

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 26 日現在

機関番号：31302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420393

研究課題名(和文) 巨大橋梁など大型構造物の外観検査を可能とする電磁アクチュエータ群の開発

研究課題名(英文) Development of magnetic actuator group capable of visual inspection of large structure such as cable-stayed bridges

研究代表者

矢口 博之 (YAGUCHI, Hiroyuki)

東北学院大学・工学部・教授

研究者番号：70192383

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：巨大橋梁において、計測が困難な斜張橋の主塔を自在に走行可能な電磁アクチュエータ群を試作し、新たな計測システムを構築するための検討を行った。アクチュエータ単体において、電磁石に0.2Wの入力電力を加えた場合、2.2Nの牽引力を発生することを示した。また、アクチュエータの保持部をユニバーサル型の回転可能な構造とし、2本のSMAワイヤーを取付け、ワイヤーを収縮させることで往復移動に対応させた。更に、柔軟なシリコンゴム材を用いて、アクチュエータを2連結することで、4.4Nの最大牽引力を示した。電磁アクチュエータ群は、1台の電力増幅器と信号発生器のみで構造物の外観検査を可能とすることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this research, a magnetic actuator with a very simple structure capable of movement in the construction of large steel bridges, such as cable-stayed bridges was developed, and a new measurement system was constructed. The actuator was able to climb upward at 36 mm/s while pulling a load of 220 g when the input power was 200 mW. Also, the supporting part of the actuator was constructed to be rotatable with a universal type joint, and two SMA wires were attached. Electric current was applied into the SMA wire to cause contraction to correspond to reciprocating movement. Furthermore, by using a flexible silicone rubber material to connect in series with the moving direction of the actuator, the maximum traction force of the actuator group was 4.4 N. It was confirmed that this actuator system is able to inspect the appearance with only two amplifiers, one signal generator, a DC power supply, and a PC installed with software for video capture.

研究分野：機械力学

キーワード：アクチュエータ 構造物検査

1. 研究開始当初の背景

2008年現在、日本各地に建設された長さが15 m以上の橋梁数は15万を超え、その数は今もなお増え続けている。橋梁検査の中で特に問題となるのが、瀬戸大橋を代表とする斜張橋に使用され、高さが200 m以上にもおよぶ主塔や、風害により損傷が著しいケーブル接合部の外観検査である。現在は高所作業車を用いた望遠目視による検査が行われているが、大きな損傷以外は確認できないという問題がある。また、交通規制が必要となるうえ、点検員の安全確保に留意することが求められる。平成16年に国土交通省は、橋梁についての各種点検の項目やその管理の一元化を詳細に定め、橋梁施工後は5年以内に点検を行うことを義務付けた。これまでに、永久磁石の吸引力を利用して走行するローラ型のロボットや、吸盤および空気圧を制御し壁面上に吸着して走行するロボットが提案されてきた。しかし上述のロボットにおいて、走行対象は平面であるため、走行対象は主塔が四角形の場合に限定され、円筒形状の場合には使用できない。また、従来の壁面移動ロボットでは、駆動源として電磁モータが用いられているため、モータとメカ部との間に減速機を介して発生トルクを増大させる必要が有ることや、吸着や脱着に多大の装置を必要とすることから必然的に重量は増加し、走行特性の改善はあまり期待できない。よってロボットによる目視技術は、未だ確立されていない。電磁力と振動を組み合わせで開発されたアクチュエータは、圧電素子と振動の結合型に比べ、はるかに少ない。しかし製造コストや製作のし易さおよび最近の永久磁石の高性能化を考えると、新たな電磁・振動型アクチュエータの開発は極めて興味深い試みである。申請者は、電磁力とメカニカルな共振により発生する慣性力を利用し、本体支持部の摩擦力を交互に変化させることで、鋼鉄上を自在に移動できる新たな走行原理を提案した。このメカニカルな共振現象の有効利用により、電磁アクチュエータの走行原理は確立されつつある。また、走行原理を拡張することで、巨大な橋梁全体の検査に対処できる可能性を見出した。ただし、走行原理を完全に確立させたいうで、高さが200 mを越える鋼

