

土砂災害の予兆検知のための遠距離高精度計測法の  
汎用化に関する研究

|       |  |
|-------|--|
| メタデータ | 言語: ja<br>出版者:<br>公開日: 2024-03-19<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En):<br>作成者: 橋本, 岳<br>メールアドレス:<br>所属: |
| URL   | <a href="http://hdl.handle.net/10297/0002000328">http://hdl.handle.net/10297/0002000328</a>      |

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 25 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K06459

研究課題名（和文）土砂災害の予兆検知のための遠距離高精度計測法の汎用化に関する研究

研究課題名（英文）Study on Generalization of Long-Range High-Accuracy Measurement Methods for Detecting Predictive Landslide Disasters

研究代表者

橋本 岳 (Hashimoto, Takeshi)

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：60228418

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：橋本の画像計測技術はステレオ計測の量子化誤差を低減することで高精度計測を実現しており、すなわち屋外遠方にある対象の座標の微妙な動きを計測可能である。研究期間には、自然マーカー（人工マーカー以外の現場にあるターゲット）も計測できるように本計測技術の拡張を行い、立ち入り困難な土砂災害警戒区域の微小な動きを計測するシステムを実現した。また、山間部での計測結果の伝送方法として、超小型人工衛星により撮影する方法を検討した。さらに、本画像計測技術には様々な応用があることがわかっており、具体的には、橋梁の健全度診断のための橋脚間中央部のたわみ計測において、マーカーレスと汎用性の実現を確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義：計測技術の観点から、ステレオ計測の量子化誤差低減により土砂災害の予兆検知のための遠距離高精度計測を実現した。この高精度計測技術は、橋本が過去20年近く研究を進めている独自手法である。さらに、対応点探索を含めた高精度化の研究成果は独創的かつ学術的意義が高い。防災の観点からは、土砂災害対策の計測法として、現在は水分計・傾斜計等の“点”の計測が主流であるのに対して、本研究の画像計測による“面”の計測は大変有意義であり独創的かつ学術的に意義あるものである。

社会的意義：本研究期間中に実現する成果は、日本全体また世界にも広く適用できる応用性・必要性の高い技術であり社会的意義が大変大きい。

研究成果の概要（英文）：Hashimoto's image measurement technology achieves high-precision measurement by reducing the quantization error of stereo measurement, i.e., it can measure minute movements of the coordinates of objects in the outdoors at a distance. During the research period, we improved this measurement technique so that natural markers (targets located on site other than artificial markers) can also be measured, and realized a system for measuring minute movements in landslide hazard warning areas that are difficult to access. In addition, as a method of transmitting measurement results in mountainous areas, a method of taking images using a nano-satellite was investigated. Furthermore, this image measurement technology has been found to have various applications. As a concrete example, we confirmed the realization of marker-less and versatile measurement of deflection in the center between bridge piers for the health assessment of bridge.

研究分野：画像計測

キーワード：3次元計測 防災 画像計測 土砂災害 橋梁の健全度診断 ひび割れ検出 情報ネットワーク

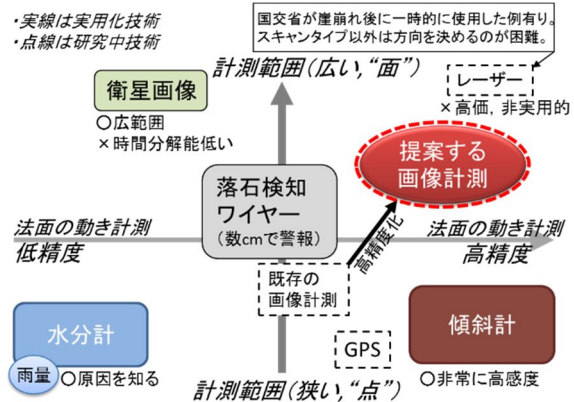
## 1. 研究開始当初の背景

### 研究動向及び位置づけ

日本全体に多数危険箇所が存在する土砂災害は発生頻度の高い危険な災害であり、土砂災害の予兆検知技術の確立は緊急課題である。予兆検知のための計測には衛星画像やGPSを用いた地形変化計測、傾斜計や落石検知ワイヤーによる局所計測、水分計等が用いられる(右図)。しかし、計測範囲が広く、かつ、高精度な計測法が存在しない。そこで、本研究では、マーカーレスかつ高精度なステレオ計測法を提案する。また、山間部での計測結果の伝送についても研究を行った。

