- 33) K. Banhöffer & K. Hensler: *Z. Physik. Chem.*, N1, 8, 390 (1956); *Z. Elektrochem.*, 64, 122 (1957)
 34) I. Schikorr: *Z. Physik. Chem.*, A 160, 205 (1932)

- 35) E. Libreich: *Z. Physik. Chem.*, A 155, 123 (1931); A 161, 97 (1933)

銀メッキ銅線の赤疹腐食*

P. L. Anthony** & O. M. Brown**

テフロン絶縁電線は最新の各種工業に用いられている重要な材料である。テフロンがすぐれた電氣的性能を持っていることと、耐高温性であることによって、この電線は特に宇宙航空用電子器具用として広く仕様書に指定されている。しかし一般の銅燃線導体の絶縁用としてテフロンを用いるためには、高温押出作業中およびテフロン蒸着作業中の熱影響による銅の劣化を防止する必要がある。電線製造業者は薄い銀メッキをすれば、ロウ付性とか柔軟性とかの銅の良い性質を阻害することなく、適切に銅の劣化を防止できることを見出した。ニッケルメッキや錫メッキも用いられるが、銀メッキ銅がテフロン絶縁電線用の標準導体材料として用いられてきた。

不幸なことには、テフロン絶縁した銀メッキ銅燃線導体はきわめて腐食を生じ易い。電線製造業者や使用者の間で“赤疹”と言う用語がその特徴とする赤色の腐食をあらわすのに用いられている。この腐食は産業界でよく知られていたが、過去9ないし10年間に生産されたテフロン絶縁銀メッキ銅線の膨大な量を考えてみれば、この腐食はおそらくそれほど大きいものではなかった。しかしこの期間を通じて、この腐食は常に制御されない未解決の問題として残った。電線製造業者には解決したい品質管理問題であった。使用者、特にミサイルや宇宙航空界の使用者にとっては、しばしば重大な信頼性の問題を提起した。

この報告の研究は、テフロン電線の腐食原因および機構を決定する研究計画の一部として実施されたものである。赤疹腐食を発生させ維持させる方法が述べてある。それは他の研究所の試験とともに、発生する腐食過程の条件を明らかにし得たものである。銀-銅の組合せ電池の電池作用に関する補足的研究も含まれている。

電線腐食の説明

テフロン被覆電線に腐食が起こることは、燃線に生じた腐食生成物の外観によって容易に認められる。腐食生成物は典型的に赤色である。ときには黒色のものもある。赤色または黒色の物質は、絶縁物が除去されたとき

は図1に示すように、銀メッキした導体燃線の表面から凸出しているのが明らかにみられる。腐食が軽微であれば腐食生成物はまばらに起こり、燃線の上にぼつぼつができる。腐食が激しいときには、侵された燃線の部分はほとんど完全に腐食生成物で被覆されることもある。激しく腐食した燃線でも、腐食生成物を除去すれば、銀メッキの中に点々と小さな孔食や傷ができていたのが明らかになる。図2は図1に示した同じ部分を塩酸処理によって腐食生成物を除去した後の状況を示したものである。

図1 テフロン絶縁銀メッキ銅線の腐食生成物 (赤疹腐食)

図2 腐食電線の腐食生成物除去後の外観

燃線導体の腐食損傷の程度は金相学的断面によって評価することができる。図3は中程度の外面腐食生成物の付着していた電線試片の代表的断面を示す。図4は図3の右上部分の激しく腐食した導体を拡大したものである。

これらの図から、外観とは異なって、銅心線の内部に腐食損傷が拡がっていることが明らかとなった。

図3に見られるように、燃線の侵されている率は高く多くは電氣伝導度を害し機械的強度が低下するに十分な

* 訳者：福谷英二（中川防蝕工業）

** Autonetics Chemical Laboratory, Anaheim, California.
 (原文) “Red Plague Corrosion on Silver-Plated Copper Wire”, *Mater. Prot.* Vol. 4, No. 3, 8-18(1965)Mar.

