通信ケーブル特集

アルミ導体の通信ケーブルへの応用……49

バロン形搬送ケーブルの特性……54

VHF 列車無線用漏えい同軸ケーブル……59

HF 形高周波同軸ケーブルの 2 GHz マイクロ波帯における諸特性 ……64

UHF–TV 大電力放送用空中線および給電線 ……67

U.D.C. 621.315.213 : 621.395.73 : 669.71

アルミ導体の通信ケーブルへの応用

Application of Aluminum Conductor to Telephone Cable

古寺 裕* Hiroshi Kodera　遠藤 武* Takeshi Endô
高野英雄* Hideo Takano　初谷荘一* Sôichi Hatsugai

要　旨

ケーブル製造技術の進歩および昨今の銅事情から，通信ケーブル導体のアルミ化が検討されている。

銅とアルミは電気的な特性をはじめ，種々の特性が互いに異なるため，通信ケーブル用としての使用条件によく見合ったとらえ方をする必要がある。

本稿では，通信ケーブル用アルミとしては，材質的に1/2硬質あるいは1/4硬質のものが適当であることを述べ，さらに接続法についての調査結果から，なんらかの防湿対策をとることが好ましいことを明らかにしている。端子類のメッキ金属の影響については，4種類のものについて検討した結果，ニッケルメッキのものはアルミに対して好ましくないという結果を得た。

1. 緒　　言

銅（以下，Cuという）と並んで，代表的な導電材料であるアルミニウム（以下，Alという）の電線への適用としては，古くから送電線（ACSR）として広く用いられている。さらに最近は，配電線関係にも逐次その適用範囲を広げてきている。

しかし，通信ケーブルではわが国においてはまだCu導体が主流である。通信ケーブルは導体径が0.32～1.4 mmと送配電線よりも細く，しかも多心線（最大3,600対程度）を収容する必要があること，および線路施設などの関係から最大外径に制約（たとえば管路用ケーブルでは70 mm程度以下）を受けることがある，などの理由から導体のAl化はあまり進展していなかった。

一方，技術面，材料供給面の状況（たとえば価格変動など）から，通信ケーブル（以下，ケーブルという）の分野においてもAl化の検討が進められるようになった。

諸外国，たとえばイギリスにおいては市内ケーブルとしてある程度本格的に使用されており[1]，スエーデンでは市外ケーブルにも適用されている。アメリカでも種々の検討が行なわれ，いくつかの成果が報告されている[2]。

2. Alの主要特性と問題点

若い金属と言われているAlと，古くから人類になじみの深いCuは，それぞれ異なった性質をもっており，それらをじゅうぶん調査したうえでケーブルへの適用を考える必要がある。

表1はCuとAlのおもな性質を比較したものである。以下，重要と考えられる点について考えてみる。

表1　銅・アルミの主要特性

項目	単位	銅 硬質(H-Cu)	銅 軟質(O-Cu)	アルミ 硬質(H-Al)	アルミ 軟質(O-Al)
比重	—	8.89		2.70	
溶融点	℃	1,083		658	
熱伝導率	cal/℃•m•s	0.918		0.480	
線膨張係数	1/℃	17×10^{-6}		23×10^{-6}	
比熱	cal/g/℃	0.0951		0.2122	
抵抗温度係数(20℃)	—	0.00381		0.00400	
導電率	%	97	100	60	62
引張強さ	kg/mm²	35～47	20～28	15～18	7～14
伸び	%	1～2	25～35	1～2	10～20
弾性係数	kg/mm²	9,140～12,650	—	6,200～6,800	—

2.1 導　電　率

Alの導電率はCuの約60%であるから，導体抵抗をCuと同程度にするには導体径をCuの約1.3倍としなくてはならない。したがって，数千対を収容する多対ケーブルでは占有空間の増大を考慮する必要がある。

2.2 比　　重

Alの比重はCuの約1/3である。このため軽量なケーブルが得られ，取扱いが容易となり工事費用も低減できるものと考えられる。しかし，導体抵抗をCuと同一にしたケーブルでは外径が増大しているから，見かけ上1/2程度の重量となる。

