



自己復帰機能付きラッチバルブの開発

Development of a Latch Valve with Self-Returning Function

伊藤 新治 Shinji Itoh

空気圧を制御する空圧バルブにはラッチタイプのバルブがある。ラッチタイプはソレノイド内に設けられた永久磁石を利用し、通電なしで可動鉄心の位置を保持できる磁気回路機構を有した自己保持型のバルブである。そのためコイルからの発熱量がなく、消費電力がほぼ必要ないという大きな省エネ効果がある。しかし可動鉄心を永久磁石で保持するため、振動・衝撃などの外力により可動鉄心が位置を保持できず、誤動作してしまうデメリットも存在する。今回の開発ではラッチバルブの大きな課題である外力による誤動作を、コイルの特性である逆起電力の発生を利用し、検出する技術を開発した。そして大きな外力が発生した際には、外力によるコイルの逆起電力変化を検出し、可動鉄心の誤動作前に保持電圧を印加できる制御回路を開発した。本稿では事例を交えて、どのような環境においてもラッチバルブが誤動作しない検出、制御回路について紹介する。

One type of pneumatic valve that controls air pressure is the latch valve. The latch valve is a self-holding type valve having a magnetic circuit mechanism capable of holding the position of the movable iron core without being energized by using a permanent magnet provided in the solenoid. Consequently, no heat is generated from the coil, and there is a significant energy-saving effect in that virtually no power consumption is required. However, there is a downside in holding the movable iron core in place with a permanent magnet: The movable iron core cannot hold its position when external forces such as vibration and shock are applied, and the valve may malfunction. To address this major issue concerning latch valves, we have developed a technology that utilizes the generation of back electromotive force, which is a characteristic of coils, to detect malfunctions caused by external forces. Furthermore, we have developed a control circuit that, in the event of large external forces, can detect changes in the back electromotive force of the coil due to external forces and apply a holding voltage before the movable iron core malfunctions. In this paper, we will introduce the detection and control circuit that prevents the latch valve from malfunctioning in any environment using examples.

1 ラッチバルブの構造と問題点

ラッチバルブは構造中に永久磁石を用い、弁の切換え位置を保持するバルブである。Fig.1に示す通り、ラッチバルブの構造では、大きく弁部、コイル部に分けられる。弁部は流路を構成し、内部に弁を有する。弁は弁棒、弁シート、弁座で構成され、可動鉄心に作用する可動鉄心バネ力と弁バネ力により切換え動作を行い、ポート流路をシールする。コイル部は通電信号により、可動鉄心を固定鉄心に吸着・離脱させる。可動鉄心を吸着・離脱させることで弁棒に作用するバネ力を切換え、弁の切換えを行う。コイル内には永久磁石が設置されており、通電して可動鉄心を吸着させた後に、通電を遮断しても磁石の吸引力で弁位置が保持できる。そのため、弁を切換えた後に可動鉄心を保持する電力を必要とせず、大きな省電力を実現できる特長がある。しかしラッチタイプは通電による起磁力を与えず最低限の保持力しか与えていないため、外力によっては可動鉄心が固定鉄心より離脱し、誤動作してしまうという大きな課題がある。

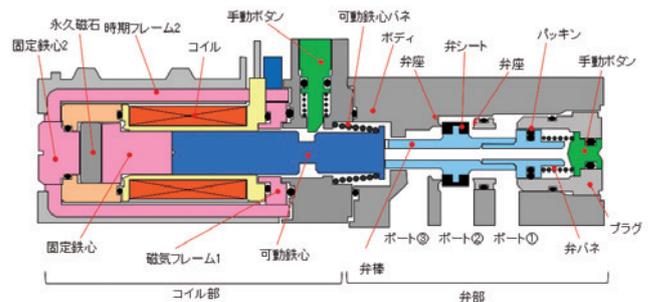


Fig. 1 ラッチバルブ断面図

2 自己保持の原理

ラッチバルブは切換え位置により永久磁石と可動鉄心バネ力で弁の位置を保持する。可動鉄心が固定鉄心に吸着する場合は永久磁石で保持し、固定鉄心より離脱保持する場合は可動鉄心バネ力で可動鉄心の位置を保持する。Fig.2、Fig.3に示すように通電時はコイルの吸引力 F_c と磁石の吸引力 F_m が作用し、可動鉄心を固定鉄心に吸着させる。その後通電をOFFすると永久磁石の吸引力 F_m のみが作用し、可動鉄心バネ F_s の吸着時荷重の差分で保持力が発生する。

