

RIETI-NEDO ジョイント BBL セミナー

デジタル感性による価値創造

-デジタルハプティクス&エクスペリエンス研究開発の事例から-

栗田 雄一

広島大学

大学院先進理工系科学研究科 教授

人間拡張実装プロジェクト研究センター センター長

デジタルハプティクスコンソーシアム 代表



広島大学



YUICHI KURITA
HUMAN LAB



人間拡張実装

APPLIED HUMAN AUGMENTATION

広島大学プロジェクト研究センター



デジタルハプティクス

コンソーシアム

栗田 雄一 KURITA Yuichi

 広島大学

大学院先進理工系科学研究科電気システム制御プログラム 教授

大学院スマートソサイエティ実践科学研究院 教授

人間拡張実装プロジェクト研究センター センター長

デジタルハプティクスコンソーシアム 代表

コベルコ建機夢源力共創研究所 所長

 HUMANMODEL

株式会社ヒューマンモデル 代表取締役

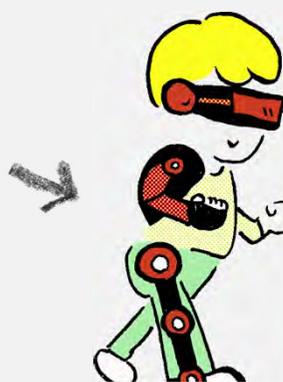
※広島大学発ベンチャー認定



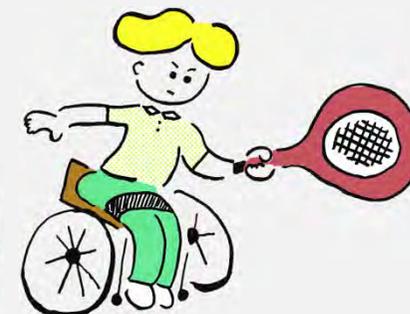
Human with disability



Human with normal ability with tools



Human with superability with tech



栗田研のテーマは、人の可能性を拓げるための人間拡張技術の開発

現状のICT社会における感覚情報の活用

- 感覚情報を基盤としたICTの高度化
 - テキスト、画像、動画、音声を高速・大容量で共有可能にするインフラ
 - モバイル通信、クラウド、ストリーミング技術による情報のリアルタイム共有
- 現代のICT社会では、視覚および聴覚情報がコミュニケーションの中心
 - 視覚情報: 高解像度映像配信、XR技術、画像認識・生成AI
 - 聴覚情報: 高品質音声通信、空間音響、音声認識・生成AI
 - 双方向コミュニケーション: オンライン会議、SNS



身体感覚を扱う主要研究領域



⋮

身体感覚を扱う技術の現状と限界

- 身体感覚の研究成果は蓄積されているが、市場形成は道半ば
- 社会実装が進まない理由
 - デバイスが大型・高コスト
 - 身体感覚の定量化手法が未確立
 - 通信プロトコル、安全・倫理基準が未整備
 - 利用場面の限定性
- 身体感覚そのものは目的になりにくく、文脈や体験価値を伴わない
提示は日常需要を生まない

身体感覚提示だけのサービスでは、市場創成と社会実装は難しい

身体感覚技術と感性価値

- 身体感覚を「感性を理解・共有する手段」として位置づける
 - 視覚表現だけで触覚の社会的影響を完全に再現することは難しい
 - 人間の「触れること」は単なる感覚入力ではなく、認知・感性形成に深く関与する
 - 社会的触覚は心理的親密さや情緒的結び付きに影響を与え、その欠如は孤立感やストレスに深く関わる
- 触覚・力覚などの身体感覚は、安心感、没入感、存在感、信頼形成を支える基盤
 - 感性価値を目的に据え、身体感覚を手段ととらえることで、医療・教育・福祉・遠隔労働・エンタメなど多方向へ接続できる

身体感覚は、感性という価値に接続することで社会基盤にできる

感性とは

- 感性の定義

- 印象を受け入れる能力。感受性。また、感覚に伴う感情・衝動や欲望 [Oxford Language]
- もろもろの感官による感覚的認識能力一般から、ときに感情をも総称する用語 [世界大百科事典]
- 人間は、理性、悟性あるいは知性ととともに、感覚あるいは感情をもつ。このうち、後者の側面を一括して特徴づけ、指示する用語が感性である [日本大百科全書]

- 感性を取り込んだ次世代ICT社会

- 人間の意思決定、信頼形成、学習、創造性は、純粋な情報処理ではなく、感情や情動(=感性)を伴う体験に依存している
- 感性を取り込むことで、人の認知・身体・情動にシステムや社会が適合できる

感性を取り込むことで何が生まれるか①

- 社会的価値
 - 高齢社会における孤立の低減
 - 医療・リハビリの高度化
 - 教育の質的向上
 - 障害支援・アクセシビリティ拡張
- 経済的価値
 - 触覚・体験コンテンツ産業の創出
 - 没入型エンターテインメント市場の拡張
 - 遠隔作業・技能共有プラットフォーム
 - 医療・福祉テック市場の高度化

感性を取り込むことで何が生まれるか②

- 技術的価値
 - 身体を含む情報理論(フィジカルAI)の発展
 - 人を理解するAI
 - 感情・情動をもつロボット
 - 新しいヒューマンインタフェース設計
- 文化的価値
 - 芸術・創作の新しい媒体
 - 身体表現のデジタル保存
 - 感性を共有する新しい社会関係

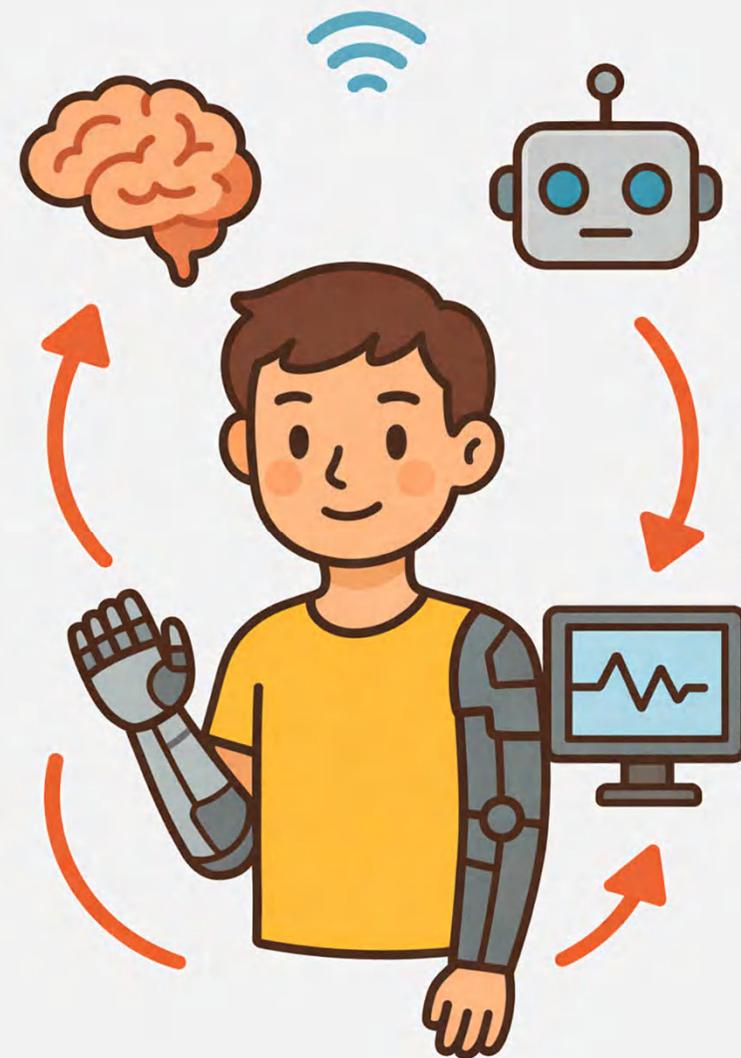
感性をICTに取り込むことで、人と社会を拡張できる

感性に対する既存の取り組み①

- 感性工学
 - 日本発の工学分野として発展
 - 感性を定量化、モデル化し、製品やサービス設計に活用する技術体系
- 人間工学
 - 人間と機械・環境との相互作用の最適化を目指す学際領域
 - タスク効率と安全性の評価が中心
- 脳・神経科学
 - 感性(感情、情動)を脳活動のパターンとして捉え、その基盤機構を明らかにする

感性に対する既存の取り組み②

- サイバネティクス
 - 生物と機械における通信と制御を統合的に扱う学問
 - 自動修正(フィードバック)を重視する人間理解の枠組み
 - 感性そのものの扱いは限定的
- フィジカルAI
 - 人間の身体性を人工システムに導入
 - 主に運動制御や適応機構を扱う
 - 感性や体験の質にまで踏み込んだ設計思想は少ない



「身体を介した動的体験としての感性」はフロンティア領域

デジタル感性

人間の感性を、計測・モデル化・共有可能にし、
体験そのものを情報として扱うためのICT基盤

- 視覚・聴覚中心の情報通信を超え、触覚・運動感覚・身体状態、さらには嗅覚、味覚、その他すべての感覚を含む、個人の体験全体を扱う枠組み
- 目的は感覚提示だけではなく、感性の理解・共有・拡張
- 身体・認知・情動・行為の循環をデジタル環境に実装する試み

「情報社会」から「体験社会」への転換

デジタル感性を実現する要素技術

- Sense(計測): 身体・生体・行動・環境
- Model(推定): 状態・負荷・上達・不快・安心
- Design(設計): 最適な介入タイミング・強度・様式
- Feedback(提示): 触覚・力覚・視聴覚・運動誘導
- Evaluate(評価): 継続率・安全・成果・満足

重要ポイント:

- デバイス、AI、通信などの統合技術領域
- 身体⇔行為⇔感覚 の循環が核
- 情報伝達ではなく体験共有
- 実装の鍵はリアルタイム性

海外で実施中の関連プロジェクト

- IEEE 1918.1 Standardization — Tactile Internet(2015～)
 - Tactile Internetのリファレンスアーキテクチャおよび通信要件定義を標準化する国際ワーキンググループ活動
- TOAST – Touch-Enabled Tactile Internet Training Network (EU,2025～)
 - EU Horizon Europe のトレーニングネットワークとして、Tactile Internet(触覚インターネット)技術の教育／研究インフラ構築を目指す
- Horizon Europe: Cluster 4 — Digital, Industry and Space (EU,2023～)
 - デジタル技術全般、ヒューマンセンシング・人間中心インタラクション含むテーマの公募群
- NSF: Perception, Action & Cognition (PAC) Program、Cognitive Neuroscience Program、Science of Learning and Augmented Intelligence Program、Human-Centered Computing / Human Networks and Data Science Programs(USA,2026～)
 - 人間の知覚・行為・認知、感性／認知の神経基盤、学習／感性支援AI、人間中心インタラクションに関する公募群

日本で実施中の関連プロジェクト

- ムーンショット目標1「身体的共創を生み出すサイバネティック・アバター技術と社会基盤の開発」(2020～)
 - 触覚・身体性を含む「共有身体体験」がテーマ
- ムーンショット目標1「誰もが自在に活躍できるアバター共生社会の実現」(2020～)
 - 遠隔での体験・存在の共有を国家目標として推進
- SIP第3期「バーチャルエコノミー拡大に向けた基盤技術・ルールの整備」(2023～)
 - サブ課題に「身体性インターバース技術」があり、ハプティクス等を含む社会実装を設計するコンソーシアムが採択
- NEDO「ポスト5G情報通信システム基盤強化研究開発事業」(2020～)
 - 超低遅延・高信頼通信を含むポスト5G技術の基盤研究開発

欧米はAIと標準化中心、日本の強みは、ロボティクス、ハプティクス

ハプティクス(Haptics) とは

- 「ハプティクス」とは？
 - 触覚、力覚にまつわる研究領域を示す用語
 - 体性感覚に対し、力、振動、圧力などの刺激を与えて、情報を伝える技術(狭義の触覚より広い領域)
- ハプティクス関連技術
 - センサ
 - 力覚、触覚、光学、バイOMETリック(心拍、筋電)
 - アクチュエータ
 - 機械系、電気系、その他(磁気、熱…)
 - フィードバック
 - 力、振動、温度
 - デザイン
 - UI/UX、形状
 - 通信
 - 有線、無線、規格

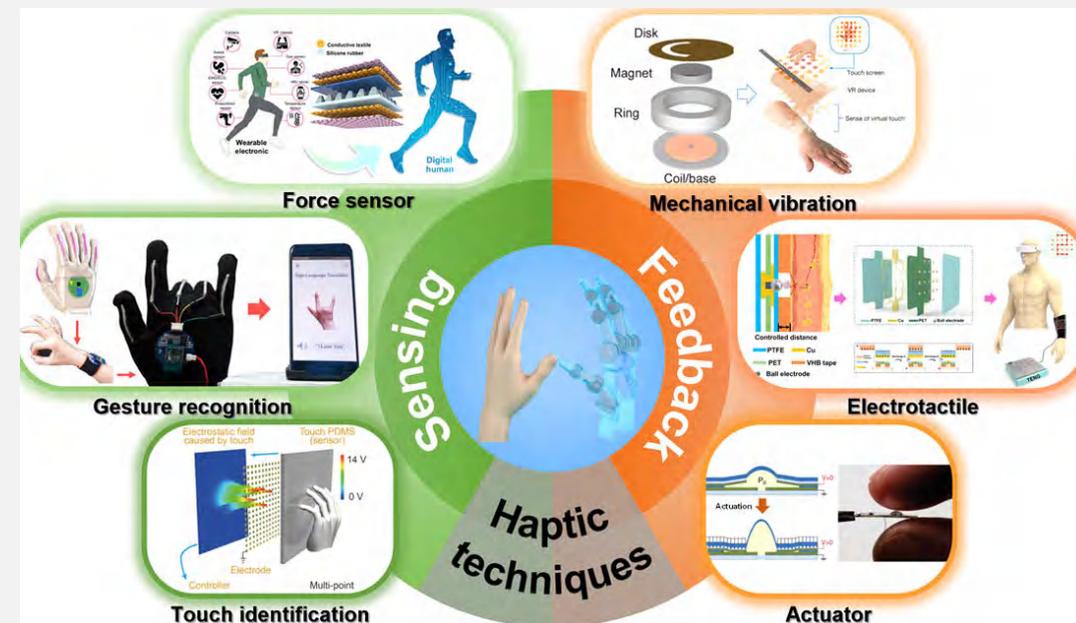


Fig. 1. Haptic sensing and feedback techniques.

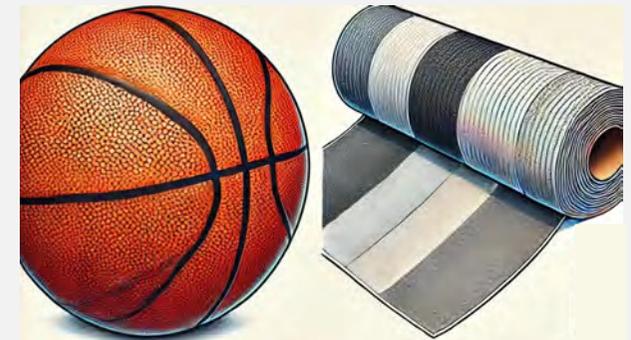
Shi, Y., & Shen, G. (2024). **Haptic sensing and feedback techniques toward virtual reality**. *Research*, 7, 0333.

付加価値を与える触感

- [1] Schifferstein (2006)
- [2] Krishna and Morrin (2008)
- [3] Krishna *et al.* (2010)



- 樹脂素材を中心としたプロダクト製品が主流になり顧客に興味を持たせる為に造形や表面の質感が重要な要素になっている
 - 見た目の第一印象は, 商品に興味も持たせ手に取らせる効果がある
 - 触感や音, 匂い, 重さなどとの相乗効果により, 顧客に高い品質やブランドアイデンティティの影響を与え, リpeatにつながる
- 触感, 触り心地による付加価値
 - 消費者は製品評価において触覚を視覚の次に重視^[1]
 - 食品容器の触感や重さにより味覚品質を高められる^[2]
 - 製品の触感と香りの適合により製品評価が向上^[3]



品質向上のためには触感のモダリティも重要

心理学における触覚の重要性

THE AMERICAN PSYCHOLOGIST
THE NATURE OF LOVE¹

HARRY F. HARLOW
University of Wisconsin

THE AMERICAN PSYCHOLOGIST
NATURE OF LOVE—SIMPLIFIED¹

HARRY F. HARLOW AND STEPHEN J. SUOMI
University of Wisconsin

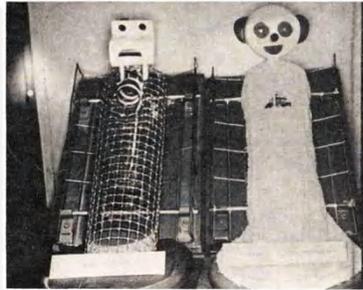


FIG. 1. Cloth and wire surrogate mothers.

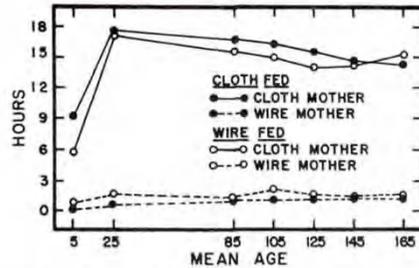


FIG. 2. Contact time to cloth and wire surrogate.

子ザルは代理親として柔らかい触感の親ザル人形を選んだ
たとえそれがミルクを与えてくれなくても

温かいタオルを巻いたもの



FIG. 13. Infant clinging to and exploring from warm simplified surrogate.

タオルの温度を下げた場合

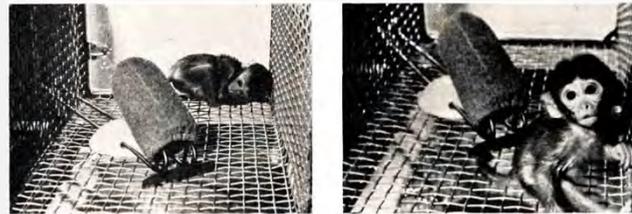


FIG. 14. Typical infant reactions to cold simplified surrogate.

