2.2.3 インタラクション

(1) 研究開発領域の定義

インタラクションは、物理空間・情報空間での人間の経験や表現を豊かにすることに役立つシステムを構築するための研究開発領域である。現在のVR/ARなどのヒューマンインターフェース技術は主に視聴覚情報のみを用いているが、近年の「Society 5.0」においては、各種のセンサーやスマートデバイスが繋がったIoTの技術などを使って、物理空間と情報空間を別ものとして扱うのではなく、相互に自由自在に交流したり、統合したりするなど、本研究開発領域に求められるものも拡大している。

(2) キーワード

HCI (ヒューマンコンピューターインタラクション/ヒューマンインターフェース)、HRI (ヒューマンロボットインタラクション)、バーチャルヒューマン、デジタルツイン、サイバネティック・アバター、テレグジスタンス/テレプレゼンス、VR/AR、触覚 (ハプティクス)、BMI/BCI (ブレイン・マシン・インターフェース/ブレイン・コンピューター・インターフェース)、人間拡張、人間共生

(3) 研究開発領域の概要

[本領域の意義]

産業革命以降の機械技術の発達により、人は苦役から開放された。極度の肉体的疲労を伴う作業や健康を損なうような危険な環境での作業など、本来望ましくない作業は自動機器により代替されつつある。

これら従来行われている自動化技術開発と並行して、自動機器による完全な代替が困難な作業を人と機械との協働により実現する技術の開発や、人が自らの望む行動を自由自在に行えるよう支援する技術の開発が求められる。そのために必要とされる機器やアバターなどと人とが相互交流するための技術体系をインタラクション技術と位置づけることができる。

インタラクション技術は、メカトロニクス、脳計測、機械学習、ロボット工学、センシング技術、ディスプレイ技術、BMI (ブレイン・マシン・インターフェース)、ウェアラブル技術、ネットワーク技術、人間拡張工学などを有機的に統合した技術領域であり、我が国が得意とするハードウェアとソフトウェアの融合技術に分類され、分野横断的な研究開発により、日本の産業の活性化・競争力強化につながることも期待される。

とりわけ少子化、高齢化の進む我が国においては、身体的能力を補綴 (ほてい) し強化するようなインタラクション技術が普及することで、高齢者の持続的な社会参画が可能になると期待される。

[研究開発の動向]

インタラクション分野はHCI (ヒューマンコンピューターインタラクション/ヒューマンインターフェース) とも言われ、初期は、例えばコンピューターやスマートフォンなどの情報機器とのインターフェース要素技術 (Graphical User Interface (GUI) やインタラクションデザインなど) を主な研究開発対象としてきた。その後、ロボットを対象としたHRI (ヒューマンロボットインタラクション) として、物理空間に存在するロボットをインターフェースとして人間がより直感的かつシームレスに情報空間に対してコミュニケーションすることを目指した研究などが、活発に行われてきた。HRIにおいては、ロボットの構成技術の開発だけでなく、ロボットと人間が共生するための社会的要因などを対象とした共生インタラクション研究も進められている。共生インタラクション研究の代表的な事例として、人と安全に関わることができるロボットの皮膚や内部メカニズム、

頑健で柔軟な音声認識技術の開発と、欲求、意図、行動・発話の階層モデルの構築を目的としたERATO石黒共生ヒューマンロボットインタラクション（HRI）プロジェクト（研究総括：大阪大学 石黒浩）や、人間・機械・情報環境からなる共生社会におけるインタラクションに関する理解を深め、人間同士から環境全体まで多様な形態でのインタラクションを高度に支援する情報基盤技術の創出と展開を目指したCREST「人間と情報環境の共生インタラクション基盤技術の創出と展開」領域（研究総括：名古屋大学 間瀬健二）が挙げられる。

