

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：82645

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01628

研究課題名(和文) 強摂動環境下の天体力学の新展開 - 超遠方天体への自律ランデブー技術の確立

研究課題名(英文) New Developments in Celestial Dynamics in Strongly Perturbed Environments - Autonomous Rendezvous Technology to Very Distant Objects

研究代表者

津田 雄一 (Tsuda, Yuichi)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授

研究者番号：50370101

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,540,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、超遠方の天体への自律ランデブー誘導航法を実現を目指したものである。遠方・強摂動といった遠方天体ランデブー特有の力学環境を精緻にモデル化した上で、天体ないし、天体近傍での他宇宙機へのランデブー航法誘導の理論の構築と画像航法模擬実験を行った。自律性・信頼性・実時間性の高い天体相対光学航法アルゴリズムとして、VCC法を応用した天体輪郭とのテンプレートマッチング手法と、複数の人工標識を地表へ配置する能動的な対地相対航法アルゴリズムを案出した。両手法は、小惑星探査機はやぶさ2の実観測データを用いて有効性が評価された。また、それらを用いたミッション構想、キー技術抽出にも進展があった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界の宇宙探査の趨勢は、高重力天体や遠方小天体への離着陸を含むミッションである。小惑星探査機はやぶさ2は、小天体離着陸を世界に先駆けて成功させたものの、高々3.6億キロメートルの距離において、地上からの指令にかなり依拠した手法で着陸を成功させたものである。本研究は、より大きな天体や遠方の天体で必要となる、高度に自律的な天体相対の宇宙機の軌道管理の手法を開発したものである。本研究の成果は、より遠くの、より大きな天体への離着陸ミッションの構想実現へ貢献できるものと期待される。

研究成果の概要(英文)：This research aims to realize autonomous rendezvous guidance and navigation to very distant celestial bodies. As "needs for high autonomy" and "strong perturbations" are typical characteristics for rendezvous to far distant bodies or to spacecraft flying in the vicinity of such bodies, they are precisely implemented into the dynamical model to build a rendezvous navigation theory, and to conduct numerical experiments. The template matching method with celestial object contours based on the VCC method and the active terrain-relative navigation algorithm that places multiple small artificial landmarks on the surface are proposed as autonomous, reliable, and real-time optical navigation algorithms. The effectiveness of both methods was evaluated using actual observation data from the asteroid explorer Hayabusa2. Progress has also been made in mission conception using these navigation methods and extraction of key technologies for it.

研究分野：宇宙工学

キーワード：誘導 航法 制御

## 1. 研究開始当初の背景

2010年代中盤は、世界の小天体探査が新たなステージに進んだ時代と言える。2014年には、世界初のC型小惑星サンプルリターンを目指す日本の小惑星探査機はやぶさ2が小惑星リュウグウへ向けて打ち上げられた。同年、欧州の彗星探査機Rosettaがチュリモフ・ゲラシメンコ彗星へ到達し近接観測を開始した。2015年に、米国の小惑星探査機Dawnが準惑星ケレスに到達し周回軌道から観測を開始した。同年、米国の冥王星探査機New Horizonsが冥王星フライバイに成功した。2016年には米国の小惑星サンプルリターン機OSIRIS-RExがB型小惑星Bennuを目指して打ち上げられた。これらは全て、準惑星・小惑星・彗星(すなわち総称して「小天体」)を目指すミッションであり、世界的な指向は明らかに“より遠方”の“より自在な”探査である。我が国においては、2020年前後の実現をめざし月着陸ミッション、彗星フライバイ探査機、火星衛星サンプルリターンミッション、木星トロヤ群小惑星帯ソーラーセイル探査機などが計画されており、小天体探査の潮流の枢要を担っていると言える。

ただし、従来及び近い将来の小天体探査の技術的境界は、地球近傍天体への着陸か、超遠方天体への周回・フライバイのいずれか一方のみの実現に終始しており、超遠方天体への着陸を目指す計画は未だ存在しない。その主たる理由は、着陸運用には高度な天体相対誘導航法が必須であり、それを完全自律で実施する術をまだ人類は持ち合わせていないためである。例えば、はやぶさ2の着陸運用時の地球探査機間距離は2.4auであり、電波の往復電伝播時間40分に相当する。この距離では、着陸の最終段階を除いて、探査機の自律機能を地球からオーバーライドすることが可能である。しかしそのような自律度の低い手法は、より遠方の天体への着陸をしたい場合、あるいはより高重力の天体(=ダイナミクス時定数の短い系での着陸)を行う場合ほど適用が難しくなる。太陽系小天体の分布は、太陽から遠方ほど大きくなる傾向があり、将来の太陽系探査の主戦場になるであろう遠方天体への着陸は、「遠方」「高重力」の2重の困難を伴う。