鉄製の巨大橋梁の主塔面を走行し、主塔およびケーブル接合部の損傷状態をモニターできる新たな検査システムを構築する必要がある。なお、本電磁アクチュエータにおいて開発するのはケーブル型であるが、走行中故障が絶対許されない巨大構造物の検査では、最終的な命綱として考えている。

2. 研究の目的

上述の背景とこれまでの研究成果をもとに、本研究では複数の CCD カメラを搭載した電磁アクチュエータ群の開発により、巨大橋梁において特に計測が困難な主塔とケーブル接合部の外観を目視にて検査可能な計測システムを構築する。具体的には、理論および実験によりアクチュエータの走行原理を完全に確立させたいうで、アクチュエータの支持部を往復移動できる構造に改良し、まだ検討がなされていない段差走行に対処させる。また、巨大橋梁の検査に対応させるため、約250 mの長距離にわたり複数本のケーブルを牽引できるように、推進部の磁気回路の見直しを行ってアクチュエータの推進特性を向上させる。更に、同一特性を有する本体を直列あるいは並列に連結させたアクチュエータ群を試作して、推進性能の更なる進展をはかると共に、円筒形状面上を安定して走行できるように対処する。

3. 研究の方法

本研究の最終目標は、CCD カメラを搭載した電磁アクチュエータ群により、巨大な橋梁中において特に検査が困難である主塔およびケーブル接合部分を、目視にて検査可能なシステムを構築することである。研究期間内では検査システム構築上、最も重要であると考えられるアクチュエータの動作原理の確立とその応用に特化して開発を進める。具体的な目標は以下の4項目である。

- アクチュエータの推進特性の向上と寸法の最適化
- 段差走行への対処
- 往復化走行への対処
- 群化による走行安定性と推進特性の進展

4. 研究成果

平成 26 年度は、アクチュエータの推進特性の向上と寸法の最適化について特化して研究を行った。推進部の磁気発生力を 3 N (2.5 倍) に増加させるために、実機試験による磁場解析を行い、アクチュエータの推進源となる電磁石と永久磁石により構成される磁気回路の改良をはかった。また、エネルギー法を用いて振動解析を行い、振動体の傾き角度についての理論解析を行い、得られた結果を実機試験により検証して走行原理を完全に確立させた。これより、電磁石に 0.2W の入力電力を加えた場合、アクチュエータは 2.2N の牽引力を発生することを明らかにした。なお、本年度において得られた結果は、論文 1、国際会議論文 1、国内発表 1 として纏めた。

平成 27 年度は、アクチュエータの保持部をユニバーサル型で回転可能な構造とし、2 本の SMA ワイヤーを取付け、ワイヤーに電流を流して収縮させ、振動体の角度を 60 度に変化させた。SMA ワイヤーへの電流を停止した後は、永久磁石と鉄の吸引力により振動体が、常に一定の傾き角度で保持されるように設計し、余分な電力を供給しないような解決法をはかった。本アクチュエータでは、安定して往復移動が可能であることを明らかにした。ただし、走行効率は、一方向移動型の最大 36 % から、13.7 % まで減少した。これらの欠点を解消するために、2 つの振動モデルを V 字型に直交配置したアクチュエータシステムを新たに試作し、その往復移動についての検討を行った。直交配置したモデルの最大効率は 20.5 % を示し、走行効率については改善がはかられた。また、巨大橋梁では、主塔内や主塔とケーブルを結合する継手部分に、約 10 mm 程度の段差が存在することが多いため、検査時においてアクチュエータは、段差を乗り越えて走行しなければならない。アクチュエータ本体支持部の吸引力を状況に応じて変化させるために、電磁アクチュエータ支持部の前後にそれぞれ 2 個の電磁石を配置し、鋼製構造物と磁路を形成させる方法で保持部を作製したが、電磁石による発生吸引力が弱いため段差走行には対処できなかった。ただし、アクチュエータ単体において、本体取り付け部をなめら

かな形状に作製することで、高さ 3 mm の段差を走行できることを確認した。なお、本年度において得られた結果は、論文 1、国際会議論文 1、国内発表 2 として纏めた。

