

**D1** Components

知りたい油圧講座7

**「自動車用ソレノイドの基本特性について」**

Things to Know about Hydraulic Equipment 7

"Basic Characteristics of Solenoids for Automobiles"

**キーワード** | アクチュエータ・リニアソレノイドバルブ  
ON/OFFソレノイドバルブ・CASE・自動運転化・電動化

カーハイドロリクス事業部／技術部

松井 健志 Takeshi Matsui

余川 弘一 Hirokazu Yokawa

江末 健太 Kenta Ematsu

## 要 旨

電動化や自動運転化などCASEの進展、燃費規制の強化など、自動車を取り巻く環境には大きな変化が見られる。

自動運転化に貢献する技術として、電動や油圧などの各種アクチュエータの需要増加が見込まれることから、無駄なくこれらの機器を扱うために正しい知識を持つことが重要となる。

本稿では、変速機／減速機やシフト操作部などに用いられる、電動アクチュエータや油圧アクチュエータ制御用ソレノイドバルブについて、基本特性やその定義などの基礎知識を解説する。

## Abstract

The environment surrounding the automotive industry has been changing significantly, exemplifying the advancement of CASE (connectivity, autonomy, sharing and electrification) such as electric cars and autonomous driving as well as strengthening of emission control regulations.

The increase in demand of various actuators is expected whether they are electric- or hydraulic-powered since these technologies will contribute to the development of autonomous driving. Thus it is critical to possess proper knowledge on these to utilize these devices efficiently.

In the article, the fundamental knowledge is explained on the basic characteristics and definitions of solenoid valves for controlling electric and hydraulic actuators that are used for transmissions, reduction drives and shift operation units.

## 1. 自動車用ソレノイドの概略

この章ではNACHIのソレノイド機器の概略について説明する。NACHIでは図1に示す4種類のソレノイド製品を製造している。

ソレノイド・アクチュエータは電気入力により出力部から軸方向力を発生させる製品である。自動運転車両では、従来ドライバーが人力で操作していた操作系を自動化する必要がある。このような部位で電動アクチュエータが必要となるので、電動化・自動化進展により搭載数増加が予想される製品である。

ソレノイドバルブは、大荷重が必要な部位に用いられる油圧アクチュエータを制御するための製品である。電気入力に対し油の流れや方向、圧力を変えることで、油を介し強い力をコントロールすることができ、とくに動力を伝達するクラッチ部などで広く用いられる。

次章以降、それぞれの製品ごとに、基本特性の定義と測定内容について説明する。

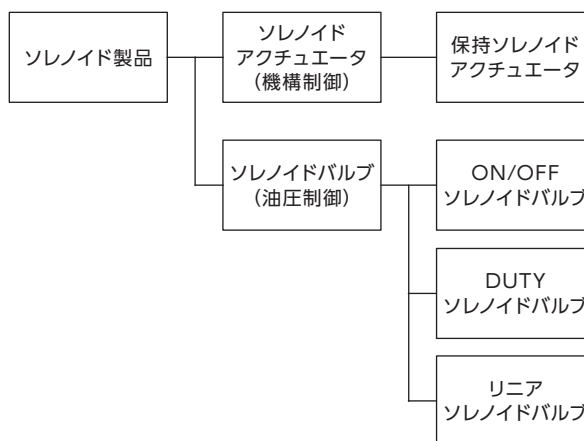


図1 NACHI製自動車用ソレノイド製品

## 2. 保持ソレノイドアクチュエータの基本特性

保持ソレノイドアクチュエータ(以下保持アクチュエータ)は、通電することによって外部と接する出力シャフトに加わる保持荷重を変化させ、相手部品の保持⇄可動を切り替えることができるアクチュエータである。主に通電によって保持荷重を発生させている『通電保持タイプ』と、非通電状態で保持荷重を発生し、通電によって逆に保持荷重が低減される『非通電保持タイプ』の2種類が存在する。この章では、保持アクチュエータの代表的な特性と使い方について解説する。