### 着想に至った経緯

数十メートル以上の屋外遠距離計測にはパッシブステレオ法が有望であるものの、「カメラ-対象間距離」/「カメラ-カメラ間距離(カメラ基線長)」の比が計測精度に強く関係し、この比が大きく(例えば、カメラ-対象間距離が長く)なると計測精度が低下してしまう。これに対し、橋本が開発した技術では、この比が50倍以上でも従来技術より一桁以上高い精度を実現できる。



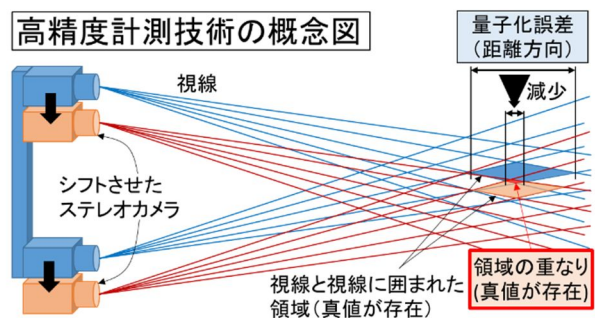
## 2. 研究の目的

橋本の画像計測技術は量子化誤差を低減することで、人工マーカーの座標を「距離 100m にて平均誤差 2mm 以下」で計測できる。すなわち屋外遠方にある対象の座標の微妙な動きを計測可能である。本研究期間には、自然マーカー(人工マーカー以外の現場にあるターゲット)も計測できるように本計測技術の拡張を行い、立ち入り困難な土砂災害警戒区域の微小な動きを計測するシステムを実現する。また、山間部での計測結果の伝送方法として、超小型人工衛星により撮影できる方法を検討する。さらに、本画像計測技術を様々な屋外遠距離計測に応用する。

## 3. 研究の方法

土砂災害の予兆検知のため、以下の各テーマの研究を行った。

■テーマ1 計測システムの開発および計測：本高精度計測技術の本質は、右図のように離散的な画素により生じる「視線と視線の交差する菱形領域」( 図中「視線と視線に囲まれた領域」で、3次元計測の量子化誤差に相当)を、複数のステレオカメラを用いて小さくすること( 図中「領域の重なり」)である。なお、本計測のように対象の動きが遅い場合には同一ステレオカメラのシフトにより誤差を小さくできる。



【具体的な研究方法】図中の「領域の重なり」

を効率的に作り出すという、高精度化のためのカメラシフトについて新方法を考案しており(カメラシフト量と誤差の低減に効率的な関係があることを見出した)、コンピュータシミュレーションにより確認できている。そこで、計測対象のターゲット・カメラ設置可能位置を測量し、大学内に模擬環境を構築し、新方法に基づきカメラ配置と計測精度との関係を綿密に調べ、誤差 10mm 以下となる計測領域を実現できる最適条件(カメラシフト量・シフト回数)を実験により明らかにした。さらに、対応点探索においても、マーカーおよびテンプレートマッチングの検討を行った。以上を計測現場において検証した。

■テーマ2 計測結果の伝送：研究分担者の能見は現在超小型人工衛星を運用中で、超小型人工衛星は毎日日本上空を何周も通過しており、計測地点を一日一度は通過する。そこで、遠方において検出できるマーカーの開発のため、機械学習を用いた超解像を試みた。