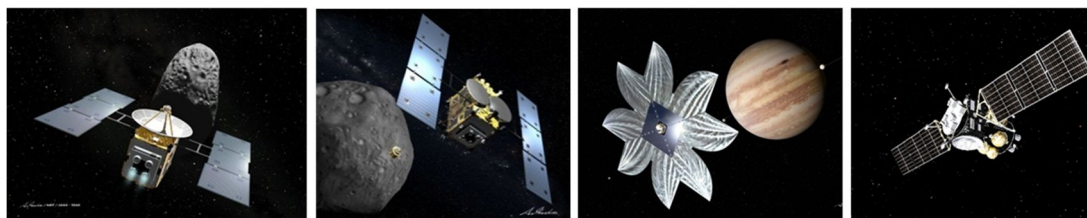


図1 わが国の強摂動下での運用実績と将来計画(左から、はやぶさ、はやぶさ2、ソーラー電力セイルによるトロヤ群探査計画、火星衛星探査計画、これらのミッションの小天体着陸技術を3au以遠の自律ランデブー技術へ発展させる。

## 2. 研究の目的

準惑星や小惑星、彗星等の小天体近傍の軌道運動は、太陽光圧摂動・重力ポテンシャル・太陽潮汐力等の強い摂動を受けるため、小天体への接近・着陸を行う探査ミッションでは、強摂動下の天体力学の精緻なモデル化と効果的な活用が欠くべからざる工学課題である。本研究では、従来擾乱としかみなされなかった摂動を積極的に利用することで、これまででは不可能とされてきた超遠方(目標: 3au以遠)の天体への自律ランデブー誘導航法を実現するための技術に目処をつけることを目指す。特に、強摂動下の深宇宙探査ミッションを実践しているIKAROS・はやぶさ2の運用手法・力学モデルを体系化した上で拡張し、遠方天体探査全般に適用可能なランデブー航法誘導理論の構築と画像航法模擬実験を行う。

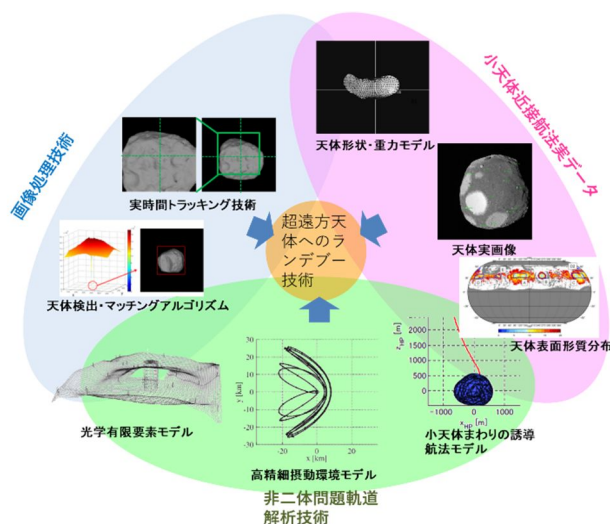


図2 研究方針(当研究で扱う遠方天体ランデブーの関連研究)

### 3. 研究の方法

本研究はまず強摂動下の天体力学を、「宇宙航行力学」「画像処理技術」「天体モデリング技術」「深宇宙機運用技術」の観点から分析し、小天体着陸誘導航法の実現のために多面的な活動を行うことを第一ステップ (Step1) と位置付ける。その上で、第二ステップ (Step2) として左記で得られた知見を「超遠方天体への自律ランデブー技術」の観点でまとめ上げ体系化する。

(Step-1) はやぶさ・はやぶさ2の実運用データを活用した小天体相対誘導航法の体系化ははやぶさ・はやぶさ2は地球距離2AU前後にて小惑星への着陸を試みるが、その際に得られる天体モデリングや誘導航法の知見を利用し、3AU以遠の超遠方天体への着陸のための課題抽出を行う。

