

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03188

研究課題名（和文）多自由度ゼロコンプライアンス機構を利用した高感度力測定装置の開発

研究課題名（英文）Development of high-sensitivity force measurement system using multi-degree-of-freedom zero-compliance mechanism

研究代表者

水野 毅（MIZUNO, Takeshi）

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：20134645

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：3自由度ゼロコンプライアンス機構を利用したカンチレバー式力測定装置を開発し、実際に作用点の位置及び姿勢を一定に保ったまま、力を測定できることを実証した。従来のカンチレバーを用いた力測定では、カンチレバーのたわみから、カンチレバーの先端（作用点）に作用する力の大きさを推定している。このような測定方法では、作用点の位置及び姿勢は、力が作用すると変わってしまう。これに対し、本研究で開発した力測定装置では、カンチレバーの片端を3自由度のユニットで支持し、支持部を検出点として変位させることで、作用点の位置及び姿勢を変化させることなく、検出点の変位または姿勢から力を推定できることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

3自由度ゼロコンプライアンス機構をカンチレバー式力測定に利用するのは、世界でも初めての試みであり、学術的意義は高い。本研究で開発した装置による力測定方法は、従来の零位法と偏位法という分類に合致しない、新しい方式の測定方法と位置づけられる。提案する方法によって、測定系の剛性を無限に保ちながら、高感度性と広帯域性とを兼ね備えた理想的な力測定装置が実現できる可能性がある。測定対象としている「力」は最も基本的な物理量の一つであり、このような測定装置の利用範囲は広く、その波及効果は工学に留まらず、広くサイエンスにも及ぶことが十分に期待できる。

研究成果の概要（英文）：A three-degree-of-freedom zero-compliance mechanism is developed for measuring micro force with a cantilever. The force acting on a tip of the cantilever is usually estimated from the displacement of the tip caused by the force. However, the position and attitude of the tip vary after force acts on the tip from the original ones. To keep them invariant, a three-degree-of-freedom zero compliance mechanism is designed, fabricated and installed into a force measurement system. In the developed measurement system, the force is estimated from the displacement/attitude of a detection point of the zero-compliance mechanism. It is confirmed experimentally that both vertical displacement and attitude of the detection point are proportional to the force applied to the tip.

研究分野：機械力学・制御

キーワード：力学量計測 超精密計測 メカトロニクス

1. 研究開始当初の背景

力は、最も基本的な物理量の一つであり、いろいろな測定方法がある。その測定系の構成に着目すると、開いたシステムによる測定（偏位法）と閉じたシステムによる測定（零位法）とに大別できる。最も広く用いられている装置は前者に属し、代表的な例がばね秤やロードセルである。この方法の根本的な問題は、測定感度を高くするには測定系の剛性を低くすべきであるが、低剛性とする作用点の変位が大きくなってしまい、力の発生源からの距離などの測定条件が変わってしまうことである。また、測定系の固有振動数が低下し、測定周波数帯域が狭くなってしまいうことも大きな問題である。一方、零位法の一つとして、サーボ系を構成して作用点の位置を一定に保ち、そのときの制御信号から力を推定する方法がある。この場合、作用点は変位しないので、偏位法のような測定条件が変わるという問題が生じない。しかしながら、測定帯域を広くするにはハイゲインのフィードバックが必要となり、これが制御信号に含まれるノイズを増大させるため、測定感度が低下してしまう。このため、原子間力のような微小力を測定する場合には、偏位法が利用される場合が多いが、測定条件が変わってしまうという基本的な問題点は解決できない

2. 研究の目的

ゼロコンプライアンス機構を利用して、従来の装置では両立ができなかった高剛性と高感度とを兼ね備えた力測定装置を開発する。開発する装置では、力の作用点をゼロコンプライアンス機構で支持する。ゼロコンプライアンス機構は、正のばね特性を持つ支持機構と負のばね特性を持つように挙動する支持機構とを検出点を介して直列に接続して構成する。このような構造の測定装置では、作用点に力が作用しても、作用点は変位せずに、検出点だけが変位する。したがって、それぞれのばねの剛性を小さくしておけば、作用点の動きを伴わないのに、高感度の力検出が可能となる。本研究では、作用点の支持機構にカンチレバーを用いた多自由度ゼロコンプライアンス機構を開発し、高感度の力測定装置を実現する。

3. 研究の方法

(1) 微小力の検出に適したカンチレバーを用いた3自由度ゼロコンプライアンス機構を備えた力測定機構を設計・製作して、測定原理の検証及び諸特性を把握する実験を行なう。開発する3自由度ゼロコンプライアンス機構は、図1に示すように3自由度の3角形ヒンジとリニアアクチュエータを組み合わせた構造である。

