

純鉄系軟磁性材の紹介

はじめに

自動車、電化製品に付随する電磁部品の増加と共に、磁気特性や環境適応への改善要求が高まっている。そこで紹介したいのが磁気特性に優れる純鉄系軟磁性材であり(株)神戸製鋼所の規格である ELCH2 と、それに被削性を向上させた ELCH2S である。

軟磁性材に関わる分野を含めて紹介を以下に述べる。

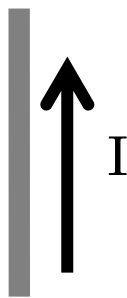
ELCH2 は軟磁性材料の特徴である高磁束密度、高透磁率、低保磁力を有し、被削性を向上させた ELCH2S には鉛ではなく、硫黄(S)を添加しているため環境負荷低減を示している。

前述した磁気特性を利用し、制御機器の一部であるソレノイドの固定鉄心や、ソレノイドバルブ、プラグジャー等に使用されている。

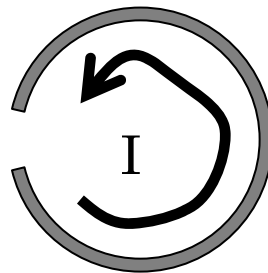
高磁束密度は小電力で大きな力(吸引力)を発生させる。高透磁率が早い立ち上がりを意味し、低保磁力が省エネルギーと高い制御を可能とさせる電磁部品として、高い能力を有している材料が ELCH2 である。また、磁気特性のみならず、環境適応や被削性を評価され、非常に需要が高まっている。今後、電気自動車の需要も高まる事を鑑みると、益々無視できない鋼種といっても過言ではない。

磁界について

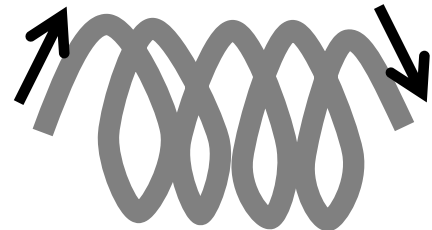
動く電気(電流)は磁界をつくる。流れる電流が直線、円形、コイル状によって磁界の様子は変わり、その磁界が及ぼす方向も変わってくる。



図(a)直線電流



図(b)円形電流



図(c)ソレノイドコイルに流れる電流

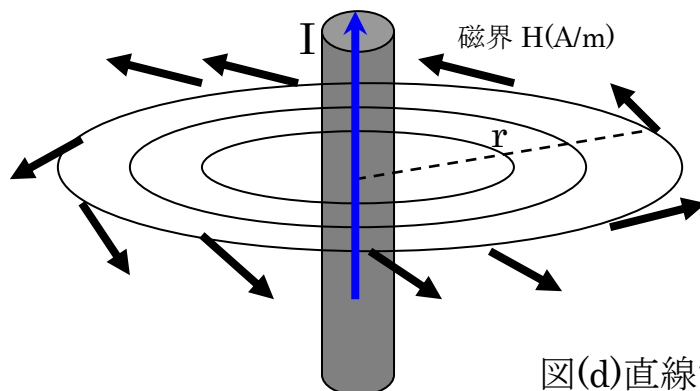
磁界は電流の周りに渦を巻くように生じる(下図(d)参照)。

直線電流 $I(\text{A})$ が距離 $r(\text{m})$ の場所につくる磁界の大きさは、磁界 $H = \frac{I}{2\pi r} (\text{A/m})$

ソレノイドコイルの内部に発生する磁界の大きさは

$$H = nI (\text{A/m})$$

(n = 単位メートル当たりのコイルの巻き数)

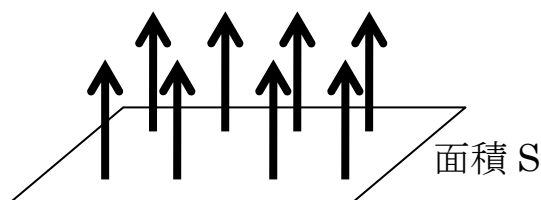


図(d)直線電流に発生する磁界

磁束密度について

ある面積 S の場所に磁界が上向きにかかっているとして、その場所には磁力線という線が何本も走っている。この磁力線の本数の事を磁束 Φ (ワイ) と呼び、単位を Wb (ウェーバ) とする。同じ面積を通過する磁力線の込み具合がそのまま磁束密度とし、その密度が高いほど磁界が強いと言える。

