



RIETI Policy Discussion Paper Series 22-P-026

# 人工知能への信頼ーリハビリテーション・ロボットを例に

森田 玉雪  
桜美林大学

馬奈木 俊介  
経済産業研究所



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所  
<https://www.rieti.go.jp/jp/>

## 人工知能への信頼ーリハビリテーション・ロボットを例に\*

森田玉雪（桜美林大学）、馬奈木俊介（九州大学、経済産業研究所）

## 要 旨

近年の AI 技術の急激な進展とともに、ロボットが人間に近い動作をしたり、人間の意図を汲むかのように動作したりすることが現実化している。それに応じて、ロボットと人間の関わりが、あたかも人間同士の関わりであるかのように変化しつつある。先行研究で紹介するように、古くから人間とロボットの信頼関係について論じられてきたものの、現時点では具体的に何を以て信頼とするのかについて具体的な指針がなく、議論が重ねられているところである。

本稿では、利用に際して複数の当事者がかかわる医療機器であるリハビリテーション・ロボットを取り上げ、その信頼について論じる。医師、療法士、ロボット開発者、患者の四者関係を踏まえ、それぞれの立場からみた信頼できる AI の要素をアンケート調査から分析した結果を報告する。結論として、患者・医師・療法士が求める「低費用」を技術者は求めているなど、「信頼できるロボット」の要素には四者間で相違があり、また、新型コロナウイルスなどの疫病が流行している時点とそうでない平常時において、それぞれが求める要素にも違いが出ることが示された。少子高齢化に歯止めがかからず、医療分野の人手不足を補うために必要不可欠となるリハビリテーション・ロボットの今後の技術開発に際して、日本ではこのような齟齬を政策的に埋めていく必要がある。

キーワード：人工知能、ロボット、リハビリテーション、信頼

JEL classification: D91、I11

RIETI ポリシー・ディスカッション・ペーパーは、RIETI の研究に関連して作成され、政策をめぐる議論にタイムリーに貢献することを目的としています。論文に述べられている見解は執筆者個人の責任で発表するものであり、所属する組織及び（独）経済産業研究所としての見解を示すものではありません。

\*本稿は、独立行政法人経済産業研究所（RIETI）におけるプロジェクト「人工知能のより望ましい社会受容のための制度設計」の成果の一部である。本稿の原案に対して、「人工知能のより望ましい社会受容のための制度設計」研究会メンバーの皆様、ならびに経済産業研究所ディスカッション・ペーパー検討会の方々から多くの有益なコメントを頂いた。ここに記して、感謝の意を表したい。

# 人工知能への信頼ーリハビリテーション・ロボットを例に

森田玉雪、馬奈木俊介

1	研究の背景と目的 .....	2
2	ロボットへの信頼 .....	4
2.1	信頼の定義 .....	4
2.2	EUにおける信頼できる AI .....	6
2.3	アメリカにおける信頼できる AI .....	9
2.4	人間とロボットのかかわりにおける信頼 .....	10
2.5	ヘルスケア分野における AI の倫理 .....	10
3	リハビリロボットにおける信頼 .....	11
3.1	立場による信頼の違い .....	11
	(1) 患者⇄医師の信頼 .....	12
	(2) 患者⇄ロボットの信頼 .....	13
	(3) ロボット⇄治療者の信頼 .....	15
3.2	信頼を測る尺度 .....	17
3.3	リハビリロボットの限界 .....	17
4	実証研究 .....	18
4.1	調査概要 .....	18
4.2	回答者の属性 .....	20
	(1) 社会人口統計学的分布 .....	20
	(2) ヘルスケアに関する属性 .....	21
	(3) リハビリロボットへの信頼（安心して利用するための条件） .....	22
4.3	誰が誰を信頼するかーロボットの位置づけ .....	25
4.4	信頼できるロボットを利用する要因 .....	28
5	今後の研究課題 .....	34
6	参考文献 .....	35

## 1 研究の背景と目的

人工知能（AI: Artificial Intelligence）とそれを用いたロボット一般への信頼については、幅広く議論されてきた。古くは 1950 年のアイザック・アシモフの SF 小説 *Runaround* においてロボットの倫理ともいえるロボット 3 原則<sup>1</sup>が提唱され、その原則の現実適用性には問題があるものの、初期のロボット工学の分野でもしばしば参照されてきた。

AI 技術の進展とともに、ロボットは人間に近い動作をしたり、人間の意図を汲んで動作したりできるようになり、ロボットと人間との関わりが、あたかも人間同士のような関わりに変化しつつある。同時に、人間とロボットの間での信頼の重要性が高まっている。2019 年の世界経済フォーラムで Kaliouby (2019) は「いかにして人間と AI の信頼を構築するか」と題して、AI が自動運転車や医療・介護の支援などで利用されて身近になるにつれ、人間と AI のあいだに相互信頼・共感・倫理感に基づく新たな社会契約を構築することが必要になっていると提起した。自律的な人工知能の倫理については豊富な研究がなされており、筆者らも Morita and Managi (2020)において自動運転車の倫理を扱っている。「信頼できる AI: レビュー」(Kaur et al. 2022) と題した論文の引用文献数は 228 に上っている。

しかし、「人の機能を直接的に補助する役割を主とする人工知能」に対する信頼のあり方については、研究の蓄積が少ない。特に、身体の機能回復、症状の改善、症状の進行抑制に用いられるリハビリテーションロボット（以下、リハビリロボットとする）の場合、利用に当たっての利害関係者が多いことが特徴的で、利害関係者全員を同時に研究対象とした先行文献はほとんどみられない。リハビリロボットは運動機能の補助を目的とした介護ロボットとは異なり、医療機器法<sup>2</sup>による認可を必要とする医療機器に相当する医療ロボットである。そのため、リハビリロボットの信頼を考察する際には直接の利用者（患者）とロボットの間での信頼だけでなく、症状を判断する医師やリハビリの指導者か

---

<sup>1</sup> Assimov (1950)によるロボット 3 原則は次の通りである。

第一条：ロボットは人間に危害を加えてはならない。また、その危険を看過することによって、人間に危害を及ぼしてはならない。

第二条：ロボットは人間に与えられた命令に服従しなければならない。ただし、あたえられた命令が、第一条に反する場合は、この限りでない。

第三条：ロボットは、前掲第一条および第二条に反するおそれのないかぎり、自己をまもらなければならない。

<sup>2</sup> 「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」（昭和三十五年法律第百四十五号）

らみたロボットの信頼や、人間同士の関わりと信頼が重要な役割を果たすことになるため、複雑な要因を考慮しなければならないのである。

そこで、本研究は、医師、療法士・介護士、利害関係者からみたりハビリロボットに対する信頼をアンケート調査を通じて明らかにし、少子高齢化による人手不足が懸念される医療介護分野においてリハビリロボットが普及するために必要な要因を提示することを目的とする。

リハビリロボットとは、日本語では機能回復ロボットとも言われ、その導入目的は、

- ・ 理学療法士及び作業療法士の負荷軽減
- ・ 複数の患者の同時施術
- ・ 機能回復ロボットによって初めてもたらされる治療効果
- ・ 定量的な効果測定による科学的根拠ある治療計画の策定と進捗確認
- ・ 機能回復ロボットにしかできない運動機能の補助及び補償
- ・ 運動機能の補助及び補償による症状の緩和

であるとされる（鎮西・鍋島 2020）。

本研究では、

リハビリロボットの信頼について議論する前提条件として、国際標準化機構（International Organization for Standardization: ISO）において、安全性の基準が設けられていることを紹介しておく。ISO の医療ロボットの安全性を検討する部会 ISO/TC 299/JWG 5 - Joint ISO/TC 299 - IEC/SC 62A - IEC/SC 62D WG では、IEC 80601-2-78 Part 2-78（リハビリテーション・アセスメント・補償・緩和のための医療用ロボットの基礎安全性と基本性能に関する特定要求事項）という基準を作成している。IEC 80601-2-78:2019 の要求事項は以下のとおりとなっている（経済産業省、2019）。

- 1 駆動装着部（Actuated applied part）という概念を導入したことで、外骨格装着型、ロボットアーム型、杖型などの形態によらず適用可能となった<sup>3</sup>。
- 2 生活支援ロボットの安全規格 ISO 13482、及び、低出力身体装着型アシ

---

<sup>3</sup> 経済産業省（2019）によると、IEC 80601-2-78:2019 が発効する以前には、機能回復ロボットを実用化するために必要となる安全性の審査は各国の法規に基づいて行われていたという。その審査基準には、「医用電気機器の基礎安全及び基本性能に関する一般要求事項 IEC 60601-1（JIS T 0601-1）」及びその副通則が用いられており、患者と一体となって運動するという機能回復ロボットの特殊性のために、通則及び副通則の解釈に幅が生じてしまい、世界各国の審査基準は整合していなかったとされる。

ストロボットの安全規格 JIS B 8446-2 を参考に、安全要求事項を設けた。  
例えば、

- 通則 9.2.3.1 の「意図しない運動 (unintended movement)」を細分化し、より具体的なものにした。
  - 患者とロボット (と操作者) の間の共有制御 (shared control) に起因する意図しない運動への安全要求事項を明記した。
  - 患者ごとに他動運動や外力に対するリスクが違うことを、出力制限のプリセットに対する要求事項を設けることで対応した。
  - 「患者の解放 (release of patient)」に関する安全要求事項をより具体的なものにした。
  - 「保護停止 (protective stop)」の概念を採用した。
  - 駆動装着部と患者の位置合わせの誤りに対するリスクマネジメントを採用した。
- 3 駆動装着部と患者の力学的な相互作用を考慮した、ロボットの各部における総荷重の見積り方法、及び、ロボットの各部が通則 9.8 の支持機構に該当するかどうかの基準を明確にした。
  - 4 床面とロボットの一部が繰り返し接触して移動するものに対して、新たに「歩行形 (walking)」という分類を設定し、歩行形に特有の安全要求事項を新設した。
  - 5 「状況認識 (situation awareness) の喪失」に対するリスクマネジメントを採用した。これは、以下のような使用方法を許容するためである。
    - 操作者が患者及びロボットの傍に居ないタイミングがあること
    - 患者が特定の操作に関する操作者になること

ここからは、第 2 章でロボットへの信頼の定義とそれに関する研究を概観したあと、第 3 章で先行研究を紹介し、第 4 章で筆者らが行った実証研究を示す。最後に第 5 章で今後の研究課題を示す。

## 2 ロボットへの信頼

### 2.1 信頼の定義

「信頼」というとき、日本では比較的狭い意味で使われるが、海外での「Trust」は広い意味を持つ。『広辞苑』第 6 版での「信頼」の定義は、短く「信じてたよること。」のみとなっている。他方、オックスフォード英語辞典<sup>4</sup>から、「Trust」の現代的に利用されている主要な定義を抜粋するだけでも、

---

<sup>4</sup> Oxford English Dictionary Online. Retrieved on April 30, 2022.

**1. a. Firm belief in the reliability, truth, or ability of someone or something; confidence or faith in a person or thing, or in an attribute of a person or thing.**

(誰か又は何かの信頼性、真実、又は能力に対する確固たる信念。人又は物そのもの、あるいは人又は物の属性に対する、確信又は信仰。)

**2. The quality or condition of being trustworthy; loyalty; reliability; trustworthiness.**

(信用に値する質又は状態；忠誠心；信頼性；信用性。)

と広く定義されている（日本語訳は筆者らによるものである）。

倫理学においては、Trust は、日本語で信頼と訳されることがある Reliance とは異なるとされる (Baier, 1986)。人は、Trust が失われたときには「裏切られた」と感じるが、Reliance が失われたときには「失望した」だけで済む、という差異があるという。Reliance より Trust のほうがより強い期待を伴う信頼であると考えられる。

本研究における「信頼」は、英語の Trust に相当する広い意味を持つものとし、信頼の喪失が裏切りにつながる感覚をもたらすことも含めて議論を進める<sup>5</sup>。

経済学においても信頼は重要な概念であり、信頼の欠如が経済効率性を引き下げることが指摘されている。ノーベル賞受賞者のケネス・アローは、著書『組織の限界』(Arrow, 1974)の中で、信頼は、システムの効率性を高める相互信任という社会的感覚であり、外部性や不確実性への適応を可能にするものである、としている。彼は、経済学的にみて信頼が果たす役割は、「社会システムの潤滑油 (同書、p.23)」だと表現する。「信頼の経済性」というタイトルのインタビュー記事 (Arrow, 2006)の中でも、「市場が機能するためには、人が誰か他の人を欺かないようにしなくてはならない。道徳は市場の働きと密接に関係している (p.3)」と述べている。ここでの道徳は、モラル・ハザードや逆選択を緩和するための一方策という文脈で取り上げられているものの、「信頼を維持するための道徳」という意味で使われている。

企業のエージェンシー問題<sup>6</sup>という観点からも、企業内における同僚どうし

---

<sup>5</sup> ただし、第4章の実証研究では、「信頼」という言葉の解釈がアンケートの回答者によって異なってしまうことを避けるため、「ロボットを安心して利用できること」をロボットに対する信頼としている。

<sup>6</sup> エージェンシー問題の背景となる「エージェンシー理論」は次のように説明される。「情報の

の信頼は、モニタリングや報奨金に勝る解決策であるとされる（Chami and Fullenkamp (2002)）。

AI が人間との関わりを深めるに従い、AI が信頼できることが必然となっている。第3章以下でリハビリロボットの関係者の立場別に信頼を考察する前提として、本章ではここから、信頼できるAIについて、指針を表明しているEU（2.2節）とアメリカ（2.3節）の例を紹介し、2.4節で人間とロボットとのかわりにおける信頼についての先行研究を紹介し、2.5節では医療・ヘルスケア分野におけるAIの倫理についての先行研究を紹介する。

## 2.2 EUにおける信頼できるAI

EUでは、AIのハイレベル専門家グループが2019年に発表したガイドライン『信頼できるAI』（High-Level Expert Group on Artificial Intelligence, 2019）において、AIの普及のためには、AIシステムやその背後の人々が信頼できる存在であることが前提条件であるとしている。対象を広く一般的なAIとした上で、信頼をおくことができるAIの必要条件として、3つの要素を挙げている。