平成 28 年度は、まず前年度において達成できなかったアクチュエータ保持部におけるユニバーサル構造の見直しと再設計を行った。アクチュエータの保持部を、円筒形とこれに沿って回転可能なガイドで構成することで、その最大効率は 13.7% から 23% まで向上し、前年度において得られた V 字型構造の効率 20.5% をも上回った。更に、検査効率および汎用性を考慮して、検査対象物の円筒半径が変化しても常に安定した走行の実現のために、アクチュエータの群化についての検討を行い、平成 26 年度において不足した牽引力の増大化についての検討を行った。柔軟なシリコンゴム材を用いて、アクチュエータの走行方向に対して直列に連結する方法が提案された。アクチュエータ単体時の牽引力は 0.09N であるのに対して、連結型アクチュエータの牽引力は、約 1.8 倍の 1.6N まで向上させることができた。また、アクチュエータ群を構成する 2 個の振動体間の振動位相がアクチュエータの走行特性におよぼす影響についての考察を行い、最大牽引力を発生する位相についての検討を行った。これより、保持部が回転できない一方向移動型アクチュエータ群の最大牽引力は 4.4N を示したことから、往復移動型についてはアクチュエータ保持部の再検討が必要である。開発された電磁アクチュエータ群は、1 台の信号発信機および簡易的な電力増幅器で駆動可能で、巨大橋梁検査技術の基礎を確立することができたと考えられる。平成 28 年度の成果は、海外雑誌 2 編、国内発表 2 としてまとめた。

科学研究費交付期間である平成 26 年 4 月から平成 29 年 3 月までの 3 年間ににおいて得られた結果は、海外雑誌 4、国外国際会議発表 2、国内発表 5 として纏めた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4件)

1. Hirovuki Yaguchi and Shun Sakuma : Vibration Actuator Capable of Movement on Magnetic Substance Based on New Motion Principle, Journal of Vibroengineering, Vol. 19, Issue 3, pp. 1494 - 1508 (2017).
2. Hirovuki Yaguchi and Shun Sakuma : Improvement of a Magnetic Actuator Capable of Movement on a Magnetic Substance, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 52, No. 7, Article#: 10.1109/TMAG.2016.2533433 (2016).
3. Hirovuki Yaguchi and Shun Sakuma : A Novel Magnetic Actuator Capable of Free Movement on a Magnetic Substance, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 51, No. 11, Article#:8206204 (2015).
4. Hirovuki Yaguchi, Shun Sakuma and Tomomi Kato : New Type of Magnetic Actuator Capable of Wall-Climbing Movement using Inertia Force, Journal of Engineering, Vol. 2014, Article ID 903178, pp. 1 - 6 (2014).

[学会発表](計 7件)

1. Hirovuki Yaguchi and Shun Sakuma : Characteristic Improvement of a Magnetic Actuator Capable of Movement on a Magnetic Substance, 2頁, The 13th Joint MMM - INTERMAG Conference, DW-07 (2016), USA (San Diego).
2. Hirovuki Yaguchi and Shun Sakuma : A Novel Magnetic Actuator Capable of Free Movement on a Magnetic Substance, 2頁, The 2015 IEEE International Magnetics Conference, HY-10 (2015), China (Beijing).
3. 木村 出・矢口博之: 磁性体上を往復移動が可能な振動型アクチュエータ, 日本機械学会北海道支部 第54回講演会・講演会(苫小牧), 2頁, 2016年10月.
4. 作間 瞬・木村 出・矢口博之: 磁性体上を往復移動が可能なアクチュエータの走行特性, 日本AEM学会主催第26回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム(藤沢), 2頁, 2016年5月.
5. 矢口博之・作間 瞬: 磁性体上を走行可能な磁気アクチュエータの走行特性改善, 第39回日本磁気学会学術講演会(名古屋), 1頁, 2015年9月.

6. 矢口博之・作間 瞬: 磁性体面上を走行可能な磁気アクチュエータの移動特性, 日本機械学会中国・四国支部第53期総会・講演会(広島), 2頁, 2015年3月.

7. 作間 瞬・矢口博之: 慣性力を利用した磁気アクチュエータの推進原理, 日本AEM学会主催第26回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム(盛岡), 2頁, 2014年5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:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

矢口博之(YAGUCHI Hirovuki)

東北学院大学・工学部・教授

研究者番号: 70192383

(2)研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者

()

研究者番号: