

電 磁 材 料

応用金属学大系

9

PDG

応用金属学大系 ⑨

電 磁 材 料

編 集

東北大学教授
理学博士 白川勇記

執 筆

東北大学教授
理学博士 袋井忠夫

東北大学教授
理学博士 斎藤英夫

東京芝浦電気
工学博士 高木通泰

東北大学教授
理学博士 白川勇記

誠文堂新光社

応用金属学大系 第9巻
電 磁 材 料

NDC 563

昭和40年7月15日 第1版発行 ㊦

編 集 者 白 川 勇 記

発 行 者 小 川 誠 一 郎

発 行 所 株式会社 誠 文 堂 新 光 社

東京都千代田区神田錦町1の5

電 話 東 京 (292) 1 2 1 1

振 替 口 座 東 京 6 2 9 4

—本社発行雑誌—

無線と実験・初歩のラジオ・子供の科学・農耕と園芸
ガーデンライフ・商店界・アイデア・ブレーン・生活
教育・園芸・愛犬の友・天文ガイド

印刷 文弘社・製本 岡山製本社
Printed in Japan

序 文

本書はエレクトロニクスの花形といわれる電磁材料を本大系の編さんの趣旨に従って書かれたものである。現代、エレクトロニクスは世界を変えるとまでいわれている。それにもかかわらず、電磁材料は従来鉄鋼材料が計測材料などの1項目としてしか取扱われていなかった。しかるに、これが本大系で初めて1巻として企画されたことは正に時宜を得たものといえるであろう。従って、それかけられる期待も大きいわけである。

エレクトロニクスを充分理解するには、近代金属物性論が必要である。しかし本巻では、材料を理解するのに最小限必要な事項だけを記述することにした。それはいずれ本大系第1巻“金属物理学”が発刊され、詳細に解説されることになっているからである。参照されたい。

第1章は、袋井博士の執筆による従来の電気材料である。この章に当然含まれるべき接点材料は、本大系第12巻“粉末冶金”で取扱っているのをこれを除き、最近発達した超電導磁石材料を含めている。第2章は高木博士の編集による、いわゆる電子材料で、岡本理学士（第1節）、高林博士（第2、7節）、吉田工学士（第3節）、中山理学士（第4節）、菅池博士（第5節）、上原博士（第6節）の諸氏が分担執筆した。この章では従来の電子管材料から世界的なエズキ・ダイオード、更に最先端を行くルミネッセンス、レーザ材料にまでおよんでいる。また高林氏による半導体材料の精製法（第7節）を追加して本章を完璧なものとした。第3章～第5章は磁性材料で、斎藤博士と白川が分担執筆した。この章には日本で発明され、世界をリードしたK.S. 磁石、センダスト磁心、O. P. 磁石、M.K. 磁石などの材料が含まれているほか、最新の材料をも記述されている。しかし、金属粉末と酸化物磁性材料については、本大系第12巻“粉末冶金”で詳細に取扱っているのを、ここでは記述の順序として必要な部分だけにとどめ、つとめて重複をさけることにした。第6章は斎藤博士の執筆によるもので、特殊計測材料と題してインバー、エリンバー合金を取扱って

いる。これら合金をここで取扱ったのは、その特性の主な原因が磁性による
のと考えられているからである。

以上は本巻の内容で、実用材料は直ちに活用され、新規の材料については
その見通しが容易に得られることと思う。なお本書が電磁材料の発展にいさ
かなりともお役に立てば幸である。