### <信頼できるAI>

1. **合法的**でなければならない。適用されるすべての法律と規制を遵守すること。
2. **倫理的**でなければならない。倫理的原則と価値観に確実に準拠すること。
3. 技術的・社会的な観点からみて**安定的**（robust）でなければならない。  
なぜなら、AIシステムは、例え善意であったとしても、意図しない損害を与える可能性があるからである。

さらに、合法性が倫理性を逸脱するなどの矛盾が起きないように、これらの3つが調和的に働くことが望ましいとしている（同書, p. 5）。このガイドラインでは、

---

非対称性を前提としたうえで、契約関係をプリンシパル（委託者、株主ないし投資家本人）とエージェント（代理人、経営者）の関係としてとらえ、エージェントの行動がプリンシパルの利害と一致しないときに発生する問題の構造を明らかにし、その問題に対処する方法を考察する理論。プリンシパルは自己利益の最大化を志向するが、一般にプリンシパルとエージェントの間には情報の非対称性ないし格差があるため、両者の間には利害対立、すなわちエージェンシー・コストが発生する。エージェンシー・コストを削減する方法としては、エージェントを監視するためのモニタリング・システム、エージェントがプリンシパルの利益と合致するような行動をとり企業価値を高めるよう動機づけるインセンティブ・システム、そしてエージェントが自己規律を働かせ、プリンシパルからの信頼を獲得しようとするボンディング・システムなどがある。」（伊藤邦雄、『情報・知識 Imidas』集英社）

1.の合法的な AI については議論せず、AI が当然に押さえるべきである（人間の）基本的人権を示した上で、2.の倫理的な AI への4つの原則を述べ、さらに、信頼できる AI を実現する際の7つの必須条件、及び、AI を製品等を実装する際の条件のリストを定めている。

信頼できる AI を検討する際に立脚すべき基本的人権は、「人間の尊厳の尊重」、「個人の自由」、「民主主義、正義、法による支配の尊重」、「平等、無差別、連帯（潜在的に弱い立場にある人々の権利を含む）」、「市民の権利」である（同書、p. 10-11）。EU では、これらの基本的人権を踏まえて議論を発展させている。

#### <倫理的な AI の4原則>（同書、p. 12-13）

- (i) 人間による自治の尊重
- (ii) 危害の防止
- (iii) 公正性
- (iv) 説明可能性

倫理的な原則として、(i)の自治の尊重では、AI システムは人間の認知的・社会的・文化的能力を補強し、補完し、力付けるように設計されなければならない、人間を不当に従属させ、強制し、欺き、操作し、条件付けし、集団化させるものであってはならないとしている。(ii)の危害の防止については、AI システムそのものとそれらが動作する環境が、人間のみならず自然環境や動植物に対しても安全であるべきとするだけでなく、権力や情報の非対称性によって AI システムが悪影響を及ぼすことを防がなければならないとしている。(iii)の公正性は、費用と便益の双方を平等かつ公正に分配するという実用的な側面と、AI やシステムの意志決定に対して異議を唱えたり救済を求めたりできるようにするという手続的な側面の2つの面を持つとする。(iv)の説明可能性では、AI システムの能力と目的はオープンに伝えられなければならない、その決定も、影響を受ける人々に説明可能でなければならないとする。ただし、AI が「ブラック・ボックス」的なアルゴリズムに従う場合には、トレーサビリティ、監査可能性、システム能力に関する透明性のある説明、などが求められている。

さらに、実際に信頼できる AI を現実化するための7つの条件が挙げられる。

#### <信頼できる AI を実現する際の7つの必須条件>（同書 p.14-20）

1. 人間の代理権と監視

2. 技術的堅牢性と安全性
3. プライバシーとデータ・ガバナンス
4. 透明性
5. 多様性、無差別、公平性
6. 社会的・環境的ウェルビーイング
7. 説明責任

これらの7つの点はAIシステムの適用分野によって関連性が異なるが、一般的にはいずれも重要性に軽重はなく、相互に補完的でなければならないとされる。さらに、AIシステムのライフサイクルを通じて適用されるべきとされる。

EUでは具体的に信頼できるAIを製品化することまで踏み込んで、技術的手段の条件と非技術的手段の条件を制定している。AIを実装する段階で前述の必須条件を実現させるためには、技術段階の違いこそあれ、技術的、非技術的な手段をとらなくてはならないからである。

<製品等を実装する際の条件> (同書 p.20-24)

**【技術的手段】**

- ・信頼できるAIのためのアーキテクチャー
- ・倫理と法の支配に基づいた設計
- ・説明可能なAI (Explainable AI, XAI) の研究
- ・検定と検証
- ・サービスの質についての指標

**【非技術的手段】**

- ・規制
- ・行動規範
- ・標準化
- ・認証
- ・ガバナンスの枠組みによる説明責任
- ・利害関係者の参加と社会的対話
- ・多様でインクルーシブなデザインチーム

技術的には、要件が製作過程に組み込まれるために、要件を実現する設計を行う必要がある。AIシステムにおいては、ともすればニューラルネットワークを用いるAIが導き出す結論は人間が解釈し難いものとなるため、説明可能な

AI (XAI)<sup>7</sup>を開発することも、AIへの信頼を高めるための課題となっている。また、検証と評価も、一律の基準では行えないことから、早急に開発されるべきであるとする。非技術的には、既にある規制を常に見直すこと、AIシステムの関係者が行動規範を定めたり、ガバナンスの枠組みを整えたりすることを求めているほか、倫理的な精神などの基本的なAIリテラシーを涵養する教育や、社会的対話の機会が必要であるとしている。AIの開発に当たって、多様性や社会的インクルージョンを重視すべきことも述べている。

同書では、これらに基づき、信頼できるAIの評価リスト(Trustworthy AI Assessment List)の案を試作している。5ページにわたる詳細な項目があるためここでは紹介しないが、<信頼できるAIを実現する際の7つの必須条件>の各項目に対応したリストとなっている。

### 2.3 アメリカにおける信頼できるAI

アメリカで公的機関が「信頼できるAI」の定義を示した資料としては、トランプ政権下で出された「連邦政府における信頼できる人工知能の利用促進に関する大統領令」(The White House, 2020)がある。この大統領令は、連邦政府でAIを設計、開発、取得、利用する場合の原則として示されたものである。第3条に、連邦政府機関が遵守すべき項目が挙げられている。

- (a) 合法的かつアメリカ合衆国の価値観を尊重すること。
- (b) 目的を持ち、パフォーマンスを重視すること。リスクを評価・管理し、利益がリスクを大幅に上回る場合に各省庁はAIを利用すること。
- (c) 正確で、信頼性があり(reliable)、効果的であると確認すること。
- (d) 安全、セキュリティ、及び強さを確保すること。組織的脆弱性、敵対的操作、及びその他の悪意のある攻撃へ対抗できることも含む。
- (e) 理解可能性を確保すること。
- (f) 責任が明確で追跡可能であること。
- (g) 定期的に監視すること。検証の結果、目的を逸脱するAIの使用は、取りやめること。

---

<sup>7</sup> XAIとは、もともとアメリカ国防高等研究計画局(DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency)が、AIのブラックボックス化を極力避けるために立ち上げたプロジェクトにおいて名付けられた。XAIプロジェクトの目的は、(1)高い学習性能(予測精度)を維持したまま、より説明可能なモデルを作成すること、(2)人間のユーザーが新世代の人工知能のパートナーを理解し、適切に信頼し、効果的に管理できるようにすること、とされている。(DARPA ホームページ <https://www.darpa.mil/program/explainable-artificial-intelligence> より。2022年8月24日閲覧)

- (h) 透明性を確保すること。
- (i) 説明責任を負うこと。連邦機関は、適切なセーフガードを導入し、実施する責任を負い、セーフガードの遵守を監視、監査、文書化するものとする。

大統領令はあくまで原則であるため、EU のガイドラインのような詳細な記述はない。また、この大統領令には、EU の 7 つの必須条件のうち、5.多様性、無差別、公平性、及び 6.社会的・環境的ウェルビーイングへの言及はない。

## 2.4 人間とロボットのかかわりにおける信頼

人間と直接に対峙する場面がある AI ロボットにおいては、信頼が複雑な関係性を持つため、1.2 節及び 1.3 節で紹介した「信頼できる AI」の条件を満たす人工知能を搭載したロボットができたとしても、それで完璧ということではできない。

Devitt (2018) は、自律的なシステムと人間との間に、人間どうしのような信頼関係を築くためには、システムが共感や評判への配慮といった社会的な帰属意識 (identity) を持つ必要があると指摘する。信頼できる自律システムの設計には、形而上学的・認識論的・規範的な信頼理論に基づいた学際的研究が必要であると Devitt は述べる。

AI を搭載した機械が、人間と相互にかかわるケースについて、Lewis et al. (2018)では、人間が、不信感を持つことで本来利用できるはずの自動機能を利用しない場合や、必要な時にアラームを切るなどの誤用や過信を行ってしまう場合など、人間側にも問題が存在することを指摘する。よって、Lewis らは、人間との相互作用がある場合に定義されるべき信頼は、信頼する側の信頼性に関する信念や期待を含む「多次元的な心理的態度」として概念化されると考えている<sup>8</sup>。

## 2.5 ヘルスケア分野における AI の倫理

ヘルスケア分野における AI は患者、医師、看護師、介護士、製薬業者、規制当局など、AI に接する利害関係者が複数となる特徴を持つ。ヘルスケア分野において、信頼に限らず AI の倫理を扱った論文をサーベイした Karimian et al.

---

<sup>8</sup> この考え方は、もともと Gareth & George (1998)が、AI とは無関係に、人間の組織に関して提起したものである。

(2022)によれば、利害関係者を十分に網羅した調査はみられないという。

Karimian らは 2010 年から 2020 年 7 月 21 日までに Medline (PubMed) 及び Embase (OVID) で出版された論文から、「人工知能」「機械学習」「深層学習」と「倫理」「生命倫理」の組合せを検索条件として、ヘルスケアにおける AI 適用の倫理的側面を検討したすべての論文を検索した。その結果として、信頼できる AI の条件として、本章の 1.2 節で紹介した EU の文献中「製品等を実装する際の条件」の【非技術的手段】の範疇で挙げられていた「利害関係者の参加と社会的対話」について論じている研究が大きく欠落していることが分かったという。ヘルスケア分野には、広範な利害関係者が存在する。信頼できる AI の条件を特定するためには、まず利用する AI にかかわる利害関係者を明らかにし、AI の倫理的問題に関する彼らの視点を理解し、彼らのニーズ、希望、嗜好を把握して取り込んでいくことが必要であるとしている。

2018 年以前の文献について同様にデータベース検索を行った Murphy et al. (2021)も同様の結論に至っていた。利害関係者の中でも、エンドユーザーとなる患者の意見がくみとられる機会が少ないという。例えば、老人介護の際に対人か対 AI かを選べるとしたら、患者は信頼感が低い AI ロボットであっても、人間より AI を好む場合もあるという (Wachsmuth, 2018)。ヘルスケア分野においては、利用者の真の声を聞き出す努力が必要とされるのである。

### 3 リハビリロボットにおける信頼

#### 3.1 立場による信頼の違い

2018 年には、サイエンス・ロボティクス誌上に「リハビリテーションにおける社会的ロボット—信頼の問題」という論文 (Kellmeyer et al. 2018)が掲載された。ここでは、高齢者も利用する可能性が高いリハビリロボットと利用者との間の信頼が重要であることを強調している。同論文では、患者から見た信頼性のポイントとして、(1) 人間とロボットのやり取りが安全であること、(2) ロボットの動きの意図を共有できて、行動が予測できること、(3) ロボットが個人の動きに同調できること、を挙げている。(1)及び(2)は一般の AI ロボットの信頼性に通じるが、(3)は個々の症状が千差万別である患者のリハビリテーションという局面において特に重要であり、一般的な信頼性の議論では強調されにくいものである。

同論文の著者 4 名に新たな筆頭著者を加えた Langer et al. (2019)「社会的支援

ロボットへの信頼感：リハビリテーションにおける活用のための考察」<sup>9</sup>は、文献レビューを通じて一般的な枠組みを提示するにとどまっているものの、利害関係者の相互作用を明らかにする必要性を説いた、数少ない論文である。Langerらは、人工知能を搭載した社会的支援ロボット（socially assistive robots, SAR）の信頼感は、ロボットと利用者の信頼感だけでなく、支援する人間と利用者の信頼感にも依存して決まってくるとしている。その上で、リハビリテーションにおける人間とロボットの相互作用において、信頼を醸成するためのガイドラインと信頼を測定するための方法を提案する。また、利害関係者の中では弱者的な立場にある言語障害や認知障害に苦しむ人々にとって利用しやすい信頼の尺度を作成する必要性を強調する。Langerらの研究の枠組みは図1の通りである。以下では、図1の枠組みに対応してLanger et al. (2019)の要点を紹介する。

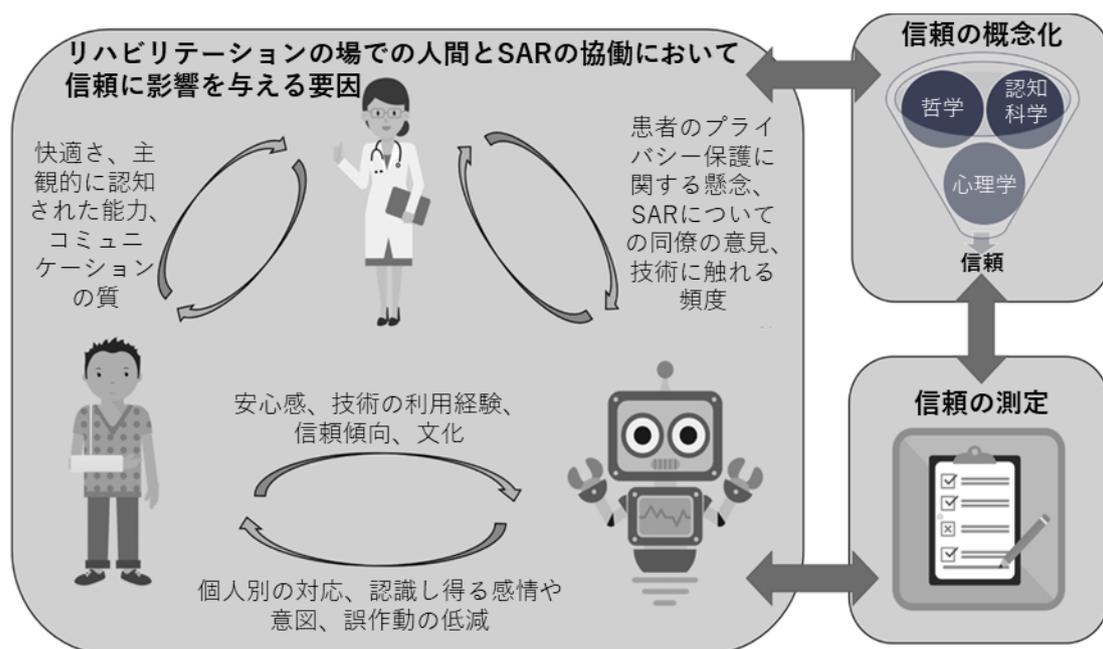


図1 Langerらによる概念的枠組み

注：訳は筆者らによる

出典：Langer et al. (2019), p. Fig. 1. Conceptual map of the topics covered in this review., p.233

