

第 7 章

— 総 論 —

部品材料

(1)

電子回路および電子機器構成上の必然的發展過程として、電子部品の進展は最近ことにめざましいものがある。したがって、電子部品全般にわたる概観は不可能に近いので、主要かつ特長的なものにしばってここでは言及してみたい。これらを、半導体、電子管、その他と類別し、さらに本論文として掲載されているものは簡略な概要にとどめた。

■ 半導体における概観

最近の半導体産業における革新的進展は、日本における半導体集積回路工業が電子式卓上計算機を主たる基盤として成立した点である。今日の半導体集積回路に到達するまでには、いわゆる電子機器の超小形化の命題のもとで、それぞれの世代の技術レベルに応じた諸形式が考究され、試作実用化されてきた。しかし、トランジスタを主体においた半導体電子工業と、その周辺技術の進歩は今日の半導体集積回路の発明と進歩とを促した。さらに、形象的には一見従来の超小形化の延長線にあるとみられるが、実はその発想においてすでに従来のものと異なって最新の半導体集積回路の理念の洗礼を受けて実現されるに至ったものがある。その具体例は、ハイブリッド IC の最近のアプローチにみることができる。集積回路の進展は、ひとり超小形化という意義だけでなく、工業製品の本質である経済性、信頼性、保守性さらには工数低減の可能性を含み、広く電子機器一般に適用されうる期待が大きくなってきた。ことに、集積回路の本質をは握し、その特長を電子機器に適用してもう一度見直すならば、これまでの個別部品で構成されていた回路のかんりの部分は、集積回路で、より有利に置換えが可能であろう。この間の事情はアメリカの半導体に関する需要構成の統計資料が明白に物語っている。さらに、集積回路を利用することにより、従来の個別部品構成方式で実用不可能視されたきわめて複雑なシステムの実現が可能になることがわかってきた。

集積回路に関する日立製作所の今日までの歩み、さらには、これからの方途もすでに述べた集積回路の進展と全く軌を一にしている。すなわち、個別部品による超小形化→半導体集積回路の伸長。ハイブリッド超小形回路の半導体集積回路への統合。広範な半導体変換素子の追究。中規模集積回路 (MSI) ならびに大規模集積回路 (LSI) に関する最適経済集積度の商品としての追究。集積回路の標準化などをこれまで進めてきた。今日これらの成果として、デジタル回路として、バイポーラ IC では、DTL, CSL, TTL, CML の標準ファミリーを世におくり、MOS IC では、電子式卓上計算機のレジスタ、AND/OR ゲート、フリップ・フロップ、インバータなどの各種回路ならびに電子オルガンの分周器用 IC を世に出した。リニヤ回路として、演算増幅器、TV 音声中間周波増幅用、FM 中間周波増幅用の標準品を市販している。中でも中規模集積回路では、通産省大型プロジェクトの超高速電子計算機のセントラル・プロセッサ (C.P.) の論理回路として、バイポーラの CML 回路で演算速度ならびに集積度ともに世界のトップレベルの電気特性を確保した。また、本格的な大規模集積回路として、11 種の MOS IC を 8 けたのポケット電子式卓上計算機組立用に提供できた。また、ハイブリッド IC についても列車自動制御装置に始まり確実な歩みを続けている。これら集積回路をささえる

基礎技術の確立と周辺技術の開発は最も力を入れているものの一つである。たとえば、表面安定化、精密写真印刷、精密拡散ならびにボンディングは基礎理論および技術面で注目すべき成果をあげている。また、コンピュータ・エィデッドデザイン (CAD)、ハウジング法ならびに各種自動機械の開発も独自のものを確保するに至っている。

