解 説

人間系融合領域アカデミック・ロードマップ

Academic Roadmap in Human-Centered Integrated System Research Field

富 田 豊^{*1} 堀 浩 一^{*2} 西 田 佳 史^{*3} ^{*1}慶應義塾大学 ^{*2}東京大学 ^{*3}産業技術総合研究所Yutaka Tomita^{*1}, Koichi Hori^{*2} and Yoshifumi Nishida^{*3}^{*1}Keio University ^{*2}The University of Tokyo ^{*3}National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

1. 人間系融合領域 WG の概要

人間系の科学技術，すなわち，人間というシステムそのものや人間をその一部に含んだ人工物システムに関する科学技術において，人間は最も重要な要素であるのにもかかわらず，その全体像の理解は，技術がこれを許さなかったり，その必要性がまだ明確に意識されていないかたり，または，途方もなく遠大であるがゆえに，これまで真っ向から扱うことが困難であった．あらゆる産業や学会において，人間は，その対象として，またはユーザとして重要であるにもかかわらず，個別の事例ごとに分断され，どちらかという片隅で扱われることが多く，人間を全体として捉えることは今なお未解決で困難な問題である．一方，我々を取り巻く社会へのロボット技術（センシング技術・情報処理技術・メカトロニクス技術）の浸透により，これまで困難であったような，いっそう広く全体を把握することや，いっそう多面的・総合的に支援すること，言い換えれば，人間を中心化することへの萌芽が感じられる．

ロボット分野アカデミック・ロードマップの人間系融合領域 WG（以下，人間系融合領域 WG）では，今一度，人間系をできる限りトータルに捉え，現在のロボット技術と社会背景を踏まえつつ，過去 50 年から将来 50 年に渡る 100 年のスパンで，人間を中心としたロボット技術のあるべき姿とそれに至るロードマップを描くことを目標とした．具体的には，人間系融合領域 WG では，平成 19 年度開催された統括委員会，全体合宿，WG 委員会における議論を通じて，以下の作業を行った．

- (1) 人間系融合領域のアカデミック・ロードマップの分類・整理
- (2) 人間系融合領域における将来のあるべきロボットの姿

原稿受付 2008 年 8 月 7 日

キーワード: Academic Roadmap, Human-Centered Integrated System Research Field

^{*1}〒 223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1^{*2}〒 153-8505 目黒区駒場 4-6-1^{*3}〒 135-0064 江東区青海 2-41-6^{*1}Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa^{*2}Meguro-ku, Tokyo^{*3}Koto-ku, Tokyo

の素描

- (3) 人間系融合領域における過去 50 年・将来 50 年にわたる進化系統図の作成
- (4) 人間系融合領域における重要キーワード 33 項目の選定
- (5) 若手研究者に向けた人間系融合領域のチャレンジ課題の選定

以下，各作業について概要を述べたい．

2. 人間系融合領域の俯瞰

人間系融合領域 WG では，人間系融合領域をロボット分野で扱われるべき人間の全体像を俯瞰する作業を行い，図 1 に示す俯瞰図を作成した．この俯瞰図の作成にあたり，整理軸として，以下の三つの軸を選んだ．

- ロボット技術軸（X 軸：誌面では左に伸びる横軸）
- サービス軸（Y 軸：誌面では右に伸びる横軸）
- 人とロボットとの界面軸（Z 軸：誌面では縦軸）

ロボット技術（RT）軸として，ハード・機構，センシング，コントロール，インテグレーション，モデリングを選んだ．サービス軸として，ロボット技術が貢献する分野である健康，安全，生産，つなぎ，安心，文化を選び，さらに，社会とのかかわりにおいて今後ますます重要性を増すと考えられる倫理を加えた．また，人とロボットとの界面軸として，生理，物理・空間，心理，社会・環境を選んだ．

図 1 人間系融合領域の俯瞰（三次元）[1]

3. 将来のあるべきロボットの姿

人間系融合領域 WG では、図 2 に示すように 50 年後の将来のロボットのあるべき姿を素描した。この図では、ロボットコンポーネントが我々の日常に浸透した結果、日常

の様々な場面で、個々の人間を中心として、ロボットコンポーネントが有機的・ダイナミックに統合される様子を描いた。ここで示すように、統合されたロボットコンポーネントにより、個々の人間のセンシングと個人適型サービスの提供からなるフィードバックループ（ロボタイズド・ループ）が作られることで、安全・安心・快適な生活を支援してくれる人間中心ロボットが 50 年後も変わらず望まれる姿であろう。

ロボット技術が一般社会に人工知能物として浸透するロボタイゼーション社会では、様々な界面でフィードバックループが作られることになる。例えば、サイボーグ技術によってロボティックな身体と人間とが接合可能になること（人の内部をつなぐロボット）、空間が安全を確保するために人を見守ってくれることや、移動機械が行きたい場所に連れて行ってくれること（人と環境をつなぐロボット）、遠隔地にいる人とのコミュニケーションを可能にしてくれることや、複数の個人からなる地域コミュニティを活性化してくれること（人と人をつなぐロボット）などが人間中心ロボットの具体例である。