2.3 引　張　強　さ

導体を軟質Alとすると，軟質Cuの約1/2.5の強さとなるが，2.1と同様な条件に合わせて導体径を約1.3倍にすると，約1/1.5の見かけ強さとなる。

したがって，製造中あるいは工事中などにケーブルに加える張力を，Cuの場合よりもやや低くすることを考える必要があろう。

2.4 耐　食　性

Al自体はアルミナ（Al_2O_3）の保護層により耐食性があるが，高湿度中あるいは異種金属と接しているなどの特殊な条件のもとでは，耐食性について再確認しておく必要があると思われる。すなわち，導体接続部あるいは端子付部分における導体の変化をよく調査することが重要である。

3. 材質（硬軟）の検討

ケーブル用として，軟質Al（以下，O材という）または1/2硬質Al（以下，1/2H材という）ないしはこれらの中間的性質のものが適当であろうと考えられている[2]。

以下，材質について検討した結果について述べる。

3.1 材 質 の 選 定

経験によれば，導体の硬軟はケーブルの電気的特性にそれほど大きな影響を与えないと考えられる。したがって，導体の機械的特性を主に考えることとし，電気的特性は参考程度にとどめた。

この点から，O材，1/2H材，硬質Al（以下，H材という）の3種類についてまず検討した。

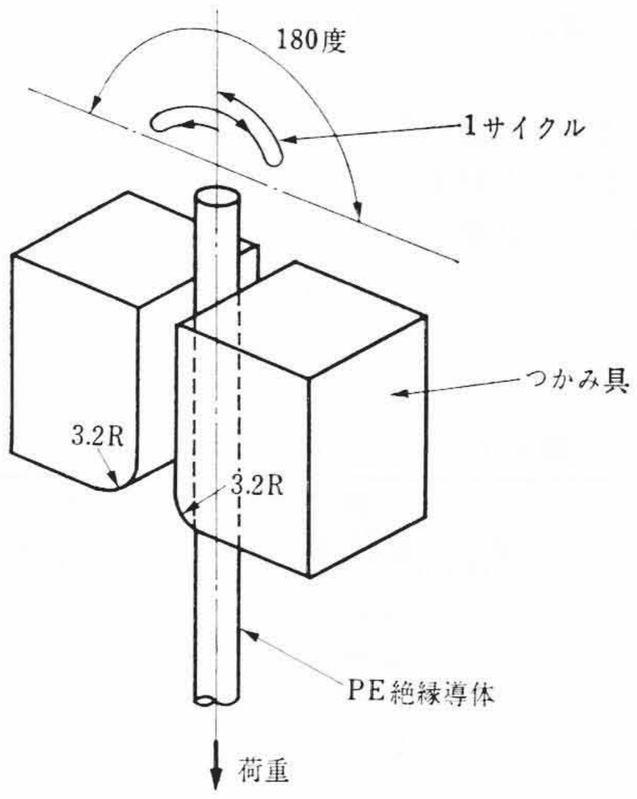
なお，Al素材は一般に使用されている電気用アルミ地金（JIS H 2110）とし，導体の太さは0.9 mmとした。

* 日立電線株式会社日高工場

表2　機械的特性の工程ごとの変化

項目		材質		
		硬質（H）	½硬質（½H）	軟質（O）
導体径		0.9 mm	0.9 mm	0.9 mm
引張強さ		ほとんど変わらない	ほとんど変わらない	増加傾向があり，完成ケーブルでは初期値に対し約10% 増加した。
伸び		ほとんど変わらない	ほとんど変わらない	やや減少傾向にある。完成ケーブルでは初期値に対し約 5% 低下した。
くりかえし曲げ特性 *	荷重 200 g	21 回	80 回	110 回
	荷重 500 g	20 回	53 回	80 回

＊ ポリエチレン絶縁体をつけたままでの値



つかみ具を30サイクル/分の速さで左右に180度振幅で振る

図1　くりかえし曲げ試験法

3.2 検討結果

製造工程中の各種特性の変化を調査した。機械的特性の工程ごとの変化の例は表2に示すとおりである。表中のくりかえし曲げ試験の試料としては，図1の方法により，ポリエチレン絶縁体をつけたままのものを用いた。

取扱性は，1/2H材では大きな問題がなく，軟質Cuとほぼ同程度の扱いができた。一方，O材では導体径の減少や小曲りの発生，H材では反発力などそれぞれ問題があり，取扱いには注意する必要のあることがわかった。

3.3 考察

H材は取扱中に発生した曲がりなどの矯正が困難である。かたいため曲がりは発生しにくいが，キンクなどが出ると非常に断線しやすい。反面，O材では矯正は容易であるが小曲がりが出やすく，製造上あまり好ましくない。1/2H材は，これらの中間的性質を示した。

