

「人工知能活用による革新的リモート技術開発」

事業原簿

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 AI・ロボット部
-----	---

更新履歴

更新日	更新内容
2025 年 10 月 31 日	初版発行

目次

1. 事業全体概要.....	1
1.1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋.....	1
1.2. 目標及び達成状況.....	2
1.3. マネジメント.....	2
1.3.1. 実施体制.....	2
1.3.2. 受益者負担の考え方.....	3
1.3.3. 研究開発計画.....	3
1.4. その他.....	4
2. 事業全体説明資料.....	5
3. 目標及び達成状況の詳細.....	59
3.1. 【A】研究開発項目：状態推定 AI システムの基盤技術開発.....	59
3.1.1. 動作ユニット A I による人の感情推定とキャラクターの感情豊かな動作生成による遠隔コミュニケーション環境の構築.....	59
3.2. 【B】研究開発項目：高度な XR により状態を提示する AI システムの基盤技術開発.....	61
3.2.1. 極薄ハプティック MEMS による双方向リモート触覚伝達 A I システムの開発.....	61
3.2.2. C o n t a c t R e a l i t y の実現による遠隔触診システム開発.....	63
3.3. 【C】研究開発項目：状態推定 AI システム及び高度な XR により状態を提示する AI システムの基盤技術開発.....	65
3.3.1. 遠隔リハビリのための多感覚 XR 保健指導との互惠ケア連携.....	65
3.3.2. A I ・ X R 活用による空のアバターを実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発.....	68
添付資料.....	70
●基本計画.....	70
●各種委員会開催リスト.....	78
●特許論文等リスト.....	79
動作ユニット A I による人の感情推定とキャラクターの感情豊かな動作生成による遠隔コミュニケーション環境の構築.....	79
極薄ハプティック MEMS による双方向リモート触覚伝達 A I システムの開発.....	82
C o n t a c t R e a l i t y の実現による遠隔触診システム開発.....	88
遠隔リハビリのための多感覚 XR 保健指導との互惠ケア連携.....	90
A I ・ X R 活用による空のアバターを実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発.....	97
●プロジェクト用語集.....	101
●ニュースリリース.....	103

1. 事業全体概要

プロジェクト名	NEDO プロジェクト名：人工知能活用による革新的リモート技術開発 METI 予算要求名称：IoT 社会実現に向けた次世代人工知能・センシング等中核技術開発	プロジェクト番号	P 2 1 0 0 4
担当推進部/ プロジェクトマネージャー（PMgr）または担当者 及び経済産業省担当課	AI・ロボット部 PMgr 外村 雅治（2023年7月～現在） ロボット・AI部 PMgr 外村 雅治（2022年1月～2023年6月） ロボット・AI部 PMgr 鈴木 智康（2021年2月～2021年12月） 経済産業省 商務情報政策局 情報産業課（2024年7月～現在） 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課（2021年2月～2024年6月）		
0. 事業の概要	空間・時間の制約から解放された社会・経済活動を実現するリモート技術は労働集約的・対面主体の労働現場を含むあらゆる分野の産業構造を一変し生産性を飛躍的に高める。生産年齢人口の減少下での産業競争力の維持向上、感染症の流行等による行動制限下での社会活動の継続、及び多様な立場の人々の社会参加が実現されるものとする。そこで本プロジェクトでは、社会のあらゆる場面で活用されるリモート技術の基盤形成として、遠隔における人や環境の状態を先進的なデバイスによって取得された情報を基に AI を用いて推定する「状態推定 AI システムの基盤技術開発」、遠隔環境の状態を高い臨場感を伴って提示することや AI を用いて必要な情報をデフォルトで提示する「高度な XR により状態を提示する AI システムの基盤技術開発」に取り組む。		

1.1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

1.1.1 本事業の位置付け・意義	わが国は少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少に直面しており、働き方改革の促進と労働集約的・対面主体である製造業やサービス業の労働生産性の向上が喫緊の課題である。 解決手段の一つとして、あらゆる分野において、社会・経済活動が、空間・時間の制約から解放されたリモート環境で行えることが強く求められており、人工知能（AI）技術やリモート技術は新たな社会・産業インフラとしての役割を期待されている。 政府戦略においてもリモート化の推進は重要な政策の一つとして位置づけられている。例えば、「 経済財政運営と改革の基本方針 2020 （骨太方針 2020）」で、「新たな日常」構築の原動力となるデジタル化への集中投資・実装とその環境整備として、AI、ロボットの導入推進、テレワーク定着、対面主義脱却などが標榜されている。また、「 統合イノベーション戦略 2020 」においても、産業構造や働き方などのライフスタイルも含めた社会基盤・ルールをデジタル化に対応させ、経済社会活動のサイバー空間への移動を最大限実現させる必要性などが言及されている。
1.1.2 アウトカム達成までの道筋	将来像から事業イメージを策定、必要な技術と水準を定義し、技術開発を促進することにより、基盤技術開発段階からユースケースの形が見えるところまでに至った。事業の担い手となる企業を含めた体制構築を実現し、実用化研究がはじまったので、このまま順調に進めば5年後には実用化は可能な見通しで、実用化により、様々な業種でリモート技術が浸透しにより生産性の向上が期待できる。
1.1.3 知的財産・標準化戦略	NEDO のアクションとしてアカデミアに対しての知財マインドの醸成を進め、テーマごとに策定いただいたオープン・クローズ戦略に基づき、事業化に近いテーマでは特許出願、普及促進を優先するテーマでは論文文化など、効果的な成果の活用を進めた。

1.2. 目標及び達成状況

1.2.1 アウトカム目標及び達成見込み	本プロジェクトによって革新的リモート技術の基盤が形成されることにより、リモート化できていない労働集約的・対面主体の労働現場を含むあらゆる分野へのリモート化が進捗する。また、本プロジェクト外の企業のリモート市場への参入が促進され、様々な産業のリモート化が誘発されることが期待できる。		
	アウトカム目標	達成見込み	課題
	産業構造・社会基盤のリモート化・デジタル化が進展し、2035年時点において8万人分の労働力に充当され、リモート技術の国内市場の規模が3200億円に達することに寄与する。	各テーマ、実用化研究に移行。多くの人員が不足する業種にリモート技術が進展、達成が見込まれる。	AI技術の進展は目覚ましく、状況及び今後の展開に応じたシステムへの柔軟な活用により、変化しながら進化する開発を進めることが課題。
1.2.2 アウトプット目標及び達成状況	1. 本プロジェクトが対象とする基盤技術が実用化研究（実際の製品やサービスを開発するうえでの技術的な課題を解決するための研究）を開始できる水準に達すること。 2. 研究開発テーマのうち25%以上の案件がプロジェクト終了後、連続して実用化研究に移行すること。 3. 基盤技術の内容及び得られる効果を、デモンストレーション等を通じて公開すること。		
	成果(実績)(2024年3月)	達成度(見込み)	達成の根拠/解決方針
	1. 継続したテーマすべてで目標を達成 2. 採択された5テーマのうち継続した4テーマにて連続して実用化研究に移行する具体的案件がある 3. 以下の実績 ・ドローンリモート技術の公開実証実験 ・遠隔触診のシンガポール⇄名古屋間公開実証試験、国際シンポジウム ・CES、CEATEC、AWE-EU、SXSW等国際的な展示会に出展、有用なリードを多数獲得 ・遠隔リハビリに向けたオープンデータセット公開	総合判定 ○	1. 各テーマ、テーマ審査委員会にて認められる技術水準を達成 2. コンサルタント契約締結、スタートアップ創業、SBIR事業採択、など 3. 各テーマ、それぞれ成果のアウトリーチ活動を展開

1.3. マネジメント

1.3.1. 実施体制

研究開発項目①「状態推定 AI システムの基盤技術開発」

研究開発項目②「高度な XR により状態を提示する AI システムの基盤技術開発」

幅広くユースケースを採択するために、2つの研究開発項目を設定しつつ、両項目に跨がるテーマも受付、

【A】 研究開発項目①「状態推定 AI システムの基盤技術開発」

【B】 研究開発項目②「高度な XR により状態を提示する AI システムの基盤技術開発」

【C】 研究開発項目① および ②

に分類

プロジェクトマネージャー、プロジェクトリーダーの下に5テーマを設定、外部有識者によるテーマ審査委員会を組織し、技術指導。2022年12月にステージゲート審査による選択と集中を実施、4テーマを継続。

実施体制	プロジェクトマネージャー	AI・ロボット部 外村雅治		
	プロジェクトリーダー	国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター 原田達也教授		
	委託先	【A】	動作ユニット AI による人の感情推定とキャラクターの感情豊かな動作生成による遠隔コミュニケーション環境の構築	
			委託先	(大)東北大学
			再委託先	(株)SRA 東北、(株)冬寂
		【B】	極薄ハプティック MEMS による双方向リモート触覚伝達 AI システムの開発	
			委託先	(国研)産業技術総合研究所、オムロン(株)、(大)東北大学、(株)Adansons、(大)筑波大学
			Contact Reality の実現による遠隔触診システム開発	
			委託先	(大)東海国立大学機構、豊田合成(株)
			再委託先	タッチエンス(株)、(株)エムティーアイ、(株)資生堂、(国研)産業技術総合研究所
		【C】	遠隔リハビリのための多感覚 XR-AI 技術基盤構築と保健指導との互惠ケア連携	
			委託先	(国研)産業技術総合研究所、(大)東京大学、(大)京都大学、セイコーエプソン(株)、(株)エブリハ
			AI・XR 活用による空のアバターを実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発	
			委託先	(大)東京大学、(国研)産業技術総合研究所
			再委託先	(株)NTT ドコモ、イームズロボティクス(株)

1.3.2. 受益者負担の考え方

受益者負担の考え方	受益者負担の考え方 実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ち寄り協調して実施する事業であり、委託事業として実施。				
	主な実施事項	2021fy	2022fy	2023fy	2024fy
	【A】研究開発項目①状態推定 AI システムの基盤技術開発	委託 100%	委託 100%	委託 100%	委託 100%
	【B】研究開発項目②高度な XR により状態を提示する AI システムの基盤技術開発	委託 100%	委託 100%	委託 100%	委託 100%
	【C】研究開発項目①および②	委託 100%	委託 100%	委託 100%	委託 100%

1.3.3. 研究開発計画

事業費推移 [単位:百万円]	主な実施事項	2021fy	2022fy	2023fy	2024fy	総額
	【A】研究開発項目①状態推定 AI システムの基盤技術開発	54	67			121

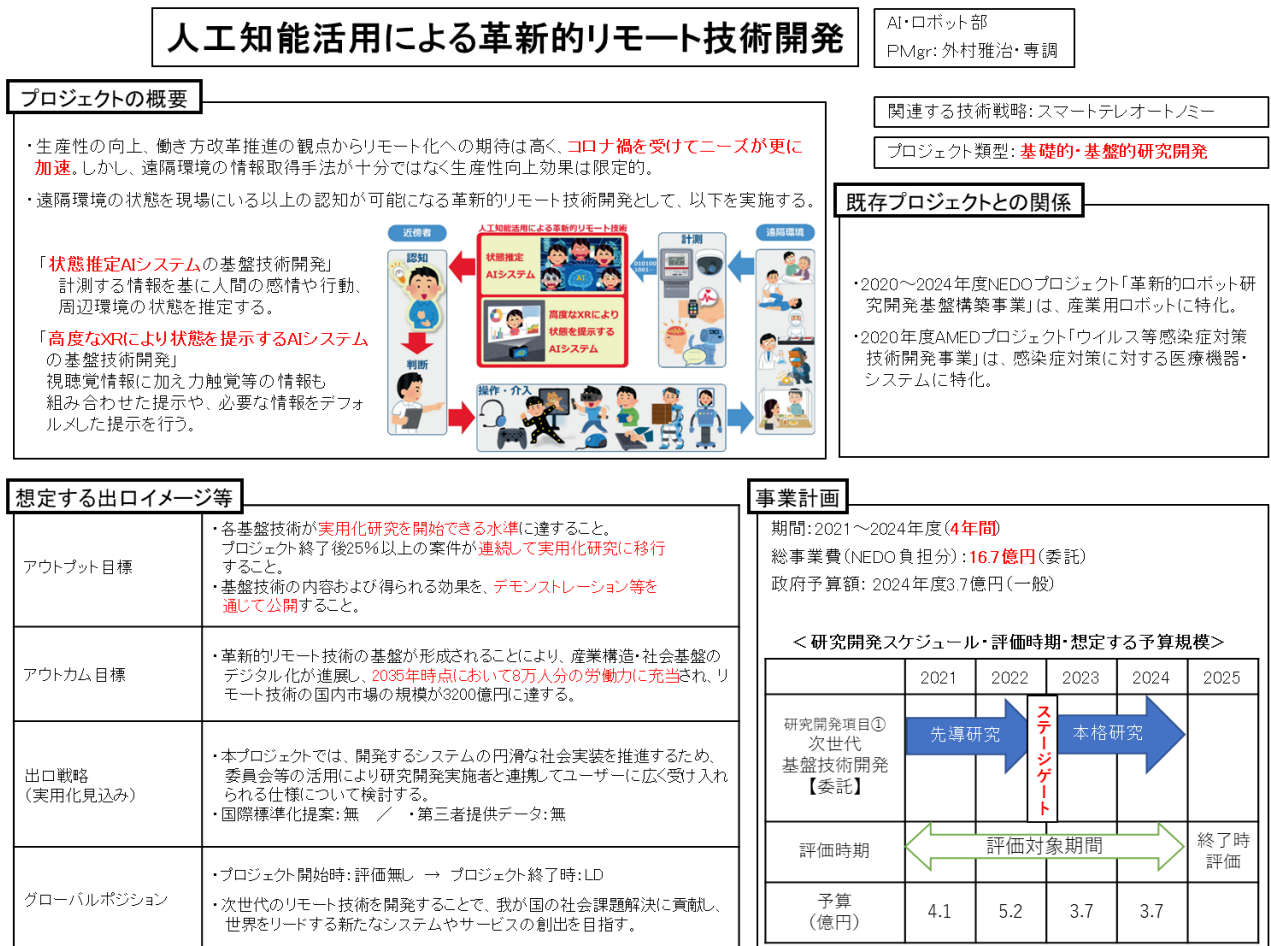
	【B】研究開発項目②高度な XR により状態を提示する AI システムの基盤技術開発	183	237	204	215	839
	【C】研究開発項目①および②	177	214	161	157	708
	事業費	2021fy	2022fy	2023fy	2024fy	総額
	会計（一般、特別）	414	518	365	372	1,668
	追加予算	0	0	0	0	0
	総 NEDO 負担額	414	518	365	372	1,668
情勢変化への対応	<p>2035 年における労働力不足予測はさらに深刻化し、1 日あたり約 1,775 万時間の労働力が不足との見込み。想定した、サービス業、卸売・小売、医療・福祉、製造業における労働力不足は依然として大きい。リモート技術活用の市場は拡大見込み。</p> <p>リモート技術への期待はコロナ禍の緊急対応で高まり、リモート会議等のコミュニケーションツールは浸透、LLM 活用により言語による利便性は向上するも、非言語コミュニケーションにはブレークスルー技術が必要。終息後も持続可能な働き方、暮らし方として、ニーズは継続・拡大しているため、大きな方針転換は行わず、4 年の短期プロジェクトをやり切り、成果をもとに次のステップに進むとした。</p> <p>LLM・生成 AI の急速な実用化進展に対し、導入により開発効率向上が見込めるか実施者に打診、活用いただいたケースあり。</p>					
中間評価結果への対応	中間評価なし					
評価に関する事項	事前評価	2020 年度実施 担当部 ロボット・AI 部				
	中間評価	なし				
	終了時評価	2025 年度 終了時評価実施				

1.4. その他

投稿論文	30 件	
特許	「出願済」4 件（うち国際出願 2 件）	
その他の外部発表（プレス発表等）	<p>NEDO によるニュースリリース</p> <ul style="list-style-type: none"> ・リアルな触覚再現技術による、技能教育システム、心拍数共有アプリを開発しました ・Contact Reality の実現による世界初の遠隔触診システムを公開します ・遠隔でリハビリテーションができる社会の実現に向けて世界初の上肢・肩甲骨運動オープンデータセットを公開しました ・リモートでオペレーターが安全かつ迅速に現場の状況把握ができる革新的なドローン運用技術を開発しました <p>実施者によるニュースリリース</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「リアルな触覚再現技術」で触覚を「共有」へ（産業技術総合研究所） 	
基本計画に関する事項	作成時期	2021 年 3 月 制定
	変更履歴	<p>2022 年 1 月、プロジェクトマネージャーの交代</p> <p>2023 年 2 月、知財マネジメント基本方針名の変更、データマネジメント基本方針名の変更</p> <p>2024 年 2 月、使用する文言の修正</p> <p>2024 年 7 月、組織改編に伴う、部署名の変更</p>

2. 事業全体説明資料

終了時評価分科会資料3：プロジェクトの説明（公開版）をもって事業全体説明資料とする。



＜評価項目 1＞ 意義・アウトカム（社会実装） 達成までの道筋

- ※ 本事業の位置づけ・意義
- （１）アウトカム達成までの道筋
- （２）知的財産・標準化戦略

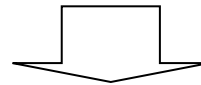
事業の背景・目的・将来像

社会的背景

- ・ 少子高齢化により**生産年齢人口が減少**しており、国内において**人手不足**を感じている企業の割合は増加している。
- ・ 場所や地域に縛られない、全員参加型の一億総活躍社会を実現していく中で、また事故現場や災害地などの極限状況において、人間が**空間的、時間的、距離的制約を受ける**ことがある。
- ・ **コロナ禍**において、遠隔・非接触・非密集の行動様式が、世界規模で求められている。

事業の目的

人間が遠隔地からより簡易的・直観的にシステムを操作する革新的な技術の基盤確立を目指す。



- ・ 労働生産人口の減少、災害などいろいろな制約下において遠隔より能力を発揮
- ・ コロナ禍により非接触、非密集の生活様式を実現

政策・施策における位置づけ

「経済財政運営と改革の基本方針2020（骨太方針2020）」（2020年7月閣議決定）

- 「新たな日常」構築の原動力となるデジタル化への集中投資・実装とその環境整備として、
AI、ロボットの導入推進、テレワーク定着、対面主義脱却などが標榜

「統合イノベーション戦略2020」（2020年7月閣議決定）

- 産業構造や働き方などのライフスタイルも含めた社会基盤・ルールをデジタル化に対応させ、
経済社会活動のサイバー空間への移動を最大限実現させる必要性

「産業技術ビジョン2020」（2020年5月経済産業省策定）

- ネットワーク接続とAIによってあらゆるデバイスが知性を宿すIntelligence of Things と人間能力の飛躍的拡張を支える技術群として、ロボティクス、**センシング、XR**、ブレイン・マシン・インターフェース、言語の壁を取り払うニューラル機械翻訳等の重要性が高まる



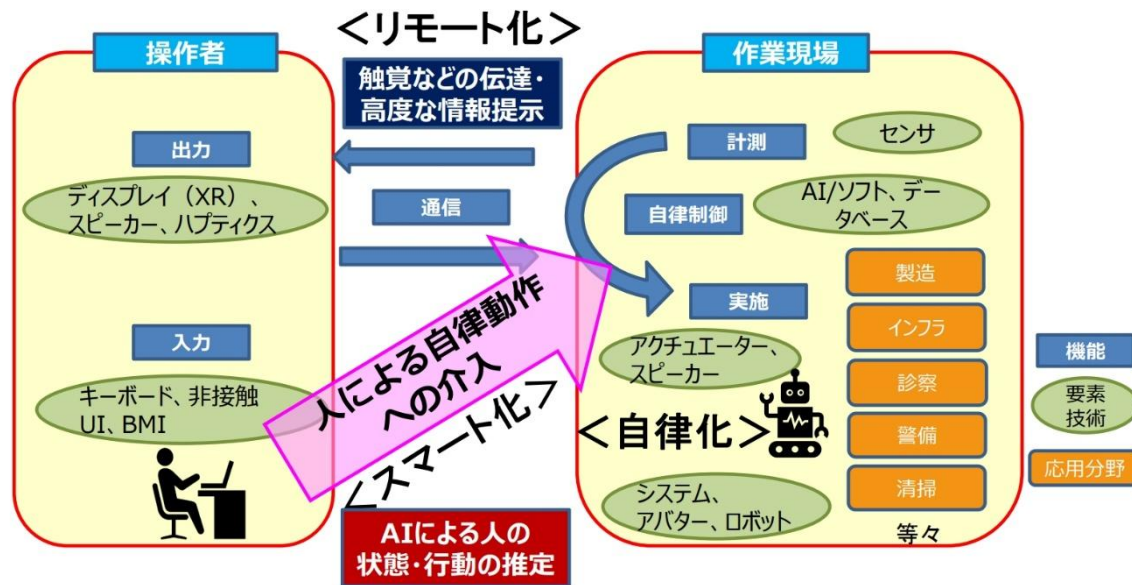
- 空間・時間の制約から解放された社会・経済活動を実現するリモート技術**により、あらゆる分野の産業構造を一変し生産性を飛躍的に高める。
- 生産年齢人口の減少下での産業競争力の維持向上、感染症の流行等による**行動制限下での社会活動の継続、及び多様な立場の人々の社会参加**を実現する。

技術戦略上の位置づけ

NEDO 技術戦略センター（TSC）立案の戦略のうち「リモート化」の部分について実施

TSC Foresight「スマートテレオートノミー」

- コロナ禍を受けて人の密集を避けるため、ロボットなど自律して動く機械やリモート技術の活用が広く進んだ。
- 今後も人の行う様々な活動に自律化・リモート化の活用を広げ、社会実装を加速するためには人工知能技術（AI）との融合が不可欠
⇒ スマートテレオートノミー：テレオペレーション（**リモート化**）とオートノミー（**自律化**）のスマートな融合
- リモート化技術および自律化技術がそれぞれ持つ課題を両技術を融合することで相補的に解決
- より高度に融合することで、実操作と学習の同時達成による高い作業効率、障害発生時の人の介入による高い信頼性も実現



アプローチ	提供したい価値			
	制限下の活動	多様な働き方	競争力の向上	QoLの向上
生産等のデジタルトランスフォーメーション			✓	
データ駆動型サービス				✓
リモート化	✓	✓		✓
自律化	✓		✓	
能力拡張技術				✓

外部環境の状況（市場動向）

NEDO TSCによる戦略分野STP分析結果
スマートテレポート（革新的自律・リモート）より

• 自律・リモート分野の市場動向

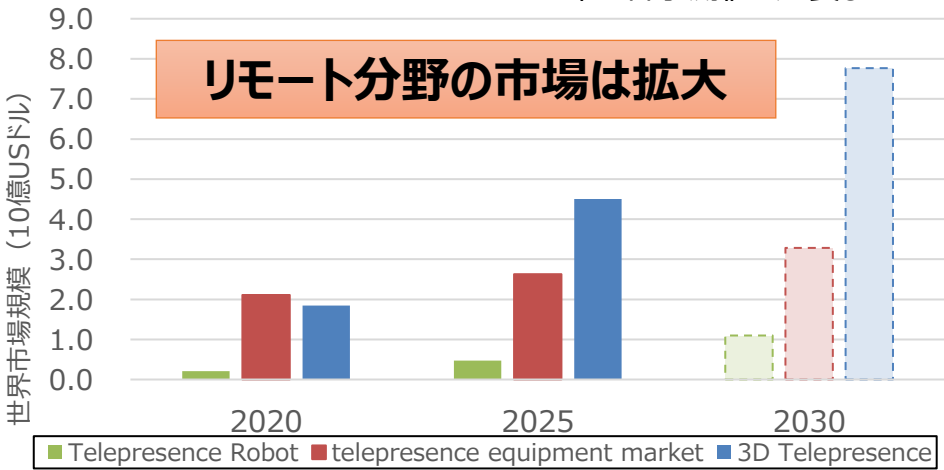
- 自律・リモート分野の市場は、テレプレゼンス市場として動向予測がされている。
- 市場年平均成長率はテレプレゼンスロボットで約18%、テレグジステンス装置で約5%、3Dテレプレゼンス市場は約20%と試算されている。
- より高度な自律・リモートの実現に必要な技術が占める市場の割合は大きいと推察。3Dテレプレゼンス市場のみでも、2035年には1兆円超を予想。他にも応用分野の市場への影響も予想。

各技術の対象範囲

項目	説明
3D Telepresence	立体映像に加えて触力覚や遠隔地の環境を再現し、高い臨場感にて双方向のコミュニケーションを実現する技術
Telepresence equipment	実際の人に現実感を与えるロボットやクラウド等、エンドポイントおよびインフラ技術
Telepresence robot	ディスプレイ、センサ、制御システム等、テレプレゼンス用ロボット実現に必要な技術

テレプレゼンスに関する市場規模予測

※2030年は各予測値を延長したもの



出典：複数の市場規模予測を基にNEDO TSC作成(2020)

外部環境の状況（技術動向）

- 自律・リモート分野の技術動向

- AI、デジタル技術に強い米国が脅威。中国も追い上げ著しく市場も大きい。
- 日本は、ロボット技術、統合技術に強み。

NEDO TSCによる戦略分野STP分析結果
スマートテレポートノミー（革新的自律・リモート）より

応用分野 特許件数の国籍別傾向

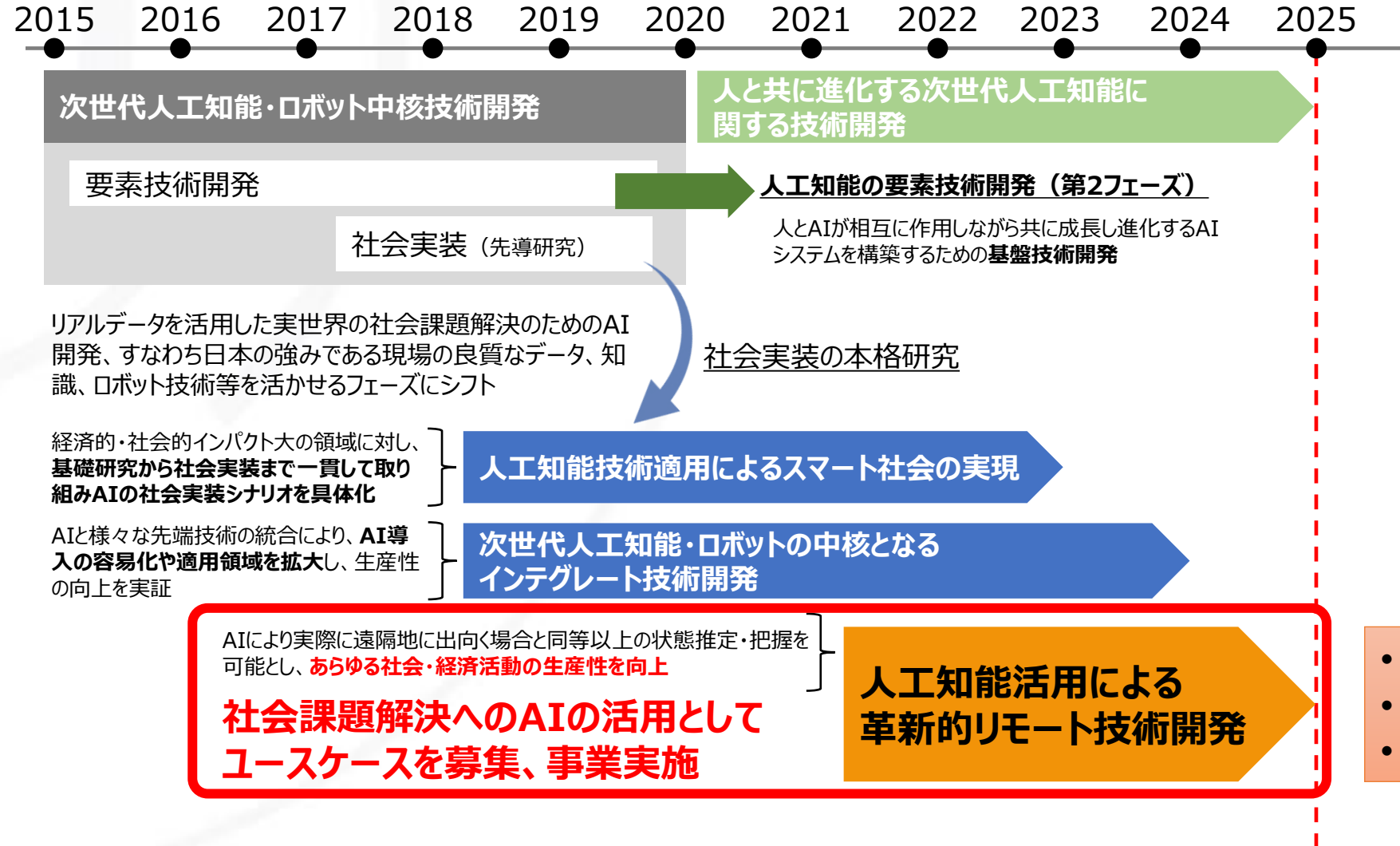
- **オンライン会議**は、米国(50%)、中国(31%)。
- **遠隔医療**は、米国(57%)が多い。INTUITIVE SURGICAL OPERATIONS(da Vinciの製造元)が出願人としては1位。
- **建設**では、中国(42%)、米国(22%)に次ぐものの、日本(13%)も所定の出願数あり。
- **警備、ゲーム**は米国が多い。**インフラ**は、半数以上が中国。
- **清掃、インフラ**では、米国が少ない。

技術開発が望まれる分野を選定

要素技術 特許・論文 件数の国籍別傾向

- **AI**は、特許、論文ともに米国、中国が突出。日本は両国に比して、後れを取っている。
- **ロボット**は、中国・米国が特許・論文多いものの、技術的には日本のレベルは高い。
- **ハプティクス**は特許は中国、米国、日本、論文は米国1強+日本。しかし、特許数の国別の差は小さく、論文の所属機関の国籍も多彩。競争している最中の状況。
- **XR**は、特許、論文ともに米国、中国多い。論文は、総合すると欧州からの報告も多い。
- **通信**特許（遅延時間に関するもの）は、中国が多く、日本の出願数は米国とほぼ同率（11.9%）。

他事業との関係



研究開発項目

AIにより実際に遠隔地に出向く場合と同等以上の状態推定・把握を可能とし、社会・経済活動の生産性向上を目指す。



近傍者が遠隔環境の状態を認知し、的確な判断のもと必要に応じて操作・介入等を行うことを可能とする技術が必要



遠隔と近傍を結ぶループの中で研究開発項目として2項目、
「状態推定AIシステム」と
「高度なXRにより状態を提示するAIシステム」
を設定

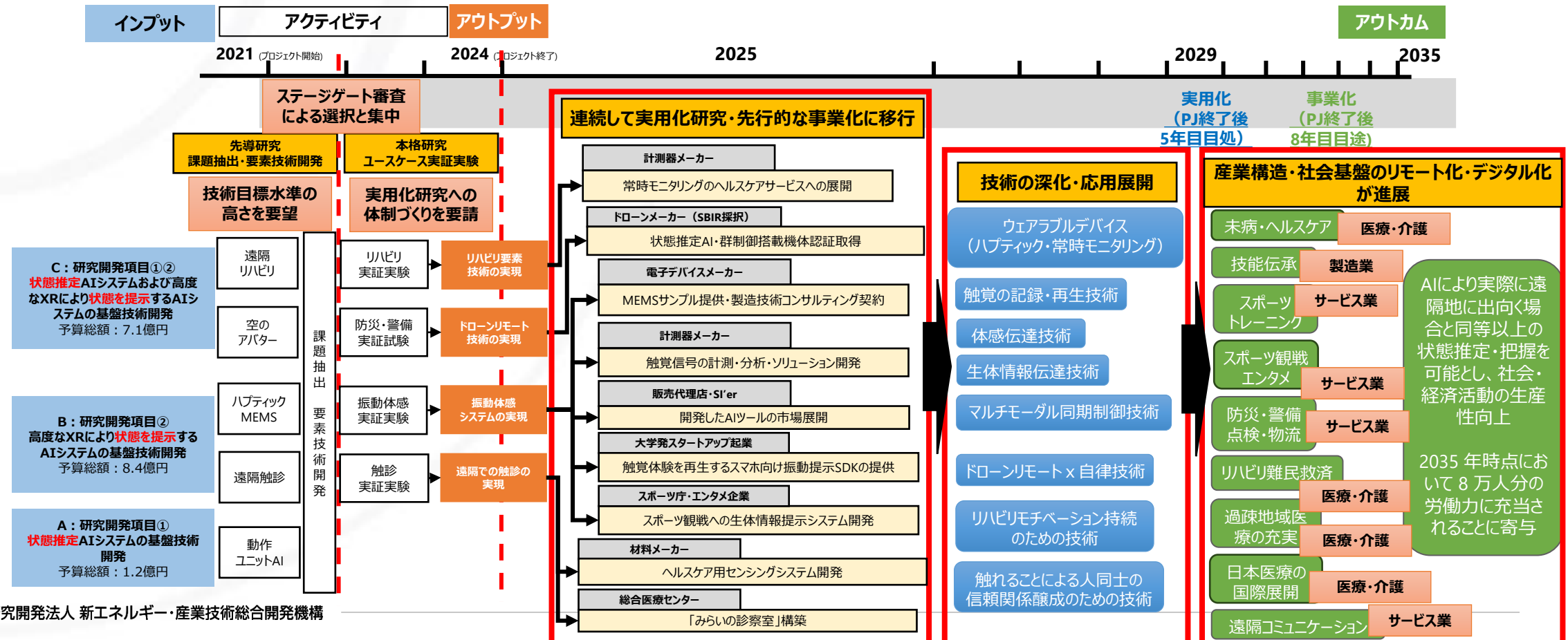
革新的リモート技術を実現するAIおよびXR技術

2つの研究開発項目両方の実施を含め幅広く基盤技術を開発

テーマ名（赤字は以降の略称）	研究開発項目① 状態推定AIシステム	研究開発項目② 高度なXRにより状態を提示するAIシステム
動作ユニットAI による人の感情推定とキャラクタの感情豊かな動作生成による遠隔コミュニケーション環境の構築 (代表機関：東北大学)	感情に基づいた身体動作データから感情を推定するAI技術	(非該当)
極薄 ハプティックMEMS による双方向リモート触覚伝達AIシステムの開発 (代表機関：産業技術総合研究所)	(非該当)	人間とAIが双方向に「ネゴシエーション」しながら信号抽出を行うソフトウェア「体感ネゴシエーション」機能
Contact Realityの実現による 遠隔触診 システム開発 (代表機関：名古屋大学)	(非該当)	触覚を含む複数モダリティの感覚入力が脳内での情報統合を助けるための「タイミング」「情報量」を調整するAI技術
遠隔リハビリ のための多感覚XR-AI技術基盤構築と保健指導との互惠ケア連携 (代表機関：産業技術総合研究所)	常時モニタリングデータからの心的状態推定AI技術	VRによる時間と空間を超えた内発的動機付け支援技術
AI・XR活用による 空のアバター を実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発 (代表機関：東京大学)	人物職業、人物行動推定のAI処理をクラウド上でリアルタイムに実現する技術	デジタルツイン内での視野拡張VRや俯瞰視点など、人間の感覚を拡張する高度XR提示技術

アウトカム達成までの道筋

- 将来像から**事業イメージ**を策定、必要な技術と水準を定義し、技術開発を促進
⇒ 基盤技術開発段階からユースケースの形が見えるところまでに至った。
- 事業の担い手となる**企業を含めた体制**構築を実現し、実用化研究、更なる技術の深化・応用展開、その先への道筋策定を意識いただいた。



知的財産・標準化:オープン・クローズ戦略

課題：

アカデミアの参画が多い本プロジェクトにおいて、論文を優先するアカデミアに対してどのように知財マインドを醸成するか

NEDOのアクション：

- 事業化における知財の重要性を改めてINPIT資料を使用して説明
- 特許出願等を考慮し公開レベル設定等を見直したデータマネジメントプランの再設定
- 各機関の知財部門に知財化／オープン・クローズ戦略を相談するように働きかけ
- 知財化の難しいソフトウェアに関しては、企業への試用提供に際し、事前のOSS化を働きかけ、権利を確保

