

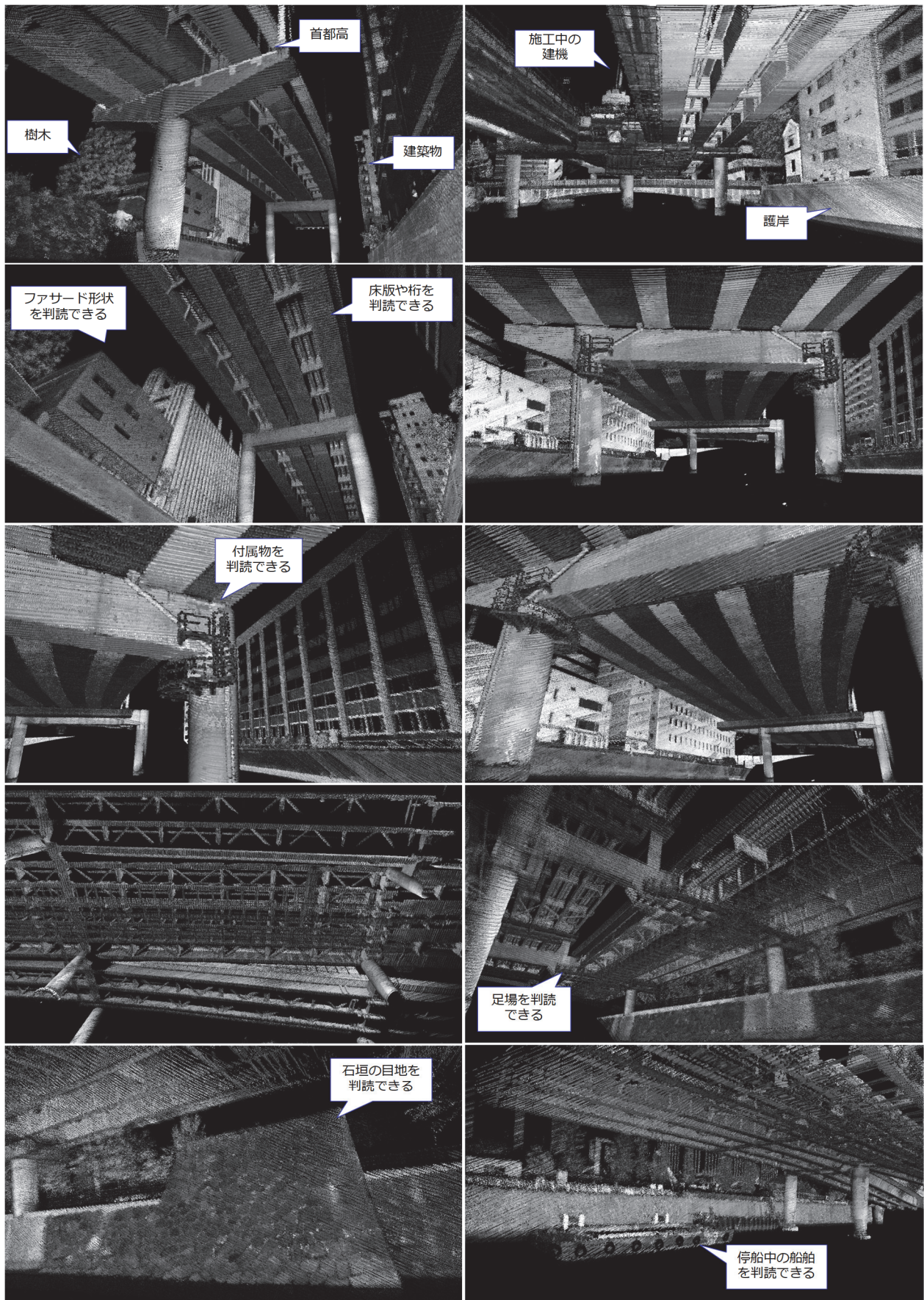


図 38. CLAS/SLAM による点群生成例(日本橋川)

2.4 実施内容に関する考察

本業務における実施内容に関する考察として、費用対効果の妥当性、および、波及効果（成果の社会的な還元の様子）についてまとめる。

2.4.1 費用対効果の妥当性

費用対効果の妥当性の考察において、まず、費用面については、開発済みの船舶やソフトウェア等を利用していることと、実験に必要な購入機材を最小限に抑えていることで、契約額の 2～3 倍の内容を実施できている状態である。次に、効果面については、研究発表数が 18（うち論文賞 4 件）であることと、研究成果の無償データ公開ができていることから、学術面で十分に貢献できているとともに、社会面への貢献を開始している状態である。これらの点から、総合的にみて、費用対効果が極めて良好である状態である（図 39）。参考資料として、前年度（令和 3 年度）における費用を表 7 に示す。

