

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔令和4（2022）年度 中間評価用〕

令和4年3月31日現在

研究期間	：2020年度～2024年度
課題番号	：20H0570
研究課題名	：超高速ビジョン・トラッキング技術を用いた次世代情報環境システムの創生
研究代表者氏名（ローマ字）	：石川 正俊（ISHIKAWA Masatoshi）
所属研究機関・部局・職	：東京大学・情報基盤センター・特任教授
研究者番号	：40212857

研究の概要：

高速知覚情報処理技術、高速情報呈示技術、高速知覚動特性評価技術を次世代情報環境システムへ統合し、人を取り巻く情報環境の時空間密度の限界へ挑戦する。(A)人間の視覚を超えた高速視覚情報処理技術の開発、(B)人間の動作をシームレスにサポートする高速情報呈示技術の開発を独自の要素技術の柱とし、その基盤として人間の時空間密度の十分性評価手法及びシステムデバイス間同期技術を開発する。

研究分野：知覚情報処理関連

キーワード：高速画像処理、情報環境システム、知覚情報処理、視覚呈示、力覚呈示

1. 研究開始当初の背景

情報環境システムにおけるインタラクションは、視覚情報処理において空間情報量の多さと高速性の間でトレードオフが存在するため、結果として生じる遅延や表示ずれに起因して、没入感やリアリティーが犠牲となっている。そのため、ユーザが情報環境において違和感を持つだけでなく、タスクにおけるパフォーマンスの低下が発生する。これに対して、研究代表者らは、これまでの性能をはるかに凌駕する情報環境システムを次々と生み出し、知覚情報処理における時空間密度に対する考え方を一変させてきた。高速画像処理技術を基軸とし、各要素技術の限界性能に挑むことで人間の感覚系では遅延や表示ずれを感じないシステムの例を開発してきた。

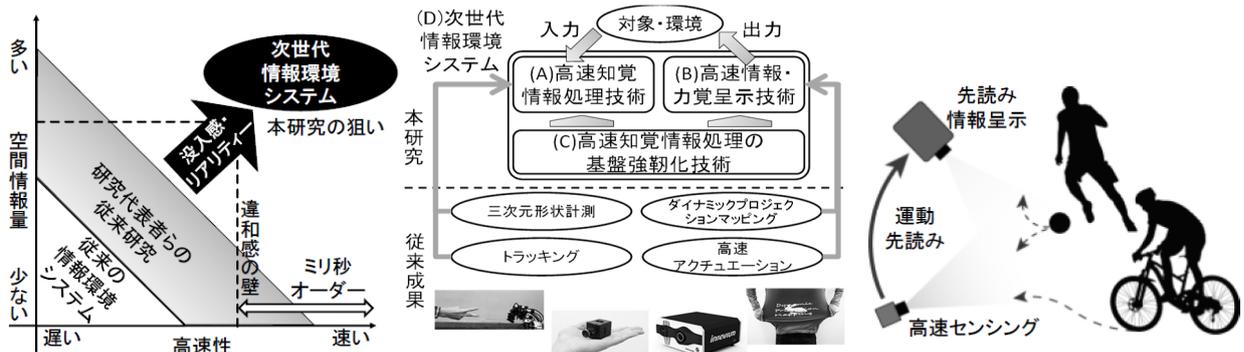
2. 研究の目的

研究代表者らは、超高速入出力システムに関連する幅広い基盤技術を確立するとともに、実際に超高速時間領域で動作する様々なシステムを構築することで、従来の情報環境システムの限界を打破してきた。これまで開発してきたデバイス等の要素技術を限界まで上げ、従来をはるかに凌駕するシステム性能を引き出すことを目的とする。加えて、利用者である人間の遅延や表示ずれの認識限界を明らかにすることで、応用システムの設計指針を確立するとともに、ネットワークに接続されたシステムデバイス間の完全同期技術を開発する。これらにより、遅延や表示ずれを感じることなく、生活の質・パフォーマンスをアップさせる情報環境を実現するとともに、時空間情報密度を実装の極限まで高めることにより、超高速知覚情報処理ならびにダイナミックインタラクションの学術的基盤を体系的に整備する。

3. 研究の方法

本研究では、研究項目AからCまでの要素技術開発を行う。それぞれ下記小項目2つずつを各研究者間で分担し、最終的にD-1)とD-2)で研究代表者を中心とした技術融合・システム統合により行うことで次世代情報環境システムを構築する。右下の図は次世代情報環境システムの一例である。

A	1) 高速形状・運動計測	2) マーカレス広域高速トラッキング
B	1) 時空間情報の映像呈示	2) 人・機械間の力覚呈示
C	1) 時空間密度の十分性評価	2) 高速カメラネットワークの実時間同期制御
D	1) 先読み情報呈示型予測情報即時呈示システム	2) ダイナミクス整合型身体動作支援システム