終りに、きわめて多忙な裡から執筆下さった諸兄に深厚な謝意を表する。

昭和 40 年 7 月 白 川 勇 記

目 次

第1章 電気材料	袋井忠夫	(1)
1・1 導電材料		(1)
1・2 コンデンサ電極材料		(9)
1・3 金属抵抗材料		(11)
1・4 温度測定用および熱線型計器用材料		(18)
1・5 超電導磁石用材料		(23)
第2章 電子材料	高木通泰	(27)
2・1 電子管材料	岡本宏章	(27)
2・2 結晶整流器・トランジスタ材料	高 林 真	(43)
2・3 サーミスタ	吉田重蔵	(55)
2・4 光電材料	中山良明	(66)
2・5 熱電材料	菅池季三	(82)
2・6 発光材料	上原康夫	(95)
2・7 半導体材料の精製法	高 林 真	(106)
第3章 磁心材料	斎藤英夫	(139)
3・1 磁心材料		(139)
3・2 高透磁率合金		(159)
3・3 角形ヒステリシスループ合金		(188)
3・4 恒透磁率合金		(194)
3・5 圧粉磁心用合金		(200)
3・6 酸化物磁心材料		(204)
3・7 強磁性薄膜		(219)
第4章 永久磁石材料	白川勇記	(229)
4・1 焼入れ硬化鋼		(233)
4・2 分散硬化合金		(245)
4・3 加工硬化合金		(273)
4・4 規則格子硬化合金		(282)
4・5 金属粉末		(288)

目 次

4・6	酸化物	(300)
4・7	その他の磁石材料	(306)
第5章	特殊磁性材料.....	白川勇記... (321)
5・1	高飽和値合金	(321)
5・2	整磁合金	(329)
5・3	磁気録音合金	(340)
5・4	磁気ひずみ合金	(350)
第6章	特殊計測材料.....	斎藤英夫... (360)
6・1	緒 言	(360)
6・2	インバー型合金	(360)
6・3	エリンバー型合金	(370)

第1章 電 気 材 料

近代科学の進歩によって資源という概念はいちじるしく変化した。以前は無価値であった原料から新しい材料としての用途が見出され、或は新材料が合成される場合にはその無価値な原料の存在が資源の性格を帯びてくる。

地球表面下 16 km から大気の上層までおよそ人間が直接知ることのできる範囲に如何なる元素がどのくらいあるかを推定して wt%で表わすことがアメリカの F. W. Clark によりなされ、これをクラーク数¹⁾と称するが、これが種々の工業用材料の資源としての有用性を決定する目安となるものである。クラーク数の第 1 は酸素 49.5%でまず半分を占める。2 番目が Si で 25.8%，3 番が Al で 7.56%，4 番が Fe で 4.7%，5 番が Ca，6 番が Na などが続き Cu は 0.007%で第 25 番目、Ag は 0.00001%で第 69 番目である。資源の見通しも価格の高低もクラーク数から大体推定出来るわけである。このように Ag はもちろん Cu も Al や Fe と比べると資源としての存在量が少ないから導電線としても廉価な Al 線に置き換えられつつある。なお Cu の生産額の約 70% は導電線用途に使用されている現状である。

1.1 導電材料

この節では電気機器に用いられる材料のうち電気を通すことを主要目的とするものについて述べる。金属は概して導電性が大きいが特に導電材料としては電気伝導度の大きい金属が主体であり、これに使用目的に応じて適当な元素を合金し、さらに機械的あるいは熱的の処理を加える。導電材料の中最も多量に用いられるのは導電線であるが、その他に特殊用途のものとしてヒューズ材料、コンデンサ電極材料、接地電極材料などをあげることが出来る。

1.1.1 Cu およびその合金の電線

導電線としては特にその電気伝導度の大きいことが望ましい。このためには良く焼鈍された純金属が優れ、一価金属の Ag, Cu などが展延性の大きい点

からいっても最良である。殊に Ag は室温において比抵抗が $1.62 \mu\Omega \text{ cm}$ に過ぎず (Cu は $1.72 \mu\Omega \text{ cm}$) 価格を問題にしない場合は当然 Ag が優っている。しかし、工業用には価格も比較的安くかつ伝導度の高い Cu が主として使用される。

かように導電線として Cu が最も重要なので国際的にその性質を規定するため万国電気工芸委員会で標準軟銅の性質として次のように規格を定めた。

- (1) 各部の断面積が一樣で断面積 1 mm^2 の標準軟銅の抵抗は 20°C において $0.017241 \Omega/\text{m}$ である。すなわち比抵抗に換算すれば $1.724 \mu\Omega \text{ cm}$ である。
- (2) 密度は 20°C において 8.89 g/cm^3 である。
- (3) 電気抵抗の温度係数は熱膨張を考慮しないで 20°C において $1/254.45 = 0.00393/^\circ\text{C}$ である。
- (4) 線膨張係数は 20°C において $1.7 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ である。

