

マグネットワイヤの 見かた選びかた

How to Select Good Magnet Wire

間 瀬 喜 好*
Kiyoshi Mase

1. 見 か た

最近のように合成化学が進歩してくると、やつぎばやに新材料が発表され、それに伴っていろいろのかたちのマグネットワイヤを作るようになる。

電線メーカーは、電気機器メーカーの材料部門としてそれぞれの新製品に対する特性を究明し、これを示し、使用目的に応じたマグネットワイヤの選択を需要家にお願するわけである。

この際まず問題になるのは電線メーカーの特性紹介の方法であって、そのもの単独のデーターを示しがちである。また、その概説を述べても、電気機器の設計者にあまり役立たない場合が多い。機器の設計は従来から使用しているものに比べて、その長所、短所の差を明確に与えているものでないと、そのデーターに興味がないようで、使う意欲が起きないということである。その点でできるだけ新製品のデーターとほかのものとの比較考察したものを示すよう電線メーカーは心がけるべきである。

次に問題になるのは特殊の電気機器を除いては、その寿命を25年以上保証しなければならないために、これらに使うマグネットワイヤ自身もそれぞれの使用条件に耐え、かつ余裕のあるものでなければならぬ。このことをいいかえればマグネットワイヤの耐熱度と寿命を定量的に示し、それを保証してやらなければならないことである。しかし、残念ながら機器の致命的欠陥を生ずるまでにマグネットワイヤがどのような電氣的、機械的、負荷がかかったか明解を得られないために、種々の想定をおいて、物理的、機械的、電氣的特性の劣化を求めようとしている。この耐熱度、寿命の判定はわが国において、電気学会のマグネットワイヤ専門委員会で重要な問題としてとりあげられているが、各国とも共通な問題となり、これらに関する論文の多くなっていることはこの要求のせつなるものがあることを示している。この試験法と判定基準が明確でなく、モータの実用試験をまっ

第1表 構成と耐熱区分

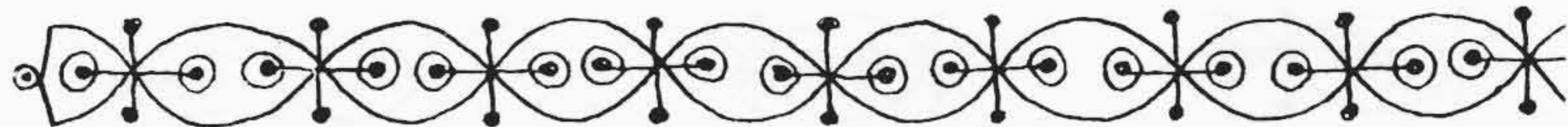
種 類 (一般名)	組 成		線 種 ⁽²⁾	耐熱区分(°C)	
	基 本 樹 脂	変性樹脂		ワニス処 理無 ⁽³⁾	ワニス 処 理
油性エナメル	天然樹脂 桐 油		S.H	90(105)	105
ホルマール	ポリビニル ホルマール	フェノール 樹脂 フラン樹脂	S.H.T.Q	90(105)	105
セルフボンディング ホルマール	(上)ポリビニルブ チラール ⁽¹⁾ (下)ホルマール	—	S.H.T	105	105
ナイロン	ポリアミド樹脂	—	S.H	90(105)	105
ホルマール・ ナイロン	(上)ポリアミド樹 脂 ⁽¹⁾ (下)ホルマール	—	S.H.T	90(105)	105
ポリウレタン	ポリウレタン	(ポリエ ステル)	S.H	105	105
エポキシ	エポキシ樹脂	ポリエステル, 尿素 ホルムアル デヒド樹脂	S.H.T.Q	105(130)	130
ポリエステル	テレフタル酸 ポリエステル	不 明	S.H	130	155
シリコーン	シリコーン樹脂	テレフタル 酸 ポリエステ ル	S.H	155(180)	180
シリコーン・ セラミック	(上)シリコーン樹 脂 ⁽¹⁾ (下)セラミック	—	S.H	180	180
テフロン・セ ラミック	(上)ポリテトラフ ロロエチレン ⁽¹⁾ (下)セラミック	—	S.H	220	220
テフロン	ポリテトラフロ ロエチレン	—	S.H	180	180
テフロン・シ リコーン	(上)ポリテトラフ ロロエチレン ⁽¹⁾ (下)シリコーン樹 脂	—	S.H	250	250
アクリル系	アクリロニトリル アクリル酸エス テル共重合体	—	S.H	130	
クロムオキサ イド	不明	不 明	S.H	130	130

注: (1) 2重塗装の上層および下層を示す

(2) S: Single, H: Heavy, T: Triple, Q: Quadruple

(3) ()内は低く判定したものの参考値

* 日立電線株式会社電線工場 工博



たのでは新製品の紹介が遅れるという社会情勢下においては簡易試験法⁽¹⁾，たとえば2個より法モートレット法で比較的短期間でその耐熱度，寿命を判定することもある。日立電線株式会社においても，数年来その検討を行っているが，一応の結論を得るのに約1年余も要することと，判定基準になる特性として，何を選べば機器メーカーの設計者が納得されるかであるが，機器内の電線に加わる熱的，機械的機構が究明されていない現今においては，より多くのデータがあればより信頼度が高いということになりそうである。それだけにマグネットワイヤの耐熱度と寿命に異論の起き

るのは当然であろう。しかしこの方面の考え方は油性エナメル線や綿巻線が40～50年も使われてきていることや，ホルマール線もすでに約10年の使用実績が出てきていることなどを基におき，それぞれの機器の使用条件と短期間で行われた促進劣化試験のデータと相まって寿命の推定を行うべきであり，これに対して機器メーカーは積極的に電線メーカーを援助すること，他方モータの使用履歴と寿命のデータを数多くとられ，これと電線との関連をつけることが将来のためにぜひ必要である。それまでは電線メーカーが示した素性のわかった電線のデータを積極的に利用してほしいし，またそうすべきであろう。

