

令和元年6月28日現在

機関番号：17701
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2016～2018
課題番号：16K21339
研究課題名（和文）長期・モダリティ 普遍的ランドマークの開発とユニバーサルマップ運用システムの実現

研究課題名（英文）Development of a new landmark with long-term availability and modality-universality for realization of universal map system

研究代表者
高橋 淳二（Takahashi, Junji）
鹿児島大学・理工学域工学系・准教授

研究者番号：20456685
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では位置推定のためのランドマークとして長期的に変更されることのない、床と壁、壁と壁などの建造物の境界線を採用し、その集合体からなるマップを3次元CADモデルをベースに開発した。このランドマークは、カメラやレーザセンサ、KINECTなどの3次元センサなど異種のセンサで検出可能であるという普遍性を有する。このランドマークはサーバ上で管理されており、クライアントがセンシングデータをアップロードすると、それをマップ内で定位置し、その結果をクライアントへ戻すという、クラウド型位置推定システムを構築した。100M²エリアで行った検証実験では、平均精度0.17Mで定位置できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で構築したクラウド型位置推定システム：Universal Map (UMap) は、様々な種類のセンシングデータを定位置可能であるという点が優れている。建造物の線分情報をマップとするために3次元CADモデルを利用する研究は外にない独創的である。UMapの大きな特徴として、クライアントに要求される機能はセンシングと通信のみであるため非常にライトなエッジを構成できること、環境側にデバイスやマーカーなどを一切設置する必要がないため初期コストや運用コストがかからないという、利点がある。この2つの利点は、長期に運用可能な位置推定システムとして、IoT技術を社会実装する際に大いに役立つ。

研究成果の概要（英文）：In this research, we have adopted boundary lines of structures such as floor and wall, wall and wall, which are not changed over the long term as landmarks for position estimation, and developed a map based on a 3D CAD model. This landmark has the universality of being detectable by different sensors such as a camera, a laser sensor, and a three-dimensional sensor such as KINECT. This landmark is managed on the server, and when the client uploads sensing data, the server localizes the data in the map, and returns the resulted position information. This is the cloud-based localization system. In verification experiments conducted in the area of 100M², it was confirmed that localization can be performed with an average accuracy of 0.17M.

研究分野：ロボティクス

キーワード：ワンショット位置推定 サーバクライアント 普遍特徴 平均精度0.17M IoT

1. 研究開始当初の背景

申請者はこれまでに、ロボティックネットワークの自律配置、メッシュネットワークの分散型通信タイミング制御などの複数ロボットの協調制御の研究を行ってきた。自転車運転者のスマートフォンから路面情報を抽出し、抽出した情報の収集・統合による道路の故障マップの作成や、UAV センシングに有効な階層的カバー率指標の提案、近距離通信用メッセージ転送プロトコルなど、クラウドを利用したマップ作成の研究を行ってきた。前者の研究をさらに発展させるには位置推定技術の向上が必須であるという問題意識があるなかで、後者のクラウド型センシングを用いれば、位置推定技術を向上させることができないかを考えていた。

位置推定技術は従来から SLAM 技術や、環境知能化のアプローチにより長く研究されている。しかしながら、いずれにおいても計算コストが大きいことや、初期導入コスト、運用コストが大きいという問題が未解決で、人の生活する空間までに浸透するにはいたっていない。ロボットやスマートフォン、モバイル端末にかける計算コストを低く抑えたまま精度よくこれらの端末の位置推定を行うことのできる技術が求められている。

2. 研究の目的

端末の計算コストを低く抑えたまま、高度な機能をもたせるにはクラウド型システムが有効である。計算負荷の大きな位置解決の演算をサーバ側で行うことで、エッジ端末の計算コストを非常に小さくすることが可能である。そのためには、位置解決を行うためのマップをサーバ側で管理する必要がある。マップはランドマークの集合体であり、様々なセンサタイプのエッジ端末を位置推定するためには、ランドマークは普遍的な特徴を有する必要がある。そこで、本研究の目的を、様々なセンサデータを普遍的に定位可能なランドマークを研究開発し、さらにそれを備えるサーバクライアントシステムを開発することで、エッジの計算コストを低く抑えたまま正確な位置推定を行える技術の実現と定めた。