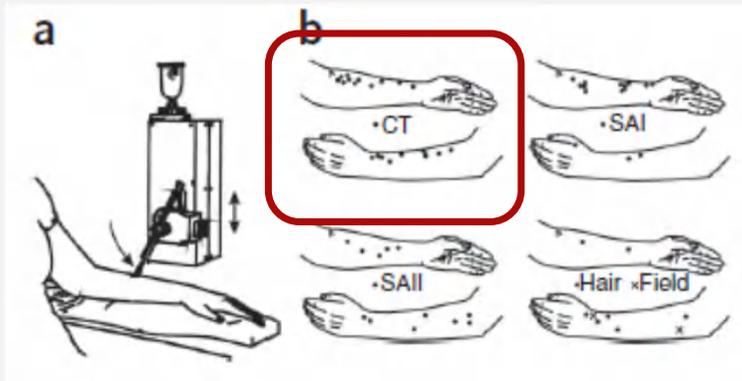
代理親ザル人形は、柔らかく温かければサルの形をしている必要もない
「柔らかさと温かさ」に寄り添い、起点として探索行動を行う

社会的な動物には、こちよ接触が重要な価値になっている

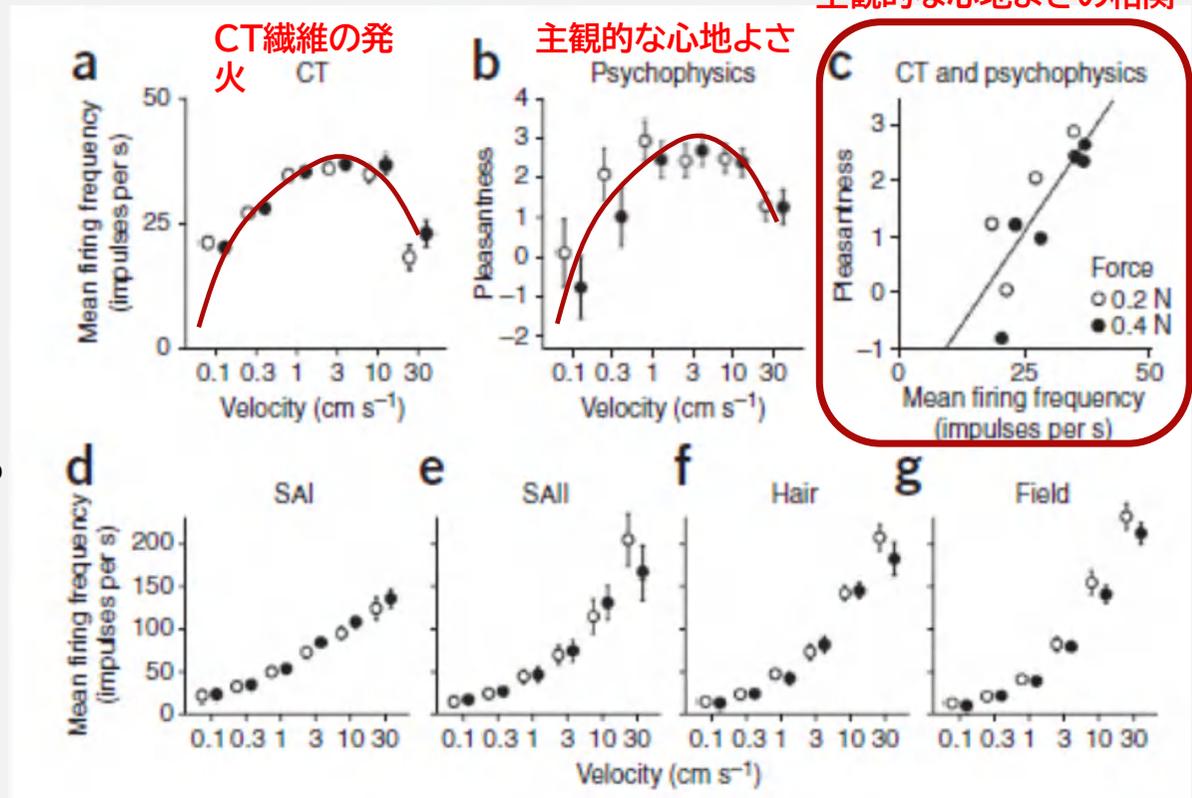
ヒトの無髄求心性線維による快適接触の符号化

心地よい接触に特化した神経線維 CT(C-Tactile)線維の発見

CT線維の発火と
主観的な心地よさの相関



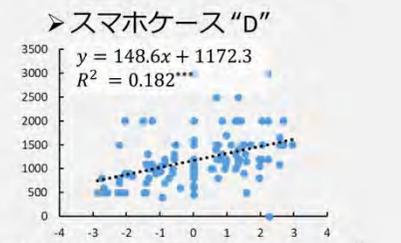
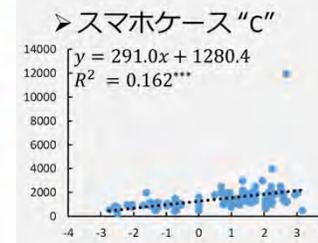
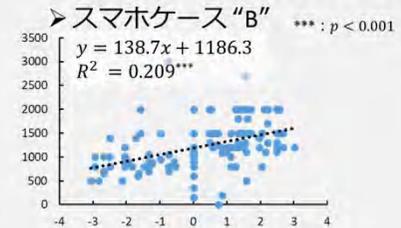
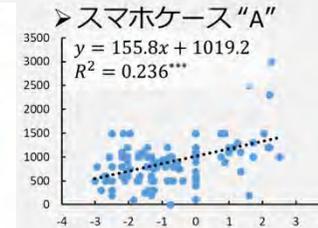
CT線維は身体の背側面・有毛部に多く分布している
> 哺乳類のハグの際に手のひらが触れる部分



CT線維のみ、その発火頻度が「主観的な心地よさ」
の変動に追従する

心地よさをコードする神経線維が存在する

触感が与える付加価値に関する実験



実験で用いた触感の定義

SURFACE ROUGHNESS PARAMETERS USED IN THE EXPERIMENT

Surface Type	Arithmetic Mean Roughness (Ra)	Maximum Height (Rz)	Average Roughness (Rsm)
A	0.07	0.82	129
B	1.69	9.53	99
C	0.65	4.45	162
D	1.06	10.63	179



サンプル	デフォルト100円の時(平均)	デフォルト1000円の時(平均)
A	140.482円 (約1.4倍)	880.2878円 (約0.88倍)
B	221.6547円 (約2.2倍)	1223.885円 (約1.2倍)
C	256.0863円 (約2.6倍)	1510.468円 (約1.5倍)
D	209.4848円 (約2.1倍)	1190.288円 (約1.2倍)

Yoshihiko Kadoya, Mostafa Saidur Rahim Khan, Somtip Watanapongvanich, Masahiro Fukada, Yuichi Kurita, Masato Takahashi, Hideyasu Machida, Kiyotaka Yarimizu, Nanako Kimura, Hiroko Sakurai, Kenji Nakamura, and Ryouko Ebara, Consumers' Willingness to Pay for Tactile Impressions: A Study Using Smartphone Covers, IEEE Access, 10:85180-85188, 2022

触感の価値と顧客の特徴

例：大学生がスマホカバー購入時

- 触感に対する評価には**製品の利用時間が影響**する(長時間ユーザーが高評価する触感がある)→ヘビーユーザー向け→付加価値UP
- 触感に対する評価には個人の**リスク選好が影響**する(リスク愛好家が高評価する触感がある)→攻めたコンセプト and/or 挑戦・タフ等のコピー→付加価値UP
- 触感に対する評価には**製品の買い替え頻度が影響**する(スマホの買い替え頻度が多い程ユーザーが高評価する触感がある)→先進性を追求した攻めたコンセプト→付加価値UP
- 触感に対する評価には**年齢に違い**がある(年齢を重ねると高評価する触感がある)→若さor落ち着いたコンセプト→付加価値UP
- 触感に対する評価には**世帯構成が影響**する(独居のユーザーが高評価する触感がある)→相棒・ペット的なコンセプト? →付加価値UP

商流データ



製造データ



触感が重要でない財・サービスのDX
(原材料他、資本財の多く)

触感や固有感覚が重要な財・サービスのDX
(最終消費財 & 体験サービスのほぼ全て)



商流データ
製造データ
体験データ
健康データ
遠隔就労データ

[マーケット規模]

インダストリアルデザイン：400億ドル(2020)

フィットネスアプリ：11億ドル(2021)

遠隔就労支援：1516億ドル(2022)

インターネットでデジタルハブティクスの
タッチポイントを日本が獲る



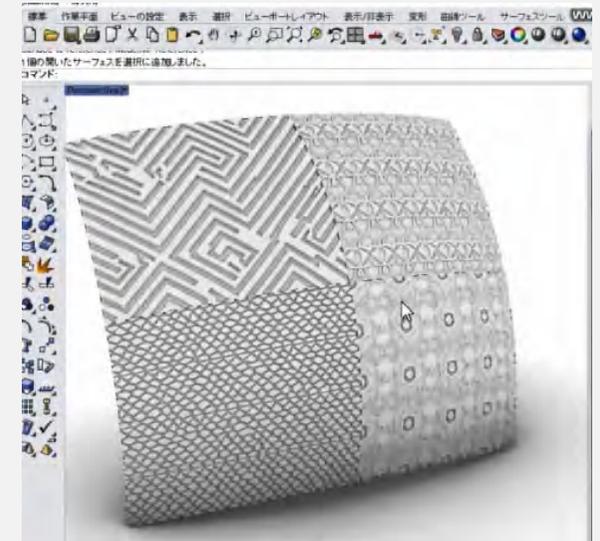
デジタルハブティクス

内閣府戦略的イノベーション推進プログラム（SIP）
バーチャルエコノミー拡大に向けた基盤技術・ルールの整備
デジタルハブティクス&エクスペリエンス経済圏拡大のための基盤技術開発
2023年度～2027年度

委託先代表機関：広島大学（研究責任者：栗田雄一）
再委託先機関：近畿大学、奈良女子大学、産業技術総合研究所、
DIC株式会社、株式会社ピクセルエー

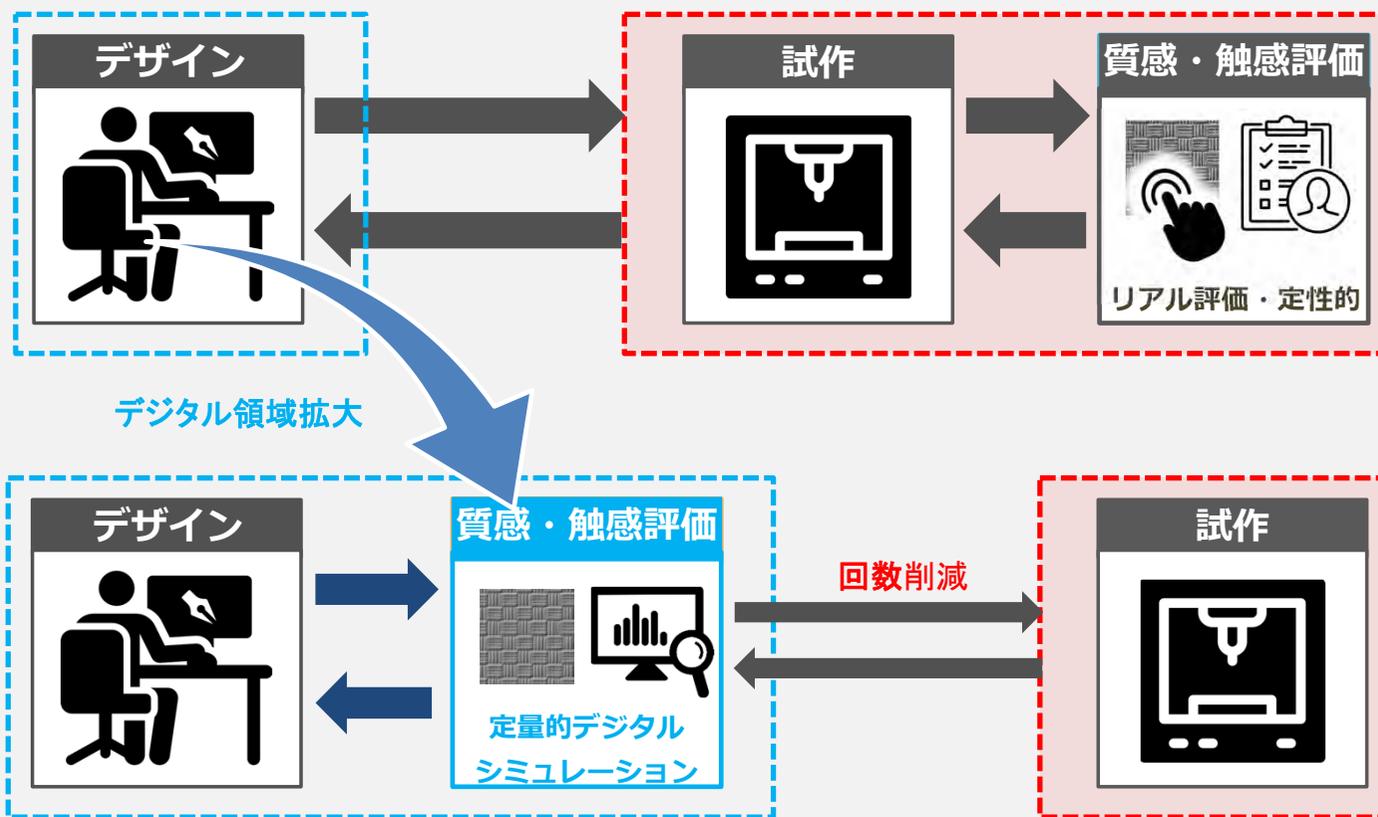
サーフェスデザインと質感

- シボ加工は、傷を目立たせない機能的な加工として利用されていたが、シボ意匠による質感向上にも使われるようになった
- プラスチック等の質感向上を目的にデジタル技術・加工技術を活用した進化が起きている
 - 3Dテクスチャによる複雑な光の反射や陰影表現
 - 微細で緻密な不規則性のある質感による高解像度の質感表現
 - 触感による質感向上

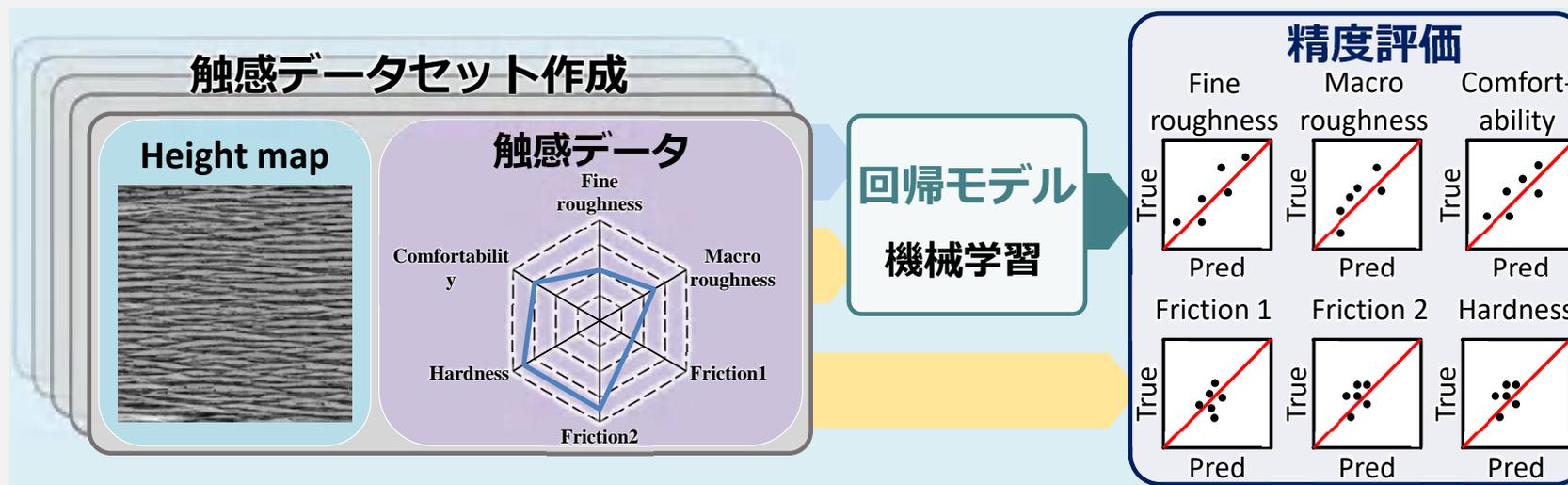


触感デザインのコストダウン

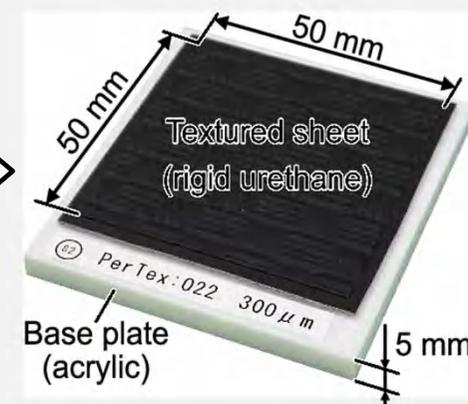
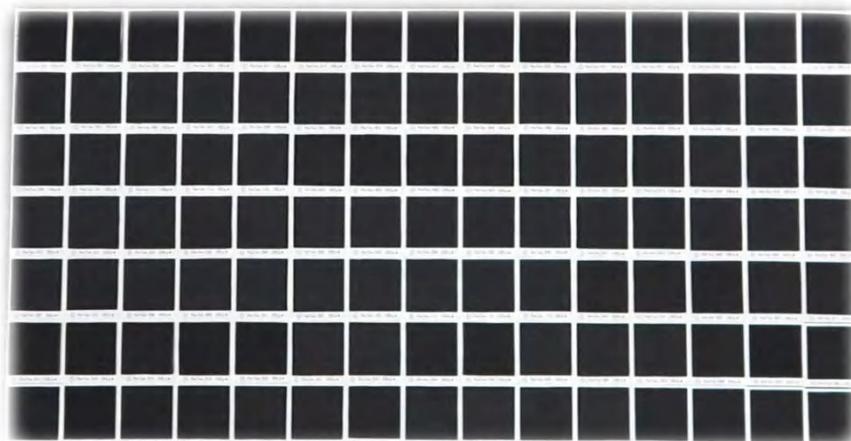
- 従来は触感の確認には、実際のサンプル試作を行うことが必須であったが、表面仕上げにおける、触感を含めた質感評価のデジタルシミュレーションを可能にする。
- 触感を客観評価できる数値データに変換する(デジタル化)により、これまですべてサンプルの授受により行っていた内装材等の開発時間を大幅に短縮し開発期間の短縮と低コスト化を図る。



