

## 戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)

日本-ドイツ国際産学連携共同研究

終了報告書 概要

1. 研究課題名：「ダイナミックインタラクションに向けた高速マルチスペクトルプロジェクト・センシングの開発」
2. 研究期間：2018年9月～2022年3月
3. 主な参加研究者名：
  - 日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	渡辺 義浩	准教授	東京工業大学	応用開発と高速センシングの統括
主たる共同研究者	湯浅 剛	執行役員	東京エレクトロニクス株式会社	高速プロジェクト制御開発責任者
主たる共同研究者	山下 徹	—	東京エレクトロニクス株式会社	プロジェクト運営
主たる共同研究者	加瀬部 秀訓	—	東京エレクトロニクス株式会社	高速プロジェクト制御開発
主たる共同研究者	上田 晋寛	—	東京エレクトロニクス株式会社	高速プロジェクト制御開発
主たる共同研究者	角野 究	—	東京エレクトロニクス株式会社	高速プロジェクト制御開発
研究参加者	徐 鴻金	学生	東京工業大学	高速プロジェクトの開発
研究参加者	野元 貴史	学生	東京工業大学	応用開発
研究参加者	楊 森	学生	東京工業大学	高速センシングの開発
研究参加者	久一 空	学生	東京工業大学	高速センシングの開発
研究参加者	柳澤 昂輝	学生	東京工業大学	応用開発
研究参加者	瞿 佳雯	学生	東京工業大学	応用開発
研究参加者	羅 程	学生	東京工業大学	応用開発
研究参加者	彭 浩倫	学生	東京工業大学	応用開発
研究参加者	麦 偉俊	学生	東京工業大学	高速センシングの開発
研究参加者	此木 翔太郎	学生	東京工業大学	高速センシングの開発
研究期間中の全参加研究者数			16名	

## 相手側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Petra Aswendt	役員	ViALUX GmbH	機構系の開発
主たる共同研究者	Uwe Lippmann		Fraunhofer Institute IOF Jena	光学系の開発
研究期間中の全参加研究者数			2名	

#### 4. 国際共同研究の概要

運動物体に対して遅れなく映像を投影するダイナミックプロジェクションマッピングは、エンターテインメントから作業支援まで幅広い応用分野で重要な役割を果たすことが期待されている。本研究の参画メンバーは、**1000fps** で **8bit** の映像を投影可能な高速プロジェクタを共同開発するとともに、ダイナミックプロジェクションマッピングの革新的な応用を次々に生み出してきた。

しかし、これまでは対象にマーカーを貼るなどして、特定の物体のみをセンシングし、マッピングを実現する方式に限られていた。次世代の応用では、限定のない任意の物体に対する投影や、1つの物体に留まらず環境全体への投影が求められる。

以上の背景の下、可視の **RGB** 画像と不可視の **IR** 画像を同時に制御可能な高速 **RGB+IR** プロジェクタを実現した。これは、可視のマッピング映像を阻害しない **IR** 画像投影を用いたプロジェクタ・カメラ系による強力なセンシングによって空間情報を取得しつつ、マーカーレスで環境全体の外観操作を可能とするプロジェクタである。独自の光学系により、広帯域に渡る **4** 波長の画像を同軸かつ同じ焦点深度で投影できるとともに、**RGB** 画像を最大 **925fps**、**IR** 画像を最大 **2777fps** で投影することができる。このような **4** 波長の画像を投影可能なプロジェクタはこれまでに実現例がなく、次世代の投影応用の基盤技術となることが期待される。さらに、高速 **RGB+IR** プロジェクタを駆使した新たなダイナミックプロジェクションマッピングを実現した。これは、高速な深度センシングとトラッキング技術によって、対象とその周囲を含む環境全体の外観をマーカーレスで自在に変容するものである。

本国際共同研究は、光学系やプロジェクタ開発において強力な技術レベルを持ったドイツチーム、投影・センシングの高速化とその応用展開において世界的に突出した実績を持った日本チームの協働関係によって遂行されたものである。世界随一の能力を互いに結集した国際連携の相乗効果によって、世界初の高速 **RGB+IR** プロジェクタを原理検証レベルではなく、応用展開で真に価値あるレベルで実現し、なおかつその新たな応用の姿まで明らかにした。