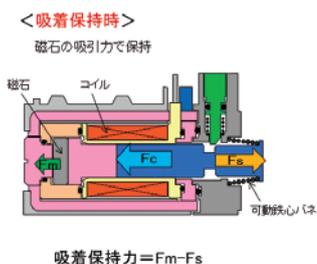


Fig. 2 吸着保持時に作用する力

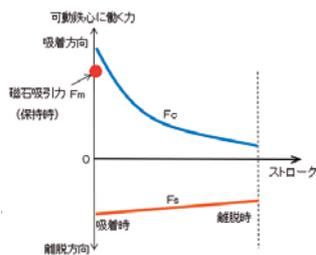


Fig. 3 カとプランジャストローク (吸着保持時)

またFig.4、Fig.5に示すように離脱保持時は、コイルへの逆電圧を印加させることで、コイルから発生する吸引力 F_c を離脱方向に作用させる。その結果、永久磁石の吸引力 F_m と F_c が相殺されるため、可動鉄心バネが可動鉄心に作用し、固定鉄心から離脱する。そして可動鉄心はバネ力で離脱位置を保持する。

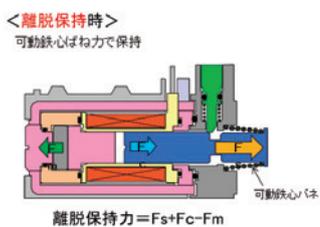


Fig. 4 離脱保持時に作用する力

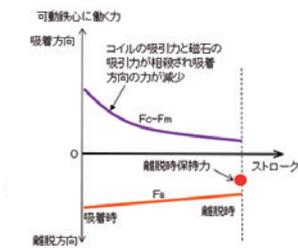


Fig. 5 カとプランジャストローク (離脱保持時)

3 ラッチバルブの誤動作検出のメカニズム

ラッチバルブの誤動作は、可動鉄心に作用する保持力を越えた外力(衝撃・振動)が加わった時に発生する。例えば固定鉄心に永久磁石の吸引力で保持されている可動鉄心の誤動作について説明する。外力により可動鉄心が固定鉄心より離脱する場合、Fig.6に示すようにストローク X までは磁石の吸引力が可動鉄心バネ力より大きい、 X を超えた時、バネ力が吸引力より大きくなり、可動鉄心が固定鉄心より離脱し、誤動作が発生してしまう。

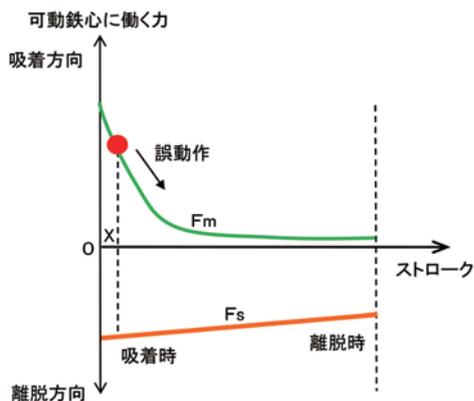


Fig. 6 カとプランジャストローク (誤動作発生時)

離脱保持時も同様にバネ力に対して永久磁石の吸引力が大きくなるストロークまで外力が作用すると誤動作が発生する。そしてこの時、可動鉄心が保持位置からわずかに移動することでコイルには逆起電力が発生している。Fig.7に示すようにコイルの逆起電力は可動鉄心の動作方向によって磁束の流れ方、吸着保持時、離脱保持時で電圧の方向が異なる。また移動量が大きいほど逆起電力の電位も大きくなる。