3. 研究の方法

様々なセンサで普遍的に検出できるランドマーク (マップ) を備えた位置推定システムということから、開発するクラウド型位置推定システムを Universal Map (UMap) と呼称する。

4. 研究成果

(1) UMap 実現に向けた課題の整理

提案する事前マップを利用したクラウド型位置推定インフラストラクチャシステム (UMap) は、分野横断的な研究課題であり個々の技術開発にとらわれずにシステム全体を見通した研究開発が必要である。取り組むべき研究課題を検討し、整理した結果を図 1 に示す。

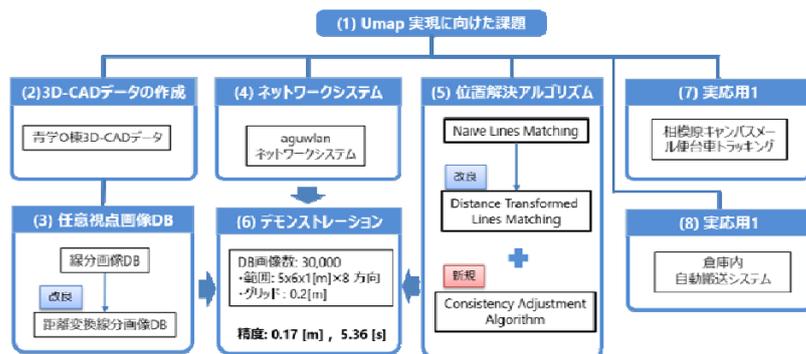


図 1 UMap 実現に向けた課題 (H29 年度に取り組んだ課題と成果)

(2) 3D-CAD データの作成

UMap では位置解決のための事前マップとして 3D-CAD データを用いるところに特徴がある。最初の実証実験の対象とした O 棟は 2 次元の CAD データしか存在しなく自作により 3D-CAD データを作成した。設計と施工にずれがあるものは手動測定により修正し、3D-CAD データを構築した (図 2) 。O 棟内装の 3D-CAD データを作成するにあたり 4 名の学生で延べ 100 時間を要した。

また、建築学科柴田准教授と協力し、鹿児島大学建築学科棟の 3D CAD モデルを作成した (図 3) 。

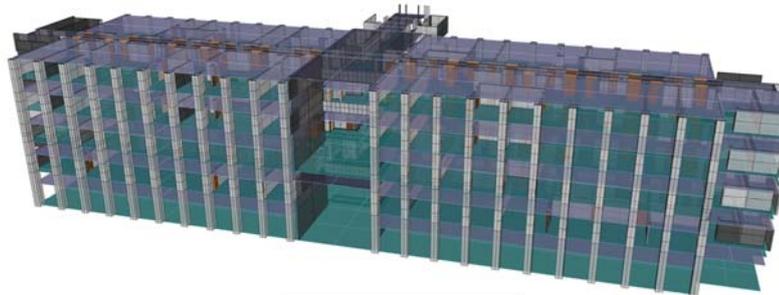


図 2 青山学院大学相模原キャンパス O 棟の 3D-CAD データ (ソフトウェア Rhinoceros5.0)

(3) CAD データを利用した 2D 任意視点画像データベースの作成

UMap サーバで管理するマップデータが CAD をベースとした 3 次元線分情報であるのに対し、現状で想定しているクライアントはスマートフォンなどの単眼カメラで、センシングデータは 2 次元の画像である。入力 2 次元画像を 3D のマップから探索するのは不良設定問題である。これを回避するために、環境内の様々な視点で得られる画像 DB をあらかじめ用意しておく、この DB 画像と入力画像の類似度を計算することで位置解決を行う。DB 画像の作成では、CAD データ → ply フォーマットデータ → OpenGL による描画と画像生成を行うソフトウェア Database Image Generator (DBIG) を構築した (図 4)。

(4) クライアント・サーバネットワークの構築

相模原キャンパス内の Wi-Fi システム (agwlan, eduroam) を有効利用し、クライアント・サーバネットワークを構築した。サーバは開発上の便宜性から線分検出兼ランドマーク管理サーバと位置解決サーバを分離して校正している。構築したネットワークと各サーバでの処理を図 5 に示す。

