

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	地球カメラと画像処理による衛星の姿勢決定法と軌道上評価
Title(English)	
著者(和文)	菊谷侑平
Author(English)	Yuhei Kikuya
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11917号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:松永 三郎,野田 篤司,奥富 正敏,古谷 寛,遠藤 玄,中西 洋喜
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11917号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	菊谷 侑平	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	松永 三郎	教授	遠藤 玄	准教授
	審査員	野田 篤司	特定准教授	中西 洋喜	准教授
		奥富 正敏	教授		
古谷 寛		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「地球カメラと画像処理による衛星の姿勢決定法と軌道上評価」と題し、全 8 章から構成されている。第 1 章「序論」では、本研究の背景と目的について述べている。超小型衛星の利用拡大に伴い、姿勢決定・制御系への要求が高度化し、高精度な姿勢センサが必要とされているが、恒星センサは大きな光学系を必要とするため小型化が困難であること、小型軽量な可視光センサを用いた地球カメラは、光学系の小型化に有利である反面、天候などの影響を受け、被写体の同定が難しく計算コストが大きいことなどの課題を指摘している。そこで、本研究では、地球カメラに着目し、機械学習による画像識別を利用した低計算コストな姿勢決定法と、天候の影響を受けづらい姿勢変化検出法を考案し、数値シミュレーション、地上および地球周回軌道上での実証実験を実施することで、提案法の有効性を示すことが目的であると述べている。

第 2 章「数学的定式化」では、本論文で使用する座標系、姿勢キネマティクス、画像幾何学を整理している。

第 3 章「絶対姿勢決定」では、本論文で提案する地球カメラを用いた 3 軸姿勢決定法について述べている。地球の季節や天候変化等に対する堅牢性を向上させるために、機械学習による画像識別を利用して陸と海の地形データに変換した上で地図データとのマッチングを行う方法を提案し、さらに画像マッチングの計算コストを大幅に削減することを目指した独自の投影変換を考案している。そして数値シミュレーションを通して提案法の利用可能範囲、姿勢決定精度、実行速度等の評価を行い、地球全域のおおよそ 50% の領域において、雲の存在を加味しても陸と海が判別できて、3 軸姿勢決定が可能であること、また画像マッチングに考案した投影変換を使用することで、従来の画像座標系マッチングの場合と比較して 1 桁程度実行時間を短縮できることを示している。

第 4 章「相対姿勢決定」では、絶対姿勢決定が利用できない領域での姿勢情報を補間するため、相対姿勢すなわち姿勢の時間変化を地球カメラで撮影した連続的な画像から推定する方法を提案している。さらに人工衛星では比較的正確な軌道情報が入手できることを利用して並進情報と連動させた方法も提案している。具体的には、エビポーラ幾何に基づく方法と並進情報を既知とする方法、さらに衛星や地球位置を既知として利用する方法を提案して、数値シミュレーションにより、時系列画像の解析による相対姿勢決定の有用性を示し、並進情報を既知とすることで、さらに 1 桁程度、精度向上できることを明らかにしている。

第 5 章「軌道上実証のための装置開発と運用」では、提案方法の軌道上実証実験に供するため、3 グラムの超小型可視光センサを用いた地球カメラや恒星センサを搭載した実験装置 DLAS (Deep Learning Attitude Sensor) の設計、開発、運用について述べている。DLAS は JAXA 衛星 RAPIS-1 に搭載され、2019 年 1 月に JAXA イプシロンロケットにより地球周回低軌道に投入され、その後約 1 年間の運用が行われている。地球カメラによる姿勢決定の実証実験を行うことを通して、開発した実験装置の有用性を示している。

第 6 章「絶対姿勢決定の軌道上実験」では、衛星が搭載している高精度な姿勢センサによる姿勢データを基にして、DLAS の地球カメラを用いた絶対姿勢決定の軌道上実証実験の評価結果を示している。事前の数値シミュレーションでの見積もりと比較して利用可能範囲はやや狭い結果となったものの、DLAS に実装した提案法による軌道上 3 軸姿勢決定を評価して、1deg 程度の精度で姿勢決定できることを明らかにしている。

第 7 章「相対姿勢決定の軌道上データによる評価」では、軌道上にて DLAS で実際に撮影した時系列画像を用いて、地上にて相対姿勢決定を実行した結果の評価を行っている。衛星進行方向に向けた地球カメラを使用した場合、既存の同サイズのジャイロセンサと同等程度の 10^{-2} deg/s オーダーの精度で相対姿勢検出が行えることなど、地球カメラによる相対姿勢決定法の特徴を明らかにしている。

第 8 章「結論」では、本論文の結論および今後の課題を述べている。

以上を要するに、本論文は、地球周回衛星の 3 軸姿勢決定に関して、超小型な地球カメラを用いて、機械学習による画像識別を利用した絶対姿勢決定法と時系列画像を利用した相対姿勢決定法を提案して、数値シミュレーション、地上および地球周回軌道上実験により、その妥当性と有効性を実証しており、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として十分な価値があるものと認められる。