

# 現実のインターネット

## IoT の先へ、人々の相互理解へ向けて

### Internet of Realities

#### Beyond IoT to Bridge Human Understanding

挑戦と機会

*Challenges and Opportunities*

Version 1.2 (日本語)



# 目次

## Contents

まえがき .....	2
序論: Internet of Realities (IoR) .....	4
IoR のユースケース .....	6
IoR 関連用語 .....	9
IoR における研究課題 .....	11
どのようにして人間の主観的な現実を計算機的にモデル化し、表現できるのか? .....	12
どのようにして多様な現実を体験し、人間の認知を拡張するための没入的で直感的なプラットフォームを構築できるのか? .....	15
どのようにして異なる現実をつなぐための、安全で信頼に基づいたネットワークを設計できるのか? .....	17
どのようにして新しい社会的相互作用のかたちを創出し、重要な社会課題の解決や相互理解の促進を実現できるのか? .....	20
どのようにして人間のアイデンティティと尊厳を保護しながら、IoR の倫理的な発展とガバナンスを確保できるのか? .....	25
IoR 参照アーキテクチャ .....	27
引用文献 .....	29
謝辞 .....	30

# まえがき

## Preface

私たちはいま、矛盾に満ちた時代を生きています。「世界をかつてないほどつなげる」と期待された情報技術は、人と人、社会と社会を結びつける大きな力をもってきました。しかし同時に、その利用のされ方や情報環境のあり方によっては、人々の認識の隔たりを広げ、社会的な分断を助長してしまうこともあります。高度なアルゴリズムに支えられた情報の流れは、ときに極度に個別化された「エコーチェンバー」を生み出し、理解の断絶を加速させます。客観的には誰もが同じ「事実」の世界に生きているはずであっても、その受け止め方としての主観的な「現実」は、しだいに相容れないものとなり、ときに鋭く対立するようになっています。一人ひとりの人生経験や文脈に根ざした現実、すなわち事実の解釈の分断は、共感や協働の基盤そのものを揺るがしかねません。

この課題に応えるため、本ホワイトペーパーでは新たなパラダイムとして Internet of Realities (IoR、現実のインターネット) を提案します。IoR は、モノや事実をつなぐ IoT (Internet of Things) の先にある構想として、人・集団・社会それぞれの「現実」同士をつなぐ信頼可能な基盤を築こうとするものです。IoR の目的は、「唯一の絶対的な真実」を押し付けることではありません。むしろ、自らの内的状態を他者とすり合わせながら、共有現実 (Shared Reality) を形づくっていく、その困難でありながら不可欠なプロセスを支えることにあります。AI や没入型技術の進展を活かすことで、私たちは、より深く、より身体的なかたちでの相互理解が可能になると考えています。

### プロジェクトの経緯と本書の役割

本書は、2022 年 10 月に開始し、2028 年 3 月まで活動予定の JST CREST Internet of Realities プロジェクトにおける議論と研究活動を基盤としています。私たちはこれまで、「現実とは何か」「現実をつなぐとは何か」という根本的な問いをめぐる議論を重ねるとともに、Interop などの展示会を通じて、広く社会との対話と発信を行ってきました。また、知見を深めるために大規模なシンポジウムも開催してきました。

- ・ 2023 年 12 月 (第 1 回) : 慶應義塾大学の村井純教授より「インターネットの本質」について、またカリフォルニア工科大学の下條信輔教授より「共有現実 (Shared Reality)」について、それぞれ基調講演をいただきました。
- ・ 2025 年 3 月 (第 2 回) : スイス連邦工科大学ローザンヌ校の Olaf Blanke 教授をお招きし、JST CREST マルチセンシング「幻覚スペクトラムの操作と可視化」プロジェクト (研究代表: 高橋英彦教授) の皆様とともに、主観的な「幻覚」にまで及ぶ複雑なテーマを探究しました。

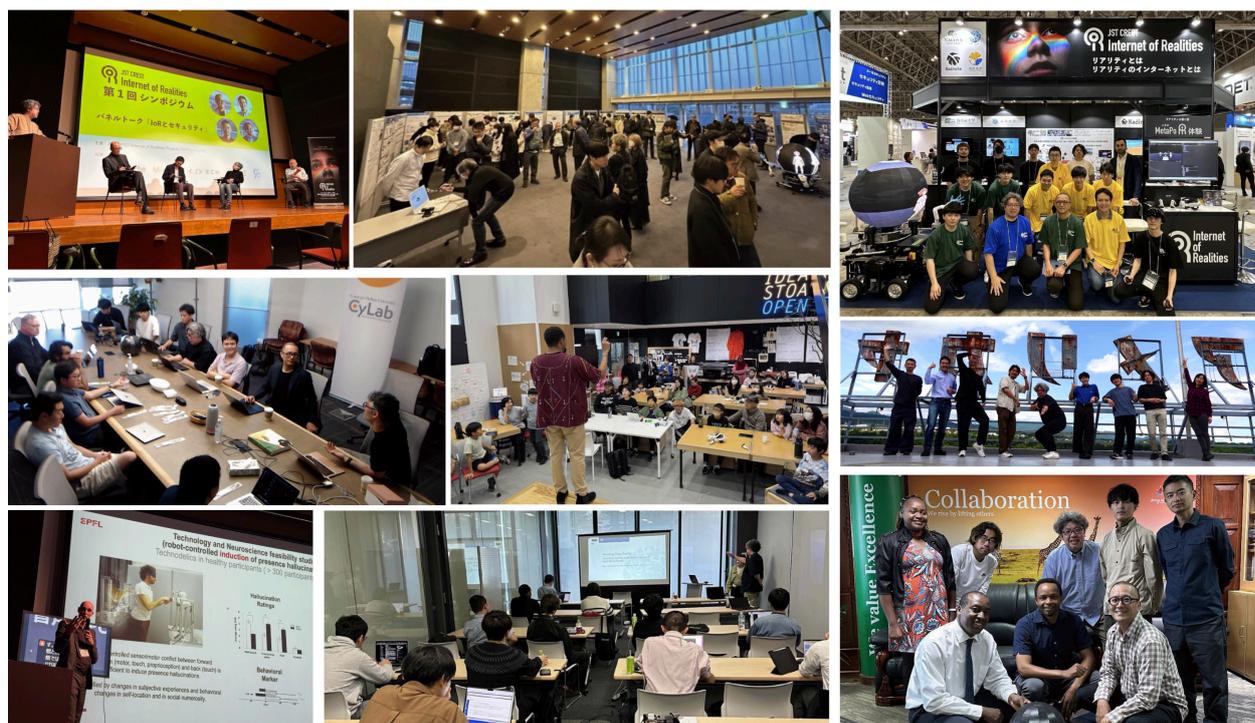
各回では、招待講演者とプロジェクトメンバーによるパネルディスカッションも行い、議論をさらに深めました。また、京都大学の岡部寿男教授（JST CREST S5 基盤ソフト領域総括）をはじめとする領域アドバイザーの皆様からいただいた数々の助言も、このホワイトペーパーの知見形成に大きく寄与しています。

本書 Internet of Realities: Beyond IoT to Bridge Human Understanding は、このビジョンを言葉として定義する最初の一步です。計算機科学、認知科学、社会学、倫理学といった多様な分野を横断する対話の中から生まれた本書は、今後、世界の研究者たちが取り組むべき重要課題を示すものだと私たちは考えています。そこにあるのは、技術的課題にとどまらず、人間の認知、アイデンティティ、そしてガバナンスの未来に関わる根源的な問いです。

私たちの目標は、この新しいパラダイムの発展を通じて、「共生的」「創発的」「適応的」なグローバル社会の実現に貢献することです。そこでは、単なる情報交換ではなく、より深い理解を生み出す力そのものが社会の基盤となります。産官学の研究者、開発者、政策立案者、そして市民の皆様へ、ぜひこの挑戦に加わっていただき、ともに、より良い未来社会を実現する新たなインターネットのかたちを探求していけることを願っています。



米澤 拓郎, 名古屋大学  
金岡 晃, 東邦大学  
青木崇行, カディンチェ株式会社  
塚田 学, 東京大学  
2025 年 9 月



# 序論: Internet of Realities (IoR)

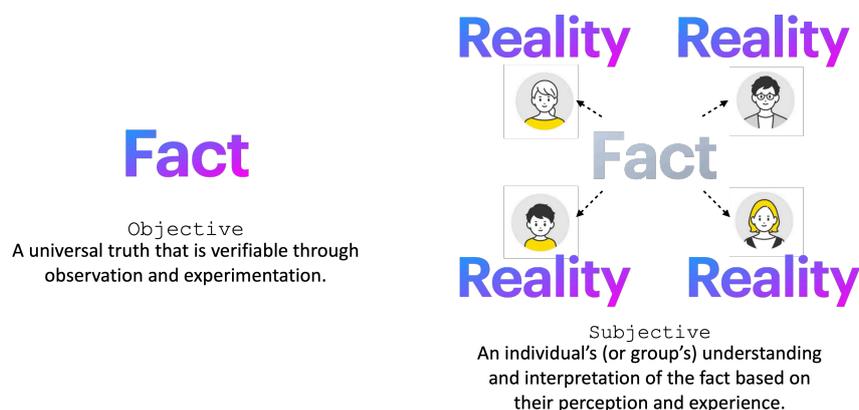
## Introduction to the Internet of Realities (IoR)

### 「現実」の問いと現代社会の分断

「現実とは何か」という問いの意味やその答えは、時代の背景、政治、文化、技術などによって常に変化してきました。今日では、情報技術の進展によってこれまでにない体験が可能となり、バーチャルリアリティ、デジタルツイン、メタバース、AIなどが、新たな体験や空間、さらには主体のあり方までも形づくりつつあります。こうした状況のもとで、人類と地球社会の幸福を考えるうえで、「現実とは何か」という問いの重要性は、かつてなく高まっています。

