイデアはなかった。

作る意義を巡る議論を重ねて

寄せられた応募から実現できそうなアイデアがない以上、“動くガンダム”の構想や設計をGGCで行う必要が出てきた。これが、このチャレンジの一つの「壁」であった。問題はチャレンジの目的が「“動くガンダム”を作る」というだけで、具体的に何をどう動かすかが決まっていなかったことにあった。

普段、ロボットを設計する際、その目的を明確に定義する必要がある。例えば、掃除機ロボットを考える場合、目的ははっきりしていて、ロボットが自律的に部屋の掃除を行い、さらに利便性を上げるために充電も人の手を借りずにできることが望ましい。この目的を果たすために何が必要かを考えて詳細設計に入る。

GGCにおいては、この目的がまだ存在しなかった……。そこから、考えを整理する必要がある、株式会社サンライズ(現 バンダイナムコフィルムワークス)の志田香織プロデューサーが中心となって、1年以上議論を続けた。この議論は難しいものであったが、GGCにはこのプロセスが必要であった。論点は、どのようなガンダムをどう動かすかだけではなく、それを作る意義であった。作ったロボットがアニメの一つのシーンを再現できればよいのか？ それともロボットを作るからにはロボティクス分野に対して技術革新をもたらす必要があるのか？ 18mのロボットを二足歩行させる必要があるのか？ 議論は尽きないが、時間との闘いがあるのも事実であった。

このガンダムはいったい何なのか？ GGCで作るガンダムがお客さんに出す製品であれば、なるべく完璧な姿で提供したいのはむろんのこと。しかし、このロボットを完成品と位置付けてよいのか？ ここで作るものは、建設現場や鉱山などで使う重機と異なっており、実際の作業には役に立たない。また、車や船のような移動手段を目的とするものでもなく、遊園地の遊具ともちょっと違う。そのため、完成品として世に送

り出す必要はないのではと考え始めた。

18mの動くロボットを今まで作った人はおらず、アニメのロボットがテレビの画面から飛び出して動くだけでも人々に感動をもたらすであろう。完璧である必要はない！ 今までにないものを作り、その不完全さも含め、新たなリアリティーを提示し、世の中に対して「さあ、次は何？」と問いかけ、大勢の人の心を動かすことができれば、素晴らしいことではないかと考えた。

私が橋本先生の研究室を卒業する頃には、先生はよく「大学の役割は知識や技術を教えるだけではなく、夢の見方を教えることが大事だ！」と主張した。これは、世の中では技術革新のスピードが速く、多くの人にとって現実が夢を追い越している状況といった問題を先生は指摘した。イノベーションが起きるためには夢と現実の間にギャップがあることが大事であるが、現実が人々の創造力を追い越したらそのギャップがなくなる。こういった状況が続くと、新しいイノベーションも起こりにくくなり、停滞する世の中になる。そのため、若い人たちには「夢の見方」を教える必要があるが、彼らに対して「革新につながるような夢を見なさい」、「イノベティブな考え方をしなさい」などの言葉には意味がない。人々を納得させるには、言葉ではなく、実例を見せることが大事である。このガンダムがその実例になればGGCに大きな意義がある。世界に対して、GGCが「現在のテクノロジーでこれだけのロボットを作ることができた。アニメのロボットを実現したので、一つ夢がかなった。しかし、まだできないこともある。さあ、次はどうする？」と問いかけることに意義がある。ガンダムを夢の種にしよう！

困難は「何とかなる」で乗り越える

GGCの意義が見えてきたので、後は作るだけ……とはいかない。依然として具体的に何を作ればよい

のかが決まっていない。そのため、さまざまな機械、電気、部品企業を回り、相談と技術協力をお願いしたが、状況はなかなか厳しかった。「ニワトリとタマゴ」的な状況が長く続いた。具体的なロボットの形や機能が明確ではないため、それらのメーカーから具体的な部品の購入や技術協力をお願いすることができず、逆にどのような部品や技術支援をお願いできるかが分からないため、構築可能なロボットの形状や動作のイメージが湧かない。

GGCに焦りがなかったと言うとうそになるが、悲観的な気持ちになったことはない。先に書いたように18mの人間型ロボットのスケールがロボット工学からはみ出ている、難しいのは想定内であった。

当時、サンライズ社からは、高さの変化を見せたいということと、一つの決まった動きにせず、いくつかの組み合わせにより、ただ立ったり座ったりを繰り返すだけではなく異なる動きを表現できるようにしたいという提案があった。ただ、ロボットは人間ほど動きの自由度を持たないため、人間らしい動きに見えるよう、歩行としゃがみ、顔と腰の旋回をメインに考え始めた。

よく考えてみると18mより大きな物体は世界中に多くある。ジャンボジェットの全長は70m以上、大きな旅客船においては200m近くある。身近にあるものでは、直径100mの観覧車があるし、ホテルの回転展望ラウンジだって昭和時代にすでに作られていた。

ガンダムを作るのにロボット工学だけに頼る必要はなく、「動く建物」、「たまたま人間の形をする重機」として考え、それぞれの分野からヒントを得れば、何とかなると考えた。重要なのは関係者全員で考え続け、一人一人の考えを常に共有することである。これは新しい研究を始めるときと状況が似ている。考えることで道が開き、その道を歩くことで新しい考えが生まれ、それが次の道を切り開く。これを繰り返せば、いつかは目的にたどり着くことができる。時には、そ

れほど強い根拠のない「何とかなる」を信じて進むことも重要である。

状況が大きく転換したのは2017年の暮れであった。3人のGGCディレクターが決まり、計画の具体性が急速に向上した。2018年の春には機械の詳細設計と開発の取りまとめを担当するテクニカルディレクターの石井啓範さん、ロボットと周辺設備の制御を担当するシステムディレクターの吉崎航さんと全体デザインを担当するクリエイティブディレクターの川原正毅さんを中心に詳細設計が進み始めた。この3人のディレクターはロボティクス技術とエンターテインメントをバランスよく考え、ファンタジーとリアルエンジニアリングを結び付けることができる人たちであった。何よりもこの3人に共通することは「ガンダムがとても好き」であり、一日も早く“動くガンダム”を実現したいという強い意志であった。

石井さんは建設重機メーカーで豊富な実績を持ち、18mの人型ロボットを設計した経験はないものの、18mというスケールにそれほど「違和感」を持っていなかった。吉崎さんはさまざまな形状と用途のロボッ