### 1)-1 荷重×ストローク特性

保持アクチュエータの荷重×ストローク特性を説明するために、先ず保持アクチュエータではない一般的なプッシュタイプのアクチュエータでの荷重×ストローク特性について説明する。図2に一般的なプッシュタイプアクチュエータの動作概要を示す。通電することにより引込状態からシャフトが突出状態にストロークする構造となっており、この時のストロークする際に発生する荷重関係を表わしたものが、荷重×ストローク特性とよばれる特性である(図3)。プッシュタイプのアクチュエータにおける荷重×ストローク特性は、そのアクチュエータが、どれくらいの荷重で、どのくらいのストロークを動いて仕事ができるかを表わした特性になる。

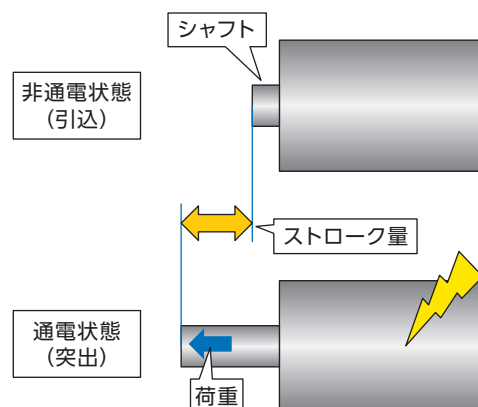


図2 アクチュエータの動作

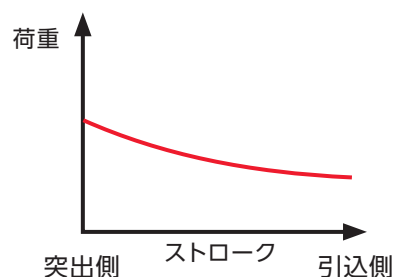


図3 荷重×ストローク特性

### 1)-2 通電保持タイプの荷重×ストローク特性

保持アクチュエータは、前述のプッシュタイプのようなアクチュエータとは異なり、通電してもシャフトがストロークすることは無く、常に突出状態に位置する。ただし、同体格のプッシュタイプアクチュエータに対して、突出状態では非常に強い荷重を発生させることが可能となっている。通電保持タイプの保持アクチュエータでは、図4に示すように通電時に突出状態で強い荷重を発生している。これにより、シャフトにかかる外力に対して保持(ロック状態)することができる。反対に、非通電時では荷重を発生していないため、アクチュエータ内部の微小なスプリング荷重のみとなる。これにより、スプリング荷重よりも大きな荷重でシャフトを押し出すことにより、設定されたストロークまで動く解除(非ロック)状態とすることができる。

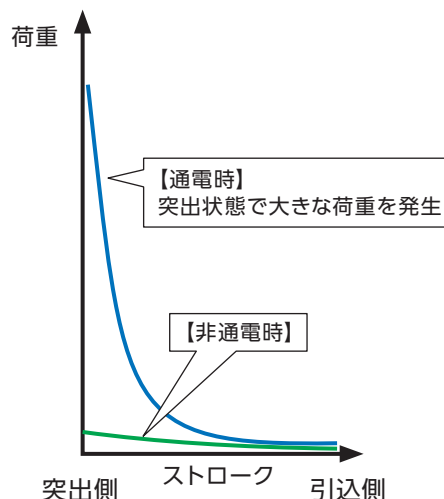


図4 荷重×ストローク特性(通電保持タイプ)

### 1)-3 非通電保持タイプの荷重×ストローク特性

次に、非通電保持タイプの荷重×ストローク特性について説明する。非通電保持タイプの特性は、通電保持タイプとは逆に、非通電状態で保持荷重を発生することが可能である。これは、アクチュエータ内部に永久磁石を搭載することで実現している。通電時は永久磁石で発生している磁気の流れを変化させ、シャフトへの荷重を図5のように低減している。NACHIが開発した非通電保持タイプの保持アクチュエータは、独自の方式を採用したことにより、幅広い温度域でも電圧制御で安定して駆動できる特徴がある。

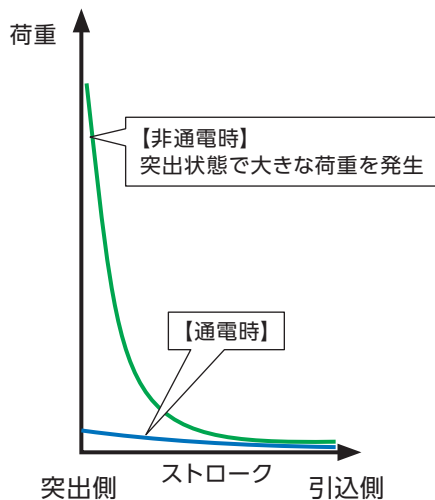


図5 荷重×ストローク特性(非通電保持タイプ)