人間をとりまく物理空間の情報を情報空間に取り込むIoT技術の発展、情報空間に蓄積されるビッグデータとその解析技術としての機械学習の進展を背景に、新たなインタラクション研究が進展している。従来の視覚中心のインタラクションに加え、触覚（ハプティクス）など他のモダリティをコミュニケーションの手段として取り込む研究や、新たな情報機器としてのウェアラブルコンピューティングの開発、デジタルツイン技術を人間に適用しバーチャルヒューマンをコンピューター内に再現する研究などが実施されてきた。代表的な事例として、東京大学 五十嵐健夫らは、ERATO五十嵐デザインインタフェースプロジェクト（2007～2012）において、HCIのためのラピッドプロトタイピング、ファブリケーションを提案し、その後機械学習に代表されるデータ駆動型知的情報システムの理解・制御のためのインタラクションについて研究を進めている。また、東京大学 篠田裕之らは3次元映像とともにその表面の触感を超音波で再現する技術によって、多次元インタラクションを自由にプログラムできる空間を確立する研究を行っている。

また、人間が生得的に有する脳機能（感覚機能、運動機能、知的処理機能など）を補綴するためだけでなく、人間の身体能力を増強（オーグメンテーション、エンハンスメント）する基礎的な技術として発展し得る研究として、BMI（ブレイン・マシン・インターフェース）の研究開発が進められてきた。東京都医学総合研究所の西村幸男らは日本医療研究開発機構（AMED）脳科学研究戦略推進プログラム「BMIによる運動・感覚の双方向性機能再建」などの研究プロジェクトを通して、手の運動機能を持たない脳領域に人工神経接続システムを使って、新たに運動機能を付与できることを発表している。

近年、上記にあげた要素技術であるメカトロニクス、ディスプレイ技術、人間工学、ロボット工学、ヒューマンロボットインタラクション、センサー工学、ウェアラブル技術などの複合領域として「人間拡張学（Human Augmentation）」と呼ばれる研究分野が注目を集めている。人がやりたくない作業を代替する自動化技術に対し、人間拡張学は、人が持つ感覚や運動機能や知的処理機能を物理的、情動的に補綴・拡張・増強することにより、自らやりたいことを身体能力に関わらず自由自在に行う技術の確立を目指している。パワード義足のような身体機能を直接補綴する技術に加え、テレプレゼンスやレイグジスタンスのように人工物と人間の機能を融合して総合的に能力を高める技術など、多様な研究が行われている。

また、情報空間と物理空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立させた人間中心の社会である「Society 5.0」の実現に向け、情報空間と物理空間を融合させたサイバー・フィジカル空間でのサイバネティック・アバターとのインタラクションを検討することの重要性が増している。例えば、慶應義塾大学 南澤孝太らは、人間とロボットとのインタラクションにおいて、物理空間に存在するハードウェアとしてのロボットとのインタラクションだけではなく、CG（コンピューターグラフィックス）アバターとのインタラクションに関する研究も行っている。東京大学 鳴海拓志らのCGアバターなどによる外見の変化と人間への心理的な影響を探るゴーストエンジニアリングも同分野の代表的な研究として挙げられる。

これらに加え、人間拡張学を含むインタラクションの基盤的な研究分野として、認知神経科学の動向も捉えておく必要がある。スイス連邦工科大学ローザンヌ校（EPFL）Olaf Blanke、University College LondonのTamar Makin、カリフォルニア工科大学 下條信輔、電気通信大学 宮脇陽一らがそれぞれ、触覚や身体

感覚に関する神経機構の変容を解明しようとしている。さらに、名古屋大学 久木田水生らは、技術倫理学の立場から、人間拡張学を含むインタラクション研究分野における哲学的倫理的問題について考察を行っている。

(4) 注目動向

[新展開・技術トピックス]