次に電気機械の良いものをつくるためにまずマグネットワイヤのすぐれたものを選びねばならない。そのため

第2表 エナメル線の機械的性能

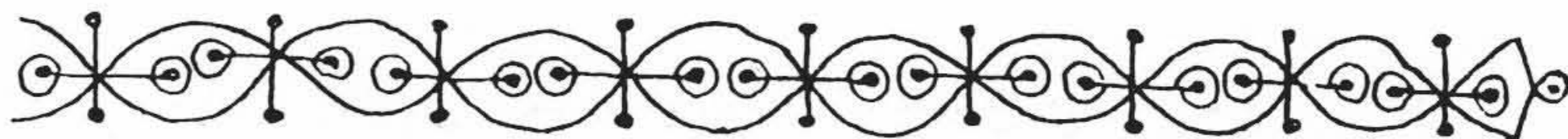
種 類 (一般名)	可 撓 性		接 着 性	耐摩耗性 (行程数)
	mm 3.3—0.28	mm 0.26—0.12		
油性エナメル	mm 3.3—0.8 4×, 3×, 2× OK	mm 0.7—0.5 1.5× OK	20%伸 OK	—
ホルマール	1× OK	25%伸 3× OK	急激伸張 OK	平均30 最小15
セルフボンディングホルマール	1× OK	25%伸 3× OK	急激伸張 OK	—
ナイロン	1× OK	25%伸 3× OK	急激伸張 OK	—
ホルマール ナイロン	1× OK	25%伸 3× OK	急激伸張 OK	—
ポリウレタン	mm 1.47—0.25 1× OK	mm 0.23—0.12 20%伸 3× OK	急激伸張 OK	—
エポキシ	1× OK	25%伸 3× OK	急激伸張 OK	平均30 最小15
ポリエステル	1× OK	25%伸 3× OK	急激伸張 OK	平均30 最小15
シリコーン	1× OK	25%伸 3× OK	急激伸張 OK	平均30 最小15
シリコーン・セラミック	5× OK	5× OK	不 良	不 良
テフロン・セラミック	5× OK	5× OK	不 良	不 良
テフロン	1× OK	25%伸 3× OK	—	不 良
テフロン・シリコーン	3× OK	3× OK	可	—
アクリル系	1× OK	25%伸 3× OK	急激伸張 OK	平均30 最小15
クロムオキシ イド	—	—	mm 3.26—0.56 破断まで伸 (緩) OK	mm 0.51—0.32 20%伸 (緩) OK 可

注：表中 n× とあるのは導体径の n 倍径の棒に巻き付けたことを意味し，それに異状のなかったものを OK と明示

第3表 エナメル線の耐熱性

種 類 (一般名)	耐 熱 衝 撃 性		熱老化性(可撓性)		熱軟化 温度 (°C)
	125°C-1 h	150°C-1h	125°C-168h	150°C-168h	
油性エナメル	—	—	20%伸または 可撓性 OK (100°C 48h)	—	100 (48h OK)
ホルマール	mm 3.3—0.28 1× OK	mm 0.26—0.04 25%伸 3× OK	3× OK	—	170
セルフボンディングホルマール	mm 3.3—0.28 1× OK	mm 0.26—0.04 25%伸 3× OK	3× OK	—	160
ナイロン	1× OK	—	3× OK	—	230
ホルマール ナイロン	1× OK	—	3× OK	—	200
ポリウレタン	mm 1.45—0.26 1× OK	mm 0.23—0.04 10%伸 3× OK	3× OK	—	200
エポキシ	—	3× OK	—	3× OK	200
ポリエステル	—	3× OK	—	3× OK	230
シリコーン	—	5× OK	—	3× OK	250
シリコーン・セラミック	—	—	—	—	250
テフロン・セラミック	—	—	—	—	250
テフロン	—	—	—	—	低
テフロン・シリコーン	—	—	—	—	250
アクリル	1× OK	—	3× OK	—	300
クロムオキシ イド	—	—	—	—	—

注：表中 n× とあるのは導体径の n 倍径の棒に巻き付けたことを意味し，それに異状のなかったものを OK と明示



に材料の良いものを使って、設備のすぐれたところで、すぐれた作業員が良心的に作った製品であって、なおかつ十分な検査を行い、特性の保証された均一性に富んだものでなければならない。古くからある綿巻線、紙巻線などはこの点比較的問題が少なく需要家も苦勞が少ないものと思うが、広い意味でのエナメル線においては、その種類が多く、たとえば油性エナメル線、ホルマール線、ナイロンエナメル線、ポリウレタンエナメル線、ポリエステルエナメル線、シリコンエナメル線、テフロンエナメル線、エポキシエナメル線などがあり、さらにそれぞれについての配合、厚さ、塗装条件を異にしているためエナメル線の性能は相当広範囲に相違しているものといわざるを得ない。したがってボビン巻の端末からの少量テストで十分その性能が保証されるものを電線メーカーとして支給せねばならぬ。その保証のために通産省が油性エナメル線、ホルマール線などについて JIS 審査を行い粗悪品の市場進出をふせようとしているわけである

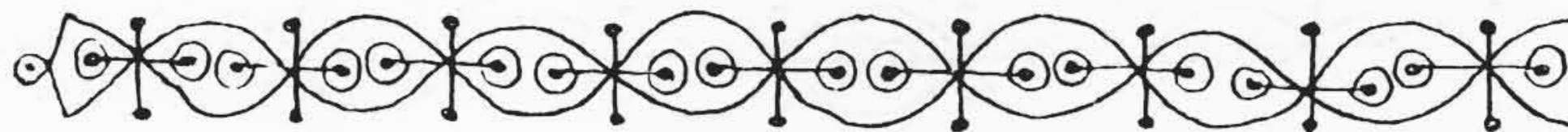
が、このことだけで安心しうるものでなく、前述のような場作りが必要であり、会社の性格がより重視されるゆえんであると思う。

このような均一性に富んだ素性のわかったマグネットワイヤを使って、さらに乾燥、ワニス処理、あるいはコンパウンド含浸などの工程を経るが、これらの処理がはたして電線をいためずにその目的をはたしたかどうか、電線とワニスの技術的相関性を十分吟味しておかなければならない。したがってワニスの特性はもちろん、ときには配合まで知らねばならない場合がおきる。日立のように電線もワニスも自家製されているところではこのような問題はほとんど起きない。まんいち起きても致命的事故にならず即座に解決されるものである。しかし、電線とワニスをまったく別会社、別系統のところから入手されているときは、電線が悪かったためか、ワニスが悪かったためか、処理条件が悪かったためか明らかでないときが起きる。この場合電線の製造条件、ワニスの使い