### 2) 保持アクチュエータの使い方

保持アクチュエータは通電によって保持と解除の状態を切り替えることが可能となっている。さらに、非通電保持タイプもラインナップしており、非通電で保持状態を維持することも可能なため、長時間ロックする使い方では省エネの利点がある。図6は代表的な保持アクチュエータの使用方法を示す。相手部品に対して保持アクチュエータを配置することにより、相手部品の動作をロック状態⇄非ロック状態に切り替えることが可能である。

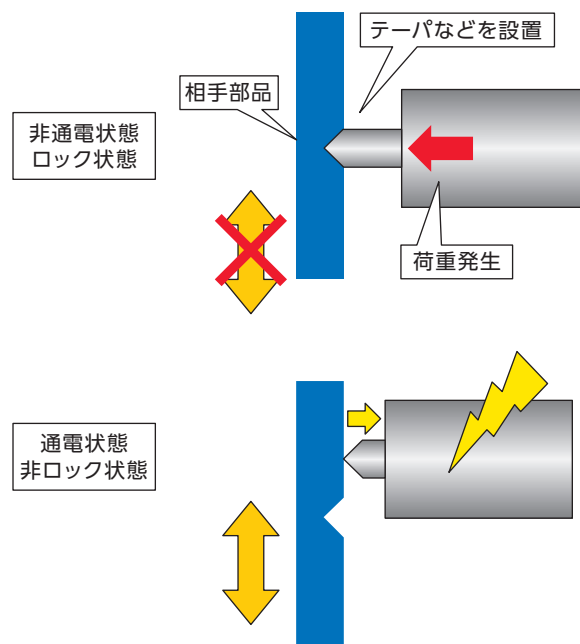


図6 保持アクチュエータの用途事例

### 3) 製品共通の基本特性

ソレノイド・アクチュエータを含む各ソレノイド製品に共通する基本特性として、『コイル抵抗』、『吸引力』がある(図7)。

『コイル抵抗』は、車載バッテリー電圧(約12V)にてどれだけの電流が流れるかを決定する。製品のコイル抵抗は温度上昇に伴い増加するが、飽和温度でも必要電流が流せるよう、余裕を持って設計される。

『吸引力』は、電流にて発生する磁束がソレノイド可動コアをひきつける際の駆動力を示す。吸引力は電流の上昇に比例して増加する。電流値を調整することで必要な吸引力を得ることができるといえる。また一方で、吸引力はコイルの巻数の2乗に比例し増加する。大きな吸引力を得るためにコイルの巻数を増やすほど、コイルの抵抗値や体格が増すため、吸引力は小型化とトレードオフの関係となる(図8)。