ELCH2 は磁束密度が高い特性を有する。



図(e)磁束密度のイメージ

$$\text{磁束 } \Phi = \text{磁束密度 } B \times \text{面積 } S$$

ヒステリシス曲線について

ヒステリシス曲線とは磁気特性を表す曲線である。試験材料の両端に電極を結び、電流を流す。返す値を連続する線としてプロットし曲線を描いたものである。

横軸を磁界の強さ、縦軸を磁束密度の大きさをとる。

曲線の傾きが透磁率を表し磁石になり易い度合いで、応答性の早さと考えられる。

このヒステリシス曲線は磁気特性そのものを表す。

また、図中のアルファベットが表す意味は以下の通り。

H_c = 保磁力

試験材料に帯びた磁気を 0 にする為に必要な、逆方向に働く磁界の強さ。この値が低い程、磁気の抜けが良く、また省電力で済む。高い制御能力に必要不可欠である。

B_r = 残留磁気

電流を遮断して磁界の強さを 0 にしても試験材料に残る磁気の事。ELCH2 は極めて低い特性を持つ。

「測定方法」

試験材料に流す電流を 0 から一定の値まで増加させた後(+H)、徐々に 0 に戻す。更に逆方向の電流を流し、一定の値まで増幅させた後(-H)、徐々に 0 に戻す。この一連の測定を 1 サイクルとして返す値を連続した点で結んだ曲線が磁気特性を表す。B-H 曲線またはヒステリシス曲線と言う(下図(f)参照)。

