

磁気粘性流体制御のための界磁機構の研究

(横浜国立大学大学院 佐藤研究室におけるフルードパワー関連研究 (機能流体分野))

佐藤 恭一*

Power-Saving Magnetization Device for Magnetorheological Fluid Control

(Research and Development on Functional Fluid in SATO Laboratory, Yokohama National University)

Yasukazu SATO

Sato Lab. in YNU proposes two mechanisms for controlling the viscosity of a magnetorheological fluid (MRF) to save a significant amount of electric power consumed during the magnetization process. The mechanisms take advantage of the magnetization / demagnetization property of permanent magnet materials and the permanent magnet nature. Those consume no electric power while maintaining the applied external magnetic field to the MRF. The devices can also continuously control the intensity of the magnetic field using very little electric power. The magnetizing devices are very effective in maintaining the magnetic field to the MRF, while saving a significant amount of electric power. The devices are especially useful in applications where long duration magnetization necessary.

Key Words : Magnetorheological fluid, Power-saving, Electromagnetic system, Viscosity

1. はじめに

横浜国立大学佐藤研究室では、動力の伝達、変換、制御を中心とした研究を行っており、フルードパワー分野では、油圧システムの高効率化、油圧機器を制御するための電磁アクチュエータ (電動-油圧インタフェース)、空気圧アクチュエータ、磁気粘性流体制御用の電磁システムに関する研究を行っている。本報では、それらの研究テーマの中から、磁気粘性流体 (Magnetorheological fluid : 以下 MRF) の粘性を制御するための界磁機構の省電力化について紹介する。

MRF は、外部磁界の変化に応じて粘性が変化する機能性流体である。通常、その外部磁界はソレノイド (電磁石) で生成されるが、MRF に磁界を与えて維持している間はソレノイドへの通電が必要であり、電力が消費される。外部磁界は MRF の粘性を設定するために用いられ、MRF が外部にする粘性による仕事には関係しないため、ソレノイドの消費電力はほぼ全てが動力ロスとなる。この動力ロスを低減するため、当研究室では二種類の界磁機構の省電力化法を提案している。一つは、電磁石と永久磁石材料を用いたハイブリッド界磁法であり、外部磁界の強さを変化させる瞬間のみ電力を消費するが、磁界を維持する間では電力を消費しない方法である¹⁾。もう一つは永久磁石のみを用いる界磁方法であり、磁

気回路内での永久磁石の移動により MRF に作用する磁界の強さを調整するが、永久磁石の移動や保持に必要な力をほぼゼロとすることで機械的な動力消費を低減する方法である²⁾。いずれの方法も、MRF の界磁機構以外に、磁界の変化と維持を必要とする電磁アクチュエータ、例えば電磁弁のソレノイドなどにも応用できる技術と考えられる。

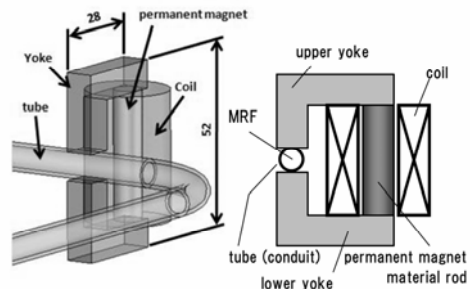


Fig.1 Electromagnet / permanent magnet hybrid magnetizing device for magnetorheological fluid control

2. 電磁石と永久磁石材料を用いた ハイブリッド MRF 界磁機構

Fig.1 に電磁石と永久磁石材料を用いたハイブリッド MRF 界磁機構の構造図を示す。従来の MRF 界磁機構では、電磁石 (コイル) がヨークを介して MRF が流動する流路に磁界を与えるのに対し、当界磁機構では、磁気回路的には直列に、構造的にはコイルの内部に、永久磁石材料である Alnico5 のロッドが配置されていることが特徴である。当界磁機構では、電磁石は MRF を界磁するためではなく、永

* 横浜国立大学大学院工学研究院
(〒240 - 8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5)
(E-mail: yasukazu@ynu.ac.jp)
* Yokohama National University

永久磁石材料を着磁／減磁するために用いられる．すなわち，MRF に作用する磁界の強さを変化させる瞬間のみ電磁石に通電し，これにより着磁／減磁された永久磁石材料が，磁界を維持する間の磁界源の役割を果たす．電磁石通電時は相応の電力消費があるが，磁界を一定維持する間は電力消費がないため，磁界維持時間が長いアプリケーションほど省電力となる．