(Step-2) 画像航法技術の研究  
天体相対航法を実現するための最も重要な要素技術に、天体画像処理技術が挙げられる。自律運用に有望な自動画像認識技術を探し、実時間アルゴリズム化することを目指す。性能検証に、はやぶさ2が撮像した実際の小惑星画像を活用することで、実用性の高いあるアルゴリズムの開発を目指す。

(Step-3) 超遠方天体への自律ランデブー技術の体系化と実証

Step1の成果をもとに、「超遠方天体への自律ランデブー」手法を案出し、技術の体系化を図る。単に理論体系化するだけではなく、具体的なミッションシナリオを作成した上で、総合動作検証実験を企画し、実検証成果を獲得することも視野に入れる。

### 4. 研究成果

研究は、上記の Step1,2,3 に則って実施された。それぞれのステップにおける成果を以下に記す。

1) 画像航法データベースの作成・整備  
小惑星探査機「はやぶさ2」は2018年6月27日に小惑星 Ryugu に到着し、多量の観測画像データを取得した。本研究活動の初動として、これらの画像データを画像航法に必要な情報と共に格納するデータベースを作成した。本データを用いて、小天体および画像航法の研究コミュニティとの研究会等を通じて、画像航法や小天体モデリングに関する論文成果に繋がる貢献をした。

2) 天体相対の自律画像航法技術  
遠方天体相対航法を実現するためには、自律性・信頼性・実時間性の高い画像マッチング技術が必要である。本研究では、ハードウェアロジックと相性がよく、天体画像や自然地形のマッチング処理に適

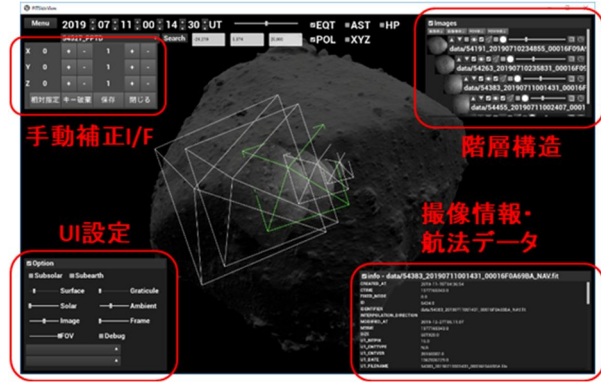


図3 画像航法データベースのユーザーインターフェース

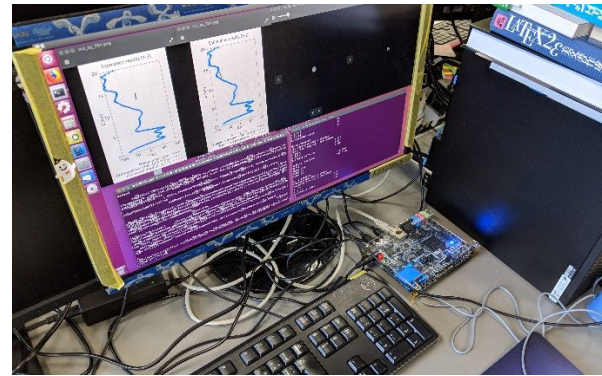


図4 はやぶさ2実運用と並行稼働させているリアルタイム画像航法システム(キーボードの右にある FPGA 基板にてオンボード画像処理を模擬)

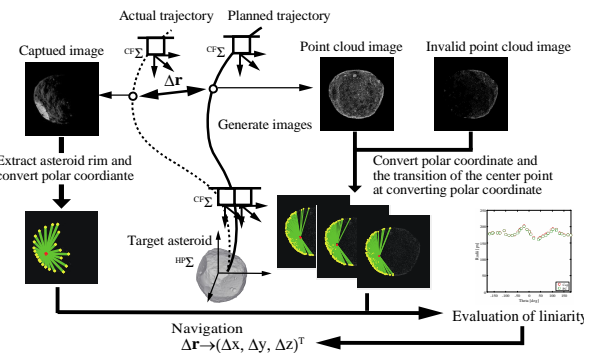


図5 VCC および点群モデルに基づく画像航法アルゴリズム(天体遠方航法用)

