

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 21 日現在

機関番号：53901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23560276

研究課題名(和文)レアアース磁石を用いない高推力リニアバルブアクチュエータの開発研究

研究課題名(英文) A Study of a Linear Valve Actuator without Rare Earth Magnet for Generating High Thrust Force

研究代表者

近藤 尚生 (KONDO, Hisao)

豊田工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：30178420

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)：レアアース磁石を用いることなく、ステータとアーマチャに多数の対向する突歯を持ち、磁束が三次元的に流れて高推力が得られる新しい構造のリニアバルブアクチュエータの研究を行った。本研究では、アクチュエータ内の磁束流れを有限要素法解析を用いて調べ、明らかにした。そして、隣接歯間の磁気干渉が少ない突歯形状を明らかにした。また、アクチュエータの伝熱促進のため、ステータ形状の検討を行った。その結果、本研究のアクチュエータは従来のアクチュエータと比較すると、消費電力15Wで2.5倍の推力300Nが得られることが明らかになった。そして、伝熱促進効果により、さらに1.5倍大きな高推力を得られる見通しがついた。

研究成果の概要(英文)：A newly designed electro-magnetic linear valve actuator composed of an armature and a stator with multi convex teeth was studied. This actuator does not use rare earth magnetic, but generates a large thrust force. In this study, three dimensional magnetic flux flow in the actuator was examined by using Finite Element Method Analysis. Difference of magnetic flux flow between several convex tooth shapes was examined, and it became clear the shape to avoid magnetic interference in the case of standing multiple convex teeth in a row. To augment heat transfer of the actuator, stator shape was examined. As a result, this actuator generates about 300N at an electric power consumption of 15W. The thrust force is about 2.5 times as large as that of conventional actuators. Furthermore, it is expected that the thrust force of this actuator will be 1.5 times larger than the force at an electric power consumption of 15W by augmenting heat transfer.

研究分野：機械力学・制御

キーワード：機械力学・制御 バルブアクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

永久磁石を一切用いないで、三次元的に磁束が流れて高推力が得られる従来には無い構造の複数磁極を持ったリニアパルプアクチュエータの試作研究を行っていた。この新しい構造のアクチュエータは、アーマチャとステータに複数の磁極を配置し、それらが同時に引き合うことにより高推力を発生できるものである。

本研究開始当初は、本アクチュエータの研究を実験的に進め、高推力が得られていたが、さらに高推力を目指すためには、磁気特性の実験的な面からのみの研究では限界があることがわかってきていた。

2. 研究の目的

レアアースを含有する永久磁石を用いること無く、磁束が三次元的に流れて高推力が得られる、従来には無い構造の複数磁極を持ったリニアパルプアクチュエータについて、磁場解析を援用してアクチュエータ内の磁束流れを明らかにして、高推力化の検討をする。また、伝熱促進をも考慮した検討を加え、さらに高推力を得ることを目的とした。

3. 研究の方法

図1に、本研究で検討したアクチュエータの構造を示す。本アクチュエータは、ステータ、アーマチャ、コイルで構成されている。コイルに電流を流すと、図1(a)(b)の点線の矢印で示すように、磁束は軸方向に対向するステータとアーマチャの多数の突歯の角部を通して三次元的に流れる。本研究のアクチュエータは、この磁束流れにより多数の突歯が同時に磁極になって引き合うことにより、高推力が得られる。

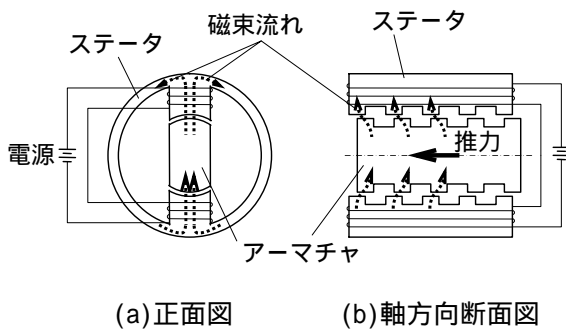


図1 本研究のアクチュエータの構造

本研究では、この磁束流れを有限要素法解析により明らかにする。そして、隣接突歯間で磁気干渉が少ない突歯形状や、軸方向に突歯が多数並んだ場合の磁束流れの検討を行う。さらに、アクチュエータの放熱性向上のため、アクチュエータの電磁特性に影響しないでステータにフィン形成するための形状寸法を検討する。これらの研究結果から、高推力が得られる試作アクチュエータの設