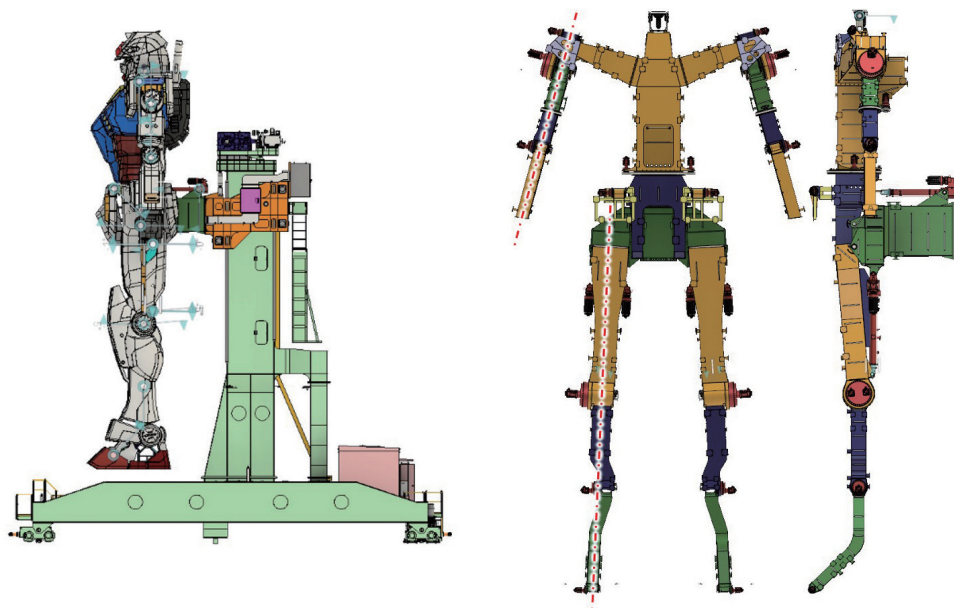
トの制御のプロであり、開発するガンダムを動かす「イメージ」をすでに持ち、要素技術に関する知識も備わっていた。川原さんは潮風公園の実物大ガンダム立像の設計に携わり、18mのスケールに恐怖感はなかった。

ブレークスルーがもたらした進展

開発のブレークスルーの一つは、当初から自立歩行を考えず、ロボットを腰の部分を外置構造（後のG-CARRIER:G キャリア）で支え、この腰の部分に上半身、右脚、左脚が別々に接続される（図表3左）。つまり、1体18mのロボットではなく10m級のロボットを3体組み合わせた構造になった。これにより、設計の困難さが緩和され、支えがあることで安定性と安全性が担保でき、動きの自由度を確保することができた。

その後、ガンダム本体の構造には鋼鉄の可動フレーム（図表3右）、カーボン樹脂の外装を用いる設計となった。このロボットは指を除いて24の関節

図表3 ガンダムの構造と本体フレーム



自由度を持ち(全自由度:34)、アクチュエータは電動と設計が決まった。その結果、ロボット本体の重量は25t、Gキャリアが140tとなった。ロボットの他に、6階建てのメンテナンスと観覧用のデッキ、GUNDAM-DOCK (Gドック) (図表4)の設計も決まった。設計が決定した後、この設計を実現するために、9社のテクニカルパートナーが決まり、それぞれ専門分野によって、制御とモーション、タワー建設、外装設計、モーターと制御装置、配線、ハンド設計、減速機設計などを担当することになった。

惜しみなく発揮された一流の発想と技術

2018年11月ごろから9社のテクニカルパートナーを含め、関係者全員での月に2回の定例の技術ミーティングが行われた。このミーティングでは全員が開発の進捗の報告を行い、開発のトラブルを含め、常に情報の共有が行われた。しかし、普段あまり交わる事のない専門やバックグラウンドの異なる人たちが集まり、すぐにコミュニケーションがスムーズにいくは

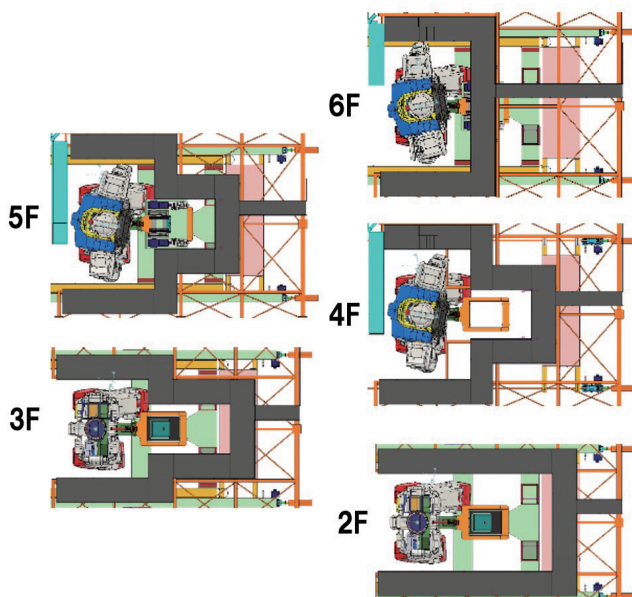
ずがない。例えば、機械系と建築系では使う専門用語が違って、お互いに日本語で話してもそう簡単に通じるものではない。それに加え、仕事の時間の尺度も違い、「常識」も異なる。これには、時間、場と情報を辛抱強く共有することで解決する他ない。

全員が最初から持ち合わせたのが、仕事と技術に対する誠実さであった。それぞれが異なる困難さに悩まされる中、できない理由を並べるのではなく、どうすればできるようになるかを全員で考えることが大事であるとの共通認識があった。

この光景は普段大学で働いている私には新鮮であった。メディアが「日本の技術レベルが海外に後れを取っている」と主張することもよくあるが、この光景を見れば、そのことは必ずしも正しいとは限らないことが分かる。まだ30代前半の人も含め、さまざまな年齢層のエンジニアが実物大“動くガンダム”の実現を目指して惜しみなく一流の技術力、アイデア、コミュニケーション能力を発揮した。これだけの人材がいれば、日本はまだ大丈夫だと個人的に思った。