永久磁石材料の着磁／減磁プロセスと，MRF にかかる磁界の強さは以下により調整される．電磁石により瞬間的に正磁界が発生されると，消磁していた永久磁石材料は着磁し，電磁石通電オフ後は MRF のパーミアンス線との交点（動作点）で磁界を維持する，また．電磁石により瞬間的に逆次回が発生されると，永久磁石材料は減磁し，電磁石通電オフ後は消磁状態となる．この着磁／減磁プロセスは，永久磁石材料の磁化特性のメジャーループに沿った変化であるが，電磁石の瞬間的な磁界の印加の強さを制御することにより，磁化特性のマイナーループを用いて，MRF のパーミアンス線上で任意の磁界の強さを制御することができる．

試作した当方法による MRF 界磁機構では，0.7 秒以上磁界を一定で維持する場合は，電磁石のみの連続通電より省電力であり，磁界維持時間が長くなるほど省電力効果が大きいことが確認されている．

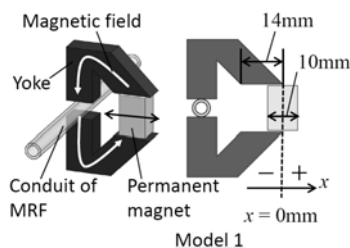


Fig.2 Basic configuration of magnetizing device for MRF control using only a permanent magnet

3. 永久磁石材料を用いた MRF 界磁機構

Fig. 2 に永久磁石を用いた MRF 界磁機構の基本形 (Model 1) を示す．MRF に作用する磁界の強さは，ヨークと永久磁石のオーバーラップ量で調整できる．一見，永久磁石のみなので電力消費はないと誤認されやすいが，実際は常に永久磁石にヨーク内に引き込む力（以下，永久磁石推力）(Fig.3) が作用し，永久磁石位置を保持，移動するための機構（アクチュエータ等）で動力が消費される．この永久磁石推力を低減できれば，永久磁石を保持する機構が省力化できる．

Fig.4 に，永久磁石位置に関わらず永久磁石推力が生じない磁気回路の概念図 (Model 2) を示す．ヨークを対称形とし，図右側の磁気回路には，磁気特性

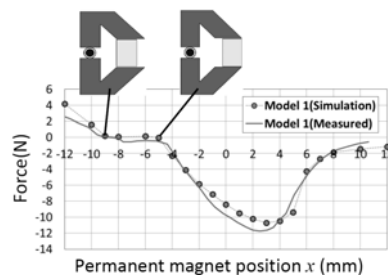


Fig.3 Thrust acting on the magnet for every magnet position (Model 1)

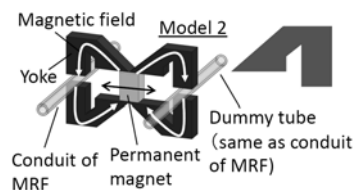


Fig.4 Symmetric yoke configuration for the concept of invariable reluctance as a function of magnet position (Model 2)

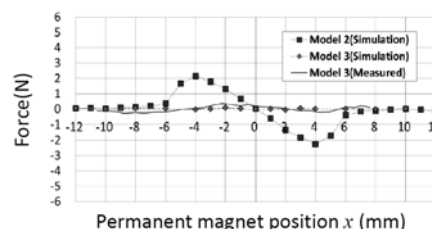


Fig. 5 Thrust acting on the magnet for every magnet position (Model 3) with thrust of Model 2 shown for comparison

をそろえるために MRF を封入したダミーのチューブが配置されている．永久磁石が発生した磁束は左右ヨークに振り分けられるが，その総量は永久磁石位置によらず一定となるように磁極形状を設計しているため，永久磁石から見た磁気抵抗が磁石位置によらず一定となり，永久磁石推力が生じない．実際には，磁極先端のエッジ部の磁気飽和のため，磁気的対称性が崩れるため，わずかな永久推力が生じる．磁極先端エッジ部の形状を，磁気飽和を考慮して再設計 (Model 3) することにより，Fig.5 に示すように，永久磁石推力を永久磁石位置によらずほぼゼロとすることができる．

