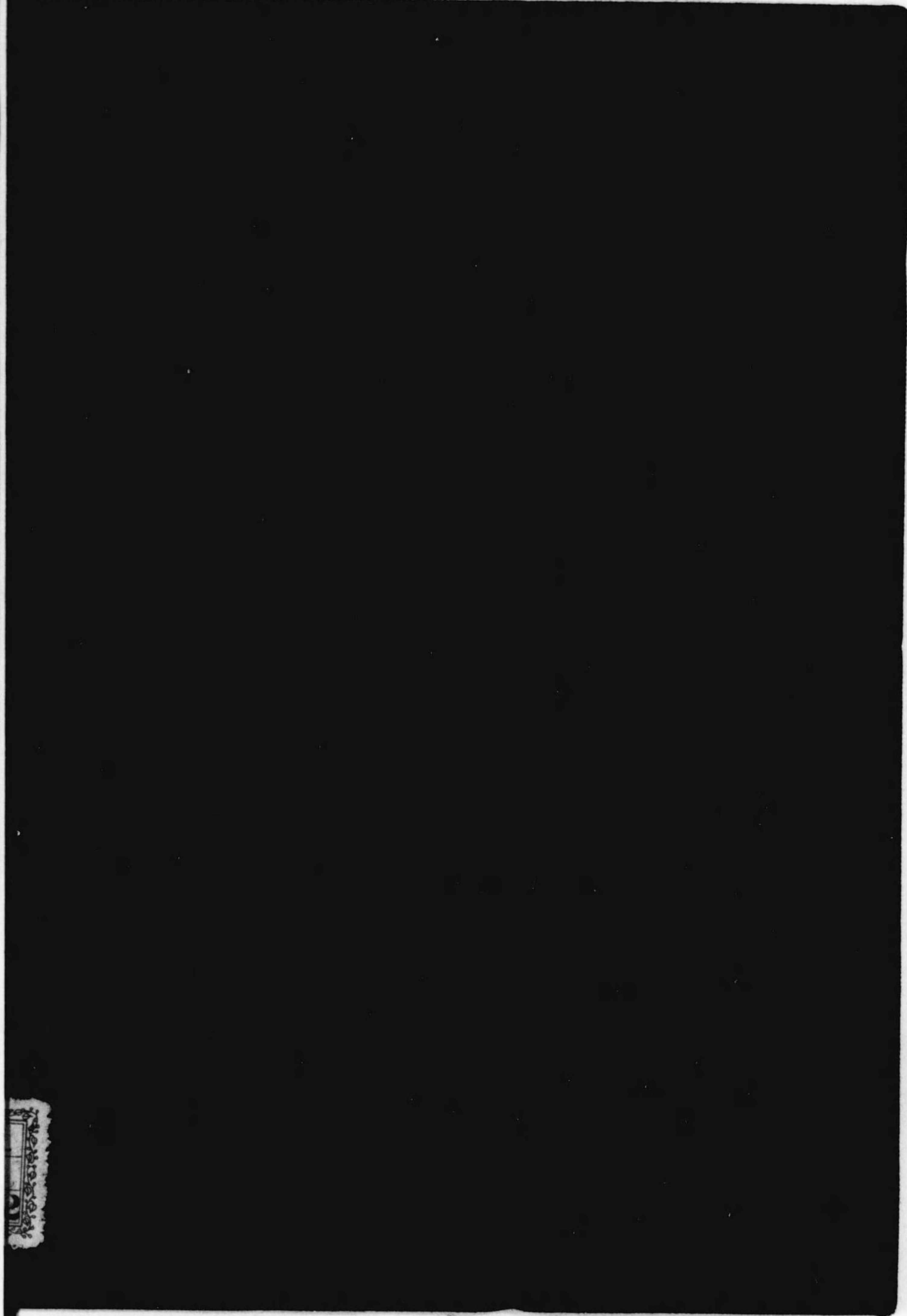




始



電機器材料

401  
152

省  
15.3. -5  
(版出通)

特 229  
428



財 團 法 人  
工 業 教 育 振 興 會



## 例 言

1. 本書は中等工業學校電氣科生徒に電氣機械器具用材料の基本的性質の一般を授けるために編纂したものである。

2. 内容は中級學年で毎週1時間又は2時間宛、1箇年分を目標として、伸縮出来るやう編んである。

3. 従來の材料學は主として發電機・電動機 of 材料のみに限られてゐたが、時代の趨勢に鑑み、通信器關係の材料に就ても充分考慮した。

4. 術語の統一合理化は、我が國技術が大陸に進出し、又材料資源が廣範圍に交流する當今に於いて、一刻も忽せに出來ないことである。本書では昭和十四年二月企畫院制定の術語及び文字にしたがひ、例へばボルト(ヴォルト)、ケーブル(電纜)、繼鉄(繼鐵)等を用ひた。

5. 本書は工業教育研究會の電氣材料研究委員會に於て、十餘回の會合を重ねて審議脱稿したものであるが、この機會に諸資料を提供された各方面に滿腔の謝意を表す。

昭和15年1月

工業教育研究會

# 電機器材料目次

## 第1編 導電材料

	頁
<b>第1章 導電材料總說</b>	
1.1.1 導電材料の種類	1
1.1.2 導電材料の一般的性質	2
抵抗 固有抵抗 温度係数	
<b>第2章 電線</b>	
1.2.1 銅と銅線	5
1.2.2 電線の太さ	7
1.2.3 導電率と標準銅	7
1.2.4 各種電線	8
銅線 單線と撚線 鉄線及び鋼線 アルミニウム線 鋼心アルミニウム線 珪鋼線 磷鋼線 カドミウム線 コーソン合金線 ベリリウム線 銅覆鋼線	
1.2.5 絶縁電線	14
縮巻線 絹巻線 エナメル線 アスベスト線 パラフィン線 第一種第二種絶縁電線 第三種第四種絶縁電線 コード 通信用ケーブル 電力用ケーブル	
<b>第3章 抵抗材料</b>	
1.3.1 抵抗器用材料	19
洋銀 プラチノイド コンスタントン アドバン	

ス線 マンガニン 鋳鉄 水 炭素	
1.3.2 電熱用抵抗	21
ニクロム線 鉄,クロム,アルミニウム合金線 炭珪素化合物 白金 タングステン	
1.3.3 高抵抗材料	24
第4章 特殊導電材料	
1.4.1 ヒューズ	25
1.4.2 刷子	26
1.4.3 真空管用導体	28

## 第2編 磁氣材料

### 第1章 磁氣材料の一般性質

2.1.1 磁性体	30
2.1.2 磁化特性	31
磁化力 磁束密度 導磁率 B-H曲線	
2.1.3 ヒステリシス	33
残留磁氣(Br) 保磁力(Hc)	
2.1.4 渦流損	35
2.1.5 鉄に及ぼす含有物の影響	36
2.1.6 磁性に及ぼす外部作用の影響	37

### 第2章 各種磁性材料

2.2.1 各種鉄合金の磁氣的性質	39
2.2.2 珪素鋼板	40

2.2.3 高導磁率合金	43
パーマロイ 50%ニッケル鉄合金 超パーマロイ パーミンバー(定初導磁率合金)	
2.2.4 壓粉鉄心	46
壓粉鉄 壓粉パーマロイ センダスト	
2.2.5 不感磁性鋼	48
第3章 永久磁石鋼	
2.3.1 永久磁石材	50
2.3.2 各種の磁石材料	51
炭素鋼 タングステン鋼 クロム鋼 コバルト鋼 KS鋼 新KS鋼 MK鋼 酸化金属磁石	
2.3.3 各種磁石鋼の比較	54
2.3.4 磁氣録音用の材料	55

## 第3編 絶縁材料

### 第1章 誘電体の一般的性質

3.1.1 誘電体の性質	58
偏極 電氣傳導絶縁抵抗 誘電体吸収 残留現象 双極分子 誘電体損失	
3.1.2 誘電体の絶縁破壊	63
誘電体の絶縁耐力 誘電体の絶縁破壊 放電の絶縁材料特性表	

### 第2章 固体絶縁材料

3.2.1 礦物質絶縁材料	70
---------------	----

	雲母 マイカナイト 雲母型造物 大理石 磁器 硝子 硝子ファイバー	
3.2.2	有機物質絶縁材料	74
	ゴム系絶縁材料 ガツタパーチャ 天然樹脂系 コロホニー 琥珀シエラック 人造樹脂 ベーク ライト コンパウンド 石油系固体絶縁物	
3.2.3	高周波絶縁材料	81
	硝子系 ステアタイト系 酸化チタニウム系 ス チロール樹脂	
<b>第3章 繊維質絶縁材料</b>		
3.3.1	石 綿	86
3.3.2	木 綿	87
3.3.3	黄麻(絨斗)	87
3.3.4	紙	88
	プレスボード バルカナイズトファイバー パー チメントペーパー	
3.3.5	絹	91
3.3.6	人造絹絲及びステープルファイバー	91
<b>第4章 油性絶縁材料</b>		
3.4.1	絶縁油	93
3.4.2	絶縁用礦油	94
3.4.3	絶縁用植物油	96
3.4.4	絶縁塗料	97
	ワニス エンバイヤクロス エナメル線	

3.4.5	絶縁混和物	100
-------	-------	-----

## 第4編 構造材料

### 第1章 総 説

4.1.1	機械的強度其ノ他	103
-------	----------	-----

### 第2章 鉄及び鋼

4.2.1	鉄中の不純物	104
4.2.2	銑 鉄	106
4.2.3	可鍛鉄	106
4.2.4	鑄 鉄	107
4.2.5	可鍛鑄鉄	108
4.2.6	鑄 鋼	108
4.2.7	歴延鋼材	108
4.2.8	鍛鋼品	109
4.2.9	鋼 線	110
4.2.10	特殊鋼	110
4.2.11	バインド線	110

### 第3章 非鉄金属

4.3.1	銅	112
4.3.2	黄銅(真鍮)	112
4.3.3	青 銅	113
4.3.4	軸受金属	114



4.3.5	軽合金	114
4.3.6	鑛	115
4.3.7	ダイカスト	115
第4章 非金属材料		
4.4.1	木材	117
4.4.2	コンクリート	117

## 附 録

1.	標準軟銅線	118
2.	標準硬銅線	119
3.	標準軟銅燃線	120
4.	標準硬銅燃線	121
5.	ニッケルクロム線性能表	122
6.	安全電流	123
7.	鉄及鋼の記号	124
8.	非鉄金属の記号	125
9.	暫定絶縁電線	126

# 電 機 器 材 料

## 第1編 導電材料

### 第1章 導電材料總説

#### 1.1.1 導電材料の種類

電気工業に於て導電材料として用ひられる物質は極めて廣汎に亙るが、用途に依つて次の3種に大別される。

1. 電 線
2. 抵抗材料
3. 特殊導電材料

電線は電流の通達を唯一の目的とする材料であり、抵抗材料は電流の調整發熱等に使用するものであり、特殊導電材料は前二者以外特別の用途に供するものである。

#### 1.1.2 導電材料の一般的性質

**抵抗及固有抵抗** 導体は凡て抵抗を有し、その値は長さに正比例し、断面積に反比例する。

今  $R$  導体の抵抗(オーム)

$l$  導体の長さ(櫃)

a 導体の断面積(平方糎)

とすれば

$$R = \rho \times \frac{l}{a} \quad \text{となる。}$$

この式で  $\rho$  は導体固有の係数で**固有抵抗**と稱し、單位面積、單位長さの導体の有する抵抗に相當する。その單位は**オーム糎**、或は**マイクロオーム糎**で表はし  $\Omega\text{cm}$ ,  $\mu\Omega\text{cm}$  なる記号を用ひる。

固有抵抗は稀には單位質量の導体を一樣の断面積の單位の長さに引延した時の抵抗を以て表はすこともある。この時にはこれを特に**質量固有抵抗**と稱し、これに對し前述の  $\rho$  を**体積固有抵抗**と稱する。然し單に固有抵抗と云へば体積固有抵抗のことである。

**抵抗の温度係数** 一般に導体の抵抗は温度によつて變化する。普通金属類は温度の上昇と共にその抵抗を増大し、炭素、電解液等は温度の上昇と共にその抵抗を減ずる。

今  $R_{t_1}$   $t_1^\circ\text{C}$  に於ける抵抗

$R_t$   $t^\circ\text{C}$  に於ける抵抗 とすれば

$$R_t = R_{t_1} \{1 + \alpha_{t_1}(t - t_1) + \beta_{t_1}(t - t_1)^2 + \dots\}$$

實用上  $R_t = R_{t_1} \{1 + \alpha_{t_1}(t - t_1)\}$  となる。

$\alpha_{t_1}$  は温度  $t_1$  を基準とした**温度係数**(詳しくは定質量温度係数)と名づけ、 $100^\circ\text{C}$  附近以下常温の範圍内では定数と考へられる。

次表は導電材料として用ひられる主なる金属の種

類及び諸性質を示す。

第1.1表 金属の種類とその性質

材 質	固有抵抗 ( $\mu\Omega\text{cm}$ ) ( $20^\circ\text{C}$ )	固有抵抗 の温度係 数 ( $20^\circ$ 基準)	比 重 ( $20^\circ\text{C}$ に 於て $4^\circ\text{C}$ の水に對 し)	比 熱	熱膨脹 係 數 (線) ( $20^\circ\text{C}$ )	熔融点 ( $^\circ\text{C}$ )	沸騰点 ( $^\circ\text{C}$ )
銀 (軟)	1.62	0.0038	10.5	0.056	$18.9 \times 10^{-6}$	960.5	1970
銅 (軟)	1.72	0.00393	8.9	0.092	16.6	1083	2310
金 (軟)	2.40	0.0034	19.3	0.032	14.2	1063	2240
クロミウム	2.6	—	7.1	—	82	1615	—
アルミニウム	2.82	0.0039	2.7	0.212	23.0	660	1800
タンダステン	5.48	0.0045	19.3	—	4	3370	—
亜 鉛	6.1	0.0037	7.14	0.095	33	419.4	927
ニ ッケル	6.9	0.006	8.9	0.109	12.8	1452	—
カドミウム	7.5	0.0038	8.65	—	29.8	321	—
鉄	10.0	0.0050	7.86	0.114	11.7	1535	—
鋼	20.6	—	7.86	0.116	11.0	—	—
鑄 鉄	57~114	—	7.2	0.130	12.0	—	—
白 金	10.5	0.003	21.45	0.032	3.9	1755	—
錫	11.4	0.0042	7.35	0.056	20	232	2270
鉛	21.9	0.0039	11.37	0.031	29.1	3275	1525
水 銀	95.8	0.00089	13.55	0.2	—	-89	354
蒼 鉛	115	0.004	9.8	0.031	13.3	271	1420
カドミウム銅	2	0.0034	8.8	—	16.6	—	—
珪 (青) 銅	2~4	0.0018	8.8	—	16.5	—	—
磷 青 銅	2~6	0.0035	8.6	—	16.6	—	—
眞 鍮	5~7	0.0017	8.1	0.094	18.3	—	—
アルミニウム 青 銅	12	0.001	—	—	—	—	—

第1.2表 合金の種類と性質

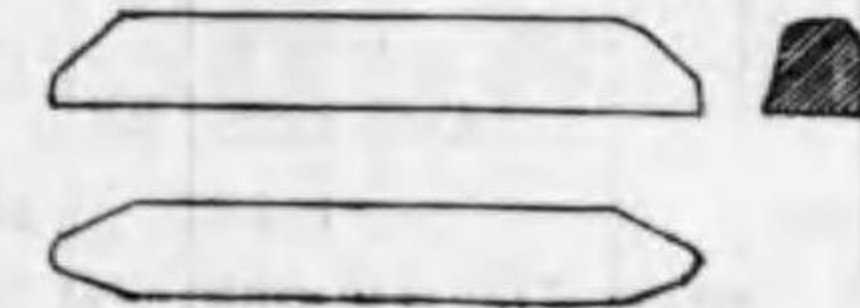
合金	主成分	比重	固有抵抗	温度係数	膨脹係数 $\times 10^{-4}$	抗張力
銅	Fe C	7.85	20.6		0.11	5000~2000
珪素銅	Fe Si	7.6	62.5	0.00075	0.11	6000
洋銀	Ni Cu Zn	8.4~8.78	17~41	0.00004~0.00038	0.184	1500~5600
眞鍮	Cu Zn	8.38~8.5	5~7	0.0014~0.002	0.19	3500~5600
磷青銅	Cu Sn P	8.6	2~6	0.003~0.004	0.17	2500~7000
珪素青銅	Cu Sr Si	8.8	2~4	0.0023~0.0038	0.17	4500~7600
フェロニッケル	Fe Ni	8.2	46.0	0.0021	0.1	
デュラルミン	Al Cu Mg S	2.8	3.35	0.00218	0.226	3500

## 第2章 電線

## 1.2.1 銅と銅線

銅は固有抵抗銀に次いで小さく、機械的強度も比較的大きく、且つ價格も低廉であるので廣く電線として用ひられる。次に銅電線の製造法を略述する。

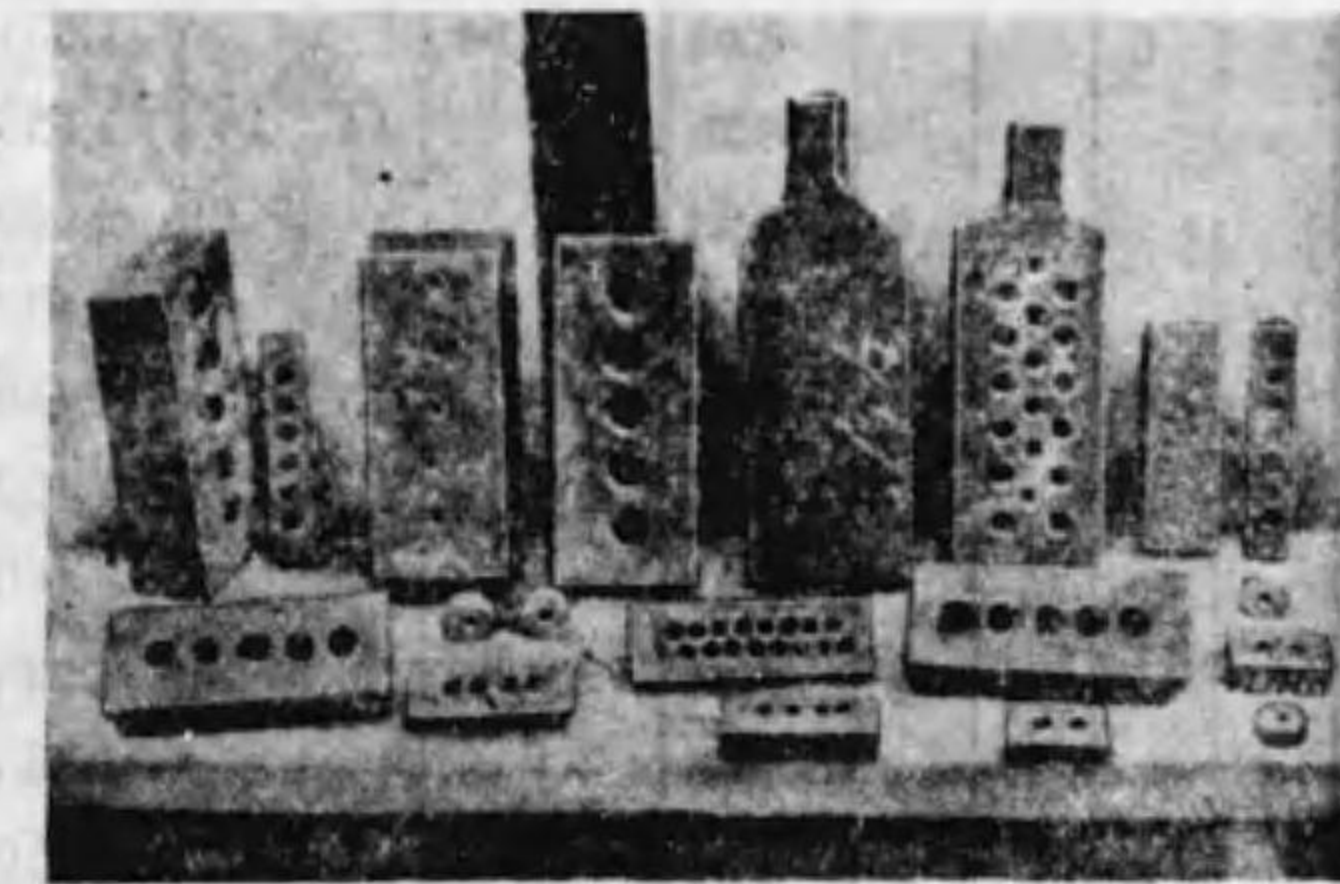
銅は不純物を含有する時は著しく、その固有抵抗を増大するから出来るだけ純粋な電氣銅を原料とする。電氣銅は普通の精煉法により銅の鉱石から得た粗銅を電氣精煉法によつて更に純粋になされたもので純度は凡そ99.98~99.99%位に達する。この電氣銅を溶解して鑄型に流し込み所謂棹銅とする。棹銅は次の図に示す様な形状をなしその大きさは大體長さ90cm、切断面積(90×95)~



第1.1図 棹銅

(115~20)mm<sup>2</sup>位である。この棹銅を800~900°Cに加熱し漸次小さい溝付ロールにかけ壓延して直径10~25mm位の線とする。これが所謂荒引線で、その表面は

酸化して居るから稀硫酸でこれを除き、更に常温で第1.2図に示す様なダイスにかけて細い線に引き出す。この様にして得た銅線は結晶組織に歪を生じ硬化して居り且つ固有抵抗も



第1.2図 ダイスの形状

増加して居る。硬銅線と云はれるのはこれで、この硬銅線に焼鈍し作業を加へたものが軟銅線である。この焼鈍し作業を行ふには電線を450~600°C位に加熱して後ゆるやかに冷却する。

第 1.3 表

ゲージ				直径	ゲージ				直径	ゲージ				直径			
mm G	BW G	BS	SWG	(mm)	mm	BW G	BS	SWG	(mm)	mm G	BW G	BS	SWG	(mm)			
12	5/0	7/0		12.70	2.9		9		2.900	.40				.4000			
				12.00					2.769					.3759			
	4/0	6/0		11.79	2.6		12		2.642					.27			.3606
				11.68					2.600								.3556
10	4/0	5/0		11.53	10				2.591	.35				.3500			
				10.97					2.413					.3454			
	3/0	3/0		20.80	13				2.337	.29				.3302			
				10.40					2.310					.3200			
	9	3/0	4/0		10.16	2.3		11		2.300	.32				.3150		
					10.00					2.108					.3048		
		2/0			9.65	14				2.057	.30				.2946		
					9.45					2.035					.2900		
8	2/0			9.27	2.0				2.000					.2870			
				9.00					1.829					.2743			
	0	2/0		8.84	1.8		15	13	15	1.800	.26				.2600		
				8.64						1.651					.2540		
	7	0	0		8.25	1.6		14	16	1.626	.23				.2337		
					8.23					1.600					.2300		
1		1		8.00	1.6		17		1.473	.23				.2286			
				7.62					1.448					.2261			
6.5	1	1		7.35	1.4		17		1.422	.20				.2134			
				7.21					1.400					.2032			
	2	2		7.01	1.4		16		1.295	.33				.2007			
				7.00					1.245					.2000			
3			6.58	1.8		18		1.219	.36				.1930				
			6.54					1.200					.1803				
3			6.50	1.2		17		1.143	.18					.1800			
			6.40					1.067						.1778			

### 1.2.2 電線の太さ

電線の太さは多年線番号で表はすのを慣例としたが、我國ではメートル法実施に伴ひ、mm 直径を以て表示することになり線番号は用ひぬことになった。この線番号表示法は直径最大 12 mm 最小 0.1 mm の間を 42 階段に分けたものである。

従来用ひた線番号には **B.S.線番号** (Brown and Sharp wire Gauge), **S.W.G.線番号** (Standard wire Gauge), **B.W.G.線番号** (Birmingham wire Gauge) がある。BS線番号は主に米國で用ひられ、直径 0.5 吋を #4/0, 0.005 吋を #36 とし、その間を幾何級数をなす 39 階に分けたもので相隣る番号の徑の比は 1.12293 である。

SWG線番号, BWG線番号は共に英國に於て用ひられ、SWGはBWGの缺點である連続してゐる線番号間の直径差が規則正しくなつて居ない点を改正し正しく配列したものである。

これら諸電線番号を比較して示すと 6 頁の表のようになる。

### 1.2.3 導電率と標準銅

固有抵抗の逆数を導電率といひ、ある導体の導電率と萬國標準銅の導電率との比をパーセント導電率と稱し、一般に導体の導電度を表はすのに用ひられる。而して基準となる可き標準軟銅は萬國工藝委員會で次の様に定められて居る。

密度は 20°C に於て 8.89 瓦

容積固有抵抗はその断面積 1 平方耗長さ 1 米につき 20°C に於て  $\frac{1}{58} = 0.017241 \text{ オーム}$

質量固有抵抗は長さ1米質量1瓦で  $\frac{1}{58} \times 8.89 = 0.15328$  オーム  
 抵抗の温度係数は20°Cに於て1°Cに就いて

$$\frac{1}{254.45} = 0.00393$$

膨脹係数は1°Cに就いて0.000017

次に20°Cに於ける各種導体のパーセント導電率を示す。

第1.4表 導電率

材 質	パーセント導電率 (20°C)	材 質	パーセント導電率 (20°C)	材 質	パーセント導電率 (20°C)
銀 (軟)	106	真 鉛	34	錫	15.1
標準軟銅	100	亞 鉛	28.2	鉛	7.9
金 (軟)	71.6	ニッケル	25	水 銀	1.8
アルミニウム	61	白 金	16.4	蒼 鉛	1.5
カドミウム銅	86	鉄	17.2	炭 素	0.04
珪 (青) 銅	45	銅	8.4	黒 鉛	0.2

1.2.4 各種電線

電線は電流の送達を唯一の目的とするものであるから次の条件を具備したものでなければならぬ。

- 導電率の高いこと
- 機械的強度大なること
- 比重小なること
- 価格低廉なること

この条件を満足するものとして金属線で次の如きものが實用される。

銅 線

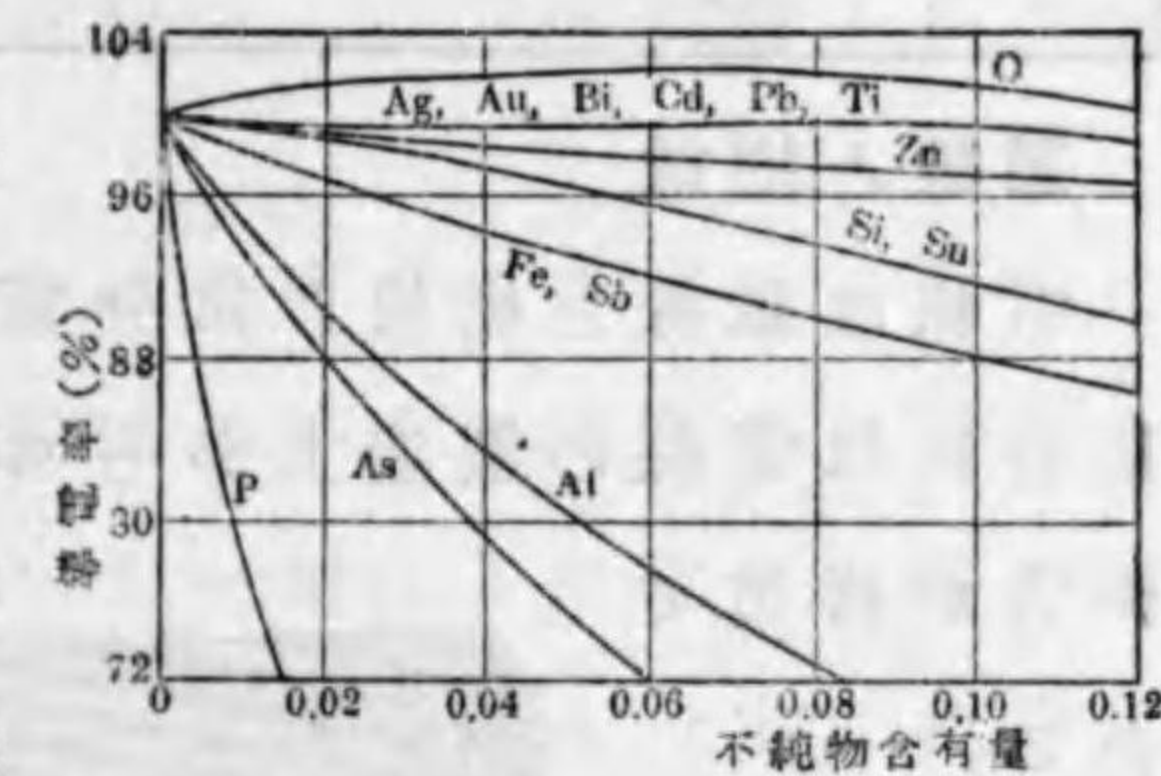
銅は導電率高く機械的強度も比較的大きく且つ價格低廉であるので電線として廣く用ひられる。大体次表に示す様な性質を有し硬銅線と軟銅線がある。

第1.5表 銅の性質

比 重	8.89	固有抵抗	1.69 μohm · cm
熔 融 点	1083°C	抵抗温度係数	0.00393 20°C
沸 騰 点	2310°C	膨脹係数	0.0000165

銅に不純物含有するときは下図に示す様に一般に導電率を低下するが反對に抗張力は増加する。亦濕氣ある空氣中に長く

放置して置くと塩基性炭酸銅を生じ、硫化ゴムに接觸して置くと銅は硫化されゴムは變質する。ゴム絶縁線に錫メッキをするのはこれ



第 1.3 図

を防ぐ爲めである。また銅は壓延や引線等機械的加工を受けると導電率と伸びを減じ抗張力を増す性質を有する。それで加工率の大なる細線程その影響が著しい。これを回復するには450°~600°Cに加熱し焼鈍しを行へば良い。この熱處理をしないものが硬銅

線で熱処理を施したものが軟銅線である。

次表に示す様に硬銅線は軟銅線に比べて多少導電率は劣るが、抗張力は優つて居る。それで硬銅線は主として機械的強度の大きいことを必要とする屋外架空線として使用し、軟銅線は導電率の大きいことや可撓性を特に必要とする所即ち屋内配線や電気機械の線輪用として使用する。

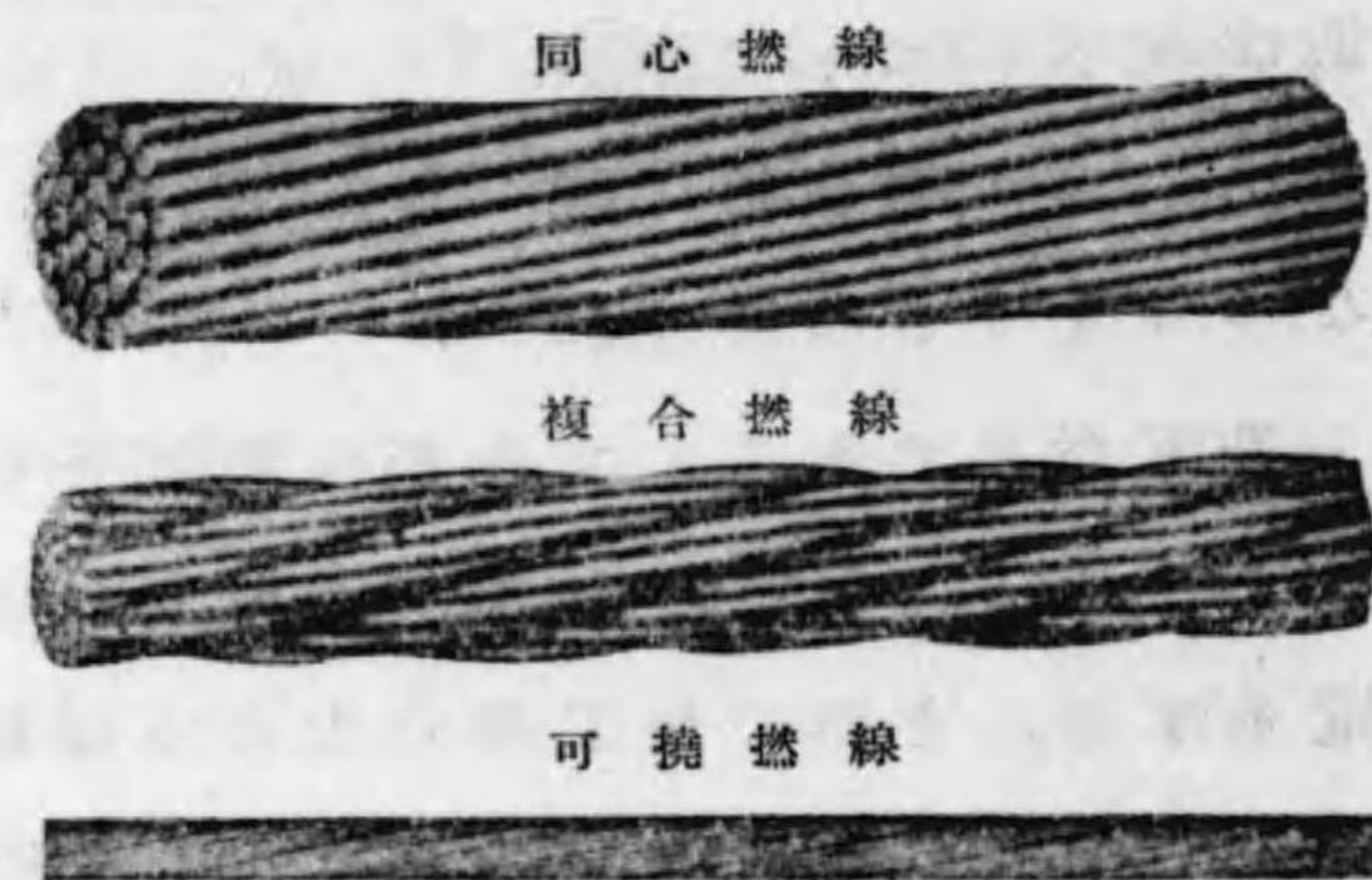
第 1.6 表

銅線の種類	導電率 %	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>
硬銅線	96~97	34~45
軟銅線	97~99	23~28

単線と撚線

電線は単線と撚線とに分類され、切断面積の大きな場合には電線の製造上からも使用上からも撚線にした方が得策である。

撚線を分類すると、同心撚線、複合撚線、可撓撚線の3種になる。右図に示す様に同



第 1.4 図

心撚線は一條又は數條の中心線の周圍に同種の線がある撚程を以て螺旋形に一層乃至數層、撚方向は反對に捲きつけたもの、複合撚線は同心撚線を更に數條撚合せたもの、可撓撚線は單に細い素線を同方向に撚合せたものである。

鉄線及び鋼線

銅線と同様硬引線と焼鈍し線と2種ある。銅線とに比べ導電率低く耐蝕性が小さいが、抗張力は極めて大きく價格も低廉であるので長い徑間(span)の送電線、電信電話線として、或は鋼心アルミニウム線、銅覆鋼線の心線として用ひられてゐる。普通耐蝕性を高めるために亜鉛鍍を施す。

鉄線の導電率及抗張力は含有する不純物と加工によりて著しくその値が變はるが、その導電率は純粹な鉄は17%、鑄鋼は10%、マンガ鋼は3%位で、抗張力は40~70 kg/mm<sup>2</sup>程度である。溫度係数も一定の標準はないか大体0.005位とされて居る。

アルミニウム線及鋼心アルミニウム線

アルミニウム線は銅線に比べて次表に示す様に導電率は勿論抗張力も遙かに劣るが、比重が極めて小さいので、その特性を利用して長距離電壓の送電線として銅線の代りに使用されて居る。即ちアルミニウム

線を使用するときは同一抵抗に對して重量は約 $\frac{1}{2}$ であるから送電線を支持する鉄塔の費用を節約することが出来る。然し他方短所もあり、鑢付困難で且つ機械的強度が小なるために弛度が大きくなり、又太さが増す関係上風雪の被害を多くする傾きがある。

第1.7表 銅線とアルミニウム線の比較

	導電率 %	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	比 重
銅 線	97	35~40	8.89
アルミニウム線	62	8~25	2.68

猶ほアルミニウム線の機械的強度を増すために鋼心アルミニウム線がある。これはアルミニウム撚線の中心に亜鉛鍍した鋼鉄線を撚合せたもので普通30 kg/mm<sup>2</sup>位の抗張力を有してゐる。

### 珪銅線及び磷銅線

青銅即ち銅と錫との合金に少量の珪素を加へてつくつたものが珪銅線で、その導電率によつて分類され、性質は次表の通りである。珪銅線の導電率は銅線の

第 1.8 表

珪銅線の種類	固有抵抗 μohm cm 20°C	温度係数 20°C	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>
50% 導電率	3.448	0.00197	45
45% "	3.831	0.00177	—
40% "	4.310	0.00157	70

約 $\frac{1}{2}$ で價格も高價であるが、機械的強度が極めて大きいので、長い徑間の架空線や電車線或は積雪の被害多い架空線、電信電話線に適する。

磷銅線は珪銅線に於ける珪素の代りに少量の磷を加へたもので、導電率は珪銅線よりも更に低い。然し性質が極めて強靱になるので制御器用バネや弾性を必要とする導線として用ひる。

### カドミウム線

銅にカドミウムを加へると、導電率には餘り影響はないが抗張力は非常に増加する。この性質を利用したものがカドミウム線で普通1%程度のカドミウムを加へる。その導電率は85%、抗張力65 kg/mm<sup>2</sup>位で用途は珪銅線と殆ど同様である。

### コーソン合金線

ニッケル、クロム、コバルト、等珪素化合物の少量を銅に加へ熱處理を施したものがコーソン合金線で、普通900°~950°C位の温度で焼入れ更に580°C位の温度で焼鈍して造る。導電率は25~45%で銅より低い抗張力は75~94.5 kg/mm<sup>2</sup>位で非常に大きく、耐蝕性も強く、海水にも侵されない。また高温度に於ても、抗張力の低下が僅少であるので主として長徑間の大抗張力を要する架空線や電車線として使用し、或は銅線と撚合せて銅覆銅線の代用とする。

### ベリリウム線

銅にベリリウムを加へ適當な熱處理を施したもので、相當高温になつても抗張力が低下しないのが特徴である。その導電率は凡そ35

%抗張力は  $135 \text{ kg/mm}^2$  程度で過電流に依る過熱やスパークや摩擦の甚だしい處に適する。

### 銅覆銅線

銅線の抗張力を補ふために中心に銅線を用ひその周圍を銅で被覆したもので、普通銅棒の周圍に熔融した銅を注入して棒銅を造り銅線と同様壓延引出して造る。その性質は銅と銅との割合に依り異なるが銅30~60%のものでは導電率30~50%、抗張力は  $70\sim 90 \text{ kg/mm}^2$  程度である。主として地線、或は電信、電話線として使用する。

## 1.2.5 絶縁電線

### 綿卷線・絹卷線

綿卷線は軟銅線の上を綿糸を以て横巻き被覆したもので、その被覆の層数により一重綿卷線(S.C.C.)、二重綿卷線(D.C.C.)、三重綿卷線(T.C.C.)、に分類される。

絹卷線は綿糸の代りに絹糸を用ひたもので、綿卷線と同様、層数に依り一重絹卷線(S.S.C.)、二重絹卷線(D.S.C.)、三重絹卷線(T.S.C.)、の3種がある。

### エナメル線

軟銅線の周圍に乾燥性油を4回乃至6回塗布焼付けたもので、その皮膚の厚さは線の太さにより多少異なるが大體  $0.035\sim 0.008 \text{ mm}$  位で綿卷線、絹卷線に比して非常に薄く、絶縁耐力高く、耐熱、耐油、耐酸性を有する。この上に絹糸や綿糸を被覆したものが絹卷エナメル線、綿卷エナメル線である。