「現実」の定義や解釈は多岐にわたりますが、しばしば「事実」との対比で説明されます。すなわち、観測・実験・証拠に基づき、普遍的な真実として受け入れうるものを「事実」と呼ぶのに対し、その事実を、個人の知覚や経験、社会的合意に基づいて理解・解釈した世界像の主観的な総体を「現実」と捉える立場です。この定義に立てば、人の数だけ異なる現実が存在しうることになります。ただし、インターネット以前の社会では、互いに比較的近い現実のクラスターが形成されていたと考えられます。マスメディアは社会の見え方のある程度均質化し、また、物質や情報の移動性が限られていた時代には、通学・通勤に代表される生活リズムが、人々の経験の共通化を支えていました。

一方で、現代の情報メディア技術は、嗜好に応じたコンテンツとの出会いを加速し、社会的属性からの解放感や自己拡張の感覚をもたらしています。さらに、バーチャルリアリティや生成AIは、そうした傾向を一層強める可能性があります。しかし同時に、技術の設計や運用のあり方、またそれを取り巻く情報環境によっては、人々が偏った情報空間に閉じこもり、コミュニティ・地域への帰属感が弱まり、異なる他者との相互理解が損なわれるリスクもあります。



このような背景のもとで、現代社会は高い緊張関係にさらされています。私たちは同じ物理的世界に生き、同じ事実に触れているはずであるにもかかわらず、その「世界の受け止め方」は急速に分岐しつつあります。問題の核心は、「事実」そのものだけにあるのではなく、それをどのように解釈し、個々の記憶、文化、内的状態に照らして意味づけるかという認知のプロセスにも存在します。その結果、主観的な現実どうしが相互に接続されにくくなり、つながりの可能性よりも誤解のリスクが前面に出やすい状況が広がりつつあります。

## 新しい情報通信パラダイム：Internet of Realities (IoR)

こうした状況に対して、私たちが提案するのが「**現実のインターネット (Internet of Realities: IoR)**」です。IoRは、単なるデータ交換を目的とするのではなく、異なる現実どうしを橋渡しするための新しい情報通信パラダイムです。その中核にあるのは「**現実際通信 (Inter-Reality Communication)**」、すなわち、自らの内的状態もしくはそれを構成しうる周辺情報を意図的に共有し、他者の現実を理解しようとする営みです。個々人の現実が異なっても、共感や協働の可能性は、「**共有現実 (Shared Reality)**」を創出することによって開かれると考えられます。

モノのインターネット (IoT) が、物理デバイスをデジタル領域に統合し、客観的事実のセンシング・共有・分析を通じて、生産性向上や効率化、安心・安全に寄与してきたのに対し、IoRはその先を見据えています。すなわち、個人・集団・社会それぞれの文脈のなかで解釈され、意味づけられた多様な「現実」を認識し、相互に接続することを通じて、人々の相互理解や社会的調和を支援しようとするものです。

このビジョンを進めるために、IoRでは次の3つの基本原則を掲げます。

- ・ **共生 (Coexistent)** : 大きく異なる現実であっても、合意を一方的に強制されることなく共存できるエコシステムであること。対立や摩擦を適切に扱いながら、安心して率直に内的状態を共有できる空間を提供すること。
- ・ **創発 (Emergent)** : 異なる現実から得られる知見を組み合わせることで、単独の視点では解決できない課題に対して、新たな解決策を導き出すこと。人と人だけでなく、「現実どうし」の協働を可能にすること。
- ・ **適応 (Adaptive)** : 人間の現実が絶えず変化するように、IoRもまた進化し続ける柔軟で強靱な枠組みであること。不可避的に生じる倫理的課題や社会的リスクに対応し、人間の幸福に資する方向へ導くこと。

これら3つの原則は、IoR研究を前進させる基盤であると同時に、私たちを「知識」ではなく「理解」を中心に据えた未来へ導く羅針盤でもあります。

# IoR のユースケース

## Use Cases of the IoR

「Internet of Realities (IoR)」は、単なる技術的なパラダイムの転換にとどまりません。人間の主観（内的状態）を扱い、相互理解を促し、社会課題に取り組むための新しいアプローチを提示するものです。そこで本章では、IoR の実践的価値を次の2つの軸のユースケースで整理します。

1. **自己志向の応用**：個人の成長や意思決定を支援する
2. **他者志向の応用**：コミュニケーションや協働を支援する

さらに、これらの応用が、社会的孤立や孤独といった現代社会で緊急性を増す課題の予防へと拡張できることを述べます。

### 自己志向の応用

IoR は、個人の内的状態（思考・感情・認知の癖など）を、本人が扱える形で記録・可視化し、内省と行動の改善につなげます。

・ **自己認識の深化**: IoR システムは個人の内的状態を記録・可視化し、自己理解のための道具となります。思考や感情、行動パターンを振り返ることで、自身の認知傾向や人生経験の影響を理解し、自己同一性の感覚を育みます。

例：日々の出来事に対する感情の揺れと、その前後の状況（睡眠、対人接触、仕事負荷）を並べて見ることで、「自分が反応しやすい条件」が見えてくる。

・ **情報摂取の質の改善**: IoR のパーソナライズは、単なる情報の取捨選択にとどまらず、本人の主観的現実を照らして情報を文脈化します。ニュースや学術情報に対して、偏りの可能性を指摘したり、別のフレーミング (framing) を提示したりすることで、エコーチェンバーに陥るリスクを下げ、バランスの取れた知識獲得を促します。

例：「この論点は経済的メリットの枠で語られがちだが、福祉・倫理の枠ではこう見える」と視点を並置する。

・ **自己肯定感と心の健康支援**: 個人の強みや価値観、意味のある経験を可視化することで、自らの存在価値を再確認できるようにします。外部承認に依存せず内的な動機づけを再発見することは、心理的ストレスや孤独への耐性を高めます。

例：「自分が活力を得た瞬間（誰と／何をしていたか）」を“経験の履歴”として見返せる。

・**意思決定の支援:** キャリア転換や健康行動など複雑な選択において、IoR は客観データ（統計的予測など）と主観的状态（快適さ、過去の嗜好など）の両方を提示し、合理性と納得感を両立させた意思決定を支援します。

例：「将来の収入見込み」だけでなく、「その働き方が自分にとって無理のないペースか」を同じ画面で扱う。

・**創造性とインスピレーションの促進:** 創造的な発想が生まれた条件（環境要因、感情状態、人との関わりなど）を分析し、個人に特化した“ひらめきの源泉”を探求します。対話型のブレインストーミングツールと組み合わせることで、様々な領域の創造性を高めます。

例：「散歩+特定の音楽+夕方」にアイデアが出やすい、などの“創造条件”を再現する。

## 他者の現実の活用

IoR は、他者の内的状態（価値観・感情・認知枠組み）を、プライバシーに配慮しつつ共有・比較できるようにし、相互理解や協働の質を上げます。

・**相互理解の支援:** 感情や認知的枠組みといった内的状態を精緻に共有できるため、異文化対話でも、言語のやり取りを超えて「同じ発言が文化ごとにどう響くか」を体感できます。

例：同じ提案でも、相手の文化では“圧”として受け取られる可能性を事前に可視化する。

・**共感マップと共通体験の構築:** 参加者同士の現実を比較し、重なりや相違点を可視化した共感マップを生成できます。さらに VR/AR により互いの生活圏を歩いたり、重要な記憶を再現したりする共通体験を通じて、文化・専門・思想の違いを超えて関係性を深められます。

例：合意できる点／誤解が起きやすい点を、地図のように共有する。

・**コミュニケーションと協働の支援:** 交渉、プレゼン、日常会話などで、相手の認知的・感情的状態に合わせて表現を適した形へ変容できます。グループでは、集団の視点を組み合わせ、相乗効果を強調しつつ、バランスの取れた解決策を提示できるため、合意形成や創造的協働が円滑になります。

例：同じ結論でも「不安を下げる言い方」「挑戦を鼓舞する言い方」を場面に応じて切り替える。

・**エンターテインメントと文化交流の拡張:** 文化・芸術体験を受動的消費にとどめず、観客が複数視点から公演を体験したり、物語世界を相互作用的に探索したりすることを可能にします。これにより新たな魅力が引き出され、異文化交流も促進されます。

例：同じ作品を「演者視点」「観客視点」「制作側視点」で追体験し、解釈の違いを楽しみながら学ぶ。

## 社会課題への応用：孤立・孤独の予防

IoR の応用として私たちが期待する分野の一つは、公衆衛生や地域福祉です。社会的孤立・孤独は心身の健康リスクと密接に関連し、その予防には個人への働きかけと社会システムの両方が必要です。

・ **個別化された社会参加の道筋:** ウェアラブルや体組成計のデータを地域の活動情報と統合し、「自己認識」と「地域活動参加」を接続して、スポーツ、文化活動、ボランティア等への自然な参加を後押しします。

・ **地域における共有現実の形成:** 住民同士の共通関心・趣味・願いを可視化し、「つながりの予兆的な場」をつくります。参加の障壁を下げ、地域のつながりを強めることで、孤立の根本要因にアプローチします。

・ **ハイブリッド型の支援モデル:** デジタルによる提示は大規模支援を可能にしますが、解釈やケアには人間の関与が不可欠です。IoR を基盤とした地域システムは、社会福祉士、教育者、保健師等と連携し、大規模アウトリーチと個別支援の両立を実現します。

言うまでもなく、上記のような推薦や可視化は“きっかけづくり”であり、最終的な伴走（安心の担保）は地域の担い手が担う、という役割分担が重要であると考えます。

以上のユースケースは、IoR が単なる技術インフラではなく、社会技術的（socio-technical）な枠組みであることを示しています。

- 個人にとっては、内省・創造・意思決定を支援する。
- 集団にとっては、相互理解・協働・文化交流を促進する。
- 社会にとっては、孤立や孤独といった喫緊の課題に解決の糸口を提供する。