第4表 エナメル線の電気的性能

種 類 (一般名)	絶縁耐力 (V/0.1mm)			誘電正接 %			誘電率			均一性試験*) (スパーク個数/100(t))
	撚合(乾)	撚合(湿)	層間(乾)	10 ² CPS	10 ⁵ CPS	10 ⁷ CPS	10 ² CPS	10 ⁵ CPS	10 ⁷ CPS	
油性エナメル	4,000~4,800	—	—	1.9(60 CPS)			3.6(60 CPS)			15.10.—
ホルマール	6,000~10,000	3,200~4,800	4,000~6,000	0.5	1.95	3.34	3.8	3.7	3.96	15.10. 5
セルフボンディングホルマール	6,000~10,000	3,200~4,800	4,000~6,000	0.5	2.3	2.0	3.7	3.5	3.0	15.10. 5
ナイロン	6,000~8,000	400~2,000	4,000~6,000	12.2	6.8	3.93	7.7	4.3	3.55	15.10. 5
ホルマールナイロン	6,000~8,000	3,200~4,800	4,000~6,000	2.2	5.6	3.1	5.4	4.4	3.5	15.10. 5
ポリウレタン	8,000~14,000	6,000~8,000	6,000~8,000	0.75 5.0 (120°C)	2.3 3.6 (120°C)	2.0	3.30 4.02 (120°C)	3.09 3.23 (120°C)	3.10	15.10.—
エポキシ	8,000~14,000	8,000~10,000	6,000~10,000	0.33	2.3	3.89	2.7	2.6	3.29	15.10. 5
ポリエステル	10,000~14,000	6,000~72,000	6,000~8,000	0.3	2.5	2.5	3.2	3.0	2.6	15.10.—
シリコン	6,000~8,000	6,000~8,000	4,000~6,000	0.7	1.75	2.88	3.6	3.5	3.15	15.10.—
シリコン・セラミック	600~1,200	—	4,000~6,000	—	—	—	—	—	—	13~1.0mm 20 (導体径) 0.9~0.09mm (導体径) 15
テフロン・セラミック	1.3~0.05mm (導体径) S : 800~2,400 D : 3,000~7,000	—	6,000	—	—	—	—	—	—	5.12.—
テフロン	6,000~8,000	4,000~4,800	4,000~8,000	1.08	1.35	1.17	2.6	2.4	2.1	10.15.—
テフロン・シリコン	6,000~8,000	—	6,000	1.08	0.8	0.8	2.7	2.6	2.2	—
アクリル系	6,000~8,000	4,800~8,000	4,000~8,000	—	—	—	—	—	—	15.10.—
クロムオキシド	2.3~0.5mm 3,400 (導体径) 0.46~0.25mm 2,600 (導体径) 0.23~0.14mm 1,200 (導体径)	—	2.3~0.5mm 3,400 (導体径) 0.46~0.25mm 2,600 (導体径) 0.23~0.14mm 1,200 (導体径)	—	—	—	—	—	—	15.10.—

*) 数値は左からそれぞれ single, heavy および triple に対する値。



方がそれぞれ社外秘のことが多いために、それぞれが最適使用条件になっていないことがある。このような場合電機メーカーはその目的に合った電線の受入試験を厳重に行うべきであり、そのことはかなりのむだとなって現われる。その上電線の均一性、そのほかに信用をおけない場合はさらに大きな損失となろう。このようなことから考えると電線ワニスを同一系統のところから入手されて、相互作用を十分吟味し、随時配合そのほかを勝手に変更し得ないよう管理下におくことが望ましい。

もちろん以下に示すデーターは一応の常識として知ってほしいところである。

ただ最近のエナメル線用塗料材料、巻線用繊維材料、そのほか特殊用途になる押出用材料も変りつつあり、また、需要家のマグネットワイヤへの要望もそれに付随して、推移しつつあるので、占積率、可撓性、耐摩耗性、耐熱軟化性、耐薬品性、耐冷媒性、耐水性、耐ワニス性、耐熱性などは別途詳細に報告することにし、本ノートにおいては一般の手引になる材料とマグネットワイヤの性能、規格などを示すことにした。

2. 各種エナメル線の諸性能

前述の主旨に従い、各種エナメル線の性能比較^{(2)~(6)}、

耐ワニス性などについてはしばしば述べてきたので、本ノートにおいては角度を変えて、H.L. Saums 氏ら⁽⁷⁾の論文をもとにした各種エナメル線の材料ならびに電線の性能の比較表を示す。

第1表はエナメル線の主組成材と耐熱区分、第2表は機械的性能、第3表に耐熱性、第4表に電気的性能、第5表に化学的性能を示した。

これらのデーターと本文中に示されている意見ならびに筆者の意見を入れて総合的に各種エナメル線の長所および用途を示すと第6表のようである。

3. 繊維質絶縁材料を用いたマグネットワイヤの諸性能

エナメル線と同様に H.L. Saums 氏ら⁽⁸⁾の発表をもとにし、マグネットワイヤに用いる繊維質絶縁材料とそれぞれの電線の性能を以下に示すことにした。第7表は被覆材料とそれを用いた電線の長所ならびに欠点を示すものであり、第8表は各種電線の種類による熱区分、特性と応用を示すものである。繊維を用いたものは、加熱時において、スペーサーの役割をはたし、信頼度が高いため、占積率において不利な点があるにかかわらず大形機器に多く利用されている。

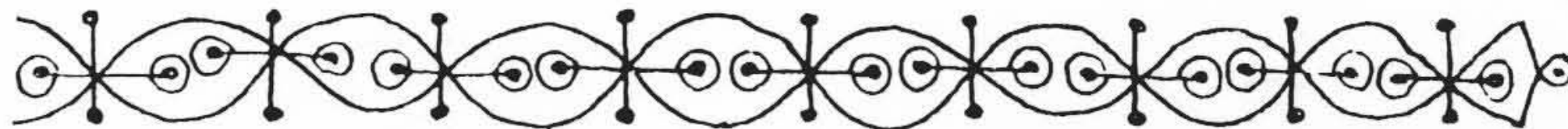
第5表 エナメル線の耐溶剤、耐薬品性

種類 (一般名)	トルオール	キシロール	ナフサ	エタノール	ガソリン	ケロシン	トランス油 100°C 48 h	5 % 塩酸	5 % 硫酸	1 % 苛性カリ	耐湿性	耐冷媒性 (F-22)	ワニス 相容性	耐加水 分解性	銲接性
油性エナメル	—	—	—	—	—	—	OK	—	—	—	良	不良	良	—	無
ホルマール	OK	—	OK	OK	OK	OK	—	—	OK	OK	可	可	良	良	— ⁽³⁾
セルフボンディングホルマール	不良 ⁽¹⁾	不良 ⁽¹⁾	OK	不良 ⁽¹⁾	OK	OK	OK	OK	OK	OK	可	可	良	良	—
ナイロン	OK	—	OK	OK	—	—	—	—	OK	OK	不良	不良 ⁽²⁾	可	—	良
ホルマール・ナイロン	OK	—	OK	OK	—	—	—	—	OK	OK	良	不良 ⁽²⁾	良	—	不良
ポリウレタン	OK	—	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	優秀	—	良	良	優秀
エポキシ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	優秀	良	良	良	無
ポリエステル	OK	—	OK	OK	—	—	—	—	OK	—	可	不良	不良	不良	無
シリコーン	OK	OK	OK	OK	—	—	—	OK	OK	OK	良	不良	不良	可	無
シリコーン・セラミック	—	—	OK	—	—	—	—	OK	OK	—	可	—	不良	—	無
テフロン・セラミック	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	可	—	不良	—	無
テフロン	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	可	—	不良	—	無
テフロン・シリコーン	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	良	—	不良	—	無
アクリル系	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	可	優秀	—	可	無
クロムオキシド	—	—	OK	—	OK	OK	—	—	—	—	不明	—	不明	—	無

注：(1) 上塗層（ポリビニルブチラール）軟化。

(2) 塩化水素（F-22の分解副産物）に浸される。

(3) 極高温にて銲接性あり。



4. 各国規格

前述のような各種エナメル線，ならびに繊維質絶縁材料を用いたマグネットワイヤがあるが，いずれも各国の規格になっているとは限らず，各社各様の規格を作っているようである。しかし一応わが国ならびに諸外国の代表的規格を示すと第9表のようである。