インタラクション研究分野のうち、人間共生・人間拡張に関する研究は、ERATO 稲見自在化身体プロジェクトやさがけ「人とインタラクションの未来」(研究総括：東京大学 暦本純一)によって、急速に研究が進められている。これらで得られた知見を社会に展開できるよう発展した大型プログラムとして、ムーンショット型研究開発制度 目標1「2050年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現」が挙げられる。人間拡張技術をもとに、「2050年までに、複数の人が遠隔操作する多数のアバターとロボットを組み合わせることによって、大規模で複雑なタスクを実行するための技術を開発し、その運用等に必要な基盤を構築する」および「2050年までに、望む人は誰でも身体的能力、認知能力及び知覚能力をトップレベルまで拡張できる技術を開発し、社会通念を踏まえた新しい生活様式を普及させる」の実現を目指した研究を開始し、注目を集めている。

また、ロボット分野における世界最大の国際会議の一つである IROS (IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems) 2019において、マサチューセッツ工科大学 (MIT) Harry Asada、南方科技大学 (中国) Chenglong Fuらをオーガナイザーとして「Supernumerary Robotic Limbs」というテーマでWorkshopが開催され、IROS 2020ではマサチューセッツ工科大学 (MIT) Harry Asada、アリゾナ州立大学 Wenlong Zhang、東京大学 稲見昌彦、伊シエナ大学 Domenico Prattichizzoらをオーガナイザーとして「Wearable SuperLimbs: Design, Communication, and Control」というテーマでのWorkshopが開催され、国内だけでなく、国際的にも研究コミュニティが形成されつつある。

これらに加え、XPRIZE財団が主催する1,000万ドル規模の世界的なコンペティション「ANA AVATAR XPRIZE」が2018年に立ち上がり、人間の存在を遠隔地にリアルタイムで輸送できるアバターシステムの開発を目指し、現在進行中である。

[注目すべき国内外のプロジェクト]

日本国内においては、産業技術総合研究所「人間拡張研究センター」が2018年11月に東京大学柏IIキャンパス内に新設され、ヒューマンセンシング技術・VR/AR・ロボット技術を統合して人の身体能力やコミュニケーション能力を高める研究を実施している。

東京大学 稲見昌彦らは、超スマート社会に自由自在に適応可能な、新たな身体像「自在化身体」を設計し、人間の身体観をアップデートすることを目指したERATO 稲見自在化身体プロジェクトを2017年に開始し、研究を推進している。また、東京大学 暦本純一らは、JST さがけ「人とインタラクションの未来」において、超スマート社会における人間と人間、人間と機械、人間と情報環境、人間と実世界環境などの多様な状況でのインタラクションの進展に資する人間の能力を拡張するための新たな技術や人間と環境が高度に調和する技術の創出、インタラクション理解のさらなる深化を目指した研究を進行中である。

国際的な取り組みとして、スイス連邦工科大学チューリヒ校 (ETH Zurich) 主催による「サイバスロン (Cybathlon)」が挙げられる。これは、人間拡張学を駆使して機器を装着した障害 (しょうがい) 者が日常生活の必要な動作をこなしていく競技大会であり、エンターテインメント性のある競技を通じて、ヒューマン

ロボットインタラクション技術の発展を目指している。スポーツを対象としたパラリンピックとは異なり、サイバロンでは日常生活にスポットを当て、インフラ整備が不要な真のバリアフリーの実現を目的としている。この大会には、大手義足メーカーのÖssur社（アイスランド）、OttoBock社（ドイツ）やスタートアップのXiborg社（日本）等のエンジニアリングチームも参加し、実用レベルでの技術向上に直接貢献している。

(5) 科学技術的課題

インタラクション技術は、メカトロニクス、脳計測、機械学習、ロボット工学、センシング技術、ディスプレイ技術、BMI、ウェアラブル技術、ネットワーク技術、人間拡張学などを有機的に統合した技術領域であるが故に、今後も学際的・分野融合的に、様々な分野の研究者が自身の研究領域を超えて、協働しながら研究を推進していくことが求められる。例えば、BMIや人間拡張学の研究において、脳計測などを通じて神経機構の変容を解明しようとする場合には、脳の特性やその情報を読み出す部位や方法を熟知している認知神経科学分野の研究者との協働が必要となる。