図 3 腐食銅線の断面顕微鏡写真
($\times 36$)

図 4 図 3 中の腐食の激しい銅線断面の拡大写真
($\times 370$)

程度に銅の腐食が進行している。図 4 は銀メッキ下の銅の腐食状況を示している。銀メッキ膜の損傷と内部の銅腐食の場所との間には例外なく相関性があることが図 4 で見られる。また銅の腐食生成物は燃線表面の損傷部分から流れ出していることが明らかに示されている。

腐食生成物の分析および電線材料

電線絶縁用として現在用いられているテフロン材料には 2 種類ある。TFE (四フッ化エチレン) と FEP (フッ化エチレンプロピレン) である。電線導体として一般に用いられている銅にも 2 品種ある。ETP (強靱な電解銅) と OFHC (酸素を含有しない高伝導度銅) である。OFHC は純金属の単相である。ETP は 0.03~0.05 %の酸素を含む銅合金である。ETP では酸素は亜酸化銅として結晶粒界に集中している。この研究に用いられた電線の試験片は数製造業者から得たもので、2 種のテフロンと 2 種の銅との各種の組合せのものを含んでいる。分析結果と腐食実験に関してはどの種類の銀メッキテフロン絶縁電線に対しても明確な差は認められなかった。

腐食した多くの電線から得た腐食生成物は、化学分析、分光分析、X 線回折などの方法によって分析された。定性的にはどの場合でも同じ結果を示した。赤い腐食生成物は微量の酸化銅を含んだ亜酸化銅と確認された。黒い

腐食生成物は微量の亜酸化銅を含んだ酸化銅であった。ある試験片では少量の硫酸銅が検出された。そのほかに検出された物質は微量の銀と銅のみであった。銀の腐食生成物はいかなる場合にも見出されなかった。

腐食した電線と腐食しない電線について各種の化学的および金属学的試験を行ない、導体または絶縁物に腐食現象と関係のある異常の有無を調べた。テフロン絶縁材料の赤外線分析および分光分析ではテフロン組成に異常はなく、汚染物質も含まれていなかった。導体の金相学的検査では、結晶粒子の生長は見られなかった。粒子の生長は、高温でのテフロン蒸着作業中に発生するかも知れない、熱によって促進される腐食に関係を持っていることが多い。試験片に銀の移行の形跡は絶無であった。

銀メッキ膜の損傷は腐食した電線にも腐食しない電線にも見られた。銅心線の腐食部分は必ず銀メッキ膜の損傷部分と一致している。銀メッキ膜の損傷部分に腐食を生じていない例はしばしばあったが、腐食している部分で銀メッキ膜が完全であった例は一つもなかった。

導体燃線の銀メッキの平均厚さを決めるために、あらかじめ計量した銅線の上に付いている銀の定量化学分析が行なわれた。ほとんどの電線規格では、銀メッキ膜の最小厚さ $40 \mu\text{in}$ が要求されている。すべての電線の試験片の分析結果では、最小膜厚を保つに十分な銀量があった。もっと重要なことは、導体単位面積当りの銀量がすべての場合ほぼ同じであったことで、平均膜厚と電線の腐食性との間には明らかな関連性はないことになる。抽出できる水溶性フッ素イオンの量は電線 1 ft につき $165\sim 410 \mu\text{g}$ すなわち $6\sim 10 \text{ppm}$ に過ぎなかった。各種の試験片から検出されたフッ素イオンの量と腐食程度との間にもまた関連性がなかったことは重要なことである。