ハプティックMEMSテーマの例

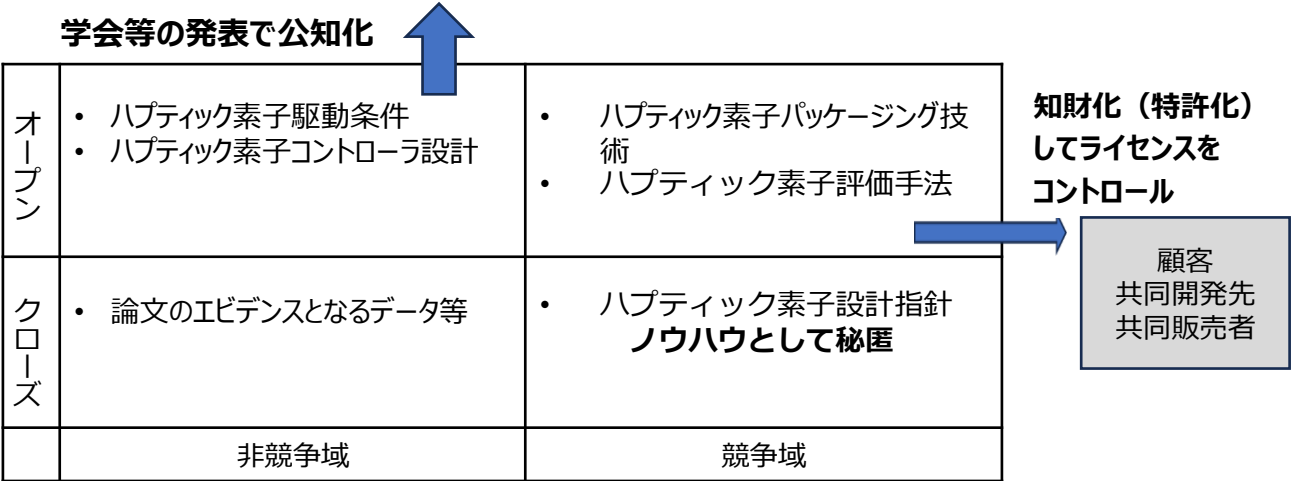


図1 ハードウェアの戦略（ハプティック素子の戦略）

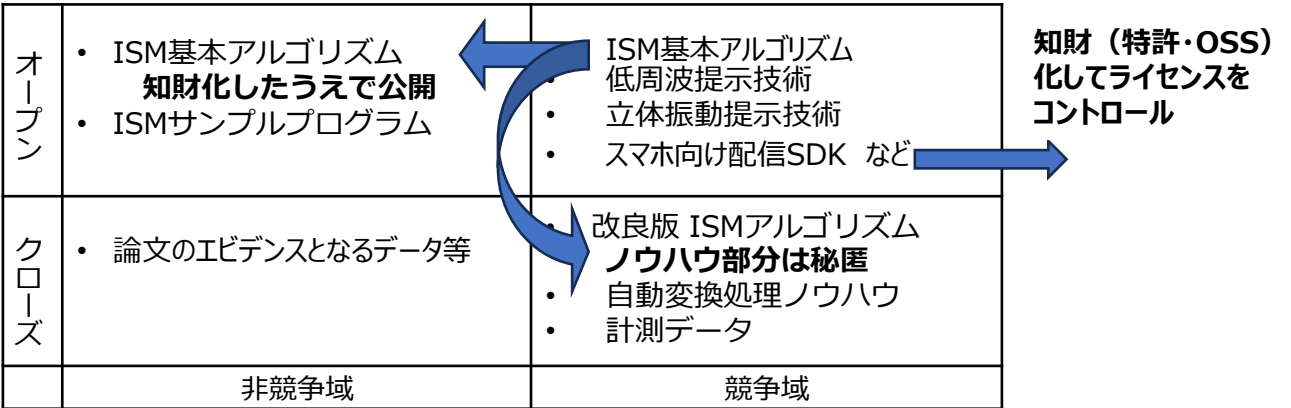


図2 ソフトウェアの戦略（ISMの戦略）

知的財産管理

- **知的財産権の帰属**

産業技術力強化法第17条第1項に規定する4項目及びNEDOが実施する知的財産権の状況調査（バイ・ドール調査）に対する回答を条件として、知的財産権はすべて発明等をなした機関に帰属

- **知財マネジメント基本方針（「NEDO知財方針」）に関する事項**

NEDO知財方針に則り、各テーマ毎に「全実施機関で構成する知財委員会（又は同機能）」を整備し、「知財の取扱いに関する合意書」を作成

＜評価項目 2＞ 目標及び達成状況

- (1) アウトカム目標及び達成見込み
- (2) アウトプット目標及び達成状況

実用化・事業化の考え方とアウトカム目標の設定及び根拠

実用化・事業化の考え方

本事業は基礎的・基盤的研究開発として実施
⇒ プロジェクト終了後5年を目処に（もしくはそれ以上の期間で）、実用化まで達することを目指す

アウトカム目標	根拠
産業構造・社会基盤のリモート化・デジタル化が進展し、2035 年時点において 8 万人分の労働力に充当され、リモート技術の国内市場の規模が 3200 億円に達することに寄与する。	<ul style="list-style-type: none">高齢化が進み、生産人口が減少、数百万人規模で労働力不足の懸念労働力不足が大きい、製造業、卸売・小売、医療・福祉、サービス業など約200万事業所（約2000万人）の2%、4万事業所（40万人）が、リモート化・デジタル化進展による生産性の向上により8割（32万人）の人員で対応可能差分8万人分の労働力 = 3200億円に相当する効果が見込めると試算



図引用：労働市場の未来推計2030 パーソル総研(2018)

アウトカム目標の達成見込み

各テーマ、実用化研究に移行。多くの人員が不足する業種にリモート技術が進展、達成が見込まれる。

テーマ名	実用化研究に移行している案件（社会実装に向けた現状）	見込まれるアウトカム
ハプティック MEMS (触覚伝達)	<ul style="list-style-type: none"> ・デバイスメーカーとの間で製造技術について技術コンサルティング契約を締結し、コンサルティングを実施。来年度以降実用化に向けた共同研究へ展開の見込み。 ・6企業に対して成果技術の有償試用提供契約済み。 ・触覚体験のための次世代振動提示技術提供等を行うスタートアップを10月に創業。 ・動画配信コンテンツ配信サービスの協力先候補企業とのNDAを締結。 ・スポーツ観戦事業への展開としてスポーツ庁「Sports Future Lab」大阪・関西万博でアピール、パートナー候補企業との協議開始 	<p>【製造業、サービス業】ハプティックセンシング、アクチュエーションデバイスが搭載されたウェアラブルデバイス販売が躍進、時間と空間を超え触覚によりつながるビジネスが幅広い分野に展開。</p> <p>【サービス業】体感型展示やアーティストやスポーツ選手の体感付きコンテンツの配信など、新たな感動を呼ぶ価値感が普及。</p> <p>【製造業】繊細な触感・体感が必要で、遠隔が難しい現場に技術導入することで、人の移動を伴わなくても属人的な技能の普及・伝承が可能。</p>
遠隔触診	<ul style="list-style-type: none"> ・手根管症候群などの疾患を中心に大学病院で手術を受けた患者に対して、術後再検査の遠隔触診システム導入実証試験を開始 ・インソール型センサーによる歩容解析の社会実装に向け、自治体、企業と協議を開始、歩行（運動療法）を交えた商業施設での生活習慣病予防体験会を実施 	<p>【医療】患者にとって、生活環境に居ながらに主治医による診察を受けられる安心感が得られる。医師にとってより多くの患者と深い信頼関係を築きつつ治療が行える。</p> <p>【医療・福祉】歩容解析等による未病ビジネスにより健康保険制度への依存を軽減。</p>
遠隔リハビリ	<ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクト実施企業による常時モニタリングを活用した特定保健指導サービスを提供開始 ・産総研柏の葉リビングラボでの遠隔VRリハのメニュー化 	<p>【医療・福祉】いかにモチベーションを維持し、効果向上につなげるかという課題に対し、メタバース空間での利用者互恵ケアや常時モニタリングによる状態推定が効果的なソリューションとして提供されQoL向上を求める社会に浸透する。</p>
空のAvatar (ドローンリモート)	<ul style="list-style-type: none"> ・JST K-Pro「空域利用の安全性を高める複数の小型無人機等の自律制御・分散制御技術及び検知技術」に技術導入 ・SBIR「行政ニーズ等に対応したドローンの開発・実証」に技術導入 	<p>【サービス業】自律制御・分散制御技術により、ドローンオペレーターの安全が確保できる。迅速・俯瞰的な状況把握により、現場消防隊員、警備員等の効率的な活動、被害の軽減が見込まれる。</p>

非連続ナショナルプロジェクトに該当する根拠

◆非連続ナショナルプロジェクトの考え方

観点	内容
非連続的な価値の創造	画期的で飛躍的な変化を伴う価値が創造され、提供されることにより、生活、環境、社会、働き方などを変える
技術の不確実性	難易度が高い技術的課題や、新領域へのチャレンジなどにより、目標とする特性値や技術は従来の延長上ではなく、リスクが特に高い

選定基準	該当	理由
①非連続的な価値の創造	該当	次世代基盤技術開発により、人間が空間に縛られずに能力を発揮する、全く新しい社会の実現に寄与する。
②技術の不確実性	該当	遠隔技術は、コロナ禍において人の密集を避けるために研究開発が加速しつつあるものの、従来にない新しいシステムとなることが想定されるため、開発リスクは高い。



これまでの延長線上にない、新たな価値を生み出すことを目指す非連続ナショナルプロジェクトとして実施

本事業における研究開発項目の位置づけ

- 遠隔と近傍を結ぶループの中で研究開発項目として2項目、「**状態推定AIシステム**」と「**高度なXRにより状態を提示するAIシステム**」を設定
- アウトプット：テーマ毎に**ユースケース**を想定して研究開発・実証実験を行い、**実用化を見据えた水準で基盤技術を開発**

研究開発項目①

状態推定AIシステムの基盤技術開発

AIを活用し、

- 先進的なデバイスによって取得した遠隔地の情報を人間の認知特性に基づいて意味づけること
- 複数の情報や時系列のデータ等を基に遠隔環境の状態を推定すること

研究開発項目②

高度なXRにより状態を提示するAIシステムの基盤技術開発

AI・XRを活用し、

- 人間の認知特性を利用して複数の感覚を組み合わせ提示すること
- 目的に応じて特定の感覚を誇張して提示すること

等を可能とする技術の基盤を開発する。

近傍者が遠隔環境の状態を認知し
的確な判断のもと必要に応じて
操作・介入等を行うことを可能とする技術





アウトプット目標の設定及び根拠

研究開発項目① **状態推定** AIシステムの基盤技術開発
研究開発項目② 高度なXRにより**状態を提示**するAIシステムの基盤技術開発

研究開発項目①②に共通した目標を設定

最終目標（2025年 3月）	根拠
本プロジェクトが対象とする基盤技術が、 実用化研究 （実際の製品やサービスを開発するうえでの技術的な課題を解決するための研究） を開始できる水準に達すること	本プロジェクトは、実用化までに長期間を要するハイリスクな基盤技術開発を前提として実施する。ブレイクスルーを生み出す基盤技術を開発し、3年9か月の短期で成果をまとめ、実用化研究の方向性を見極めるまでを目標とする。
研究開発テーマのうち25%以上の案件がプロジェクト終了後、 連続して実用化研究に移行 すること	本事業は基礎的・基盤的研究開発として実施するため、事業終了時点の実用化研究移行率を設定。NEDO中長期計画にて、事業終了後5年経過時に実用化達成率を25%以上を目標としている。本事業でも低い難易度のテーマによる組成になる懸念を避けるために同様の目標値を設定。
基盤技術の内容および得られる効果を、 デモンストレーション等を通じて公開 すること	実用化研究、その先の社会実装に向け、共同研究者、事業の担い手候補に対するアプローチを重視。

プロジェクト類型	実用化・事業化の考え方
標準的研究開発	プロジェクト終了後5年を目処に、 事業化 まで達することを目指す研究開発
基礎的・基盤的研究開発	プロジェクト終了後5年を目処に（もしくはそれ以上の期間で）、 実用化 まで達することを目指す研究開発

アウトプット目標の達成状況

◎ 大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

目標 (2025年3月)	成果（実績） (2025年3月)	達成度	達成の根拠
本プロジェクトが対象とする基盤技術が、 実用化研究 （実際の製品やサービスを開発するうえでの技術的な課題を解決するための研究） を開始できる水準に達すること	継続したテーマすべてで目標を達成	○	各テーマ、テーマ審査委員会にて認められる技術水準を達成
研究開発テーマのうち25%以上の案件がプロジェクト終了後、 連続して実用化研究に移行すること	採択された5テーマのうち継続した4テーマにて連続して実用化研究に移行する具体的案件がある	○	コンサルティング契約締結、スタートアップ創業、SBIR事業採択、など
基盤技術の内容および得られる効果を、 デモンストレーション等を通じて公開すること	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローンリモート技術の公開実証実験 ・遠隔触診のシンガポール⇄名古屋間公開実証試験、国際シンポジウム ・事業費を活用し、CES、CEATEC、AWE-EU、SXSW等国際的な展示会に出展、有用なリードを多数獲得 ・遠隔リハビリに向けたオープンデータセット公開 	○	各テーマ、それぞれ成果のアウトリーチ活動を展開

特許出願及び論文発表

各テーマの方針に基づき特許出願・論文発表

テーマ名	方針	特許出願 [うち外国出願]	論文	研究発表・講演	受賞実績	成果普及の努力 (プレス発表等)
ハプティック MEMS	実用化・事業化を具体的に想定、 ノウハウとして秘匿 する技術、 知財化したうえで公開 する技術、 ライセンス する技術による戦略を策定	4[2]	4	44	10	2
遠隔触診	プロトタイプ段階から広く展示会、学会等でアピールすることで、可能性を示し、遠隔触診 普及に向けた仲間を増やす 方針	2	5	5	0	2
遠隔リハビリ	遠隔リハビリ分野の 普及促進 のため、成果は論文、データセット、ガイドライン等でオープン化	0	25	29	3	15
空の-avatar	防災、警備ユースケースの 受容性を高める ための使用ガイドライン等は公開、実施者による事業化の強みとなる 要素技術は秘匿化 、早期の実用化を目指す	0	7	7	1	10
動作ユニットAI	再委託先によるビジネスを想定しつつ、学術的に有意義な 成果を論文等で発表 、認知度を高める	0	8	11	0	0

特許出願（開示済のもの）

名称	番号	目的	テーマ
触覚検出装置、触覚検出システム、プログラム及び触覚検出方法	特開2024-108240	接触対象物の触覚情報（硬さ、重さ、表面の粗さなど）を高精度に推定する技術の提供 人間の触覚に近い認識を機械に持たせる	遠隔触診
装置、振動提示装置、方法、振動提示方法及びプログラム	特開2025-092028	振動子の大型化を抑えつつ、効果的な振動提示の実現	ハプティックMEMS

＜評価項目 3＞ マネジメント

(1) 実施体制

※ 受益者負担の考え方

(2) 研究開発計画

NEDOマネジメントのまとめ

項目	目的	内容
実施体制	新しいシステム・サービスを生むための 基礎的・基盤的技術開発	<ul style="list-style-type: none"> 28件の応募からターゲットとなる広い技術領域における5テーマを採択・実施、基盤技術として広く応用できる技術を開発
資金配賦	資金の効率的な活用	<ul style="list-style-type: none"> ステージゲート審査により効率最大化のための選択と集中を実施、ステージゲート通過テーマに対して審査結果に応じたメリハリのある資金配賦 示達予算を有効活用し、2021年度、2022年度、2024年度に大きな効果を期待できる案件に対しPLと協議のうえ追加配賦
戦略・事業化に向けた意識付け	アカデミアに対する事業化意識の醸成	<ul style="list-style-type: none"> 大学・国研が幹事機関となるコンソーシアム体制に対し、事業化に向けて、研究開発段階から意識すべきアウトリーチ活動、オープン・クローズ戦略の考え方を説明、戦略策定を促した
テーマ審査委員会の活用	外部有識者による評価・アドバイス	<ul style="list-style-type: none"> 審査色を強くした技術推進委員会形式で実施。事前書面審査により、PL・委員の深い理解のもと的確な評価、アドバイスを実施 サイトビジットにより、PL・委員に直接開発現場を把握、成果物を体験いただくことで、適切な指導、アドバイスを実施
進捗把握とPL指導	定期的な進捗把握とPLからのタイムリーな技術指導	<ul style="list-style-type: none"> NEDO・PL・実施者間の報告・コメントスキームを月度で実施、PLからの技術的コメント、NEDOからのプロジェクト推進コメントを研究開発に反映
企業との情報交流	社会実装に向けた企業とのマッチング	<ul style="list-style-type: none"> 企業出身技術委員、プロジェクトメンバーによる実施者への企業紹介と情報交流会のセッティング、事業終了後も継続 プロジェクト内の別テーマに参画する企業と大学との情報交流
起業準備支援	事業期間中に起業準備	<ul style="list-style-type: none"> 成果の一部を活用して早期に事業化できるように年度ごとの研究開発目標を明確にし、研究開発の成果の利活用を行うサポートを実施

NEDOが実施する意義

意義：

- ① 民間のみでは十分に実施されないハイリスクな研究開発
- ② 市場原理に基づく研究開発実施インセンティブがない
- ③ 科学技術的価値からみた卓越性、先導性があるなど、NEDOが主体的役割を果たす特段の理由がある

コロナ禍において各企業が苦境に立たされる中、民間企業のみでは十分な研究開発が困難と考えられる。

また次世代基盤技術開発はこれまでにない新しい自律・リモート技術によるシステムを設定するものであり、非常に難易度が高い。よって民間企業のみでは十分な研究開発が困難と考えられる。NEDOが実施することにより、実用化・事業化を見据えた支援を行うことができる。

個別事業の採択プロセス

幅広くユースケースを採択するために、2つの研究開発項目を設定しつつ、両項目に跨がるテーマも受付、

【A】研究開発項目①「状態推定AIシステムの基盤技術開発」

【B】研究開発項目②「高度なXRにより状態を提示するAIシステムの基盤技術開発」

【C】研究開発項目① および ②

に分類

【公募】

- 公募内容 事業の目的・内容：生産性の向上、働き方改革推進の観点からリモート化への期待は高く、コロナ禍を受けてニーズは更に加速している。しかし遠隔情報の取得取得手法が十分でなく生産性向上効果は限定的となっている。遠隔環境の状態を現場にいる以上の認知が可能になる革新的リモート技術開発として、「状態推定AIシステムの基盤技術開発」「高度なXRにより状態を提示するAIシステムの基盤技術開発」を実施する。
- 公募予告（2021年1月25日）⇒公募（3月18日）⇒公募〆切（5月6日）

【採択】

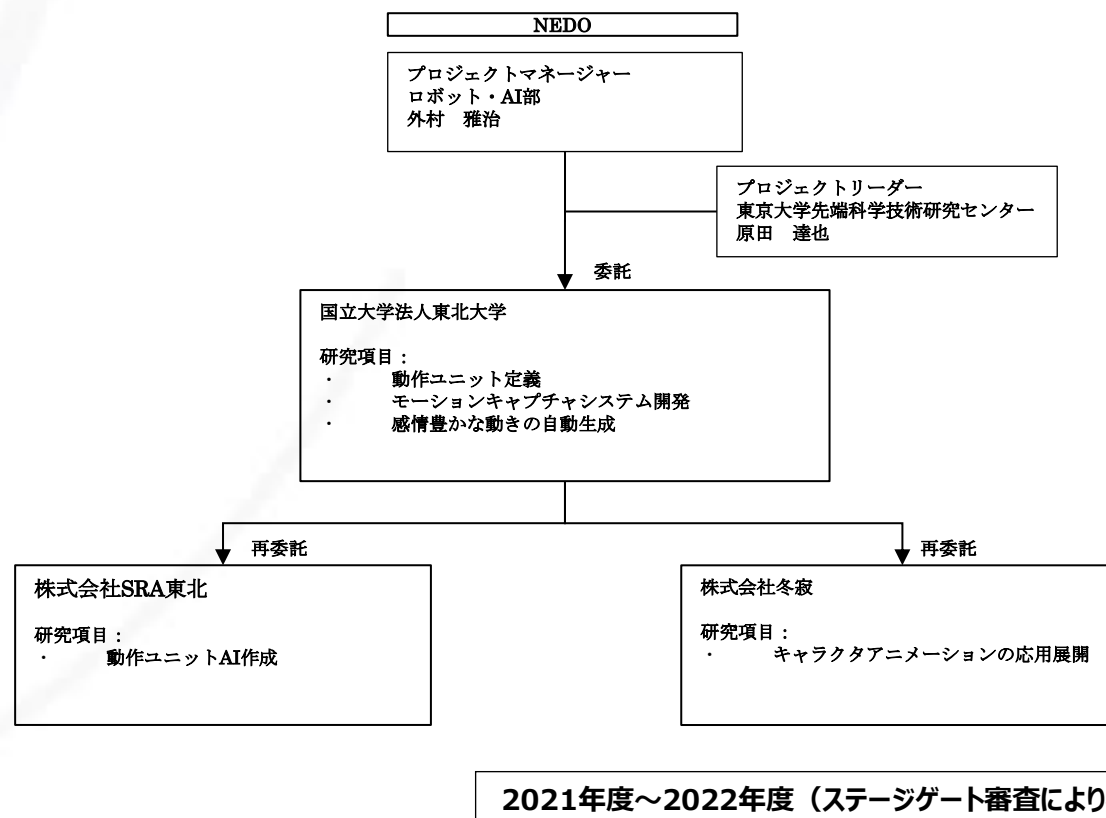
- 事前書面審査（5月11日～5月26日 **28件**）⇒採択審査委員会（6月4日 11件）⇒契約・助成審査委員会（6月29日 5件）⇒ **5件**
- 採択審査項目；（i）基本計画の目的、目標との合致、（ii）開発対象、（iii）研究開発目標、（iv）新規性・独創性、技術の用途、（v）（vi）社会経済への波及効果、（vii）公的資金投入の妥当性、（ix）（x）研究開発の実現性に対して5段階による採点を付けた後、平均値により評価点を算出した。さらに、「ワーク・ライフ・バランス等推進企業」「若手研究員及び女性研究員」の要素について加点し、総合評価点（5点満点）を算出した。なお、前述の要素の加点は、提案書に基づいてNEDOが機械的に算出した。また、各加点要素の割合は、総合評価点の1%とした。
- 総合評価点の全委員の平均値が3点以上、かつ、過半数の委員の総合評価点が3点以上の提案を採択候補とした。
- 採択条件；採択審査委員会では、2年間の複数年度契約とし、2022年度にテーマ審査ステージゲートを実施して、研究開発テーマの継続の可否を判断することを条件に採択審査を実施した。

実施体制

テーマ内の体制・役割を明確化し、
プロジェクトリーダーから技術面での広い知見に基づいた指導をいただきつつ研究開発を推進

【A】研究開発項目①「**状態推定AIシステム**の基盤技術開発」（1テーマ）

動作ユニットAI による人の感情推定とキャラクタの感情豊かな動作生成による遠隔コミュニケーション環境の構築

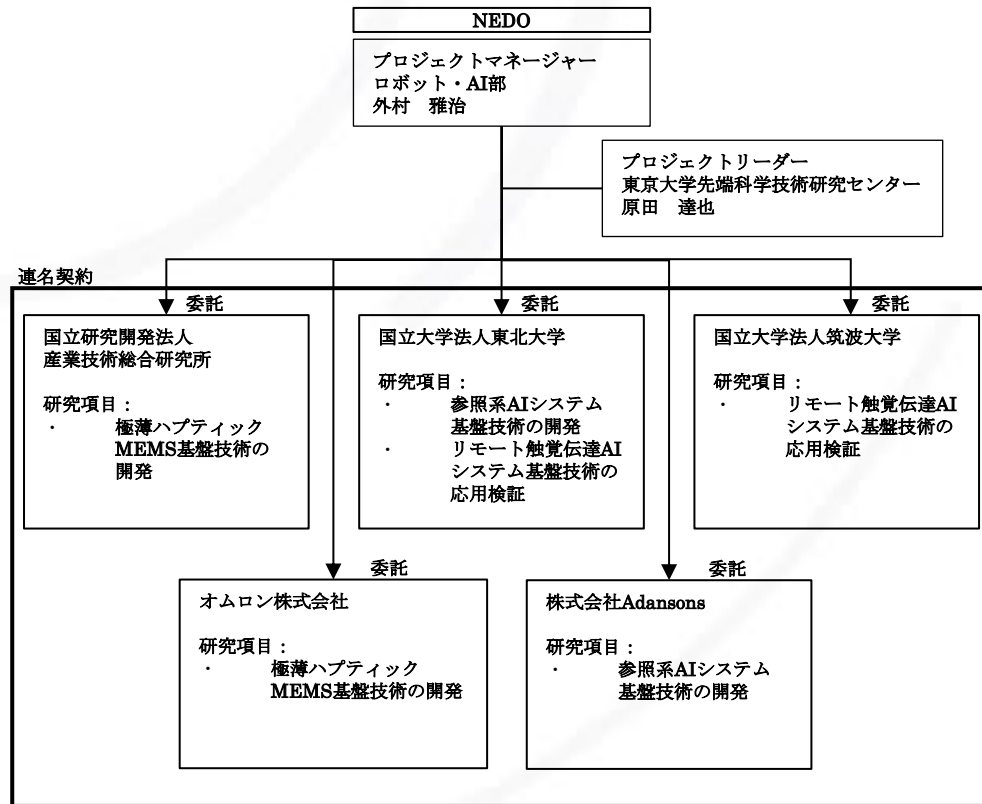


実施体制

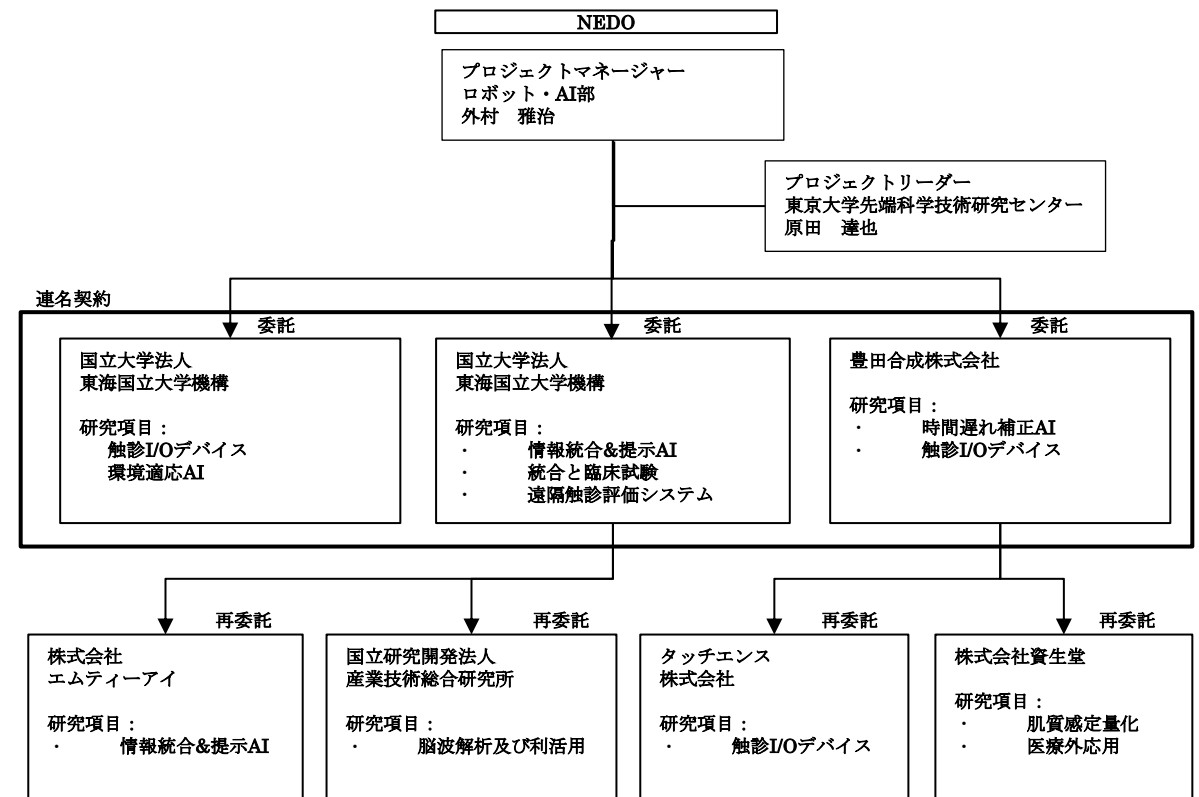
【B】研究開発項目②「高度なXRにより状態を提示するAIシステム」の基盤技術開発（2テーマ）

極薄ハプティックMEMSによる双方向リモート触覚伝達AIシステムの開発

Contact Realityの実現による遠隔触診システム開発



2021年度～2024年度



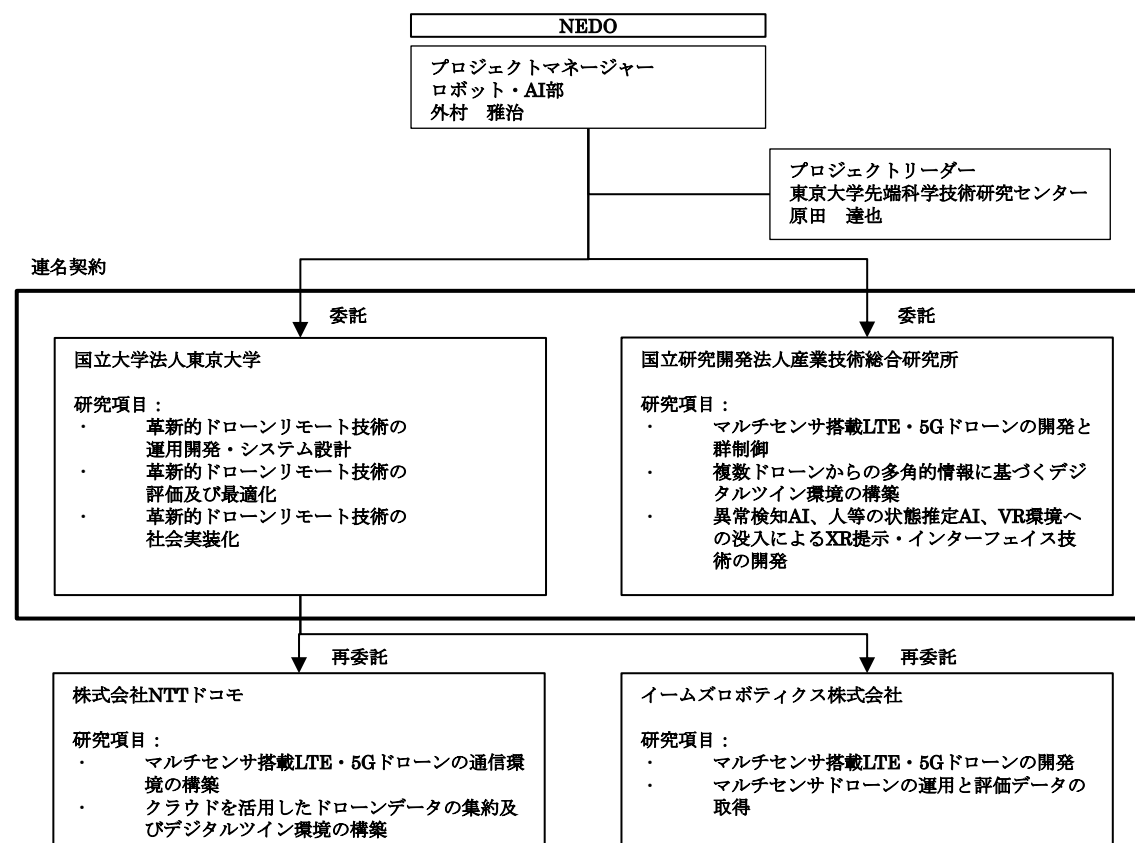
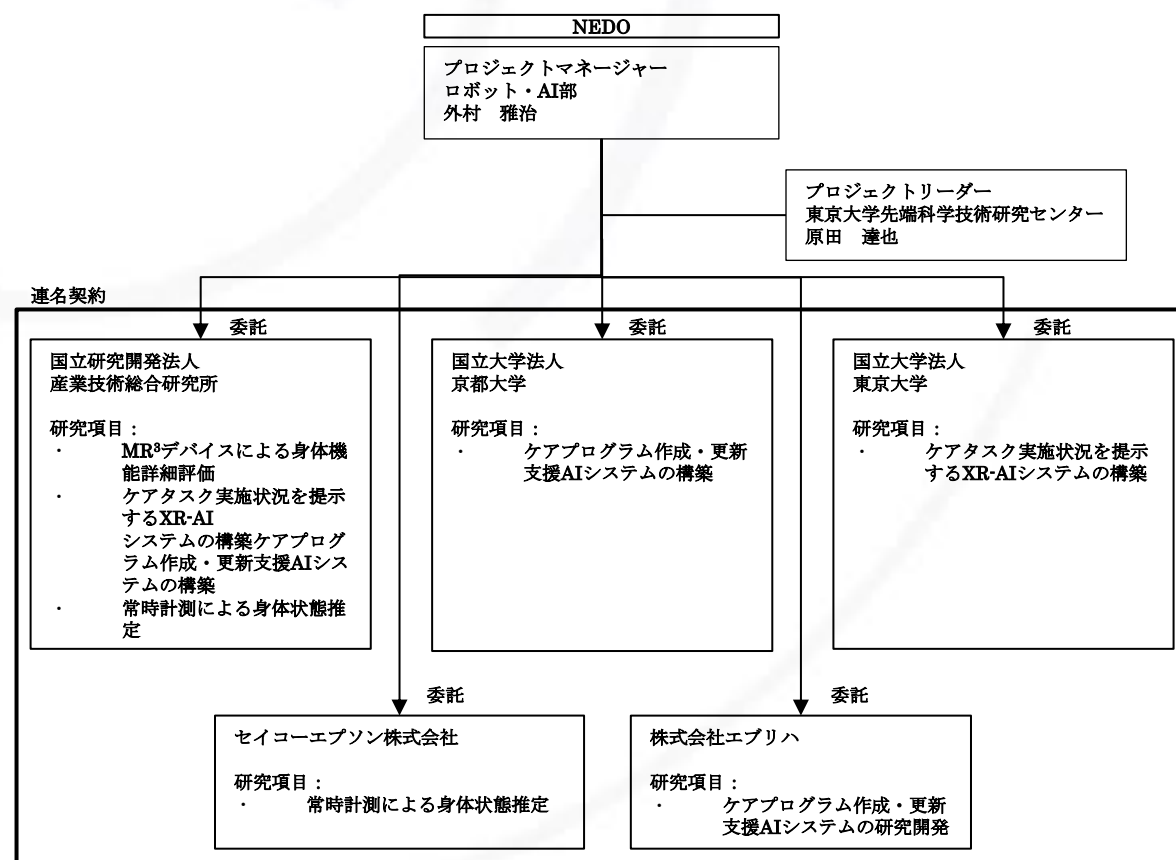
2021年度～2024年度

実施体制

【C】研究開発項目①②「**状態推定AIシステム**及び**高度なXRにより状態を提示するAIシステム**の基盤技術開発」(2テーマ)

遠隔リハビリのための多感覚XR-AI技術基盤構築と保健指導との互惠ケア連携

AI・XR活用による**空のアバター**を実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発



研究データの管理・利活用

- NEDOデータ方針に則り、「人工知能活用による革新的リモート技術開発」におけるデータマネジメント基本方針を策定
- 各テーマ毎に「全実施機関で構成する知財委員会（又は同機能）を整備し、「データマネージメントプラン」を実施者から提出いただき、データの運用状況を確認

データの活用例)

オープン・クローズ戦略に基づき、事業分野への技術の普及促進を目的として、選択的にデータセットを公開しつつ、先行者利益確保のため、選択的に非公開データとして管理するなど、適正なデータの管理を実施した。

NEDO ニュースリリース

遠隔でリハビリテーションができる社会の実現に向けて

世界初の上肢・肩甲骨運動オープンデータセットを公開しました

—リハビリ事業者など民間企業のコミュニティー形成で市場開拓を目指す—

仲間を増やすための戦略

18種の上肢・肩甲骨運動

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| 1. 肩の屈曲、伸展（90度まで） | 10. 前腕回内、回外（肘90度屈曲位） |
| 2. 肩の屈曲、伸展（最大可動域まで） | 11. 前腕回内、回外（肘伸展位） |
| 3. 肩の外転、内転（90度まで） | 12. リーチング動作（内側） |
| 4. 肩の外転、内転（最大可動域まで） | 13. リーチング動作（前方） |
| 5. 肩の水平外転、内転 | 14. リーチング動作（外側） |
| 6. 肩の外旋及び内旋（1st位） | 15. 膝から耳の真横へ手を移動させる動作 |
| 7. 肩の外旋及び内旋（2nd位） | 16. 手を腰の後ろに触れる動作 |
| 8. 肩の外旋及び内旋（3rd位） | 17. 手を後頭部に触れる動作 |
| 9. 肘の屈曲、伸展 | 18. 机を布巾で拭く動作 |