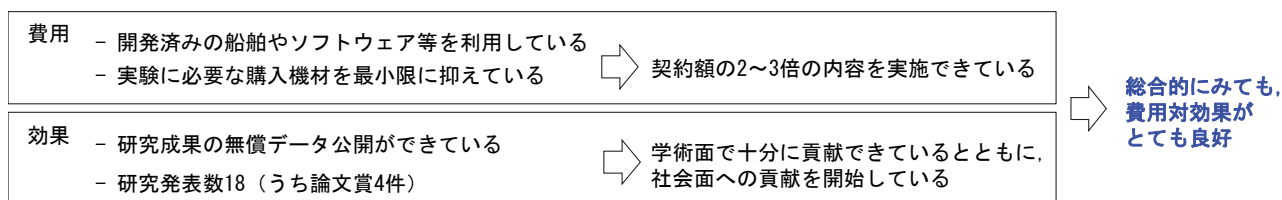


図 39. 費用対効果の妥当性

表 7. 実施項目および費用

令和3年度	
実施項目	費用（直接経費額）
1) 電池推進船搭載3D計測ユニットの構築	3.9百万円 # 所有機材と項目3の費用も追加される
2) 都市河川における測位環境の整理	3.3百万円 # 所有機材と項目3の費用も追加される
3) CLAS/SLAMの実証と検証	7.9百万円 # 所有機材と項目1・2の費用も追加される
令和4年度	
実施項目	費用（直接経費額）
1) 自動航行のための経路計画の設計法と検証	2.6百万円 # 所有機材と項目3の費用も追加される
2) 構造物計測のための経路計画の設計法と検証	2.6百万円 # 所有機材と項目3の費用も追加される
3) 変状の進展を捉えるための測位・測域精度の検証	7.1百万円 # 所有機材と項目1・2の費用も追加される

費用対効果の向上方策としては、下記の項目を検討できる。

- 精度検証に必要な高精度/高価格な計測システムをレンタルすることで機材購入コストを抑える
- ラピッドプログラミングにより開発時間コストを抑える
- GNSS 環境・非 GNSS 環境で構成される日本橋川・神田川を重点河川として選定し、多様かつ集中的に計測し、データセット間での比較を可能にすることで、実験成果利用の効果を向上する