種々の導電材料の導電率を表わすのに標準軟銅の導電率を基準にして、これに対する百分率をもってすることが多い。Cu 線に使用する地金はほとんど全部電解精銅で、その純度は $99.96 \sim 99.98\%$ で、不純物として As, Sb, Fe, S などのほか水素を含有する。健全な錠塊を作るには電解精銅を反射炉でとかし送風酸化して S, 水素及びその他の不純物をボーリングに依って除去して $0.03 \sim 0.06\%$ の酸素を残す。この酸素は後で述べる如く他の有害な不純物を酸化して遊離する利益がある。これを棹銅という。これを加熱炉で $800^\circ \sim 900^\circ\text{C}$ に加熱し溝付ロールにかけて直径 $6 \sim 25 \text{ mm}$ の荒引線とする。荒引線は酸洗の後伸線機により冷間線引をして所要の硬銅線とする。硬銅線は内部ひずみにより導電率は $97 \sim 98\%$ に減ずるが、引張強さは最初 25 kg/mm^2 前後であったものが $35 \sim 45 \text{ kg/mm}^2$ に増加する。これは電信電話線および低圧送電線のように、特に大きな引張強さを要しない場合に使用される。しかし高圧送電線のように大きな引張強さを必要とする導線には、以下に述べるような種々の高力導線が用いられる。

各種の重要通信線、送電線の材料として高伝導度と大きな引張強さとを兼ね

備えた高力導電材料が渴望されている。しかし一般にこの二つの性質は相反するもので導電性は純金属ほど良く引張強さは合金ほど大きい。すなわち導電率の犠牲なしには引張強さの増加は望み得ない。それで如何にして導電率の犠牲を最小限に止めて引張強さを増加させるかが問題となる。これに対して次の二つの方法がある。その一は適当な元素を合金し適当な熱処理を施す方法で、その二は鋼鉄線を芯に入れて Cu 覆鋼線にするか鋼芯より線にしていわれる複合線にする方法である。まず前者の Cu 合金線について述べ、後者は 1・1・3 で述べる。

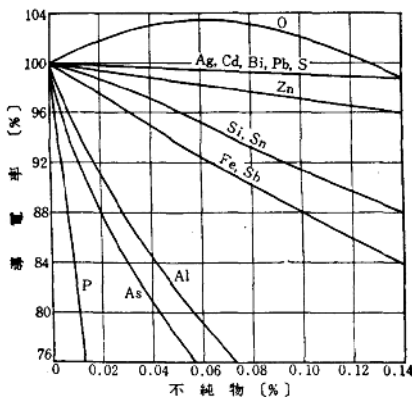


図 1・1 Cu の導電率に及ぼす不純物の影響

Cu に種々の元素を少量づつ加えた場合にその導電率がいかに変るかを図 1・1 に示す。すなわち酸素以外微量の不純物が混入しても導電率がいちじるしく低下する。P, As, Al を加えた場合が殊にいちじるしい。酸素は微量加えるとかえって導電率を増すが、それは酸素が他の固溶不純物を酸化して電氣的に中性のすなわち電導電子に対して散乱能の小さい酸化物の形にするためと考えられる。しかし酸素が加わっても Cu の引張強さは増加しないので引張強さを増すにはどうしても導電率を犠牲にして他の元素を添加しなければならない。しかし、この目的に対して次の二方法がある。その一は Cu と固溶体をつくる元素を添加する方法で、その二は線引加工後適当な熱処理を施して時効硬化させる方法である。黄銅, Cd-Cu, 珪銅, P-Cu などは前者に属し、コルソン合金, Be-Cu, Ag-Cu 合金などは後者に属する。

一例として Cu に Cd を合金した場合の Cd 添加量と引張強さの増加と導電率の減少の関係を図 1・2 に示す。Cd は他の元素に比して導電率を低下させ

第1章 電気材料

る割合が少ないが1.4%以上加えると加工が困難となる。またBeを2.5%加えたBe-Cu合金では800°Cから焼入れた状態では極めて柔軟で、線引加工が容易に出来るが350°Cで3~4時間焼鈍し時効させると硬化して引張強さがいちじるしく大となり摩擦に対しても強くなる。これら

