

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 10 日現在

機関番号：32619

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870580

研究課題名(和文)非専門家による土木構造物の点検作業のクラウドソーシング技術の提案と検証

研究課題名(英文)Development and Verification for Crowd Sourcing Methodology in Inspection of Infrastructures

研究代表者

中川 雅史(NAKAGAWA, Masafumi)

芝浦工業大学・工学部・准教授

研究者番号：10415721

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：近年、構造物建設や維持管理、補修、撤去の過程を包括した構造物ライフサイクルコストの最小化するConstruction Information Modeling (CIM)が着目されている。しかし、構造物の情報取得作業において多くの技術者が必要であるとともに、各構造物の3D幾何モデル構築が必要であるという課題がある。そこで本研究では、非専門家の活用を可能とするモバイル端末を用いた位置情報技術およびクラウドソーシングによって、構造物管理を支援する地上型点検法に着目し、土木構造物を対象とした実験を通じて、モバイル端末を用いる構造物管理の手法に関して技術的な課題および改善策を整理および明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Infrastructure asset management is a framework for achieving sustainable infrastructure. Generally, the management focuses on the low life-cycle cost in a process of construction, maintenance, rehabilitation, and replacement. Based on this framework, a 3D geometric model is often generated based on construction information modeling (CIM). Moreover, there is a need to refer to maps, engineering drawings, databases, and technical documents in asset attributes acquisition by many engineers. Therefore, we focused on ground investigation and inspection using mobile devices with crowd sourcing approaches. We aimed to assist investigators in infrastructure asset monitoring with location-based applications. We proposed and evaluated our location-based investigation application for facility management based on CIM. Through our experiments, we explored and clarified several issues in infrastructure asset monitoring using mobile devices.

研究分野：土木工学

キーワード：情報化施工 CIM 構造物維持管理 クラウドソーシング 位置情報 モバイル端末 画像処理 Structure from Motion

### 1. 研究開始当初の背景

日本において、点検すべき土木構造物は橋梁だけで70万橋あり(橋長2m以上)、20年後には国内橋梁の半数以上が築後50年を越え、老朽化問題が深刻化する。安全な道路サービス提供やライフサイクルコスト削減のために、大規模修繕に至る前に損傷を早期発見する予防保全の技術および運用方法の確立が急務である。土木構造物の予防保全において、補修時期の判断を下すために点検が行われる。従来の点検は、構造物表面を目視で検査する目視点検が主流であり、人の感覚に頼った作業であるため、職人的技術と経験が要求される。このような背景のもと、構造物劣化状況の3D計測に関する研究(図1)や、土木構造物の情報化を行うConstruction Information Modeling(CIM)の提唱など、予防保全における点検の高度化が試みられている。しかし、市区町村における財政力不足と職員不足、専門的知見不足により、点検情報が十分に集まらず、予防保全のための長寿命化修繕計画を策定できていない状態である。そのため、非専門家であっても土木構造物の点検を可能にする手法が求められている。



図1. 構造物劣化状況の3D計測結果の可視化例

申請者はCIMに基づいた研究において、熟練専門家の目視点検と同等の点検精度と信頼性を画像センシング技術により得られることを指摘した(図2は橋梁点検の例)。



図2. 3D計測システムを用いた橋梁点検

また、点検現場での点検情報提示に関する研究を通して、位置情報の活用による、点検の効率性と点検情報の可用性の向上を指摘した。さらに、自治体や建設系企業へのヒアリングを通し、自治体職員や地域住民のような非専門家でも扱えるモバイル端末(位置と画

像を同時取得するカメラやPC)を用いた点検作業(図3)の要望が高いことがわかった。



図3. モバイル端末を用いた点検作業

しかし実際には、構造物周辺の測位環境は劣悪であり、非専門家による点検作業の過誤を的確に防ぐ点検者ナビゲーションや、集積した点検結果を解析するための点検履歴画像の重畳表示が、測量用高精度測位装置を用いたとしても困難であることがわかった。そこで、申請者のこれまでの知見、および、Sfm法(Structure from Motion, 複数画像から3D形状とその撮影位置姿勢を同時推定する手法)を利用した位置補正技術と、SIFT法(Scale-Invariant Feature Transform, 複数画像上の対応点検出法)を利用した点検履歴画像の重畳表示技術を新たに開発し、これらを効果的に融合することで、日常的に行う点検作業を非専門家に委託し、集積された点検結果から専門家が補修時期の判断を下す点検作業のクラウドソーシングという、社会貢献性が高い運用技術を実現できるものと考えた。