分析結果と、腐食した電線試験片の履歴に対する研究とから、いくつかの予備的結論が得られた。第 1 に、テフロン電線は、赤疹腐食を起こしやすいような先天的な化学的あるいは金属学的な状態にないことである。第 2 に、腐食を起こした導体の部分に常に共通している因子は、銀メッキ膜の損傷である。第 3 に、腐食が後で発見された電線群の多くは、貯蔵中または取扱中に以前に多量の湿分に暴露されたことが判明した。この最後の因子は、ほとんどすべての電線製造業者が、完成した電線を電氣的試験のために水中に浸漬する事実によって複雑化された。もっともこの試験の際電線端部は防水されていたとは想像されるのである。

人工的に発生させた電線腐食

赤疹腐食問題の解決に対する最大の障害は、たぶん、研究所で管理された実験状態のもとで、この腐食を再現し得ないことにあった。これをなしとげる方法はいまま

で報告されなかった。化学処理、加熱、湿潤または塩水噴霧試験などの各種の方法によって腐食を生じさせようとするすべての試みが、逆の結果を与えるか、または異なる型の腐食を生じさせた。

徹底的な分析研究と、限定されてはいるが示唆的な上述の腐食電線の履歴とからみると、電池作用がこの腐食に最も当てはまりそうな腐食機構であると推定された。電池作用腐食に必要な因子はすべて、赤疹腐食を生じやすいテフロン電線には存在すると考えられる。異種金属の組合せが銀メッキ膜の損傷部に暴露されていた。少なくともある場合には水分の存在が知られていた。異種金属間には明らかに金属的接続があった。空気（酸素）はこの系に得られた。

テフロン絶縁銀メッキ銅燃線に生ずる赤疹腐食を人工的に促進するのに究極的に成功した環境の装置を図5に示す。この特別な装置は、銅導体を、自然的な蒸気の拡散過程によって、水分と空気に連続的に暴露させるために選ばれたのである。

図5 蒸気拡散試験器

この試験に用いられた電線の長さは約 3 ft でその両端から 1/2 ~ 3/4 in の部分の絶縁物は除去されている。電線は孔が2個ある蓋の1個の孔に差し込まれ、蓋は水中途まで入れたフラスコの首にはめ込まれた。フラスコ内の電線の長さは、その下端が水面の少し上部に位置するように調節される。電線の他

端はフラスコの上部に保持される。蓋の他の孔はあけたままにしておかれる。よって徐々ではあるが一定の水蒸気および空気の拡散が、燃線の間隙を通して、フラスコ内の相対湿度がほとんど 100% のところから、電線上端の相対湿度が実験室の大気の値すなわち約 50% のところまで上に向かって行なわれる。

腐食を発生しやすい電線試験片、すなわち銀メッキ膜に傷を持っているものは、この試験を行なったとき、48 時間以内に顕著な腐食が起こった。腐食は分析によって自然に生じた赤疹と同一であることが確認された。なお試験の前後に行なわれた顕微鏡検査の結果は、銀メッキ膜の傷数と試験中に生じた実際の腐食量との間には一定の関連があることを示した。

腐食過程に重要な因子を決定するため、実験室の基本的な腐食試験に二三の変更を加えた。電線の下端がフラ

スコの水中に浸漬されたときは、腐食率はかなり低下した。これはたぶん電線を通る空気の流れが阻害されるためであろう。同様に、電線試験片の全長が 100% 相対湿度の環境に置かれたときは、腐食は著しく抑制された。

この一定の環境のもとにおける低い腐食率は疑もなく、導体間隙中の空気の流れがないことによって酸素が欠乏したことによるものである。

腐食量を増加したただ一つの試験例は、蓋の第2の孔から差し込んだ管によって、フラスコの水中に酸素を吹き込んだ場合である。この方法は単に酸素の供給を増すだけではなく、電線を通じて湿ったガスを強制的に流すのである。銀メッキ銅燃線のテフロン絶縁被覆が除去されたときの腐食率は、同じ電線で絶縁被覆がついている場合のものよりもよほど低い。明らかに、絶縁被覆は銅燃線の周囲に高湿度の円柱を形成し、蒸気拡散に必要な傾度を維持するのに役立っている。