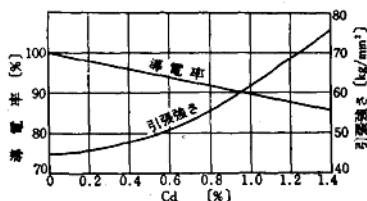


図 1.2 Cd-Cu 合金の量と導電率および引張強さの関係

の主な Cu 合金線の導電率、その温度係数、引張強さなどを表 1.1 に示す。

表 1.1 Cu および Cu 合金線

名 称	導 電 率 (%)	抵抗温度 係数(20°C)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	密 度 (g/cm ³)
標 準 軟 銅	100	0.00393	—	—	8.89
軟 銅	101~97	0.0039	25~28	20~35	8.89
硬 銅	98~96	0.0038	34~48	0.5~3	8.89
Cd-Cu 合 金 (Cd 1.3%, Cu bal.)	88~85	0.0034	45~65	0.7~1.4	8.89
珪 銅 (Sn 1.4%, Si 0.05%, Cu bal.)	50	0.00197	45	1~1.8	8.89
	40	0.00157	70		
コ ル ソ ン 合 金 II	45	0.00177	85	1.5	8.84
C 合 金 I	35	0.00098	94	0.6	
Be-Cu 合金 (Be 2.5%)					
800°C 焼 入	18	—	49	50	8.84
350°C 3 時間時効	35	0.0015	135	0.8	
Cu-Ag 合金 (Ag 6.3% Mg 0.02% Cu bal.)					
時効処理前	72	—	86	1.6	9.05
400°C 2 分時効	75	0.0031	115	0.6	

1.1.2 Al およびその合金の電線

Cu に次いで導電線として使用されるものにアルミ線およびアルミ合金線がある。Al は導電率引張強さ共に Cu に比して小さいが比重が 2.7 で Cu の 30%に過ぎないから Cu と同じ抵抗を有するように線の断面積を増しても単位

長さの重量は半分以下となる。純度 99.5% の硬引アルミ線の導電率は Cu の 61%, 抵抗の温度係数は $0.004/^{\circ}\text{C}$, 引張強さは $15\sim 17\text{ kg/mm}^2$ である。Al は耐食性が Cu に比して劣りかつ鍍着けが困難な欠点がある。しかしアルミ線の最大の欠点は引張強さの小さいことである。それゆえ Cu の場合と同様他の金属を添加して合金線とするか、あるいは鋼芯アルミより線として用いられる。

Al の比抵抗は 20°C において $2.62\times 10^{-6}\ \Omega\text{ cm}$ であるが、これに不純物が入ると図 1.3 のように導電率が低下し、その低下の割合は Cu の場合に比べていちじるしい。アルミ合金線のうち主なものの性能を表 1.2 に掲げる。なかんづくアルドレイ (Aldrey) はイ号アルミ合金ともいい、1924

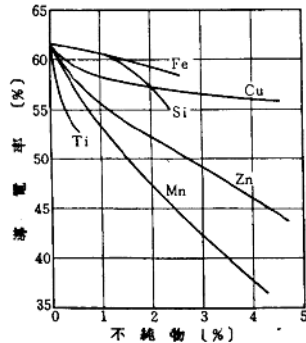


図 1.3 Al の導電率に及ぼす不純物の影響

表 1.2 Al およびアルミ合金線

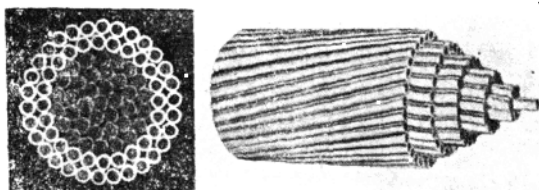
名 称	純 Cu に比 べた導電率 (%)	抵 抗 温 度 係数 (20°C)	引 張 強 さ (kg/mm^2)	伸 び (%)	密 度 (g/cm^3)
Al	60	0.00397	10~20	40	2.7
アルドレイ	55.7	0.0036	37	3.6	2.7
アルジュール	48	0.0036	35	6	2.7
モンテガール	50	0.0036	33	6	2.7
アルメリック	49	0.0036	35	7	2.7
古河 A 合金	52	0.0036	32	4	2.7