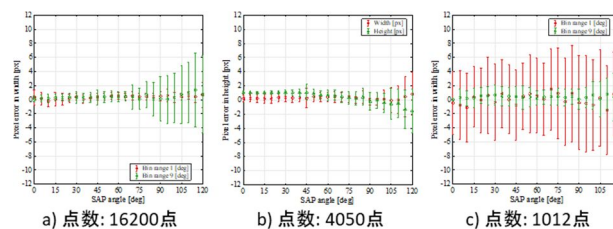


図6 Ryugu を対象とした航法精度評価(VCC および点群モデルに基づく画像航法アルゴリズム)



した航法アルゴリズムとして2手法を創出した。

1つ目は、ハードウェア回路との相性の良いアルゴリズムである Vector Code Correlation (VCC) 法を用いてテンプレートマッチングを行う手法である。比較対象のテンプレート画像は、天体を点群として表現を用いることにより3次元レンダリング処理を完全に不要とする工夫がなされている。本手法はFPGA上にハードウェア回路を構成した上で、2019年にははやぶさ2が実施した Ryugu 地表への降下運用の際に実時間稼働させ（はやぶさ2の実運用に供されていた従来の手動処理と比して）遜色ない航法性能の結果を得た。

2つ目は、人工物の航法標識を複数天体表面に配置することにより、星図パターンマッチングと同様の要領で、対地相対航法を行う手法である。航法標識としては、母船からの光学トラッキングに依拠する受動的なものに加えて、測距機能を有する能動的な航法標識についても実験および数値シミュレーションにより評価を行った。いずれの手法においても、小惑星地表に設置することにより、高精度対地航法が実現できる統合手法を開発した上で、従来手法（測距機能を有しない受動人工標識）との性能比較を実施し、良好な航法精度が実現できることを示した。

### 3) 自律ランデブー技術を活用したミッションシナリオの議論・策定

本研究で開発した画像航法技術が有効となる超遠方天体領域の探査ミッションシナリオの構想検討を実施した。当研究期間中に、はやぶさ2が地球帰還を果たし、はやぶさ2の成果を踏まえると、より遠方の天体へのサンプルリターン探査、あるいは、より大きな天体への離着陸探査がますます増大したと言える。本研究活動においては、火星距離以遠の“遠方天体サンプルリターン”および“深宇宙軌道間輸送機 (OTV)”という2つの具体的なミッションを設定し、当研究で開発した画像航法技術が、それらのミッションを実現する中核技術と位置付けた。それに加えて、ランデブー/ドッキング、補給等を構想実現に必要なキー技術として抽出し、机上検討により課題抽出を行った。これらの成果について、複数の学会発表を実施して、関係コミュニティとの議論・意見交換を行った。

これらの研究成果は、次世代小天体サンプルリターン構想の検討活動、軌道間輸送技術を含む宇宙輸送系の検討活動に引き継がれた。

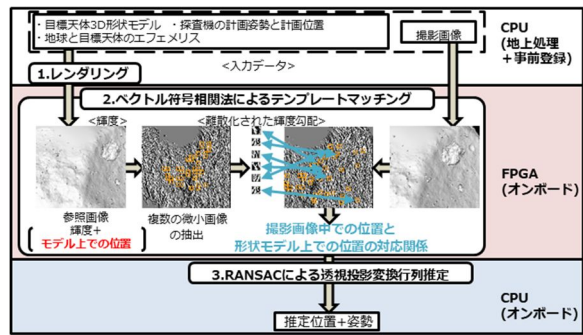


図7 人工航法標識を用いた画像航法アルゴリズム (天体近傍画像航法用)

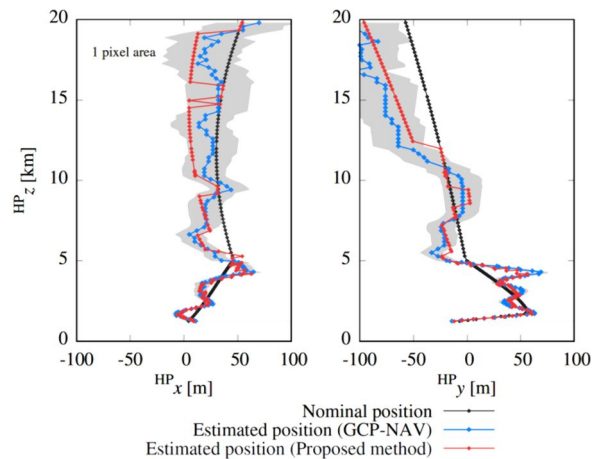


図8 Ryugu を対象とした航法精度評価(人工航法標識を用いた画像航法アルゴリズム)