ELCH2 は低保磁力で磁気が抜け易い特性があるので、硬磁性材に比べて原点 0 の近くに曲線が通る事になる。

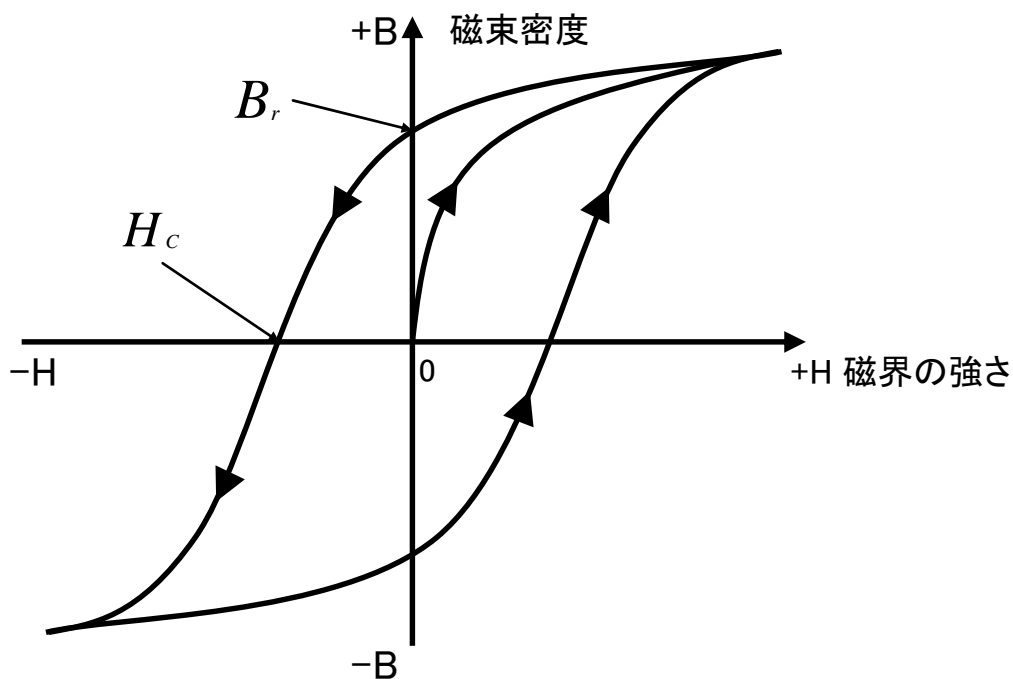
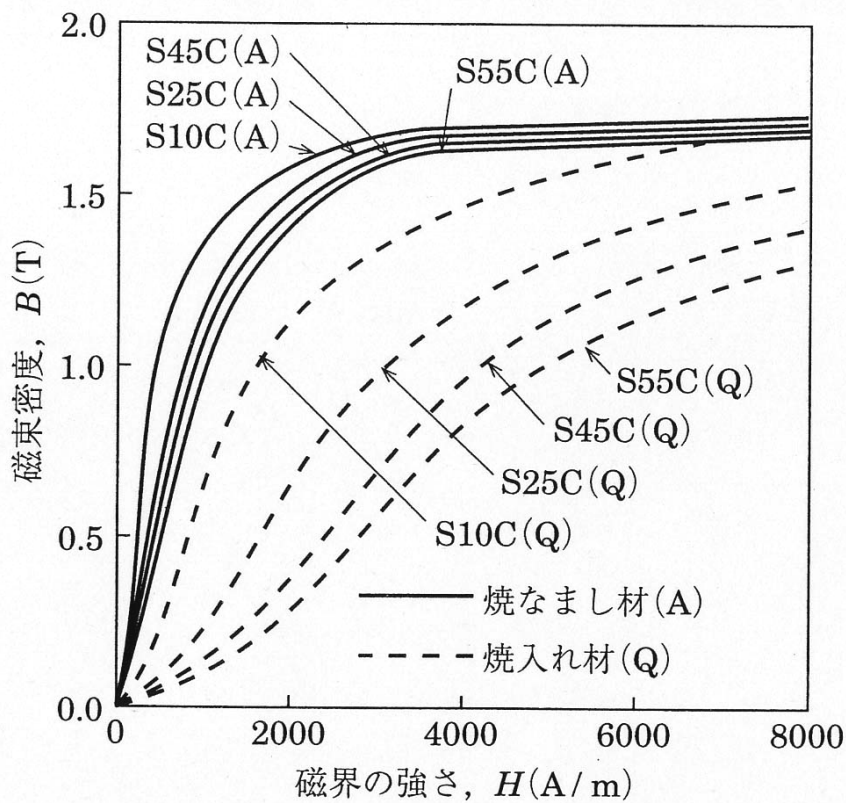


図 (f) 磁気特性を表すヒステリシス曲線

鋼種別磁気特性



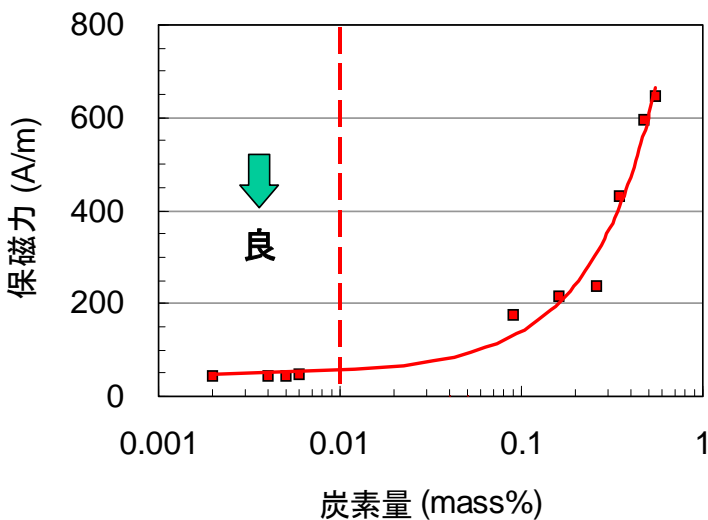
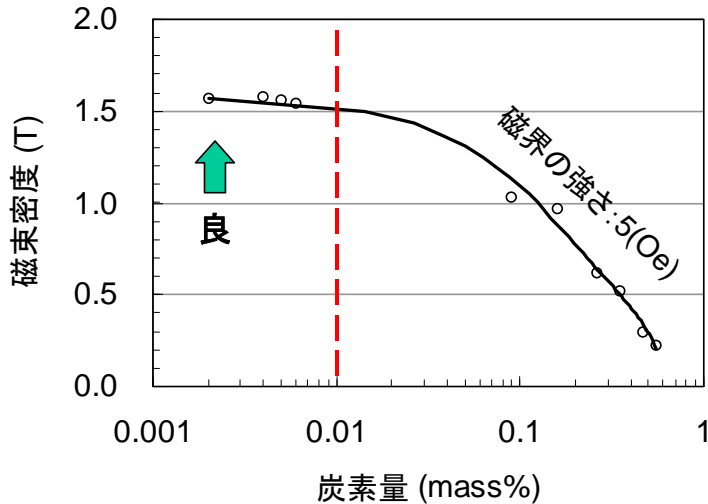
上図のヒステリシス曲線を見ると、鋼種毎に同じ電流を加えても、得られる磁束密度の大きさは低炭素の方が良好。焼入れ材の磁気特性は非常に低い値、即ち制御系電磁部品には不向きという事になる。鋼材に添加される金属元素には同じ添加量でも磁性を示しやすい元素があり、炭素 C がそれにあたる。