### アスベスト線

アスベストの耐熱性を利用しアスベスト糸を以て銅線の上に一重又は二重に編組を施し、更に耐熱性塗

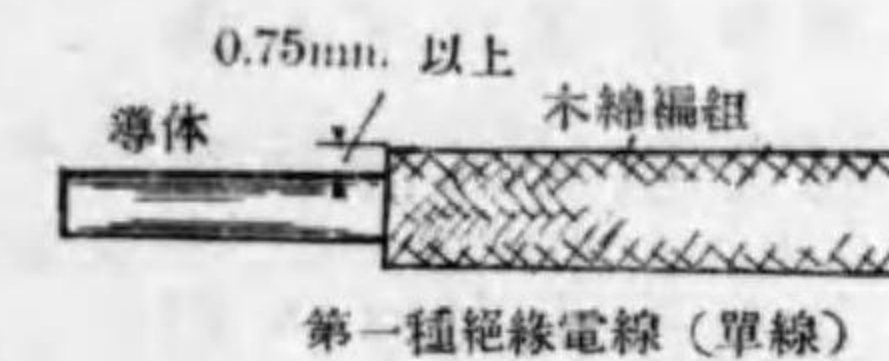
料を含浸せしめたものである。

### パラフィン線

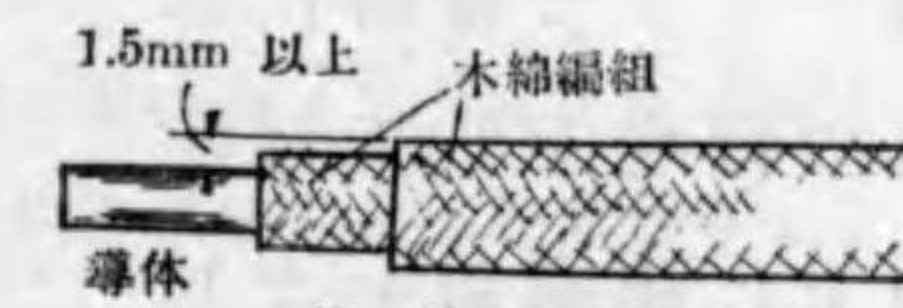
綿糸又は絹糸で被覆した絶縁線に耐水性を持たせる爲めにパラフィンを含浸せしめたもので、更にその上を鉛で被覆したのものもある。構造に依つて絹卷パラフィン線、綿卷パラフィン線、エナメルパラフィン線、パラフィン鉛被線等に分類される。

### 第一種及び第二種絶縁電線

軟銅、硬銅、單線、撚線、何れにも用ひられ、綿糸で編組し、更に黒色の耐水性混和物を含浸せしめたもので、通常東京線と稱し低壓配線及び屋内配線等に多く用ひられる。右図に示す様に絶縁綿編組が一層で厚さ  $0.75 \text{ mm}$  程度のものが第一種絶縁電線で、二層で厚さが  $1.5 \text{ mm}$  以上のものが第二種絶縁電線である。



第一種絶縁電線(單線)



第二種絶縁電線(單線)

第 1.5 図

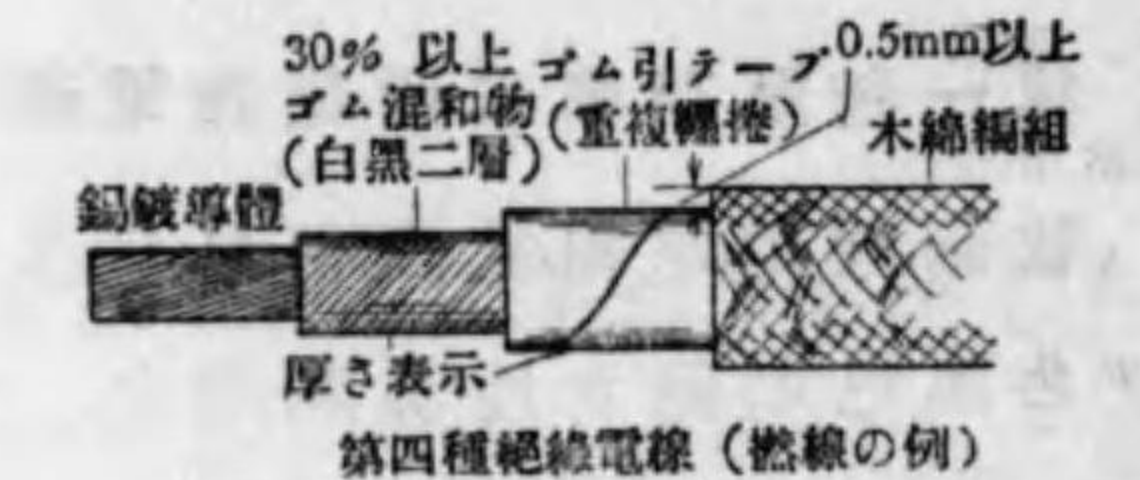
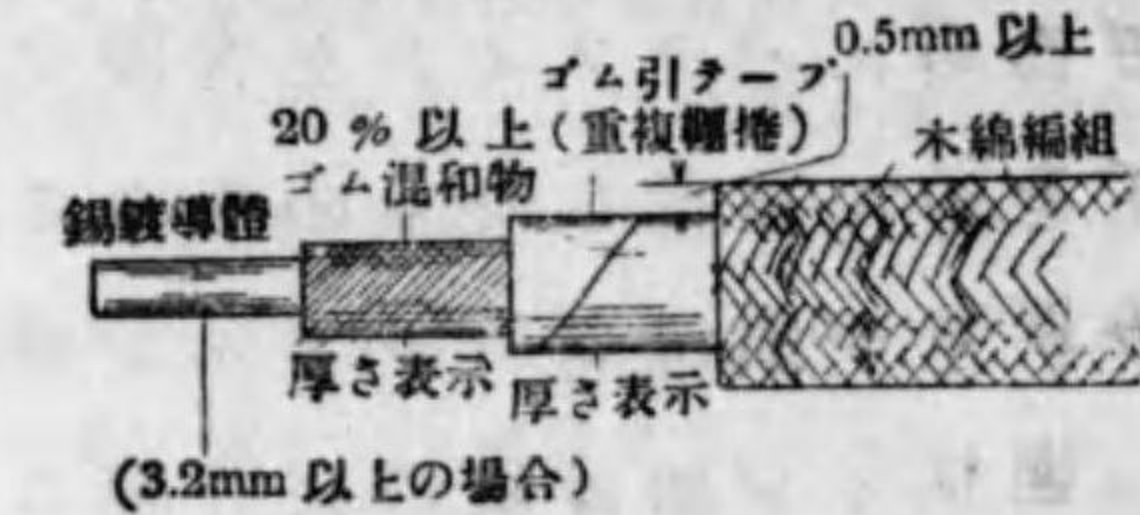
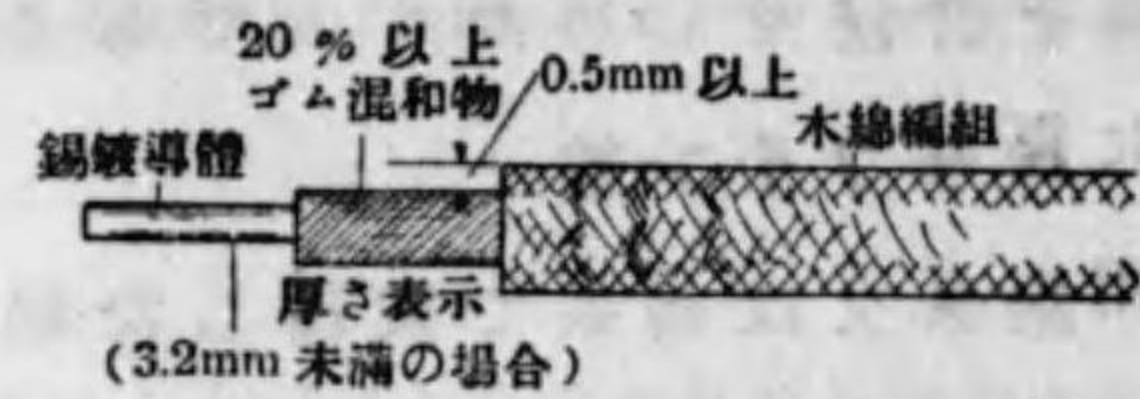
### 第三種及び第四種絶縁電線

電線は第一種第二種絶縁電線と同一であるが銅の硫化とゴムの變質を防ぐために錫鍍したものをを用ひる。

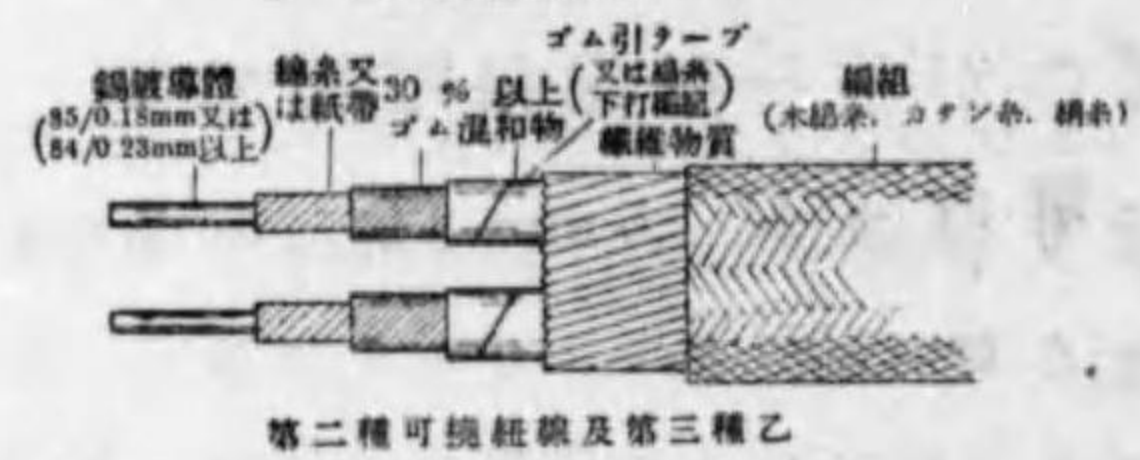
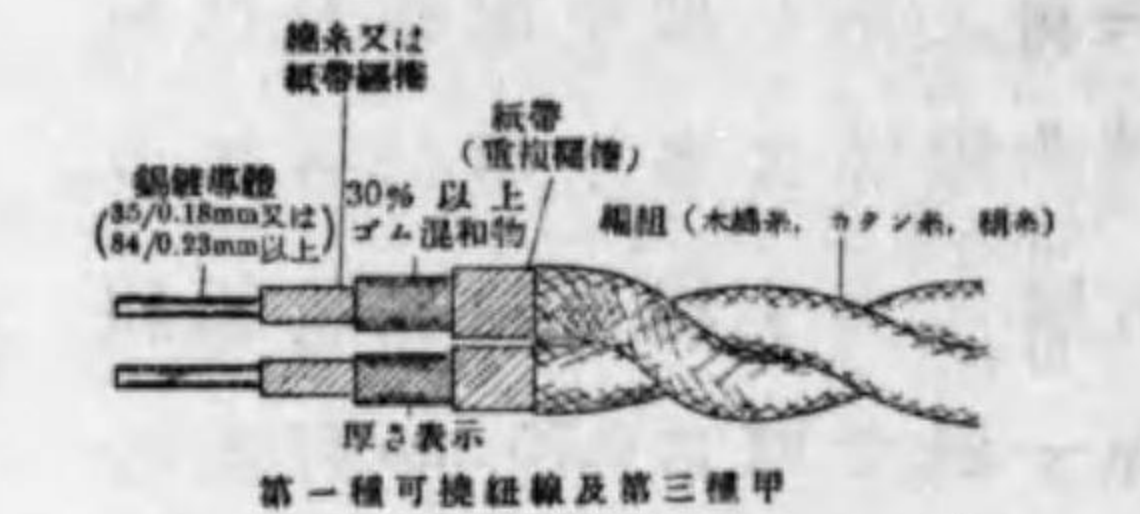


第1.6図に示す様に第三種絶縁電線は、純ゴム20%以上を含むゴム混和物を以て被覆し、更にその上を撚綿糸の編組を施し耐水性混和物を充分含浸せしめたもので、第四種絶縁電線は純ゴム30%を含むゴム混和物を以て二層に被覆し、その上をゴム引綿テープで緊密に赤色の纏巻をし、更に其の上に綿編組をなし耐水性混和物を含浸せしめたものである。前者は高圧架空線、低圧屋内配線等に用ひ、後者は専ら屋内配線に用ひる。

コード(可撓紐線)



第1.6図 絶縁電線



第1.7図 コード

コードは第一種、第二種、第三種甲及乙、第四種の5種に區別されてゐる。電線は錫鍍した軟銅可撓撚線を用ひ、第1.7図に示す如く導体の上に綿糸又は紙を巻き、ゴム混和物の被覆を施し更に綿糸等で編組したものである。これに使用するゴムは純ゴム30%以上を含み厚さが0.65~1.00mm程度である。

通信用ケーブル

通信に使用されるケーブルで、使用目的に依り局内ケーブル、市内電話用ケーブル、市外電話用ケーブル、電信ケーブル、海底ケーブル、信号用ケーブルの6種に分類され、その構造も多少異なるが逓信省の標準仕様に依つて作られてゐる。

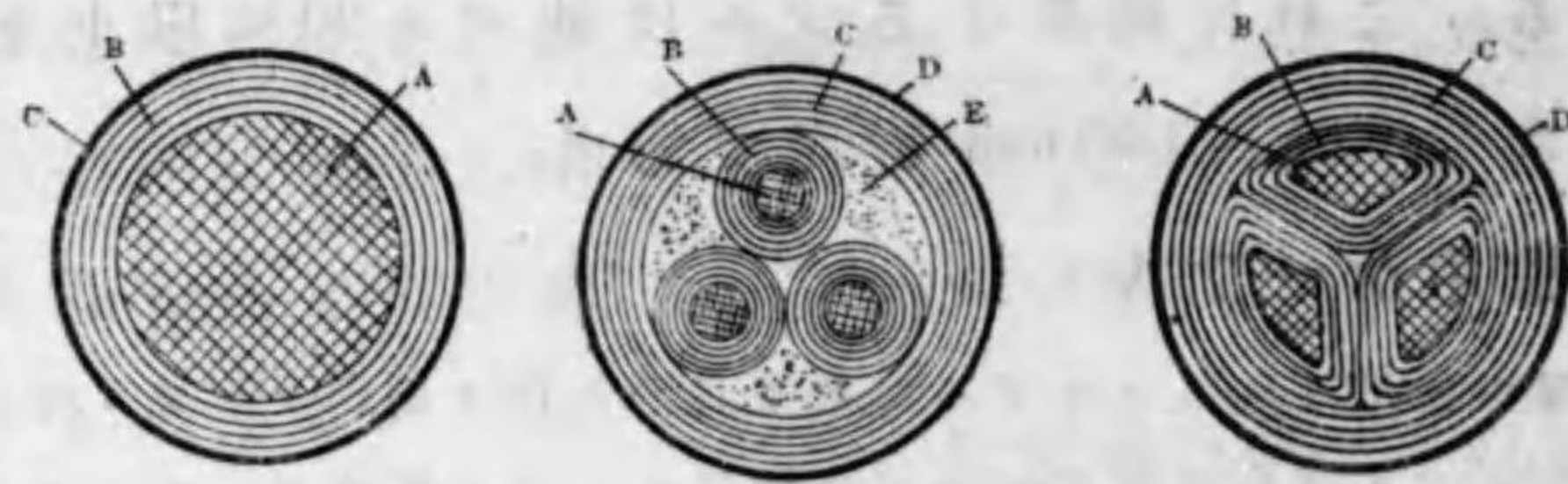
内ケーブルは局内配線に用ひるもので、エナメル線の上に絹糸巻をし更に綿糸を横巻したものを對に撚合せ、これを数條集合したもので、円形、楕円形等に仕上げてあり、防湿のためパラフィンを含浸せしめたり、鉛被を施したものがあつた。

市内電話用ケーブルは電信及電話に架空線として、或は地下線として用ひ、絶縁紙で一層纏巻した銅線2條を平等に撚合せて對線とし、これを多數集めて鉛被を施したものである。これに更に鋼帯で鍍装したものとせぬものとあつた。

電力用ケーブル

これは電力を送配電するために架空線の代りに暗渠中、地中、水中に使用する電線で、心線は單心のもの、また二心、三心等多心のものがある。何れも耐湿絶縁をしたるうへ、機械的保護をなすために外装を施してある絶縁の仕方により、紙絶縁ケーブル、絶縁布絶縁ケ-

ブル等があり、外装の方法により鉛被ケーブル、ジュー  
ト巻鉛被ケーブル、鋼帶<sup>ガ</sup>鍍装ケーブル、鉄線鍍装ケー  
ブル等に分類される。普通使用されるものは紙絶縁ケ  
ーブルで第1.8図に示す様に単心のものは導体の上に



第 1.8 図

A 導体 B 心線絶縁 C 纏巻絶縁 D 鉛被 E 充填物

心線絶縁を行ひ、多心のものは各々の導体に心線絶縁  
をし、それを集め空隙には絶縁混和物を充填して纏巻  
絶縁をなし更にその上に鉛被を施したもので、これが  
鉛被ケーブルと呼ばれる。この鉛被だけで不十分な  
ときは更にこの上をジュート(絨斗)、鋼帶、鉄線等で外装  
する。これが鍍装ケーブルである。

### 第3章 抵抗材料

#### 1.3.1 抵抗器用材料

これは電気測定に於て標準抵抗として、又は電流の  
調整をするのに使用する材料であつて、その固有抵抗  
が大きく、温度係数が出来るだけ小さく、且つその抵抗  
が一定不変であるといふことが最も必要な条件であ  
る。實用されて居るものには次の如きものがある。

#### 洋銀線及プラチノイド線

洋銀線は銅、ニッケル、亜鉛の合金でその割合は普通  
銅50~60%、ニッケル10~30%、亜鉛20~30%位である。  
硬度高く抗張力及び弾性に富み<sup>錆</sup>を生じない特徴を  
有する。これにタンゲステンを少量附加したものが  
プラチノイド線である。これらの固有抵抗や温度係  
数等は合金の割合によつて多少異なるが大體次表に  
示す値を有する。この種の合金は電流の調整用に使  
用される。

第 1.9 表

合	金	銅 %	ニッケル %	亜鉛 %	タンゲステン	固有抵抗マイクロオーム cm	温度係数 20C°
洋	銀	60	20	20		30	0.00034
		59	17	24		33	0.00033
		54.5	18	27.5		36.7	0.00036
プラチノイド		60	14	24	1~2	33	0.00022

### コンスタンタン線及アドバンス線

共に銅とニッケルの合金で普通使用されて居るものは第 1.10 表に示す様なもので、固有抵抗が極めて高いが、温度係数が稍大きいので電流調整用として使用せらる。

第 1.10 表

合金	銅 %	ニッケル %	マンガン	固有抵抗 マイクロ ーム Cm	温度係数 20Cm
コンスタンタン	60	40	—	50	0.00005
アドバンス	54	45	1	49	0.00001

### マンガニン線

銅、ニッケル、マンガン等の合金で第 1.11 表の如きものが普通使用されて居る。固有抵抗極めて大きく、且つ温度係数が非常に小さいのが特徴である。従つて標準抵抗として適する。古河抵抗線第 5 号といふのがこの合金線である。

第 1.11 表

合金	銅 %	マンガン %	ニッケル %	鉄 %	固有抵抗 マイクロ ーム Cm	温度係数
マンガニン	84	12	4		41~48	0.000003~0.000001
	82	14	2.5	1.5		

### 鑄鉄

鑄鉄グリッドは酸化し易く温度係数も大きい固有抵抗相當高く價格低廉であるので廣く大電流の調

整用として使用される。その中に珪素、磷、マンガン等を混入すると一層固有抵抗が増加する。

### 水

水抵抗器として使用される水は含有する電解質(食塩、苛性曹達等)によりその有する抵抗が變化し、純粋な水はその抵抗  $0.43 \times 10^8 \text{ ohm-cm}$  位、河水  $10^8 \sim 10^9 \text{ ohm-cm}$  位、海水は僅か  $30^8 \text{ ohm-cm}$  位である。故に溶解する食塩や苛性曹達等の分量または兩極板の面積や距離を變へることにより容易に抵抗を加減することが出来る。然しその温度係数は負で抵抗は温度上昇により著しく減少し且つ取扱ひも不便であるので発電機の負荷試験等特別の場合の外は餘り用ひない。

### 炭素

調整用抵抗器としては多く炭素板とし、これらを數枚重ね合せそれに加へる壓力を加減してその接觸抵抗を變化せしめ、所要の抵抗を得る様にしたものが普通である。

炭素の抵抗は常温に於ては相當に大きいけれども温度係数が負で温度の上昇と共に急に低下し、金属抵抗の様に安定な値を示さない欠点がある。

### 1.3.2 電熱用抵抗

電熱用抵抗材料としては固有抵抗が大きく、温度係数が小さい事が要求される。この点は前の抵抗器用抵抗と同様であるが特に異なるのは高温度で用ひられる關係上、耐熱性であり、冷熱の變化を繰返しても材質が變化せぬものでなければならぬ。これらの性質を具へるものは次の如きものである。

### ニクロム線

これはニッケルにクロムその他鉄等を加へた合金で、クロムの含有量に比例して固有抵抗は増加し温度係数は減少する。

その固有抵抗及び温度係数は合金の割合によつて差があるが大體固有抵抗は40~110  $\mu\Omega$  cm, 温度係数は0.0001~0.0004 程度である。かやうに固有抵抗が大きくその上高温度に於ても變質し難いので廣く電熱用として使用されてゐる。

次に實際に使用されてゐるニクロム線の種類性質を示す。

第 1.12 表

ニクロム線	ニッケル %	クロム %	鉄 %	マンガン %	固有抵抗 マイクロオーム Cm	温度係数	使用温度
No. I	60	12	26	2	109	0.00023	900°C
No. II	70	18	11	1	105	0.00020	900
No. III	84	15	—	1	95	0.00015	1000
No. IV	79	20	—	1	100	0.0001	1100

またニクロム線は高温度用と低温度用に區別され1150°C 迄用ひるものを第一種電熱線, 900°C 以下に用ひられるものを第二種電熱線と稱へることがある。第一種電熱線はニッケル75~85%, クロム15~20%のもので、第二種電熱線の方はニッケル60~70%, クロム10~20%, 残分は鉄である。次表はこれからの一例を

示す。

第 1.13 表

第一種電熱線 1500°C 以下					第二種電熱線 900°C 以下				
名 稱	固有抵抗 マイクロ オーム Cm	主 成 分			名 稱	固有抵抗 マイクロ オーム Cm	主 成 分		
		ニッケル	クロム	鉄			ニッケル	クロム	鉄
クロメル A	108	77	20	13	クロメル C	112	62	11	25
ニクロム W	108	77	20	1	ニクロム	112	62	12	24
ギルビー A	108	80	20	—	ギルビー C	112	62	15	22
タイカロイ Ta	106	72	22	2.8	タイカロイ Te	100	55	17	24
日本電熱線 第1号線	104	78	18	2.2	日本電熱線 第2号線	110	74	14	11
古河電熱線 第1号線	100~110	82	18	—	古河電熱線 第2号線	150~120	64	11	25
赤羽冶金線 第1号線	103	80	19	—	赤羽電熱線 第2号線	110	65	18	17

### 鉄、クロム、アルミニウム合金線

メガビル, パーマテルン, アルミクロム, カンタル等種々の商品名のものがある, 何れも鉄を主成分としてクロム及び少量のアルミニウムを加へたもので鉄65%クロム3%アルミニウム5%のものが普通用ひられてゐる, その熔融点は1550~1650°Cで耐熱性高く高温用電熱線として1300~1350°C程度に使用される。

### 炭珪素化合物

炭素と珪素とを色々の割合に配合加熱して作られ, 機械的に割合強く而も小型で大きな抵抗が得られるので, 棒状として廣く電熱用發熱体に用ひられてゐる。その性質は成分によつて差があるが普通比重2~3

位,固有抵抗100~200オーム種,温度係数-0.001位で1000~1500°C程度の高温度に耐へる。商品としてはシリット(獨逸製品)グローバー(米國製品)エレマ(日本製品)等がある。

#### 白金及びタンゲステン

尙高温度に耐へる電熱用發熱体としては白金及びタンゲステンが用ひられる。白金は1600°C位迄使用に耐へ,タンゲステンは3000°C位迄使用に耐へるが前者は高價であり,後者は空氣中では酸化し断線するので真空中や非酸化性氣體中で用ひねばならぬ不便がある。

#### 1.3.3 高抵抗材料

ラジオ等に於いて高抵抗材料として用ひられるものは金属薄膜高抵抗(スパッタリング抵抗)炭素,炭珪素化合物等である。

金属薄膜高抵抗は硝子や雲母等の絶縁物の上に金属の薄い膜を作つて高抵抗としたもので,その厚さにより數オームから數千オームに互る任意の抵抗が作られてゐる。その金属薄膜は普通スパッタリング(陰極飛沫法)によつて作られる。その方法は真空管内の兩極間に硝子等の絶縁物を置き兩極間に高電壓を加へ陰極金属から放出するイオンをその上に沈積せしめるのである。

## 第4章 特殊導電材料

### 1.4.1 ヒューズ(可熔片)

ヒューズは過電流を自働的に遮断し過電流によつて生ずる障害を防止するに用ひ,遮断働作の頻繁な回路や極めて電流の大きな場合を除き廣く用ひられてゐる。

ヒューズは過電流が流れた場合に一定時間中に熔断する様な性質を具へることを必要とし,その材料としては鉛,鉛と錫との合金,鉛と錫と蒼鉛との合金或は銀銅,アルミニウム,亞鉛等が用ひられる。

ヒューズは用途により種々の形狀をなし,線状のもの(糸ヒューズ),帶状のもの(板ヒューズ),そのまま空氣中に露出せるもの(非包装ヒューズ)やベークライト,ファイバー等で包装したもの(包装ヒューズ),端子の付けてあるもの,付けてないもの等があり,其他消弧作用を與へる様にいろいろの装置を施した特殊ヒューズや高壓ヒューズ等がある。

ヒューズが熔断するに必要な熔断電流はヒューズの長さ,取付状態,周圍の温度,その他によつて多少差があるが大體次の式で示すことが出来る。

$$I = ad^{\frac{3}{2}}$$

但し d ヒューズの直径(mm)  
 a 金属による定数  
 I 熔断電流

電気工作物規定によつて低圧用 200 アンペア以下の非包装ヒューズはこれを水平に取付けて試験し、5分間以上定格電流の 1.45 倍の電流に耐へ、1 分間以内で 2 倍の電流によつて熔断することを要すと定められてゐる。

第 1.14 表

金属	比重	熔解点	固有抵抗 0°C	抵抗温度係数 20°C	比熱	最小可熔電流 <sup>20</sup> アンペアの可熔 片に對し必要な 金属の量	a
鉛	11.37	327.4	19	0.00387	0.03	18.6	10.8
錫	7.3	231.9	10.5	0.00365	0.054	8.9	12.8
銅	8.89	108.3	1.42	0.00933	0.092	1.0	80
亜鉛	7.19	41.94	5.85	0.00365	0.093	4.1	—
アルミニウム	2.7	658.7	2.61	0.0039	0.212	0.82	59.2
銀	10.6	960.5	1.6	0.99377	0.015	1.66	—
蒼鉛	9.79	271	10.8	0.00354	0.030	—	—

1.4.2 刷 子

刷子は整流子又は集電環と接觸して電流を導くに用ひられ、大体次の如く分類される。

炭素刷子 { 硬質炭素刷子 (Hard carbon brush)  
 炭素刷子 { 黒鉛炭素刷子 (Graphite carbon brush)  
 炭素刷子 { 金属炭素刷子 (Metallic carbon brush)

黒鉛刷子 { 軟質黒鉛刷子 (Soft graphite brush)  
 黒鉛刷子 { 金属黒鉛刷子 (Metallic graphite brush)  
 黒鉛刷子 { 電気黒鉛刷子 (Electric graphite brush)

硬質炭素刷子は無定形炭素を主成分としたものでその質非常に硬く、抵抗も極めて大きい。黒鉛炭素刷子は無定形炭素に少量の黒鉛を混入したもので前者よりはその質軟く、稍抵抗も小である。金属刷子は無定形炭素に銅粉等を加へたものでその質一層軟く、抵抗も非常に小さい。軟質黒鉛刷子は黒鉛のみで作られ、金属黒鉛刷子は黒鉛に銅等を混じて作り、電気黒鉛刷子は無定形炭素を電気炉で高熱に処理して黒鉛化したものである。

前述のやうに刷子にはいろいろの種類があるがこれを用ひる機械と刷子の硬度、刷子と整流子間の接觸抵抗による電圧降下、固有抵抗等その諸性質を考慮して適當のものを選択する。

第 1.15 表

刷子の種類	固有抵抗 マイクロ ムセンチ	電流密度 アンペア/平方 センチ	接觸電圧降下	用途
硬質炭素刷子	4000~12000	3~9	0.8~1.2	耐震、電車用
黒鉛炭素刷子	1800~4500	6~12	0.4~1.1	
軟質黒鉛刷子	1200~3000	7~15	0.3~0.9	直流機
金属黒鉛刷子	10~1200	10~35	0.02~0.4	
電気黒鉛刷子	1800~5000	7~10	0.7~0.9	交流用、大電流用

### 1.4.3 真空管用導体

真空管導体としては次の三つに分けて考へる。

陽極(Anode), 格子(Grid), 陰極(Cathode)

陽極は小型真空管では大体厚さ 0.1 mm 位の焼鈍したニッケルが使用され, 空冷式の大型真空管ではモリブデン又はタングステン, 水冷式の大型真空管では銅が使用されて居る。

格子にはニッケル線, モリブデン線, タングステン線, 銅線等が用ひられるが螺旋状に巻いたモリブデン線をニッケル線で支持したものが多し。

陰極用としてはタングステン, トリウムタングステン等が用ひられて居る。(トリウムタングステンは2~3%の酸化トリウム  $\text{ThO}_2$  を混入したもの)。タングステン及びトリウムタングステンは何れも直熱式の陰極織條に用ひ, 働作温度はタングステンは  $2300 \sim 2600^\circ\text{K}$ , トリウムタングステンは  $1800 \sim 2100^\circ\text{K}$  位である。酸化物被覆織條は普通燃糸状又はリボン状の金属フィラメントの上に酸化物を被覆したもので低温度で容易に電子を放出するものである。この目的に使用される織條には白金, 白金イリジウム合金, タングステン, モリブデン, 又はこれらを鍍金したニッケル等が用ひられ, 最近には白金ニッケル合金や白金コバルト合金が賞用されて居

る。この織條の上に塗布するものとしてはバリウム, ストロンチウム, カルシウム等の酸化物が用ひられる。

## 第2編 磁気材料

### 第1章 磁気材料の一般性質

#### 2.1.1 磁性体

第2.1図(a)の如く空心のソレノイドを作り、これを磁化したときの磁束を $\phi_0$ とする。次にこのソレノイドに(b)(c)の如く種々の材料を入れた場合の磁束の増減によつて、物質を磁氣的に次の如く分類することが出来る。

正磁性体 (b)の如く磁束が増す  
= ツケル コバルト

強磁性体 (c)の如く磁束が數百倍以上となる。鉄類

反磁性体 (d)の如く極めて僅かではあるが磁束を減ずる  
蒼鉛 アンチモン

強磁性体は勿論、正磁性体の中に属する。

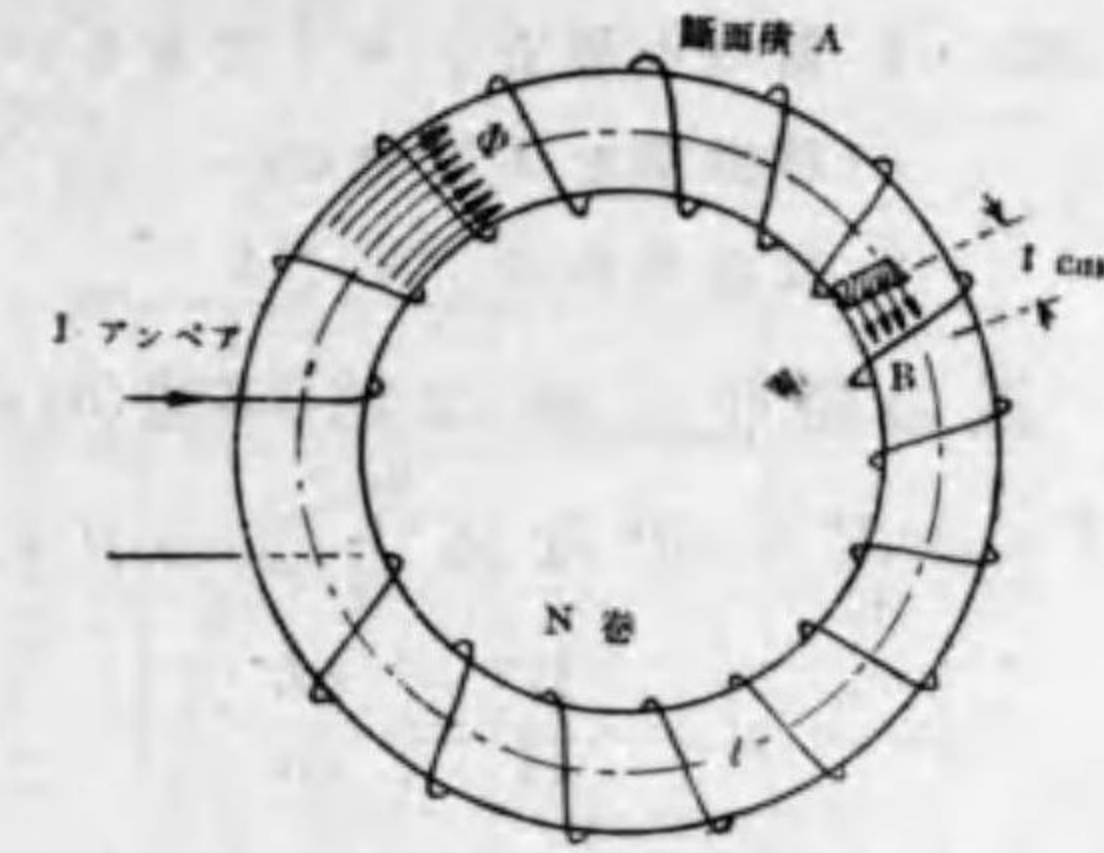
磁気材料として使用されるのは殆ど凡て鉄とその合金である。



第 2.1 図

#### 2.1.2 磁化特性

第2.2図に於いて鉄心に巻いた線輪の巻数をN, 磁路の長さをlcm, 断面積をA cm<sup>2</sup>, 勵磁電流をIアンペアとすれば



第 2.2 図

起磁力  $F = NI$  アンペア回数

$$= \frac{4\pi}{10} NI \text{ ギルバート}$$

$$\text{磁束 } \phi = \frac{F}{\mathcal{R}} \text{ マクスウエル}$$

$\mathcal{R}$ : 磁気抵抗

$$\text{磁束密度 } B = \frac{\phi}{A} \text{ ガウス(マクスウエル/平方糎)}$$

$$\text{磁化力 } H = \frac{F}{l} \text{ ギルバート/糎(エルステッド)}$$

$$= \frac{4\pi}{10} \frac{N}{l} I$$

磁界の強さ  $H = \text{磁化力}$  エルステッド

磁路の1cmに與へられる起磁力(H)を磁化力といひ、この値は空心で勵磁した時の磁束密度と等しい。然し磁路に正磁性体を入れると磁束密度Bは空気の場合の $B_0$ に比べて何倍かになる。この倍数を $\mu$ とすれば

$$B = \mu H \dots\dots\dots(2.1)$$



μ 導磁率(空気を1とする)

- [註] 1. 真空の場合  $\mu = 1$  であるが、實用上は殆ど等しいから空気の導磁率を1とする。
- 2. 反磁性体は  $\mu < 1$

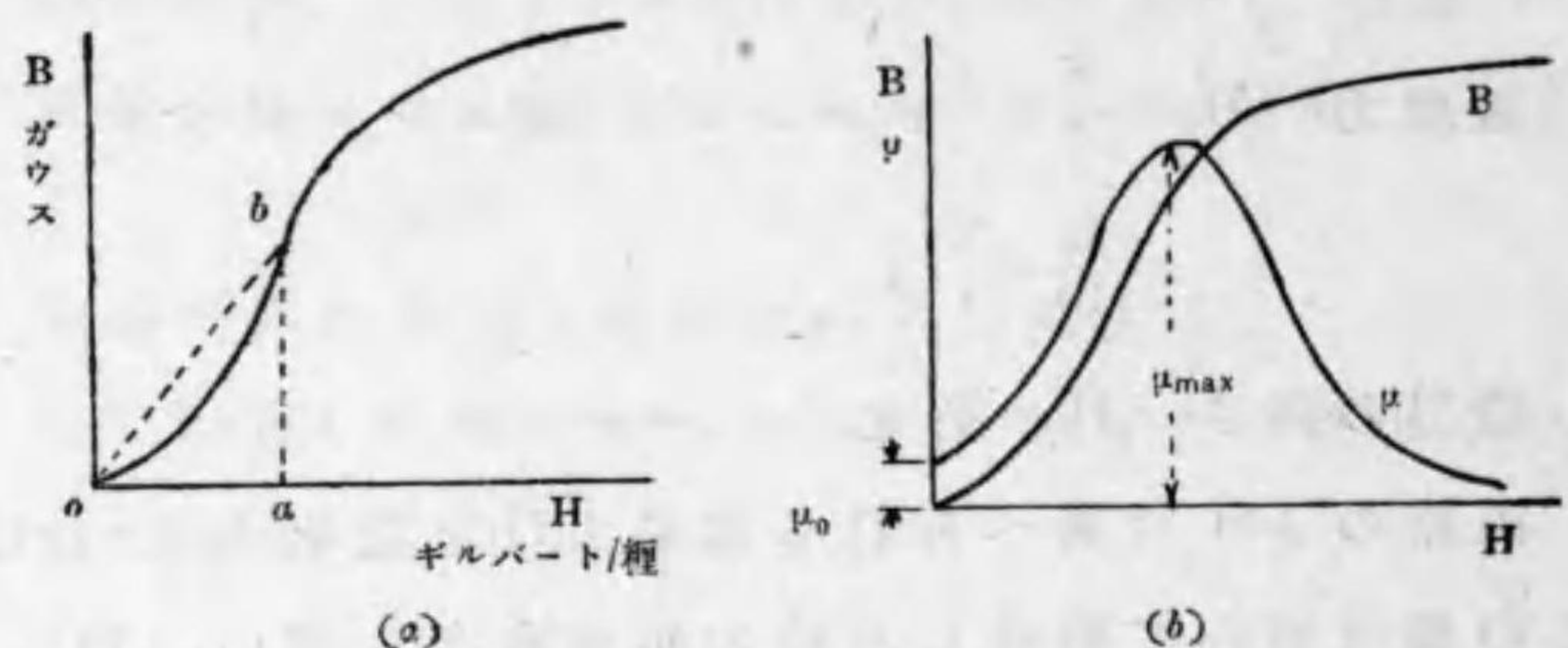
鉄の磁化曲線は第2.3図(a)の如き形となる。それで  $H = oa, B = ab$  なるときの  $\mu$  の値は

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{ab}{oa}$$

となり、この導磁率  $\mu$  の値は材料によつて異なるのみならず、同じ材料でも  $H$  の大きさによつて異つた値となり(b)図の如くなる。

[註]  $\mu$  が一定の値ならば  $B-H$  曲線は直線となる。

最初  $B$  が極く小さいときの  $\mu$  の値をその材料の**初導磁率 (initial permeability)** といひ  $\mu_0$  で表はす。



