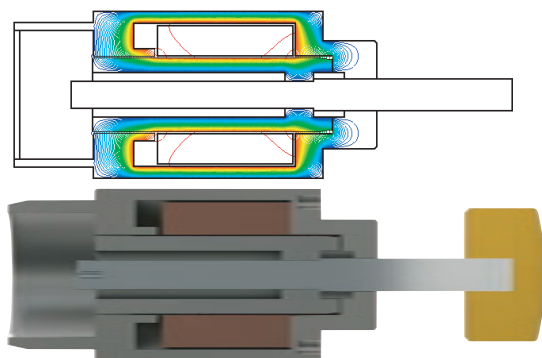
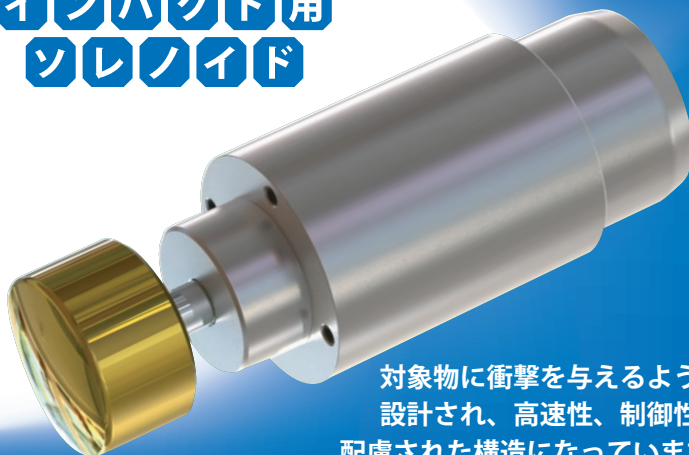


めかとり通信



インパクト用 ソレノイド



対象物に衝撃を与えるように設計され、高速性、制御性に配慮された構造になっています。

< インパクト用ソレノイドとその制御 >

ソレノイドというどのような使い方を想像されるでしょうか。市販のソレノイドは当社製を含めて、「引く」動作が基本で「押す」は出力軸の工夫で得られます。さらに直進運動を回転運動に変換して直接出力軸を回転させる「回す」があります。原理は様々ですが、動作はこのいずれかに分類されるでしょう。また、比例ソレノイドは単純な「押す」「引く」だけでなく、位置を制御することが可能ですから、どこまで「押す」か「引く」かを調整することが可能です。

さて、今回はこれらのソレノイドとは違う応用を考えてみましょう。「押す」も「引く」も機械的な作用を得るための方法ですが、機械的な作用にはこれ以外に「叩く」というものも存在しています。この作用は身近なところで広く応用されています。

たとえば、釘を打つ、肩を叩く、呼び鈴を鳴らす、干した

布団を叩く、などで、そのための工具や道具も存在しています。釘を打つための玄能や金づち、ハンマーなどが代表的なものでしょう。様々な素材や形状のものが使われていることからその用途の広がりがうかがえます。

これらの道具は機械化し自動化する過程で多くの試みがなされてきました。電動化でまず思いつくのはモータ駆動ですが、叩くという動作は意外とモータでは実現しにくい動作の一つです。叩き、衝撃を与えるためには接触する瞬間の速度が重要で、瞬発力が求められます。モータの場合この急加速、急減速が大変で、繰り返すと発熱することもあります。実は、この動作はソレノイドが得意とするもののなのです。この「叩く」用途として過去に大量に生産されたソレノイドをご紹介してみたいと思います。

■ 1. プリントハンマソレノイド

今となっては使われることがほとんどなくなりましたが、タイプライタはインクリボンを含み活字を用紙上に叩きつけることで印字を行う道具です。1960年代から1980年代にかけては日本の主要な輸出品目でした。