IoR は、単なる情報交換ではなく「共有現実の創出」を通じて、共生的・創発的・適応的な社会を実現する可能性をもつ、と私たちは考えています



# IoR 関連用語

## IoR Related Terminology

**事実/Fact:** 観察・実験・測定などを通じて（少なくとも原理的には）検証可能な真実。

**現実/Reality:** 個人（または集団）の知覚と**来歴**（Personal History）に基づいた、事実の理解・解釈。

**共有現実/Shared Reality**<sup>1</sup>: 2者間または集団内で、ある対象に対する内部状態を相互に共有し、「同じ対象をどう捉えているか」の共通性を立ち上げていくプロセス、またはその到達状態。

**実体/Entity:** 独立して存在する物体・存在・主体・システム。**事実**(Fact)の対象であり、**現実**(Reality)の知覚対象であり、共有現実が形成される際の焦点となりうるもの。

**物理空間/Physical Space:** **実体**(Entity)が存在し相互作用する三次元環境。検証可能な**事実**(Fact)の主要な源であり、**現実**(Reality)を形成する感覚的知覚の基礎となる文脈。

**実質空間/Virtual Space:** コンピュータにより生成された（多くはネットワーク化された）環境。物理法則ではなくコードで性質が規定されるが、そのルールは当該文脈における**事実**(Fact)として扱える。独自の知覚を提供し**共有現実**(Shared Reality)の媒体として機能する。

**内部状態/Internal State:** 判断・信念・感情・態度などを含む、**実体**(Entity)の主観的状态の集合。**現実**(Reality)の基本要素であり、**共有現実**(Shared Reality)を作る過程で交換・参照されるもの。

**解釈/Interpretation:** 知覚した情報に意味を割り当てる認知プロセス。観察による生データ（潜在的な**事実**(Fact))を、**現実**(Reality)を構成する構造化された主観的理解へ変換するメカニズム。

---

<sup>1</sup> Echterhoff, G., Higgins, E. T., & Levine, J. M., "Shared reality: Experiencing commonality with others' inner states about the world." *Perspectives on Psychological Science*, Vol. 4, No. 5, pp. 496-521 (2009)

**来歴/Personal History:** 過去の事實的体験と**解釈(Interpretation)**の累積的記録。新しい情報の処理のされ方を形づくるフィルタとして働き、現在の**現実(Reality)**の基盤となる。

**共通性/Common:** 複数の**現実(Reality)**にまたがって存在する要素（信念・来歴など）を記述する属性。共通性は**共有現実(Shared Reality)**の前提にも結果にもなりうる。

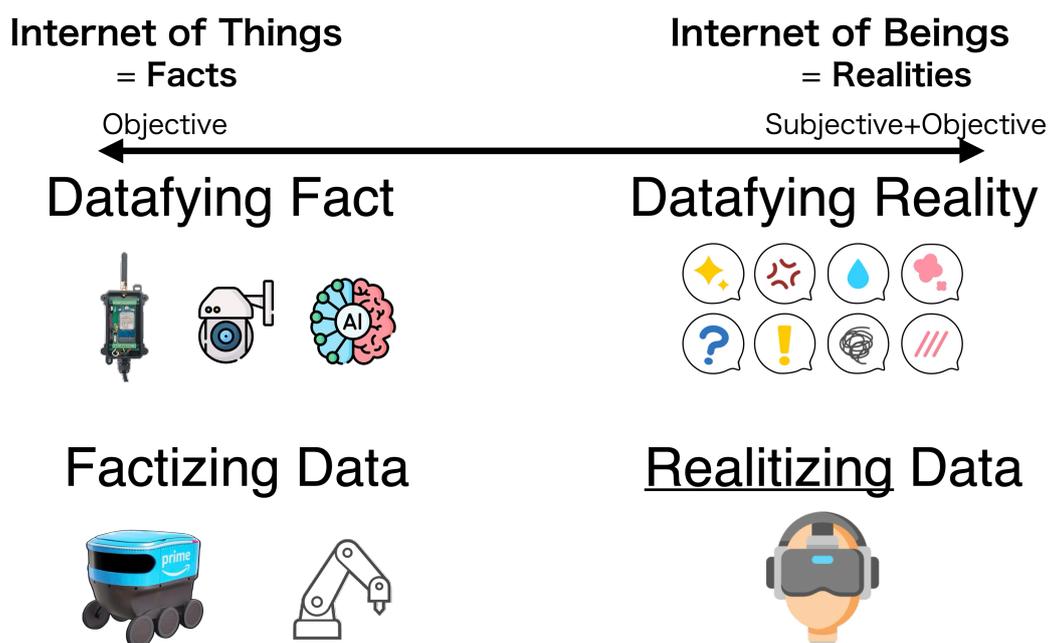
**共有/Share:** 自らの**内部状態(Internal State)**を、他の**実体(Entity)**が知覚できる形に外部化する行為。**現実(Reality)**間に橋を架け、**共有現実(Shared Reality)**を構築するための基本動作。

**現実際通信/Inter-Reality Communication:** 自己の**現実(Reality)**およびそれを構成する要素を伝え、他者の**現実(Reality)**を理解する目的をもつ、2つ以上の**実体(Entity)**間の情報交換。解釈差を調整し、**共有現実(Shared Reality)**の確立を目指す共有のメカニズム。

**セキュリティ/Security:** **実体(Entity)**と情報の完全性を保護する手段・状態。検証可能な**事実(Fact)**の改ざん耐性、および**共有現実(Shared Reality)**を生むチャンネルが妨害されないことの保証。

**プライバシー/Privacy:** **実体(Entity)**が、自身の**来歴(Personal History)**・**内部状態(Internal State)**・**現実(Reality)**全体へのアクセスを制御する権利。何を個人的に保持し、何を共有に供するかを選択できる能力。

**信頼/Trust:** 他の**実体(Entity)**（例：人・組織・AI・システム）が、ある文脈において期待された通りに振る舞うと見込むこと（=期待の保持）であり、同時に、その期待が外れるというリスクを引き受けた上で、相手の主張を受け入れたり、自らの**内部状態(Internal State)**を共有したりするための基盤。



# IoR における研究課題

## IoR Research Challenges

Internet of Realities (IoR) の発展には、学際的かつ深い協働が不可欠です。以下に示す5つの主要研究課題は、多分野にわたる議論を踏まえ、相互理解のためのインターネットを構築するうえで私たちが直面する挑戦と機会を整理したものです。



どのようにして人間の主観的な現実を計算機的にモデル化し、表現できるのか？



どのようにして多様な現実を体験し、人間の認知を拡張するための没入的で直感的なプラットフォームを構築できるのか？



どのようにして異なる現実をつなぐための、安全で信頼に基づいたネットワークを設計できるのか？



どのようにして新しい社会的インタラクションの形を創出し、重要な社会課題の解決や相互理解の促進を実現できるのか？



どのようにして人間のアイデンティティと尊厳を守りながら、IoR の倫理的な発展とガバナンスを確保できるのか？



## どのようにして人間の主観的な現実を計算機的にモデル化し、表現できるのか？

How can we computationally model and represent subjective human realities?

Internet of Realities (IoR) にとっての本質的な課題の一つは、客観的な事実を処理するだけでなく、個人がその事実をどのように受け取り、解釈し、自分固有の「現実」として構成しているのかを理解し、表現することにあります。これは、観測可能な出来事が、来歴、記憶、文化、感情、身体状態といった多様な要因を通じて、どのように主観的な世界像へと変換されるのかを形式化する試みです。私たちはこの課題を「**現実埋め込み (Reality Embedding)**」と呼びます。

この課題に取り組むためには、相補的な二つの研究方向が必要です。第一は、**現実が内的に形成される仕組み**そのものをモデル化する方向です。第二は、その**内的状態が身体や行動にどのように表れるかを観測**する方向です。前者は「なぜその人にそのような現実が立ち上がるのか」を説明しようとするものであり、後者は「その現実がどのようなかたちで外から捉えられるのか」を明らかにしようとするものです。

### 1. 解釈のアーキテクチャのモデル化 / *Modeling the Architecture of Interpretation*

第一の方向性は、人が世界をどのように解釈しているのかという内的アーキテクチャをモデル化することです。客観的な事実が、個人ごとの来歴や記憶、文化的背景、価値観といった固有のフィルタを通して、どのように主観的な現実へと変換されるのか、その過程を計算機的に表現することを目指します。

同じ出来事に接したとしても、ある人には安心として受け止められ、別の人には不安として感じられることがあります。こうした違いを、単なる結果の違いとしてではなく、どのような解釈過程を経てその内部状態に至ったのかまで含めて説明可能にすることが重要です。ここで求められるのは、ブラックボックス的に推定するだけのモデルではなく、人間の理解や介入可能性も意識した、説明性を備えた表現です。

この方向における主要な研究課題は、次の二点に整理できます。

- **解釈のアーキテクチャ**：到来する事実が、個々の来歴や文脈に応じてどのように意味づけられ、現実として理解されるのか。その動的なプロセスを忠実に表現できる計算枠組みは何か。
- **来歴の形式化**：膨大で非構造な人生経験や体験の蓄積を、倫理とプライバシーに十分配慮しながら、計算モデルが扱える形式へどのように変換できるか。

## 2. 現実の顕れの観測 / *Observing the Manifestations of Reality*

第二の方向性は、主観的な現実がしばしば身体や行動に可観測なかたちで顕れるという前提に立つものです。私たちの内的状態は、純粹に心の内側だけにとどまるのではなく、多くの場合、身体反応や振る舞いとして外部に現れます。たとえば、環境への馴染みや不慣れさは認知負荷に影響し、それが脳活動や心拍変動、視線、歩行、発話の特徴などに反映される可能性があります。

このような客観的なシグナルを観測することで、主観的体験に対する実証的な手がかりを得ることができます。もちろん、身体反応と主観的体験は一対一に対応するとは限りません。しかし、適切な文脈情報と組み合わせることで、主観的現実に基づくための有力な代理指標を構築できる可能性があります。

この方向における主要な研究課題は、次の二点です。

- **内部状態のデコーディング:** ノイズを多く含むマルチモーダル時系列データ（生理・行動シグナル）から、認知負荷、情動、集中、緊張といった文脈依存の内部状態を、頑健に推定するための信号処理・機械学習モデルは何か。
- **現実のインデキシング:** 生理・行動反応のパターンと、特定の主観的体験との対応関係をどのように確立し、主観的現実の客観的な代理指標を構築できるか。

