

# 人工知能活用による革新的リモート技術開発 プロジェクト紹介



# はじめに

## ■プロジェクトリーダー (PL)

東京大学 先端科学技術研究センター 教授 原田 達也

コロナ禍を契機にリモートワークが広く普及し、その有用性が多くの方々に認識されました。現在、社会全体が新しい働き方やコミュニケーション手法を模索する中、リモート技術はさらなる可能性を秘めています。本プロジェクトでは、人と人、複数のドローンなどのマルチモーダル情報を活用してつなげる技術に取り組んできました。これにより、遠隔地での作業や診療が可能となり、これまで個人では困難だった目標にも挑戦できる可能性が広がります。



リモート技術は少子高齢化や労働力不足といった社会課題の解決にも寄与する一方、現状では臨場感や没入感の不足など、対面コミュニケーションとの差を感じる場面も少なくありません。これらの課題を解消し、技術をさらに発展させるためには、マルチモーダル情報の取得・送受信、状態推定・提示、そして効率的な伝送技術といった難題を解決する必要があります。

本プロジェクトでは、人工知能を活用した4つのテーマを基軸に、触覚伝達、遠隔診療、遠隔リハビリ、ドローンなど具体的な応用課題に取り組み、その成果を支える汎用的なコア技術を開発しました。これらの技術は多様なリモート化タスクに応用可能であり、未来の基盤技術となることを目指しています。

私たちは、本プロジェクトの成果が真に革新的な技術として、社会の課題解決や新たな価値創造に寄与するとともに、世界的なデファクトスタンダードとなることを期待しています。技術の実用化・事業化に向けて、利活用をお考えの企業や研究機関の皆様からのご連絡をお待ちしております。

## ■プロジェクトマネージャー (PMgr)

NEDO AI・ロボット部 専門調査員 外村 雅治

2021年2月にNEDOは、新型コロナウイルス感染症の拡大によって変わりつつある生活様式を見据え、利用が増加しているリモート技術の社会実装をさらに進めるための技術戦略を策定し、その検討結果をTSC Foresight「スマートテレオートノミー分野の技術戦略策定に向けて」として公表しました。その中で、スマートテレオートノミーは、(1) 遠隔操作に高い臨場感をもたらす高度なXR技術、(2) 遠隔操作時に把握が困難な相手の状況の伝達や周囲の人に対する安全かつ効率よい自律動作を実現するAIによる人の状態・行動推定技術、(3) 自律動作のレベルをAI技術の段階的適用により向上する部分自律化技術の組み合わせにより実現されると提唱しています。これらの技術により、種々の「制限下での活動」と「多様な働き方」を可能とし、労働人口減少にあっても日本の「競争力の向上」を図り、総合して全ての人の「QoLの向上」を図ることが達成したい将来像です。



本技術戦略を受け、例えば遠隔地にいる人や物をあたかも目の前にいるかのように認識することを可能にする革新的リモート技術にフォーカスしたプロジェクトとして、「人工知能活用による革新的リモート技術開発」事業を2021年7月から2025年3月までの期間で実施しました。本事業では、スマートテレオートノミーの3つの要素技術のうち「人間の状態・行動推定」と関わる「状態推定AIシステムの基盤技術開発」と、「高度なXR」と関わる「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」を開発項目として、「部分自律化」と親和性の高いリモート基盤技術を開発しました。開発にあたり、テーマを募集し、テーマごとに想定したユースケースにおいてシステムのプロトタイプを構築しながら、実証実験を通じて技術水準を高めました。本パンフレットには、各テーマの研究開発成果を掲載しております。ご覧いただきご興味を持たれましたら、お声がけください。皆さまの保有している技術との融合により新たな技術革新の進展につながりましたら幸いです。

# プロジェクト概要

## ■背景

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、労働集約的・対面主体である製造業やサービス業などにおける産業競争力の維持向上が喫緊の課題となっています。また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るなど、行動制限下でもいかに社会活動を継続するかについても大きな関心が寄せられています。一方、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ます。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います。



産業競争力の  
維持向上



行動制限下での  
社会活動の継続



多様な立場の  
人々の社会参加

## ■リモート化の現状

新型コロナウイルスの感染拡大による影響を受けて、リモート化のニーズは急速に高まりました。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ました。しかし遠隔地の状態が十分に把握でき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す。また労働集約的・対面主体の労働現場においては、既存の技術では人や物とのインタラクションに不可欠な情報が十分に伝達できないことからリモート化は十分に進んでいないのが現状です。



事務作業は一部リモート化も、効果は限定的

対人業務・現場業務は、リモート化が困難

## ■ リモート技術の課題

リモート環境を構成する要素を整理・俯瞰したとき、遠隔地で計測された情報が近傍者に伝達され、近傍者が状況を適切に認知し、取るべき行動を適切に判断することで、遠隔地に効果的に操作・介入できると考えられます。ここで計測分野においては、IoT機器やハプティック素子といった様々な高度なデバイスが実用化されつつあります。また操作・介入分野は日本が強みを持つロボット分野とも重なり、技術が著しく進展しています。一方で、労働集約的・対面主体の労働現場を含むあらゆる分野のリモート化を実現するためには、計測されたデータに付加価値を与え、それを近傍者に分かりやすく提示する技術について、更に研究開発を進めていく必要があります。



## ■ 実施内容

以上を踏まえて、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、「人工知能活用による革新的リモート技術開発」を委託事業として実施しました。本事業では、遠隔地の状態を推定することや、視覚・聴覚のみならず力触覚などの感覚も交えて効果的に相手に情報を認知させることによって、実際に遠隔地に向かう場合と同等以上に現場の状態を把握することが可能となる革新的なリモート技術の基盤確立を目指しました。研究開発項目として、人工知能（AI）で遠隔環境の状態を高度に推定する「状態推定AIシステムの基盤技術開発」、およびAIで情報を効果的に提示する「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」を設定しました。