計を行い、部品を製作・組み立てして、試作アクチュエータを製作し、特性評価をおこなう。そして、本研究のアクチュエータは解析と実験両面からどの程度高推力が得られるかの評価を行う。

4. 研究成果

図2(a)~(d)に、本研究のアクチュエータの、ステータおよびアーマチャの突歯形状を矩形、角溝、丸溝、斜溝にした場合の各々の磁束流れを有限要素法解析で求めた結果を示す。

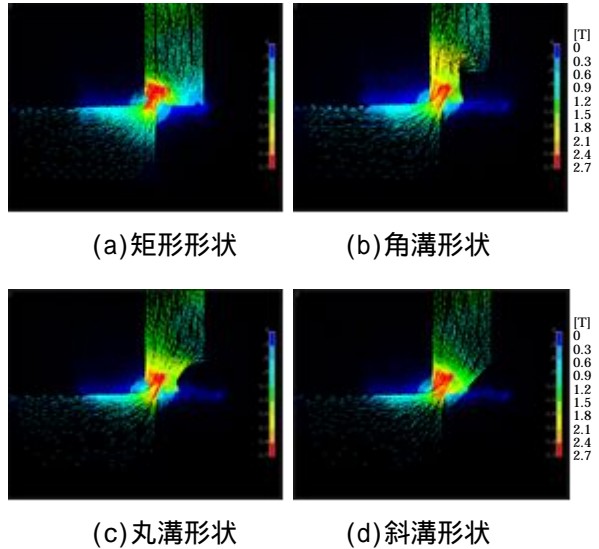


図2 各突歯の磁気ベクトル線図

この結果から、本研究のアクチュエータの突歯形状は、隣接突歯間のピッチを小さくできて多くの数の突歯を収納でき、磁束流れが途中で絞られることは無く、電磁力特性に優れた斜溝形状を選定できた。次に、選定した斜溝形状の突歯をステータとアーマチャの軸方向に対向して多数並べた場合の磁束流れを有限要素法解析により調べた。その磁束流れを図3に示す。

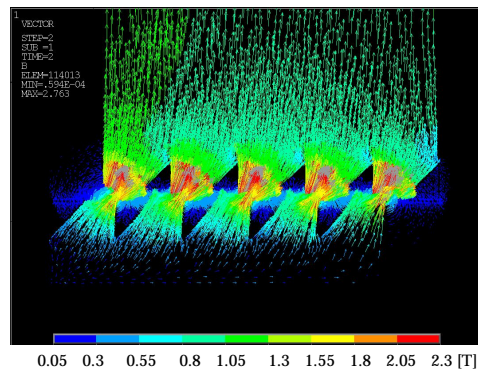


図3 突歯が5枚の場合の磁気ベクトル線図

図3から、対向するアーマチャとステータ

の突歯間の磁束流れは、対向する前方と後方の両方の突歯から有り、これらの磁束流れにより軸方向に対して前方向と後方向の吸引力が発生することが明らかになった。そして、これらの吸引力の合計から本研究のアクチュエータの推力が求まることを明らかにできた。さらに突歯間ピッチ  $p$  (図 6 (b) に示す) を 5mm と 7mm で比較検討したところ、突歯間ピッチ  $p$  は後方向の吸引力が小さい 7mm が適切であることを明らかにできた。さらに、アクチュエータの放熱性を高めるために、伝熱促進の検討を行った。このため、図 4 に示すように、アクチュエータのステータ外周に形成するフィン形状寸法の検討を行った。