### 2. 研究の目的

本申請は、地域住民のような非専門家が専門家と協働できる土木構造物の点検支援手法であるクラウドソーシング(図4)を提案する。この手法が専門家のみによる従来型の点検作業と同等品質を確保できるかを検証し、自治体や地域住民間での活用に波及できるか調査研究することを目的とする。この目的を達成するため、明らかにする項目を次に示す。

- (A) 専門家を対象としたモバイル端末を用いた点検手法における課題整理
- (B) モバイル端末で得た位置情報の補正に関する有用性の検証
- (C) 非専門家を対象とした実用での利用可能性に関する実証

### 3. 研究の方法

本申請で提案する、地域住民のような非専門家が専門家と協働できる土木構造物の点検支援手法であるクラウドソーシングを図4に示す。研究目的およびこれらの項目を達成するために、研究期間内において明らかにした項目(A)、(B)、(C)と研究スケジュールを図5に示す。

- (A) 専門家を対象としたモバイル端末を用い

た点検手法における課題整理  
従来型作業における点検記録項目や現場作業で表示すべき項目、入出力情報の流れにおける課題を整理するために、点検記録項目の整理とモデリングを行なった。これによって、点検作業において一部曖昧となっている位置・方向・仰角に関する実用面において必要精度を明らかにした。H26.前期・後期で、クラウドソーシングを意識したモバイル端末を新たに導入した場合に、専門家、および、自治体の対応がどのようになるかの課題を見出した。

**(B) モバイル端末で得た位置情報の補正に関する有用性の検証**

定期的に繰り返す点検作業において、点検者を経路案内する点検者ナビゲーションの構築を行い、点検情報を抜け漏れなく（過誤なく）取得することで、点検作業の効率性と信頼性を両立できるかを明らかにした。さらに、衛星測位された位置データと点検情報として取得された画像を用いて SfM 法の利用によって補正する位置補正技術の開発を行い、衛星測位環境が不良な構造物周辺であっても、

測位精度や、継続性（移動中に測位中断がどの程度あるか）、可用性（測位可能領域がどの程度あるか）を向上できることを明らかにした。(B)については、(A)とほぼ同時に開始した。仮想点検者のナビゲーションの実施と検証、それに対する位置補正の実証実験が主である、この理論的検証は先に述べたようにほぼ終えている。

**(C) 非専門家を対象とした実用での利用可能性に関する実証**

SIFT 法を利用した点検履歴画像の重畳表示技術の開発を行い、低い計測精度の端末を用いたとしても、画像差分処理による劣化領域の自動抽出等、点検履歴画像の高度活用ができることを明らかにした。また、土木構造物点検における実証実験を通して、専門家と非専門家で構成されるクラウドソーシングに基づく運用法が実現可能か明らかにした。また、実験結果を用いて、自治体へのヒアリングを行い、自治体での導入に際しての検討項目を明らかにした。(C)については、(A)と(B)の知見を利用した現場実証実験が主となり、H26.前期に開始した。

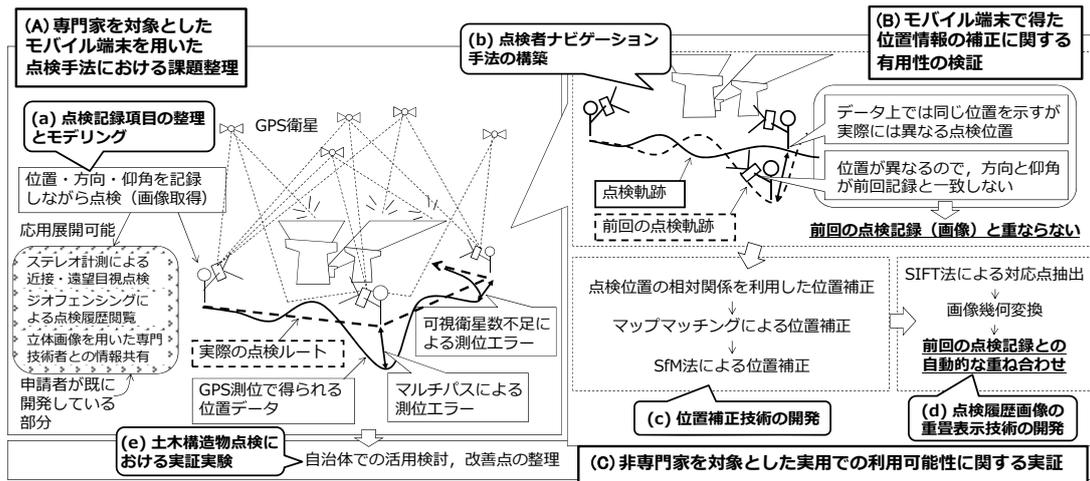


図 4. クラウドソーシングを実現するために研究期間内に明らかにしたこと

研究項目	実施時期	H26.前期	H26.後期	H27.前期	H27.後期	実施可能な根拠である研究業績
(A) 専門家を対象としたモバイル端末を用いた点検手法における課題整理	(a) 点検記録項目の整理とモデリング		→点検作業における位置・方向・仰角の必要精度を明らかにする			研究業績 24, 27, 28
	(b) 点検者ナビゲーション手法の構築		→点検作業の効率性を向上できるかを明らかにする			研究業績 1~8, 19~23, 24, 27, 28
(B) モバイル端末で得た位置情報の補正に関する有用性の検証	(c) 位置情報補正技術の開発		→測位精度や継続性、可用性を向上できることを明らかにする			研究業績 1~8, 19~23, 33~38
	(d) 点検履歴画像の重畳表示技術の開発		→非専門者が取得した点検情報の活用可能性を明らかにする			研究業績 4, 6, 9, 11, 24~33
(C) 非専門家を対象とした実用での利用可能性に関する実証	(e) 土木構造物点検における実証実験		→自治体での導入に際しての検討項目を明らかにする			研究業績 1~39
	本成果の応用展開に向けての予備実験					「ステレオ計測による近接・遠望目視点検」、「ジオフェンシングにもとづいた点検履歴閲覧」、「立体画像を用いた非専門家と専門家の情報共有」と連携

図 5. 研究スケジュール、開発項目および実験項目

4. 研究成果

(A) 専門家を対象としたモバイル端末を用いた点検手法における課題整理  
 点検記録項目の整理とモデリングを行い (図6)、従来型作業における点検記録項目 (図7) や現場作業で表示すべき項目 (図8)、入出力情報の流れ (図9) における課題を整理した。これによって、点検作業において一部曖昧となっている位置・方向・仰角に関する実用面において必要精度を明らかにした (表1)。

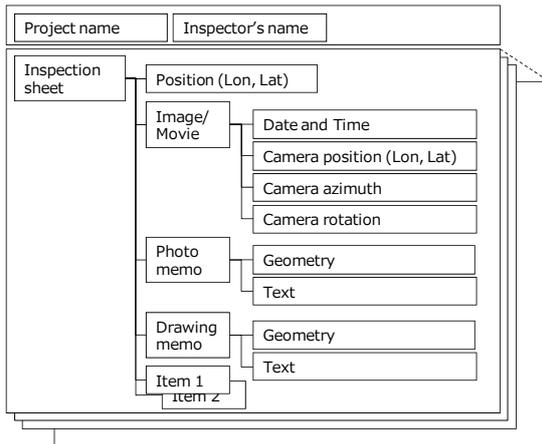


図6. 点検記録項目の整理とモデリング

Meta data		
- Identifier	- Region's name	- Weather
- Project name	- Office's name	- Date
- Address	- Inspector's name	- Time