年にスイスで発明されたもので引張強さが高い割合に導電率が大い。これは Fe 0.33%, Si 0.49%, Mg 0.51%, Al 残余の組成を有し時効硬化性合金であるから 550°C から、焼入れ常温で線引した後 160°C で 7 hr 焼戻時効する。これらの合金はいずれも導電率と引張強さをなるべく大にし、かつ耐食性をよくすることに努力が払われている。合金の種類で多少性能が異なるが導電率は 38~57%, 引張強さは $25\sim 43\text{ kg/mm}^2$ の範囲にある。

1.1.3 Cu および Al の複合線および複合より線

Cu 覆鋼線をウエルド線といい導電率の大きい高力裸線を得るために鋼線を芯にして、その外部を Cu で被覆したもので Cu 層の厚さが一様であることが望ましい。通常 Cu ばかりの場合の 30~40% の導電率を有し引張強さは 77~126 kg/mm² である。長径間の架空送電線、配線、地線などに使用し、また高周波搬送回路に使用すれば、Cu または Cu 合金線より減衰率が小さい。

アルミ線の強度を増すため中心に引張強さ 120 kg/mm² 以上の Zn メッキ鋼より線を入れ外を数十本のアルミより線で包んだものを鋼芯アルミより線 (Aluminum Cables Steel Reinforced 略して ACSR) といい、超高压 (220~400 kV) の遠距離幹線の送電線に用いられる。この利点はアルミ線が軽いため



直径 3.2 mm の特強鋼線 37 本を芯にして、その外側に直径 3.2 mm のアルミ被鋼より線 54 本を 2 層により合わせたアルミ層の全有効断面積 170 mm² の複合より線である。常温圧接したアルミ層の厚さは 0.35 mm で鋼との圧接部は完全に一体化になっている。

写真 1 ACSR 鋼芯アルミより線 (中四幹線の例 AS-170)

に鋼芯の引張強さが有効に作用し、かつ外径が大きいためコロナ放電による電力の損失が防止されるので高压送電用としては Cu 線よりはるかに優れている。写真 1 に ACSR の構造を示す。数百 kV 級送電には一相につきこれを 2~4 本組にして複導体として用いコロナ損失を減らす研究がなされている。海峡を横断して送電する場合のような超スパンの ACSR、たとえば 1962 年末送電を開始した広島・伊予両変電所を結ぶ中四幹線は全長 125 km、その三分の一は海上で、殊に来島海峡をまたぐ径間は 2,357 m、両側の鉄塔の高さは 266 m で世界一である。6 本のケーブルは各々外径 35.2 mm あり、内側に 37 本の鋼素線 (各 ϕ 3.2 mm) を囲み外側を 54 本のアルミ圧着鋼素線 (Zn メッキ鋼線

に Al を被せた AS 線、各 $\phi 3.2$ mm) で巻いたもので、引張強さ 95t 瞬間風速 60 m に耐えるように設計されている。このケーブルは 220 kV で 1 本に 800 A、全体で 400 MVA の送電が出来る。

また高電圧用鉄塔の一番上に避雷のために張るグラントワイヤには通常 Zn メッキ鋼線を用いるが、故障の際、大きな地絡電流が流れるような超高压送電線には電流容量の大きなイ号アルミ合金 ACSR が使用される。

1・1・4 塗覆絶縁電線

絶縁電線の最も簡単なものはエナメル線のように表面を絶縁塗料で塗覆したものである。普通のエナメル線は樹脂、乾性油、溶剤よりなる焼付エナメルを数回繰り返して導線に焼き付けたもので塗膜の厚さにより第 1 種、第 2 種に分ける。絶縁膜の破壊電圧は第 1 種は 800~1500 V、第 2 種は 300~600 V である。近頃では塗料の成分として人造樹脂、纖維素誘導体が多く使用され、ことにビニールホルマルを主とする塗料を塗布し加熱乾燥したホルマル線は塗膜が強靱で耐熱耐食性もよいので広く用いられ電動機などの巻線に使用して機器の小形化が促進された。

