様　式　C－１９、F－１９－１、Z－１９　（共通）

科研費 KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　６ 年　６ 月 ２４ 日現在

機関番号：８２６４５
研究種目：若手研究
研究期間：2019～2023
課題番号：１９Ｋ１４７８８

研究課題名（和文）太陽系小天体の内部構造探査を目指した重力偏差計の研究開発

研究課題名（英文）Development of Gravity gradiometer for the interior structure investigation of the solar system small body

研究代表者

野村　麗子（Nomura, Reiko）

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・有人宇宙技術部門・研究開発員

研究者番号：３０６３７６９０

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　3,200,000円

研究成果の概要（和文）：初期太陽系における水輸送の過程を解明するには、太陽系小天体の内部構造を解明する必要がある。重力場調査は、重力が表面地形だけでなく内部の密度変化にも依存するため、内部構造探査に有効な手段となる。そこで本研究では、小天体探査機搭載用に重力偏差計の新規開発をおこなった。小天体における微小重力場をこれまでにない高空間分解で観測するために、従来式の静電アクチュエータ型ではなく、新たに磁気アクチュエータ型の重力偏差計の、設計・製作及び試験を実施した。本研究により今後の小天体の内部構造探査へ繋がる基礎技術を確立することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義
初期太陽系における水輸送の過程を解明するには、太陽系小天体の内部構造を解明する必要がある。重力場調査は、重力が表面地形だけでなく内部の密度変化にも依存するため、内部構造探査に有効な手段となる。小天体における微小重力場をこれまでにない高空間分解で観測するためには、従来式の静電アクチュエータ型ではなく、新たに磁気アクチュエータ型の重力偏差計を実現することが必要であり、本研究により今後の小天体の内部構造探査へ繋がる基礎技術を確立することができた。

研究成果の概要（英文）：In order to elucidate the processes of water transport in the early solar system, the interior structure of the solar system small body need to be resolved. The gravity field investigation is an effective measure for the interior structure exploration, because the gravity depends not only on the surface topography but also the internal density variation. For this purpose, we tested and evaluated our new instrument and basic technology which can be applied to a new type of spaceborne gravity gradiometer (GGM) and enables fine spatial resolution of the microgravity measurement.

研究分野：超高層大気物理学

キーワード：重力偏差計

※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、研究者個人に帰属します。

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１（共通）

１．研究開始当初の背景

初期太陽系における水輸送の過程を解明するには、太陽系小天体の内部構造を解明する必要がある。重力場調査は、重力が表面地形だけでなく内部の密度変化にも依存するため、内部構造探査に有効な手段となる。そこで本研究では、小天体探査機搭載用に重力偏差計の新規開発をおこなう。小天体における微小重力場をこれまでにない高空間分解で観測するために、従来式の静電アクチュエータ型ではなく、新たに磁気アクチュエータ型の重力偏差計を実現する。それにより、小天体の水の有無と内部構造の解明からその起源と進化を明らかにするための小天体の内部構造探査の基礎技術を確立する。一つの基準として観測ロケットへの搭載が可能なレベルの技術を確立する。

２．研究の目的

宇宙探査機搭載用の重力偏差計を新規研究開発することにより、従来では困難であった小天体における微小重力場の高空間分解観測ができるようになり、新たな科学成果を創出することが本研究の目的である。当面の科学目的は、小天体の水の有無と内部構造の解明からその起源と進化を明らかにすることである。具体的には、従来式の静電アクチュエータ型ではなく、新たに磁気アクチュエータ型の重力偏差計を実現し、今までにない高空間分解の重力場計測による小天体の内部構造探査の基礎技術を確立する。この重力偏差計を将来の小天体探査機に搭載し、これまでにない高空間分解で良質の重力場データを取得することを目指す。