また、BMIや人間拡張学などは、人間が生得的に有する脳機能（感覚機能、運動機能、知的処理機能など）にアプローチすることで、人間の身体能力を増強（オーグメンテーション、エンハンスメント）することを可能にする技術でもあるため、脳機能に介入した結果、条件によっては脳機能にとって不可逆的な変化が起きている可能性が指摘されており、実際にどのような悪影響が起り得るかを調査し、悪影響が出ないような対策や規制の検討、また万が一悪影響が出た場合の対処法も見出しておくことが必要である。

インタラクション技術が急速に発展する一方、地域的・身体的・社会的条件の相違による情報通信技術の利用格差であるデジタル・ディバイドも拡大してきている。このデジタル・ディバイド解消のために、総務省が政策的に地域におけるブロードバンドインフラの整備を推進しているが、その動きに加えて研究開発的な立場からもデジタル・ディバイドを解消するインタラクション技術の開発が求められる。

(6) その他の課題

インタラクション技術は社会的に有用かつ人間の高次の欲求を満たす技術として期待されているが、一方でその影響力の強さから使用方法を正しく規定することが重要である。特に近年では技術の革新速度が著しく向上しており、技術が確立してからのルールを制定するのではなく、技術開発と同時並行でルールについて検討していく必要がある。

例えば、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）は、人間の目や脳への悪影響が懸念されており、装着時の眼精疲労、注意の転導、転倒の危険性なども考慮する必要がある。

一方、同技術の標準化に関しては、日本国内での認可、規制のハードルの高さ故に海外での応用が先行しているケースが多く、今後は新たな融合領域に対する研究開発支援を行うだけでなく、研究開発特区の策定と特区での社会実験といった、研究開発と市場開拓を促進するための政策的配慮も必要となるであろう。

(7) 国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	↗	VR/ARなどの視覚的なインタラクションを用いた研究は多数進められているが、現状では触覚や身体感覚に関する神経科学的なアプローチからの基礎的な研究は限定的であると言わざるを得ない。
	応用研究・開発	○	↗	研究水準としては国際的にもトップレベルではあるものの、それらの産業展開が遅れている。企業での実用化やスタートアップ支援を活性化させる必要がある。
米国	基礎研究	◎	→	カリフォルニア工科大学教授である下條信輔を中心として、触覚や身体感覚に関する神経科学的なアプローチからの基礎研究は他国に比べ先行している。
	応用研究・開発	◎	→	DARPAを中心とした産学軍の連携が密接に行われている。また、米国特有の動向として、大学などの教育機関での研究に加え、MicrosoftやFacebookなどの企業での研究開発が盛んに行われており、実用化の速度も早い。
欧州	基礎研究	◎	→	EPFL教授であるOlaf Blankeを中心として、触覚や身体感覚に関する神経科学的なアプローチからの基礎研究は、アジア諸国に比べ先行している。
	応用研究・開発	○	↗	現在、米国に次ぐ世界第二位の市場となっている。教育機関ではETHが中心となり、人間拡張学に関する競技大会Cybathlonが2016年、2020年に開催された。また、Adidas AG (ドイツ)、Weartech S.L. (スペイン)、Eurotech S.P.A. (イタリア)などの企業での研究開発も活発である。
中国	基礎研究	×	→	大規模なモバイルユーザー層によりウェアラブル・VRの技術開発を牽引しているものの、触覚や身体感覚に関する神経科学的なアプローチからの基礎的な研究は限定的である。
	応用研究・開発	○	→	Microsoft Research Asiaや精華大学、ハルビン工業大学教授 Yanhe Zhuを中心に応用的な研究が多数行われている。また、大規模なモバイルユーザー層により、ウェアラブル技術・VR技術開発の発展を牽引しており、動画やゲームコンテンツ企業による研究開発も活性化してきている。
韓国	基礎研究	△	→	ウェアラブル・VR技術などの企業を中心とした研究開発は多数進められているが、触覚や身体感覚に関する神経科学的なアプローチからの基礎的な研究は限定的である。
	応用研究・開発	○	↗	未来創造科学部および貿易通商資源部は、2024年までに~9,000万米ドルを投資し、IoT・スマートカー事業の育成に力を入れることを宣言しており、SamsungやLGを中心としたウェアラブル・VR技術開発を押し上げる可能性が高い。