### 統合アプローチ / *An Integrated Path Forward*

これら二つの方向性は、別々に追究されるべきものではなく、相互に接続され、循環的に洗練されるべきものです。解釈のモデルは、個人の内部状態について予測を与え、その妥当性を実世界の生理・行動データによって検証・更新できます。逆に、観測されたデータは、より個人化され、より精緻な現実モデルを構築するための基盤になります。

したがって、この研究課題の核心は、単に「主観を推定できるか」ではありません。むしろ、主観的体験の計算モデルと現実世界における観測可能な顕れをどのように結びつけ、そのモデルが信頼に足るものであり、かつ本人の実際の内部現実に行き届く限り整合していると、どのように保証できるかにあります。

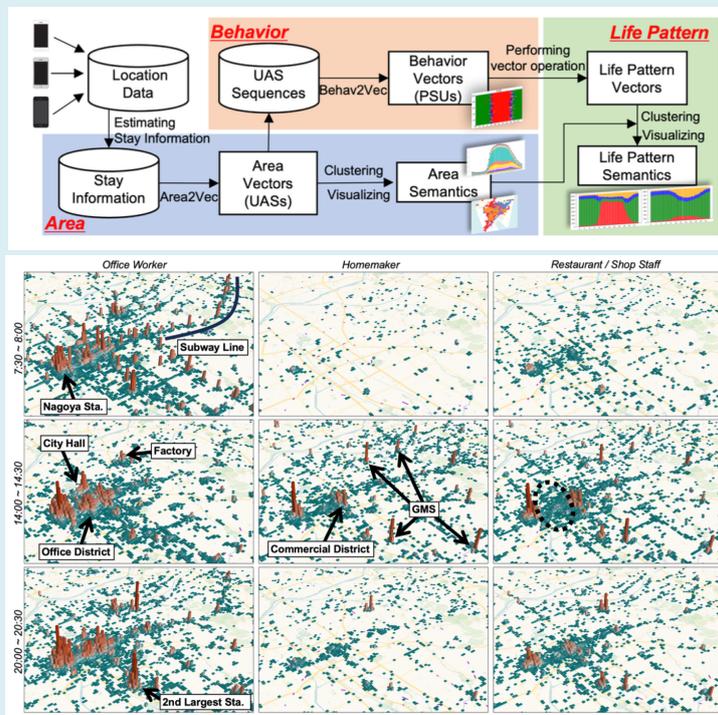
これは、IoR 全体にとっても基盤的な問いです。なぜなら、現実をつなぐためには、まず各実体の現実を適切に記述し、それを共有や相互理解に耐えるかたちで扱える必要があるからです。現実埋め込みは、その最初の土台を担う研究課題だといえます。

## Research Highlight

現実の頭れの観測に関する事例として、SICU（外科系集中治療室）の看護師を対象に、ウェアラブルで生理シグナル（HRV など）を活動文脈とともに取得・解析しました [1]。その結果、「患者の体勢移動」のような特定タスクが、身体に明確で計測可能なストレス特性を生じさせることを観測し、機械学習モデルにより高ストレス状態を 80%精度で同定できることを示しました。主観的な職業ストレスのような体験が、客観的・生理学的状態としてデコード可能であることを示唆しています。



もう一つの研究事例として、ラベルなしの GPS データのみから、人の社会的役割やライフスタイルという現実の重要側面をスケラブルにモデル化する枠組み [2] を紹介します。まず多数ユーザーの滞在パターンから都市空間の機能的意味（例：オフィス／住宅）を学習し、その意味づけられた場所間の移動列として個人の生活を表現。ライフパターンのクラスタリングにより、「オフィスワーカー」「店舗スタッフ」等の群を同定しました。長期の行動の頭れを観測することで、大規模・非ラベルデータから意味ある人間属性を埋め込み・推定できることを示しています。



## どのようにして多様な現実を体験し、人間の認知を拡張するための没入的で直感的なプラットフォームを構築できるのか？

How can we build immersive platforms to experience diverse realities and augment cognition?

「現実」が計算機的に埋め込まれた (Reality Embedded) 後、それを自己または別の主体が知覚可能な体験へとレンダリングする必要があります。私たちはこの翻訳過程をリアリティ・ホスティング (Reality Hosting) と呼びます。Reality Hosting は、個人の多層的な世界観データを、直感的にたどれる没入体験へ変換する挑戦です。目標は、他者の世界を単に「表示」することではなく、観察を超えて「共有」へとつなげ、身体化された理解に至るためのプラットフォームを築くことにあります。

ここでいうプラットフォームとは、特定のアプリやデバイスに閉じた体験ではなく、多様な現実を継続的にホストし、複数の利用者と応用がその上に積み上がる共通基盤を指します。したがってリアリティ・ホスティングは、受動的なディスプレイではなく、思考を補助し拡張する認知ツールとして設計されるべきであり、同時に次のような基盤能力を備える必要があります。すなわち、(i) 現実表現を体験として再生・同期する 実行基盤 (runtime)、(ii) 現実の巡航・比較・重ね合わせ・注釈・要約など「理解のための操作」を提供する 共通 API、(iii) VR/AR からスマートフォン・PC までを含む 多端末・多環境への配信と互換性、(iv) 現実の構成要素や提示方法を共有できる データ形式・表現規約・権限モデル、そして (v) 体験の効果や安全性を継続的に点検する 観測・評価の仕組みです。これらが揃ってはじめて、リアリティ・ホスティングは「体験」ではなく「基盤」になります。

### 主要な研究課題

・ **共感のためのインタフェース**：ユーザーが他者の「現実」を過負荷や方向感覚の喪失なく航行できるための設計原則は何か。ここで重要なのは表示品質そのものよりも、現実の差分や文脈を理解可能な操作として提供できるか (巡航、比較、段階的開示、注釈など) である。

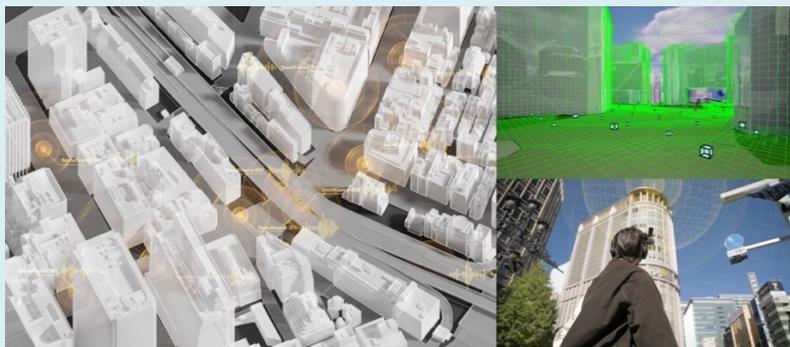
・ **感覚翻訳の課題**：信頼、文化的価値、確信といった内的状態の抽象的成分を、どのように感覚情報へ翻訳できるか。非言語的・潜在的次元を扱う表現機構を、領域ごとに再利用可能な拡張部品 (プラグイン) として成立させられるかが鍵となる。

・ **認知の共進化**：強力な支援が可能になるほど、依存やスキル低下のリスクも増す。理解を一方的に与えるのではなく、比較や再解釈の余地を残し、支援強度を調整できるなど、プラットフォーム側に安全弁 (セーフティ機構) を組み込めるかが問われる。

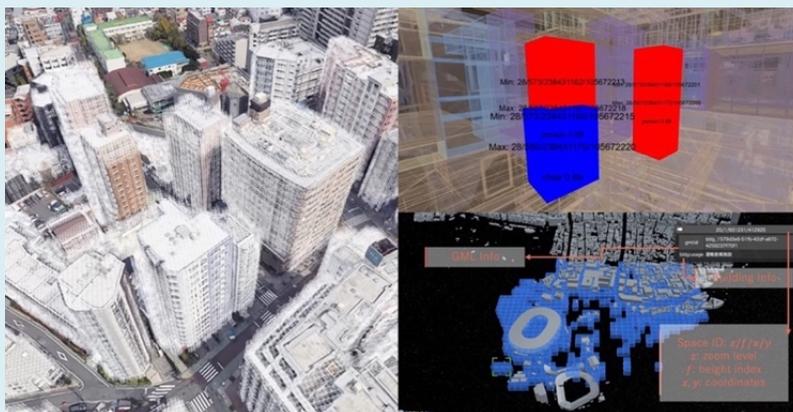
・ **スケーラブルな共在の課題**：数百万の固有で動的な現実を同時にホストし、相互に探索可能にするにはどうすればよいか。全てを提示するのではなく、必要な現実を適切に呼び出し接続するための、要約・段階的詳細化・部分同期を含む分散アーキテクチャが求められる。

## Research Highlight

デジタルツイン基盤 PLATONE[3,4]は、地理参照された都市文脈内でのリアルタイム 3D 音響の空間化を実証しました。国交省の PLATEAU 3D 建物モデルを駆動する雲上の波動伝播シミュレーションにより、遮蔽・回折・残響を再現。軽量の歩行者追跡ユニットは RTK-GNSS・慣性・気圧高度を統合してドリフトを抑え、都市スケールでもサブセンチメートル級の絶対測位を実現します。これにより、複雑な屋外・アーバンキャニオン環境でも仮想コンテンツや音が物理世界に安定的にアンカーされます。プロトタイプ導入は没入音響体験のみならず、歩行者ナビゲーションやコンテキスト対応 MR の実行可能性も示しました。定位と感覚拡張の収束を基盤に、文化応用・建設支援・リアルタイム都市探索を音を媒介に可能にするプラットフォームの礎を築いています。



Spatial ID [5]は、3D 空間を階層的 4D ボクセル ID でアドレス化・クエリ化可能なデータベースへと転換し、異種データセットやライブデータストリームの多解像度相互運用を実現します。本仕様の上に、エッジクラウドのパイプラインを構築し、静的な PLATEAU 都市モデルとリアルタイム IoT 検知を Spatial ID へ符号化。静的データはベクトルタイル、動的データは pub/sub で扱うことで、低遅延のデータベース照会・発見・購読を可能にするユースケースを実証しています。



## どのようにして異なる現実をつなぐための、安全で信頼に基づいたネットワークを設計できるのか？

How can we design a secure and trust-based network for connecting different realities?