さらに言うならば、今後は、機械中心から人間中心へという前近代的スローガンだけでなく、単視眼的な人間中心技術を脱却することもますます必要となろう。例えば、SoS (System of Systems) といった考え方にも見られるように、

図 2 ロボタイゼーション社会 [1]

人間系融合領域の進化系統図

図 3 人間系融合領域における過去 50 年・将来 50 年に渡る進化系統図 [1]

個々の人間を中心にした制御と、地球環境への配慮といったマクロな系での制御を両立させるような、より高度な調停制御も扱われるべきであり、将来にわたる挑戦的な課題である。

図3は、あるべきロボットの姿であるロボタイゼーション社会に至るロードマップ（進化系統図）である。この図は、1. 人間科学、2. 人間の計算モデル（工学モデル）、3. ロボット要素・統合技術、4. ロボタイゼーションの進行、5. 倫理の五つの流れとその相互の関係を表したものである。

人間中心のロボタイゼーション社会を実現するためには、人間を理解するサイエンスが重要である。それに加え、人間に関する様々な知見が人間中心化技術として利用するためには、これらの科学的な知見が計算可能な人間モデルとして蓄積されていくことが重要である。このような人間モデルがあつてはじめて、言葉だけのスローガンを越えた、エビデンスベースな人間中心サービスが可能となる。

ロボットが我々の身の回りの物理空間に浸透したり、サイボーグであれば身体に組み込まれることによって、人間に関するデータが今よりも大量に広範にわたってセンシング可能となる。この大規模な実データは、日常生活の場での人間の科学という新たな人間科学を可能とし、これがさらに、日常生活の場面で役立つ人間モデルを可能とする。このような観点からすれば、ロボタイゼーション、人間科学、そして人間モデルの発展は、相互作用を保つことで進むものと考えられる。ここでの人間中心ロボット技術は、個人だけでなく、グループ、コミュニティ、社会などの多様な粒度で人間をサポートすることが要請されるであろう。

このロードマップで描いたように、今後、ロボットが社会との相互作用を積極的に保つことによってのみ、人間を中心としたロボット技術や人間科学が健全に発展していくことは間違いない方向であろう。今まさに、このようなロボット技術によるルネサンスが始まろうとしている。

4. 人間系融合領域における重要キーワード

人間系融合領域 WG では、人間中心ロボット技術を作る上で重要となる技術領域、科学領域を表すキーワードを 33 項目選定した。人間中心技術を実現するためには、1) 人間モデリングのためのヒューマンサイエンス、2) 人間中心ロボットのためのヒューマンインタフェース技術・要素技術、3) 人間中心ロボットのための人間モデリングや人間シミュレーション技術、4) 人間中心であることが求められている現場の四つの必要である。これら四つを大項目として以下のように整理した。

- 人間モデリングのためのヒューマンサイエンス 1. 脳科学、2. 認知科学（記憶、注意、知覚、行動、情動、感情）、3. 感性、4. 五感、5. 人間工学、6. サイバネティクス、7. 人工知能

- 人間中心ロボットのためのヒューマンインタフェース技術・要素技術 8. センサネットワーク、9. データマイニング（統計数理）、10. ヒューマンインタフェース、11. ユーザビリティ、12. 生体計測、13. BMI/BCI、14. ヒューマン・ロボット・インタラクション、15. 補装具、16. 人間機械協調、17. インテリジェントハウス・環境知能
- 人間中心ロボットのための人間モデリング技術 18. デジタルヒューマン、19. 認知構造モデル、20. ヒューマンエラー、21. 人間中心サービス技術、22. 社会シミュレーション
- 人間中心であることが求められている現場 23. 日常生活ロボティクス、24. 安心・安全ロボティクス、25. 福祉ロボット、26. 認知症支援ロボティクス、27. 医療ロボット、28. 見守りロボット、29. 遠隔作業ロボット、30. 拡張認知ロボット、31. セル生産支援ロボット、32. パワーアシストロボット、33. サイボーグ・人工臓器

5. 人間系融合領域のチャレンジ課題

最後に、人間系融合領域 WG で選定した、特に、若手研究者を意識した人間系融合領域のチャレンジ課題を紹介したい。

短期（2010 年代）

● RT 日用品

安全・安心・快適な日常生活を支援するために、身の回りの様々な日用品を RT 化することは、短期的に狙える現実的なロボット技術のターゲットである。掃除ロボットやマッサージチェアなどが、その例である。様々な日用品について市場を成り立たせるためには、これらの RT 日用品を低価格で実現することが必須である。そのためには、基本コンポーネントをモジュール化・標準化したり、逆にそれらに基づいて RT 日用品をシリーズ化したり、RT コンポーネントを統合するためのミドルウェアを開発する必要がある。

中期（2020 年代～30 年代）

● エンパワメント・ロボット

ウェアラブル型のロボット技術や、乗車型のロボット技術を用いて、加齢や事故による障害などによって衰えた感覚や運動機能を補強し、社会参加性を向上させることの社会ニーズは、今後ますます大きくなる。また、通常の人間では感じることでできないものを知覚可能にしたり、できない動きを可能とするようなハイパーヒューマン機能が実現されれば、病気の診断が可能になったり、危険を未然に察知したり、様々な応用が可能となる。センシング技術やアクチュエーション技術などの個々の要素技術の高度化が要請されるだけでな