### (1) 患者⇄医師の信頼

ここでは、人工知能を捨象して、患者と人間の医師との間での信頼関係を形成する要因をみている。Mehlman and Massey (1994)は法と経済学の視点から、

<sup>9</sup> 原題は“Trust in socially assistive robots: Considerations for use in rehabilitation”。

医療に関する法律は患者と医師との信頼関係を築くものであるべきとしている。医学誌（JAMA）においても Mechanic and Schlesinger (1996)が、信頼が治療の成功に影響するとしている。実験的手法を用いて信頼の必要性を解明しようとしたのは Thom and Campbell (1997)、Thom et al (1999)、Thom (2001)である。Thomらは、治療の満足度や医師との関係の維持に、信頼が重要な役割を果たすとしている。Rolf et al. (2014)は、先行研究のメタ分析により、医師に対して患者からの信頼度を上げるためのレクチャーを施すことの効果調べたが、一意の効果はなく、結果が分かれた。

患者の年齢層と信頼感の重要性の関係を調査した研究では、高齢の患者のほうが若者世代より医師との信頼を築きやすく (Hall, 2001)、患者が高齢になるほど信頼を重視するという傾向 (Berkelmans et al, 2010) が指摘されている。

なお、Langer et al. (2019)とは独立に、筆者らが行った研究 (岩田ら、2020)によれば、医療サービスの患者満足度を決める最大の要因が「信頼」であり、次ぐ要因が「医師との対話」となっている。

リハビリテーションにおける治療者（医師や施術者）と患者の信頼関係については、Hall et al. (2010)がシステミックレビューを行っている。そこでは、患者が自覚する健康状態、実際の症状、全体的な生活の質（QOL）という要素が、治療者への信頼に正の相関を持っていたとされている。

## （2）患者⇄ロボットの信頼

人間とロボットの間のやり取り（Human-robot interaction, HRI）の信頼については、Hancock et al. (2011)がメタ分析を行っている。それによると、ロボットのパフォーマンス（誤警報率や故障率の低さ）が、ロボットの信頼を高めることに強く関係している。ただし、これらは利用後の感想を集約したものであり、実際に日々利用していくなかでリアルタイムに醸成されていく信頼感には、毎回の使用開始時と使用終了時における安定性がかかわっているという (Desai et al, 2013) による実験では、動作が開始時と終了時に安定しない場合は、信頼度が大きく下がるとされる)。また、利用者の過去の利用経験、性格特性、（もともとの）信頼傾向などの利用者側の要因は、Hancock et al. (2011)では有意に働かなかったものの、Shaefer et al. (2016)によるメタ分析では HRI における信頼度の形成に影響を与えているとされた。

(1)で医師と患者の信頼感に年代差があることが指摘されたが、患者とロボッ

トの間の信頼感においても、高齢者を対象とした調査が行われている。Stuck and Rogers (2018)では、高齢者に対して聞き取り調査とアンケートを行い、介護ロボットによる入浴と移乗について、信頼を形成する要因を調査している。ここでは、ロボットの動きが優しく丁寧であること、ロボットが自分を手伝おうとする意志を示してくれること、ペットのようにできるだけ寄り添ってくれること、などの特殊な要因が、信頼に関わっていることが明らかとなった。高齢者については Vandemeulebroucke et al. (2018)も文献調査を行っており、そこでは、機能性の高さが信頼に結びついており、人間の姿をしたロボットは信頼されにくいとしている。

よりシンプルな要素として、患者のロボットとの接触経験が、信頼を高めることも指摘されている(Sanders et al, 2017, Correia et al., 2016, Carrillo et al, 2018, Winkle et al., 2018)。これらの接触経験については、Beuscher et al. (2017)で 30分～60分間にわたってロボットとの触れ合い時間を設けたり、van Maris et al.(2017)のように、6週間にわたり10回、5～10分の接触を行ったりするとより高い効果が出るとされている。また、この接触経験は年齢効果を凌駕するとする研究もある(Backonia, et al., 2018)。Langerらは、接触経験と信頼については、まだ研究の余地があるとしている。

患者がもともと持っている性格としての信頼傾向も、ロボットとの信頼に影響する。Costa and McCrae (2009)がまとめたビッグ5(「外向性」「調和性」「誠実性」「神経症的傾向」「経験への開放性」と言われる性格のうち、信頼傾向にかかわるのは、調和性、神経症的傾向、経験への開放性であるとされる(Alarcon et al. 2018)。なお、第4章の実証研究において、回答者がもともと持つ信頼傾向の影響を推計することを試みられるように調査票を設計しておいたが、今回の分析の限りでは、それらの影響は看取されなかった。

文化的要因を仮定した分析もある。Li et al. (2010)はドイツ人より中国人、韓国人のほうがロボットへの信頼が高く、利用にも積極的だとしている。Chien et al. (2016)は、西洋文化を持つ人の方が中東やラテンアメリカの人に比べてロボットを信頼しやすいとする。文化と信頼傾向の関係を調査した Triandis (1996)で、西洋文化を持つ人々の方が生来他者への信頼度が高く、中東とラテンアメリカの人々は個人間や制度に対する信頼度が低いとされていることと整合的である。

このように、ロボットの信頼を考えるときには、ロボットの役割及び利用者

の属性が変わるだけで、信頼を高める要因が変わることは、改めて強調されるべきであろう。Cameron et al. (2015) でも、ロボットが多様な場面で利用されていることから、HRIの研究においては、ロボットが使用される状況(context)を特定することが重要だと指摘している。本研究で、リハビリロボットに対象を限定するのも、利用対象と利用状況を絞ることで、人間とロボットの関係についてより精緻な知見を得られると考えたからである。

リハビリロボットと患者との関係については、安全性が信頼を築く要素であるとされる。Feil-Seifer and Matarić (2011)は、安全性に加え、患者にとってはロボットによる物理的な支援よりも社会的な支援の方が重要だとしている。つまり、リハビリロボットは、自ら患者の安全性への不信感を下げられるようなロボットであることが必要とされる。

### (3) ロボット⇄治療者の信頼

治療者はリハビリロボットの開発をサポートする側でもあり、エンドユーザーでもある。治療者がリハビリロボットに求める要因を定性的に追った Winkle et al. (2018)では、治療者がロボットを信頼すれば、リハビリの場で実際にロボットが利用されることになるとしている<sup>10</sup>。機能に対する信頼のほか、この調査では、ロボットが既存のスマートフォン・アプリなどと連携することで、患者がリハビリを怠ることを防ぐ役割を持たせられることが、治療者から期待されていた。Alaiad and Zhou (2014) も、治療者の信頼が高まれば、治療に利用される可能性が高まることを指摘する。

治療者とロボットの間にも、患者とロボットの間にあったような接触効果がある。Carrillo et al. (2018) は、リハビリテーションの回数が重なるごとに信頼度が上がるとしている。ロボットのデモンストレーションがあるだけでも、施術者の信頼が上がるとする研究もある (Winkle et al., 2018)。

ほかにも、治療者がロボットを信頼する要因として、患者のプライバシーを守れること、及び、尊敬する他者や同業者・業界内からの推薦があること (Alaiad and Zhou, 2014)、ロボットが人間の施術者にとって代わるのではなく人間の監視下で自律的に動くこと、及び、ロボットの見た目 (Coeckelbergh et al., 2016)、などが挙げられる。

---

<sup>10</sup> ただし、Langer et al. (2018)は、治療者が患者に対してリハビリロボットを選ぶ際に持つ信頼は、trust というより reliance に近いと指摘する。

以上の(1)～(3)の関係について文献レビューを行った結論として、Langerらは、治療法の選択肢を増やすためにリハビリテーションの過程に社会支援ロボット(SAR)を組み込むことは実現可能であるとし、医療従事者と患者の関係や人間とロボットとの相互作用における信頼の重要性を主張する。人間とロボットとの相互作用における信頼性を検証するための実験を行う際には、ユーザー中心型のアプローチが必要であるとし、高度な個別対応や、効果的な誤動作回避戦略を求めている。

さらにLanger et al. (2019)以降に、Naneva (2020)がシステミックレビューを行った。そこではSARの信頼(Trust)に関する論文は30本あるものの、信頼度を測る指標のばらつきが大きく、主観的な内容も多いとしている。いくつかの論文はThe Almere Model of robot acceptance (Hearlink et al., 2020)やThe Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (Venkatesh et al., 2003)に依拠しているとする。

リハビリロボットに絞ると、Iosa et al. (2016)が、ニューロリハビリテーション<sup>11</sup>のためのロボットに焦点を当てた文献レビューを行っている。その結果からIosaらは、本論文の第1章で紹介したAsimov(1950)のロボット3原則に準ずる「ニューロリハビリテーションロボットの3原則」を提唱した。原則の中には、患者とロボットの間には治療者が存在することが明示的に盛り込まれている。具体的な文言は①ニューロリハビリテーションロボットは、患者を傷つけてはならない。また、その危険を看過することによって患者に危害を加えてはならない(高いリスク対効果を持つこと)、②ロボットは、①に反する場合を除き、治療者の指示に従わなければならない(治療者のツールとなること)、③ロボットは、①及び②に反しない限り、透明性をもって、その行動を患者の能力に応じて適応させなければならない(AIは人間の能力のサポートとなること)、となっている。

---

<sup>11</sup> ニューロリハビリテーション(Neurorehabilitation)とは、神経障害のリハビリテーション(Neurological rehabilitation)より進んだものと考えられている。それは、神経系の損傷あるいは疾患によって起こる機能障害の回復を最大限に引き起こす臨床専門分野であり、ニューロサイエンスを基盤にあるいはそれと連携しながらリハビリテーション療法を考案・介入し、その効果を検証する手続きとされる(森岡2014)。

### 3.2 信頼を測る尺度

リハビリロボットの複雑性をカバーできるような信頼の尺度は共有されていない。Schaefer (2013)は 40 項目にわたる信頼尺度を作成したが、その後の研究で活用しているものは少ないとされている (MacArthur et al., 2017、Correia et al., 2018、Correia et al., 2016 くらいであるとされる)。

包括的な信頼尺度がないため、研究者は、分野別のアンケート調査の設問を組み合わせて利用している。ロボットの使用経験と受容性については Barg-Walkow et al. (2014)や Smarr et al. (2014)が、性格としての信頼傾向については Evans and Revelle (2008)を、家庭内でのさまざまな作業を手伝うロボットへの信頼については Olson (2013)が、高齢者のロボットに対する受容性については Beuscher et al. (2017)が利用されているという。

日本では、介護ケア分野におけるサービスロボット（対人ロボット）を対象とした調査（機械振興協会経済研究所、2021）で、ロボット開発者の意見として、「作り手と使い手の安心の意識共有をどのように確立するのが問題だ」という意見が複数あったことが紹介されている。ここでは信頼とは述べられていないが、意識共有を図るためには、安心の定量化法の開発が重要であると指摘されている（同書、p. 32）。

なお、最近では Chita-Tegmark et al. (2021)が、ロボットへの信頼に対する尺度を作成することの困難さを強調している。信頼の解釈に幅があるため、回答者が持つ基準が異なる可能性が指摘されるのである。Ueno et al. (2022) はスコーピング・レビューを通じて、人間と AI のあいだでの信頼についての研究は、まだ未開発の分野であるとした。今後も、より深い理論化、手法や尺度の再評価、そして経験的な作業が必要とされているとしている。

### 3.3 リハビリロボットの限界

ここまでリハビリロボットが信頼を得るための観点をみてきたが、Langer らは、ロボットの機能に限界があることも指摘する。例えば、思いやり、居心地の良さ、共感といった人間特有の感情をロボットに搭載することが困難だというのである。他の研究からも、特に高齢者に対しては、ロボットの導入によって人間的なつながりが失われがちであるとされている (Tsui and Yanco, 2007; Vandemeulebroucke et al., 2018; Papadopoulos et al., 2018)。

逆に、特に認知症の高齢者においては、ロボットに強い愛着が生まれてしま

い、治療の終了時にロボットとの別れを悲観することがあるという (Rabbitt et al, 2015, Matarie et al, 2019)。さらに、ロボットへの過度の信頼が醸成されてしまうと、ロボットからの明らかに誤った指示に対しても、人間が従ってしまうという結果もある (Robinette et al., 2016)。人間側からの、ロボットに対する線引きも欠かせないということであろう。

## 4 実証研究

本章では、第3章で紹介した先行研究を踏まえ、対象をリハビリロボットに絞って、信頼に関わる利害関係者別の要素を調べるべく実施したアンケート調査 (独立行政法人経済産業研究所が NTT コム オンライン・マーケティング・ソリューション株式会社に委託して実施した 2022 年度「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」) の結果を示す。