(2) 並進・回転分離型ゼロコンプライアンス機構を備えた力測定機構を設計・製作して、測定原理の検証及び諸特性を把握する実験を行なう。

(3) (1)で開発した装置と(2)で開発した装置の性能比較を行い、3自由度ゼロコンプライアンス機構の最適な構造についての知見を得る。

4. 研究成果

(1) 3自由度ゼロコンプライアンス機構を備えた力測定機構を製作した。実際に試作した装置の写真を図2に示す

(2) 製作した測定機構においてゼロコンプライアンスを達成するため、作用点の位置から検出点の取るべき位置を決定し、これより各リンクの長さが求める理論式を導出することに成功した。具体的には、測定機構の運動学のモデルを立て、カンチレバー作用点の位置からヒンジに固定された検出点の位置を決定する理論式を導出した。

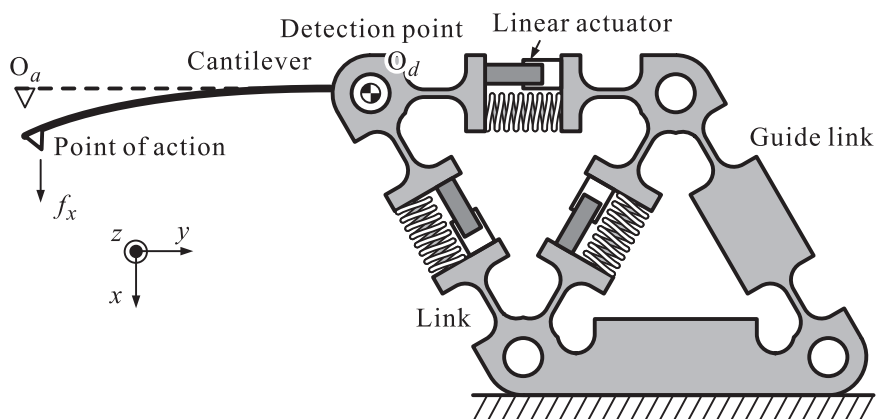


図1 3自由度ゼロコンプライアンス機構 (1)

(3) (2)の結果に基づいて、ゼロコンプライアンスを達成する制御系を構築し、カンチレバー先端(作用点)に静的な力を与えても、作用点は各方向に対して定常的な変位がほぼゼロとなっていることを確認した。さらに、図3に示すように、検出点の法線方向の変位及び姿勢角が力に比例することを実証した。これによって、提案する方法によって、作用点を変位させずに、高感度の力検出が可能であることが示された。

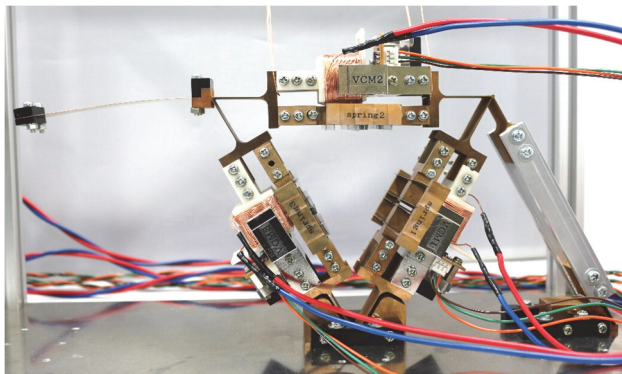
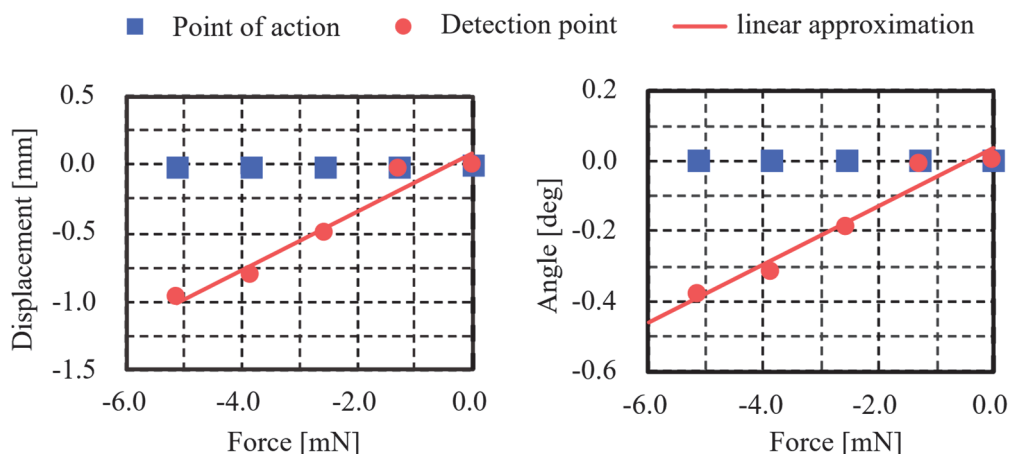


図2 製作した測定装置(写真)

(4) 並進・回転分離型ゼロコンプライアンス機構を備えた力測定機構を製作した。実際に製作した装置の写真を図4に示す。

(5) (4)で開発した装置においても、ゼロコンプライアンスを達成する制御系を構築し、カンチレバー先端(作用点)に静的な力を与えても、作用点は各方向に対して定常的な変位がほぼゼロとなること、及び検出点の法線方向の変位及び姿勢角が力に比例することを実証した。