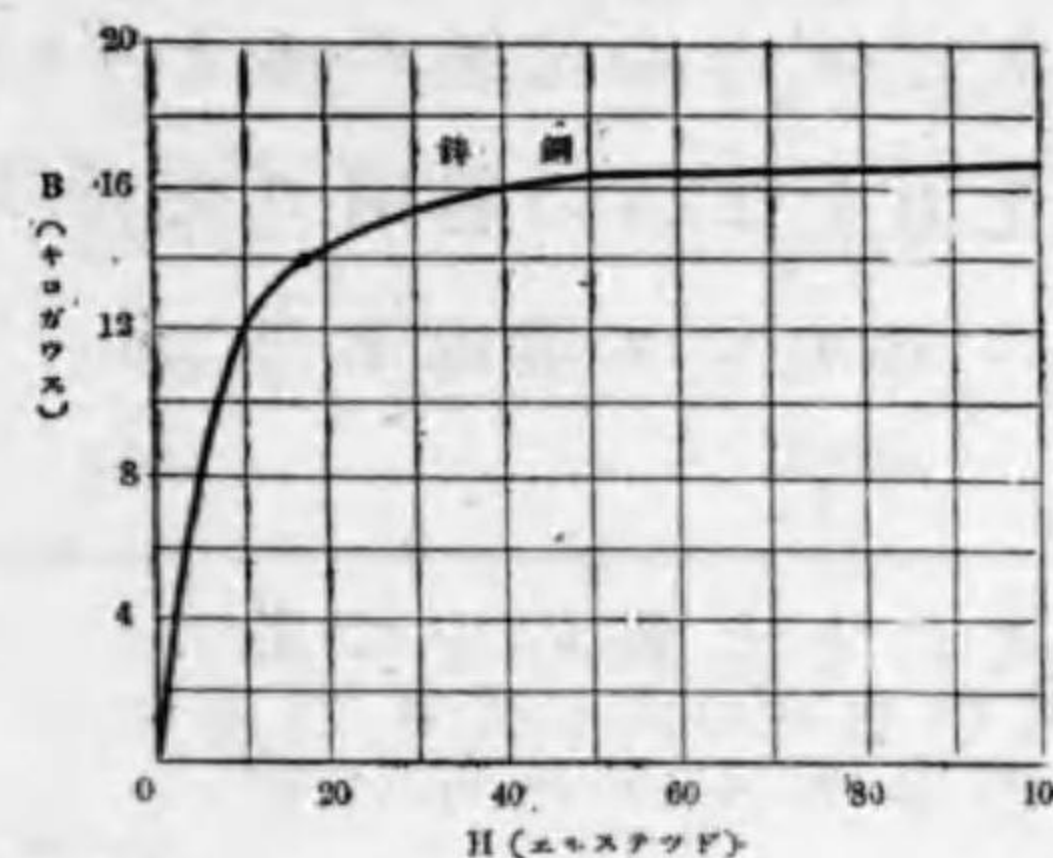
第 2.3 図

[例] 第2.4図の如き  $B-H$  曲線を有する鑄鋼の閉磁路の長さ  $l = 80 \text{ cm}$ , 断面積  $A = 50 \text{ cm}^2$ , これに  $\Phi = 200000$  マクスウエルの磁束を通すために必要な起磁力は何程か。又線輪の電

流を  $10 \text{ A}$  に制限すれば巻回数は何程か。次に磁路に  $1 \text{ mm}$  の空隙を作つたときの起磁力、巻数は如何。

[解] 磁束密度  $B = \frac{\Phi}{A} = \frac{700 \times 10^3}{50} = 14 \times 10^3$  ガウス

第2.4図の関係から  $B = 14$  キロガウスに対して  $H = 18$  エルステッド、即ち磁路の  $1 \text{ cm}$  毎に  $18$  ギルバートが必要である。  
 $\therefore$  起磁力  $F = H \cdot l$   
 $= 18 \times 100$   
 $= 1808$  ギルバート  
 $\Rightarrow 1440$  アンペア回数



第 2.4 図

$I = 10 \text{ A}$  として

巻数  $N = \frac{1440}{10} = 144$  巻

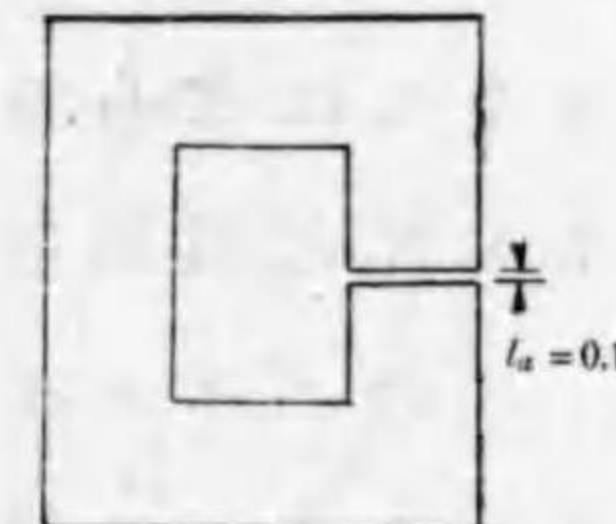
鉄心に  $1 \text{ mm}$  の空隙があるときは空隙の磁束密度  $B_a$  は鉄心中の  $B$  と等しいと見て

$$F = Hl + B_a l_a$$

$$= 18 \times 100 + 14000 \times 0.1 = 1800 + 1400$$

$$= 3200 \text{ ギルバート}$$

$$\Rightarrow 2550 \text{ アンペア回数}$$



第 2.5 図

$I = 10 \text{ A}$  のときの巻数、

$N = 255$

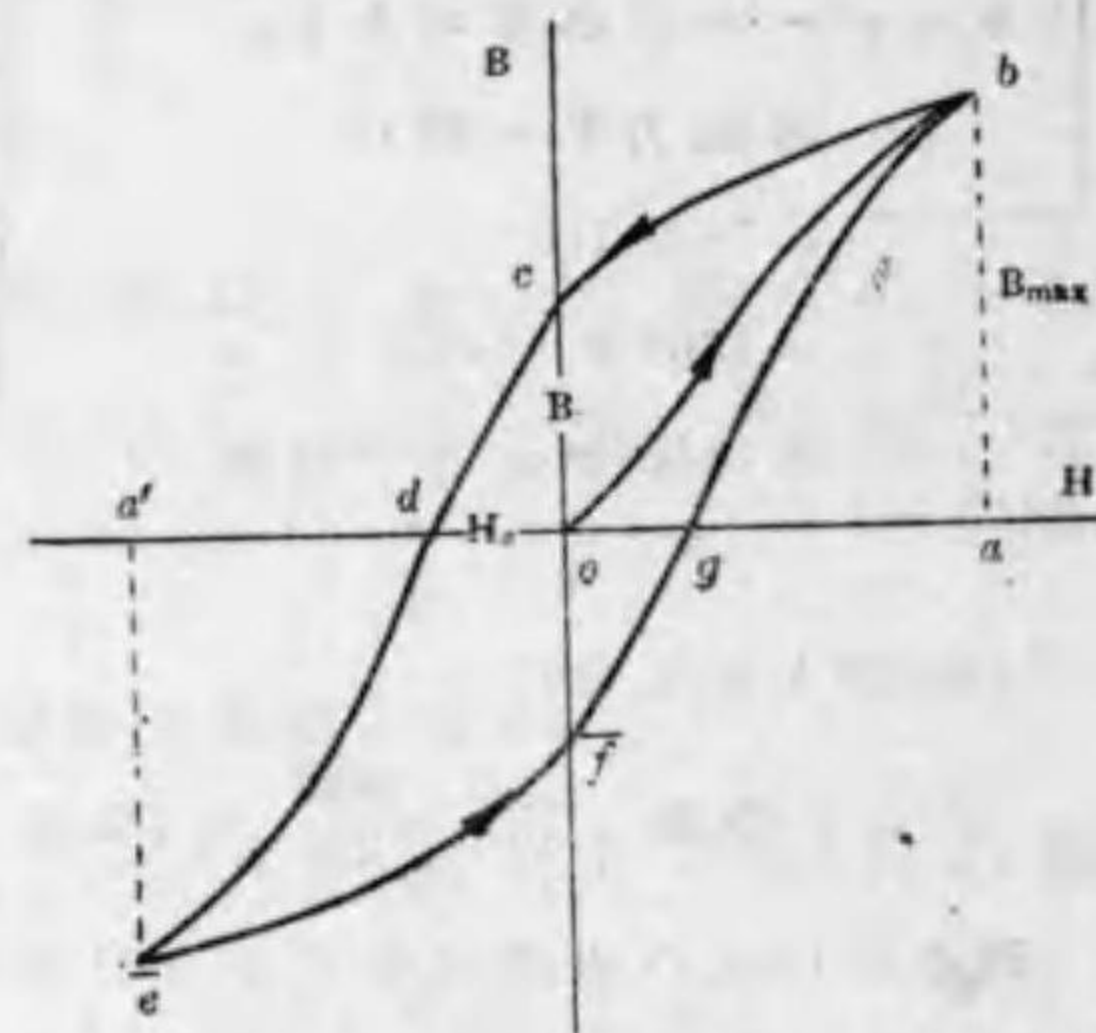
2.1.3 ヒステリシス

第2.6図のヒステリシス曲線に於いて鉄を全然磁気を帯びない状態から  $H = oa$  迄磁化して  $B_{\text{max}} = ab$  だけの最大磁束密度を通し、それから磁化力を  $0$  に戻すと

なほ磁気が残る。この  $B_r = oc$  なる残留磁気を打消すには前と反対向きの磁化力  $H_c = od$  を加へなければならぬ。この  $od$  を以て鉄の保磁力を表はす。

次に  $oa' = oa$  迄強めると  $a'e = ab = B_{max}$  となり、かくて磁化力を  $\pm oa$  の範囲で交番させると  $bd e g b$  の所謂ヒステリシス環線を畫く。

このとき鉄の中で磁化の半サイクル毎に前に作った磁束を打消すために逆の起磁力を與へなくてはならぬからエネルギーの損失を生ずる。このエネルギー損失をヒステリシス損といひ、1 サイクル毎の損失は環線の面積に比例する。



第 2.6 図 ヒステリシス曲線

A ヒステリシス環線の面積  $cm^2$

x 縦軸の 1cm 當りの磁束密度ガウス数

y 横軸の 1cm 當りの磁化エルステッド数

とすればヒステリシス損  $W_h$  は

$$W_h = \frac{A}{4\pi} x \cdot y \quad \text{エルグ/cm}^3 \quad \text{毎サイクル}$$

現在多く用ひられる電機用鉄板では

$$W_h = \eta \cdot B_{max}^2$$

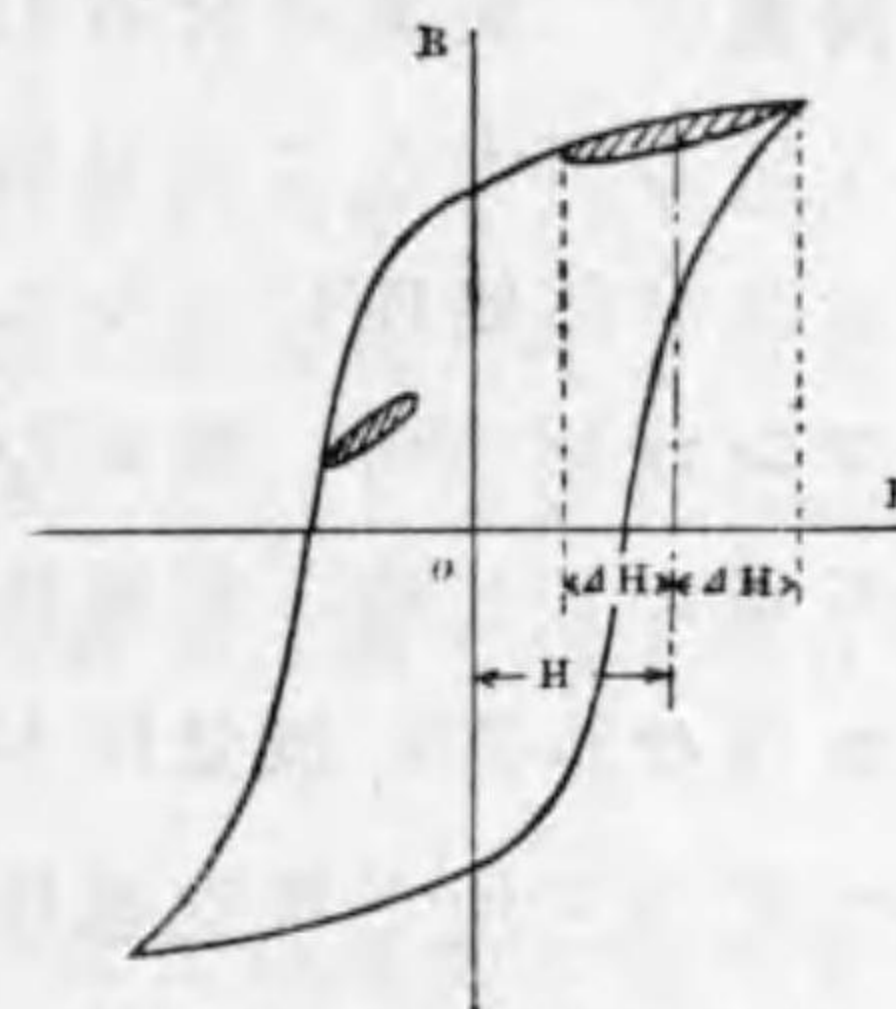
$\eta$ : ヒステリシス係数

第 2.1 表 ヒステリシス損

	ヒステリシス係数 $\eta$	$W_h$ (エルグ/cm <sup>3</sup> ) (B = 10000)
3.4 % Si 鉄	0.00011	280
1 % 炭素鋼	0.015	37000
1 % 炭素鋼 (焼入)	0.034	86000

通常材料のヒステリシス損は B が  $\pm 10000$  ガウスの間を往復するときの値で言ひ表はす。

鉄心が或る磁化 H を受けて居り、それが  $\pm \Delta H$  だけ交番して變化されるときは第 2.7 図の如く局部的に小ヒステリシス環線を畫き、損失は矢張り小環線の面積に比例



第 2.7 図

する。直流に交流を重ねたやうな場合に生ずる。

### 2.1.4 渦流損

鉄心の中に發生する渦流損は次の如く表はされる。

$$W_e = \frac{\pi^2 f^2 t^2 B_{max}^2}{6 \rho} \times 10^{-16} \quad \text{Watt/cm}^3$$

t: 成層鉄板の厚さ (cm)

$f$ : 周波数

$\rho$ : 鉄板の固有抵抗 ( $\Omega \text{ cm}$ )

### 2.1.5 鉄に及ぼす含有物の影響

純鉄(例へば電解鉄,  $\alpha$ -Fe)は脆く弱く, 固有抵抗も少いから渦流損も大きく, また枯れの現象も甚い。それで電機用としてはあまり用ひられず, 種々の元素を混じて鉄合金を作り磁気材料とする。その含有させる成分の影響の大略を述べよう。

**炭素(C)** 炭素を含有したものは鋼となる。固有抵抗, 保磁力が大となり, 磁気飽和点を低める。炭素の含有量及び熱処理によつて非常に異つた性質を現はす。

**マンガン(Mn)** 微量のときは作用を表はさないが12%超えると殆ど非磁性となす。

**ニッケル(Ni)** 微量(2%以下)では影響を認め難いが20~30%で殆ど鉄の磁性を消す。然し40%以上となると急に低磁化力に於いて高導磁率を表はすやうになり初導磁率の高い合金として盛んに用ひられる。

**珪素(Si)** 導磁率, 固有抵抗を大とし保磁力を少くする。電機用鉄板として専ら珪素鋼板が用ひられるが材質を脆くし, 加工困難となる。普通含有量5%以下。

**タンガステン(W), クロム(Cr), コバルト(Co)** 導磁率を減じ, 保磁力を増す。永久磁石用として大切。

**硫黄・燐酸素** 一般に少量でも有害。

### 2.1.6 磁性に及ぼす外部作用の影響

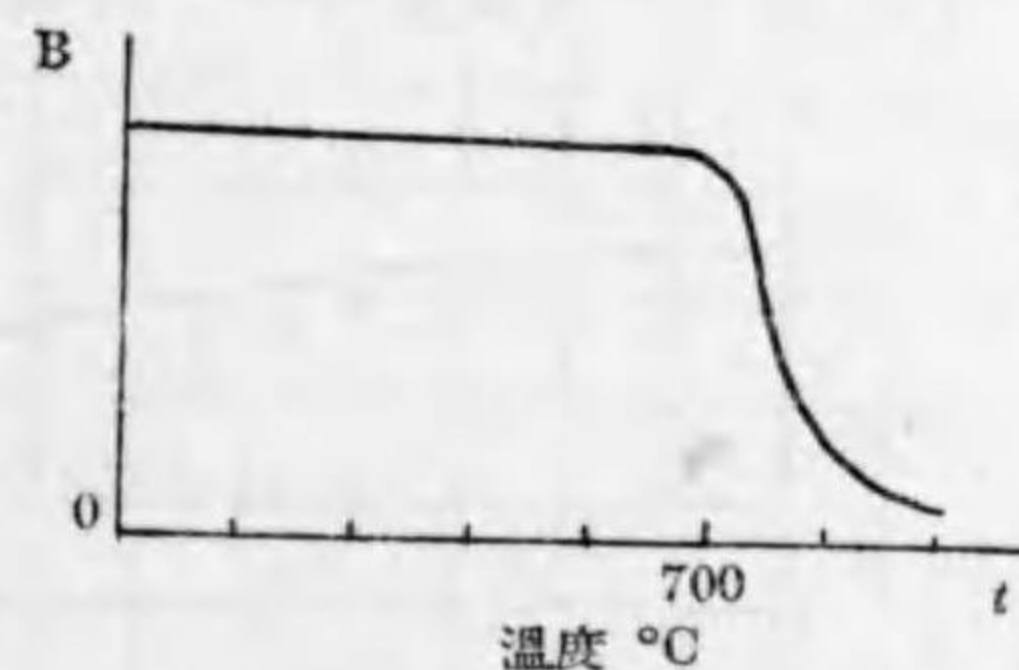
**機械的力** 大体に於いて外力に依る応力のために導磁率が減少する。鉄板に壓延したもので壓延の方向と, これに直角な方向とでは後者が損失が多い(その差数%)。鉄板を打抜いたときも, その周囲が局部的に硬化して, 或る幅だけ材料が多く切取られたのと等しい結果となる。機械的歪は焼鈍によつて大いに恢復する。

**焼鈍** 機械的歪のある鉄材を炉の中で700°C~900°C位で30分以上高温に保ち, 次第に常温迄冷すと内部歪が除かれて再結晶が行はれる。これを焼鈍し (annealing) といふ。焼鈍しによつて鉄損は減じ, 導磁率は著しく増す。

**焼入れ** 鋼を焼入れると一般に磁氣的に硬くなり保磁力が著しく大となる。

### その他温度の影響

磁化された磁石を熱すると次第に磁気を失ふ。磁気の消滅する



第2.8図  $A_2$  変態

きの温度を磁気変態点 ( $A_2$  変態) といひ, 純鉄では770°C

附近である。又長時間 $100^{\circ}\text{C}$ 附近の温度に保つと導磁率が低下し、ヒステリシス損が増すことがある。これを枯れ (ageing) といふ。

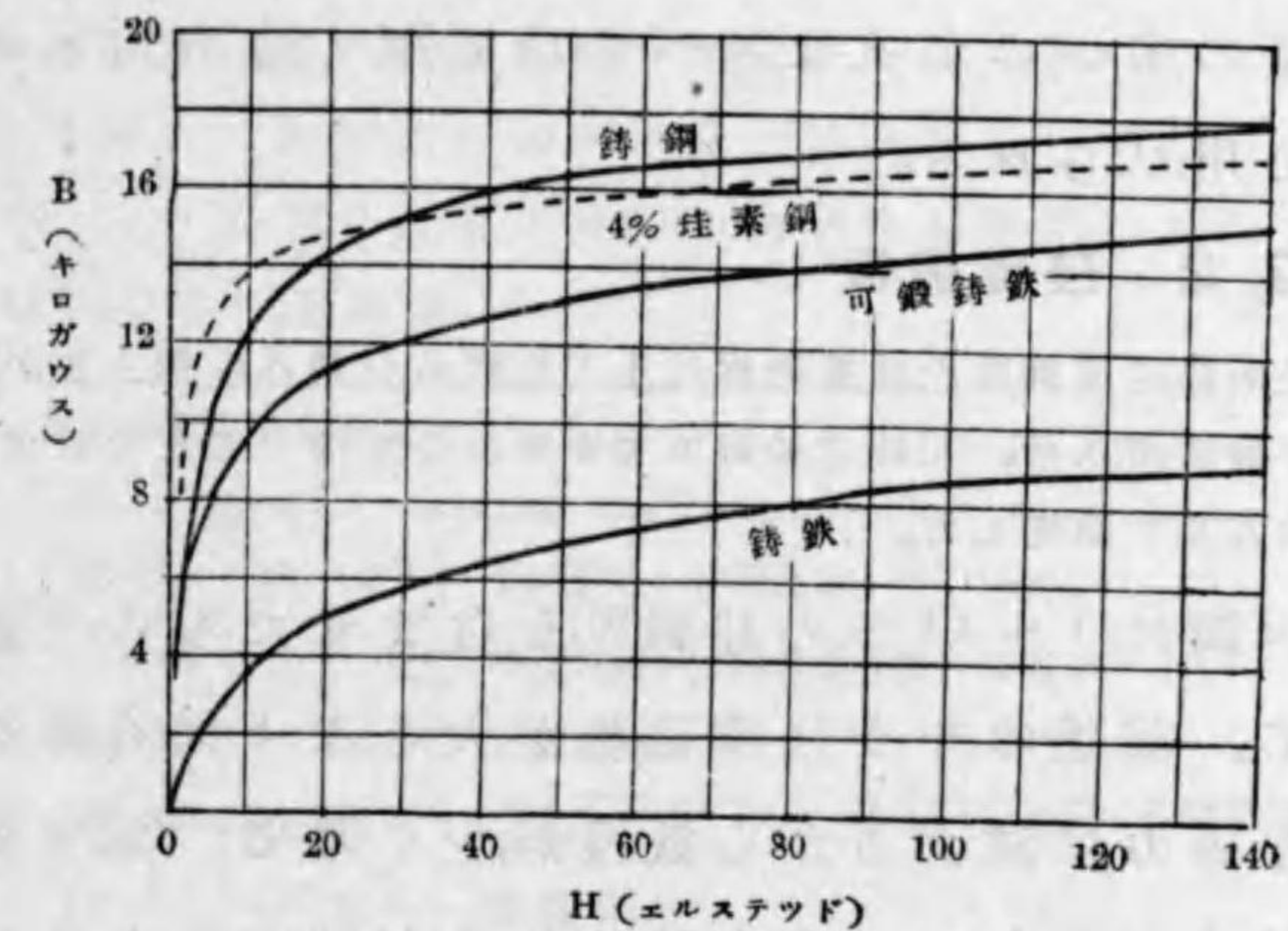
## 第2章 各種磁性材料

### 2.2.1 各種鉄合金の磁氣的性質

**鑄鉄 (cast iron)** 炭素1.7%以上含有。嘗ては直流機の継鉄として磁気回路に用ひられたが現在は全く鑄鋼に代つた。たゞ格子抵抗等の抵抗材料に用ひられるだけである。

**錬鉄 (wrought iron) 及び可鍛鑄鉄 (malleable cast iron)** 磁性は鑄鉄に優り導磁率も高いが鉄損が多い。磁路には殆ど用ひられない。

**鑄鋼 (cast steel)** 磁路に用ひられるものは炭素0.18%以下の軟鑄鋼で $900^{\circ}\text{C}$ 以上で充分焼鈍して用ひる。磁氣的性質は良好、機械的強度も強いので直流機の継



第2.9図 各種鉄合金の磁化特性

鉄として専ら用ひられる。交流機の枠として大いに用ひられたが、近年熔接作業の近歩に供ひ、大型機の枠としての使用は殆どなくなつた。

第 2.2 表

	$\mu_{max}$	飽和磁束密度	$\rho \mu\Omega\text{cm}$
鉄	500 (2000~5000G)	14000G	100
鉄鋼	1500 (7000G附近)	21000	15
ベッセマー鋼	1900 (9000G附近)	21000	14
平炉鋼 歴延(Si 1%以下)	3000~6000(6000G附近)	20000~21000	16

**ベッセマー鋼 (Bessemer steel)** 導磁率は高いがヒステリシス損が多いので交番磁界用には用ひられない。直流機の成層した磁極材料として用ひられる。

**平炉鋼 (open hearth steel)** この平炉鋼のうちで珪素含有量の多いのが次に述べる珪素鋼で、専ら電気鉄板として用ひられる。

### 2.2.2 珪素鋼板

数年前迄は電機用の珪素鋼板は凡て外國品の輸入に頼つたが、近年は日本製鉄所(八幡)、川崎造船所等で優秀なるものの製造に成功し完全に輸入品を驅逐した。

平炉鋼に1~4.5%の珪素(Si)を含ませたものを薄板となす。前述のやうに導磁率が大きくなり固有抵抗が増し、保磁力は減ずるから鉄損が少くなる。電気機械の成層鉄心用として専ら使はれるが珪素含有量の多

寡により高珪素鋼板と低珪素鋼板とに分ける。

**高珪素鋼板 (Si 3.5~4.5%)** 鉄損は極めて少ないが脆くて加工が困難であるから主として變壓器用として用ひられる。

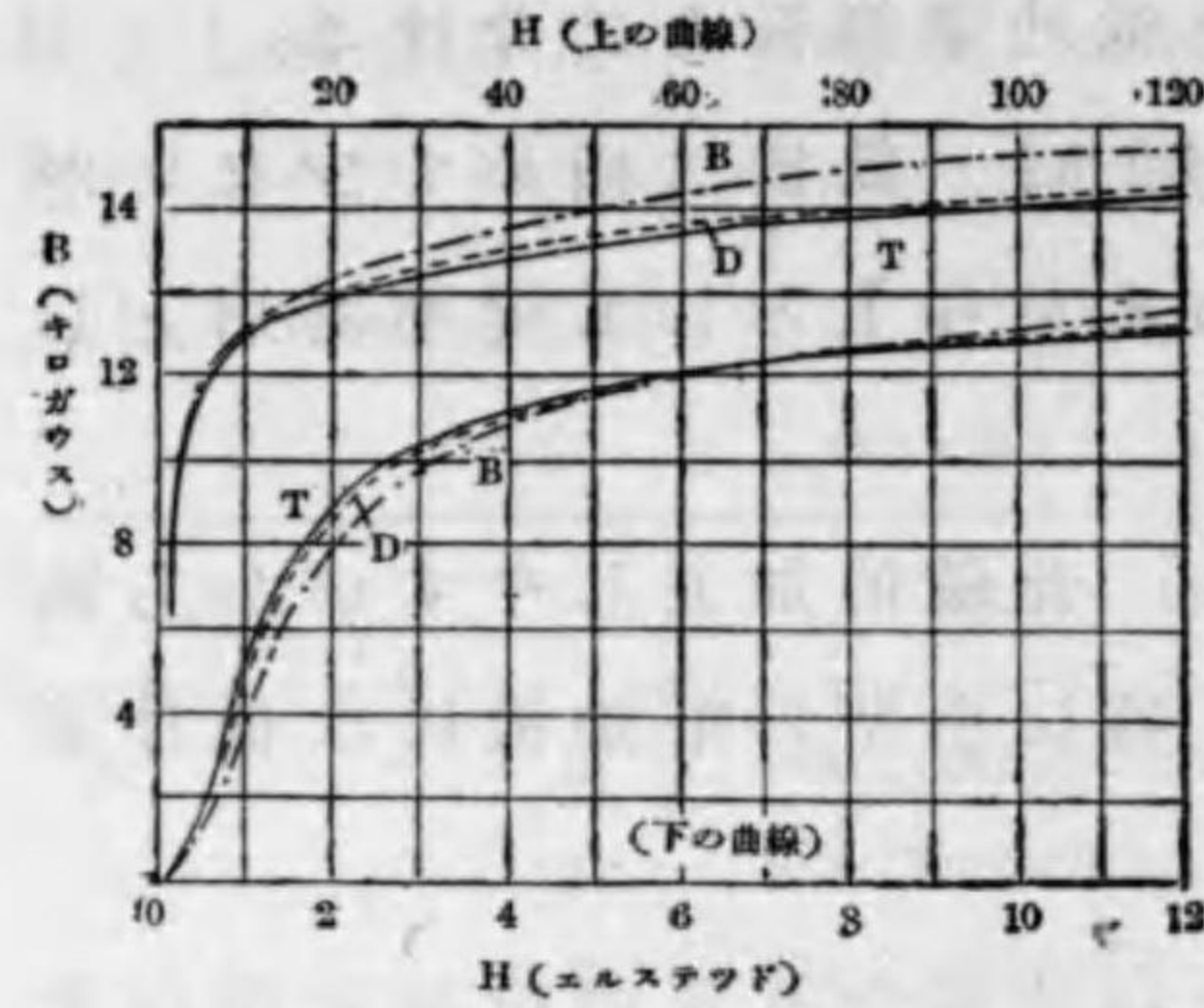
**低珪素鋼板 (Si 1~3%)** 比較的加工しやすいから電動機等に用ひられる。特に小型の電動機には低珪素のものを用ひる。

一般に珪素鋼板はその珪素含有量の増加に伴ひ、次の如く性質の變化をうける。

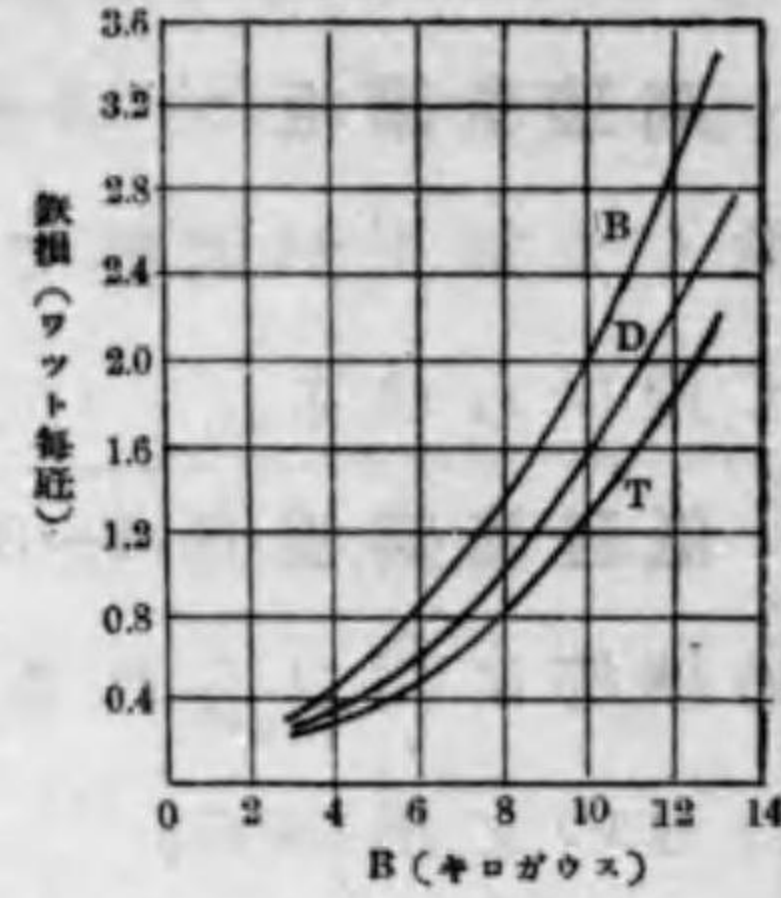
鉄損	減	枯れ	減
最大導磁率	増	固有抵抗	増
初導磁率	増	抗張力	増
磁気飽和値	減	延伸率	減

日本製鉄所(舊八幡製鉄所)の電気鉄板はA B C D Tの5種に分けられて大体次の如き用途と特性を有してゐる。大きさは三六(3尺×6尺)厚さは0.35mmが最も普通のもので、0.43及び0.5のものもある。

	Si含有量 %	C含有量 %	用途
A	0.8~1	0.1 以下	界磁鉄心, 連続使用しない電機子
B	1.1~1.4	"	小型電機子, 誘導電動機の回轉子
C	1.5~1.7	"	一般電機子
D	3.5~3.5	0.08 以下	誘導電動機固定子, 高導磁率を要する變壓器, 高能率の電機子
T	4.0~4.5	0.07 以下	變壓器用



第 2.10 図

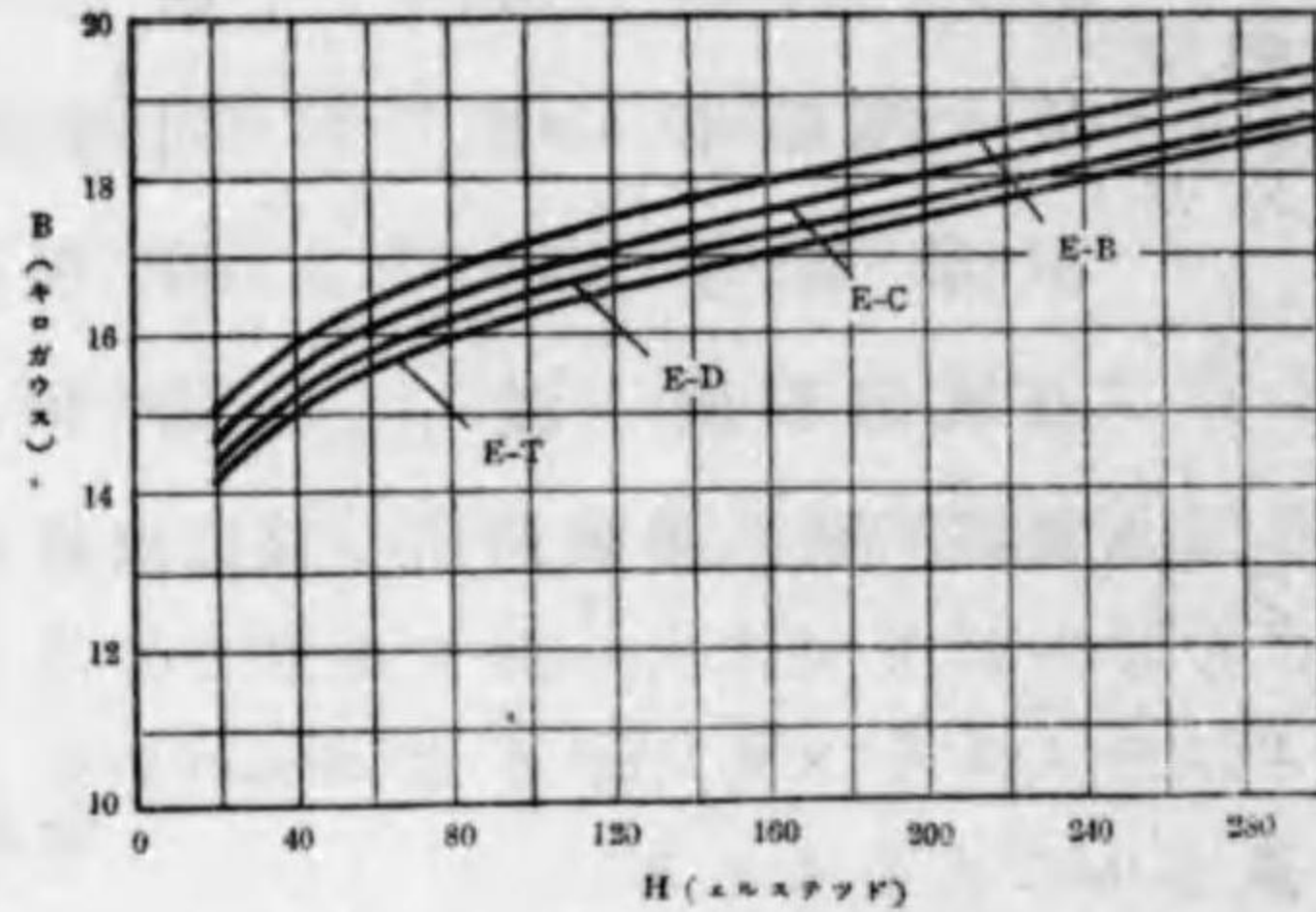


第 2.11 図

0.35mm 鉄板の鉄損保証値

川崎造船所製鉄工場(神戸)では珪素鋼にニッケル0.1~0.3%

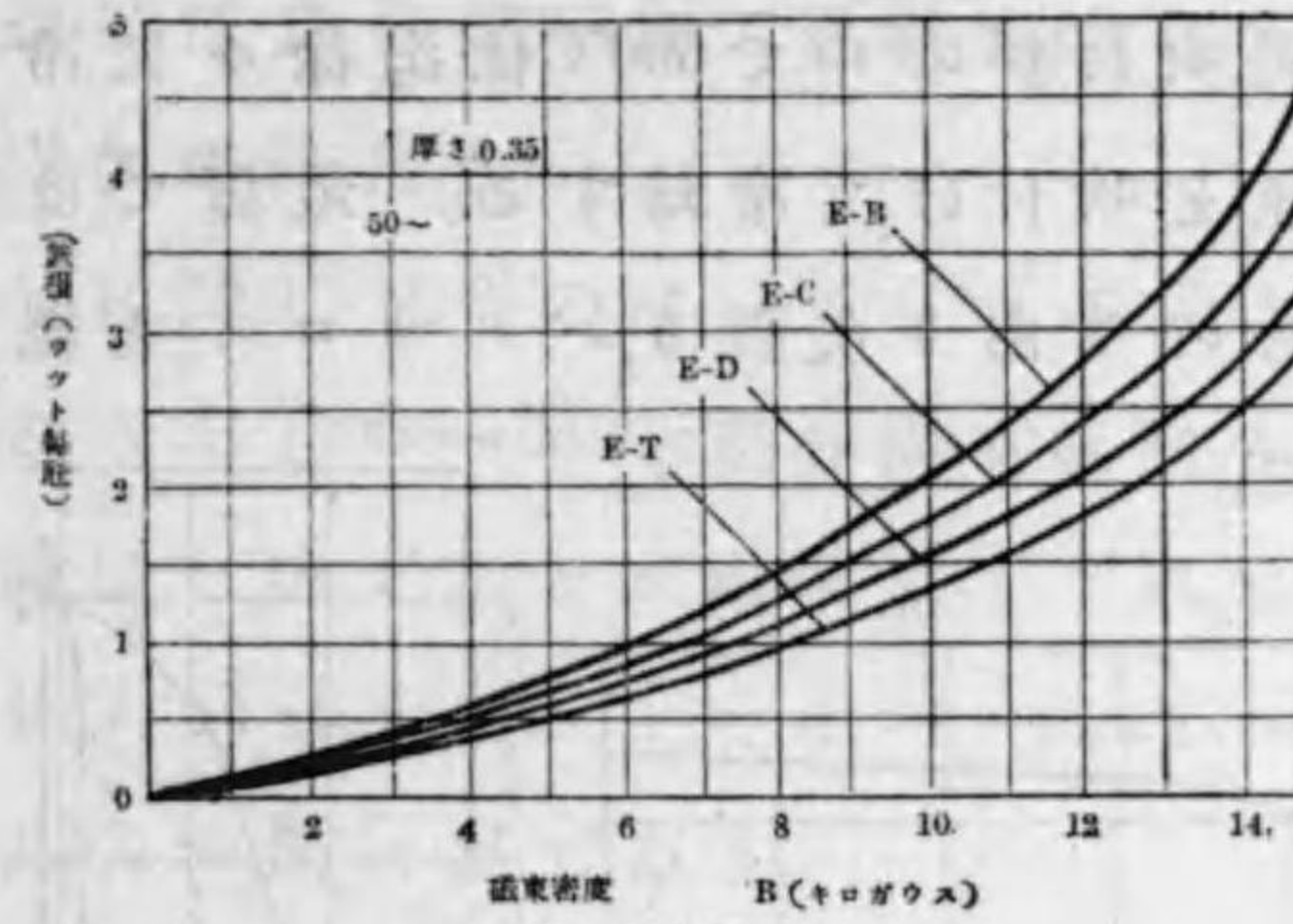
を加へて磁氣的性質を損することなく、機械的に靱性を與へて加工を比較的容易にした。回轉機用の E-B, E-C, E-D 及び變壓器用の E-T の 4 種



第 2.12 図

を市場に出してゐる。

	Si %	Ni %	C %	用途
E-B	1.0~1.4	0.10~0.15	0.06以下	界磁鉄心, 直流機回轉子その他 B 及 H 共に大なる箇所
E-C	2.0~2.5	0.12~0.18	"	一般交流固定子, 回轉子
E-D	3.0~3.5	0.15~0.22	"	高級交流機, 小型變壓器
E-T	3.9~4.2	0.20~0.30	"	一般變壓器



第 2.13 図

**酸化皮膜** 焼鈍された珪鋼板の表面には薄く酸化皮膜が出来て、これは電気抵抗が大きいから成層鉄心の絶縁の役目を務めはするが、一方鉄損を増し磁路の有効断面積を少なくするので近頃では出来るだけ酸化皮膜を薄くし、又酸洗(acid pickling)して皮膜を除き表面を美化する。