個々の現実を機能的なネットワークへ結びつけることを、私たちはリアリティ・ネットワーキング（Reality Networking）と呼びます。Reality Networking は IoR のインフラ基盤であり、現実際通信（Inter-Reality Communication）、すなわち「自分の現実を相手に伝え、相手の現実を理解すること」を目的とした新しいコミュニケーションを可能にします。

このとき前提となるのは、セキュリティ・プライバシー・トラスト（信頼）が、システムが満たすべき性質として確立されていることです。これらの土台なくして、IoR が目指す「真正な共有を通じた相互理解」は実現できません。したがってリアリティ・ネットワーキングは、分散システムや暗号技術、データガバナンスの課題を解きながら、他者理解を促進するためのネットワーキングとプラットフォーム技術を同時に設計する必要があります。

### 1. 「同じ情報を届ける」から「理解が成立する共有」へ

従来の通信は、基本的に End-to-End で同一のデータを正確に届けることを中心に発展してきました。しかし IoR が扱うのは、単なるデータではなく、文脈に埋め込まれた意味（セマンティクス）と、個人の来歴に支えられた解釈です。伝送が成功しても、受け手の文脈では別の意味に解釈される、あるいは感覚チャンネルが違えば伝わり方が変わる、この“解釈のズレ”こそが、相互理解を難しくします。そこで Reality Networking では、データをそのまま転送するだけでなく、意味が伝送の過程で失われたり歪められたりしないよう「文脈的完全性（contextual integrity）」を設計原則として組み込むことが重要になります。さらに、相手との共有現実を育てるという目的に照らせば、状況によっては「同じ表現」を届けるよりも、同じ“意味”が立ち上がるように、表現やモダリティ（視覚・言語・触覚など）を変換して届ける方が望ましい場合があります。リアリティ・ネットワーキングは、この“意味中心”の通信を支えるレイヤでなければなりません。

### 2. 信頼のアーキテクチャ：検証できる部分と、前提としての信頼

Reality Networking における信頼は、単なる「相手を信用する」という心理ではなく、検証（Verification）と妥当性検証（Validation）をどこまで行い、どこから先を前提（信頼）として置くかを、システムとして明示して扱うことです。計算機的にすべてを検証することには限界があり、検証できない部分は「信頼」せざるを得ません。この性質を設計に取り込む見取り図として、トラストを「検証可能な部分」と「検証できないが信頼する部分」に分けるモデルが有用です。技術進歩により検証可能な部分は拡大しますが、検証できない部分がゼロになることはなく、残余の信頼はルールや制度で補う必要があります。

また IoR の文脈では、共有現実が「完全に一致したか」を厳密に検証すること自体が難しいため、最終的には「お互いの解釈が十分に一致している」と見なせる状態を信頼できるかが実践的条件になります。そのため、信頼を“精神論”にせず、検証のプロセス自体の透明性（誰が、何を根拠に、どこまで検証したか）を確保することが重要です。検証ポリシーを機械可読に記述する DSL を整備する、といった方向性もここに接続します。

## 主要な研究課題

・**分散型トラストの Protokol**：中央集権的な仕組みに依らず、現実間コミュニケーションに関与する二つのエンティティ間でトラストを確立するための Protokol が必要です。検証可能なクレデンシャルやデジタル署名を用いて、共有された内部状態の正当性をピアツーピアで検証できる仕組みが求められます。ここでのポイントは、単に「送信者認証」だけでなく、どの前提を置いて妥当としたか（Validation ポリシ）を相互に参照できる形にすることです。Validation がアプリ依存だと相互運用性が落ちる、という課題意識は、IoR ではより重要となります。

・**文脈的完全性の保持（セマンティクスと来歴を壊さない通信）**：IoR では「意味」や「ニュアンス」が本体です。したがって、伝送中の要約・圧縮・変換・翻訳が、意味の脱落や歪みを生まないようにするための設計原則が必要です。原文でも、通信レイヤには文脈的完全性の保持を組み込むべきだと述べています。ここで踏み込むべき技術は、例えば次のようなものです。

- 例1) **意味保存変換**：帯域・端末制約に応じて表現を変えても、意図した意味（共有したい内部状態）が保たれることを保証する
- 例2) **来歴を考慮した提示・要約**：受け手の来歴・文化・状況に照らして、誤解が起きやすい点を補う形で表現を変換する（同一データの送達ではなく、同一理解の成立を目標にする）
- 例3) **モダリティ変換**：言語では伝わりにくい要素を、視覚・空間音響・触覚などへ写像し、理解の成立確率を上げる（ただし、変換規則と根拠は透明化する）

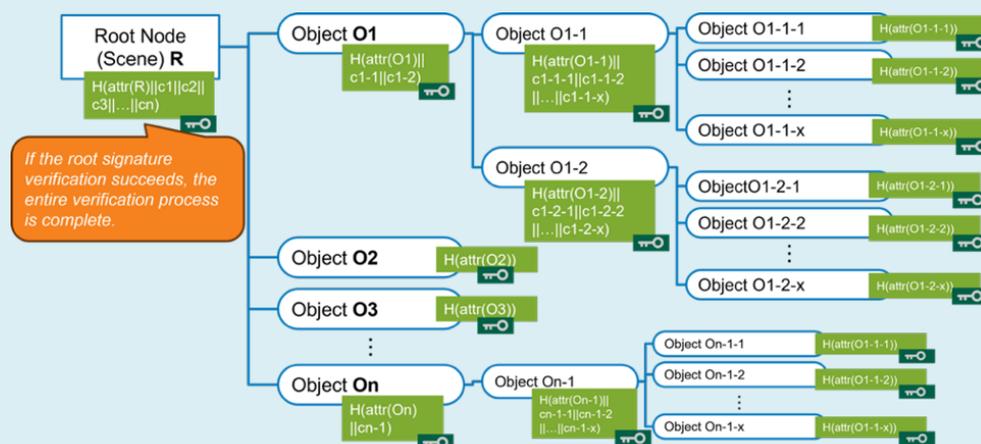
すなわち、Reality Networking は「ビット完全性」に加えて、意味完全性を考慮する必要があります。

・**軽量端末でのコンテキスト理解（エッジ〜クラウド協調）**：現実通信は、低遅延・高頻度・多モダリティになりやすく、端末単体で全てを処理することは難しくなります。IoR が「インターネット」たる接続のファブリックであること、そしてプライバシーを強制的に担保しつつ Protokol を提供するうえで、エッジ〜クラウドの協調により、(i) どこまでを端末側で処理し、(ii) どこからを外部計算で支えるか、(iii) その際に何を共有し何を秘匿するか、を現実の粒度で制御する必要があります。

## Research Highlight

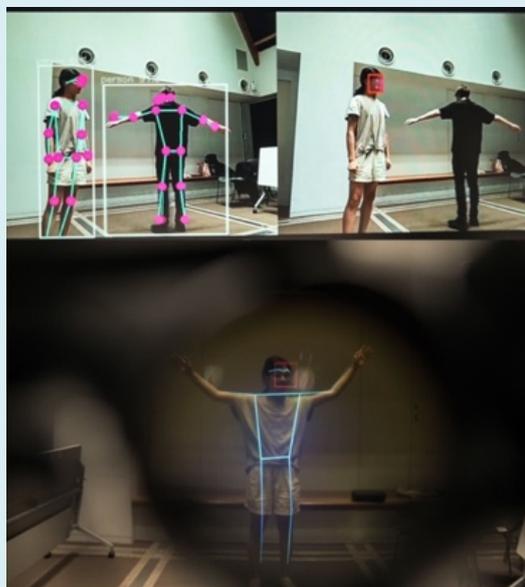
TrustWeave : 3D 資産の部分整合性検証によるトラスト層[6]:

シーングラフを Merkle 木へ写像し、親ノードの単一署名で部分木の完全性を確認可能にすることで、3D 資産の真正性を担保。Unity 統合および大規模 VR/AR シーンでの評価では、イベント駆動の部分検証においてほぼ一定の低遅延を維持し、没入感を損なわず迅速なチェックを実現しました。Unreal/ARKit/Android XR/WebXR など複数プラットフォームでの微粒度な真正性と高効率を両立し、マルチユーザ・マルチサービス環境における IoR の Reality Networking の実用的なトラスト層として機能します。

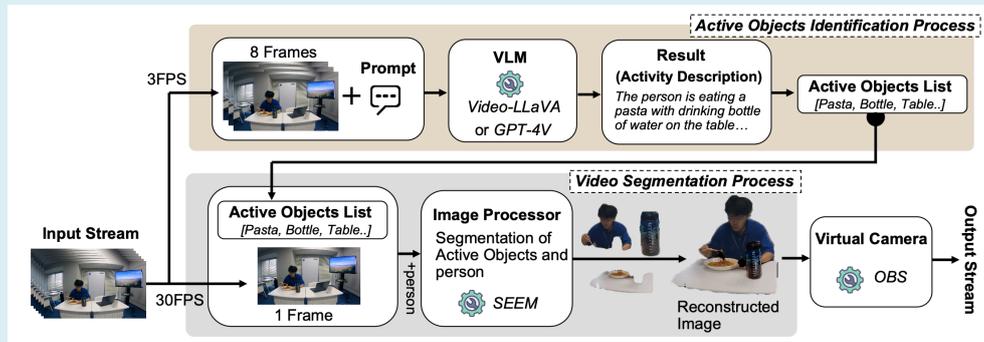


エッジ協調による MR コンテキスト理解：  
軽量端末と高機能推論の両立[7]:

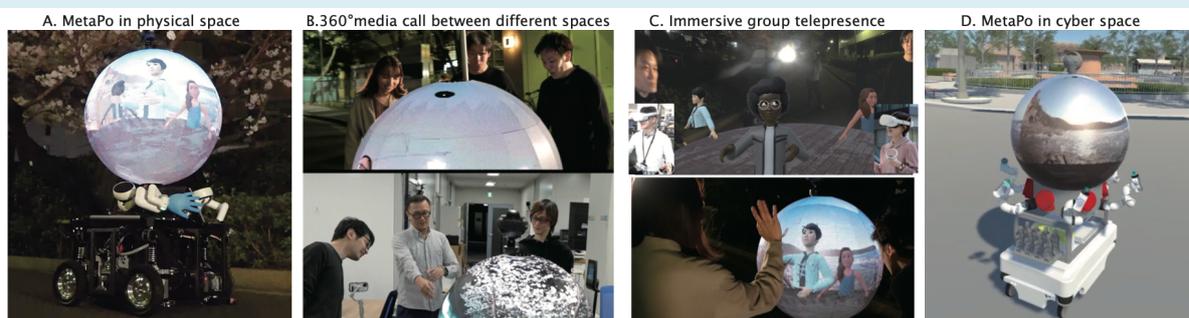
小型エッジ AI アクセラレータへ視覚推論  
(物体検出・分類、人物ポーズ推定、セマンティックセグメンテーション、顔認識)  
をオフロードし、境界ボックス・マスク・ラベル等の構造化出力を低遅延でヘッドセットへ返すコプロセッシング枠組みを実装。  
環境の内部モデルを豊かに保つことで、仮想オブジェクトの家具への安定添付、アバターの対人反応、群集流動に適應するナビなどを実現し、軽量端末でもオンボード能力を超えるモデルを活用可能にします。



ActStream：文脈に応じた選択的共有によるプライバシー配慮型ビデオコミュニケーション[8]: 映像内の活動に関連する対象（Active Objects）のみを選択的に共有することで、プライバシーと文脈理解を両立。VLM（Vision-Language Model）でユーザの注視や行動を解析して意味的に関連する物体を抽出し、リアルタイムセグメンテーションでユーザ+関連物体のみを送出、それ以外を不可視化します。カジュアルな常時接続からMR協働まで、社会的に心地よくかつプライバシーに配慮した接続を支援する実装であり、IoRの理念（主観的現実の尊重と相互理解）に整合します。



MetaPo [9] は、物理空間とサイバー空間にまたがるコミュニケーションを統合するために設計されたロボティック・ポータルシステムです。球体ディスプレイ、360°カメラおよびマイク、ロボットハンドを備えたMetaPoは、分散した環境同士をつなぐゲートウェイとして機能し、全周（パノラマ）コミュニケーションと没入的なインタースペース移行の双方を可能にする。本システムは二つの中核的コミュニケーション様式を定義します。Mixed Linkでは、ユーザはそれぞれの環境に留まったまま、MetaPoの機動性とマルチユーザ対応により強化された全周映像・音声ストリームを介して接続する。Immersive Linkでは、遠隔参加者がVRを通じてMetaPoの仮想ポータルに入り、遠隔環境を360°没入で体験することで、従来の1対1型テレプレゼンスを越えたグループ・テレプレゼンスを実現する。プロトタイプは、360°カメラ、球体LEDディスプレイ、VRポータル、ロボットアクチュエータを統合し、物理とサイバーの文脈間をシームレスに遷移できることを示しました。インタースペース・コミュニケーションの統一モデルを提示することで、MetaPoは異種の現実にまたがる共有的プレゼンス（co-presence）を育み、主観的世界を橋渡しするというIoRのビジョン実現に寄与しています。



## どのようにして新しい社会的インタラクションの形を創出し、重要な社会課題の解決や相互理解の促進を実現できるのか？

How can we create new forms of social interaction to realize the resolution of critical societal challenges and the fostering of mutual understanding?

IoR の目的は、より深い相互理解によって駆動される Reality Transformation（現実の変容）を通じて、ポジティブな社会変革を触発することにあります。ここで重要なのは、この変容は「情報を共有すれば自動的に起きる」ものではない、という点です。むしろ、IoR を活用した新しい社会的インタラクションのパラダイムを設計し、育成することで初めて実現されます。

これまで述べてきたように、IoR では、主観的な現実を計算機的に表現し（Reality Embedding）、それを体験可能なかたちへ翻訳し（Reality Hosting）、さらに安全で信頼に基づく接続を実現する（Reality Networking）ことを目指します。これらは「共有現実（Shared Reality）」を成立させるための基盤能力です。しかし、基盤が整っても、相互理解や社会課題が解決されるとは限りません。社会課題の現場では、解釈のズレ、利害対立、信頼の不足、関係性の履歴（来歴）などが複雑に絡みます。よってこの研究課題が問うのは、汎用プラットフォームの上に、現実の問題に向けて意図的に「つながりの状態」を育むアプリケーションを、いかに設計できるか、という点です。

本章は IoR 参照アーキテクチャにおける最上位、すなわち IoR Applications（価値レイヤ）に相当します。価値レイヤは、IoR の最終目的である「相互理解の醸成」と「社会課題の解決」に直接応え、下位レイヤの能力を活かして、共有現実を意図的に育むアプリケーションを支えます。ここでは、複数の個別現実に含まれる要素を合成・比較し、複数の実体が共通基盤（common ground）を発見・構築できるよう支援します。同時に、この層は倫理・社会的含意が最も濃密に現れる層でもあります。なぜなら、アプリケーションの設計そのものが、人間のアイデンティティや社会的相互作用の未来へ直接影響しうるからです。以上を踏まえると、この研究課題の中心は「体験を作る」ことそれ自体ではなく、相互理解のブレークスルーを安定して生み出す体験＝相互作用の仕組みを、社会心理・対立解消・設計の知見を横断して統合しながら構築することにあります。

### 主要な研究課題

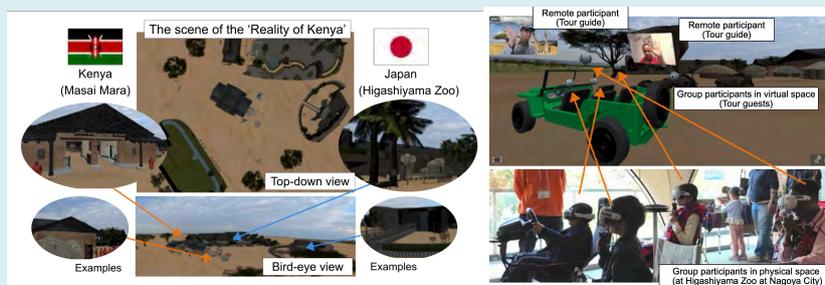
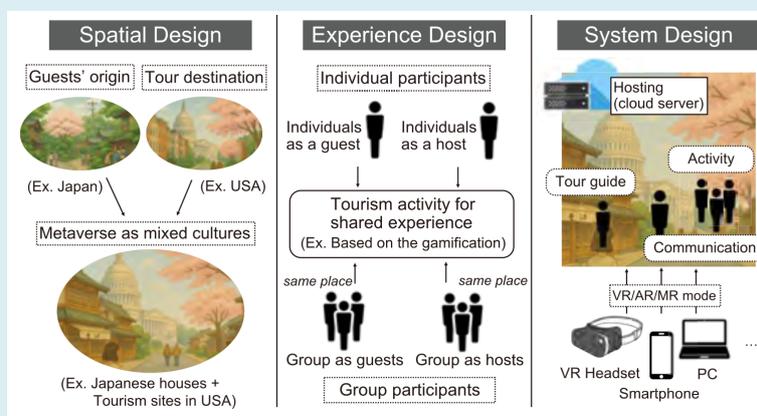
- ・ **新しい社会的インタラクション・パラダイムの設計:** 特定の集団が共通基盤を発見し、新たな共有現実を構築できるよう導く IoR 媒介型の体験を、どのように設計するかが問われます。重要なのは、単なるコミュニケーション支援を超えて、共感の形成・解釈差の調整・信頼の構築を目的とする、構造化され目標指向の相互作用プロトコルを設計す

ることです。ここでの「プロトコル」とは通信規格の意味に限りません。むしろ、対話の手順、視点取得の段取り、比較の仕方、合意形成までの“作法”を、再現可能な設計単位として与えることを意味します。これにより、「偶然うまくいった対話」だけではない、「一定の条件下で再現できる理解の形成」を目指します。

- **理解の計測：**IoR アプリケーションが本当に相互理解を促進したのか、すなわち、共有現実の萌芽が生まれたのかを、どのように科学的に計測するかは中核課題です。行動分析や自己報告に加えて、心拍や脳活動の対人的同期といった客観的生理指標を組み合わせ、効果を正しく評価するための堅牢なフレームワークが必要です。これは、これまでの章との整合の観点でも重要です。Reality Embedding/Hosting/Networking が提供するの“接続の能力”であり、その能力が「理解」という価値へ転換されたかどうかを検証するのが、この計測の位置づけになります。計測が弱いと、良い体験に見えても、実際には誤解や依存、偏りを強めてしまうリスクを見逃します。
- **複雑な社会課題への適用：**政治的分極、国際的対立の解決、文化教育などの難解な社会課題に対して、上記の原則を最も効果的に適用する方法は何か、が問われます。特定の集団間での現実間コミュニケーションを促進し、従来は到達不可能だった新しい共有現実の発見／構築を支援する、高度に文脈化された介入を設計する必要があります。ここでいう「文脈化」は、単にテーマを社会課題に合わせるという意味ではなく、当事者の来歴、価値観、関係性、信頼水準、リスク許容度などを踏まえ、どの表現・どの順序・どの粒度で共有するかを設計する、という意味です。これは、前章「Reality Networking」で議論した“意味が失われない／歪まない共有”とも接続し、価値レイヤ側での介入設計として具現化されます。