#### 4. これまでの成果

- A-1)** 1,000fps かつ低遅延を達成する高速 3 次元形状計測システムによる運動情報計測、および 3D モデルの復元するフレームワークを開発。研究計画外の成果として、デフォーマブルミラーを利用した移動対象の移動速度と奥行きを補償する撮影手法を提案し、動的環境で高精度かつ高速に計測可能な技術を確認。
- A-2)** 高速性を失わずにドリフト誤差を補正するアルゴリズムと、マーカレスの運動情報計測アルゴリズムを構築し、高速 3 次元形状計測と形状統合への応用を図った。画像処理システムとレーザー計測システムの連携活用を目指してデバイスの開発を行った。
- B-1)** 頭部やカメラの拘束性が低い、500fps 以上相当の高速視線計測手法の第一次試作を新たに開発した。不可視センシング計測系において絶対姿勢を推定可能な非対称マーカを新たに開発し、回転可視化を含む球体への Dynamic Projection Mapping(DPM)システムを改良・実現した。
- B-2)** 塑性変形を基軸とした力制御則を提案し、その基盤となる力制御アルゴリズムの開発・実証実験により、ヒトとロボットハンドの滑らかなインタラクションを実現した。力覚フィードバック生成に伴った反力による悪影響を避けるために、力覚呈示と作業を両手に分離した両腕同期型力学呈示手法を提案した。
- C-1)** 高速プロジェクタ及び高速液晶ディスプレイを導入し、身体や錯視の映像呈示を可能とするシステムを構築。被験者実験により既存のビデオレートの時空間密度では不十分であることを確かめた。また、動的対象のトラッキング時におけるパフォーマンスの変化に関する指標を得た。
- C-2)** 高速カメラネットワークにおける同期撮像精度を画像情報から直接求めるアルゴリズムを提案し、直線的に振動するレーザー光源を用いた評価実験を実施。1ms 以下の定量的な同期精度評価を可能にした。
- D-1)** 高速視線計測結果を DPM の投影像に反映するシステムを開発。眼球運動に対しシステム遅延時間 8.4ms と、タスクパフォーマンスに影響する映像表示遅延閾値 24.3ms に対し十分な低遅延性を実現した。
- D-2)** 高い周波数を有する機械支援と整合型感覚呈示による人間機械インタラクションをシームレスに融合するために、情報量の多い視覚呈示のほかに、人間両腕同期動作を利用した力覚呈示も加えることで、マルチモーダル感覚に基づく人間機械インタラクションおよび動作支援の実証実験を行った。

#### 5. 今後の計画

- A-1)** トラッキングを安定化するアルゴリズムを開発し、カメラ及びレーザードップラー装置のセンサフュージョンを実施する。時系列の運動情報を用い、質量重心や変形の解析アルゴリズムの開発に取り組む。
- A-2)** 前年度に構築したシステムを広域化対応させる。レーザー走査方法、高速トラッキングアルゴリズムの改良を行い、プロジェクションマッピングへの応用を念頭に、トラッキングシステムを構築する。
- B-1)** 前年度までに構築した計測システム・投影アルゴリズムを用いた動作支援的投影システムのプロトタイプを構築する。スポーツを含めた実際の動的状況での動作支援応用における課題を抽出し、計測システム・投影アルゴリズムの改良方針を定める。以降は、動作支援 DPM システムを構築する。
- B-2)** これまで構築した力覚提示手法などを利用し、極端に異なる帯域でセンシング・制御・動作する機械と人間のダイナミックインタラクション手法を確立する。
- C-1)** 映像遅延制御装置から入力映像に基づく任意映像の生成及び照射を目指し、身体変容の拡張を行う。腕の表示を改変した環境で被験者実験を実施し、次世代情報環境システムの指標を提案することを目指す。
- C-2)** 人波トラッキングシステムのプロトタイプを構築する。人波計測の定量的評価を通して、関連アルゴリズムや構成システムの改良を行う。特にリアルタイム性の確保に重点を置いて、システム全般の高速軽量化を進める。最終的には、人波トラッキングシステムを完成し、人波の完全計測を行う。
- D-1)** 高速トラッキング系と高速プロジェクタ等を組み合わせた予測情報呈示のプロトタイプシステムを構築する。選定した事前情報や統合アルゴリズムの妥当性を検証し、先読み情報呈示システムを構築する。
- D-2)** 視覚・力覚呈示などの多感覚呈示或いは外発による人間支援システムを構築する。これを基に、行動タスクを日常動作に拡張し、ユーザの負担なく環境とインタラクション可能なシステムを構築する。遅延やユーザビリティの評価を再度実施し、包括的に次世代情報環境システムを考察する。

#### 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

- Hybrid surface measuring system for motion-blur compensation and focus adjustment using a deformable mirror, Kenichi Murakami, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa, Applied Optics, 査読/有, vol.61, Issue 2, pp.429-438, 2022 年
- Dynamic Projection Mapping for Robust Sphere Posture Tracking Using Uniform/Biased Circumferential Markers, Yuri Mikawa, Tomohiro Sueishi, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa, IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, 査読/有, pp.1-1, 2021 年(Early Access)
- Dynamic Perceptive Compensation for the Rotating Snakes Illusion with Eye Tracking, Yuki Kubota, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa, PLoS ONE, 査読/有, 16 巻, pp.1-20, 2021 年
- Wide viewing angle with a downsized system in projection-type integral photography by using curved mirrors, Masahiko Yasui, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa, Optics Express, 査読/有, Vol.29, Issue 8, pp.12066-12080, 2021 年
- 市村学術賞功績賞 (石川正俊) (市村清新技術財団)

#### 7. ホームページ等

<http://ishikawa-vision.org/index-j.html>