

# めかとり通信

## < フェールセーフとソレノイド >

何らかのシステムの構成に関わったことのある方は、そのシステムの安全性について悩まれたことと思います。

安全性については「フェールセーフ」や「フールプルーフ」という基本的な考え方があります。「フールプルーフ」は誤った使い方ができないようにしておこうというもので、例えば、電子レンジはドアを開けたままでは加熱ができませんし、自

動車を運転するときブレーキを踏んでいないとシフトレバーが操作できません。これに対して、事故は必ず起こると想定し、その際、システムとして安全側の挙動を示すように構成しておこうというのが「フェールセーフ」です。今回はフェールセーフを中心に考えてみます。

### ■ 1. フェールセーフの例

大勢の人命に関わるシステムである鉄道においてはフェールセーフの考え方が徹底しています。事故などの衝撃で車両の連結器が外れたような場合、列車間を貫通するブレーキ用の空気圧を送る貫通管が外れ、非常ブレーキがかかります。映画にあるように、連結器が外れて機関車だけが走り去るようなことは、少なくとも日本の鉄道では起こらないのです。

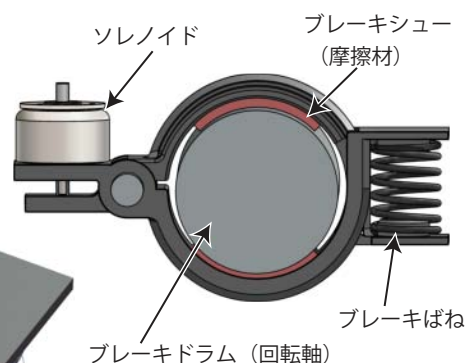
ただしシステムの性格によっては、非常時に何が何でも停止するというのが必ず安全とは限りません。たとえば、飛んでいる飛行機に異常が生じたときにエンジンを止めてしまうわけにはいきません。また、高速道路を走行中の自動車のエンジンがいきなり停止するシーンは想像したくありません。

鉄道車両のブレーキはブレーキディスクや車輪などに制動子を押付けてブレーキ力を得ていることはご存知かと思いますが、しかし、通常の運転では電気ブレーキが常用されてい

ます。この電気ブレーキは走行用の電動モータを発電機として使用し、発電によって生じる抵抗を利用する「電力回生ブレーキ」が一般的です。発電した電力は架線を通じて供給側に還元され、エネルギーを再利用するものです。省エネルギーであり、制動子が摩耗することもありますので好ましいものです。これに加えて機械ブレーキの制動子の駆動にも電動モータを使用する「電動ブレーキ」の提案が出てきています。通常、機械ブレーキの駆動には空気圧シリンダが用いられていますが、これに必要な大きく重い空気圧縮機を必要とせず、空気配管も不要なうえに制御性が高く、メリットが多いものです。ただし、非常時に電源やその他の動力が失われた場合、非常ブレーキとして作用させるためには何らかの工夫が必要です。これにはほとんどの場合、ばねなどの機械力に頼ることとなります。

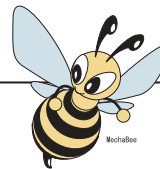


フェールセーフを考慮した  
ソレノイドによる  
ブレーキ（イメージ）



ブレーキ力は内蔵のばねにより発生し、ソレノイドに通電することでブレーキ解除になります。

## フェールセーフとソレノイド



ブレーキ機構など大きな力を必要とする場合にはモータに減速機やねじ機構などを用いることでトルクを増幅します。この方法ではモータの小型化も可能ですから、経済的にも、省スペースの観点からも大きなメリットです。制動はモータを正転させ、解除は逆転させることになります。このような機構において、電源が失われ非常ブレーキをかける方向に駆動しなければならないときには、どのようにしたらいいでしょうか。モータを逆回転で駆動しようにも電源が無いのです。このような状況では、動力元が無いので、ばねなどの機械力に頼らざるを

得なくなります。しかし小型化のために減速機の減速比を大きくすると、ばねでの復帰が難しくなります。ねじ機構の場合でも同じです。このため、減速機構をクラッチで切り離し、ばねで駆動するような方法が一般的です。前記の電動ブレーキもこの方法を採用しています。

このようにしてフェールセーフが確保されているからこそ、300 km/hで走る新幹線に乗っていても安心して眠ることができるのですね。

## ■ 2. 調整弁の電動駆動

流体や気体などの調整弁をモータで駆動する場合、停電直前の状態を維持するのは簡単です。モータへの通電を止めることは停止することだからです。一方で、停電時に調整弁を閉める、または開ける必要がある場合にはかなり大変で、そのために非常用電源として電池を搭載