詳細設計が順調に進み、2019年5月にGドックの施

図表4 Gドックの概要



工が横浜市の山下ふ頭で始まった。公園と海のすぐそばにあり、高層物がないため実物大ガンダムの大きさを際立たせる、この上ない美しい立地であった。机上の設計プロセスが実世界作業に移ると、徐々に「本当にガンダムができる」という実感が湧いたのはたぶん私だけではなかった。その年の12月には、茨城県取手の前田建設工業ICI総合センターでフレームの仮組みが行われた。この施設の近未来的な雰囲気の中、Gキャリアを代行する「反重力壁」にフレームを取り付け、ガンダムを組み立て、配線作業を行い、制御プログラムのテストも行った(図表5)。

この仮組み立てはガンダムを作るプロセスにおいて非常に重要な工程であった。ここでは、ハードウェアとソフトウェアのデバッグが徹底的に行われ、本体の基本的な機能の確認ができ、開発のスピードを加速させた。

完成した RX-78F00 ガンダム

2020年1月にはガンダムを動かす予定の山下ふ頭の

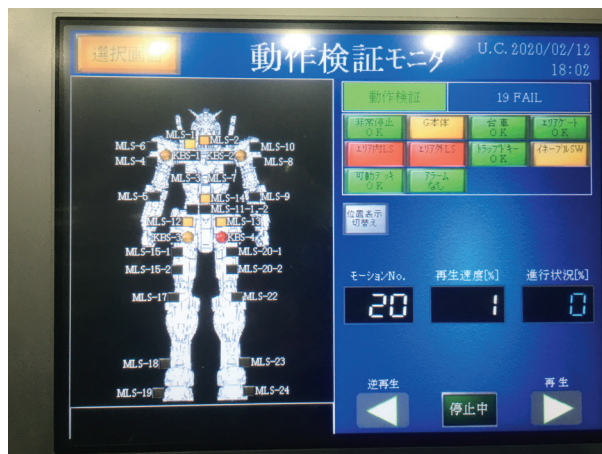
施設に GUNDAM FACTORY YOKOHAMA (GFY) という名前が付き、その月の下旬には取手からガンダムのフレームが引っ越した。その年の春にはGドックの施工が終了したことで、実物大“動くガンダム”の完成イメージが見えた。その後、7月にガンダムの頭が取り付けられ、RX-78F00 ガンダム(図表6、次頁)は完成した。

私たちが作ったのは『機動戦士ガンダム』に出たRX-78-2ではなく、あくまでオリジナルのガンダムであった。このオリジナルのガンダムにはRX-78-2と異なる点が多くある。膝や肘に目立つモーターホイールがあり、モーターを取り付け、それが安全に動作できるためのスペースがその例の一つであった。ハンドもアニメに比べて少し小さい。風の影響を考えて、ビームサーベルも短くなった。ガンダムのイメージを壊さずに工学的に実物大ガンダムを作ることを考えれば、RX-78F00のデザインは必然的なものであった。

ハンドはRX-78F00に対して非常に重要な部分であった。人間が250以上の関節を持つことに対し、RX-78F00の自由度は34であった。そのため、人間型ロ



図表5 仮組み立てと制御用パネル



ボットらしい動作を生成するため、滑らかな手と指の動きが必要となる。ここでエンターテインメント要素を緻密な工学設計に取り入れることが大事であった。

この実物大“動くガンダム”は屋外に展示され、多くの来場者が見込まれるため、非常に重要なのは安全性である。設計の当初から安全は最重要課題の一つであったが、一般公開までの数カ月間、第三者機関の検査を含め、安全性に関して入念な準備が行われた。

人気を博した一般公開と教育プログラム

2020年12月19日について GFY は一般公開され、多くの来場者が GFY を訪れた。実物大“動くガンダム”の大きさに驚いた人も多く、そのリアリティーに感動する人も少なくなかった。その後、連日ガンダムファンに限らず、さまざまな世代の来場者でにぎわいを見せた。GFY に来たことをきっかけにガンダムファンになった人も数多くいた。当初、GFY の公開は2022年3月末までと計画したが、2度の延長をした。

また、コロナ禍で教育活動が制限される中、GFY では「エデュケーションサポート」というプログラムを2021年10月からスタートさせた。エデュケーションサポートの趣旨は、GFY をエンターテインメントだけではなく、教育の場としても提供することであった。このプログラムでは小学校、中学校、特別支援学校の生徒に対して、GFY への見学を通じて、ロボットに関する最新テクノロジーを肌で感じ、デザイン、企画・運営などさまざまな仕事があることを理解してもらう。多くの学校はキャリア教育の一環としてこのプログラムに参加した。始まった当初、エデュケーションサポートは横浜市の学校に限定したが、コロナによる移動制限がなくなってからは日本国内に限らず海外からも多数の学校が参加した。2024年3月までには102校(生徒数7,554人)がこのプログラムに参加し、GFY は教育に対しても一定の貢献をしたといえる。

横浜・山下ふ頭にて

2024年3月31日、GFY は最後の営業日を迎え、来場者であふれ返った。夕方、最後の演出の前に、数十人の GGC の関係者が RX-78F00 の前に集まった。エンジニア、デザイナー、運営者、会場スタッフがそれぞれの想いで RX-78F00 の最後の演出を目に焼き付けようとした。私もその中にいた。このときは、スマートフォンのカメラ越しでなく、自分の目で最後まで RX-78F00 の演出を見届けると決めた。

橋本先生からの「ばかばかしいことをやろう！」の電話から10年が経った。この10年の間に何となく、「ばかばかしい」の意味が分かった。それは、「人がやらないこと、人からできないと言われても自分にとって意義のあることを本気で取り組んで実現し、そのリアリティーを根拠にその意義を説明すること」であったと自分勝手に意味付けをした。大人になってからこのような「ばかばかしい」チャレンジに参加する機会を頂いたことがとてもうれしく、込み上げるものがあり、RX-78F00 は涙でかすんでよく見えなかった。無事に最後の演出が終わったことを、来場者の大歓声と拍手が教えてくれた。努力すればファンタジーを現実にすることができることを、このガンダムが教えてくれた。このガンダムを見た人それぞれに次の夢に立ち向かう元気が生まれることを切に願う。

2020年12月19日の一般公開開始から2024年3月31日まで1,012の営業日、RX-78F00 は1万9,168回の合計19種類の演出を行った。来場者数は178万2,248人であった。