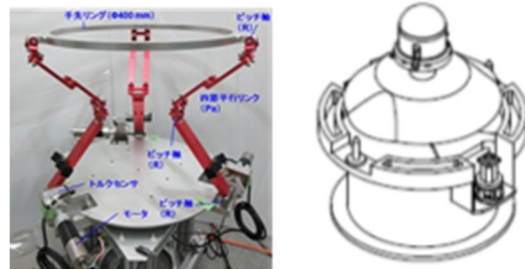


図9 軽量自律ドッキング機構の設計・簡易試作

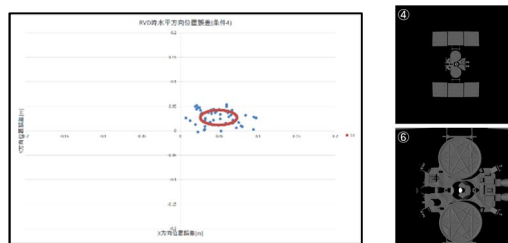


図10 人工航法標識ベースの深宇宙ランデブードッキングシミュレーション

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takao Yuki, Mimasu Yuya, Tsuda Yuichi	4. 巻 4
2. 論文標題 Simultaneous estimation of spacecraft position and asteroid diameter during final approach of Hayabusa2 to Ryugu	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astrodynamics	6. 最初と最後の頁 163 ~ 175
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s42064-020-0078-5	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -
1. 著者名 Ohira Genki, Kashioka Shuya, Takao Yuki, Iyota Taketoshi, Tsuda Yuichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Autonomous image-based navigation using vector code correlation algorithm for distant small body exploration	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acta Astronautica	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.actaastro.2020.10.013	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -
1. 著者名 Yoshiyuki Anzai, Takehisa Yairi, Naoya Takeishi, Yuichi Tsuda, Naoko Ogawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Visual localization for asteroid touchdown operation based on local image features	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astrodynamics J.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -
1. 著者名 Yuichi Tsuda, Hiroshi Takeuchi, Naoko Ogawa, Go Ono, Shota Kikuchi, Yusuke Oki, Masateru Ishiguro, Daisuke Kuroda, Seitaro Urakawa, Shin-ichiro Okumura and Hayabusa2 Project Team	4. 巻 -
2. 論文標題 Rendezvous to Asteroid with Highly Uncertain Ephemeris: Hayabusa2's Ryugu Approach Operation Result	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astrodynamics J.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Van wal, S., Tsuda, Y., Yoshikawa, K., Miura, A., Tanaka, S., Scheeres, D.	4. 巻 55(4)
2. 論文標題 Prearrival Deployment Analysis of Rovers on Hayabusa2 Asteroid Explorer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Spacecraft and Rockets	6. 最初と最後の頁 797-817
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する

1. 著者名 Ono, G., Kikuchi, S., Tsuda, Y.	4. 巻 41(9)
2. 論文標題 Stability Analysis of Generalized Sail Dynamics Model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Guidance Control and Dynamics	6. 最初と最後の頁 2011-2018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2514/1.G003418	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Y. Oki, Y. Tsuda, J. Kawaguchi	4. 巻 157
2. 論文標題 Extension of Stable Terminator Orbit around Small Bodies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Astronautica	6. 最初と最後の頁 180-188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actaastro.2018.12.027	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

1. 著者名 Shota Kikuchi, Yuichi Tsuda, Makoto Yoshikawa, Jun'ichiro Kawaguchi	4. 巻 42(6)
2. 論文標題 Stability Analysis of Coupled Orbit-Attitude Dynamics Around Asteroids Using Finite-Time Lyapunov Exponents	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Guidance, Control and Dynamics	6. 最初と最後の頁 1289-1305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2514/1.G003879	査読の有無 有
オープンアクセス 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 -