３．研究の方法

地球低高度周回観測を目指して開発が行われてきた磁気アクチュエータ型加度計の現在までの開発実績を活かした上で、小天体探査機搭載用に重力偏差計の新規研究開発をおこなう。一つの基準として観測ロケットへの搭載が可能なレベルの技術を確立する。
1．課題の洗い出し：先行研究の Osato[2015]を踏襲し、小天体を探査する場合の課題の洗い出しを行う。
2．小惑星探査用に再設計及び観測器機能別の新規製作と評価：課題について反映した重力偏差計の設計を行う。また、光センサ部と磁気アクチュエータ部について機能別に新規製作しそれぞれの性能評価を行う。特に、入出力線型性と磁気環境ノイズに対する耐性や、温度特性、耐震性、真空条件での動作可否を調べる。
3．落下実験用に製作２．で製作した機能別の部品を組合せ、落下実験用の重力偏差計を製作する。
4．単体環境試験：観測ロケット実験の打上げ前に行われる観測器単体環境試験を実施し、搭載可能性を確認する。環境試験は、温度、真空、振動、衝撃試験を含む。各試験で健全性を確認し、不具合が発生した場合には、原因を究明するとともに対策を講じる。また、重力偏差計の計測レンジを超える地球重力下にて、健全性が確認できる試験方法を考案する。
5．落下実験：落下実験による微重力環境下での計測から、小惑星の微小重力場を計測し、重力場分布を導出できるか性能を評価する。

４．研究成果

まず、研究の方法における１～３について、光学式変位センサと磁気アクチュエータの要素試験を行い、各特性を取得した。その特性を用いて GGM のセンサ部（GGM-S）を設計・製作した。原理検証のため、6 自由度について疑似的な加速度を実験的に与え、加速度計測試験を行なった。この試験により、加速度計の組み合わせである GGM-S において、加速度が設計通り計測できることが確認された。具体的には、基準マスを長さ L のバネで吊り下げ、懸架点を x 水平変位させることによって擬似的な水平加速度 a'=g・x/L（g:重力加速度）を加え、出力される磁気アクチュエータの制御信号から導出される計測加速度とａ’を比較した。または同様に、鉛直方向に z 変位させ、疑似的な鉛直加速度 a'=k*z/m（m:マスの質量、k:ばね定数）を加え、計測値から導出される計測加速度とａ’を比較した。それらの結果、横軸を疑似加速度、縦軸を計測加速度としたとき、各自由度ともほぼ傾きが１となり、設計どおりであることを確認できた。

また、GGM-S で取得した観測データをデジタル処理する電気回路部（GGM-E）の設計・製作も行なった。GGM-E におけるデジタルデータの処理は Raspberry PI で行うことによって、システムの改変が容易なものとした。GGM-S と組み合わせ、正常にデータが取得できることを確認した。そのほか、共同研究者である新谷教授が中心となって落下実験が実施され、50m 落下塔で落下実験が行われた。実験では最長約 2 秒間の全自由度制御が確認できている。研究の方法４における

耐環境性の評価については実施することができなかったが、落下試験により本体に 20G 程度の加速度が加わったと見込まれ、それによる不具合等は認められなかったため、一定の振動耐性があると期待できる。耐環境性の評価については、GGM-S と GGM-E を組み合わせた全体での耐環境性評価も含めて今後の課題と考える。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計0件

〔学会発表〕　計1件（うち招待講演　0件／うち国際学会　0件）

１．発表者名 野村麗子、新谷昌人、竝木則行、松本晃治、荒木博志、浅利一善
２．発表標題 太陽系小天体の内部構造探査を目指した重 力偏差計の研究開発
３．学会等名 日本測地学会第131回講演会
４．発表年 2019年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔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	新谷　昌人 (Araya Akito) (30272503)		
研究協力者	竝木　則行 (Namiki Noriyuki) (50274428)		
研究協力者	松本　晃治 (Matsumoto Koji) (30332167)		
研究協力者	荒木　博志 (Araki Hiroshi) (10290884)		

６．研究組織（つづき）

	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	淺村　和史 (Asamura Kazushi) (50321568)		
研究協力者	白石　浩章 (Shiraishi Hiroaki) (10353418)		

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