事業期間	2021年度～2024年度
予算額	16.6億円
PMgr	外村 雅治（NEDO AI・ロボット部 専門調査員）
PL	原田 達也（東京大学 先端科学技術研究センター 教授）

## ■ テーマの紹介

### 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

国立研究開発法人産業技術総合研究所、オムロン株式会社、国立大学法人東北大学  
株式会社Adansons、国立大学法人筑波大学

### Contact Realityの実現による遠隔触診システム開発

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

### 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

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

### 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

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

## ■ 成果の波及

2035年度に社会のあらゆる場面でリモート化が実現することを見据えて、本事業期間においては、リモートの基盤技術が実用化研究に移行できる水準に達することを目標に決めました。4年間の短い期間にて実用も見据えた基盤技術を確立するため、それぞれの研究開発テーマにおいて、ユースケースを想定しつつ研究開発を進めました。

基盤技術の確立をプロジェクトの最終目標に置き、ユースケースを想定して研究開発を実施



確立した基盤技術が適用されて、プロジェクト終了後に社会のあらゆる分野がリモート化

## ■各テーマにおける主な成果の紹介

### 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

成果	期待される効果
世界最薄レベルのハプティック素子	超軽量・柔軟、小型機器へのハプティック機能（センサ機能も）付加が可能に。
感覚強調技術に基づいた振動体感の記録・再生システム	感覚強調や個人差補正技術によるリアルな体感の記録・再生で、臨場感のある体験が可能に。 手工技能の習得、指導、アーカイブ化が可能に。
体感ネゴシエーションシステム	非言語的で難しかった触覚の編集/抽出が、AIにより容易に可能に。
疑似心拍振動モデルによる情動の伝達	疑似心拍振動モデルを使って覚醒度や快・不快感を伝え、感情変化の伝達を可能に。スマートウォッチ・アプリで手軽に心拍共有も可能に。

- 国際的な展示会であるCEATEC2023、SXSW2023、AWE-EU2024、CES2025等に出席することで、国内外の企業にアプローチ。
- 東北大発のスタートアップ（2025年起業予定）を介して、複数企業との事業化検討始動。

### Contact Realityの実現による遠隔触診システム開発

成果	期待される効果
医師の触診意図に基づく遠隔での触圧の実現	Haptic I/O DollとMotion Capture Systemにより医師の触診位置と触圧の意図を読み取り、患者側に設置された触診マニピュレータと指先統合センサ（6力覚センサ6個を搭載した触覚センサ）を用いて患者に応じた調整を行うAIを用いることで、個々人に応じて医師の意図通りの位置・触圧を実現可能になった。
同時性制御に基づく触覚伝送	指先統合センサから得られる患者の触圧情報を、皮膚の物理特性に近い特徴を持つゴム製の振動アクチュエータ（e-Rubber）を用いることで、医師にフィードバックする。加えて、伝送遠隔による視・聴・触覚情報の遅延をAIにより調整することで、適切な触圧の調整が可能になった。
Contact Realityに基づく遠隔触診システム	上記の触診位置と強さの調整AIシステムに加え、触診を行いながら医師と患者が円滑にコミュニケーションし、触圧を加えた際の症状や痛みの変化を伝えたり、対面では実現が難しいエコーと神経伝達速度の計測を組み合わせたシステムを実現することで、医師の直感的な病状理解と患者からの信頼感を増す診察システムが可能となった。

- **2024年1月**：CES2024(Consumer Electronics Show 2024)に出展し、アメリカの大学や企業等が訪れて、システムの完成度や将来性に対し多方面から好意的なアドバイスをいただいた。
- **2024年10月**：80組以上の外科医による遠隔触診システムの臨床試験が行われた。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付属病院の医師による実証試験が開始された。
- **2025年3月**：名古屋大学から約5,000Km離れたシンガポール国立大学（NUH）と遠隔触診システムを用いた実証試験を2月27日から3月1日の3日間にわたって実施した。医師側をシンガポールに、患者側を名古屋に設置し、遠隔触診を行えることを実証した。

## 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

成果	期待される効果
高感度・低ヒステリシスなひずみセンサ群と空気圧アクチュエータを備えたMR <sup>3</sup> ウェア	姿勢や形状の変動の計測や力覚の提示が可能に。表面に圧力分布センサを備えたMR <sup>3</sup> マネキンにより触力覚情報の入力も可能。
上肢・肩甲骨周りの関節運動18種類のオープンデータセット	オープンデータセットを活用するコミュニティを形成し、遠隔リハビリサービスの発展・普及に寄与。
VR空間内で他の患者・利用者とリハビリ運動ができる互恵ケア	遠隔にいる患者・利用者同士と一緒に運動訓練を行うことで継続性を高めることが可能に。
低消費電力な小型デバイスによる常時モニタリングおよび心的状態予測AI	活動量等の常時計測と、データ履歴に基づく機械学習により、その時々的心情価・覚醒度の予測が可能に。

➤ **2023年11月**：「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」を東京大学工学部にて開催。

## 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

成果	期待される効果
ビル火災・警備分野をユースケースとした運用構想 (ConOps: Concept of Operations) および革新的ドローン防災利用・警備利用のガイドライン	想定ユースケースにおける実用化・事業化の課題・開発要素の抽出、社会実装に向けた取り組みに寄与。
革新的ドローンリモート技術を構成する技術群 - 複数台自律分散フォーメーション飛行技術 - LTE/5G搭載マルチセンサードローン - クラウドを活用した人状態推定AI技術 - LiDAR SLAMによる高速環境3次元カラー化技術 - デジタルツインを活用した遠隔操作インターフェース技術	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可能に。あらゆる場面でドローンを活用できる社会の実現に貢献。