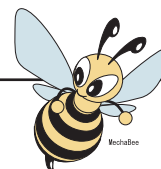
これの電子制御を可能としたものが電子タイプライタで、ワードプロセッサを経て、初期のプリンタとなりました。このプリンタは、ユニット化され放射状に配置された活字のセットが花のデジールに似ていることから、デジールホイルプリンタと呼ばれていました。印字品質も高く、広く普及しましたが、文字の種類が桁違いに多い漢字には対応出来ませんでした。このため微細なドットで構成するマトリクスで漢

字にも対応するドットインパクトプリンタにとってかわられ、現在では限られた用途にしか使用されていません。

デジールホイルプリンタは1970年から1980年代にかけて広く使われました。この印字機構の活字を叩く用途に使用されたのがハンマソレノイドです。これは叩いて衝撃を加える用途に徹した構造で、さらにプリンタとしての能力を高めるための配慮が加えられています。プリンタ用としてだけでなく、他の用途にも流用可能な特徴を備えていますので、ここで説明しておきたいと思います。

叩くとき、その対象物に与えるエネルギーは、可動部（ハンマ）の質量と接触時の速度で決まります。ですから、エネルギーを





大きくするためには、重いハンマを使用するか、インパクト時の速度を早くする必要があります。重いハンマを加速するのは難しく制御性も良くないので、速度で稼ぐ方が賢明です。また、プリンタは単位時間あたりに何文字打てるかも重要な性能の評価点になります。ですから、印字後は速やかに起点となる待機位置に戻り、次の動作に備える必要があります。これはストローク最終点で推力が低い方が望ましいことを表します。ソレノイドは電流の遮断時に逆起電力を生じますが、これを処理する間、コイルに電流が流れ続けています。この電流で推力が生じるので、最終点の推力は低いほど速やかに復帰することになります。さらに、待機点まで復帰したとき、そこでバウンドすると次の印字動作に支障があります。

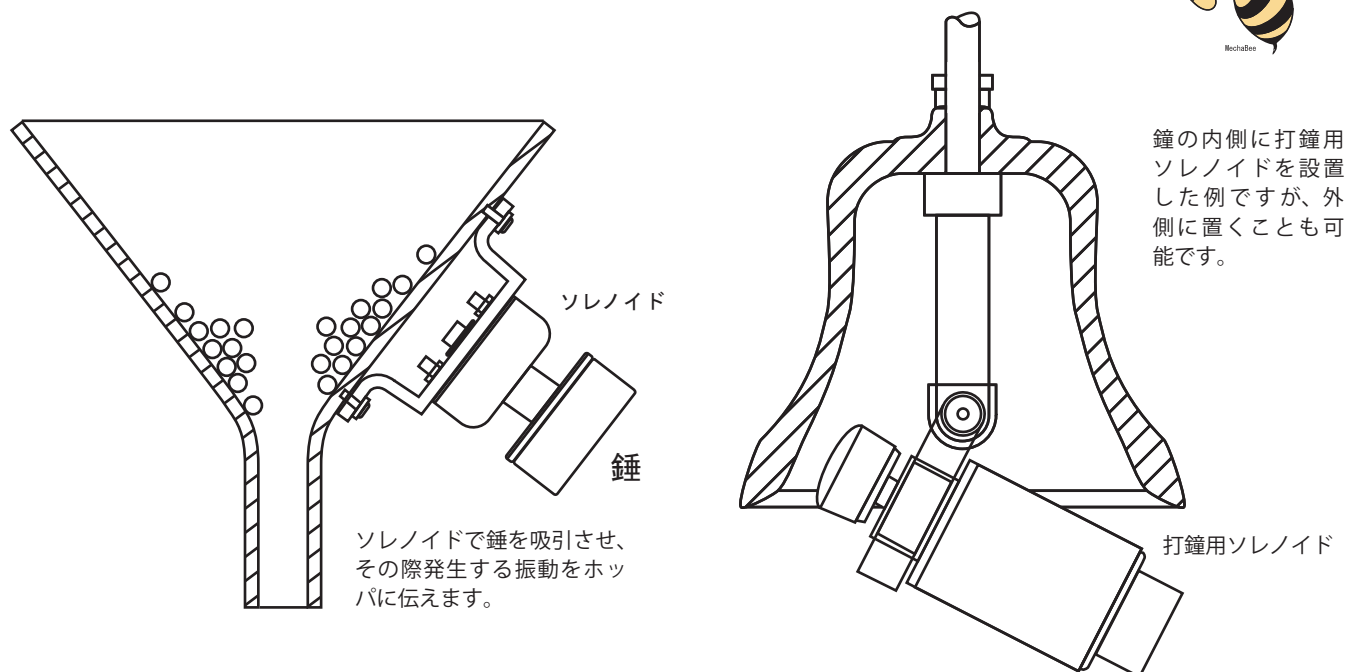
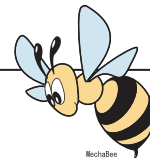
従って戻ったときのバウンドも抑制する必要があるのです。そして、印字対象となる文字は、"." のようなものから "W" のようなものまで印字面積に大きな差があります。これらを同じ強さで叩く場合によっては用紙に穴をあけたり、かすれてしまったりします。このため、印字する文字に合わせて印字エネルギーを調整します。具体的には通電電流を変えることで衝撃を制御するのですが、この電流に対するエネルギーの制御性も求められます。