このような性質は金属材料の一般的傾向と同様であり，0.9 mm程度の径のAlでも同じ傾向であることが確認された。

製造工程中，導体はなんらかの形で張力が加えられるので，このときの張力に基因する導体径の減少について配慮する必要がある。ちなみに，製造工程ごとの導体径を調査してみると，引張強さの大きいH材はあまり変化しないが，O材では比較的大きく変化している。これは導体抵抗の変化および単位長あたりの導体重量の変化としても，とらえることができた。

導体径の減少とともに，O材では加工硬化の影響と思われる現象も確認された。すなわち，製造工程を経るにつれ，引張強さのわずかな増加と，伸びのわずかな減少があった。O材以外では，この点それほど大きな変化は出ていない。

電気的特性は，いずれの材質についても大差なく，特性の絶対値

表3　試作ケーブル

ケーブル：0.9 mm 100対 市内 CCP-LAP（アルミ導体）

項目		単位	内容
導体		mm	0.9 （¼H-Al）
ポリエチレン絶縁体厚さ		mm	約 0.3
ケーブル心	構成	—	カッド
	より合わせ	—	10 対ユニット×10 ユニット（計 100 対）
	識別	—	カラーコード
外被		—	ラミネートシース（LAP）
外径		mm	約 34
重量		kg/km	約 850

表4　電気的特性

導体：0.9 mm ¼H-Al （20℃）

項目	単位	特性	値	
導体抵抗	Ω/km	最大値	44.4	
		最小値	40.6	
		平均値	43.2	
実回線静電容量	nF/km	平均値	48.0	（f=1 kHz）
カッド内静電結合	pF/500 m	最大値	119	（f=1 kHz）
特性インピーダンス	Ω，度		550，43.5	（f=1 kHz）
減衰量	dB/km		0.97	（f=1 kHz）
位相定数	rad/km		0.117	（f=1 kHz）
遠端漏話減衰量	dB/250 m	最悪値	71	（f=120 kHz）
近端漏話減衰量	dB/250 m	量悪値	71	（f=120 kHz）

も相当Cu導体ケーブルに比較して，妥当な値であった。

これらの結果から，1/2H材～1/4硬質程度のかたさの材質が適当であろうと考えられたので，さらに1/4硬質のものについても素線特性を調査した。その結果，1/2H材よりも機械的特性の良いことがわかり，ケーブル用としては好結果が得られるものと考えられた。

4. 1/4硬質Alによる市内CCPケーブルの検討

3.における検討結果から，1/4硬質Al（以下，1/4H材という）も材質的に考慮してもよいと考えられたので，さらにケーブルを試作した。

4.1 試作ケーブル

表3は試作ケーブルの概要を示したものである。

市内CCPケーブルは代表的な通信ケーブルの一つであり，現在，加入者ケーブルの主力の一つでもある。

なお，外被構造はLAPシース（ラミネートシース）とした。このシース構造は，現在のアルペスシースよりもすぐれた点が多く，わが国でも近い将来実用化されるものと考えられている[3]。

4.2 電気的特性

表4は試作結果を示したものである。

これからわかるように，1/4H材を使用しても電気的特性上重大な支障はなく，この面からは材質の影響は出ていない。特性値のばらつきも，一般のCu導体ケーブルと同程度であり，問題ないことが確認された。

導体抵抗測定の際，導体表面の酸化被膜層が測定に影響を与えるのではないかとの懸念もあったが，問題ないことを確認した。

サンドペーパなどで，導体表面をみがいたときと，そうでないときの差は0.01Ω以下であり，通常はケーブルとしての測定長が500 m程度であること，およびAl導体としては導体径が0.65～1.4 mm程度のものが考えられることから，10～45Ωの実測値を評価することとなり，とくに表面被膜層の影響を考慮する必要はない。

4.3 機 械 的 特 性

H材，O材以外の中間性質の材料を求める理由は，ケーブルとして最も製造しやすく，使いやすい性質をAlに対して求めているからである。

単なる引張強さや伸び以外に，種々の測定法が提案[4][5]されており，またそれらの材質をどのようにして得るかなども種々検討されている[6]。

3.2と同様，これらの一つの目安として，くりかえし曲げ試験を行なった結果は図2に，またそれぞれの材料特性は表5に示すとおりである。

これによれば，1/4H材付近にくりかえし曲げに強い材質のあることを示している。

破断回数を比較すると，荷重が100 gのときはO材がいちばん良く，H材がいちばん少ない回数で破断している。しかし，荷重が200 gを越えるとわずかであるが，1/4H材のほうがO材よりも良い結果を示している。