➤ **2024年12月**：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の公開実証。

# 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

## 背景と狙い

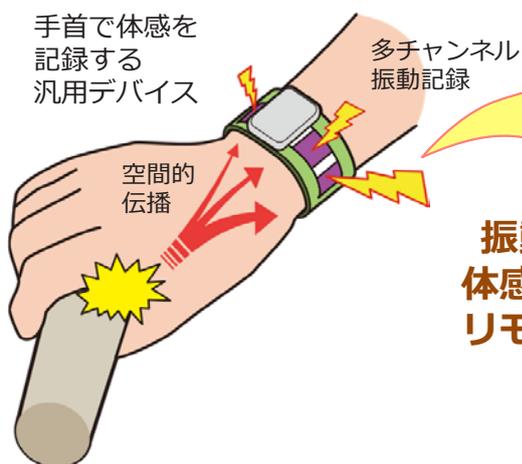
リモート会議や動画コンテンツにおいて、映像と音声に合わせて触覚情報を伝えることで、リモート技能教育や診断における体感の識別や学習、動画配信者の情動の演出や共感、さらには存在感までもが伝達されることが明らかになってきています。しかし触覚情報の伝達技術は未だ普及の途上にあると言えます。その理由として、映像のカメラ・ディスプレイ、音声のマイク・スピーカーのように、触覚の記録と再生を双方向に行うデバイス技術が確立されていないことが挙げられます。

本研究では、小型なデバイスで触覚表現が可能な振動触覚に注目し、世界最薄の極薄圧電MEMS素子を手首周囲に接触させて空間的な振動触覚の記録と再生が可能なウェアラブルデバイスを開発します。また、記録した振動を分解してノイズ除去、振動触覚成分への強調処理、心拍情報をデフォルメして振動触覚波形を生成する参照系AI-ISMソフトウェア技術を開発します。このようなデバイス、ソフトウェア技術を融合した極薄ハプティックMEMSによりリアルな体感、情動、存在感をリモート伝達する基盤技術を確立します。

## 取組み内容

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

極薄ハプティックMEMS (産総研・オムロン)  
⇒振動の記録・再生ができる極薄MEMS素子

参照系AI (Adansons)  
⇒多ch極薄MEMS素子の振動を分解・特徴抽出

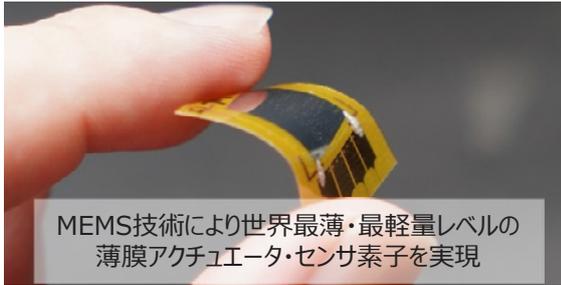
体感振動の強調・変換技術“ISM”(東北大)  
⇒高周波振動をリアルに再現する触覚強調技術

ソーシャルシグナルの可触化 (筑波大)  
⇒情動を表現する体感のデフォルメ生成

## 成果物と期待される効果

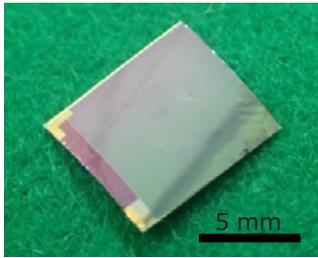
### “世界最薄レベル”ハプティック素子

極薄MEMS技術・FHE技術により、超軽量(約50 mg)なフィルム状振動デバイスの作製に成功しました。またこの振動デバイスは柔軟性があるため、筐体の曲面などに隙間なく貼り付けることができます。

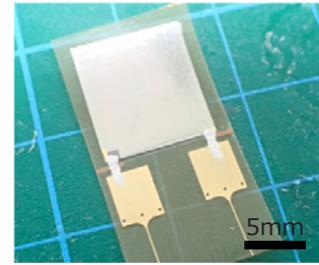
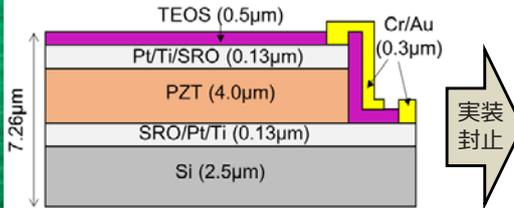


#### 期待される効果

- 超軽量・低背・柔軟なため、小型機器へのハプティック機能の付与。
- 非共振駆動のため、多彩な振動刺激を再生。
- 後段回路変更により振動センサにも。



極薄圧電薄膜アクチュエータ



フィルム状振動デバイス

### 手軽にリアルな振動体感を記録・再生する技術

広帯域の振動体感信号の感覚強調技術により、従来よりもリアルな体感を記録・再生する技術を開発しました。技能に関する触覚情報をリアルタイムで伝達・可視化したり、体感付き動画をスマホで配信することができます。体感是他チャンネルの振動を記録/再生する腕輪型デバイスで手軽に共有できるようになりました。

#### 体感の記録

手首で体感を  
ハンズフリー記録



- リアルタイムに知覚量を算出
- 音響信号の触覚変換も可能



#### 体感の再生・可視化

視聴覚+振動による体験



- 触覚知覚量の定量化
- 個人差を考慮した調整
- 体感の統合技術



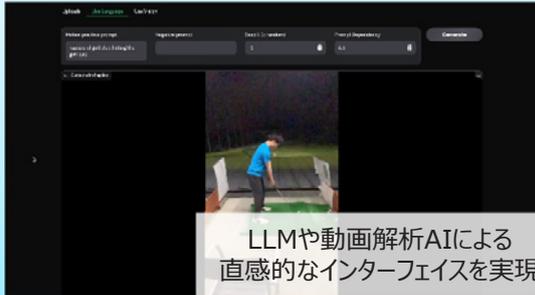
期待される効果：●リアルな体感を記録・再生できるため、臨場感のある体験が可能に。●技能習得や遠隔指導の精度向上に寄与。●腕輪型デバイスにより手軽な体感共有を実現。