■テーマ3 本計測方法の応用：さらに研究を進める過程で、本計測方法には様々な応用があることに気付いたため、それらに対しても積極的に研究を行った。

## 4. 研究成果

以下のように、本研究により得られた成果である土砂災害の予兆検知および新たに得られた

知見は国内外においてユニークかつ重要な位置づけにあり、今後鋭意研究を進めて早期に社会実装を行う必要がある。

### ■テーマ1 計測システムの開発および計測：計測システムの開発

最適条件について詳細な検討を行い、理論に沿って、現実の計測でも高精度を実現することができた。また、実際に計測を行い、現場特有の問題（カメラの揺れ、空気ゆらぎ、その他）についても対策を考案した。

さらに、対応点探索の主要手法である POC（位相限定相関法）の改良を行った。具体的には、法面を計測対象とした場合に発生する低周波ノイズがマッチングに及ぼす影響を減らす手法を提案した。

#### 計測の実施（右図 Fig. 1, 2）

計測において以下の点について検討を行った。(a)人工マーカーを計測、(b)自然マーカー（現場に存在する特徴的な物体）を計測、(c)草等の植物が法面を覆った場合の計測。現実には草等が法面を覆うことは頻繁に発生する。但し、草等の成長に比べて、法面の前日比の動きを計測することは可能と考えられる。なお、(c)の研究に対して、2019 年度精密工学会秋季大会学術講演会にて「土砂災害の予兆検知に向けた計測対象の形状変化を考慮した高精度 3 次元計測の実験的検討」においてベストプレゼンテーション賞を受賞した。

### ■テーマ2 計測結果の伝送：

遠方からマーカーを検出する方法について、次の観点からの研究を行った。

#### 画像の解像度の向上に関する検討

機械学習の超解像を行うことで、遠方でも画像を抜き出せることが分かった。

#### マーカーの形状に関する検討（右図 Fig. 3）

マーカー形状と二値化・重心座標の変動に関して詳細な検討を行った結果、

- ・ マーカー形状による誤差の差異、および一般的に用いられる円以外にも誤差変動が少ない形状を見出した。
- ・ 機械学習を用いた超解像が精度向上に有効であることがわかった。

#### 劣化画像の画質改善に関する検討

機械学習により劣化画像の画質改善に取り組み良好な結果を得た。

### ■テーマ3 本計測方法の応用：

#### インフラ構造物の点検作業への応用（橋梁）

日本の橋梁は高度経済成長期に建設された物が多く、橋梁全体の約 25%がすでに耐用年数を超えているのが現状であり、今後もその数は増加していくことが予想される。橋梁の健全度診断には、荷重がかかった場合の橋脚間中央部のたわみ量の計測が有効とされる。

既存のたわみ計測の課題は、人工マーカーが必要であることや計測条件に制限が強いこと等が挙げられる。そこで本研究では、一般的なデジタルカメラを用いて人工マーカーレス・高汎用性・高精度な橋梁のたわみ計測に関する研究を行った。数ミリのたわみ量を計測するために鉛直方向の計測精度 0.1mm を念頭において、機械学習による超解像・対応点探索等について検討を行い、計測装置を作成し天竜川に架かる橋梁の計測を実現した。さらに、屋外計測では課題となるカメラの揺れ等を機械学習で補正する方法を提案した。

#### インフラ構造物の点検作業への応用（ひび割れ）

現在、日本全国で問題となっているコンクリート構造物の老朽化に対する対応策の1つとして、ディープラーニングによるひび割れの自動検出、および、ひび割れの幅推定に関する研究を行った。研究の特徴としては、点検作業における人的作業のサポートシステムの開発を目標としており、抜き出しミスを防ぐことに注力した。これまでに、DeepLab v3+を使ったひび割れ検出について様々な検討を行い、さらに近年 Transformer を用いて画像認識でも有効性が注目されている SegFormer をひび割れの領域検出に適用した。また、幅推定については領域検出によって検出されたひび割れ二値画像から行う幅推定の手法の改良を行った。