### 4.1 調査概要

調査を実施する期間が新型コロナウイルス流行下ということもあり、実際にリハビリロボットを利用している当事者を絞って訪問調査するなどの直接質問する手段を取ることができなかった。そのため、今回の 2022 年度「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」では、タイトルにあるようにインターネット調査を利用している。インターネット調査では対象者を実際の当事者に絞ることが非常に難しいため、潜在的に当事者になり得るグループに質問を行っている。グループは現在の職業及びリハビリ経験によって回答者をスクリーニングして 4 つ設定した。医師 (以下、医師グループまたは医師 G と表記)、介護士・理学療法士・作業療法士 (療法士 G)、人工知能又はロボットの、開発・設計を行う技術者 (技術者 G)、本人又は同居家族がリハビリ経験者 (患者 G<sup>12</sup>) の 4 つとした。4 グループの関係としては図 2 を想定している。中央のロボットは、開発技術者の設計に従って行動するものと想定している。

---

<sup>12</sup> インターネット調査において、リハビリ患者本人の回答だけを集めることは困難と判断したため、今回は同居する家族がリハビリを経験している場合も含めた。

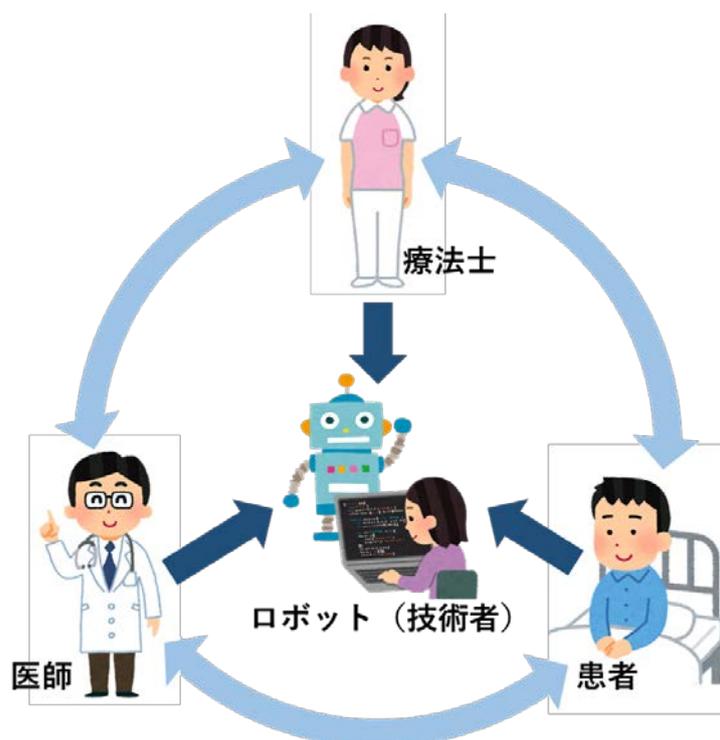


図 2 4つのグループの信頼関係のイメージ

注：矢印が信頼関係を示す。

資料：筆者らが作成。

調査概要は表 1 の通りである。

表 1 「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」概要

実施方法	NTT コム リサーチが保有するアンケートシステムを利用した Web アンケート調査
回答者	NTT コム リサーチモニター及び提携モニター
対象条件	全国 20 歳～69 歳の男女
実施期間	令和 4 年 6 月 6 日（月）～令和 4 年 6 月 10 日（金）
有効回答数	843 名 （内訳） 医師 G（医師*）208 名 療法士 G（介護福祉士、理学療法士、作業療法士**）216 名 技術者 G（ロボット開発技術者***）206 名 患者 G（リハビリ経験者(本人または同居家族)****）213 名
配信数	対象者を絞り込むためのスクリーニング調査にて 35,219 件配信し、グループ該当者を 8,511 回収。本調査にて 1,242 件配信し、有効回答数 843 件を得た。

\* 医師グループは、スクリーニング調査で職業を尋ねて「医師」と回答した人を対象としている。現職の医師であり、診療科は問わない。

\*\* 療法士グループは理学療法士 45%、介護福祉士 35%、作業療法士 19%の比率となっている。

\*\*\* 人工知能又はロボットの、開発・設計に携わっている、と回答した人が対象。

\*\*\*\* 自身のみが現在リハビリテーションを受けている又は過去リハビリテーションを受けたことがある人が 46%、同居家族のみが受けている又は受けたことがある人が 31%、自身も家族も共に受けている又は受けたことがある人が 23%となっている。

## 4.2 回答者の属性

### (1) 社会人口統計学的分布

今回の調査では、医師、療法士、技術者、患者の各グループの回答数を均等に集めることに主眼を置いたため、年齢、性別、居住地がグループ別に異なっている。図3は年齢・性別・居住地の分布である。年齢では、療法士グループに30代以下が多く、療法士グループと技術者グループに高齢者が少ないことが特徴的である。男女比は、日本の人口はほぼ半々であるが、回答者は全体に女性の比率が低く、特に技術者グループは7名（3.4%）しかいない。職業に関わりがないはずの患者グループでも女性の比率が少ない。今回の本調査を「リハビリテーションロボットについてのアンケート」というタイトルで実施したことにより、男性のほうが調査に関心を抱いた可能性もある<sup>13</sup>。居住地では、技術者グループ及び患者グループで関東在住者が多いことが目立っている。

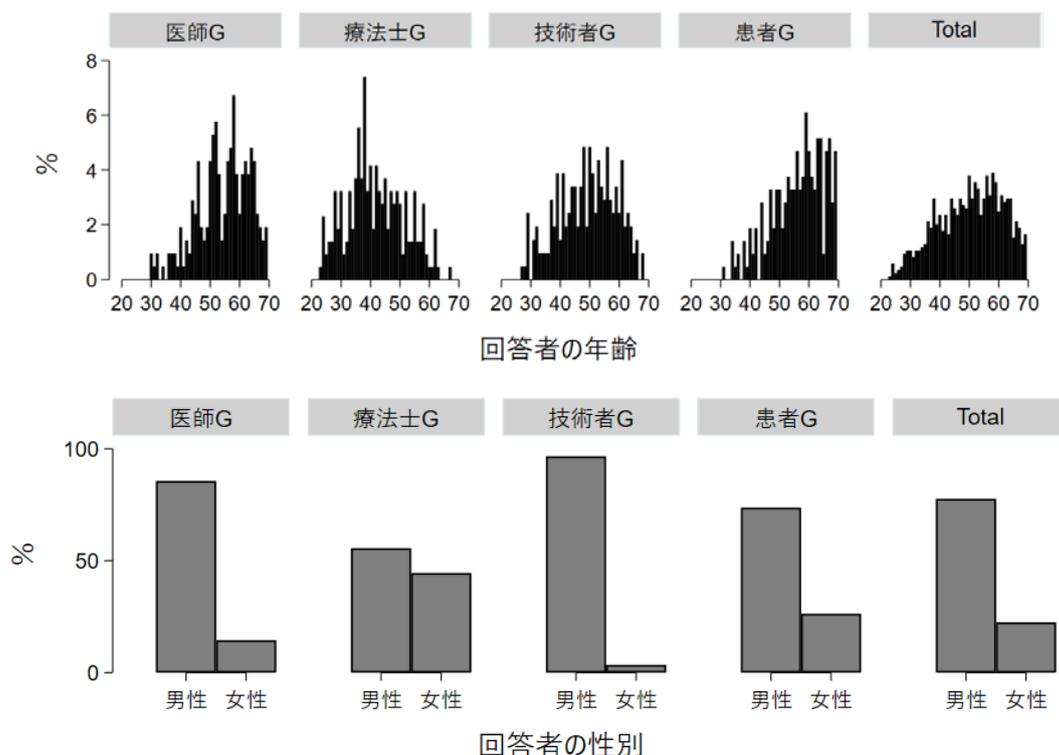


図3 回答者の年齢・性別・居住地の分布

資料：「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」

<sup>13</sup> 回答者グループを構成するためのスクリーニング調査では、「あなたご自身に関するアンケート」という一般的なタイトルを用いている。

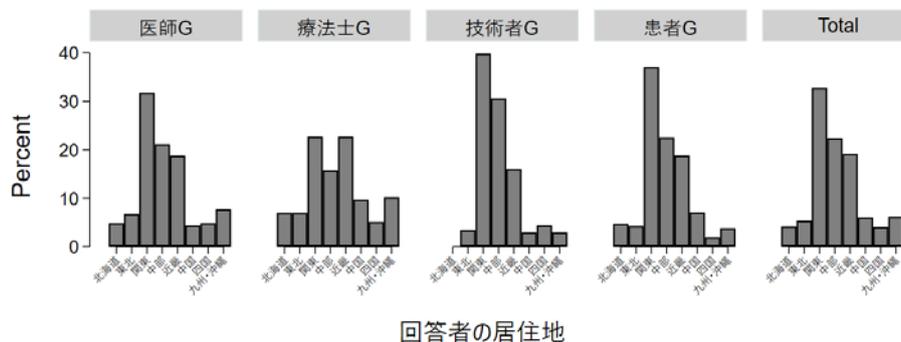


図 4 (続き)

資料：「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」

### (2) ヘルスケアに関する属性

ヘルスケアに関しては、まず、リハビリテーションに限らず、介護経験の有無を尋ねた。家族や親族の介護をした経験のない回答者の比率が全体の 62.3% で、4 割の回答者は現在又は以前に介護の経験をしている。

表 2 回答者の介護経験

	医師G	療法士G	技術者G	患者G	Total
家族や親族の介護をした経験はない	75.0%	67.6%	54.4%	52.1%	62.3%
現在も家族や親族の介護をしている	7.7%	7.9%	21.4%	21.1%	14.5%
今はしていないが、過去に介護をしたことがある	17.3%	24.5%	24.3%	26.8%	23.3%
合計	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
合計 (人数)	208	216	206	213	843

資料：「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」

また、AI が組み込まれていない現在の医療に対して、回答者が重視する項目を聞いた。類似の質問をした岩田ら (2020) でも示された通り、[診断の信頼性] が最も重視されている、グループ別にみても、2 位には、療法士グループと患者グループは [説明内容の分かりやすさ] を、医師グループは [医師の人柄]、技術者グループは [施設内の清潔感] を挙げているが、いずれのグループの 2 位も有意水準 5% の  $t$  検定により 1 位と有意な差がある。そのほかの項目は隣接する順位と有意な差を持っておらず、[診断の信頼性] が突出して重視されていることが読み取れる。

表 3 患者として医療機関にかかるときに重視する項目（10段階）

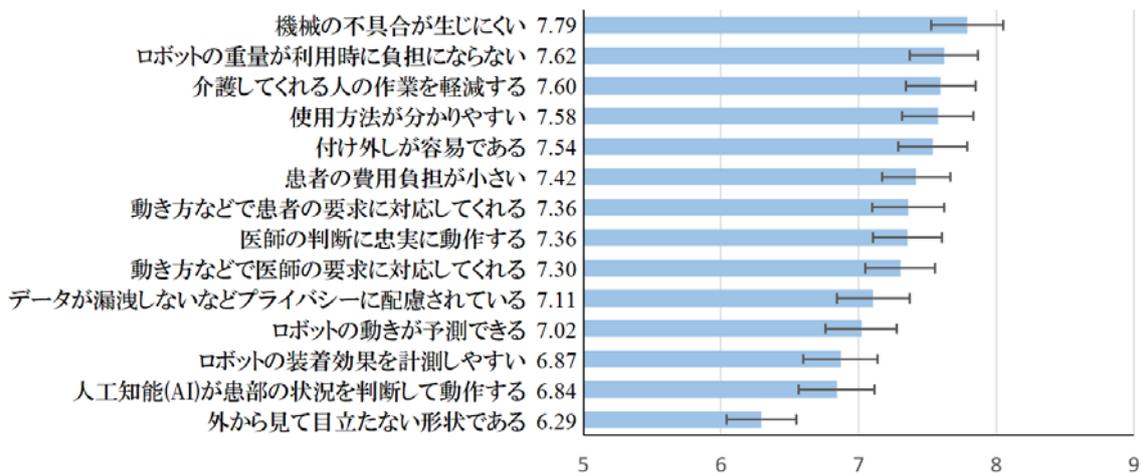
	全体														
	医師G			療法士G			技術者G			患者G					
	平均	信頼区間	順位	平均	信頼区間	順位	平均	信頼区間	順位	平均	信頼区間	順位	平均	信頼区間	順位
診断の信頼性	7.9	7.8 8.0	1	7.8	7.6 8.1	1	8.1	7.8 8.3	1	7.6	7.3 7.8	1	8.1	7.8 8.3	1
説明内容の分かりやすさ	7.5	7.3 7.6	2	7.2	7.0 7.5	4	7.7	7.5 7.9	2	7.2	6.9 7.4	3	7.7	7.4 7.9	2
施設内の清潔感	7.3	7.2 7.4	3	7.3	7.1 7.5	3	7.4	7.2 7.6	4	7.2	6.9 7.5	2	7.4	7.1 7.6	4
医師の人柄	7.3	7.2 7.4	4	7.3	7.1 7.6	2	7.5	7.2 7.7	3	6.9	6.6 7.2	5	7.4	7.2 7.7	3
予約の取りやすさ／待ち時間	7.1	7.0 7.2	5	6.9	6.7 7.1	7	7.3	7.1 7.5	7	7.0	6.8 7.3	4	7.3	7.1 7.5	6
毎回同じ医師に診てもらえること	7.1	7.0 7.2	6	6.9	6.6 7.1	9	7.4	7.1 7.6	5	6.9	6.6 7.2	6	7.3	7.1 7.6	5
プライバシー保護への気配り	7.1	6.9 7.2	7	7.1	6.9 7.3	5	7.3	7.0 7.5	6	6.6	6.3 6.9	10	7.2	7.0 7.5	8
設備の充実度・利便性	7.0	6.9 7.2	8	7.1	6.9 7.3	6	7.1	6.9 7.3	8	6.8	6.6 7.1	7	7.1	6.9 7.4	9
交通利便性	7.0	6.9 7.1	9	6.9	6.7 7.1	8	7.1	6.9 7.3	8	6.8	6.5 7.0	9	7.3	7.0 7.5	7
高性能な検査機器等の充実度	6.9	6.7 7.0	10	6.7	6.5 7.0	11	6.8	6.6 7.1	12	6.8	6.6 7.1	8	7.0	6.8 7.3	11
診療時の医師との対話時間	6.9	6.7 7.0	10	6.7	6.5 7.0	10	7.1	6.8 7.3	10	6.5	6.3 6.8	11	7.1	6.8 7.3	10
医師が目を見て対話してくれる	6.6	6.5 6.8	12	6.5	6.2 6.8	12	6.9	6.6 7.2	11	6.3	6.0 6.6	12	6.7	6.4 7.0	12
医師の身だしなみ	6.3	6.2 6.5	13	6.4	6.2 6.7	13	6.5	6.2 6.8	13	6.1	5.8 6.4	13	6.3	6.1 6.6	13