## 成果物と期待される効果

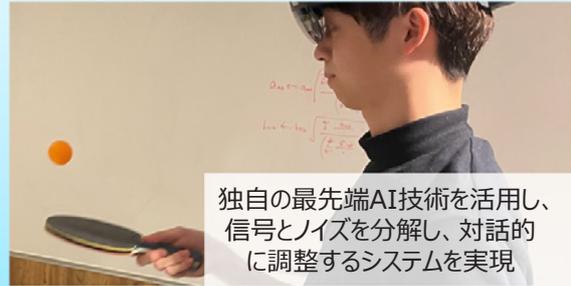
### 体感ネゴシエーションシステム

- 人間とAIが双方向に“ネゴシエーション”し信号抽出を行うソフトウェアを開発
- 動画から狙った音声信号のみを自動抽出する、LLM x 動画解析AI x 独自信号抽出AIを活用したAIシステムを開発

#### 触覚編集/抽出インターフェイス



#### 体感ネゴシエーションシステム



#### 期待される効果

- 人とAIが相互に“ネゴシエーション”しながら、自然言語や動画解析、あるいは任意のタイミングを起点に触覚信号とノイズを分解し、狙った触覚のみを強調することが可能に。
- これまで非言語的で難しかった触覚の編集/抽出が、AIにより非常に容易になる。

### 振動による情動の伝達

#### 感情を二次元で表す疑似心拍振動モデル

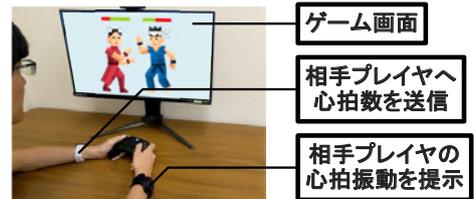
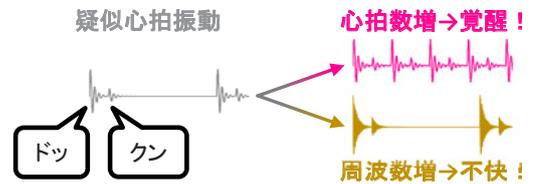
従来の心拍数変化による覚醒度表現に加え、周波数変化で快・不快も表現できるモデルを開発しました。この心拍を模した振動によって、ユーザの情動体験を強化します。

#### オンラインゲームでの相手の存在感の強化

相手プレイヤーの生体情報と疑似心拍振動モデルを組み合わせ、覚醒度や快・不快感をリアルタイムに共有します。離れていても強い一体感が得られるオンラインゲーム体験を提供します。

#### 心拍振動を共有するスマートウォッチアプリ

スマートウォッチを活用し、心拍振動を手軽に共有できるアプリを開発しました。エンタメ、スポーツ、アイドル産業等での新たなファン体験やトレーニング、コミュニケーションが期待されます。



- 期待される効果：●心拍を模した振動により、ユーザーの感情変化をリアルに体感。●心拍振動共有アプリにより、エンタメ、スポーツ、アイドル産業などで新たなファンとのつながりを創出。
- スポーツ分野でのパフォーマンス向上。

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

委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東北大学、国立大学法人筑波大学、オムロン株式会社（～2022年度まで）、株式会社Adansons

研究開発責任者：竹井 裕介（国立研究開発法人産業技術総合研究所）

委託期間：2021年7月～2025年3月

# Contact Realityの実現による遠隔触診システム開発

## 背景と狙い

COVID-19のパンデミックにより、人との接触が生命を脅かすリスク要因であることが明らかになった今、遠隔コミュニケーションの重要性は一層高まっています。特に遠隔診療は、今後の生活に不可欠な技術になってくるでしょう。しかし遠隔診療では、医師が患者に直接触れられないことが、対面診断と比較した際の大きな障壁であることが、これまでに分かっています。

では触診を遠隔で実現するためには、どのような情報を伝えればよいのでしょうか。触診の目的は、患部の硬軟や熱感などの状態を把握するためだけに行われているものではありません。もちろん、そのような情報は重要な診断基準ですが、患者に触れながら反応を見つつ、コミュニケーションをとるなど、触診の役割は多岐に渡ります。さらに医師が直接触れるという行為が、患者に安心感や信頼感といったものを生み、医師と患者の心理的な距離を縮めることで、診察をスムーズかつ的確に進めていくという触診の役割を無視することはできません。

すなわち触診の遠隔での再現とは、触れたことにより得られる情報を取得するのはもちろん、人同士が触れ合うことにより起こる心理的な効果も考慮に入れる必要があります。このような人同士の仮想空間での接触再現を、我々はContact Reality (CR)と呼び、本研究ではCRを利用した遠隔触診システムの実現を目指します。

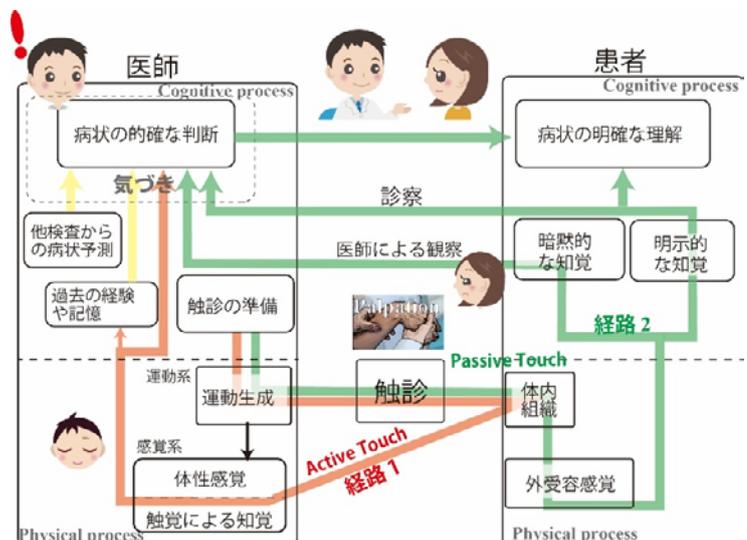
## 取組み内容

### 1. 触診の役割説明

触診は、どのように実現され、どのような役割を果たしているのでしょうか。上述の通り、触診には医師と患者の心理的距離を近づける役割もあります。このような役割は、人の触覚の特徴から来ています。