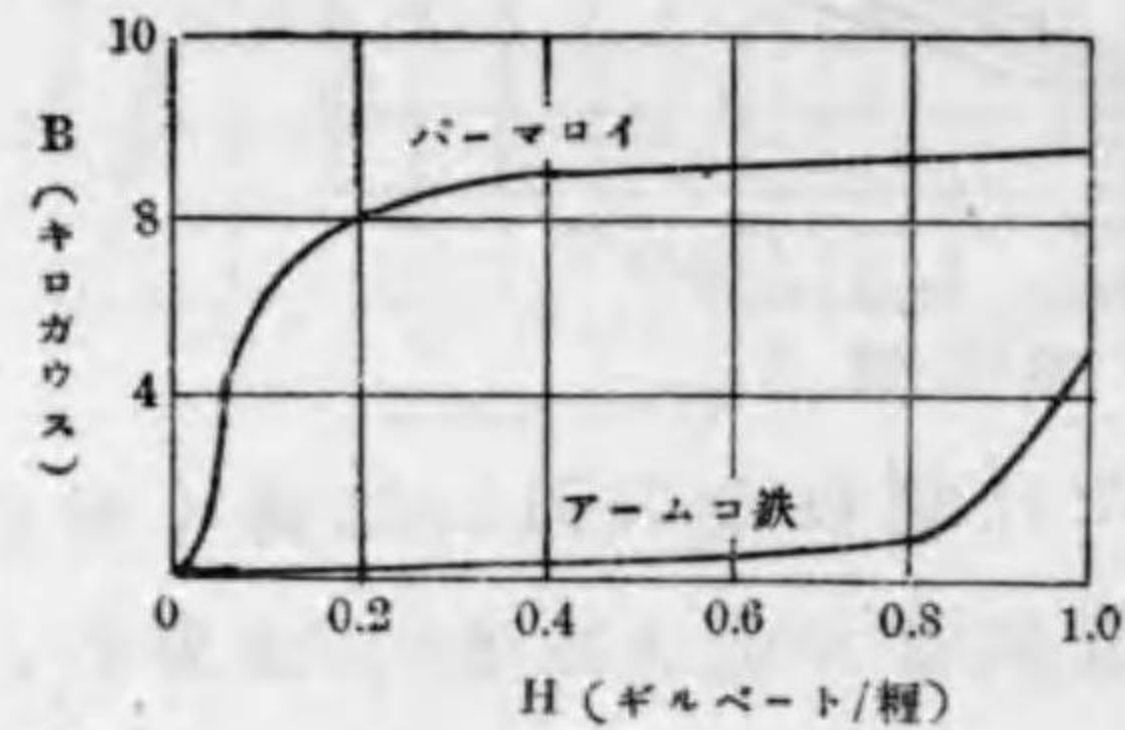
### 2.2.3 高導磁率合金

最近の電気通信工学の目醒しい進歩は、弱電流による弱い磁化力でも十分に磁束を通すやうな、初導磁率の特に高い材料の發達に待つ所が甚だ多い。

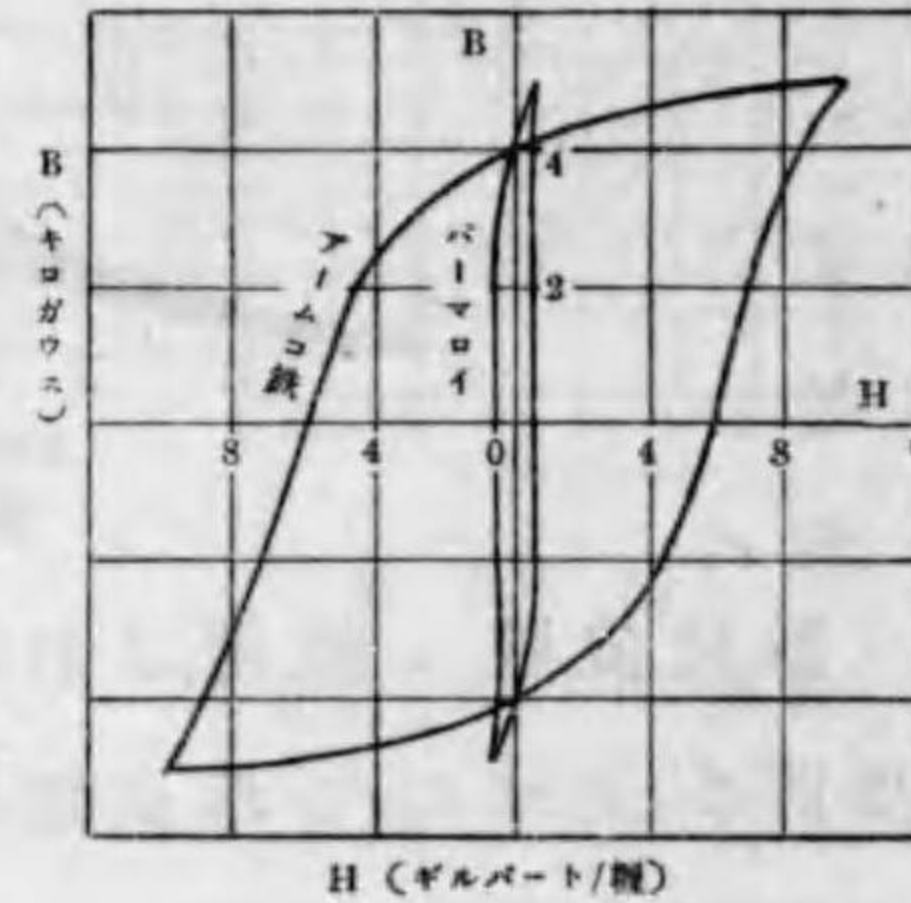
#### [パーマロイ]

1923年アメリカの Arnold, Elmen 兩人は Ni 80%, Fe 20% 合金を適當に熱処理すると初導磁率  $\mu_0$  の極めて高いものが得られ、地球磁界ででも飽和に近くなることを發見した。熱処理に對しては非常に敏感で、900°C

位で1時間、次に炉の中で600°C位迄徐々に冷し、後急に出出し空気を吹付けて冷却する。最近ではNi36%又は50%のものもあり矢張りパーマロイと總稱されることもある。



第 2.14 図



第 2.15 図

純鉄の一種であるアームコ鉄(普通材料の中では $\mu_0$ 高く、保磁力も少ない方)と比較すると上図の如くなりヒステリシス損は殆ど無い。

【註】 図の横軸の磁化力が他の鉄材のB-H曲線と比べて特に小さいことに注意せよ。

$$\mu_0 = 9000 \quad \mu_{max} = 10000 (B = 5000G \text{ 附近})$$

$$\text{飽和磁気 } B = 11000 \text{ G} \quad \rho = 20 \mu\Omega \cdot \text{cm}$$

用途：海底電信ケーブルの平等装荷用として銅線の上に一様に巻きつけてインダクタンスを與へる。大西洋横断ケーブルに用ひられてゐる。又計器用變壓器、ラジオ用變壓器の鉄心等、低磁束密度用に用ひられるが機械的の歪によつて甚しく磁性の變化を受け

るから取扱に注意を要し、加工後熱処理を行ふ。

**[50% ニッケル鉄合金]**

Niを50%に減じたものはパーマロイよりも初導磁率は低くなるが(3000~6400)、幾分固有抵抗が大きく(40~45)、渦流損を防ぐことが出来る。これ等パーマロイ系合金はインバリアント、ハイパーニツク、ニツカロイ等の商品名で世に出てゐる。

**[超パーマロイ]**

東北帝大金属材料研究所で発見したものでパーマロイにSi, Mn, Co等を加へたもので、固有抵抗も大きく初導磁率も大きい。

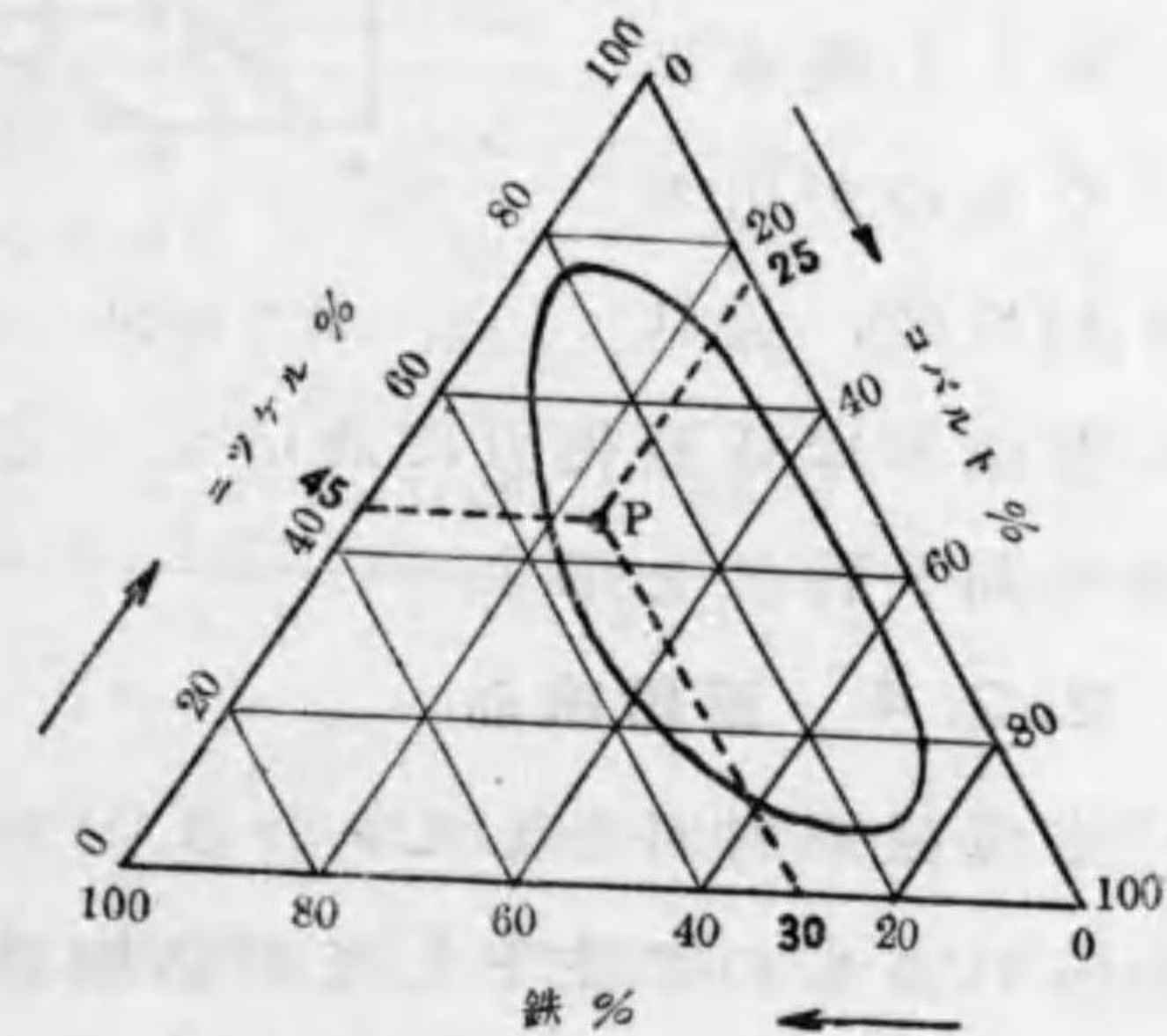
$$\rho = 31 \mu\Omega\text{cm} \text{ のとき } \mu_0 = 13000$$

$$\rho = 113 \mu\Omega\text{cm} \text{ のとき } \mu_0 = 700$$

**[パーミンバー]**

(定初導磁率合金)

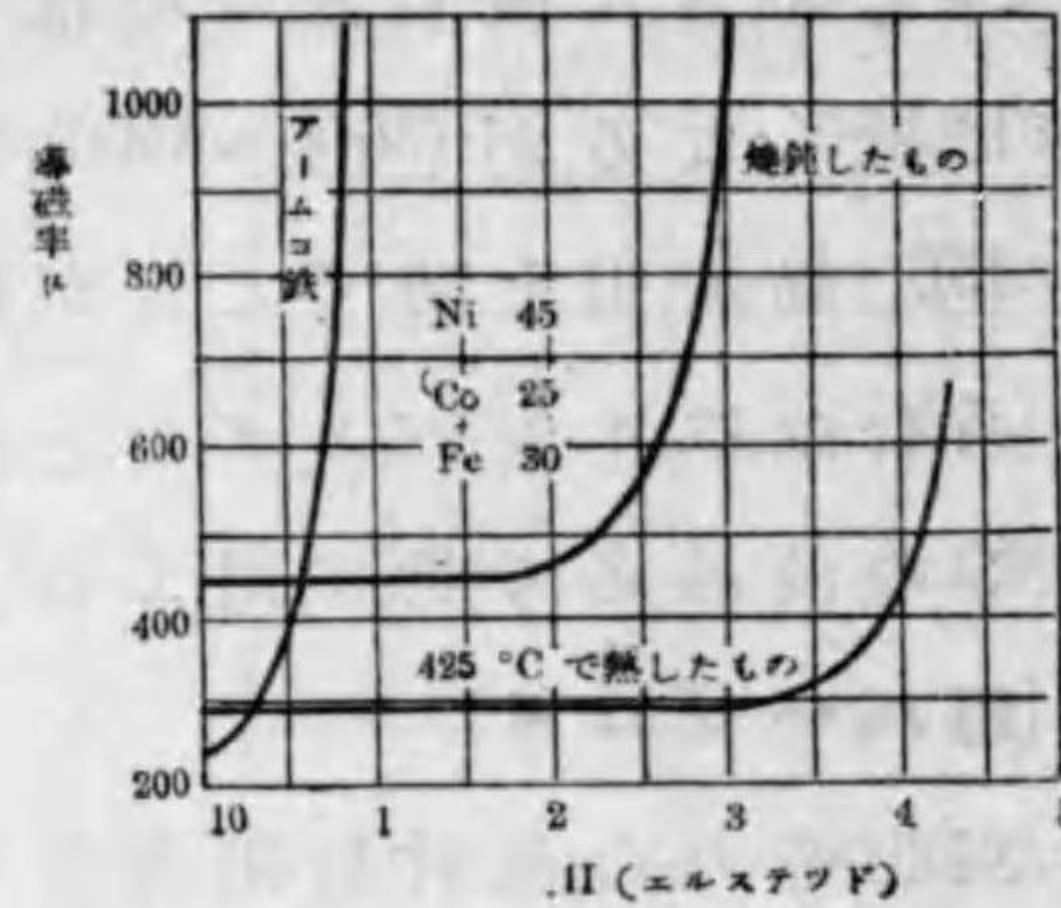
パーマロイは初導磁率 $\mu_0$ は高いが、磁化力によつてその値が變化する。高周波變成器等の二次電流に波形の歪を起させない爲



第 2.16 図 パーミンバーの配合

には導磁率が一定で、従つてB-H曲線が直線である材料が望ましい。この目的にNi, Feの他にコバルトを加へた三元の合金が用

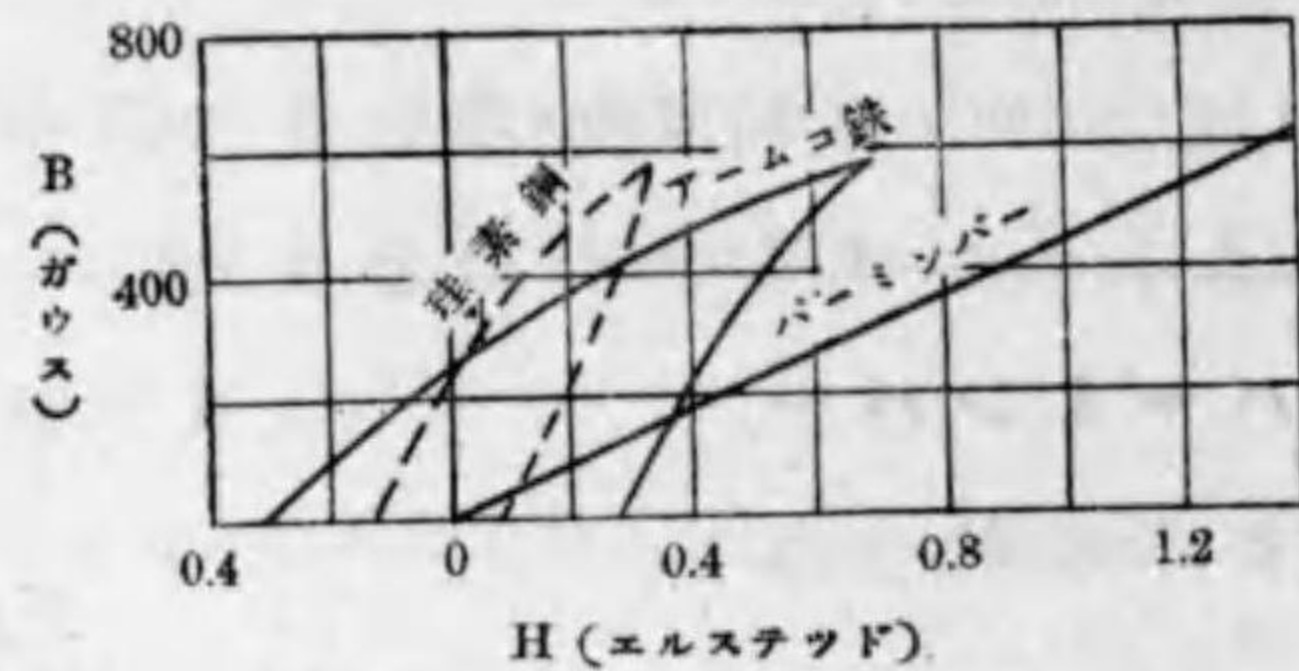
ひられる。第2.16図の閉曲線に囲まれた成分の物は皆パーミンバーと呼ばれ、初導磁率の一定な合金となる。特にP点の如きNi 45%, Co 25%, Fe 30%のものは代



第2.17図 パーミンバーの導磁率

表的なものである。

熱処理の方法で甚しく種々異つたものが出来るが(17図), 何れ



第2.18図 ヒステリシス曲線

も導磁率は低磁化力に於いて一定で、第2.17図第2.18図の如き特性を示す。

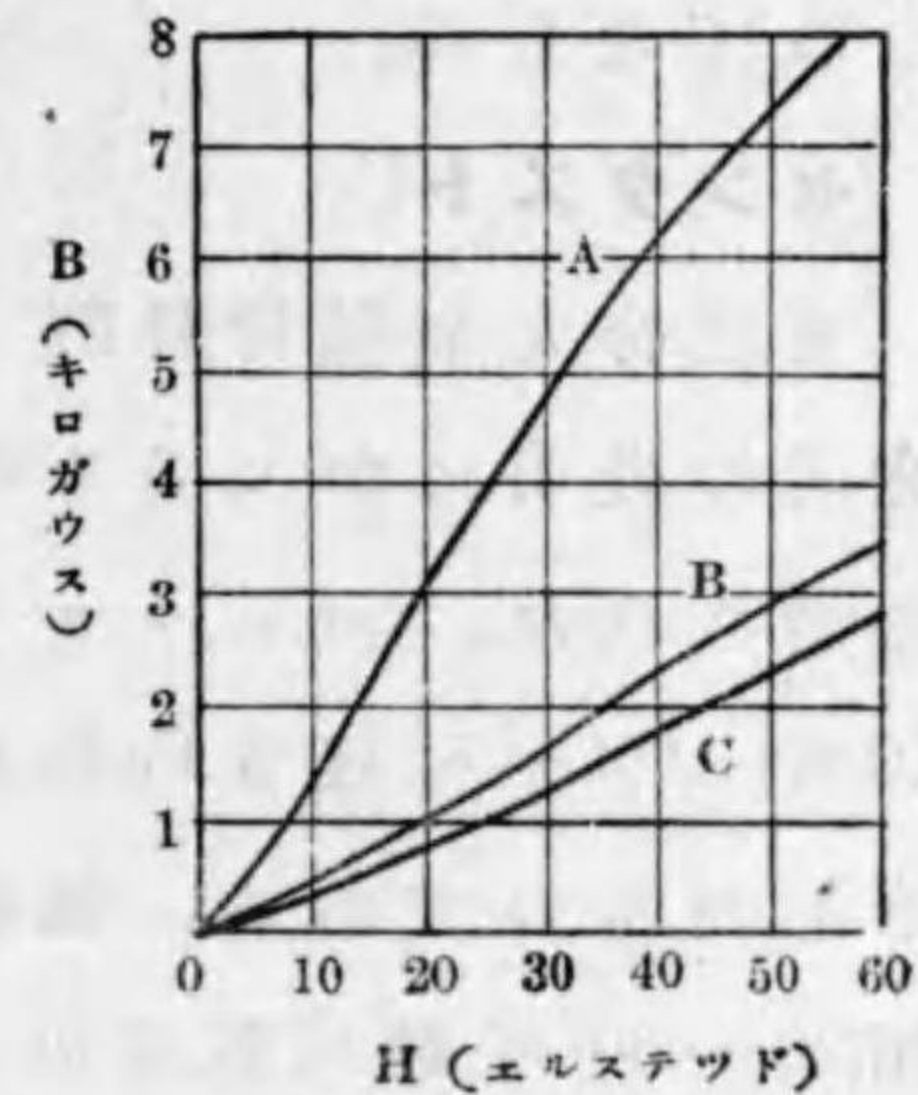
2.2.4 壓粉磁心

定導磁率材料としてパーミンバーと同じ目的に用ひられるもので、主として電話回路に一定間隔毎に挿入される装荷線輪の心材として用ひられる。

[壓粉鉄]

電解鉄を粉碎し1時につき80目位の篩をかけ、これをシエラック等で絶縁して、非常な高圧力(14000 kg/cm<sup>2</sup>)で壓縮して板状としたもので、導磁率が一定、保磁力が少く、随つてヒステリシス損が少い。

鉄粉の粒の大きさ、焼鈍した鉄粉と、鈍さない鉄粉との配合割合のちがひ等によりA, B, C 3種の標準品が作られてゐる。



第2.19図 壓粉鉄

		比 重	固有抵抗 Ω・cm	初導磁率 μ <sub>0</sub>	抗 張 力 kg/cm <sup>2</sup>
壓 粉 鉄	A	7.1	0.6	55	97
	B	6.4	2.0	35	65
	C	6.0	10.0	25	26.4
壓粉パーマロイ		7.8~8.3	1~20	60~80	18.7

[壓粉パーマロイ]

前述の壓粉鉄心では導磁率が餘りに小さい。パーマロイを粉末として壓縮成形した壓粉パーマロイは大分μがよくなる。これは成形後高温の熱処理を加



へなくてはならぬから、粉末の絶縁には耐熱性のもの(水ガラス等)を用ひねばならぬ。

### [センダスト]

東北帝大金属材料研究所の發明にかゝるもので、仙臺の dust core の意味で命名された。パーマロイの高價なNiを廢して、Si(6~10%) Al(4~8) 残りFeの合金鑄物を粉末として壓縮成形したものである。無線周波用( $\mu = 10 \sim 20$ ), 搬送周波用(20~30), 可聴周波用( $\mu = 60$ )のもの等がある。

### 2.2.5 不感磁性鋼

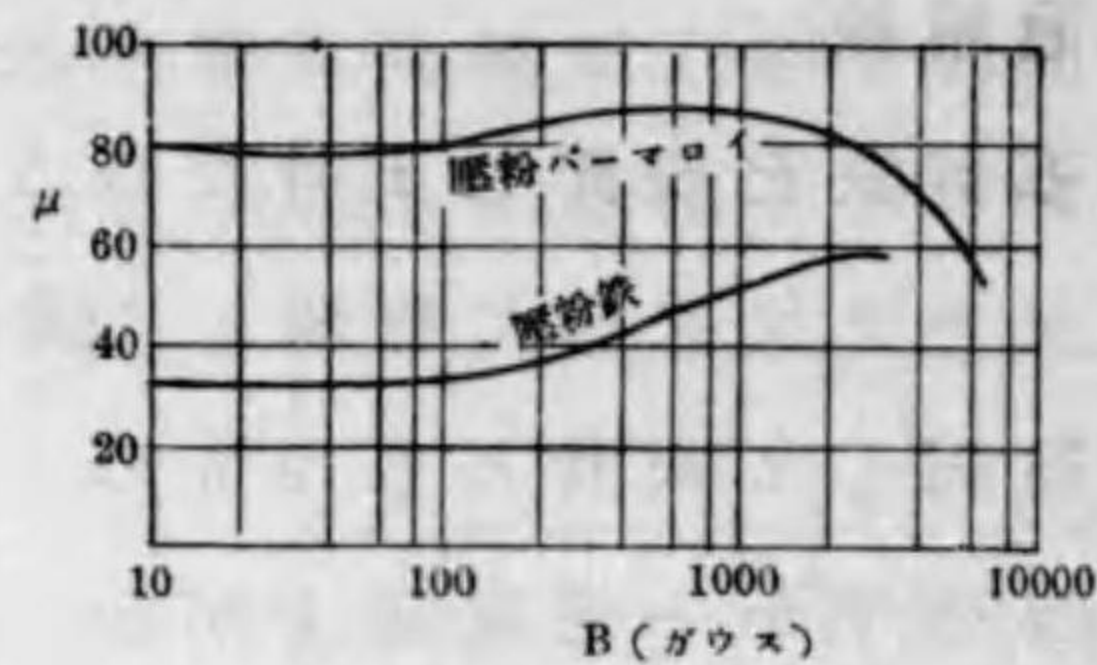
鉄の $A_2$ 變態点(磁氣を失ふ点)は $700^\circ\text{C}$ 以上の高温であるが、Ni, Cr, Mn等を固熔体として含有する合金は $A_2$ 点の溫度が降下し、常溫でも磁性を現はさない鋼を作ることにも出来る。

實用的に磁性を無くした鋼を不感磁性鋼といひ、その用途も相當ある。次に不感磁性鋼の成分の例を擧げる。

(1) C 0.3, Mn 0.68, Ni 22.73, Cr 7.25, Si 1.57, 餘 Fe

(2) Ni-17, Cr-4.5, Mn-3, 残り鉄

20~30% Ni含有のニッケル鋼も實用上不感磁性材



第 2.20 図

と見てよい。市販の不銹鋼のナイフ等に、磁石に殆ど引かれないものがある。

## 第3章 永久磁石鋼

### 2.3.1 永久磁石材

永久磁石材としての必要條件

1. 残留磁束密度 ( $B_r$ ) の大きいこと
2. 保磁力 ( $H_c$ ) の大きいこと
3. 時の経過と共に弱くならぬこと
4. 加工容易
5. 高級な元素をなるべく含まぬ事

永久磁石としては  $B_r$ ,  $H_c$  共に大きいことが望ましいが、また磁石の形状によつてその要求が異なる。例へば棒磁石、磁針のやうに空隙が非常に大きく減磁作用の大きいものでは  $B_r$  より  $H_c$  の方が大切であり、環状磁路の一部に空隙のあるものや馬蹄形磁石等では減磁作用が少いから  $B_r$  の大きいものの方が欲しい。

磁石材としては殆ど總てタングステン又はクロム等を含んだ鋼が用ひられる。我國は本多光太郎博士の K. S. 鋼 (1920 年發明) を始めとして磁石鋼の研究では常に世界に一步を先んじてゐる。

凡て磁石鋼は焼入すれば保磁力が大となり、焼鈍せば保磁力は少くなる。又機械的の振動により磁性を弱める傾きがある。

### 2.3.2 各種の磁石材料

#### 【i】 炭素鋼

炭素 0.035~1.7% を含む鉄と炭素の合金が鋼である。このうち炭素の多い硬い鋼をよく焼入れて磁石鋼として用ひたが、強いもの、精密を要するもの等には現今用ひられない。

#### 【ii】 タングステン鋼

炭素鋼にタングステン (W) を加へたもので

低タングステン鋼 W 2.5~3.5 C 1.0%

高タングステン鋼 W 5.5~8 C 0.5%

炭素の増加と共に磁性は増し、W の増加と共に  $\mu$  減、 $H_c$  増、安定度高まり、加工が容易になる。然し W は高價であるから 3~5% のものが普通用ひられる。2.3.3 節 (54 頁) に示すやうに他の磁石鋼に比べると  $B_r$  は大きい、 $H_c$  が小さいから、閉磁路に近い電氣計器、電話機の磁石等に用ひられる。

#### 【iii】 クロム鋼

高價なタングステン鋼に代つて歐洲大戰中に發明されたクロム鋼は現今最も廣く用ひられてゐる。前者に比べて磁氣的には幾分劣るが廉價であるため普通の目的の磁石鋼として廣く使用され、Cr 2% 以内、C 1% 以内位のものが多い。

Cr鋼は不純物を嫌ひ、殊にSiは磁性を害する。熱処理には相當熟練を要し750~850°Cで焼入される。

$$B_r = 9000 \sim 9700 \quad H_c = 60 \sim 67 \text{ gil/cm}$$

#### 【iv】コバルト鋼

コバルト鋼の特長は保磁力の甚だ大きい点である。本多博士のKS鋼はこれに属し今迄の磁石鋼の数倍の $H_c$ を有する。

**K・S鋼** (研究費提供者住友吉左衛門の頭字)

C 0.7~1, Co 20~36, W 6~8 Cr 1~4, 残り Fe

沸騰水に入れても磁気を損せず、又機械的振動によつて磁力の減ずることも少ない。値は非常に高いが小型の強磁石等の高級材料として専ら用ひられる。

$$B_r = 11500 \quad H_c = 220 \sim 260$$

**新K・S鋼** 1933年本多・増本博士等によつて發明されたものでK・S鋼より遙かに $H_c$ が強く900 gil/cmに及ぶものもある。

K・S鋼のWの代りにニッケル、チタニウムを入れたものでCo 20~40, Ni 10~25, Ti 5~20を金型に鑄込み600~750°Cで數時間鈍したもので質は脆い。

$$B_r = 7600 \sim 6500 \quad H_c = 780 \sim 920$$

#### 【v】ニッケル・アルミニウム鋼 (M・K鋼)

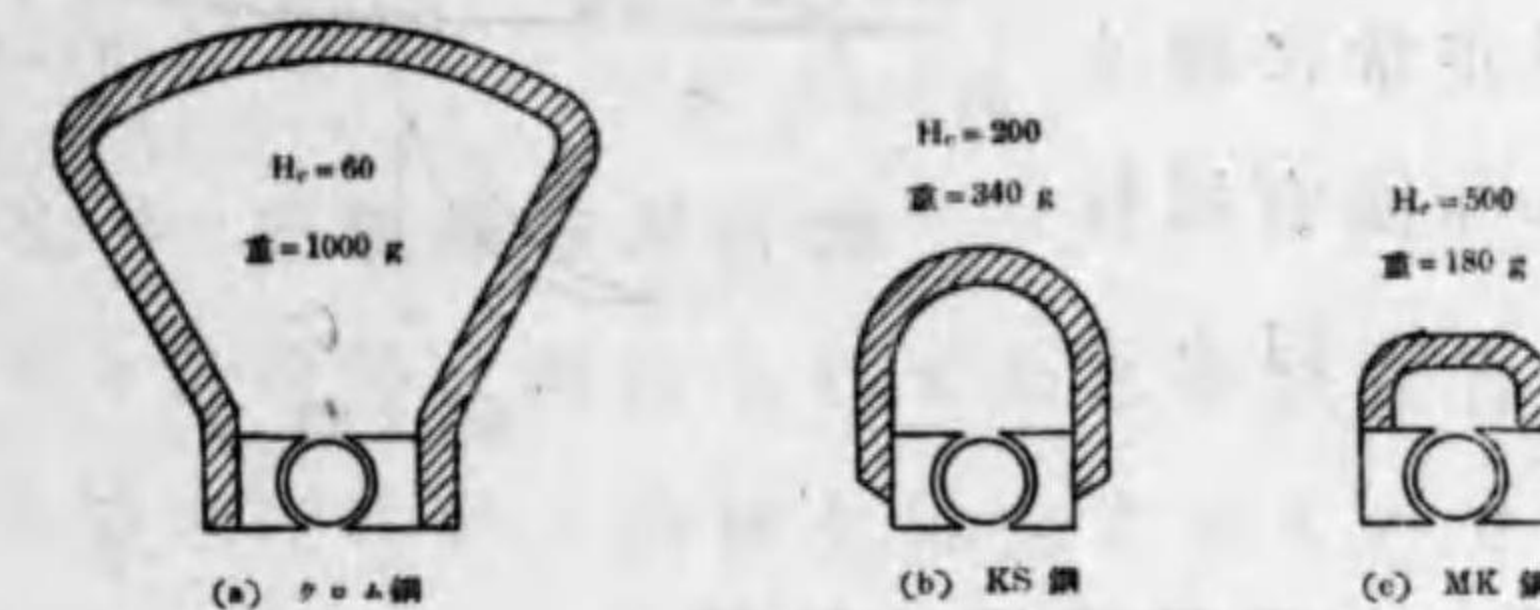
1931年、東京帝大の三島徳七博士の發明で

Ni 20~30, Al 9~12, Co 20以下, 残り Fe

高ニッケル鋼は不感磁性鋼として知られて居るが、これに非磁性物のAlを加へてKS鋼を凌ぐ非常な強磁性のものを得た點は注目に値する。

$$B_r = 11000 \sim 7500 \quad H_c = 200 \sim 650$$

又他の磁石鋼の如く焼入の要なく、鑄造後焼鈍だけで済む。質は脆く、硬くて鍛造は不能。熱及び振動に對して安定で、原料も安價である。

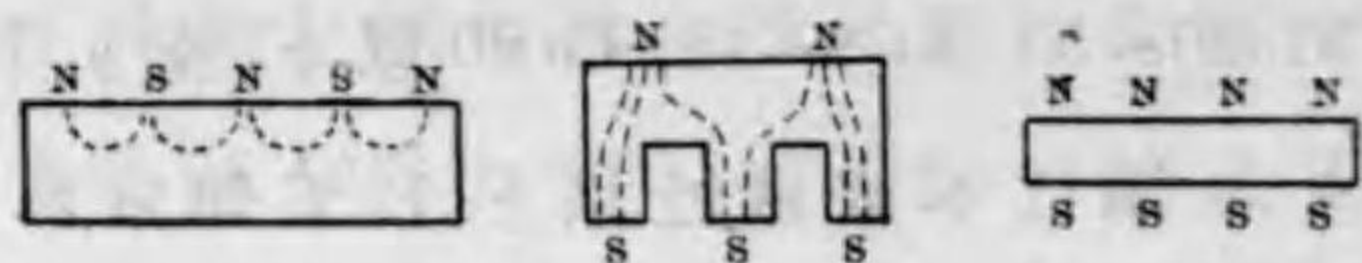


第 2.21 図

電氣計器の大きさが磁石鋼の保持力によつて異なる

#### 【vi】酸化金属磁石 (O・P磁石)

1932年、工業大學の加藤・武井博士によつて發明されたもので、OP磁石と稱せられる。酸化鉄、酸化コバルトその他の金属酸化物の粉末を混合し加壓成形の上、1000°C位で焼結したものである。300°C位で磁化力を與へそのまゝで室温まで冷すと、材料の形の如何に拘らず與へられた場所に磁極が出来るといふ、他に見られない特長がある。



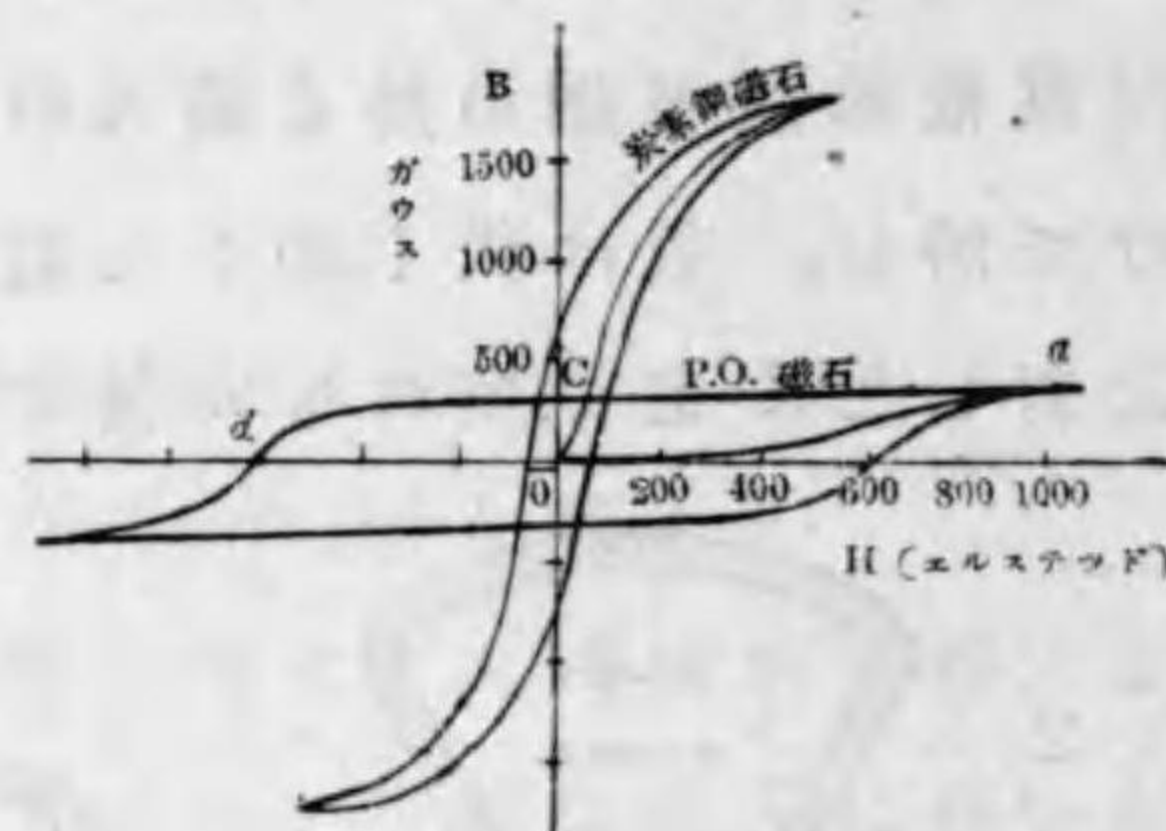
第 2.22 図 OP 磁石は如何なる位置にも極が出来る

第 2.22 図に見るやうに  $H_c$  は非常に強く新 K・S 鋼と同程度である。  $B_r$  は割に少い。

$B_r = 5000 \sim 3000$

$H_c = 500 \sim 900$

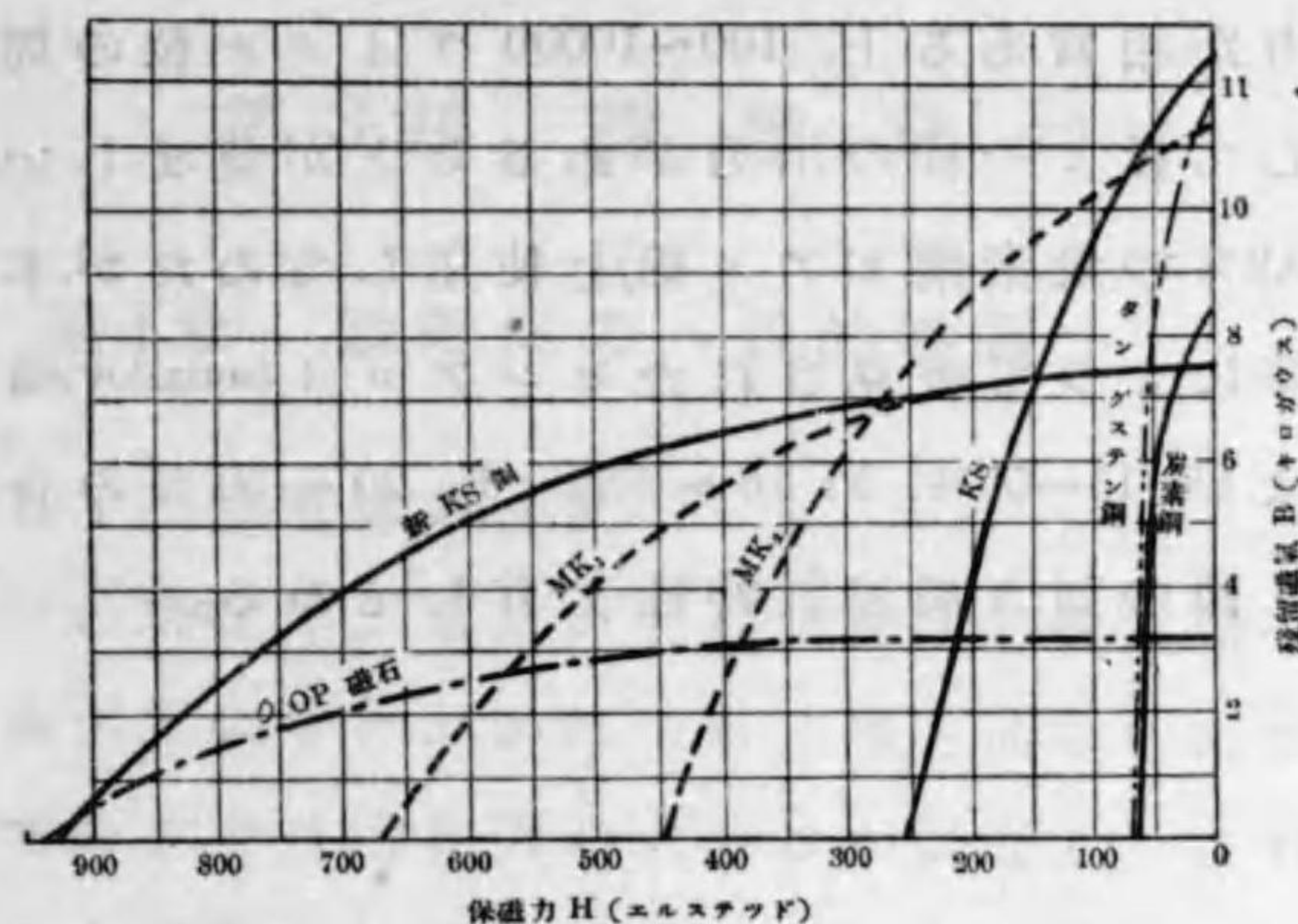
重量が非常に軽く ( $3.6 \sim 4 \text{ g/cm}^3$ ), 固有抵抗は数百オーム以上である。