〔学会発表〕 計26件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 14件）

1. 発表者名 Gutierrez-Ramon, R., Liang, Y., Tsuda, Y.
2. 発表標題 Design of a Deep Space Orbit Transfer Vehicle (DS-OTV) Architecture
3. 学会等名 AIAA/AAS, Astrodynamics Specialist Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ohira, G., Kashioka, S., Takao, Y., Iyoda, T., Tsuda, Y.
2. 発表標題 Real-Time Optical Navigation by Perspective Projection Estimation using Shape Model for Far-Distant Small Body Explorations
3. 学会等名 71st International Astronautical Congress (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shuya Kashioka, Genki Ohira, Yuki Takao, Taketoshi Iyoda, and Yuichi Tsuda
2. 発表標題 Position Estimation Method by Asteroid Shape Images and Image Coding Method for On-board Optical Navigation
3. 学会等名 31st AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柏岡 秀哉, 大平 元希, 高尾 勇輝, 伊与田 健敏, 津田 雄一
2. 発表標題 The self-position estimation of a spacecraft for descent and landing on an asteroid using a shape model of asteroid
3. 学会等名 30th Workshop on JAXA Astrodynamics and Flight Mechanics
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Gutierrez-Ramon, R., Liang, Y., Tsuda, Y.
2. 発表標題 Design of a Deep Space Orbit Transfer Vehicle (DS-OTV) Architecture
3. 学会等名 30th Workshop on JAXA Astrodynamics and Flight Mechanics
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuto Takei, Takanao Saiki, Yuya Mimasu, Naoko Ogawa, Roger Gutierrez Ramon, Yuki Kubo, Maiko Yamakawa, Yuki Takao, Yusuke Maru, Satoshi Nonaka, YuichiTsuda
2. 発表標題 The Concept of Deep Space Orbital Transfer Vehicle (DSOTV) Inspired by Hayabusa2 Technology
3. 学会等名 ISAS Planetary Exploration Workshop
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Roger Gutierrez Ramon, Yuichi Tsuda, Takanao Saiki, Yuto Takei, Yuya Mimasu, Yusuke Maru, Satoshi Nonaka, Shinichiro Tokudome
2. 発表標題 Concept and Feasibility of a Deep Space OrbitTransfer Vehicle
3. 学会等名 第64回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuki Takao, Yuichi Tsuda
2. 発表標題 Landmark-Free Optical Navigation Around Small Bodies: Application to the Hayabusa2 Touchdown on Ryugu
3. 学会等名 70th International Astronautical Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Shuya Kashioka, Genki Ohira, Yuki Takao, Miyuki Kadokura, Toshio Iyota, Yuichi Tsuda
2. 発表標題 Position estimation method using asteroid shape model and vector code correlation for onboard optical navigation
3. 学会等名 32nd International Symposium on Space Technology and Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木 透馬, 矢入 健久, 武石 直也, 津田 雄一, 尾川 順子
2. 発表標題 画像列を用いた小惑星形状・探査機相対運動の逐次推定
3. 学会等名 2019年度人工知能学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shuya Kashioka, Genki Ohira, Yuki Takao, Toshio Iyota, Yuichi Tsuda
2. 発表標題 Onboard optical navigation for asteroid explorer by asteroid shape model
3. 学会等名 The 2019 AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Takao, Yuichi Tsuda
2. 発表標題 Landmark-Free Optical Navigation Around Small Bodies: Application to the Hayabusa2 Touchdown on Ryugu
3. 学会等名 70th International Astronautical Congress, Washington D.C., 2019. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Kikuchi, Y. Oki, and Y. Tsuda,
2. 発表標題 Frozen Orbits under Radiation Pressure and Zonal Gravity Perturbations
3. 学会等名 30th AIAA/AAS Space Flight Mechanics Meeting, Orlando, Florida, 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大木優介、吉川健人、菊地翔太、津田雄一
2. 発表標題 MINERVA-II-2のリュウグウ周回軌道設計
3. 学会等名 第29回 アストロダイナミクスシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuichi Tsuda, Hiroshi Takeuchi, Naoko Ogawa, Go Ono, Shota Kikuchi, Yusuke Oki, Masateru Ishiguro, Daisuke Kuroda, Seitaro Urakawa, Shin-ichiro Okumura and Hayabusa2 Project Team
2. 発表標題 Guidance and Navigation Result of Hayabusa2 Asteroid Rendezvous Operation
3. 学会等名 32nd International Symposium on Space Technology and Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Stefaan Van wal, Y. Tsuda, K. Yoshikawa