2.4.2 波及効果

本業務の波及効果、および、事業期間終了後の展望として、成果の社会的な還元の仕組みを図 40 に示す。

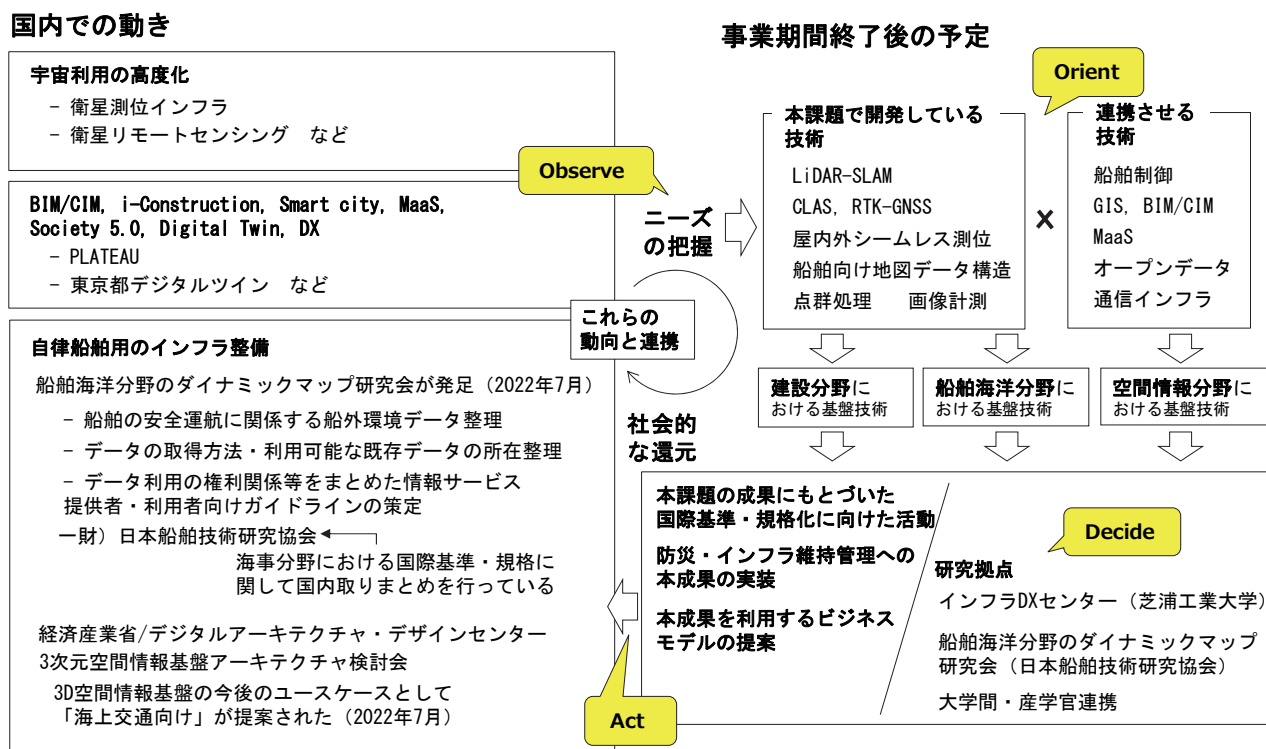


図 40. 成果の社会的な還元の仕組み

今後 10 年程度継続するための組織的・資金的・人的体制の方向性として、まず、インフラ DX センター（芝浦工業大学）を拠点とした活動がある。学生・教員、企業（ゼネコン、建設コンサルタント）、国内外の研究者を参加者とし、構造物の遠隔診断技術（インフラドクター）の実用化における要素技術として、本業務の成果を利活用する。また、船舶海洋分野のダイナミックマップ研究会（日本船舶技術研究協会）を拠点とした活動がある。地図・船舶関係の研究者・技術者・公的機関を参加者とし、船舶版ダイナミックマップの構築における要素技術として、本業務の成果を利活用する。さらに、大学間・産学官連携にもとづいた活動において、所属機関の学生・教員、国内外の研究者を参加者とする継続的な技術開発（学部・大学院の研究、ワークショップ、研究部会、公的機関からの資金調達）においても、本業務の成果を利活用する。

本業務で開発している技術（LiDAR-SLAM や、高精度 GNSS 測位・屋内外シームレス測位、船舶向け地図データ構造、点群処理、画像計測）と、連携させる技術（船舶制御や GIS、BIM/CIM、MaaS、オープンデータ、通信インフラ）の組み合わせによって、建設分野における基盤技術、船舶海洋分野における基盤技術、および、空間情報分野における基盤技術として、防災・インフラ維持管理への本成果の実装、本成果にもとづいた自律船舶関連の国際基準・規格化に向けた活動、および、本成果を利用するビジネスモデルの提案へつなげていく。

これらを実施するにあたって、社会におけるニーズの把握と社会的還元は、宇宙利用の高度化（衛星測位インフラや衛星リモートセンシングなど）や、空間データの利活用の高度化（BIM/CIM, i-Construction, Smart city/Super city, MaaS, Society 5.0, Digital Twin, DX など）、自律船舶用のインフラ整備における動向にあわせた連携を、データサイクルを主としたフレームワークにもとづいて進める。

令和５年度に、「自律型船舶に適した地図データ構造の開発」を実施するために、「操船に必要な地図参照項目の整理」と「リアルタイム地図参照の実証と検証」を計画しており、これに関する準備として、実験データで得た点群のオープンデータ化を進めている。すでに開始した取り組みとしては、データ利用という形で、実験で取得・生成した、浅草橋-万世橋区間の点群を三菱総研および東京都デジタルサービス局へ提供し、「東京都デジタルツイン 3D ビューア」[<https://info.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp/3dmodel/>]へ掲載した(図 41)。そのほか、技術的な展開としては、表 8 のように整理できる。



図 41. 「東京都デジタルツイン 3D ビューア」へ点群を掲載 (2022.10.31)