Main data		
- The degree of emergency (A,B,C or D)		
- Checklists		
<b>危険箇定検</b> 1. 工作物の新築、改築、移転又は撤却 2. 土地の掘削、盛土、切土等の形状を変更する行為 3. 土石又は砂利等の採取、集積又は投棄 4. 立木竹の伐採 5. 樹根、支柱又は埋れ木の採取 6. 木竹、土石等の積下又は増引による滞り 7. 工、産業廃棄物等の不法投棄 8. 指定地盤調査の有無 9. 指定地盤調査の発掘による劣化等の状況 10. 流域の汚染 11. 山腹の崩壊 12. 地すべり等の状況 13. 流域の崩壊 14. 深床への不安定土砂の蓄積 15. その他 ( )	<b>土木竣工</b> 1. 堤体の破損 2. 堤体のクラック 3. 堤体の漏水 4. 堤体の変位 5. 周辺地山の崩壊 6. 周辺地山の漏水 7. 周辺地山の地すべり等の状況 8. 基礎地盤の劣化 9. 基礎地盤の変位 10. 土砂の異常堆積 11. 魚道の破損 12. 防護柵等の付属施設の破損 13. その他 ( )	<b>産廃工</b> 1. 堤体の破損 2. 床面のクラック 3. 床面の変位 4. 土砂、枯れ草等による落下能力の低下 5. 魚道の破損 6. 防護柵等の付属施設の破損 7. その他 ( )
<b>護岸工</b> 1. 護岸の開口、破損 2. 護岸のクラック 3. 護岸の積下、取出し等の状況 4. 根入れ部の洗掘等の状況 5. 土砂、枯れ草等による落下能力の低下 6. 防護柵等の付属施設の破損 7. その他 ( )	<b>橋水設備工</b> 1. 橋水設備の開口、破損 2. 橋水設備のクラック 3. 橋水設備の積下、取出し等の状況 4. 橋水設備の洗掘等の状況 5. 高水数の陥没等の状況 6. 深い溝、急流の淵等、危険性の高い河川の変状 7. 防護柵等の付属施設の破損 8. 橋脚、橋板等の破損 9. その他 ( )	<b>管理用道路</b> 1. 開口、陥没等の状況 2. 護岸の破損 3. その他 ( )

図7. 整理した従来型作業における点検記録項目

Category A	・Display of maps, drawings, images, movies, and technical information ・Input of characters, lines, and shapes ・Adding a postscript to technical documents
Category B	・Documentation compatible with various template sheets ・Display of various types of maps and drawings (tiff, shp, sxf, dwg, etc.) ・Navigation in facility area ・Measurement (distance and area, etc.) ・Change detection ・User intuitive operability

図8. 現場作業で表示すべき項目

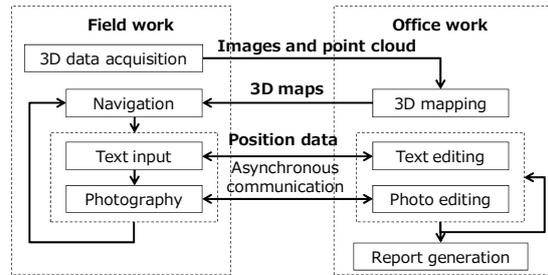


図9. 入出力情報の流れ

表1. 点検作業における位置・方向・仰角に関する実用面における必要精度

Levels of details	Content	Required accuracy
LOD1 Address	Inspector's arrival in an inspection area	100m
LOD2 Structure	Structure detection	10m
LOD3 Inspection	Inspection point detection	10 cm - 1 m
LOD4 Photo management	Documentation - Photography - Drawing	- 1 cm - 1 degree

(B) モバイル端末で得た位置情報の補正に関する有用性の検証

多様なモバイル端末 (図10) および位置情報取得可能なカメラ (図11) を対象として、点検情報を取得し、(A)で提案した手法を検証した。また、定期的に繰り返す点検作業において点検者を経路案内する点検者ナビゲーション (図12) の構築を行い、点検情報を抜け漏れなく取得することで、点検作業の効率性と信頼性を両立できるかを明らかにした。さらに、衛星測位された位置データと点検情報として取得された画像を用いてSEM法の利用によって補正する位置補正技術の開発を行い、衛星測位環境が不良な構造物周辺であっても、測位精度や、継続性、可用性を向上できることを明らかにしたとともに、従来型作業で時間のかかる画像整理を高速化できることを明らかにした (図13)。

	<b>YOGA TABLET 8</b> - Android - CPU:1.2 GHz - RAM: 1 GB - 1280×800 px - GPS, Acceleration, Gyro, Compass
	<b>Xperia Z2 Tablet</b> - Android - CPU:2.3 GHz - RAM: 3 GB - 1920×1200 px - GPS, Acceleration, Gyro, Compass
	<b>iPad 1st</b> - iOS - CPU:1 GHz - RAM: 256 MB - 1024×768 px - Acceleration, Compass
	<b>Xperia VL</b> - Android - CPU:1 GHz - RAM: 16 GB - 1280×720 px - GPS, acceleration, gyro, compass

図10. 実験で使用したモバイル端末



図 11. 位置情報取得可能なカメラ (左上: 二眼全方向カメラ (位置情報はタブレット端末で取得), 右上: 四眼全方向カメラ (位置情報は GPS ロガーで取得), 左下: ジンバルカメラ (位置情報はタブレット端末で取得), 右下: マイクロドローン搭載カメラ (位置情報はドローン搭載の GPS 受信機で取得))