#### 5. 国際共同研究の成果

##### 5-1 国際共同研究の学術成果および実施内容

可視の **RGB** 画像と不可視の **IR** 画像を同時に制御可能な高速 **RGB+IR** プロジェクタを実現した。このような **4** 波長の画像を投影可能なプロジェクタはこれまでに実現例がない。独自の光学系により、広帯域に渡る **4** 波長の画像を同軸かつ同じ焦点深度で投影できるとともに、**RGB** 画像を最大 **925fps**、**IR** 画像を最大 **2777fps** で投影することができる。投影画像が **4** 波長へ拡張されたにも関わらず、これまでに実現された高速プロジェクタと同等の世界最速レベルを維持している点でも優れている。さらに、本プロジェクタに基づく深度と連携する投影によって新たな応用を実現した。

##### 5-2 国際共同研究による相乗効果

世界初の高速 **RGB+IR** プロジェクタを、原理検証レベルではなく、応用展開で真に価値ある性能で実現できた。ドイツチームの独自の技術力はチャレンジングな光学系と機構系を具現化し、日本チームの独自の研究力はプロジェクタの高速化と新たな応用の姿を明らかにした。このように世界随一の能力を互いに結集することで目標達成しており、国際共同研究による相乗効果が非常に高かったと判断できる。また、研究内容を分担しつつも、互いの成果物が統合時に乖離しないように、密に交流を図った点も国際的な研究遂行において効果的であったと考えられる。

##### 5-3 国際共同研究成果の波及効果と今後の展望

本研究は、投影によって目の前の外観を自在に変容させる構想を具現化し、様々な社会分

野に新しい応用と市場を拓こうとするものである。本研究が実現した世界初の高速 RGB+IR プロジェクタとその具体的な応用事例は、この構想に向けて影響力が大きく、今後の波及効果は高いことが期待できる。

また、プロジェクタの光学系・機構系に強いドイツチームと、プロジェクタの高速制御・応用展開に強い日本チームから成る協働関係は、投影に関わる様々な課題を解決するうえで非常に有力な体制である。世界に類を見ない協働関係であり、今後も継続・発展する価値があると考えられる。まずは、本プロジェクトの成果物を社会展開する取り組みを継続することを目論んでいる。

Strategic International Collaborative Research Program (SICORP)  
Japan – German Joint Research Program  
Executive Summary of Final Report

1. Project title : 「Real-Time Fusion of Projection and Sensing by High-Speed Multispectral Units for Dynamic Interaction」
2. Research period : 09/2018 ~ 03/2022
3. Main participants :  
Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Yoshihiro Watanabe	Associate Professor	Tokyo Institute of Technology	Leader of high-speed sensing and application development
Co-PI	Takeshi Yuasa	Executive officer	Tokyo Electron Device	Leader of projector control unit development
Co-PI	Tohru Yamashita	—	Tokyo Electron Device	Project management
Co-PI	Hidenori Kasebe	—	Tokyo Electron Device	projector control unit development
Co-PI	Kunihiro Ueda	—	Tokyo Electron Device	projector control unit development
Co-PI	Kiwamu Sumino	—	Tokyo Electron Device	projector control unit development
Collaborator	Hongjin Xu	Student	Tokyo Institute of Technology	High-speed projector development
Collaborator	Takashi Nomoto	Student	Tokyo Institute of Technology	Application development
Collaborator	Sen Yang	Student	Tokyo Institute of Technology	High-speed sensing development
Collaborator	Sora Hisaichi	Student	Tokyo Institute of Technology	High-speed sensing development
Collaborator	Koki Yanagisawa	Student	Tokyo Institute of Technology	Application development
Collaborator	Jiawen Qu	Student	Tokyo Institute of Technology	Application development
Collaborator	Cheng Luo	Student	Tokyo Institute of Technology	Application development
Collaborator	Hao-Lun Peng	Student	Tokyo Institute of Technology	Application development
Collaborator	Weijun Mai	Student	Tokyo Institute of Technology	High-speed sensing development
Collaborator	Shotaro Konoki	Student	Tokyo Institute of Technology	High-speed sensing development
Total number of participants throughout the research period: 16				

## Partner-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Petra Aswendt	Executive officer	ViALUX GmbH	Mechanical unit development
Co-PI	Uwe Lippmann		Fraunhofer Institute IOF Jena	Optical engine development
Total number of participants throughout the research period: 2				

## 4. Summary of the international joint research

Dynamic projection mapping, which projects images onto moving bodies without delay, is expected to play an essential role in a wide range of applications from entertainment to work support. The participating members of this research project have jointly developed a high-speed projector capable of projecting 8-bit images at 1000 fps and have also created various innovative applications of dynamic projection mapping.