*

2024年の秋、私は山下ふ頭の入り口に立ち、GFY のあった場所を遠くから眺めた。

見慣れた RX-78F00 の姿はもうそこにはなく、解体用重機が数台あるだけであった。寂しさがない言うとうそになるが、うれしさもあった。さらなる夢が始

まるには、今の夢はいったん終わる必要がある。かつて山下ふ頭に「不完全」なガンダムが立ったという人々の記憶が新しい夢と希望の種となることを願いながらもなかなかその場を後にすることができなかった。

エデュケーショナルサポートのレクチャーをした後、国内外に関係なく生徒たちからは必ず「次は何を作りますか？」という質問が出た。この質問に対して、私は「RX-78F00ができたことで一つ夢がかない、新しい現実ができた。その新しい現実の上にさらなる高い夢を見て、それを実現するのはあなたたちのこれからやるべきことです」と答えた。その答えが正しいかどうかは、数年後に答え合わせをしたい。

図表6 RX-78F00 ガンダム



Pitoyo Hartono

ハルトノ ピトヨ

中京大学 工学部 電気電子工学科
教授

1969年インドネシア生まれ。2002年早稲田大学理工学研究科物理および応用物理学専攻 博士課程修了。博士(工学)。1995~1998年(株)日立製作所勤務。2001~2003年早稲田大学理工学総合研究センター助手。2003~2005年早稲田大学総合研究機構客員講師。2005~2010年公立はこだて未来大学助教授。2010年から現職。2014年7月~2024年3月 ガンダム GLOBAL CHALLENGE リーダー。研究分野はニューラルネットワークの学習理論とそのロボティクスとスマートインタフェースへの応用。

図表7 GUNDAM-DOCK とRX-78F00 ガンダム



5年後の 未来を探せ

津田塾大学 学芸学部 情報科学科 准教授

上田 祥代さんに聞く

情報技術で拡張された社会において “私”と認識できる身体の境界を探索

取材・文：江口絵理 撮影：GION 図版提供：上田祥代

近年、VR（バーチャルリアリティ）技術やロボット工学の発展によって、人間の身体を自在に設計すること、すなわち「拡張身体」が可能になりつつある。では、VR空間のアバターは、自分の身体と同じように環境からの刺激を知覚できるのか？ 自分の意思で動かせる義肢ロボットは自分の身体と同様に扱えるようになるのか？——津田塾大学の上田祥代准教授は、認知心理学の「身体化」というキーワードを足がかりに、拡張身体を巡る疑問を解き明かそうとしている。

現実にあり得ない身体でも 自分の身体だと思えてくる

あなたは今、HMD（ヘッドマウントディスプレイ）をかぶり、VR空間にいる。正面の大きな鏡にはあなたの手先と足先だけが映っている。現実空間の自分が手を振れば、VR空間のあなたも同時に手を振る。確かにあれは自分なのだが……いや、鏡に映る右手の位置がおかしい。右腕の長さが実際の倍ぐらいあるようだ（Figure1）。

ここであなたの目の前に、直径10センチほどの赤いボールが出現する。一つずつ、ランダムな場所に現れるボールを手でつかむ課題を10分ほど続けてみよう。どちらの腕を使っても構わない。すると不思議なことに、現実の自分の腕は左右同じ長さであるにもかかわらず、

らず、右腕の方が長いと感じるようになる。

これはVRを活用して認知心理学の研究を行っている上田祥代さんらのグループの実験だ。

「この体に慣れると、遠いところに出現したボールは長くなった腕を使って取るようになります。主観的な認識だけでなく、行動も変化するのです」（Figure2）

上田さんは、ロボットアームやVR空間でのアバターなど、物理的な身体を拡張した身体、すなわち「拡張身体」がどこまで自分の身体だと感じられるか、実験によって検証している。

「テクノロジーの進化に伴い、生物学的な制約に縛られない体を設計することが可能になってきています。例えば、自分の体に2本のロボットアームを付け加えるとか、遠隔ロボットやVRのアバターに自分の動きを反映させるとか。でも、そうした人工的な身体を本人がどれだけ『自分の体だ』と認識できるかは明らかになっていないことが多いんです」

自分の身体だと認識する「身体化」は、人工物に対しても自分の身体であるという所有感や、それを自分が動かしているという行為主体感などから成っている。遠隔ロボットやロボットアームを使うだけなら、道具としてうまく使えるようになれば済むだろう。しかし上田さんが注目しているのは、拡張身体がこれまでにない機能を人に与えたり、人の外見を変えたりするだけでなく、本人と外界とのインターフェースになると

Sachiyo Ueda

上田 祥代

津田塾大学 学芸学部 情報科学科 准教授

お茶の水女子大学文教育学部人間社会科学科卒業、同大学院人間文化創成科学研究科博士後期課程人間発達科学専攻修了。博士(学術)。株式会社インテック、お茶の水女子大学文教育学部研究員、同大学基幹研究院リサーチフェロー、筑波大学大学院人間総合科学研究科研究員、豊橋技術科学大学大学院工学研究科情報・知能工学系助教を経て2025年より現職。



いう側面だ。

「私たちの認知や行動は、頭の中だけで完結するものではなく、自らの身体、そしてその身体を通じた環境との相互作用の中で形作られています。そのため、生身の自身とは異なる人工的な身体を得たときには、その拡張身体を通じて受け取る刺激が、当人の認知や行動に影響を及ぼすと考えられます」

VR空間でスーパーマンのアバターになった人は、リアル空間に戻った後にも他人を助ける行動が増えるという報告がある。拡張身体が本人の外界との関わり方に影響を与えた一例かもしれない。しかし、このとき本人の中で何が起きているのか、心理学的には分かっていない。

「より良い拡張身体を設計するには、どういう拡張身体だと身体化しやすいのかを知り、身体化したら本人にどんな影響が現れるかを知ることが必要だと思っています。今は、ごく基礎的な認知メカニズムを解明しようという段階です」

自分の腕が2本増えても 身体化される？

胴体に装着し、足で操作できる2本のロボットアーム「MetaLimbs (メタリム)」は慶應義塾大学メディアデザイン研究科Embodied Media Projectと東京大学

の稲見昌彦教授が開発したデバイスだ。生身の人間の限界にとらわれず、身体的能力を自在に拡張しようというこの試みを、稲見教授は「自在化身体」と呼ぶ。だが、こうした拡張身体は、操作者の自己の一部として認知されているのだろうか？ 上田さんは稲見教授らとの共同研究によってその評価を試みた。