規格の制定に当っては利害得失を相異にする立場でまとめねばならぬ場合があり，よりよい電線を要求する余り，材料の本質を度外視した試験を採用される場合がままおこる。電線メーカーは電気機器メーカーの材料部門であることに間違いはないので，無理な要求でもあえて作り，その場を押し通される心配があるが，機器の寿命が出る 20～30 年後の結果を誰が見守るかを考えると寒心に耐えない。諸外国の規格をよく調査し，材料の本質と使い方をよく調べ，互にゆずるべきところはゆずって，後日物笑いの種になりたくないものである。

5. 選びかた

前章に述べたとおり，マグネットワイヤの種類はきわめて多く，その性能も多様である。したがってこれらの特性を熟知し，

占積率がよく均一であること。

高温度使用中に導体抵抗の変化を起さぬこと。

可撓性にすぐれていること。

皮膜あるいは被覆の強度の大きいこと。

耐熱，耐寒性のそれぞれの目的に適合していること。

処理用ワニスならびにその溶剤に耐えること。

耐熱軟化性の高いこと。

熱衝撃性に強いこと。

耐薬品性，耐冷媒性などそれぞれの目的に適合すること。

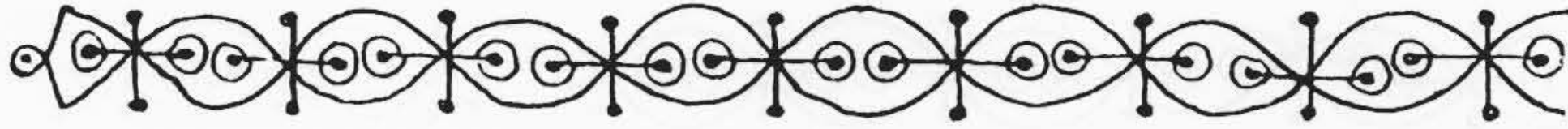
寿命の長いこと。

電線とワニスメーカーの信頼度と系列を考えること。

などの技術的面から，まず第一に選び出した電線がその目的に適合するかどうかを検討してみなければならない。もし致命的欠点が存在しそうな場合は，その特性がよりよいほかのものを各表を参照し，見直してみる必要がある。これ以外に価格も重要であり，価格と性能を照合して決めなければならない。それらが決ったときに，どの程度の仕様で購入するかであるが，まず，外国規格の程度を知り，国内，社内規格をさらに高度化せねばならないかどうか吟味してみるべきであろう。しかし，規格の改訂は簡単に行うべきでなく，改訂したことにより，訂正部分は改善されても，ほかの特性を著しく低下させていることがあるから注意を要する。

第6表 各種エナメル線の長所短所および用途

種 類 (一般名)	特 長	欠 点	用 途
油性エナメル	価格低廉，絶縁耐力優秀	機械的性能 不良 耐溶剤性 不良	小形変圧器，リレー，ソレノイド，層間絶縁コイル，点火栓用コイル，油冷変圧器，ネオン管変圧器
ホルマール	機械的性能優秀，耐熱性良好，各線種サイズに通用可能	耐溶剤性（フェノール類，アルコール）やや不良	高速モータ巻線機用，コイル一般，成型コイル，角形コイル，角線一般
セルフボンディングホルマール	コイルのワニス処理不要，特殊形コイルに好適，全般にホルマール線と同様	耐溶剤性不良（上層皮膜軟化溶解）	特殊形コイル，自己保持コイル，テレビ偏向コイル
ナイロン	機械的性能優秀，銲接性	耐湿性不良，熱変形しやすい	整流子，フィールドコイル，タプトランス，リレーなど銲接を要するもの極性溶剤を含むワニス処理の場合有利
ホルマール・ナイロン	機械的性能優秀	耐湿性，耐衝撃性やや不良	ホルマール線と同様，極性溶剤を含むワニス処理の場合有利
ポリウレタン	高周波，高温における誘電特性優秀，耐薬品，耐湿性良好銲接性	耐熱衝撃性，機械的性能やや不良	電子工学分野からモータまで銲接を要する用途，ラジオ，テレビ用として好適
エポキシ	耐熱性優秀，耐コロナ，耐放射線性良好，耐薬品，耐湿性優秀	機械的性能やや不良	130°C クラスモータおよび変圧器全般，含湿雰囲気，密閉モータに好適
ポリエステル	耐熱性特に優秀，機械的性能良好，絶縁耐力優秀	耐熱衝撃性，耐湿性やや不良（加水分解）	適当な通気とワニス処理により 155°C のモータ，変圧器全般
シリコーン	耐熱性特に優秀，耐薬品，耐湿性良好	耐熱衝撃性，機械的性能やや不良 作業性，耐湿性（密閉中）不良	適当な通気とシリコーンワニス処理により 180°C のモータ，変圧器全般
シリコーン・セラミック	耐熱性特に優秀	機械的性能不良	電工作業に注意すれば 180°C に応用される
テフロン・セラミック	耐熱性きわめて優秀，化学的安定性	機械的性能不良	同上，220°C まで応用される
テフロン	耐熱性優秀，化学的安定性	機械的性能，耐熱軟化，耐コロナ，耐放射線性ならびに作業性不良	導体保護と皮膜の軟化を防護すれば 180°C に応用される
テフロン・シリコーン	耐熱性きわめて優秀，化学的安定性	機械的性能不良，高価	電工作業に注意すれば，250～270°C に使用可能
アクリル系	耐熱性，機械的性能良好，耐冷媒性優秀	作業性やや不良	冷凍機用密閉モータ
クロムオキサイド	熱安定性	機械的性能，耐湿性不良	良好な熱安定性と占積率をもって，丸線角線に応用可能



技術者ノートは繰り返し読み返して役だつものであり、それぞれの専門の手引とすることが必要であり、そのためには規格の内容と論文を記載すべきと思ったが、論文だけでも数百件にもものぼるので、いずれ機会をあら