1・1・5 纖維被覆電線

軟銅線に木綿糸、絹糸を巻きつけた電線を綿巻線、絹巻線といい、絹巻線は細い線が多く計器、通信器用コイルなどに用い、綿巻はやや太い導線にまで用いられる。糸の巻きつけ方は 2 重、3 重に各層交互に反対方向に巻いたものがあり、また場合により導線にエナメル焼付を施したものを用いることもある。

1・1・6 ゴム絶縁電線

ゴム絶縁電線で最も普通のものは 600 V 用ゴム絶縁電線で低電圧の屋内配線などに用いられる。芯線は Sn メッキした単線またはより線である。Sn メッキは Cu とゴムの中の S との反応をさえぎるために施される。まず芯線のまわりをゴム混和物で被覆しその上にゴム引綿テープを巻きつけて後完全に加硫する。さらにその上に綿編組を施し、耐水性コンパウンドを含浸して平滑に仕上げる。

1・1・7 ビニール、ポリエチレン電線

近時 600 V 用ビニール電線がゴム絶縁電線に代り使用されてきた。その理由

はビニール被覆は絶縁度が高い上に防食、防湿、耐燃、耐油性に優れ機械的に強靱で、さらにビニールの熱可塑性からして押出機だけで電線が完成し、加硫の必要もないなどの多くの長所に因る。なおビニールは着色が自由であるから配線の識別が容易である。耐油性耐燃性ではゴムでは得られない長所をもつが、欠点は高温で軟化し低温で硬く脆くなり普通 $-15^{\circ}\sim+80^{\circ}\text{C}$ が使用可能な温度とされていることである。しかし、これらの性質もビニールコンパウンドの組成を変えることにより改善されて来た。ビニール被覆の屋内線は直径 0.18 mm の素線をたばねてそれに塩化ビニール樹脂を押出機により被覆したものでそれを2本より合わせて可撓より線としたものである。平型ビニール線は心線2本を適当な間隔に平行に並べ1対の電線となるよう同時に被覆したものである。

ポリエチレンも熱可塑性樹脂で塩化ビニール樹脂と同様に押出機により絶縁電線を作ることができる。ポリエチレンは電気的性質が優れているので高周波用の電線、たとえばテレビジョン用の平型電線などを作るのに用いられる。

1.1.8 電力ケーブル

電力ケーブルは紙に鉱物油系コンパウンドを含浸せしめた絶縁層を有するベルトケーブル、心線絶縁を金属化紙で包みかつ3線芯をより合せたものを Cu 線入綿布で巻いた H ケーブル、鉛被した単心ケーブルをまとめて多心ケーブルとした SL ケーブル、鉛被内に設けた空溝に絶縁油を流し込むようにした OF ケーブル、なおこれは Cu より線の断面積 $1,200\text{ mm}^2$ 、直径 46 mm の太さのものまで作られている。また空溝に乾燥窒素を送り込むようにしたガス圧ケーブルなど耐電圧の高さにより色々の種類がある。

1.1.9 ヒューズ材料

ヒューズは常時抵抗を与えること少くて、一定の過負荷のとき初めて溶断することを要するもので、自動遮断器として構造が簡単であるため広く用いられる。

ヒューズ材料としては低電圧用として Pb が最も多く用いられ、あるいは Pb と Sn, Bi, Cd などの合金がこれにつき、電流量の大きい場合には Al,

Zn, Cu, Ag などとも用いられる。なお真鍮、モネルメタルなどの合金も用いられたが、近時 β 黄銅 (Cu 55~50%, Zn 45~50%)²⁾ が 460°C 付近で規則格子から不規則格子に変態し、それに伴って電気抵抗が急に増加するため非常に切れがよいので黄銅ヒューズとして利用される。

このほか周囲温度によって溶ける温度ヒューズがある。また高電圧用には 0.1~3 A 用の W ヒューズがある。これは W 線をガラス管に封入したものでその溶融点が高いため気温の高低などに影響されることが少なく、溶断電流が比較的精密にきめられ確実に動作する特長がある。