However, conventional methods have been limited to sensing only specific objects with a marker and realizing mapping. Next-generation applications will require projection onto arbitrary targets with no limitations and onto the entire environment, not just one target.

We have realized a new high-speed RGB+IR projector capable of simultaneously controlling visible RGB images and invisible IR images based on this background. This projector enables marker-less appearance manipulation of the entire environment while acquiring spatial information through robust and efficient sensing by the projector-camera system using IR image projection that does not interfere with visible mapping images. Based on our unique optical engine, the projector can project images of four wavelengths over a wide bandwidth coaxially and at the same depth of focus. It can project RGB images at a maximum of 925 fps and IR images at a maximum of 2,777 fps. There has never been a projector capable of projecting such four-wavelength images, and it is expected to become a fundamental technology for next-generation projection applications. In addition, a new dynamic projection mapping is achieved by making full use of the high-speed RGB+IR projector. This is a marker-less transformation of the appearance of the entire environment, including the object and its surroundings, through the original high-speed depth sensing and tracking technology.

This international joint research was conducted through the collaboration of the German team, which has a solid technological level in the development of optics and projectors, and the Japanese team, which has a world-leading research experience in the development of high-speed projection and sensing and its applications. We made the synergistic effect of international collaboration by bringing together such leading technological capabilities. This effect has realized the world's first high-speed RGB+IR projector not only at the level of proof of concept but also at a truly valuable level in terms of application development and even revealed new applications for this new projector.

## 5. Outcomes of the international joint research

## 5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research

We have realized a high-speed RGB+IR projector capable of simultaneously controlling visible RGB images and invisible IR images. Such a projector capable of projecting images in four wavelengths has never been realized before. The unique optical engine enables the coaxial projection of images of four wavelengths over a wide bandwidth with the same depth of focus and projection of RGB images at a maximum of 925 fps and IR images at a maximum of 2777 fps. Despite the extension of projected images to four wavelengths, the projector is also superior in that it maintains the world's fastest level, equivalent to high-speed projectors that have been realized in the past. Furthermore, we have created new projection applications in conjunction with depth-map information based on this projector.

## 5-2 Synergistic effects of the joint research

The world's first high-speed RGB+IR projector was realized not at the level of proof-of-concept but with truly valuable performance in application development. The German team's unique technological capabilities realized a challenging optical and mechanical system, and the Japanese team's unique research capabilities revealed the high-speed projector and its new applications. The goal was achieved by bringing together the world's best capabilities, and it can be judged that the synergistic effects of international joint research were extremely high. In addition, while each team concentrates on developing different elemental technology, close exchanges were made to ensure that the results of each team's work could be integrated smoothly. This scheme was also considered effective in the international joint research.

## 5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs

This research embodies the concept of freely transforming the appearance in front of our eyes through projection and attempts to open up new applications and markets in various social fields. The world's first high-speed RGB+IR projector and its specific applications realized by this research can have a strong impact on this concept and are expected to have a high ripple effect in the future.

In addition, the collaborative relationship between the German team, which is strong in projector optics and mechanical systems, and the Japanese team, which is strong in high-speed projector control and application development, is a very promising structure for solving various projection-related issues. This is a unique cooperative relationship that is worth continuing and developing in the future. As a first step toward the future, we intend to continue our efforts to develop the results of this project in society.

## 国際共同研究における主要な研究成果リスト

### 1. 論文発表等

\*原著論文 (相手側研究チームとの共著論文) 発表件数 : 計 0 件

・査読有り : 発表件数 : 計 0 件  
該当なし

・査読無し : 発表件数 : 計 0 件  
該当なし

\*原著論文 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文) : 発表件数 : 計 3 件

・査読有り : 発表件数 : 計 0 件  
該当なし

・査読無し : 発表件数 : 計 3 件

1. 渡辺義浩, 末石智大, 石川正俊: ダイナミックプロジェクションマッピング, 映像情報メディア学会誌, Vol.72, No.3, pp.332-335, 2018. DOI: 10.3169/itej.72.332
2. 成田岳, 渡辺義浩, 石川正俊: 非剛体へのダイナミックプロジェクションマッピング, 光学, Vol.47, No.6, pp.17, 2018.
3. 渡辺 義浩: ダイナミックプロジェクションマッピングによる虚実融合, 日本画像学会誌, Vol. 61, No. 1, pp. 14-21, 2022. DOI: 10.11370/isj.61.14