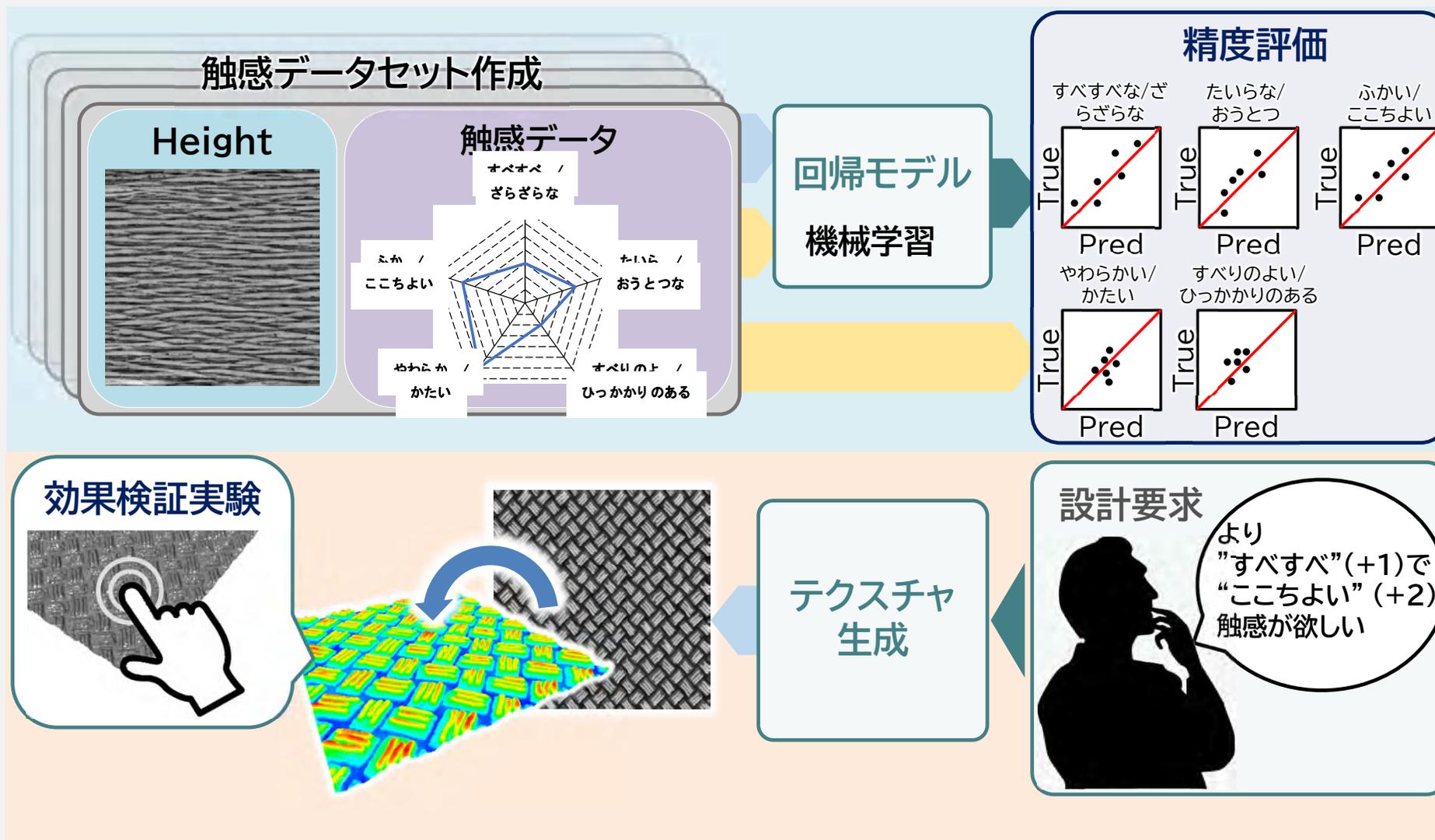
触感の推定アルゴリズム



形状の異なる全105種類のサンプルを作成

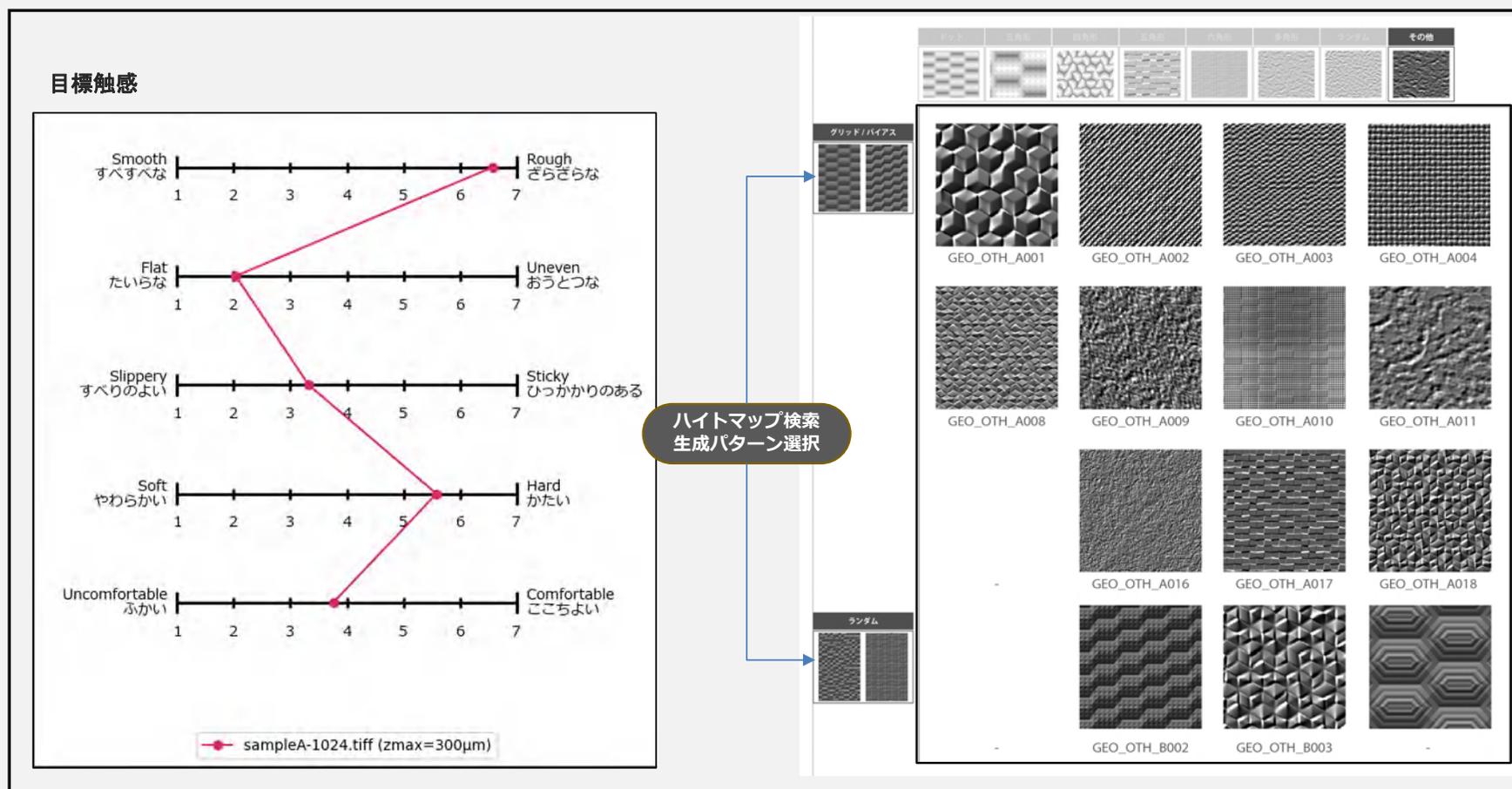


所望の触感を生成するアルゴリズム



触感の検索・生成AI

- 表面形状パターンを入力すると、その推定触感値を出力
- 所望の触感を入力すると、ハイトマップデータベースから提案



- 世代
- 指定無し
 - d世代(-13歳)
 - Z世代(13-27歳)
 - Y世代(28-42歳)
 - X世代(43-58歳)
 - それ以上(59歳-)

- 性別
- 指定無し
 - 女性
 - 男性

- 材質
- PU
 - PP
 - PC
 - ABS
 - PC/ABS

触感検索

すべすべな ざらざらな

1 2 3 4 5 6

有効

たいらな おうつな

1 2 3 4 5 6

有効

すべりのよい ひっかかりのある

1 2 3 4 5 6

有効

やわらかい かたい

1 2 3 4 5 6

有効

ふかい ここちよい

1 2 3 4 5 6

有効

結果一覧

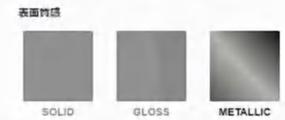
- 005-id 幾何学模様
- 019-id 幾何学模様
- 012-id 幾何学模様
- 020-id 幾何学模様



テクスチャ



HEX #eda891



テクスチャスケール

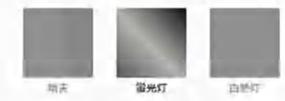
100 %

最大深さ

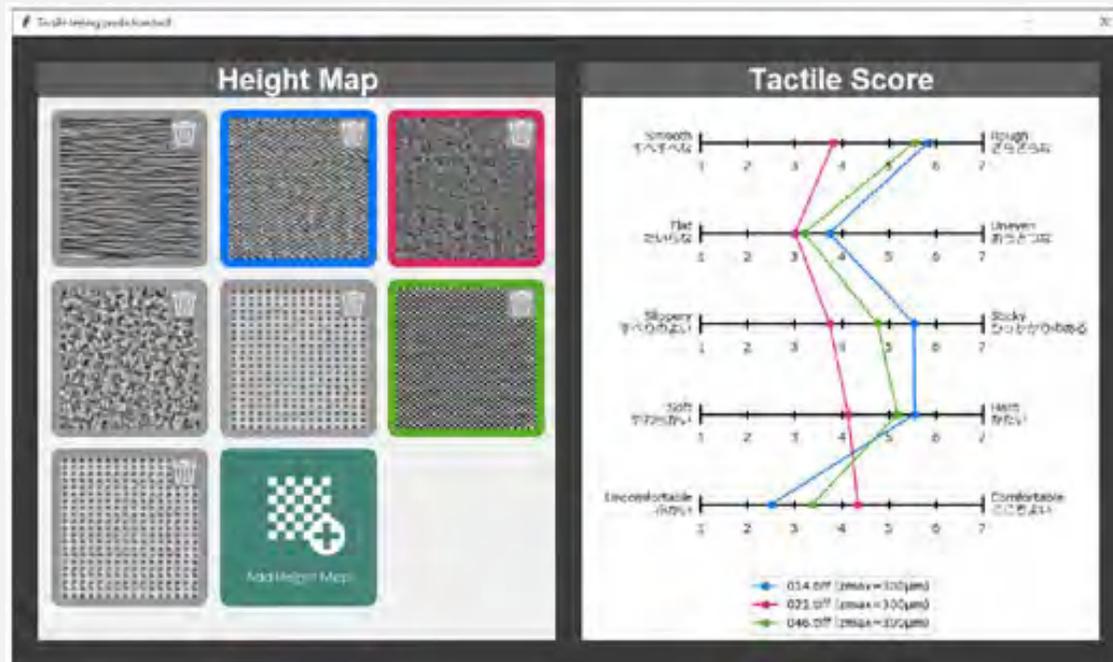
0.1 mm



光源設定



触感デジタルデザイン支援ツール



デジタルオブジェクトの表面触感を予測・数値化できる触感デジタルデザイン支援ツール

広島大学栗田雄一研究室
[https://www.bsys.hiroshima-u.ac.jp/kurita/work_j_digitalhapt2022.html]

広島大学

【研究成果】デジタルオブジェクトの表面触感を予測・数値化できる触感デジタルデザイン支援ツールを公開

研究成果のポイント

- 表面テクスチャのハイトマップ画像を入力すると、それを人が触ったときの粗さ感、凹凸感、滑り感などの触感を高精度に予測できるアルゴリズムを開発しました。
- また、CADソフトウェアで作成したオブジェクトデータを指定すると、そのハイトマップ画像を生成できるアルゴリズムを開発しました。
- これらを組み合わせることで、CADで作成したデジタルオブジェクトデータから、物理的サンプル作成は一切はさむことなく、触感スコアを予測してユーザーに表示することが可能となりました。

AppliCraft

Grasshopperによる高付加価値・触感デジタルデザイン2022

—広島大学大学院先進理工系科学研究科・栗田雄一研究室・株式会社アプリクラフト共同プロジェクト—

デジタルオブジェクトの表面触感を予測できる触感デジタルデザイン支援ツール

概要

広島大学大学院先進理工系科学研究科・栗田雄一研究室と株式会社アプリクラフトは、2020年に公開した「Grasshopperにおける高付加価値・触感デジタルデザイン」に続く研究テーマとして、「高度な試作モデルを作成することなく、数値的に評価する事」を目的に、コンピュータシミュレーション手法によるさらなる「表面処理生成機能の拡張」と、「デジタル上で生成された3Dデータハイトマップを画像化し、出力するアルゴリズム」をGrasshopperを使用して作成しました。

「高度な試作モデルを作成することなく、3次元デジタルオブジェクトの表面処理加工と画像データ解析から、実物が有する触感を、数値的に評価するソフトウェア」

3次元CADなどで使用されるデジタルデザインにおける表面処理方法において、DMFという概念が一般化されていますが、モデルを実体化するためには、①3次元のCADデータを切削など精度の高い試作を作成する方法と、②フォトリソグレイなどで表されるハイトマップ画像という表面の凹凸を高さによりグレースケールで処理した画像を基にレーザー加工で作成する方法があり

ユーザ属性の考慮によるパフォーマンス向上

✓ 性別



✓ リスク選好



✓ 性格 (外向性, 協調性 etc.)



ターゲット		すべすべな ざらざらな	たいらな おとつな	すべりのよい ひっかかりのあ る	やわらかい かたい
性別	男性	*	** *		
	女性				
リスク選好	愛好			*	*
	中立			** *	
	保守	** *		** *	
外向性	High				*
	Low				
協調性	High				
	Low				
勤勉性	High				
	Low				*
神経症傾向	High				
	Low			*	
開放性	High		*		** *
	Low		*		

触覚から価値判断をつくる脳の情報処理過程

作成協力:産業技術総合研究所・金山範明氏

経済学的検証で価格上昇が確認された手触りの素材



400名に対しての実証実験

Kadoya Y, Khan MSR, Nabeshima H, Kuramoto Y, Kurita, How surface texture affects consumers' willingness to pay: Evidence from smartphone covers. PLOS ONE 20(12): e0338004, 2025