このことから，くりかえし曲げについては，O材と1/4H材とで大差がないものと考えられる。

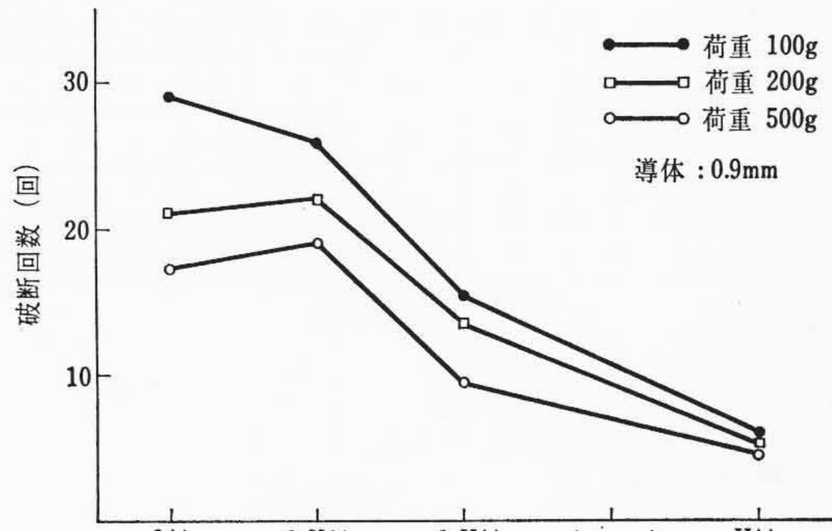


図2　導体のくりかえし曲げ試験結果

表5　くり返し曲げ試験試料
導体：0.9 mm

材　　質	引張強さ (kg/mm²)	伸　び (%)
H　材	27.7	1.2
½ H 材	13.9	2.3
¼ H 材	10.7	18.1
O　材	9.0	30.3

なお，参考までにCuとも比較したところ，絶縁体が付いたままでの破断回数は，同一直径のCuよりもむしろ1/2H材あるいは1/4H材のほうが，より多いくりかえし曲げに耐えることがわかった。したがって，CuよりもAlのほうが折れやすいとは必ずしも言えない。

5. 導体接続法の検討

現在，はんだ付法をはじめ，プレススリーブ法，ひねり法など各種の工法が用いられており，いずれも確実性と作業性に工夫が払われ，ケーブルの種類や使用条件によって適宜選択されている。

最近は作業性(省力化)が大いに強調されてきており，各種のコネクタ(ワイヤコネクタ)が使用されつつある。これらは，いずれも絶縁体除去作業を特別に行なわなくても導体が接続されるように工夫されており，工事の便が図られている。

ここでは，コネクタ接続以外の接続方式も含め，きびしい条件で長期試験を行ない，各方式の差異を強調する方法をとった結果について述べる。

5.1 供試試料と試験方法

0.9 mm，1/4H材を用い，接続部分を20個直列に形成し，試料とした。導体の素材は3.と同様電気用アルミ地金(JIS H 2110)である。

各試料は適当な周囲条件で暴露または浸漬し，直流抵抗を一定期間ごとに測定することとした。測定値は接続部分の抵抗値そのものではないが，相対変化を追跡することにより，おのおのの方式を評価できる。

5.2 試　験　結　果

30日経過後と，100日経過後の抵抗値の変化を表わしたのが表6である。

周囲条件が加速試験的であるため，接続方式によっては比較的短期間に変化が現われている。

抵抗変化の一例は，図3に示すとおりである。

5.3 考　　察

実際のケーブル接続部の条件と比較して，今回の試験条件は屋内放置の場合がいくぶん類似している点を除いては，実用的見地からみて，かなり過酷な試験条件である。しかし，100日程度ですでに差異のあるものについては，実用上の長期寿命の点でもなんらかの差があるものと考えられる。