資料：「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」

### (3) リハビリロボットへの信頼（安心して利用するための条件）

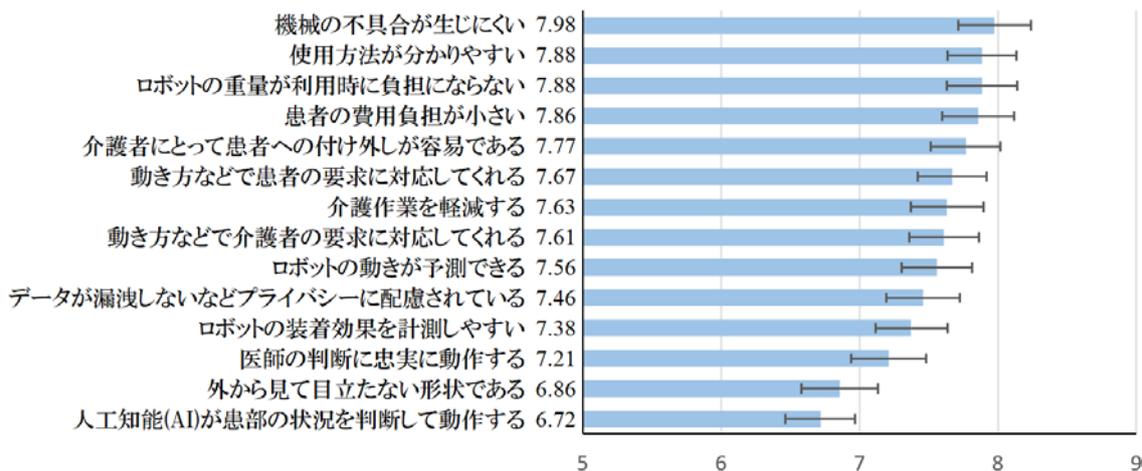
リハビリロボットを信頼する要素を知るため、リハビリロボットを自分自身が安心して利用するために（医師及び療法士グループの場合は患者に安心して利用してもらうために）、重視する項目の重要度を10段階で選択してもらった。本来はロボットの何を信頼するかを直接尋ねたいが、信頼の解釈が異なってしまう可能性があるため、敢えて「安心して利用できること」を信頼の代理変数とした。

平均値と信頼区間を図4に示す。患者グループ以外は、[機械の不具合が生じにくい]が最も高い値となっている。患者グループは[費用負担が小さい]を最も重視している。現段階では、AIが人の指示に従うことのほうが、[AIが患部の状況を判断して動作する]よりも重要であると考えられている。技術者グループであっても[AIが患部の状況を判断して動作する]の平均値の順位が最下位から2番目にあり、技術的に、AIの自立的な判断及び動作は議論の俎上にすら乗っていないといえよう。



その他自由回答に寄せられた意見:「導入までに時間が短い」「効果が高い」「緊急時に直ぐ停止する」「危険性があきらかになっていること」「安全性」「バッテリーが永久に切れない」「自宅でのリハビリにも利用でき、患者さんのご家族にも容易に操作できるタイプのロボット」「威圧感がない」「メンテナンスがしっかりしていること」など

パネル A 医師グループ (患者が利用)

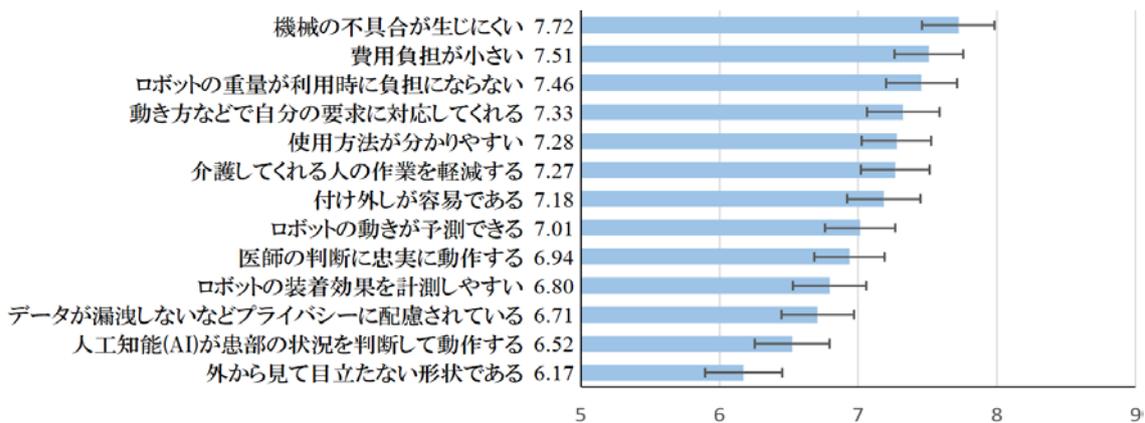


その他自由回答に寄せられた意見:「いつでも止まる」「できる限りコンパクトに保管できること」「ロボットに身を任せても不安のないような安定性」「安心な声かけ」「安全性」「緊急時のリモートスイッチ」「効果を比較的速く実感できる事」「患者さん向けの使用法などの動画があれば良い」「機械音が小さい、しない」「故障に対する修理が簡単であること」「高齢者でも使い方が分かりやすく、操作しやすいこと」「高齢者は機械＝こわいという先入観のある方もいるので、それを和らげる外観デザインだといいいのではと思います。」「自然な動き」「患者さんに負担の少ない、効率的な歩様になっていること」「清潔さを保てるか」「痛みや違和感を与えない事」「その先の症状改善の未来を具体的に理解させることができるか」など

パネル B 療法士グループ (患者が利用)

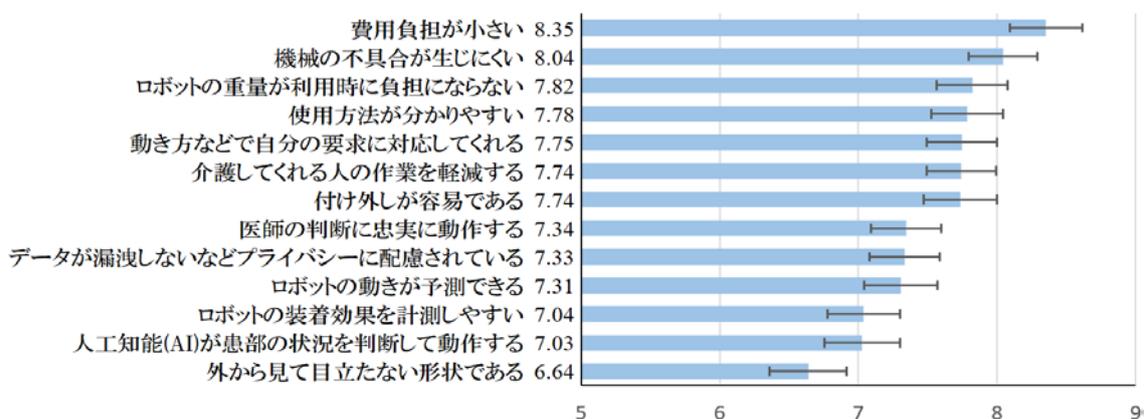
図 5 リハビリロボットを安心して利用するために重要な項目

資料:「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」



その他自由回答に寄せられた意見:「エラー時の対応が容易で短時間で対応可能、復帰方法がわかりやすい」「絶対安全を確保できること」「フェイルセーフが複数段階で組み込まれていること」「ロボットの癖が分かっていること」「問題についてどんな対処ができるのかという目標を立てることができる」「気軽に利用できる」「使用に際しての十分な説明及び実技指導」「実績があること」「周囲の状態(人や障害物)に対応できる。自動停止、衝突防止など」「心理的障壁を下げる、利用者にプレッシャーを与えない」「警戒を抱かせない色・形状・動作音に配慮すること」「人に優しい」「人工知能はあまり信用できない 膨大なデータとプログラマーの良し悪しで決まってしまうので、直接人間に関わる装置には向かない」「性能の均一性」「装着者の意思に逆らうような動作はけって行えないこと」「耐久性」「処理が遅いのに迷ったふりしてごまかさないこと」「非常停止用のスイッチ等が装備されており、非常時も安全に瞬間停止出来る事」「暴走しないこと」「筐体サイズが小さいこと。満充電後の駆動時間が長いこと」

#### パネル C 技術者グループ (自身が利用)



その他自由回答に寄せられた意見:「エラーが起こった時に素早く対応出来る」「安全性と効果に対するエビデンスが十分に整っている」「治療効果」「安全性」「誤作動しない」「抗菌性」「外でも使える」「耐水性がある」「規定を守る」「緊急停止ボタン」「自力に近い形」「バッテリー式なら長持ちする」「大きさ。歩行時にぶつからないため」「動作スピードが健常者と同様になる」「不具合の情報公開」「患者本人が危険を感じた時に本人が安全に停止操作ができる」「症状をよく理解する」

#### パネル D 患者グループ (自身が利用)

図 4 (続き)

資料:「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」

#### 4.3 誰が誰を信頼するかーロボットの位置づけ

本節では、回答者にリハビリロボットのイメージを持ってもらった上で質問した結果を分析する。今回の調査では、図 5 のように、歩行支援ロボットを利用することを想定してもらった。

信頼できるリハビリロボットを入手できたとして、そのロボットを利用することになったときに「誰を信頼できることが最も重要だと考えるのか」を、回答者には 4.1 節図 2 の関係の中から順位を付けてもらった。医師グループには理学療法士・介護士、患者、利用するロボットから、療法士グループには医師、患者、利用するロボットから、患者グループには医師、理学療法士・介護士、利用するロボットから、それぞれ 1 番重要視する相手を 1 位としてもらった。技術者グループへの質問はロボットの重要性ではなく、開発する際にロボットが誰からの信用を得ることを目的としているかを「あなたが信頼できるリハビリロボットを開発し、医師や理学療法士などと協力して、患者さんに対してそのロボットを利用することになったと想定してください。このとき、そのロボットが誰からの信頼を得ることが最も重要だと考えるか、重要な順に選んでください。」という形で尋ねた。

はじめに、選ばれた順位の組合せをみる（表 4）。医師グループや療法士グループからみると、ロボットの優先順位は低く、3 位にロボットが来る組合せが医師グループは 61.6%、療法士グループは 51.4%に達している。患者グループでは医師-介護士-ロボットの組合せだけで 49.3%に選ばれている。

開発に際しては、やはり患者から得る信頼を最も重視しており、患者を 1 位とする組合せ（上位 2 項目の合計）で 48.5%である。



図 6 回答者に示したリハビリロボットのイメージ図  
資料：「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」

ここで、ロボットの順位を決める要因を探ってみた。医師グループ、療法士グループ、患者グループのグループ別（基本統計量は表 5）に、ロボットの順位を決める要因を順序プロビットで推計した。

表 4 重要だと思ふ順番（1位-2位-3位）

	医師G		療法士G			
	度数	比率	度数	比率		
1	介護士-患者-ロボット	64	30.8	医師-患者-ロボット	56	25.9
2	患者-介護士-ロボット	64	30.8	患者-医師-ロボット	55	25.5
3	介護士-ロボット-患者	42	20.2	ロボット-患者-医師	28	13.0
4	ロボット-介護士-患者	19	9.1	患者-ロボット-医師	27	12.5
5	患者-ロボット-介護士	14	6.7	医師-ロボット-患者	26	12.0
6	ロボット-患者-介護士	5	2.4	ロボット-医師-患者	24	11.1

	技術者G		患者G			
	度数	比率	度数	比率		
1	患者-介護士-医師	59	28.6	医師-介護士-ロボット	105	49.3
2	患者-医師-介護士	41	19.9	医師-ロボット-介護士	27	12.7
3	医師-介護士-患者	40	19.4	介護士-医師-ロボット	25	11.7
4	医師-患者-介護士	30	14.6	ロボット-介護士-医師	23	10.8
5	介護士-患者-医師	20	9.7	ロボット-医師-介護士	20	9.4
6	介護士-医師-患者	16	7.8	介護士-ロボット-医師	13	6.1

注：ここでの「介護士」は、調査票の選択肢では「理学療法士・介護士」とした。また、「ロボット」は選択肢では「利用するロボット」とした。

資料：「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」

表 5 順序プロビットに利用した変数の基本統計量

変数		平均	標準偏差	最小値	最大値
リハビリロボットの順位 (1位=3、2位=2、3位=1)	医師G	1.50	0.70	1	3
	療法士G	1.73	0.83	1	3
	技術者G	-	-	-	-
	患者G	1.59	0.81	1	3
危険愛好度	医師G	-0.06	1.11	-2.61	2.87
	療法士G	0.01	1.00	-2.61	2.57
	技術者G	0.12	1.02	-2.30	3.17
	患者G	-0.05	0.96	-2.30	2.55
ガジェット好き	医師G	-0.16	1.39	-4.10	4.45
	療法士G	-0.24	1.51	-5.73	3.85
	技術者G	0.49	1.98	-6.13	4.45
	患者G	-0.07	1.33	-5.80	4.45
年収1000万円以上	医師G	0.69	0.46	0	1
	療法士G	0.03	0.16	0	1
	技術者G	0.13	0.34	0	1
	患者G	0.08	0.26	0	1
リハビリロボットを 自分では使いたくない	医師G	0.02	0.15	0	1
	療法士G	0.06	0.23	0	1
	技術者G	0.04	0.19	0	1
	患者G	0.14	0.34	0	1
医師の診断の信頼性を重視	医師G	0.23	0.42	0	1
	療法士G	0.28	0.45	0	1
	技術者G	0.20	0.40	0	1
	患者G	0.33	0.47	0	1
サンプル数 (N)	医師G				208
	療法士G				216
	技術者G				206
	患者G				213