また、鹿児島大学では基幹ネットワークを利用し、サーバクライアントシステムを構成した。クライアントが画像を送ってから位置情報を受け取るまでの Round Trip Time: RTT=1.0 [s] を達成している。

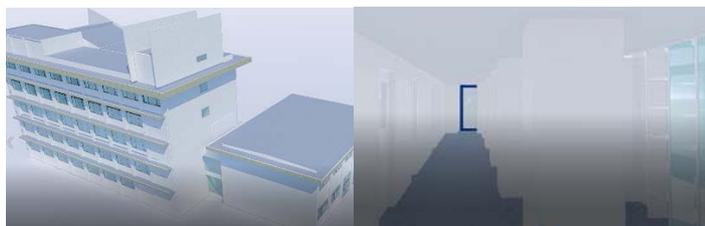


図 3 柴田チーム製作の 3D CAD モデルの外観と内観
(1 人で 20 時間程度の作業時間で完成)

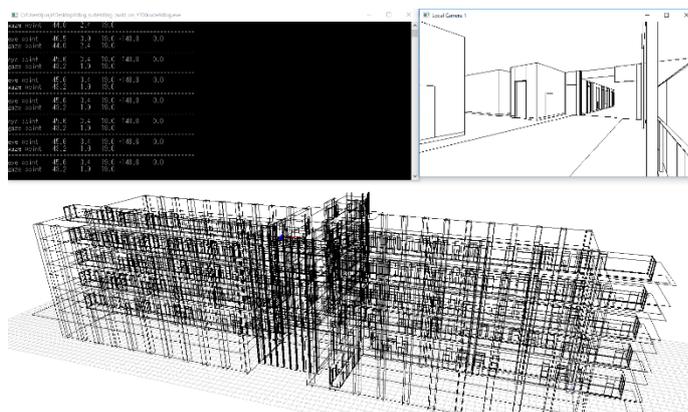


図 4 DBIG の一場面 (中央下部: 環境の全体の 3D モデルとクライアントの位置・姿勢, 右上: センシング画像, 左上: 座標)

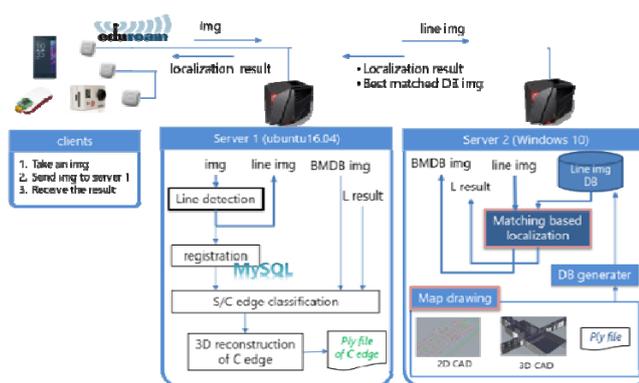


図 5 ネットワーク構成とサーバの役割分担

(5) 位置解決アルゴリズムの開発と改良

センシングデータのマップ中での位置解決は DB 画像との類似度計算により行う。最初に開発した位置解決アルゴリズムである Naïve Lines Matching では、入力線分画像と DB 線分画像の論理積を計算し非ゼロピクセル数を類似度とした。この手法では、入力画像の撮影位置が用意された DB 画像の生成位置から少し外れるだけで類似度が著しく低下するため、高い精度を維持するためには DB 画像の生成間隔 (グリッド) を密にしなければならず、結果として画像 DB の肥大化を誘発するという問題があった。

この問題を解決するために次に開発した位置解決アルゴリズムが Distance Transformed Lines Matching である。これは DB 線分画像を距離変換することで線分輝度値に勾配を持たせ、画像線分の微小なずれを勾配で許容するものである。図 4 に各プロセスにおける画像を示す。予備実験では、Naïve Lines Matching と比べて平均精度が 20% 向上した (図 5)。今後パラメータチューニングとともに削減可能 DB 率などの詳細な評価を行う。

上記の 2 つのアルゴリズムはいずれも 1 枚の写真のみから大域位置推定を行うものであるが、前後の計測結果を注目時刻における位置推定に利用することで計算時間の短縮や精