## Research Highlight

MetaUniTour[10]は、IoRが有する Reality Transformation（現実変革）の可能性を示すプラットフォームです。このプラットフォームは、従来型 VR 観光にしばしば見られる表層的な文化交流の課題に対し、IoRの原則を適用しています。協働タスク（ゲームドライブなど）や役割付与（現地参加者／遠隔ガイド）を通じて、異なる「現実」を持つ当事者間にリアルタイムの相互理解と信頼が生まれるよう意図的に設計されています。具体的には、ゲスト文化とホスト文化の要素（例：名古屋の動物園とケニアのマサイ・マラ）を融合した「Mixed Cultures Space」を構築し、知覚の非対称性を是正します。実験の結果、参加者には強い一体感が生まれ、異文化への好奇心が高まりました。これは、相互理解の醸成という社会価値に向け、IoRが具体的な道筋を提供し得ることを示唆しています。



MR 歌舞伎[11]は、Mixed Reality（複合現実、MR）ヘッドセットを活用し、伝統芸能である歌舞伎を現代の観客にとって理解しやすく拡張する試みです。古典的な言語や物語が初学者には難解であるという課題に対し、字幕、解説、視覚・音響効果を、舞台の視界を妨げずに重畳表示しました。約 100 名のユーザースタディの結果、理解と没入感の深化が示され、特に初心者観客に対して有効であることが確認されました。



MRミュージアム・ガイド[2]は、MRヘッドセットとビジュアル・ポジショニング（Visual Positioning）技術により、既存の展示物に3Dオブジェクト、解説、音声ガイドなどのデジタルなレイヤーを直接重畳し、物理的制約を超える体験を設計します。水木しげる記念館での93名の評価では、高い満足度が得られ、80%を超える参加者が体験価値の向上と追加料金の支払い意思を示しました。



医療XRの応用[13]では、単純な「注意そらし」を超えた複雑な疼痛管理にXR（クロスリアリティ）を適用しました。具体的には、VR（仮想現実）による幻肢痛の軽減（感覚運動ループの回復とそれに連動する脳の機能再編）や、AR（拡張現実）による在宅運動支援（高齢者の筋骨格系疼痛の軽減と心理的ウェルビーイングの改善）を実証し、個人の主観的現実を治療的に再構成し得る可能性を示唆しています。



## どのようにして、人間のアイデンティティと尊厳を守りながら、IoRの倫理的な開発とガバナンスを確保できるのか？

How can we ensure the ethical development and governance of the IoR while protecting human identity and dignity?

IoRは、人間の「現実」、すなわち内部状態や来歴に根ざした主観的世界像、を扱い、それを共有可能にすることを目指します。この力は、相互理解を促進し、孤立・孤独の予防を含む社会課題の解決にも資する可能性をもつ一方で、同時に大きなリスクも伴います。ガバナンスが不十分であれば、IoRは、個人の解釈や行動を操作するための強力な手段、あるいは社会的コントロールのインフラとして転用されるおそれがあります。したがって倫理とガバナンスに関する学際的な取り組みは、IoRにとって最優先の要件であり、システムは人間の基本的価値と整合し、その中心に個人のアイデンティティと尊厳の保護を据えなければなりません。

また、社会的危害が顕在化してから対処するのではなく、危害が生じる前にリスクを予見し、軽減できるよう設計することが重要です。そのためには技術者だけでなく、倫理学、法学、社会学、政策、教育などの担い手が協働し、技術の設計・運用・制度を一体として整備する必要があります。本ホワイトペーパーで述べた各レイヤ（Embedding/Hosting/Networking/Transformation）も、倫理・ガバナンスの観点から見れば、いずれも異なる種類のリスクを内包します。したがってこの研究課題は、単なる「注意喚起」を超え、IoRの発展を可能にするための設計要件として位置づけられます。

### 主要な研究課題

・ **アイデンティティと尊厳の不可侵性**：IoRは内部状態や来歴を扱うため、本人の同意なく「その人らしさ」や意思決定の前提を揺さぶる介入が可能になり得ます。したがって、心理的操作、来歴の強制的な改変、人格的評価の固定化などから人を守る倫理枠組みと技術的安全策が必要です。ここでの論点は、従来の情報倫理（個人情報情報の漏えい防止）を超えます。IoRが扱うのは、単なる属性情報ではなく、解釈・価値観・感情傾向といった「内面」そのものだからです。したがって、守るべき対象を「データ」ではなく「人格」として捉え直し、どこまでの介入が許され、どこからが不可侵領域なのかを、技術仕様と制度の両面で明確にする必要があります。

・ **意味ある同意**：IoRにおいては、内部状態や来歴の共有は固定的・一回限りの許諾では扱えません。状況によって共有したい内容や粒度は変化し、後から撤回したいこともあります。したがって、クリック同意を超え、動的・粒度可変・撤回可能であり、内的世界のプライバシーを継続的に統御できる同意モデルが求められます。この同意モデルは、前章で述べたReality Networkingの「信頼のアーキテクチャ」とも整合します。すなわち「何を共有し、何を共有しないか」だけでなく、「共有されたものがどのように解釈・変換・再利用され得るか」まで含めた条件を、理解可能な形で提示し、本人が選べるようにすることが重要

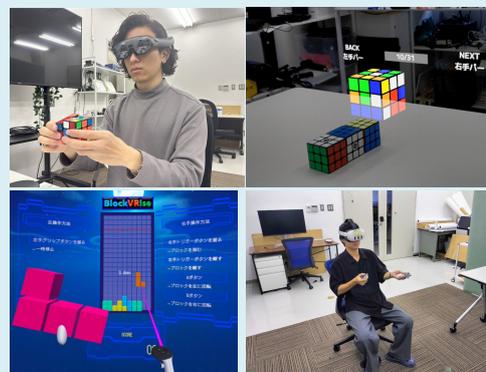
です。加えて、同意が形式的に成立していても、社会的圧力や関係性の非対称性によって実質的な自由が失われる可能性があるため、同意の妥当性を支える運用設計（説明、監査、救済）も不可欠です。

・**グローバル・ガバナンスの枠組み:** IoR は分散型ネットワークの上に形成され、多様な主体が関与するエコシステムとして展開されます。そのため、単一組織の規約だけでは人権保護や公正性を担保できません。分散環境を前提に、説明責任、透明性、公正性、人権保護をエコシステム全体で確実化する統治モデルが必要です。ここで問われるのは、規制の有無だけではありません。どの主体が何に責任を持つのか、トラブルが起きたときの救済はどうするのか、データの越境や文化差をどう扱うのか、といった運用を含む設計です。さらに、IoR の評価指標（理解が促進されたのか、危害が増えていないか）を社会的に共有し、監査可能な仕組みとして組み込むことが、持続的なガバナンスの要となります。

## Research Highlight

IoR は、技術的なセキュリティにとどまらず、主観的な被害をいかに定義し、軽減するかという難題を抱えています。私たちは、XR（クロスリアリティ）の脅威分析において、知覚操作、心理的ストレス、誘発的な方向感覚の喪失など、従来のセキュリティモデル「STRIDE」を超えるリスク領域を指摘しました[14]。こうした新たな危害領域を明確にすることは、認知的ウェルビーイングの保護、そして責任ある共有現実の開発を目指す IoR の倫理的アジェンダに資するものです。

IoR を責任ある形で実現するためには、没入型技術が人間の認知や行動に与える影響の理解が不可欠です。私たちの研究では、シースルーHMD（ヘッドマウントディスプレイ）における画像運動攻撃や、XR における聴覚刺激攻撃を対象に、視線誘導、注意の歪み、空間知覚の変容が、利用者の自覚なしに起こりうることを示しました[15,16]。これらは、脅威の可視化であると同時に、安全なシステム設計を導く体系でもあります。知覚が密かに影響されうる条件を明らかにすることで、リスクを先取りし、防護策を組み込む XR 環境の設計が可能になります。こうした脆弱性の提示と人間中心の防御設計の両輪は、進化する認知的・社会的現実における信頼と安定の確立に貢献します。

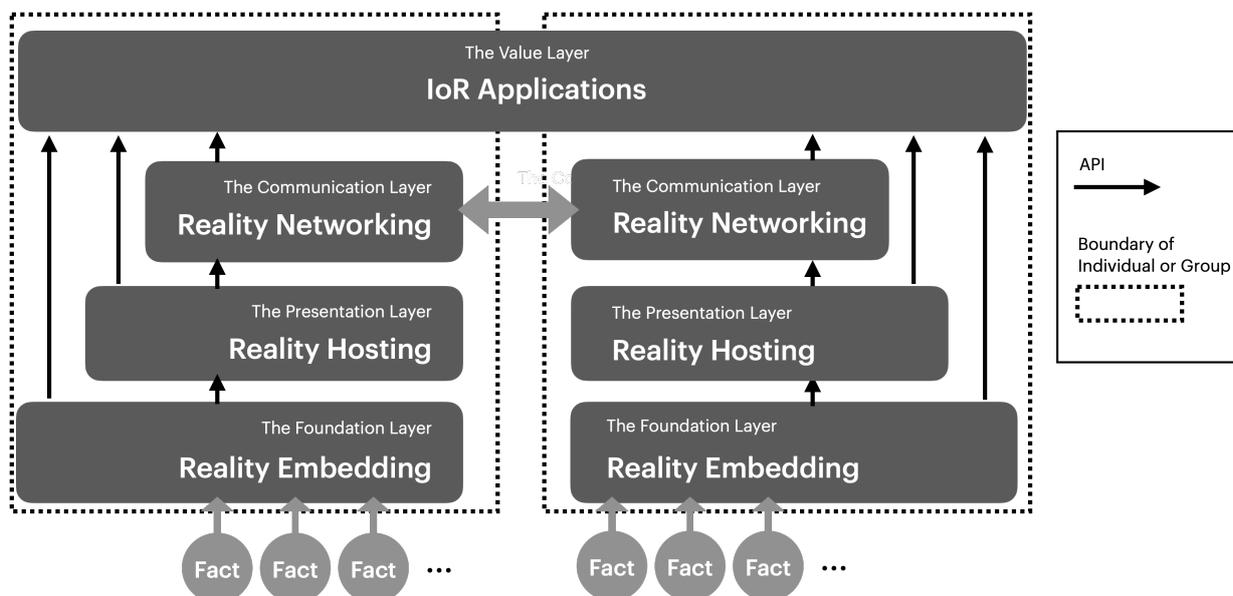


JST RISTEX（科学技術振興機構 社会技術研究開発センター）の「サービス・モビリティと多形態コミュニティの繋がりによる社会的孤立・孤独予防モデル（AmPlatea プロジェクト）」では、社会的孤立・孤独を予防する社会を実現するため、移動を単なる人の移送にとどめず、人々をつなぐ手段として再定義しています。図書館バス、移動販売車、検診車などのサービス・モビリティが目的地そのものとなり、コミュニティの結節点を創出します。本プロジェクトで構築した Community Compass は、体組成などの日常的なヘルスデータと地域活動情報を統合し、大規模言語モデル（LLM）により文脈適的な地域参加を推薦することで、つながりの予期的空間を育むことを目指しています。本プロジェクトでは社会学、福祉学、コミュニケーション学、倫理学の専門家や行政担当者などと連携し、適切なシステム構築と社会実装に取り組んでいます。