ためて発表することにして割愛した。
本ノートがマグネットワイヤの需要家にいくぶんでも参考になれば幸である。

第 7 表 各種繊維質絶縁材料を用いたマグネットワイヤの特長と欠点

構 造 材 料	長 所	短 所
綿	低価格、使用経験が長い、摩耗に強い、炭化以下の温度で軟化しない。油やワニスに侵されない。	屈曲部の被覆が良くない、占積率が低い、耐電圧が低い、耐湿性に劣る、使用温度に制限を受ける。
紙	油中での絶縁耐力が良い、低価格、長時間使用できる、綿に比べて占積率が良い、多層に巻ける、炭化温度以下で軟化しない、油、ワニスなどに強い。	耐湿性が劣る、綿に比べて摩耗性が劣る、可撓性が良くない、エナメル線に比べて占積率が悪い、熱安定性に限度がある。
絹	綿に比べて占積率が良い、耐摩耗性が良い、200℃ 以下でショートしない、化学的に強い、小さい線に被覆ができる。	耐湿性が良くない、曲げ部で被覆が良くない、絶縁耐力が低い、価格が高い、熱安定性に限度がある。
ナイロン繊維	綿に比べて占積率良好、耐摩耗性良好、高い軟化温度、化学的に強い、小さい線に応用できる。	耐湿性が悪い、曲げ部の被覆も良くない、耐圧が低い、価格が高い、熱安定性に限度がある。
有機質で固着したガラス	耐熱性が良い、130℃または150℃に使用できる。綿に比べて占積率が良い、ガラス繊維の熱伝導性良好、小さい線に利用できる。	耐摩耗性劣る 鋭く曲げるときれつを生ずる、捻ったり大きい張力をかけたりして巻けない。
シリコンで固着したガラス	耐熱性良好、180℃～220℃ にもたえる。綿と比べて占積率良好、小さい電線にも巻ける、熱導性良好。	摩耗に弱い、鋭く曲げるときれつを生ずる、エナメル線に比べて絶縁耐力が低い、捻ったり、強く引張ったりしないで巻く必要がある。
有機質で固着したガラスーデイクロン	ガラスが軟化に対し信頼できる、耐摩耗性良好、130℃ まで使用できる。綿と比べて占積率良好、ガラスだけより可撓性が良い、熱伝導性良好、小さい電線にも巻ける、接着性良好。	エナメル線に比べて絶縁耐力が低い、捻って巻くことができない。
シリコン固着のガラスーデイクロン	ガラスで軟化に強い、耐摩耗性良好、接着性良好、約 180℃に使用できる、可撓性良好、熱伝導性良好、小さい線にも使用できる。	エナメル線に比べて絶縁耐力が低い。捻って巻けない。
紙 と 綿	耐摩耗性良好、長期間の使用に耐える、油中またはワニス含浸で絶縁耐力が高い、低価格、化学的に強い。	耐湿性が悪い、占積率が良くない、曲げ部の被覆が少し悪くなる、熱安定性に限度がある。
有機質で固めたアスベスト	130℃～150℃ までの耐熱性がある、絶縁耐力が高い、可撓性も良い、化学薬品にも強い。	摩耗に弱い、耐湿性もあまりよくない、容易に完全にワニス含浸できない。
有機質ワニスで固めたガラス補強アスベスト	良好な耐摩耗性、占積率良好、可撓性良好、機器により 130℃～150℃ に使用可能、すぐれた化学的性質、繰り返し過負荷に対する信頼性の高いこと、耐電圧が高い、角線に適する。	耐温性があまりよくない、ワニス含浸が容易に完全にできない。
シリコンで固めたアスベスト	機器により 180℃～200℃ に使用できる。耐圧良好、可撓性もある程度良い、化学的に強い。	摩耗に弱い、耐湿性があまりよくない、占積率も綿より悪い、ワニスが容易に含浸しない。
シリコンで固めたガラス補強アスベスト	良好な耐摩耗性、良い占積率、可撓性が良い、機器により、180℃ または 220℃ に使用できる、化学的に強い、繰り返し過負荷に強い、角線に適している。	耐湿性があまり良くない、ワニスが容易に含浸しない。
エナメルの上に綿	耐摩耗性良好、耐電圧が高い、油中で使用できる、低価格、軟化に強い。	熱安定性が限定されている、占積率が良くない。
エナメルの上に紙	耐電圧優秀、油中で使用可能、比較的占積率が良い、低価格、軟化に強い。	綿に比べて摩耗に弱い、熱安定性に限度がある。
ホルマールの上にガラス	過負荷に耐える、130℃ まで使用できる、占積率が良い。耐湿、耐薬品性良好、小さい線にも使用できる、耐圧が高い	摩耗に弱い、捻って巻けない。

参 考 文 献

(1) 間瀬, 古賀: 日立評論 別冊電線ケーブル特集 42 (昭 32-12)

(2) 間瀬, 江尻: 日立評論 別冊電線ケーブル特集 86 (昭 31-10)

(3) 間瀬, 荻野: 日立評論 別冊電線ケーブル特集 92 (昭 31-10)

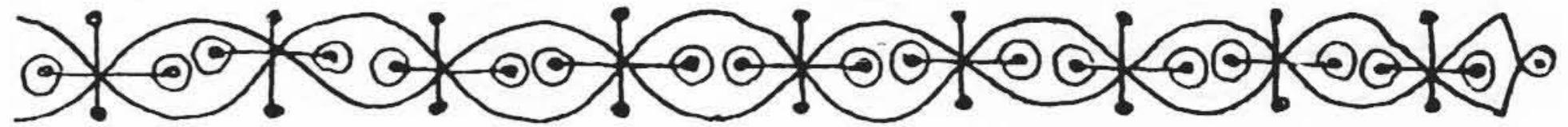
(4) 間瀬: 工業材料 5, 28 (昭 32-2)

(5) 間瀬: 工業材料 5, 77 (昭 32-4)

(6) 間瀬, 渡辺: オーム 44, 40 (昭 32-3)

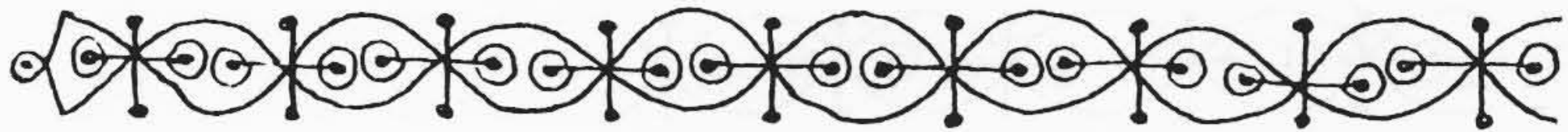
(7) H. L. Saums, W.W. Pendleton: Elec. Mfg 130 (Oct. 1957)

(8) H. L. Saums, W.W. Pendleton: Elec. Mfg 93 (Feb. 1958)