表 8. 技術的な展開

本業務で開発している技術	概要
CLAS/SLAM	河川計測において課題となる屋内外シームレス測位問題を解決する点群取得と位置姿勢推定する手法の提案
	GNSS測位にCLASを利用することで、電子基準点の設置や通信を省略し、計測作業効率性を改善する船舶以外の移動ロボット（自動運転車、UAVなど）へも展開できる
	すでに軽量UAV-LiDARや簡易MMS-LiDAR、月面測量ローバに機能搭載する実験を進めている
GNSSコンパス	複数の低価格GNSSアンテナを利用することで、衛星測位で姿勢推定する手法の提案
	高価格なIMUの代替センサとして、計測システム全体の価格を大幅に改善する
	船舶以外の移動ロボット（自動運転車、UAVなど）へも展開できる
異常検知にもとづく 構造物スクリーニング手法	工場での検査に利用される異常検知処理を構造物スクリーニング手法へ適用する手法を提案
	正常画像のみを学習に利用するアプローチにより、学習データ収集に関する効率性を改善する
	GANベースの処理の適用により、性能改善を検討できる
オープン地図データ活用	CityGMLのLOD0程度の情報量で、CLAS/SLAMのグローバルマッチング性能を改善する手法を提案
	オープン地図データ（PLATEUデータ）の利活用事例として貢献する
	PLATEUデータ更新手法へも展開できる

3 まとめ

本業務の目的の達成度を示すにあたって、「2. 実施内容」に委託業務の達成度に関する具体的な内容を掲載してあるが、委託業務の目的に対して、令和4年度の活動でどこまで達成したかを、委託業務の目的の達成度として、下記にまとめる。

1) 自動航行のための経路計画の設計法と検証

主として、操船に必要な地図参照項目とリアルタイム地図参照に関する基礎データを取得した。目視航行と同じレベルの自動航行を実現するための経路計画にもとづき、都市河川航行での最適な経路生成法の確定を目標達成の指標とした。対象河川数3を目標値とし、実績値はのべ8(実験数6:日本橋川4回、神田川3回、汐見運河等1回)であり、目標を達成した。

2) 構造物計測のための経路計画の設計と検証

主として、「1) 自動航行のための経路計画の設計法と検証」で取得した基礎データに加え、変状の観測やSfM/MVS画像撮影における撮影位置制約の基礎データを取得した。変状の観測やSfM/MVS画像撮影における撮影経路計画にもとづいて、船舶の移動制約による撮影位置制約の明確化(定性評価)を目標達成の指標とした。対象河川数3を目標値とし、実績値はのべ8(実験数6:日本橋川4回、神田川3回、汐見運河等1回)であり、目標を達成した。

3) 変状の進展を捉えるための測位・測域精度の検証

橋梁などの定期点検要領にもとづき、0.2mmのコンクリートひび割れを検出する空間分解能での画像撮影を目安とし、変状の進展を捉えるための位置再現性を地図情報レベル500にもとづく精度(水平位置の標準偏差0.25m以内、標高点の標準偏差0.25m以内)で確立した。

最後に、本業務の成果の意義を図42に示す。

成果	成果の意義
1) 自動航行のための経路計画の設計法と検証 - 都市河川を航行する船舶(L10m×W3m×喫水0.5m)の自動航行で必要となる情報を実測・検証 - 都市河川は、潮の干満により、船舶航行に利用可能な水路幅が護岸形状・橋脚位置・橋梁形状で変化するため、 3D経路計画として情報整理	早期の自律船舶の実運用を念頭に入れている点で意義がある
2) 構造物計測のための経路計画の設計法と検証 - 変状の観測やSfM/MVS画像撮影における撮影位置制約の基礎データを取得 - CLAS受信機の性能比較に加えて、CLAS以外の測位手法の比較実験を実施 (RTK-GNSS測位、慣性航法(IMU)、魚眼カメラによる位置解推定など)	屋内外シームレス測位の低コスト化を探索する点で意義がある
3) 変状の進展を捉えるための測位・測域精度の検証 - CLAS/SLAMで点間隔4cmかつ測位精度10cmで 点群を生成し、データ公開を開始 している - 異常検知にもとづく構造物スクリーニング手法なども並行して提案している	未着手法の河川航行用3D地図の生成・利活用方法を提示する点で意義がある