触覚から得られる情報は、過去の記憶を想起したり、情動を刺激したりすることが知られています。この特徴が、触診に重要な役割を与えています。下図は、普段の診療をもとに、医師と患者の触診における信号の流れを可視化したものです。医師は患者に触れた情報により、これまでの記憶・経験が想起され、触診以外の情報を統合して、患者の病状を明確に把握することができるようになります(下図の赤線)。

それに対し患者側は、医師に触られることで、病状を情動的・直感的に認識し、その状態を医師と共有することで、よりの確な病状判断が可能になります。加えて、そのような状態を共有することが、安心感や医師への信頼感の向上につながるのではないかと考えています。

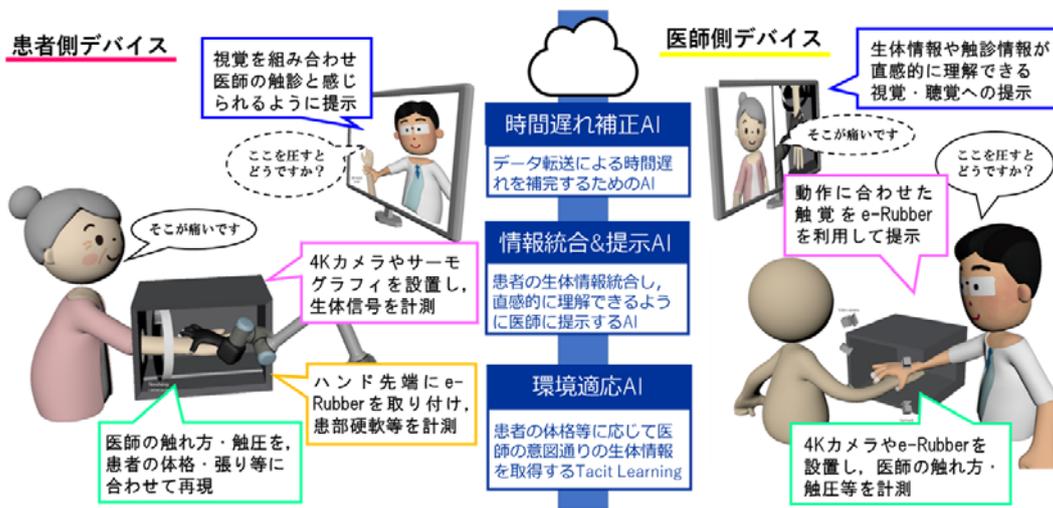


## 取組み内容

### 2. 4次元Boxの開発

前述の触診の役割に基づいた遠隔触診を実現するため、下図に示す「4次元Box」と呼ばれるシステムを開発します。本来触覚から得られる情報を利用する触診ですが、触覚には、感覚の時間のずれに非常に敏感という特徴があります。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くなってしまいます。そこで触診の役割を遠隔で実現するために触覚に限らず、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しています。

### 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



## 成果物と期待される効果

2024年度遠隔触診システムモデルでは、上腕骨外側上顆炎（テニス肘）の疾患を同定し、正しい診断ができるようになった。3N程度の触圧の調整、および2cm以内の特定箇所への触圧が可能となっている。



触診マニピュレータ（患者側）

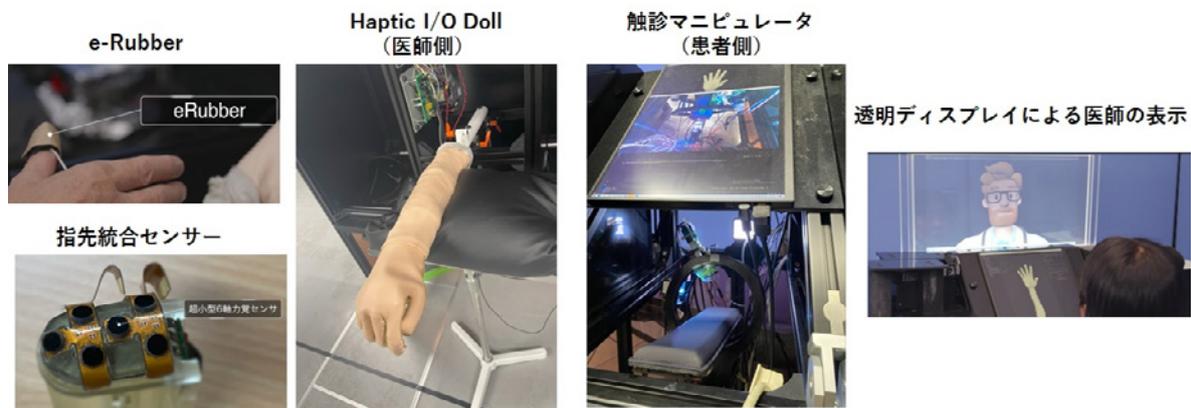


Haptic I/O Doll（医師側）

## 成果物と期待される効果

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、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）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、医師が的確に遠隔触診できるシステムを構築しました。（下図参照）