異なる形式の電線が比較のため研究所で試験された。銀メッキ銅燃線の塩化ビニル絶縁の数試験片が試験された。これらの電線は全部銀メッキにかなりの傷を受けていたが、どれも皆激しい腐食を受けた。明らかに、テフロン絶縁材が赤疹腐食の必要条件ではない。テフロン絶縁のニッケルメッキ、錫メッキ、ニッケルメッキの上に銀メッキをした銅燃線は、試験されたとき銅腐食の兆候を示さなかった。これらの試験片のあるものには軽微な腐食を生じたが、侵されたのは銅ではなくニッケルあるいは錫であった。

電線検査のための腐食試験の選定

電線製造業者や使用者は、テフロン電線の赤疹腐食感受性に対する日常検査の迅速な方法を必要とする。蒸気拡散腐食試験はそのような方法への一手段を提供する。特に試験期間が短縮されるように腐食過程が促進されるように状態が改善され、また腐食生成物が定量分析されて腐食性が数字的に示されるようになるならば良い検査方法である。

腐食率のかなりの増加は、温度を上げ、上に述べたフラスコにわずかの圧力のもとに純粋の酸素を導入することによって得られる。標準腐食感受性試験として、温度 140°F (60°C)、酸素圧力 1~2 psig が用いられた。

温度はフラスコを水槽内に置くことによって維持された。酸素は試験される電線を通して逃げて行く量に釣合ように圧力計によって調節する。高温と電線を通る湿潤酸素を強制的に流すことによって、各種の電線試験片の腐食感受性の差を 24 時間以内の暴露によって明らかになし得るに十分なように腐食過程を促進した。腐食感受性試験用器具を図6に示す。

電線試験片が標準腐食感受性試験に暴露された後に、

図 6 電線腐食感受性試験器

検査され、そして銅化合物の分析が行なわれた。再び、銀メッキ膜の傷の量と電線の腐食性との間には相関性が認められた。

銅-銀電池作用腐食試験

自然に発生した蒸気拡散試験で観察された腐食現象を、化学的表現でさらに明瞭にするため、銅-銀電池を用いて一連の試験を行なった。銅-銀組合せの電池作用は普通の電気化学的電池の技術によって研究された。飽和甘汞電極に対する個々の電極電位および電池の開路電位が、それぞれの電解液の中で電池の反応機構の表示として計測された。電池電流は零抵抗電流計¹⁾で時間の関数として測定された。測定回路を図 7 に示す。

電池作用腐食試験では特別の注意がフッ化物液に対して払われた。フッ素イオンが、電線試験片の分析で検出された汚染物質を作る唯一の電解液であるからである。フッ素を含んだテフロン絶縁の存在のため、フッ素、フッ素イオンあるいはテフロン自体が、電線腐食過程に何らかの関係を持っているに違いないとしばしば考えられてきた。

フッ化物電解質系と比較するため、銅-銀電池の電解

図 7 銅-銀電池作用腐食試験装置

絶縁物は除去され、腐食生成物は 6 規定の塩酸で処理して取り出される。適量の塩酸液はアンモニア錯塩としての銅の含有量の比色分析のために用意される。

腐食感受性試験に用いられたものと同じ電線の試験片が銀メッキ部を拡大して

液の一例として塩化物電解液が用いられた。しかし、塩化物およびフッ化物電解液中における銅-銀電池の試験は次に述べるように、塩化物汚染物が赤疹腐食を上昇させることを示す意図で行なわれたものではない。

銅および銀電極電位および電池電位差の代表的な値を表 1 に示す。フッ化物電解液中での銅電極の応答は異常

表 1 銅と銀の電極電位および電池電位差

(KCl 液中と KF 液中、飽和甘汞電極基準)

陽極-陰極	電 位 (V)	
	1 規定 KCl	1 規定 KF
銅-飽和甘汞電極	-0.18	-0.15
銀-飽和甘汞電極	-0.05	+0.05
銅-銀	0.13	0.20