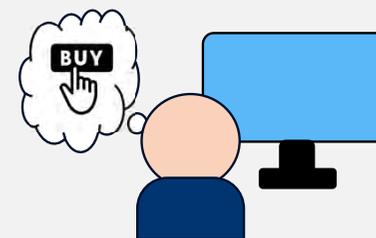


脳科学実験で採用

接触確認フェイズ

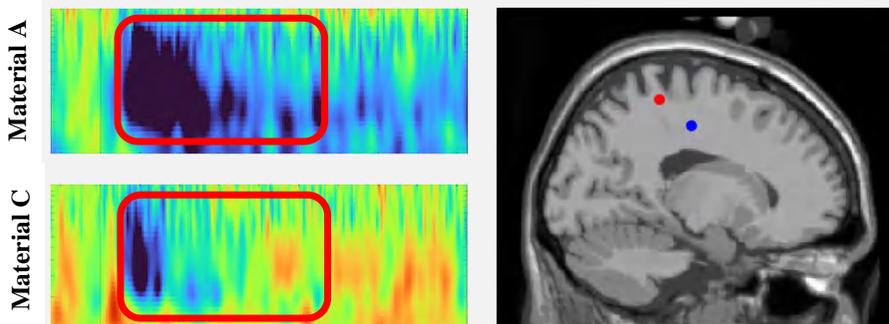


購入判断フェイズ



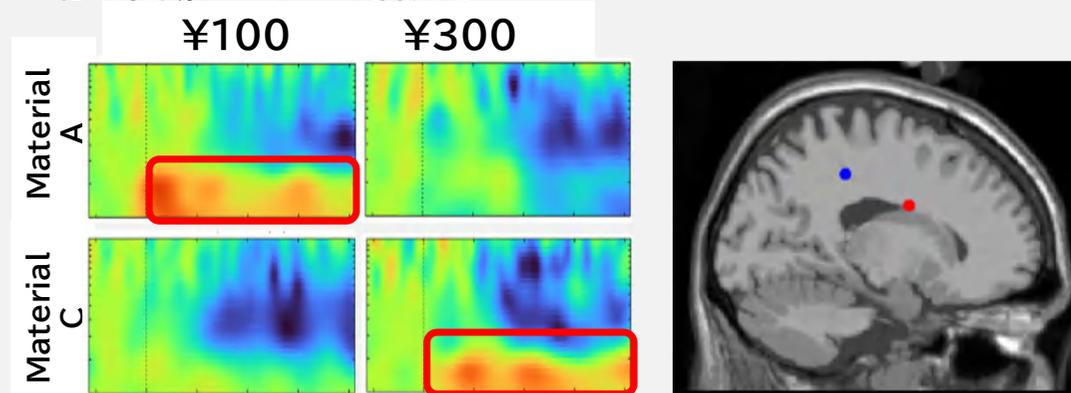
人々が価値判断する情報処理フェイズを分離してそれぞれ脳計測

接触フェイズの脳反応



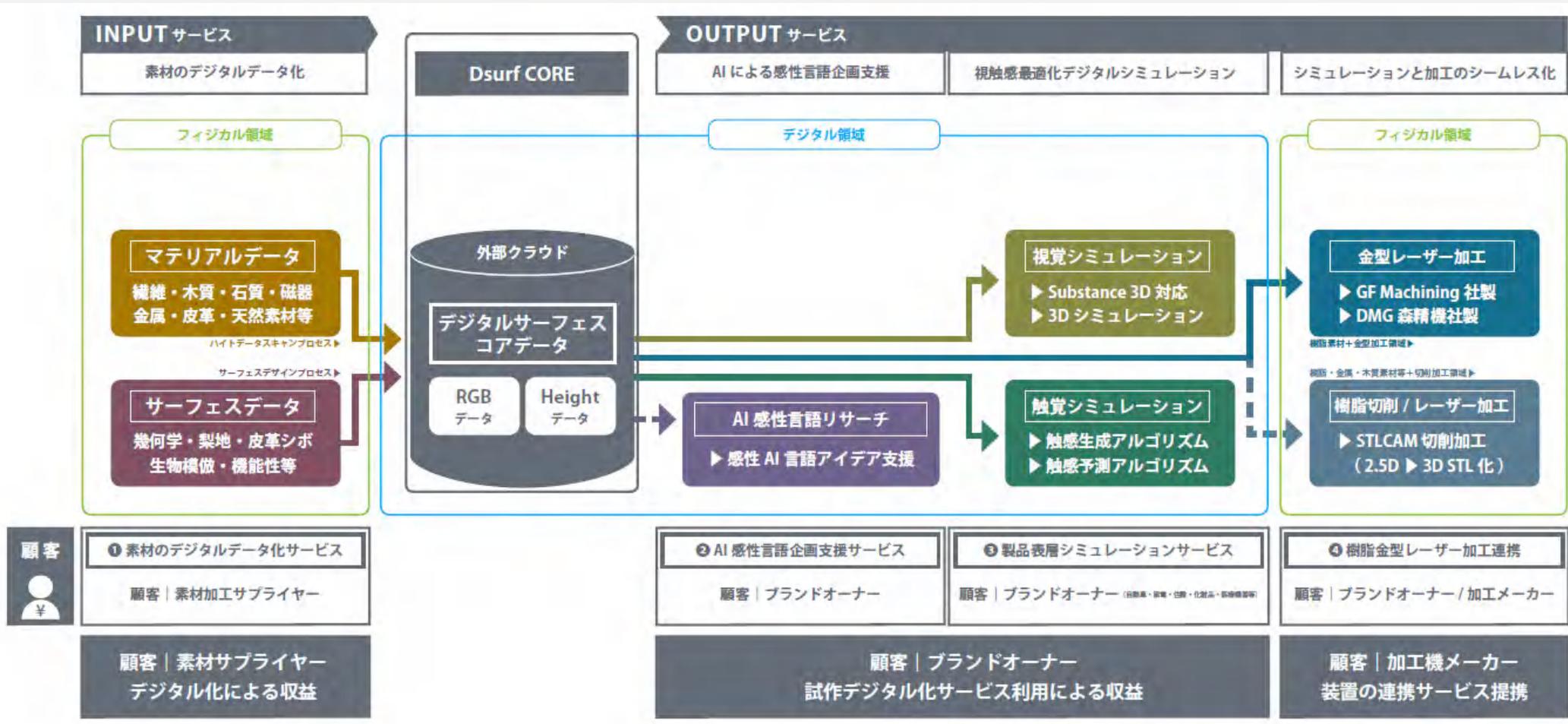
- 体性感覚野で接触の情報処理が行われている
- ザラつきがあり触感の良くない素材Aで強い反応

購入判断フェイズの脳反応

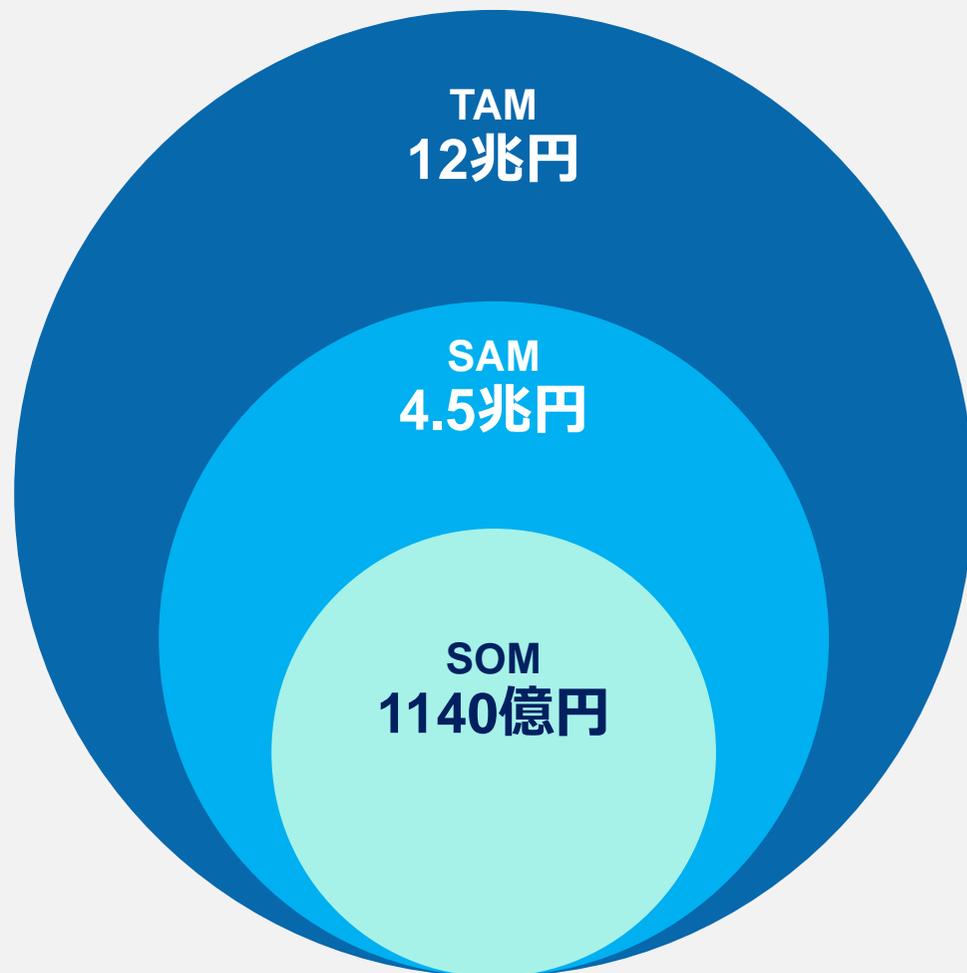


対象素材ごとに反応のある金額が異なる→価値判断に関連情報処理がある可能性

デジタルサーフェスプラットフォームとユーザサービス



市場規模+産業デザイン市場規模



■ TAM

- 表面(Surface analysis)分析市場
産業デザイン(Industrial market)市場をスコープに設置
- それぞれのグローバル市場を予測情報を基に2030年の市場規模を推定
<https://www.linkedin.com/pulse/surface-analysis-market-size-2026-drivers-dynamics-forecasts-l04he/>
<https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-surface-analysis-market>

■ SAM

- 表面分析市場規模(TAMと同じ)
産業デザイン市場のModel design and fabricationセグメントを対象
- それぞれの2030年の市場規模をCAGRをもとに推定

■ SOM

- $SAM \times \text{イノベーター比率}[2.5\%]$ で計算
- 市場シェアのMAXポテンシャルとして、イノベーター理論におけるイノベーター比率を想定

広島大学デジタルハプティクスコンソーシアム

プロダクトの価値向上や課題解決、デジタル化の実装加速を目的にデジタルハプティクス技術発信や教育、企業同士が標準化の仕組みを共有する場の提供

コンソーシアムの主な活動内容

トレンドセミナー

年 2 回の開催

サーフェスデザイン動向ハプティクス技術動向デジタル化技術の動向等

ワークショップ

会員へ随時開催

デジタルハプティクス技術のテスト体験や試作開発のトライなど

チュートリアル

会員へ随時開催

デジタルハプティクス技術についての講義や最新技術の紹介や教育

人材排出(オペレーター育成やエンジニア教育)



会員制(無料)

会員 | ブランドオーナー



プラットフォームの活用や機能向上に向けた議論
試作開発の共同研究

会員 | 素材メーカー



プロダクト製品の表層に使用されている素材メーカー製品のデジタル化支援

発信活動・外部連携

国内展示プロモーション

デジタルハプティクスコンソーシアムの活動紹介

外部連携

ほか協会などとの連携による会員のシェアやプロモーション活動

外部発信

ホームページによるデジタルハプティクス情報などの紹介・発信



「ハプティクスコンソーシアム」で検索
<https://www.dx-haptics.com>



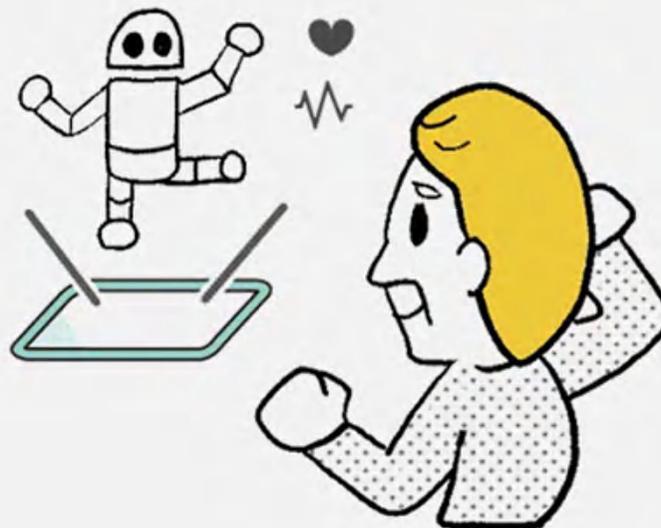
ユニバースとメタバースをつなぐデジタルハプティクス技術

触覚や運動覚を含めたハプティクス体験ができるプラットフォームを整備してデジタルデータと物理製品をつなげるスキームを創出し、インターバースを活用したプロダクト開発・ヘルスケア支援・体験伝送サービスの事業開発に挑んでいます

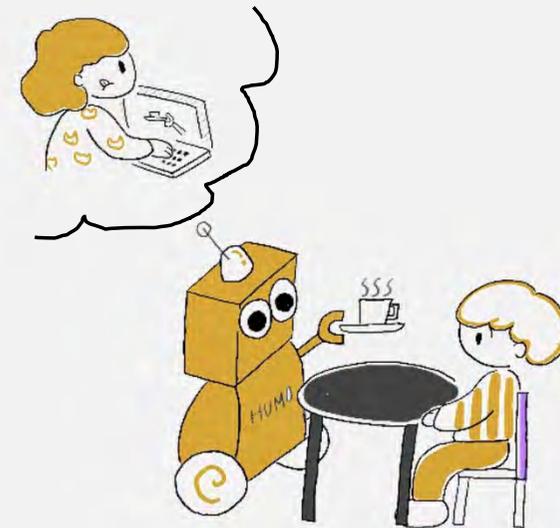
メタバースオブジェクトを
物理製品として手に入れる体験



インターバースを活用した
ヘルスケア・エンタテインメント



体験情報の共有・伝達による
遠隔就労支援



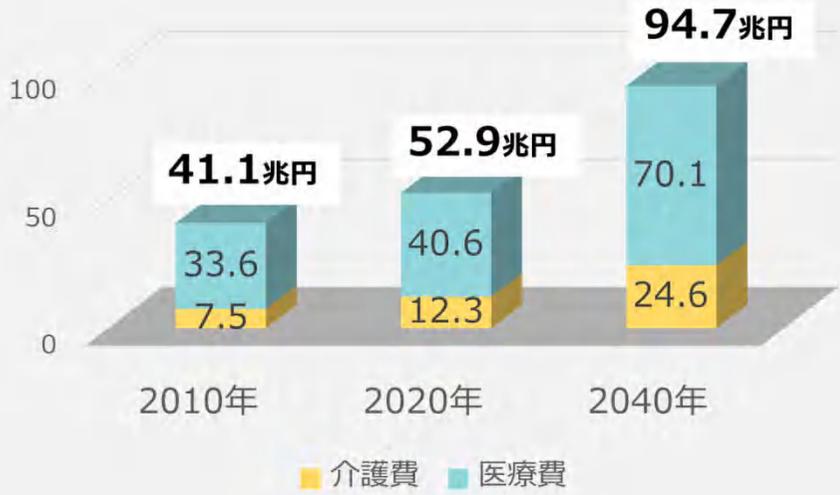
本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議「SIPバーチャルエコノミー拡大に向けた基盤技術・ルールの整備」（JPJ012495）（研究推進法人：国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）によって実施されています。

- ソフトアクチュエータを使った運動支援
- リモート医療、リハビリ支援と個別最適化トレーニング
- デジタルヘルスケア

産業インパクト:医療・リハビリ・ヘルスケア

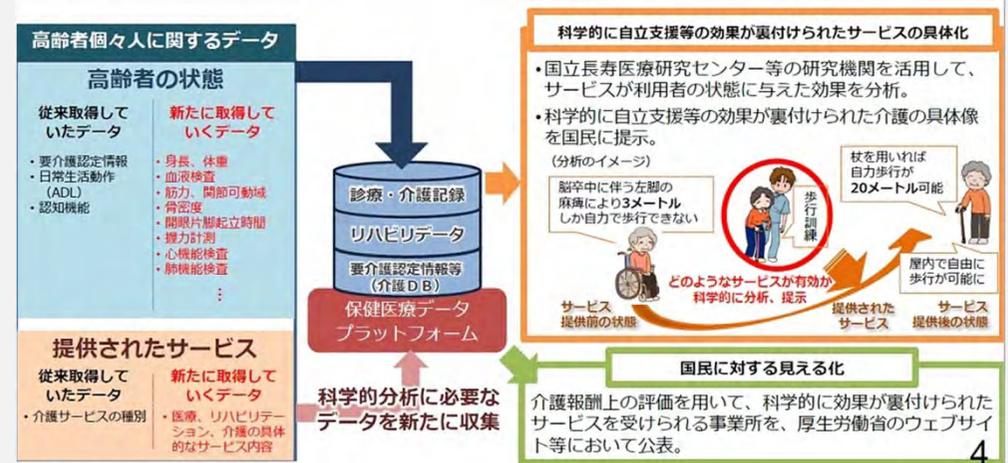
- 高齢化による社会保障費の増加、就労人口減少による医療現場の負担増など、構造的問題が山積み。
- 国の政策として、治療効果の客観的評価や、入院を減らし在宅での医療・リハビリを促進。
- 治療効果を客観評価するシステムや、遠隔で患者とのコミュニケーションや診療をできるシステムの必要性が高まっており、一部はすでに現場レベルで使われ始めている。

医療・介護費が増大しており、構造改革が不可避



内閣官房・内閣府・財務省・厚生労働省 2040年を見据えた社会保障の将来見直し

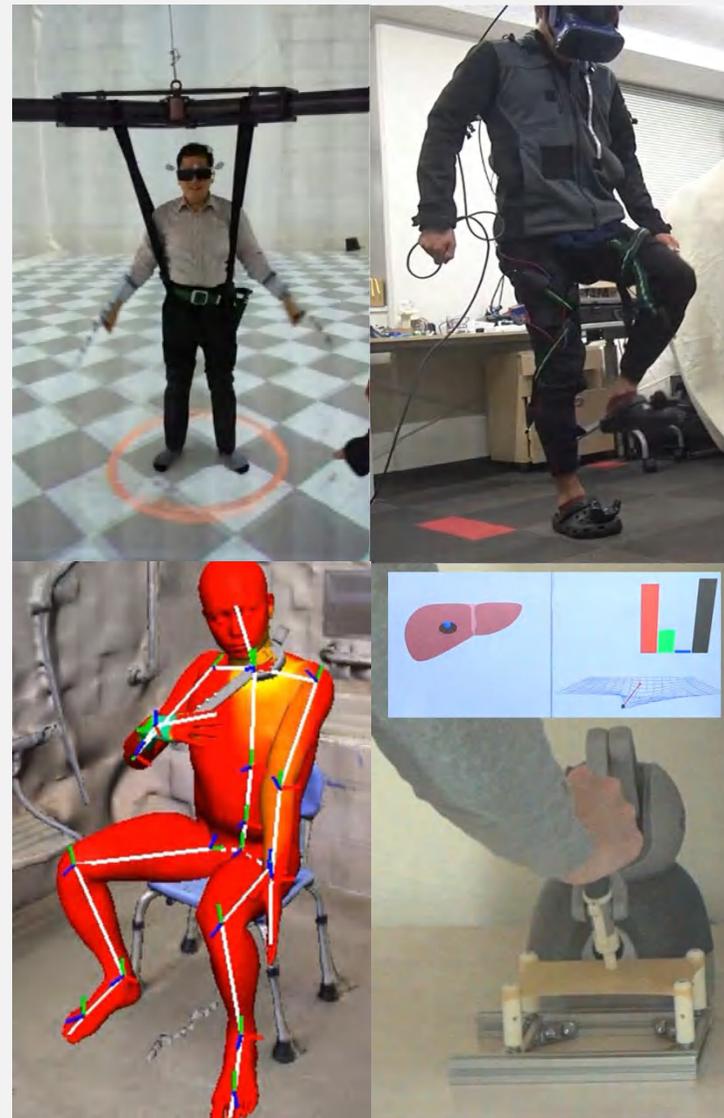
科学的介護を実現するプロセスが検討されている



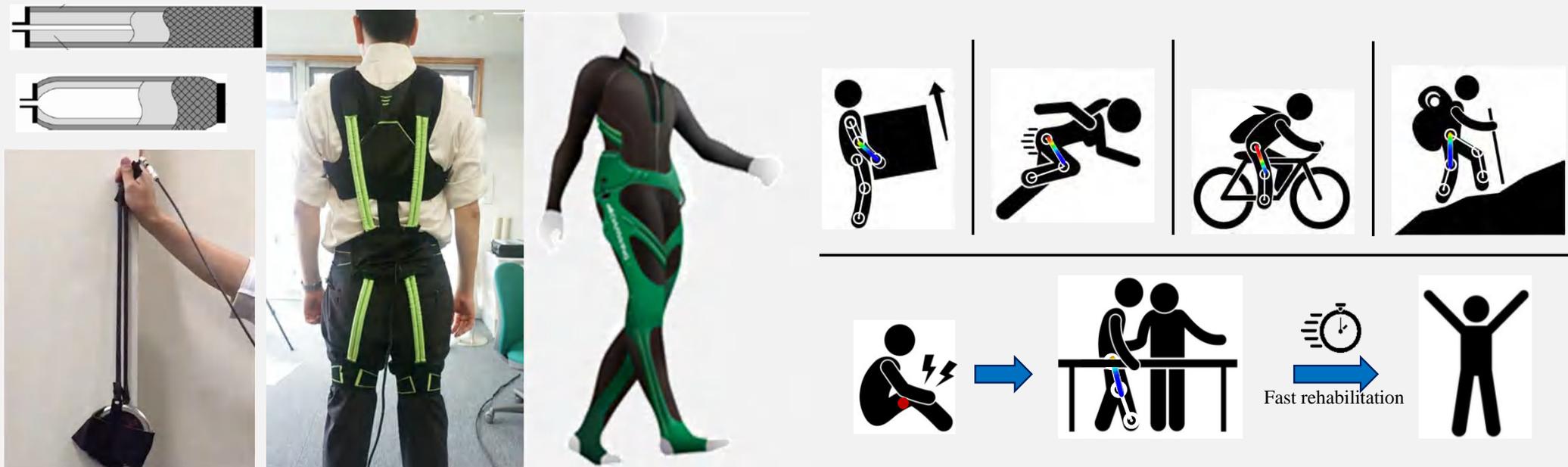
未来投資会議 構造改革徹底推進会合 「健康・医療・介護」 会合

身体感覚を取り入れた実質現実:フィジカルVR

- Virtual Reality = 実質現実 ≠ 仮想現実
 - 体験を実現するためのすべてのモダリティを再現することが目的
- 触覚・力覚(ハプティクス)の活用
 - 現状で先行している視覚、聴覚の次に実装されるモダリティとして、触覚・力覚が有望視
 - ハプティクス技術は、身体感覚の再現に必要不可欠
- フィジカルVR技術により、医療、リハビリ分野では、手術シミュレーション、術後のリハビリなどに応用可能