注：技術者グループの回答者には医師、介護士、患者の三者に順位を付けてもらったため、開発者のデータは他の3グループとの比較のための参考資料である。

資料：「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」

順序プロビットの結果は表 6 に示した。サンプル数が少ないため、有意な説明変数は少なかったが、各グループで異なる要因が残った。医師グループでは、[年収 1000 万円以上] がそれ以下と比較して弱いプラス（ロボットを 1 位としやすい）であったほか、[リハビリロボットを自分では使いたくない] が有意にマイナスとなった。療法士グループでは [危険愛好度] が低い回答者及び [(自分が通院するときに) 医師の診断の信頼性を重視] する回答者ほどロボットを選びやすくなっている。これは、ロボットの利用者が自分ではなく患者であることから、信頼できるロボットであれば患者にリスクを負わせないし、診断も信頼できると考えている可能性がある。患者グループでは、危険率が 10.1% で高年収の方がロボットの順位が低く、機械類を使うのが好きな「ガジェット好き」のほうがむしろロボットの順位を下げる傾向にある。年収が高ければロボットより人間を選び、機械好きな人であってもリハビリにまでは機械を好んでいないようである。

表 6 ロボットの順位を決める要因（順序プロビット回帰の結果）

	医師G	療法士G	患者G
年収1000万円以上	0.356 + 0.192		-0.602 0.367
リハビリロボットを 自分では使いたくない	-4.854 *** 0.146		
危険愛好度		-0.128 + 0.073	
医師の診断の信頼性を重視		0.444 * 0.178	
ガジェット好き			-0.144 * 0.058
/			
cut1	0.522 ** 0.166	0.159 0.099	0.257 ** 0.091
cut2	1.448 *** 0.188	0.849 *** 0.108	0.829 *** 0.101
N	208	216	213
ll	-183.2	-217.6	-195.6
bic	387.8	456.7	412.6
aic	374.4	443.2	399.1

注 1 : + p<0.10、 \* p<0.05、 \*\* p<0.01、 \*\*\* p<0.001。

注 2 : 上段は係数、下段は標準偏差

注 3 : 目的関数は各回答者が付けたロボットの順位。

注 4 : 患者グループの「年収 1000 万円以上」は危険率が 10.1% であった。

資料 : 「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」

#### 4.4 信頼できるロボットを利用する要因

実証分析の最後に、信頼できるロボットを入手できたとしたときに、そのロボットをどのくらい利用したいと考えるかを、新型コロナウイルスなどの伝染病の流行の影響の有無を考慮して尋ねた結果を分析する。被説明変数となるのは、表 7 上段の「使いたさ（伝染時）」及び「使いたさ（平常時）」の 2 項目である。

表 7 変数の定義

設問と変数名(変数名は斜字体)		属性
被説明変数	<p>あなたが信頼できると考えるリハビリテーションロボットを入手したと想定してください。</p> <p>【医師G】あなたが患者さんにリハビリテーション治療を施すとしたら、人にリハビリをしてもらう代わりに、そのロボットをどのくらい使いたさと思えますか。</p> <p>【療法士G】あなたが患者さんにリハビリテーション治療を施すかどうかを決められるとしたら、人にリハビリをしてもらう代わりに、そのロボットをどのくらい使いたさと思えますか。</p> <p>【技術者G】あなたが医師や理学療法士などと協力してそのロボットを患者さんの治療に使えたとしたら、人にリハビリをしてもらう代わりに、そのロボットをどのくらい使いたさと思えますか。</p> <p>【患者G】人にリハビリをしてもらう代わりに、そのロボットをどのくらい使いたさと思えますか。</p>	
	使いたさ(伝染時)	新型コロナウイルスなどの伝染性の病気が流行している期間
	使いたさ(平常時)	ウイルスの流行がまったく心配ない期間
説明変数	<p>【医師G】あなたが、あなたの患者さんに対して、運動機能を回復させるリハビリテーションロボットのうち、歩行支援ロボットの利用が必要だと判断したとします。そのとき、そのロボットを安心して導入するためには、以下の項目はどのくらい重要ですか。重要度を比べたとき、それぞれがどのくらい重要そうかを10段階でお答えください。</p> <p>【療法士G】あなたが、あなたの患者さんに対して、運動機能を回復させるリハビリテーションロボットのうち、歩行支援ロボットを利用することになったとします。このとき、あなたが安心してそのロボットを患者さんに利用してもらうためには以下の項目はどのくらい重要ですか。重要度を比べたとき、それぞれがどのくらい重要そうかを10段階でお答えください。</p> <p>【技術者G】【患者G】あなたご自身が、運動機能を回復させるリハビリテーションロボットのうち、身に付けてと歩くことがスムーズに行える歩行支援ロボットを利用することになったと想定してみてください(実際にご利用中の方は、ご利用中の歩行支援ロボットについてお考え下さい)。あなたがそのロボットを安心して利用するためには、以下の項目はどのくらい重要ですか。重要度を比べたとき、それぞれがどのくらい重要そうかを10段階でお答えください。</p>	
	医師に忠実	医師の判断に忠実に動作すること
	AIが判断	人工知能(AI)が患部の状況を判断して動作すること
	プライバシー	データが漏洩しないなど、プライバシーに配慮されていること
	動きが対応	動き方などで、要求に対応してくれること
	軽さ	重さ(ロボットの重量)が利用時に負担にならないこと、と、介護してくれる人の作業を軽減することの平均
	目立たなさ	外から見て目立たない形状であること
	効果計測可	ロボットの装着効果を計測しやすいこと
	予測可能	ロボットの動きが予測できること
	費用の小ささ	費用負担が小さいこと
	不具合なし	機械の不具合が生じにくいこと(選択肢10のみ)
	使いやすさ	使用方法が分かりやすいこと(選択肢10)、かつ、付け外しが容易であること(選択肢10)
	医師の診断の信頼性を重視	あなたが患者として医療機関にかかるとき、以下の各項目をどの程度重視しますか。「診断の信頼性」(重視しない(1)~重視する(10)の10段階で選択肢10)
利他性	『あなたは、「人が困っているときには、自分がどんな状況にあらうと助けるべきである」という意見に賛成ですか、反対ですか。』(5段階)、「あなたは、これまで何らかの募金に協力したことがありますか。』(4段階)、『あなたは「正当な理由があることに対しては、見返りを求めずに貢献したい」と思うタイプですか。』(11段階)の3変数から求めた、主成分分析の第1因子。	
ガジェット好き	「あなたは以下のものを使うことがどのくらい好きですか。」携帯電話/スマートフォン、タブレット、パソコン、人の声掛けに反応するぬいぐるみやロボット、スマートスピーカーのそれぞれについて「とても嫌い(1)~とても好き(5)」の5段階で回答したもから求めた、主成分分析の第1因子。	

資料：「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」

被説明変数の分布、すなわち、ロボットを利用したい度合いの分布は伝染病流行時と平常時では異なるものの、方向は明確ではなかった。全体での平均値は流行の心配のない期間が 6.72、流行している期間が 6.62 と、平常時の方がわずかに高くなっているが、この差は有意水準 5% で有意ではなかった。よって、「回答者は流行の心配のない期間の方がロボットを使いたいと考えている」という判断ができない。このことは図 6 のクロス集計表から読み取れる。図を見ると、流行の有無で、回答者が動く方向が両方向に観察されており、流行時にロボットを使いたい人も、平常時にロボットを使いたい人も、両方存在しており、法則性をもたない様子であった。

表 8 に示した各変数のグループ別平均値と標準偏差は、10 段階の回答のうち選択肢 1～3 を 4 に統合して 7 段階としたものである。平均値では、伝染病の流行時のほうが平常時よりも高くなっているが、流行時の標準偏差がいずれのグループでも平常時よりも大きいことから、各グループ内に、流行時に利用したい派と利用したくない派が併存しているものと考えられる。

そこで、グループ別に、2 つの期間のそれぞれでどのような要因でロボットを利用したいと考えるのかを、回帰分析（トーマット）で明らかにする。トーマット分析の結果は表 9 の通りである。主に、ロボットを安心して利用するために重要と考える条件（4.2 節(3)項）、すなわちロボットへの信頼感を説明変数としている。これは、回答者の信頼感が、自身がロボットを利用するか否かにどのように結びついているかを探り、そこからロボットの利用に結びつく信頼の要素を洗い出すためである。

		伝染性の病気の流行の心配が全くない期間										計	
		←使いたくない					使いたい→						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
伝染性の病気が流行している期間	↑使いたくない	1	12	2	2		3	1	1	4	2	9	36
	2			1			3	1	1	1	1	8	
	3				7	2		2	2	4	3	4	24
	4			1	2	10	5	6	8	6	2		40
	5					5	109	22	4	9	2	5	156
	6					6	17	95	12	3	4	1	138
	7					2	13	22	61	7	7	2	114
	8		1		2	3	15	15	24	77	5	5	147
	9				1		1	5	18	17	33	3	78
	10		5				3	7	7	9	5	66	102
	計	18	4	14	28	169	176	138	137	64	95	843	

図 7 伝染病流行時と平常時におけるロボットの使いたさのクロス表（度数）

注 : ピアソンのカイ 2 乗(自由度 81) = 1.6e+03 Pr = 0.000

資料 : 「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」

表 8 トービット分析の基本統計量

	医師グループ				療法士グループ				技術者グループ				患者グループ			
	平均	標準偏差	最小値	最大値	平均	標準偏差	最小値	最大値	平均	標準偏差	最小値	最大値	平均	標準偏差	最小値	最大値
使いたい(伝染時)	3.97	1.82	1	7	3.60	1.87	1	7	3.99	1.96	1	7	3.67	1.98	1	7
使いたい(平常時)	3.83	1.75	1	7	3.69	1.83	1	7	3.95	1.74	1	7	3.80	1.78	1	7
医師に忠実	4.41	1.78	1	7	4.29	1.84	1	7	4.02	1.95	1	7	4.38	1.77	1	7
AIが判断	3.89	1.62	1	7	3.81	1.68	1	7	3.63	1.72	1	7	4.05	1.68	1	7
プライバシー	4.19	1.82	1	7	4.50	1.89	1	7	3.81	1.89	1	7	4.35	1.76	1	7
動きが対応	4.36	1.64	1	7	4.66	1.77	1	7	4.38	1.78	1	7	4.75	1.71	1	7
軽さ	4.63	1.72	1	7	4.79	1.75	1	7	4.44	1.69	1	7	4.79	1.67	1	7
目立たなさ	3.43	1.66	1	7	3.98	1.80	1	7	3.40	1.70	1	7	3.72	1.68	1	7
効果計測可	3.90	1.65	1	7	4.43	1.81	1	7	3.87	1.68	1	7	4.07	1.65	1	7
予測可能	4.05	1.63	1	7	4.59	1.81	1	7	4.06	1.75	1	7	4.31	1.66	1	7
費用の小ささ	4.46	1.74	1	7	4.88	1.89	1	7	4.59	1.90	1	7	5.35	1.75	1	7
医師の診断の信頼性を重視	0.23	0.42	0	1	0.28	0.45	0	1	0.20	0.40	0	1	0.33	0.47	0	1
不具合なし	0.28	0.45	0	1	0.34	0.47	0	1	0.27	0.44	0	1	0.33	0.47	0	1
使いやすさ	0.17	0.38	0	1	0.20	0.40	0	1	0.12	0.32	0	1	0.18	0.38	0	1
利他性	-0.09	1.26	-3.87	3.28	-0.09	1.28	-3.87	3.28	0.13	1.26	-3.87	3.28	0.05	1.26	-3.87	3.28
ガジェット好き	-0.16	1.39	-4.10	4.45	-0.24	1.51	-5.73	3.85	0.49	1.98	-6.13	4.45	-0.07	1.33	-5.80	4.45

資料：「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」

表 9 トービット分析の結果

(人にリハビリをしてもらう代わりに、信頼できるロボットをどのくらい使いたいと思うか、に影響する要因)

被説明変数	使いたい(伝染時)				使いたい(平常時)			
	医師G	療法士G	技術者G	患者G	医師G	療法士G	技術者G	患者G
医師に忠実	0.274 **			0.219 *				
	0.104			0.110				
AIが判断		0.275 ***	0.156 +			0.154	0.149 +	
		0.082	0.091			0.094	0.079	
プライバシー		-0.278 ***						
		0.082						
動きが対応	0.474 ***				0.508 ***			
	0.125				0.101			
軽さ			0.699 ***	0.391 ***			0.421 ***	0.422 ***
			0.095	0.105			0.105	0.097
目立たなさ					-0.205 **		-0.167 +	
					0.073		0.087	
効果計測可						0.379 ***	0.156 +	
						0.070	0.091	
予測可能	-0.296 **							
	0.112							
費用の小ささ		0.150 +	-0.162 -		0.213 -		-0.154 +	0.162 -
		0.083	0.079		0.092		0.079	0.079
不具合なし		0.526				0.666 *		-0.711 -
		0.332				0.273		0.292
使いやすさ		1.190 **						
		0.415						
医師の診断の信頼性を重視	0.891 **				-0.438		1.056 ***	
	0.296				0.269		0.291	
利他性		0.256 **			0.154 -			0.194 +
		0.086			0.090			0.090
ガジェット好き	0.251 ***	0.290 ***			0.345 ***	0.186 **	0.114 +	
	0.058	0.064			0.073	0.067	0.059	
定数項	1.734 ***	2.748 ***	1.065 ***	0.842 **	1.531 ***	1.837 ***	1.915 ***	0.530
	0.306	0.321	0.302	0.305	0.304	0.268	0.323	0.325
誤差の分散	2.053 ***	2.346 ***	2.479 ***	3.004 ***	1.661 ***	2.443 ***	1.852 ***	2.127 ***
	0.211	0.197	0.296	0.243	0.167	0.229	0.192	0.198
サンプル数	208	216	206	213	208	216	206	213
擬似決定係数	0.118	0.096	0.103	0.062	0.153	0.077	0.123	0.098
赤池情報量基準	753.9	815.2	781.6	846.7	711.8	815.9	729.6	779.2
ベイズ情報量基準	777.3	845.5	798.3	860.2	738.5	832.8	759.5	802.7