本システムでは、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。

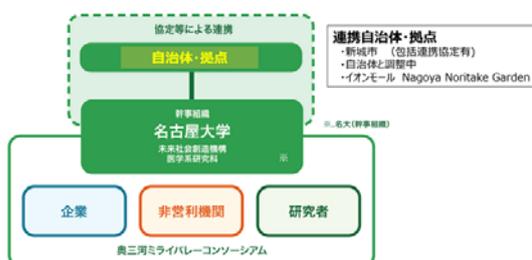


## 今後の実用化研究体制

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。

### 国内：他大学・自治体・企業との協力関係構築

### 国際連携：大学・他企業・団体との協力



・名大（幹事組織）と連携している自治体が抱く地域課題と、目標とするあるべき姿を、名大（幹事組織）が本コンソーシアム内で共有し、産学官民が連携した企画を検討・実施



シンガポール国立大学



東フィンランド大学

テーマ名：Contact Realityの実現による遠隔触診システム開発

委託先：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

再委託先：株式会社エムティーアイ、タッチエンス株式会社、株式会社資生堂、  
国立研究開発法人産業技術総合研究所

研究開発責任者：下田 真吾（国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学）

委託期間：2021年7月～2025年3月

# 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

## 背景と狙い

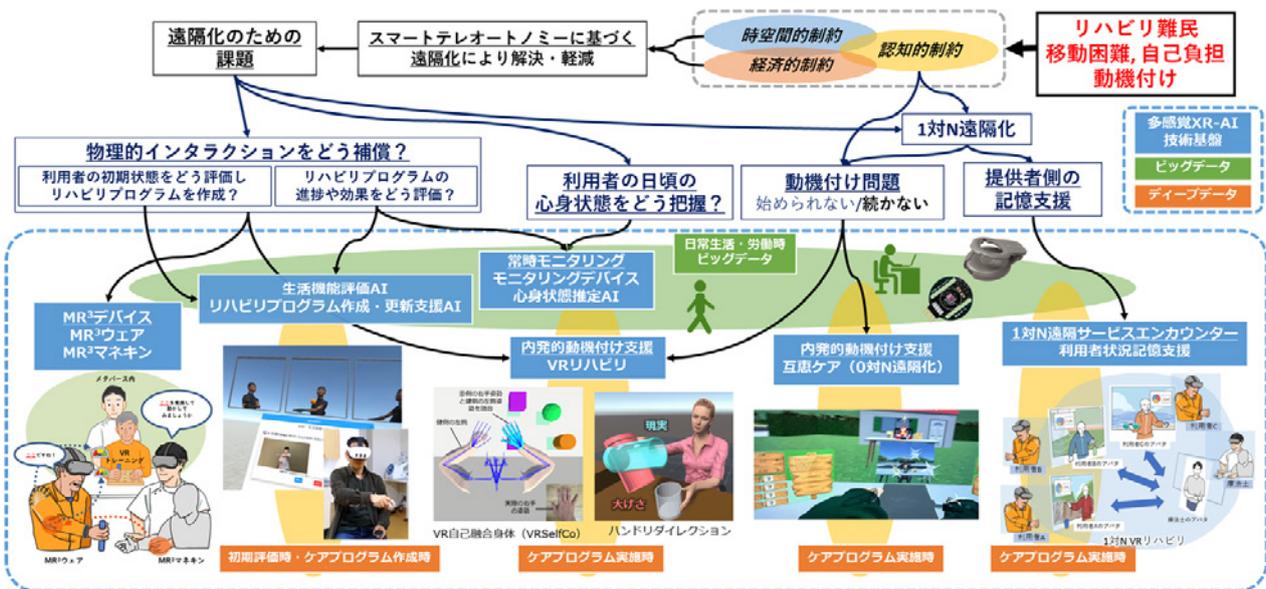
多くのヘルスケアサービスでは、時空間的、経済的、もしくは認知的制約に起因する諸問題が顕在化しています。主だったものだけでも、コロナ禍でのサービス受容の敬遠・遠慮を含む医療・介護・リハビリ難民、移動手段の不足、保険制度の制限などに伴う自己負担、利用者と提供者の数の不整合、サービスの質の格差、動機付けの不足などがあげられます。

本テーマでは、これらの問題を個別に扱うのではなく、相互に関連した問題群としてサービス工学的に捉えます。リハビリテーションと特定保健指導を対象とした場合、それらのサービスプロセスは、[A]初診（ケアプログラムの作成）、[B]運動訓練（ケアプログラム）の実施、[C]再診（ケアプログラムの進捗把握・更新）、[D]常時モニタリングの4つに整理されます。この各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・軽減することを、本テーマの主要な目的とします。

また、「1対N遠隔化」（少数の提供者と多数の利用者からなるサービスエンカウンター）で提供者が各利用者に迅速かつ適切に接するために要求される認知的負荷軽減支援や、「0対N遠隔化」（提供者不在）での互惠ケア（利用者同士での動機付け支援）についての実現可能性を探ることも目的としています。

## 取組み内容

ヘルスケアサービス（特にリハビリ）の各プロセスの遠隔化を実現するための多感覚XR-AI技術基盤モジュール群の構成要素として、①利用者の生活機能評価のためのMR<sup>3</sup>デバイス（ウェア、マネキン）、②心身状態推定のための常時モニタリングデバイス、③利用者の内発的動機付け支援や利用者状況記憶支援のための多感覚XRシステム、④VRに適したリハビリ・運動訓練プログラム、及び⑤それらを下支えするAIシステムの開発を推進します。



遠隔化で生じる問題と動機付け問題を解決するための多感覚XR-AI技術基盤

XR-AI: XR powered by AI、エクススレイ  
MR3: MultiModal Mixed Reality for Remote Rehab、エムアールキューブ

## 成果物と期待される効果

### ・ MR<sup>3</sup>デバイス

利用者の運動・ADL (Activities of Daily Living) 評価や遠隔多感覚インタラクションのためのMR<sup>3</sup> (Multi-Modal Mixed Reality for Remote Rehab) デバイスのうち、MR<sup>3</sup>ウェアは、利用者の上肢計測、および力覚提示を行うための着衣型装具です。高感度・低ヒステリシスといった特徴を備えた歪みセンサ群を肘や肩などの計測部位に配置し、姿勢や形状の変動に関する計測技術を開発しました。複数の空気袋を身体の対象部位に適切に配置し膨張させることで、ハンガー反射を誘発し、力覚錯覚を生じさせることが可能なことから、ハンガー反射デバイス (空気圧アクチュエータ) をMR<sup>3</sup>ウェアに組み込み、ユニークな力覚提示を実現しています。