予算及び受益者負担 / 費用対効果

◆実績

（単位：百万円）

研究開発項目分類		2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	合計
A: 研究開発項目① 状態推定AIシステム の基盤技術開発	委託 100%	54	67	—	—	121
B: 研究開発項目② 高度なXRにより状態 を提示するAIシステム の基盤技術開発	委託 100%	183	237	204	215	839
C: 研究開発項目① および②	委託 100%	177	214	161	157	708
合 計		414	518	365	372	1,668

次世代基盤技術開発はこれまで
にない新しい自律・リモート技
術によるシステムを設定するもの
であり、非常に難易度が高いた
め委託事業とした。

◆費用対効果

【インプット】

- 事業費用の総額 16.7億円（4年）

【アウトカム達成時】

- 経済効果（2035年） リモート技術の国内市場の規模が 3200 億円に達することに寄与

基礎的・基盤的研究開発での成果から実用化研究に継続しており
実用化、事業化に進むことで大きな効果が期待できる

研究開発のスケジュール

ステージゲートにより費用対効果の高い効率的な研究開発を推進

テーマ名		2021	2022	2023	2024
動作ユニットAI		5件採択	5テーマ SG 中間目標	1件不通過	
ハプティックMEMS				4テーマ 最終目標	
遠隔触診					
遠隔リハビリ					
空のアバター					
予算 (億円)	委託	4.1	5.2	3.7	3.7

- ステージゲート審査委員、実施者への事前説明
- ステージゲート審査の厳格化、公平性、俯瞰性
 - 選択と集中を強化する
 - 本プロジェクトの技術委員のみによる構成ではなく、より公平性、俯瞰性を高める観点から新委員を加える
 - 予算額からの制約
 - 本プロジェクト全体の2023年度予算は、2022年度に比べて、8割程度になる可能性があり、判定基準に達していても順位にもとづいて、不通過と判定する場合がある

進捗管理（月度）

- NEDO・PL・実施者間の報告・コメントスキーム（1～2か月毎）
 - ・ オンライン進捗確認ミーティングをNEDOと実施者間で実施
 - ・ 委員会からのコメント・アドバイスの説明、対応状況確認、次回委員会の目的、審査事項の説明
 - ・ 進捗状況を確認・把握、要点をNEDOがまとめPLに報告
 - ・ PLからNEDOに対して質問・コメントをいただく
 - ・ 最終成果物の定義、何が革新的ですごい技術なのか
 - ・ 競合になり得る技術の紹介と差別ポイントの明確化
 - ・ 定量的目標と評価手法の明確化、定量化が難しくても明文化するべき
 - ・ 本当に使える技術として機能・性能、完成度の高さの追求
 - ・ 事業期間内の技術統合に向けての要素技術完成度とスケジュール管理の重要性
 - ・ NEDOから実施者に対してPLからの質問・コメント、運営面での依頼事項をフィードバック



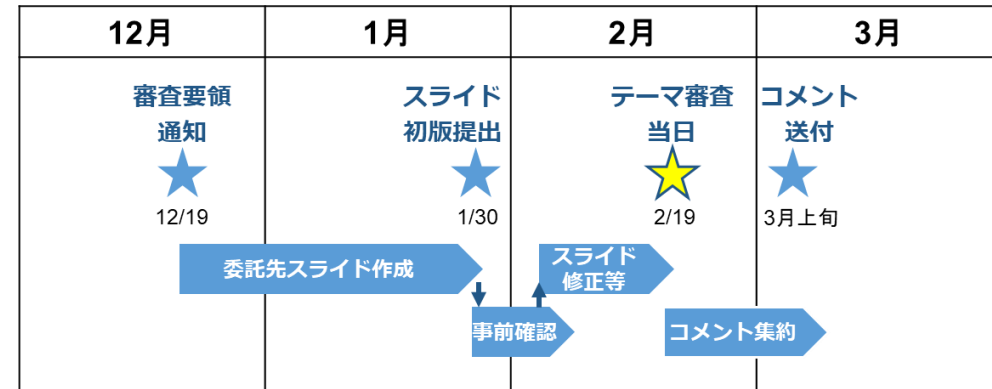
進捗管理（テーマ審査委員会の運営）

進捗確認マイルストーンとして、テーマ審査委員会と称する外部有識者による**審査色を強くした技術推進委員会**を設定

- ・ 事前書面審査により**理解を深めていただきつつ、委員からの質問事項**を実施者に提示
- ・ 回答を用意いただいたうえで委員会で発表、質疑応答による直接指導
- ・ **PLにも参加**いただき、質疑応答による直接指導
- ・ **委員間協議**により委員会コメントをまとめ、委員長承認を得て**後日実施者にフィードバック**
- ・ NEDOは委員会コメントをよりどころに、**対応状況、進捗状況確認**を実施
- ・ 評価事項

- ・ ステージゲートまで（**技術の高さ**を意識）
 - ✓ 研究開発成果がリモート技術の基盤となるか
 - ✓ 開発する技術・システムとその達成水準の明確化
- ・ ステージゲート後（**アウトプット目標**を意識）
 - ✓ 連続して実用化研究に移行するための体制づくり
- ・ 最終年度（**アウトプット目標 + アウトカム目標**を意識）
 - ✓ 連続して実用化研究に移行するための体制づくり
 - ✓ 社会実装（アウトカム目標）達成への道筋

- ・ 第3回は**ステージゲート審査**



第7回テーマ審査委員会スケジュール

進捗管理（テーマ審査委員会の運営）

テーマ審査委員会	開催時期	委員構成	これまでの成果と今後の計画以外の評価事項
第1回	2022年2月	採択審査委員から2名、新規3名	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発成果がリモート技術の基盤となるか
技術指導 見学会	2022年6月～9月	変更なし	
第2回	2022年9月	変更なし	
第3回 ステージゲート審査	2022年12月	テーマ審査委員から3名、新規3名 より公平性、俯瞰性を高める観点 から半数は新委員とする	
第4回	2023年7月	ステージゲート審査委員から5名	<ul style="list-style-type: none"> プロジェクト終了後の連続して実用化研究に移行するための方針
技術指導 見学会	2023年11月～12月	変更なし	
第5回	2024年4月	変更なし	<ul style="list-style-type: none"> プロジェクト終了後の連続して実用化研究に移行するための対応計画 提案時の「研究開発成果の事業化計画書」に対し研究開発進捗、社会情勢の変化を反映したアップデート
第6回	2024年9月	変更なし	<ul style="list-style-type: none"> プロジェクト終了後の連続して実用化研究に移行するための対応状況 将来像実現に向けた社会実装（アウトカム目標）達成への道筋策定状況
第7回	2025年2月	変更なし	<ul style="list-style-type: none"> プロジェクトの位置づけ・意義（基盤技術の定義、実用化研究を開始できる水準の定義） プロジェクトの成果 アウトカム（社会実装）達成までの道筋策定状況

開発促進財源投入実績

PLと協議のうえ未契約予算を成果最大化に向けて効果的に配賦

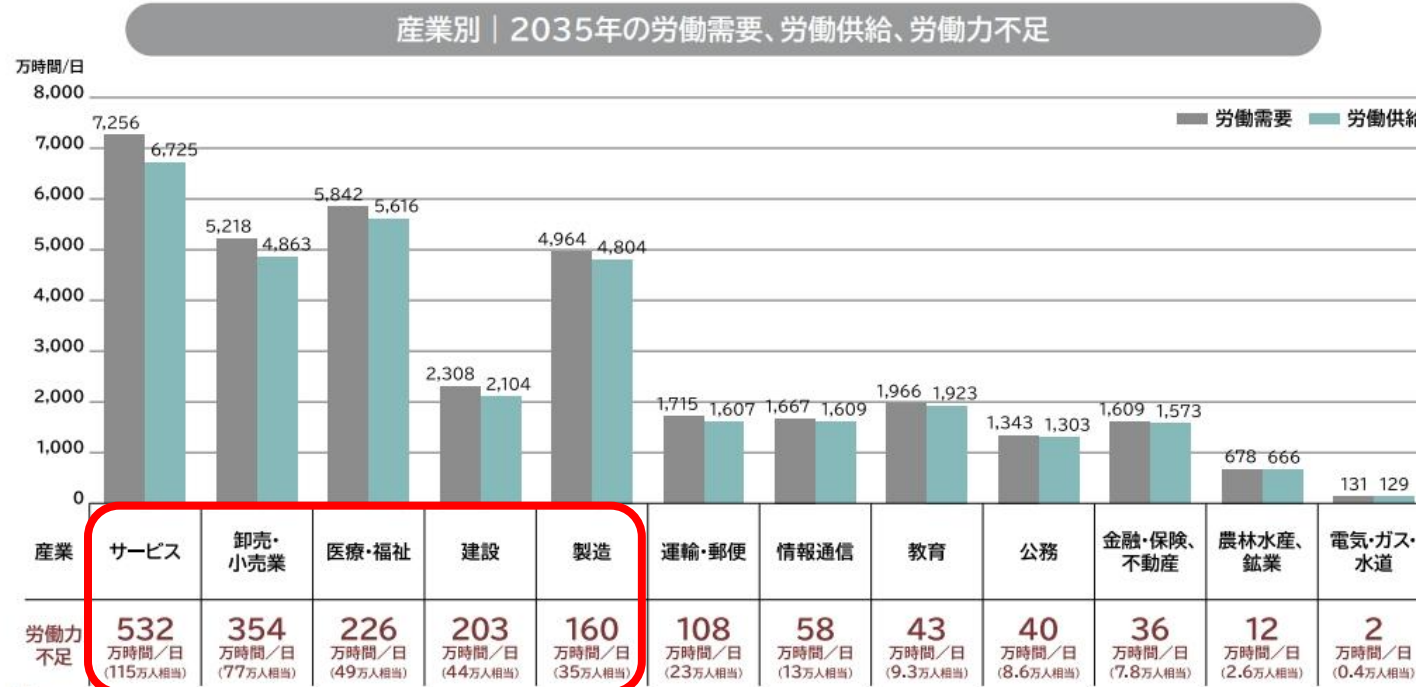
年度	件数	金額 (百万円)	目的
2021年度	1件	10.8	<ul style="list-style-type: none"> ・ シミュレーション環境整備による研究開発加速のため
2022年度	4件	33.4	<ul style="list-style-type: none"> ・ 計算資源増強による研究開発加速のため ・ 計測により定量化が必要とのテーマ審査委員会からのコメントへの対応のため計測環境の導入 ・ 定量的解析環境導入による構造体の最適設計加速のため ・ 5G通信環境の普及が想定より進まないという社会情勢の動向に対応するためLTE環境の導入
2024年度	2件	20.0	<ul style="list-style-type: none"> ・ 短期間で投資効果が期待できる追加研究開発案件、（多チャネルワイヤレス化による多人数同時触覚計測、展示会での情報収集から必要性を認識した超音波検査の組み込み）に投入

動向・情勢変化への対応

➤ 2035年における労働力不足予測はさらに深刻化

- 働き方改革等により労働時間は約91%に短縮
- 1日あたり約1,775万時間の労働力が不足との見込み

(パーソル総合研究所と中央大学による「労働市場の未来推計2035」より)



想定した、サービス業、卸売・小売、医療・福祉、製造業における労働力不足は、依然として大きい
リモート技術活用の市場は拡大見込み

動向・情勢変化への対応

➤ コロナ禍の終息

- リモート技術への期待は緊急対応で高まり、リモート会議等のコミュニケーションツールは浸透、LLM活用により言語による利便性は向上するも、非言語コミュニケーションにはブレークスルー技術が必要
- 終息後も持続可能な働き方、暮らし方として、**ニーズは継続・拡大**

大きな方針転換は行わず、4年の短期プロジェクトをやり切り、成果をもとに次のステップに進むとした

➤ LLM・生成AIの急速な実用化

導入により開発効率向上が見込めるか実施者に打診

- 参照系AIのフレーム抽出にLLMを活用（ハプティックMEMS）

成果普及への取り組み（イベント）

➤ シンポジウム・フォーラム

- 国際ロボット展 ロボット・AIフォーラム 2022.3
 - 事業概要説明
- モノづくり日本会議シンポジウム 成果報告会 2022.6
 - 事業概要説明
⇒Web記事化 遠隔触診を実現するAI デジタル空間を介する遠隔触診ならではの利点とは (ASCII STARTUP 特集 NEDO「AI NEXT FORUM 2023」)
- AI Next Forum 2022.2
 - NEDO AI関係4プロジェクトの紹介の場に4テーマが参加
 - ポスター展示ではプロジェクト毎ではなく領域の近いテーマを集め、出展者間での情報交流を促進
⇒後日、異なるプロジェクトのテーマとの間でオンライン情報交流会を実施
- モノづくり日本会議シンポジウム 2024.8
 - NEDOが事業概要説明
 - 講演とデモ（ハプティックMEMS、遠隔触診）
⇒新聞記事化 遠隔触診支援システム（日刊工業新聞 2024.8.28）
- ロボット学会オープンフォーラム 2025.9
 - 講演（遠隔触診）
- モノづくり日本会議ロボットシンポジウム 2025.3
 - 講演とポスター展示（遠隔触診）



モノづくり日本会議シンポジウム 2024.8



モノづくり日本会議シンポジウム 2025.3

成果普及への取り組み（企業紹介）

➤ 技術委員による企業紹介

- 企業出身委員に事業視点でのアクションを依頼
- 技術の素性、完成度に手ごたえを感じた委員による企業と実施者の情報交流会
- 委員長承認のもとテーマ審査委員会の技術指導として実施
- **実施者・企業それぞれの技術・取り組みを把握**している立場で、紹介したいと思ったポイントを説明いただき、スムーズな情報交流に導いていただいた：4件
 - 触覚技術開発フェーズ、事業化目標時期が似ているため共同研究につながる可能性（電機系メーカーとハプティックMEMS）
 - 加工系技能の技術伝承、教育に技術が活用できないか、AR・VR＋ハプティクス（機械系メーカーとハプティックMEMS）
 - 大型部品納入時の品質検査にトラックに積んだままドローンで俯瞰、状態把握（機械系メーカーと空のアバター）
 - 道路保守に対するドローン利活用促進のための法規制対応の可能性（道路保全管理企業と空のアバター）
- 実施後の動き
 - 実施者の技術デモンストレーションおよびデータ測定を実施し、学術指導に向けた**NDAを締結**
 - 実施者の別組織の技術が応用できる可能性があるとのことで、関係者による情報交換に発展

成果普及への取り組み（企業紹介）

- NEDOのプロジェクト担当者による企業紹介（事業終了後も継続）
 - NEDOのプロジェクト担当者が意義があると感じたテーマ間での情報交流会：1件
 - 事業化に向けた課題意識を高めていただく狙い（DTSU採択ヘルステック企業と遠隔リハビリ）
 - 各種展示会でのブース訪問をもとに、実施者と企業との情報交流会を実施：3件
 - 新規事業に向けた学術指導の相談（電機系メーカーとハプティックMEMS）
 - 遠隔医療への取り組みでの協業ができないか（通信系企業・医科大学と遠隔触診）
 - 災害現場状況把握のためのドローン制御技術の活用（電気部品メーカーと空のアバター）
 - NEDOへの出向元社に公開されている事業紹介パンフレットの内容を説明、興味がある部門と実施者の情報交流会を実施：2件
 - 職人技能の計測、伝承への活用（建設系企業とハプティックMEMS）
 - 触覚センシングのロボットへの活用（機械系メーカーとハプティックMEMS）
 - 実施後の動き
 - 実施者を訪問してデモを体験

成果普及への取り組み（起業準備支援）

➤ 起業準備支援

課題：

スタートアップは、早期の事業化が必須であるが、NEDO事業期間中の事業化は仕組みとして、整理が必要。

アクション：

先例を調査し、事業期間中の収益化を可能とする方法を明確にし、早期の事業化を可能とした。これらの課題提議により、NEDO内部でルールが整理され、2025年1月にNEDOの対応方針の統一化が図られた。

成果：

2024年にユーザー企業へのサンプル提供、2025年10月に創業に貢献。

成果普及への取り組み（広報）

➤ 刊行物

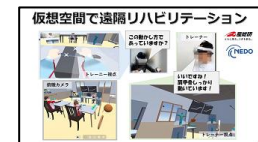
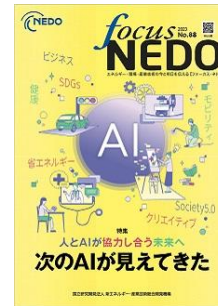
- [広報誌「Focus NEDO」No.88 2023.2](#)
- [プロジェクト紹介パンフレット 2025.4](#)

➤ YouTube NEDOチャンネル

- [AI・XR活用により空のアバターを実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発 消防・防災分野編](#)（空のアバター：2025.3.28）
- [AI・XR活用により空のアバターを実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発 警備分野編](#)（空のアバター：2025.3.28）
- [Contact Realityの実現による遠隔触診システム開発](#)（遠隔触診：2025.4.7）
- [メタバース遠隔リハビリテーションシステムにおけるMR³デバイスの開発と実装](#)（遠隔リハビリ：2025.10.1）

➤ ニュースリリース

- [リモートでオペレーターが安全かつ迅速に現場の状況把握ができる革新的なドローン運用技術を開発しました | ニュース | NEDO](#)（空のアバター：2024.12.16）
- [Contact Realityの実現による世界初の遠隔触診システムを公開します | ニュース | NEDO](#)（遠隔触診：2025.2.21）
- [遠隔でリハビリテーションができる社会の実現に向けて世界初の上肢・肩甲骨運動オープンデータセットを公開しました | ニュース | NEDO](#)（遠隔リハビリ：2025.3.25）
⇒ 8件の利用問い合わせ
- [リアルな触覚再現技術による、技能教育システム、心拍数共有アプリを開発しました | ニュース | NEDO](#)（ハプティックMEMS：2025.3.31）
⇒ 中学生の教材に一部引用掲載、部品メーカーから紹介依頼



実施者へのアンケートから

「NEDO事業を通して得られた事、または良かった点」 から抜粋

- ～多くの企業に技術を紹介する機会を得ることができ、CEATEC2023, SXSW2024, CES2025の展示会でも**国内外の企業にアプローチすることができた**～
- ～異分野の研究者や企業との交流が進み、新しい応用分野の可能性について具体的な議論を交わす機会にも恵まれた。これにより、触覚技術の社会実装に向けた連携の重要性を実感～
- ～これまで築いてこなかった多様なネットワークを構築でき、**専門領域を越えた連携の可能性を広げられた**～
- ～共同研究の推進体制や社会実装に向けた**具体的手法を学べた**～
- ～複数のチームやパートナーと連携する場面では、全体の進捗を見ながら適切に調整を行うことの難しさを実感しつつも、**実務を通じてその対応力を高めることができた**～
- ～**社会実装を見据えた研究ビジョンを明確に意識**しながら研究を進めることができた～

プロジェクトの補足説明

テーマごとの実施内容とアウトプット目標達成状況

- 動作ユニットAI
- ハプティックMEMS
- 遠隔触診
- 遠隔リハビリ
- 空のAvatar

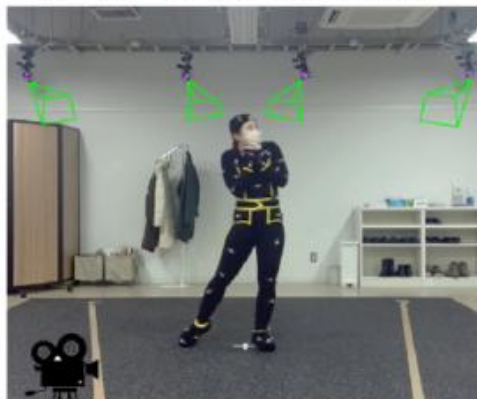
動作ユニットAI による人の感情推定とキャラクタの感情豊かな動作生成による 遠隔コミュニケーション環境の構築

東北大学

- 対人コミュニケーションの中では、非言語情報が重要な役割を果たしているが、オンラインコミュニケーションで、非言語情報がうまく伝達できないことによる様々な不具合やもどかしさが露見。
- 顔表情研究における分析単位として特定の顔部位の動きを「アクションユニット」と定義したことで客観的な検証が可能になったように、**身体動作の分析単位として「動作ユニット」**を定義。
- **「動作ユニット」と人の感情や意図とを関係付けたAI**を構築して、何らかのセンサ情報から推定された結果からキャラクタの感情豊かな動きを生成できるようにする研究を、文理融合・産学連携・国際共同研究の体制で進める。

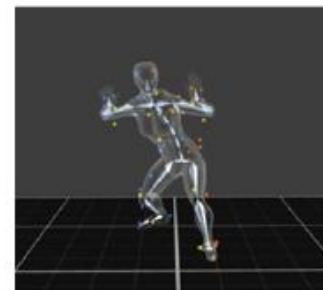
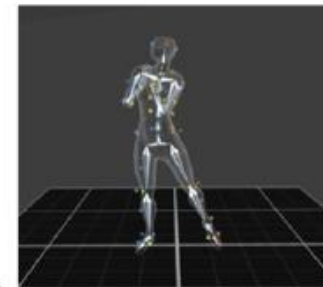
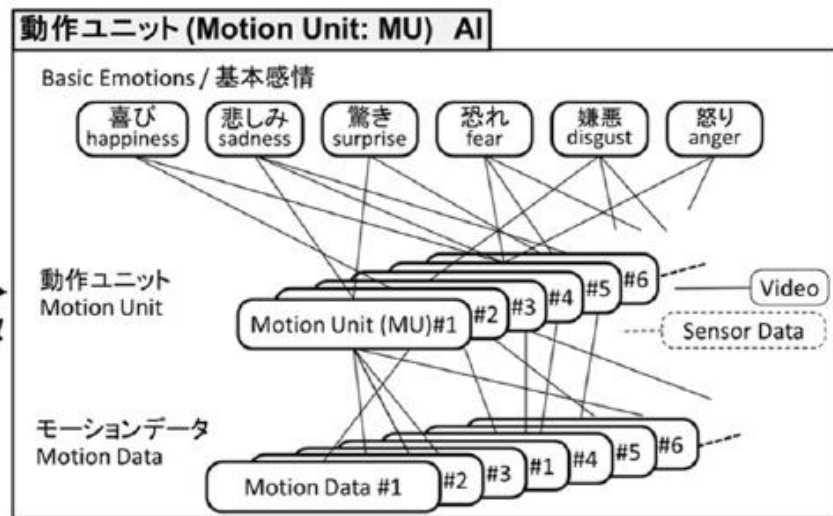
【学習時】

モーションキャプチャ装置



実写映像撮影用 カメラ

学習
データ



「動作ユニットAI」の成果 (アウトプット目標達成度) と意義

アウトプット目標 (2025年3月)	動作ユニットAIの開発と感情推定結果に基づくキャラクタの感情豊かなモーションの自動生成	達成度	△
達成状況の根拠	中間目標を達成、動作ユニット間の連結に周期オートエンコーダをシステムに取り込むことは革新的で、トランスフォーマモデルを用いたモーション自動生成も評価に値する。ステージゲート審査にて非継続となった。2022年度で終了。		

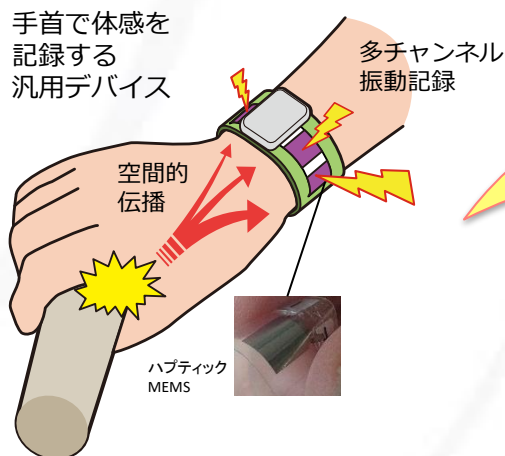
実施項目	主な成果	意義 (優位性・差別化ポイント)
動作ユニット定義	<ul style="list-style-type: none">関節位置点群により表現した身体モデルを用いた提示実験から、人の感情に基づく動きのデータベースは標準的な身体感情を分類するコーディングシステムとなること等を示した。	<ul style="list-style-type: none">顔表情分析でよく使われるAction Unitに倣い、身体動作の分析単位として動作ユニット(Motion Unit)を新たに定義してAI化することは学術的にも挑戦的。
キャラクタの感情豊かな動きの自動生成	<ul style="list-style-type: none">以下の技術を開発、新規性、革新性を論文発表した。<ul style="list-style-type: none">音声データとテキストを入力することによる表情豊かなアニメーションを生成トランスフォーマを用いた自己回帰型モデルを用いて音声データから顔の動作連続的なベクトルを用いた様々なスタイルの歩行動作の生成周期自動符号下器(Periodic Autoencoder)を用いた動作生成	<ul style="list-style-type: none">動作ユニットAIは、キャラクタが単純に人の動作を模した表現を出力するに留まっていた従来手法を超えて、より豊かな感情の表現を実現するという付加価値を提供する。学会誌などの解説記事、招待講演等にて、学術的成果をアピール。

極薄ハプティックMEMSによる双方向リモート触覚伝達AIシステムの開発

産業技術総合研究所 東北大学 株式会社Adansons 筑波大学 (オムロン株式会社 ~FY22)

- 振動の記録と再生が可能なハプティックMEMSデバイスに、AI・ISMを実装したリモート伝達システムを開発し、体感および情動を動画に載せて伝える技術を実現する。

体感記録デバイス



体感再生デバイス



振動による
体感・情動の
リモート伝達

ISM (Intensity Segment Modulation)
・東北大学の信号強調・変換技術



オンライン飲み会

心



ゲームのライブ配信



技能教育

技



リモート診断



アイドルとの握手会



スーパースターの体感配信

体

生み出す価値

心情の演出・共感

体感の識別・学習

存在(=体)の実感



「ハプティックMEMS」の成果 (アウトプット目標達成度) と意義

アウトプット目標 (2025年3月)	極薄ハプティックMEMS技術と参照系AIを統合した双方向リモート触覚伝達プラットフォームの開発	達成度	◎
達成状況の根拠	極薄ハプティックMEMS、ISM (Intensity Segment Modulation)、参照系AIを融合し、技能伝達から感情共有まで世界的に先駆的なリモート触覚基盤を実証し、社会実装に直結する成果をあげた。		
実施項目	主な成果	意義 (優位性、差別化ポイント 等)	
極薄ハプティックMEMS 基盤技術の確立	<ul style="list-style-type: none">世界最薄クラス (2.5-10μm厚) のPZT-MEMSアクチュエータを高歩留まりで実現。最大変位55μm、発生力0.18Nを達成し、従来のモーターや共振型アクチュエータに比べて圧倒的に小型・高効率。信頼性試験 (耐湿・耐熱・耐寒・衝撃・振動) に合格し、リストバンド型モジュールとして実用水準の耐久性を実証。	<ul style="list-style-type: none">「超薄・軽量・高効率」という三拍子を兼ね備え、既存の振動モーターを置き換える新世代標準技術として位置づけ可能。高精細な触覚表現を可能とし、ウェアラブルやフレキシブルデバイスへの応用展開に優位。日本発のMEMS技術に基づく独自性により、国際的競争力を持つ差別化ポイントを確立。	
ISMと参照系AIによる 触覚信号処理とネゴシエーション技術	<ul style="list-style-type: none">東北大学のISM (Intensity Segment Modulation) 技術を拡張し、触覚信号のリアルタイム処理 (遅延8ms程度) を実現。多点振動の統合・個人差調整・双方向伝達のハウリング抑制などを可能にし、AIを介した高精度触覚編集を確立。言語指示や開発者向けGUIによる「体感ネゴシエーション」機能を開発し、CES2025に出展。	<ul style="list-style-type: none">音声・映像では不十分な非言語的信号を「触覚」で補完できる新しい通信手段。ユーザーが自然言語で触覚表現を編集できる点は世界的にも独創的。AR/VRや映像配信と親和性が高く、エンタメ・スポーツ・教育分野での国際的市場開拓に直結。ISMによる触覚配信技術を事業化するスタートアップを2025年10月に創業。CEATEC 2025にてネクストジェネレーション部門賞受賞。	
双方向リモート触覚伝達システムの応用検証	<ul style="list-style-type: none">リストバンド型やツール貼付型デバイスを用いたリモート技能伝達システムを開発し、各種タスクにて熟練者と初心者の違いを触覚で伝達可能であることを実証。力触覚の可視化やARを用いた技能教育支援を実現し、学習者が「触覚+視覚」の統合情報で効率的な技能習得を実証。疑似心拍振動を用いた感情共有システムを構築し、心拍をリアルタイムで共有するアプリ「Hear2Gether」をApp Storeで公開。オンラインゲームや遠隔交流の場で、相手の存在感・情動を触覚で体感できることを実証	<ul style="list-style-type: none">熟練技能の継承やスポーツトレーニング、遠隔医療支援といった社会的課題に直結し、リモート教育・ケアの新しい方法論を提示。視覚・聴覚に偏らず、触覚を介して「技能」「感情」「存在感」を同時に伝えられる点が従来技術との大きな差別化要素。「技能共有」と「感情共有」を一体化した実証は世界的にも先駆的であり、次世代コミュニケーション基盤としての社会的波及効果が期待される。	

Contact Realityの実現による遠隔触診システム開発

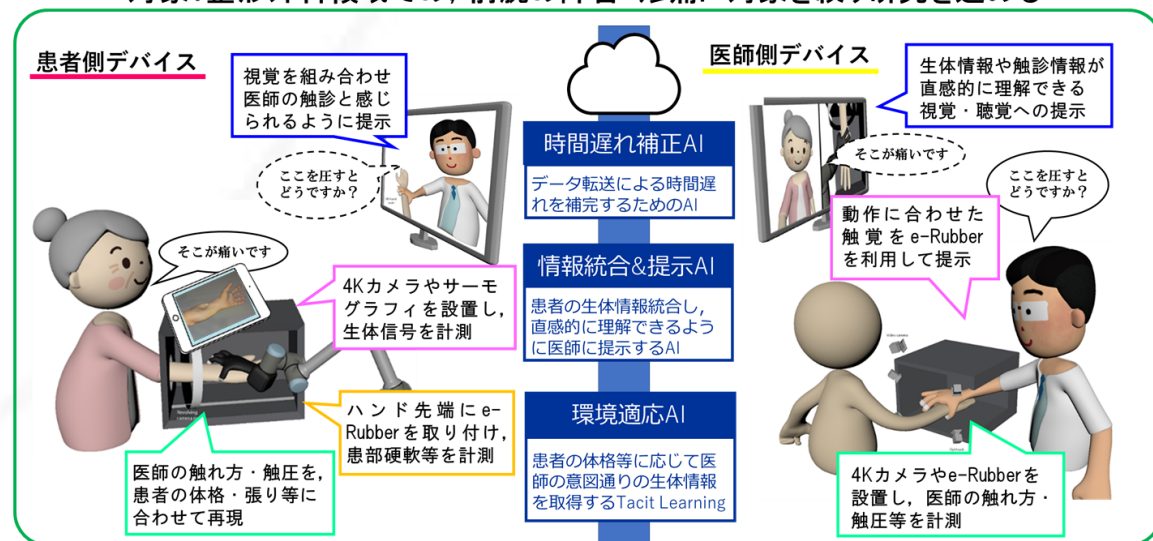
理化学研究所 (FY23より名古屋大学に事業承継) 名古屋大学 豊田合成株式会社

- 遠隔であっても、対面と同様に「医師が診断に確信」を持って、患者が「医師を信頼」できる遠隔触診システムが必要。
- 触覚は、感覚の時間のずれに非常に敏感。遠隔で触った感覚が遅れて伝わると、何を触っているのか全く理解できない。触覚に限らず、視覚や聴覚の助けも借りて、**対面診断と同等以上の患者の病状理解と、信頼関係の向上**が可能なシステムを目指す。

3種のAIを用い、複数モダリティを刺激する遠隔触診システム:4次元Box

Real ではなく **Reality** : 触覚・視覚・聴覚を利用し、転送遅れがあっても直感的に病状を理解しあえるシステム
Contact Reality

対象: 整形外科領域での、前腕の障害・疼痛に対象を絞り研究を進める



紹介ビデオ



「遠隔触診」の成果 (アウトプット目標達成度) と意義

アウトプット目標 (2025年3月)	医師と患者の間で触覚を双方向に伝送可能な遠隔触診システムの開発		達成度	○
達成状況の根拠	遠隔触診システムを構築し、シンガポール国立大学病院と名古屋大学病院を結んで患者の診察実験に成功したため			
実施項目	主な成果	意義 (優位性、差別化ポイント 等)		
遠隔触診デバイス開発	<ul style="list-style-type: none">医師側は、Virtual空間を利用し触診を利用した診察に必要な、患者の表情・バイタルデータ・患部近影・触覚情報を医師に提示し、かつ医師の触診意図を正確に読むHaptic I/O Dollを実装患者側は、ディスプレイ提示・触診マニピュレータの組み合わせにより、医師とのリアリティのあるコミュニケーションが可能となり、テニス肘の診察が可能となった。	<ul style="list-style-type: none">触診という“非言語的医療行為”を実際の患者の診察に利用 単なる力覚伝送ではなく、医師の触診意図 (触診位置・強さ) を同定し、患者側に伝達する双方向触覚ループを実現。従来の遠隔診療では不可能であった「触れながら診る」行為を現実同等の信頼感と臨場感で再構築した。患者の“存在感”と医師の“臨場感”を同期させる独自UX 透明ディスプレイ上のアバターと実空間触診マニピュレータを同期させ、患者が「医師に触れられている」と感じるリアルな遠隔体験を実現。実証実験ではテニス肘患者を診察し、遠隔でも患部圧痛の特定・会話・表情観察を伴う医療コミュニケーションが成立。既存技術との差別化 既存の遠隔診療システムが映像・音声情報の伝送に留まるのに対し、本技術は触覚・感情・意図の三層的データ伝送を実装。“Contact Reality”の概念に基づく統合設計により、触診を通じた「共に在る」感覚を創出する唯一のシステムとなった。		
臨床試験	<ul style="list-style-type: none">医師側・患者側とも、専門医が務める試験により、手首のような繊細な部分で、手根管・橈骨動脈・橈骨茎状突起といった硬さや特徴の異なる部位を正確に適切な触圧で触診可能であることを示した。テニス肘の診察を日本—シンガポール間で可能であることを実証した。	<ul style="list-style-type: none">医療的信頼性を科学的に検証した初の遠隔触診臨床試験 医師・患者とも専門医が参加した試験では、主観評価 (平均9/10点) と物理計測 (位置誤差 $\sigma=0.5\text{cm}$ 以内) が一致し、実臨床レベルでの再現性と信頼性を実証した。国際遠隔医療への展開可能性を実証 日本—シンガポール間 (約5,000km) のネットワーク遅延 (約200ms) 下でも、触診精度・主観評価ともに国内試験と統計的有意差なしで診察が可能。これにより、国際連携医療・災害医療・僻地支援などでのグローバル・テレメディスン基盤技術としての有効性を示した。		
遠隔エコー・遠隔神経伝達速度検査 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構	<ul style="list-style-type: none">触診と組み合わせることで、対象疾患を大幅に増やすことのできる遠隔エコーと遠隔神経伝達速度検査システムを構築。テニス肘の診察に利用することで、確定診断を可能とした。	<ul style="list-style-type: none">「見る」「触れる」「測る」を統合した新しい遠隔診断体系の確立 従来の遠隔診療では得られなかったエコー (超音波) による視覚情報と、触診による感覚情報、神経伝達速度の定量データを同一プラットフォーム上で統合。これにより、構造・機能・感覚の三層を同時に把握する“統合診断型リモート医療”を可能とした。対象疾患を拡大する診療インフラ 触診のみでは評価困難な末梢神経障害・腱鞘炎などの機能性疾患に対して、エコー画像および神経伝達速度データを併用することで、確定診断を遠隔で実施可能にした。特にテニス肘症例では、触診+エコー+伝達速度測定との組み合わせにより、炎症部位の特定と重症度判定を非対面で完遂可能。		

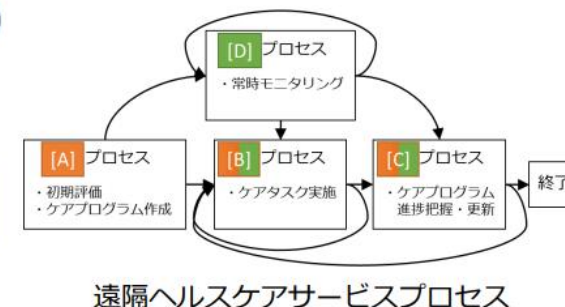
遠隔リハビリのための多感覚XR-AI技術基盤構築と保健指導との互恵ケア連携

産業技術総合研究所 京都大学 東京大学 セイコーエプソン株式会社 株式会社エブリハ

- リハビリテーションと特定保健指導を対象とし、**サービスプロセスの遠隔化**を実現するためのリモート技術基盤（多感覚XR-AI技術基盤モジュール群）を構築・適用して**時空間的、経済的、並びに認知的制約を緩和**することで、問題群を効果的に解決・軽減する。