第8表 織 維 質 マ グ ネ ッ ト

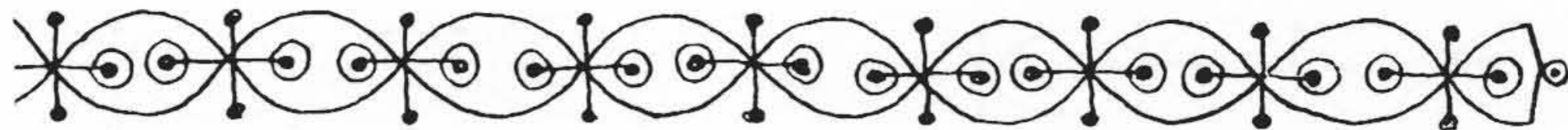
電 線 の 種 類	構 造		熱 区 分 (°C)		可 撓 性	硬さまたは伸び					
	被覆材料	焼付ワニス	熱処理のとき	ワニス処理のとき							
綿 巻 線	綿糸	なし	90	105	常 態 10倍径マンドレル OK	105°C 48 時間加熱後 試験せず	AWG 線番 1~9 10~23 24~34 35~40	最小伸 び(%) 30 25 20 15			
紙 巻 線	紙テープ	なし	90	105	常態 AWG線番 8~12 13~22 23~30	5倍 OK 4倍 OK 3倍 OK	105°C 48 時間加熱後 5倍 OK 4倍 OK 3倍 OK	8~22 25			
絹 巻 線	絹糸	なし	90	105	常態 10倍 OK	105°C 48 時間加熱後 試験せず	10~23 24~34 35~40	25 20 15			
ガラス巻線 (フェノール焼付)	ガラス糸	有機フェノール樹脂	130	130 (乾式変圧器 では 155°C)	常態 AWG線番 1~16 17~36	15倍 OK 10倍 OK	200°C 5時間 加熱後 20倍OK 20倍OK	127°C 24時間 加熱後 15倍OK 10倍OK	1~8 9~15 16~21 22~28 29~30 (ガラス脱離)	30 20 15 20* 15*	
ナイロン糸巻線	ナイロン糸	なし	90	105	常態 10倍 OK	105°C 48 時間加熱後 試験せず	10~23 24~34 35~40	25 20 15			
ガラス巻線 (シリコン焼付)	ガラス糸	シリコン	180	180 (乾式変圧器 では 220°C)	常態 AWG線番 0~1 2~10 14~16 17~40	一重 11倍OK 9倍OK 7倍OK 5倍OK	二重 10倍OK 8倍OK 6倍OK 4倍OK	177°C 24時間後 一重 11倍OK 9倍OK 7倍OK 5倍OK	二重 10倍OK 8倍OK 6倍OK 4倍OK	0~9 10~22 23~40	15 12.5 10
デイクロン ガラス巻線	ガラス糸 とデイクロン糸	有機フェノール樹脂	130	130	常態 AWG線番 1~16 17~36	15倍OK 10倍OK	200°C 5時間 加熱後 20倍OK 20倍OK	127°C 24時間 加熱後 15倍OK 10倍OK	1~8 9~15 16~21 22~28 29~30 *絶縁離脱	30 20 15 20 15*	
デイクロン ガラス巻線	ガラス糸 とデイクロン	シリコン	180 (推定)	180 (推定)	常 態 AWG線番 0~1 2~10 14~16 17~40	一重 11倍OK 9倍OK 7倍OK 5倍OK	二重 10倍OK 8倍OK 6倍OK 4倍OK	127°C 24時間加熱後 一重 11倍OK 9倍OK 7倍OK 5倍OK	二重 10倍OK 8倍OK 6倍OK 5倍OK	1~9 10~22 23~40	15 12.5 10
紙一綿巻線	紙テープ と綿糸	なし	90	105	常 態 10倍 OK	加熱後 試験せず	1~9 10~14	25 20			
アスベスト巻平角 巻線	ガラス糸 補強のア スベスト	有機質ワニス	130	130 (乾式変圧器 では 155°C)	常 態 厚み(mm) 6.4~2.6 2.5~1.3 1.3~0.6	マンドレル比 6倍OK 4倍OK 3倍OK	127°C 24時間加熱後 マンドレル比 6倍OK 4倍OK 3倍OK	厚み (mm) 6.4~1.3 1.3~0.6	最小伸 び(%) 32 30		
アスベストガラス 平角巻線	ガラス糸 補強ア スベストと ガラス糸	有機質ワニス	130	130 (乾式変圧器 では 155°C)	常 態 厚み(mm) 6.4~2.6 2.5~1.3 1.3~0.6	マンドレル比 6倍OK 4倍OK 3倍OK	127°C 24時間加熱後 マンドレル比 6倍OK 4倍OK 3倍OK	6.4~1.3 1.3~0.6	32 30		



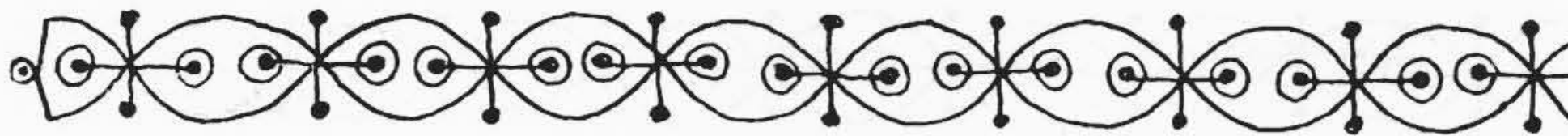
マグネットワイヤ
の見かた選びかた

ワイヤの特性と応用

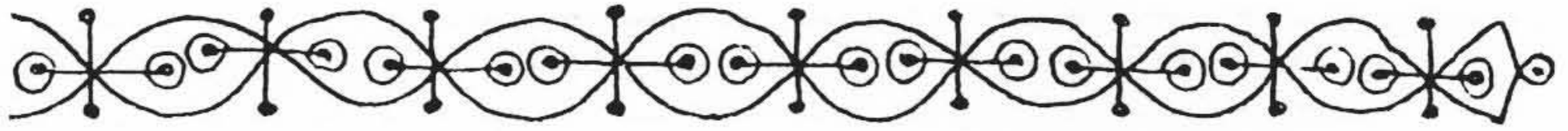
絶 縁 耐 力 (Layer test あるいは metal shot test)				応 用		
試 験 せ ず				ワニス処理または油含浸した場合 105℃以上にならないバラ巻コイル		
AWG線番	マンドレル径(mm)	最小耐圧(V)		鉱物油(普通トランス油) 塩化油 (不燃性油) のどちらのものでも空冷式変圧器に使用。 ワニス処理して 105℃以下のモータ		
8~10	25.4	330				
11~15	19.1	265				
16~20	12.7	265				
21~24	12.7	265				
25~28	6.4	200				
29~30	6.4	200				
試 験 せ ず				古い形の絶縁で、メータなどのような小形コイルに使用		
AWG線番	マンドレル径(mm)	G*	DG*	130~155℃クラスのバラ巻コイルモータ 乾式変圧器		
1~9	直線のまま	75V/mil	90V/mil			
10~23	25.4	360	450			
24~30	6.4	225	400			
(導体と電極間で試験し、最小厚部分のミルあたりの耐圧) (*NEMA 設計値)						
試 験 せ ず				105℃ クラスの絹が使用されていたところにとってかわる		
常態 V/mil			250℃ 5時間 加熱後		180℃~220℃クラスのバラ巻コイルのモータ および乾式変圧器	
AWG線番	マンドレル径(mm)	一重	二重	マンドレル径(mm)		V/mil
1~6	曲げない*	100	100	一重		二重
7~9	76.2	500	900	11~9倍		10~8倍
10~24	25.4	400	600	76.2		76.2
25~40	6.4	250	450	25.4		25.4
*metal shot で試験				6.4		6.4
				250		450
4~9	曲げない	GD*	DGD*	155℃ クラスに使用する乾式変圧器耐摩耗， 接着性良好		
10~23	25.4	75V/mil	90V/mil			
24~30	6.4	360	540			
		225	400			
(*NEMA設計値)						
AWG線番	マンドレル比(mm)	電圧(V/mil)		260℃ で5時間加熱後		
1~6	直線のまま	一重	二重	電圧(V/mil)		
7~9	76.2	100	100	一重	二重	
10~24	25.4	500	900	9~11倍径, 8~10倍径	75 75	
25~40	6.4	400	600	76.2(mm) 76.2(mm)	500 900	
(*metal shot test)		250	450	25.4 25.4	400 600	
				6.4 6.4	250 450	
試 験 せ ず				油入，変圧器，ワニス処理大形モータ		
常 態	200℃ 5時間加熱後		155℃ クラスの乾式変圧器			
100V/mil (直線状で metal shot test)	100V/mil (直線状で metal shot test)					
				220℃ クラスの乾式変圧器		