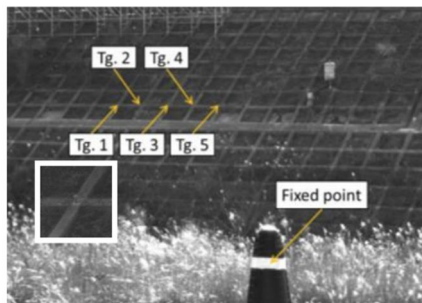


Fig. 1. Measurement targets

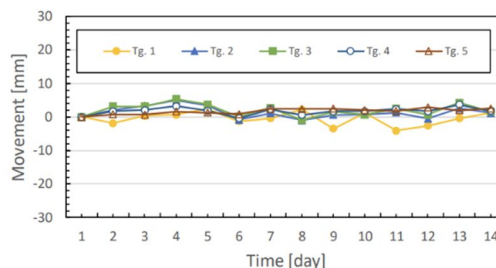


Fig. 2. Movement amount in the depth direction

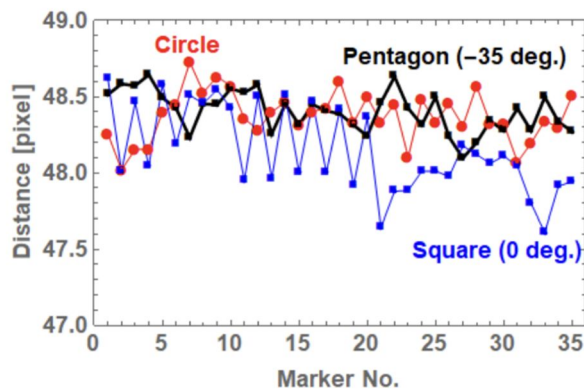


Fig. 3. An experimental result



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>須崎 光祐、萩原 直明、杉浦 功真、橋本 岳、阿部 雅人、杉崎 光一、山本 茂広   | 4. 巻<br>2             |
| 2. 論文標題<br>画像を用いた橋梁のたわみ計測における実際の測定環境を想定した実験的研究   | 5. 発行年<br>2021年       |
| 3. 雑誌名<br>AI・データサイエンス論文集   | 6. 最初と最後の頁<br>712～720 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.11532/jsceiii.2.J2_712   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）  | 国際共著<br>-             |
| 1. 著者名<br>橋本 岳、杉崎 光一、全 邦釘、橋本 智洋、武井 祐馬、山本 耀平、山本 茂広、中嶋 規人、井澤 大介、高野 隼行、阿部 雅人                                    | 4. 巻<br>2             |
| 2. 論文標題<br>セグメンテーションに画像処理を併用したひび割れ検出サポートシステムの基礎研究  | 5. 発行年<br>2021年       |
| 3. 雑誌名<br>AI・データサイエンス論文集   | 6. 最初と最後の頁<br>589～597 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.11532/jsceiii.2.J2_589   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）  | 国際共著<br>-             |
| 1. 著者名<br>Hashimoto Tomohiro、Yamamoto Shigehiro、Hashimoto Takeshi  | 4. 巻<br>141           |
| 2. 論文標題<br>Fundamental Research about Identifying Accurate Corresponding Points using Image Super-Resolution | 5. 発行年<br>2021年       |
| 3. 雑誌名<br>IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems  | 6. 最初と最後の頁<br>358～366 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1541/ieejeiss.141.358  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-             |
| 1. 著者名<br>萩原 直明、飯田 浩平、須崎 光祐、橋本 岳、阿部 雅人、杉崎 光一、山本 茂広   | 4. 巻<br>1             |
| 2. 論文標題<br>画像を用いた橋梁の振動計測におけるSRCNNによる精度向上に関する基礎的研究  | 5. 発行年<br>2020年       |
| 3. 雑誌名<br>AI・データサイエンス論文集   | 6. 最初と最後の頁<br>329～338 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.11532/jsceiii.1.J1_329   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）  | 国際共著<br>-             |

|  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Hashimoto Takeshi, Hashimoto Tomohiro, Yamamoto Shigehiro  | 4. 巻<br>140               |
| 2. 論文標題<br>An Experimental Study on Fluctuation of Centroid Coordinates Depending on Shape of Markers at the Corresponding Point Searching of the Passive Stereo Measurement | 5. 発行年<br>2020年           |
| 3. 雑誌名<br>IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems  | 6. 最初と最後の頁<br>1001 ~ 1009 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1541/ieejeiss.140.1001  | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-                 |