第 2.23 図

2.3.3 各種磁石鋼の比較

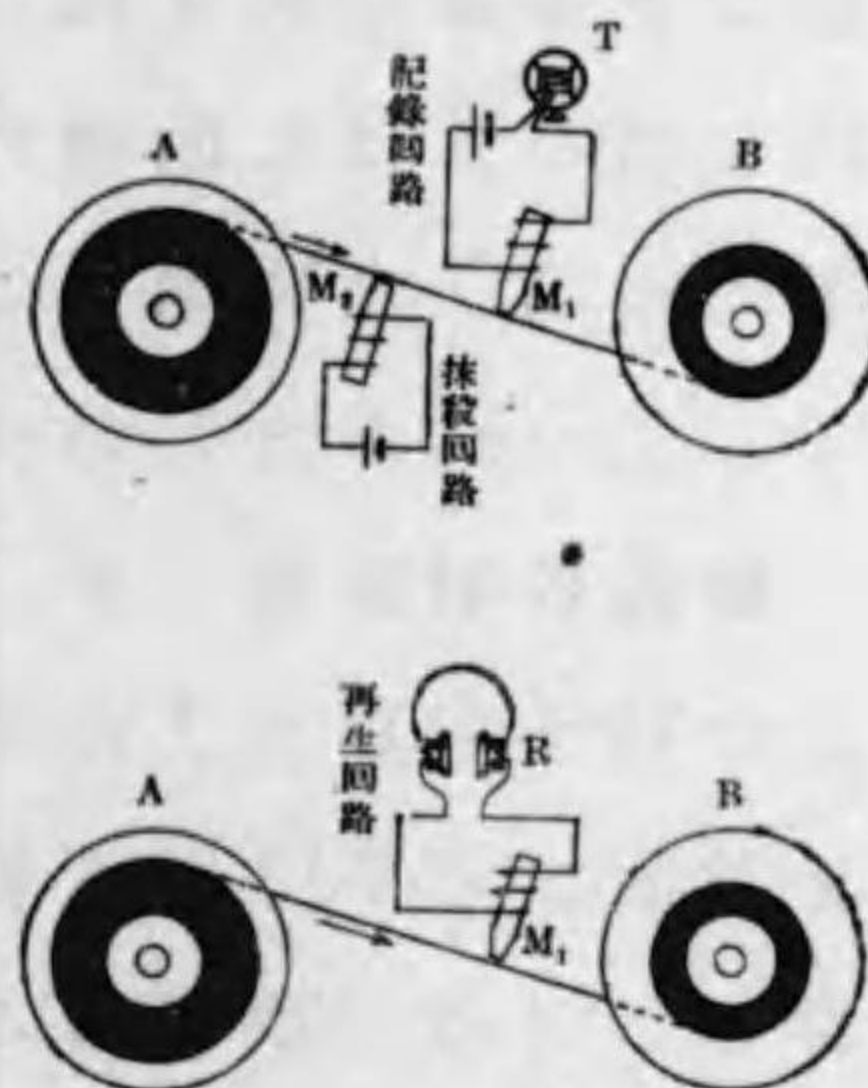
	$B_r$ (キログウス)	$H_c$ (gil/cm)
炭素鋼	8.5~7	45~65
W 鋼 (W 5~7, C 0.7~0.75)	10.5~11	65~70
Cr 鋼 Cr 1~3	9~10	43~63
Cr 6	9	72
Co 鋼 低コバルト鋼	9~9.8	85~100
KS 鋼	8.8~12.5	200~250
新 KS 鋼		
MK 鋼 (Ni-Al-Fe)	11~7.5	200~650
OP 磁石	3~5	500~900



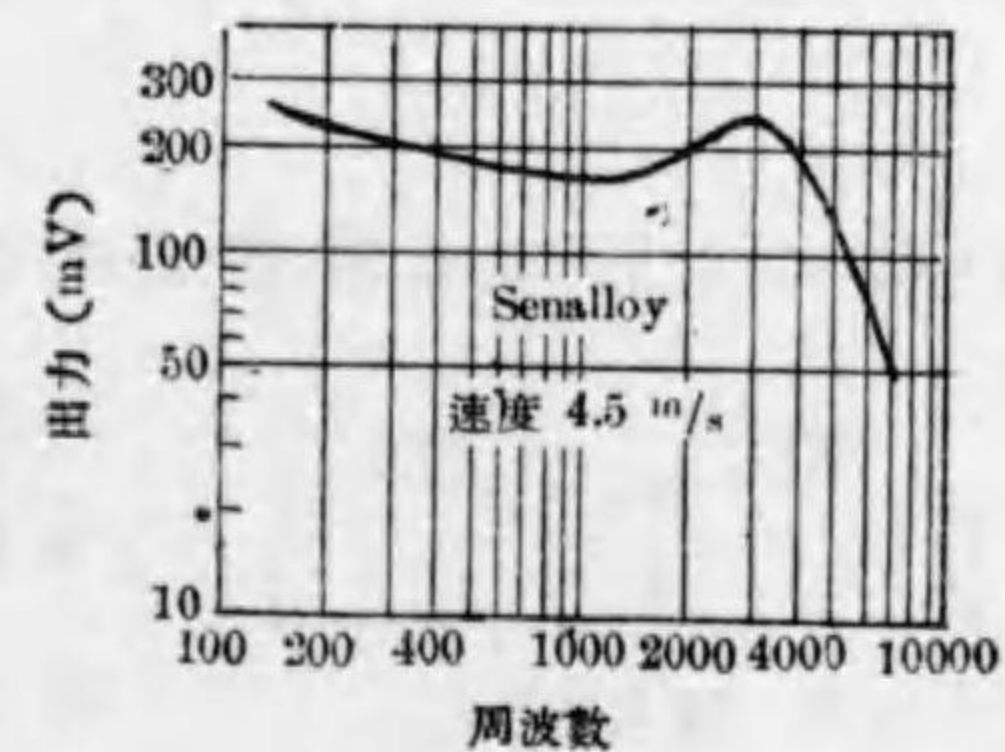
第 2.24 図

2.3.4 磁気録音用材料

ラジオ放送等に用ひられてゐる磁気録音機は音聲電流で等速度に動く鉄線を磁化するものであるが(第 2.25 図), その鉄線としては弱磁化力で充分磁化され



第 2.25 図 磁気録音の原理



第 2.26 図

保磁力が相当ある上、100~10000 サイクル位の周波数に對してほぼ一様の出力があることが望ましい。従來は0.9%の炭素鋼(ピアノ線)を使用してゐたが、本多、仁科氏等によつて発見されたセンアロイ (senalloy, 仙臺の alloy) は Cu 15~55%, Ni 15~55%, Fe 20~50% の合金で第 2.26 図の如き周波数特性を有してゐる。

## 第3編 絶縁材料

### 第1章 誘電体の一般的性質

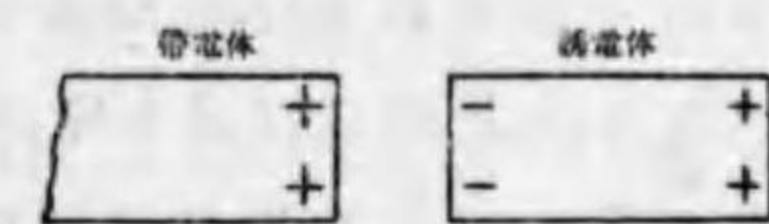
#### 3.1.1 誘電体の性質

二つの帯電体が電氣力を互に及ぼし合ふ場合、その二物体が空氣中におかれてゐる時と、油の中におかれてある時とでは電氣力の大きさが異なる。これから考へると、電氣力は兩帯電体の間に介在する絶縁物には無關係に働き合ふのでなくて、絶縁物を媒介として作用し合ふものであることが分る。

絶縁物はこのやうに電氣力を傳へる働きを有すると考へられるから、誘電体 (dielectrics) ともいはれる。

以下述べるやうな誘電体に起る諸現象は、未だ充分に解決されない部分が多くて、不分明のまま残されてゐる點が少くない。完全なる理論の確立は將來に俟たねばならない。

(1) 誘電体の偏極 誘電体を帯電体の近くに持つてゆくと導体を持つて行つた時と同じやうに電氣を誘導する(第3.1圖)。然しこの場合は導体が静電誘導で帯電するとき



第 3.1 図  
誘電体に於ける静電誘導

のやうに自由電子の移動によつて説明するわけにはゆかない。

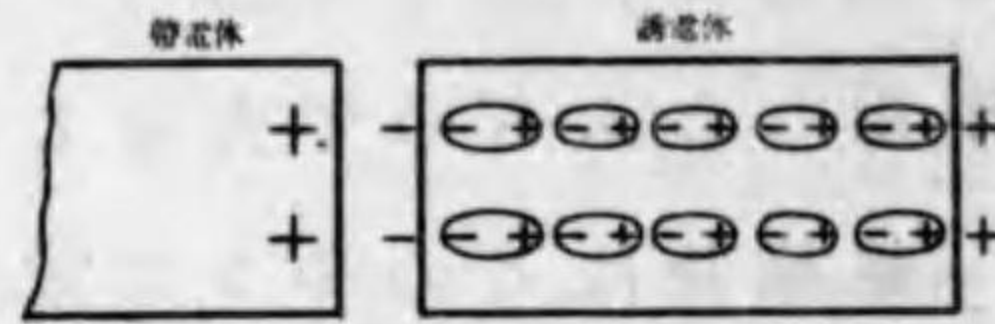
誘電体が第3.1図のやうに電界内におかれると誘電体の分子を構成してゐる原子の陽核



第3.2図 原子の偏極

は正電気を有するから電界の方向に少し移動し、陽核の周囲に回轉してゐる電子は負電気を有するからその平均位置が電界と反對に少し移動する(第3.2圖)。それで結局誘電体の各分子は第3.3圖のやうに帯電体に

近い方に負電気を帯び、遠い方に正電気を帯びることになる。その結果として、誘導体の両端には正、負

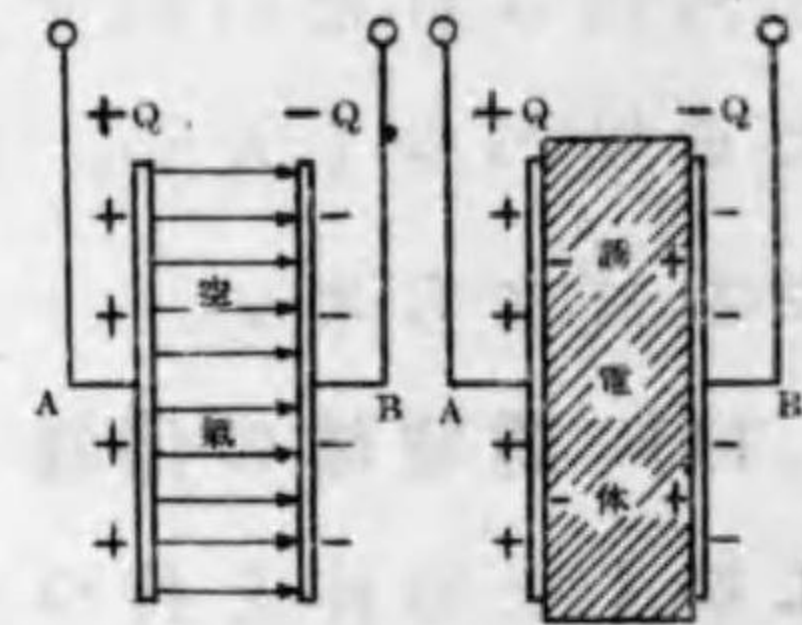


第3.3図 誘電体偏極

の電荷が表はれる。この現象を誘電体の偏極 (polarization) と稱する。

この説を證する一つの事實として、蓄電器を考へてみることにする。

第3.4圖に示す蓄電器の金属板A, Bの間に單に空氣が存在する時には、A, Bにそれぞれ+Q, -Qなる電荷を與へると、A, B間には $4\pi Q$ 本の電氣力



第3.4図 蓄電器の誘電体偏極

線が生じて、その密度は $4\pi Q/S$ であるから、A, B間の電界の強さは $E = 4\pi Q/S$ である(但しSは各金属板の面積)。従つてA, B間の電位差はA, B間の距離を $l$ として

$$V = El = 4\pi Ql/S$$

また静電容量は

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{S}{4\pi l}$$

然るにA, B間の空氣を他の誘電体(例へば硝子)でおき換へると、偏極現象によつて誘電体のAに接する面には負電荷 $-q$ を、またBに接する面には正電荷 $+q$ を生ずる。そのため兩金属板A, B上の電氣は見掛上 $(Q-q)$ 及び $(-Q+q)$ に減少したと同様となつて、A, B間の電界の強さは $E' = 4\pi(Q-q)l/S$ となる故、この場合にはA, B間の電位差は

$$V' = E'l = 4\pi(Q-q)l/S$$

また静電容量は

$$C' = \frac{Q}{V'} = \frac{Q}{Q-q} \cdot \frac{S}{4\pi l}$$

以上の計算の結果、誘電体をA, B間に入れた場合は静電容量が空氣蓄電器とした場合の $Q/(Q-q)$ 倍になつて、増加することが分る。蓄電器の兩極板の間に硝子、雲母等の絶縁物を用ひる時は、その静電容量が兩極板の間が空氣の時よりも増加することは實驗の示す處である。

なほ $C'/C = Q/(Q-q)$ なる故、 $Q/(Q-q)$ はその誘電体の誘電率Kであつて

$$K = \frac{Q}{Q-q}$$

$$\text{これより } q = \frac{K-1}{K} \cdot Q$$

### (2) 誘電体に於ける電氣傳導及び絶縁抵抗

絶縁物と雖も絶対に電流を傳へないといふわけではなく、唯その抵抗が極めて高いのに過ぎない。誘電体内を漏洩して流れる電流は大體二つのものが考へられる。誘電体内に存在する自由電子に原因するものと、イオンの傳導に歸すべきものとである。誘電体

に加へた電圧とそれによつて流れる電流との比を絶縁抗抵 (insulation resistance) といふ。

**空気などの気体** は通常の状態では良好の絶縁体であるが、放射性元素の放射線、日光中の紫外線、宇宙線等の影響で僅少ながらイオン化され、その時放出された電子や、電子が中性分子に附着した陰イオン、電子を放出して生じた陽イオン等を含有してゐるものである。故に低い電圧による弱い電界が加へられても、電子やイオンの移動によつて微弱な電流が流れる。然し気体に加はる電圧が高くて電界が強くなると電子は質量が小で進行の途中容易に加速されて相當な速度になり、中性の気体分子に衝突してこれから電子を放出せしめてイオン化する作用を表はし、電流は増加することになる。更に電圧が高まつて強電界となると質量大なる陽イオンも、かなりの速度を得て気体分子を衝突によりイオン化し、また陰極に衝突してこれから電子を放出せしめ、電流が急激に増加して火花放電に移るのである。

**油または流動パラフィンのやうな液体誘電体** に於ける電氣傳導は主としてその中に溶解してゐる水分や電解質が電離電解的して、電氣を電氣分解的に傳へるのに原因する。然し気体の場合のやうに、自由電子による傳導も存在するし、また高電圧による強電界のため、衝突による中性分子のイオン化が電流増大を助ける作用もある。

**雲母や硝子等の固体誘電体** に於いても、液体の場合のやうに電離(電解的)してゐるイオンによる電氣傳導と、自由電子による電氣傳導とによつて電流を通ずる。

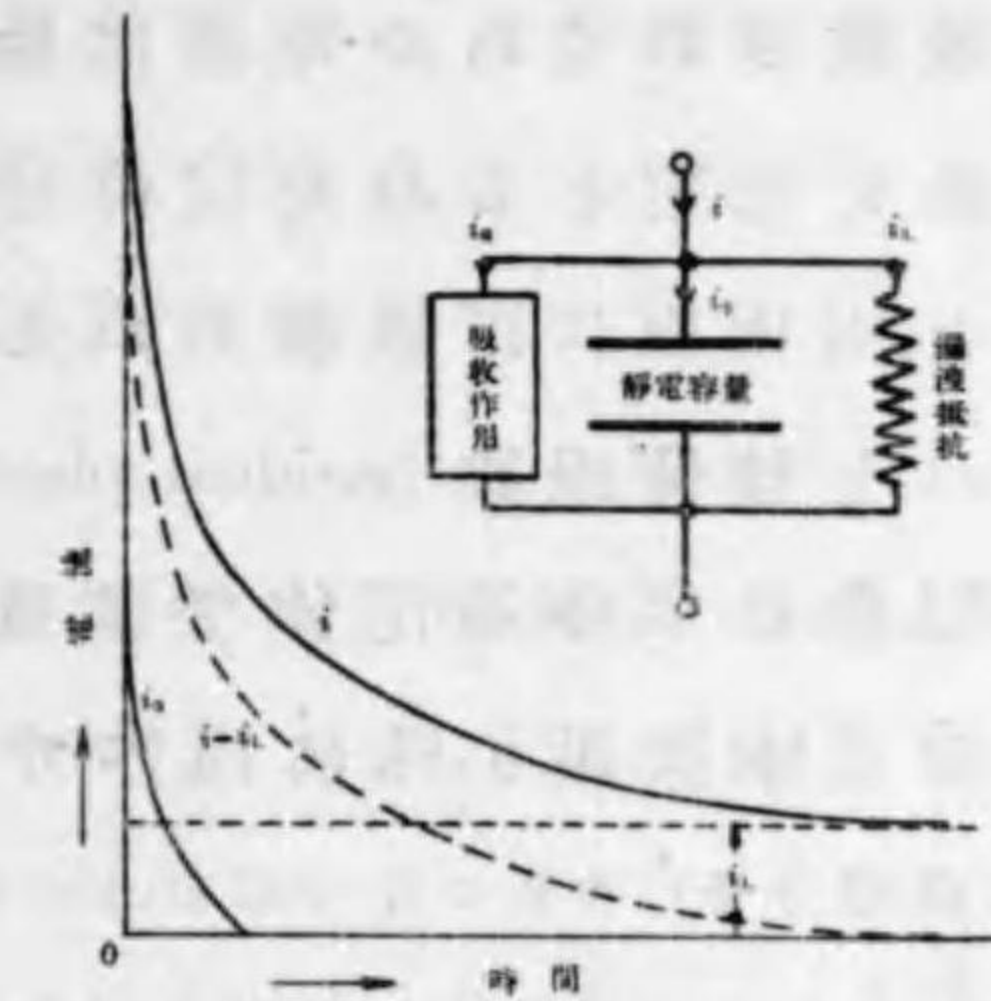
また固体誘電体の漏洩電流は、内部を通して流れる電流と表面に沿うて流れる電流とに分けて考へることが出来る。前者に對する絶縁抵抗を容積絶縁抵抗、後者に對する絶縁抵抗を表面絶縁抵抗といふことがある。

### (3) 誘電体吸収及び残留現象

蓄電器の兩極板の間に誘電体を挟んで直流電圧を

加へると、充電電流  $i$  は電圧を加へた瞬間から第3.5図のやうな経過をとつて漸次減少してゆき、遂に一定値  $i_L$  となる。 $i_L$  は誘電体の電氣傳導による漏洩電流である。

全充電電流  $i$  から漏洩電流  $i_L$  を引き去つた残りは、静電氣學によつ



第3.5図 残留現象

て計算したこの蓄電器の静電容量を充電する電流  $i_0$  となるべきであるのに実際には  $(i - i_L) > i_0$  となり、容量の充電電流  $i_0$  は直ちに0となるにも拘らず  $(i - i_L)$  は長い時間の後までも繼續する。

この事實から考へると一般に静電容量を有するものに電圧を加へた時には、容量を充電する電荷及び兩極間の漏洩電流の電荷を供給する外に、 $i_a = i - (i_L + i_0)$  なる電流に相當する電荷を供給しなければならぬことになり、誘電体が充電の際、恰もこの電荷を吸収するやうに見える。この現象を誘電体吸収 (dielectric absorption) といふ。

次に蓄電器の充電電流が一定の値となつてから、電源を取り去つて、兩極板を短絡すると、容量を充電して

ゐた電荷は直ちに放電してしまふが、吸収現象によつて吸収されてゐた電荷は徐々に放電する。短絡して容量を充電してゐた電荷を放電させた後開路しておくと、兩極板には吸収されてゐた電荷が現はれて来る。これを**残留現象** (residual phenomenon) と稱する。これらの現象は氣體誘電体では殆ど起らないが、液体及び固体誘電体に起り、殊に固体では著しい。

[双極分子] 物質の分子には、その陽電荷の中心と陰電荷の中心とが一致するものと、一致しないものがあり、後者は丁度磁性体の分子磁石が磁界中で磁力線の方向に向くように電界中で、電氣力線の方向に向かうとする性質を有して、**双極分子** (polar molecule) と呼ばれる。吸収現象の起る原因は誘電体の成分物質中の双極分子が、摩擦力に打ち勝つて加へられた電界の方向に列ぶことによるといふ考へ方があるが、確定的な説は未だない。

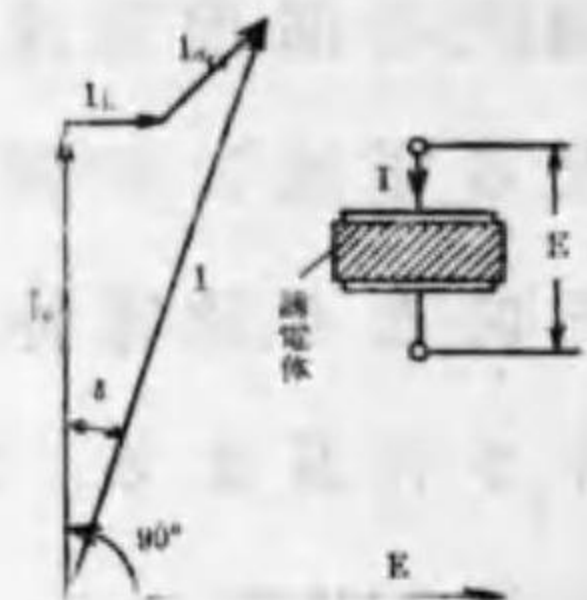


第3.6図  
双極分子

#### (4) 誘電体損失

交番電圧を加へた蓄電器の兩極板間の誘電体のやうに交番電界内におかれた誘電体内には、エネルギー損失を生ずる。これを**誘電体損失** (dielectric loss) と云ひ、これは熱となつて誘電体の絶縁劣化破壊の原因となる。

今蓄電器の兩極間に加はる交番電圧をベクトル  $E$  で表はすと、静電容量の充電電流は



第3.7図

誘電体損失角

これより位相が  $90^\circ$  進んだ  $I_0$  である(第3.7図)。この外に誘電体の電氣傳導による漏洩電流  $I_L$  及び吸収現象による電流  $I_a$  が流れる。それ故全電流は  $I_0$ ,  $I_L$ ,  $I_a$  のベクトル和  $I$  となる。故に誘電体損失電力は

$$E I \cos(90^\circ - \delta).$$

この角  $\delta$  のことを**誘電体損失角** (dielectric loss angle) といふ。 $\delta$  は普通極めて小であるから、**誘電体力率** は

$$\cos(90^\circ - \delta) = \sin \delta \doteq \tan \delta$$

であつて、普通  $\tan \delta$  を以つて表はし、これが大なる程誘電体損失が大である。

誘電体損失は第3.7図からも分る通り、漏洩電流の抵抗損失及び吸収電流による損失に原因するものである。

誘電体損失は電圧の自乗及び周波数に對して比例的に増加する傾向を有するから、特に高周波回路では誘電体力率  $\tan \delta$  の小なる絶縁材料が要求される。

[註] 上式を更に變形すると、

$$P = EI \tan \delta = E(\omega CE) \tan \delta = E^2 \omega C \tan \delta$$

### 3.1.2 誘電体の絶縁破壊

(1) **誘電体の絶縁耐力** 誘電体を電極間に挟んで電圧を加へ、次第に上昇せしめて、誘電体に働く電界を強めてゆくと、初めは漏洩電流を流すのみであるが、或る点まで達すると急激に多量の電荷が誘電体中を流



れ、誘電体は破壊されて絶縁性を失ふ。この場合の電圧を破壊電圧といひ、電極間の距離で破壊電圧を除した値を絶縁耐力と稱してゐる。

誘電体の絶縁耐力は物質によつて異なるはいふまでもないが、電極の形状、電極間の距離、電圧を加へる時間、周波数、温度及び湿度等によつて變化する。

この破壊現象の理論については未だ定説がない。

#### (2) 誘電体の絶縁破壊

**気体** は前に述べた如く、種々の原因によつて正、負のイオンや電子を含有してゐるから弱い電界中でも微弱ではあるが電導性を有する。然し気体に加はる電位傾度が大となると、陰イオン殊に電子が加速されて中性分子に衝突して電離作用を起す。更に電位傾度が高いときは陽イオンの作用が加はつて放電に必要な電子及びイオンを自ら供給するやうになり、電流も急に増加して絶縁が破壊される。この絶縁破壊が電極の間隙全部にわたつて起ると**火花放電** (spark discharge) となり、續いて**弧光放電** (arc discharge) となる。また電極間の電界強度が均一でなくて、電極附近の電位傾度の大なる部分で局部的の絶縁破壊が起ることがあるが、これが**コロナ放電** (corona discharge) である。

気体誘電体の絶縁が破れて放電が起る場合に、陽イオンも衝突電離作

用を行はぬわけでもないが、陽イオンの主なる働きは次のやうなものである。

- (1) 陰極に衝突して、こゝから電子を放出する。
  - (2) 電子と再び結合した時に發する光によつて陰極から光電子を放出する。
  - (3) 陰極附近に集合して空間電荷を形成し、そこに大なる電位傾度を生じ、陰極から電子を引き出す。
- これらの作用によつて放電に必要な電子を電極の間隙に供給するのである。

**液体誘電体** にあつては、塵、水分、吸藏ガス、その他の不純物が存在すると、絶縁耐力が低下する。故に變壓器油、開閉器油等では、よく不純物を除去する必要がある。

液体誘電体内の電極に高い電圧を加へて強い電界を働かせると、絶縁が破壊される。この現象も未だ充分に明かでないが、電極表面の吸着ガス或は液中の吸着ガスのイオン化または電子が液体分子自身をイオン化することによるものと考へられてゐる。高周波電圧による絶縁破壊の際には上述のやうにして流れる電流によつて發生する熱も、絶縁破壊に與るものらしい。

**固体誘電体** の絶縁破壊の現象は、一層複雑で解決はなかなか困難である。固体誘電体に強電界が加へられると、電子の衝突によるイオン化が起り、これによつて絶縁破壊が起る。また電流が流れて、熱を生ずる

と温度が上昇し、その結果導電率が大となつて、愈々電流が増加し、熱的に破壊するとの説もある。

第 3.1 表 絶縁

品名	比重	抗張力 kg/cm <sup>2</sup>	誘電率
白雲母	2.76 ~ 3.0	(3~5) × 10 <sup>9</sup>	6 ~ 7
金雲母	2.75 ~ 2.9	950 ~ 1300	5 ~ 6
マイカナイト	1.9 ~ 2.6	500 ~ 2000	4.5 ~ 8
マイカレツクス	3.4	490	8.5
大理石	2.5 ~ 2.8	259	8.3
玄武岩	2.8 ~ 2.9	245	6.6 ~ 7.4
硫酸	2.7 ~ 3	590	7.6 ~ 11
磁器	2.05 ~ 2.09	—	2.0 ~ 4.2
硝子	1.9 ~ 2.5	400 ~ 500	4 ~ 6.8
硝子	2.2 ~ 3.6	140 ~ 800	6.43 ~ 7.76
硝子	2.25	1200	4.5
石英	2 ~ 2.2	470	3.5 ~ 4.5
軟質ゴム	0.95 ~ 1.7	70 ~ 140	2.9
エポキシ	1.15 ~ 1.5	250 ~ 680	2 ~ 3.5
ガッタ	0.969 ~ 1.02	250	2.6 ~ 4.9
バ	0.96	—	3.1 ~ 3.4
コ	1.04 ~ 1.09	—	2.5 ~ 2.88
樹脂	0.96 ~ 0.99	—	2.5
コ	1.056 ~ 1.058	—	3.07
琥珀	1.8	—	2.9
ア	—	—	2.8
シ	1.02	—	2.3 ~ 3.8
ベ	1.26 ~ 1.27	350 ~ 770	5.1 ~ 9.9
ベ	2.0	100	4.5 ~ 8
ベ	1.30 ~ 1.42	850 ~ 1000	4 ~ 6.8
グ	—	—	4 ~ 5
グ	2.47	—	5.2
ヴ	1.35	560 ~ 700	4
ア	1.15	—	5 ~ 6
尿	1.48 ~ 1.50	350 ~ 490	7

この表の数値は温度、湿度、試料の形状及び成分、試験電圧その周波数等によつて相當に異なるものが多い故、概略の値を知るためのものである。

材料特性表(1)

容積固有抵抗 Ω cm	表面固有抵抗 Ω	絶縁耐力 kV/mm	誘電体力率 tan δ (%)
5 × 10 <sup>13</sup> ~ 10 <sup>16</sup>	4 × 10 <sup>13</sup> ~ 10 <sup>14</sup>	15 ~ 78	0.02
(3 ~ 22) × 10 <sup>12</sup>	4 × 10 <sup>13</sup> ~ 10 <sup>14</sup>	15 ~ 78	0.5
1 × 10 <sup>13</sup> ~ 10 <sup>16</sup>	—	15 ~ 50	0.5 ~ 1
1 × 10 <sup>12</sup> ~ 10 <sup>15</sup>	—	13.4	0.2
(1 ~ 30) × 10 <sup>10</sup>	1 × 10 <sup>7</sup> ~ 10 <sup>10</sup>	4 ~ 6.5	15.6 ~ 3.3
1 × 10 <sup>8</sup>	2 × 10 <sup>8</sup>	1.3 ~ 3	8.6
4 × 10 <sup>13</sup>	—	4 ~ 7	0.3 ~ 1.5
1 × 10 <sup>16</sup> ~ 10 <sup>17</sup>	1 × 10 <sup>16</sup>	—	—
3 × 10 <sup>14</sup>	6.7 × 10 <sup>13</sup>	8 ~ 25	0.8
1 × 10 <sup>7</sup> ~ 10 <sup>16</sup>	4 × 10 <sup>14</sup>	5 ~ 10	0.488 ~ 1.065
1 × 10 <sup>15</sup>	5 × 10 <sup>14</sup>	10 ~ 50	0.138
5 × 10 <sup>18</sup>	5 × 10 <sup>14</sup>	20 ~ 40	0.01 ~ 0.07
2.6 × 10 <sup>15</sup>	1 × 10 <sup>14</sup> ~ 10 <sup>16</sup>	10 ~ 24	0.6 ~ 4
1 × 10 <sup>16</sup> ~ 10 <sup>18</sup>	1 × 10 <sup>16</sup>	10 ~ 70	0.25 ~ 2.3
1 × 10 <sup>14</sup> ~ 10 <sup>16</sup>	—	5 ~ 20	1 ~ 3
—	—	—	0.5
5 × 10 <sup>16</sup>	8 × 10 <sup>14</sup>	24	0.4
—	—	—	—
—	—	3.2	0.65
5 × 10 <sup>16</sup>	1 × 10 <sup>15</sup> ~ 10 <sup>16</sup>	3	0.5
1 × 10 <sup>18</sup>	3.5 × 10 <sup>16</sup>	—	0.423
1 × 10 <sup>15</sup> ~ 10 <sup>16</sup>	8 × 10 <sup>13</sup>	10 ~ 23	0.81
(1 ~ 2) × 10 <sup>12</sup> ~ 10 <sup>16</sup>	(1 ~ 2) × 10 <sup>11</sup> ~ 10 <sup>16</sup>	10 ~ 30	3 ~ 9
1 × 10 <sup>12</sup>	4 × 10 <sup>16</sup>	2	4 ~ 15
(1 ~ 3) × 10 <sup>9</sup> ~ 10 <sup>13</sup>	1 × 10 <sup>8</sup> ~ 10 <sup>13</sup>	5 ~ 47	2.5
1 × 10 <sup>16</sup>	5 × 10 <sup>14</sup>	10	1.4 ~ 2.4
4 × 10 <sup>14</sup>	8.9 × 10 <sup>11</sup>	24.4	2.0
1 × 10 <sup>14</sup>	—	16 ~ 20	1.43
4 × 10 <sup>12</sup>	(4 ~ 5) × 10 <sup>12</sup>	28 ~ 34	0.92
1.44 × 10 <sup>7</sup>	—	11.8 ~ 15.8	1 ~ 4

第 3.1 表 絶縁

品名	比重	抗張力 kg/cm <sup>2</sup>	誘電率
天然アスファルト	1.04 ~ 1.40	—	2.7
ストレート・アスファルト	1.061	—	—
ブローン・アスファルト	1.012	—	—
硫化ビチウメン	1.2 ~ 1.3	—	3.8
ステアリン・ピッチ	0.98 ~ 1.06	—	3.38
バラフィン	0.85 ~ 0.92	—	1.9 ~ 2.5
オゾケライト	0.85 ~ 1.0	—	2.1
セレシオン	0.95	—	2.1 ~ 2.2
ベトロラタム	0.84 ~ 0.94	—	2.3 ~ 2.9
モンタニ	0.89 ~ 1.00	—	2.02 ~ 2.67
カルノーバ	0.99 ~ 0.999	—	2.66 ~ 2.83
黄蠟	0.962 ~ 0.975	—	2.52
ステアタイト	2.6 ~ 2.8	550 ~ 950	5.6 ~ 6.5
ケラファ U	—	—	55
スチロール樹脂	1.06	490	2.96
石綿紙	2.3 ~ 3.2	—	—
石綿板	0.5 ~ 0.8	20 ~ 30	2.7
石綿	1.7	140 ~ 250	3 ~ 3.5
含浸木材	—	—	4.1
綿糸	—	—	3.9 ~ 7.9
紙	—	245	1.2 ~ 2.6
含浸紙	—	—	4 ~ 4.3
プレス・ボード	0.4 ~ 1.4	270 ~ 550	2 ~ 5
ヴァルカナイズド・ファイバー	1.2 ~ 1.45	450 ~ 550	5 ~ 6
パーチメント・ペーパー	—	300 ~ 400	—
醋酸纖維素	1.2 ~ 1.35	650	3.5 ~ 6.0
セルロイド	1.3 ~ 1.5	470	6
絶縁用礦油	0.83 ~ 0.95	—	2.2 ~ 2.4
亞麻仁油	0.93 ~ 0.94	—	3
蓖麻子油	0.959	—	4.7
絶縁用ワニス	—	—	4.8
エンバイ・ヤクロース	1.24 ~ 1.26	135 ~ 290	3 ~ 5.5
シエラック・コンパウンド	1.1 ~ 2.7	60 ~ 140	—

材料特性表(2)

絶縁抵抗 容積固有抵抗 Ω cm	表面固有抵抗 Ω	絶縁耐力 kV/mm	誘電体力率 tan δ (%)
—	—	14	—
8 × 10 <sup>14</sup>	—	—	—
8 × 10 <sup>14</sup>	—	—	—
(1~2) × 10 <sup>15</sup>	—	14	—
1.6 × 10 <sup>14</sup>	—	—	3.83
1 × 10 <sup>10~19</sup>	1 × 10 <sup>16</sup>	8 ~ 12	0.04
4.5 × 10 <sup>14</sup>	—	45	0.917
5 × 10 <sup>18</sup>	9 × 10 <sup>16</sup>	—	0.04
1 × 10 <sup>11~13</sup>	—	13 ~ 21	0.29 ~ 0.5
3 × 10 <sup>9</sup>	—	—	0.24
(6~12) × 10 <sup>14</sup>	—	—	0.14
2 × 10 <sup>15</sup>	7 × 10 <sup>14</sup>	16	0.75 ~ 1.7
2.5 × 10 <sup>14</sup>	1 × 10 <sup>12</sup>	35 ~ 45	0.03 ~ 0.05
—	—	—	0.03
1 × 10 <sup>20</sup>	—	50	0.004
—	—	3 ~ 3.3	—
1.6 × 10 <sup>11</sup>	—	3 ~ 4.2	—
—	—	1.2 ~ 2	8
3 × 10 <sup>10</sup>	8 × 10 <sup>11</sup>	1.4 ~ 4.6	—
1 × 10 <sup>9~10</sup>	—	3 ~ 5	36
5 × 10 <sup>1~10</sup>	—	5 ~ 10	0.27 ~ 0.4
—	—	20 ~ 30	0.5 ~ 2
1 × 10 <sup>10~12</sup>	—	8 ~ 13	4 ~ 6
2 × 10 <sup>10</sup>	3 × 10 <sup>10</sup>	9 ~ 16	5
—	—	9 ~ 11	—
1 × 10 <sup>12</sup>	3 × 10 <sup>14</sup>	45	3.3
(3~8) × 10 <sup>10</sup>	7 × 10 <sup>10</sup>	14 ~ 23	6
3 × 10 <sup>12</sup>	—	24 ~ 57	0.5
1 × 10 <sup>15~16</sup>	—	14.8	—
1 × 10 <sup>13</sup>	—	30	—
—	8 × 10 <sup>13</sup>	27 ~ 40	5.12
1 × 10 <sup>9</sup>	—	10 ~ 54	2 ~ 6
(0.6~2.3) × 10 <sup>11</sup>	1 × 10 <sup>12</sup>	7.88	—

## 第2章 固体絶縁材料

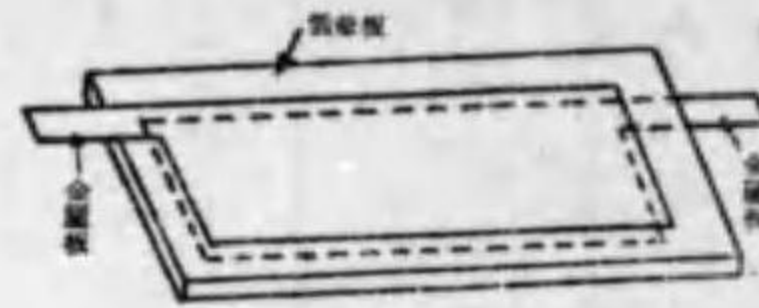
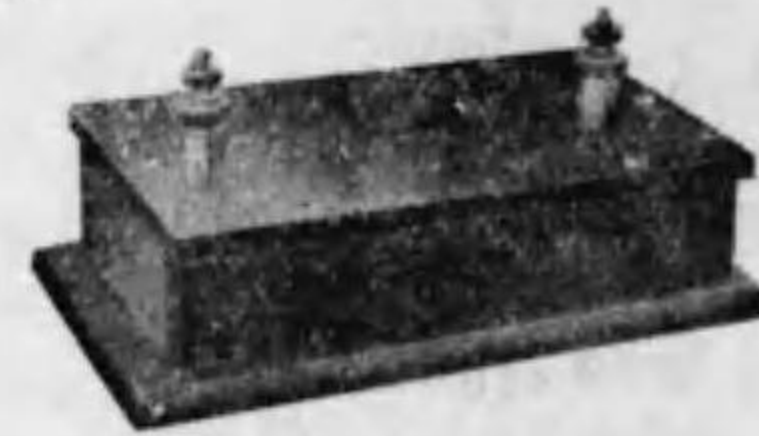
### 3.2.1 鑛物質絶縁材料