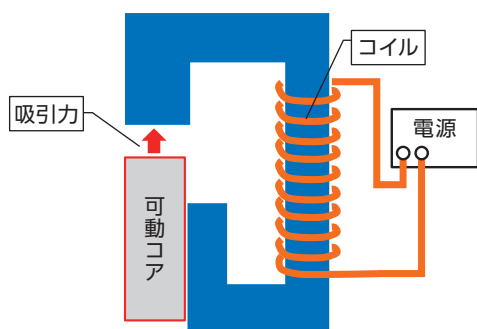


図7 ソレノイド概略図

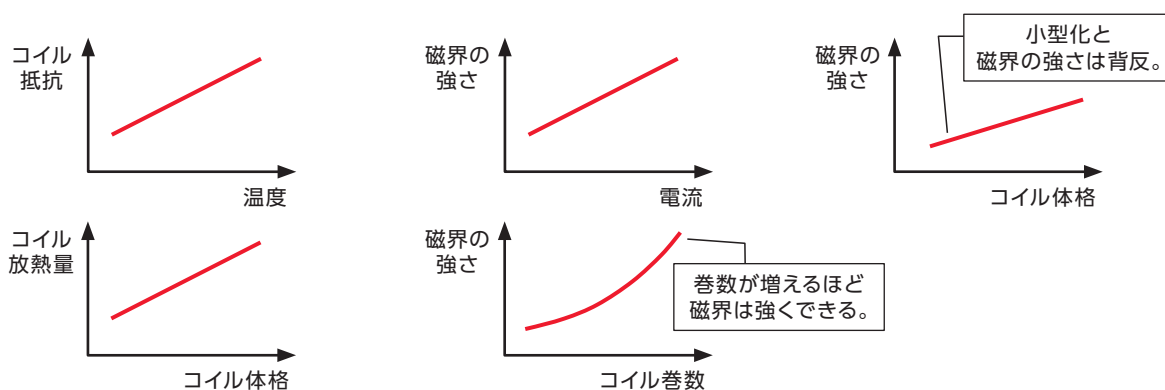


図8 ソレノイドの体格と抵抗値、磁界の強さ

### 3. ON/OFFソレノイドバルブの基本特性

ON/OFFソレノイドバルブはオイルが流れる方向を電磁力で切り替える切替弁である。電圧の大小により、供給・制御・ドレン(排出)の3つの出入り口の流れを切り替える。この章では代表的な4つの特性について解説する。

#### 1) 最低作動電圧

ソレノイドバルブがONするために最低限必要となる電圧値を指す。

図9にON/OFFソレノイドバルブの構造を示す。OFF状態では、ボールがスプリングによって供給ポート側に押付けられて供給油圧を受け止め、供給ポートと制御ポート間の流れを塞いでいる(図10)。徐々に電圧を上昇させていくと、電磁吸引力が発生してプランジャがストッパーに引き寄せられる。やがてスプリングが圧縮されてボールが移動し、供給ポートが開いて制御ポート部の油圧が上昇する。この際、制御ポートの油圧が(供給圧-9) kPa以上となった時の電圧値を最低作動電圧と定義している(図11)。