# アプローチ：IoR 参照アーキテクチャ

## Our Approach: The IoR Reference Architecture

私たちは、前章までに示した多面的な研究課題に体系的に取り組むため、IoR リファレンス・アーキテクチャを提案します。これは、固定的な技術仕様書ではなく、主観世界をつなぐ共生的・創発的・適応的なエコシステムの開発を導くための概念フレームワークです。本アーキテクチャは、相互に深く結び付いた4つのレイヤーで構成され、各レイヤーがそれぞれ中核研究課題に対応します。個人の内部で現実が形成される段階から、集合的な理解を生み出す応用段階まで、Reality のライフサイクルにおける重要機能を担います。



### Reality Embedding (基盤レイヤ The Foundational Layer)

基盤レイヤは、最も根源的な課題である 主観的経験の計算機モデル化に直接取り組みます。センシングで取得した客観的事実の生データを、ある実体固有の現実へと構造化し、計算可能な表現へ埋め込む複合プロセスを担います。

ここで重要なのは、単なるデジタルイズではなく 統合的な合成である点です。来歴や解釈といった認知過程を考慮し、信念や感情などの内部状態を形式化します。出力は「主観的現実の高次元かつリッチなモデル」であり、検証可能性と真正性という中核課題に向き合いつつ、IoR 全体の基礎データを提供します。

## Reality Hosting (提示レイヤ The Presentation Layer)

提示レイヤは、Embedding レイヤで生成された構造化データを、実体が知覚・巡航（ナビゲート）できる 感覚的体験へ翻訳する導管です。

VR/AR などの没入技術を活用し、抽象的な計算モデルと他者の「生きられた知覚経験」のギャップを橋渡しします。鍵は単なる性能ではなく 本質的な理解の促進にあり、非言語的で繊細な内部状態のニュアンスを伝えるインターフェース設計や感覚翻訳が求められます。

## Reality Networking (通信レイヤ The Communication Layer)

通信レイヤは IoR を「インターネット」たらしめる 接続のファブリックであり、安全かつ信頼に基づくネットワーク設計（第三の研究課題）に対応します。現実通信のためのプロトコルを提供し、脆弱性を伴う自己の現実共有を保護します。

ここでは「単なるデータ転送」ではなく、信頼のアーキテクチャとして、分散型 ID や先端暗号技術により内部状態と来歴のプライバシーを強制的に担保し、さらに意味が伝送過程で失われたり歪められたりしないよう 文脈的完全性を設計原則として組み込みます。

## IoR Applications (価値レイヤ The Value Layer)

最上位の価値レイヤは IoR の最終目的である 相互理解の醸成と社会課題の解決に直接応えます。下位レイヤの能力を活かし、共有現実を意図的に育むアプリケーションを支えます。

ここでは、複数の個別現実に含まれる要素を 合成・比較し、複数の実体が共通基盤（common ground）を発見・構築できるよう支援します。協働的意思決定や共感形成のメカニズムを提供する場である一方、倫理・社会的含意が最も濃密に現れる層でもあります。

---

この 4 層を通底させることで、単一の実体の内的世界から出発し、しなやかで集合的な共有現実を創出するまでの研究開発ロードマップを系統立てて整理できる、と考えています。

## 引用文献 / Bibliography

- [1] Tahera Hossain, Mohammad Saiedur Rahaman, Keiko Yamashita, Kono Aoi, Ma Guowei, Oyama Shintaro, Takuro Yonezawa, "Quantifying Work-Stress in Surgical Intensive Care Unit Nurses: A Multimodal Activity-aware Physiological Analysis", ISWC '25: Proceedings of the 2025 ACM International Symposium on Wearable Computers. Pages 118 - 124, to appear
- [2] Kazuyuki Shoji, Haru Terashima, Naoki Tamura, Shin Katayama, Kenta Urano, Takuro Yonezawa and Nobuo Kawaguchi, "Unveiling Human Attributes through Life Pattern Clustering using GPS Data Only", SIGSPATIAL '24: Proceedings of the 32nd ACM International Conference on Advances in Geographic Information Systems, Pages 621 - 624
- [3] Orsholits, Alex; Qian, Yiyuan; Nardini, Eric; Obuchi, Yusuke; Tsukada, Manabu: PLATONE: An Immersive Geospatial Audio Spatialization Platform. In: The 2nd Annual IEEE International Conference on Metaverse Computing, Networking, and Applications (MetaCom 2024), Hong Kong, China, 2024.
- [4] Takada, Tokio; Nakazato, Jin; Orsholits, Alex; Tsukada, Manabu; Ochiai, Hideya; Esaki, Hiroshi: Design of Digital Twin Architecture for 3D Audio Visualization in AR. In: The 2nd Annual IEEE International Conference on Metaverse Computing, Networking, and Applications (MetaCom 2024), Hong Kong, China, 2024
- [5] Bao, Naren; Orsholits, Alex; Tsukada, Manabu: 4D Path Planning via Spatiotemporal Voxels in Urban Airspaces. In: 3rd Annual IEEE International Conference on Metaverse Computing, Networking, and Applications (IEEE MetaCom 2025), Seoul, Republic of Korea, 2025.
- [6] Taiyo Arai, Kosei Otsuka, Akira Kanaoka, "Digital Signature Scheme for 3D Objects and Efficient Partial Verification Method Utilizing Scene Graph Hierarchy", Computer Security Symposium 2025 (In Japanese)
- [7] Orsholits, Alex; Tsukada, Manabu: Context-Rich Interactions in Mixed Reality through Edge AI Co-Processing. In: The 39-th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2025), Barcelona, Spain, 2025, ISBN: 978-3-031-87771-1.
- [8] Kaiya Shimura, Kazuma Kano, Tahera Hossain, Shin Katayama, Kenta Urano, Shun Taguchi, Hideki Deguchi, Hiroyuki Sakai, Takuro Yonezawa, Nobuo Kawaguchi, "Real-time Activity-Aware Video Streaming While Preserving Privacy", UbiComp / ISWC 2025 Posters & Demos, 2025, to appear
- [9] Takuro Yonezawa, Nozomi Hayashida, Kenta Urano, Johannes Przybilla, Yutaro Kyono and Nobuo Kawaguchi, "MetaPo: A Robotic Meta Portal for Interspace Communication", ACM SIGGRAPH2022, Poster, Article No.: 28, Pages 1 - 2
- [10] Kohei Matsumoto, Yoshiki Watanabe, Kaiya Shimura, Nozomi Hayashida, Shin Katayama, Kenta Urano, Nobuo Kawaguchi, Soko Aoki, Leleito Emanuel and Takuro Yonezawa, "MetaUniTour: Enhancing Engagement and Intercultural Understanding through A Metaverse Tourism Platform", IEEE MetaCom 2025
- [11] Soko Aoki, Akinori Inada, Masashi Tomita, "MR Kabuki: Mixed Reality Enabled Performing Arts" 2024 International Conference on Intelligent Computing and its Emerging Application

[12] Soko Aoki, Naoki Itabashi, Ripandy Adha, Shinichi Sameshima, Yuki Kinoshita, Takeo Kotoku, "Mixed Reality Guided Museum Tour: Digital Enhancement of Museum Experience" IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops 2023.

[13] Yuko Otake, Michihiro Osumi, Soko Aoki, Takamichi Kogure, Masahiko Sumitani, "Usefulness of the Extended Reality (XR) Technology on Pain Management" The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine, Vol.61 No.9 pp.812-818

[14] Akira Kanaoka, Ryota Mori, Kosei Otsuka, Shota Kurasaki, Tetsushi Oki, Toshihiro Ohigashi, Takamasa Isohara, "A Systematic Analysis of Security Threats and Attack Surface in VR/AR Environments.", SCIS2025: The 42nd Symposium on Cryptography and Information Security (In Japanese)

[15] Shodai Kurasaki, Akira Kanaoka, "Image Movement Attacks on Optical See-Through HMDs: Covert Gaze Manipulation and Privacy Risks in AR/MR System", the 3rd Annual IEEE International Conference on Metaverse Computing, Networking, and Applications (IEEE MetaCom 2025), 2025

[16] Kousei Otsuka, Akira Kanaoka, "Auditory Stimulus Attack in XR: Stimulus Characteristics and Technical Background Considerations", the 3rd Annual IEEE International Conference on Metaverse Computing, Networking, and Applications (IEEE MetaCom 2025), 2025

[17] JST RISTEX AmPlatea Project, <https://internet-of-realities.org/amplatea/>

[18] Microsoft Research Asia, Societal AI White Paper, <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/societal-ai/white-paper/>

## 謝辞/Acknowledgments

本研究は、国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) の戦略的創造研究推進事業 (CREST) (課題番号: JPMJCR22M4) の支援を受けて実施されました。研究活動を通じて出会った国内外の数多くの方々との示唆に富んだ意見交換や貴重なご助言が、本書のビジョン構築の礎となりました。また、MSRA/Societal AI Whitepaper [18] は本書の作成・構成等にあたり、大変参考にさせていただきました。ここに心より感謝の意を表します。なお、本書の英語版および日本語版の制作・校正には、一部生成 AI を活用しています。