2. 発表標題 Deployment Analysis and Trajectory Reconstruction of Minerva-II Rovers on Asteroid Ryugu
3. 学会等名 29th AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, Ka'anapali, HI, 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Kikuchi, Y. Oki, T. Saiki, Y. Takei, H. Takeuchi, G. Ono, H. Ikeda, and Y. Tsuda
2 . 発表標題 Retrograde Teardrop Orbits about Asteroids: Application to the Hayabusa2 Mission
3 . 学会等名 29th AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, Ka'anapali, HI, 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Takao, Y., Tsuda, Y., Saiki, N., Ogawa, N.
2 . 発表標題 Model-Based Optical Navigation for Autonomous Landing on Asteroids
3 . 学会等名 29th AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, Ka'anapali, HI, 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Soldini, Y. Tsuda, T. Yamaguchi
2 . 発表標題 Hayabusa2 Mission Solar Conjunction Phase for Hovering Satellite: Trajectory Design, Navigation and Post-Operation Evaluation
3 . 学会等名 29th AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting, Ka'anapali, HI, 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Kashioka, S., Tsuda, Y
2 . 発表標題 Analysis of Bidirectional Reflection Distribution Function on a Solar Cell with a Microstructure
3 . 学会等名 International Astronautical Congress (IAC), Bremen, 2018 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 柏岡秀哉, 大平元希, 高尾 勇輝, 伊予田健敏, 津田 雄一
2. 発表標題 小惑星形状の点群データを用いた自律誘導航法に関する研究
3. 学会等名 第62回宇宙科学技術連合講演会, 福岡, 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大平元希, 柏岡秀哉, 高尾勇輝, 門倉美幸, 伊与田健敏, 津田雄一
2. 発表標題 画像航法用VCC(ベクトル符号相関法)アルゴリズムのオンボード処理化に関する研究
3. 学会等名 第62回宇宙科学技術連合講演会, 福岡, 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ohira, G., Kashioka, S., Takao, Y., Kadokura, M., Tsuda, Y.
2. 発表標題 On-board processing of VCC (vector code correlation) algorithm for image navigation system
3. 学会等名 28th Workshop on JAXA Astrodynamics and Flight Mechanics, Sagamihara, 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kashioka, S., Ohira, G., Takao, Y., Iyota, T., Tsuda, Y.
2. 発表標題 Study of Estimation of the Position of the Spacecraft by Point Cloud Data
3. 学会等名 28th Workshop on JAXA Astrodynamics and Flight Mechanics, Sagamihara, 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊地翔太、大木優介、津田雄一、武井悠人、竹内央、佐伯孝尚、池田人、大野剛
2. 発表標題 Retrograde Teardrop Orbits around Small Celestial Bodies
3. 学会等名 28th Workshop on JAXA Astrodynamics and Flight Mechanics, Sagamiara, 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Stefania Soldini
2. 発表標題 Trajectory Design and Operations for Solar Conjunction during Hayabusa2 Hovering Phase
3. 学会等名 28th Workshop on JAXA Astrodynamics and Flight Mechanics, Sagamiara, 2018
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Masatoshi Hirabayashi, Yuichi Tsuda	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 610
3. 書名 Hayabusa2 Asteroid Sample Return Mission -Technological Innovation and Advances	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 パラレルリンクロボット	発明者 武井悠人, 津田雄一, 佐伯孝尚, 三樹裕也, 尾川順子	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-176927	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-



6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	佐伯 孝尚  (Saiki Takanao)  (10415903)	宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授    (82645)	
研究協力者	照井 冬人  (Terui Fuyuto)  (80358522)	宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・研究員    (82645)	
研究協力者	尾川 順子  (Ogawa Naoko)  (10523813)	宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・研究員    (82645)	
研究協力者	大野 剛  (Ono Go)  (50817674)	宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・研究員    (82645)	
研究協力者	ソルディーニ ステファニア  (Soldini Stefania)	宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・プロジェクト研究員    (82645)	

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