遠隔VRリハビリと常時モニタリング

- ▶ MR³デバイスによる生活・運動機能評価と触力覚インタラクション
- ▶ VRリハビリ（ハンドリダイレクション、融合身体）による動機付け支援
- ▶ メタバース環境での同種・異種互恵ケアによる動機付け支援
- ▶ 常時モニタリングによる心身状態推定（動機付け見守り）



紹介ビデオ

MR³: MultiModal Mixed Reality for Remote Rehab.
エムアールキューブ

「遠隔リハビリ」の成果（アウトプット目標達成度）と意義

アウトプット目標 （2025年3月）	遠隔ヘルスケアサービスにおける種々の困難を緩和する多感覚XR-AI（XR powered by AI）技術基盤の構築	達成度	○
達成状況の根拠	リハビリ現場での実証実験を通じて、実用化研究開始のための性能面等の目標および運用面の水準の達成を確認		

実施項目	主な成果	意義（優位性・差別化ポイント等）
VRリハビリプロトタイプシステム	<ul style="list-style-type: none">ノイズの影響を排除でき、洗濯耐性を有するウェアラブルな肩関節や肘関節角度の計測デバイスを開発。デバイスに関する使用ガイドラインを作成。計測データは上肢・肩甲骨運動オープンデータセットとして公開。	<ul style="list-style-type: none">海外事例と比較して、高いS/N比を実現。肩関節や肘関節角度を高い精度で推定可能であることに加え、微小な形状変化を捉えることができる点で、他の計測手法よりも優れている。ガイドラインでは、デバイス利用に際しての個人差の影響にも対応。上肢・肩甲骨運動オープンデータセットの公開は世界初。
VRリハビリ手法	<ul style="list-style-type: none">リダイレクション：VR技術の各調整パラメータと効果の関係を調査、ガイドラインを作成。互惠ケア：タスク実施支援技術を開発し、3種類以上の異なるサービス利用者により動機付け効果を実証、使用ガイドラインを作成。	<ul style="list-style-type: none">リダイレクション：VRリハビリの先行事例では、リダイレクションなどの介入機能は搭載されておらず、新規性あり。互惠ケア：VR空間での継続時間を対象にした介入要素に関するものは、おそらく初。
常時モニタリング	<ul style="list-style-type: none">経皮的動脈血酸素飽和度（SpO2）、PRV、基本行動種別、メンタルバランスを新たに計測・測定可能とした。非歩行系モニタリング（座位から立位の動作）のアルゴリズムおよび心的状態推定AIを開発。	<ul style="list-style-type: none">既存のウェアラブル機器で用いられている既存センサに比べて電力効率で2倍以上優位であり、精度確保と実用性を両立。絵文字を用いた経験サンプリングの採用により、即時性の高い主観情報を対象とした推定モデルの構築を可能とした。

AI・XR活用による空のアバターを実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発

東京大学 産業技術総合研究所

- 有人地帯での防災、警備等においてAI 及びXR 技術を活用することにより、ドローンを活用した「空のアバター」を実現し、ドローンの社会実装加速を目指す。
- 複数のドローンに分散して搭載するマルチセンサ情報を遅延なく高速に操作者に伝送・提示。
- クラウド上のデジタルツイン（シミュレーション環境）上のAI が人の状態を推定するとともに、予測検知した異常等の情報を高度な没入型XR 技術で操作者に伝える技術を開発する。



紹介ビデオ
消防・防災分野編



紹介ビデオ
警備分野編

「空のAvatar」の成果 (アウトプット目標達成度) と意義

アウトプット目標 (2025年3月)	防災、警備、点検といった危険性・緊急性を有する現場状況を遠隔から把握するドローンリモート技術の開発	達成度	○
達成状況の根拠	福島ロボットテストフィールドでの公開実証を通じて、機能・性能面の目標の達成を確認		

実施項目	主な成果	意義 (優位性・差別化ポイント 等)
社会実装	<ul style="list-style-type: none">防災利用・警備利用の業務フロー、サービス要件、機能要件等を含む分野別運用コンセプト (ConOps)、ガイドラインを作成。	<ul style="list-style-type: none">警備利用においては、想定した複数回の実証実験を警備会社と共同で実施し、各シーンにおける想定課題、対策案をアンケートにより収集。他社で同レベルのシステム・機体を開発している情報はなし。
運用及び評価	<ul style="list-style-type: none">自律飛行技術、遠隔操作技術等を実装可能なマルチセンサ搭載ドローンを開発し、センサの最適配置を確立。LTEによる低遅延画像伝送を確認。	
ネットワーク構築・クラウド活用	<ul style="list-style-type: none">5G基地局電波からLAN通信を接続する通信手法にて低遅延な通信を達成。クラウド型AI・XRサービスの安定した運用を実現。	<ul style="list-style-type: none">将来的な、空中5G通信の提供に備えた取り組みとして実施し、上空における閉域通信の実現は国内初の試み。
状態推定AI・XR提示技術	<ul style="list-style-type: none">複数ドローンセンサ情報に基づくデジタルツイン環境構築、状態推定AI、高度XR提示技術、複数ドローンの遠隔操作および群協調飛行制御技術を開発。	<ul style="list-style-type: none">関連する2件の国際会議論文 (ICRA2022, ICRA2023) に関して、それぞれ被引用数40件、108件、オープンソースGitHub 1100スターを達成。

3. 目標及び達成状況の詳細

3.1. 【A】研究開発項目：状態推定 AI システムの基盤技術開発

3.1.1. 動作ユニット AI による人の感情推定とキャラクタの感情豊かな動作生成による遠隔コミュニケーション環境の構築

テーマ名	動作ユニット A I による人の感情推定とキャラクターの感情豊かな動作生成による遠隔コミュニケーション環境の構築	達成状況	△
実施者名	委託先：国立大学法人東北大学 再委託先：株式会社 SRA 東北、株式会社冬寂		
達成状況の根拠	中間目標を達成、動作ユニット間の連結に周期オートエンコーダをシステムに取り込むことは革新的で、トランスフォーマモデルを用いたモーション自動生成も評価に値する。ステージゲート審査にて非継続となった。2022 年度終了。		
<p>●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係</p> <p>オンラインではコミュニケーションがうまくとれない。この問題を引き起こす重要な原因の 1 つは、コミュニケーションにおいて大きな役割を担うことが知られている非言語情報が、従来のオンラインの形態では伝わりにくいことである。</p> <p>そこで本研究では、多岐に及ぶ非言語情報の中で、「人の身体動作」に注目する。感情を表出する動作ユニットを定義し、動作ユニットの活動と感情表出の関係を対応付ける動作ユニット AI を開発する。動作ユニット AI により推定された感情に基づいて、キャラクターの動作を自動生成するシステムの実現を、将来の目標とした。</p> <p>遠隔エンタテインメントの実利用では、演者の映像入力に対し、動作ユニット AI によって推定される感情から動作アニメーションを効率的に生成する。リアルタイムの映像伝送を伴わないリアルタイム音声と制御信号のみを送信するオンラインライブの実現により、アウトカム目標である産業構造のリモート化・デジタル化に寄与する。</p> <p>●アウトプット目標</p> <ul style="list-style-type: none">・対人コミュニケーション研究による動作ユニット定義 <p>動作ユニットに基づき作成した刺激のみから、性別や年代、出身エリア、性格特性など対象の属性を推測できること。研究成果が社会心理学の論文として対外発表可能なデータと知見が得られていること。</p> <ul style="list-style-type: none">・ノイズやデータ欠損に強靱な高精度モーションキャプチャシステム開発 <p>動作ユニット妥当性検証実験、およびキャラクターアニメーション生成への応用研究にて使用可能なシステムが完成していること。</p> <ul style="list-style-type: none">・人の感情を推定する動作ユニット AI 作成 <p>中間目標として、個人の身体動作に対して 7 種の基本感情、5 種の境的感情を推定するユニット AI を作成し、アウトプット目標として、サービス、ソリューション、バリューチェーンを定義し、ビジネスモデルをビジネスモデルキャンパスの形にまとめる。</p> <ul style="list-style-type: none">・キャラクターの感情豊かな動きの自動生成 <p>生成モデルにより生成した動作と実データの誤差が正規化後に 20%以内であること。</p> <p>ユーザテストでは本モデルで生成した動作の優位性が既存モデルと比べて 50%以上、実データと比べて 15%以上であること。</p> <ul style="list-style-type: none">・リアルタイムキャラクターアニメーションの応用展開 <p>実用化を想定した動作ユニット AI のプロトタイプのモーションデータ更新とリアルタイムキャラクターアニメーションの事業化実証実験を完了させる。</p> <p>●実施体制</p> <ul style="list-style-type: none">・対人コミュニケーション研究による動作ユニット定義：東北大学・ノイズやデータ欠損に強靱な高精度モーションキャプチャシステム開発：東北大学・人の感情を推定する動作ユニット AI 作成：株式会社 SRA 東北			

- ・キャラクタの感情豊かな動きの自動生成：東北大学
- ・リアルタイムキャラクタアニメーションの応用展開：株式会社冬寂

●成果とその意義

2022 年度までの事業期間に各開発項目に対して以下の成果を上げた。いずれもアウトプット目標に対しての中間目標に対する成果となる。

- ・対人コミュニケーション研究による動作ユニット定義

12 個の感情を異なるシナリオ、強度で演じ、キャプチャーした動作データに基づき、関節位置点群により表現した身体モデルを用いた提示実験から、人の感情に基づく動きのデータベースは標準的な身体感情を分類するコーディングシステムとなること等を示した。

- ・ノイズやデータ欠損に強靱な高精度モーションキャプチャシステム開発

光学式モーションキャプチャー装置にバイラテラルフィルタを応用した性能評価の結果、Savitzky-Golay Filter や Unscented Kalman Filter 等の従来技術によるフィルタに対する優位性を確認した。

- ・人の感情を推定する動作ユニット AI 作成

取得したモーションデータに基づくデータベースを作成し、感情を表すラベルのアノテーションのためのデータ分析をした。また、機械学習のための最適なアルゴリズムを選定するための分析を開始し、予備的結果であるが、Decision Tree Classifier が比較的認識精度が高いとの結果を得た。

- ・キャラクタの感情豊かな動きの自動生成

以下の技術を開発、新規性、革新性を論文発表した。

- ・音声データとテキストを入力することによる表情豊かなアニメーションを生成
- ・トランスフォーマを用いた自己回帰型モデルを用いて音声データから顔の動作
- ・連続的なベクトルを用いた様々なスタイルの歩行動作の生成
- ・周期自動符号下器(Periodic Autoencoder)を用いた動作生成

- ・リアルタイムキャラクタアニメーションの応用展開

想定される描画アプリケーションやモーションデータ等について、描画アプリケーションとして想定される unity と UnrealEngine、モーションデータ出力アプリケーションとして想定される MotionBuilder の間で、相互にスケルトン構造間のモーション変換と、それぞれのアプリケーション間でのモーション転送ができることを確認し、様々な環境での応用の準備を進めた。

●実用化・事業化への道筋と課題

まず、具体的な事業化として、リアルタイムキャラクタアニメーションの応用として、オンライン遠隔ライブイベントの制作・運営工程を簡素にして、クオリティを維持しつつ、コスト軽減やロバスト性向上を図ることを目指す。動作ユニット AI が、キャラクタが単純に人の動作を模した表現を出力するに留まっていた従来手法を超えて、より豊かな感情の表現を実現するという付加価値を提供する。さらに、最近普及しつつあるメタバース等でも、参加者の感情に対応するアバタの豊かな動作生成にも利用することで、遠隔での対人コミュニケーションの場面でも、不足する情報を補って伝送するなどの手段を講じることができ、豊かなコミュニケーションを実現できる。

文部科学省より新たに財政支援を受け、学内外・国内外の幅広い知見を結集する学際融合による「非言語情報通信」の研究開発を加速的に進め、成果の確実な社会実装を図るため、東北大学電気通信研究所にサイバー&リアル ICT 学際融合研究センターを 2023 年 4 月に新設して、研究開発に取り組み始めた。

●期間・予算 (単位:百万円)	2021FY	2022FY	2023FY	2024FY
	54	67	—	—
●特許出願及び論文発表				
特許等	論文発表	発表・講演	受賞実績	成果普及の努力 (プレス発表等)
0 件	6 件	11 件	2 件	0 件

3.2. 【B】研究開発項目：高度な XR により状態を提示する AI システムの基盤技術開発

3.2.1. 極薄ハプティック MEMS による双方向リモート触覚伝達 AI システムの開発

テーマ名	極薄ハプティック MEMS による双方向リモート触覚伝達 AI システムの開発	達成状況	◎
実施者名	国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人筑波大学 株式会社 Adansons、国立大学法人東北大学、オムロン株式会社		
達成状況の根拠	本プロジェクトは厚さ 10 μm の圧電 MEMS アクチュエータ、触覚強度変調法のリアルタイム処理、参照系 AI 信号処理を統合することで“薄く・軽く・知的”な触覚通信プラットフォームを世界に先駆けて提示することができた。		
<p>●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係</p> <p>人と人を結ぶ遠隔コミュニケーションは、音声・映像技術の成熟によって飛躍的に発展した。しかしながら、技能の継承や情動の共有といった深層的な相互作用のためには、触覚を含む多感覚情報の伝達手段が求められている。</p> <p>本プロジェクトの目的とするところは、極薄ハプティック MEMS 技術と参照系 AI による信号処理を核に、遠隔地間で触覚をリアルタイムに「測り、送り、感じる」ための基盤を構築することである。</p> <p>さらに、これらの技術基盤の構築により、遠隔技能伝達、医療リハビリ、XR エンタメ、感情共有など多分野への波及を狙っている。</p>			
<p>●アウトプット目標</p> <p>本プロジェクトのアウトプット目標は、極薄ハプティック MEMS 技術と参照系 AI を統合した双方向リモート触覚伝達プラットフォームの開発である。具体的には、厚さ 10 μm 圧電 MEMS アクチュエータを用いた高信頼性・高感度な触覚センシングおよび提示機能の実装、8 素子アレイ構造とノイズ低減設計による高精度空間表現、Intensity Segment Modulation (ISM) アルゴリズムのリアルタイム多チャンネル処理ライブラリ (8ch/8ms 以内) を実装し、周波数帯別の強調処理と個人差補正機能の実現、心拍や表情等の生理信号を基に生成した心拍を模した振動 (疑似心拍振動) の相互伝達による社会交流支援を目指す。さらに、WebRTC 多チャンネル化による 0.2~0.4 秒以内の往復遅延での双方向触覚通信、技能体感共有システムや AR 可視化による技能習得効果の実証、インターネット配信やライブイベントにおける競技者等の生理信号の触覚を通じた配信、CES 等国际展示会での成果発表と特許出願 (PCT 含む) を通じて、産業界・学術界双方への波及を狙う。最終的には遠隔技能伝達、医療リハビリ、XR エンタメ、感情共有等への応用を可能にする基盤技術として確立する。</p>			
<p>●実施体制</p> <p>産業技術総合研究所を中核機関とし、筑波大学、東北大学、株式会社 Adansons、オムロン株式会社が参画する産学連携体制で実施。産総研は MEMS 素子設計・実装・信頼性評価を担当し、オムロンと協力して耐環境性試験や量産性評価を行う。東北大学は ISM アルゴリズム開発、多点刺激による空間表現、個人差補正機能の開発を担当。筑波大学は疑似心拍振動を用いた感情表現技術や社会交流支援アプリの開発、社会交流支援効果の検証を主としたユーザビリティ評価を担う。Adansons は参照系 AI による触覚信号抽出・編集技術、ネゴシエーション UI の開発と市場調査を担当。プロジェクトマネジメントは産総研が全体統括し、定期的な全体会議で技術統合や実証計画を調整。CES、SXSW、AWE EU 等で共同出展し、実証デモを通じて産業界・ユーザー企業とのフィードバックループを構築した。</p>			
<p>●成果とその意義</p> <p>本プロジェクトは、厚さ 10 μm の極薄圧電 MEMS 素子を用い、±10%以内の静電容量変動で耐環境性を確保した 8 素子アレイ無線リストバンド型デバイスを世界に先駆けて開発。ISM アルゴリズムにより高周波振動を知覚等価な振幅変調波に変換し、技能体感のスマートフォン上での提示、極薄圧電 MEMS 素子を用いて硬度の違いの鉛筆の筆記感 (HB~6B の 4 種) 提示に成功、リアルタイムで知覚周波数特性に基づき個人差補正を実現。LAN で 0.14~0.3 秒、インターネット越しで 0.24~0.5 秒の往復遅延を達成し、音声・映像と同期した触覚通信を可能にした。技能伝達実験では手首位置の多点空間表現により回転方向識別率を 70%から 90%に向上、押付力再現誤差を 50%低減。Wi-Fi を用いたワイヤレスマルチチャンネル体感伝達システムを開発し、カーリングのスィープ動作を対象とした技能計測を実現。参照系 AI アルゴリズムを拡張し、触覚信号に適用可能な周波数領域と時間領域の双方を加味した体感ネゴシエーションシステムを開発。従来の信号処理技術ではノイズ除去が不可能であった信号においても、信号分解を可能とした。</p>			

さらに、生成 AI を組み合わせた自然言語や視覚情報を参照させた体感ネゴシエーションにより、どの信号がノイズでどの信号が抽出対象かという人間の意図を AI に対して伝えられる世界初の参照系 AI インターフェイスを開発することに成功。また、疑似心拍振動の拡張により従来の心拍数による覚醒度（覚醒—沈静）の表現に加え、周波数変調による感情価（快—不快）の表現を実現。対戦型オンラインビデオゲームの文脈において、遠隔の対戦相手の社会的存在感が向上することを実証し、iPhone／Apple Watch 向けアプリ「Hear2Gether」として実フィールドで体験可能な形態で公開。CES 2025 等での発表により国際的注目を集め、特許 5 件（PCT 含む）出願、学会賞・デモ賞を複数受賞。既存の LRA や振動モータ方式と比較して、薄型・軽量・高応答帯域を兼備した双方向触覚通信を実用レベルで実現した意義は大きく、遠隔作業支援、医療リハビリ、XR 市場など幅広い分野に波及可能な基盤を確立した。

国内外の他技術・従来取り組みとの比較による優位性については、既存の商用触覚デバイスや研究開発事例の多くは、LRA（リニア共振アクチュエータ）や偏心モータを用いており、デバイス厚みや重量、応答帯域に制約があり、高周波成分を含む精細な触覚再現や双方向通信は困難であった。海外では超音波や空気圧式の非接触触覚提示も研究されているが、装置が大型化し、ウェアラブル性や多点センシングとの統合は進んでいない。また、国内における既存 MEMS 触覚デバイス研究は単方向提示用途が中心であり、センシングと提示を同一素子で実現し、かつ多点空間表現・個人差補正を含むリアルタイム双方向通信を成立させた事例はない。本プロジェクトは、①厚さ 10 μ m クラスの超薄型 MEMS で高出力・高耐環境性を両立、②ISM+参照系 AI による高度信号処理を統合、③ウェアラブルデバイスで触覚の双方向通信を実現、という点で国内外の従来技術を凌駕している。これにより、遠隔技能伝達や感情共有など、従来実用化が難しかった応用領域での社会実装可能性を大きく上げたことに意義がある。

●実用化・事業化への道筋と課題

短期的には製造業や医療リハビリ分野における技能伝達・分析サービス、およびインターネット配信やライブイベントにおける競技者等の生理信号の配信サービスでの導入を目指し、パートナー企業と共同実証を行う。ISM を中心とする触覚技術ライセンスやスマートフォン向け体感付き動画配信事業については 2025 年 10 月にスタートアップを創業し、アミューズメント向け用途から事業化を図る。疑似心拍振動による生理信号配信サービスに関しては、スポーツ庁および筑波大学体育系と共同して大阪・関西万博のスポーツ庁パビリオンへの出展が決定しており、オリンピック金メダリストのライブパフォーマンス中の生理信号を配信するといったステージ展示等を通じて成果とその有用性の周知に取り組んでいる。中期的には XR エンタメや感情共有サービスへの応用展開を進め、触覚付き動画配信やメタバース環境でのインタラクション強化や AI による自動生成技術の拡充を図る。長期的には 2030 年代の XR 社会における触覚インフラとして国際標準化と IP 戦略を推進。課題として、①素子アレイのさらなる高密度化・低電圧駆動化、②AI 処理の低演算量化とエッジ/クラウド協調、③量産製造プロセスの標準化と歩留まり確保、④多様なユーザ・用途への UX 評価とフィードバック、⑤ビジネスモデル確立と市場浸透戦略がある。特に、BtoB モデルから BtoC モデルへの展開には、触覚コンテンツ制作・配信基盤やオーサリングツールの整備が不可欠であり、産業界との共同開発と標準化活動が事業化成功の鍵となる。

●期間・予算 (単位:百万円)	2021FY	2022FY	2023FY	2024FY
	100	106	100	110
●特許出願及び論文発表				
特許等	論文発表	発表・講演	受賞実績	成果普及の努力 (プレス発表等)
5 件	4 件	44 件	10 件	3 件

3.2.2. Contact Realityの実現による遠隔触診システム開発

テーマ名	Contact Realityの実現による遠隔触診システム開発		達成状況	○
実施者名	国立大学法人東海国立大学機構①、国立大学法人東海国立大学機構② 豊田合成株式会社			
達成状況の根拠	eRubber を用いた柔軟な触覚提示技術、医師が HMD を通じて操作する仮想空間型診察インターフェース、リアルタイムの高解像度映像・音声伝送、そして AI による触診データの解析技術を統合し、直感的かつ高信頼性のある遠隔診察体験を可能にした。さらにその有効性は、国際展示会 CES2024 における一般社会からの評価、臨床医による専門的評価、シンガポールや日本の病院を用いた国際的な遠隔診療環境での評価を通じて、多面的に検証された。			
<p>●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係</p> <p>本プロジェクトは、「遠隔触診」という従来は遠隔化が極めて困難とされてきた医療行為の実現を目指し、触覚提示技術と仮想空間インターフェースを融合させた新しい診療システムの開発に取り組んだものである。</p> <p>さらに言えば、「遠隔触診」の実現を通じて、空間的距離を越えた「共に在る」感覚、すなわちデジタル技術を用いた人間同士の新たなつながり方の創出に挑戦した取り組みである。</p> <p>今後は、医療現場への導入だけでなく、教育、福祉、メンタルヘルス、リモートケアといった分野への展開が期待され、制度整備・倫理的課題への対応とともに、社会実装を進めていく。</p>				
<p>●アウトプット目標</p> <p>本プロジェクトでは、まず遠隔医療の中でも従来実現が極めて困難とされてきた触診に着目し、医師と患者の間で触覚を双方向に伝送することを可能とする新しい遠隔触診システムの開発を大きな目標とした。その具体的なアプローチとして、医師が実際に患者に触れて診断しているかのような感覚を再現する「Haptic I/O Doll」や、患者に適切な触圧を与える「触診マニピュレータ」といったシステム構成要素の設計・構築を進めることを目指した。</p> <p>加えて、患部の硬さや軟らかさといった臨床的に重要な情報を客観的に数値化するため、世界最小クラスの6軸力覚センサーを組み込んだ指先統合センサーと人工知能を組み合わせることで、誤差5～10%の範囲で物性評価を行える技術の確立を目標とした。これにより、医師の経験や感覚に依存してきた従来の触診の一部を、データに基づく診断支援技術へと昇華させることを企図した。</p> <p>さらに、触診技術を越えて「身体状態の共有」という広い枠組みを探るために、e-Rubber を用いた心拍触覚伝送や歩容解析といった新たな応用技術の検証も計画に含めた。これらは医療領域にとどまらず、福祉やスポーツ科学といった分野への波及を見据えた挑戦的目標であった。また、人間の触覚がもたらす認知的・情動的な影響を科学的に理解するために、128 チャンネルの高密度脳波計を用いて触覚認知を定量的に評価し、工学的システム設計と神経科学的知見を統合することも重要な目標として掲げた。</p> <p>さらに、これらの要素技術の社会的受容性と実装可能性を検証するため、国際的な公開の場としてCES2024 でデモンストレーションを行い、幅広いステークホルダーからの評価を得ることを目標とした。また、国際共同研究の文脈においては、日本とシンガポールを結んだ遠隔触診実証を実施することにより、通信遅延や文化的差異を含めた現実的課題に取り組むことを計画した。臨床面では、まず整形外科領域、特に前腕や手関節に関する診断を対象とし、実際の患者を対象とした臨床試験を通じて有効性と実用性を確認することを目標とした。</p>				
<p>●実施体制</p> <p>本プロジェクトは、国立大学法人東海国立大学機構を中核に、豊田合成株式会社など企業パートナーが参画した産学連携体制により実施された。</p> <p>医学：整形外科医、理学療法士が現場要件を提示し、臨床試験を担当</p> <p>工学：触覚センシング、ロボティクス、XR、通信基盤を開発</p> <p>国際展開：シンガポール国立大学病院やCES2024 出展を通じ、海外評価と社会的受容性を検証</p>				
<p>●成果とその意義</p> <p>本プロジェクトでは、遠隔触診という従来は実現困難と考えられてきた医療行為を対象に、触覚提示技術・AI 解析・XR インターフェースを統合することで、医師と患者の間で触覚を双方向に伝送できる新しい診療システムを開発した。具体的には、Haptic I/O Doll や触診マニピュレータなどのデバイスにより触診の実施を可能とし、指先統合センサーと AI 解析を組み合わせることで患部の硬軟を数値的に推定する技術を確認した。さらに、128 チャンネル高密度脳波計を用いた触覚認知の定量評価や、e-Rubber による触覚伝送の精度向上など、触覚提示技術の高度化を実現した。</p>				

る心拍触覚伝送・歩容解析といった応用技術の検証も行い、その成果を CES2024 での国際デモンストレーションや日本(名古屋大学医学部附属病院) - シンガポール(シンガポール国立大学病院)間の遠隔触診実証において広く社会的に提示した。これにより、工学的・医学的な有効性だけでなく、社会的受容性や国際的信頼性をも獲得することができた。

これらの成果は、国内外における既存の触覚技術と比較しても顕著な優位性を有している。まず触覚再現の深度において、海外の研究事例では力覚デバイス(例: Microsoft CLAW)などを用いた単純な反力提示にとどまり、生体組織特有の粘弾性や内部構造の違いを感じ取る精緻な触診の再現には至っていなかった。それに対して本システムは、指先統合センサーと AI を用いることで、患部の硬軟を誤差 5~10% の範囲で推定可能とし、診断的価値を持つ触覚情報の遠隔伝送を世界に先駆けて実現している。

また、心理的・認知的価値の統合においても独自性がある。従来の触覚伝送は物理的感覚の提示に限定されていたのに対し、本研究では医師の能動的触診(Active Touch)と患者の受動的触覚体験(Passive Touch)の双方を再現し、触診本来の「信頼」や「安心感」といった心理的効果を含む体験を設計した。この点は、触診を単なるデータ伝送ではなく、人間同士のコミュニケーションの中核として支援する技術へと拡張したものであり、国内外の研究に先駆ける取り組みといえる。

さらに、国際的な実証による信頼性も大きな成果である。国内での医工連携研究に加え、CES2024 での一般公開デモンストレーションや、日本とシンガポールを結んだ遠隔触診実験において、200ms 程度の通信遅延下でも臨床的に有効な触診が可能であることを実証した。これは単なる研究室レベルの技術検証を超えて、国際医療連携の現実的シナリオを想定した社会実装段階に到達していることを意味しており、他国事例と比較しても優位性が際立っている。

以上のように、本システムは触覚再現の深度、心理的価値の統合、国際的な実証という三つの観点において、従来技術を凌駕する成果を示した。これにより、単なる技術開発にとどまらず、医療の信頼性を担保しつつ遠隔化を可能にする国際的にも先進的かつ意義深い技術として位置づけられる。

上腕骨外側上顆炎の患者



医師による診察



構築した遠隔触診システム

● 実用化・事業化への道筋と課題

本プロジェクトの成果を実用化・事業化へとつなげるための道筋は、段階的な展開を想定している。まず短期的には、整形外科領域、特に手外科における臨床利用を進め、遠隔診断を支援するためのツールとしての導入を目標とする。次いで中期的には、遠隔エコー検査や神経伝達速度計測といった診断技術との統合を図ることで、対象疾患を拡大し、より幅広い臨床現場で活用可能なシステムとして発展させることを目指す。さらに長期的な展望としては、医療分野にとどまらず、教育分野における遠隔臨床教育、福祉現場における在宅ケア支援、メンタルヘルス領域における非言語的コミュニケーションの強化、さらにはスポーツ科学における動作解析など、多様な応用領域への展開を視野に入れている。

一方で、実用化に向けて解決すべき課題も残されている。第一に、遠隔触診における診断責任の所在や個人情報保護といった医療制度上および倫理的な課題が挙げられる。第二に、臨床現場での普及を促進するためには、デバイスの低コスト化や小型化といった技術的改良が不可欠である。さらに、患者および医師の双方にとって自然で使いやすい操作性を実現するため、ユーザビリティの向上も重要な課題である。加えて、国際展開を見据える上では、国際標準化に向けた規格整備を進める必要がある。

● 期間・予算 (単位: 百万円)	2021FY	2022FY	2023FY	2024FY
	83	131	104	105

● 特許出願及び論文発表

特許等	論文発表	発表・講演	受賞実績	成果普及の努力 (プレス発表等)
2 件	5 件	5 件	0 件	5 件

3.3. 【C】研究開発項目：状態推定 AI システム及び高度な XR により状態を提示する AI システムの基盤技術開発

3.3.1. 遠隔リハビリのための多感覚 XR 保健指導との互惠ケア連携

テーマ名	遠隔リハビリのための多感覚XR保健指導との互惠ケア連携	達成状況	○
実施者名	国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人京都大学、国立大学法人東京大学、セイコーエプソン株式会社、株式会社エブリハ		
達成状況の根拠	遠隔リハビリテーションおよび特定保健指導サービスにおいて、時間的・空間的制約、経済的負担、人的リソースの限界、さらには認知的困難を同時に克服するための技術的アプローチとして、多感覚XR-AI（XR powered by AI）技術基盤の構築と応用に関する研究開発を実施し、各研究開発項目において実用化研究開始水準を達成した。		
<p>●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係</p> <p>本研究開発では、リハビリ難民、保健制度や特定保健指導の制限などに起因するリハビリやトレーニングの自己負担、利用者と提供者の数の不整合、健保組合間での保健指導の質や量の格差、動機付けの不足などの問題群を、時空間的、経済的、及び認知的制約を緩和することにより、効果的に解決もしくは軽減することを目的とする。</p> <p>最終的には、遠隔リハビリなどの個々のヘルスケアタスク場面と日常生活場面とを紡ぎ、1対N遠隔ケアや互惠ケア（0対N遠隔ケア）による制約フリーなヘルスケアサービスが広がる未来の実現に貢献することを目指している。</p>			
<p>●アウトプット目標</p> <p>各実施項目に対するアウトプット目標を以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none">VR リハビリプロトタイプシステム：洗濯の課題解決、肘と肩の計測性能の達成、上肢運動データセット公開、ハンガー反射ガイドラインの作成VR リハビリ手法：リダイレクションガイドライン作成、互惠ケアガイドライン作成常時モニタリング：常時モニタリングデバイスによる各計測項目の計測・測定、座位行動時間のモニタリング（非歩行系モニタリング）、心的状態推定における精度80%以上			
<p>●実施体制</p> <p>【委託先】国立研究開発法人産業技術総合研究所、国内大学法人京都大学、国立大学法人東京大学、セイコーエプソン株式会社、株式会社エブリハ</p>			
<p>●成果とその意義</p> <p>①MR³デバイス技術基盤の研究開発（担当：産総研）</p> <ul style="list-style-type: none">ノイズの影響を排除するためのウェアラブルデバイスの基盤技術を開発し、センサ駆動時に常時S/N比1,000以上のセンサ信号を計測できる技術として確立した。比較対象の公開データ不足のためS/N比の直接比較は困難であるが、欧州の事例[1]と比較した場合、MR³ウェアでは90°曲げでのセンサ感度を約5%向上しており（ΔR/R0比較）、抵抗値の安定した配線での実装と合わせて高いS/N比を実現した。再着脱を繰り返した場合における着用者の上肢運動の計測精度として、肘の屈曲・伸展、肩の屈曲・伸展、外転・内転計測精度±15%未満を達成、複合的な動作（肩甲骨の振る舞い、麻痺テスト）のスコア化の精度80%を達成した。他の計測技術として、例えば、ゆったりとした衣類に4点のみの慣性計測ユニット（IMU）を取り付けたLoose Inertial Poser[2]では、腕を左右に水平に伸ばした姿勢を約5秒間保持する校正方法により上半身の関節角度を約20度以内で推定している。他にも16個の静電容量センサがジャケットに縫い込まれたMocapose[3]では、深層畳み込み回帰モデルにより再着脱してもセンサ配置さえ一貫していれば肩関節10°以内、肘関節20°前後の精度で推定である。一方、本テーマで開発したMR³ウェアでは、デジタルヒューマンプラットフォーム（DhaibaWorks）を用いたデジタルツイン環境でのセンサ配置の最適化や、センサの冗長配置（左右合わせて30点）などの特徴を備える。これにより、動作に合わせ貢献度の高いセンサを選択することで、肩関節や肘関節角度を、精度高く推定できるだけでなく、肩甲骨周辺の微小な形状変化を含む上肢の関節運動を捉えることができる点で他の計測手法より優れている。MR³ウェアの振動子及びハンガー反射デバイスにより、遠隔地からの体性感覚に基づく運動の誘導、			

関節への負荷錯覚を可能とし、その使用ガイドラインを作成した。

上肢麻痺のリハビリ分野においては、利用者の動作補助には療法士が直接身体部位を操作する方法、設置型装置に組み込まれたアクチュエータによって動作支援する方法[1]、前述の装置と組み合わせて動作タイミングに応じて筋電気刺激によって支援する方法[2]などがある。しかし、人的・金銭的成本が高い、大型機材が必要、運動の主体性欠如などの課題がある。本研究で開発したデバイスでは、人間の錯覚を利用しているため、小型軽量であり、自らの運動を誘発するため運動の主体性が保たれ、先行事例の課題を解決している。錯覚を利用するためデバイス利用において個人差への対応が必要となるが、そのためのキャリブレーション手法についても、実験結果に基づいたガイドラインによって対応した。

②遠隔ケアタスク実施支援技術基盤の研究開発（担当：東京大学、産総研）

- 融合身体、及びハンドリダイレクション：実証現場での複雑な上肢動作を含むリハビリタスクにおいて、各調整パラメータと効果の関係を明らかにし、使用ガイドラインを作成した。本テーマが対象とした片麻痺リハビリにおいては、患者によるタスク遂行が困難であることが、リハビリ離脱の原因のひとつであった。そこで本テーマではリダイレクション[6]と呼ばれる現実の動作をVR空間で過大/過小表示する技術を用いることで、現実でリハビリ動作を実施するよりも達成感が得られやすくしている。VR リハビリの先行事例[7]では、既存のリハビリをVR空間で実施するのみであり、リダイレクションなどの介入機能は搭載されていない。リダイレクションにおける研究においても、片麻痺リハビリで実施されるような回内・回外やリーチングなどの動作の適用範囲などは調査されていない。本テーマでは片麻痺リハビリで実施される動作における検出閾値ゲインや許容ゲインなどに関する調査を実施した。実験やサーベイを通して得られた知見をもとに、実際のリハビリ動作へ適用するためのガイドラインを作成した。
- 互惠ケアタスク実施支援：「異種」互惠ケアタスク実施支援技術を開発し、3種類以上の異なるサービス利用者により、動機付け効果を実証し、使用ガイドラインを作成した。本テーマが対象とした五十肩のリハビリにおいては、単調な反復タスクの退屈さが離脱原因のひとつであった。そこで学習や他のリハビリタスクで採用されている、ゲーミフィケーション(タスクをゲーム化する手法)とコミュニケーション(他人の存在や会話などを用いる手法)要素を適用することで対応することとした。ゲーミフィケーション要素は脳卒中[8]や五十肩[9]のリハビリへすでに適用されてきたが、タスクの継続時間への影響の調査はされていなかった。コミュニケーション要素は映像学習[10]やVR空間における学習[11]において、他人が存在することで効率が向上することが知られているが、ゲーミフィケーション及びコミュニケーション要素を組み合わせた際の継続時間への影響は検証されていなかった。本テーマでは五十肩リハビリという新たな分野へ既存のゲーミフィケーションとコミュニケーションを適用し、リハビリ効果や内的動機づけにおいて重要なタスクの継続時間を計測した。適用タスクも同じタスクを実施する同種互惠ケア、異なるタスクを実施する異種互惠ケアを実装し、タスクの種類による影響も調査した。既存の事例では適用するタスクは同種が多いが、本研究は異種タスクまで調査した珍しい事例となる。ゲーミフィケーション、コミュニケーション、タスク種類など複数の要因が関係しているため、各要素を妥当に適用するためのガイドラインを作成した。リハビリタスクに関するガイドラインは複数存在しているが、VR空間での継続時間を対象にした介入要素に関するものは、おそらく初めてのものとなる。