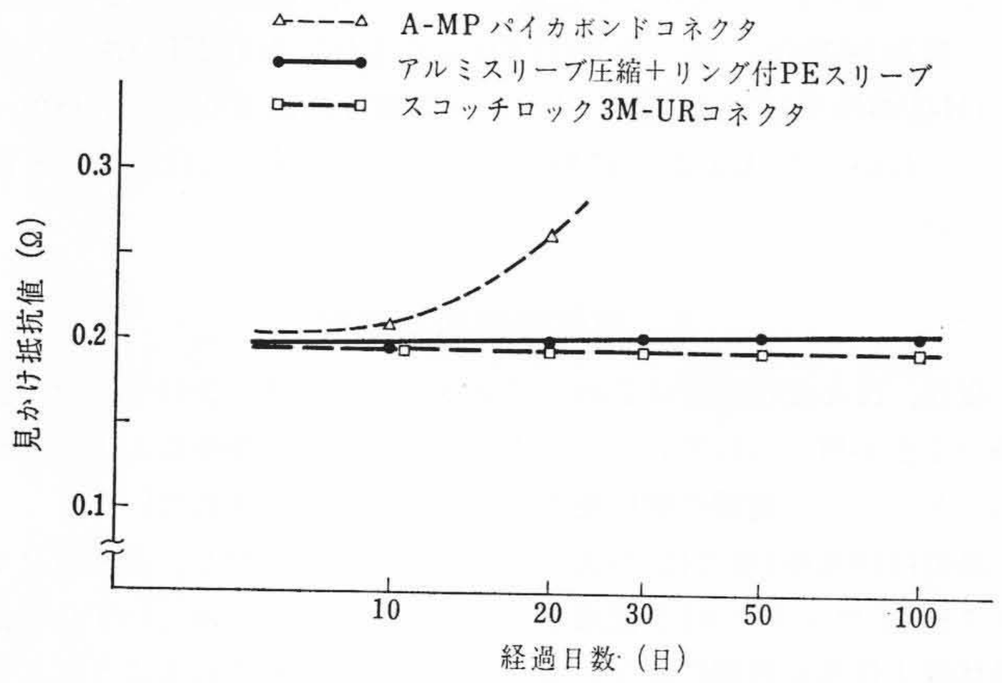
接続部分で導体などが露出しているもの，たとえばAlスリーブだけで接続したものは，大きく変化する場合がある。水道水に浸漬したときは，10日間で初期値の4倍程度の抵抗値となっている。

表6　導体接続部の抵抗変化

接続法 ＼ 試験条件・経過日数	屋外暴露		屋内放置		80% 相対湿度中放置		水道水浸漬		3% 塩水浸漬		1% 亜硫酸ガス中放置	
	30日	100日	30日	100日	30日	100日	30日	100日	30日	100日	30日	100日
銅スリーブ	○	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△
銅スリーブ圧縮＋リング付PEスリーブ	○	○	○	○	○	○	○	△	○	△	○	△
アルミスリーブ	○	○	○	○	△	△	×	×	××	××	△	△
アルミスリーブ＋リング付PEスリーブ	○	○	○	○	○	○	○	△	○	△	○	△
ひねりはんだ付	○	○	○	○	△	△	△	△	×	××	△	△
ひねりはんだ付＋混和物入りPEスリーブ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
スコッチロック　3M—URコネクタ*	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
A-MP　パイカボンドコネクタ**	×	××	△	×	△	×	×	××	××	××	××	××
B ワイヤコネクタ ***	×	××	×	××	×	×	×	×	××	××	××	××
注			ストランターム内模擬						海水相当濃度			

*　3M社（アメリカ）
**　A-MP社（アメリカ）
***　リライアブル社（アメリカ）

○：ほとんど変化なし
△：抵抗増加が認められる
×：抵抗増加著しい
××：抵抗増大し，測定不能



（1% 亜硫酸ガス中放置）

図3　抵抗変化の例

これに対し，Alスリーブで接続後，リング付ポリエチレンスリーブにより接続部分を防湿構造としたものは同じ水道水浸漬でも変化は少ない。

この現象は，コネクタによる接続法でも同様に現われている。すなわち，スコッチロックが安定した傾向を示しているのに対し，ほかのコネクタでは上記と同様，変化の大きいものがある。スコッチロックは内部に防湿混和物が充てんしてあり，外部から湿気などがはいりにくい構造となっているが，ほかのコネクタではそのような構造ではない。このため差が出てくるものと考えられる。

ただし，ここで用いたコネクタの接触片（導体と直接接触する部分）は，いずれもCuまたはCu合金であり，さらにメッキが施してあるため一種の異種金属接触状態となっている。このため，単なる防湿上の問題以外にも複雑な要素が加わっていることが考えられる。

1% 亜硫酸ガス中に放置した場合の抵抗値変化を示したものが図3である。一部のコネクタでは抵抗値の変化を認められ，ここでも導体接続部がおおわれているかどうかの差が現われているものと考えられる。

