

令和元年6月5日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05545

研究課題名(和文) 倒立振子を利用した望遠鏡姿勢制御方式の開発と自転観測用望遠鏡への応用

研究課題名(英文) Development of a method for attitude control of telescopes making use of an inverted pendulum and application to the telescope for observation of rotation of the planets

研究代表者

花田 英夫 (Hanada, Hideo)

国立天文台・RISE月惑星探査検討室・特別客員研究員

研究者番号：60132677

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：月惑星の自転とその変化を観測するために、小型軽量の望遠鏡の姿勢制御方式を開発した。鏡筒を鉛直に保つために、鏡筒自体を底部が円錐形の倒立振子とし、鏡筒上部に置かれた圧力センサーで鏡筒のわずかな傾きを検出し、鏡筒の底部の先端の位置を動かして傾きを補正する。圧力センサーの代わりに、倒立振子上部をバネで支え、その変位量を測定して傾きを補正する実験装置を製作し、約1秒角以下の誤差で制御することに成功した。より弱いばねを使用することによって傾きの検出感度を高めることができ、原理的に、1ミリ秒角の制御も可能である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鉛直または水平の基準は、測地学や位置天文学の科学的な観測にとって重要であるばかりでなく、測量や精密加工等の実用的な必要性も高く、基本的、かつ、応用範囲が広い課題である。倒立振子の制御については、二足歩行ロボットの関係で制御工学の分野で多くの研究があるが、望遠鏡の姿勢制御に応用しようとする研究は初めてであり、望遠鏡の姿勢制御の方式として新しい展開が期待できる。また、鉛直を基準にしている多くの日常的な機器の高精度化への新しい展開も期待できる。今回開発した方式の利点は、液体を用いないこと、より高感度であることである。

研究成果の概要(英文)：We developed an attitude control system for a small telescope in order to make in-situ observations of the rotation of the Moon and the planets. A tube with a sharp bottom end is put on an XY linear translation stage and the top is surrounded by a ring with 4 pressure gauges inside. It is a kind of an inverted pendulum and it is kept vertical by adjusting the position of the bottom end. We made experiments with a device composed of an inverted pendulum suspended by two springs which can move only in one direction and have succeeded in keeping it vertical with the accuracy of better than 1 arc sec. The accuracy is improved by using weaker springs and it is possible to control with the accuracy of 1 milli arc sec.

研究分野：惑星測地学

キーワード：望遠鏡 姿勢制御 倒立振子 鉛直 圧力センサー バネの変位 惑星回転 水平面

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

天体の内部構造を調べることは、その構成物質、温度、物性がわかることにつながり、起源と進化の解明にとって本質的な重要な情報が得られる。一方、天体の内部構造を調べる方法はいろいろあり、地球の場合には、自転、重力分布、潮汐変形、地震、磁場、熱流量等、多くの種類の観測を組み合わせることで詳細な構造を推定しているが、他の天体の場合には、自転、重力分布、表面形状等限られている。その中で、自転の変化を調べることは、地球では、望遠鏡による極運動の観測から、いち早く流体核の存在の証拠を捉えたり (Z 項)、月では、月レーザ測距による自転の観測から内部の流体層の存在を示唆し、水星では、地球からのレーダー観測による回転運動の計測で、中心核が融けていることを示した等多くの実績があり、天体の中心部の構造や物性の情報が得られる数少ない重要な観測の一つとして、地球、月以外の惑星でも観測が計画されている。

国立天文台水沢では、Z 項の発見に始まる長年の地球回転研究の流れを背景として、月の自転変動をより詳細に観測して月の流体核の存在を明らかにすることを目的に、月面での月回転観測用の望遠鏡を開発してきた。この望遠鏡は、地上観測では所期の精度をほぼ達成できたが、水平面の基準として水銀皿の反射面を組み込んだ特殊な光学系を使用しており、ある程度鏡筒の傾斜を保証できるという利点はあるものの、屈折系の対物レンズを使用しなければならない等、望遠鏡の方式を大きく制約し、小型軽量化、操作性、長期安定性の観点で障害となっていた。望遠鏡を用いたこの種の観測を火星等の惑星にも応用しようとする、今後のロケットの小型化の流れの中で、大幅な小型軽量化は必須である。

上記の背景を踏まえ、月、惑星設置用の望遠鏡に必須の大幅な小型軽量化が可能な、倒立振子の制御を応用した望遠鏡鏡筒の鉛直制御方式を開発した。

2. 研究の目的

天体の自転の変動を観測することは、その内部構造を調べる上で有効な方法の一つである。将来の月惑星探査機に搭載可能な小型軽量の望遠鏡による月惑星の自転変動の観測を実現することを念頭に、倒立振子の制御を応用した望遠鏡鏡筒の鉛直制御方式を開発し、その安定性、感度、問題点を明らかにし、新しい望遠鏡制御方式の実現に道を開くことを目的とする。

倒立振子は重心が支点より上に来る不安定な系で、これを安定に鉛直に保つための制御は、古くから制御工学の代表的な課題の一つとして多くの研究がなされてきた。また、最近では二足歩行ロボットに必要な技術として新たな展開を見せているが、望遠鏡の鉛直の基準として用いているのは初の試みであり、そのために、鉛直に制御する精度の限界や長期安定性について新たに調べる必要がある。ここでは、鏡筒自体を倒立振子本体とし、底部を点で支持するため一見不安定であるが、逆に、鉛直からのズレに対する感度が高いので、適切に制御すれば、高精度の鉛直制御が期待できる。この方式は、水平面の基準を光学系の中に組み込むことなく、かつ、下げ振りのように入射方向に支点等の構造を置く必要が無いので、望遠鏡の方式にほとんど影響を与えない。小型の望遠鏡の新しい方式である。