「冒頭で紹介した実験のような主観的な評価と行動実験だけでは、身体化したのか道具として習熟したのかを判断し難いので、今度は客観的な指標を用いて実験しました」

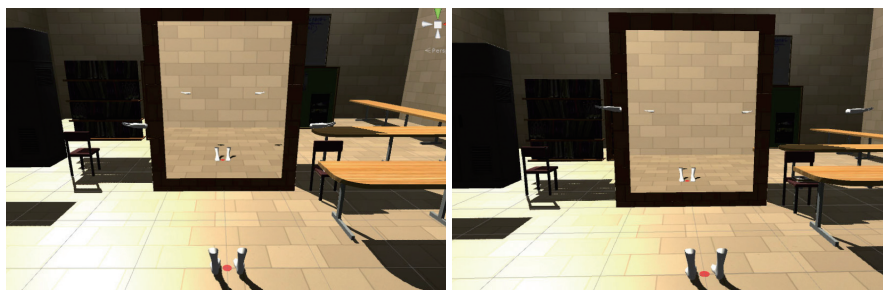
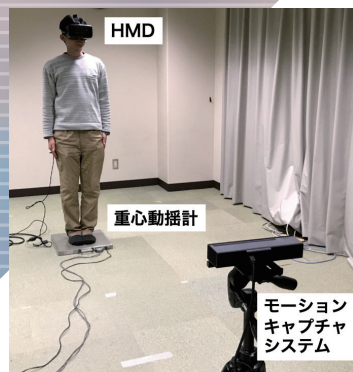
その指標とは、視覚と触覚が連動するか否かだ。自分の身体が何かに触れられたときにそれを認知するまでにかかる時間はそもそもごくわずかだが、触覚刺激だけを与えられたときよりも視覚的な刺激を同時に与えられたときの方が短くなる。例えば、レーザーポインターで手の甲に光を当てられてその場所に触れられると、人は、光を当てられていない場合よりも速く、触れられたと知覚するのだ。

「脳の中では、視覚と触覚は別の部分で処理されています。でも、自己身体とその周りの空間(身体近傍空間)では二つの感覚の統合が起きるんです」

こうした多感覚の統合は自分の身体から離れた場所では起きないという。拡張身体ではどうだろうか？

実験は実機ではなく、VR空間で余剰肢ロボットアームを装着した人型アバターで行った。ロボットアーム

Figure 1 拡張身体のVR実験



重心や手足の動きに応じて、HMDに提示されるVR空間が変化する。右2枚は手足の位置のみが表示された実験参加者の視界で、右端は右腕が長い身体が提示されている

の右腕は右肢で操作し、左腕は左肢で操作する。実験参加者にはVR空間でボールに触れる課題をもらった。ロボットアームでボールに触れると、対応する足に振動が伝わる仕組みである。課題に慣れた後に、足に伝わる触覚刺激の位置(上または下)を判断する課題を行った。その際、ロボットアーム付近にチカッと光が見えると、何も見えない状態で(視界では何も起きておらず)振動が与えられたときよりも、振動を知覚するのが速かった(Figure3)。

「自己身体の周りでしか起きない多感覚統合が起きていました。つまり、余剰肢ロボットアームは自己身体の一部と認識されていたと言えます」

人は現実には存在しない身体でも自分だと認識するようだ。脳の柔軟さがここに表れている。

他者の位置からの見え方を想像する「視点取得」はVRでも起こる

正面前方に一本の木がそびえている。木の前には一輪の花がある。すなわち、自分から見て木の前に花がある。さらに、木の左側には人が立っている。その人からも花が見えている。このとき、その人から見て、花は木のどちら側にあるか? 答えは簡単、「右」だ。

では、同じ場所に石だけが転がっていて、「石のある位置から見て花は木のどちら側か?」と質問されたらどうだろう? 不思議なことに、人は「人から見て」と問われる場合よりも回答に時間がかかる傾向がある。

自分のいる位置以外の地点から物がどう見えるかを推測する能力は認知心理学の用語で「視点取得」と呼ばれ、社会的なコミュニケーションに重要な「他者の

気持ちを推測する能力」を支える要素の一つだといわれている。

「視点取得は、視点の移動先に人がいるときに無意識に素早く行われるのが特徴です。移動先に非生物しかなくても視点取得はできますが、人がいると変換がより効率的に行われるのです」

VR空間でも同じ現象が起きるだろうか?

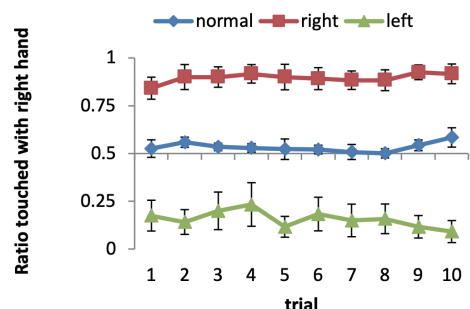
実験では、参加者にジョイスティックを握った状態でHMDをかぶってもらった。VR空間に入ると、テーブルと椅子があり、テーブルには視力検査で使われるアルファベットのCのようなマークが大きく描かれている(Figure4)。

ここで、椅子に人が座っているときと、椅子に何もないときとで、視点取得のスピードに差はあるか。実験参加者に、椅子の方から見るとマークはどの方向が開いているかを示してもらうと、果たして、テーブルと椅子しかないときより、椅子に人が座ってテーブル上を見ている様子を見たときの方が回答は速くなった。「ではなぜ、人がいると視点取得が速くなるのか。いくつかの仮説を検証してみました」

一つ目はシンプルに、人がいるとそこに注意が引き付けられるからだという仮説。検証のために、人がテーブルに背を向けて座っている状況を作ってみた。すると、人がいない状況よりも実験参加者の回答は遅くなった。つまり、人の有無はポイントではない。

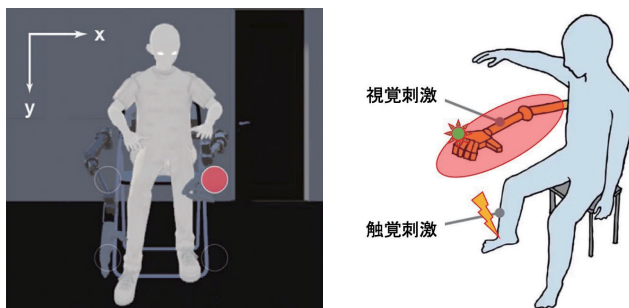
人は他者が見ているものを頭に再現できるのでは、という仮説を検証するために人型アバターにバケツをかぶせ、視界をふさいだ状態でもやってみたところ、バケツがあってもなくても回答は速くなった。この仮説も当てはまらない。