\*その他の著作物 (相手側研究チームとの共著総説、書籍など) : 発表件数 : 計 0 件  
該当なし

\*その他の著作物 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など) : 発表件数 : 計 0 件  
該当なし

### 2. 学会発表

\*口頭発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数 : 計 2 件 (うち招待講演 : 0 件)

1. Sora Hisaichi, Kiwamu Sumino, Kunihiro Ueda, Hidenori Kasebe, Tohru Yamashita, Takeshi Yuasa, Uwe Lippmann, Petra Aswendt, Roland Höfling, and Yoshihiro Watanabe: Depth-Aware Dynamic Projection Mapping using High-speed RGB and IR Projectors, SIGGRAPH Asia Emerging Technologies, 2021.
2. Uwe Lippmann, Petra Aswendt, Roland Höfling, Kiwamu Sumino, Kunihiro Ueda, Yoshihide Ono, Hidenori Kasebe, Tohru Yamashita, Takeshi Yuasa, Yoshihiro Watanabe: High-Speed RGB+IR Projector based on Coaxial Optical Design with Two Digital Mirror Devices, The 28th International Display Workshops, 2021.

\*口頭発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数 : 計 17 件 (うち招待講演 : 7 件)

1. 渡辺義浩, 高速ビジョン・プロジェクタが実現するダイナミックプロジェクションマッピングの未来, 日本学術振興会 光エレクトロニクス第 130 委員会 第 314 回研究会, 東京, 2018.10.11

2. 渡辺義浩, 高速プロジェクタとポストリアリティ, プロジェクションディスプレイ技術研究会 2018, 東京, 2018.11.13
3. Yoshihiro Watanabe, Dynamic Projection Mapping Toward Post Reality, The 25th International Display Workshops, pp. 1200-1203, Aichi, 2018.12.14.
4. 渡辺義浩, 高速なプロジェクションディスプレイの開発と応用展開, 電子情報技術産業協会 第4回ディスプレイデバイス部会交流会, 東京, 2019.3.19
5. Yoshihiro Watanabe: Shaping Reality Through Dynamic Projection Mapping (keynote), Nordic IOT Week, Helsinki, 2019.4.9.
6. 楊 森, 渡辺 義浩: Random Tree Walk を用いた高速・高精度な3次元人物姿勢トラッキング, 情報処理学会 第219回 CVIM 研究会, Vol.2019-CVIM-219, No.2, 2019.
7. 柳澤昂輝, 野元貴史, 渡辺義浩: 高速プロジェクタ・カメラを用いた動的環境下における見かけ操作の基礎検証, 第60回 複合現実感研究会, 2020.
8. 羅 程, 李 万龍, 渡辺 義浩: 低遅延で視点に追従するプロジェクションバーチャルリアリティディスプレイの試作, 第60回 複合現実感研究会, 2020.
9. 瞿 佳雯, 渡辺 義浩: 高速カラープロジェクタを用いたダイナミックフェイシャルプロジェクションマッピングの試作, 第60回 複合現実感研究会, 2020.
10. 渡辺義浩: 高速ビジョンと高速プロジェクタによる実世界拡張, 次世代画像入力・ビジョンシステム部会定例会, 2021.1.21.
11. Cheng Luo, Takashi Nomoto, Hao-Lun Peng, and Yoshihiro Watanabe: Crosstalk Reduction for Parallax Barrier Stereoscopic Display Based on High-speed Viewpoint Tracking and Projection, The 27th International Display Workshops, pp.451-454, 2020.
12. 柳澤昂輝, 野元貴史, 角野究, 上田晋寛, 加瀬部秀訓, 山下徹, 湯浅剛, 天野敏之, 渡辺義浩: 高速プロジェクタ・カメラとリアルタイム3次元計測を用いた実世界の色操作, 第62回 複合現実感研究会, MR2021-6, 2021.
13. 久一 空, 渡辺 義浩: 500fps デプスセンシングを用いたリアルタイムモデルベーストラッキング, 映像情報メディア学会創立70周年記念大会, 31B-3, 2020.
14. Yoshihiro Watanabe: High-Speed Projection for Augmenting the World, OPTICS & PHOTONICS International Congress 2020, 2020.4.24.
15. Weijun Mai and Yoshihiro Watanabe: Feature-Aided Bundle Adjustment Learning Framework for Self-Supervised Monocular Visual Odometry, 2021 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2021.
16. 久一 空, 渡辺 義浩: 位相シフト法のための高速な運動誤差補正の検証, 第27回 画像センシングシンポジウム, IS1-27, 2021.
17. 此木 翔太郎, 渡辺 義浩: 能動光による相互反射除去を用いた分光反射率推定, 第27回 画像センシングシンポジウム, IS1-28, 2021.