以上の結果からみて，なんらかの形で接続部分に防湿処理が施されていれば，いずれの接続法でも特性的には大差ないようであり，そのような処理を行なう接続法が，Al導体には必要と考えられる。

6. 端子の検討

導体接続部における問題と同様のことは，ケーブル成端における端子付部分についても考えられる。

端子部分は一般に室内気中に開放状態となっており，一般のケーブル接触部のように密閉された状態とは異なった様相を呈するものと考えられる。

ここでは，5. における検討と同様の考えから，きびしい条件で試験し，差異を強調する方法をとった。

6.1　供試試料と試験方法

図4に示すような模擬端子により試験した。

通信機器の端子は，黄銅系合金にニッケルメッキを施したものが最も多く使用されている。Al導体の場合に，従来と同様の端子でもよいかどうかを見るため，メッキ金属を変えて各種条件における状況を調査した。

メッキ金属としては，ニッケル（以下，Niという），クロム（以下，Crという），スズ（以下，Snという）およびカドミウム（以下，Cdという）を用いた。試験日数は21日間である。

なお，導体は0.9mm，1/4H材であり，素材は5. の場合と同様である。

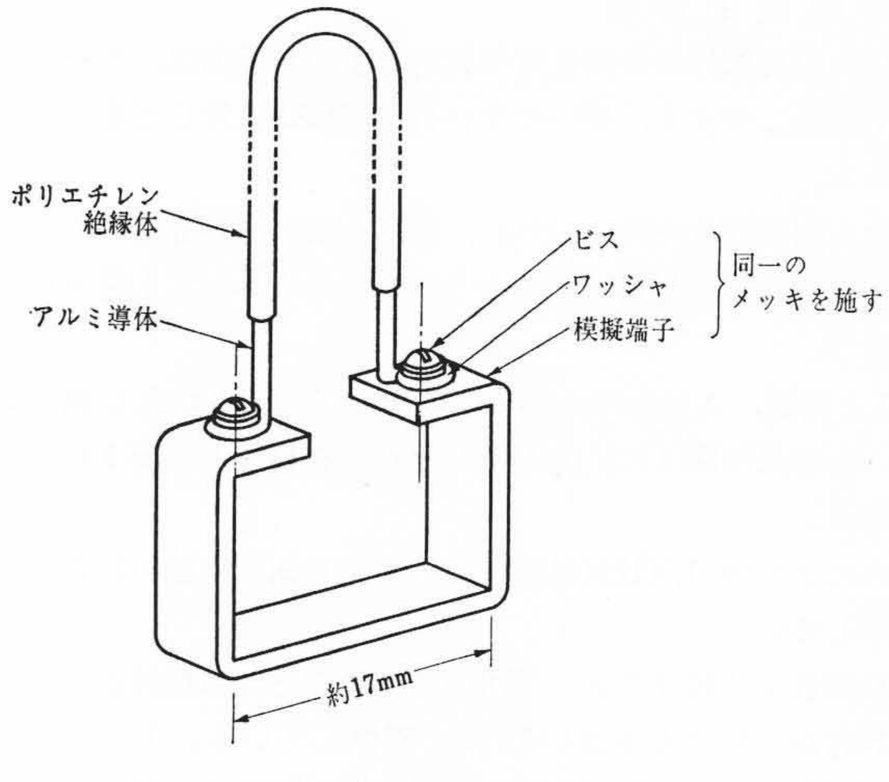


図4　供試模擬端子形状

表7　模擬端子の試験結果

端子メッキの種類＼試験法	屋外放置		水道水間欠浸漬（1）		3% 塩水間欠噴霧（2）		1% 亜硫酸ガス中放置	
	導体	端子	導体	端子	導体	端子	導体	端子
カドミウム	△	○	○	○	△	○	○	○
スズ	△	△	×	△	××	△	△	×
クロム	△	△	△	○	×	△	△	×
ニッケル	△	△	×	△	××	○	××	×

○：異状なし　　×：腐食生成物発生
△：光沢を失う　　××：腐食断線
試験日数　21日
注：（1）　30分ごと浸漬引上げ，くり返し
（2）　8時間噴霧　16時間休止，くり返し
海水相当濃度

6.2　試験結果

それぞれの試料について，所定期間経過後，肉眼判定により観察した。その結果は表7に示すとおりである。主として金属光沢の有無，腐食生成物の有無，導体断線の状況などを調査した。