#### (1) 雲母 (Mica)

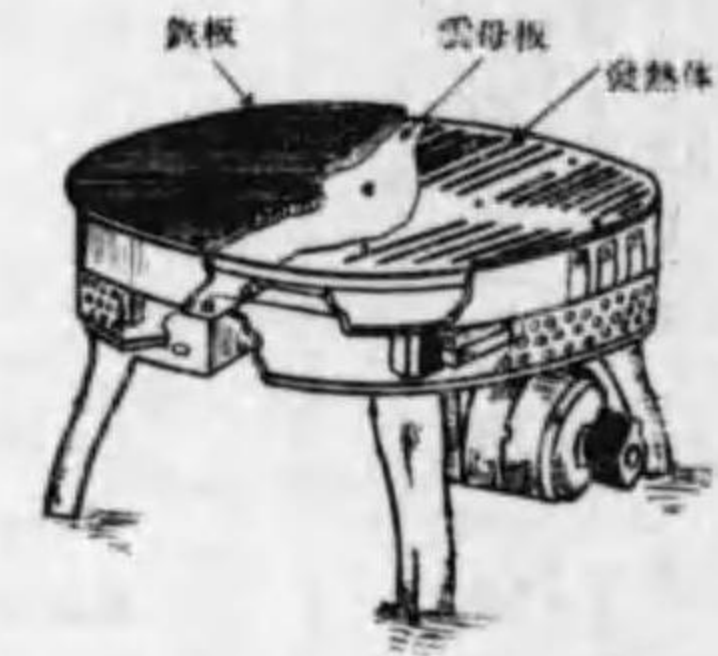
鑛物として自然に産出され種類は頗る多いが、電気絶縁材料として用ひられるのは白雲母 (muscovite) 及び金雲母 (琥珀雲母 phlogopite) である。

雲母は板状の結晶をなし極めて薄く劈開し得、機械的に強靱で、化学的にも安定である。殊に耐熱性で、また電気絶縁性も優れてゐる故絶縁材料として極めて重要なものである。

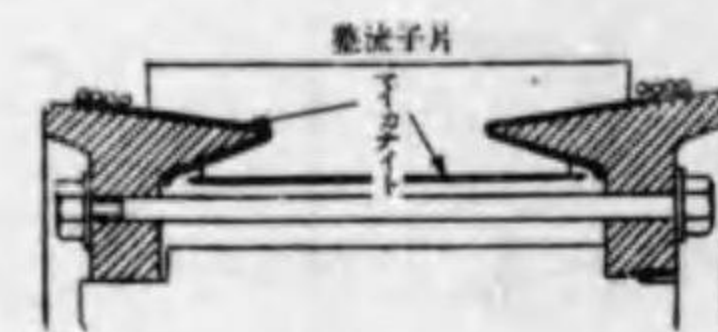
蓄電器の誘電体としては夾雑物のない白雲母が用ひられ電熱器の中で温度上昇の著しい處には金雲母が用ひられる (最高使用温度は、白雲母 $550^{\circ}\text{C}$ 、金雲母 $900^{\circ}\text{C}$ )。小型整流子機の整流子片間の絶縁にも用ひられる。然し天然産雲母の大型のものは少くて、高價であるから、



第 3.8 図 雲母蓄電器



第 3.9 図 電熱器の絶縁



第 3.10 図 整流子片の絶縁

多くは小片を集めた加工品が用ひられる。

**マイカナイト** (micanite) 小形の剥し雲母をシェラック等の膠着劑で貼合せたものである。**硬質マイカナイト** (hard micanite) は、膠着劑が少量 (3~5%) で、最も強く、熱しても軟化しない。整流子片間の絶縁用として広く用ひられる。

**型造用マイカナイト** (moulding micanite) は、膠着劑を多く (10~20%) 含み、常温では硬質であるが、 $100\sim 120^{\circ}\text{C}$  に加熱すると軟化して型造し得。整流子の V リング、高電圧電機子線輪の絶縁等に用ひられる。**マイカフォルウム** はこの一種である。

**可撓性マイカナイト** (flexible micanite) は、膠着劑に不乾性油を混じて、常温で可撓性を與へたものである。電機子の線輪絶縁、溝絶縁等に用ひられる。和紙や布を貼附けて**マイカナイト紙**、**マイカナイト布**等とすることもある。

**耐熱性マイカナイト** (heat resisting micanite) は、膠着劑として水硝子等を用いたもので、電熱器の如く高温に耐へる必要のある時に用ひられる。

**雲母型造物** 雲母の粉末を膠着劑で固めたもので**マイカレックス** (Mycalex) はその代表的なものである。これは雲母粉と硼酸鉛等とを混じて、 $700^{\circ}\text{C}$  近くに加熱

熔融せしめ、型に入れ、圧力を加へて型造したものである。

マイカレックスは絶縁性が良く、高温に耐へ、また旋盤捻子切り等機械的加工が容易である。殊に高周波に對

しても誘電体損失が小なる特長を有するので、無線通信機の部分品に用ひられる。その他電車用電動機の刷子保持器の絶縁等に用ひられてゐる。

#### (2) 大理石 (marble)

石灰岩の一種で、主成分は炭酸カルシウムである。純粋なものは白色であるが、不純物が混入してゐると着色する。耐湿及び耐酸性とするため、表面を塗料油等で仕上げる。

配電盤、開閉器盤等に用ひられる。

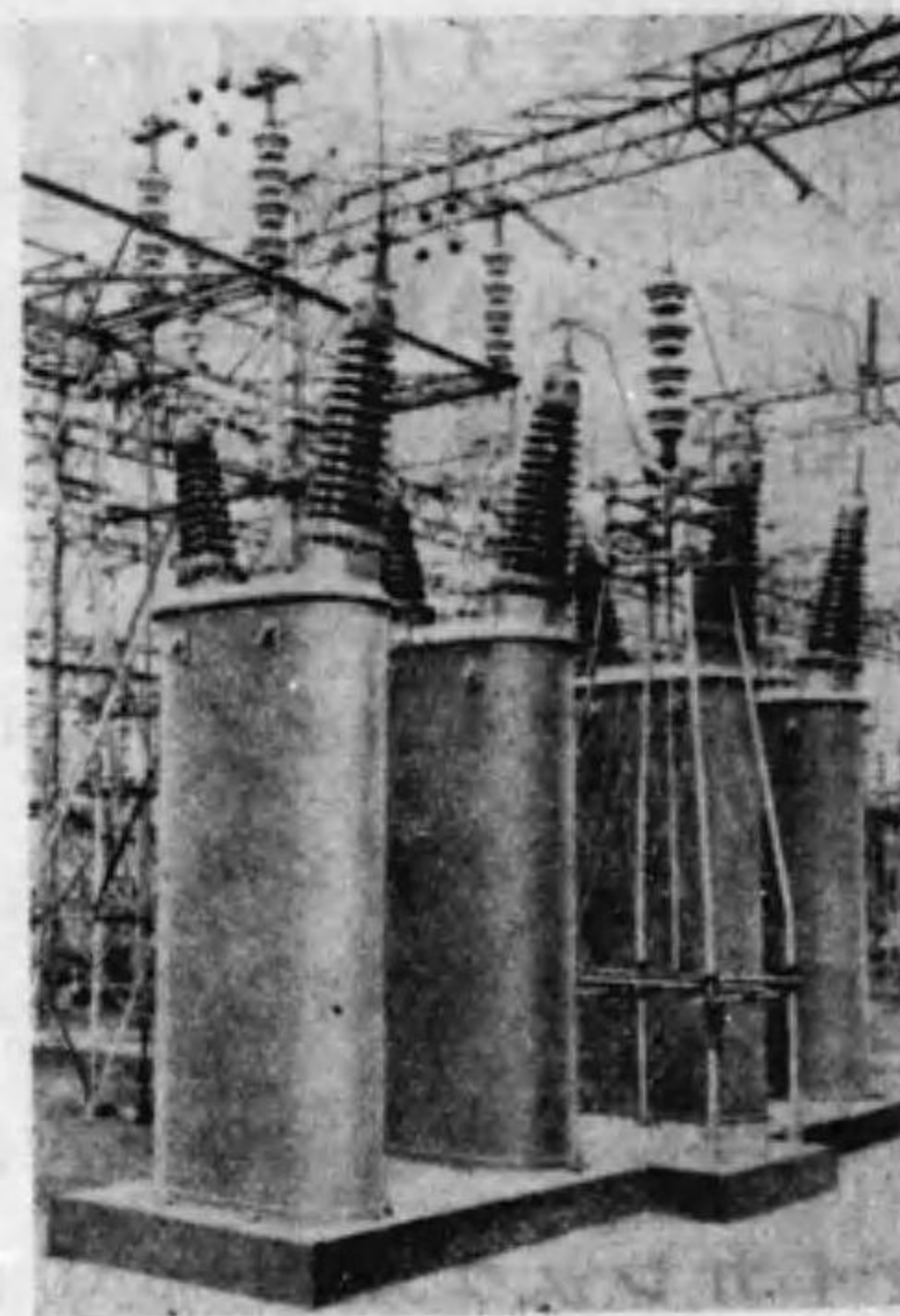
石盤石 (slate) もまた大理石と同様な所に使はれる。

#### (3) 磁器 (porcelain)

磁器の主要原料は陶土、珪酸及



第 3.11 図  
雲母型造物製刷子保持器



第 3.12 図  
變電所に於ける碍子類の利用

び長石である。陶土は磁器原料に可塑性を、また製品に温度變化に耐へる性質を與へ、珪酸は製品に機械的強度を與へ、長石は熔融して原料を結着する働きをする。釉薬は磁器に防湿性を與へ、また色彩を賦與する。

磁器は機械的に強く、耐熱、耐水性に富み、化學的にも安定であり、任意の形を與へることが出来、價格も高くないから、絶縁材料として、極めて重要な位置にある。碍子、碍管、套管等として、通信線路、電力線路、その他に廣く使用されてゐる。

#### (4) 硝子 (glass)

普通の硝子は珪酸、石灰、炭酸曹達を主原料とし、これらを混合して1400°~1500°C程度に加熱熔融して造られる非結晶質であつて、 $\text{SiO}_2$ - $\text{Na}_2\text{O}$ - $\text{CaO}$ なる主成分から成ると云はれる。この外にも種々の金属酸化物を含むが、含有成分の種類、割合によつて性質が異なるから、目的により種々の硝子が用ひられる。

硝子は透明で、高温では軟化して細工が可能である。

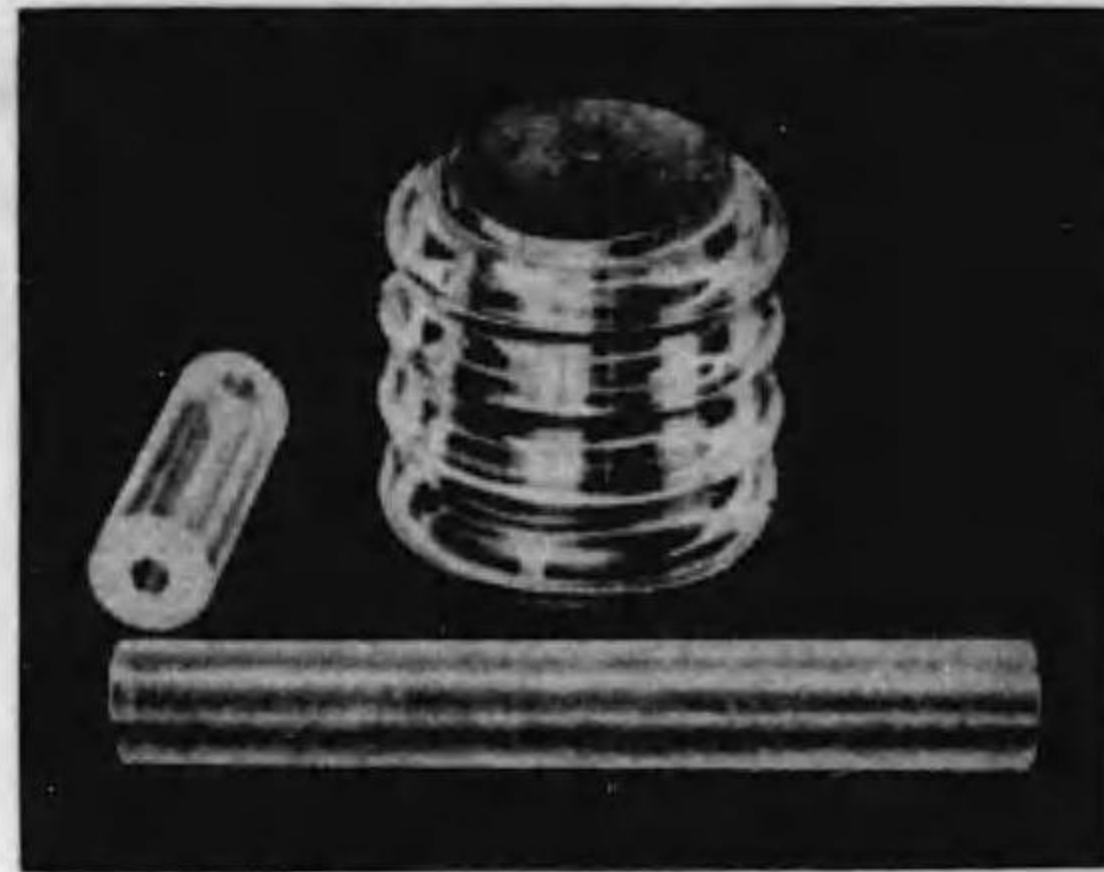
第 3.2 表 電氣用硝子

種類	主要成分	用途
石灰硝子	珪酸、曹達又は加里、酸化石灰	電球、受信用真空管、X線管、等
鉛硝子	珪酸、曹達又は加里、酸化鉛	電球、受信用真空管、蓄電器、等
バリウム硝子	珪酸、曹達又は加里、酸化バリウム	X線管、等
硼珪酸硝子	珪酸、硼酸、曹達又は加里、マグネシウム	送信用大型真空管、短波用真空管、X線管、高周波回路絶縁、高電圧回路絶縁、等

が耐熱性であり、化学的にも安定である。また内部まで緻密で水分を吸収せず、誘電体損失も少い。

硝子は以上の特長あり、廉價であるから、電球、放電管、X線管、真空管、水銀整流器等に広く用途を有し、また蓄電器の誘電体としても用ひられる。

硝子は碍子としては餘り用ひられないが、湿氣に對する表面絶縁抵抗の低下、自然變質による絶縁劣化等の缺点を改良すれば、碍子用としても適當なものである。この缺点を除いたものに、米



第 3.13 図 テレックス硝子製碍子

國の**バイレックス**、我が國の**テレックス**等がある。これらはまた誘電体力率が僅少であるから、高壓送電用碍子に適するわけであるが、價格の点で、主として高周波用絶縁材料として多く用ひられてゐる。

なほ近來**硝子纖維** (glass fibre) が木綿などの纖維質絶縁材料の代りにテープその他の形で使用されようとしてゐる。硝子纖維は硝子を熔融して極めて細く引き伸ばしたもので、その製品は耐濕性、耐蝕性、機械的強度が高く、電氣絶縁性もまた良好なものである。殊に耐熱性の点では有機質纖維を遙に凌駕してゐる。

### 3.2.2 有機物質絶縁材料

#### (1) ゴム系絶縁材料

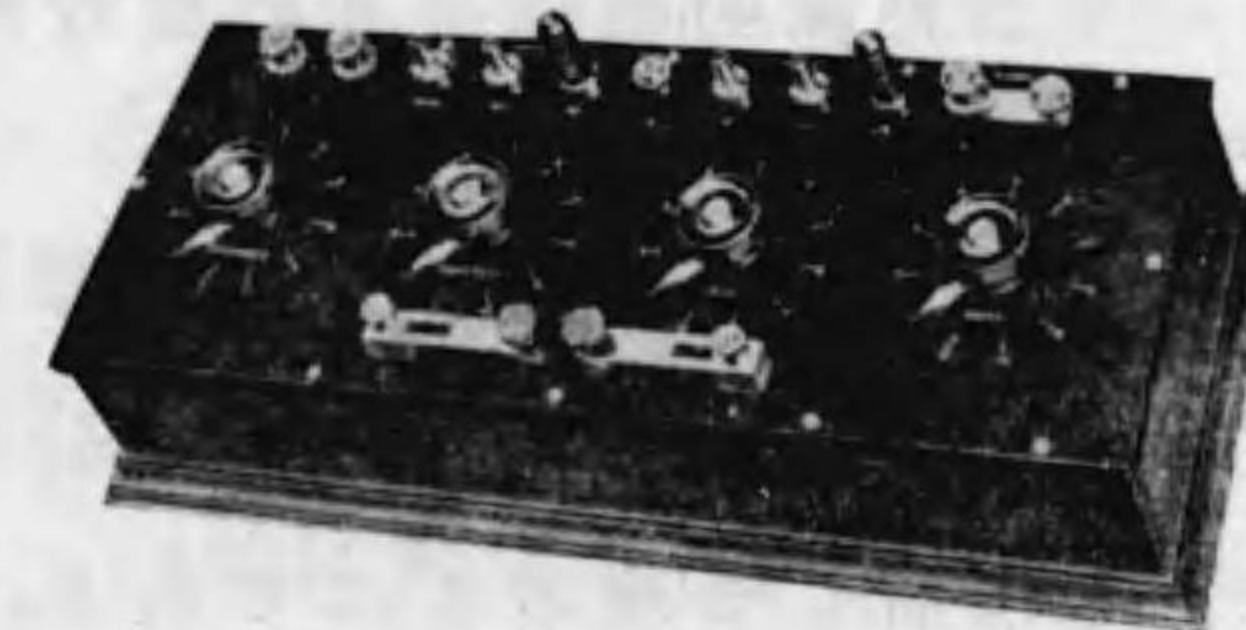
ゴム (rubber) の原料は熱帯地方に生長するゴム樹に傷痕を附し、滲出する液汁を乾涸して得られ、これを**生ゴム** (raw rubber) といふ。主成分は  $(C_5H_8)_n$  である。生ゴムは温度の變化に對して硬軟定まりなく、變化し易い故、硫黄を加へて  $170^\circ\text{C}$  位の温度で加熱し、所謂**硫化ゴム** (vulcanized rubber) として用ひる。

硫化ゴムは電氣絶縁材料として廣い用途を有するが、これを大別して次に表示する。

第 3.3 表 硫化ゴム

種類	硫黄の添加量	性質	用途
ゴム (軟質硫化ゴム, soft rubber)	10%以下	可撓性に富む、熱に對して甚だ弱し、空氣中で漸次酸化されて樹脂状となる	電線被覆、ゴム引綿テープ、ゴムテープ、ゴム手袋等
エポナイト (硬質硫化ゴム, ebonite hard rubber)	25~35%	緻密質で硬し、吸濕性なし、可塑性である、熱に對して弱し	開閉器の把手、電氣器具等

なほ軟質硫化ゴムは補強劑、增量劑、着色劑、硫化促進劑、軟化劑、酸化防止劑を混入し、その割合によつて性質の異なる種々のものが出来る。



第 3.14 図 電氣測定器のエポナイト板

〔註〕軟質硫化ゴムに混ざる諸剤の例。

補強剤(カーボン・ブラック), 増量剤(亜鉛華), 着色剤(炭酸マグネシウム), 硫化促進剤(ジフェニル・グアニジン), 軟化剤(ステアリン酸), 酸化防止剤(フェニル・ベタナフトルアミン)。

**ガッタパーチャ** (guttapercha 略 G.P.) 南洋地方に野生するバラキウム類の植物乳液の凝固したもので、水に対する抵抗は大きい。(主成分  $(C_5H_8)_n$ )

通信用海底ケーブルの絶縁材料として用ひられる。

## (2) 天然樹脂系絶縁材料

**樹脂** (resin) は主として針葉樹より分泌する精油より得られる物質で、時に地中にて化石化したものを採掘することもある。

電氣的性質が優れて居り、弾性、粘着性等のため、絶縁塗料、型造絶縁物、絶縁混和物、膠着剤等として多く用ひられる。

**コロホニー** (colophony) : **ロジン** (rosin) と云はれ、タータ松等の松柏科植物の樹幹から得られるターペンチンを蒸溜して残るものである。主成分は  $C_{20}H_{30}O_2$  である。

黄褐色の脆い透明な固体で、水に不溶、アルコール、エ



第3.15図 バラキウム

ーテル、ベンゼン等には可溶である。含浸混和物等として用ひられる。

コロホニーを乾溜すると、 $300 \sim 400^\circ\text{C}$  で暗褐色粘性の樹脂油 (resin oil) が得られる。これも亦含浸混和物として使用される。

**コーバル** (copal) 元來コーバルはアフリカ産の化石化する樹脂の一種に附した名稱であつたが、現在は樹木から採取するものもある。黄褐色で、硬質、半硬質、軟質とある。

絶縁塗料、型造絶縁物、絶縁混和物等に用ひられる。

**琥珀** (amber) 松柏科樹木の樹脂が地中に埋れて化石せるもので、黄褐色を呈し、絶縁ワニスの製造、型造絶縁物等に用ひられる。

獨逸の**アンフロイド** (ambroid) は琥珀の小片を融着硬化したものであつて、精密な測定器の絶縁等に用ひられる。

**シエラック** (shellac) 俗に**ラック**と稱せられ、熱帯地方の樹木に寄生して樹液を吸収して生育するラック虫の分泌する樹脂である。普通橙色をしてゐて、アルコール、エーテル、アセトン等に溶解する。膠着性に富む故、マイカナイト、型造絶縁物等の膠着剤に用ひ、またワニスの原料とする。

**(3) 人造樹脂**

**合成樹脂** (synthetic resin) とも呼ばれる。化学反応によつて合成された有機質であつて、天然樹脂に類似した性質を有する。その製造は近時非常な發展をみ種類も多數あつて、天然樹脂に勝る性質を有するものもある。現在電気絶縁材料として重要なものは、フェノール樹脂、グリブタール樹脂、スチロール樹脂等である。その他に就いても、將來を囑目すべきものである。

**フェノール樹脂** (phenol resin) 石炭酸樹脂ともいはれ、人造樹脂中で最も一般的で、用途も廣い。**ベークライト** (bakelite) はその代表的製品で、石炭酸或ひはクレゾール (cresol) 等のフェノール (phenol) 類とホルマリン (formalin) とを混和し、加熱縮合せしめたものである。

石炭酸或ひはクレゾールをほぼ等量のホルマリンと混和し、アンモニア等の縮合剤を少量加へて、90°C位に加熱すると、反応が起つて油状の縮合物が得られる。これをベークライトAといふ。なほ加熱すると固体になる。普通黄色で、アルコール等に溶解する。

ベークライトAを更に加熱すると、可塑性で、溶剤に不溶解性の固体即ちベークライトBに變ずる。

ベークライトBを更に加熱すると、最後の縮合物として、不溶解、不熔融性の黄褐色透明の固体ベークライトCとなる。

ベークライトCは水分を殆んど吸収せず、耐熱性が大で、多くの有機質溶剤に不溶であるが、脆いことは缺

点である。端子等の製造にも用途があるが、積層品、型造品及び塗料の形で多く用ひられる。

一般にフェノール樹脂系絶縁材料は、機械的強度、化学的安定度、耐熱、耐水、電気絶縁性等に於いて優れた絶縁材料であるから、比較的誘電体損失が大ではあるが、電気工業に大なる用途を有するのである。

**フェノール樹脂型造物** 一般に**コンパウンド** (compound) と呼ばれてゐるものである。ベークライトA或ひはそのアルコール溶液を結合剤とし、木粉、布屑、パルプ、石綿、雲母粉等の充填材及び着色剤を混和し、適度に乾燥したものを粉砕して粉末を作る。この粉末を所要の型に入れて、加熱、壓搾すると、任意の形のものが得られる。型の中で加熱すると一旦軟化して可塑性となるが、加熱、加壓中に直ちに硬化するものである。成型温度は150~180°C、圧力は150 kg/cm<sup>2</sup>程度である。

型造物の機械的及び電氣的性質は充填材の種類によつて異なる。石綿を用ひたものは耐熱性、雲母を用ひたものは絶縁性が高い。

ソケット、プラグ等の配線器具、ラヂオ部分品、その他一般に廣く用ひられてゐる。



第 3.16 図  
ベークライト型  
造物製ソケット



**フェノール樹脂積層物** ベークライトAをアルコール等に溶解した溶液を紙または布に浸潤したものを数枚重ね合せて、加熱加圧して製したもので、板状、管状、棒状等に造られる。**ベークライト・マイカルタ** (bakelite micarta)はその例である。

積層品は電氣的絶縁性が良いのみでなく、機械的強度が大なる特長を有する。

パネル、隔板、変圧器套管、ラジオ部分品等に用途が広い。

**グリフタル樹脂** (glyptal resin) グリセリンと無水フタル酸との混合物を加熱反応せしめて作られる淡黄色透明な樹脂状物である。

粘着力が強大であつて、マイカナイト等の膠着剤、コイルの含浸剤、エナメル線用ニス混和剤等に適してゐるが、將來の広い用途を期待されるものである。

#### (4) 石油系固体絶縁材料

**アスファルト** (asphalt) は黒色または黒褐色の固体または半固体の瀝青質混合物で、主成分は炭化水素である。天然アスファルトは石油が地層中で自然の蒸溜作用を受けて出来たものと考へられ、**石油アスファルト**はアスファルト系原油の蒸溜残留物として得られる。電氣絶縁材料としては後者が多く用ひられる。

アスファルトは防湿性に富み、化學的にも安定で、電

氣絶縁性も相当良い。二硫化炭素、アセトン、ベンゼン(ベンチンにあらず、ベンゾールともいわれる)等に可溶である。

絶縁塗料、型造絶縁物、絶縁混和物等に用ひられる。

**ビッチ** (pitch) は種々の有機物を乾溜するとき、液体生成物以外に出来るもので、黒色、粘性の固体または半固体の有機物質である。これには**石油ビッチ**、**コールタール・ビッチ**、**ステアリン・ビッチ**等があるが、石油ビッチはパラフィン系原油蒸溜の際の残渣で、成分は炭化水素である。黒色で、防湿性があり、化學的に安定で、ベンゼン、二硫化炭素等には可溶性である。

絶縁塗料、絶縁混和物等に用ひられる。

〔註1〕アスファルトを(天然の)ビッチといふこともある。

〔註2〕コールタール・ビッチは石炭乾溜の際の残渣、ステアリン・ビッチは動植物性油脂の蒸溜の際の残渣。

**パラフィン** (paraffin) パラフィン系原油を分溜して得た重油を冷却して得られる白色半透明の炭化水素であつて、耐湿性、化學的にも安定で、融点低く、ガソリン、ベンゼン等には可溶性である。

紙蓄電器、木綿被覆、木材等に含浸せしめ、また絶縁塗料、絶縁混和物等に用ひられる。

### 3. 2. 3 高周波絶縁材料

#### (1) 絶縁材料の高周波用としての特質

近來無線工學の發達に伴ひ、高周波回路に適する絶縁材料が要望されるに至つた。高周波回路に於ける絶縁材料は、直流もしくは低周波回路に於いて要求される物理的、化學的、電氣的性質の外に、更に誘電体損失が特に小でなくてはならないといふ條件が附加される。

誘電体損失は

$$P = E^2 \omega C \tan \delta$$

但し  $E$  = 電壓,  $\omega$  = 電氣的角速度,  $C$  = 静電容量

$$\tan \delta = \text{誘電体力率}$$

と表はすことが出來て、周波數及び電壓の自乗に比例する性質を有する。故に高周波殊に近來の如く短波が盛んに使用され、且幅射電力の増大に伴つて電壓が高まりつゝある時には、絶縁材料の誘電体損失を小ならしめる必要がある。誘電体損失の大なることは、それ自体望ましくないのみならず、絶縁体の溫度上昇を來して絶縁耐力を低下せしめ、また周波數特性を惡化して傳達に歪を生ずる等の結果となる。

誘電体損失  $P$  を小ならしめるには、誘電体力率  $\tan \delta$  の小なる絶縁物を用ひなければならないわけである。石英、良質の雲母等は天然に産する優秀な絶縁材料であるが、産出量、加工の難易といふ点で、自由に使用し難

いから、人工的の絶縁材料が色々と考えられてゐる。

### (2) 硝子系絶縁材料

硝子成分中の曹達を出来るだけ少くし、硼酸を添加したものを硼珪酸硝子といひ、バイレックス、テレックス等はこの種の硝子である。普通の硝子に比して、濕氣による表面絶縁抵抗の低下、大氣中に於ける風化、溫度の急激な變化等に對し著しく優れた性質を有する。そして誘電体損失が極めて小であるから、高周波絶縁用磚子、磚管等として用ひられてゐる。

第3.4表 バイレックス硝子の成分組織

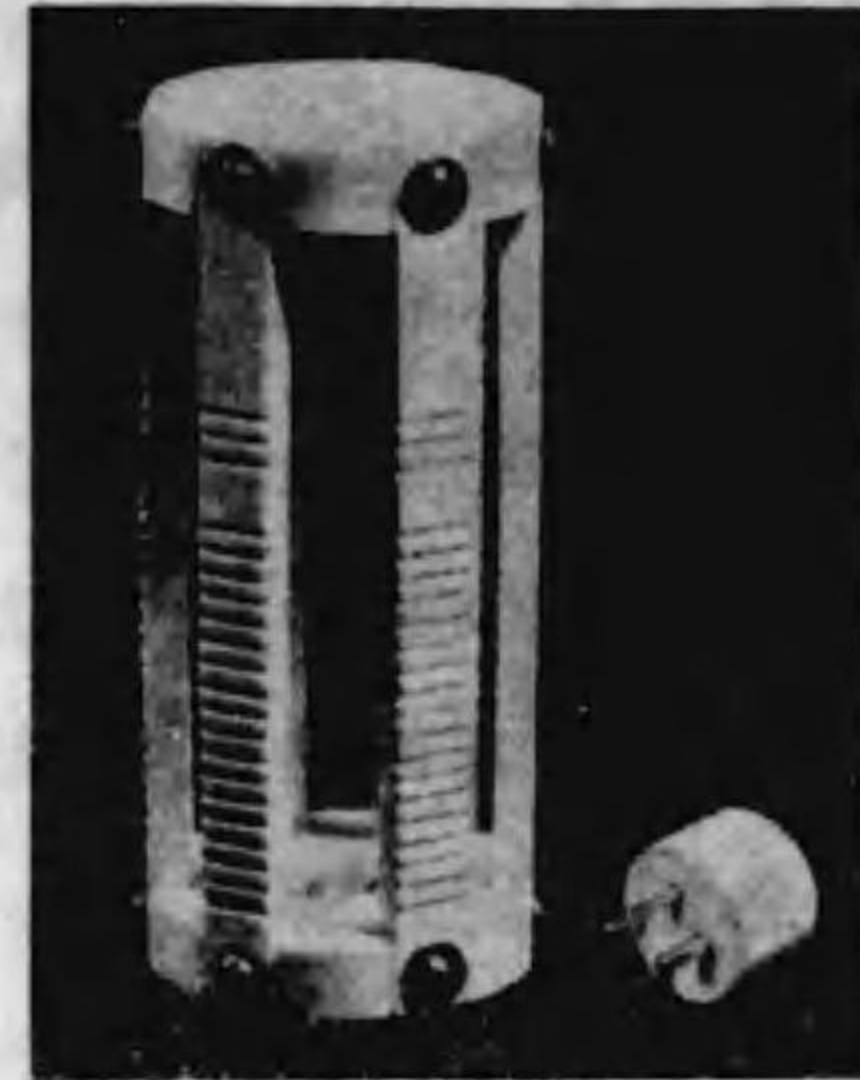
Si O <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mg O	Ca O	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
80.5	4.4	0.2	11.8	2.0	0.1	0.3	0.7	0.3

### (3) ステアタイト系絶縁材料

これはステアタイト(滑石,  $3\text{Mg O} \cdot 4\text{Si O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )を主要原料とする絶縁物で、滑石を所要の形狀に加工して  $800 \sim 1100^\circ\text{C}$  にて焼成し、或ひは滑石の粉末に珪酸曹達等を混じ、 $1400^\circ\text{C}$  位で強壓下に成型焼成する。また滑石に粘土を混じて成型焼成することもある。ステアタイト系絶縁物には獨逸のフレクェンタ、カラン、米國のイソラタイト、我が國のタイデンタイト等がある。この種のものは白色を呈し、吸濕性なく、化學的に安

定であり、また機械的、熱的、電氣的の性質も磁器や硝子に比して優れてゐる。殊に誘電体力率が小なる点で高周波絶縁材料として最も適當なものである。

短波用コイルの枠、真空管用ソケット及びベース、真空管の電極間スペーサー、高周波導線の支持体及び碍子等として、無線工業方面に廣く用ひられて來た。



第 3.17 図 ステアタイト製コイル枠及び真空管ベース

#### (4) 酸化チタニウム系絶縁材料

金紅石は結晶質酸化チタニウム ( $\text{TiO}_2$ ) であるが、この粉末を主成分として、適當な物質を混合して、成型焼成 ( $1400^\circ\text{C}$  以上) したもので、緻密質、堅牢で、褐色その他の色を呈する。

その特長は誘電率が極めて大である点にあり、誘電体力率も小である。獨逸のコンデンサ、ケラファ、ディアコンド等がある。

高周波用蓄電器の誘電体として用ひられ、小型で容量が大きいものが出来るわけである。

#### (5) スチロール樹脂 (styrol resin)

ベンゼン ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) とアセチレン ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) とより合成される無色透明な合成樹脂の一種であつて、 $(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2)_n$  なる成分を有する。

ポリスチロール (polystyrol) 等はこの属し、可塑性を有し、誘電体力率が極めて小さく、高周波



第 3.18 図 スチロール樹脂製コイル円筒及び碍子

絶縁材料として優れた性質を有するが、軟化点が低く高價なことは缺点である。コイル枠等高周波用絶縁物として漸次用ひられる傾向にある。

### 第3章 纖維質絶縁材料

#### 3.3.1 石綿 (asbestos)

蛇紋石或ひは角閃石が纖維狀に變化したもので、色々種類もあるが普通石綿といへば、蛇紋石に屬する温石綿を指すのであつて、電氣絶縁材料としても専らこれを用ひてゐる。温石綿は  $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$  なる主成分を有し、白色または青色、褐色等を呈する。纖維は絹糸狀で最も長く柔軟で可撓性に富み、紡織に適してゐる。化學的に安定であるが、酸に對しては比較的弱い。石綿の特長は纖維質であること、耐熱性(最高使用温度  $400^\circ C$ )がある事である。

石綿は電氣絶縁材料として單獨に用ひられることは稀で、他のものと混じてテープ、布等とし、また纖維の短いものは紙、板、型造物の形で用ひられる。

**石綿紙** 石綿纖維に木綿纖維(10%以下)を混合して糊料、充填料を加へて抄造せられ、普通の紙に比して機械的に弱い。

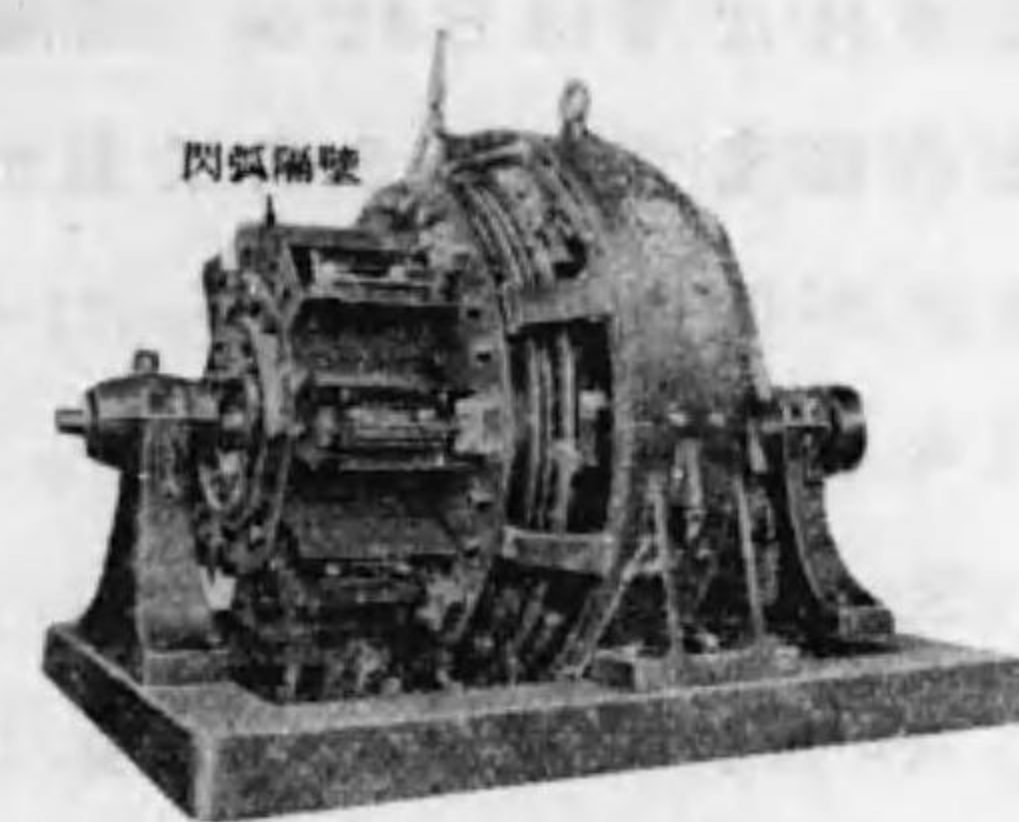
開閉器箱の裏張り、發電機巻線及び溝絶縁等に使用される。

**石綿布、石綿テープ** 石綿布は石綿纖維に木綿纖維(15%以下)を加へて織つたもので、石綿テープはそのテープ狀のものである。

石綿布はベークライト積層品としてタービン發電機等の絶縁に、石綿テープは耐火性のケーブル、電車電

動機の界磁線輪等の絶縁に用ひられてゐる。

**石綿板** 石綿纖維を石灰或ひはセメント等で結着せしめたものであつて配電盤、閃弧隔壁その他に用ひられる。



第 3.19 図  
回轉變流機の閃弧隔壁

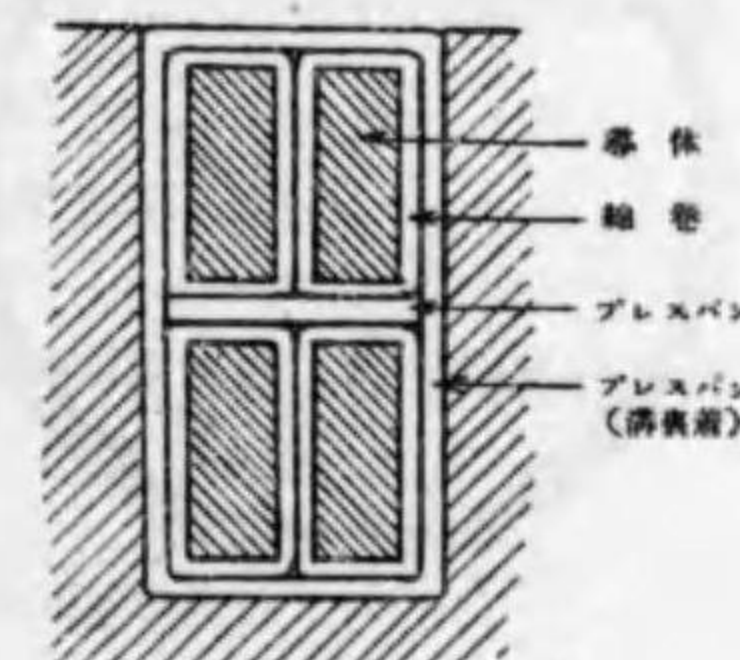
#### 3.3.2 木綿 (cotton)

木綿纖維の主成分は纖維素(celulose,  $(C_6H_{10}O_5)_n$ )で、酸の作用を受

け易いが、アルカリは餘り害を與へない。また吸濕性が大きであつて、加熱すると  $100^\circ C$  までは吸収水分を放出し、それ以上では化合してゐる水分を失つて脆くなり、 $180^\circ C$  に至ると炭化し始める。