この中では炭素含有量の低い S10C が高い特性を表している。傾きは大きく(高い透磁率)、磁束密度の飽和点が高い(高磁束密度)。

炭素量と磁気特性の関係

以下のグラフに表れているように炭素含有量が 0.01%を境に反比例して磁気特性は急激に低下する。

また、保磁力は急激に上がってしまう。故に低炭素である事が優れた磁気特性に必要な条件となる事がわかる。



規格値内における化学成分の一例を以下に記す。

以下の表 1 を見て分かるように ELCH2・ELCH2S は極めて低い炭素含有量を示している。鋼材としてダレを防ぐ為、Mn 量の添加を限界まで上げる事で扱い易く調整されている。

元素記号	C	Si	Mn	P	S	Al	N
ELCH2	0.005	0.004	0.22	0.016	0.008	0.004	0.0023
ELCH2S	0.005	0.004	0.26	0.010	0.025	0.008	0.0007

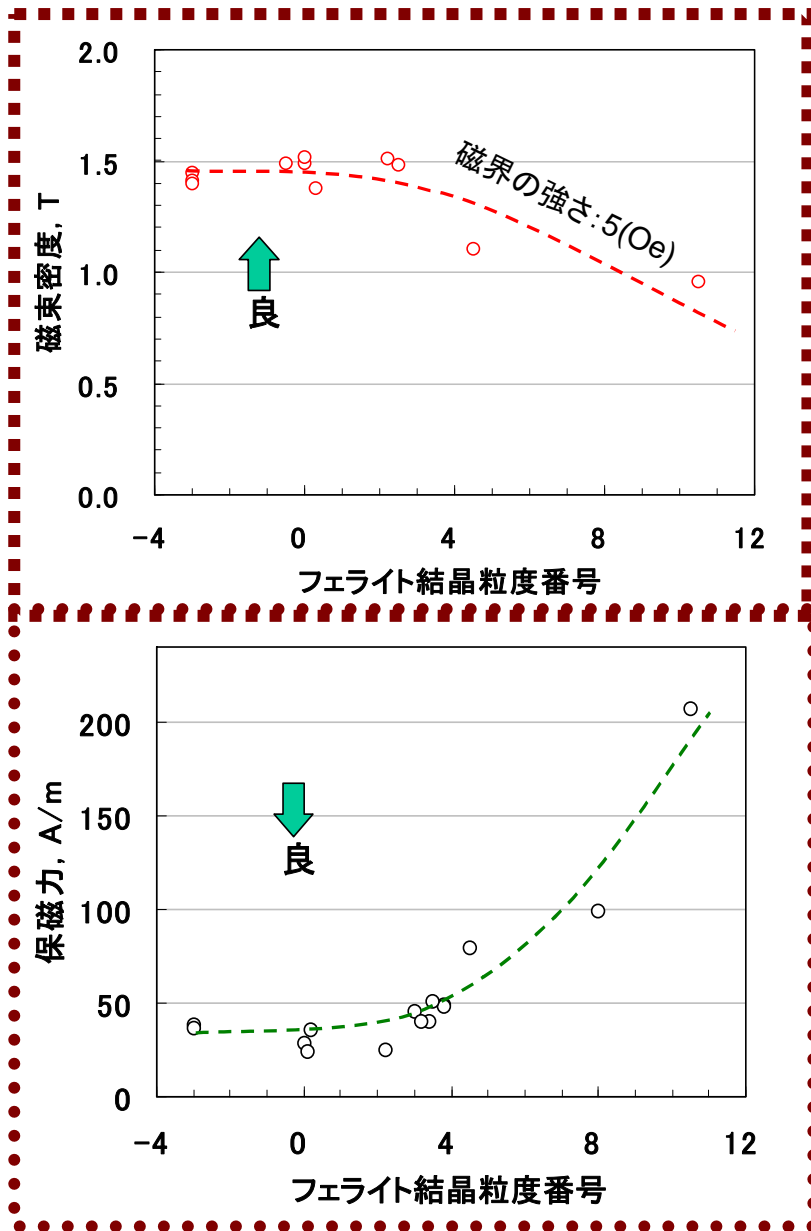
表 1 化学成分の一例(mass%)