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件)

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>橋本 智洋, 橋本 岳, 山本 茂広                    |
| 2. 発表標題<br>機械学習を用いた対応点探索における損失関数の改善による精度向上に関する検討 |
| 3. 学会等名<br>令和3年電気学会全国大会                          |
| 4. 発表年<br>2021年                                  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>外岡 凌, 近藤 大騎, 橋本 岳, 山本 茂広                     |
| 2. 発表標題<br>Google Earth Street View における単眼計測の計測精度の実験的検討 |
| 3. 学会等名<br>2021年電子情報通信学会総合大会                            |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>中村 香太, 増田 拓生, 橋本 岳, 山本 茂広              |
| 2. 発表標題<br>位相限定相関法のノイズ除去に着目したステレオ画像計測の高精度対応点探索の提案 |
| 3. 学会等名<br>令和2年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会             |
| 4. 発表年<br>2020年                                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>外岡 凌, 近藤 大騎, 橋本 岳, 山本 茂広                   |
| 2. 発表標題<br>Google Earth Street Viewにおける単眼計測の可能性の実験的検討 |
| 3. 学会等名<br>令和2年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会                 |
| 4. 発表年<br>2020年                                       |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>橋本智洋, 橋本 岳, 山本茂広                       |
| 2. 発表標題<br>深層学習を用いた高解像度化手法による自然マーカーにおける対応点探索誤差の軽減 |
| 3. 学会等名<br>令和2年度電気学会全国大会                          |
| 4. 発表年<br>2020年                                   |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>橋本 岳, 村上良樹, 遠藤一馬, 橋内伸明  |
| 2. 発表標題<br>単眼カメラを用いた実用的な現場計測の基礎的研究 |
| 3. 学会等名<br>令和2年度電気学会全国大会           |
| 4. 発表年<br>2020年                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>日野利洋, 石田風吾, 橋本 岳, 山本茂広       |
| 2. 発表標題<br>3次元画像計測システムの微小動きと誤差に関する実験的研究 |
| 3. 学会等名<br>令和元年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会   |
| 4. 発表年<br>2019年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>三輪晟也, 鈴木健太, 日野利洋, 中村香太, 橋本 岳, 黒木孝司, 山本茂広 |
| 2. 発表標題<br>法面連続計測への応用を目指した高精度画像計測の対応点探索の改善          |
| 3. 学会等名<br>令和元年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会               |
| 4. 発表年<br>2019年                                     |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>飯田浩平, 萩原直明, 橋本 岳, 阿部雅人, 杉崎光一, 山本茂広 |
| 2. 発表標題<br>画像を用いた歩道橋のマーカースレス振動計測に関する基礎研究      |
| 3. 学会等名<br>令和元年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会         |
| 4. 発表年<br>2019年                               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>橋本 岳, 橋本智洋, 山本茂広                           |
| 2. 発表標題<br>ステレオ画像計測のためのマーカ形状・サイズと二値化・重心座標の変動に関する基礎的検討 |
| 3. 学会等名<br>2019年度精密工学会秋季大会学術講演会                       |
| 4. 発表年<br>2019年                                       |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>鈴木健太, 三輪晟也, 大石裕也, 日野利洋, 石田風吾, 外岡 凌, 山本茂広, 橋本 岳 |
| 2. 発表標題<br>土砂災害の予兆検知に向けた計測対象の形状変化を考慮した高精度3次元計測の実験的検討      |
| 3. 学会等名<br>2019年度精密工学会秋季大会学術講演会,                          |
| 4. 発表年<br>2019年   |