Figure2 「見えない長い腕」の実験結果



視界に現れるボールを触る学習をしたのちにテストをしてみると、「長い」方の手で触る割合の方が高くなっていた。赤は右腕が、緑は左腕が長い条件で、青は通常身体条件。縦軸は右手で触った割合、横軸は時系列

Figure3 ロボットアームの身体化



VR空間において、足で操作する余剰肢ロボットシステムでボールを触る実験では、視覚刺激と触覚刺激の多感覚統合が起き、余剰肢であるロボットアームが身体化されていた

また、視点移動先にいるのが人間だと自分の身体を重ね合わせることが容易にできるからという仮説もある。そこで現実には不可能な身体(胴体が前を向いて顔が真後ろを向いている、など)の人型アバターを登場させると、自然な身体だがテーブルに背を向けた人のアバターがいる場合より回答が遅くなった。

どうも、頭の中で自分の身体を回転して視点移動先の身体に重ね合わせることができかどうか重要なようだ。

もし視点取得のしやすさが共感などの社会的コミュニケーションのしやすさに関わっているとしたら、VR空間で自然なコミュニケーションが取りやすいアバターとはどういうものかを探るヒントにもなるだろう。

実験では、物理的にあり得ない「不可能身体」のアバターでは視点取得が起こりにくかった。では動物や架空の生物、あるいはロボットのアバターを相手にしたときはどうか？ 視点取得が起こりにくいアバターを選んだ人は他者から自分の気持ちを分かってもらにくく、現実空間の自分に比べて、他者とのコミュニケーションが困難になるだろうか？ 社会的なコミュニケーションが取りやすいアバターを設計するために知っておきたいことはいくらか出てくる。

実は、上田さんの関心の射程はさらに別方向にも伸びている。

「他人の人型アバターで視点取得が速くなるのであれば、自分のアバターならもっと速くなるのではないか。それを検証するのがこの研究の本来の目的なんです」

先ほど登場したロボットアーム「メタリム」はまさに不可能身体であり、視点取得は起こりにくいはずだ。しかし、十分にメタリムを身体化した人は、4本の腕

を持つアバターに対しては視点取得が速くなるかもしれない。

「このように、視点取得がどれだけ速くなったかが、拡張身体を得た人の身体化の度合いを測る新たな指標にもなり得るんじゃないかと期待しています」

と上田さんは語る。

「身体化の研究の多くは視覚や触覚など低次の刺激を使っています。私はそうした知覚に加えて、視点取得や共感などの高次の処理にもフォーカスを広げて考えたいです」

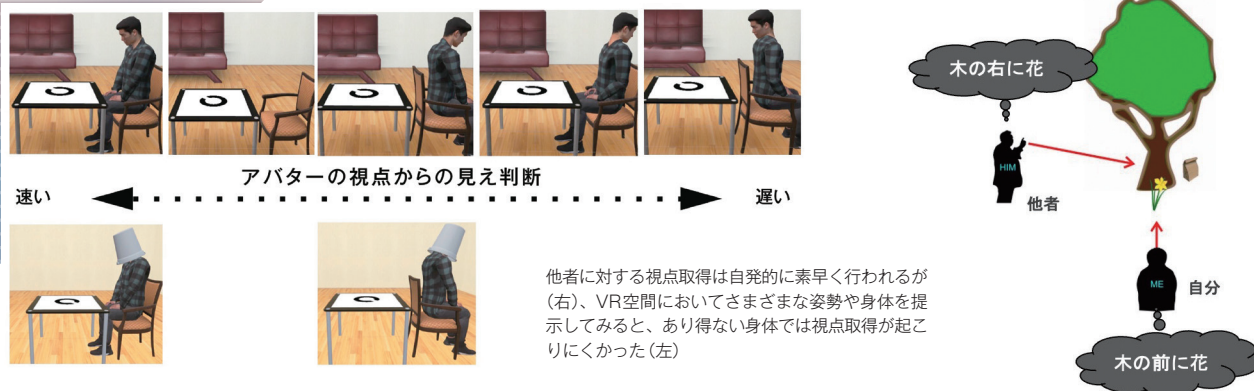
人が「ばらつき具合」を知覚するメカニズムを探る

上田さんの研究にはもう一つの大きな軸がある。人が外界の「ばらつき具合」を知覚するメカニズムの研究だ。

物の大きさや向き、音の高さや人の表情など、世界はばらつきで満ちている。しかし人間は多様なものを目や耳にしたとき、一つ一つを精緻に確認しなくても、何となく、全体の平均がどのあたりなのか、あるいはどれぐらいばらついているのかを(精度の個人差こそあれ)ぱっと認識できる。そのとき脳では、どういうメカニズムが働いているのだろう。

「サッカーでシュートをするとき、自分が蹴ったボールがどこに行くか分からない(=ばらつきが大きいと考えている)ならゴールポストぎりぎりを狙うリスクは取らないけれど、逆に、正確に打てると分かっていたら(ばらつきが少ないと考えているなら)、ぎりぎりを狙うでしょう。株を選ぶときにも、企業の株価の上

Figure4 視点取得



下動の幅、すなわちばらつき具合が判断材料になったりします。人は、自身が認識したばらつき具合によって判断や行動を変える。ばらつきの知覚は、人が生きる上で重要なはずです。実際、行動経済学や社会心理学においてもばらつき(リスクや多様性)は意思決定の重要な要素とされていますが、人がそのばらつきをどのように知覚しているか、という根本の部分については、これまであまり研究されてきませんでした」

ばらついているものの平均値を知覚するメカニズムの研究に取り組んできた人は多い。向きや色、音などのシンプルな視覚・聴覚刺激で基礎的な研究が行われ、上田さんも、方位のばらつきならこのメカニズム、色のばらつきはこのメカニズム、とそれぞれ別の処理が脳内で行われるのではなく、ある程度共通する仕組みがあるらしいことを実験によって明らかにしている。