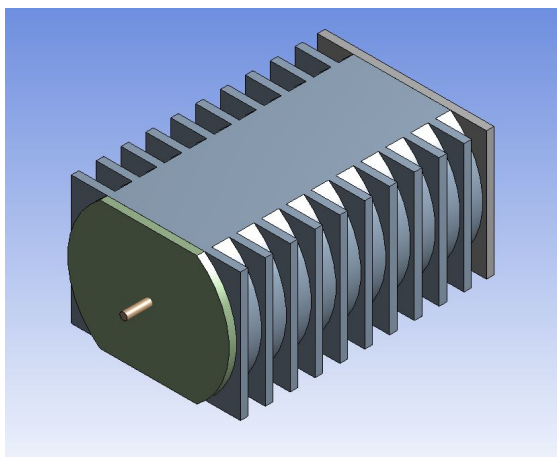


図 4 検討したフィン付ステータ形状

図 4 に示すフィンスロットの丸溝半径寸法  $R$  (図 6 (a) に示す) を変化させることにより、アクチュエータ内の磁束流れにどのように影響するかを、有限要素法解析により磁束流れを調べた。その結果を図 5 に示す。

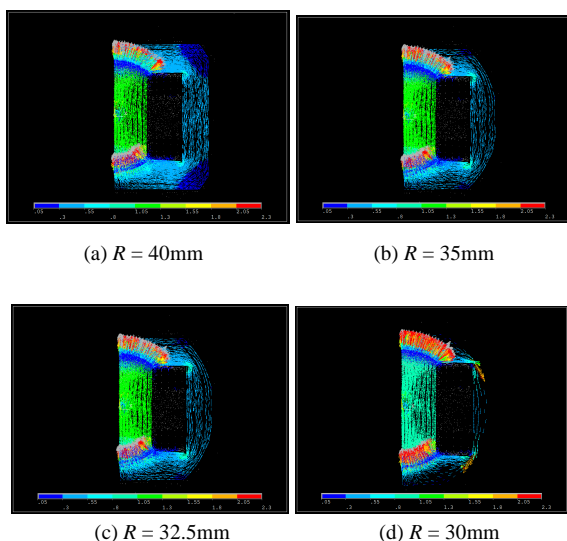


図 5 半径寸法  $R$  に対する磁束流れの影響

図 5 によれば、フィンスロットの丸溝半径  $R$  を 32.5mm 以上にすれば磁路の途中で磁束が

絞られることは無く、アクチュエータの推力が低下することは避けられることが明らかになった。

以上の結果から、図 6 に示すアクチュエータが設計でき、このアクチュエータの推力は図 7 に示す特性が得られることがわかった。

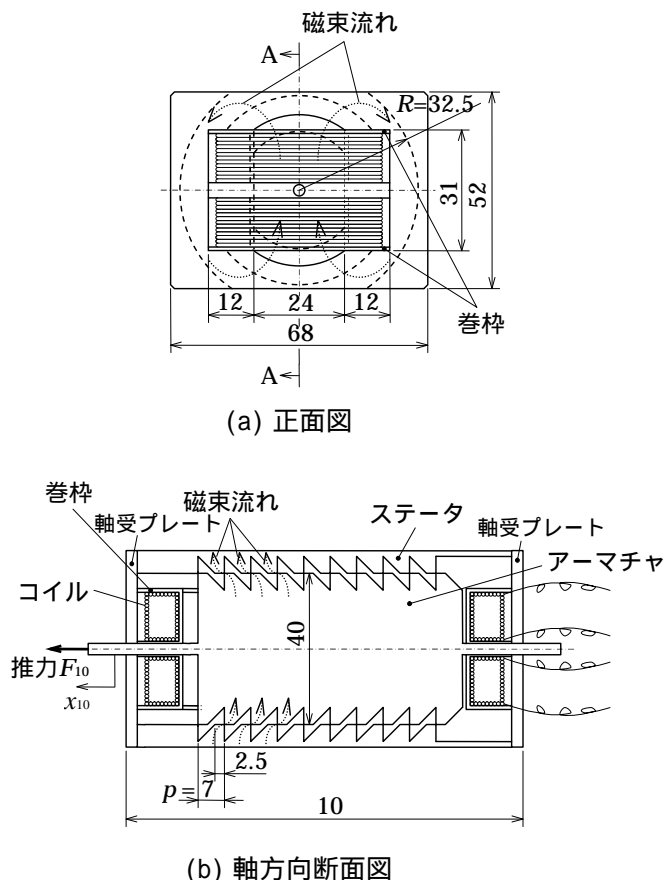


図 6 設計したアクチュエータ構造図

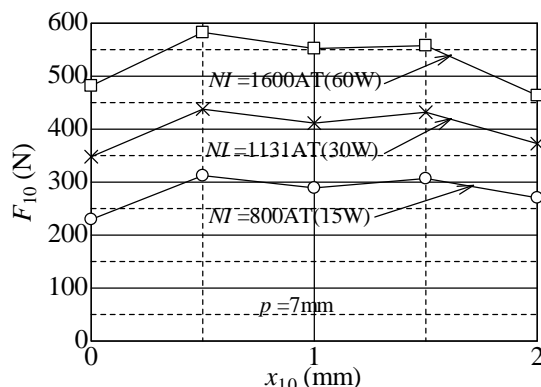


図 7 本研究のアクチュエータの推力特性

図 7 の結果から、本研究のアクチュエータはバルブ本体取付面積および長さ寸法がほぼ同じ従来の比例ソレノイドやリニアモータなどのアクチュエータと比較して、同じ消費電力の 15W で 2.5 倍程度である 300N の高推力が得られることが明らかになった。さら

に、上述のアクチュエータを設計・製作して評価したところ、本研究のアクチュエータは伝熱促進効果によりコイル電流を1.5倍大きくでき、さらに1.5倍大きな高推力を得られる見通しが得られた。この結果から、本研究のアクチュエータは従来のアクチュエータと比較して4倍近い高推力が得られる見通しがつき、レアアース磁石を用いなくてもコンパクトで高推力なアクチュエータが実現できることがわかった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

Hisao KONDO, Yuki KURATA, A Study of a Multi-step Pole Type Electro-magnetic Actuator for Controlling Proportional Hydraulic Valve (Magnetic Flux Flow in the Actuator), JFPS International Journal of Fluid Power System, 査読有, 2015 掲載決定