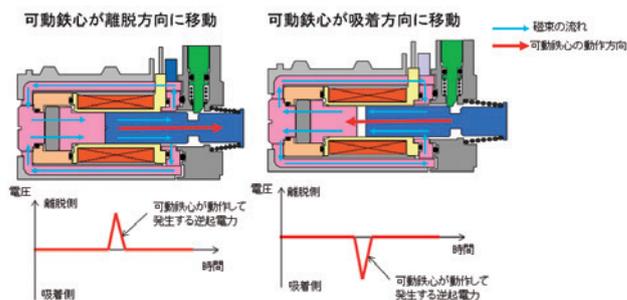


Fig. 7 コイルに発生する逆起電力

誤動作の検出は、この可動鉄心の位置の変化をコイルに発生する逆起電力で捉え、誤動作する前に保持電圧を印加し、可動鉄心の位置を保持できるようにする。

4 問題の把握

市販製品のラッチバルブで振動、衝撃に対する誤動作と逆起電力の関係を把握する。

4-1 振動に対する誤動作と逆起電力

振動に対する誤動作と逆起電力の関係を試験にて確認する。Table1とFig.8に示す振動をサンプルに加え、可動鉄心が誤動作し、弁漏れや切替え不良が発生する逆起電力を把握した。

Table 1 振動条件

項目	設定値
全振幅	0.5mm
周波数	55~290Hz
(加速度)	(30~825m/s ²)
周囲温度	室温
給気圧力	0.1MPa

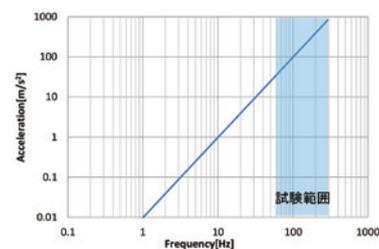


Fig. 8 vibration conditions

Fig.9に弁漏れと振動加速度の特性を示す。この結果が示すようにある振動加速度 X m/s²で弁が漏れ始め、誤動作が発生した。またFig.10に振動加速度とコイルに発生している逆起電力を示す。

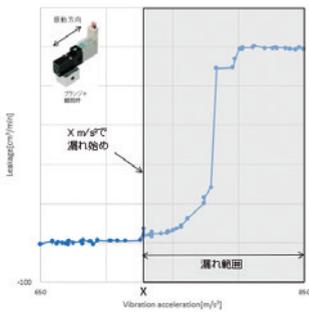


Fig. 9
Leakage-Vibration acceleration
(X direction, Plunger release)

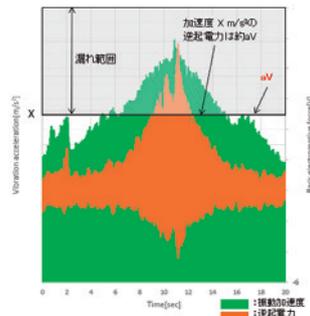


Fig. 10
Vibration acceleration and
Back electromotive force
(X direction, Plunger release)

これによれば、振動加速度と逆起電力には相関関係が確認できる。また弁漏れが発生する振動加速度 Xm/s^2 時に発生する逆起電力はおよそ aV であることがわかる。

4-2 衝撃に対する誤動作と逆起電力

衝撃に対する誤動作と逆起電力の関係を試験にて確認する。Table 2 に示す衝撃をサンプルに加え、可動鉄心が誤動作し、弁漏れや切替え不良が発生する逆起電力を把握した。

Table 2 衝撃条件

項目	設定値
衝撃加速度	1000~4500 m/s^2
給気圧力	0.1MPa
周囲温度	R.T

Fig. 11 と Fig. 12 に弁漏れ、誤動作と衝撃加速度の測定結果について示す。可動鉄心の離脱保持時は衝撃加速度と弁漏れには相関関係がみられる。吸着保持時は強い相関は見られないが、逆起電力 aV 以上では、誤動作が発生しないことが確認できる。