当社のハンマソレノイドはこれらの要求項目に応え、米国の世界最大（当時）のコンピュータメカや伊国の有名タイプライタメカ、国内では欧米で大ヒットした英文タイプライタを生産したメカに採用されました。

■ 2. ソレノイドの叩く用途例

鋼球の発射 (飛ばす)	例えばパチンコのような金属球を叩いて飛ばすとき、モータで駆動する装置の場合では、実際に球を叩くのはばねの復元力であり、モータはそのばねを巻き上げているに過ぎません。飛ばす強さは別途用意したレバーでばねの巻き上げ量を調整しています。これをリモコンしようとしたら、どのような機構が必要でしょうか。ばねの巻き上げ量を調整する機構を別のモータで駆動する必要があるそうです。一方、ソレノイドで直接、球を叩いて飛ばす機構はどうでしょう。飛ばす強さに応じて駆動電流を調整するだけで済みます。
カリヨン (鳴らす)	カリヨンをご存知でしょうか。大小複数の鐘を用意し、鍵盤等の操作、またはプログラムして鐘を鳴らすことで楽曲の演奏を可能にした装置です。この場合、鐘にハンマがヒットした後ハンマは速やかに離脱し、待機位置に復帰しないと澄んだ美しい音が出ません。待機位置に復帰したとき、大きなバウンドが発生すると2回目を叩いてしまいます。また、大きな復帰音が発生しては演奏が台無しです。そのため、ハンマの復帰動作には消音とバウンド防止の適切な処置を必要とします。加えて、叩く強さを変わると音楽としての表現の範囲が大幅に広がります。ソレノイド式ハンマなら打力は電流により容易に変更が可能です。
振動 (落とす)	粉体を扱う用途では、その搬送経路に粉体が付着するケースがあります。そのためホッパなどのバルブを詰まらせたり、分包時の量にバラツキを生じたりすることがあります。これを除去するのに最も簡単で効果の高い方法は叩くことです。エアアクチュエータでの駆動を利用する場合もありますが、場所によっては排気が問題になります。駆動用の圧縮空気には潤滑油、水分が含まれます。屋外に設置する場合はドレンが凍結するなどの障害も考えられます。ソレノイド式であれば配線だけで済みますし、排気は発生しません。
打音検査 (検査)	最近、深刻な問題として取り上げられることの多いコンクリートを用いたインフラ設備の寿命問題ですが、問題を起すことと大事故に至る可能性が高く、有効な保守方法が求められています。検査は外観の目視では難しく、ハンマで叩く以外に有効、確実な方法は無いようです。また、人の感覚に頼るのも問題です。現在、この判定を自動で行うべく様々な提案がされています。そのひとつはソレノイドハンマで衝撃を与えて、その際に発生する音の成分を分析して判断する方法です。このときの衝撃は正確に管理されなければなりませんし、対象となる施設は作業環境として危険な場所であることも多いでしょう。装置は軽量コンパクトであることが求められます。一般形式のソレノイドでは叩くための推力の発生効率が良くないため、重量、使用電力共に問題となるでしょう。ソレノイドの構造や駆動に工夫が必要となります。