訳者注: ① 電位の表わし方を日本流に直した

② 1 規定 KF の銀電極電位はミスプリントと認め訂正した (本文参照)

で、電位は非常に安定しなかった。飽和甘汞電極基準で一時的初期電位は -0.15 V が記録されたが、計測の途中で -0.05 V にまで変化した。同様に、1 規定の KF 液中における銅-銀電池の開路電位は最初は 0.2 V であったが、直ちに 0.1 V 以下に低下した。明らかに、銅とフッ素イオンとの最小の相互作用が、強い分極あるいは受動化過程を引き起こす。銅電極の電位は、フッ化物溶液中のものより塩化物溶液中の方がより卑であるが銀電極上での反対効果のため、最初の電池電位はフッ化物溶液中の方が大である。計測された銀電極電位は、1 規定の KCl 液中では約 -0.04 V であるが、1 規定の KF 液中では $+0.05\text{ V}$ である。実際には、KF 溶液中では、用いられた方法によっては銀の電極電位の計測はできない。むしろ銀電極上における酸素の還元が、検知しうる電位差を支配する陰極反応である。真の電極電位は甘汞電極より貴であるからである。

図 8 は 1 規定の KCl 液中と、1 規定の KF 液中における銅-銀電池の電池電流と時間との関係を示したものである。2 溶液に対する電流-時間曲線の特性はきわ立って異なっている。KCl 液中では電池電流は時間の経過

図 8 銅-銀電池の電流密度と時間の関係

に対してあまり大きく変化しない。初期の電流値よりも初めの中は少し減少するが、しばらくすれば上昇してある時間後ほぼ一定値となる。たぶん電池反応が進行してイオン濃度が大きくなるにつれて、電解液の電気伝導度が増し、かつ pH が増すことによるものであろう。フッ化物溶液中では、初めの電流値は著しく高いが、急速に低い電流値に低下する。安定した状態における銅-銀電池の腐食電流は、フッ化物液中の値は塩化物液中の値の 1/20 以下である。しかし初期電流は、フッ化物液中の値は塩化物液中の値の約 3 倍である。

酸素供給の増加による影響を決定するため、空気が電極間の液中に吹き込まれた。同様の電池で、空気の代りにヘリウムを吹き込み、上昇する気泡による攪拌作用のみによる影響を調査した。KF 液では、空気を吹き込んでもヘリウムを吹き込んでも、銅-銀電池電流にあまり大きい影響を与えなかった。ガスが流れ始めたとき、一時的にわずかに電流が増加するが、電流はすみやかにほぼ元の値に低下する。KCl 液を入れた電池にヘリウムを吹き込むときは、電流は直ちに 2 倍以上に増加し、次いで徐々に減少する。KCl 液の電池に空気を吹き込めば、電池電流は急激に 4 倍に増大し、そのまま持続される。

塩素イオン電池における電池電流の計測は、銅-銀組合せ効果を表わすものである。1 規定の KCl 液中における安定した電池電流密度は 10^{-5} A/cm² 台である。これは銅腐食率約 68 mdd に相当する。文献にあらわれた海水中に浸漬された銅の平均腐食率は 12.4 mdd である。

これらの値の厳密な比較は、たぶん正しくないであろう。しかし一例として、銀を銅と組合せるときは、塩水中における銅の腐食率がかなり増大することを示している。

赤疹腐食を発生させる因子

実際にすべての銅燃線は、大きく拡大して調査すれば銀メッキ膜に、ある程度の損傷を示している。これらの不完全部分は銀表面上の小さなすじから、銅心線にまで達する銀メッキ膜をつき抜けた深い引掻傷や切傷までいろいろの程度のものである。すべての場合に、損傷は機械的擦過傷であるように見られた。不幸なことには、電線製造中および使用中に銀メッキに機械的擦過傷を受ける機会はかなり多い。