集積回路はこれまでの電子回路に比べその形において著しい変貌 (へんぼう) をとげたが、その動作原理はあくまでも電子回路である。そこには広範な進歩発達した技術蓄積を巧妙に組み合わせ構成に格別の進歩発展がなされている。しかし、本質的に実現不可能なものも存在するとともに、実用上の観点から必ずしも有利でないものも数多く存在する。特に、半導体集積回路は低信号系で、同一のものが数多くくり返されて初めて経済性が成立つようであり、メモリ系はその典型的な例である。現存あるいは将来必要とする目されるシステムあるいは電子機器を機能的に分解した場合に、同一機器あるいは多種類の機器で、きわめて多数用いられる単位機能は集積回路で実現される方向に進むことは当然である。しかし、情報の伝送、処理、変換、記憶を行なうシステムあるいは電子機器の中には、数多くの前述の性格を持たない単位機能も存在する。これらを組み合わせ始めてシステムや機器が構成されるのである。このような単位機能は多種類であり、数も多い。そのうえ、大きい電力を必要とする場合、情報信号量を変換する場合では本質的に集積回路に適さない。このような意味で、従来の半導体技術の進展あるいは変換素子の開発もゆるがせにできない。

日立製作所では、この意味では最近特に注目すべき進展をとげているものが多数ある。このうちで、パワー用トランジスタ、ガリウムヒ素系のダイオードあるいはサイリスタなどは顕著な例である。カラー TV など家庭電化製品の保守性、小形性の検討結果により全トランジスタ化は技術の本流と目され、その実現はこれまでの予想時期よりますます前倒しになっている。カラー TV の水平偏向出力用として開発した 2SC937 の完成により、15 形カラー TV の全トランジスタ化を可能にした。また、2SC681A は白黒 20 形 TV の水平偏向出力として一石で可能となり実用化された。70 W 出力のステレオ・アンプ用の 2SC898 は電気特性がきわめてすぐれたものである。以上のシリコン・パワーの代表例のほか、最近ゲルマニウムのパワー・トランジスタの需要の拡大とその電気特性の改良も著しい。他方、LTP 技術の開発進展により独自の低雑音、高利得のトランジスタのシリーズを世に出した。

化合物半導体もいよいよ実用化に進んでいる。特にガリウムヒ素はガン発振装置あるいはオプト・エレクトロニクスとして奥行きを深めてきた。開発の方向は、半導体素子の電気的性能面にとどまらず、従来脇役的存在と思われがちであった半導体システムの境界域の技術がシステムの完成には不可欠な問題としてクローズ・アップしてきた。この方面の開発の例としては、レジン

モールド化あるいはパッケージのデュアルインライン化(DIL)があり、独自の材料あるいは技術成果を適用するに至った。

次に電力用半導体整流素子(シリコン整流ダイオード、サイリスタ)の発達は電鉄用、化学用直流電源として35年来使用されてきた水銀整流器を完全に駆逐し交流電気機関車、交流電圧用モータ電源としての用途がひらけた。車両シリコン整流器の実運転における信頼度の確認とサイリスタの電圧電流の向上によりミル用静止レオナード電源のサイリスタ適用が活発化し直流発電機分野に大きく進出し工業用における地歩を固めた。民生用機器への適用は自動車ACダイナモ整流用ダイオードとして大量に、またミキサ、電気洗濯機用モータの速度制御用などとしてサイリスタの適用がすすみ家電製品へ広く使用されるすう勢にある。チョップ、インバータ電源への応用、さらに直流送電送配電機器への応用が展開されようとしている。日立製作所ではシリコン整流ダイオードは1~800A、100~4,000Vにわたり約40品種が製作されている。電力用素子では200~300A 1,300V素子の開発により車両用シリコン整流器が発達し昭和39年には世界にさきがけて3,000V 300A素子を、昭和42年には2,500V 800A素子を完成した。中小物素子では自動車用ダイオードが量産機種として製作され、昭和41年にはガラス直接シール方式による1A 600Vダイオードが開発製作されている。またサイリスタは0.5~500A 100~2,500Vにわたり約45品種が製作されている。250A 1,200V素子の開発により車両用電源としての適用が始まり250A 1,400V、400A 2,500V素子の開発により静止レオナード電源への適用が行なわれた。昭和40年には250A 1,600V素子を、昭和41年には世界にさきがけて400A 2,500V素子を開発量産化した。