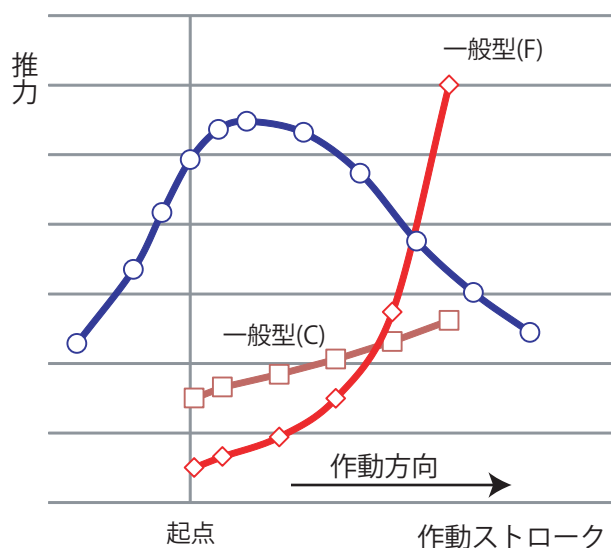
■ 3. 叩く用途のソレノイドの特徴

叩き、衝撃力を得る動作のためには、適当な質量を有する槌、ハンマを対象物に衝突させる必要があります。このときに生じるエネルギーはその質量と速度によって決まります。必要な速度を得るためには助走期間を用意して、衝突の瞬間までに加速を終了させます。

一般的なソレノイドは、固定磁極と可動磁極を対向配置し、両者に磁束を供給して相互に発生する吸引力を利用します。吸着力はその間隔の2乗に反比例するので、間隔が狭くなるにしたがって吸引力は急上昇します。動作開始点の力は小さく、作動終了点で大きな力が発生するこのような形では、叩くために槌を加速するには適当な傾向ではなく、発生する推力を有効に使えません。

シリンダ型と呼ばれるソレノイド形式があります。これは起点付近に推力のピークを設定し、終点付近での推力上昇を無くす構成になっています。これを基本に調整すると叩く用途に適当なソレノイドが作れます。推力の絶対値は大きくはありませんが、飽和を発生しにくいので制御性も良好です。作動終了点でのインダクタンスの変化も穏やかですから、復帰時に問題となる逆起電力の処理も比較的容易という、副次的ですがありがたいメリットもあります。高速で動作させたい場合には可動部の質量も大きな要素ですから、軽量化にも工夫が必要です。通常円柱状に構成する可動磁極を円筒にするなどして軽量化を図ります。

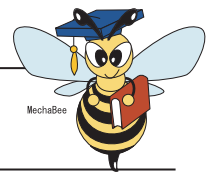
インパクト用ソレノイドの特性例



起点付近に推力のピーク点を置き、十分な初期加速度を得られるようにしています。このためには電流の立ち上がりを速くする配慮が必要です。作動後の衝突点付近は復帰がスムーズに行われるように推力は落としています。一般型では推力傾向が大きく異なり、初期加速度を得にくいことが分かります。