③遠隔リハビリプログラムの作成・更新支援技術基盤の研究開発（担当：京都大学、産総研、エブリハ）

- 現地（利用者側）と遠隔地（療法士側）での判断の違いを主観評価し、問診アプリで病期正答率92%を確認した。本テーマでは、現地（利用者側）と遠隔地（療法士側）による病期の判断の違いを評価し、Web 問診アプリによって利用者が自己入力した情報に基づく病期分類の正答率が92.6%であることを確認した。先行研究では、Steele ら[12]が理学療法士によるビデオ通話と対面診察の診断一致率を評価し、完全一致18.5%、部分一致を含め59.7%と報告している。また、Sethi ら[13]は画像診断を活用して肩疾患の診断精度(83~86%)を報告しているが、いずれも「疾患名」の分類に焦点を当てており、「病期（炎症期か否か）」の分類に関する検討はなされていない。本テーマでは疾患名ではなく病期分類に着目した点で先行研究とは異なるが、92.6%という高い正答率は、遠隔での病期判断ツールとしての有用性を十分に示す結果といえる。

④常時モニタリング技術基盤の研究開発（担当：セイコーエプソン、産総研）

- 既存の脈波、運動強度、活動量、消費カロリー、基本メンタルバランス（脈拍を利用）、屋内位置情報に加えて、新たに、経皮的動脈血酸素飽和度（SpO₂）、PRV、基本行動種別、メンタルバランスを計測・測定可能にした。本研究で用いるPPGセンサはHRV・SpO₂測定時の消費電流が25μA以下（HRV時）と極めて低く、既存のウェアラブル機器で用いられている既存センサに比べて電力効率で

2倍以上優位であり、精度確保と実用性を両立している。

- ・ 常時モニタリングデバイスによる座位（臥位）から立位の動作解析アルゴリズムの開発し、座位行動時間のモニタリングを可能にした。海外の一般的なウェアラブル機器は加速度センサで姿勢変化を検出するが、座位時間を精緻に定量化し、リハビリ評価や生活習慣病予防に直結する仕組みは限定的である。本技術は、国内外の既存研究で指摘される「長時間座位と健康リスクの関連性」に対して、具体的な改善行動を促すデータ提供が可能である。
- ・ 心身状態推定 AI 開発を完了し、職域心身モニタリング実証で得られたデータセットにおいて、約85%の精度での心的状態の推定を達成した。これまでの事例（NEC 感情分析ソリューション、2018 など）では、心的状態の主観情報収集手段に調査票を用いたものが用いられているため、記録コストが課題であったが、絵文字を用いた経験サンプリングの採用により、即時性の高い主観情報を対象とした推定モデルの構築を可能とした。

⑤実証実験（担当：エブリハ、産総研、京都大学、東京大学、セイコーエプソン）

- ・ 多感覚 XR-AI 技術基盤モジュール群の構成要素の90%以上（13モジュール中12モジュール）を実証実験に適用した。
- ・ 実証実験を通じて、事業項目①～④の最終目標に示す実用化研究開始のための性能・有効性・運用の各観点における9項目からなる最終目標群（性能面の観点[センサ特性、計測項目種別、計測精度・推定精度、データセット]、及び運用面の観点[耐久性、ガイドライン]）の達成度を把握し、90%以上を達成した。
- ・ 実際の利用者・提供者を被験者とし、3プロセス（初期診断、遠隔 VR リハビリタスク実施、常時モニタリング）のそれぞれで長期運用実施が可能なプロトタイプシステムを実装し、実証実験を1ヶ月以上継続実施した。

参考文献

- [1] F. Lorusi, Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 2016,
 [2] Zuo et al., Loose Inertial Poser, IEEE CVPR 2024.
 [3] Zhou et al., Mocapose, UbiComp/ISWC 2023.
 [4] Forearm in-rotation and out-rotation training devices, GH-1100, OG Wellness. <https://www.og-wellness.jp/product/rehabilitation/gh1100>
 [5] Shoulder joint training device, GH-1200, OG Wellness. <https://www.og-wellness.jp/product/rehabilitation/gh1200>
 [6] Abtahi, P., Hough, S. Q., Landay, J. A., & Follmer, S. (2022, April). Beyond being real: A sensorimotor control perspective on interactions in virtual reality. In Proceedings of the 2022 CHI conference on human factors in computing systems, pp.1-17.
 [7] mediVR, <https://www.medivr.jp/>
 [8] Carlos Ferreira. Gamification of stroke rehabilitation exercises using a smartphone. the 8th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare, pages 282-285, 2014.
 [9] Ming-Chun Huang, et al. Intelligent frozen shoulder rehabilitation. IEEE Intelligent Systems, 29(3):22-28, 2014.
 [10] Sarah Lytle, et al. Two are better than one: Infant language learning from video improves in the presence of peers. the National Academy of Sciences, 115:201611621, 10 2018.
 [11] Shogo Imada, et al. Making others' efforts tangible: how other learners affect climate fostering long-term self-paced learning in virtual environment, HCII2020.
 [12] Steele L et al. Assessment and Diagnosis of Musculoskeletal Shoulder Disorders over the Internet. International Journal of Telemedicine and Applications, vol. 2012 (2012): 945745. doi:10.1155/2012/945745
 [13] Sethi, S., Srivastava, S., et al. (2024). Toward Non-Invasive Diagnosis of Bankart Lesions with Deep Learning. arXiv preprint arXiv:2412.06717. <https://arxiv.org/abs/2412.06717>

●実用化・事業化への道筋と課題

本事業において、常時モニタリングによる情報の可視化と、その情報を活用した各種指導の高度化の可能性を確認することができた。一方で、心的状態 AI による適切なタイミングでの働きかけについては、現状の二段階の状態分離では精度が不十分であり、より精緻な状態推定アルゴリズムの開発が必要と考える。今後は、心的状態の多段階モデル化とリアルタイム解析技術の高度化を進めるとともに、ユーザー体験を損なわないインタラクション設計を確立することが、実用化・事業化に向けた重要な課題である。

●期間・予算 (単位:百万円)	2021FY	2022FY	2023FY	2024FY
	93	100	83	83
●特許出願及び論文発表				
特許等	論文発表	発表・講演	受賞実績	成果普及の努力 (プレス発表等)
0 件	8 件	46 件	3 件	15 件

3.3.2. AI・XR活用による空のAvatarを実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発

テーマ名	AI・XR活用による空のAvatarを実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発	達成状況	○
実施者名	国立大学法人東京大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所		
達成状況の根拠	社会的受容性の高い有人地帯における防災・警備分野でのドローン活用を目指し、AIとXR技術を融合した革新的なリモート技術群を開発、実証実験を通じて、各研究開発項目において実用化研究開始水準を達成した。		
<p>●背景・目的・プロジェクトアウトカム目標との関係</p> <p>社会的受容性の高い有人地帯における防災・警備分野でのドローン活用を目指し、AIとXR技術を融合した革新的なドローンリモート技術の研究開発を推進した。防災分野、警備分野の現場において、ドローンを「空のAvatar」として活用するため、複数台ドローンの連携を可能にする群協調飛行制御技術、用途に応じたマルチセンサ情報を遅延なく操作者に伝送・提示する技術、現場の環境を高速にカラー3次元化しデジタルツインとして利用する技術、クラウド上のAIによる人・環境の状態推定技術、そして没入型XR技術による直感的情報提示と遠隔操作技術を重点的に開発した。</p> <p>●アウトプット目標</p> <ul style="list-style-type: none">・ 遠隔地から現場の状況を多角的に把握し、支援する手段の確立・ 短時間で大量の情報量をデータ化し伝送する方法の確立・ 要救助者、不審者等の発見において、特定の技能に依存せず判断を支援する技術を確立・ システムとしての脆弱性や、システム全体のリスクの評価 <p>●実施体制</p> <p>【委託先】国立大学法人東京大学（再委託先：イームズロボティクス株式会社、株式会社NTTドコモ） 国立研究開発法人産業技術総合研究所</p> <p>●成果とその意義</p> <p>①革新的ドローンリモート技術の運用開発・システム設計（担当：国立大学法人東京大学、以下同）</p> <p>②革新的ドローンリモート技術の評価及び最適化</p> <p>③革新的ドローンリモート技術の標準化</p> <p>上記実施項目①～③を通じて、以下の成果を得た。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 革新的ドローン防災利用・警備利用の業務フロー、サービス要件、機能要件等を含む分野別運用コンセプト（ConOps：Concept of Operations）を作成。・ 福島ロボットテストフィールド（以下、RTF）などにおける実証実験を通して、機能・性能の目標を達成することを確認。・ 革新的ドローンリモートAI技術運用ガイドラインを作成。 <p>④マルチセンサ搭載LTE/5Gドローンの開発（主担当：イームズロボティクス株式会社、以下同）</p> <p>⑤マルチセンサドローンの運用と評価データの取得</p> <p>上記実施項目④及び⑤を通じて、以下の成果を得た。</p> <ul style="list-style-type: none">・ マルチセンサ搭載ドローンを3台開発、センサの最適配置を検討し搭載、実用化に向けた評価を実施・ 920MHz帯、LTE、5Gの通信デバイスを搭載し、それぞれの通信の検証と、レスポンスを測定。・ 5Gがない地域を想定し、LTEによる低遅延画像伝送（Voysys）を実証し、0.3～0.7秒の遅延を確認。・ 警備を想定した複数回の実証実験を警備会社（ALSOK福島）と共同で実施し、機械警備の各シーンにおける想定課題、対策案に関する評価データを収集した。その結果、運用時のコスト、安全面、技術上・法律上の課題等が明らかになり、それらの対策を踏まえて運用規定を策定。 <p>⑥LTE/5G搭載ドローンの通信環境構築（主担当：NTTドコモ株式会社、以下同）</p> <p>⑦クラウドを活用したドローンデータの集約及びデジタルツイン環境の構築</p> <p>上記実施項目⑥及び⑦を通じて、以下の成果を得た。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 将来的な、空中5G通信の提供に備え、利用シーンに応じた他システム含む構成を検討し、5G基地局電波からLAN通信を接続する通信手法にて、実証システムにおける低遅延な通信を達成。			

- ・ LTE/5G を利用した環境の有効性を再確認する結果となった。イームズロボティクス、産総研と通信システムについて再検討し、実証システムの動作が可能な LTE/5G 通信を構築。
- ・ モバイル 5G を複数台運用した大容量通信について技術的な実現方法は確認できたが、暗号化を伴った映像伝送においては、通信が出来ない事が確認できた。本実証においては、映像伝送に必要な帯域を確認し、モバイル 5G を 1 台用いた円滑な通信を実現。
- ・ 実証実験により、docomo MEC を活用した革新的ドローンリモート技術によるクラウド型 AI・XR サービスの運用の達成。

⑧複数ドローンセンサ情報に基づくデジタルツイン環境構築（担当：国立研究開発法人産業技術総合研究所、以下同）

⑨取得センサ情報を用いた状態推定 AI の研究開発

⑩人間の感覚を拡張する高度 XR 提示技術の研究開発

⑪1 人の操作者による複数台ドローン遠隔操作手法の研究開発

上記実施項目⑧～⑪を通じて、以下の成果を得た。

- ・ ドローン上で行われる移動量推定に GNSS を導入し、対象物の少ない福島 RTF 環境でドローンによる高速環境カラー 3 次元化を実証。また、複数ドローンから得られたカラー点群情報の遠隔マッピング統合を実証し、遅延 3 秒以下でデジタルツイン環境への重畳表示を実現。関連する 2 件の国際会議論文（ICRA2022, ICRA2023）に関して、それぞれ被引用数 40 件、108 件、オープンソース Github 1100 スターを達成。
- ・ 災害現場での被災者の認識にも応用可能な AI 学習用人物行動高精細 CG データセット作成プログラムを作成。不審者認識のための AI の学習を行い、人状態推定 AI による警備対象人物特定の再現率 98%、適合率 95%を達成。
- ・ カメラと映像伝送方式を変更し、低遅延 XR 提示システムを構築。
- ・ Google Map と同等機能の Open Street Map 上に人・ドローン位置、センサ情報等を提示するウェブアプリケーションを実装。
- ・ 機体間通信で、ドローンの位置情報、速度ベクトルを共有し、ドローン同士が協調飛行を行う自律分散アルゴリズムを構築。実証実験での 3 台ドローンによるフォーメーション飛行（最高速度 10m/s）、衝突回避においてナビゲーション精度向上を達成。
- ・ 上記技術を統合し、現場のデジタルツインと複数ドローンを活用した遠隔モニタリングシステムを構築。これまで国内外で取り組み例がない優位性の高い新規ドローンリモート技術を実証。

●実用化・事業化への道筋と課題

- ・ 革新的ドローンリモート技術の実用化、事業化に関しては東京大学、産業技術総合研究所の協力のもと製品化を担うイームズロボティクスが主体となり、SBIR 等を利用して実用化研究を推進する
- ・ 製品化に際してはシステム技術と要素技術の両面で、研究開発の高度化と社会実装を目指す。現状他社で同レベルのシステム・機体を開発している情報はなく、競合は少ない状態であり、早期の製品化による市場確保を目指す。主要な販売先として、官公庁、47 都道府県自治体（消防組織）、警備会社など、目視外飛行でセンサ情報が必要な事業者を想定。
- ・ トータルシステムは消防システム、警備システムに組み込むことで社会実装を追求すると共に、個別の要素技術は以下の方針に沿った展開を想定。
 - リモート技術：JST-Kro でのフォーメーション技術の応用を開始、災害時の情報収集や物資輸送として社会実装化。
 - ドローン技術：SBIR において積載重量の増加、夜間運用等環境性能強化、長距離飛行、レベル 4 飛行の実現を目指して研究開始。
 - AI 技術：ドローン以外の人の状態推定技術として、警備、捜索分野などへ展開。
- ・ 課題：革新的ドローンリモート技術の社会実装に必要な運航安全と信頼性、安定した通信の確保。

●期間・予算 (単位:百万円)	2021FY	2022FY	2023FY	2024FY
	84	114	78	74

●特許出願及び論文発表

特許等	論文発表	発表・講演	受賞実績	成果普及の努力 (プレス発表等)
0 件	7 件	7 件	1 件	13 件

添付資料

●基本計画

P 21004

「人工知能活用による革新的リモート技術開発」基本計画

AI・ロボット部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

わが国は少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少に直面しており、働き方改革の促進と労働集約的・対面主体である製造業やサービス業の労働生産性の向上が喫緊の課題である。加えて、今般の新型コロナウイルスの感染拡大により、経済活動が制限され、働き方の変容に伴い課題が顕在化した。また、国連サミットにおいて採択された持続可能な開発目標（SDGs）では、「誰一人取り残さない」持続可能でより良い社会の実現に向け、すべての人々の完全かつ生産的な雇用と働きがいのある人間らしい雇用を促進することが掲げられている。これらの社会課題に対する解決手段の一つとして、あらゆる分野において、社会・経済活動が、空間・時間の制約から解放されたリモート環境で行えることが強く求められており、人工知能（AI）技術やリモート技術は新たな社会・産業インフラとしての役割を期待されている。

このような状況の下、政府戦略においてもリモート化の推進は重要な政策の一つとして位置づけられている。例えば、「経済財政運営と改革の基本方針 2020（骨太方針 2020）」（2020 年 7 月閣議決定）で、「新たな日常」構築の原動力となるデジタル化への集中投資・実装とその環境整備として、AI、ロボットの導入推進、テレワーク定着、対面主義脱却などが標榜されている。また、「統合イノベーション戦略 2020」（2020 年 7 月閣議決定）においても、産業構造や働き方などのライフスタイルも含めた社会基盤・ルールをデジタル化に対応させ、経済社会活動のサイバー空間への移動を最大限実現させる必要性などが言及されている。さらに、「産業技術ビジョン 2020」（2020 年 5 月経済産業省策定）では、ネットワーク接続と AI によってあらゆるデバイスが知性を宿す **Intelligence of Things** と人間能力の飛躍的拡張を支える技術群として、ロボティクス、センシング、XR、ブレイン・マシン・インターフェース、言語の壁を取り払うニューラル機械翻訳等の重要性が高まることなどが述べられている。

②我が国の状況

今般の新型コロナウイルスの感染拡大による影響を受けて自律化、リモート化のニーズは急速に高まった。事務作業においてはテレワークやオンライン会議の導入が加速するなど、以前からの課題である働き方改革への対応に一定の進展が見られた。しかし、遠隔の状態がよくわからないという課題も顕在化し、生産性向上への寄与は

限定的である。また、労働集約的・対面主体の労働現場においては、現状の技術では業務遂行に不可欠な情報が伝送できないことからリモート化は十分に進んでおらず、事業活動の停止により大きな経済的打撃を受けた。

社会・経済活動のリモート化をより広範な領域に展開し生産性を向上させるためには、AI を用いて遠隔の状態を推定すること、単なる視聴覚情報ではない力触覚、嗅覚、味覚の五感情報を交え効果的に認知する技術が必要である。

自律化への対応としてはデジタル技術を活用した非接触ニーズ主導型の新ビジネスも勃興している。ロボットによる自動化についてはスタートアップ企業も事業をスタートさせており今後ますますの進展が期待できる。

③世界の取組状況

世界においても今般の新型コロナウイルスの感染拡大による対策としてデジタル化、自律化、リモート化の重要性が認識されており、それらの拡大に一層力が入れられていくものと考えられる。

ロボットによる自動化については、特に欧米中諸国で社会への実証・実用化が急速に進展しており、社会受容性・必要性も急速に高まっていることから事業化が進捗するフェーズとなっている。

リモート技術は、政策上も各国強力に推進しており、リモート会議等すでに市場が形成されている分野もあり、その市場規模にも高い伸びが見込まれる。リモート技術に用いる装置に関しては、テレプレゼンス市場として動向予測がされている。市場年平均成長率は、テレプレゼンスロボットで約 18%、テレプレゼンス装置で約 5%、3D テレプレゼンスで約 20%と試算されている。

一方で、特許出願や論文の件数の推移の伸びは予想される市場ほどではないため、革新的な技術が出ておらず、それが期待されている状況とも考えられる。

④本プロジェクトのねらい

空間・時間の制約から解放された社会・経済活動を実現するリモート技術は労働集約的・対面主体の労働現場を含むあらゆる分野の産業構造を一変し生産性を飛躍的に高める。生産年齢人口の減少下での産業競争力の維持向上、感染症の流行等による行動制限下での社会活動の継続、及び多様な立場の人々の社会参加が実現されるものとする。

そこで本プロジェクトでは、社会のあらゆる場面で活用されるリモート技術の基盤形成として「人工知能活用による革新的リモート技術開発」を実施する。

具体的には、遠隔における人や環境の状態を先進的なデバイスによって取得された情報を基に AI を用いて推定する「状態推定 AI システムの基盤技術開発」、遠隔環境の状態を高い臨場感を伴って提示することや AI を用いて必要な情報をデフォルメして提示する「高度な XR により状態を提示する AI システムの基盤技術開発」に取り組む。

「状態推定 AI システムの基盤技術開発」

遠隔環境の情報取得が十分でないという課題に対応して、計測する人や環境の情報を基に AI で人間の感情や行動等の状態、人間の周辺環境等の状態を推定する技

術を開発する。

「高度な XR により状態を提示する AI システムの基盤技術開発」

遠隔環境の様子を近傍者が的確に認知する必要がある。人間への効果的な認知に対応する五感情報を提示する技術に加え、遠隔環境への的確な操作・介入をするために必要な情報をデフォルメして提示するなど AI で現場にいる以上の認知が可能になる技術を開発する。

※高度な XR：XR 等の手段を用いて視覚・聴覚に加え力触覚・嗅覚・味覚等の情報を現場にいる以上に知覚することを可能にする様々な技術を総称するもの。

(2) 研究開発の目標

①アウトプット目標

【中間目標】2022 年度

- ・最終目標に向けた課題を抽出し、解決のための方策を具体的に提示すること。

【最終目標】2024 年度

- ・本プロジェクトが対象とする基盤技術が実用化研究（実際の製品やサービスを開発するうえでの技術的な課題を解決するための研究）を開始できる水準に達すること。
- 研究開発テーマのうち 25%以上の案件がプロジェクト終了後、連続して実用化研究に移行すること。
- ・基盤技術の内容及び得られる効果を、デモンストレーション等を通じて公開すること。

②アウトカム目標

本プロジェクトによって革新的リモート技術の基盤が形成されることにより、リモート化できていない労働集約的・対面主体の労働現場を含むあらゆる分野へのリモート化が進捗する。また、本プロジェクト外の企業のリモート市場への参入が促進され、様々な産業のリモート化が誘発されることが期待できる。産業構造・社会基盤のリモート化・デジタル化が進展し、2035 年時点において 8 万人分の労働力に充当され、リモート技術の国内市場の規模が 3200 億円に達することに寄与する。

③アウトカム目標達成に向けての取組

本プロジェクトの研究開発事項である基盤技術を広く社会に普及させるため、委員会等の活用により研究開発実施者と連携してユーザーに広く受け入れられる仕様について検討する。また、本プロジェクト外の企業がリモート市場に広く参入することを促すために、NEDO と実施者は各技術開発の成果普及を図り、機を捉えてワークショップを開催するなど研究成果の情報発信を行う。

(3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、別紙 1 の研究開発計画及び別紙 2 の研究開発スケジュールに基づき研究開発を実施する。なお、本プロジェクトは、実用化まで長期間を要する

ハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ち寄り協調して実施する事業であり、委託事業として実施する。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

プロジェクトマネージャー（以下「PMgr」という。）に NEDO AI・ロボット部 外村 雅治を任命して、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。

NEDO は公募により研究開発実施者を選定する。

研究開発実施者は、企業や大学等の研究機関等（以下「団体」という。）のうち、原則として日本国内に研究開発拠点を有するものを対象とし、単独又は複数で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究開発能力や研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に関し国外の団体と連携して実施することができるものとする。

なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDO は研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を選定し、各実施者はプロジェクトリーダーの下で研究開発を実施する。

(2) 研究開発の運営管理

NEDO は、研究開発全体の管理、執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適時に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

①研究開発の進捗把握・管理

PMgr は、プロジェクトリーダーや研究開発実施者と緊密に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術推進委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

②技術分野における動向の把握・分析

PMgr は、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し技術の普及方策を分析、検討する。なお、調査の効率化の観点から、本プロジェクトにおいて委託事業として実施する。

③研究開発テーマの評価

PMgr はプロジェクト中間年度である 2022 年度に外部有識者によるテーマ審査を行う。研究開発テーマごとの研究開発の進捗及び実施者自らが設定する中間目標の達成度合いを基に、2023 年度以降の各テーマの継続是非を 2023 年 3 月までに決定する。

(3) その他

本プロジェクトは非連続ナショナルプロジェクトとして取り扱う。

3. 研究開発の実施期間

2021 年度から 2024 年度までの 4 年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO は技術評価実施規程に基づき、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、プロジェクト評価を実施する。

評価の時期は、終了時評価を 2025 年度とし、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

また、2022 年度には当該研究開発の進捗及び中間目標の達成度合いを評価し、その結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

5. その他重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

①成果の普及

研究開発成果のうち共通基盤技術に係るものについては、プロジェクト内で速やかに共有し、NEDO 及び実施者が協力して普及に努めるものとする。

②知的財産権の帰属、管理等取扱い

研究開発成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。なお、事業化を見据えた知財戦略を構築し、適切な知財管理を実施する。

③知財マネジメントに係る運用

本プロジェクトは、『「人工知能活用による革新的リモート技術開発」における知財マネジメント基本方針』を適用する。特に協調領域の知財のプロジェクト実施者に対する許諾等の運用に関して、研究開発成果の最大化を考慮した運用を行う。

④データマネジメントに係る運用

本プロジェクトは、『「人工知能活用による革新的リモート技術開発」におけるデータマネジメント基本方針』を適用する。

(2) 「プロジェクト基本計画」の見直し

PMgr は、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、プロジェクト内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、プロジェクト基本計画を見直す等の対応を行う。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第二号及び第九号に基づき実施する。

6. 基本計画の改定履歴

- (1) 2021 年 3 月、制定
- (2) 2022 年 1 月、プロジェクトマネージャーの交代
- (3) 2023 年 2 月、知財マネジメント基本方針名の変更、
データマネジメント基本方針名の変更
- (4) 2024 年 2 月、使用する文言の修正
- (5) 2024 年 7 月、組織改編に伴う、部署名の変更

(別紙1) 研究開発計画

1. 研究開発の必要性

空間・時間の制約から解放された社会・経済活動を実現するリモート技術は少子高齢化による人手不足のソリューションになるだけでなく、新型コロナウイルスの感染拡大による影響で経済的打撃を受けた産業分野の復興や、あらゆる分野における非接触化の推進の面からも必要性が加速度的に増大している。

社会のあらゆる場面でリモート化を推進していくことで、対面主体の環境では感覚的にしか認知できないことを物理量の情報・データとして記録することが可能になる。

2. 研究開発の具体的内容

「人工知能活用による革新的リモート技術」とは、先進的なデバイスによって計測された現場の人や環境の情報を基に、AI技術を用いて必要な情報を高い臨場感を伴って提示することで、遠隔環境の状態を近傍者が認知し、的確な判断のもと必要に応じて操作・介入等を行うことを可能とする技術である。特に遠隔環境の状態を認知・推定する技術は人間の感覚と密接に関連しているため、センシングした情報を人の認知特性を駆使したAIで意味づける「認知モデル」を形成することでリモート技術をより広範囲な領域に適用することを目指す。

■ 状態推定 AI システムの基盤技術開発

人の状態情報に加え、脳や自律神経などの生理情報をAIで処理・統合することにより、遠隔環境の人の状態・感情を推定し効果的に認知する基盤技術の開発を行う。

また、人の周辺環境の物理量を計測し、AIで人が認知する情報（視覚、聴覚、力触覚、味覚、嗅覚等）に対応した情報に変換・統合することにより、遠隔環境の人の周辺状態を推定し効果的に認知する基盤技術の開発を行う。

■ 高度な XR により状態を提示する AI システムの基盤技術開発

遠隔環境の状態を近傍者が臨場感をもって効果的に認知するために、伝送された情報を基に、AIによって、人間の認知特性を利用した複数の感覚の組合せや目的に応じたデータのデフォルメを行って提示する基盤技術の開発を行う。

これらの技術の主な適用先としては、労働集約的・対面主体の活動が前提の分野を主とする。例えば、個人の状態に応じた指導やサポートが必要な実技実習分野、介護・リハビリ分野、相手の満足感を高める対人サービスが必須である飲食業や観光業、及び労働集約的・対人主体の労働現場のある製造業を想定する。実用化にあたっては、生産性向上、働き方改革への対応、接客品質の向上、及び業務の属人化解消を実現するリモートシステムの構築を目指す。

3. 達成目標

【中間目標】2022年度

- ・最終目標に向けた課題を抽出し、解決のための方策を具体的に提示すること。

【最終目標】2024 年度

- ・本プロジェクトが対象とする基盤技術が実用化研究（実際の製品やサービスを開発するうえでの技術的な課題を解決するための研究）を開始できる水準に達すること。
- 研究開発テーマのうち 25%以上の案件がプロジェクト終了後、連続して実用化研究に移行すること。
- ・基盤技術の内容及び得られる効果を、デモンストレーション等を通じて公開すること。

（別紙 2）研究開発スケジュール

	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度
	先導研究		中間目標	本格研究	
				最終目標	
評価時期		テーマ審査			終了時評価

●各種委員会開催リスト

委員会種別	開催時期	内容
採択審査委員会	2021 年 6 月	・採択審査

事業推進にあたり、テーマ審査委員会を実施

第3回のステージゲート審査以外は、技術推進委員会の委員会種別

テーマ審査委員会	開催時期	これまでの成果と今後の計画以外の評価事項
第1回	2022 年 2 月	・研究開発成果がリモート技術の基盤となるか
技術指導 見学会 (サイトビジット)	2022 年 6 月 ～9 月	・研究開発成果がリモート技術の基盤となるか
第2回	2022 年 9 月	・研究開発成果がリモート技術の基盤となるか
第3回 ステージゲート審査	2022 年 12 月	・研究開発成果がリモート技術の基盤となるか
第4回	2023 年 7 月	・プロジェクト終了後の連続して実用化研究に移行するための 方針
技術指導 見学会 (サイトビジット)	2023 年 11 月 ～12 月	・プロジェクト終了後の連続して実用化研究に移行するための 方針
第5回	2024 年 4 月	・プロジェクト終了後の連続して実用化研究に移行するための 対応計画 ・提案時の「研究開発成果の事業化計画書」に対し研究開発進 捗、社会情勢の変化を反映したアップデート
第6回	2024 年 9 月	・プロジェクト終了後の連続して実用化研究に移行するための 対応状況 ・将来像実現に向けた社会実装（アウトカム目標）達成への道 筋策定状況
第7回	2025 年 2 月	・プロジェクトの位置づけ・意義（基盤技術の定義、実用化研 究を開始できる水準の定義） ・プロジェクトの成果 ・アウトカム（社会実装）達成までの道筋策定状況

●特許論文等リスト

動作ユニットA Iによる人の感情推定とキャラクタの感情豊かな動作生成による遠隔コミュニケーション環境の構築

(1) 研究発表・講演

発表者	発表者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
Yoshifumi Kitamura	Tohoku University	Potential of Nonverbal Information to Enrich Interpersonal Telecommunication	NTU - Tohoku U Symposium on AI and Human Studies	2022. 3
Yoshifumi Kitamura	Tohoku University	Potential of Nonverbal Information to Enrich Interpersonal Telecommunication	University College London, UK, Interaction Centre	2022. 7
Miao Cheng, Shoi Higashiyama, Ken Fujiwara, Chia-huei Tseng, Yoshifumi Kitamura	Tohoku University, National Chung-Cheng University	E-Motion: a database of bodily expression of basic and social emotions	European Conference on Visual Perception 2022 (will be published on the journal iPerception)	2022. 8
北村喜文	東北大学	非言語情報が拓く人間性豊かなコミュニケーション～サイバー空間とリアル空間の活用	東北大学 電気・情報 産学官フォーラム (招待講演)	2022. 10
北村喜文	東北大学	非言語情報を活用する人間性豊かなコミュニケーション～これからのメタバースへの応用を目指して	東北大学 知のフォーラム本学未来社会デザインプログラム「XR技術の教育・社会貢献ーメタバースでの国際協創ー」第1回 国際シンポジウム メタバース・XR技術の教育利用と国際協創 (招待講演)	2022. 12
Liu, J., Cheng, M., Higashiyama, S., Kitamura, Y., Tseng, C. H.	東北大学	Contextual Effects on Embodied Emotion: Assimilation and Contrast Effects	日本視覚学会 2023 年冬季大会, Tokyo, Japan	2023. 1

北村喜文	東北大学	DX 時代の MICE を考える	国際観光コンベンションフォーラム 2023 in 仙台 (基調講演)	2023. 2
北村喜文	東北大学	Future of Our Research Community	International Symposium on Human-Computer Interaction 2023 (招待講演)	2023. 2
Fujiwara, K., Cheng, M., Higashiyama, S., Tseng, C.H., Kitamura	東北大学, 國立中正大學	Toward the development of Motion Unit: A data-driven study using motion capture	Annual Convention of Society for Personality and Social Psychology, Atlanta, USA	2023. 2
北村喜文	東北大学	非言語情報が拓く人間性豊かなコミュニケーション	電子情報通信学会総合大会 企画セッション BI-6. 「空間共有コミュニケーションを実現する技術動向 ～豊かなコミュニケーションの実現～」 (招待講演)	2023. 3
北村喜文	東北大学	非言語情報が拓く人間性豊かなコミュニケーション ～サイバー空間とリアル空間を活用する新たな研究	産学連携セミナー「第 152 回寺子屋せんだい」 (招待講演)	2023. 3

(2) 論文

発表者	発表者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
Yingruo Fan, Zhaojiang Lin, Jun Saito, Wenping Wang, Taku Komura	University of Hong Kong / Tohoku University	Joint Audio-Text Model for Expressive Speech-Driven 3D Facial Animation	Proceedings of the ACM in Computer Graphics and Interactive Techniques (I3D)	2022. 5
Ian Mason, Sebastian Starke, Taku Komura	University of Hong Kong / Tohoku University	Real-Time Style Modelling of Human Locomotion via Feature-Wise Transformations and Local Motion Phases	Proceedings of the ACM in Computer Graphics and Interactive Techniques (I3D)	2022. 5

Yingruo Fan, Z haojiang Lin, Jun Saito, Wen ping Wang, Taku Komura	University of Hong Kong / Tohoku University	FaceFormer: Speech-Driven 3D Facial Animation with Transformers	Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)	2022. 6
Sebastian Starke, Ian Mason, Taku Komura	University of Hong Kong	DeepPhase: Periodic Autoencoders for Learning Motion Phase Manifolds	ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH)	2022. 8
北村喜文, 藤原健, 幸村琢	東北大学, 國立中正大學, 香港大学	人の身体動作からの感情推定とキャラクタの感情豊かな動作生成 — 人間性豊かな遠隔コミュニケーションの実現に向けて	センサイト 2023 年 1 月号, 「モーションキャプチャ応用技術の進化」特集	2023. 1
藤原健, 程苗, 曾加蕙, 北村喜文	東北大学, 國立中正大學, 香港大学	身体動作から感情を読み取る — 動作ユニット AI の構築に向けて	情報処理, 人の感情を理解し, 人に寄り添う AI 特集	2023. 1

(3) 特許等 (知財)

なし

(4) 受賞実績

受賞者	受賞者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
Sebastian Starke, Ian Mason, Taku Komura	The University of Edinburgh, UK and Electronic Arts, The University of Hong Kong	DeepPhase: Periodic Autoencoders for Learning Motion Phase Manifolds	Best Paper, ACM SIGGRAPH 2022	2022. 8
北村喜文	東北大学	3次元ユーザインタフェースに関する先駆的研究と大規模重要国際会議運営への貢献	情報処理学会フェロー	2023. 3

(5) 成果普及の努力 (プレス発表等)

なし

極薄ハプティックMEMSによる双方向リモート触覚伝達AIシステムの開発

(1) 研究発表・講演

発表者	発表者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
小林健, 竹下俊弘	産業技術総合研究所	極薄 MEMS 技術によるフレキシブルセンサおよびハプティック MEMS の研究開発	電子材料研究会 「フレキシブル素子応用に向けた新規薄膜電子材料の合成と評価」(招待講演)	2021. 11
昆陽雅司	東北大学	高周波振動の知覚特性に基づく触覚提示	センサシンポジウム (Future Technologies from HIMEJI 2021 ONLINE) (招待講演)	2021. 11
平野廉真, 蜂須拓	筑波大学	情動体験を拡張する疑似心拍振動提示システムの基礎検討	日本バーチャルリアリティ学会ハプティクス研究会第 27 回研究会	2021. 11
Takeshi Kobayashi, Toshihiro Takeshita, Yusuke Takei, Takahiro Yamashita	産業技術総合研究所	Ultra-Thin Piezoelectric MEMS for SHM, Healthcare and Haptics	14th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (PAC RIM 14) (招待講演)	2021. 12
山口公輔, 昆陽雅司, 田所諭	東北大学	振動分布を再現する腕輪型触覚デバイスによる動作体感の伝達—第 1 報: 知覚インテンシティ再現に基づく伝達の効果—	第 22 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	2021. 12
菊池大輝, 昆陽雅司, 田所諭	東北大学	高周波による振動体感の空間表現を実現する Intensity Segment Modulation ライブラリの実装と評価	第 22 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	2021. 12
竹下俊弘, Nguyen Thanh Vinh, Zymelka Daniel, 竹井裕介, 小林健	産業技術総合研究所	PZT 薄膜を用いた極薄ハプティック MEMS デバイスの開発	第 69 回応用物理学会春季学術講演会	2022. 3
竹下俊弘, Zymelka Daniel, 竹井裕介, 小林健	産業技術総合研究所	指上バイオフィードバックシステムのためのフィルム型極薄ハプティック MEMS デバイスの開発	第 39 回強誘電体応用会議	2022. 6
山口公輔, 和賀正宗, 昆陽雅司, 田所諭	東北大学	振動分布を再現する腕輪型触覚デバイスによる動作体感の伝達—第 2 報: ツール取り付け型デバイスとの比較—	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2022	2022. 6
Yuya Hoshi, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro	Tohoku University	Haptic Enhanced Videos Using a High-Reality Vibration Conversion Method Available on Smartphones	11th International Workshop on Haptic & Audio Interaction Design	2022. 8