ソフトエグゾスケルトン(柔らかい外骨格スーツ)



- 安価・軽量・変形可能なウェアラブル空気圧人工筋肉を用いたアシストスーツ
- 職場における身体的負荷の軽減
- リハビリやトレーニングの補助運動
- スポーツ体験の向上への応用の可能性

人工筋ブーツを使った バランストレーニング(2024)

開発



- ・ 歩行中に外乱を付与
 - ・ 外乱への対応力強化
- ↓
- ・ 訓練による対応力向上
 - ・ 転倒事故の減少
- 健康寿命延命・QOL向上

効果検証

外乱装置としての有効性・トレーニング効果を評価

人工筋を使ったエクササイズゲーム(2023)



[Ramin et al. 2020]

Deep squats increases the risk of Anterior Crucial Ligament injuries (ACL)
[Comfort et. al. 2020]



Full squat (FSQ)
(Knee angle > 120°)



Dynamic Difficulty Adjustment

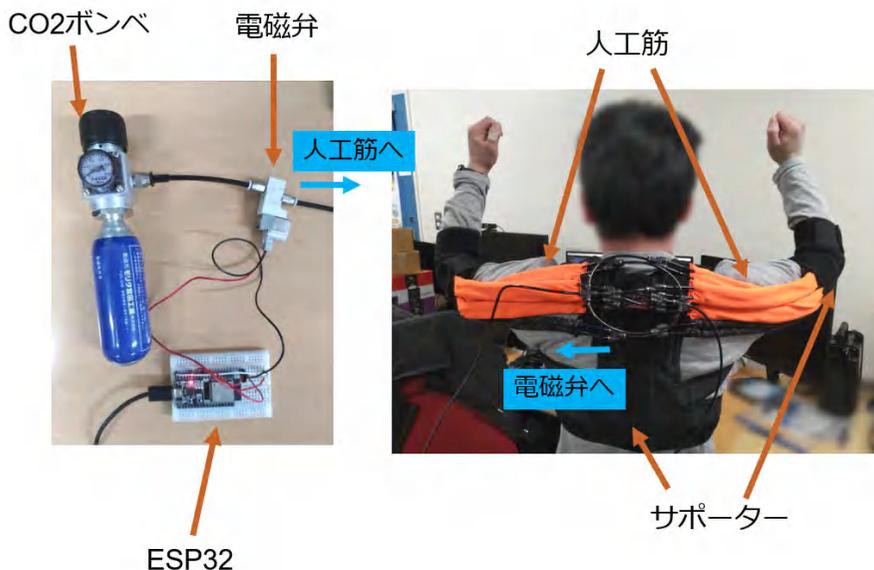
Current work

Skill based assistance and resistance with change in movement speed during squat game to provide parallel posture regulation

Parallel squat (PSQ)
(Knee angle =90°)

Postural control is recommended in all ADLs and several strength training programs

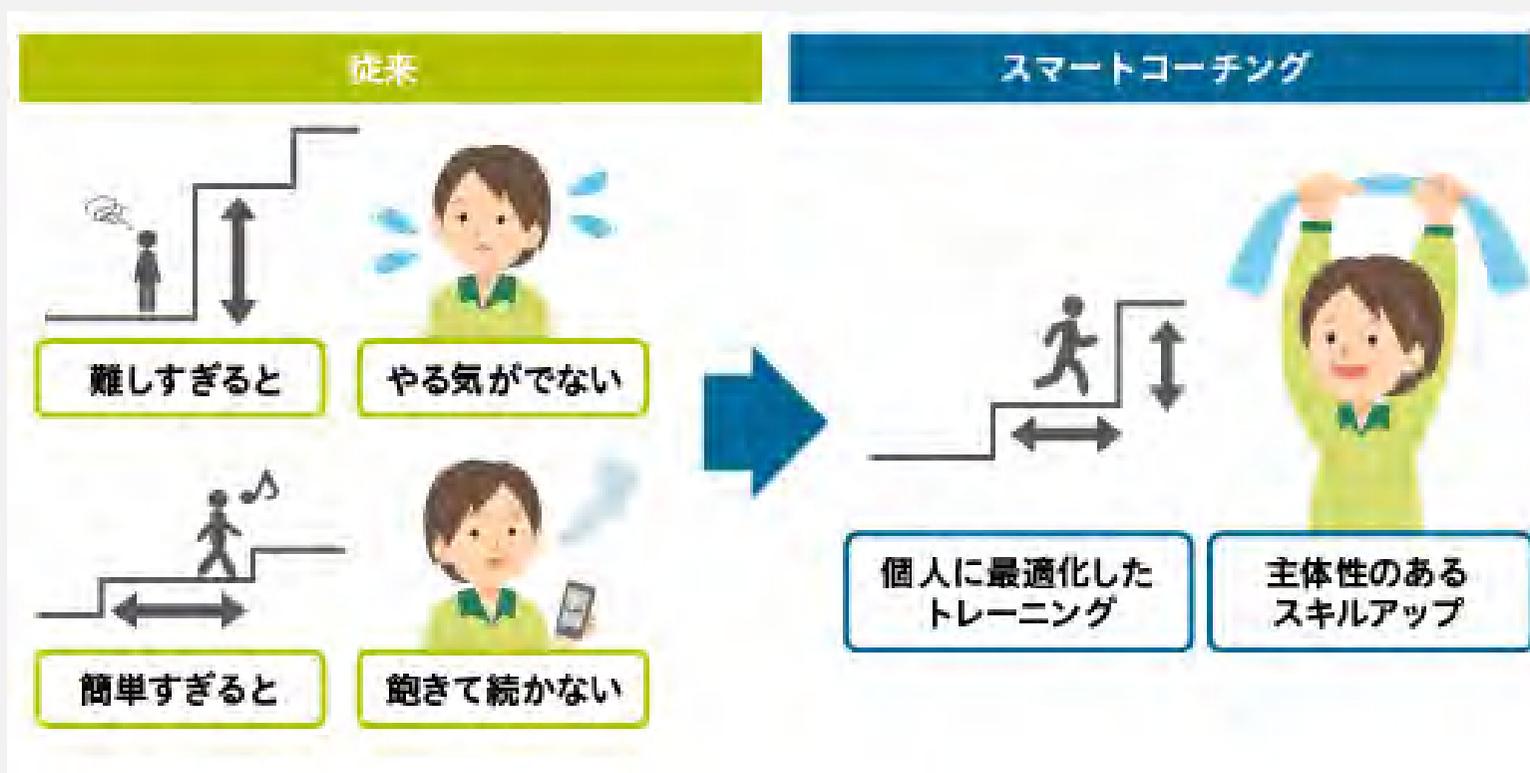
人工筋を使った筋トレ支援(2024)



人工筋グローブによるリハビリ支援(2023)

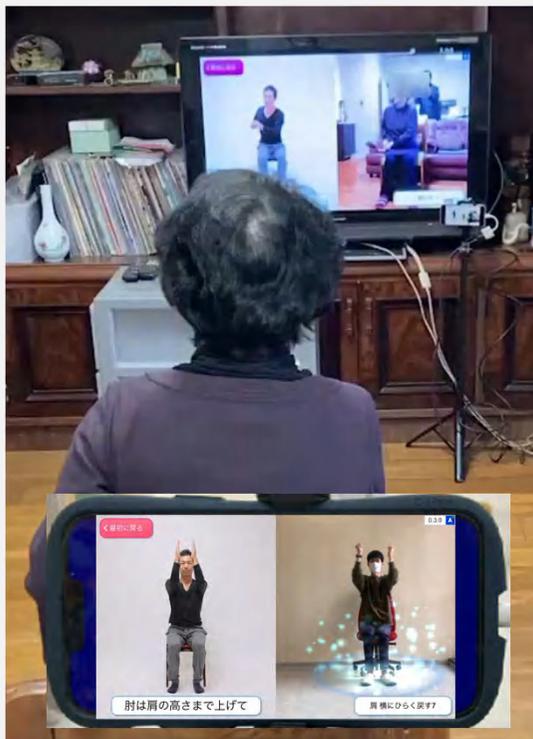


デジタル感性を活用したスマートコーチング

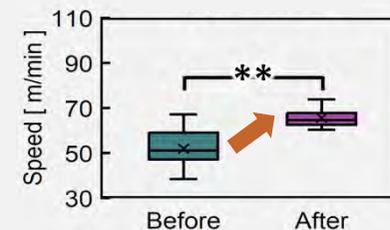


- 筋力の維持・増強には運動トレーニングが必要だが、継続できない人も多い
- 運動能力のデータ化により、個人に最適化した運動負荷を提供できる
- デジタル技術によるトレーニング支援と個人最適化により、モチベーションが維持・促進され、主体性のあるスキルアップトレーニングが可能に

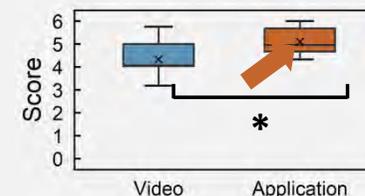
HealthyExercise: スマホで動作する体操支援アプリ



WALK SPEED



ARE YOU MOTIVATED?



- エクササイズゲーム理論に基づいたモチベーションを高める仕組み
 - 広大病院監修で作成した介護予防に有効なオリジナル体操54種類
 - 視聴覚効果を使って運動評価結果をリアルタイムにフィードバック
 - 過去の運動履歴に基づき次にすべき運動をリコメンド

Yuma Takeda, Kazuhiko Hirata, Masaomi Kurokawa, and Yuichi Kurita, Development of a system to support exercises for Successful Aging using smartphones and verification of its effectiveness, HCI International 2024

「能力に応じた難易度の設定」と「エンタテインメント性のあるトレーニング」

体操ゲーム

体操メニュー

体操練習

体操本番

評価結果



メニュー提案
意欲向上の観点から適切な体操を選択



動作評価
体操のでき具合を数値化

人工筋を用いた上体のトレーニング機器



正しい姿勢への誘導

人工筋により
負荷が調整される
扱いやすい器具

河辺 旺佳、栗田 雄一、人工筋による運動アシスト機能を備えた体操支援アプリの開発と検証、第26回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、3B6-06、2025

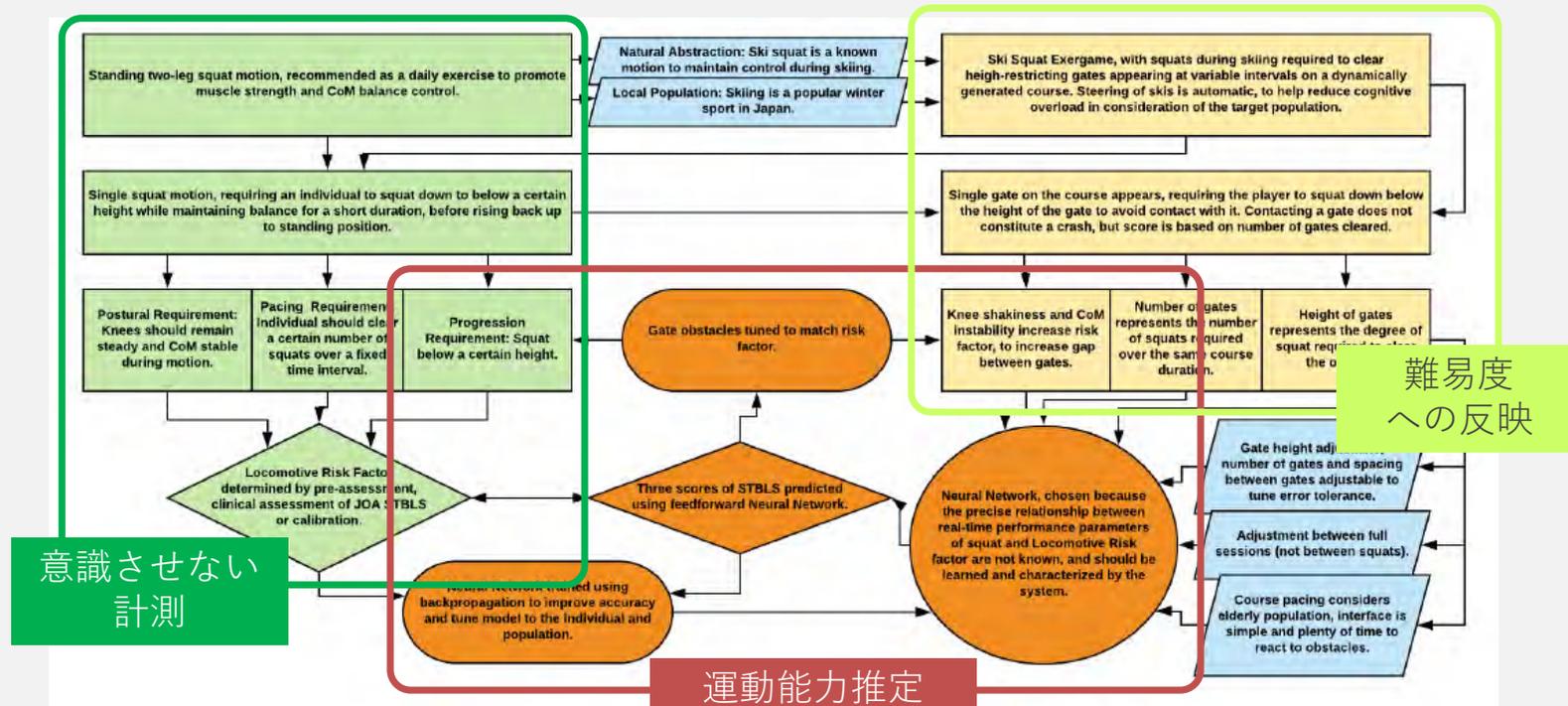
視覚と力覚の同時提示による階段昇降感の提示



Takumi Okumura and Yuichi Kurita, Cross-modal effect of presenting visual and force feedbacks that create the illusion of stair climbing, *Applied Sciences*, Vol.11, No.7, 2987, 2021

Stealth-Adaptive Exergame Design Framework

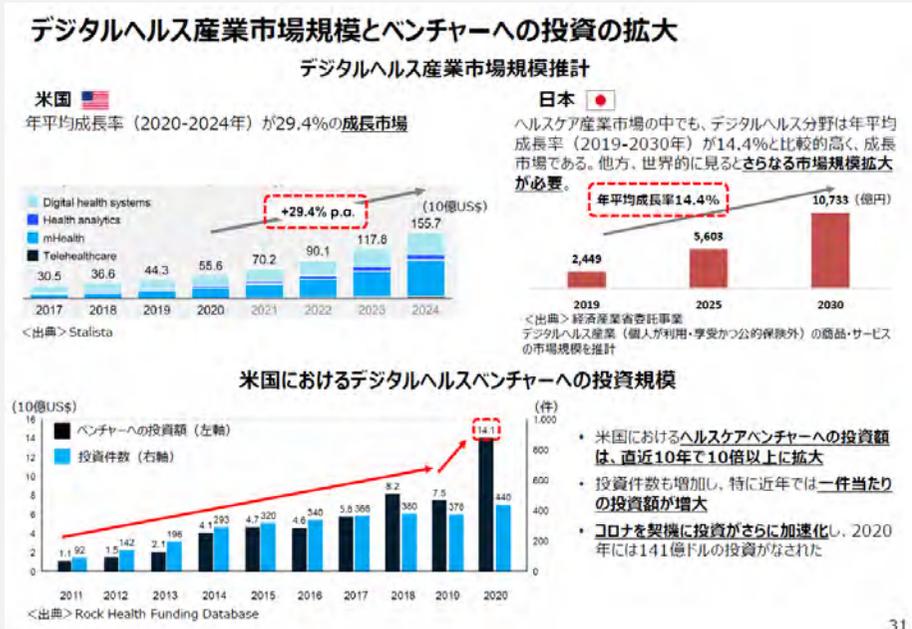
Tadayon et al., Stealth-Adaptive Exergame Design Framework for Elderly and Rehabilitative Users, HCI International Conference, 2020