6.3　考察

Niメッキ端子では，1% 亜硫酸ガス中放置のものおよび3% 塩水噴霧のものに断線の発生したものがあった。

SnまたはCrメッキ端子では，亜硫酸ガス中放置のものは導体が光沢を失う程度であるのに対し，上述のような断線現象が発生したことは，Ni-Alの組合せに問題のあることを示している。塩水噴霧の場合は，Cdメッキ端子をのぞくほかの端子で腐食生成物の発生または断線となっており，亜硫酸ガス中の場合とは異なった傾向である。

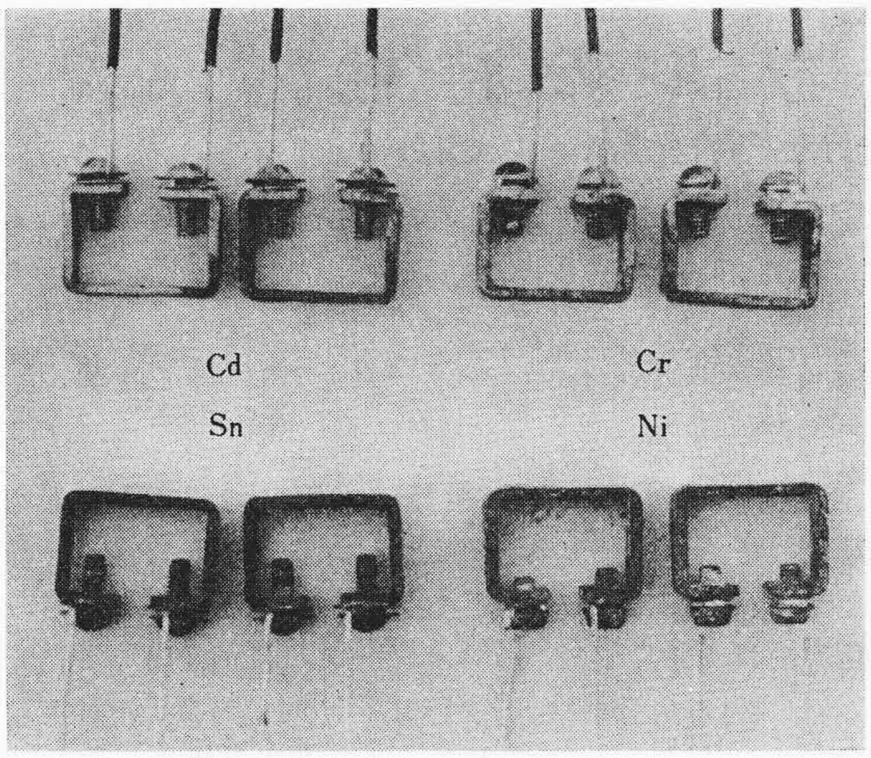
これは次のように考えられる。

Sn，CrおよびNiメッキ端子の三者について考えたとき，塩水噴霧の影響はいずれにも現われるが，どの場合も腐食の程度は導体としては著しく進行した末期的なものである。したがって塩水噴霧の影響は三者に対し大きな差異はない。

一方，亜硫酸ガスの影響は差が出ていると考えられる。すなわち，光沢を失う程度のものと，腐食断線したものとでは腐食進行の程度に差があると考えてよい。

これに対し，Cdメッキ端子ではどの条件の場合でも影響が少ない。異常がないか，または光沢を失う程度で，腐食の進行はほかのものよりも遅い。ここに示した4種類のメッキのうちでは総合的にみて，Cdメッキのものは，最も良い結果を示している。

導体の断線部分は，どの端子においても端子（ビスおよびワッシャを含む）との接触部分であり，化学反応生成物を伴う腐食断線で



（1%亜硫酸ガス中21日放置したもの
Cd：カドミウムメッキ　Cr：クロムメッキ
Sn：スズメッキ　Ni：ニッケルメッキ）

図5　腐食状況例

ある。図5はその一例を示したものである。

以上の結果から，Niメッキ端子にAl導体を直接取り付けることは，周囲条件によっては問題があり，この点Cdメッキ端子は変化が少ないことがわかった。

なお，同一端子についてCu導体についても実施したが，導体としては変色だけで，とくに異常は認められなかった。

7. 結　　言

Al導体をケーブルに適用するには，さらに検討を進める必要があるが，以上述べた点を要約すると次のようである。

（1）Al　材　質

強度と取扱性の点では，0.9 mm程度の導体径の場合，1/2H材または1/4H材が適当であると考えられる。

（2）ケーブルの電気的特性

1/4H材を使用したとき，Cu導体よりも一段太い導体とすることにより，Cu導体と同様の特性を得ることができた。

（3）導体接続法

接続部が防湿混和物などでおおわれている方式であれば，特性的に大差ないようである。適当なコネクタ（3M-URなど）またはリング付PEスリーブなどの使用を考えるべきである。