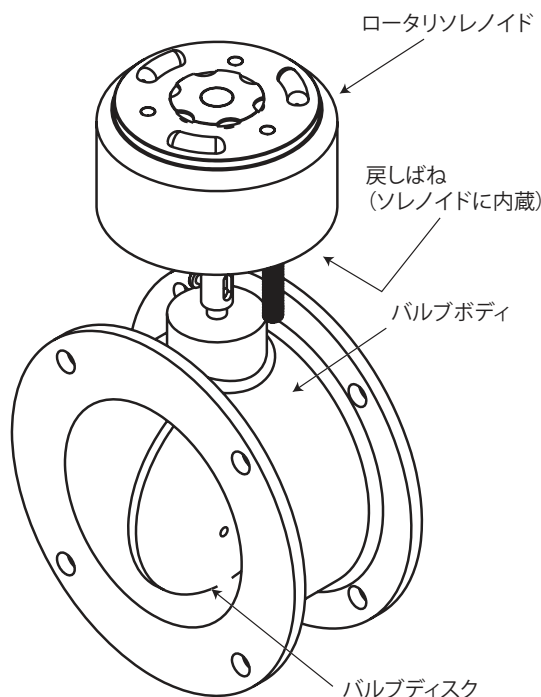
したものがあほほどです。長期にわたり使用されるものでは、電池のメンテナンスも大変でしょう。減速比がそれほど大きくなければ、出力軸にばねを取り付けることで、モータを無通電としたときに原点に復帰させることができます。しかし、予想しうる様々なケースで確実に復帰させるためのばねはかなり強いものになる可能性があります。これは駆動時の負荷になるので、通常時の駆動には大きな負担となります。

この方法が難しい場合には別の手段がとられます。停電時には電磁クラッチなどで機械的にモータを切り離し、ばねなどで安全側への挙動を確保するのです。こうすれば減速機での損失を考えずに必要な力だけでフェールセーフが実現できます。このようなクラッチとの組み合わせは、電動ブレーキの例にもあるようによく使われる方法です。

### ○空気圧アクチュエータの場合

空気圧式バルブアクチュエータには一方駆動の単動式と双方駆動の複動式がありますが、単動式については、ほとんどの場合、そのままフェールセーフとなります。

故障などの異常発生時に調節弁を開くのが安全な場合は「エアレスオープン」を、閉じる方が安全な場合は「エアレスクローズ」を選択すると、停電などでコンプレッサが停止、または配管が破損などしても自動的に安全側に動いてくれます。複動式であっても、スプリングリターン機能があれば同様の動作をします。



ロータリソレノイドを使用したバタフライバルブ

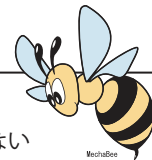
## ■ 3. ソレノイドの場合

ソレノイドは基本的に単動型のアクチュエータで、通電により力を発生するのは片方向です。復帰には復帰ばねを用います。従って、非常時に駆動したい方向とソレノイドの復帰方向を一致させておけばフェールセーフが実現できます。それ以外の工夫は全く不要です。復帰ばねはフェールセーフ用の駆動源でもあるわけですから、

その性質、強さ等に十分な検討が必要です。復帰ばねの強さは、ソレノイドの通常の駆動においては負荷になりますので、ソレノイドの推力と併せて検討する必要があります。

ソレノイドには直動型に加えて回転型がありますが、消磁時にばねを使う復帰の考え方は同じです。回転型に





は傾斜溝を使用したヘリカル型と、永久磁石を回転子に使用する永久磁石ロータ型の2種類があります。回転型のうちの永久磁石ロータ型と、直動型のうちの自己保持型は無電力で位置を保持する機能があるためにフェールセーフにならないことがありますので注意してください。

今回紹介しているような用法の場合、通常の使用状態では連続で通電されることが多くなります。通電定格には十分注意し、過熱による焼損が起きないように、また、温度上昇によ

る抵抗値上昇で電流が低下し駆動力不足とならないよう、推力定格、電力定格を決める必要があります。

ソレノイドはその磁極構造からくる特性で、起動時よりも作動終了後の吸着位置において推力が大きくなるものが一般的です。また、コイルに流す電流と発生推力はほぼ比例します。これは、吸着、保持しているときの電力を減らせることを意味します。通常モードでの通電、待機時の電力は工夫次第で節約が可能になります。