**綿絲** は電線の絶縁被覆(綿卷または編組)としてそのまゝ、またはパラフィン、ワニス、混和物等を含浸して使用される。

**綿布、綿テープ** も亦そのまゝ、またはワニス、混和物等を含浸せしめて、電氣機器の巻線の絶縁等に用ひる。**エンパイヤ・クロース**、**ゴム引綿テープ**、ベークライト・マイカルタ等の素地としても使用されてゐる。



第 3.20 図  
電機子の絶縁

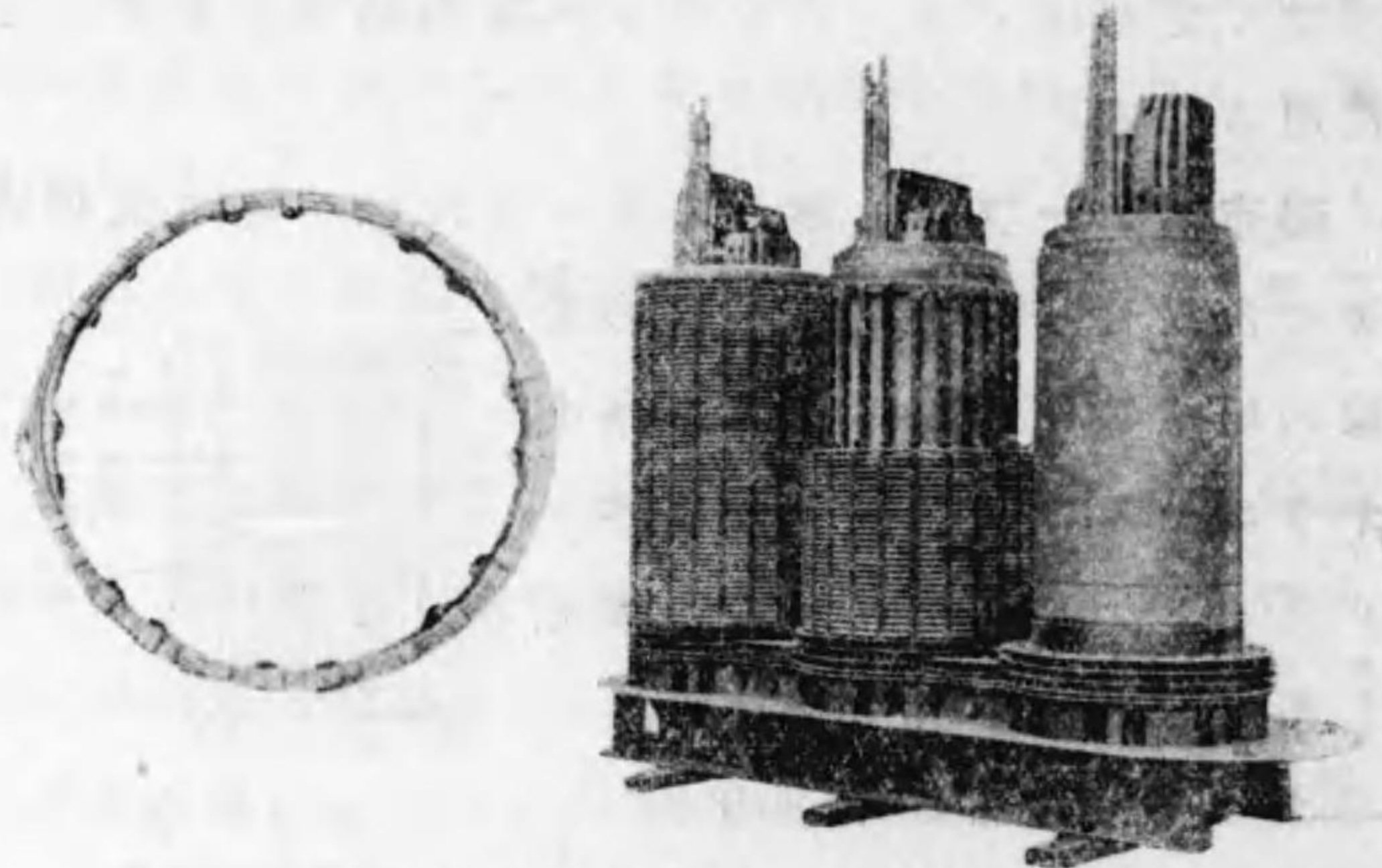
#### 3.3.3 黄麻(絨斗, jute)

麻類には黄麻、大麻、マニラ麻、亞

麻、苧麻等があるが、電気材料としては黄麻が主として保護材に用ひられる。黄麻は熱帯地方に生育する植物の韌皮であつて、繊維素が主成分で、吸湿性を有する。価格が低廉であるから、ケーブルの充填物、鎧装等に用ひられる。

### 3.3.4 紙

紙の原料は木綿、マニラ麻、黄麻、三極、雁皮、ウッド・バルブ等である。普通の紙はその外に充填材として陶土、サイズとしてロヂン等が含まれてゐる。ウッド・バルブは松、樅等の針葉樹の幹の繊維を機械的もしくは薬品で化学的に分離せしめたもので、サイズと稱するものは、紙質や表面を平滑、均整にして耐水性を與へるために添加すべき物質である。然し電気絶縁用の紙は電気的特性が悪くなるから、充填物及びサイズを使用しないことが多い。



第 3.21 図 変圧器巻線の紙絶縁

紙は絶縁用として用途が廣いが、多孔質で吸湿性であるから、そのまゝでは絶縁性があまりよくない。通信ケーブルに於いて、鉛被によつて充分な乾燥状態に保たれる様な場合を除いては、一般に絶縁油、ワックス等の耐湿性物質を含浸して使用する。また加熱により變質脆化する故、高温度には用ひられない(120°C以下)。

電気絶縁材料として用ひられる紙は原料によつて種々のものがあり、用途も異つてゐる。その概要を次に表示する。

第 3.5 表 絶縁紙

品名	主要原料	用途
コンデンサー・チッシュ (Condenser tissue)	木綿	パラフィンを含浸して、蓄電器用の絶縁紙
薄葉日本紙	雁皮、三極	雲母製品の裏付、蓄電器
クラフト紙 (craft paper)	ウッド・バルブ (硫酸塩処理)	ケーブル用絶縁紙、雲母製品の裏付、ワニス絶縁紙、積層絶縁物用紙
サルファイト紙 (sulphite paper)	ウッド・バルブ (亜硫酸処理)	成層鉄心の鉄板間絶縁、雲母製品裏付
グリス・プルーフ紙 (grease proof paper)	ウッド・バルブ (粘状叩解)	ワニス絶縁紙
マニラ紙 (manilla paper)	マニラ麻	ケーブル用絶縁紙、積層絶縁物用紙
ロープ紙 (lope paper) レッド・ロープ紙 (red lope paper)	黄麻、ウッド・バルブ 同様に赤色の着色剤	電機子の溝絶縁

プレスボード (press board) 紙と同様に木綿、麻類、ウ

ウッド・バルブ等を原料として抄造された板紙である。**プレスパン**(presspahn)はウッド・バルブを原料とし、**ミルボード**(millboard)はウッド・バルブ、反古紙を原料としたもので、何れもプレス・ボードの一種と見ることが出来る。

プレス・ボードは多く鼠色或ひは赤褐色で、水を吸収すると膨張する。発電機、電動機、変圧器等の線輪の絶縁、端子板等に用ひられてゐる。

**ヴァルカナイズド・ファイバー**(vulcanized fibre) 単にファイバーとも呼ばれ、木綿、麻類、ウッド・バルブ等を原料とした紙を塩化亜鉛等の濃厚な温溶液中通過せしめて、表面を膠化し、適當の枚数重ね合せてロールにかけ、強壓を加へて粘着せしめ、洗滌後乾燥したものである。鼠色、黒色、赤色のものがあり、板状、棒状、管状等の形に造られる。

ファイバーは機械的に強靱で加工が容易であり、且廉價であるから、吸濕性で、電氣的にも優秀ではないけれど、絶縁材料として用途が廣い。刷子保持器、套管、コイル枠、可熔片筒、その他到る處に用ひられてゐる。

**パーチメントペーパー**(parchment paper) もファイバーと同様に紙を硫酸中を通して膠化させて繊維を



第3.2.2図 包装可熔片

結着し、洗滌後壓搾乾燥したものであつて、唯一枚の紙である点が異なるのみである。

### 3.3.5 絹

蠶の繭から採つた絹糸の主成分はフィブロイン及びセリシンと稱する蛋白質である。

精練したものは電氣的性質が木綿等に比べて優れてゐるから、絹巻線、絹被覆線等に用ひられてゐる。

### 3.3.6 人造絹絲及びステープル・ファイバー

(artificial silk and staple fibre)

人造絹糸は纖維素を化學的操作によつて可溶性物質に變化し、その溶液を細孔から射出して凝固せしめたものである。現在最も廣く行はれてゐるヴィスコース法では大体次の順序で製造する。

- [1] アルカリ纖維素の作成：纖維素を苛性曹達液に浸漬。
- [2] 硫化：アルカリ纖維素に二硫化炭素を加へて纖維素ザンテート (gellulose xanthate) とする。
- [3] ヴィスコースの作成：纖維素ザンテートを稀薄苛性曹達液に溶解。
- [4] 紡糸：ヴィスコース (Viscose) を細孔から硫酸を主成分とする凝固液中に押し出して纖維素の絲とする。

人絹は一般に吸濕性が多くて電氣絶縁用としては餘り優れたものではないが、適當な改良がなされれば木綿や絹の代用とすることが出来るであらう。

ステープル・ファイバーは、人絹と同様にして製造された維織を短く截斷したものであつて、木綿と混紡した糸は、木綿や絹の代用品として電氣絶縁用とすることが出来る。

纖維素に醋酸を作用させて生ずる醋酸纖維素 (cellulose acetate) も亦

人絹及びスフの製造に用ひられる。これをアセトン等の溶剤に溶かしたものを空气中または酸類等の凝固液中に押し出して、醋酸纖維素の糸とするのである。醋酸纖維素は吸濕性が比較的少く、電気絶縁用として適当なものである。塗料、型造絶縁物の原料としてもまた用ひられる。

以上に述べた製造法に於ける纖維素原料はウッドパルプ、リントー等である。

〔註〕綿の實から種子毛を採つた後に、まだ短い纖維が残つてゐる。これをリントー(linter)といふ。短か過ぎて紡績用とすることが出来ない。

## 第4章 油性絶縁材料

### 3.4.1 絶縁油

電気絶縁用として油類が使用されるのに、變壓器油及び開閉器油の如く油自体として用ひられる場合と、絶縁塗料及び含浸用の如く間接的に用ひられる場合とがある。前者には主として礦油が用ひられ、後者には礦油及び植物油が用ひられてゐる。

絶縁油としては一般に

- [1] 絶縁抵抗及び絶縁耐力が大なること、
- [2] 熱傳導率及び比熱大で、熱の放散がよいこと、
- [3] 引火点高く、凝固点が低くて、引火、爆發或ひは凍結の恐れ少きこと、
- [4] 化學的に安定で、變質せず、金属及び纖維質材料に作用しないこと、

等の要求が充たされねばならないが、また變壓器油に對しては、粘度が小で對流による熱の放散によいこと、開閉器油に對しては、粘度小なること、電流遮断の際消弧作用大なること及びその際に發生する瓦斯、炭素粒子が少いこと、充實ケーブル用としては粘着性に富むこと、油入ケーブル用としては粘度極めて小なること等が必要條件である。また塗料用としては乾燥性

で、耐水性に富むこと等が要求される。

### 3.4.2 絶縁用礦油

天然に地中に産する炭化水素混合物である原油 (crude oil) を蒸溜して得られる一種の礦油である。原油は古代の動物または植物が地中にて變質して生じたものと考へられてゐる。

原油を蒸溜すると重油が残留するが、重油を更に過熱蒸氣を吹き込みつゝ蒸溜するか或は罐内を真空にして蒸溜すると、170°~200°C の間で絶縁油が得られる。これを硫酸苛性曹達、水、酸性白土によつて洗滌し、濾過機を通して精製する。

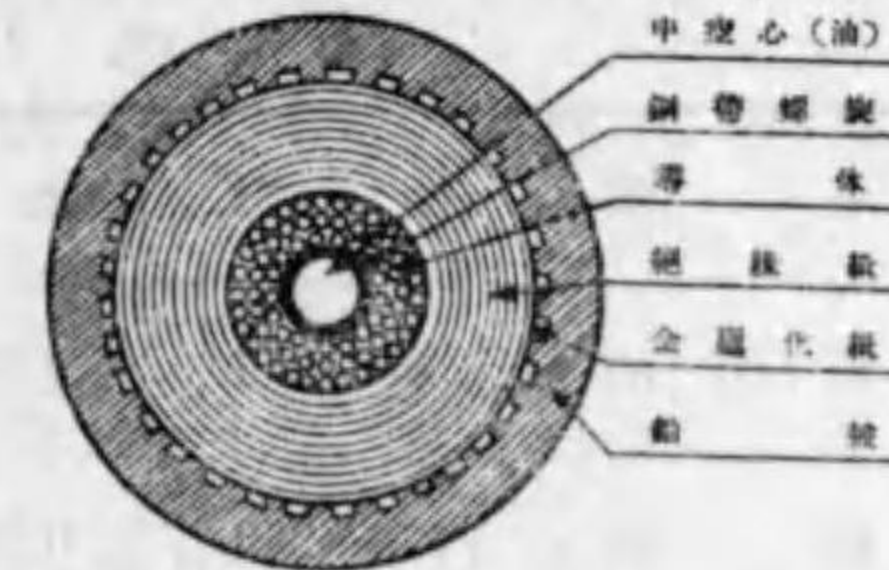
第3.6表 重油の蒸溜例

名 稱	蒸溜温度 °C	比 重	備 考
輕 油	150~170	0.840~0.860	スピンドル油、機械油、エンジン油 シリンダー油は何れも潤滑油である
絶縁油或は輕スピンドル油	170~200	0.870~0.880	
重スピンドル油及び輕機械油	200~250	0.895~0.900	
エンジン油	250~300	0.908~0.912	
シリンダー油	300~320	0.915~0.920	
燃料残物	—	0.950	

絶縁油の中に水分、瓦斯、塵埃、纖維、油の酸化によつて

生ずる樹脂状析出物 **スラッチ** (sludge), 酸等の不純物が存在すると、絶縁抵抗及び絶縁耐力を低下して電氣的性質を悪化する。油中の火花放電、コロナ放電は油を分解して炭素の粒子等を生じて絶縁性を害するものである。

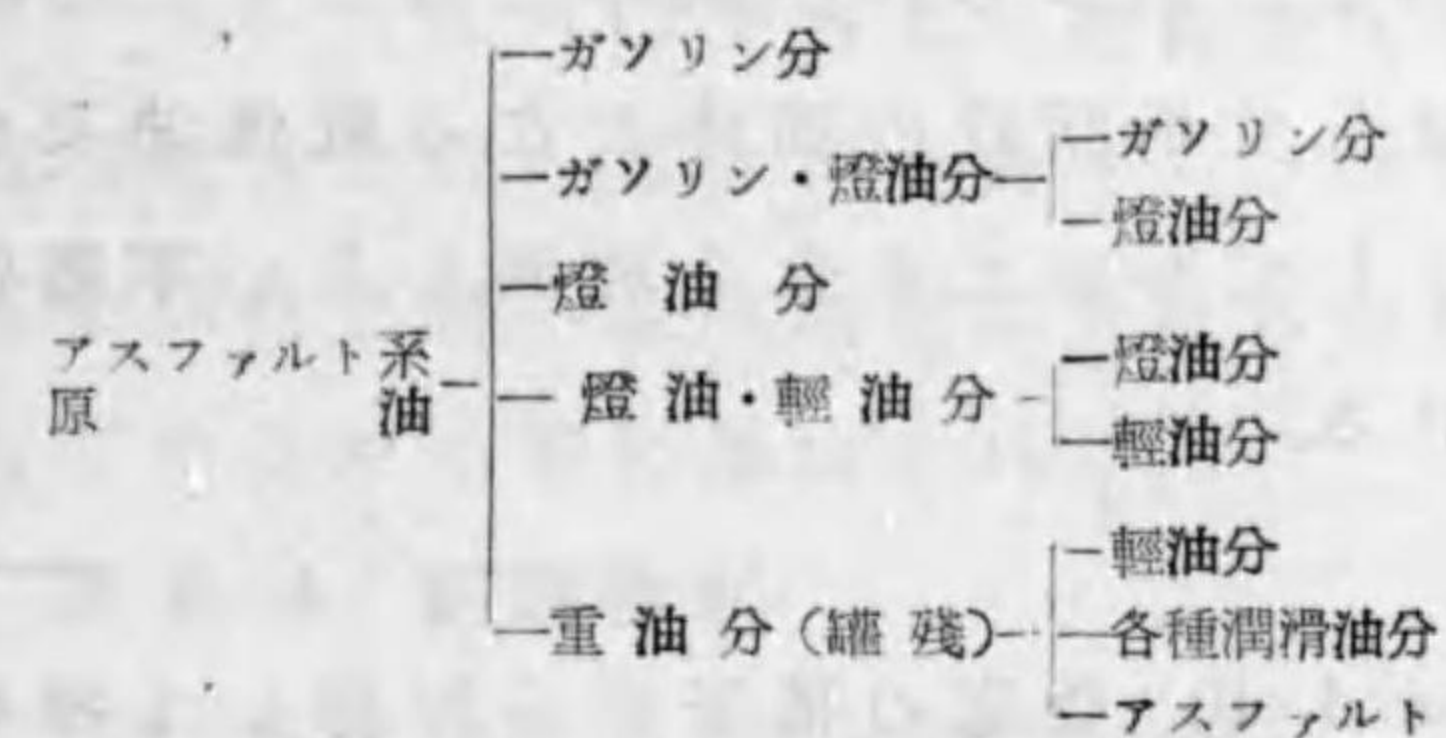
故に變壓器油、開閉器油等の絶縁油にあつては、油中に不純物が混入したり、油が酸化したりすることを防ぐ工夫が必要であり、また使用中に劣化した油は濾過機等によつて清浄化しなければならない。



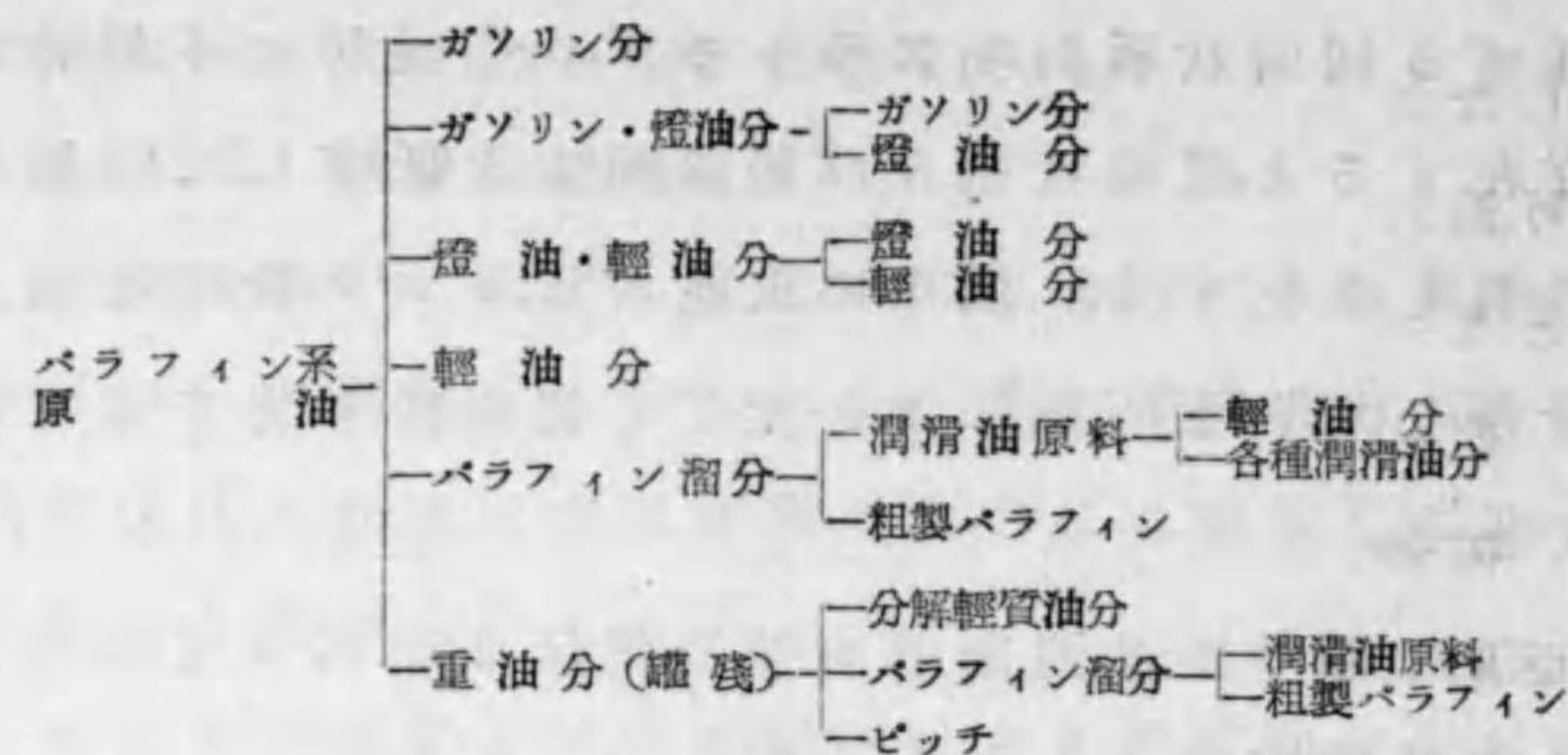
第3.23図 油入電纜

礦油は變壓器油、開閉器油、ケーブル用絶縁油等として、絶縁の保持、熱の放散、外部の濕氣等の浸入の阻止等の目的に重要な用途を有する。

第3.7表 原油の分溜系統  
(絶縁油は潤滑油分中にある)







第3.8表 石油の性質及び用途

名 稱	沸 点 °C	比 重	用 途
揮 發 油	50~220	0.60~0.76	ガソリン機関, 一般燃料, ゴム製品加工, 塗料, 溶剤, 洗滌
燈 油	170~250	0.78~0.83	石油ランプ, 石油機関, 一般燃料溶剤, 洗滌
軽 油	200~350	0.86~0.90	漁船用機関, 一般燃料, 洗滌用
重 油	300 以上	0.91~0.95	ディーゼル機関, 外船用艦船燃料, 潤滑油等の原料

### 3.4.3 絶縁用植物油

植物性の油類は、電気工業に於いては主として絶縁塗料、含浸混和物等に用ひられ、空気中で薄層としておくと酸素を吸収して樹脂状の固体となる乾性油、及び空気中で薄層としておいても永く乾涸しない不乾性油とに大別される。

#### (1) 乾性油

亞麻仁油 (linseed oil) 亞麻の種子から壓搾して採取

した淡黄色の油であつて、エーテル、石油ベンジン等に可溶性で、乾燥性に富み、樹脂及びアスファルトの溶媒となる。

絶縁塗料の製造に重要な原料である。

荳油 (perilla oil) 荳胡麻の種子を壓搾して取る油で亞麻仁油に類似したもので、用途も同様である。

支那桐油 (tung oil) 支那種油桐の種子を壓搾して採取する淡黄色の油で、亞麻仁油よりも乾燥性に富む。絶縁塗料の原料とする。

ボイルド油 (boiled oil) 亞麻仁油等の乾性油を加熱し、または乾燥劑(硼酸マンガ、硼酸鉛等)と共に加熱して、酸化すると、乾燥性が促進され、且粘度の大きいボイルド油となる。絶縁塗料とする。

#### (2) 不乾性油

主なるものは蓖麻子油 (castor oil) である。蓖麻の種子から壓搾して採取される無色または淡緑色の油で、アルコールに可溶である。絶縁塗料の乾燥硬化を防ぎ、柔軟性を與へるため、またケーブル混和物に混合して柔軟性を與へ且高温度に於ける粘度の減少を少からしめるため等に用ひられる。

### 3.4.4 絶縁塗料

#### (1) 絶縁ワニス (insulating varnish)

絶縁用ワニスには亞麻仁油の如き乾性油またはアルコールの如き揮発性溶剤に樹脂類またはアスファルト等を溶解せしめたもので、時に硼酸鉛、硼酸マンガン等の乾燥剤を添加したり、揮発油等で稀釋することもある。これを物体の表面に塗布すれば、乾燥して堅牢な皮膜を生じて内部を機械的、熱的、化學的に保護し、耐水性、電氣的絶縁性を保持するものである。ワニスはまた絶縁物に含浸せしめ、或ひは膠着用として同様の目的に用ひられる。

絶縁ワニスは一般に次の諸条件を要求される。

- (1) 電氣絶縁性が良好なること。
- (2) 膠着性に富み、機械的に強靱な皮膜を作ること。
- (3) 耐熱、耐濕性で、油類にも抵抗力大なること。
- (4) 金属及び纖維質に作用せぬこと。
- (5) 浸透性大で、且適度の粘稠度を有すること、等。

**自然乾燥ワニス** 常温の大氣中で早く乾燥するワニスであつて、**空氣乾燥ワニス** (air drying varnish) とも云ふ。シェラック等の樹脂をアルコールその他の溶剤に溶解し、溶剤の揮發によつて乾涸して皮膜を形成するものと、亞麻仁油の如き乾性油の少量に樹脂、アスファルト等を多量に加へて、早く乾燥するやうにしたものがある。

黒色または飴色のものがあり、可撓性、耐熱性、電氣絶縁性等に於いて、加熱乾燥性ワニスに劣るが、加熱し得ざる所に使用する。

自然乾燥性ワニスは多く仕上用として用ひられ、ア

ルコール性のワニスを電氣機器の線輪等の仕上及び修理に用ひる。雲母、紙、布等の膠着用としては、従來シェラックをメチルアルコール等に溶解したシェラックワニスを用ひられて來たが、最近ではベークライトをアルコール等に溶解したものも用ひられるやうになつた。油性の自然乾燥ワニスは回轉機、計器等のコイル浸潤用、成層鉄心の鉄板間絶縁等に使用される。

**加熱乾燥ワニス** (baking varnish) 加熱して高温度となつた空氣中で乾燥するワニスであつて、亞麻仁油、支那桐油等の乾性油に、コバル、琥珀或ひはアスファルト等を溶解せしめたものである。

飴色及びアスファルト含有の黒色のものがあり、絶縁性、耐濕性等は黒色ワニスが優れ、耐油性は飴色ワニスが勝つてゐる。近來は人造樹脂を原料に用ひるものもある。

コイル浸潤用としては、回轉機のコイルのやうに油に接しないものには**黒色**加熱乾燥ワニス、油入變壓器の如き場合には**飴色**加熱乾燥ワニスが多く用ひられる。また成層鉄心の鉄板間絶縁用としては黒色のものが用ひられ、紙、布等の浸潤用としては飴色及び黒色のものが用ひられる。

**エンバイヤクロス** (empire cloth) は綿布を素地と

して、これを飴色もしくは黒色加熱乾燥ワニス中に浸漬した後、加熱乾燥したものである。**オールド・クロース**、**オールド・キャンブリック**、**ヴァニッシュド・キャンブリック**等と稱するものも同種類のものである。

可撓性で使用に便利であるから、電気機器のコイルの絶縁、電線の被覆等に用途が広い。

**リノテープ** (lino tape) はエンバイヤクロースをテープ状にしたものであつて、また電気機器のコイルの絶縁等に使用される。

**エンバイヤシルク**、**エンバイヤペーパー** は素地がそれぞれ絹または紙である点が異なるので、これらは狭い場所或は特に可撓性の必要な處に使用される。

### (2) エナメル線用塗料

エナメル線は加熱乾燥ワニスを銅線の表面に塗布して焼付けたものである。普通亞麻仁油、支那桐油に樹脂、ステアリンピッチ等を混合したものが用ひられ、薄くて絶縁耐力高く、耐熱、耐濕、耐油性であるのが特長である。

### 3.4.5 絶縁混和物 (insulating compound)

絶縁混和物は油、樹脂、蠟、ゴム、アスファルト、ピッチ等の混合物であつて、電気絶縁要素間の空所を充填し、或ひは表面を被覆して、濕氣の侵入を防ぎ、機械的強度、電

氣的絶縁性を賦與するものである。常温で固体で、これを適用する時に加熱熔融し、冷却固化せしめるものが多いが、ケーブル含浸用混和物のやうに、半固体または粘稠液状のこともある。**ワニスと異なり溶劑を含まない。**

絶縁混和物は一般に次の条件を要求される。

- [1] 電気絶縁性が良好なること。
- [2] 膨脹係数が小で、また他の金属、絶縁物と密着すること。
- [3] 耐熱、耐水性で、油類にも抵抗強きこと。
- [4] 金属及び纖維質に作用せざること。
- [5] 適当な粘稠度を有し、且注入温度低きこと等。

用途により、壓入用混和物、充填用混和物、封塞用混和物、ケーブル含浸用混和物等に分類される。

#### (1) 壓入用混和物 (impregnating compound)

ケーブル等の天然樹脂或ひはフェノール樹脂等の人造樹脂を主要成分とする**黄褐色**のものと、アスファルトまたはピッチ等を主成分とした**黒色**のものがある。前者は耐油性であるから、油入變壓器の如く油中で用ひるコイルに壓入するに適し、後者は耐油性は劣るが、絶縁性に於いて優れてゐるから、回轉機等のコイル壓入用として多く用ひられる。加熱融解せる混

和物を真空乾燥したコイルに壓入した後、乾燥、固化させる。

### (2) ケーブル含浸用混和物

電力ケーブルの紙絶縁含浸用混和物としては、ペトロラタム、シリンダー油等、或ひはこれらにロヂン等の樹脂を混和した油状のものが主として用ひられてゐる。ペトロラタム及びシリンダー油は、何れも重油中の一成分である。

### (3) 充填用混和物

樹脂を主成分とするものと、アスファルト、ピッチを主成分とするものがある。

硬質のものは石英、大理石等の粉末を混合することもあ

り、変圧器、油入開閉器類の導線引出口等に充填するのに用ひられ、軟質のものは電力用ケーブルの接續函充填用等とする。

### (4) 電池封塞用混和物

石油ピッチまたはコールタールピッチ等に石英等の粉末を混入したものが普通である。蓄電池、乾電池等を封塞するに用ひられる。



第 3.24 図  
變壓器に絶縁混和物の注入

## 第4編 構造材料

### 第1章 總 說

#### 4.1.1. 機械的強度其他

電気機器の磁気材料、導電材料、絶縁材料は又多く構造材料としての役目をも荷つてゐるもので、其の機械的性質について一応當つて見る必要があるが、殊に回轉子の磁気材料、整流子片用銅帶、高速度機の集電環、タービン發電機の回轉子材料の如く大きな遠心力を受ける部分、或ひは或る種の機械の磁極端の如く、磁氣的不平衡による大なる歪を受ける部分には其の機械的強度について十分に檢する必要がある。

材料の撰擇に當つては、一材料に總ての良い性質を同時に持たす事は不可能であるので、其の使用目的によつて如何なる性質が最も重要であるか又何の性質を無視する事が出来るかと云ふ事を見究め、必要以上に高價な材料を用ひる事は避ける。實用上には必ず經濟的問題が伴なつて來るもので、良い製品とは單に高能率最高の性能を現はすのみならず、更に生産原價の低廉である事が重要な條件となる事は注意すべき事である。

## 第2章 鉄 及 び 鋼

## 4.2.1 鉄中の不純物

普通市場に在る鉄材は化学上の純鉄ではなく、下表の如き範囲の炭素其他の不純物含有し、之等の含有量、状態、並に履歴の如何により非常に異つた性質を現す。

第4.1表 鉄中の不純物

炭素	0.03~0.05%
珪素	0.00~5.0%
マンガン	痕跡~2.0%
燐	0.01~3.0%
硫黄	0.01~0.3%
銅	0.01~0.4%
砒素, アンチモン	0.01~0.2%

鉄中の炭素(C)の存在は最も重要な作用をなすものであるが、其状態には次の四つの場合がある

1. 黒鉛 (graphite)
2. 無形炭素 (temper carbon)
3. 炭化炭素 (carbide carbon)
4. 可淬炭素 (hardening carbon)

この炭素が鉄中に這入つて来るのは鉄の熔融状態の時のみならず、単に鉄が赤熱の状態に於ても炭素と接触すれば其れを吸収する。鉄の熔融状態にては炭素は $Fe_3C$ なる化合物、即ち所謂セメントタイトとして或は単に炭素として鉄中に熔け込んで居るが、漸次温度が低下して来ると此の炭素は黒鉛として析出して来る。この黒鉛は塊つた鉄の中で分離した粒状結晶

形として存在する。黒鉛の析出は $1100^{\circ}C$ より $900^{\circ}C$ の間に起り、鉄の冷却速度の遅い程多く、且つ珪素の量に比例する。

温度が尙降つて $700^{\circ}C$ 位になれば残りの炭素は $Fe_3C$ なる化合物として分離してくる。之を炭化炭素と云ふ。尙冷却すれば残りの炭素は可淬炭素として熔け込んだまゝに残る。

炭化炭素を含有する鉄を $720^{\circ} \sim 850^{\circ}C$ 位の温度で数日間焼鈍せば $Fe_3C$ は $3Fe + C$ に分解し炭素が遊離してくる。之を無定形炭素と云ひ、これら4種類の炭素により鉄にそれぞれ異つた性質を與へる。

珪素(Si)は或る種の鉄にとつて缺くべからざるもので又上述の如く黒鉛を遊離するに役立つ。

マンガン(Mn)は炭素の全量並びに結合炭素を増加せしめ強さ硬さを増し、又酸素量を減じて酸素、硫黄の害を減ずる。

燐(P)は多量に存在すればセメントタイト(cementite)として留保する傾向あり、鉄を脆弱ならしめるが、鉄の熔融点を著しく下げ、又熔融状態に於ける流動性を與へるから鑄物に使はれるものには或る程度望ましい場合もある。

砒素(As)は鉄中の炭素を黒鉛として沈澱せしめる

傾向があり、鉄に柔軟性を與へるが、硫黄(S)はこれに反して黒鉛を結合炭素に化する作用を有し、鑄物には最も有害である。其他酸素等も鑄物を脆弱ならしめて有害である。

銅 (Cu) はたとひ入つて來ても極めて少量で、左程有害でないから問題とするに足りない。

#### 4. 2. 2 銑鉄 (pig iron) (ツク)

銑鉄は2.6%以上の炭素と種々の元素を含有し、熔融点低く (1100°~1200°C) 鉄鑛から直接造られたもので、可鍛鉄、鑄鉄、鋼等多くの鉄材の原料となるべきものである。

鼠銑 (gray pig iron) 及び白銑 (white pig iron) の二つに別けられ、前者は炭素を粒状黒鉛として遊離状態で有するから折口は灰色粒状を呈し、柔軟でしかも流動性に富むから鑄物の原料として用ひられる。

白銑は炭素を炭化炭素として含有するので破面は鉄自身の白色を呈し、質は硬くて脆いからこのまゝ鑄物の材料として用ひられる事もあるが主として鋼材を造る原料に使用される。

#### 4. 2. 3 可鍛鉄 (malleable iron)

炭素含有量2.6%以下のもので熔融点比較的高く (1300°~1500°C)、不純物の含有量少く、熱するときは熔融

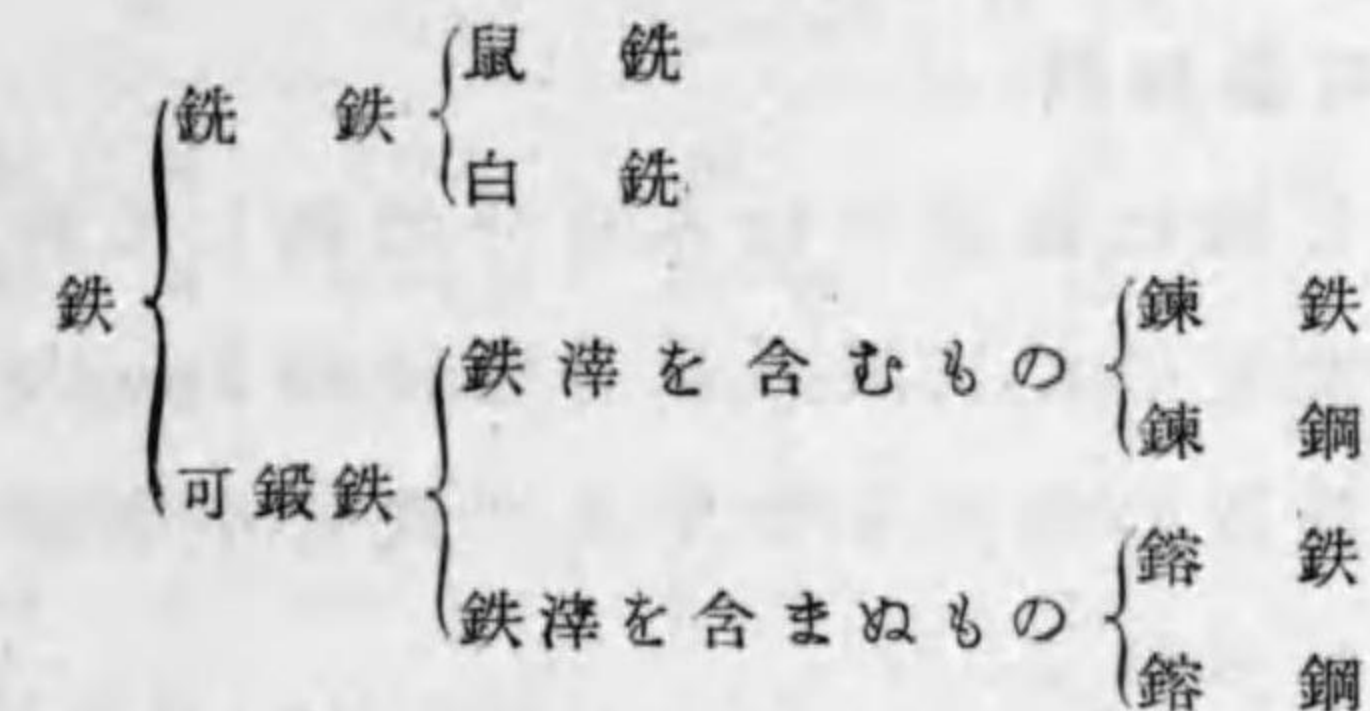
する前に徐々に柔軟となり容易に鍛錬する事が出来る。これは又鍊鉄或は鍛鉄 (wrought iron or weld iron) と鑄鉄 (ingot iron) とに別けられる。

鍊鉄はこれを製造するときの温度が低いため鉄滓 (slag) を残存する。故に機械的強度は小さい。

鑄鉄はこれに反し完全に熔融した状態で製造されるため鉄滓を含まず強度は大きい。

これらの中、焼入可能のものを鋼と稱し、焼入れの利かないものを單に鉄と云つて居る。

第4.2表 鉄の分類



この分類法は學術的であるが、實用上には製法によつて分類して居る。

#### 4. 2. 4 鑄鉄 (cast iron)

銑鉄に屑鑄鉄又は鋼屑を混じて熔解鑄造したものである。大なる断面積を有し且つ複雑な形を有する個所に用ひられる。小形及中形機の外枠、機械台、軸受台及蓋等用途は廣い。磁氣枠としては瞬間的に磁束

の變化しない場合にのみ用ふべきである。

低炭素鑄鉄はセミスチールとも稱はれ銑鉄に軟鋼層40%以上を混じて鑄造したもので、全炭素量低く且つ黒鉛片が微細となり、抗張力は大きい(30kg/mm<sup>2</sup>)。

チル鑄物(child casting)とは鑄物を金型に鑄込むと表面が急冷する爲、この部分に炭化炭素を析出し表面が白色堅剛となる事を利用したものである。チル車輪等がこの例である。

其の他少量のニッケル、クロム等を加へたものは其の機械的性質が優秀である。

#### 4.2.5 可鍛鑄鉄

白銑鑄物を酸化鉄等で包み充分焼鈍して炭素の一部を除去したもので、抗張力は普通鑄物より大きく且つ幾分曲る程度の靱性を有する。鉄管、小車輪、其他小部分品に用ひられる。

#### 4.2.6 鑄鋼 (cast steel)

平炉又は電氣炉で製造されたもので、炭素0.1~0.5%、マンガン0.4~1.0%、珪素0.2~0.4%、磷0.05%以下、硫黄0.06%以下のもので、充分焼鈍した状態で用ふべきである。