※Cに限らず添加元素(介在物、不純物を含む)が多い程、磁気特性は低下する傾向がある。

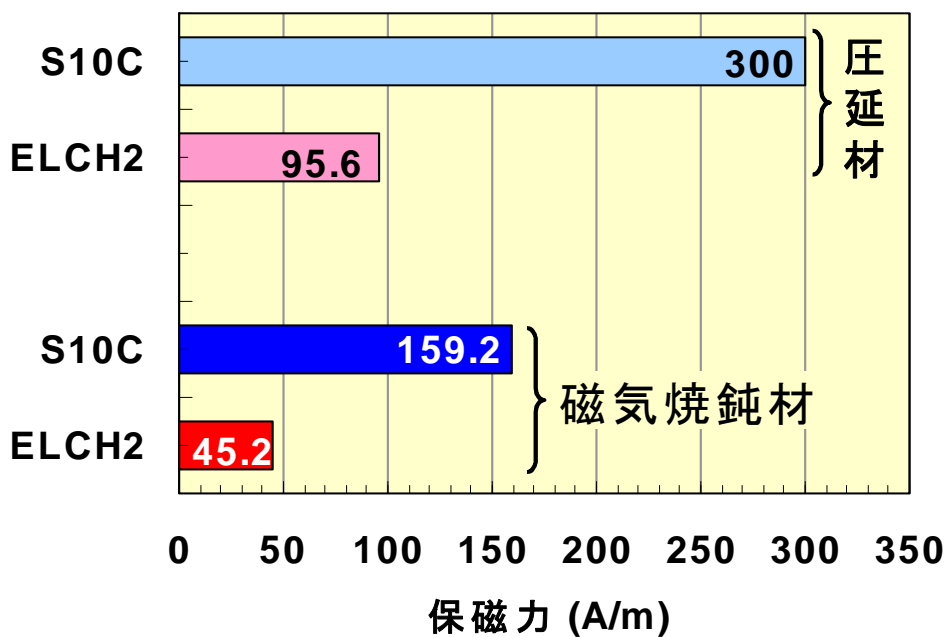
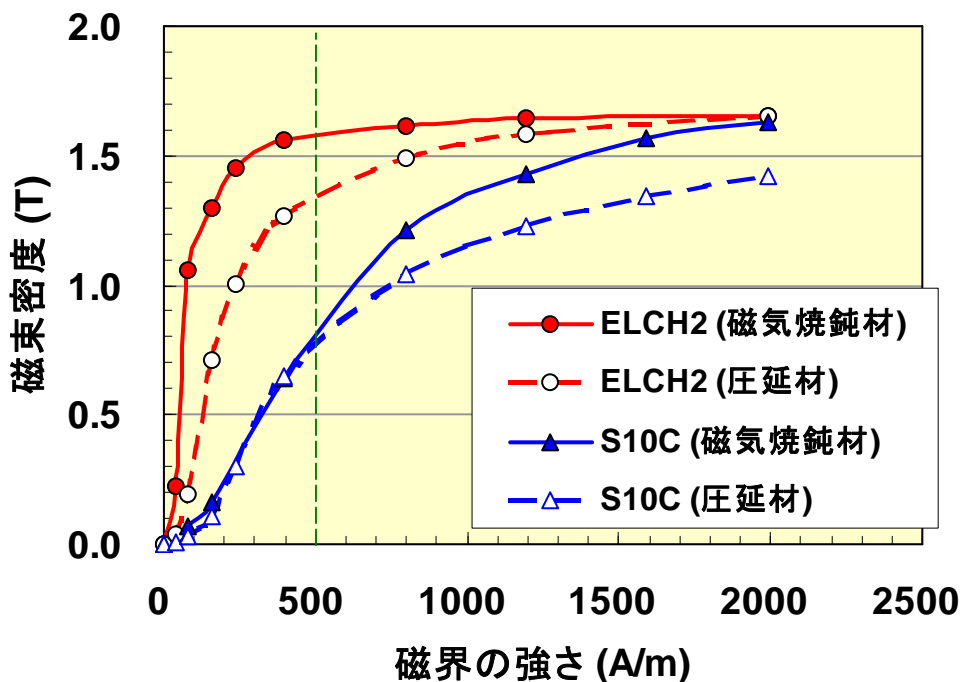
結晶粒度と磁気特性の関係