注 1：+ p<0.10、\* p<0.05、\*\* p<0.01、\*\*\* p<0.001。

注 2：上段は係数、下段は標準偏差

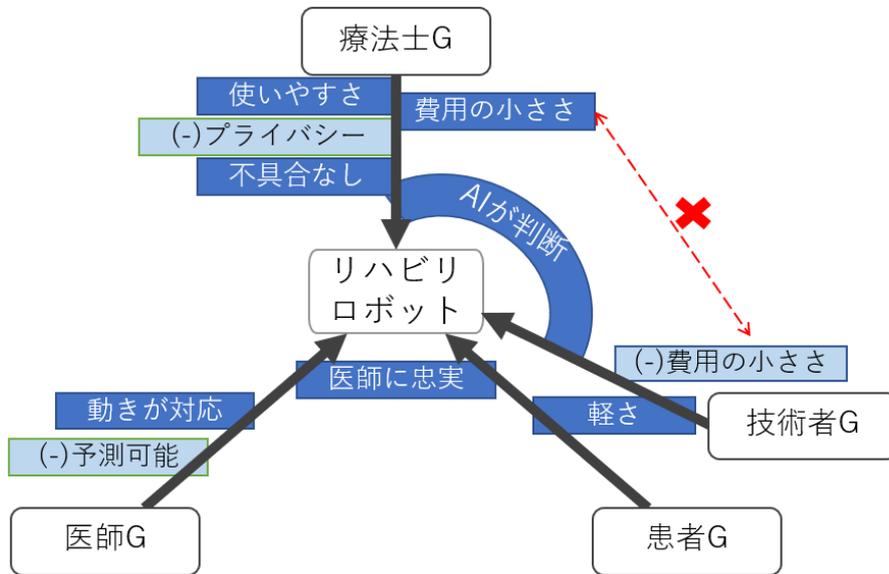
資料：「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」

この結果から、グループごとに必要とされる要因が分かる。伝染病流行時には、医師グループでは「医師に忠実」「動きが対応」が必要な要素となる。ロボットの動きが予測できることを示す「予測可能」を重視する人はむしろ使わないという傾向がある。使いたい医師の属性としては、「医師の信頼性を重視」、「ガジェット好き」が挙げられる。療法士グループでは、「AIが判断」「費用の小ささ」「使いやすさ」が重視される。危険率 11.4%であるが、「不具合なし」も要素となろう。「プライバシー」はマイナスに働いている。属性は、「利他性」がある、「ガジェット好き」である。技術者グループは、「AIが判断」「軽さ」がポイントとなる。自分自身が利用するという想定であっても「費用の小ささ」がマイナスになっているが、これは技術を向上させるうえで費用の削減が困難であることを反映しているのかも知れない。患者 G は、AI が診断することよりも AI が「医師に忠実」に動くことを求めているようである。技術者グループと共に「軽さ」も重要視されているが、利用する側に立てば、当然念頭に置かれるべき項目であろう。

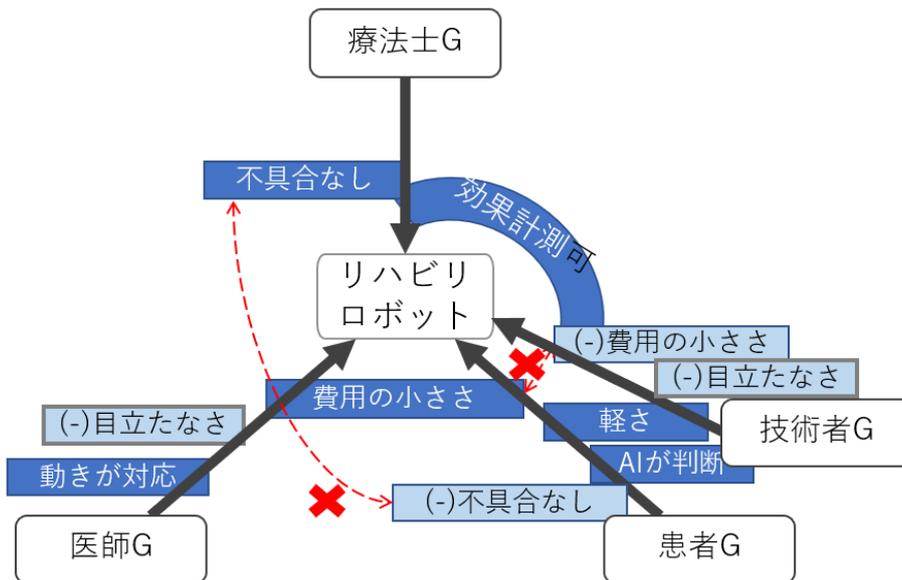
平常時には、医師グループも「費用の小ささ」を考慮する。反面、「目立たなさ」を重視する人は利用しない傾向が出る。「動きが対応」は、伝染病の有無にかかわらず重視されている。属性は、流行時の要因に「利他性」が加わる。療法士グループでは、流行時より明確に「不具合なし」を求めている。また、平常時に加わる要因が、「効果計測可」であり、患者の傍でリハビリを促す際の責任感が看取される。技術者グループでは、流行時の要因に、「効果計測可」が加わるが、医師グループと同様に「目立たなさ」がマイナスの要因となっている。属性として、「医師の診断の信頼性を重視」「ガジェット好き」が挙げられる。患者グループでは、平常時だと「医師に忠実」が登場しなくなり、「AIが判断」が出てくる。「費用の小ささ」と「不具合なし」も平常時に加わる要因である。属性として、「利他性」が加わった。

属性変数は除き、リハビリロボットに対して、重要だと考えている要素のみを関係図に描いたものが図 7 である。グループに共通する要素を図内に記入しており、濃色の要素はプラスの要素、淡色の要素はマイナスの要素となっている。同じ要素でも正負が逆になっている場合には、赤い点線で印をつけてある。ここから最も明確に指摘されるのは、技術者グループがどちらの時期も「費用の小ささを重視するほどロボットを使いたくない」のに対し、伝染時には療法士グループが、平常時には医師グループと患者グループが、「費用の小ささを重

視するほどロボットを使いたい」と考えている点である。技術者はここで自分自身が使うか使わないかの判断をしているにもかかわらず、患者の判断とも差ができていたのである。



パネル A 伝染病流行時



パネル B 平常時

注：「目立たなさ」がマイナスとなっているのは、医師 G と技術者 G で共通である。

図 8 リハビリロボットを使用する要因（伝染病流行時／平常時）

注：共通の要因となっているものを、ロボットに向かう矢印に重ねて描いたものである。

資料：「リハビリテーションロボットについてのインターネット調査」

これらの結果から、リハビリロボットを例とした場合の信頼されるロボット像は、先行研究で指摘された通り、異なる当事者から異なる形で描かれることが分かった。例えば AI が自律的に患部の状況を判断することは、技術者グループにとっては伝染時、平時、どちらも重要であり、伝染時には療法士グループ、平時には患者グループも AI の判断を信頼する人のほうが利用しようと考えている。しかし、もとより医師グループからはそのような傾向が窺えない。その原因が（医師と比較して）AI の判断を信頼できないからなのか、いずれ AI が医師の役割を代わることに抵抗があるからなのか、理由は調査できていないが、AI の自律的な判断に対して医師の信頼を得るまでには、ロボットのさらなる技術向上が必要とされている様子である。

また、技術者グループは費用の小ささを重視するほどロボットを自分では使わないという傾向があった。推論となるが、技術者は、患者の費用を下げることで技術の維持向上を抑制する、あるいは、技術的にまだ製造コストを下げる段階ではない、と考えている可能性がある。

したがって、少子高齢化に歯止めがかからない日本において、医療・介護分野での人手不足を補うために今後も必要不可欠となるリハビリロボットの開発には、異なる立場からの優先順位を丁寧に調査して、結果を反映させていかなければならない。身体機能を回復・維持するためのリハビリロボットは本来、治療を受ける患者にとって最も信頼されるべきものである。そこで、各当事者のニーズを把握することができる仕組みが必要となる。その上で、医師、療法士も患者のニーズを理解した上で、同じく患者のニーズを理解した技術者と共に、リハビリロボットの開発に参画していく必要がある。

リハビリロボットは、高性能であるだけに現在のところ非常に高価であり、誰でも利用できるものではない。ニュースイッチ（2022）によれば、リハビリロボットの導入は、病院経営にも経済的な負担で、機種によるがレンタル料は最大で年間数百万円に及ぶという。保険適用も、2016年に初めて一部のロボットで認められ<sup>14</sup>、2020年に漸く「運動量増加機器」と認められた複数のロボットに対して行われるようになった。患者（そして、患者にロボットを提供する医師や療法士）からの切実な要求である低費用を実現することが技術段階的に

---

<sup>14</sup> 2016年1月から、CYBERDYNE 株式会社の「HAL®医療用下肢タイプ」が緩徐進行性の神経・筋疾患を対象に保険適用された。緩徐進行性の神経・筋疾患には、脊髄性筋萎縮症（SMA）、球脊髄性筋萎縮症（SBMA）、筋萎縮性側索硬化症（ALS）、シャルコー・マリー・トゥース病（CMT）、遠位型ミオパチー、封入体筋炎（IBM）、先天性ミオパチー、筋ジストロフィーが該当する。

難しいのであれば、公的に、保険適用の拡大も含めて患者を補助する形での資金供給を拡大していく必要があると考えられる。

## 5 今後の研究課題

1.5 節で紹介した Karmian et al. (2022)で指摘されたように、ヘルスケア分野で AI の信頼を論じる際には、複数の利害関係者にとっての「信頼」を論じなくてはならない。利害関係者を分けて考察する先行研究の蓄積が不足している実態を踏まえて、筆者らはリハビリロボットの信頼について、ロボット（ロボット開発技術者）、医師、介護者、患者の、それぞれの立場からみた信頼できる AI を調査し、目指すべきリハビリロボットの姿を描き出した。ただし今回は、新型コロナウイルス流行下でインターネット調査を行う必要があったため、各グループの潜在的な回答者に回答してもらわざるを得なかった。また、各グループの回答者を確実に集めるために、目標サンプル数を少なく抑えていたことで、3.1 節で触れた回答者個人の「信頼性に関する信念や期待」の影響を抽出することができなかった。サンプルが多ければリハビリロボットに対する信頼への影響の深堀りをしたかった点である。今後の研究課題として、本研究をパイロット・スタディーとして、当事者に対する調査を進めることで、より信頼のおけるリハビリロボットの姿を明らかにしたい。

一点だけ、今回の筆者らの研究ではカバーしなかった範囲であるが今後注目されるテーマとして、ヘルスケアロボットに機械学習をさせる際に社会的弱者が不利になる可能性を指摘する研究がある（Giovanola and Tiribelli, 2022）。機械学習には数多くの患者のデータが必要とされるが、社会的弱者が「情報化された不審のバイアス（過去に自分若しくは自分の所属する集団が受けてきた差別があり、AI による治療の場でも同様に差別されるのではないかという懸念を抱くバイアス）」を持ち、機械学習を行う器具やロボットを利用した治療に参加することを避けることで、機械学習が社会的弱者のデータを拾えなくなり、結果的に社会的弱者に不利に働く機械ができてしまうという問題である。これは、世界的に見て、今後重要な観点となろう。

## 6 参考文献

- 機械振興協会経済研究所(2021)『サービスロボットの市場発展および産業の成長に関する調査研究委員会<中間報告>』令和3年3月。
- 岩田和之・森田玉雪・鶴見哲也・馬奈木俊介(2020)「医療における人工知能の受容性」、*RIETI ディスカッションペーパー*、20-J-21、2020年4月。
- 経済産業省(2019)「機能回復ロボットの安全性に関する国際標準が発行されました」<https://www.meti.go.jp/press/2019/07/20190723001/20190723001.html>、2022年5月10日閲覧。
- 鎮西清行・鍋島厚太(2020)。「ISO/TC 299/JWG 5 (医療ロボットの安全) の現在、過去、未来」、*日本ロボット学会誌*, 38(5), 439-442。
- ニュースイッチ(2022)「全国初のロボットリハビリテーション、開設7年の今」2022年6月3日、(日刊工業新聞 2022年4月19日記事より)  
<https://newswitch.jp/p/32390>、2022年8月30日閲覧。
- 森岡周.(2014)。「ニューロリハビリテーション」。理学療法ジャーナル, 48(4), 335。
- Alarcon, G. M., Lyons, J. B., Christensen, J. C., Bowers, M. A., Klosterman, S. L., & Capiola, A. (2018). The role of propensity to trust and the five factor model across the trust process. *Journal of Research in Personality*, 75, 69-82.  
<https://doi.org/10.1016/j.jrp.2018.05.006>
- Alaiad, A., & Zhou, L. (2014). The determinants of home healthcare robots adoption: An empirical investigation. *International Journal of Medical Informatics*, 83(11), 825-840. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2014.07.003>
- Arrow, K. (1974). *The Limits of Organization*. New York, NY: Norton & Company, Inc.
- (2006). The Economy of Trust: An Interview with Kenneth Arrow, *Religion & Liberty*, 16 (3): 3, 12-13.
- Asimov, Isaac (1950). "Runaround". *I, Robot (The Isaac Asimov Collection ed.)*. New York City: Doubleday. p. 40. ISBN: 978-0-385-42304-5
- Backonja, U., Hall, A. K., Painter, I., Kneale, L., Lazar, A., Cakmak, M., Thompson, H. J., & Demiris, G. (2018). Comfort and Attitudes Towards Robots Among Young, Middle-Aged, and Older Adults: A Cross-Sectional Study. *Journal of Nursing Scholarship*, 50(6), 623-633. <https://doi.org/10.1111/jnu.12430>
- Baier, A. (1986). Trust and Antitrust. *Ethics*, 96(2), 231-260.  
<https://www.jstor.org/stable/2381376>
- Barg-Walkow, L. H., Mitzner, T. L., & Rogers, W. A. (2014). Technology Experience Profile (TEP): Assessment and Scoring Guide (HFA-TR-1402). Atlanta, GA: Georgia Institute of Technology, School of Psychology, Human Factors and Aging Laboratory.
- Berkelmans, P. G., Berendsen, A. J., Verhaak, P. F., & van der Meer, K. (2010). Characteristics of general practice care: What do senior citizens value? A qualitative study. *BMC Geriatrics*, 10.  
<https://doi.org/10.1186/1471-2318-10-80>
- Beuscher, L. M., Fan, J., Sarkar, N., Dietrich, M. S., Newhouse, P. A., Miller, K. F., & Mion, L. C. (2017). Socially Assistive Robots: Measuring Older Adults' Perceptions. *Journal of Gerontological Nursing*, 43(12), 35-43.  
<https://doi.org/10.3928/00989134-20170707-04>
- Cameron, D., Aitken, J. M., Collins, E. C., Boorman, L., Chua, A., Fernando, S., Mcaree, O., Martinez-Hernandez, U., & Law, J. (2015). *Framing Factors: The*