\*ポスター発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数: 計0件

該当なし

\*ポスター発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数: 計4件

1. 徐 鴻金, 王 立輝, 渡辺 義浩, 石川 正俊: 液体可変焦点レンズと高速プロジェクタを用いたダイナミックフォーカシング投影の基礎検討, 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 3C-09, 2019.
2. 野元 貴史, 田畑 智志, 渡辺 義浩: 偏光アレイカメラを用いた構造化光法による深度・法線の高速取得, 第 26 回画像センシングシンポジウム, IS3-19, 2020.
3. 小石原 遼, 渡辺 義浩: 時系列情報を用いた顔追跡の高速化に関する基礎研究, 第 26 回画像センシングシンポジウム, IS3-15, 2020.
4. 久一 空, 野元 貴史, 田畑 智志, 渡辺 義浩: マルチパターン埋め込み型位相シフト法に基づく高速 3 次元計測の開発, 第 26 回画像センシングシンポジウム, IS3-35, 2020.

### 3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催

該当なし

### 4. 研究交流の実績 (主要な実績)

#### 【合同ミーティング】

- ・ 第 1 回、2018 年 11 月 1 日、東京工業大学、神奈川、日本
- ・ 第 2 回、2019 年 8 月 27 日～28 日、ViALUX, ケムニッツ、ドイツ
- ・ 第 3 回、2019 年 11 月 25 日、東京工業大学、神奈川、日本
- ・ メンバー全員が開催場所に集まり、研究交流を図った

#### 【オンライン合同ミーティング】

- ・ 3 か月に 1 回程度の頻度で計 14 回開催した

### 5. 特許出願

研究期間累積出願件数 : 0 件

### 6. 受賞・新聞報道等

1. 映像情報メディア学会 第 53 回 鈴木記念奨励賞、2020 年
2. 東京工業大学・科学技術振興機構 共同プレスリリース「マーカー不要で高度な運動物体への投影が可能なプロジェクションマッピング用高速プロジェクターを開発～可視の RGB 画像と不可視の IR 画像を個別に同時制御～」, 2021.12.2.
3. 東京エレクトロニクス株式会社 ニュースリリース「可視 (RGB) と不可視 (赤外光) を 1 秒間に最大 925 コマ同軸投影可能な高速プロジェクターを開発 — DLP®高速プロジェクター技術の応用 —」, 2021.12.21
4. テレビ東京「探求の階段」, 動くものに投影できるプロジェクションマッピング / 渡辺義浩 (東京工業大学 准教授), 2021.1.21.
5. NHK, 世界! オモシロ学者のすご動画祭 2, 2021.8.11.
6. 日刊工業新聞, 「1 秒に最大 925 コマ 高速プロジェクター 可視・赤外光同時投影 東工大など」, 2021.12.6.
7. 日刊工業新聞, 「経営ひと言 / 東京工業大学・渡辺義浩准教授「速さ追究」」, 2021.12.9.
8. BS フジ「ガリレオ X」, 現実空間×仮想空間 二つの世界を重ねる最新技術, 2022.1.23.

### 7. その他

1. 月刊 OPTRONICS, Interview "日常に溶け込むダイナミックプロジェクションマッピング —照明としてのプロジェクターの可能性を探る", 2020 年 4 月号
2. Gizmodo, 最新のプロジェクションマッピング is ヤベエ。この世の全てがディスプレイ化できちゃう, 2021.12.17.

3. ITmedia NEWS, 動く物体と背景に張り付くプロジェクションマッピング 東工大などが開発, 2022.2.9.
4. 子供の科学 2022 年 3 月号, 動く物体にも投影! 高速プロジェクターを開発, 2022.2.10.
5. AZoSensors, High Speed Projector Brings Alternative Realities to Light, 2022.2.23.
6. YouTube: Depth-Aware Dynamic Projection Mapping using High-speed RGB and IR Projectors, 1114 views (2022.5.26 に確認)