以下のグラフに示すように結晶粒が大きい程、磁気特性は高い。

鋼材を圧延し、さらに当社で行うように引抜加工を経ることで内部応力(内部歪)が顕在し、微細な結晶粒となる。これを磁気焼鈍(真空中 850℃×3h + 炉冷)して、内部応力を除去し、結晶粒を粗大化させる。すると、磁気の障害となる結晶粒同士の境目の面積を小さく抑えることができる。結果、ELCH2 の能力を最大限に発揮する事ができる。

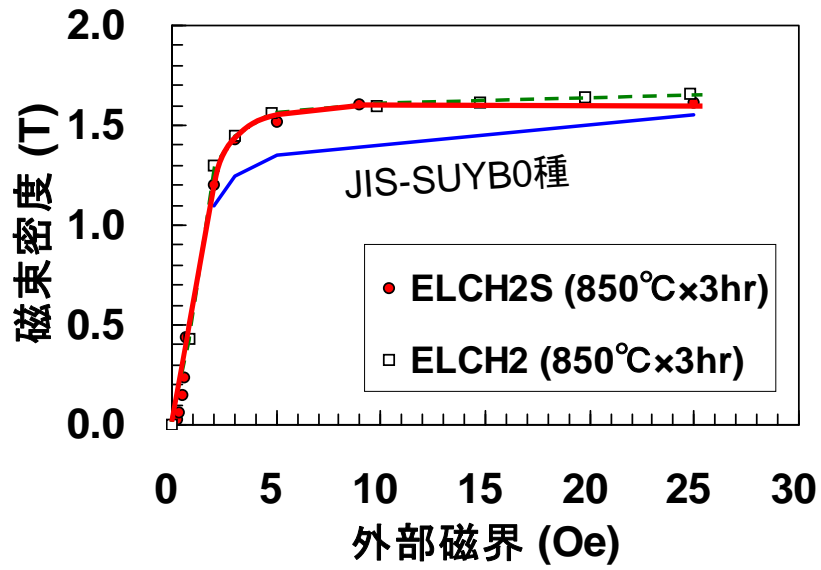


磁気焼鈍が磁気特性に及ぼす効果(参考)