度の向上が見込める。これは Graph-based SLAM の考え方で、この方針を UMap に融合させたアルゴリズム UMap with Consistency Adjustment (UMap + CA) を開発した。実験結果の図 6, 図 7 からは従来手法に比べて大幅に改善されたことが確認できる。

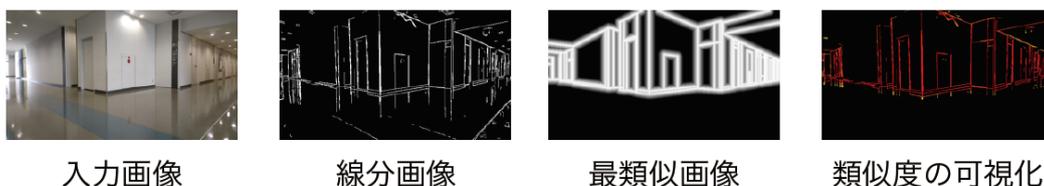


図 4 Distance Transformed Lines Matching における各プロセスの画像

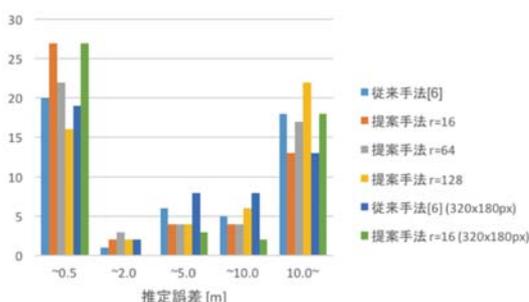


図 5 各位置解決アルゴリズムの誤差の比較結果

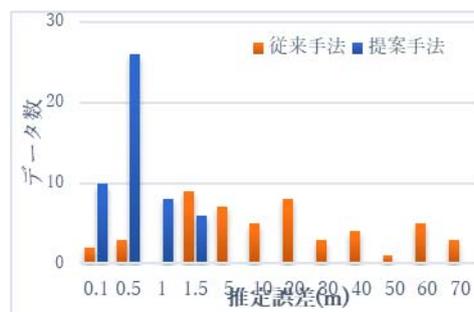


図 6 UMap + CA による精度の向上

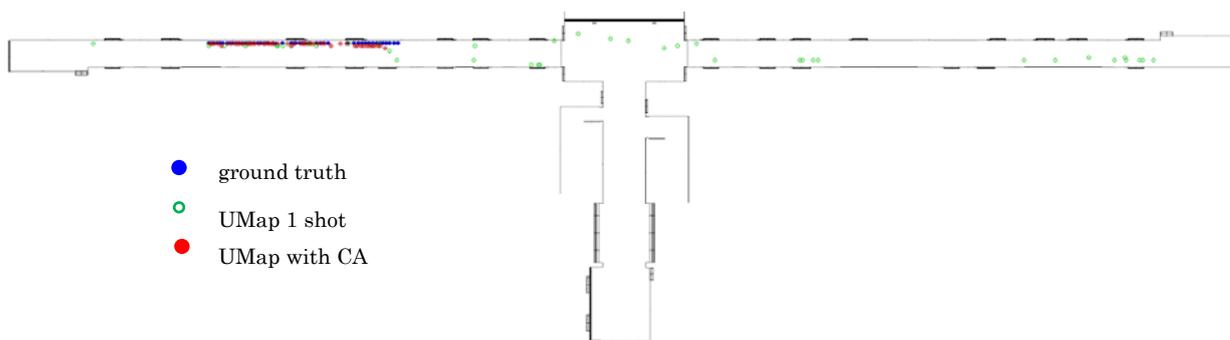


図 7 位置推定結果のマップ上へのプロット (O 棟 5 階フロア)

さらに、クライアントに全天球画像センサを用いた場合の位置推定手法を確立した。近年では、SNS 共有のための需要から RICOH THETA などのセンサ開発が進み、全天球画像センサを安価に入手することが可能となった。全天球画像センサは、オクルージョンに強く周囲に移動障害物があった場合でも、見通し可能な構造物の線分特徴をとらえ、位置推定に利用することができる。そこで、全天球画像センサを用いた位置推定ができるように、DBIG と市販の全天球画像生成ソフトウェアである PTGui を用いて、全天球画像 DB を構築した。