上田さんの研究の特徴は、拡張身体の研究同様、シンプルな刺激のみならず、社会的なコミュニケーションに関わる、より高次の刺激の処理も対象にしていることだ。

「目の前にいる人の表情がどれぐらい変化するか(どの程度ばらつくのか)を知覚できれば、その人が感情の起伏が激しい人なのか安定した人なのかを判断できますよね。あるいは、会議が終わった時の参加者の表情のばらつきによって、会議が上首尾に終わったのか否かが分かたりします。人の表情のばらつきを知覚するメカニズムも、社会的なコミュニケーションに必要なものとして人間に備わっているのではないかと思います。現代では多様性が重視される一方で、偏見や誤解も生じやすくなっています。その背景には、『人が多様性をどう見ているか』への無自覚さがあるのか

もしれません。この研究では、人が表情や人種といった社会的なばらつきをどう感じ取っているのかを調べ、多様性の理解につなげたいと思っています」

研究は始まったばかりだが、上田さんの実験によって、表情のばらつきを知覚するメカニズムが存在することを示唆する結果も出てきている。

自分の体験を通じて心理学の知見を理解できるワークショップの開発

心理学が扱える範囲は広く、その知見は社会や自分を知るのに役立つ。自分自身の、あるいは他者の心のありようを知りたいという思いは、どんな人にもあるだろう。しかし、高校までの教育課程で心理学の知見に触れる機会は残念ながら多くない。大学の心理学科に進学しないと知らないままになってしまうのは、個人にとっても心理学者にとってももったいないことだ。「そうした問題意識から、日本基礎心理学会の中に『心の実験パッケージ開発』という委員会が立ち上がり、私もメンバーとして、子どもたちが心理学の知見を、単に知識として学ぶのではなく自分自身のこととして体験できる教材を開発しています。工学やメディアアートなどさまざまな分野の研究者と協力して」

人体には触覚が敏感な場所と鈍感な場所があり、脳の中では敏感な場所に対応する部分ほど大きく、鈍感な場所ほど小さい。そのことを模式的に描いたものが「ホムンクルス」と呼ばれる絵だが、それを見せるだけでは一方的な知識の伝達にとどまり、教えられた方もすぐに忘れてしまうだろう。そこで上田さんたちは以下のようなワークショップを行った。

Figure5 心理学ワークショップ



心理学の知見を体験できる教材開発にも取り組んでいる。顔の各部位の空間解像度を計測(左)して入力すると、顔写真を変形して見せてくれる。右端は、中央の顔写真を43人の中学生の計測結果平均で変形したもので、顔全体は細く、口周辺は大きく変形している



まず、参加した子どもたちに自身の顔を撮影してもらい、上田さんが開発したソフトに取り込む。その後、2人一組で、相手の額や口元や前腕に実験器具を当て、各部位がどれぐらい繊細な感度(空間解像度)を持つか計測・記録してもらう(Figure5)。その結果をソフトに入れると、敏感な場所が大きく、鈍感な場所が小さく変形された自分の顔が表示される。抽象概念ではない、自分自身のホムンクルスだ。

参加した子どもたちは、口が大きく、額が小さく変形された自分の顔を見て驚き、体感として触覚と脳の関係を理解したようだ。この教材は顔写真の変形のみで開発されたが、VRアバターを用いれば全身を使った教材も作れるだろう。上田さんが蓄積してきた、メディアを使ったインタラクティブな実験のノウハウが、こんな場面でも力を発揮している。

より良いアバターやロボットの設計に役立つ知見を

5年後、VRと人との関係はどうなっているだろうか? 「今のHMDはやや大仰なデバイスなので、数年以内に大半の人が日常的に身に着けて多くの時間をVR空間で過ごす未来は予想できません。ただVR空間での体験が多くなっていくことは確かで、認知心理学の分野では、VR上で学習した記憶は現実空間でも変わらず維持されるのかというテーマが研究されています」

記憶には文脈依存性があるといわれている。水中で覚えたことは水中だと思い出しやすい、というように、覚えたときの状況や環境が記憶の保持や呼び出しに影響するという記憶特有の性質だ。

「私はVRの自己アバターをどれだけ自分自身の身体だと認識できるかどうかに興味があるので、空間をまたいだ際の変化だけでなく、現実では男性の人がVR空間では女性アバターを使っている場合にVR空間で学習したことが現実でどれほど保持されるのか、つまり文脈依存効果の文脈に“身体”が含まれるかどうかを調べてみたいですね」

人間は揺るぎない自己があって環境からの刺激に対して出力しているのではなく、自分の出力に対し環境からフィードバックを受け、自分自身を変化させながら生きている。であるなら、自身と環境とのインターフェースになる自己身体(と自身が見なすもの)はどれだけ環境からの入力や出力に影響を受けるのか。上田さんの関心の核にはその問いがある。

「今後、VR上で長い時間を過ごす人が増えていくと、アバターが本人のナチュラルな反応とは異なる反応をするように設計されていた場合、そのフィードバックを受けて、本人のリアル世界での行動や人格まで変わってしまうことも推測されます。そしてそれはきっと、アバターがどれだけ身体化されているかに関わっています。拡張身体の身体化のメカニズムを明らかにする研究は、より自然なコミュニケーションができるアバターを設計する役に立つだけでなく、本人にどのような心理的影響が及ぶか、その範囲を明らかにすることにも役立つかもしれません」

VR技術とロボティクスは今後も進化し続ける。上田さんは、これまでの現実空間では作り得なかった環境を活用し、認知心理学の地平を開いていこう。その成果は、心理学のみならず、情報科学や生命科学など他分野の常識を覆していく可能性も秘めている。