- 「意識させない計測」「運動能力の推定とデータ蓄積」「トレーニング難易度への反映」による, AIを使った新しいデータヘルスケアのしくみ
- 意識させない計測: 計測に特別な動作をさせたり時間をかけたりさせない
- 運動能力の推定: 統計的手法や機械学習などを活用した定量化とデータ蓄積
- 難易度への反映: ユーザ能力に合わせた負荷や難易度の自動調整によるモチベーション維持とトレーニング効果向上

市場規模: デジタルヘルス・ウェルビーイング

- メンタルヘルス、デジタルヘルス(ウェルネス)、ウェルネスツーリズム、人的資本経営など、ウェルビーイング(Well-being: 身体的、精神的、社会的に良好な状態)に関する市場は、日本および世界で急速に拡大
- ヘルスケア・ウェルビーイング関連の市場は日本でも拡大を続けており、2020年時点の約25兆円から、2050年には約3倍の77兆円規模に成長すると試算
 - 経済産業省が健康経営優良法人認定制度を推進し、多くの企業が従業員の健康管理への投資を拡大



経済産業省「次世代ヘルスケア産業協議会の今後の方向性について」(2018)



経済産業省「新しい健康社会の実現に資する経済産業省における施策について」(2024)

- 運動感覚の設計
- 使いやすい人間機械インタフェース
- 効率性の高い遠隔就労の実現

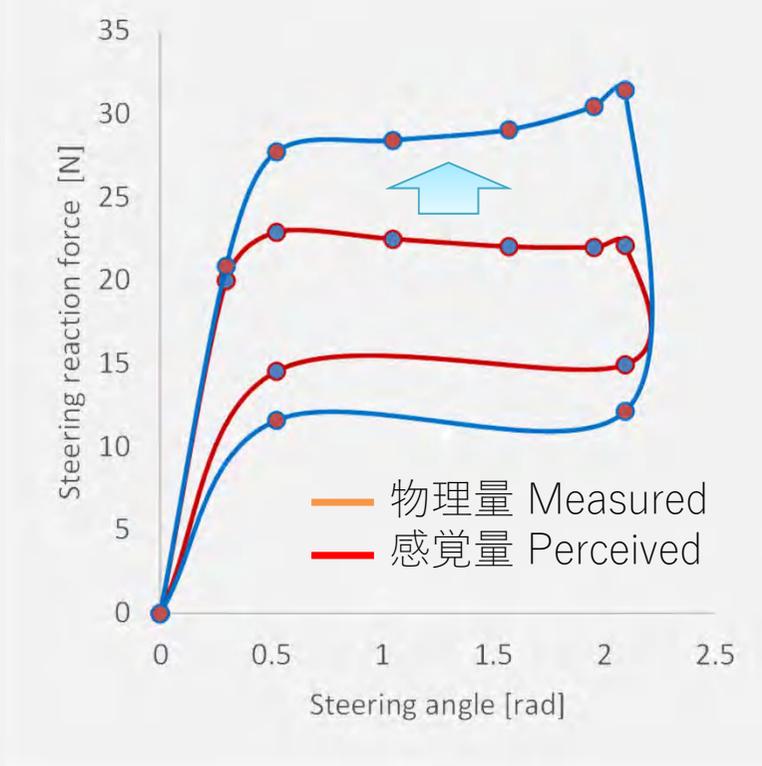
	物理量	感覚量
しっかり感	0.539	0.773
リニアさ	0.999	1.000
重厚さ	0.643	0.890
ぎくしゃく感	0.911	0.996
重さ	0.860	0.939
凸感	0.825	0.993
平均	0.796	0.932

竹村和紘, 栗田雄一ほか, 主観的力知覚空間におけるステアリングホイール操作特性の感性評価と設計への応用, 日本機械学会論文誌, 2015

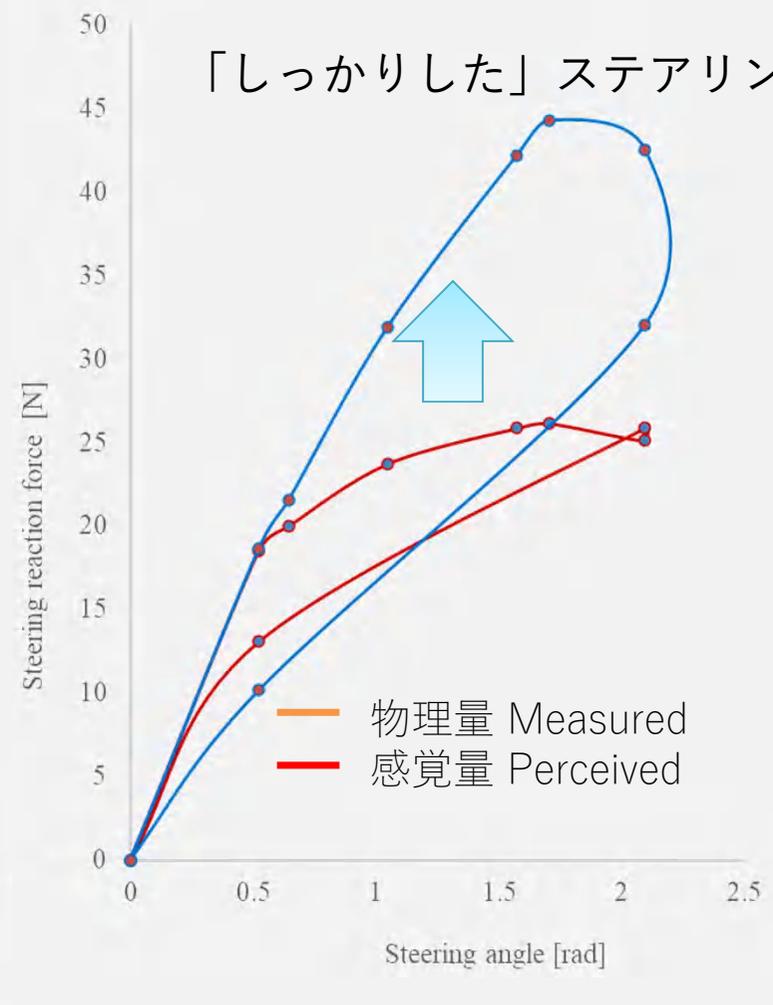
物理量をそのまま使うよりも, 感覚量へ変換した値を使った方が, 感性形容詞との相関が高い

感性を目標値とした反力設計へ

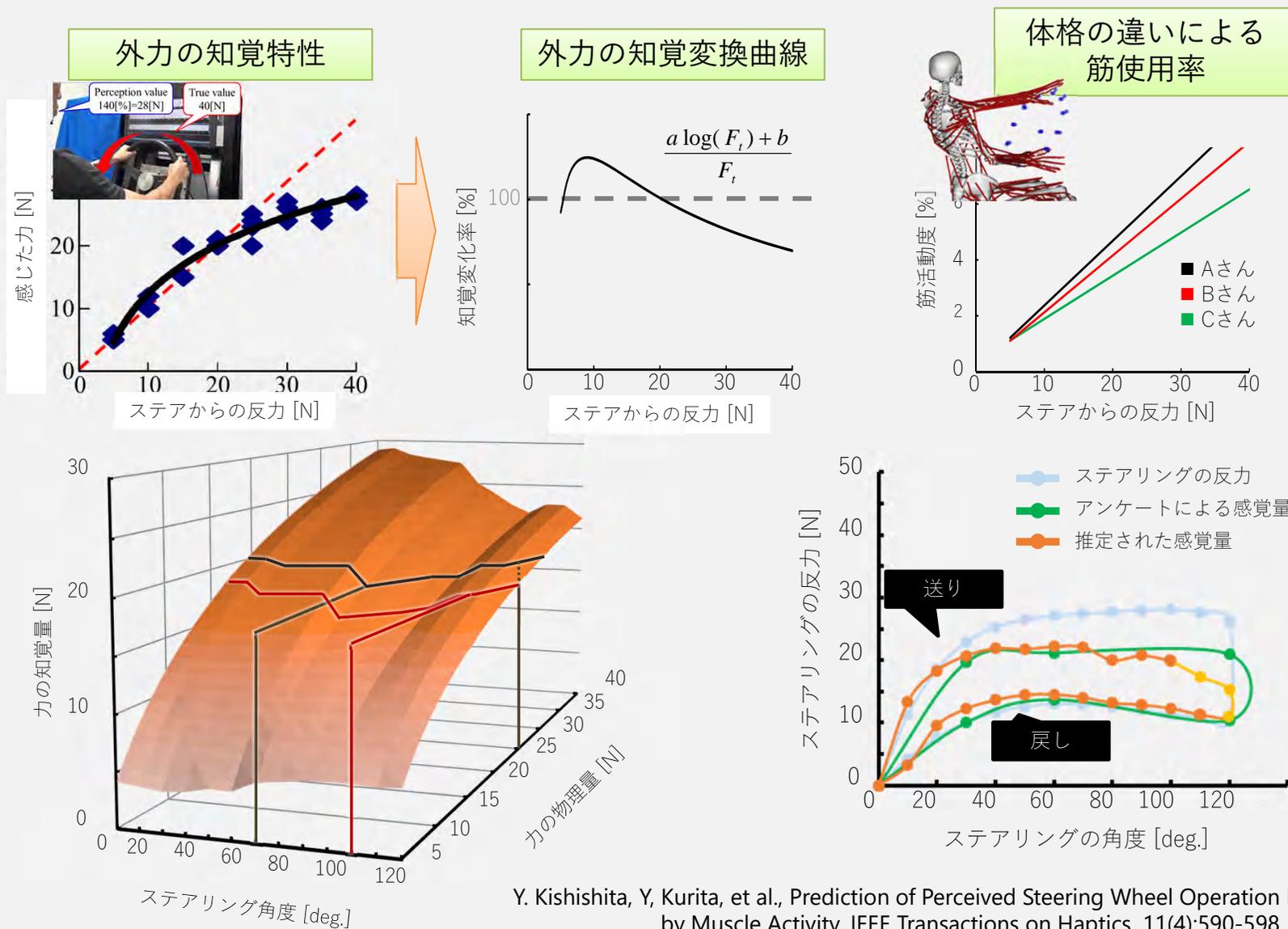
「リニアな」ステアリング



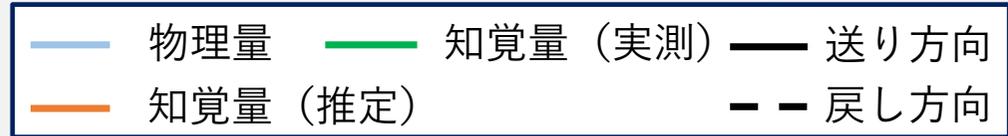
「しっかりした」ステアリング



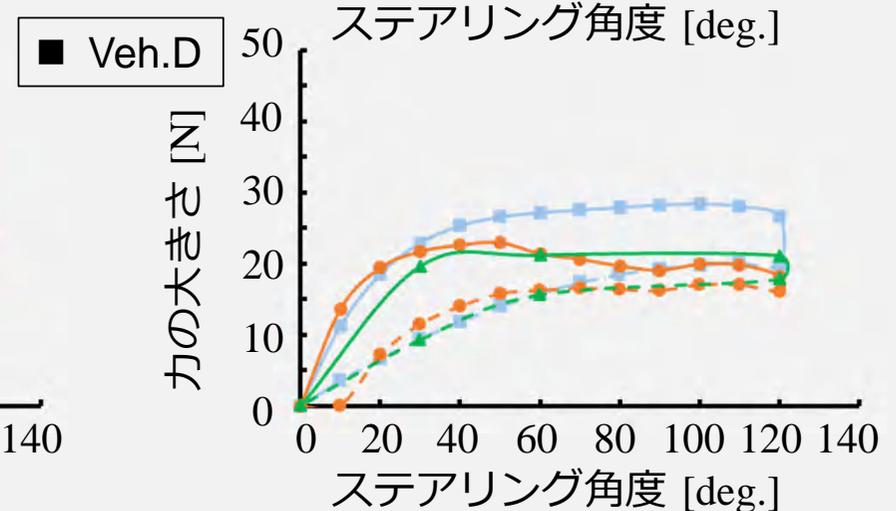
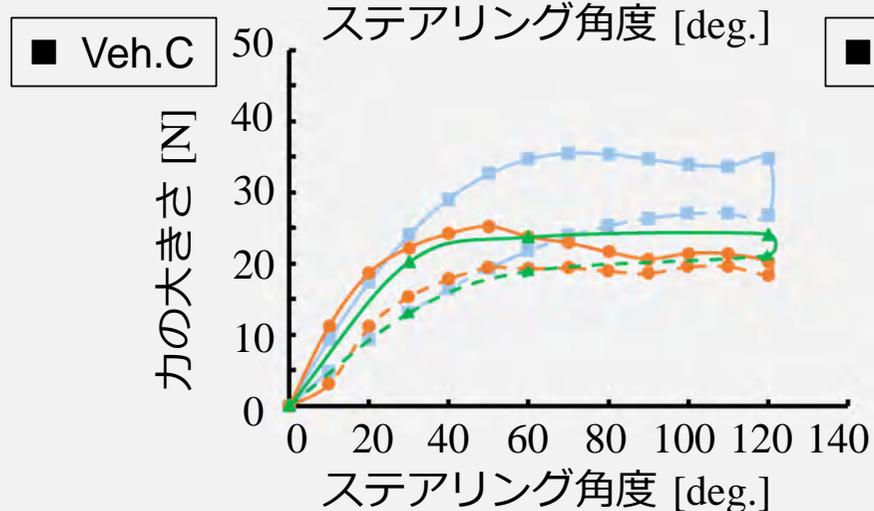
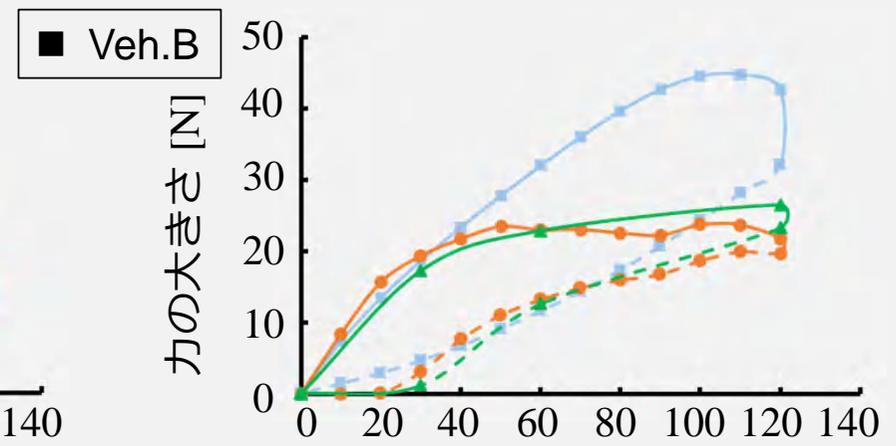
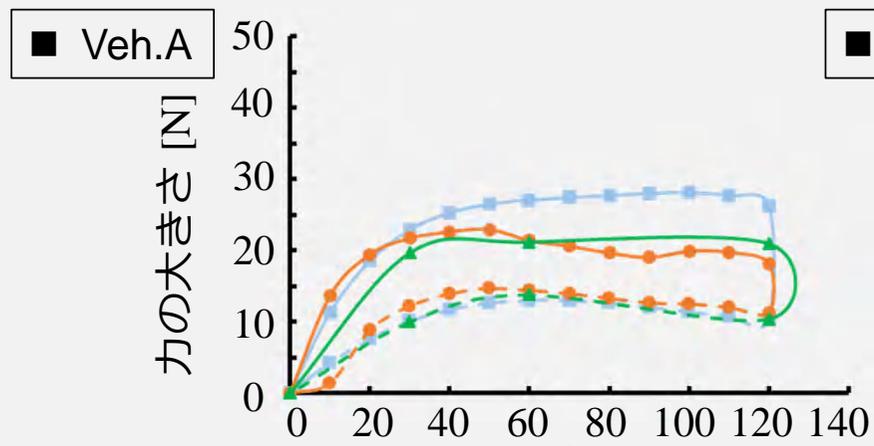
力知覚モデルに基づく力知覚量の推定



力の知覚量推定



実車のステアリング反力と推定された知覚量

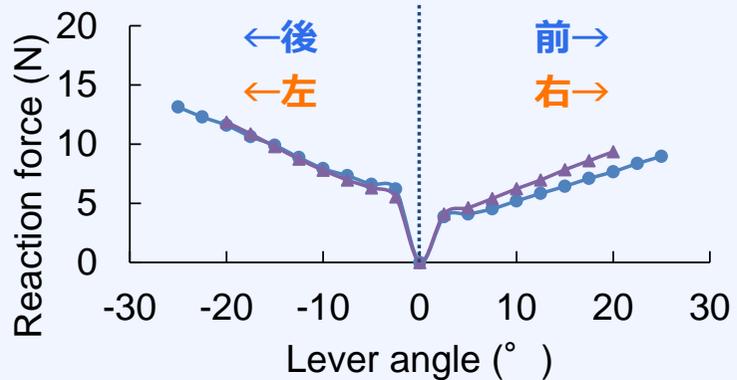


Y. Kishishita, Y. Kurita, et al., Prediction of Perceived Steering Wheel Operation Force by Muscle Activity, IEEE Transactions on Haptics, 11(4):590-598, 2018