MR<sup>3</sup>マネキンは、療法士が指示したい対象部位に関して、「ここを」や「ここからこっちに」といった発話と共に提示する触力覚情報を入力するためのツールです。マネキン表面に圧力分布センサを実装することで、どの部位をどの程度触っているかを計測することができます。



### ・ 上肢・肩甲骨運動オープンデータセットの整備

脳卒中片麻痺検査や肩関節周囲炎 (いわゆる五十肩など) のリハビリに用いられる上肢および肩甲骨の関節運動を18種類選定し、健全な上肢を有する協力者に参加いただき、20名のモーションキャプチャデータを取得しました。本データをオープンデータセットとして公開することで、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を形成し、遠隔リハビリサービスの発展・普及に寄与します。

#### 18種の上肢・肩甲骨運動

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



## 成果物と期待される効果

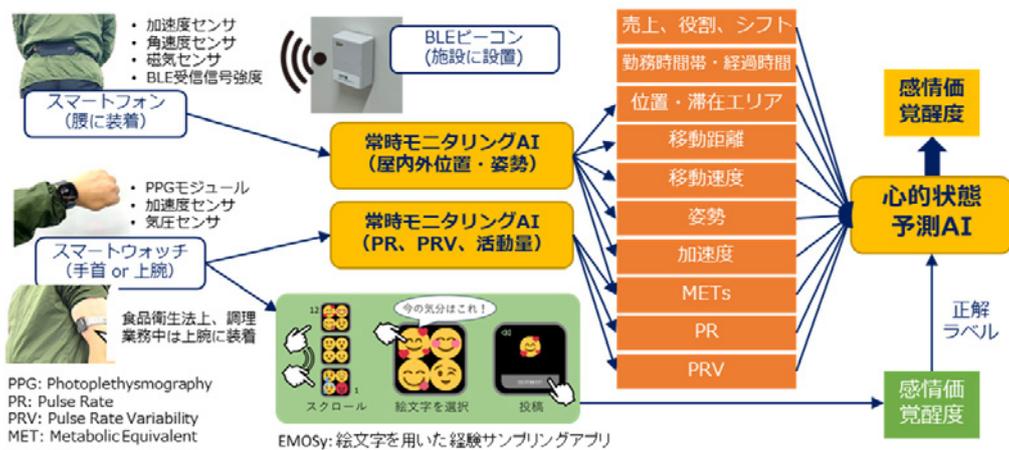
### • 互恵ケア

他の患者・利用者と一緒に運動訓練を行うことでリハビリの継続性を高める手法を「互恵ケア」と名付けました。五十肩のリハビリ用の単調な繰り返し運動を対象としたVRアプリを用いたゲーミフィケーションと他者の存在の影響に関する実証事例により、運動の継続を促す効果があることが検証されました。さらに、種類の異なる運動を実施している利用者間での「異種」互恵ケアにより、互恵ケアの利用者層を多様化・拡大しやすくなるため、ネットワーク外部性の効果が得られることが期待されます。



### • 常時モニタリング

活動量、脈拍 (PR)、脈拍変動 (PRV)、経皮的動脈血酸素飽和度 (SpO2) などの計測を低消費電力で実現できる特徴を持つ常時モニタリングデバイスを開発しています。スマートフォンでの屋内外測位、「気分」の経験サンプリング、及び各データ履歴に基づく機械学習による心身状態予測AIの開発も進められています。



テーマ名：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

委託先：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

研究開発責任者：蔵田 武志 (国立研究開発法人産業技術総合研究所)

委託期間：2021年7月～2025年3月

# 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

## 背景と狙い

本研究開発プロジェクトでは、社会的受容性の得られやすい有人地帯での防災、警備等においてAI及びXR技術を活用することにより、複数台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しています。

複数のドローンに分散して搭載するマルチセンサから得られるカメラ画像（可視、赤外、全方位）、LiDAR点群、音、ガス、GPS位置、姿勢、速度、方位などの外界・内界センサ情報を遅延なく高速に操作者に伝送・提示します。