テフロン電線用の導体製造では、個々の銅燃線は棒から中間のゲージ寸法に引き出された後に銀メッキされる。メッキの銀量は、メッキした燃線が最終寸法に引き伸ばされたとき、銀メッキが最小の膜厚、一般に 40 μ in の厚さ、となるように計算される。

個々の銀メッキ銅線は、それから、一緒に巻いて燃線導体に仕上げる。この燃線作業中に高圧がかかり

不可避免的擦過作用を受ける。銀メッキの薄さと先天的な軟らかさのために、メッキ膜の傷の多くはこの操作の際に起こる。程度は小さいが、同じような擦過傷は電線が巻棒に巻かれたり解かれたりするときにも起こり、また組立のため撓めたり曲げたりするときにも起こる。組立中や取り扱い中に受ける機械的応力の影響は、電気メッキした銀の先天的な粒状、多結晶、多孔質の性質によってたぶん悪化されるであろう。銀メッキは摩擦の多いあるいは中程度に腐食性の状態²⁾のもとでは密着不良となりやすく、薄片状となったり剝離する傾向があることが知られている。

一度銅が銀メッキ膜の損傷によって暴露されたときは腐食が進行するか否かは環境的因子によって決定される。銅-銀の異種金属の組合せは銅の腐食を促進させる。しかし蒸気拡散試験は、腐食過程が維持されるためには特殊の環境条件が必要であることを示している。水分はなくてはならないが、電線の腐食率は、腐食の生ずる場所への酸素の到達度によって左右される。腐食感受性試験に蒸気拡散法を選定したこと、および通気をした電池作用試験のいずれも、腐食率は酸素を必要とする陰極反応に主として影響されることを示している。テフロン電線の激しい腐食は、湿潤した部分に継続的な空気の供給がある場合に限って起こることが予期される。よってほとんどの赤疹腐食は電線の端部かあるいは絶縁物のピンホール部に見られている。

テフロン電線に見られる銅-銀組合せ電池の他の一つの性質は、腐食率における一つの因子として重要なものである。電池作用の研究、蒸気拡散腐食試験結果および理論的考察のいずれも、この腐食電池は陰極支配であることを示している。それは、電池電流の程度、したがって腐食の程度が、銀陰極上での酸素の還元率によって限定されるということである。陰極支配の電池では、有効な陽極の面積と陰極的な面積との比が、生ずる腐食の量を決定する重要な因子である。陰極地域の相対面積が増大すれば、陽極反応とつり合うのに必要な陰極電流密度は減ずるから、その結果として腐食率は非常に大きくなる。これはまさしく銀メッキ銅線の場合に当てはまる。そこでは暴露された銅の陽極面積は、銀メッキされた表面積に比較すれば全く小さいのである。

電池作用腐食試験の結果と、腐食生成物中にフッ素化合物が検出されなかった事実とによって、フッ素化合物の汚染物が電線腐食の因子でないことは明瞭となった。フッ素イオンがかなりの程度に含まれておれば、むしろ電線の腐食過程を抑制する傾向があると考えられる。電位測定結果から銅はフッ素イオンと陽極的に反応するものと推定される。反応はたぶん

であろうが、これは良く知られている 次式と同様である。

しかしフッ化反応は明らかに銅表面をフッ化銅の受動態膜で被覆するから、それ以上に反応が進行することを抑制する。フッ化銅皮膜の非電気伝導の効果³⁾は報告されている。塩化物溶液中ではそのような膜は形成されない。

不溶性の CuCl は第二次酸化によって可溶性の CuCl_2 に変化するか、または直接可溶性の錯イオン CuCl_2^- となって溶出するからである。逆にフッ化物溶液中では、第二銅化合物 CF_2 もまた不溶性で、フッ化第一銅イオン CuF_2^- は安定な化合物として存在しない。