AC電力制御が可能なシリコン交流制御整流素子(FLS)は昭和40年開発され1~6A 200V、400V用12機種が製作されており、パッケージとしては取付法が用途に応じてとれるプレスフィット形が採用されている。

チョップ、インバータに使用する高速度サイリスタには10~250A 600V級、250A 1,200V 50 μ s級があり、さらに400A 1,300V 50 μ s素子が開発されている。

■ 電子管における概観

カラーTVの急速な普及と白黒TVのパーソナル化は日本のCRT産業を世界第2位の巨大産業に成長させると同時に、技術内容も質的な飛躍を遂げている。カラーTV用ブラウン管の当面の技術改善はX線照射障害の防止、爆縮への補強、画質ならびに明るさの向上がある。また、寸法的にはデラックス化の方向と同時に輸出を基底として小形化が行なわれ、さらにトランジスタTV用としてネック径を細くし、ヒータ電力を減少させる方向である。日立製作所はいち早く、シャドーマスクの方式で13形、15形の製品化に成功した。また、大形デラックスの製品化も行なってきた。ハードガラスの使用によりX線照射障害は取り除かれ、補強方法

もPPG、シェルボンド、T-バンドなどが適用され、19形、15形、13形で最適方法が採られている。磁界-レンズの総合解析、ガンの基礎解析およびマスクピッチなどの検討で画質向上を図ると同時に、蛍光体材質、膜組成など蛍光膜の検討ならびにフィルミング技術の改良進歩により輝度向上がもたらされた。新形管はその技術的利得に対する経済的な評価である。観測用CRTは情報処理工学の進展で需要の増大が期待されるが、いまだTV用に比べて1%以下の産業規模に滞っている。産業用とし文字や符号を使って文章や図表をディスプレイする目的は、普通のブラウン管、オシロ管あるいは蓄積管を用いて達成できるので、特殊CRTの開発は必要とされないようである。一方、高速度ファクシミリ用にピンチューブならびにファイバーオプチクスの利用はようやく実用化に向かいつつ近い将来爆発的需要が期待される。電子式卓上計算機が日本において伸びの年率40%を越える急速な拡張産業に成長したのに伴い、数字表示管は質量ともに急激な進展がなされた。日立製作所はこの分野においてニキシー管の量的にはトップメーカーであり、質的には諸種の電極構造の高輝度形管の市販を行なっている。

撮像管においては新材質の管が登場し、三硫化アンチモンは交替期に至った。プランビジコン、アーセコン撮像管が実用化に至っている。受信管におけるコンパクトロンの進展、またUHF用送信管の推移など、電子管の開発と需要はなお、予見を許さないものがある。レーザー管も高出力、長寿命に努力がむけられている。

■ その他の概観

知識産業の進展は高性能大形電子計算機、インフォメーション処理システム、電子交換機の性能向上を求め、ハードウェア特にメモリスシステムの脱皮が重要となってきた。メモリ装置のうちで、内部記憶装置、レジスタ記憶装置やバッファ記憶装置の要求には記憶容量、メモリサイクル時間によって半導体メモリ、フェライト・コアメモリ、ワイヤ・メモリが選択される。日立製作所ではコア・メモリは、材質にMn-Mg-Zn系以外として広温度域のLi系ならびにセミ・広温度系の諸材料を開発し、現在16ミルの2 $\frac{1}{2}$ D方式スタックの製品化に成功し世界のトップレベルに到達している。またワイヤ・メモリは多年にわたる研究の結果、一部のレジスタ・メモリとして実用化されるに至った。