位置推定アルゴリズムには、NLM をそのまま利用可能であるが、全天球画像には指向性がないという問題がある。そこで、入力全天球画像をパン方向に 0~360° の間で 1° ずつ回転させながら類似度計算を行うアルゴリズムを開発した。

位置推定結果の一例を図 5 に示す。スマートフォン画像を用いたときと同様に最も類似度が高いと思われる画像が検索結果として選択され、開発した NLM アルゴリズムが汎用的に利用可能であることが確認できた。

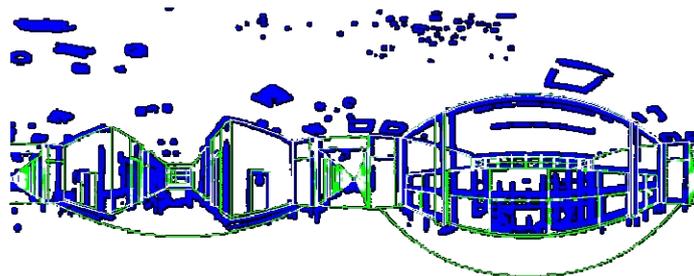


図 8 全天球画像を用いた位置推定における論理積結果画像の一例

また、位置推定の精度を評価するために、ある入力画像に対する全 DB 画像との類似度を評価したところ図 6 のような類似度分布グラフが得られた。入力画像の正解位置の類似度が最も高く、そこから離れるほどなだらかに類似度が減少し、単峰性を有していることが確認できる。

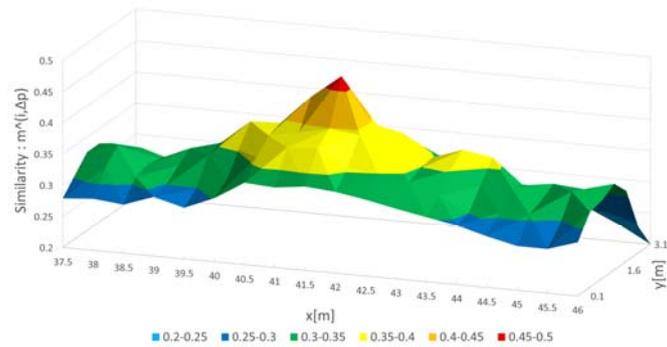


図 6 全地球画像を用いた位置推定で、ある入力画像に対する全 DB 画像の類似度をプロットしたもの

単峰性が認められる領域では、DB 画像の生成間隔を広げても正しく正解位置を算出できる可能性が高く、DB サイズの縮小可能性が示唆され、今後最適化により更なる精度・速度向上が見込まれる。

(6) UMap デモプログラム作成と評価

図 7 に開発したシステムの全体像を示す。クライアントをスマートフォン (Xperia XP) として、位置解決アルゴリズムは初期型の Naive Lines Matching の GPU 実装という構成で、スマートフォンで写真を撮り、サーバに転送し、サーバで位置解決を行い、位置解決結果をクライアントに転送する、といった一連のプロセスを全自動で行うデモプログラムを作成した。現状では、各モジュールの最適化ができていない状況であるが、平均して精度 17cm, クライアントが画像を送信してから、位置情報を受信するまでの時間 Round Trip Time: RTT<1.0 s を実現した。