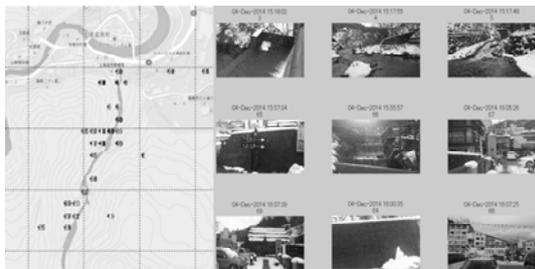


図 12. 経路案内する点検者ナビゲーション

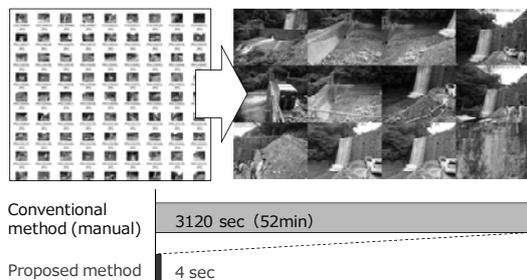


図 13. 点検者ナビゲーションにおける位置補正および点検画像整理の高速化

(C) 非専門家を対象とした実用での利用可能性に関する実証

SIFT 法を利用した点検履歴画像の重畳表示技術の開発を行い, 低い計測精度の端末を用いたとしても, 画像差分処理による劣化領域の自動抽出等, 点検履歴画像の高度活用ができることを明らかにした. また, 土木構造物点検における実証実験を通して, 専門家 (6名) と非専門家 (のべ 30名) で構成されるクラウドソーシングに基づく運用法が実現可能か明らかにし, 実験で収集した画像から点検で利用できる 3D データを生成できることを確認した (図 14, 図 15). さらに, 実験

結果を用いて, 自治体へのヒアリングを行い, 自治体での導入に際しての検討項目を明らかにした.

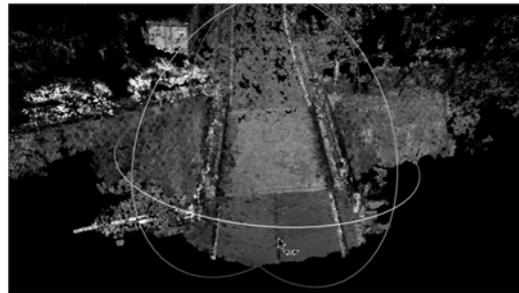


図 14. 市販コンパクトデジカメで地上撮影した多視点画像から生成した橋梁 3D モデル

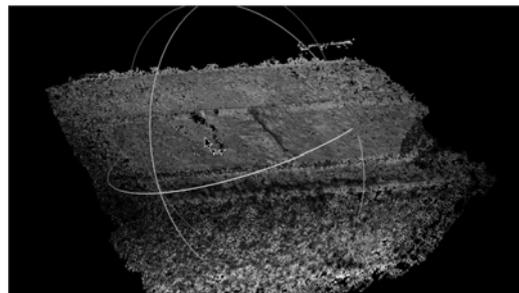


図 15. 市販コンパクトデジカメで地上近接撮影した画像から生成した橋梁のコンクリートはく離部および鉄筋露出部の 3D モデル

(そのほか) 地上設置型レーザースキャニングデータからのベースマップ生成における課題の解決

実験において, 地上設置型レーザースキャニングで得られる色付き点群データから, 点検用のベースマップ (オルソ画像) を生成した. しかし, 河川周辺での計測や雨天時の計測では欠測箇所がとても多いという技術的課題で, ベースマップとしての利用は容易ではなかった. そこで, 画像処理法のひとつであるインペインティング処理を点群処理に適用することで, この課題を解決できることを明らかにした.