星裕也、昆陽雅司、田所諭	東北大学	スマートフォンで利用可能な高臨場感振動変換法を用いた体感付き動画の提案	第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会	2022. 9
松原亨、和賀正宗、昆陽雅司、田所諭	東北大学	振動分布を再現する腕輪型触覚デバイスによる動作体感の伝達—第 3 報：振動分布の再現が接触力の弁別に及ぼす影響	第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会	2022. 9
平野廉真、蜂須拓	筑波大学	情動体験を拡張する疑似心拍振動提示システム（第 2 報）：疑似心拍振動から想起される情動の評価の基礎検討	第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会	2022. 9
竹下俊弘, Z y m e l k a D a n i e l, 竹井裕介, 小林健	産業技術総合研究所	極薄ピエゾMEMSフィルムを用いた付け爪型脈波センサ開発とその応用	センサシンポジウム 2022	2022. 11
Yuya Hoshi, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro	東北大学	Haptic Broadcast for Smartphones Using a High-Reality Vibration Conversion Method	AsiaHaptics2022	2022. 11
Kosuke Yamaguchi, Masamune Waga, Masashi Konyo and Satoshi Tadokoro	東北大学	Improvement of Discrimination of Haptic Motion Experience by Reproducing Multi-point Spatial Distribution of Propagated Vibrations at the Wrist	AsiaHaptics2022	2022. 11
Toru Matsubara, Masamune Waga, Masahi Konyo, Kosuke Yamaguchi, Daiki Kikuchi, Satoshi Tadokoro	東北大学	Multi-channel vibrotactile transmission through a bracelet device based on the Intensity Segment Modulation	AsiaHaptics2022	2022. 11
星裕也、昆陽雅司、田所諭	東北大学	ボイスコイル型振動子を用いた低周波振動感の代替提示法 —第 2 報：任意波形に対する適用法の提案と評価—	第 23 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	2022. 12
梶浦雅之、蜂須拓、竹下俊弘、竹井裕介、小林健、昆陽雅司	筑波大学、産業技術総合研究所、東北大学	レバー機構を用いた薄膜振動素子の変位増幅に対する触覚強度の評価	日本バーチャルリアリティ学会ハプティクス研究会第 30 回研究会	2023. 3
松原亨、和賀正宗、昆陽雅司、田所諭	東北大学	振動分布を再現する腕輪型触覚デバイスによる動作体感の伝達 —第 4 報：知覚インテンシティを用いた刺激の強度調整に関する基礎検証—	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2023	2023. 6
和賀正宗、松原亨、昆陽雅司、田所諭、竹下俊弘、竹井裕介、小林健	東北大学・産総研	極薄 PZT-MEMS 振動子を用いた高周波振動感覚等価変換による鉛筆硬度の異なる筆記感の表現	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2023	2023. 6

Toru Matsubara, Masamune Waga, Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro	Tohoku University	Bidirectional Haptic Transmission through a Bracelet Device using a Sensory Equivalence Conversion of High-frequency Vibration	IEEE World Haptics2023	2023. 7
Masamune Waga, Toru Matsubara, Masashi Konyo, Toshihiro Takeshita, Yusuke Takei, Takeshi Kobayashi, Satoshi Tadokoro	Tohoku University, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology	Representing Pencil Hardness Using Ultra-Thin PZT-MEMS Vibrators by a Sensory Equivalence Conversion of High-Frequency Vibration	IEEE World Haptics2023	2023. 7
Yushi Nakaya, Yusuke Takahashi, Shuntaro Suzuki, Sota Nishiyama, Kenichi Higuchi, Masamune Waga, Toru Matsubara and Masashi Konyo	株式会社 Adansons	Interactive Approach to AI-Based Source Separation of Vibractile Signals for Haptic Transmission	IEEE World Haptics 2023	2023. 7
Masayuki Kajiura, Taku Hachisu, Toshihiro Takeshita, Yusuke Takei, Takeshi Kobayashi, Masahi Konyo	筑波大学, 産業技術総合研究所, 東北大学	Enhancement of Tactile Intensity for Thin Film Vibrators using Lever Mechanism	IEEE World Haptics Conference (WHC) 2023	2023. 7
竹下俊弘, Z y m e l k a D a n i e l, 竹井裕介, 小林健	産業技術総合研究所	極薄 PZT 素子によるハプティックデバイスの研究	スマートセンシングとその社会実装技術分科会 (JEITA)	2023. 8
竹井裕介	産業技術総合研究所	極薄ハプティック素子による触覚伝達システムの開発	第 28 回 バーチャルリアリティ学会大会	2023. 9
新居田崇家、松原亨、赤井峻真、和賀正宗、昆陽雅司、田所諭	東北大学	振動分布を再現する腕輪型触覚デバイスによる動作体感の伝達 ー 第 6 報:複数点計測された体感振動の統合法の検討ー	第 28 回日本バーチャルリアリティ学会大会	2023. 9
松原亨、和賀正宗、昆陽雅司、田所諭	東北大学	振動分布を再現する腕輪型触覚デバイスによる動作体感の伝達 第 5 報: 振動センサ・ディスプレイ統合による双方向化	第 28 回日本バーチャルリアリティ学会大会	2023. 9
和賀正宗、松原亨、昆陽雅司、竹下俊弘、竹井裕介、小林健、田所諭	東北大学・産総研	高周波振動の知覚インテンシティ再現による筆記体感の疑似力覚提示	第 28 回日本バーチャルリアリティ学会大会	2023. 9

竹井 裕介, 竹下 俊弘, ジメルカ ダニエル, 小林 健, 昆陽 雅司, 松原 亨, 和賀 正宗, 中屋 悠資, 高橋 佑輔, 鈴木 春太郎, 西山 颯大, Shubhamkumar Pandey, 樋口 賢一, 蜂須 拓, 梶浦 雅之, 森 理樹	産業技術総合研究所、東北大学、筑波大学、Adansons 株式会社	「極薄ハプティック MEMS による双方向リモート触覚伝達 AI システム」の開発とスポーツ応用への可能性について	日本機械学会シンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2023	2023. 11
竹井 裕介、竹下 俊弘、Z Y M E L K A D a n i e l、小林 健	産業技術総合研究所	極薄圧電薄膜を用いた電気刺激誘発筋音センサによる筋収縮性の評価	第 40 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム	2023. 11
和賀正宗、松原亨、昆陽雅司、竹下俊弘、竹井裕介、小林健、田所諭	東北大学・産総研	ピエゾ型振動子のための振幅変調波の包絡成分を利用した低周波体感の代理提示法	第 24 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	2023. 12
松原亨、和賀正宗、昆陽雅司、田所諭	東北大学	振動分布を再現する腕輪型触覚デバイスによる動作体感の伝達 第 7 報：計測対象の周波数応答特性に基づく知覚インテンシティを用いた体感強度の調整	第 24 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	2023. 12
新居田崇家、松原亨、和賀正宗、昆陽雅司、田所諭	東北大学	振動分布を再現する腕輪型触覚デバイスによる動作体感の伝達-第 8 報：知覚インテンシティに基づく複数点計測された体感振動の統合法の検証-	第 24 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	2023. 12
森理樹、蜂須拓	筑波大学	情動体験を拡張する疑似心拍振動提示システム（第 3 報）：減衰正弦波に基づく疑似心拍振動の心拍数と周波数の効果	日本バーチャルリアリティ学会ハプティクス研究会第 32 回研究会	2024. 2
竹下俊弘, Daniel Zymelka, 竹井裕介, 小林健	産業技術総合研究所	極薄ハプティック MEMS フィルムの開発	第 38 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会(招待講演)	2024. 3
Masamune Waga, Toru Matsubara, Masashi Konyo, Toshihiro Takeshita, Yusuke Takei, Takeshi Kobayashi, Satoshi Tadokoro	Tohoku University, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology	Representing Fine Texture of Pencil Hardness by High-Frequency Vibrotactile Equivalence Conversion Using Ultra-Thin PZT-MEMS Vibrators	IEEE Haptics Symposium 2024	2024. 4
Nida Takaya, Matsubara Toru, Waga Masamune, Konyo Masashi, Tadokoro Satoshi	Tohoku University	Bidirectional Haptic Transmission through a Bracelet Device Using a Sensory Equivalence Conversion of High-frequency Vibration	IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2024)	2024. 5

和賀正宗、松原亨、昆陽雅司、中屋悠資、Shubhamkumar Pandey、鈴木春太郎、高橋佑輔、柳澤康平、山本海人、齋藤峻、田所諭	東北大学・(株) Adansons・(株) ソリッドレイ研究所	力触覚のプロジェクションマッピングと振動体感提示を用いた技能伝達システムの提案	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2024	2024. 5
新居田崇家、松原亨、和賀正宗、昆陽雅司、田所諭	東北大学	腕輪型デバイスによる動作体感の伝達 ー第 9 報：手指伝播特性に基づく個人差の補正ー	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2024	2024. 5
新居田崇家、松原亨、和賀正宗、昆陽雅司、田所諭	東北大学	振動分布を再現する腕輪型触覚デバイスによる動作体感の伝達ー第 10 報：手指伝播特性に基づく個人差補正法を利用した 2 者間の動作再現	第 29 回日本バーチャルリアリティ学会大会	2024. 9
Takaya Nida, Masamune Waga, Yuta Hamada, Masashi Konyo, Yushi Nakaya, Shubhamkumar Pandey and Satoshi Tadokoro	Tohoku University, Adansons Inc.	Skill Transfer System that Visualizes and Presents Tactile Information in an AR Environment	AsiaHaptics2024	2024. 10
新居田崇家、和賀正宗、浜田悠太、昆陽雅司、中屋悠資、Shubhamkumar Pandey、田所諭	東北大学・株式会社 Adansons	AR 環境において触覚情報の可視化と体感提示を行う技能伝達システムの開発	第 25 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	2024. 12

(2) 論文

発表者	発表者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
竹下 俊弘、ZYME LKA Daniel、竹井 裕介、牧本 なつみ、小林 健	産業技術総合研究所	Development of a nail-deformation haptics device fabricating adopting ultra-thin PZT-MEMS technology	JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	2022. 7
竹下 俊弘、Nguyen Thanh-Vinh、ZYME LKA Daniel、竹井 裕介、小林 健	産業技術総合研究所	Mechanical characteristics of laminated film vibrator using an ultra-thin MEMS actuator	JOURNAL OF MICROMECHANICS AND MICROENGINEERING	2022. 8

Masamune Waga, Toru Matsubara, Masashi Konyo, Toshihiro Takeshita, Yusuke Takei, Takeshi Kobayashi, Satoshi Tadokoro	Tohoku University, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology	Representing Fine Texture of Pencil Hardness by High-Frequency Vibrotactile Equivalence Conversion Using Ultra-Thin PZT-MEMS Vibrators	IEEE Transactions on Haptics	2024. 1
Taku Hachisu, Masayuki Kajiura, Toshihiro Takeshita, Yusuke Takei, Takeshi Kobayashi, Masahi Konyo	筑波大学, 産業技術総合研究所, 東北大学	Lever Mechanism for Diaphragm-Type Vibrators to Enhance Vibrotactile Intensity	IEEE Transactions on Haptics	2024. 1

(3) 特許等（知財）

特許出願 4 件、うち外国出願 2 件

OSS 登録 1 件

(4) 受賞実績

受賞者	受賞者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
菊池大輝, 昆陽雅司, 田所諭	東北大学	高周波による振動体感の空間表現を実現する Intensity Segment Modulation ライブラリの実装と評価	第 22 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 優秀講演賞	2021. 12
竹下俊弘, Z y m e l k a D a n i e l, 竹井裕介, 小林健	産業技術総合研究所	指上バイオフィードバックシステムのためのフィルム型極薄ハプティックMEMSデバイスの開発	第 39 回強誘電体応用会議優秀発表賞	2022. 6
竹下俊弘, Z y m e l k a D a n i e l, 竹井裕介, 小林健	産業技術総合研究所	極薄ピエゾMEMS フィルムを用いた付け爪型脈波センサ開発とその応用	センサシンポジウム 2022 優秀ポスター発表賞	2022. 11
Yuya Hoshi, Masashi Konyo, and Satoshi Tadokoro	東北大学	Haptic Broadcast for Smartphones Using a High-Reality Vibration Conversion Method	AsiaHaptics 2022 Tokyo Satellite Best Demonstration Award Gold Winner	2022. 11
Toru Matsubara, Masamune Waga, Masahi Konyo, Kosuke Yamaguchi, Daiki Kikuchi, Satoshi Tadokoro	東北大学	Multi-channel vibrotactile transmission through a bracelet device based on the Intensity Segment Modulation	AsiaHaptics2022 Tokyo Satellite Best Demonstration Award Honorable Mention	2022. 11
星裕也, 昆陽雅司, 田所諭	東北大学	ボイスコイル型振動子を用いた低周波振動感の代替提示法ー第 2 報:任意波形に対する適用法の提案と評価ー	第 23 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 優秀講演賞	2022. 12

星裕也	東北大学	スマートフォンで利用可能な高臨場感振動変換法を用いた体感付き動画の提案	日本バーチャルリアリティ学会 学術奨励賞	2023. 3
竹井 裕介、竹下 俊弘、Z Y M E L K A D a n i e l、小林 健	産業技術総合研究所	極薄圧電薄膜を用いた電気刺激誘発筋音センサによる筋収縮性の評価	第40回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム 優秀技術論文賞	2023. 11
Taku Hachisu, Masayuki Kajiura, Toshihiro Takeshita, Yusuke Takei, Takeshi Kobayashi, Masahi Konoyo	筑波大学, 産業技術総合研究所, 東北大学	Best IEEE Transactions on Haptics Short Paper Honorable Mention	IEEE Haptics Symposium 2024	2024. 4
和賀正宗	東北大学・産総研	極薄 PZT-MEMS 振動子を用いた高周波振動感覚等価変換による鉛筆硬度の異なる筆記感の表現	ロボティクス・メカトロニクス部門 ベストデモンストレーション表彰	2024. 5

(5) 成果普及の努力（プレス発表等）

発表者	発表者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
昆陽雅司	東北大学	極薄ハプティック MEMS による双方向リモート触覚伝達 AI システムの開発	CEATEC	2023. 10
産業技術総合研究所、東北大学、筑波大学、Adansons	産業技術総合研究所、東北大学、筑波大学、Adansons 株式会社	「リアルな触覚再現技術」で触覚を「共有」へ	産総研、東北大学、筑波大学、Adansons 共同プレスリリース	2024. 3
AIST, Tohoku University, Adansons		Next-Gen Haptics: Transform Your Content with Embodied Experiences.	CES	2025. 1

C o n t a c t R e a l i t y の実現による遠隔触診システム開発

(1) 研究発表・講演

発表者	発表者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
Álvaro Costa-García, Shotaro Okajima, Ningjia Yang, Sayako Ueda and Shingo Shimoda	理化学研究所	Current Trends and Challenges towards the Digital Health Era	IEEE International Conference on Advanced Robotics and its Social Impacts	2022. 7
Shingo Shimoda, Shotaro Okajima, Takeshi	理化学研究所	Virtual-communication beyond our consciousness	IEEE International Conference on Advanced Robotics and its Social Impacts	2022. 7

Shingo Shimoda	東海国立大学	Current Trends and Challenges towards the Digital Health Era	Rehabweek Workshop	2023. 9
Shingo shimoda and Hitoshi Hirata	名古屋大学他	World-Wide Network of AI Labs in Hospital	Workshop at IEEE International Conference on Intelligent Robot System	2023. 9
Matti Itkonen, Riku Kawabata, Satsuki Yamauchi, Shota Okajima, Hitoshi Hirata, Shingo Shimoda	東海国立大学他	Restoration of Reduced Self-efficacy Caused by Chronic Pain Through Manipulated Sensory Discrepancy	International Conference on NeuroRehabilitation	2024. 11

(2) 論文

発表者	発表者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
大山慎太郎	名古屋大学	AI 及び xR 技術を活用した触診情報の可視化	日本ロボット学会誌	2022. 11
藤原武史, 黒木帝聡	豊田合成株式会社	Sense of Agency, 質感, 情動: リモート身体認知の獲得に向けたデバイス開発	日本ロボット学会誌	2022. 11
下田真吾	理化学研究所	ヒトの知性と触診 - 触診の認知経路解明と遠隔触診実現の検討 -	日本ロボット学会誌	2022. 11
山本美知郎	名古屋大学	医療における触診の重要性と遠隔診療での導入に向けて	日本ロボット学会誌	2022. 11
Álvaro Costa-García, Shotaro Okajima, Ningjia Yang and Shingo Shimoda	理化学研究所	Artifact removal from sEMG signals recorded during fully unsupervised daily activities	DIGITAL HEALTH	2023. 1

(3) 特許等（知財）

特許出願 2 件

(4) 受賞実績

なし

(5) 成果普及の努力（プレス発表等）

発表者	発表者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
下田真吾, 平田仁, 藤原武史, 南澤 孝太, 外村 雅治, 駒澤 真人, 神崎 洋治	理化学研究所他	座談会「触覚と疼痛、意識と無意識、知覚と認知～「環境」と「意識」をつなぐパラダイム～」	連載(1): https://robogaku.jp/news/2022/jrsj-4008-001.html	2022. 11
下田真吾, 平田仁, 藤原武史, 南澤 孝太, 外村 雅治, 駒澤 真人, 神崎 洋治	理化学研究所他	座談会「触覚と疼痛、意識と無意識、知覚と認知～「環境」と「意識」をつなぐパラダイム～」	連載(2): https://robogaku.jp/news/2022/jrsj-4008-002.html	2022. 11

下田真吾, 平田仁, 藤原武史, 南澤 孝太, 外村 雅治, 駒澤 真人, 神崎 洋治	理化学研究所他	座談会「触覚と疼痛、意識と無意識、知覚と認知～「環境」と「意識」をつなぐパラダイム～」	連載(3) : https://robogaku.jp/news/2022/jrsj-4008-003.html	2022. 11
下田真吾, 平田仁, 藤原武史他	東海国立大学他	CES Demonstration	CES2024	2024. 1
下田真吾, 平田仁, 藤原武史他	東海国立大学他	Contact Reality の実現による世界初の遠隔触診システムを公開	Press release	2025. 2

遠隔リハビリのための多感覚XR保健指導との互惠ケア連携

(1) 研究発表・講演

発表者	発表者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	製造業・サービス業での人とシステムとの協調	第20回情報科学技術フォーラム (FIT2021)	2021. 8
蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Telerehabilitation Based on XR	ISO/IEC JTC 1/AG 13 Internal Workshop for Ideas and Use Cases on VR/AR/MR Based Clinical Practice and Smart Health	2021. 9
金澤周介	国立研究開発法人産業技術総合研究所	人のデジタルツイン形成に向けたフレキシブルひずみセンサの応用	第2回 FIIoT テクノロジーフォーラム	2022. 2
蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	XRに基づく遠隔リハの研究・事業事例調査報告	遠隔ヘルスケアのための多感覚XR-AIに関するシンポジウム2022	2022. 3
蔵田 武志, 青山 朋樹, 葛岡 英明, 腰原 健, 成瀬 文博	国立研究開発法人産業技術総合研究所, 国立大学法人京都大学, 国立大学法人東京大学, セイコーエプソン株式会社, 株式会社エブリハ	遠隔リハビリのための多感覚XR-AI 技術基盤構築と保健指導との互惠ケア連携	遠隔ヘルスケアのための多感覚XR-AIに関するシンポジウム2022	2022. 3
岸岡 佳昭, 腰原 健	セイコーエプソン株式会社	生活習慣改善プログラム [健康保険組合様向けサービス]	遠隔ヘルスケアのための多感覚XR-AIに関するシンポジウム	2022. 3
鳴海拓志	国立大学法人東京大学	バーチャルリアリティによる身体活動の変容とその応用	シンポジウム57 「運動器からみたスマート『身体活動』定量化の新手法と意義」, 第95	2022. 5

			回日本整形外科学会学術総会	
金澤周介	国立研究開発法人産業技術総合研究所	3D デバイスの展開に向けた電子回路の非破壊成形技術	プラスチック成形加工学会 第 33 回年次大会	2022. 6
蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	遠隔リハビリ研究とオンライン学会運営から見たコミュニケーション DX	電気三学会関西支部講演会「アフターコロナ時代に向けたコミュニケーション DX」	2022. 9
金谷崇文, Yong-Hao HU, 中村拓人, 松本啓吾, 鳴海拓志, 葛岡英明	国立大学法人 東京大学	バーチャルリアリティを用いた自転車運転時の注意機能の評価法の開発	第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会	2022. 9
瑞穂 嵩人, 鳴海 拓志, 葛岡 英明	国立大学法人 東京大学	モニタ上の 3D アバタによる環境的文脈操作を用いた記憶支援手法の効果	第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会	2022. 9
尾形 邦裕, 金澤 周介, 田中秀幸, 蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Basic Study of Upper Limb Movement Estimation and Function Evaluation including Shoulder Girdle by Multi-Sensing Flexible Sensor Wear	IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)	2022. 10
蔵田 武志、尾形邦裕、金澤周介、今村由芽子、佐藤 章博、小木曾里樹、小林吉之、一刈良介、中江 悟司、多田充徳、青山朋樹、清水博己、葛岡 英明、中村拓人、腰原健、黒田 真朗、返町 秀光、大島 賢典	国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人京都大学、国立大学法人東京大学、セイコーエプソン株式会社、株式会社エブリハ	「遠隔リハビリのための多感覚 XR-AI 技術基盤構築と保健指導との互惠ケア連携」で目指すところ	日本バーチャルリアリティ学会第 66 回複合現実感研究会	2022. 10
佐藤 章博	国立研究開発法人産業技術総合研究所	吹田 SA 従業員計測実証について	xDR ワークショップ 2022「屋内測位のための磁気、オドメトリ、慣性航法、PDR、VDR」	2022. 10
蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	遠隔ヘルスケアサービスのための多感覚 XR-AI 技術基盤	ヒューマンインタフェース学会オープンデザイン専門研究委員会 (SIG-OD) 研究談話会「望ましい Well-being の未来へ向けたテクノロジーの在り方」	2022. 10
蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	遠隔ヘルスケアサービスのための多感覚 XR-AI 技術基盤と互惠ケア連携	人間拡張研究センターシンポジウム HARCS2022「インターバース：拡張	2022. 11

			する人間、社会の境界面」	
佐藤 章博、小木曾里樹、一刈良介、沓澤岳、小林吉之、新村猛、野中朋美、蔵田 武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所、がんこフードサービス株式会社、立命館大	健康経営支援のための高速道路 SA 従業員の心身状態常時モニタリング	HCG シンポジウム 2022	2022. 12
中江悟司、小木曾里樹、森郁恵、三浦貴大、芳賀靖憲、畠山慎太郎、木村謙吾、杉隆紀、木村篤、蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社デンソー	地理空間インテリジェンスを用いた製造ライン作業者の労働環境および作業負荷の評価	サービス学会第 11 回国内大会	2023. 3
Takato Mizuho, Tomohiro Amemiya, Takuji Narumi, Hideaki Kuzuo	国立大学法人 東京大学	Virtual Omnibus Lecture: Investigating the Effects of Varying Lecturer Avatars as Environmental Context on Audience Memory	the Augmented Humans International Conference 2023 (AHs '23)	2023. 3
大島賢典	株式会社エブリハ	「遠隔リハビリのための多感覚 XR-AI 技術基盤構築と保健指導との互惠ケア連携」における当社の試み	第 21 回日本電気生理運動学会・第 9 回計測自動制御学会電気生理研究会 (JSEK2022)	2023. 3
小木曾里樹、森郁恵、三浦貴大、中江悟司、大隈隆史、芳賀靖憲、畠山慎太郎、木村謙吾、木村篤、蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社デンソー	Integration of BLE-Based Proximity Detection with Particle Filter for Day-Long Stability in Workplaces	IEEE/ION Position Location and Navigation Symposium (PLANS)	2023. 4
中江悟司、小木曾里樹、森郁恵、三浦貴大、芳賀靖憲、畠山慎太郎、木村謙吾、杉隆紀、木村篤、蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社デンソー	Geospatial intelligence system for evaluating the work environment and physical load of factory workers	International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)	2023. 7
Kiyu Tanaka, Takuto Nakamura, Keigo Matsumoto, Hideaki Kuzuo	国立大学法人 東京大学	Effect of Hanger Reflex on Detection Thresholds for Hand Redirection during Forearm Rotation	ACM Symposium on Applied Perception 2023 (SAP '23)	2023. 8
蔵田 武志、尾形邦裕、金澤周介、今村由芽子、佐藤 章博、小木曾里樹、小林吉之、一刈良介、中江 悟司、多田充徳、青山朋樹、清水博己、葛岡 英明、中村拓人、腰原健、黒田 真朗、返町 秀光、大島 賢典	国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人 京都大学、国立大学法人 東京大学、セイコーエプソン株式会社、株式会社エブリハ	Project overview on multimodal XR-AI platform for tele-rehab and the reciprocal care coupling with health guidance	IEEE TechRxiv	2023. 9

中村 拓人, 葛岡 英明	国立大学法人 東京大学	肩ハンガー反射：肩への皮膚 せん断変形提示による力覚知 覚	第 28 回日本バー チャルリアリティ 学会大会	2023. 9
金谷 崇文, 中村 拓 人, 松本 啓吾, 葛 岡 英明	国立大学法人 東京大学	脳卒中後の上肢麻痺に対する ハンドリダイレクションを用 いた VR 訓練法の提案	第 28 回日本バー チャルリアリティ 学会大会	2023. 9
清水博己、青山朋樹	京都大学	遠隔リハビリ向け多感覚 XR- AI 技術基盤構築に関する解 説.	バイオメカニズム 学会誌 SOBIM	2023. 10
蔵田 武志、尾形邦 裕、中村拓人、葛 岡 英明、黒田 真朗、 佐藤 章博、腰原健		遠隔ヘルスケアのための多感 覚 XR-AI 技術基盤について	遠隔ヘルスケアの ための多感覚 XR-AI に関するシンポジ ウム 2023	2023. 11
Takuto Nakamura, Hid eaki Kuzuoka	国立大学法人 東京大学	HangerBody: a Haptic Devic e Using Haptic Illusion fo r Multiple Parts of Body	SIGGRAPH Asia 202 3 Emerging Techno logies (SA '23)	2023. 11
佐藤章博, 小木曾里 樹, 一刈良介, 蔵田武 志	国立研究開発 法人産業技術 総合研究所	複雑な決定境界に対応するた めのスタッキングアンサンブ ル学習器による高速道路 SA 就業者の感情推定における不 均衡データ対策手法の比較	電子情報通信学会 技術研究報告	2024. 1
蔵田 武志、尾形邦 裕、金澤周介、今村由 芽子、佐藤 章博、小 木曾里樹、小林吉之、 一刈良介、中江 悟 司、多田充徳、青山朋 樹、清水博己、葛 岡 英明、中村拓人、 腰原健、黒田 真朗、 返町 秀光、成瀬 文博	国立研究開発 法人産業技術 総合研究所, 国立大学法人 京都大学, 国 立大学法人東 京大学, セイ コーエプソン 株式会社, 株 式会社エブリ ハ	Project progress on XR- AI platform for tele- rehab and health guidance	IEEE VR 2024 Work shop 8: 3rd Inter national Workshop on Extended Real ity for Industria l and Occupationa l Supports (XRIOS)	2024. 3
尾形邦裕、中村拓人、 金澤周介、延島大樹、 葛岡英明、蔵田武志	国立研究開発 法人産業技術 総合研究所, 国立大学法人 東京大学	Remote Rehabilitation Syst em Capable of Sharing Soma tosensory Sensations	International Con ference of the IE EE Engineering in Medicine and Bio logy Society (EMB C)	2024. 7
Takuto Nakamura, Hid eaki Kuzuoka	国立大学法人 東京大学	Force perception by presen tation of skin shear defor mation to shoulder	Proceedings of th e EuroHaptics 202 4	2024. 7
Takato Mizuho, Takuji Narumi, Hideaki Ku zuoka	国立大学法人 東京大学	Investigating the Effects of Changing the Appearance of Screen- Based Avatars on Audience Memory	Proceedings of AC M Symposium on Ap plied Perception 2024	2024. 8
小木曾里樹、興梠正 克、一刈良介、佐藤章 博、大隈隆史、蔵田武 志	国立研究開発 法人産業技術 総合研究所	Enhancing Accuracy of Esti mating Pedestrian Velocity and Walking Distance in t he Workplace with Pose Gra ph Optimization	ION GNSS+	2024. 9
蔵田武志、佐藤章博、 小木曾里樹、加藤狩 夢、中江 悟司、一刈 良介、新村猛	国立研究開発 法人産業技術 総合研究所、 株式会社 GANKO	Pre- Post Analysis on Multi- Skill Development using Fl	IFIP WG 5.7 APMS (Advances in Prod uction Management	2024. 9

		ow Line Data at Expressway Service Area Facilities	Systems) 2024 conference	
蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	遠隔ヘルスケアのための多感覚 XR-AI 技術基盤 ～リハビリ・特定保健指導から人的資本経営支援まで～	第 29 回日本バーチャリアリティ学会大会	2024. 9
金谷 崇文, 中村 拓人, 松本 啓吾, 葛岡 英明	国立大学法人 東京大学	ハンドリダイレクションを用いたリーチング運動に適用可能なゲインの調査	第 29 回日本バーチャリアリティ学会大会	2024. 9
太田 貴士, 中村 拓人, 葛岡 英明	国立大学法人 東京大学	五十肩の遠隔 VR リハビリテーションにおける異種互恵ケアの効果	第 29 回日本バーチャリアリティ学会大会	2024. 9
小木曾里樹、中江悟司、加藤狩夢、森郁恵、三浦貴大、一刈良介、大隈隆史、蔵田武志、杉隆紀、芳賀靖憲、中野恵理、木村篤	国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社デンソー	Metrics for Comparing Different Types of Positioning Techniques: Proximity Detection and Location Coordinate Estimation	IEEE 13th Global Conference on Consumer Electronics (IEEE GCCE 2024)	2024. 10
Takato Mizuho, Takuji Narumi, Hideaki Kuzuoka	国立大学法人 東京大学	Contextual Matching Between Learning and Testing Within VR Does Not Always Enhance Memory Retrieval	Proceedings of the 30th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology	2024. 10
蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	遠隔ヘルスケアのための多感覚 XR-AI	HCG シンポジウム 2024	2024. 12
Shun Takenaka, Takato Mizuho, Takuji Narumi, Hideaki Kuzuoka	国立大学法人 東京大学	Effects of Human and Animal Partner-Avatars on Profile Memory in Virtual Reality	Proceedings of ACM Symposium on Applied Perception 2024	2024.
今村由芽子、尾形邦裕、蔵田 武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Designing Sensor Wear for Posture Estimation with Strain Sensors Using Digital Model	IEEE/SICE International Symposium on System Integrations (SII 2025)	2025. 1
Kiyu Tanaka, Takuto Nakamura, Keigo Matsumoto, Hideaki Kuzuoka, Takuji Narumi	国立大学法人 東京大学	Detection Thresholds for Replay and Real-Time Discrepancies in VR Hand Redirection	IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics	2025.
Kiyu Tanaka, Keigo Matsumoto, Takuto Nakamura, Takuji Narumi, Hideaki Kuzuoka	国立大学法人 東京大学	Effects of Replay Modification and Viewpoint in Virtual Reality on Self-Efficacy	Proceedings of Augmented Humans 2025	2025.

(2) 論文

発表者	発表者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
瑞穂嵩人, 鳴海拓志, 葛岡英明	国立大学法人 東京大学	実写 360 度動画とセルフアバターを用いた環境的文脈操作が自由再生および時間評価に与える影響	日本バーチャリアリティ学会論文誌	2022. 12

Takashi Ohta, Takuto Nakamura, Hideaki Kuzuoka	国立大学法人東京大学	Effects of Gamification and Communication in Virtual Reality Frozen Shoulder Rehabilitation for Enhanced Rehabilitation Continuity	IEEE Access	2023.5
Takato Mizuho, Takuji Narumi, Hideaki Kuzuoka	国立大学法人東京大学	Effects of the Visual Fidelity of Virtual Environments on Presence, Context-dependent Forgetting, and Source-monitoring Error	IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	2023.5
Takuto Nakamura, Hideaki Kuzuoka	国立大学法人東京大学	Rotational Motion due to Skin Shear Deformation at Wrist and Elbow	IEEE Transactions on Haptics	2024.3
Takato Mizuho, Takuji Narumi, Hideaki Kuzuoka	国立大学法人東京大学	Reduction of Forgetting by Contextual Variation During Encoding Using 360-Degree Video-Based Immersive Virtual Environments	IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	2024.5
Curiel, Rodrigo Cerecero, Takuto Nakamura, Hideaki Kuzuoka, Takafumi Kanaya, Cosima Prahm, and Keigo Matsumoto	国立大学法人東京大学	Virtual Reality Self Co-embodiment: An Alternative to Mirror Therapy for Post-Stroke Upper Limb Rehabilitation	IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	2024.5
瑞穂嵩人, 雨宮智浩, 鳴海拓志, 葛岡英明	国立大学法人東京大学	Virtual Omnibus Lecture: 多様な講師アバタを使った遠隔講義が学生の記憶に与える効果	日本バーチャルリアリティ学会論文誌	2024.9
Takato Mizuho, Shun Takenaka, Takuji Narumi, Hideaki Kuzuoka	国立大学法人東京大学	Multiple Self-Avatar Effect: Effects of Using Diverse Self-Avatars on Memory Acquisition and Retention of Sign-Language Gestures	IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	2024.

(3) 特許等（知財）

なし

(4) 受賞実績

受賞者	受賞者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
蔵田 武志、尾形邦裕、金澤周介、今村由芽子、佐藤 章博、小木曽里樹、小林吉之、一刈良介、中江 悟司、多田充徳、青山朋樹、清水博己、葛岡 英明、中村拓人、腰原健、黒田 真朗、返町 秀光、大島 賢典	国立研究開発法人産業技術総合研究所, 国立大学法人京都大学, 国立大学法人東京大学, セイコーエプソン株式会社, 株式会社エブリハ	「遠隔リハビリのための多感覚 XR-AI 技術基盤構築と保健指導との互惠ケア連携」で目指すところ	日本バーチャルリアリティ学会第 66 回複合現実感研究会	2023.3

瑞穂 嵩人, 鳴海 拓志, 葛岡 英明	国立大学法人東京大学	モニタ上の 3D アバタによる環境的文脈操作を用いた記憶支援手法の効果	第 27 回日本バーチャルリアリティ学会大会	2023. 3
Kiyu Tanaka, Takuto Nakamura, Keigo Matsumoto, Hideaki Kuzuoka, Takuji Narumi	国立大学法人東京大学	Detection Thresholds for Replay and Real - Time Discrepancies in VR Hand Redirection	IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics	2025.