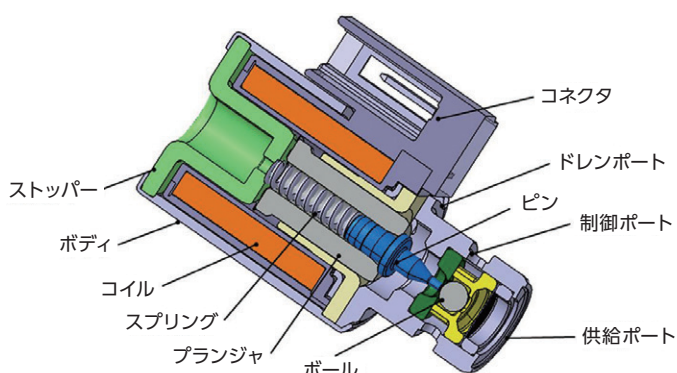


図9 ON/OFFソレノイドバルブの構造

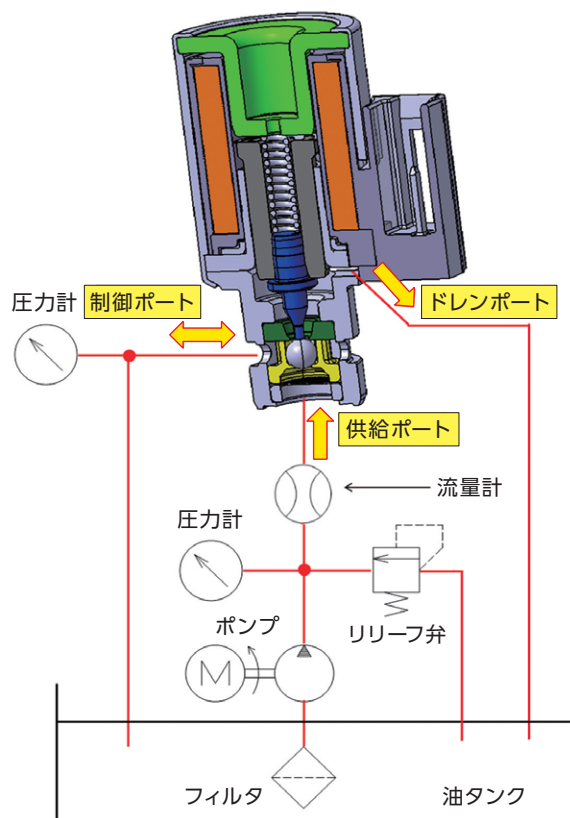


図10 ON/OFFソレノイドバルブ基本特性測定回路

## 2) 復帰電流

ソレノイドバルブがON状態を維持できなくなりOFFする電流値を指す。

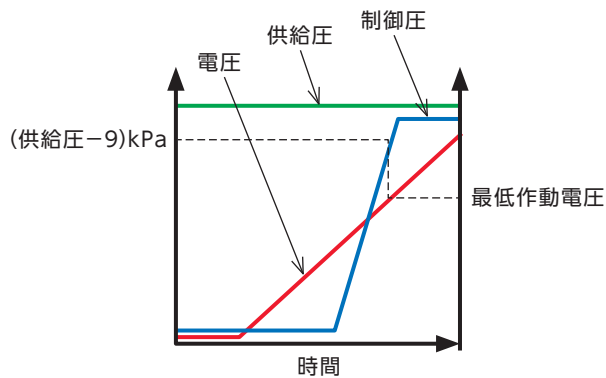
通電状態から徐々に電流値を下げると電磁吸引力が低下し、リターン springs 荷重以下になるとボールは供給ポート側に押し付けられ、制御ポート部の油圧が低下する。復帰電流とは、制御油圧が20kPa以下となった時の電流値を示す(図11)。

## 3) クラッキング圧

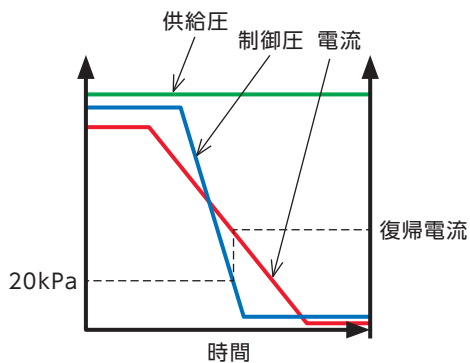
ソレノイドバルブがOFF状態を保持できる限界供給圧を示す。OFF状態ではボールがスプリング力により供給油圧を受け止めているので、供給圧を徐々に上げていくと、いずれ油圧力がスプリング力に打ち勝つ。ボールが開き始めて制御ポートの圧力が5kPa以上となった時の供給ポートの圧力をクラッキング圧と定義している。

## 4) 全開流量

ソレノイドバルブの吐出流量を示す。所定の差圧にて供給ポート→制御ポート、制御ポート→ドレンポートを通過する油の吐出流量を示す。



最低作動電圧 波形イメージ



復帰電流 波形イメージ

図11 最低作動電圧と復帰電流の波形イメージ

## 4. リニアソレノイドバルブの基本特性

リニアソレノイドバルブはオイルの圧力を電磁力で調整する電磁弁である。この章では代表的な4つの特性について解説する。

### 1) I-P特性（電流-圧力特性）

リニアソレノイドバルブ(図12)は、電流と出力圧が比例関係となり、両者の関係をI-P特性と呼ぶ。

図13にI-P特性を、図14にI-P特性測定時の油圧回路図を示す。コントローラからコイルに与える電流を徐々に変化させ、その際の出力ポート部圧力を計測する。

リニアソレノイドバルブは電流をECUで微調整する(電流制御)ことで精密に出力油圧が調整できるため、例えば油圧クラッチを繋ぐ際にも力の微調整が可能となり、滑らかな動力伝達を実現している。

電流上昇時と下降時の圧力には差が生じ、この圧力差をヒステリシスと呼ぶ。ヒステリシスは、材料の磁気特性(磁気ヒステリシス)や可動部の摺動抵抗に起因し、小さいほど精密な圧力制御が可能となるので、制御性が良くなる。