## ■ 4. ソレノイドによる具体例

### ○ディーゼルエンジンの電子ガバナ

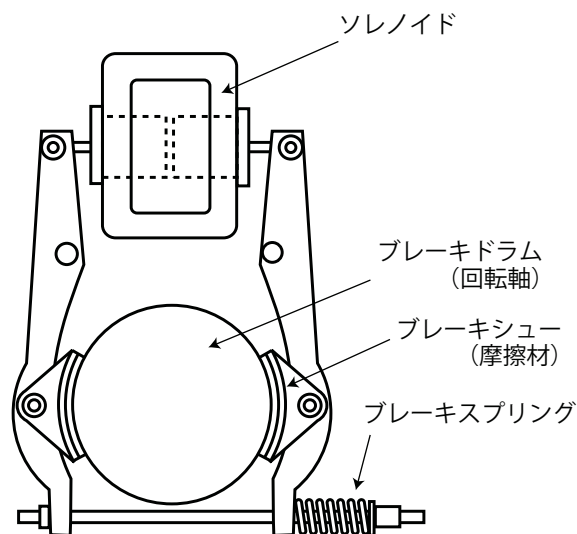
ディーゼルエンジンの電子ガバナに用いられる燃料噴射ポンプの、燃料制御ラックの駆動にソレノイドが用いられています。エンジンの運転時に必要な燃料の供給量は負荷の重さや回転数などの条件で刻々と変化しますが、ソレノイドを制御手段としてこれを制御しています。通電電流に応じて位置制御が可能な比例ソレノイドを使用することで、電流により噴射量を制御しています。ソレノイドは復帰バネを備えていて無通電時には燃料供給量無しの位置に戻って待機します。運転時にシステム異常や電源の遮断など非常状態に陥った場合には、速やかにエンジンの運転を止める必要があります。このようなとき、ソレノイドの電流を遮断することで燃料の供給が絶たれ、エンジンは暴走することなく停止します。これでフェールセーフが成立します。

### ○エレベータのブレーキ

エレベータはモータで駆動される巻き上げ機で上下に動作し、各階での停止時にはブレーキを作動させます。ブレーキは巻き上げ機の回転軸に取り付けられたブレーキドラムへ摩擦材を押しつけることで摩擦力により制動力を得ています。この押しつけ力は、ばねにより得ています。ソレノイドはこのばねに対抗するように取り付けられており、通電することで、ばねに打ち勝つ方向に推力を発生し、ブレーキが解除されます。何らかの異常で安全回路が作動したり、停電などが起きたりした場合、ソレノイドの電流を遮断することでばねによる機械ブレーキがかかり停止します。フェールセーフの思想に従った動作になります。

### ○電動常閉ダンパ

マンションなどの換気システムにおいては、換気用の通気口はソレノイドを使用したバルブ機構によって、開または閉状態が選択可能となっています。火災が発生した場合、これを閉じると煙の拡散を防ぎますし、また空気を遮断することで延焼の防止にも効果があります。火災の場合、電源の供給は期待できませんから、駆動ソレノイドの電源が失われた場合には、復帰スプリングにより閉じる方向に駆動されます。延焼の防止に効果のある方向に駆動されることになります。



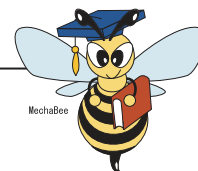
ソレノイドを使用したエレベータのブレーキ

## Column

本質的にフェールセーフに向いているソレノイドですが、それはばねによる復帰に頼っています。ですので、フェールセーフの確実性を求めるためには、特に注意してばねの設定、設計をする必要があります。ばねの基本設計を確実に行うのは当然ですが、それに加えて、多重化、非線形化といった方法がとられることがあります。多重化することにより、仮にばねの一本が破損しても復帰が可能となります。また、負荷によっては吸着位置において固着現象など復帰を妨げる状態が発生することがありますが、これを避けるために、最終位置付近で強くなる非線形ばねを採用すると確実に復帰させることができます。この付近ではソレノイドの吸着力も上昇するので動作への影響は抑えられます。ばね以外にも、通電条件の変化でコイルに過電力が加わり焼損の危険があるような場合、自動的に電流を遮断するような温度ヒューズの内蔵は問題の拡大を確実に抑える効果があります。