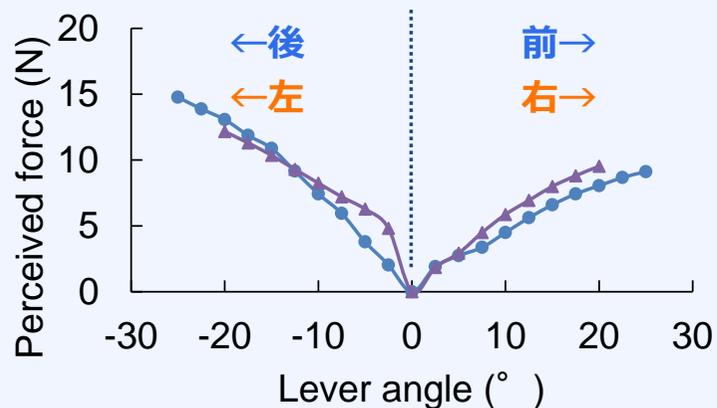
建機操作レバーの反力特性

ある建機のレバー反力特性

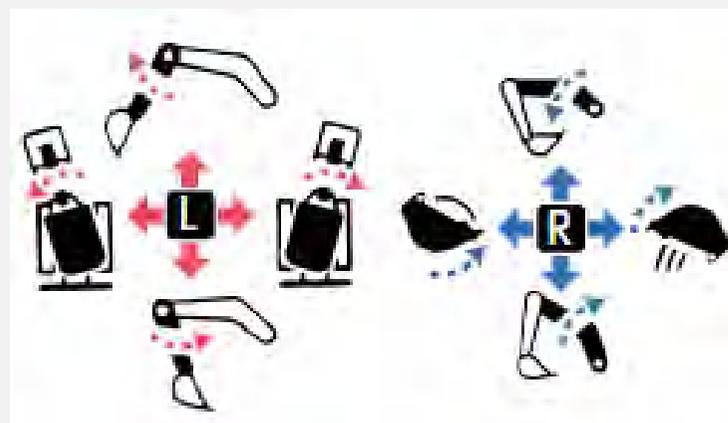
機械的
反力特性



知覚的
反力特性

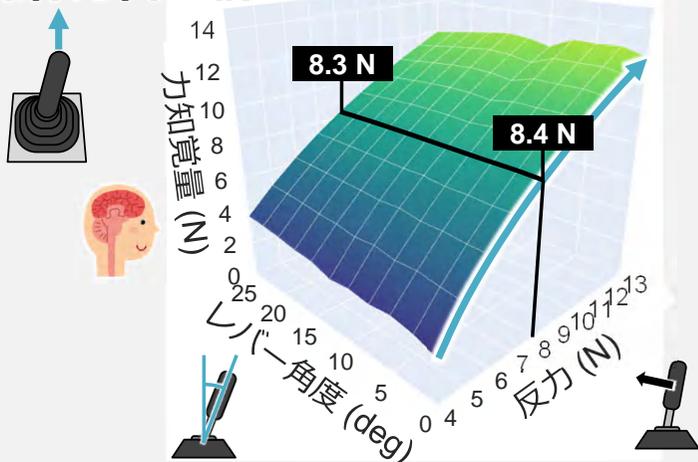


力知覚量が**非線形**かつ**非対称**

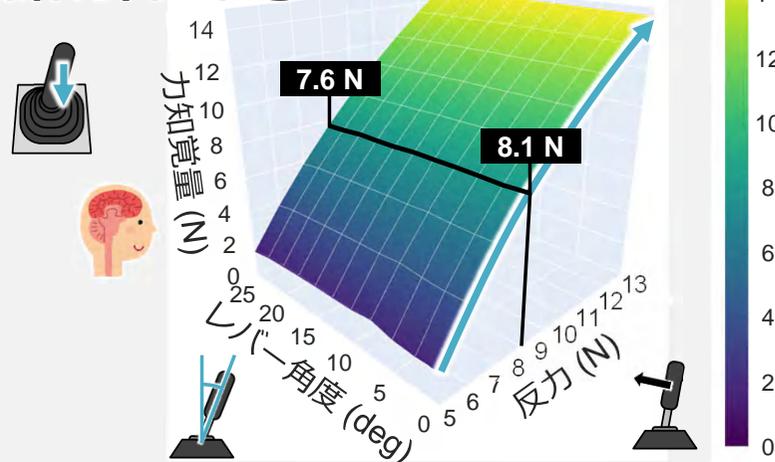


力知覚量推定モデル

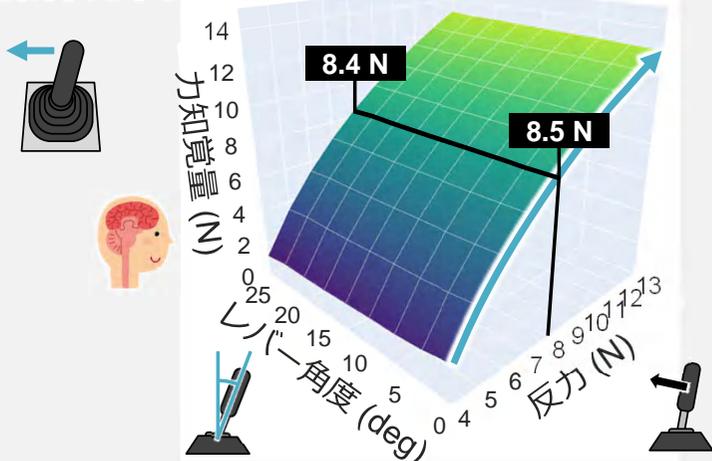
操作方向：前



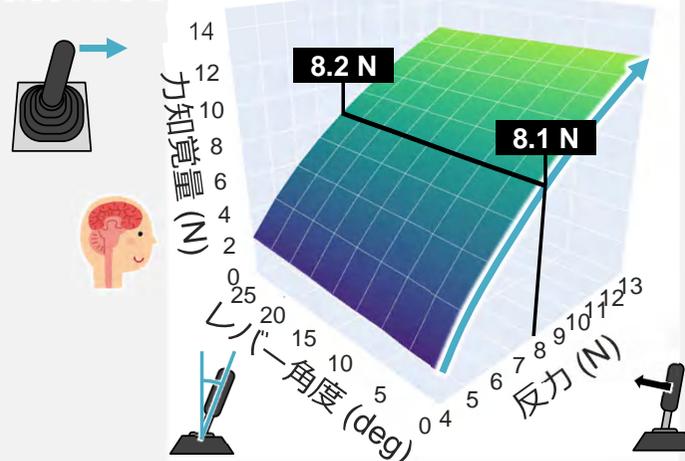
操作方向：後ろ



操作方向：左

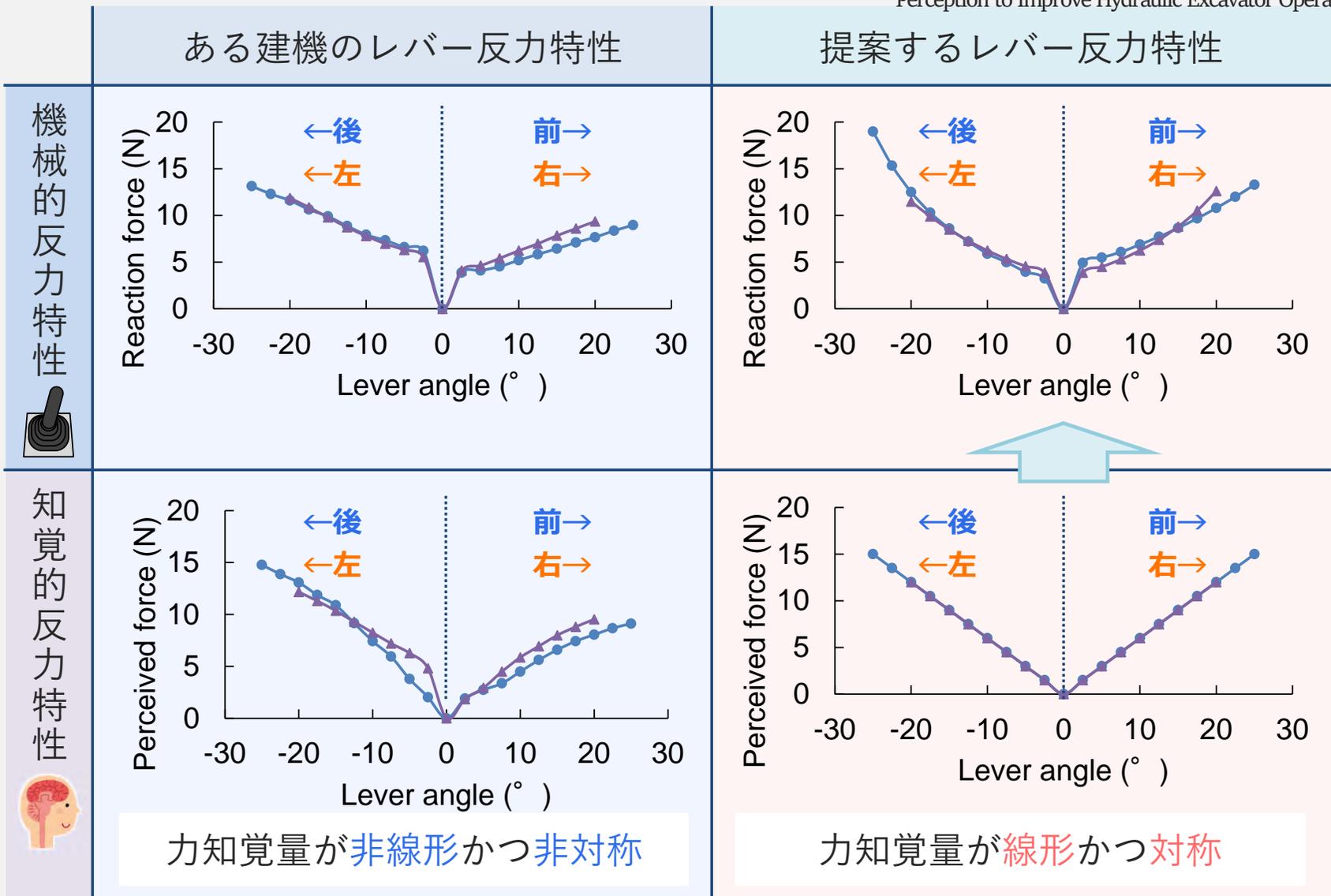


操作方向：右



任意のレバー反力とレバー角度から力知覚量を推定可能

提案するレバーの反力特性



提案反力特性の有効性検証

水平引きにおける操作性を評価

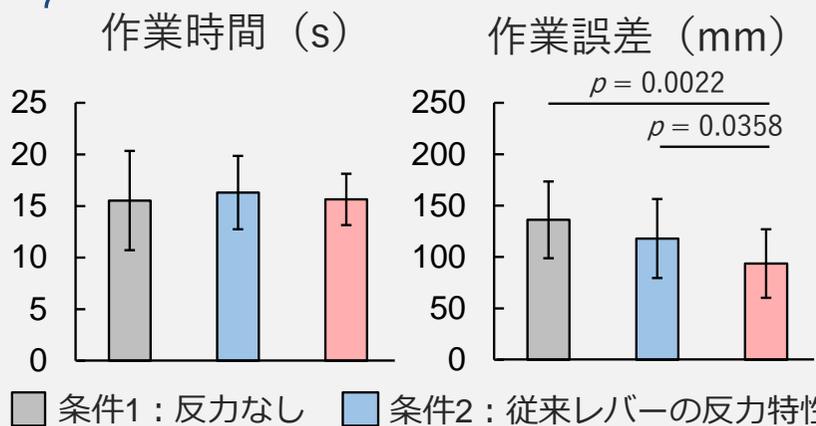
被験者 油圧ショベル操作未経験者 7名

タスク 水平引き 10往復

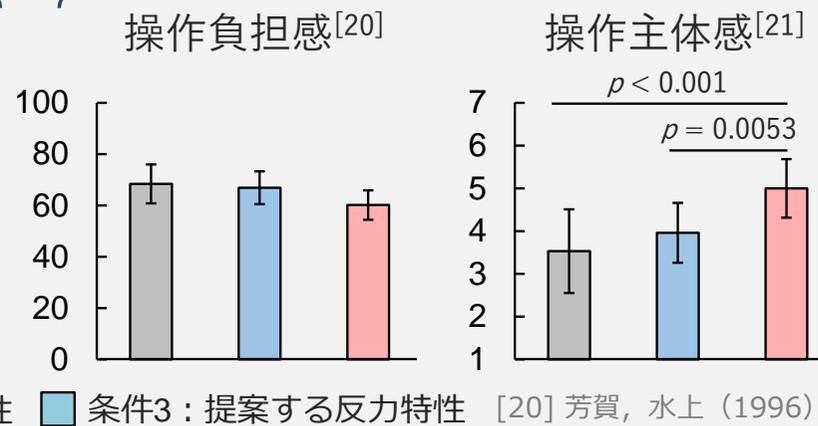


評価結果

操作スキル



操作感



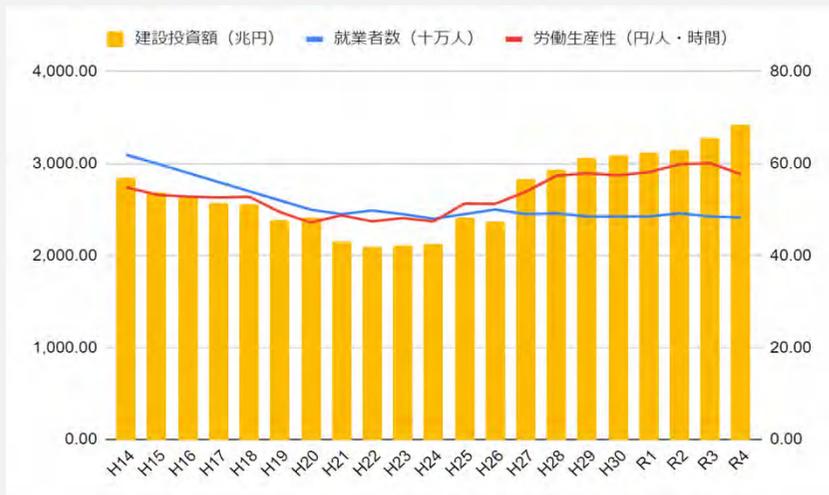
■ 条件1: 反力なし ■ 条件2: 従来レバーの反力特性 ■ 条件3: 提案する反力特性 [20] 芳賀, 水上 (1996) [21] Raima et al. (2020)

提案反力特性により操作スキルと操作感が向上

土木・建設・インフラ業界の変化

- 建設投資増加も就業者はピーク時の78%程度まで減少、生産性も20年間変わらず。社会課題として手を打つ必要がある
- 国交省はICT活用で2025年までに建設現場の生産性2割向上を目指すとし、2022年に公共工事における遠隔臨場が原則適用された
- 大手ゼネコンやスタートアップがプロダクト・サービスを展開するなど、普及の拡大が期待できる

建設投資額は増加の一方、労働生産性は20年間ほぼ変わらず



出典：2021年度「建設業ハンドブック」より抜粋

国交省が施策として建設現場の生産性向上・遠隔化を推進

4. 生産性の向上、超過勤務の縮減方策

- 工事関係書類の削減**
 - 直轄工事での取組を自治体に横展開し、取組状況を集計・見える化
 - 更なる書類の簡素化・電子化に向けた取組強化
- 時間外労働規制に対応した新しい施工方法**
 - 元下協議により、工程毎のモデル事業を支援
 - 技術者業務の社内外との分担を推進
- 平準化(ピークカット)の促進**
 - 自治体毎に目標値を設定、進捗を確認・見える化
- DXの推進**
 - デジタル技術を活用し、自動化、遠隔化を促進

3. 施工管理のオートメーション化

— 監督検査のデジタル化・リモート化 (遠隔臨場) —

国土交通省

- 「建設現場における遠隔臨場の実施要領(案)」及び「同監督検査実施要領(案)」を2022年3月に策定し、2022年度から原則全ての直轄土木工事において適用しているところ。
- 「遠隔臨場による工事検査に関する実施要領(案)」及び「同監督検査実施要領(案)」を2024年3月に策定し、2024年度から原則全ての直轄土木工事における検査へ適用する。

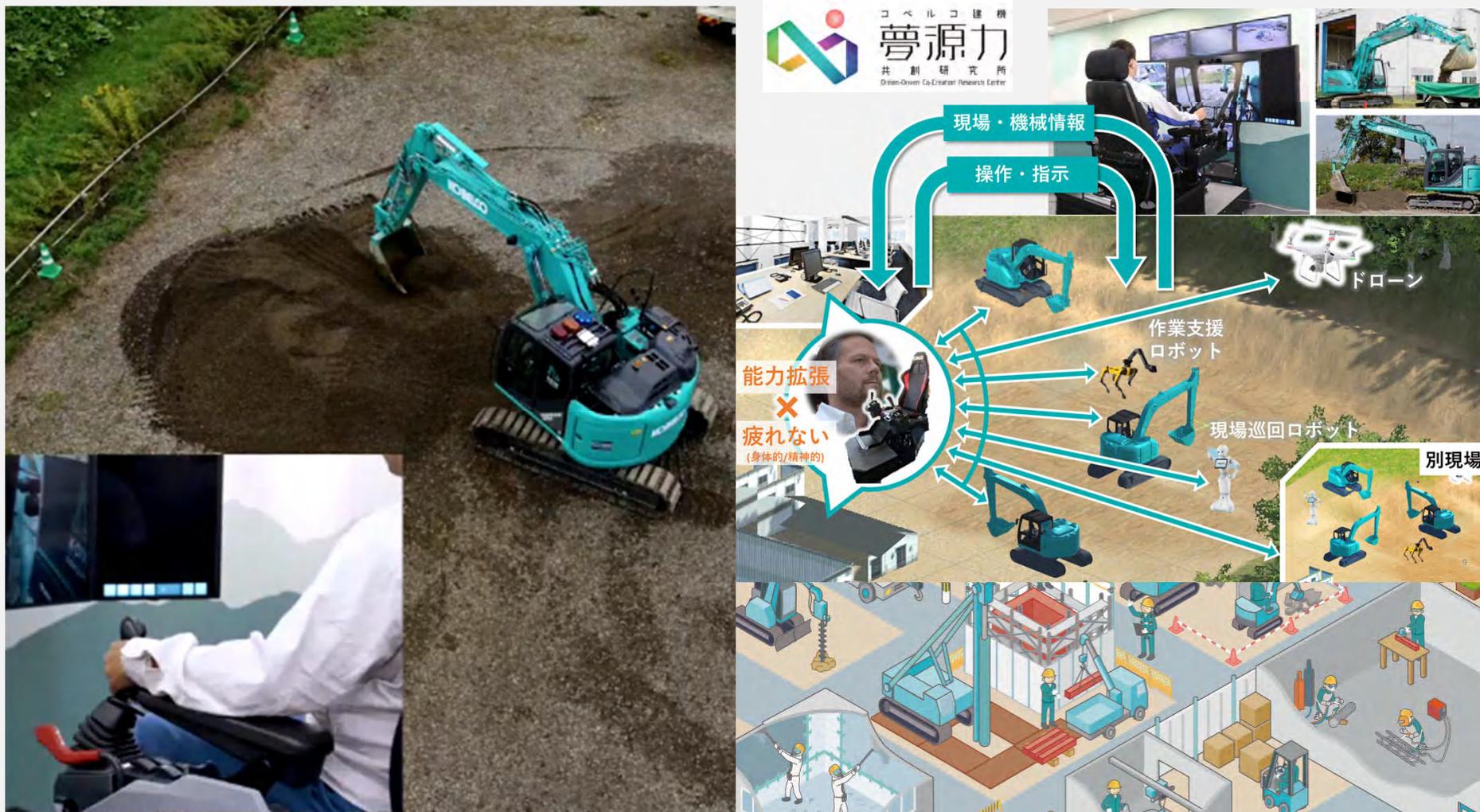
効果

- 従来、発注者職員が現場に向かい臨場で確認していた事項を、遠隔(リモート)で確認可能。
- 一人との接触を最小限に抑えることが可能!