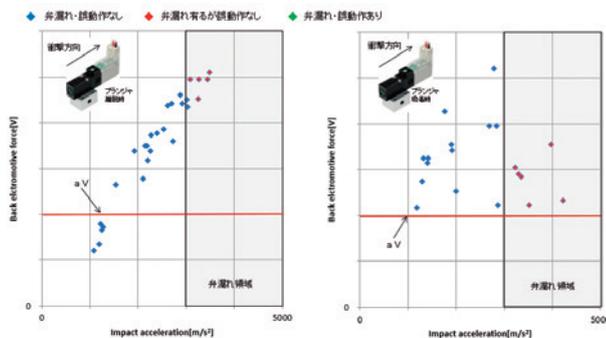


Fig. 11
Impact acceleration-back
electromotive force characteristic
(X direction, Plunger release)

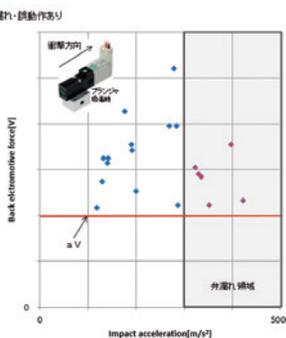


Fig. 12
Impact acceleration-back
electromotive force characteristic
(X direction, Plunger suction)

振動、衝撃試験の結果よりコイルの逆起電力 aV 以下であれば、誤動作が発生しないことからしきい値電圧は aV に設定し、検出回路を構成することとした。

5 制御回路の構成

外力によりコイルに発生する逆起電力を検出し、MPU から保持電圧を 1 秒印加する制御回路を Fig. 13 に示す。制御回路は大きく制御部、駆動部、検出部の 3 つの機能で構成される。

制御部は、PLC からの入力信号を受信し、ラッチバルブのコイルに印加する電圧の方向を切換え、可動鉄心の吸着・保持を制御する。また検出部からの信号を受け、コイルへの保持電圧の制御も行う。駆動部はラッチバルブのコイルに電圧を印加する回路で、Hブリッジ回路で構成される。制御部からの信号電圧でスイッチング素子であるフォトプラ U1、U4 または U2、U3 に通電し、コイルへの印加電圧の方向を制御し、可動鉄心の吸着・保持を制御する。

検出部は R8 と R9 の分圧回路でしきい値電圧を設定する。しきい値電圧は IC (コンパレータ) の - 入力端子に接続される。また外力でコイルに発生する逆起電力は、整流素子 DB1 で整流化し、IC (コンパレータ) の + 入力端子に接続する。そして IC は -、+ 入力端子の電圧を比較し、+ 入力端子が - 入力端子の電圧を超えた時、IC より Vout2 に電圧が出力される。つまり逆起電力がしきい値電圧を超えたとき IC から Vout2 に電圧が出力されることとなる。Vout2 に出力された電圧は制御回路部の FET のゲートに印加され、MPU の入力端子の電位が下がる。そして MPU は電位が下がったことでしきい値電圧以上の逆起電力が発生したと判断し、出力端子から U1、U4 または U2、U3 に電圧を印加し、可動鉄心が誤動作する前に保持電圧を印加する。