図 16. 点群データからのベースマップ (オルソ画像) 生成 (図左: 従来型手法による結果. 塗りつぶし領域が欠測領域を示す, 図右: 提案手法による結果. 欠測領域を推定し, 情報を不自然なく再構築できている)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計14件)

- ① Masafumi Nakagawa, Yosuke Miyagaki, Tomoya Nuno, Yuuki Saito, Yasuaki Noda, Kazuyuki Hashimoto, Masaya Ito, Masahiro Miyo, Geo-Tagged Image Acquisition and Management in Sabo Facility Inspection, SEATUC Symposium 2016, PS03-05, 4 pages, 2016 (アブストラクト査読).
- ② Shido Tanaka, Sho Takayama, Masafumi Nakagawa, Camera Path Design for Panoramic Image Acquisition, SEATUC Symposium 2016, OS03-14, 4 pages, 2016 (アブストラクト査読).
- ③ Masafumi Nakagawa, Tomoya Nuno, Takuya Takahashi, Yumi Hanawa, Sho Takayama, Patch-Based Texture Reconstruction from Colored Point Cloud, SEATUC Symposium 2016, PS03-06, 4 pages, 2016 (アブストラクト査読).
- ④ Shido Tanaka, Masafumi Nakagawa, Path Design for Ground-based Panoramic Image Acquisition, The 36th Asian Conference on Remote Sensing 2015, 6 pages, 2015 (査読なし).
- ⑤ Masafumi Nakagawa, Shido Tanaka, Tatsuya Yamamoto, Colored Point Cloud Reconstruction Based on Image Inpainting, The 36th Asian Conference on Remote Sensing 2015, 7 pages, 2015 (査読なし).
- ⑥ Masafumi Nakagawa, Tatsuya Yamamoto, Shido Tanaka, Yasuaki Noda, Kazuyuki Hashimoto, Masaya Ito, Masahiro Miyo, Location-based Infrastructure Inspection for SABO Facilities, The International of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-3/W3, pp. 257-262, 2015 (アブストラクト査読).
- ⑦ Masafumi Nakagawa, Hiroki Mito, Konosuke Kataoka, Yasuaki Noda, Kazuyuki Hashimoto, Masaya Ito and Masahiro Miyo, Location-based sabo infrastructure monitoring, The International Symposium on Cartography in Internet and Ubiquitous Environments 2015, C1, 10. pp, 2015 (査読なし).
- ⑧ Masafumi Nakagawa, Yoshiki Ogawa, Tatsuya Yamamoto, Konosuke Kataoka, Yasuaki Noda, Kazuyuki Hashimoto, Masaya Ito, Masahiro Miyo, Location-based Infrastructure Asset Monitoring using Mobile Devices, The

35th Asian Conference on Remote Sensing 2014, 6. pp, 2014 (査読なし).

- ⑨ 中川雅史, 三戸大希, 片岡恒之輔, 三代雅博, 野田康朗, インフラ施設の長寿命化に向けたクラウドストレージを利用した目視点検支援, コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集 (Vol. 5), p. 213-220, 2015 (査読あり).
- ⑩ 中川雅史, 正村眞, 田中至道, 三戸大希, 小林珠己, インペインティング処理による色付き点群データの水面補間, 日本写真測量学会 平成27年度年次学術講演会発表論文集, pp. 101-102, 2015 (査読なし).
- ⑪ 中川雅史, 高橋泰斗, 勝木太, 施工・点検支援端末のための画像マッチングに基づいた音声認識, 日本写真測量学会平成27年度年次学術講演会発表論文集, pp. 79-80, 2015 (査読なし).
- ⑫ 田中至道, 中川雅史, 原拓也, 全方向パノラマ画像上におけるジオタグ画像の空間的整理手法, 平成27年度測位航法学会全国大会, 1. pp, 2015 (査読なし).
- ⑬ 山本達也, 三戸大希, 片岡恒之輔, 中川雅史, 野田康郎, 橋本和行, 伊藤雅哉, 三代雅博, 砂防点検業務におけるモバイル端末を用いたナビゲーションの高度化, 平成27年度測位航法学会全国大会, 1. pp, 2015 (査読なし).
- ⑭ 原拓也, 大木岳洗, 波多江美樹, 中川雅史, 位置方位つきパノラマ画像をベースマップとした GPS カメラ画像の整理法, 第19回 GPS/GNSS シンポジウム 2014, ポスターセッション, P-10, 1. pp, 2014 (査読なし).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件), 取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ(芝浦工業大学中川研究室)  
<http://www.sic.shibaura-it.ac.jp/~mnaka/web/researches.htm>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

中川雅史(NAKAGAWA, Masafumi), 芝浦工業大学・工学部土木工学科・准教授

研究者番号: 10415721

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者

三代雅博(MIYO, Masahiro), 野田康郎(NODA, Yasuaki), 橋本和行(HASHIMOTO, Kazuyuki), 伊藤雅哉(ITO, Masaya)