「Nextcom」論文公募のお知らせ

本誌では、情報通信に関する社会科学分野の研究活動の活性化を図るため、新鮮な視点を持つ研究者の方々から論文を公募します。

公募要領

申請対象者：大学院生を含む研究者

*常勤の公務員（研究休職などを含む）の方は応募できません。

論文要件：情報通信に関する社会科学分野の未発表論文（日本語に限ります）

*情報通信以外の公益事業に関する論文も含みます。

*技術的内容をテーマとするものは対象外です。

およそ1万字（刷り上がり10頁以内）

選考基準：論文内容の情報通信分野への貢献度を基準に、Nextcom 監修委員会が選考します。
（査読付き論文とは位置付けません）

公募論文数：毎年若干数

公募期間：2025年4月1日～9月10日

*応募された論文が一定数に達した場合、受け付けを停止することがあります。

選考結果：2025年12月ごろ、申請者に通知します。

著作権等：著作権は執筆者に属しますが、「著作物の利用許諾に関する契約」を締結していただきます。

掲載時期：2026年3月、もしくは2026年6月発行号を予定しています。

執筆料：掲載論文の執筆者には、5万円を支払います。

応募：応募方法ならびに詳細は、以下「Nextcom」ホームページをご覧ください。

その他：1. 掲載論文の執筆者は、公益財団法人KDDI財団が実施する著書出版助成に
応募することができます。

2. 要件を満たせば、Nextcom 論文賞の選考対象となります。

3. ご応募いただいた原稿はお返しいたしません。

2025年度 著書出版・海外学会等 参加助成に関するお知らせ

本誌では、2025年度も公益財団法人KDDI財団が実施する著書出版・海外学会等参加助成に、候補者の推薦を予定しています。

著書出版 助成

助成内容：情報通信に関する社会科学分野への研究に関する著書

助成対象者：過去5年間にNextcom誌へ論文を執筆された方

助成金額：3件、各200万円

受付期間：2025年4月1日～9月10日（書類必着）

海外学会等 参加助成

助成内容：海外で開催される学会や国際会議への参加に関わる費用への助成

助成対象者：情報通信に関する社会科学分野の研究者（大学院生を含む）*

助成金額：北米東部 欧州 最大40万円 北米西部 最大35万円 ハワイ 最大30万円
その他地域 別途相談（総額150万円）**

受付期間：随時受け付け

*常勤の公務員（研究休職などを含む）の方は応募できません。

Nextcom誌に2頁程度のリポートを執筆いただきます。

**助成金額が上限に達し次第、受け付けを停止することがあります。

推薦・応募：いずれの助成も、Nextcom監修委員会において審査・選考し、公益財団法人KDDI財団へ推薦の上、決定されます。応募方法ならびに詳細は、以下「Nextcom」ホームページをご覧ください。

「Nextcom」ホームページ <https://rp.kddi-research.jp/nextcom/support/>

問い合わせ先：〒356-8502 埼玉県ふじみ野市大原2-1-15

株式会社 KDDI 総合研究所 Nextcom 編集部

E-mail: nextcom@kddi.com

明日の言葉



ロボットを開発することで、
人間を理解することができる
……石黒 浩

【出典解説】

日本を代表するロボット工学者である石黒浩氏は、人間の興味の根底にあるのは、「人間」だと断言する。そして、自らの研究には主に二つの目的があると語る*。一つは、人間の役に立つロボットを開発するという工学的／技術的なもの。もう一つは、従来の認知科学や脳科学では解明し切れない、人間そのものを調べるという科学的な目的だ。

その研究室からは数々のロボットが開発され、注目を集めてきた。中には、石黒浩氏自身の姿に酷似したアンドロイド(ジェミノイド)もある。その存在と対峙すると、アイデンティティが開発者の自分ではなく、アンドロイドにあると感じることさえあるという同氏は、やがて「心を持つロボット」、つまり「人間を工学的に実現する」ことは、おそらく可能なのだとも述べている**。

*『ロボットと人間一人とは何か』石黒浩／岩波新書／2021年

**『アンドロイドは人間になれるか』石黒浩／文春新書／2015年

訂正とお詫び

本誌61号(2025年春号)冊子版の掲載内容に誤りがありました。謹んで訂正させていただきます。

訂正箇所：p31参考文献( 部分)

【誤】

- 1 Deloitte, Technological barriers to the elevated future of mobility: Can urban transportation be lifted off the ground? (2019), available at <https://adviser.morganstanley.com/the-busot-group/documents/field/b/bu/busot-group/Electric%20Vehicles.pdf>
- 2 Morgan Stanley, eVTOL/Urban Air Mobility TAM Update: A Slow Take-Off, But Sky's the Limit (2021), available at https://assets.verticalmag.com/wp-content/uploads/2021/05/Morgan-Stanley-URBAN_20210506_0000.pdf

【正】

- 1 https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/5098_tech-barriers-fom/DI_Tech-barriers-elevated-FoM.pdf
- 2 <https://adviser.morganstanley.com/the-busot-group/documents/field/b/bu/busot-group/Electric%20Vehicles.pdf>

編集後記

さまざまな事故や災害の映像を見るたびに、もし、モビルスーツやレイバーがこの現場にあったなら、そんな想像をしたことがあるのは私だけではないと思います。今号では、そんなロボティクスの現在と未来について、さまざまな角度からご執筆をいただきました。新しい取り組みである特別寄稿を含めて、ロボティクスを身近に感じていただけましたか。前号に引き続き、今号も大阪万博にちなんだテーマです。ロボットと共存できる未来はもうすぐかもしれません。次号のテーマは「米国情報通信政策の潮流(仮)」の予定です。(編集長：加藤尚徳)

Nextcom(ネクストコム) Vol.62 2025 Summer
2025年6月1日発行

監修委員会

委員長 川瀨 昇(追手門学院大学 法学部 教授／
京都大学 名誉教授)
副委員長 山下 東子(大東文化大学 経済学部 特任
委員 教授)
(五十音順) 依田 高典(京都大学 大学院 経済学研究
科 教授)
岡田 羊祐(成城大学 社会イノベーション
学部 教授)
菅谷 実(慶應義塾大学 名誉教授)
田村 善之(東京大学 大学院 法学政治学
研究科 教授)
舟田 正之(立教大学 名誉教授)

発行 株式会社KDDI総合研究所
〒356-8502
埼玉県ふじみ野市大原2-1-15
URL: www.kddi-research.jp

編集長 加藤尚徳(株式会社KDDI総合研究所)
編集協力 株式会社ダイヤモンド社
株式会社メルプランニング
有限会社エクサピーコ(デザイン)
印刷 株式会社瞬報社

本誌は、わが国の情報通信制度・政策に対する理解を深めるとともに、時代や環境の変化に即したこれからの情報通信制度・政策についての議論を高めることを意図しています。ご寄稿いただいた論文や発言などは、当社の見解を示すものではありません。

- 本誌は当社ホームページでもご覧いただけます。
<https://rp.kddi-research.jp/nextcom/>
- 宛先変更などは、株式会社KDDI総合研究所
Nextcom編集部にご連絡をお願いします。
(E-mail: nextcom@kddi.com)
- 無断転載を禁じます。