(註1) フェーズ

基礎研究：大学・国研などでの基礎研究の範囲

応用研究・開発：技術開発（プロトタイプの開発含む）の範囲

(註2) 現状 ※日本の現状を基準にした評価ではなく、CRDSの調査・見解による評価

◎：特に顕著な活動・成果が見えている

○：顕著な活動・成果が見えている

△：顕著な活動・成果が見えていない

×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(註3) トレンド ※ここ1~2年の研究開発水準の変化

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

関連する他の研究開発領域

・ BMI・BCI (ライフ・臨床医学分野 2.5.5)

参考文献

- 1) 内閣府「Society 5.0」 https://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/
- 2) ERATO 石黒共生ヒューマンロボットインタラクション (HRI) プロジェクトホームページ <https://www.jst.go.jp/erato/ishiguro/index.html>
- 3) [共生インタラクション] 人間と情報環境の共生インタラクション基盤技術の創出と展開 | CREST ホームページ https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/research_area/ongoing/bunyah29-4.html
- 4) ERATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクトホームページ <https://www.jst.go.jp/erato/igarashi/>
- 5) "Bypassing stroke-damaged neural pathways via a neural interface induces targeted cortical adaptation" 論文の「Nature Communications」への発表 プレスリリース文、公益財団法人東京大学医学総合研究所ホームページ <http://www.igakuken.or.jp/topics/2019/1016-2.html>
- 6) Saraiji, MHD Yamen and Fernando, Charith Lasantha and Minamizawa, Kouta and Tachi, Susumu, "Development of Mutual Telexistence System using Virtual Projection of Operator's Egocentric Body Images", ICAT-EGVE 2015 - International Conference on Artificial Reality and Telexistence and Eurographics Symposium on Virtual Environments, 2015, 10.2312/egve.20151319. <http://embodiedmedia.org/wp-content/uploads/2016/05/yamen2015ICAT.pdf>
- 7) 鳴海 拓志, "ゴーストエンジニアリング: 身体変容による認知拡張の活用に向けて, 認知科学", 2019, Vol. 26, No. 1, pp. 14-29, 10.11225/jcss.26.14.
- 8) ムーンショット型研究開発制度ホームページ <https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/index.html>
- 9) IROS (IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems) 2019 Workshops and Tutorials <https://www.iros2019.org/workshops-and-tutorials>
- 10) IROS (IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems) 2020 Workshops <https://www.iros2020.org/3program/Workshops.html>
- 11) ANA AVATAR XPRIZE ホームページ <https://avatar.xprize.org/prizes/avatar>
- 12) 国立研究開発法人産業技術総合研究所 人間拡張研究センターホームページ <https://unit.aist.go.jp/harc/>
- 13) ERATO 稲見自在化身プロジェクトホームページ <https://www.jst.go.jp/erato/inami/>
- 14) Cybathlon ホームページ <http://www.cybathlon.ethz.ch/>
- 15) 栗田 雄一, 石原 茂和, 稲見 昌彦, サイバロンと人間拡張工学, 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, 2018-2019, Vol. 12, No. 2, pp. 105-111, Online ISSN 2186-0661, <https://doi.org/10.1587/bplus.12.105>, https://www.jstage.jst.go.jp/article/bplus/12/2/12_105/_article/-char/ja
- 16) 「2020年に注目すべき技術」 三井物産戦略研究所 技術トレンド基礎調査センター、技術・イノ

バージョン情報部 調査レポート https://www.mitsui.com/mgssi/ja/report/detail/__icsFiles/afieldfile/2020/05/21/2001_report.pdf

2.2

俯瞰区分と研究開発領域
ロボティクス