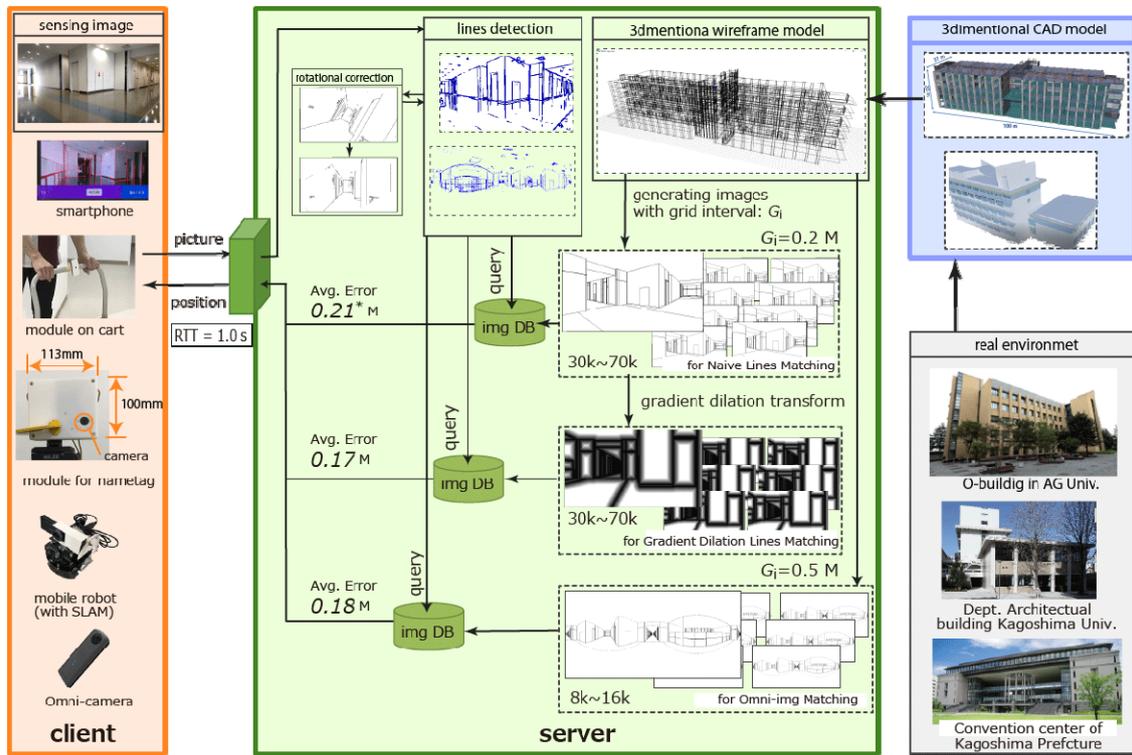


図 7 開発した UMap の全体像

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

[1] Tomoya Kaneko, Junji Takahashi, Seiya Ito, and Yoshito Tobe: A Hybrid Map with Permanent 3D Wireframes and Temporal Line Segments toward Long-term Visual Localization, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.24, No.4, pp. -- 2019 (in Printing).

〔学会発表〕（計 23 件）

[2] Junji Takahashi, Kohei Shimmra, Yong Yu, Akihiro Shibata, Toshiki Sakamoto: Simulation study of allowance-difference between an environment and a map for visual localization, Proc. in the 15th International Conference on Intelligent Environments, pp.352-356, June 2019.

[3] Ayari Akada, Junji Takahashi, and Yu Yong: Improvement of Image Retrieval-based Visual Localization Using Structured Database, in Proc. of IEEE Int. Work. on Mobile Ubiquitous Systems, Infrastructures, Communications and Applications, pp.601-606, 2019.3.

[4] Kusuno Yoshiki, Junji Takahashi, Yu YONG: A Method Localizing an Omnidirectional Image in Pre-Constructed 3D Wireframe Map, in Proc. of IEEE/SICE International. Symposium. of System Integration, 2019.1.

[5] Junji Takahashi: A Concept and Recent Results of Universal Map: Cloud-based Positioning Infrastructure System, in Proc, of Int. Workshop on Smart Sensing System, 2018.6. (Invited Talk)

[6] Seiya Ito, Naoshi Kaneko, Junji Takahashi, and Kazuhiko Sumi: Global Localization from a Single Image in Known Indoor Environments, in Proc. of 7th Int. Conf. on Informatics, Electronics, & Vision, 2018.6.

〔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〕

ホームページ等

<http://www.mech.kagoshima-u.ac.jp/~takahashi/tlab/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名： 高橋 淳二

ローマ字氏名： TAKAHASHI Junji

所属研究機関名： 鹿児島大学

部局名： 学術研究院理工学域工学系

職名： 准教授

研究者番号（8桁）： 20456685

(2) 研究協力者

研究協力者氏名： 柴田 晃宏

ローマ字氏名： SHIBATA Akihiro

研究協力者氏名： 余 永

ローマ字氏名： YU Yong

研究協力者氏名： 戸辺 義人

ローマ字氏名： TOBE Yoshito

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。