## ■ 5. フールプルーフとロックユニット

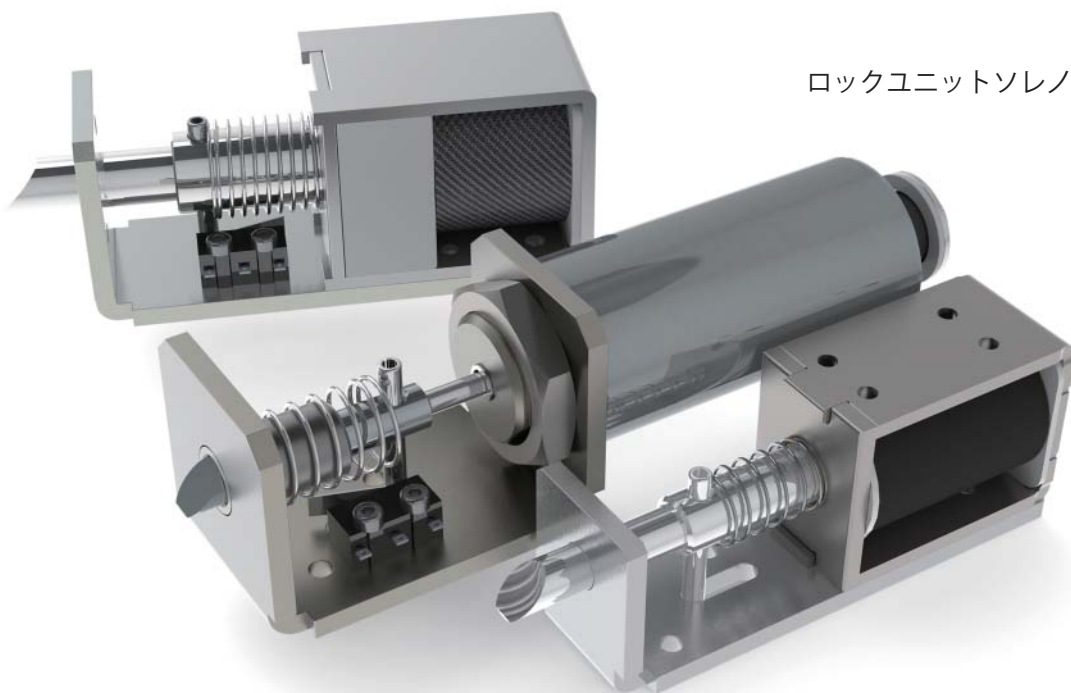
フェールセーフには原理的に向いているソレノイドですが、冒頭に記したフールプルーフのために使用されている例も多く、当社でもそのための構成としたユニットを用意しています。条件が整ったときに初めて操作を可能とする、または危険が予測されるときには操作できないようにする、といった目的がある装置において、操作扉をロックする、ロックを解除するという状態をシステムで管理したいことは少なくありません。このようなときにソレノイドを使用したロック機構はよく使われます。これをユニットにして使いやすくしたものが、当社のロックユニットソレノイドです。扉の開閉機構だけでなく、レバーやハンドルなどの操作機構のロック、アンロックが可能です。電気的な結果を得るためのスイッチやレバーについては、そのシーンにおいて有効か無効かを電気的な演算で容易に判断できます。しかし、操作可能、

不可能を機械的に伝えることは、操作者の直感的な判断を可能とするヒューマンインターフェースとして重要なことです。

ロックユニットソレノイドは、型式や電源電圧の指定、通電時にロックするかアンロックするかといった動作モードの選択が可能です。さらに、耐環境性に配慮したコイル構造、動作状態の確認を行える位置検出スイッチの内蔵や、耐作動回数を考慮した信頼性の要求にも答えます。

非常時にロックする、または解放するという動作が可能となるため、使い方によっては、フェールセーフのための機構に応用することも可能となるでしょう。

構造の詳細に関しては、当社のホームページから 3D データのダウンロードも可能ですのでご利用ください。



ロックユニットソレノイド

■この資料の内容は改良の為、お断り無く変更することがありますのでご了承ください

2017 年 9 月現在

「めかとり通信」に関するお問い合わせは

新電元メカトロニクス株式会社 <http://www.shindengen.co.jp/smt/>

本社 〒357-0037 埼玉県飯能市稲荷町 11 番 8 号 TEL 042(971)6212 FAX 042(971)6218  
西日本支店 〒460-0003 名古屋市中区錦 1-19-24 名古屋第一ビル TEL 052(219)9711 FAX 052(201)4780  
茜台工場 〒357-0069 埼玉県飯能市茜台 2 丁目 1 番 5 号

新電元メカトロニクスのソレノイドのご用命は