(5) 成果普及の努力（プレス発表等）

発表者	発表者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
蔵田武志, 金澤 周介, 尾形 邦裕, 植村 聖	国立研究開発法人産業技術総合研究所	遠隔リハビリのための多感覚 XR-AI 技術基盤構築と保健指導との互恵ケア連携	MEMS センシング&ネットワークシステム展 2022	2022. 1
蔵田 武志, 青山 朋樹, 葛岡 英明, 腰原 健, 大島 賢典	国立研究開発法人産業技術総合研究所, 国立大学法人京都大学, 国立大学法人東京大学, セイコーエプソン株式会社, 株式会社エブリハ	遠隔リハビリのための多感覚 XR-AI 技術基盤構築と保健指導との互恵ケア連携	Interop Tokyo 2022	2022. 6
尾形 邦裕, 今村由芽子, 蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Human Augmentation Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology	IROS-TV	2022. 10
蔵田 武志, 尾形邦裕, 金澤周介	国立研究開発法人産業技術総合研究所	遠隔リハビリのための多感覚 XR-AI 技術基盤構築と保健指導との互恵ケア連携	MEMS センシング&ネットワークシステム展 2023	2023. 2
蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	遠隔リハビリのための多感覚 XR-AI 技術基盤構築と保健指導との互恵ケア連携	NEDO AI NEXT FORUM 2023	2023. 2
蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	遠隔リハビリのための多感覚 XR-AI 技術基盤構築と保健指導との互恵ケア連携	柏の葉ライフサイエンス協議会発足記念「交流の葉」	2023. 3

蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	Multimodal XR-AI Platform for Tele-Rehab and the Reciprocal Care	AWE USA 2023 (Augmented World Expo)	2023. 6
蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	遠隔ヘルスケアのための多感覚 XR-AI 技術基盤	Human Augmentation Labo (HAL)	2024. 1
蔵田 武志、尾形邦裕、今村由芽子、佐藤 章博	国立研究開発法人産業技術総合研究所	遠隔ヘルスケアのための多感覚 XR-AI 技術基盤	WELL-BEING TECHNOLOGY 2024	2024. 1
蔵田 武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	遠隔ヘルスケアのための多感覚 XR-AI 技術	産総研特別公開	2024. 10
蔵田 武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	遠隔ヘルスケアのための多感覚 XR-AI 技術	人間拡張研究センターシンポジウム (HARCS2024)	2024. 11
蔵田武志、中村拓人、清水博己、乾昶士	国立研究開発法人産業技術総合研究所, 国立大学法人京都大学, 国立大学法人東京大学	(特別セッション) 遠隔ヘルスケアのための多感覚 XR-AI	HCG シンポジウム 2024	2024. 12
蔵田 武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	遠隔リハビリのための多感覚 XR-AI 技術基盤構築	MEMS センシング&ネットワークシステム展 2024	2025. 1
今村由芽子、後藤大輔、大島賢典、尾形邦裕、篠崎真良、蔵田武志	国立研究開発法人産業技術総合研究所	遠隔でリハビリテーションができる社会の実現に向けて世界初の上肢・肩甲骨運動オープンデータセットを公開しました	産総研ウェブサイト (プレスリリース)	2025. 3
蔵田武志、大島 賢典	国立研究開発法人産業技術総合研究所	遠隔リハビリテーションと XR 技術	Journal of Clinical Rehabilitation	2025. 3

A I ・ X R活用による空のアバターを実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発

(1) 研究発表・講演

発表者	発表者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
-----	--------	------	----------------	----

Yue Qiu	産業技術総合研究所	Describing and Localizing Multiple Changes with Transformers	IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV2021)	2021.10
佐々木一、山崎まりか、鈴木真二	東京大学、ISID	小型無人航空機の消火活動支援におけるモデルベースリスク分析	第35回日本リスク学会年次大会 (2022.11.12)	2022.11
荒井智貴、岩田健司、佐藤雄隆	産業技術総合研究所	災害現場におけるドローン空撮動画をを用いた人物属性推定の検討	ビジョン技術の実利用ワークショップ ViEW2022	2022.12
荒井 智貴、岩田 健司、原 健翔、佐藤 雄隆	産業技術総合研究所	ドローン空撮動画における災害被災者状況の自動推定の検討	画像センシングシンポジウム SSII2023	2023.6
神村明哉	産業技術総合研究所	革新的ドローン AI 及びドローンリモート技術の紹介	Japan Drone 2023	2023.6
岩田健司、佐藤智実、荒井智輝、佐藤雄隆	産業技術総合研究所	クラウドで状態推定 AI と XR 情報提示を統合したリモートドローンシステムの開発	電子情報通信学会 クラウドネットワークロボット(CNR)研究会	2023.8
岩田健司	産業技術総合研究所	ディープラーニング活用によるドローンリモートシステム	日本機械学会 連携講習会「ディープラーニングと機械 ～ 基礎と応用～」	2024.5

(2) 論文

発表者	発表者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
小出健司	産業技術総合研究所	Globally Consistent 3D LiDAR Mapping with GPU-accelerated GICP Matching Cost Factors	IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L)	2021.10
Kenji Koide, Masashi Yokozuka, Shuji Oishi, Atsuhiko Banno	産業技術総合研究所	Globally Consistent and Tightly Coupled 3D LiDAR Inertial Mapping	IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2022)	2022.5
Ryo MIYAZAKI, Yuto YASUTA, Xiao HAN, Kohji TOMITA and Akiya KAMIMURA	産業技術総合研究所	Decentralized Multi-UAV Formation Control and Navigation over a Self-Organizing Coordination Network	2023 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII) (2023.01.19)	2023.1
佐々木一、樫野尊、寺村良寛、鈴木真二	東京大学、ITID	消防におけるドローンリモート技術の概念構想 (ConOps) の構築と社会実装課題の抽出	Technical Journal of Advanced Mobility	2023.2

Kenji Koide, Shuji Oishi, Masashi Yokozuka, Atsuhiko Banno	産業技術総合研究所	General, Single-shot, Targetless, and Automatic LiDAR-Camera Extrinsic Calibration Toolbox	IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2023)	2023. 5
Tomoki Arai, Kenji Iwata, Kensho Hara, Yutaka Satoh	産業技術総合研究所	Estimation of Human Condition at Disaster Site Using Aerial Drone Images	ICCV 2023 Workshop, Artificial Intelligence for Humanitarian Assistance and Disaster Response	2023. 10
Hajime Sasaki, Marika Yamazaki, Shinji Suzuki	The University of Tokyo, DENTSU SOKEN, Inc.	Model-Based Risk Analysis for Multi-UAV Operation: A Case Study of Firefighting Support Using Formation Flight	Technical Journal of Advanced Mobility	2024. 3

(3) 特許等（知財）

なし

(4) 受賞実績

受賞者	受賞者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
Ryo MIYAZAKI	産業技術総合研究所	Decentralized Multi-UAV Formation Control and Navigation over a Self-Organizing Coordination Network	SICE International Young Authors Award (SIYA Award) (2023. 01. 20)	2023. 1

(5) 成果普及の努力（プレス発表等）

発表者	発表者の所属	タイトル	雑誌名・学会名・イベント名等	年月
東京大学		AI・XR活用による空のアバターを実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発	Japan Drone 2022 (2022. 6. 21-23)	2022. 6
土屋武司、神村明哉	東京大学、産業技術総合研究所	福島 RTF におけるビル火災ドローン実証実験	NHK ニュース 7 (2022. 11. 19)	2022. 11
東京大学		AI・XR活用による空のアバターを実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発	ロボット・航空宇宙フェスタふくしま (2022. 11. 25-26)	2022. 11
土屋武司、鈴木真二、神村明哉、曾谷英司、児玉雅彦他	東京大学、産業技術総合研究所、イームズロボティクス、NTT ドコモ	ドローン 広がる飛行範囲 改正法施行 「目視外」「人がいる」場所 可能に 高所の消火や点検活用期待	朝日新聞 朝刊 2面 (2022. 12. 06)	2022. 12

土屋武司、鈴木真二、神村明哉、曾谷英司、児玉雅彦他	東京大学、産業技術総合研究所、イームズロボティクス、NTTドコモ	AI・XR活用による空のアバターを実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発	NEDO AI NEXT FORUM 2023(2023.02.16-17)	2023. 2
土屋武司、鈴木真二、神村明哉、曾谷英司、児玉雅彦他	東京大学、産業技術総合研究所、イームズロボティクス、NTTドコモ	AI・XR活用による空のアバターを実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発	東京国際消防防災展 2023	2023. 6
佐々木一、鈴木真二	東京大学	無人航空機による消火活動支援の期待と課題	消防防災の科学	2023. 8
神村明哉、土屋武司、鈴木真二、曾谷英司、児玉雅彦	産業技術総合研究所、東京大学、イームズロボティクス、NTTドコモ	ここまで進んだ“ドローン防災”	NHK 放送「明日をまもるナビ」	2023. 11
鈴木真二	東京大学	航空機、ドローン、空飛ぶクルマにおける自動／自律運転の動向	第7回 DNV Safety & Security Forum	2023. 12
神村明哉、土屋武司、鈴木真二、曾谷英司、児玉雅彦	産業技術総合研究所	ドローン防災最前線	NHK 放送「午後LIVE ニュースーン」	2024. 4
神村明哉、土屋武司、鈴木真二、曾谷英司	産業技術総合研究所	リモートでオペレーターが安全かつ迅速に現場の状況把握ができる革新的なドローン運用技術を開発しました	NEDO ホームページ、産総研ホームページ、東大ホームページ、イームズロボティクスホームページ	2024. 12
神村明哉	産業技術総合研究所	機体間通信で自律制御ードローン群協調飛行ー	日刊工業新聞 2025/03/27	2025. 3
神村明哉、土屋武司、鈴木真二、曾谷英司、児玉雅彦	産業技術総合研究所	ドローン 人命救助などに活用	NHK 放送「いば6」	2025. 4

●プロジェクト用語集

動作ユニット A I による人の感情推定とキャラクターの感情豊かな動作生成による遠隔コミュニケーション環境の構築

用語	説明
動作ユニット	顔表情研究における分析単位として特定の顔部位の動きを「アクションユニット」と定義したことで客観的な検証が可能になった。これを身体動作に応用したもので、感情に基づいた身体動作の分析単位。
動作ユニット AI	動作ユニットと人の感情や意図を関連付けた AI、感情に基づいた大量の身体動作データを取得し、データ駆動型アプローチで感情を推定する技術。

極薄ハプティック MEMS による双方向リモート触覚伝達 AI システムの開発

用語	説明
ハプティック	ハプティック技術は、触覚による情報伝達を可能にする技術で、デバイスが使用者に対して物理的な感触を提供することを指します。この技術は、スマートフォンのバイブレーション通知やゲームコントローラーの振動フィードバック、さらには仮想現実（VR）や拡張現実（AR）でのリアルな触感体験の実現など、多岐にわたる分野で応用されています。ハプティック技術により、ユーザーは視覚や聴覚だけでなく、触覚を通じても情報を得ることができ、より直感的で没入感のあるインタラクションが可能になります。
MEMS	MEMS（Micro-Electro-Mechanical Systems、マイクロエレクトロメカニカルシステムズ）とは、マイクロメートル単位（1 マイクロメートルは 100 万分の 1 メートル）の微細な電子機械システムのことを指します。この技術により、電子回路と機械的な構造を微小なスケールで統合し、特定の機能を果たす小型デバイスを製造することが可能です。MEMS の応用例は非常に広範にわたり、スマートフォンの加速度センサーや圧力センサセンサーなど、日常生活の多くの場面で使用されています。
双方向リモート触覚伝達 AI システム	触覚デバイスと AI を活用した触覚信号編集技術を組み合わせることで、幅広い周波数帯域の触覚信号を体験できるため、指先で触れる操作や握手などの触覚情報を手首で計測し、相手側に伝えられるシステムです。
参照系 AI	参照系 AI は、元となるデータから必要なデータを瞬時に抽出することが可能です。本技術は入力信号をデータの特徴量ごとに分解できるのが特徴であり、今回のシステムにおいて「伝えたい振動のみを抽出する」という働きをしています。
Intensity Segment Modulation (ISM)	ソフトウェア要素の一つとして、信号処理技術「ISM（Intensity Segment Modulation）」を開発しました。ISM は、接触振動や音響振動などの高周波信号に対し、ヒトの触覚知覚特性に基づいて計算を行うことで、触感を保ちながらデバイスで再生しやすい低周波の信号に変換する技術です。これにより、小型の振動子でもより広帯域な体感振動の提供が可能となり、「ユーザーが感じやすい振動体験」を創出することができます。
技能体感共有システム	作業者が手で感じる振動体感を、手先から手首に伝わる振動波形を手首に装着した腕輪型デバイスで計測し、触覚の知覚量に基づく信号処理技術を用いることにより記録した触覚は、腕輪型デバイスに内蔵されたバイブレーターを用いて、振動体感を忠実にバイブレーターで再生することで振動体感を共有可能なシステム
CES	CES（シーイーエス）は毎年 1 月米国ラスベガスで開催される世界最大級のテクノロジーイベントです。Consumer Electronics Show の略。
LRA	LRA 型振動発生素子（Linear Resonant Actuator）は、アクチュエーターの一種で、磁石とコイルの相互作用によって動きます。内部の磁石がコイルから生み出される磁場の効果を受けて前後に直線移動し、この動きを振動の生成に利用します。この振動状態は構造が持つ固有の共振周波数により規定され、スマートフォンやウェアラブルデバイスでの触覚フィードバックに応用されます。

触覚デバイス	触覚デバイスは、皮膚に物理的な刺激を与えることにより触覚情報を伝達する装置のことを指し、スマートフォンやゲームコントローラー、VR 装置などに利用されています。一般的には振動フィードバックや、皮膚を変形させる装置が用いられます。触覚提示に筋や腱の深部感覚で感じる力情報である力覚を含めることもあります。大がかりな装置が必要な力覚提示に比べ、皮膚に対する触覚提示は小型化が容易で、ポータブルデバイス・ウェアラブルデバイスへの活用が期待されています。
--------	---

Contact Reality の実現による遠隔触診システム開発

用語	説明
Contact Reality	触覚の本質を「感覚の再現」ととどまらず、「意味のある接触体験の再構成」として捉える概念として、本研究で提案したものである。
e-Rubber	豊田合成株式会社が開発した次世代ゴム製品。 ゴムを2枚の電極で挟んだ薄い膜構造のセンサー・アクチュエーター。
CES	毎年1月にアメリカ ネバダ州ラスベガスで開催される電子機器の見本市。
Haptic I/O Doll	患者に触れた感覚を医師に与えるための物理的な疑似前腕モデルで、骨格や筋・腱といった内部構造や人工皮膚を利用した表層からなる。
触診マニピュレータ	患者に触圧を与えるマニピュレータで、前腕の任意の位置に触圧を与えられ、かつ精密に制御するためリニアガイドと回転の2自由度を用いた。触圧を与えるために、小型のリニアアクチュエーター。
指先統合センサー	触診マニピュレータにより患者に直接触れる部分に設置されており、6軸力覚センサー6個が、指先の形状を模した台座の上にアレイ状に配置されるとともに、台座の下には eRubber が配置され、全体にかかる圧を一括して計測するシステム

遠隔リハビリのための多感覚 XR-AI 技術基盤構築と保健指導との互惠ケア連携

用語	説明
多感覚 XR-AI 技術基盤	初診、運動訓練の実施、常時モニタリング（見守り）、再診の各ヘルスケアプロセスの遠隔化を実現するために、XR および AI を活用した視覚・聴覚・触力覚提示、ウェアラブルデバイスによる心身状態把握などの各機能を提供するための技術基盤である。
互惠ケア	他の患者・利用者と共同で運動訓練を行うことで、お互いの良い影響を与えあい、訓練の継続性を高める手段である。主に、提供者が不在の状況を想定している。
ハンガー反射	針金ハンガーをかぶると頭が回ってしまう現象のことである。ハンガーからの圧迫によって発生する皮膚の横ずれが重要な役割を果たす。この皮膚の横ずれを適用すると、手首・肘・足首・膝・腰などでも類似現象が発生することがわかっている。
MR3	Multi-Modal Mixed Reality for Remote Rehab の略称である。エムアールキューブと読む。
融合身体	2人以上の人で1つのアバター（身体）を動かすことを指す。相手の動作と融合させて、自分の動作は活かしつつタスク実行することで、内発的動機付けを支援する役割を担う。
リダイレクション	アバターの動きを変換して提示し、「これまでよりもうまく動けた」などの錯覚を生じさせる手法である。
IMU	慣性計測装置のことで、加速度センサ、ジャイロセンサなどで構成され、装置自体の動き（姿勢や移動ベクトル）を計測できる。
PPG センサ	光電容積脈波（Photoplethysmography）センサの略である。光を皮膚に照射し、血液の量の変化による光の吸収や反射の変化を計測する技術である。

経皮的動脈血酸素飽和度 (SpO2)	動脈を流れる赤血球に含まれるヘモグロビンのうち、酸素と結合しているヘモグロビンの割合を示す値である。
PRV	脈拍間隔変動 (Pulse Rate Variability) の略である。
HRV	心拍間隔変動 (Heart Rate Variability) の略である。

AI・XR 活用による空のアバターを実現する『革新的ドローンリモート技術』の研究開発

用語	説明
空のアバター	「アバター」という言葉は、一般的にデジタルやオンラインの世界でのユーザーの分身や代理を表す言葉として使用されているが、本事業では複数のプロペラを使って空を飛ぶ小型の航空機であるマルチコプター型ドローンに対して、オペレーターが遠隔からあたかも自分の分身のようにドローンを遠隔操作できる仕組みを開発しており、総じて「空のアバター」と呼称する。
自律分散協調飛行	複数の無人機（ドローンなど）が中央の司令塔なしに自律的に判断しつつ、機体間通信を介して相互に連携しながら分散的に飛行する技術である。本事業では、同じ目的地に向かって飛行するフォーメーション飛行、相互衝突回避機能、対象物上空旋回飛行、1 人のオペレーターによる複数ドローンの群移動操作などを実現している。
LiDAR	Light Detection And Ranging の略で、レーザー光を照射して、その反射光の情報をもとに対象物までの距離や対象物の形などを計測する技術である。
ROS2 システム	ROS2 (Robot Operating System 2) は、ロボット開発用のオープンソースのプラットフォームで、複数のコンピューターやデバイスがネットワークで接続され、協力してロボットを制御できるように設計されている。本事業では、各ドローン搭載の制御用コンピューター、地上基地局の操作 PC 間で、ROS2 システムによる情報連携を行っている。
Voysys	低遅延データ転送ソフトウェア。本テーマでは 5G 環境ではなく、LTE 環境でも成果を利活用できるようにするために採用。
デジタルツイン	現実世界を仮想デジタル空間に再現した「デジタルの双子」を作り、仮想空間で現実の動きや状態をリアルタイムに再現することで、さまざまな分野で効率化やリスク管理を実現する技術である。本事業では、現場の環境をドローン搭載の LiDAR とカメラにより高速に 3 次元化し、デジタルツインの環境として利用する技術を開発している。
XR 提示	XR とは VR (Virtual Reality、仮想現実) や AR (Augmented Reality、拡張現実)、MR (Mixed Reality、複合現実) などの総称である。本事業では、これらの技術を用いて情報や映像を提示することを指す。
機械警備	人の代わりに機械を使って建物や敷地を守る方法である。機械警備には、センサーやカメラ、警報システム、通信機器などの技術が使われ、建物内外の異常を検知して、警備員や管理者に知らせる仕組みが含まれる。
ICRA	International Conference on Robotics and Automation の略であり、ロボット工学とオートメーションに関する国際会議である。
GitHub	ソフトウェア開発のプラットフォームであり、ソースコードを保存・共有・管理できる Web サービスである。
SBIR	Small Business Innovation Research の略である。スタートアップ等による研究開発を促進し、その成果を円滑に社会実装し、それによって我が国のイノベーション創出を促進するための制度である。
JST-K Pro	内閣府主導のもと創設された「経済安全保障重要技術育成プログラム」の略である。

●ニュースリリース

NEDO と実施者の共同リリース

リアルな触覚再現技術による、技能教育システム、心拍数共有アプリを開発しました

— 一体で感じる触覚の計測、編集、調整、再生が手軽に実現可能になります —

NEDOが進める「人工知能活用による革新的リモート技術開発プロジェクト」（以下、本事業）において、国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下、産総研）、国立大学法人東北大学、国立大学法人筑波大学、株式会社Adansonsは、2024年3月に発表した極薄ハプティックMEMSによる触覚デバイスと触覚信号編集技術を組み合わせることで、指先で触れる触覚情報を手首で計測して他者に伝えることを可能とする双方向リモート触覚伝達システムを開発しました。これを基盤とした実用例としてAR技能教育システムと心拍数共有アプリと、その性能を向上する技術を開発しました。

開発にあたり各者の役割は以下となります。

- (1) リアルな触覚を再現するAR技能教育システムの開発（東北大学）
- (2) 疑似心拍振動による社会交流促進の実証と心拍数共有アプリの開発（筑波大学）
- (3) 皮膚内部の歪み（ひずみ）を可視化する独自の触覚デバイス設計・評価技術の開発（産総研）
- (4) 自然言語を活用した人間とAIが双方向に“ネゴシエーション”する触覚信号分離／編集ソフトウェアを開発（Adansons）

今後、産総研、東北大学、Adansons、筑波大学は、本事業の成果を活用し、ものづくりで利用する技能体感教育システムの開発や、心拍数共有アプリのさらなる性能向上、および、汎用（はんよう）信号処理ソフトウェアの提供を進めます。これにより、これまで世代を超えて伝承が困難であった触覚を手軽に記録して共有できる社会の実現を目指します。

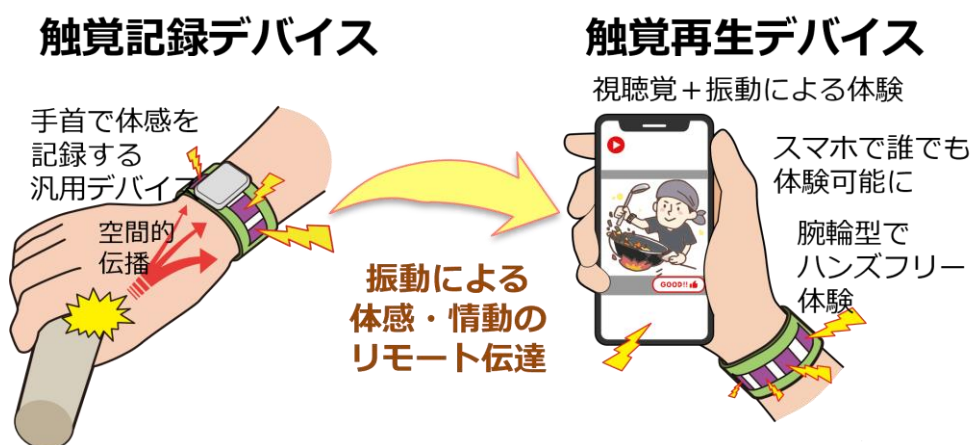


図1 双方向リモート触覚伝達システム



図2 振動体感を共有するAR技能教育システム

1. 背景

ものづくりの分野では、少子高齢化に伴い、職人の高度な技能の記録や伝承、自動化が求められています。しかし、繊細な技能動作に関わる体感の違いを比較し、分かりやすく教示することが大きな課題でした。特に、工具でものを削る、擦るといった動作により発生する繊細な触覚は、従来の力覚提示装置^{※1}や振動装置で忠実に再現することは、ハードウェアの応答限界のために困難でした。

また、コロナ禍では、インターネットを活用して離れた人と交流する機会が増加しました。一方で、視覚と聴覚のみによる交流では、対面と比較してコミュニケーションが難しく、孤独感を訴える人もいました。

これらの課題を解決するためにNEDOが進める本事業^{※2}において、産総研、東北大学、筑波大学、Adansonsは、極薄ハプティック^{※3}MEMS^{※4}による触覚デバイス^{※5}と触覚信号編集技術^{※6}を組み合わせた、双方向リモート触覚伝達システム^{※7}の開発に取り組みました。

2. 今回の成果

(1)リアルな触覚を再現するAR技能教育システムの開発

東北大学は、作業者が手で感じる振動体感を、手先から手首に伝わる振動波形を手首に装着した腕輪型デバイスで計測し、触覚の知覚量に基づく信号処理技術を用いることにより、作業者が感じる触覚の知覚量を数値化し、AR(Augmented Reality)システムを介して空間に投影することで、作業体感の可視化に成功しました。

また、記録した触覚は、腕輪型デバイスに内蔵されたバイブレーターを用いて、振動体感を忠実にバイブレーターで再生することが可能です。このように手首位置で振動体感を記録し、忠実に再生するには、記録する作業者と体験者間における手指からの振動の伝わりやすさの個人差を補正したり、小型のバイブレーターでも再生できる信号に変換する必要があります。開発した触覚知覚量に基づく触覚信号の強調技術を用いて、個人差を補正し、バイブレーターが提示する体感量を忠実に制御することが可能になりました。これにより、世界で初めて、個人の触覚の伝わりやすさの違いを補正しながら、振動体感を共有可能なAR技能教育システム^{※8}を実現しました。

図3のグラフはヤスリ動作を記録しておいた教師役の運動と振動体感に基づき、3人の被験者がARシステムを用いて再現を試みた実験の結果を示しており、教師のヤスリの接触角度^{※9}および法線力^{※10}に対する誤差をプロットしています。振動体感を補正し、さらにARシステムで可視化することにより、ヤスリの接触角度とヤスリで加えた法線力の誤差およびそのばらつきが低減することから、被験者が教師の動作をより正確に再現できる可能性を示しています。

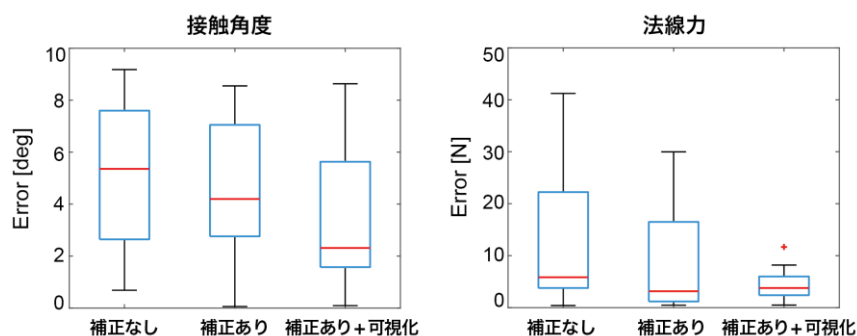


図3 個人差補正、可視化による技能再現誤差の低減

(2) 疑似心拍振動による社会交流促進の実証と心拍数共有アプリの開発

筑波大学は、これまでに開発した疑似心拍振動^{※11}により、従来の覚醒の度合いを示す感情の表現に加え、「快—不快」の感情の表現が可能であることを実験により確認しました。また、この疑似心拍振動を介してカメラやウェアラブルデバイスから計測した表情や心拍数などの生体信号を伝達することにより、相手の存在感が強まることを実験により確認しました。これらの実験の成果を基に、手軽に二者間で振動を介して心拍数を共有可能なiPhoneおよびApple Watchユーザー向けの心拍数共有アプリ^{※12}を一般公開しました。ビデオゲームで対戦している際の二者間や、競技中のアスリートからコーチまたは視聴者など、さまざまな場面で相手の心拍数の変化に触れる体験を提供します。

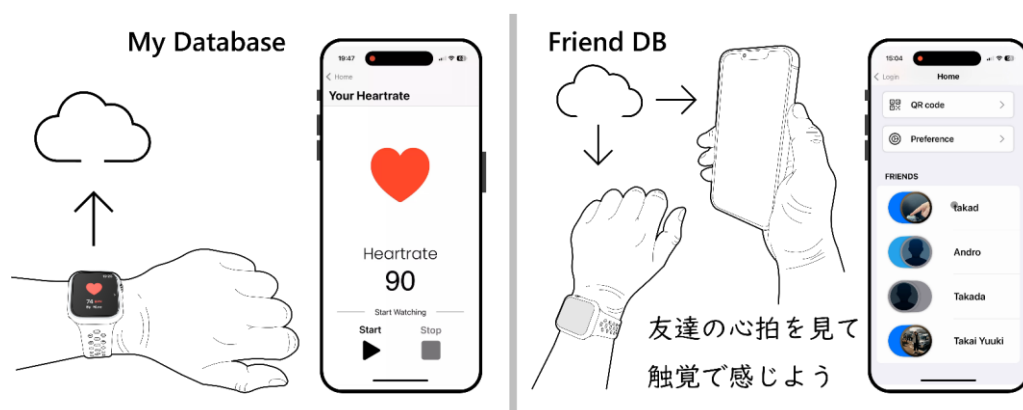


図4 心拍数共有アプリ

(3) 皮膚内部の歪を可視化する独自の触覚デバイス設計・評価技術の開発

産総研では、独自に開発した極薄ハプティックMEMSデバイスによる振動刺激性能を向上させるために、皮膚ファントム^{※13}と非接触式の計測装置を組み合わせることで、皮膚内部に生じる歪み分布を可視化・数値化する評価システムを構築しました。これにより、振動がどのように伝達しているかを定量的、かつ正確に把握することを可能としました。

本評価システムでは、高速度カメラを用いた非接触式の測定法を採用しており、任意の振動波形について皮膚内を伝播する歪を可視化できる点が大きな特徴です。また、この評価技術を活用し、デバイスの貼付構造や皮膚と振動板の接触界面を最適化することで、振動知覚能を向上させられることを筑波大学との共同研究で実証しました。

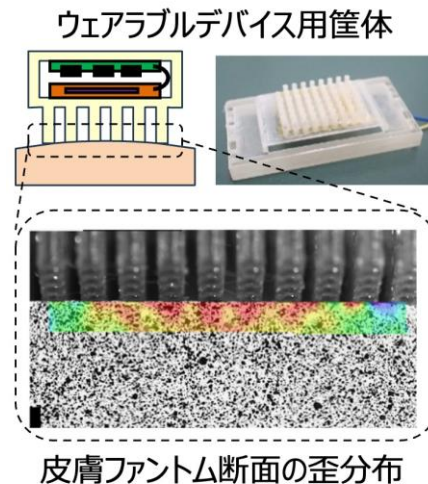


図5 極薄ハプティックMEMSデバイスが皮膚に生じさせる歪分布可視化結果

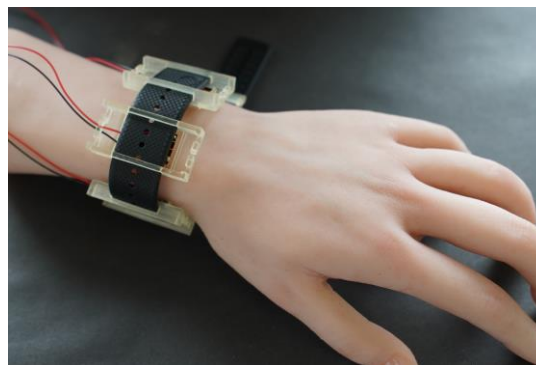


図6 極薄ハプティックMEMSデバイを組み込んだリストバンドデバイス

(4) 自然言語を活用した人間とAIが双方向に“ネゴシエーション”する触覚信号分離／編集ソフトウェアを開発

Adansonsは、独自の信号分離／特徴抽出技術「参照系AI」を活用し、触覚信号などのノイズが多く複雑な信号から、人間の意図どおりに伝えたい信号を抽出するための「体感ネゴシエーション」インターフェイスを開発しました。

従来、ノイズが多い環境や、信号が複雑に混合されている場合、既存手法では専門知識を持ってしても人間の狙い通りにノイズを分離することは難しく、非常に複雑な処理が必要でした。

参照系AIは、人間の意図や現象の特性、特徴量に基づいて信号を分解することが可能であり、今回、触覚領域において、LLMや映像解析AIと組み合わせることで、より簡単に人間の意図がAIに伝えられるようになりました。さらに、AI側からも信号の意味や種別を判定し、信号分解方法や抽出する目的信号を提案する「ネゴシエーション」機構を開発したことで、AIと人間が双方向に意思決定しながら、簡単に複雑な信号を分解、抽出できるようになりました。

本技術により、リアルタイムでの動画の動きや信号の特徴に応じた音源分離や信号生成、高ノイズ下での特定信号モニタリングなどが容易になります。また、人間とAIの対話による意思決定プロセスにより、これまでのように無作為にAIが選別した結果を受動的に受け入れるだけの体験から、AI自体を人間が制御し、安全な処理を行うという体験が可能となります。

3. 今後の予定

本事業終了後、東北大学は、触覚知覚量に基づく振動体感の定量化および信号強調技術のソフトウェアライブラリの企業向けの試験提供を既に開始しており、2025年後半に技術をライセンスするスタートアップを創業する予定です。また、記録した体感付きの動画をスマートフォンで配信するSDK^{※14}や、触覚信号のオーサリングツール^{※15}も提供する予定です。

筑波大学は、心拍数共有アプリのアップデートにより、一対多を想定した心拍数のブロードキャスト機能や、一対一で心拍数を共有しながら対戦するミニゲームを追加する予定です。

産総研は、この評価システムと最適化手法をさらに発展させることで、ウェアラブル機器やヘルスケア分野をはじめとするさまざまな応用領域へ極薄ハプティックMEMSデバイスを展開し、より自然で高度な触覚フィードバックを実現していく予定です。

Adansonsは信号分離／編集ソフトウェアでは、今後対応領域を拡大し使用感の向上を図りながら、より多くの人が、AIと対話しながら、安心感と納得感を持って信号を制御できる技術開発を実現していく予定です。

これにより、これまで空間および時間を超えて伝承が困難であった体で感じる触覚体験を手軽に記録して共有できる社会の実現を目指します。

【注釈】

※1 力覚提示装置

力触覚提示装置は、使用者に対して物理的な力を伝達することで、対象物の硬さ、重さ、弾性などの感触を再現するデバイスです。これらの装置は、主にアクチュエーターやセンサを組み合わせることで、リアルタイムに力の大きさや方向を制御し、ユーザーが仮想環境や遠隔操作中に実際に触れているかのような感覚を提供します。医療シミュレーション、ロボット制御、仮想現実(VR)や拡張現実(AR)といった多様な分野で、より自然な操作体験や精密な作業支援を実現するために利用されています。

※2 本事業

事業名: 人工知能活用による革新的リモート技術開発プロジェクト

事業期間: 2021年度～2024年度

事業概要: 人工知能活用による革新的リモート技術開発 https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100194.html

※3 ハプティック

ハプティック技術は、触覚による情報伝達を可能にする技術で、デバイスが使用者に対して物理的な感触を提供することを指します。この技術は、スマートフォンのバイブレーション通知やゲームコントローラーの振動フィードバック、さらには仮想現実(VR)や拡張現実(AR)でのリアルな触感体験の実現など、多岐にわたる分野で応用されています。ハプティック技術により、ユーザーは視覚や聴覚だけでなく、触覚を通じても情報を得ることができ、より直感的で没入感のあるインタラクションが可能になります。

※4 MEMS

MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems、マイクロエレクトロメカニカルシステムズ)とは、マイクロメートル単位(1マイクロメートルは100万分の1メートル)の微細な電子機械システムのことを指します。この技術により、電子回路と機械的な構造を微小なスケールで統合し、特定の機能を果たす小型デバイスを製造することが可能です。MEMSの応用例は非常に広範にわたり、スマートフォンの加速度センサや圧力センサなど、日常生活の多くの場面で使用されています。

※5 触覚デバイス

触覚デバイスは、皮膚に物理的な刺激を与えることにより触覚情報を伝達する装置のことを指し、スマートフォンやゲームコントローラー、VR装置などに利用されています。一般的には振動フィードバックや、皮膚を変形させる装置が用いられます。触覚提示に筋や腱(けん)の深部感覚で感じる力情報である力覚を含めることもあります。大がかりな装置が必要な力覚提示に比べ、皮膚に対する触覚提示は小型化が容易で、ポータブルデバイス・ウェアラブルデバイスへの活用が期待されています。

※6 触覚信号編集技術

触覚信号は主に振動フィードバックに使用される振動波形のことを指し、近年、スマートフォンやゲームコントローラーなどで、振動波形を適切に編集することによりクリック感や衝突感、テクスチャー感などを表現できるようになってきています。特に、効果音や接触振動などを実収録した信号に基づき触覚信号を編集することで、よりリアルな体感を再生できます。従来の触覚信号編集技術は、振動発生素子の周波数帯域や振動振幅の制約により、収録波形をそのまま体感させることは困難であり、そのリアリティーは限られていました。

※7 双方向リモート触覚伝達システム

触覚デバイスと触覚信号編集技術を組み合わせることで、幅広い周波数帯域の触覚信号を体験できるため、指先で触れる操作や握手などの触覚情報を手首で計測し、相手側に伝えられるシステムです。

産総研の「極薄MEMS素子」によるハプティックデバイス、東北大の「信号強調・変換技術(ISM)」、筑波大が開発した「非言語的行動・反応のデフォルメ生成技術」、Adansonsが開発した振動データの特徴抽出を行う「参照系AI」4要素を組み合わせることにより、「ヒトが感じることでできる全ての周波数帯域の振動を表現可能」で「伝えたい振動を強調できる」触覚共有システムとなります。「リアルな触覚再現技術」で触覚を「共有」へ「リアルな触覚再現技術」で触覚を「共有」へ

https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2024/pr20240308/pr20240308.html

※8 AR技能教育システム

以下のURLで説明動画を公開中です。技能体感を伝えるAR可視化システム <https://youtu.be/o-uAcuX9TD8>

※9 接触角度

接触角度とは、対象物へツールや針、デバイスなどが挿入される際の角度を示すパラメータです。各種シミュレーションや医療ロボット、精密作業において、最適な接触方向を設定することで、正確な操作や安全性の向上に寄与します。

※10 法線力

法線力は、接触面に対して垂直方向に働く力のことを指します。機械工学や触覚フィードバック技術の分野では、摩擦や圧力の解析において重要な役割を果たし、リアルな触感や安定した動作の実現に貢献します。

※11 疑似心拍振動

疑似心拍振動は、心拍のリズムやタイミングを模倣して発生させる振動パターンを指します。医療シミュレーションやウェアラブルデバイス、触覚フィードバック技術などの分野で利用され、実際の心拍に似た振動を再現することで、ユーザーにリアルな生体反応を体感させることが可能です。

※12 心拍数共有アプリ

以下のApp Storeで公開中です。HearTalk <https://apps.apple.com/jp/app/heartalk/id6550898385>