※本図は推力の発生傾向を示したイメージです。





■ 4. 叩く用途での駆動方法

有効に衝撃を発生させるには、短時間で目的の速度まで加速する必要があります。ソレノイドの発生する推力はそのコイルのインダクタンスに比例しますが、インダクタンスは電流の立ち上がりを制限するパラメータでもあります。推力はコイルの巻数とそれに流れる電流の積に比例し、インダクタンスはコイルの巻数に比例します。これらの関係から、推力の立ち上がりを早くするために電流を早く立ち上げる、それを阻害するインダクタンスを小さくするためにコイルの巻数を減らす、推力の減少を補うために電流の絶対値を増やす、という対応が必要です。整理すると、高速で駆動したい場合には

- 巻数を控えめにする
(インダクタンス減少)
- 駆動電圧を高く設定する
(電流立ち上がり時間改善)
- 最大電流を制限する
(電力損失抑制)

といった配慮が必要で、さらに復帰側を改善するために、

- フライホイールダイオードに直列抵抗を挿入
- ツェナーダイオード、バリスタの挿入を検討

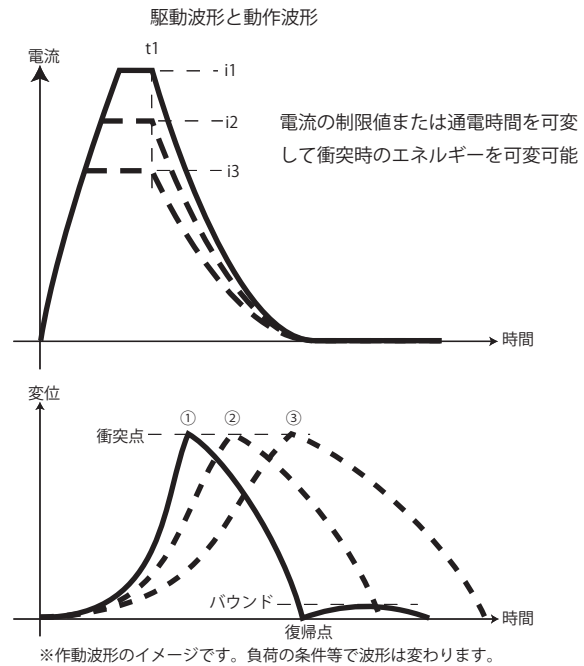
といった対策が効果的です。

インダクタンスを減らすために巻き数を減らすと、当然ながら発生する推力が犠牲になります。このため、流す電流を増やして補いますが、これに耐えられる太い線径のコイルワイヤを選択する必要があります。大きな電

流を流すと電力損失が増えますので、焼損に至らないよう通電電流と通電時間の管理は厳密に行います。

また、推力を速やかに立ち上げるためには、電源電圧を高く設定して電流の立ち上げを促します。こうすると大きな電流が流れますので、上限を制限します。この制限電流値、または通電時間で駆動力を良好に制御することが可能です。

このようにソレノイド側だけでなく、駆動側を制御して協調することで目的の結果を得ることが出来るのです。



■ 5. 生産時の思い出

30 年ほど前になる 1980 年代、プリンタ用のソレノイドを大量に生産しました。その際、性能試験を実施するにあたり大変苦労しました。今のように高速高機能なデータロガーが安価に入手できる時代ではなく、パソコンも 8 ビットの黎明期です。計測対象のプランジャは数 mS で速度 5m/S から 10m/S にも達し、ストロークも 7mm から 8mm もある上、非接触での検出が大前提でした。これを検出可能なセンサは市販品で入手できなかった

ため自作し、限られた能力のパソコンを使用してインターフェースも自作、苦労しながらも印字時のエネルギーを正確に計測し、パソコンで分析することを可能にしました。製品を作るのも大変ですが、それを評価する能力も同様に極めて大切であることを実感した時代でもあります。先日、秋葉原の部品屋さんで、その時に使用したパソコンの CPU が 200 円ほどで売られているのを見て時代の流れを実感しました。

■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

2016 年 12 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
西台工場：〒357-0069 埼玉県飯能市西台 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途は