参考文献

- 1) Sato, Y., Umebara, S., Power-saving magnetization for magnetorheological fluid control using a combination of permanent magnet and electromagnet, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 48, No.11, pp.3521 - 3524. (2012)
- 2) Sato, Y., Power-saving Magnetizing Device for Magnetorheological Fluid Control using Permanent Magnet, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 50, No.11, (to be published on Nov. 2014). (2014)

耐圧ベローズ気体ばね気密省エネシステムの研究

(横浜国立大学大学院 佐藤研究室におけるフルードパワー関連研究 (空気圧分野))

佐藤 恭一*

Power-saving Airtight Pneumatic System using Pressure-resistant Thin-wall Metal Bellows Air Springs

(Research and Development on Pneumatic Systems in SATO Laboratory, Yokohama National University)
Yasukazu SATO

Sato Lab. in YNU is developing the active air-spring system with pressure-resistant metal bellows for posture control of a vehicle in turning, accelerating and decelerating motion. In turning, the vehicle tends to tilt to the outside of the curve by the centrifugal force. This roll motion reduces the grip force of the front and rear tires inside of the curve. The vehicle involves the pitch motion by its inertia in accelerating and in decelerating. For maintaining the grip performance of all the tires, the roll tilting and pitch tilting have to be restored by the stiffness control of the air-spring suspension system of all wheels. The system consists of metal bellows type air-springs in each wheel suspension. The metal bellows type air-spring suspension and air compressor are specially designed to have a high-pressure-resistant property up to 0.7MPa. The pneumatic power is transmitted through the power-saving airtight closed circuit, which is effective both for supplying and recycling the power.

Key Words : Air suspension, Metal bellows, Vehicle posture control, Actuator, Compressor

1. はじめに

横浜国立大学佐藤研究室では、動力の伝達、変換、制御を中心とした研究を行っており、フルードパワー分野では、油圧システムの高効率化、油圧機器を制御するための電磁アクチュエータ (電動-油圧インタフェース)、空気圧アクチュエータ、磁気粘性流体制御用の電磁システムに関する研究を行っている。本報では、それらの研究テーマの中から、耐圧ベローズ気体ばねを用いた気密省エネシステムの研究について紹介する。

アクチュエータ、タンク、コンプレッサ等を気密機器で構成し、気体を予め密封しておき、アクチュエータが必要とする気体量をコンプレッサで直接制御することができれば、大気中にエネルギーを持った気体を排出することなく省エネシステム得られる。しかし、気体を漏れなく封じ込め、さらに大変位で伸縮できるような機器がなく実用化されていない。そこで、当研究室では薄肉金属ベローズと粘弾性リングの組み合わせで、0.7MPa 程度までの耐圧性を有し、大変位が得られる耐圧ベローズを開発した。その耐圧ベローズの応用として車両の姿勢制御装置を試作し、車両走行試験を行っている。

2. 耐圧薄肉金属ベローズ

金属ベローズはゴムなどの高分子材料と異なり気体を透過しないので、完全密封で伸縮可能なアクチュエータを構成できるが、伸縮量を大きくするためには薄肉化することが必要で、耐圧性が確保できない問題があった¹⁾。ベローズ内圧増加による破損の要因は、わん曲部曲げモーメント増加による曲率の増加である。そこで、Fig.1 に示すように、薄肉金属ベローズのわん曲部低圧側に粘弾性リングを挿入することにより、わん曲部がつぶれることを防止し、耐圧性を向上させた耐圧ベローズを開発した²⁾。試作した耐圧ベローズの仕様を Table 1 に示す。

Table 1 Pressure-resistant thin-wall metal bellows specification

Item	Specification
Material	SUS304
Thickness	0.15 mm
Diameter, Pitch	68×50, 4 mm
Viscoelasticity ring	O ring, JIS 1A S48

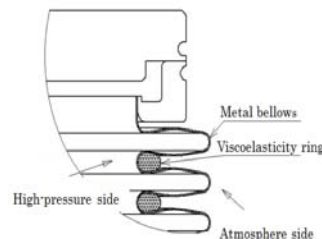


Fig.1 Pressure-resistant thin-wall metal bellows

* 横浜国立大学大学院工学研究院
(〒240 - 8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5)
(E-mail: yasukazu@ynu.ac.jp)
* Yokohama National University