(6) 二つの装置の性能比較を行い、並進・回転分離型ゼロコンプライアンス機構の方が制御系の構成が容易になるとの知見を得た。



(a) Displacement in the normal direction

(b) Angle

図3 力と作用点・検出点の法線方向変位及び姿勢角との関係(実測値)

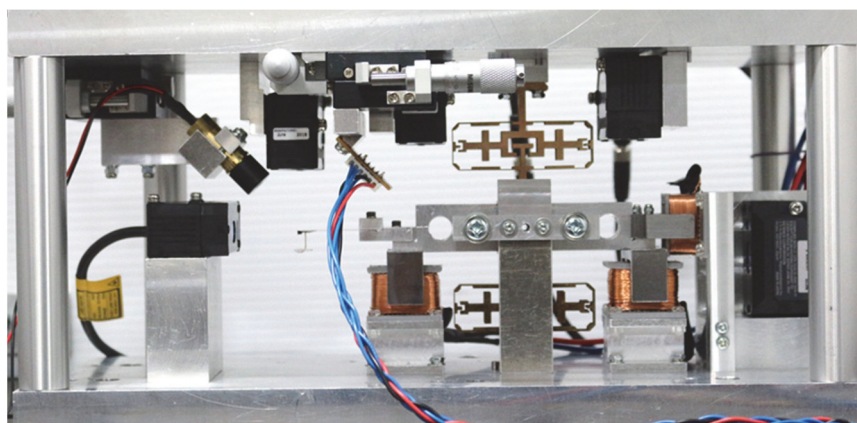


図4 並進・回転分離型ゼロコンプライアンス機構を備えた力測定装置(写真)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Md .Helal An NAHIYAN, Takeshi MIZUNO, Masaya TAKASAKI, Yuji ISHINO, Masayuki HARA, Daisuke YAMAGUCHI	4. 巻 12
2. 論文標題 Validation of multi-dimensional force measurement using zero-compliance mechanism	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299 / jamdsm. 2018jamsdm0038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Md .Helal An NAHIYAN, Takeshi MIZUNO, Masaya TAKASAKI, Yuji ISHINO, Masayuki HARA, Daisuke YAMAGUCHI	4. 巻 26
2. 論文標題 Development of Three-Dimensional Force Measurement Instrument Using Zero-Compliance Mechanism	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics	6. 最初と最後の頁 172-177
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14243/jsaem.26.172	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Takeshi MIZUNO, Yuji ISHINO, Hiroki KAWADA, Yoichiro HAYASHI, Masaya TAKASAKI, Masayuki HARA, Daisuke YAMAGUCHI,	4. 巻 11
2. 論文標題 Force Measurement Using Zero-Compliance Mechanism	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration	6. 最初と最後の頁 341-348
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.9746/jcmsi.11.341	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Helal An NAHIYAN, Takeshi MIZUNO, Masaya TAKASAKI, Yuji ISHINO, Masayuki HARA, Daisuke YAMAGUCHI
2. 発表標題 Vertical Direction Static Force Measurement Using a Three-Dimensional Force Measurement Apparatus Based on Zero-Compliance Principle
3. 学会等名 14Th International Conference on Motion and Vibration Control (MoViC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Helal An NAHIYAN, Takeshi MIZUNO, Masaya TAKASAKI, Yuji ISHINO, Masayuki HARA, Daisuke YAMAGUCHI
2. 発表標題 Evaluation of Multi-Dimensional Force Measurement Apparatus using Zero-Compliance Principle in Microforce Measurement
3. 学会等名 XXII IMEKO World Congress, (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Md Helal An NAHIAN, Takeshi MIZUNO, Masaya TAKASAKI, Yuji ISHINO, Masayuki HARA, Daisuke YAMAGUCHI
2. 発表標題 Development of Threee-Dimensional Force Measurement Instrument Using Zero-Compliance Mechanism
3. 学会等名 第29回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム (SEAD29)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水野 毅, 高橋 弘享, 高崎 正也, 山口 大介, 石野 裕二
2. 発表標題 3自由度ゼロコンプライアンス機構を用いたカンチレバー式力測定装置の開発
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference 2019 (D&D2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi MIZUNO
2. 発表標題 Application of Zero-Compliance Mechanism to Vibration Isolation and Force Measurement
3. 学会等名 International Conference on Mechanical, Industrial and Materials Engineering 2019 (ICMIME2019) (招待講演) (国際学会)
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
連携研究者	高崎 正也 (Takasaki Masaya) (10333486)	埼玉大学・理工学研究科・教授 (12401)	
連携研究者	原 正之 (Hara Masayuki) (00596497)	埼玉大学・理工学研究科・准教授 (12401)	
連携研究者	山口 大介 (Yamaguchi Daisuke) (00735657)	埼玉大学・理工学研究科・助教 (12401)	
連携研究者	石野 裕二 (Ishino Yuji) (50645968)	埼玉大学・総合技術支援センター・技師 (12401)	