Hisao KONDO, Yuki KURATA, A STUDY OF A MULTI-STEP POLE TYPE ELECTRO-MAGNETIC ACTUATOR FOR CONTROLLING PROPORTIONAL HYDRAULIC VALVE (MAGNETIC FLUX FLOW IN THE ACTUATOR), Proceedings of the 9th JFPS International Symposium on Fluid Power, 査読有, 2014, 415-422

近藤 尚生、多数の突歯を持つ高推力な電磁比例バルブアクチュエータの研究 - ステータ形状の検討 -、豊田高専研究紀要、査読無、第46巻、2013、1-6

近藤 尚生、多数の突歯を持つ高推力な電磁比例バルブアクチュエータの磁極形状に関する研究、豊田高専研究紀要、査読無、第45巻、2012、9-14

近藤 尚生、杉浦 彰彦、多数の突歯を持つ高推力な電磁比例バルブアクチュエータの研究、豊田高専研究紀要、査読無、第44巻、2011、5-10

〔学会発表〕(計3件)

Hisao KONDO, Yuki KURATA, A STUDY OF A MULTI-STEP POLE TYPE ELECTRO-MAGNETIC ACTUATOR FOR CONTROLLING PROPORTIONAL HYDRAULIC VALVE (MAGNETIC FLUX FLOW IN THE ACTUATOR), The Japan Fluid Power System Society, 2014.10.28-31, Matsue japan

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

近藤 尚生 (KONDO Hisao)

豊田工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：30178420

(2)研究分担者 なし

( )

研究者番号：

(3)連携研究者 なし

( )

研究者番号：