30!

出典：国土交通省「i-Construction2.0」より抜粋

土木・建築における遠隔施工の実現を目指したプロジェクト



[広島大学・コベルコ建機夢源力共創研究所 <https://www.dream-driven.hiroshima-u.ac.jp/>]
[コベルコ建機株式会社・K-DIVE <https://www.kobelco-kenki.co.jp/dx/kdive.html>]

遠隔就労を実現するための課題とデジタル感性が打てる手

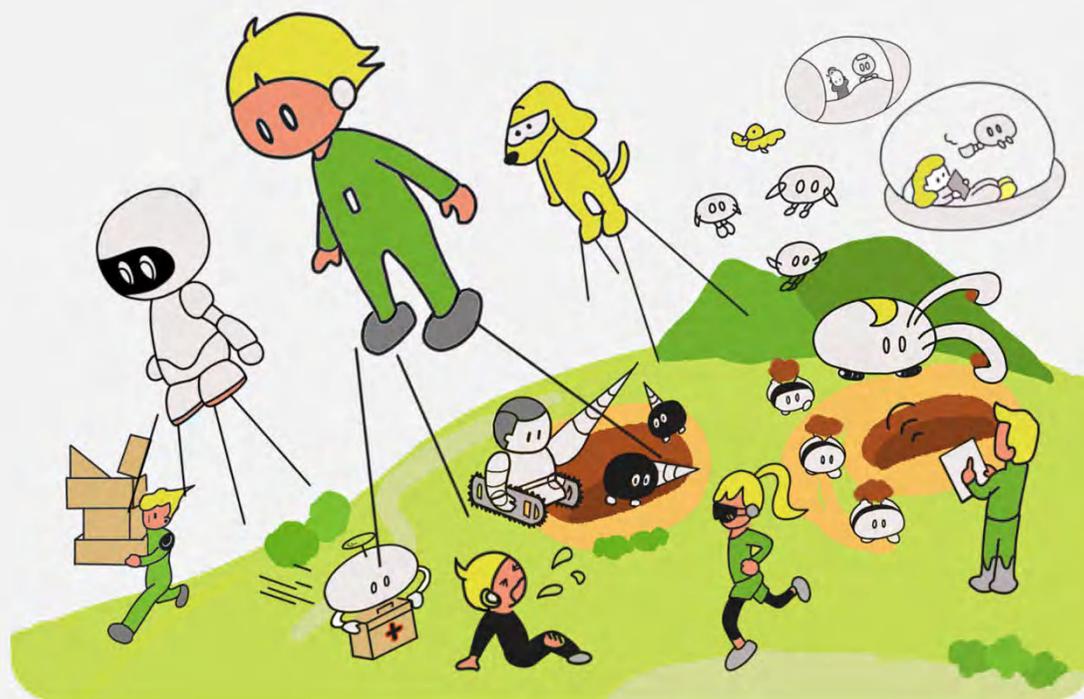
- 身体性の欠如
 - 触覚、力覚、運動感覚など身体的インタラクションが共有できない
 - 熟練技能、操作のコツ、作業時の力加減など身体感覚に依存する知識が伝達できない
- 通信遅延
 - 操作入力とロボット動作の時間差、フィードバックの遅れ、システム不安定化により精密作業や力制御が困難
- コミュニケーションの質の低下
 - 対面に比べ、表情・雰囲気・共感の伝達が弱く、意思疎通が困難
 - 雑談や非公式コミュニケーションの減少による心理的距離の拡大
- ストレスとメンタルヘルス
 - 孤立感、社会的承認不足による心理的エンゲージメントの低下
 - 就労環境の負担、コミュニケーションやサポート不足による心理的ストレス

身体性、協働、心理支援は遠隔就労の質を担保する基盤的技術となる

- 感性を理解するロボット
- 人とロボットの共生
- 感情検出・認識

人とロボットの共生

- ロボットの機能性や存在感はますます増加していく
- ロボットには、人の生活により深く、自然に溶け込んでいくことが期待されている
- 安全で信頼される「人口ロボット共生社会」を実現するためには、何が必要だろうか？



ロボット産業ビジョン2050

人・社会・環境と共存するロボット

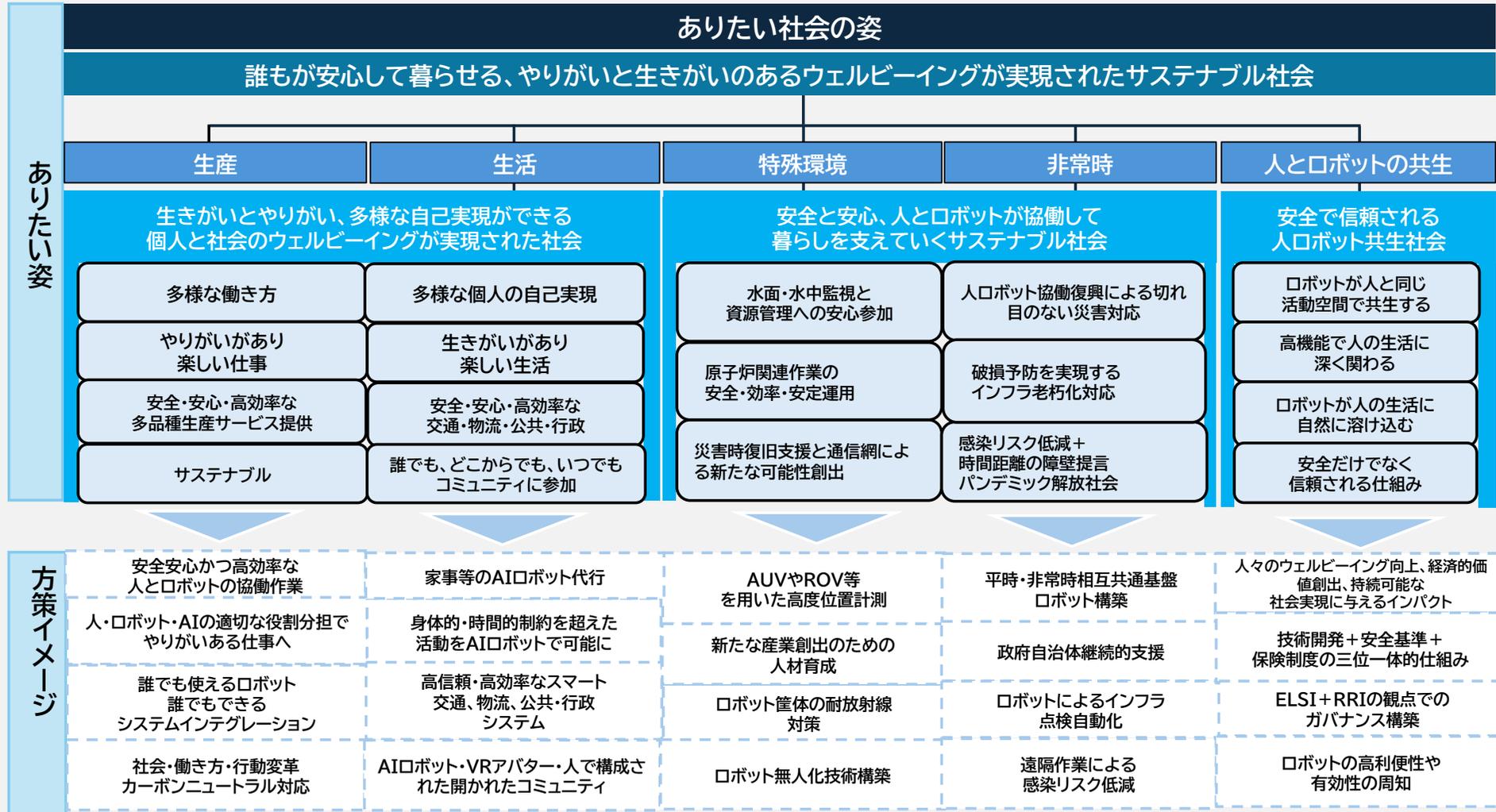
ロボットが安全で信頼される「人・ロボット共存社会」



一般社団法人 日本ロボット工業会
Japan Robot Association

『ロボット産業ビジョン2050』 [<https://www.jara.jp/publications/visionver1.html>]

ロボット産業ビジョンが策定する2050年のありたい社会の姿



ありたい生活の姿とそのための方策の具体例

<ありたい生活の姿> 生きがいとやりがい、多様な自己実現ができる個人と社会のウェルビーイングが実現された社会

技術で家庭をオープン
につながり合える社会
で共同子育て



家事機能のAIロボット
代行※1



身体的制約を受けずに行
う活動



高信頼・高効率な交通・
物流システム



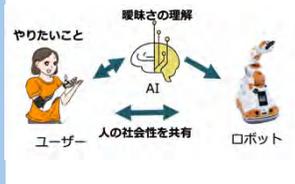
高信頼・高効率な
スマート交通・物流シ
ステム



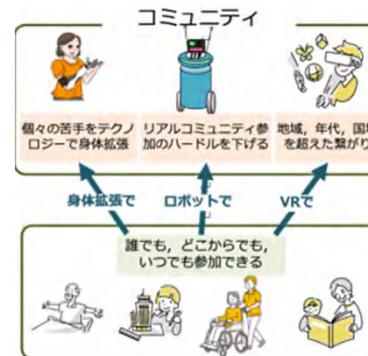
高信頼・公平・公正な
スマート公共・行政サー
ビスシステム



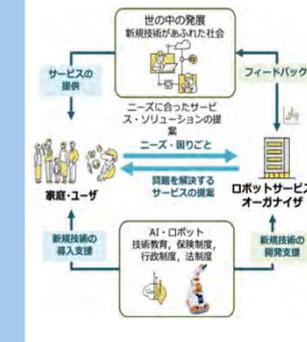
AI・ロボットのソーシャ
ルスキルとヒューマンインタ
フェース



人と人、人とコミュニティをつなぐロボット技術



AIロボットの利活用を
デザインする人材



※1 © Can Stock Photo Inc./[artinspiring]

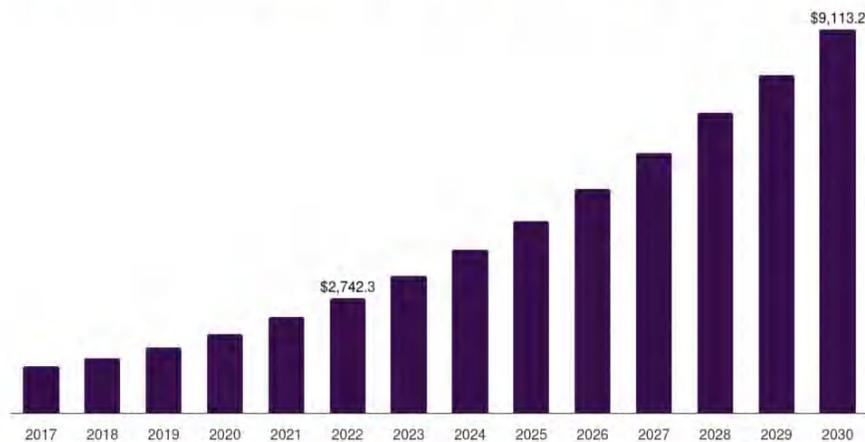
高いQoL(クオリティオブライフ)でなおかつ 多様な形で自己実現できるウェルビーイングが満たされた社会

- [生活面] 生活や仕事の負担から限りなく解放されており、生き生きとコミュニティを育むことができる。また身体的にも、精神的にも、社会的にも良好な状態でいることができる。
- [労働面] 安全かつ効率的で、多様性が認められており、やりがいを持って働くことができる
- 社会に溶け込んで人と共生する「人口ロボット共生社会」
- 作業者の主観による安全・安心に基づく効率的な制御
- 人・ロボット・AIの役割の多様性の理解と個人のやりがい・尊厳の尊重
- ロボットを介した新しい人・ロボットおよび人・人コミュニケーションの創出

市場規模: 感情検出・認識

- 日本の感情検出・認識市場は、2030年までに91億米ドルの予測収益に達する
- 2023年から2030年にかけて、年平均成長率16.2%で成長
- セグメント別
 - ソフトウェアが2022年に最大の収益を生み出した構成要素
 - サービスは最も収益性の高い構成要素セグメント、予測期間中に最も速い成長が見込まれる

Japan emotion detection and recognition market, 2017-2030 (US\$M)



Japan Emotion Detection And Recognition Market Size & Outlook [GRAND NEW HORIZON]

https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/emotion-detection-and-recognition-market/japan?utm_source=chatgpt.com

感情検出・認識市場の要素

- コンポーネント : ソフトウェア、サービス
- ツール : 顔認識、音声認識、ジェスチャー・姿勢認識
- AIセンシング : 機械学習、パターン認識、特徴抽出、自然言語処理
- アプリケーション: 監視・モニタリング、マーケティング・広告
ロボティクス・eラーニング、医療
- エンドユース別 : ヘルスケア・ライフサイエンス、IT・通信
小売・eコマース、メディア・エンターテインメント
小売、自動車、
その他(政府、ホスピタリティ、製造など)
BFSI(銀行、金融サービス、保険)

世界の感情検出・認識市場の規模と展望

市場名	定義(対象範囲)	2024-2025 規模	予測年	予測値	CAGR	出典
Emotion AI(狭義)	AIで顔・声等から感情推定	USD 2.74B (2024)	2030	USD 9.0B	21.9%	ResearchAndMarkets 2024-2030 (リサーチアンドマーケット)
Emotion AI(別報告)	同上	USD 2.9B (2024)	2034	USD 19.4B	21.7%	GMI 2025-2034 (Global Market Insights Inc.)
Emotion AI(別集計)	同上	USD 2.14B (2024)	2033	USD 13.4B	22.9%	Grand View Research (グランドビューリサーチ)
Emotion AI(広義報告)	感情AI広義	USD 3.9B(2024) USD 4.9B(2025)	2030	USD 15.5B	25.9%	NextMSC 2025-2030 (nextmsc.com)
感情検出・認識市場	顔・音声・テキスト等の検出	USD 48.71B (2026)	2034	USD 141.9B	14.3%	FortuneBusinessInsights 2026-2034 (フォーチュンビジネスインサイト)
Affective Computing (広義)	感情情報を含むコンピューティング全般	USD 96.19B (2025)	2030	USD 283.4B	24.1%	MordorIntelligence 2025-2030 (Mordor Intelligence)
Affective Computing (別推計)	感情コンピューティング	USD 1,055B (2025)	2033	USD 8,901.6B	30.6%	StraitsResearch 2025-2033 (straitresearch.com)
Affective Computing (別標準)	感性AI総合	USD 123.3M (2025)	2035	USD 1,712.4M	30.1%	FutureMarketInsights 2025-2035 (Future Market Insights)
Haptic Technology Market	触覚技術含むデバイス・システム	USD 4.62B (2025)	2030	USD 8.5B	12.9%	MordorIntelligence 2025-2030 (Mordor Intelligence)
Immersive Tech Market(補)	XRなど没入型体験全般	USD 37.75B (2024)	2030	USD 159.22B	27.1%	GII 2024-2030 (グローバルインフォメーション)

日本を感性テクノロジー大国にするために

- デジタル感性は消費者技術であると同時に、人間拡張経済の基盤インフラとなりうる
 - 触感だけでも、世界市場は2030年約7,000億ドル規模
 - 世界的な高齢化、労働人口減少でますますニーズが高まる
 - ポスト・超スマート社会
- 感性経済プラットフォーム戦略
 - デジタル感覚データ標準、感性通信インフラ
 - 脳と身体を統合した感性デジタルツイン
 - 感性価値を生み出すコンテンツ創成、エンタテインメント戦略
 - 感性を理解するロボットによる人口ロボット共生と実証都市
 - デジタル感性産業コンソーシアム／国際拠点
 - 標準化、ELSI、RRI

まとめ

- ① 価値の源泉が「機能」から「体験」へ移った
 - 体験価値＝納得感、安心感、没入感、上達感、気持ちよさなど、これまでセンサで測ることのできなかつた項目
- ② 感性は「計測→推定→介入→評価」で工学的に回せる
 - 「感性」は、評価、実装、共有、マネタイズの対象になりうる
- ③ 閉ループと基盤化が取り組みのキーポイント
 - 技術単品ではなく、現場や市場で回るサービス化と仕組みづくり

デジタル感性基盤を構築した国が、6G時代の付加価値市場を主導する

- 感性は、個別最適化できる未開拓データ資産
- 感性に関するデジタル情報はEC・医療・車・家電など全産業に必須
- 感性をデータとして先に握った主体が、次世代の付加価値市場を主導する