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しています。

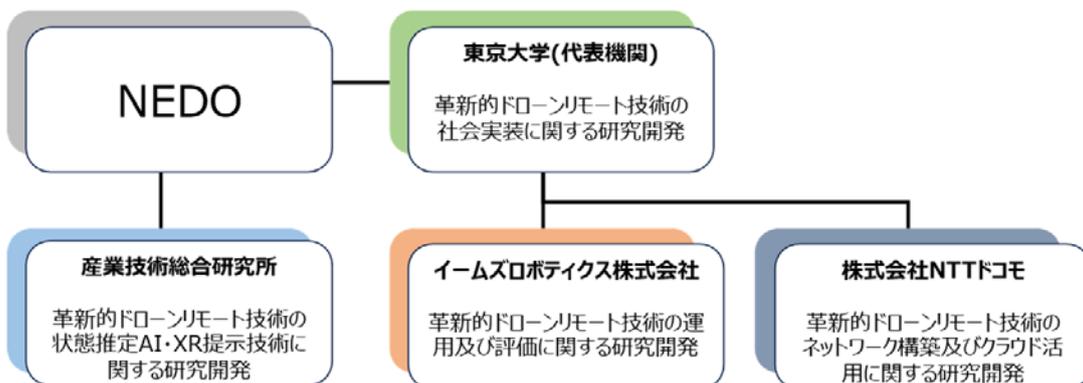
## 取組み内容

### プロジェクトの概要

防災、警備といった危険性・緊急性を有する現場状況を遠隔から把握する革新的ドローンリモート技術の研究開発



### 実施体制

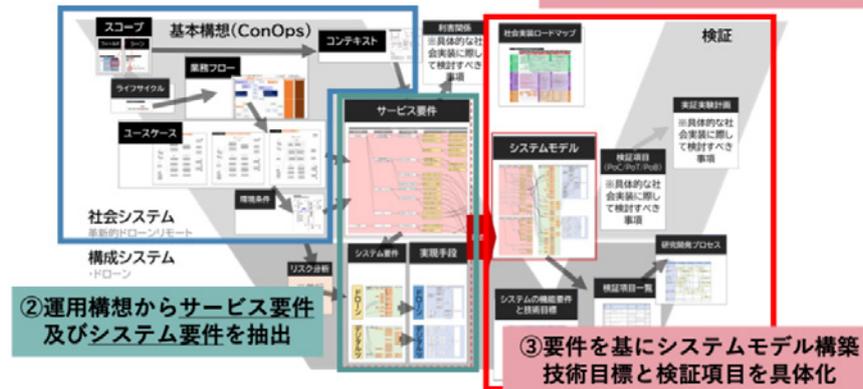


## 成果物と期待される効果

### ビル火災・警備分野をユースケースとしたConOps策定、システム要件の検討実施

①ビル火災、警備分野等をユースケースとした運用構想 (ConOps) を策定

④実証実験と検証結果を基に社会実装に向けた課題・計画と技術ロードマップを策定



- ・革新的ドローンリモート技術に関して、消防分野、警備分野におけるユースケースから運用構想をまとめ、サービス要件及びそれを実現するシステム要件を抽出
- ・運用構想⇒サービス・システム要件⇒システム構築・技術目標⇒実証実験・検証という研究開発手法を適用
- ・「革新的ドローン防災利用・警備利用のガイドライン」を策定

### 研究開発成果 「革新的ドローンリモート技術」

#### 複数台自律分散フォーメーション飛行技術

機体間通信により他機体のGPS位置・速度情報を逐次取得しながら、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、各機体が自律分散的に移動制御を行うことで協調的な飛行を行います。具体的には、複数台のドローンによるフォーメーション飛行、衝突回避機能、対象物上空旋回飛行、複数ドローンのワンマンオペレーションを実現しています。

#### LTE/5G搭載マルチセンサードローン

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 (LiDAR、広角カメラ、環境センサー、サーモカメラ等)、各種通信機器 (LTE・5G通信、920MHz機体間通信)、自律分散協調飛行アルゴリズムを搭載した機体を開発しました。

#### クラウドを活用した人状態推定AI技術

各ドローンからの高解像度映像を低遅延でNTTドコモが提供するクラウド (docomo MEC®) に伝送し、クラウド上で、ドローン3台全周囲における人・環境の検出、人物職業 (警察官、消防士など) 推定、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。

#### LiDAR SLAMによる高速環境3次元カラー化技術

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。

#### デジタルツインを活用した遠隔操作インターフェース技術

現場のデジタルツイン環境を用意し、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。

## 成果物と期待される効果

### 福島ロボットテストフィールドにおける実証試験の内容と成果

#### ビル火災を模擬した実証試験

2022年11月に福島ロボットテストフィールド市街地エリアにおいて、ビル火災模擬環境でのドローン3台を用いた遠隔情報取得の実証実験を実施しました。対象ビルまでの自律分散フォーメーション飛行、遠隔操作による火元の確認、人状態推定AIによる要救助者や煙等の検出と提示、3台ドローンのワンマンオペレーション、高速環境3次元化などビル火災現場における実運用性を確認しました。



#### 機械警備を想定した実証試験

2024年12月に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の公開実証を行い、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。



### 今後の展望

東京大学、産総研、イームズロボティクス、NTTドコモは、これまでに実証した革新的ドローンリモート技術によるビル火災現場、ドローン機械警備への応用に加え、土砂災害、地震被災地といった危険性・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利活用できる社会の実現を目指します。

テーマ名：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：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  
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  
研究開発責任者：土屋 武司（国立大学法人東京大学）  
委託期間：2021年7月～2025年3月



#### 国内拠点

##### ●本部

〒212-8554  
神奈川県川崎市幸区大宮町1310  
ミューザ川崎セントラルタワー（総合案内16F）  
TEL：044-520-5100（代表） FAX：044-520-5103

##### ●関西支部

〒530-0011  
大阪府大阪市北区大深町3-1  
グランフロント大阪 ナレッジキャピタル タワーC 9F  
TEL：06-4965-2130 FAX：06-4965-2131

#### 海外事務所

##### ●ワシントン

1717 H Street, NW, Suite 815  
Washington, D.C. 20006, U.S.A.  
TEL：+1-202-822-9298  
FAX：+1-202-733-3533

##### ●欧州

10, rue de la Paix  
75002 Paris, France  
TEL：+33-1-4450-1828  
FAX：+33-1-4450-1829

##### ●北京

2001 Chang Fu Gong Office Building  
Jia-26, Jian Guo Men Wai Street  
Beijing 100022, P.R.China  
TEL：+86-10-6526-3510  
FAX：+86-10-6526-3513

##### ●シリコンバレー

3945 Freedom Circle, Suite 790,  
Santa Clara, CA 95054 U.S.A.  
TEL：+1-408-567-8033  
FAX：+1-408-567-9831

##### ●ニューデリー

15th Floor, Hindustan Times House,  
18-20 Kasturba Gandhi Marg,  
Connaught Place,  
New Delhi 110 001, India  
TEL：+91-11-4351-0101  
FAX：+91-11-4351-0102

##### ●バンコク

8th Floor, Sindhorn Building Tower 2  
130-132 Wittayu Road, Lumpini  
Pathumwan  
Bangkok 10330, Thailand  
TEL：+66-2-256-6725  
FAX：+66-2-256-6727

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

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310 ミューザ川崎セントラルタワー  
Tel 044-520-5241 Fax 044-520-5243  
<https://www.nedo.go.jp>

April 2025 (初版)