（4）端子のメッキ

従来用いられてきたNiメッキ端子よりは，Cdメッキ端子としたほうがAl導体には好適のようである。

終わりに，終始ご指導ご協力いただいた関係各位に厚く御礼申しあげる。

参　考　文　献

（1）P. O. E. E. J. Vol. 62 Oct. (Pres Notes) (1969)
（2）たとえば，Frank W. Horn: “Design and Manufacture of Plastic Insulated Aluminum Conductor Telephone Cable” Wire and Wire Products. Vol. 42 July (1967)
（3）新村ほか：“新しいケーブル外被構造（2）” 施設 Vol. 21 11月号 (1969)
（4）G. J. Herbert: “Aluminum as a Conductor Material for Communication Cables” Wire Journal Vol. 2 Nov. (1969)
（5）英国郵政省規格：CW-218
（6）Frank W. Horn and W. E. Bleinberger: “Aluminum-Conductor Cable an Alternative to Copper?” Bell Laboratories Record Vol. 45 Nov. (1969)

特　許　の　紹　介

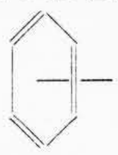
特許 第512065号（特公昭42-18805号）

川和田 七郎・中川 真吉・益子 勝明

安定化したオレフィン重合体組成物

本発明はたとえば銅との接触状態において生ずるオレフィン重合体，たとえばポリプロピレンの劣化を防ぐオレフィン重合体組成物に関するものである。オレフィン重合体はすぐれた電気的特性を有するが，銅導体との接触により金属劣化現象を起こす。

本発明はこれを防ぐもので，一般式



（式中Rは水素原子，低級アルキル基あるいはアリール基）

で示される化合物と酸化防止剤とを，その全部もしくはほとんどがプロピレン分より成るオレフィン重合体に配合して成る安定化したオレフィン重合体組成物を提供するものである。上記一般式に含まれるものの具体例としてフタール酸ジヒドラジッド，イソフタール酸ジヒドラジッド，テレフタール酸ジヒドラジッドなどがあげられる。

新　案　の　紹　介

登録実用新案 第898906号

城取　睦・橋場弘道

共　振　素　子

この共振素子に形状を小形にして，2種の周波数をしゃ断するようにしたものである。伝送線路内部導体1は2個の結合子5，5′を有しており，これに共振線路内部導体3，3′に対向している。

伝送線路内部導体1および共振線路内部導体3，3′には外部導体2，4がそれぞれ施されている。ここで共振線路内部導体3，3′は伝送線路内部導体1に対し同じ側に配置され，かつ平行で重ねられるように設けられている。すなわち伝送線路内部導体1を中心に折り曲げて重ねた形状である。

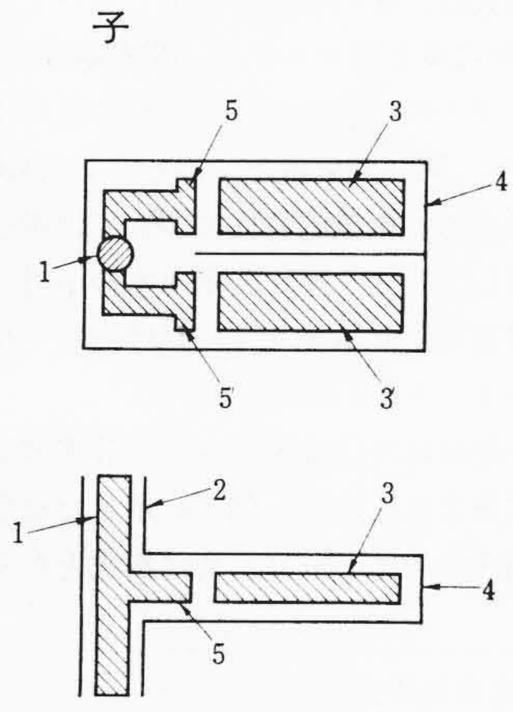


図　1