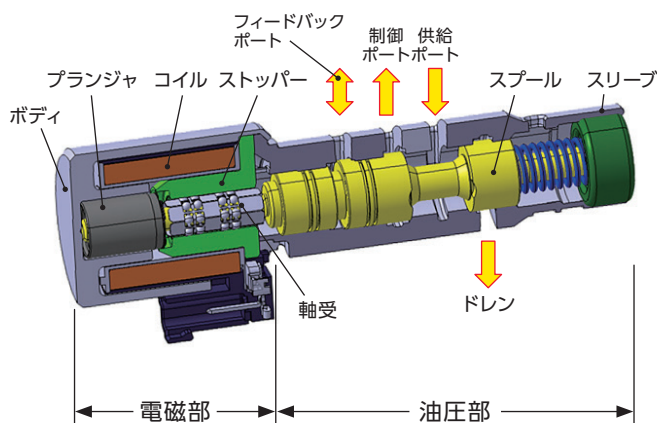


図12 リニアソレノイドバルブの構造

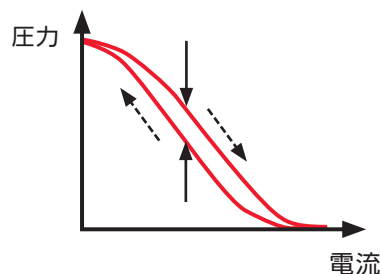


図13 I-P特性波形

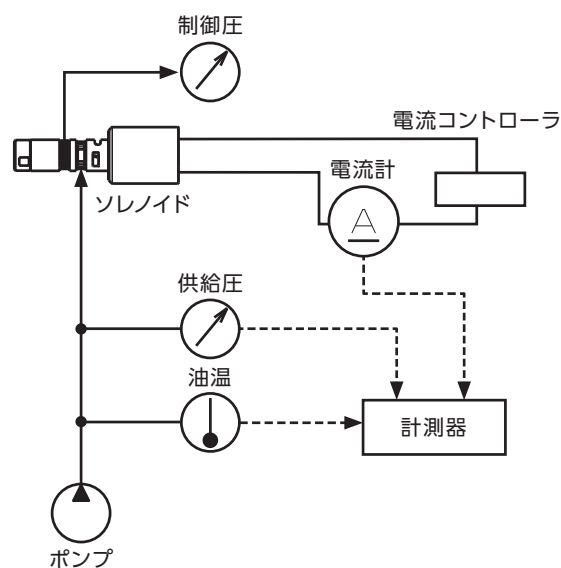


図14 I-P特性測定回路



## 2) 応答性

電流をステップ状に変化させた場合、圧力は少し遅れを伴い変化する。このタイムラグを応答性と呼ぶ。また、制御ポート部下流に油圧ピストンなどの負荷が有る場合を負荷応答性と呼び、一般的に負荷が無い場合に比べ応答性が遅くなる(回路図:図15)。

測定波形を図16に示す。指示電圧をステップ状に変化させたとき、電流に応じ吸引力が変化し、スプールが移動して出力ポート部に流れが生じて出力圧が変化する。

負荷応答性の波形は次の4つの領域に分けられる。  
 ①電圧変化～油圧立上がり開始までを『無駄時間』、  
 ②油が負荷を押しはじめ、油圧の上昇率が小さくなる『負荷充填時間』、  
 ③油圧回路内全体に油が満たされたあと最大圧まで上昇する『昇圧区間』、  
 ④油圧のオーバーシュートによる振動が収束圧に収まる『収束時間』。

NACHIでは一般的に、出力圧が最終到達圧力の63%に到達するまでの時間を応答性と定義している。

## 3) 消費流量 (リーク量)

圧力制御中に外部に漏れる油量を消費流量と呼ぶ(図17)。漏れ量は圧力、および、スプールバルブ周辺のすきまの大きさなどで決まり、一般的に少ない程無駄が無く良いとされる。リーク量が多い程ポンプの吐出量を増やす必要があり、無駄なエネルギーを消費するので、車載用途においては燃費悪化原因となる。

一方で過度にすきまを詰めると、油中の微細なゴミなどの影響を受け易くなり作動不良などの原因となるので、必要悪ともいえる。用いる油圧システムのオイル清浄度を考慮し選定することが重要となる。