く、人間とのインタフェースのデザインも重要となる。

●ヒューマン・ビヘイビア・マイニング

メモリを備えログを記録できる RT 日用品が普及したり、日常生活空間にセンサネットワークが普及したりすることで、かつて人類が手にしたことのなかったような大規模な人間行動のデータが入手可能となる。このような大規模なデータを用いたデータマイニングによって、新しい人間の科学が可能となる。

長期（2040 年代～50 年代）

●統合的ヒューマンモデル

人間は、生理・心理・物理的な機能をもつ個体であり、さらにそれが複数あつてグループを形成する、また、興味や目的やあるいは住んでいる地域などの何らかの共通性をもったグループでコミュニティが形成される。このような人間の、生理・心理・物理・社会・集団的機能を全人間的にモデル化することは遠大な挑戦である。また、多様な状況や多様な個人差を取り扱えるモデル、逆に言えば、個人や状況に依存しないモデルの構築技術も未解決問題である。

●ロボット・ヒューマン・コンテンツ

コンテンツの本質は、ハードや製品の技術や機能の体系から、個々のユーザにとっての価値の体系への変換にある。あらゆる製品では、ハードや製品それ自体が稀少価値をもっている時期を過ぎると、次第に、サービスやコンテンツによる差別化が求められるようになる。ロボット技術の差別化を究極まで推し進めると、個人にとっての価値に適合したコンテンツ作成に至る。このような個人にとっての価値を計算できるモデルの構築技術や利用技術は挑戦的な課題である。

●人の要求構造モデルに基づく個人適合サービス統合 共通のロボット技術で個人適合のサービスを安価に実

現するためには、RT コンポーネントのモジュール化・標準化や、これを有機的に統合するためのミドルウェアだけでなく、個々の人間が欲している要求をセンシング情報や個々の人間の欲求構造のモデルを使って推定することで、個人適合サービスを RT コンポーネントの統合によって、自動生成する仕組みが必要となる。計算機リソースを管理するための OS ではなく、個々の人のサービスを管理する OS のようなものが必要となる。

●BCI/BMI/サイボーグ

ヒューマン・ディペンダブル・ロボット

コミュニティ作り支援ロボット

人間中心のロボット技術には多様なレベルがある。大きく分けて Intrapersonal, Interpersonal, Community, Policy の四つに分類可能である。Intrapersonal レベルの例が BCI/BMI/サイボーグ技術である。例えば、個人の内部を人工臓器や人工感覚器などで代替し、再組織化するロボット技術である。Interpersonal レベルの例は、良き伴侶として長時間生活をともにし、生理・安全・社会帰属・自己実現などの各側面で適切なアドバイスや支援を与えてくれるロボット技術（ヒューマン・ディペンダブル・ロボット）である。Community レベルの例は、何らかの共通性をもつ人と人を結びつけることでコミュニティの形成を支援したり、コミュニティの維持や活性化を支援したりするロボット技術である。Policy レベルの例は、国内外の様々な情報を収集し、蓄積し、適切に可視化することで、政策決定を支援するロボット技術である。

参 考 文 献

- [1] 経済産業省：平成 19 年度技術戦略マップローリング委託事業報告書
ロボット分野に関するアカデミック・ロードマップ、2008。

富田 豊 (Yutaka Tomita)

1975 年慶應義塾大学計測工学専攻修士課程修了。同年（株）東芝入社。1977～1981 年慶應義塾大学医学部、1981 年～同大学理工学部。工学博士。現在慶應義塾大学理工学部生命情報学科教授、医学博士。医用工学、リハビリテーション工学に従事。日本リハビリテーション医学会、計測自動制御学会、日本生体医工学会、日本電気学会、IEEE、バイオメカニズム学会等に所属。

西田佳史 (Yoshifumi Nishida)

1998 年東京大学大学院機械工学専攻博士課程修了。同年電子技術総合研究所入所。2003 年産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター人間行動理解チーム長。主任研究員。博士（工学）。人工知能学会の会員。

（日本ロボット学会正会員）

堀 浩一 (Koichi Hori)

1984 年東京大学大学院博士課程修了。工学博士。同年国立大学共同利用機関国文学研究資料館助手。1986 年同助教授。1988 年東京大学先端科学技術研究センター助教授。1992 年同大学工学系研究科助教授。1997 年 12 月 1 日東京大学教授。現在に至る。この間、1989 年 9 月～1990 年 1 月フランスコンピエーニュ大学客員助教授。現在、工学系研究科航空宇宙工学専攻に所属、先端科学技術研究センターを兼務。人工知能を中心とした情報処理システムの基礎から応用にわたる広範囲の研究・教育に従事。最近の個人的な興味の中心は創造活動支援システム。電子情報通信学会、情報処理学会、人工知能学会、日本ソフトウェア科学会、日本認知科学会、IEEE、ACM、各会員。2006～2008 年人工知能学会副会長。2008 年人工知能学会会長。