3. 研究の方法

当初は、圧力センサーを用いて倒立振子の姿勢を制御することを想定していたが、超高感度の圧力センサーの機械的な弱さや取り扱いの難しさを考慮し、初期の開発実験では、倒立振子の上部をバネで支え、その変位をレーザ変位センサーで高精度に測定する方法を採用した。圧力センサーも一種のバネの弾力を利用したので、バネを用いることによって制御方式の本質が変わることはない。また、バネで支えることによって、倒立振子の振り子の周期を長くすることができ、実験が容易になり、より安定な制御系が実現することが期待できる。

実験は倒立振子を傾斜台の上に載せ、傾斜台を約 5 秒角の振幅で周期的に傾斜させる中で倒立振子が鉛直に保たれるように、振子が傾いてバネが少しでも変位したら、それを戻すように、振子の支点の位置を微動台で調整する。実験の結果の良否は、振子の上に載せた傾斜計の出力を見て判断し、バネの強さ、バネの変位信号から微動台の位置を制御するフィードバック回路の定数等を改良しながら、振子の鉛直からのずれをいかに小さくできるかを追及する。1 秒角以下の高感度の姿勢制御を実現させることを目標とする。

4. 研究成果

圧力センサーの代わりに、倒立振子上部をバネで支え、その変位量から振子の傾きを検出する装置を製作して実験を行い、約 1 秒角以下の誤差で制御することに成功した。より弱いばねを使用することによって傾きの検出感度を高めることができ、1 ミリ秒角の制御の見通しを得た。

制御精度を制限している主な要因は、バネの変位を測定するレーザ変位計センサーの分解能、振子の支点の位置を調整する微動台の分解能であり、いずれも、さらに高分解能のものを用いれば、精度が向上することが期待できる。また、実験で新たに明らかになった問題点として、バネの変位を用いて制御する場合に、振子が鉛直から少しずれた位置でバネの変位が初期値になるという事象が見られたが、これも、バネの感度を高めることによって解消できる見通しを得た。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

H. Hanada, S. Tsuruta, K. Asari, H. Araki, K. Funazaki, A. Satoh, H. Taniguchi and M. Kikuchi, A method for attitude control of telescopes making use of an inverted pendulum, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 468, 2018, 1-8, doi:10.1088/1757-899X/468/1/012036.

〔学会発表〕(計 6 件)

H. Hanada, S. Tsuruta, K. Asari, H. Araki, K. Funazaki, A. Satoh, H. Taniguchi, A method for attitude control of a telescopes making use of an inverted pendulum, International scientific conference Fundamental and Applied Problems of Mechanics (FAPM-2017), 2017 年 10 月 .

H. Hanada, S. Tsuruta, K. Asari, H. Araki, H. Noda, S. Kashima, K. Funazaki, A. Satoh, H. Taniguchi, H. Kato, M. Kikuchi, H. Sasaki, T. Hasegawa, T. Yano, N. Gouda, Y. Kobayashi, Y. Yamada and T. Iwata, Summary of development a telescope for ILOM (In-situ Lunar Orientation Measurements) and results of experiments, and future prospects, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会、2017 年 5 月 .

花田英夫、鶴田誠逸、浅利一善、荒木博志、野田寛大、鹿島伸悟、船崎健一、佐藤 淳、谷口英夫、加藤大雅、菊池 護、佐々木宏和、長谷川知恭、月面天測望遠鏡の地上モデルの実験観測結果と精度評価、日本測地学会第 126 回講演会、2016 年 10 月 .

H. Hanada, S. Tsuruta, K. Asari, H. Araki, H. Noda, S. Kashima, K. Funazaki, A. Satoh, H. Taniguchi, H. Kato, M. Kikuchi, H. Sasaki, T. Hasegawa, and A. Gusev, Evaluation of accuracy of a small telescope like PZT for observation of lunar rotation and a new proposal for future missions, International Symposium “AstroKazan-2016”, 2016 年 8 月 .

花田英夫、鶴田誠逸、浅利一善、荒木博志、船崎健一、佐藤 淳、谷口英夫、倒立振子を利用した望遠鏡姿勢制御方式の開発、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年 5 月 .

H. Hanada, S. Tsuruta, K. Asari, H. Araki, H. Noda, S. Kashima, K. Funazaki, A. Satoh, H. Taniguchi, H. Kato, M. Kikuchi, H. Sasaki, T. Hasegawa, and A. Gusev, Expected accuracy of a small telescope like PZT for observations of vertical gravity gradient and lunar rotation, IAG Symposium on Terrestrial Gravimetry: Static and Mobile Measurements (TG-SMM2016), 2016 年 4 月 .

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：船崎 健一
ローマ字氏名：Funazaki, Kenichi
所属研究機関名：岩手大学
部局名：理工学部
職名：教授
研究者番号(8桁)：00219081

研究分担者氏名：佐藤 淳
ローマ字氏名：Satoh, Atsushi
所属研究機関名：岩手大学
部局名：理工学部
職名：准教授
研究者番号(8桁)：60324969

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：谷口 英夫
ローマ字氏名：Taniguchi, Hideo

研究協力者氏名：鶴田 誠逸
ローマ字氏名：Tsuruta, Seiitsu

研究協力者氏名：浅利 一善
ローマ字氏名：Asari, Kazuyoshi

研究協力者氏名：荒木 博志
ローマ字氏名：Araki, Hiroshi

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。