図 42. 成果の意義

学会等発表実績

委託業務題目「都市河川構造物点検における自律型船舶利用のための水上屋内外シームレス測位」

機関名 芝浦工業大学

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果(発表題目、口頭・ポスター発表の別)	発表者氏名	発表した場所 (学会等名)	発表した時期	国内・外の別
IMU ステレオカメラを用いた地上 SfM/MVS における画像間対応付けの効率化(口頭発表)	中川雅史, 山口友一朗	令和 4 年度年次学術講演会発表論文集, 日本写真測量学会	2022/5/19	国内
SLAM と PPP-RTK による河川空間での屋内外シームレス測位(口頭発表)	木邨直人, 中川雅史, 栗田航貴, 尾関友啓, 久保信明, 清水悦郎	令和 4 年度年次学術講演会発表論文集, 日本写真測量学会	2022/5/20 (論文賞受賞)	国内
画像群からのコンクリート変状抽出におけるオートエンコーダによる異常検知の適用(口頭発表)	山口哲, 的場日菜, 中川雅史	令和 4 年度年次学術講演会発表論文集, 日本写真測量学会	2022/5/20 (論文賞受賞)	国内
CLAS 測位結果を用いた LiDAR-SLAM の精度検証手法(口頭発表)	重藤李佳子, 木邨直人, 中川雅史, 尾関友啓, 久保信明, 清水悦郎	測位航法学会 2022 年度全国大会研究発表会	2022/6/10	国内
IMU による小型船舶の姿勢推定(口頭発表)	小松大生, 久保信明, 清水悦郎, 中川雅史	測位航法学会 2022 年度全国大会研究発表会	2022/6/10	国内
Accuracy Verification Methodology of Water Borne Lidar-SLAM Using CLAS Positioning(口頭発表, アブストラクト査読)	Rikako Shigefuji, Naoto Kimura, Masafumi Nakagawa, Tomohiro Ozeki, Nobuaki Kubo, Etsuro Shimizu	The 43rd Asian Conference on Remote Sensing (ACRS2022)	2022/10/4	国外
Positioning and Trajectory Interpolation using SLAM and PPP-RTK for River Mapping(口頭発表, アブストラクト査読)	Naoto Kimura, Masafumi Nakagawa, Tomohiro Ozeki, Nobuaki Kubo, Etsuro Shimizu	The 43rd Asian Conference on Remote Sensing (ACRS2022)	2022/10/4	国外
Anomaly Detection with Autoencoder for Concrete Deformation Extraction from Images(口頭発表, アブストラクト査読)	Tetsu Yamaguchi, Hina Matoba, Masafumi Nakagawa	The 43rd Asian Conference on Remote Sensing (ACRS2022)	2022/10/4 (論文賞受賞)	国外

Efficient Image Matching using IMU Stereo Camera in SfM/MVS (口頭発表, アブストラクト査読)	Masafumi Nakagawa, Yuichiro Yamaguchi	The 43rd Asian Conference on Remote Sensing (ACRS2022)	2022/10/4	国外
単調な空間における SLAM 退化問題の解消案(口頭発表)	新堀五月, 重藤李佳子, 木邨直人, 斎藤一葉, 中川雅史	GPS/GNSS シンポジウム 2022, ビギナーズセッション	2022/10/21	国内
IMUとGNSSコンパスを用いた船体運動測定(口頭発表)	小森健史, 小松大生, 久保信明, 清水悦郎, 中川雅史	GPS/GNSS シンポジウム 2022, 研究発表会	2022/10/21	国内
CLAS/LiDAR-SLAM を用いた都市河川シームレス測位の精度検証(口頭発表)	木邨直人, 中川雅史, 尾関友啓, 久保信明, 清水悦郎	GPS/GNSS シンポジウム 2022, 研究発表会	2022/10/21	国内
都市河川計測における建物データを用いた CLAS/SLAM の補正処理(口頭発表)	中川雅史, 木邨直人, 尾関友啓, 久保信明, 清水悦郎	GPS/GNSS シンポジウム 2022, 研究発表会	2022/10/21	国内
SLAS と CLAS の長期観測結果(口頭発表)	柳澤亘, 姚凝致, 宇田川千尋, 久保信明, 清水悦郎, 中川雅史	GPS/GNSS シンポジウム 2022, 研究発表会	2022/10/21	国内
CLAS/ LiDAR による船舶位置姿勢推定と3D データ活用(口頭発表)	中野雄太, 重藤李佳子, 山口哲, 木邨直人, 中川雅史	GPS/GNSS シンポジウム 2022, ビギナーズセッション	2022/10/21	国内
建物データを用いた都市河川計測における CLAS/SLAM 補正処理(口頭発表)	中川雅史, 木邨直人, 尾関友啓, 久保信明, 清水悦郎	令和 4 年度秋季学術講演会発表論文集, 日本写真測量学会	2022/11/11	国内
Anomaly Detection for Concrete Deformation in Urban Rivers from Images (ポスター, アブストラクト査読)	Tetsu Yamaguchi, Hina Matoba, Masafumi Nakagawa	The 17th South East Asian Technical University Consortium 2023 (SEATUC2023)	2023/2/23	国外

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文(発表題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表した時期	国内・ 外の別
都市河川での GNSS/SLAM による屋内外シームレス測位(査読あり)	中川雅史, 木邨直人, 尾関友啓, 久保信明, 清水悦郎	応用測量論文集, 第 33 巻, 日本測量協会	2022/8/29 (論文賞受賞)	国内