上のグラフは磁気焼鈍の有無による磁気特性を表した参考例です。

ELCH2Sの磁気特性



	磁束密度 (T)				保磁力 (A/m)
	B2	B3	B5	B25	
ELCH2	1.30	1.45	1.56	1.65	45.2
ELCH2-S	1.20	1.43	1.52	1.61	55.7
SUYB0	≥ 1.1	≥ 1.25	≥ 1.35	≥ 1.55	≤ 63.2





磁気特性の一例

ELCH2に比べ、硫黄を添加した分だけ多少の低下は否めないが、JIS-SUYB I種以上に相当する磁気特性を有する。

被削性の一例

一例の写真にあるように、切屑の長さが ELCH2 と ELCH2S で違いがある。従来型の ELCH2 の粘り連なる切屑に対し、ELCH2S は介在物の硫黄が作用して、ポロポロと削れ落ちたような切屑になる。加工時のバットの寿命や加工性そのものに差が現れる。

写真 切屑形状の比較（切削速度：30m/min）

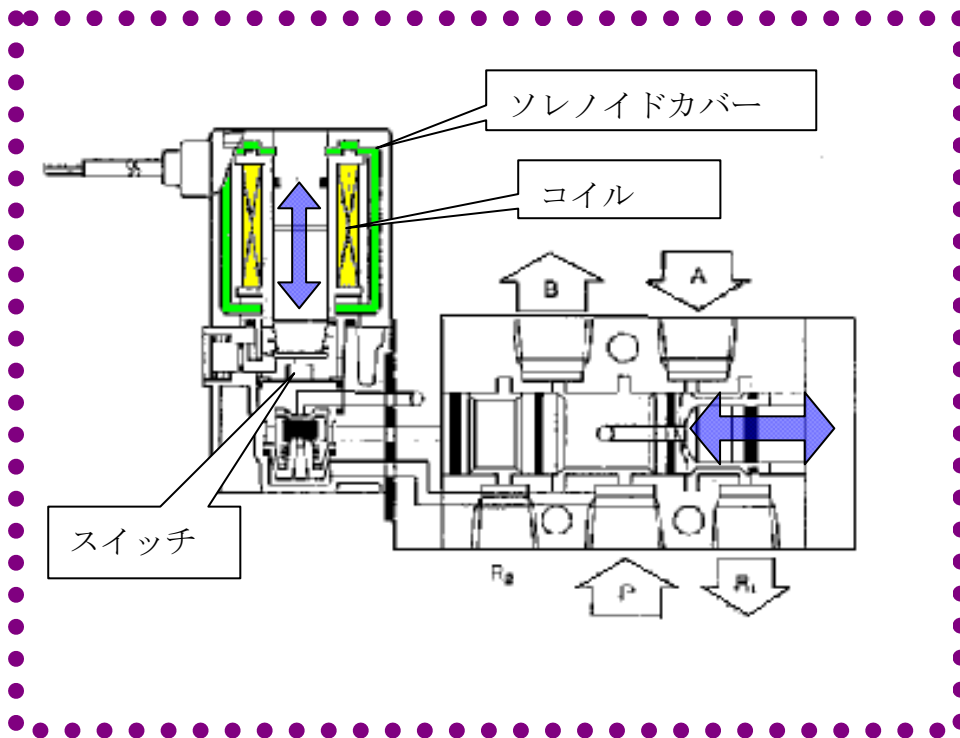
鋼種	送り：0.1mm/rev	送り：0.2mm/rev
ELCH2		
ELCH2S		

ソレノイドの一例

空圧、油圧等を制御するソレノイドの一部として利用される ELCH2 はソレノイドカバーや固定鉄心、時には可動鉄心に利用されている。

コイルに電流を流し、可動鉄心が吸着されスイッチの役目を果たす。電気エネルギーを物理エネルギーに変換し、ボールと呼ばれる開閉弁を操作することにより制御を行うことができる。

以下にソレノイドの構造の一例を挙げる。



お知らせ

当社作成の下記 HP にて ELCH2、ELCH2S の紹介や本稿のダウンロードが可能です。
是非、御覧になって下さい。

<http://johoku.0ch.biz/elch/elch.html>