|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>地福佳広, 飯田浩平, 橋本 岳, 阿部雅人, 杉崎光一, 山本茂広 |
| 2. 発表標題<br>画像による遠距離かつ高精度な橋梁の振動計測に関する基礎研究      |
| 3. 学会等名<br>電子情報通信学会2019年総合大会                  |
| 4. 発表年<br>2019年                               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>坂口祐一, 大石裕也, 鈴木健太, 三輪晟也, 日野利洋, 橋本 岳, 黒木孝司, 山本茂広 |
| 2. 発表標題<br>3次元画像計測による法面連続計測の高機能化に関する実験的研究                 |
| 3. 学会等名<br>電子情報通信学会2019年総合大会                              |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>橋本智洋, 橋本 岳, 山本茂広           |
| 2. 発表標題<br>深層学習による画像の高解像度化と対応点探索誤差の軽減 |
| 3. 学会等名<br>電子情報通信学会2019年総合大会          |
| 4. 発表年<br>2019年                       |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>三輪晟也, 小野遼太郎, 橋本 岳, 山本茂広                         |
| 2. 発表標題<br>ゼロ平均正規化相互相関法と位相限定相関法による合焦外でのテンプレートマッチング結果への影響評価 |
| 3. 学会等名<br>平成30年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会                      |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>鈴木健太, 大石裕也, 坂口祐一, 橋本 岳, 福島 淳, 石田篤徳, 山本茂広 |
| 2. 発表標題<br>自然マーカーを用いた3次元画像計測の法面連続計測に関する実験的研究        |
| 3. 学会等名<br>平成30年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会               |
| 4. 発表年<br>2018年                                     |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>橋本 岳, 山本茂広                       |
| 2. 発表標題<br>遠距離計測における計測対象の特徴点抽出に関する実験的検討     |
| 3. 学会等名<br>日本リモートセンシング学会第64回(平成30年度春季)学術講演会 |
| 4. 発表年<br>2018年                             |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>橋本 岳, 山本茂広                       |
| 2. 発表標題<br>パッシブステレオ画像計測における量子化誤差低減法の実験結果    |
| 3. 学会等名<br>日本リモートセンシング学会第64回(平成30年度春季)学術講演会 |
| 4. 発表年<br>2018年                             |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>大石裕也, 小松拓海, 坂口祐一, 鈴木健太, 福島 淳, 石田篤徳, 山本茂広, 橋本岳 |
| 2. 発表標題<br>自然マーカーを用いた3次元画像計測の計測範囲拡大及び多数点化に関する基礎的研究       |
| 3. 学会等名<br>電子情報通信学会2018年総合大会                             |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>橋本 岳                                |
| 2. 発表標題<br>受動的ステレオ画像計測の高精度化とその応用               |
| 3. 学会等名<br>精密工学会画像応用技術専門委員会 2017年度第3回研究会（招待講演） |
| 4. 発表年<br>2017年                                |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>橋本 岳   |
| 2. 発表標題<br>画像を用いた防災に関する研究の紹介 - 遠距離高精度計測技術の防災への応用 -                                  |
| 3. 学会等名<br>防災科学技術研究所「攻め」の防災に向けた気象災害の能動的軽減を実現するイノベーションハブに関する第5回気象災害におけるAI活用検討会（招待講演） |
| 4. 発表年<br>2018年   |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

|  |
|--|
| <p>防災研究<br/> <a href="https://su2ai.com/disaster-prevention/">https://su2ai.com/disaster-prevention/</a></p> |
|--|

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                      | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)              | 備考 |
|-------|--|------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 能見 公博<br><br>(Nomi Masahiro)<br><br>(20325319) | 静岡大学・工学部・教授<br><br><br><br>(13801) |    |

6. 研究組織（つづき）

|                   | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                        | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                     | 備考 |
|-------------------|--|---|----|
| 研究<br>分<br>担<br>者 | 岩田 孝仁<br><br>(Iwata Takayoshi)<br><br>(30411804) | 静岡大学・地域創造学環・教授<br><br><br><br><br>(13801) |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|         |         |