#### 4.2.7 壓延鋼材

炭素鋼 (carbon steel) とは狭義の鋼の事で、其の炭素含

有量が0.05%の殆ど純鉄に近いものから、1.7%の鑄鉄に近いものまであり、其の含有量の多少により硬いものから軟かなものまで、多くの段階に別れて居る。これ等の中で線、棒、管、板等の形のものゝは壓延鋼材として構造用材料中最も多く且つ重要なものである。

日本製鉄、八幡製鉄所では第4.3表の如く別けて居る。其の中の軟鋼から半硬鋼迄が構造用材として重要なものである。

第4.3表 壓延鋼の分類

種別	炭素含有量 (%)	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)	用途
SR 34 極軟鋼	0.157	38>	25	線・釘・割ピン・管
SR 39 軟鋼	0.15~0.20	38~44	22	鉄・ボルト・其他
SR 44 半軟鋼	0.20~0.27	44~50	20	造船・建築・橋梁・汽罐・鐵塔
SR 50 半硬鋼	0.27~0.40	50~60	16	シャフト・セツトピン
硬鋼	0.40~0.50	60~70	14	シャフト・工具
最硬鋼	0.50~0.60	70<	8	工具

軟鋼板は變壓器及び遮断器類の外函、或は熔接して機械台、軸受、ブラケット、大型機外枠等として用途が廣い。

#### 4.2.8 鍛鋼品

鍛鋼は鑄鋼よりも、又或る時は壓延鋼よりも機械的性質が優秀であるので壓延鋼と同じ目的に用ひられ

又特に大きな寸法で圧延鋼の市場品では間に合はぬ場合に用ひられる。(J.E.S. S.F.44B, SF 54等)

鍛冶が内部によく透徹しない時は劣等な性質を示す事があるから注意を要する。

#### 4.2.9 鋼線

軟鋼線は普通に鉄線として用ひられるが、硬引したものはピアノ線と云はれ、ワイヤロープ或はバネ等に用ひられる。

#### 4.2.10 特殊鋼

軟鋼或は半硬鋼に少量(5%以下)のニッケル或はそれと同時にクロムを添加したものは、熱処理により特に弾性限高く強靱となり且つ疲労に強く、又高温度に於て過熱の影響が少ない等優秀な機械的性質を示す。整流子のシユリンクリング、Vリング電動機用小歯車等に用ひられる。

この他クロム・モリブデン、クロム・マンガン、クロム・マンガン・ニッケル鋼は非常に抗張力を示し、整流子締着ボルトに用ひられ、クロム・ワナヂウム鋼は發條に、又高クロム鋼は不銹鋼として知られてゐる等種々のものが研究せられ且つ愛用されて居る。

#### 4.2.11 バインド線

電気機械のバインド線にはハンダ付を容易にする

爲に豫め錫鍍せられた不感磁性鋼線が用ひられるが、其れ程強度を要せぬ場合には青銅鋼或は絶縁物が用ひられる。





### 第4.3章 非鉄金属

#### 4.3.1 銅

銅は常温加工を施せば、導電率にはさしたる影響なく大なる抗張力のものが得られる。

銅は導電材料としては勿論最も重要なものであるが、又合金の材料としても重要な用途がある。

#### 4.3.2 黄銅(真鍮, brass) Cu Zn

黄銅は銅と亜鉛とを主成分とする合金であつて、鑄物材と壓延材とあり、比較的安価であるから一般に機械的強度を特に必要とせず、抑板、極の締環、非磁性外枠等の非磁性を要する部分、或はトロリー部分品、スキッチ、小型機の集電環、小型軸受、螺子等の如く銹を嫌ふ部分又は腐蝕され易い場所に廣く用ひられる。その他多少裝飾的の意味を含めて電燈器具等にも多量に用

第4.4表 黄銅

種別	名稱	成分		特徴	用途
		Cu(%)	Zn(%)		
鑄物真鍮	赤色真鍮		約20以下	赤色・美麗鍍付容易	トロリー部分品・スキッチ・裝飾品
	黄色真鍮		約30以上	真鍮色・強	其他一般
鍛鍊真鍮	常温加工品	七三真鍮	69~72 31~28	赤色・美麗鍍付容易	棒、板、管、針金等一般裝飾品
		二一真鍮	65~68 35~32		
	火造品	四六真鍮	58~62 42~38	硬・強、溶水に強し鍍付難	ネジ・ボルト

ひられる。

これ等のものは何れも主成分の他に少量の錫鉛を含み、製造に屑金等を用ひるのでその成分は一般に複雑である。

又錫鉄マンガン、アルミニウム等を添加したのものもある。

#### 4.3.3 青銅(bronze)

青銅には單純な銅錫合金と更にそれに亜鉛、少量の鉛、ニッケル及び還元剤としての磷等を含有了たものがあり、之等は亜鉛青銅、鉛青銅、ニッケル青銅、磷青銅等と呼ばれる。又これ等の代用として珪素、アルミニウム等を含有的ものもある。

最も普通のもは所謂砲金である。

第4.5表 青銅

名稱	成分(%)						其他	抗張力	特徴	用途
	Cu	Sn	Zn	Al	Si	P				
砲金	88	10	2					2> 22<		刷子保持器 グリスカバー
和蘭黄銅	86	10	4					20	流動性大 密度大	刷子保持器其 他複雑な形 小型軸受金
軸受青銅	77	8	5					1.5		
燐青銅 (鍛鍊品)	95	5				0.5 ~0.15		84 ~112	強度大 磨耗と腐蝕に抵抗大	バネ其他 軸受ウオーム ギア
" (鑄物)	90	10				0.22 ~1.5				
シルジヤ青銅	86	10			4			40.6 ~45.8	砲金=優 ル	砲金代用
アルミニウム 青銅	76 ~84			10				12> 35-75	強度耐蝕 性大	卷心、短絡環

## 4.3.4 軸受金属

前述の軸受青銅の他に重要な軸受金属としてホワイトメタルを挙げる事が出来る。これを鑄鉄、鑄鋼、或は狭い場合には磷青銅で作られた軸受の中に鑄込むのである。

第4.6表 白色合金

種 別	成 分 (%)				用 途
	Sn	Sb	Cu	Pb	
錫台合金 (Tin base)	80	10	10	—	タービン発電機、歴延用電動機 電車モーター
中間合金	53	15	2	30	一般電動機用
鉛台合金 (Pb base)	8	15	0.5	76.5	高速軸用

この外亜鉛台合金、銅台合金、アルカリ土金属合金及びベークライト軸受等が用ひられる。

## 4.3.5 軽合金

アルミニウムは導電材料としても用ひられるが、比重が小さい(2.7)のでマグネシウム(1.7)と共に軽合金の材料として重要である。近來は又銅の代用品として盛んに用ひられ出したが、地球上に最も多量に存する金属であるから將來は鉄に代るべき重要な元素である。

**デュラルミン** (dululmin) は適当な熱処理により軟鋼程度の強度を現はし、優秀な構造材料である。

**マグネシウム**は單獨では弾性限低く、腐蝕に對して

著しく弱いが、これを90%以上含んだ合金は一般に**エレクトロン**と呼ばれ、軽くて優秀な材料である。

第 4.7 表

種 類	名 稱	成 分 %							比 重	抗張力	伸
		Cu	Mg	Mn	Zn	Si	Fe	Al			
鍛 鍊 Al 合金	デュラルミン	3.5-4.5	0.4-0.7	0.4-0.7	—	0.3-0.6	0.3-1.0	殘	2.8	20-62	21-22
	獨逸合金	2-5			8-12			殘	3.0	15	2
鑄 造 Al 合金	シルミン					11-13		殘	2.65	17-28	1-8
	Mg合金		90<	0.23-0.5	3			6	1.81-1.83	14.2-17.2	3-5

この表以外にも種々ある。これ等軽合金はハンドル、カバー、刷子ホルダー等に用途が廣い。

## 4.3.6 鐵

**ハンダ**(軟鐵)は錫鉛合金で熔融点低く、錫1鉛2、錫1鉛1等のものが多く用ひられる。熔劑としては塩化亜鉛、塩化アンモニウム、松脂等が用ひられる。

**硬鐵**(真鍮鐵)(Cu 42~54; Zn 46~58)、**銀鐵**(Cu 36~50; Zn 46~52; Ag 4~12)は粉狀又は紐狀として真鍮、青銅、鉄、帶鋸等の鐵付に用ひられる。其の他銀用銀鐵、洋銀鐵、金鐵等がある。熔劑には概ね硼砂が用ひられる。

## 4.3.7 ダイカスト (die cast)

ダイカスティングとは耐熱性の金型に熔融温度の低い湯を壓搾空氣、プランジャ、又は重力により壓入して鑄物を造る方法で、短時間に注入する爲形が正しく出來

る等の利点あり多量生産に適する。ダイカスト合金としては錫台、鉛台、亜鉛台、アルミニウム台、銅台等のものである。

## 第4章 非金属材料

### 4.4.1 木材

電気機器構造材料としては電機子溝用楔にモミヂ、朴、チーク、大型扇風機の羽根に桂等が用ひられる。

巻型用には樗<sup>クヤキ</sup>、木型用としてはチーク、朴、姫子松<sup>ホウ</sup>、榿、杉、クルミ等、又絶縁棒、油入遮断器用ロッド等にモミヂ、櫻等が用ひられる。

電柱には主に杉、檜又は稀には松、サワラ等を何れも防腐法を施して用ひ、腕木には樗が用ひられる。

### 4.4.2 コンクリート

セメント(cement)の中最も普通のものはポルトランドセメントで、珪酸礬土、酸化鉄及石灰を適當の割合に混和焙焼後粉碎したものである。この他にも種々のものあり、電球ベース用の物等は特殊なものである。

コンクリート(concrete)はセメントに砂、砂利を配合したもので、配合の割合、練り方、突固め方、大きさ及材齢により其の強度が異つて来る。

1:2:3の配合(セメント・砂・砂利)(容積比)のものは特に強さを要する部分に、1:2:4のものは機械の基礎等震動を受ける個所及鉄筋コンクリートとして電柱其他に、1:3:6のものは左程強さを要しない大型基礎工事等に用ひられる。

(1) 標準軟銅線

直徑 (mm)	直徑 公差 (mm)	切斷面積 (mm <sup>2</sup> )	重量 (kg/km)	最大抵抗 20°C (Ω/km)	導電率 (%)	最大抗張力		最小伸 250mm (%)
						(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	
12.00	0.06	113.10	1,005.5	0.1540	99.0	2,828.	2.50	35.0
10.00	"	78.54	698.2	0.2217	"	1,964.	"	"
9.00	"	63.62	565.6	0.2737	"	1,591.	"	"
8.00	"	50.27	446.9	0.3464	"	1,257.	"	"
7.00	"	38.48	342.1	0.4526	"	1,000.	25.0	30.0
6.50	"	32.18	295.0	0.5249	"	862.7	"	"
6.00	"	28.27	251.3	0.6160	"	735.0	"	"
5.50	0.04	23.76	221.2	0.7330	"	617.8	"	"
5.00	"	19.64	174.6	0.8867	"	510.6	"	"
4.50	"	15.90	141.4	1.095	"	413.4	"	"
4.00	"	12.57	111.7	1.385	"	326.8	"	"
3.50	"	9.621	85.53	1.810	"	250.1	"	"
3.20	"	8.042	71.49	2.166	"	209.1	"	"
2.90	0.03	6.605	58.72	2.637	"	171.7	"	"
2.60	"	5.309	47.20	3.280	"	133.0	"	"
2.30	"	4.155	36.94	4.191	"	108.0	"	"
2.00	"	3.142	27.93	5.543	"	81.69	"	"
1.80	"	2.545	22.53	6.913	98.0	68.72	27.0	25.0
1.60	"	2.011	17.88	8.748	"	54.30	"	"
1.40	"	1.539	13.68	11.43	"	41.55	"	"
1.20	"	1.131	10.05	15.56	"	30.51	"	"
1.00	"	0.7854	6.982	22.40	"	21.21	"	"
0.90	0.02	0.6362	5.656	27.65	"	17.18	"	"
0.80	"	0.5027	4.469	35.00	"	13.57	"	"
0.70	"	0.3848	3.421	45.72	"	10.77	28.0	20.0
0.65	"	0.3318	2.950	53.03	"	9.290	"	"
0.60	"	0.2827	2.513	62.23	"	7.916	"	"
0.55	"	0.2376	2.112	74.04	"	6.653	"	"
0.50	0.01	0.1964	1.746	89.58	"	5.499	"	"
0.45	"	0.1590	1.414	118.8	97.0	4.452	"	"
0.40	"	0.1257	1.117	141.4	"	3.520	"	"
0.35	"	0.09621	0.8553	184.7	"	2.694	"	"
0.32	"	0.08042	0.7149	221.0	"	2.252	"	"
0.29	"	0.06605	0.5872	269.1	"	1.849	"	"
0.26	"	0.05309	0.4720	334.8	"	1.487	"	"
0.23	0.008	0.04155	0.3694	427.8	"	1.163	"	"
0.20	"	0.03142	0.2793	565.7	"	0.8793	"	"
0.18	"	0.02545	0.2263	698.4	"	0.7126	"	"
0.16	"	0.02011	0.1788	883.9	"	0.5631	"	"
0.14	"	0.01539	0.1368	1155.	"	0.4309	"	"
0.12	"	0.01131	0.1005	1572.	"	0.3167	"	"
0.10	"	0.007854	0.06982	2263.	"	0.2199	"	"

(2) 標準硬銅線

直徑 (mm)	直徑 公差 (mm)	切斷面積 (mm <sup>2</sup> )	重量 (kg/km)	最大抵抗 20°C (Ω/km)	最小 導電率 (%)	最小抗張力		最小伸 250mm (%)
						(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	
12.00	0.06	113.10	1005.5	0.1572	97.0	3981.	35.2	3.12
10.00	"	78.54	698.2	0.2263	"	2835.	36.1	26.4
9.00	"	63.62	565.6	0.2794	"	2367.	37.2	2.40
8.00	"	50.27	446.9	0.3536	"	1925.	38.3	2.16
7.00	"	38.48	342.1	0.4619	"	1516.	39.4	1.92
6.50	"	33.18	295.0	0.5357	"	1327.	40.0	18.0
6.00	"	28.27	251.3	0.6287	"	1145.	40.5	1.68
5.50	0.04	23.76	211.2	0.7481	"	976.5	41.1	1.53
5.00	"	19.64	170.46	0.9050	"	817.0	41.6	1.44
4.50	"	15.90	141.4	1.118	"	670.2	42.15	1.32
4.00	"	12.57	111.7	1.414	"	536.7	42.70	1.20
3.50	"	9.621	85.53	1.847	"	416.1	43.25	1.08
3.20	"	8.042	71.49	2.210	"	350.5	43.58	1.01
2.90	0.03	6.605	58.72	2.691	"	290.0	43.91	0.94
2.60	"	5.309	47.20	3.348	"	234.9	44.24	0.86
2.30	"	4.155	36.94	4.278	"	185.2	44.57	0.79
2.00	"	3.142	27.93	5.657	"	141.1	44.90	0.72
1.80	"	2.545	22.62	7.057	96.0	114.8	45.12	0.67
1.60	"	2.011	17.88	8.931	"	91.18	45.34	0.62
1.40	"	1.539	13.68	11.67	"	70.12	45.56	0.58
1.20	"	1.131	10.05	15.88	"	51.78	45.78	0.53
1.00	"	0.7854	6.982	22.87	"	36.13	46.00	0.48
0.90	0.02	0.6362	5.656	28.23	"	29.34	46.11	0.46
0.80	"	0.5027	4.469	35.73	"	23.23	46.22	0.43
0.70	"	0.3848	3.421	46.67	"	17.83	46.33	0.41
0.65	"	0.3318	2.950	54.13	"	15.39	46.39	0.40
0.60	"	0.2827	2.513	63.53	"	13.13	46.44	0.38
0.55	"	0.2376	2.112	75.59	"	11.05	46.50	0.37
0.50	0.01	0.1964	1.746	91.44	"	9.142	46.55	0.36
0.45	"	0.1590	1.414	113.0	"	7.411	46.61	0.35
0.40	"	0.1257	1.117	142.9	"	5.865	46.66	0.34

## (3) 標準軟銅撚線

公稱 斷面積 mm <sup>2</sup>	撚線構成 素線數/素線直徑	計 算 斷 面 積 mm <sup>2</sup>	重 量 kg/km	素線導電率 (%)	抵 抗 20°C Ω/km
1000	127/3.20	1021.5	9261.	99.0	.01740
850	127/2.90	838.8	7607.	"	.02118
725	91/3.20	731.8	6636.	"	.02428
600	91/2.90	601.1	5450.	"	.02956
500	61/3.20	490.6	4448.	"	.03622
400	61/2.90	402.9	3654.	"	.04409
325	61/2.60	323.8	2937.	"	.05485
250	61/2.30	253.5	229.8	"	.07008
200	37/2.60	196.4	178.1	"	.09042
150	37/2.30	153.7	1394.	"	.1155
125	19/2.90	125.5	1138.	"	.1416
100	19/2.60	100.9	914.7	"	.1761
80	19/2.30	78.95	715.9	"	.2250
60	19/2.00	59.70	541.3	"	.2976
50	19/1.80	48.36	348.6	98.0	.3711
38	7/2.60	37.16	337.0	99.0	.4779
30	7/2.30	29.09	263.8	"	.6107
22	7/2.00	21.99	199.4	"	.8077
14	7/1.60	14.08	127.7	98.0	1.275
8	7/1.20	7.917	71.76	"	2.267
5.5	7/1.00	5.498	49.85	"	3.264
3.5	7/0.80	3.519	31.91	"	5.100
2.0	7/0.60	1.979	17.94	"	9.068
1.4	7/0.50	1.357	12.47	"	13.05
.9	7/0.40	.8799	7.975	97.0	20.60

## (4) 標準硬銅撚線

公稱 切斷面積 (mm <sup>2</sup> )	撚線構成 素線數/直徑	計 算 切 斷 面 積 mm <sup>2</sup>	1km重量 kg	素 線 導 電 率 (%)	1km抵抗 20°CΩ	最 抗 張 力 kg
1000	127/3.2	1021.3	9261	97.0	0.01775	40060
850	127/2.9	838.8	7607	"	.02161	33150
725	91/3.2	731.8	6636	"	.02477	28710
600	91/2.9	601.1	5450	"	.03016	23750
500	61/3.2	490.6	4448	"	.03695	19240
400	61/2.9	402.9	354	"	.04500	15920
325	61/2.6	323.8	2937	"	.05598	12900
250	61/2.3	253.5	2298	"	.07153	10170
200	37/2.6	196.4	1781	"	.09230	7822
150	37/2.3	153.7	1394	"	.1174	6167
125	19/2.9	125.5	1138	"	.1445	4959
100	19/2.6	100.9	914.7	"	.1797	4017
80	19/2.3	78.95	715.9	"	.2297	3167
60	19/2.0	59.70	541.3	"	.3037	2413
50	19/1.8	48.31	438.6	"	.3788	1963
38	7/2.6	37.16	337.0	"	.4879	1480
30	7/2.3	29.09	263.8	"	.6234	1167
22	7/2.0	21.99	199.4	"	.8243	888.9
14	7/1.6	14.08	127.7	96.0	1.301	574.4
8	7/1.2	7.917	71.76	"	2.314	326.2
5.5	7/1.0	5.498	49.85	"	3.332	227.6
3.5	7/.8	3.519	31.91	"	5.206	146.3
2.0	7/.6	1.979	17.94	"	9.257	82.72
1.4	7/.5	1.375	12.47	"	13.32	57.59
0.9	7/.4	.8799	7.975	"	20.82	36.95

(5) ニッケルクロム線性能表 公差(±) 直径3%・抵抗5%

直 径		面 積		1 軒 / 抵 抗			1 軒 / 重 量			
標 準	最 大	最 小	標 準	標 準	最 大	最 小	量 標 準			
mm	mil	mm	mil	mm <sup>2</sup>	Ω	Ω	(kg)			
12	472.8	12.36	486.9	11.64	458.6	113.09	8.84	9.28	8.40	938.65
10	394.0	10.30	405.8	9.7	382.1	78.54	12.73	13.37	12.09	651.88
9	354.6	9.27	365.2	8.73	343.9	63.62	15.72	16.51	14.93	523.05
8	315.2	8.24	324.6	7.76	305.7	50.26	19.89	20.88	18.90	411.16
7	275.8	7.21	284.0	6.79	267.5	38.48	25.99	27.29	24.69	319.38
6.5	256.1	6.70	263.9	6.31	248.6	33.1	60.14	31.65	28.63	275.39
6.0	236.4	6.18	243.4	5.82	229.3	28.27	35.37	37.14	33.60	234.64
5.5	216.7	5.67	223.3	5.34	210.3	23.75	42.11	44.22	40.00	197.13
5.0	197.0	5.15	202.9	4.85	191.0	19.63	50.94	53.49	48.39	162.93
4.5	177.3	4.64	182.8	4.37	172.1	15.90	62.90	66.05	59.76	131.97
4.0	157.6	4.12	162.3	3.88	152.8	12.56	29.62	83.60	75.63	104.25
3.5	137.9	3.61	142.2	3.40	133.9	9.62	103.95	109.15	98.75	79.85
3.2	126.0	3.30	130.0	2.10	122.1	8.04	124.38	130.60	118.16	66.73
2.9	114.2	2.99	117.8	2.81	110.7	6.60	151.51	156.09	143.93	54.78
2.6	102.4	2.68	106.5	2.52	99.2	5.30	188.68	198.11	179.25	43.99
2.3	90.6	2.37	93.3	2.23	87.8	4.15	240.96	253.01	238.91	34.45
2.0	78.8	2.06	81.1	1.94	76.4	3.14	318.47	334.39	302.55	26.06
1.8	70.9	1.85	72.8	1.75	68.9	2.54	393.70	413.39	374.02	21.08
1.6	63.0	1.65	65.0	1.55	61.0	2.01	497.51	522.39	472.63	16.68
1.4	55.1	1.44	56.7	1.36	53.5	1.53	653.60	686.28	620.92	12.70
1.2	47.3	1.24	48.8	1.16	45.7	1.31	884.00	928.20	839.80	9.38
1.0	39.4	1.03	40.5	0.970	38.2	0.785	1,273.90	1,337.60	1,210.21	6.52
0.9	35.5	0.927	36.5	0.873	34.4	0.636	1,572.32	1,650.94	1,493.70	5.28
0.8	31.5	0.824	32.4	0.776	30.5	0.503	1,988.10	2,087.50	1,888.70	4.17
0.7	27.6	0.721	28.4	0.679	26.7	0.384	2,598.50	2,728.48	2,468.58	3.19
0.65	25.6	0.670	26.3	0.631	24.8	0.3318	3,013.86	3,164.55	2,863.17	2.75
0.6	23.6	0.618	24.3	0.582	22.9	0.2827	3,537.32	3,714.19	3,360.45	2.35
0.55	21.7	0.567	22.3	0.534	21.0	0.2375	4,210.52	4,421.05	3,999.99	1.97
0.5	19.7	0.515	20.2	0.485	19.1	0.163	5,094.24	5,348.95	4,839.53	1.63
0.45	17.7	0.464	18.2	0.373	17.2	0.1590	9,290.44	6,604.96	5,975.92	1.32
0.40	15.3	0.412	16.2	0.388	15.2	0.1259	7,961.78	8,359.87	7,563.69	1.04
0.35	13.8	0.361	14.2	0.340	13.3	0.0962	10,395.01	10,914.76	9,825.26	0.798
0.32	12.6	0.330	13.0	0.310	12.2	0.0804	12,437.81	13,059.70	11,815.92	0.667
0.29	11.4	0.299	11.7	0.281	11.0	0.0660	15,151.51	15,909.09	14,393.93	0.548
0.26	10.2	0.268	10.5	0.252	9.9	0.0530	13,867.92	19,811.31	17,924.52	0.440
0.23	9.0	0.237	9.3	0.228	7.8	0.0415	24,096.38	25,301.20	22,891.56	0.344
0.20	7.9	0.206	8.1	0.194	7.6	0.0314	31,847.13	33,433.39	30,254.77	0.261
0.18	7.1	0.185	9.2	0.175	6.8	0.0254	39,370.35	41,338.87	37,401.83	0.211
0.16	6.3	0.165	6.5	0.155	6.1	0.0201	49,751.24	52,238.80	47,263.68	0.167
0.14	5.5	0.144	5.6	0.136	5.4	0.0153	65,359.48	68,627.45	62,091.51	0.127
0.12	4.7	0.124	4.8	0.116	4.5	0.0113	88,495.58	92,920.36	84,070.80	0.094
0.10	3.9	0.103	4.0	0.097	3.8	0.00785	127,388.54	133,757.97	121,019.11	0.065

ニッケルクロム線性能概要

性能概要	比 重	約 8.3	
		固有抵抗	100 マイクローム (Cm <sup>2</sup> ) (20°C)
		抵抗温度係数	0.00011 以下 (1°C = 付)
		抗 張 力	55 kg/mm <sup>2</sup> 以上
	伸 縮	10.0 % 以上	

安 全 電 流

(電気工作物規程細則第二十三條)

太 さ (mm)	安全電流 (A)		公 稱 切 断 面 積 (mm <sup>2</sup> )	撻 線 構 成 (mm)	安全電流 (A)	
	第一種及 第二種 絶縁銅線	第三種及 第四種 絶縁銅線			第一種及 第二種 絶縁銅線	第三種及 第四種 絶縁銅線
12.0	300	210	1000	127/3.2	1540	960
10.0	230	165	850	127/2.9	1340	840
9.0	200	145	725	91/3.2	1210	770
8.0	170	120	600	91/2.9	1050	670
7.0	140	100	500	61/3.2	900	580
6.5	130	90	400	61/2.9	790	510
6.0	115	80	325	61/2.6	670	440
5.5	105	75	250	61/2.3	570	370
5.0	90	65	200	37/2.6	470	320
4.5	80	55	150	37/2.3	400	270
4.0	65	50	125	19/2.9	340	240
3.5	55	40	100	19/2.6	290	200
3.2	50	35	80	19/2.3	250	170
2.9	45	32	60	19/2.0	210	145
2.6	40	30	50	19/1.8	175	120
2.3	35	25	38	7/2.0	145	100
2.0	30	20	30	7/2.3	120	85
1.8	25	18	22	7/2.0	100	75
1.6	21	15	14	7/1.6	75	55
1.4	18	12	8	7/1.2	50	35
1.2	15	10	5.5	7/1.0	40	30
1.0	12	8	3.5	7/0.8	30	20
0.9	10	8	2.0	7/0.6	22	15

- 備 考
- 「ゴム」絶縁銅線を碍子引工事に用ふるとき其の安全電流は前表の数値の2割以内を限り増加することを得
  - 第四種絶縁銅線を同一線種又は管内に4本以上施設する場合は其の安全電流は前表の数値を適度に減少すること
  - 特に周囲温度高き場所に施設する電線に在りては其の安全電流は前表の数値を適度に減少すること

## 日本標準規格 第166号

## 鉄及鋼の記号 (抄)

第一位の文字 S……………鋼 F……………鉄

第二位の文字は規格名及製品名を表はし次の通りとす

- F 鍛造品
- C 鑄造品
- TW 水管罐用継目無管
- T 一般用継目無管
- GP 瓦斯管
- S 構造用圧延管
- SC 鉄筋コンクリート用棒材
- SR 構造用鋸材
- M 造船用圧延材
- B 罐用圧延材
- CM 可鍛鑄造品
- W 水道用管
- L 軌条
- DB ボルト及ナット用冷間引抜棒材

第三位の文字は種別を示し主として最低抗張力を以て表はす。

製鋼法を特に記号を以て示すときは最後の位置に次の記号を用ふる

平 炉 鋼	酸性平炉鋼	塩基性平炉鋼	轉 炉 鋼
Oh	Oa	Ob	Bes
酸性轉炉鋼	塩基性轉炉鋼	電 気 炉	酸性電気炉
Ba	Bb	E	Ea
塩基性電気炉	坩 埚 鋼		
Eb	Cc		

(例) SC 41 鑄鋼品第一種 (抗張力約41 kg/mm<sup>2</sup>)

## 日本標準規格 第165号

## 非鉄金属の記号

第一位の文字 (材質名稱)

- Cu 銅
- Pb 鉛
- Al アルミニウム
- Bs 黄銅
- B 青銅

第二位の文字 (規格名・製品名)

- B 棒材
- C 鑄造品
- BF 火延用棒材
- HB 高力棒材
- BM 挽物用棒材
- P 板
- T 一般用継目無管
- TC 復水器用継目無管

第三位の文字は種別を表はし主として最低抗張力を以て表はす。又

ABCは材質の軟、半硬、硬等の相違を示す。

製造法の記号

歴 延	鍛 錬	歴 出	引 抜
R	F	Ex	D

(例) Cu P 22 銅板軟質のもの

Bs BM AD 引抜法に依り製造したる挽物用黄銅棒

暫定第四種絶縁電線 昭和十四年一月十九日

撚線の部						単線の部					
導 體 公稱切 断面積 (平方耗)	「ゴム」 混合物 の厚さ (耗)	「テ- プ」の 厚さ (耗*)	絶縁抵 抗 15°C ( $\Omega$ /cm)	試 験 電 壓 (ボルト)	導 體 直 徑 (耗)	「ゴム」 混合物 の厚さ (耗)	「テ- プ」の 厚さ (耗*)	絶縁抵 抗 15°C ( $\Omega$ /cm)	試 験 電 壓 (ボルト)	導 體 直 徑 (耗)	
											素線数/直徑 (耗)
1.000	127/3.2	4.0	0.5	50	3500	12.0	2.0	0.35	50	2500	
850	127/2.9	3.8	"	"	"	10.0	1.8	"	"	"	
725	91/3.2	3.6	"	"	"	9.0	1.7	"	"	"	
600	91/2.9	3.5	"	"	"	8.0	1.6	"	"	"	
500	61/3.2	3.3	0.5	50	3500	7.0	1.5	0.25	50	2500	
400	61/2.9	3.2	"	"	"	6.5	1.4	"	"	"	
325	61/2.6	3.1	"	"	"	6.0	"	"	60	2000	
250	61/2.3	2.8	"	"	3000	5.5	1.3	"	"	"	
200	37/2.6	2.6	0.35	50	3000	5.0	1.3	0.25	60	2000	
150	37/2.3	2.4	"	"	"	4.5	1.2	"	"	"	
125	19/2.9	2.2	"	"	"	4.0	"	"	"	"	
100	19/2.6	2.1	"	"	2500	3.5	1.1	"	80	1500	
80	19/2.3	1.9	0.35	50	2500	3.2	1.1	0.25	80	1500	
60	19/2.0	1.8	"	"	"	2.9	"	0.05	"	"	
50	19/1.8	1.7	"	"	"	2.6	"	"	"	"	
38	7/2.6	1.5	"	60	2000	2.3	"	"	"	"	
30	7/2.3	1.5	0.25	60	2000	2.0	1.1	0.05	80	1500	
22	7/2.0	1.4	"	"	"	1.8	"	"	"	"	
14	7/1.6	1.2	"	"	"	1.6	"	"	"	"	
8	7/1.2	1.1	"	80	1500	1.4	"	"	"	"	
5.5	7/1.0	1.1	0.25	80	1500	1.2	1.0	0.05	80	1500	
3.5	7/0.8	"	0.05	"	"	1.0	"	"	"	"	
2.0	7/0.6	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
1.4	7/0.5	1.0	"	"	"	"	"	"	"	"	
0.9	7/0.4	1.0	0.05	80	1500	"	"	"	"	"	

\* 導體の公稱切断面積5.5平方耗以上のものに在りては布「テ-プ」5.5平方耗未満のものに在りては紙「テ-プ」をす  
\* 導體の太さ3.2耗以上のものに在りては布「テ-プ」3.2耗未満のものに在りては紙「テ-プ」をす

暫定「コード」安全電流

導 體			導 體		
太 さ (平方耗)	構 造 素線数/直徑 (耗)	安全電流 (アンペア)	太 さ (平方耗)	構 造 素線数/直徑 (耗)	安全電流 (アンペア)
5.5	135/0.23	35	1.25	50/0.18	12
3.5	85/0.23	23	0.75	30/0.18	7
2.0	80/0.18	17	0.5	20/0.18	4

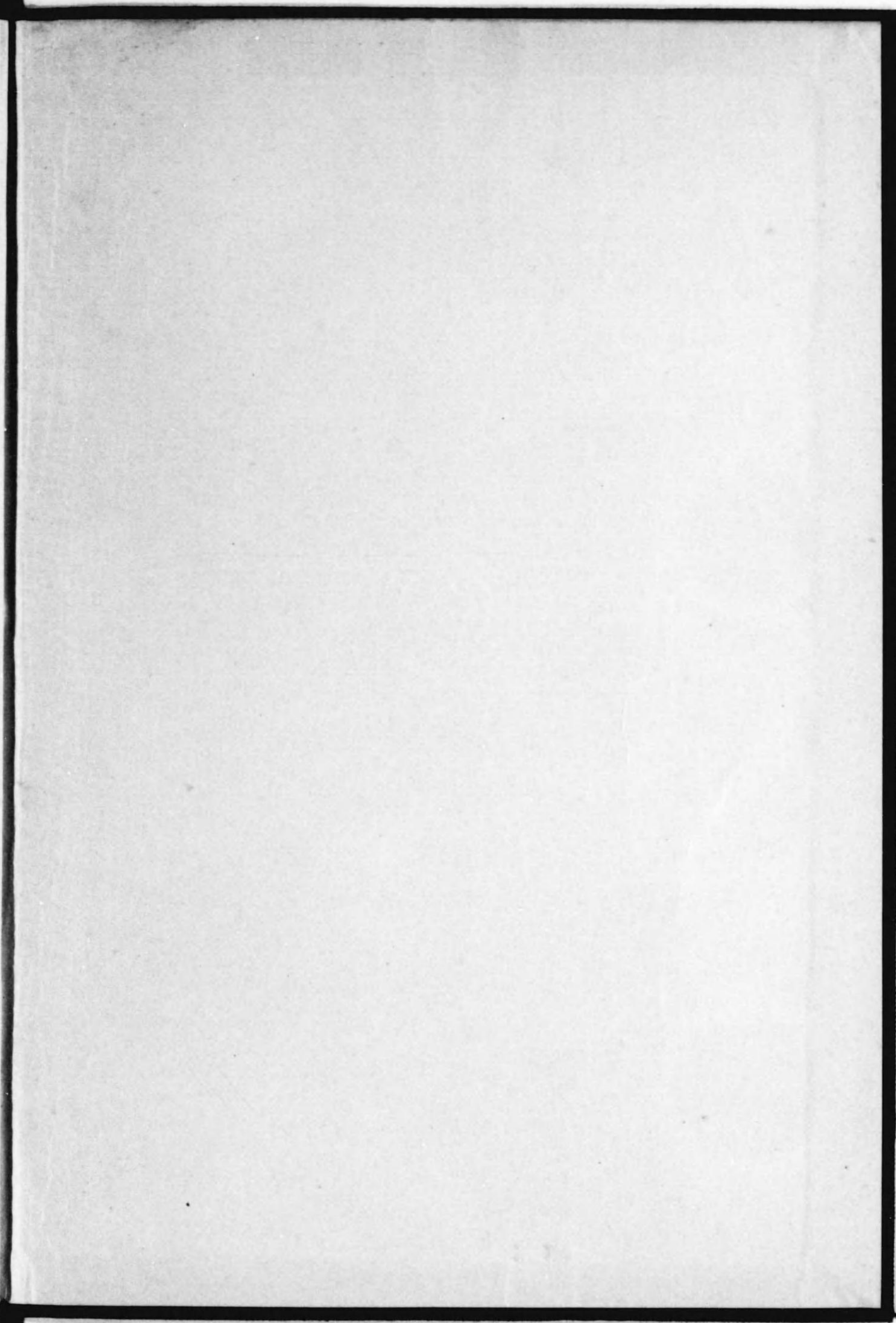
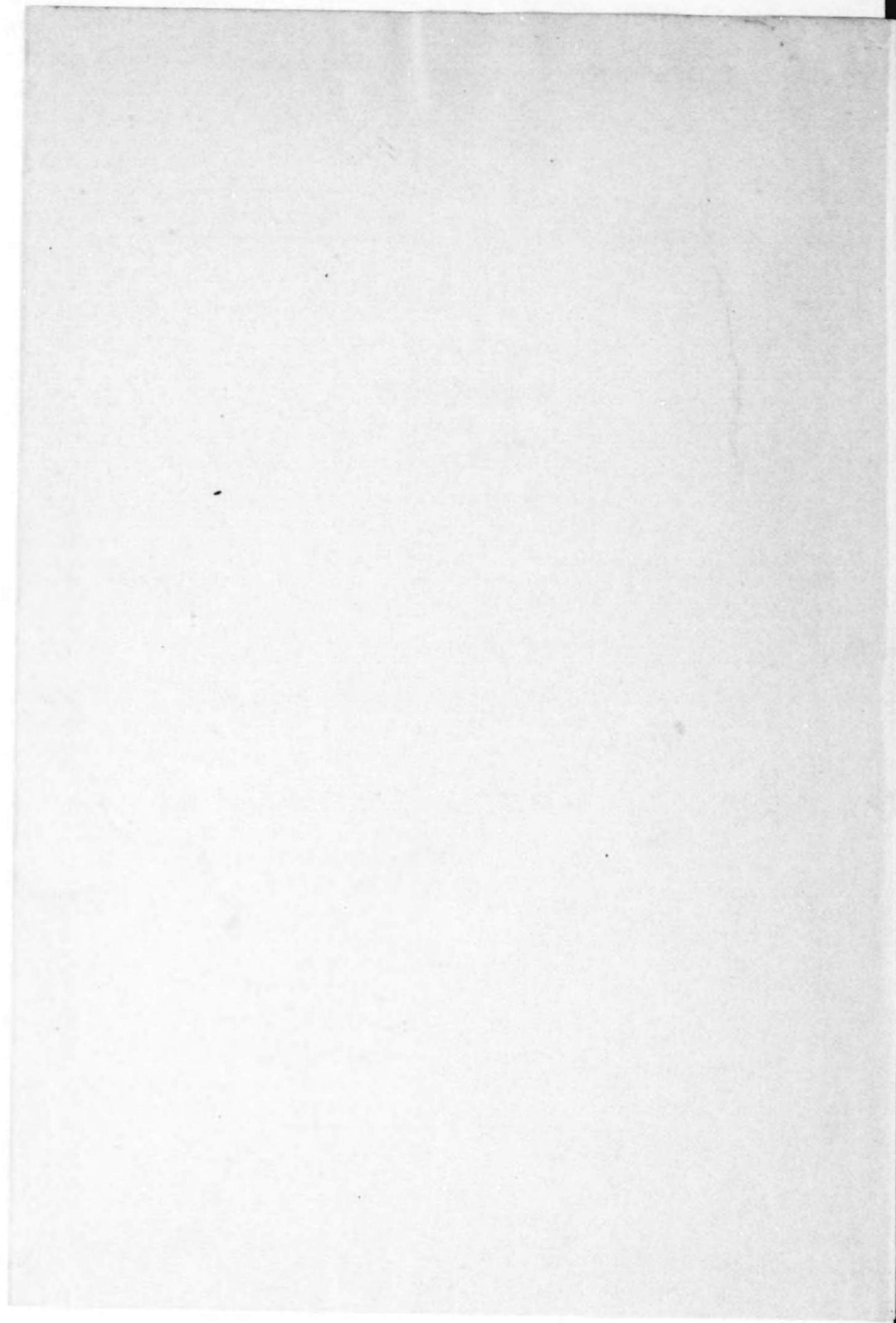
昭和十五年三月五日印刷  
昭和十五年三月十日發行

定價金七拾錢

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX  
X 電 機 器 材 料 X  
X 複製ヲ許サス X  
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

著 作 者 工 業 教 育 研 究 會  
代 表 者 津 田 信 良  
發 行 者 財 團 法 人 工 業 教 育 振 興 會  
代 表 者 秋 山 岩 吉  
發 行 所 財 團 法 人 工 業 教 育 振 興 會  
東 京 市 麹 町 區 飯 田 町 一 丁 目 十 六 番 地  
振 替 口 座 東 京 七 七 一 六 三 番  
電 話 九 段 (33) 四 五 〇 〇 番  
印 刷 者 鈴 木 茂  
東 京 市 京 橋 區 築 地 四 丁 目 四 番 地  
印 刷 所 中 屋 三 間 印 刷 株 式 會 社  
東 京 市 京 橋 區 築 地 四 丁 目 四 番 地





特 229

428

終