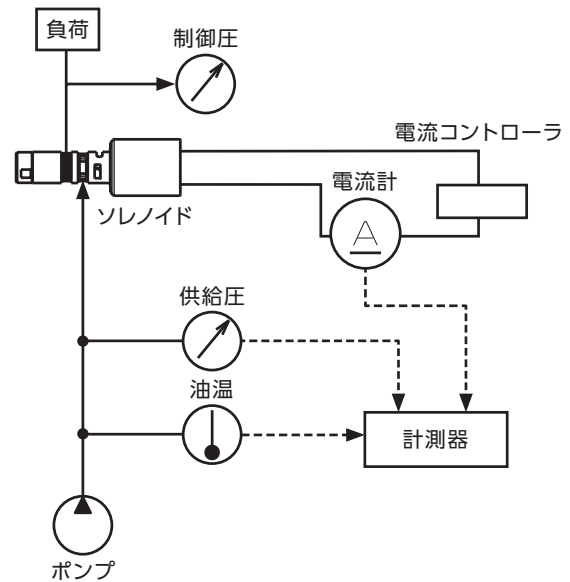


図15 応答性測定回路

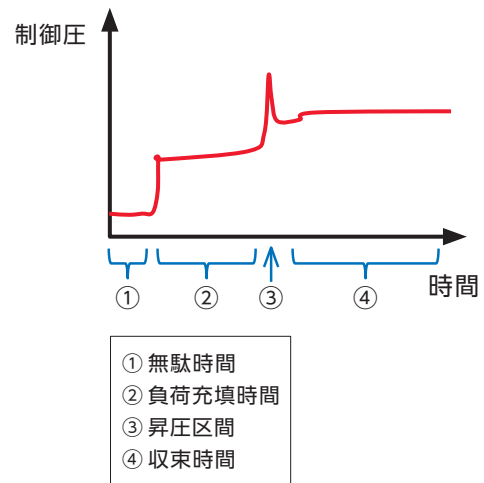


図16 応答性波形

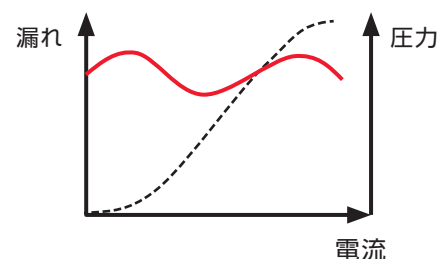


図17 消費流量波形

## 5. まとめ

### 4) オーバーライド特性

定常な電流、供給圧にて、制御ポート下流の油路を徐々に開いて大気解放させ、出力側の流量を変化させたとき発生する出力圧の変化量を、オーバーライド特性と呼ぶ(図18)。

ある流量を流すための圧力変化量が小さいほどオーバーライド特性が優れ、同じ差圧力でより多くの流量を流すことができることを示す。

したがって、変速用油圧クラッチへの供給流量や吐出流量の指標となり、乗り心地に影響する項目となる。

本稿では日頃目立たないソレノイド・アクチュエータやソレノイドバルブに焦点をあて、基礎知識を解説した。車両の電気機器が増えるなか、効率的に機器を扱う一助となれば幸いである。

また、本稿で解説した省電力な非通電保持ソレノイドに代表される機器自体の高効率化により新たなニーズに対応し、引き続きお客様の信頼に応えられる商品開発をすすめていきたいと考えている。

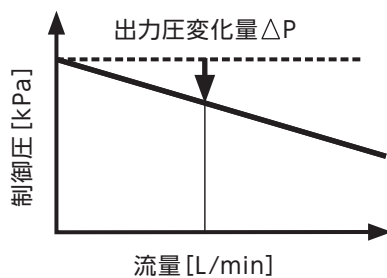


図18 オーバーライド特性波形

#### 用語解説

##### ※1 電流制御、電圧制御

ソレノイドの電流は電圧と抵抗で決定されますが、必要な電磁吸引力は電流に依存するため、これを精緻に調整するには、電流そのものを監視、フィードバックし電圧信号を調整するほうが便利です。このような制御方法を「電流制御」と呼びます。

一方、吸引力はゼロか最大値か、というような使い方をすることは、電圧で管理するほうがシンプルです。これは「電圧制御」と呼ばれます。

##### ※2 飽和温度

ソレノイドの周囲温度最大時なおかつ連続通電による昇温最大時の到達温度を指します。

一般的にコイルの体積と放熱量はトレードオフの関係にあり、小型化するほど飽和温度は高くなるため、コイル抵抗は低く設計する必要があります。