- Importance of Context and the Individual in Understanding Trust in Human-Robot Interaction*. <http://eprints.whiterose.ac.uk/91238/>
- Carrillo, M. F., Butchart, J., Kruse, N., Scheinberg, A., Wise, L., & McCarthy, C. (2018). Physiotherapists' Acceptance of a Socially Assistive Robot in Ongoing Clinical Deployment. *2018 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, 850–855. <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2018.8525508>
- Chami, R., & Fullenkamp, C. (2002). Trust and efficiency. *Journal of Banking and Finance*, 26(9), 1785–1809. [https://doi.org/10.1016/S0378-4266\(02\)00191-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4266(02)00191-7)
- Chien, S.-Y., Lewis, M., Sycara, K., Jyi-Shane Liu, & Kumru, A. (2016). Influence of cultural factors in dynamic trust in automation. *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 002884–002889. <https://doi.org/10.1109/SMC.2016.7844677>
- Chita-Tegmark, M., Law, T., Rabb, N., & Scheutz, M. (2021). Can you trust your trust measure? *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 92–100. <https://doi.org/10.1145/3434073.3444677>
- Coeckelbergh, M., Pop, C., Simut, R., Peca, A., Pinteá, S., David, D., & Vanderborght, B. (2016). A Survey of Expectations About the Role of Robots in Robot-Assisted Therapy for Children with ASD: Ethical Acceptability, Trust, Sociability, Appearance, and Attachment. *Science and Engineering Ethics*, 22(1), 47–65. <https://doi.org/10.1007/s11948-015-9649-x>
- Correia, F., Alves-Oliveira, P., Maia, N., Ribeiro, T., Petisca, S., Melo, F. S., & Paiva, A. (2016). Just follow the suit! trust in human-robot interactions during card game playing. Paper presented at the *25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, RO-MAN 2016*, 507-512. doi:10.1109/ROMAN.2016.7745165
- Correia, F., Guerra, C., Mascarenhas, S., Melo, F. S., & Paiva, A. (2018). Exploring the impact of fault justification in human-robot trust: Socially interactive agents track. Paper presented at the *Proceedings of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS, 1* 507-513.
- Costa, P. T., & McCrae, R. R. (2009). *The Five-Factor Model and the NEO Inventories*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195366877.013.0016>
- Desai, M., Kaniarasu, P., Medvedev, M., Steinfeld, A., & Yanco, H. (2013). Impact of Robot Failures and Feedback on Real-Time Trust. *2013 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, 251–258.
- Devitt, S. K. (2018). Foundations of Trusted Autonomy. In H. A. Abbass et al. (eds.), *Foundations of Trusted Autonomy, Studies in Systems, Decision and Control 117*.
- Evans, A. M., & Revelle, W. (2008). Survey and behavioral measurements of interpersonal trust. *Journal of Research in Personality*, 42(6), 1585–1593. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2008.07.011>
- Evans, A. M., & Krueger, J. I. (2009). The Psychology (and Economics) of Trust. *Social and Personality Psychology Compass*, 3(6), 1003–1017. <https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2009.00232.x>
- Feil-Seifer, D., & Matarić, M. J. (2011). Socially Assistive Robotics. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 18(1), 24–31. <https://doi.org/10.1109/MRA.2010.940150>
- Gareth, R. J & George, J. M. (1998). The experience and evolution of trust: Implications for cooperation and teamwork. *Academy of Management Review* 23(3), 531–546

- Giovanola, B., & Tiribelli, S. (2022). Beyond bias and discrimination: redefining the AI ethics principle of fairness in healthcare machine-learning algorithms. *AI & SOCIETY*. <https://doi.org/10.1007/s00146-022-01455-6>
- Hall, A. M., Ferreira, P. H., Maher, C. G., Latimer, J., & Ferreira, M. L. (2010). The Influence of the Therapist-Patient Relationship on Treatment Outcome in Physical Rehabilitation: A Systematic Review. *Physical Therapy*, *90*(8), 1099–1110. <https://academic.oup.com/ptj/article/90/8/1099/2737932>
- Hall, M. A., Dugan, E., Zheng, B., & Mishra, A. K. (2001). Trust in Physicians and Medical Institutions: What Is It, Can It Be Measured, and Does It Matter? *The Milbank Quarterly*, *79*(4), 613–639. <https://doi.org/10.1111/1468-0009.00223>
- Hancock, P. A., Billings, D. R., Schaefer, K. E., Chen, J. Y. C., de Visser, E. J., & Parasuraman, R. (2011). A meta-analysis of factors affecting trust in human-robot interaction. *Human Factors*, *53*(5), 517–527. <https://doi.org/10.1177/0018720811417254>
- High-Level Expert Group on Artificial Intelligence. (2019). *Ethics Guidelines for Trustworthy AI*. The European Commission. <https://doi.org/10.2759/346720>
- Iosa, M., Morone, G., Cherubini, A., & Paolucci, S. (2016). The three laws of neurorobotics: A review on what neurorehabilitation robots should do for patients and clinicians. *Journal of Medical and Biological Engineering*, *36*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s40846-016-0115-2>
- Beuscher, L.M., Fan, J., Sarkar, N., Dietrich, M.S., Newhouse, P.A., Miller, K.F., Mion, L.C., (2017). Socially Assistive Robots: Measuring Older Adults' Perceptions. *Journal of Gerontological Nursing*, *43*(12), 35–43. <https://doi.org/10.3928/00989134-20170707-04>
- Kaliouby, Rana El. 2019. “How Do We Build Trust between Humans and AI?,” World Economic Forum article, August 1, 2019, retrieved on March 1, 2020. <https://www.weforum.org/agenda/2019/08/can-ai-develop-an-empathetic-bond-with-humanity/>
- Karimian, G., Petelos, E., & Evers, S. M. A. A. (2022). The ethical issues of the application of artificial intelligence in healthcare: a systematic scoping review. *AI and Ethics*. <https://doi.org/10.1007/s43681-021-00131-7>
- Kaur, D., Uslu, S., Rittichier, K. J., & Durrresi, A. (2022). Trustworthy Artificial Intelligence: A Review. *ACM Comput. Surv.*, *55*(2). <https://doi.org/10.1145/3491209>
- Kellmeyer, P., Mueller, O., Feingold-Polak, R., & Levy-Tzedek, S. (2018, August 15). Social robots in rehabilitation: A question of trust. *Science Robotics*, *3*(21). <https://doi.org/10.1126/scirobotics.aat1587>
- Langer, A., Feingold-Polak, R., Mueller, O., Kellmeyer, P., & Levy-Tzedek, S. (2019). Trust in socially assistive robots: Considerations for use in rehabilitation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *104*(March), 231–239. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.07.014>
- Lewis, M., Sycara, K., & Walker, P. (2018). The Role of Trust in Human-Robot Interaction. In H. A. Abbass, J. Scholz, & D. J. Reid (Eds.), *Foundations of Trusted Autonomy* (pp. 135–159). Springer.
- Li, D., Rau, P. L. P., & Li, Y. (2010). A Cross-cultural Study: Effect of Robot Appearance and Task. *International Journal of Social Robotics*, *2*(2), 175–186. <https://doi.org/10.1007/s12369-010-0056-9>
- Macarthur, K. R., Stowers, K., & Hancock, P. A. (2017). Human-robot interaction: Proximity and speed—slowly back away from the robot! *Advances in Intelligent Systems and Computing*, *499*, 365–374. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-41959-6\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41959-6_30)

- Matarić, M., Tapus, A., Winstein, C., & Eriksson, J. (2009). Socially assistive robotics for stroke and mild TBI rehabilitation. *Studies in Health Technology and Informatics*, 145, 249–262.
- Mechanic, D., & Schlesinger, M. (1996). The impact of managed care on patients' trust in medical care and their physicians. *Jama*, 275(21), 1693-1697.
- Mehlman, M. J., & Massey, S. R. (1994). The Patient-Physician Relationship and the Allocation of Scarce Resources: A Law and Economics Approach. *Kennedy Institute of Ethics Journal*, 4(4), 291–308. <https://doi.org/10.1353/ken.0.0071>
- Morita, T., & Managi, S. (2020). Autonomous vehicles: Willingness to pay and the social dilemma. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 119. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102748>
- Murphy, K., di Ruggiero, E., Upshur, R., Willison, D. J., Malhotra, N., Cai, J. C., Malhotra, N., Lui, V., & Gibson, J. (2021). Artificial intelligence for good health: a scoping review of the ethics literature. *BMC Medical Ethics*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12910-021-00577-8>
- Naneva, S., Sarda Gou, M., Webb, T. L., & Prescott, T. J. (2020). A Systematic Review of Attitudes, Anxiety, Acceptance, and Trust Towards Social Robots. *International Journal of Social Robotics*, 12(6), 1179–1201. <https://doi.org/10.1007/s12369-020-00659-4>
- Olson, K. E. (2013). *Understanding the Construct of Human Trust in Domestic Service Robots.*, Georgia Institute of Technology
- Papadopoulos, I., Koulouglioti, C., & Ali, S. (2018). Views of nurses and other health and social care workers on the use of assistive humanoid and animal-like robots in health and social care: a scoping review. *Contemporary Nurse*, 54(4–5), 425–442. <https://doi.org/10.1080/10376178.2018.1519374>
- Rabbitt, S. M., Kazdin, A. E., & Scassellati, B. (2015). Integrating socially assistive robotics into mental healthcare interventions: Applications and recommendations for expanded use. In *Clinical Psychology Review* (Vol. 35, pp. 35–46). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2014.07.001>
- Robinette, P., Li, W., Allen, R., Howard, A. M., & Wagner, A. R. (2016). Overtrust of robots in emergency evacuation scenarios. *2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, 101–108. <https://doi.org/10.1109/HRI.2016.7451740>
- Rolfe, A., Cash-Gibson, L., Car, J., Sheikh, A., & McKinstry, B. (2014). Interventions for improving patients' trust in doctors and groups of doctors. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 3. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004134.pub3>
- Sanders, T. L., MacArthur, K., Volante, W., Hancock, G., MacGillivray, T., Shugars, W., & Hancock, P. A. (2017). Trust and Prior Experience in Human-Robot Interaction. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 61(1), 1809–1813. <https://doi.org/10.1177/1541931213601934>
- Schaefer, K. (2004). *The Perception And Measurement of Human-robot Trust.* <http://library.ucf.edu>
- \_\_\_\_\_, Chen, J. Y. C., Szalma, J. L., & Hancock, P. A. (2016). A Meta-Analysis of Factors Influencing the Development of Trust in Automation: Implications for Understanding Autonomy in Future Systems. *Human Factors*, 58(3), 377–400. <https://doi.org/10.1177/0018720816634228>
- Smarr, C.-A., Mitzner, T. L., Beer, J. M., Prakash, A., Chen, T. L., Kemp, C. C., & Rogers, W. A. (2014). Domestic Robots for Older Adults: Attitudes, Preferences, and Potential. *International Journal of Social Robotics*, 6(2), 229–247. <https://doi.org/10.1007/s12369-013-0220-0>

- Stuck, R. E., & Rogers, W. A. (2018). Older Adults' Perceptions of Supporting Factors of Trust in a Robot Care Provider. *Journal of Robotics*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/6519713>
- Thom, D. H. (2001). Physician Behaviors that Predict Patient Trust. *Journal of Family Practice*, 50(4), 323. <https://link.gale.com/apps/doc/A74292253/AONE?u=anon~eb73de9&sid=googleScholar&xid=262aa6d4>
- Thom, D. H., & Campbell, B. (1997). Patient-Physician Trust An Exploratory Study. *Journal of Family Practice*, 44, 169–175.
- Thom, D. H., Bloch, D. A., & Segal, E. S. (1999). An intervention to increase patients' trust in their physicians. *Academic Medicine*, 74(2), 195–198. <https://doi.org/10.1097/00001888-199902000-00019>
- Triandis, H. C. (1996). The Psychological Measurement of Cultural Syndromes. *American Psychologist*, 51(4), 407–415.
- Tsui, K. M., & Yanco, H. A. (2007). *Assistive, Rehabilitation, and Surgical Robots from the Perspective of Medical and Healthcare Professionals* (In AAAI 2007 Workshop on Human Implications of Human-Robot Interaction; Technical Report WS-07-07.
- Ueno, T., Sawa, Y., Kim, Y., Urakami, J., Oura, H., & Seaborn, K. (2022). Trust in Human-AI Interaction: Scoping Out Models, Measures, and Methods. *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts*, 1–7. <https://doi.org/10.1145/3491101.3519772>
- Vandemeulebroucke, T., Bernadette Dierckx de Casterlé & Chris Gastmans (2018) How do older adults experience and perceive socially assistive robots in aged care: a systematic review of qualitative evidence, *Aging & Mental Health*, 22:2, 149-167, DOI: [10.1080/13607863.2017.1286455](https://doi.org/10.1080/13607863.2017.1286455)
- van Maris, A., Lehmann, H., Natale, L., & Grzyb, B. (2017). The Influence of a Robot's Embodiment on Trust. *Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 313–314. <https://doi.org/10.1145/3029798.3038435>
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27, 425–478.
- Wachsmuth, I. (2018). Robots like me: Challenges and ethical issues in aged care. *Frontiers in Psychology*, 9(APR). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00432>
- TWhite House. (2020) Executive Order on Promoting the Use of Trustworthy Artificial Intelligence in the Federal Government, December 3, 2020. <https://trumpwhitehouse.archives.gov/presidential-actions/executive-order-promoting-use-trustworthy-artificial-intelligence-federal-government/>
- Winkle, K., Caleb-Solly, P., Turton, A., & Bremner, P. (2018). Social Robots for Engagement in Rehabilitative Therapies: Design Implications from a Study with Therapists. *Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 289–297. <https://doi.org/10.1145/3171221.3171273>