※13 皮膚ファントム

皮膚ファントムは、実際の皮膚の物性や触感を模倣するために作成された人工モデルです。触覚デバイスの評価や医療シミュレーションにおいて、実験環境での再現性を高めるために利用され、リアルな触覚の検証やデバイス設計の最適化に役立ちます。

※14 SDK

SDK(Software Development Kit、ソフトウェア開発キット)とは、特定のプラットフォームやデバイス向けのアプリケーション開発を支援するツール群のことです。ライブラリ、ドキュメント、サンプルコードなどが含まれ、開発者が効率的に機能を拡張し、製品やサービスを迅速に開発するための環境を提供します。

※15 オーサリングツール

オーサリングツールは、プログラミングの知識がなくても、直感的な操作でコンテンツやシナリオ、インタラクティブなメディアを制作できるソフトウェアです。教育、エンターテインメント、シミュレーションなど多岐にわたる分野で、ユーザーが容易に高品質なコンテンツを作成するための支援ツールとして利用されています。

4. 問い合わせ先

(本ニュースリリースの内容についての問い合わせ先)

NEDO AI・ロボット部 AI共進化・リモートチーム 担当:外村、丸山(彰) TEL:044-520-5241

東北大学 大学院情報科学研究科／東北大学 タフ・サイバーフィジカルAI研究センター

教授 昆陽 雅司 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-01

TEL:022-795-7025 E-mail:konyo[*]tohoku.ac.jp

Adansons <https://adansons.co.jp/> E-mail:knock[*]adansons.co.jp

筑波大学 システム情報系 助教 蜂須 拓 〒305-8573茨城県つくば市天王台1-1-1

TEL:029-853-5351 E-mail:hachisu[*]iit.tsukuba.ac.jp

(その他NEDO事業についての一般的な問い合わせ先)

NEDO 経営企画部 広報企画・報道課 TEL:044-520-5151 E-mail:nedo_press[*]ml.nedo.go.jp

E-mailは上記アドレスの[*]を@に変えて使用してください。

※新聞、TV などでは弊機構の名称をご紹介いただく際は、“NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)”または“NEDO”のご使用をお願いいたします。

NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)

国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学

シンガポール国立大学病院

—Contact Reality の実現による世界初の遠隔触診システムを公開します— —実証試験や3月1日には国際シンポジウムを開催し、力触覚伝達による国境を越えた遠隔診療の実現に貢献—

NEDOが進める「人工知能活用による革新的リモート技術開発事業」(以下、本事業)において、国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学、豊田合成株式会社は、このたび、仮想空間での人同士の接触を利用した遠隔触診システムの実現に向けて、前腕部疾患に特化した世界初の遠隔触診システムのプロトタイプを公開し、そのシステムを用いて名古屋大学医学部附属病院とシンガポール国立大学病院間で実証試験を行います。

本事業では、触れたことにより得られる情報はもちろんのこと、人同士が触れ合うことにより起こる心理的な効果をも考慮に入れた、人同士の仮想空間での接触再現をContact Reality (CR) と呼び、CRを利用した触診システム実現のため開発を進めました。開発では、適切な診断に触診が欠かせない整形外科領域における前腕および手関節の疼痛(とうつう)や関節異常診断に対象を絞り、遠隔触診を行うためのデバイス開発とシステム構築を行い、医師による実証試験を進めた結果、有効な遠隔触診が可能であると明らかになりました。

開発したデバイスを用いて、名古屋大学と大学間学術交流協定を結ぶシンガポール国立大学の協力を得て、名古屋大学医学部附属病院とシンガポール国立大学病院を結ぶ、国境を越えた遠隔触診公開デモンストレーションおよび、その内容を報告する国際シンポジウムを行います。

1. 開発の背景と成果

COVID-19のパンデミック(世界的大流行)により急激に社会に浸透したオンラインシステムは、皮肉なことに人同士が直接会うことの重要性、楽しさを浮き彫りにしました。これは医療分野でも同様で、遠隔触診には利便性はあるものの、患者に直接触れられない難しさを露呈し、正確な診察への大きな課題となっていました。このような背景のもと、2021年度から本事業^{※1}の一環として、名古屋大学、豊田合成は、CRの実現による遠隔触診システム開発に取り組んでいます。

脳神経科学に基づく触診の位置づけや患者への影響を理論的に検証するフェーズを経て(図1参照)、人の肌と同様な物質特性を持つ触覚伝送アクチュエータ(e-Rubber^{※2})や、医師の触診意図に基づいて適切に患者に触れることのできる触診マニピュレータ、超小型6軸力覚センサー6個とe-Rubberセンサーを指先サイズに統合し繊細な触圧を計測可能な指先統合センサー、医師の触診意図を計測可能なHaptic I/O Doll、医師の存在感を増すための透明ディスプレイなどを利用し(図2参照)、医師が的確に遠隔触診できるシステムを構築しました(図3参照)。

このデバイスをCES2024^{※3}に出展し、システムの完成度や将来性に対し多方面から好意的なご意見をいただきました。その後名古屋大学大学院医学系研究科の生命倫理審査委員会の承認を得て、2024年11月からは名古屋大学医学部附属病院の医師による実証試験を開始しています。(図4参照)。

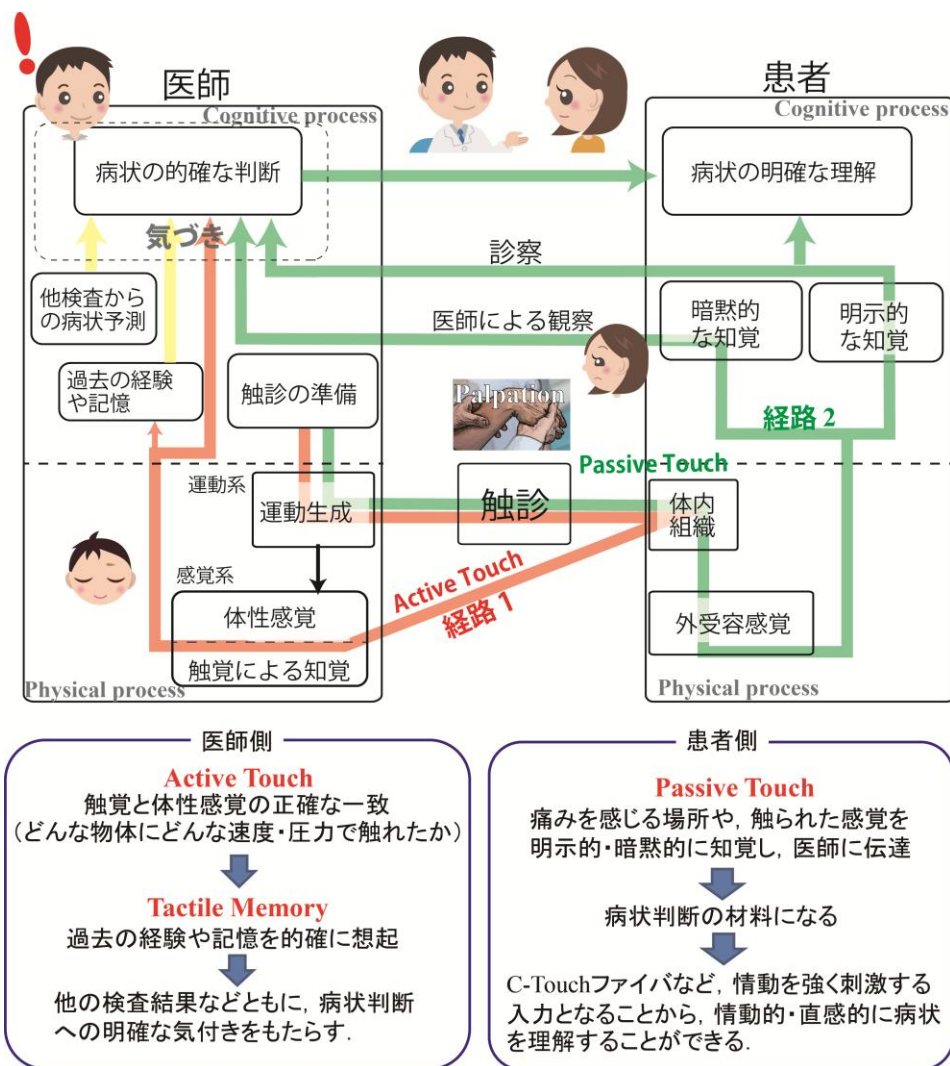


図1 触診の医師および患者への影響の脳神経系に基づく検討

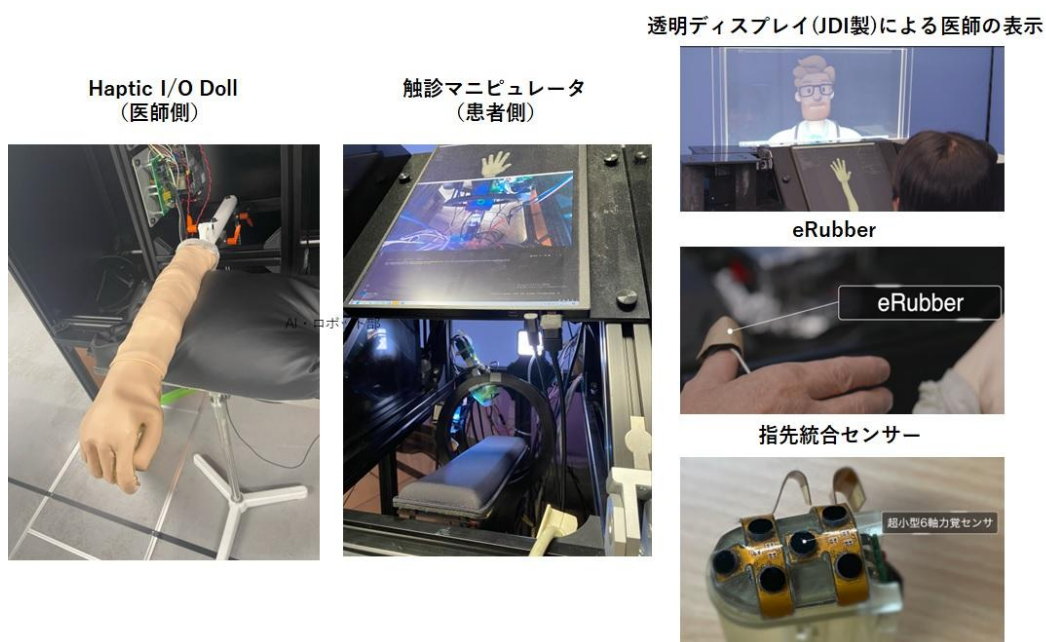


図2 遠隔触診システムの構成要素



図3 CES2024で展示した遠隔触診システム

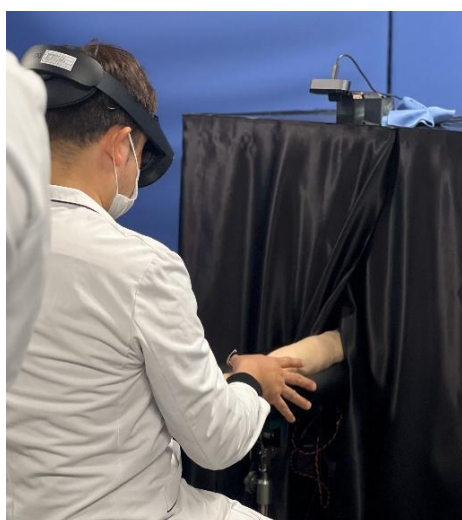


図4 提案システムを用いた実証試験の様子(左・医師側、右・患者側)

2. シンガポール国立大学病院との実証試験について

名古屋大学医学部附属病院内での実証試験により、テニス肘などの前腕および手関節の疼痛や関節疾患が十分に診断可能であることが実証されたため、シンガポール国立大学病院 (NUH) Department of Hand and Reconstructive Microsurgery (<https://www.nuh.com.sg/care-at-nuh/specialties/hand-and-reconstructive-microsurgery>) の協力を得て、名古屋—シンガポール間を結んだ実証試験を実施します。NUHの医師の協力による実証試験を2月27、28日に行い、その成果や遠隔触診システムのデモンストレーションを含む国際シンポジウムを3月1日に開催します。

3. シンポジウムスケジュール

2025年3月1日(土)午前11時～午後2時まで

(シンガポール時刻: 午前10時から午後1時)

シンポジウム形式: ハイブリッド

[名古屋会場][シンガポール会場](いずれも招待者のみ)

[Zoom Webinar]右記QRコードもしくは下記URLより参加申し込み

https://zoom.us/webinar/register/WN_ch1R_80NT02mh3nT7mzt9g



4. 今後の予定

名古屋大学は、実際の臨床現場へ遠隔触診システムの投入を目指し、新技術の価値を国際的に訴求します。また地方都市の新しい医療サービスの創造と地域の成長に貢献することを目指して活動します。

【注釈】

※1 本事業

事業名: 人工知能活用による革新的リモート技術開発プロジェクト

事業期間: 2021年度から2024年度

委託先: 名古屋大学、豊田合成

事業概要: 人工知能活用による革新的リモート技術開発 https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100194.html

※2 e-Rubber

豊田合成が開発した次世代ゴム製品。ゴムを2枚の電極で挟んだ薄い膜構造のセンサー・アクチュエーターのことです。参照

URL: 豊田合成技術・製品情報e-Rubber

https://www.toyodagosei-led.jp/technology_products/e-rubber/

※3 CES2024 (Consumer Electronics Show 2024)

毎年1月にアメリカ ネバダ州ラスベガスで開催される電子機器の見本市のことです。

5. 問い合わせ先

(本ニュースリリースの内容についての問い合わせ先)

NEDO AI・ロボット部 AI共進化・リモートチーム 担当: 外村、津波古 TEL: 044-520-5241

名古屋大学大学院医学系研究科 代表者: 下田 真吾 TEL: 052-744-2957

E-mail: [sshimoda\[*\]ieee.org](mailto:sshimoda[*]ieee.org)

シンガポール国立大学病院 代表者: Sandeep Jacob Sebastin Muttath

E-mail: [sandeep_sebastin\[*\]nuhs.edu.sg](mailto:sandeep_sebastin[*]nuhs.edu.sg)

(その他NEDO事業についての一般的な問い合わせ先)

NEDO 経営企画部 広報企画・報道課 TEL: 044-520-5151 E-mail: [nedo_press\[*\]ml.nedo.go.jp](mailto:nedo_press[*]ml.nedo.go.jp)

E-mailは上記アドレスの[*]を@に変えて使用してください。

※新聞、TVなどで弊機構の名称をご紹介いただく際は、“NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)”または“NEDO”のご使用をお願いいたします。

NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)

国立研究開発法人産業技術総合研究所

国立大学法人京都大学

国立大学法人東京大学

セイコーエプソン株式会社

株式会社エブリハ

遠隔でリハビリテーションができる社会の実現に向けて 世界初の上肢・肩甲骨運動オープンデータセットを公開しました ーリハビリ事業者など民間企業のコミュニティ形成で市場開拓を目指すー

NEDOが進める「人工知能活用による革新的リモート技術開発事業」(以下、本事業)において、国立研究開発法人産業技術総合研究所(産総研)、国立大学法人京都大学、国立大学法人東京大学、セイコーエプソン株式会社、株式会社エブリハは、このたび、遠隔でリハビリテーションができる社会の実現に向けて、上肢・肩甲骨運動に特化した世界初のオープンデータセットを公開しました。

本事業では、リハビリ利用者がリハビリやトレーニングを継続する上で直面するさまざまな課題に着目し、各リハビリプロセスを遠隔で実現するリモート技術基盤のプロトタイプの開発を進めてきました。その中で、産総研において、理学療法士の資格を有する専門家と研究者が、脳卒中片麻痺検査や肩関節周囲炎(いわゆる五十肩など)のリハビリに用いる上肢および肩甲骨の関節運動を18種類選定し、生命倫理委員会の承認を経て、20人の健常者のモーションキャプチャデータを計測しました。計測したデータはオープンデータセットとして公開し、大学・研究機関、リハビリ事業者をはじめとする民間企業などとのコミュニティ形成と市場開拓を目指します。

今後は、産総研が主体となり、本データセットを活用して運動評価用AIの性能向上を進めていきます。また、本データセット公開に加え、リモート技術基盤における各機能の実装面での標準化、互恵ケアなどの各種使用ガイドラインの公開と精緻化などにも取り組むことで、遠隔XRリハビリをより使いやすく、魅力的なものにし、普及における課題解決に貢献します。

1. 背景

オンラインビデオ通話形式や非没入型VRを活用した遠隔リハビリ事業が増加し、XRリハビリも海外で進展していますが、遠隔とXRを両立させた事例は国際的にも多くありません。この理由として挙げられているのは、ヘッドマウントディスプレイなどのXR機器の装着やリハビリアプリの使用感、メタバースへの参加といった利用体験が、ユーザーの期待する価値を十分に満たせていないことです。さらに、遠隔化によってトレーナーや医師、看護師などの存在感が希薄になったり、実際の疾患を持つリハビリサービス利用者(患者を含む)の精緻な心身機能のアセスメントが困難になることで、運動訓練継続の動機付けが難しくなることも大きな課題でした。

このような背景の下、2021年度から本事業^{*1}の一環として、産総研、京都大学、東京大学、セイコーエ

18種の上肢・肩甲骨運動

1. 肩の屈曲、伸展（90度まで）
2. 肩の屈曲、伸展（最大可動域まで）
3. 肩の外転、内転（90度まで）
4. 肩の外転、内転（最大可動域まで）
5. 肩の水平外転、内転
6. 肩の外旋及び内旋（1st位）
7. 肩の外旋及び内旋（2nd位）
8. 肩の外旋及び内旋（3rd位）
9. 肘の屈曲、伸展
10. 前腕回内、回外（肘90度屈曲位）
11. 前腕回内、回外（肘伸展位）
12. リーチング動作（内側）
13. リーチング動作（前方）
14. リーチング動作（外側）
15. 膝から耳の真横へ手を移動させる動作
16. 手を腰の後ろに触れる動作
17. 手を後頭部に触れる動作
18. 机を布巾で拭く動作

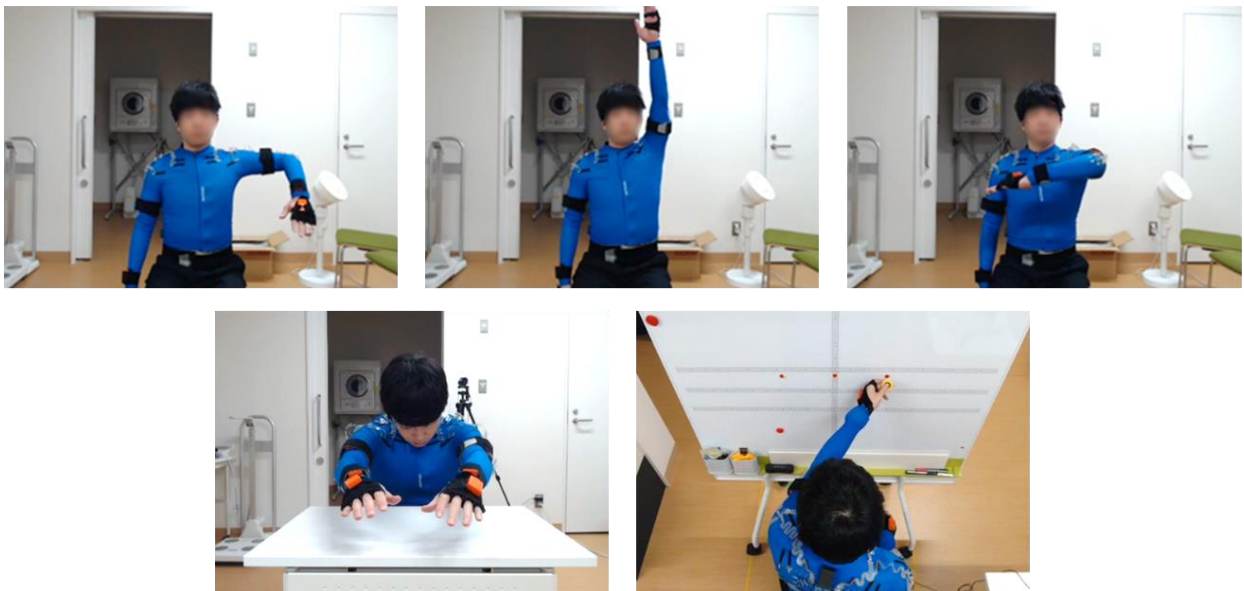


図2 18種の上肢・肩甲骨運動オープンデータセットと一部イメージ

3. 今後の予定

本データセットに含まれる高性能なIMU※⁸で計測されたモーションキャプチャデータに加えて、MR³ウェアに組み込まれたひずみセンサ群の計測データも同時に収集されており、それらを合わせて運動評価用AIの性能向上を進めています。また、産総研が主体となり、本データセットの公開を起点とした大学・研究機関、リハビリ事業者をはじめとする民間企業などとのコミュニティ形成を通じて、遠隔XRリハビリに関する共創的な研究開発促進、市場開拓への貢献を目指します。さらに、メタバースでのアバター制御やハンドリダイレクションの実装を容易にするための標準化、互惠ケアを含む各種使用ガイドラインの公開と精緻化などにも取り組むことで、遠隔XRリハビリをより使いやすく、魅力的なものにし、普及における課題解決に貢献します。

【注釈】

※1 本事業

事業名：人工知能活用による革新的リモート技術開発プロジェクト

事業期間：2021年度～2024年度

委託先：産総研、京都大学、東京大学、セイコーエプソン、エブリハ

事業概要：人工知能活用による革新的リモート技術開発 https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100194.html

※2 多感覚XR-AI技術基盤

初診、運動訓練の実施、常時モニタリング（見守り）、再診の各ヘルスケアプロセスの遠隔化を実現するために、XRおよびAIを活用した視覚・聴覚・触力覚提示、ウェアラブルデバイスによる心身状態把握などの各機能を提供するための技術基盤です。NEDO「人工知能活用による革新的リモート技術開発」<https://unit.aist.go.jp/harc/nedo-xrai-healthcare/>

※3 互恵ケア

他の患者・利用者と共同で運動訓練を行うことで、お互いの良い影響を与えあい、訓練の継続性を高める手段です。主に、提供者が不在の状況を想定しています。

※4 ハンガー反射

針金ハンガーをかぶると頭が回ってしまう現象のことです。ハンガーからの圧迫によって発生する皮膚の横ずれが重要な役割を果たします。この皮膚の横ずれを適用すると、手首・肘・足首・膝・腰などでも類似現象が発生することがわかっています。

※5 MR³

Multi-Modal Mixed Reality for Remote Rehabの略称です。エムアールキューブと読みます。

※6 リダイレクション

アバターの動きを変換して提示し、「これまでよりもうまく動けた」などの錯覚を生じさせる手法です。

※7 人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針

令和3年3月23日、文部科学省、厚生労働省、経済産業省

https://www.mext.go.jp/lifescience/bioethics/files/pdf/n2373_01.pdf

※8 IMU

慣性計測装置のことで、加速度センサ、ジャイロセンサなどで構成され、装置自体の動き（姿勢や移動ベクトル）を計測できます。

4. 問い合わせ先

（本ニュースリリースの内容についての問い合わせ先）

NEDO AI・ロボット部 AI共進化・リモートチーム 担当：外村、西尾、津波古

TEL：044-520-5241 Email：project-remote[*]nedo.go.jp

産総研 ブランディング・広報部 報道室 E-mail：hodo-ml[*]aist.go.jp

京都大学 大学院医学研究科人間健康科学系専攻

TEL：075-751-3952 E-mail：aoyama.tomoki.4e[*]kyoto-u.ac.jp

東京大学 大学院情報理工学系研究科 広報室 TEL：080-3440-9757

セイコーエプソン 担当：技術開発戦略推進部、ソリューションビジネス推進部

E-mail：info.mtracer[*]exc.epson.co.jp

エブリハ 担当:成瀬 TEL:075-200-6732

(その他NEDO事業についての一般的な問い合わせ先)

NEDO 経営企画部 広報企画・報道課 TEL:044-520-5151 E-mail:nedo_press[*]ml.nedo.go.jp

E-mailは上記アドレスの[*]を@に変えて使用してください。

※新聞、TVなどで弊機構の名称をご紹介いただく際は、“NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)”または“NEDO”のご使用をお願いいたします。

News Release

2024.12.16

NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）

国立大学法人東京大学

国立研究開発法人産業技術総合研究所

イームズロボティクス株式会社

リモートでオペレーターが安全かつ迅速に現場の状況把握ができる 革新的なドローン運用技術を開発しました —危険性・緊急性を有する警備分野・災害現場などでのドローンの利活用に貢献—

NEDOが進める「人工知能活用による革新的リモート技術開発プロジェクト」（以下、本事業）において、国立大学法人東京大学大学院工学系研究科（東京大学）、国立研究開発法人産業技術総合研究所（産総研）、イームズロボティクス株式会社、株式会社NTTドコモは、リモートでオペレーターが安全かつ迅速に現場の状況把握ができる革新的なドローン運用技術（以下、革新的ドローンリモート技術）を開発しました。

革新的ドローンリモート技術は、危険性・緊急性を有する現場の迅速な状況把握が要求される警備分野や消防・防災分野において、1人のオペレーターが自律分散協調飛行するドローン群の運用による高度な調査活動を可能にします。具体的には、複数台のドローンで撮影した高解像度映像やLiDARセンサーから得られた情報を統合処理することにより、現場の状況を即座にデジタル空間上に再現します。

2024年10月16日～18日および12月4日～6日に福島ロボットテストフィールド（福島県南相馬市・浪江町）において、警備業務を想定したシナリオに沿って本技術を実証し、オペレーターの安全を確保した上で迅速な初動対応の実現に貢献できる見通しを得ました。本事業終了後には、実用化に向けた開発・実証を進めます。これにより、あらゆる場面でドローンを活用できる社会の実現を目指します。



図 1 開発した革新的ドローンリモート技術のイメージ

1. 背景

近未来のスマートシティでは通信網で通信接続された複数台の遠隔ドローンを用いて、自律的またはリモート操作による防災、警備、点検などでの活用が想定されます。現状では防災や警備などの迅速な対応を要する現場でドローンを活用する場合、操縦者が近距離においてドローンからの映像を確認しながら1台のドローンを操縦し、操縦者あるいは補助者がドローンからの映像を見て被災状況の把握を行っていますが、労働力不足のなか高度なドローン運用が可能な多数の専門要員確保が課題となっています。飛行中に得られる映像からAIにより人などの状態を推定し、XRなどで提示された情報から、特に不審者や要救助者の識別が可能となれば、操縦者および補助者の負荷は大幅に軽減でき、安全かつ効果的なドローン運用と効率的な警備や救助活動などが期待できます。

このような背景の下、2021年度から本事業^{※1}の一環として、東京大学、産総研、イームズロボティクス、NTTドコモは、AI・XR活用による空のアバター^{※2}を実現する「革新的ドローンリモート技術」の研究開発に取り組んでいます。2023年度の消防・防災分野における実証実験^{※3}に引き続き、2024年10月および12月には福島ロボットテストフィールド(福島県南相馬市・浪江町)において警備分野における実証実験を行いました。

2. 今回の成果

(1) 革新的ドローンリモート技術の開発

開発した革新的ドローンリモート技術は、以下の要素技術から構成されています。

- 1) 複数台のドローンによるフォーメーション飛行、相互衝突回避、対象物上空旋回飛行を可能にする自律分散協調飛行技術^{※4}

【技術のポイント】機体間通信により他機体の衛星利用測位システム(GPS)位置・速度情報を逐次取得し、各機体における目標地点からの引力、他機体との引力、斥力、回転力などの合力を計算し、各機体が自律的に移動制御を行うことで協調的な飛行を実現しています。

- 2) 広角カメラ、LiDAR^{※5}センサー、環境センサー、920MHz機体間通信機能、LTE/5G通信機能、自律制御用コンピューターなどを搭載したLTE/5G搭載マルチセンサードローン

【技術のポイント】イームズロボティクス製ドローン「UAV-E6106FLMP2」をベースに、マルチセンサー、

各種通信機器、自律分散協調飛行アルゴリズムなどを搭載した機体を開発しました。自律分散協調飛行機能に、広角カメラ映像の高圧縮低遅延伝送、3次元カラー点群データの生成と伝送、ROS2システム^{※6}による機体間、機体・基地局間の情報伝達を可能としています。

- 3) 各ドローンからの高解像度映像を低遅延でクラウドに伝送し、クラウド上で要救助者や不審者を認識する人状態推定AI技術

【技術のポイント】NTTドコモが提供するクラウド(docomo MEC[®])上で、ドローン3台全周囲における人の検出、人物行動推定(要救助者、不審者など)のAI処理をリアルタイムに実現する技術を開発しました。

- 4) ドローンに搭載されたLiDARセンサーと可視カメラ画像による高速な3次元カラー化技術

【技術のポイント】飛行中の複数ドローンから地上をLiDARセンサーでスキャンし、GPS情報を併せて取得した点群をつなぎ合わせることで高精度な3次元の環境モデルを作成します。同時に、カメラからのカラー画像を用いてドローン搭載コンピューター上で点群のカラー化まで処理します。地上対象物の少ない環境、揺れの大きなドローンから安定した3次元カラー点群の生成を実現しています。

- 5) デジタルツインの環境^{※7}にオペレーターが没入し、全体俯瞰(ふかん)視点、ドローン搭載カメラ視点を切り替えながらXR提示^{※8}される現場の状況を把握可能な遠隔操作インターフェース技術

【技術のポイント】ドローンによる遠隔からの現場状況の把握において、本事業では現場のデジタルツインの環境を用意し、オペレーターがその中にヘッド・マウント・ディスプレイと仮想現実(VR)コントローラで没入することで、XR提示される各種情報(状態推定AIからの結果、環境センサー情報、ドローンの状態など)を俯瞰しながら確認できます。さらに仮想表示されたドローンを選択することでドローン視点(1人称視点)による遠隔操縦が可能なシステムを構築しています。

(2)革新的ドローンリモート技術によるドローン機械警備の実証

今回開発した革新的ドローンリモート技術の機械警備^{※9}への応用を検証するため、2024年10月16日～18日および12月4日～6日に、ALSOK福島株式会社の協力のもと、福島ロボットテストフィールドにおける従来の機械警備を拡張する3台のドローンを活用した警備運用シナリオ(図2①～⑦)に沿って、以下の実証を行いました。

- 1) 自律分散協調飛行技術による複数ドローンの自動巡回警備と相互衝突回避(図2①、②)
- 2) クラウド上人状態推定AIによる不審者の検出(図2③)
- 3) 複数ドローンによる死角のない不審者上空旋回自動追跡(図2④、⑤)
- 4) 遠隔操作インターフェースからの不審者モニタリング、ドローンの操作(図5)
- 5) 監視センターからの無線指示による警備員の現場への急行(図2⑥)
- 6) 遠隔操作インターフェースからの自動離着陸(図2⑦)

本事業で開発した要素技術の統合実証により、現場へ警備員が駆けつけるまでの間、急行した複数のドローンにより不審者を見失わず追跡するなどの迅速で安全な初動対応が可能であることを確認しました。



図2 ドローン3台を活用した機械警備運用シナリオ



図3 自律分散協調飛行ドローンの外観(左)、遠隔操作インターフェースからの自動離陸(右)



図 4 不審者上空旋回自動追跡の様子

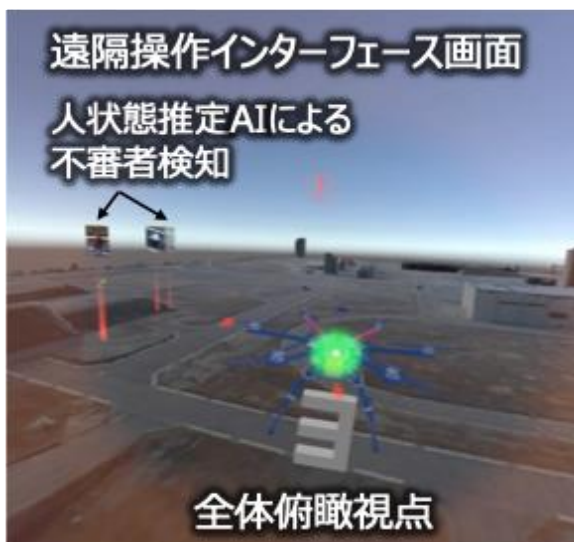


図 5 人状態推定 AI による不審者検知と全体俯瞰提示(左)、ドローン搭載カメラ視点からの映像(右)



図 6 3次元カラー点群データ生成の様子(左)、現場で作成された3次元点群モデル(右)

3. 今後の予定

本事業終了後、東京大学、産総研、イームズロボティクス、NTTドコモは、今回実証した革新的ドローンリモート技術によるドローン機械警備への応用に加え、災害現場といった危険性・緊急性を有する現場の状況把握が必要とされる分野での実用化に向けた開発・実証を進めます。これにより、オペレーターの安全を確保した上で、あらゆる場面でドローンを活用できる社会の実現を目指します。

【注釈】

※1 本事業

事業名：人工知能活用による革新的リモート技術開発プロジェクト

事業期間：2021年度～2024年度

委託先：東京大学、産総研

再委託先：イームズロボティクス、NTTドコモ

外部協力先：ALSOK福島

事業概要：人工知能活用による革新的リモート技術開発 https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100194.html

※2 空のアバター

「アバター」という言葉は、一般的にデジタルやオンラインの世界でのユーザーの分身や代理を表す言葉として使用されていますが、本事業では複数のプロペラを使って空を飛ぶ小型の航空機であるマルチコプター型ドローンに対して、オペレーターが遠隔からあたかも自分の分身のようにドローンを遠隔操作できる仕組みを開発しており、総じて「空のアバター」と呼んでいます。

※3 NEDO「革新的ドローンリモート技術」の研究開発（消防・防災分野への適用例）

紹介動画：NEDOドローンリモート「NEDO「革新的ドローンリモート技術」の研究開発」

<https://www.youtube.com/watch?v=ITfSzKwc7Nw&t=7s>

※4 自律分散協調飛行

複数の無人機（ドローンなど）が中央の司令塔なしに自律的に判断しつつ、機体間通信を介して相互に連携しながら分散的に飛行する技術です。本事業では、同じ目的地に向かって飛行するフォーメーション飛行、相互衝突回避機能、対象物上空旋回飛行、1人のオペレーターによる複数ドローンの群移動操作などを実現しています。

※5 LiDAR

Light Detection And Rangingの略で、レーザー光を照射して、その反射光の情報をもとに対象物までの距離や対象物の形などを計測する技術です。

（参考）産総研マガジン「話題の〇〇を解説 “LiDAR”とは？」 <https://www.aist.go.jp/aist/j/magazine/20220928.html>

※6 ROS2システム

ROS2 (Robot Operating System 2) は、ロボット開発用のオープンソースのプラットフォームで、複数のコンピューターやデバイスがネットワークで接続され、協力してロボットを制御できるように設計されています。本事業では、各ドローン搭載の制御用コンピューター、地上基地局の操作PC間で、ROS2システムによる情報連携を行っています。

※7 デジタルツインの環境

デジタルツインは、現実世界を仮想デジタル空間に再現した「デジタルの双子」を作り、仮想空間で現実の動きや状態をリアルタイムに再現することで、さまざまな分野で効率化やリスク管理を実現する技術です。本事業では、現場の環境をドローン搭載のLiDARとカメラにより高速に3次元化し、デジタルツインの環境として利用する技術を開発しています。

※8 XR提示

XRとはVR (Virtual Reality、仮想現実) やAR (Augmented Reality、拡張現実)、MR (Mixed Reality、複合現実) などの総称です。

本事業では、これらの技術を用いて情報や映像を提示することを指します。

※9 機械警備

「機械警備」とは、人の代わりに機械を使って建物や敷地を守る方法です。機械警備には、センサーやカメラ、警報システム、通信機器などの技術が使われ、建物内外の異常を検知して、警備員や管理者に知らせる仕組みが含まれます。

4. 問い合わせ先

(本ニュースリリースの内容についての問い合わせ先)

NEDO AI・ロボット部 AI共進化・リモートチーム

担当: 外村、西尾、丸山(彰) TEL: 044-520-5241

東京大学大学院工学系研究科 広報室

TEL: 03-5841-0235 E-mail: kouhou[*]pr.t.u-tokyo.ac.jp

産総研 ブランディング・広報部 報道室

E-mail: hodo-ml[*]aist.go.jp

イームズロボティクス 担当: 安田 TEL: 0492-93-4567

(その他NEDO事業についての一般的な問い合わせ先)

NEDO 経営企画部 広報企画・報道課 TEL: 044-520-5151 E-mail: nedo_press[*]ml.nedo.go.jp

E-mailは上記アドレスの[*]を@に変えて使用してください。

※新聞、TVなどで弊機構の名称をご紹介いただく際は、“NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)”または“NEDO”のご使用をお願いいたします。