電 線 の 種 類	構 造		熱 区 分 (°C)		可 撓 性		硬さまたは伸び	
	被覆材料	焼付ワニス	熱処理のとき	ワニス処理のとき				
アスベストーガラス平角巻線	ガラス補強アスベスト	シリコーン	180	180 (乾式変圧器では 220°C)	常 態 厚み(mm) 6.4~2.6 2.5~1.3 1.3~0.6	マンドレル比 6倍OK 4倍OK 3倍OK	127°C 24時間加熱後 マンドレル比 6倍OK 4倍OK 3倍OK	0.250~0.051 32 0.050~0.025 30
アスベストーガラス平角巻線	ガラス補強アスベストとガラス糸	シリコーン	180	180 (乾式変圧器では 220°C)	常 態 厚み(mm) 6.4~2.6 2.5~1.3 1.3~0.6	マンドレル比 6倍OK 4倍OK 3倍OK	177°C 24時間加熱後 マンドレル比 6倍OK 4倍OK 3倍OK	0.250~0.051 32 0.050~0.025 30
エナメル線巻線	油性エナメルと綿	なし	90	105	常 態 10倍 OK		加熱後試験せず	AWG線番 最小伸び 1~9 30 10~23 25 24~34 20 35~40 15
エナメル紙巻線	油性エナメルと紙テープ	なし	90	105	常 態 AWG線番 8~12 5倍OK 13~22 4倍OK 23~30 3倍OK		105°C 48時間加熱後 5倍 OK 4倍 OK 3倍 OK	8~22 25 23~27 20 28~30 10
ホルマールガラス巻線	ホルマールとガラス糸	有機質ワニス	120	130	常 態 AWG線番 1~16 10倍OK 17~30 10倍OK		200°C 5時間 加熱後 170°C 24時間 加熱後 20倍OK 10倍OK 20倍OK 10倍OK	1~8 30 9~15 20 16~21 15 22~28 20* 29~30 15* (*ガラス脱離)
エナメルガラス巻線	油性エナメルとガラス	有機質ワニス	105	105	常 態 AWG線番 4~30 10倍径OK		200°C 5時間 加熱後 170°C 24時間 加熱後 20倍 OK 10倍 OK	1~8 30 9~15 20 16~21 15 22~28 20* 29~30 15* (* ガラス脱離)
エナメルナイロン巻線	油性エナメルとナイロン糸	なし	105	105	常 態 10倍 OK		加熱後試験せず	10~23 25 24~34 20 35~40 15
エナメル絹巻線	油性エナメルと絹	なし	90	105	常 態 10倍 OK		加熱後試験せず	10~23 25 24~34 20 35~40 15
ホルマールアスベスト平角巻線	ホルマールとアスベスト	有機質ワニス	130	130 (乾式変圧器では 155°C)	常 態 厚み(mm) 6.4~2.6 2.5~1.3 1.3~0.6	マンドレル比 6倍 OK 4倍 OK 3倍 OK	127°C 24時間加熱後 6倍 OK 4倍 OK 3倍 OK	厚み(mm) 伸び(%) 6.4~2.6 25 2.5~1.3 20 1.3~0.6 10
ホルマール紙巻線	ホルマールと紙テープ	なし	90	105	常 態 AWG線番 3.26~2.05 1.82~0.64 0.57~0.25	マンドレル比 5倍 OK 4倍 OK 3倍 OK	105°C 48時間加熱後 マンドレル比 5倍 OK 4倍 OK 3倍 OK	AWG線番 伸び(%) 8~22 25 23~27 20 28~30 10
エナメルアスベスト巻線	油性エナメルとアスベスト	有機質ワニス	105	130	常 態 厚み(mm) 6.4~2.6 2.5~1.3 1.3~0.6	マンドレル比 6倍 OK 4倍 OK 3倍 OK	127°C 24時間加熱後 6倍 OK 4倍 OK 3倍 OK	厚み(mm) 伸び(%) 6.4~2.6 32 2.5~1.3 32 1.3~0.6 30
ホルマール綿巻線	ホルマールと綿	なし	90	105	常 態 10倍 OK		加熱後試験せず	AWG 伸び(%) 1~9 30 10~23 25 24~34 20 35~40 15



絶 縁 耐 力 (Layer test あるいは metal shot test)					応 用		
常 態 100V/mil (直線状で metal shot test)					260℃ 5時間加熱後 100V/mil (直線状で metal shot test)		
					220℃ クラスの乾式変圧器		
					高温高圧乾式変圧器 220℃クラス		
試 験 せ ず					綿の耐摩耗，エナメルの耐温，耐油性を組合 せた古い形の材料		
AWG線番	マンドレル径(mm)	一重(V/mil)	二重(V/mil)		油冷およびワニス処理形の機器に使う古い形 の材料，一般に空冷の変圧器，絶縁耐力と良 い耐温性		
8~10	25.4	1,330	2,330				
11~15	19.1	1,165	2,015				
16~20	12.7	1,060	1,765				
21~24	12.7	965	1,515				
25~28	6.4	800	1,200				
29~32	6.4	700	950				
AWG 線 番	マンドレル径(mm)	Layer test		最小電圧(V/mil)		過負荷，耐温，耐電圧の要求されるところに 使用	
		SVSF	DVSF	SVHF	DVHF		
10	25.4	1,525	1,725	2,725	2,925		2 ー ー 1,860 2,060
14	25.4	1,450	1,650	2,425	2,625		4 ー ー 1,790 1,990
18	25.4	1,225	1,425	2,200	2,400		6 ー ー 1,710 1,910
22	25.4	1,150	1,350	1,900	2,100		8 1,000 1,200 1,630 1,830
25	6.4	850	1,050	1,525	1,725		9 1,000 1,200 1,600 1,800
30	6.4	700	900	1,225	1,425		
AWG	マンドレル径(mm)	SVSF	DVSF	SVHF	DVHF	AWG SVSF DVSF SVHF DVHF	瞬間的に高温となる 105℃クラスのコイル 過負荷にたえる
10~11	25.4	1,110	1,290				
42~15	25.4	1,010	1,190	試験せず			
16~20	25.4	910	1,090			8~9 525 600 試験せず	
21~23	25.4	810	990				
24	6.4	675	850				
25~28	6.4	550	725				
29~32	6.4	475	650				
33~36	6.4	425	600				
37~40	6.4	375	550				
試 験 せ ず					計器などで絹に代りつつある		
試 験 せ ず					105℃ の計器類および細いリレー用コイル		
常 態 150V/mil (直線状で metal shot で試験)		200℃ 5時間加熱後 150V/mil (直線状で metal shot で試験)			耐湿性の乾式変圧器		
AWG線番	マンドレル径(mm)	SFP	SFDP	HFP	HFDP	ホルマールの耐湿性と紙の特性を活用した使 用用途	
8~10	25.4	1,330V/mil	1,660V/mil	2,330V/mil	2,660V/mil		
	19.1	1,165	1,500	2,015	2,350		
	12.7	1,065	1,400	1,765	2,100		
	12.7	965	1,300	1,515	1,850		
	6.4	800	1,130	1,700	1,530		
	6.4	700	1,030	950	1,300		
常 態 150V/mil (直線状で metal shot で試験)		200℃ 5時間加熱後 150V/mil (直線状で metal shot で試験)					
試 験 せ ず					苛酷な使用状態にさらされるバラ巻コイル		