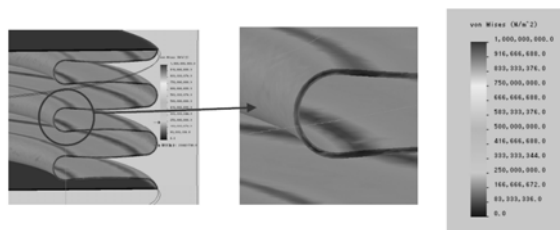


Fig. 2 Stress distribution of conventional thin-walled metal bellows at an inner air pressure of 0.7 MPa (maximum stress of 800 MPa is observed at the inner fold)

開発した構造のベローズの耐圧性は、解析と実験により確認されている。Fig. 2, Fig. 3 に従来ベローズと耐圧ベローズの応力分布の FEM 解析例を示す。耐圧ベローズは、粘弾性リングによりわん曲部の応力集中が緩和されていることがわかる。

3. 耐圧薄肉金属ベローズを用いた空気ばね

耐圧薄肉金属ベローズの応用例として、Fig. 4 に空気ばねと油圧ダンパで構成される車両サスペンションユニットを示す。このユニットを車両の四輪の懸架系に搭載し、四輪の各ばね長を空気圧で制御する試作車を Fig. 5 に示す。搭載されるコンプレッサも、耐圧薄肉金属ベローズを電動カムで伸縮運動させるものである。空気圧回路は気密回路（閉回路）とし、回路に空気を充填したまま、排気は行わない。四輪各部の車高が中立車高となる定常状態では、重心位置により多少の差はあるが、回路圧が大気圧とコンプレッサ最大圧のほぼ中間圧となるよう設定されている。

コンプレッサは、車両の状態に応じて、回路内の空気を縮長するサスペンションから伸長するサスペンションに移動する役割を果たす。また、中間圧を基準に圧力差を発生させるので、大気圧から各サスペンションの必要圧に加圧するのに比べて省動力となる。車両の旋回や加減速が終わり定常状態となったときは、高圧側と低圧側の空気圧回路を導通することにより車両は中立車高に自己復帰する。

具体的には、車両は旋回時に遠心力で旋回の外側に傾くが、その傾きを内側に戻すように旋回内側、外側のサスペンション長を変えるアンチロール制御を行う。車両加減速時のピッチングに対しても、前後輪のサスペンション長を変えるアンチピッチ制御を行う。

4. おわりに

IFPEX2014 カレッジコーナーの当研究室の出展では、試験車両に代わり、サスペンション部に用いた耐圧薄肉金属ベローズ空気ばねの試験装置を展示する予定である。

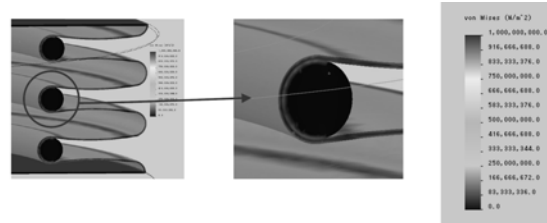


Fig. 3 Stress distribution of pressure-resistant thin-walled metal bellows with viscoelastic rings at the inner air pressure of 0.7 MPa (a stress about ~370 MPa is observed at the inner fold)

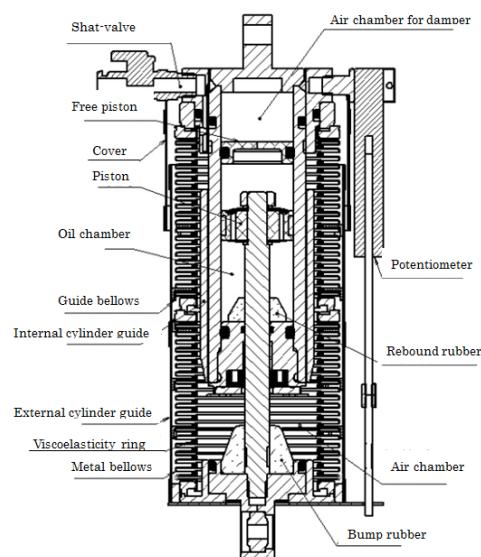


Fig. 4 Air spring using pressure-resistant thin-walled metal bellows and oil type damper



Fig. 5 Test vehicle in posture control (in anti-roll compensation while turning right)

参考文献

- 1) JIS B8265 : 2003 圧力容器の構造一般事項, 付属書 10 (規定) 圧力容器の伸縮継手
- 2) 佐藤, 新堀, 耐圧ベローズ空気ばねによる車両の姿勢制御, 平成 25 年春季フルードパワーシステム講演論文集, pp. 115-117. (2013)