JIS 規格では非包装ヒューズに対して次のように規定している。低電圧に使用する定格電流 200 A 以下のヒューズは周囲温度 10~30°C でこれを水平に取付けて試験し、定格電流の 1.25 倍の電流に耐え、5 分間以上定格電流の 1.45 倍の電流に耐え、1 分間以内に定格電流の 2 倍の電流で溶断すること、また高電圧に使用するヒューズは 2 分間以内に定格電流の 2 倍の電流で溶断することを要する。

1.1.10 接地電極材料

接地電極として C または Cu, Fe などが使用される。市販の C 接地棒は黒鉛に結合剤を加え、棒状に成型の後焼成炭化してその一端に導線を着けたもので耐食性は完全であるが衝撃に弱い欠点がある。使用の際は周囲に C 粉末を充填し土壤との密着をはかる。接地用金属として Cu 棒あるいは棒鋼に Cu 管を被覆または Cu メッキしたもの、あるいはウエルド線が一般に用いられる。この場合および地下ケーブルなどの電位差による腐食防止のためには接地電極およびケーブルケースに Zn, Mg, Al などの低電位金属を接続して埋設すると地下金属体からの流出電流が減少して防食効果を示す。この目的で Zn 板または Mg-Al-Zn-Mn 系の合金棒が使用される。

1.2 コンデンサ電極材料

コンデンサは絶縁物の種類および使用目的により多くの種類がある。すなわち絶縁物として空気または絶縁油を用いたバリアブル・コンデンサのようなも

のもあるが、小形で遙かに大きな容量を有するものについて述べる。紙コンデンサおよびマイカコンデンサは99.3%以上の純アルミ箔を電極にし、パラフィン紙または雲母板を絶縁層に用いたものである。Ag 焼付マイカコンデンサは雲母板に酸化 Ag と還元剤（フリット）をまぜ、植物油でねったものを塗布後焼成したもので、Ag 膜の厚さは $2\sim 6\mu$ である。

M.P. コンデンサ (Metallized Paper Condenser) はあらかじめラッカーを塗った薄い気孔のない紙の長いリボンの片面に純度 99.92% 以上の Al あるいは Zn を真空蒸着させて作った金属化紙を用いる。かかるリボン2枚を組にしてぐるぐると巻き両側の端面に電極をつける。MP コンデンサの特長は (1) 自己修復作用のあること、すなわち仮にピンホールで絶縁破壊が起っても放電の際の熱でその部分の金属が酸化して再び絶縁が保たれること。(2) 小型で従来の紙コンデンサの $1/3\sim 1/5$ の大きさである。(3) 安定度が大きい。(4) 温度特性が良い。(5) 高周波損失が小さいなどの利点がある。

磁器コンデンサ (Ceramic condenser) は酸化 Ti または Ti 酸 Ba を主成分とする高誘電率の磁器の円板または円筒の両面に Ag を焼きつけて電極としたコンデンサで小形で大容量のもの、損失角の小さいもの、容量の温度係数の小さいものなど色々特長のあるものが得られる。

Al 電解コンデンサは硫酸アンモニウムの電解液中でアルミ箔を陽極にして電流を通ずるとその面に極めて薄いアルミナの絶縁皮膜ができる性質を利用したコンデンサである。Al が陽極ならば絶縁皮膜の抵抗値はかなり大きくほとんど電流を通じないが、反対に電解液を陽極に Al を陰極にするとほとんど短絡に近い状態になる。絶縁皮膜が薄いので電極単位面積あたりの容量が大きくなる。すなわち小形で大容量のコンデンサとして広く用いられる。しかし一定の極性があるので使用される回路としてはもっぱら直流回路に限られる。陽極の Al には特に高純度のすなわち 99.99% 以上のものが望ましく、不純物としては Fe, Si などが特に悪く寿命に影響する。陰極用の Al としては 99.9% 以上のもので充分である。電解コンデンサの使用電圧は高々 500 V である。

Ta 電解コンデンサは陽極材料として 99.99% の純度の Ta を使用し、その