第9表 マグネットワイヤの規格一覧表

No.-1. 33-7-12 現在

線 種	規 格 番 号	名 称	発行年月日	備 考
エ ナ メ ル 銅 線 類	JIS C 3202-1957 JIS C 3203-1957 JCS 243 ASA C 9.1-1953 (NEMA MW 1-1953) ASA C 9.5-1955 (NEMA MW 15-1955) ASA C 9.6-1955 (NEMA MW 18-1955) NEMA MW 7-1954 NEMA MW 8-1954 BS 156-1951 BS 1844-1952 BS 1961-1953 BS 2039-1953 IS 449-1953	エナメル銅線 ホルマール銅線 ホルマール平角銅線 Enamel-Coated Round Copper Magnet Wire Single and Heavy Vinyl Acetal-Coated Round Copper Magnet Wire Heavy Vinyl Acetal-Coated Rectangular and Square Copper Magnet Wire Ceramic Insulated Round Copper Magnet Wire with Silicon Coating Ceramic Insulated Round Copper Magnet Wire with Tetrafluorsethylene Coating Enamelled Round Copper Wire (Oleo-Resinous Enamel) Amend Enamelled Round Copper Wire (Enamel with Vinyl Acetal Base) Enamelled Round Copper Wire (Oleo-Resinous Enamel) Metric Units Enamelled Round Copper Wire (Enamel with Vinyl Acetal Base) Metric Enamelled High-Conductivity Annealed Round Copper Wire (Oleo-Resinous Enamel)	1957-11-25改正 1957- 6-28改正 1953- 7-10制定 1955-11-23制定 1955- 4 1954-12 1954-12 1955-4 1952- 1953- 1953- 1953-	審議中
	DIN 46435 Blatt 1	Kupfer-Runddrähte lackisoliert und doppelt-lackisoliert エナメル絶縁および二重エナメル絶縁丸銅線 (Kupfer-Lackdrähte und Doppellackdrähte-rund) (エナメル丸銅線および二重エナメル丸銅線) Masse 寸法	1954-12	
	DIN 46435 Blatt 2	Kupfer-Runddrähte lackisoliert und doppelt-lackisoliert エナメル絶縁および二重エナメル絶縁丸銅線 (Kupfer-Lackdrähte und Doppellackdrähte-rund) (エナメル丸銅線および二重エナメル丸銅線) Technische Lieferbedingungen 技術的引渡条件	1954-12	
	DIN 46436 Blatt 1	Kupfer-Runddrähte isoliert 絶縁丸銅線 ein-und mekrfack besponnen 一重および多重被覆	1954-12	
	DIN 46436 Blatt 2	Kupfer-Runddrähte isoliert 絶縁丸銅線 lackisoliert und ein-und mekrfack umspinnen エナメル絶縁および一重および二重被覆		
	DIN 46436 Blatt 3	Kupfer-Runddrähte lackisoliert エナメル絶縁丸銅線 Technische Lieferbedingungen 技術的引渡条件	1954-12	
	DIN 46453	Kupfer-Runddrähte isoliert 絶縁丸銅線 Prufverfahren 試験方法	1954-12	
	DIN 46455	Runder lackisolierter Aluminumdraht エナメル絶縁丸 アルミニウム線 Technische Lieferbedingungen 技術的引渡条件	1943- 3	
巻 線 類	JIS C 3204-1953 JCS 31-1957 JCS 239-1954 JCS 240-1954	綿巻銅線および絹巻銅線 二重綿巻平角銅線 ガラス巻銅線 二重ガラス巻平角銅線	1953-10-2 1957- 1 1954- 1954-11	改訂審議中
	JCS 241-1956	紙巻平角銅線	1956-7	
	JCS 193-1950	エナメル綿巻およびエナメル絹巻銅線	1950-10-20	
	ASA C 9.2-1953 (NEMA MW 11-1953) ASA C 9.3-1953 (NEMA MW 21-1953) ASA C 9.4-1953 (NEMA MW 22-1953) ASA C 9.7-1955 (NEMA MW 32-1955) NEMA MW 31-1956 BS 1258-1946 BS 1497-1948 BS 1791-1951 BS 1815-1952 BS 1933-1953 BS 2084-1954 BS 2479-1954 BS 2480-1954 IS 450-1953	Cotton Covered Round Copper Magnet Wire Silk Covered Round Copper Magnet Wire Nylon Fiber Covered Round Copper Magnet Wire Double Paper Single Cotton Covered Rectangular and Square Copper Magnet Wire Single Paper Covered Round Copper Magnet Wire Textile Covered Bunched Enamelled Copper Wire Conductors Impregnated Asbestos-Covered Solid Copper Conductors. (Amend) Cotton Covered Round Copper Wire Enamel (Oleo-Resinous) and Cotton Covered Round Copper Wires Varnish-Bonded, Glass Covered Round Copper Wires Cotton Covered Round Copper Wires Enamel (Oleo-Resinous) and Silk or Rayon Covered Round Copper Wire Silk or Rayon Covered Round Copper Wire Cotton Covered High-Conductivity Annealed Round Copper Wire	1953- 7-10 1953- 7-10 1953- 7-10 1955-4 1956-9 1946 1949- 7 1951- 1952- 1953- 1954- 1954- 1954- 1954- 1953-	
	DIN 46434 Blatt 1	Flachdrähte isoliert Flachseile isoliert 絶縁平角線および絶縁平角撚線 Zunahme der Breite und Dicke bei Isolierung druck Kapferseide, Baumvolk Folie, Glasside, Glimmer- Gowebeland. 銅絹糸, 木綿, 箔, ガラス, 絹糸, マイカテ ープ絶縁による幅および厚さの増加	1955-9(案)	
	DIN 46434 Blatt 2	Flachdrähte isoliert Flachseile isoliert 絶縁平角線および絶縁平角撚線 Zunahme der Breite und Dicke bei Isolierung druck papier 紙絶縁による幅および厚さの増加	1955-9(案)	
	DIN 46434 Blatt 3	Flachdrähte isoliert Flachseile isoliert 絶縁平角線および絶縁平角撚線 Technische Lieferbedingungen 技術的引渡条件	1955-9(案)	