赤疹電線腐食の機構

実験結果は、電線腐食は単に水分および空気に暴露することによって起こり得ることを示している。微量のフッ化物汚染がテフロン絶縁電線に存在するが、しかし赤疹腐食生成物は例外なく銅の酸化物である。よって、腐食機構はたぶん Obrecht⁴⁾ によって提唱された、酸素の存在下に純水中に浸漬した銅に起こる腐食機構と同じであろう。

銅だけ単独に水と酸素に暴露されるときは、銅表面の局部電池作用によって腐食を生ずる。しかしテフロン絶縁電線では他の駆動力が追加される。すなわち、銀メッキの傷部から暴露された銅の全表面は、銀との組合せのため均一な陽極電位を示すに至るからである。よって電池反応は銅の陽極酸化と、同時に起こる近くの銀表面上での酸素の還元反応とである。電池作用腐食電流の全回路は、銅と銀を通る金属回路と、水の膜または湿潤した亜酸化銅腐食生成物の電解質回路とを含んでいる。亜酸化銅は乾いているときは半導体であるが、湿っているときは腐食電池回路を完成できるほどかなり良伝導体となる。

非常に純粋の水と大気中の酸素が存在する場合に、銀メッキ銅線の腐食過程は次の機構によって進行するであろう。

陽極反応：

陰極反応：

正味電池反応：

$$E = 0.751 \text{ V}$$

(訳者注： $5\text{Cu} + \text{O}_2 = 2\text{Cu}_2\text{O}$ はミスプリントにつき 4Cu と訂正した)

同様な機構によって酸化銅を生ずる反応に対する電池電位は 0.614 V に過ぎない。黒色の酸化銅ができるのはまれな場合で、そのようなときは電線は異常の処理を受けたか、あるいは環境条件が例外的であったことによるものであろう。

上の反応機構で、水の存在は必要であるが、水は腐食過程によって消費されないことは重要なことである。原則として電線中に一定量の水が一度存在すれば、腐食は永久に継続する。しかし酸素は腐食過程によって消費されるので、腐食が進行するためには酸素は、絶えず供給されなければならない。

結 論

1) テフロン絶縁銀メッキ銅燃線に生じた赤疹腐食は銅の腐食生成物の形成によるものである。これは一般に亜酸化銅で、銀メッキ損傷部における銅心線の電池作用腐食によって生じたものである。

2) 銀メッキに損傷があつて銅導体とその部分で暴露され、水と空気(酸素)が存在するときは、いつでも腐食が起こり得る。

3) この種の電線腐食率は、電線の腐食部分への酸素の供給度に左右される。

4) 電線試験片を顕微鏡で調査して銀メッキの傷を調べることと、蒸気拡散腐食試験を併用すれば、電線の腐食感受性を十分検査できる。

5) 銅導体のメッキ膜厚を増し、燃ったり取り扱ったりする間の機械的損傷を少なくするように注意すれば、腐食程度はたぶん著しく減ずるであろう。

6) ニッケルメッキまたは銀メッキの下にニッケルメッキをする方法を銀メッキの代りに行なえば、赤疹腐食は除去されるであろう。これらの被覆は銅より陽極的であるから選択的に腐食され、銅心線の腐食を防止する。

文 献

- 1) H. P. Godard: A New Instrument for Measuring Galvanic Corrosion Currents. *Corrosion*, 7, No. 3, 93~97 (1951) Mar.
- 2) G. H. Gill: Some Mechanics of Electronic Design. *Electronic Packaging and Production*, 3, No. 2, 80 (1963) Feb.
- 3) S. S. Flaschen & P. D. Garn: Inorganic Electrical Insulating Coatings on Aluminum and Copper. *J. Am. Ceram. Soc.*, 42, 641~642 (1959)
- 4) M. F. Obrecht: Theory of Copper and Copper Alloy Corrosion by Water. *Corrosion*, 18, No. 5, 189t (1962) May