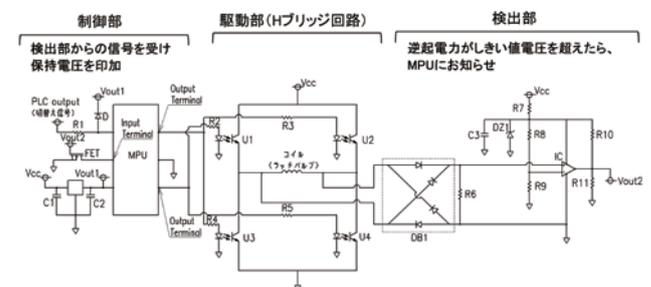


Fig. 13 制御回路図

6 効果確認試験

今回検討した制御回路の試作品 Fig. 14 を製作し、振動・衝撃試験を実施して効果を確認する。



Fig. 14 誤動作検出機能付きラッチバルブ

6-1 振動試験での効果確認

4-1で実施した振動条件で、効果を確認したのがFig.15である。コイルの電圧を観察すると逆起電力がしきい値電圧を超えると保持電圧が印加されることがわかる。これにより振動が一定以上加わった時、保持電圧がコイルに印加され、可動鉄心の位置を保持していることが確認できる。

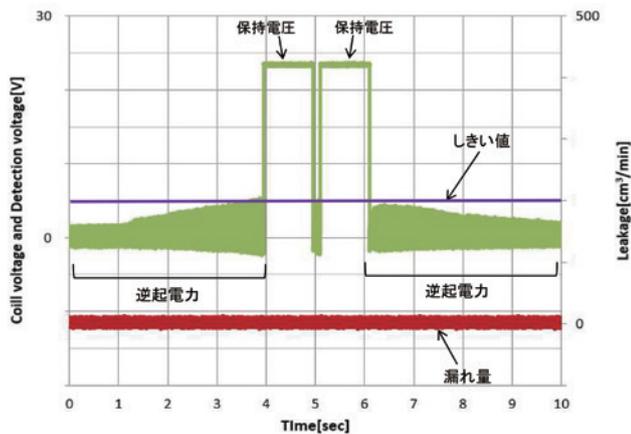


Fig. 15 Vibration test result (X direction,plunger release)

6-2 衝撃試験での効果確認

4-2で実施した衝撃条件で、制御回路の効果を確認したのがFig.16である。衝撃がコイルに作用した際に、発生する逆起電力を捉え、保持電圧がコイルに印加されている。衝撃荷重が加わった瞬間は、可動鉄心が保持位置から動き出し、大きな逆起電力が発生してしまうが、検出のサンプリング周期を適切に設定することで、出力ポートの圧力変動が生じないレベルで復帰電圧を印加できている。これは出力ポートに設けた圧力センサでも効果を確認ができた。これにより瞬間的に発生する衝撃加速度による逆起電力についても適切に検出でき、誤動作を防止できることが確認できた。

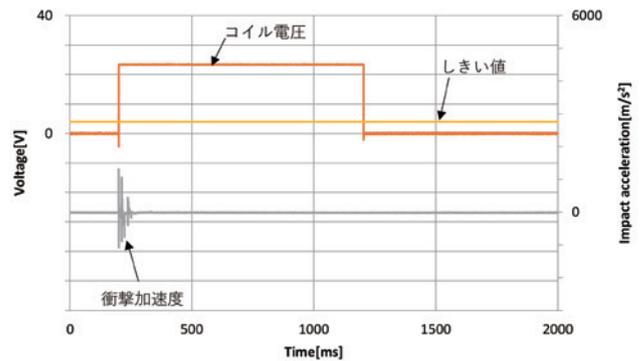


Fig. 16 Impact test result (X direction,plunger release)

7 おわりに

今回の開発では、特別なセンサを設けずとも可動鉄心の位置変化をコイルに発生する逆起電力で捉えることができた。これにより制御回路に搭載する電子部品を大幅に削減することができ、小形コイルにも適用できる見通しが確認できた。そして可動鉄心が外力により誤動作する前に、的確に保持電圧を印加することで誤動作を防止することができた。これによりラッチバルブの課題であった外力による誤動作を解決することができた。

今後も当社のコア技術であるコイル技術を活用し、バルブの小形化、省エネ化を追求し、カーボンニュートラルに貢献していきたい。

参考文献、資料
特許6854267
特許7025369

執筆者プロフィール



伊藤 新治 Shinji Itoh
機器事業本部
Components Business Division