EL板照明に関しては着実な技術改良を続けており、列車用ならびに自動車用メータの照明用として実用されるに至った。

最近顕著な事項として電子部品関係の懸案特許が続々妥結するに至っている。これに伴う膨大な特許料のバック・ロイヤリティーが電子産業に圧迫を与えつつあり、税制面で国家の処理案が考究されるに至った。他方、クロスライセンスのできる開発技術のきざしも見え始めるに至った。また、電子部品工業における国際分業の線に沿って、衛星工場の台湾への移行も行なわれ、生産管理ならびに輸送技術で新経験を得た。

高 信 頼 M O S I C 技 術

Technique for High Reliability MOS IC

富 永 四 志 夫*
Yoshio Tominaga赤 川 博 太*
Hirota Akagawa阪 場 弘 男*
Hiroo Sakaba

要 旨

MOS IC の高信頼化について設計上の立場、製造上の注意すべき点、実際の信頼度データの三つに分けて述べた。設計的には、MOS IC の物理化学的解釈は他の機会に述べることにして現実的問題の解決方法について述べた。また、製造上は寄生 MOS 的現象の解釈とその対策を少し詳しく述べ、実際の信頼度データより通常の会計機などに使用しても問題のない段階になっていることを示した。

1. 緒 言

MOS IC の基本となる MOSFET の動作原理は電界効果による表面導電度変調作用を用いているため、表面の安定化が MOS IC 実用上の最大の問題であり、その解決法が種々研究されている。

その一つの方法がプレーナトランジスタに用いられているシリコン酸化膜である。これにより表面状態が安定化されるばかりでなく、表面再結合速度が非常に減少することが知られている。シリコン酸化膜は酸素中でシリコンを高温処理すれば容易に作られるという魅力があるが、酸化膜中での正イオンの移動に起因する特性のドリフトという大きな難点をもっている。しかし現在はクリーンプロセスや酸化膜上にリン処理を施すなどによりほとんど解決されている。

一方、シリコンとなじみがよく、かつイオン伝導の生じにくい物質としてシリコン窒化物が試作発表されているが、ここではシリコン酸化膜を用いた MOS IC について、信頼度の立場から、特性上考慮した点や信頼度データについて報告する。

2. 特性上の問題点

2.1 ゲート破壊防止

(1) ゲート破壊現象について

MOS IC を構成している MOSFET は普通 Si 表面に P 形の反転層を発生させ信号伝達を行なうものである。この場合の熱生成シリコン酸化膜の厚さは同一製造条件でしきい電圧 (V_{th}) と直線的關係にあり後者が決まればほぼ一義的に酸化膜厚が決まる。一方、ゲート酸化膜の破壊電圧は印加電圧の極性と印加時間、周囲温度にも依存する⁽¹⁾。負電圧印加の場合は反転層が形成される前にゲート下に空乏層が形成され印加電圧の一部がそこで分担されるため見かけの破壊電圧は正電圧印加の場合よりいくらか高くなる。図 1 は通常使用されるゲート酸化膜厚における破壊電圧を示したもので、 $8.7 \sim 11.5 \times 10^6$ V/cm の電界強度で破壊が起こる。通常の回路に組み込んだ状態では -30 V 以上の電圧がゲートに印加されることはないが、組込工程や測定中には人体その他の物体の摩擦により発生する静電圧や外部電気機器から発生するサージ電圧はじゅうぶん -30 V 以上になる。たとえばテレビロン系の衣類を人体より分離した場合の実測例では周囲温度 20°C 、相対湿度 40% の環境で $3,500 \sim 13,000$ V の電圧を測定した報告がある⁽²⁾。実際の IC を使用する現場の作業中には、衣服を分離するということがないためこのような静電のための人体の有する電位は、 $70 \sim 600$ V の範囲内にある。電圧値の変動は作業者の動きによるものが主であるが付近を移動するほかの人間による静電誘導によるものも含まれている。この場合、人体の一部が接地されれば当然電位はゼロになるが人体と接地点間の抵抗は数 $\text{M}\Omega$ 以上でもよ

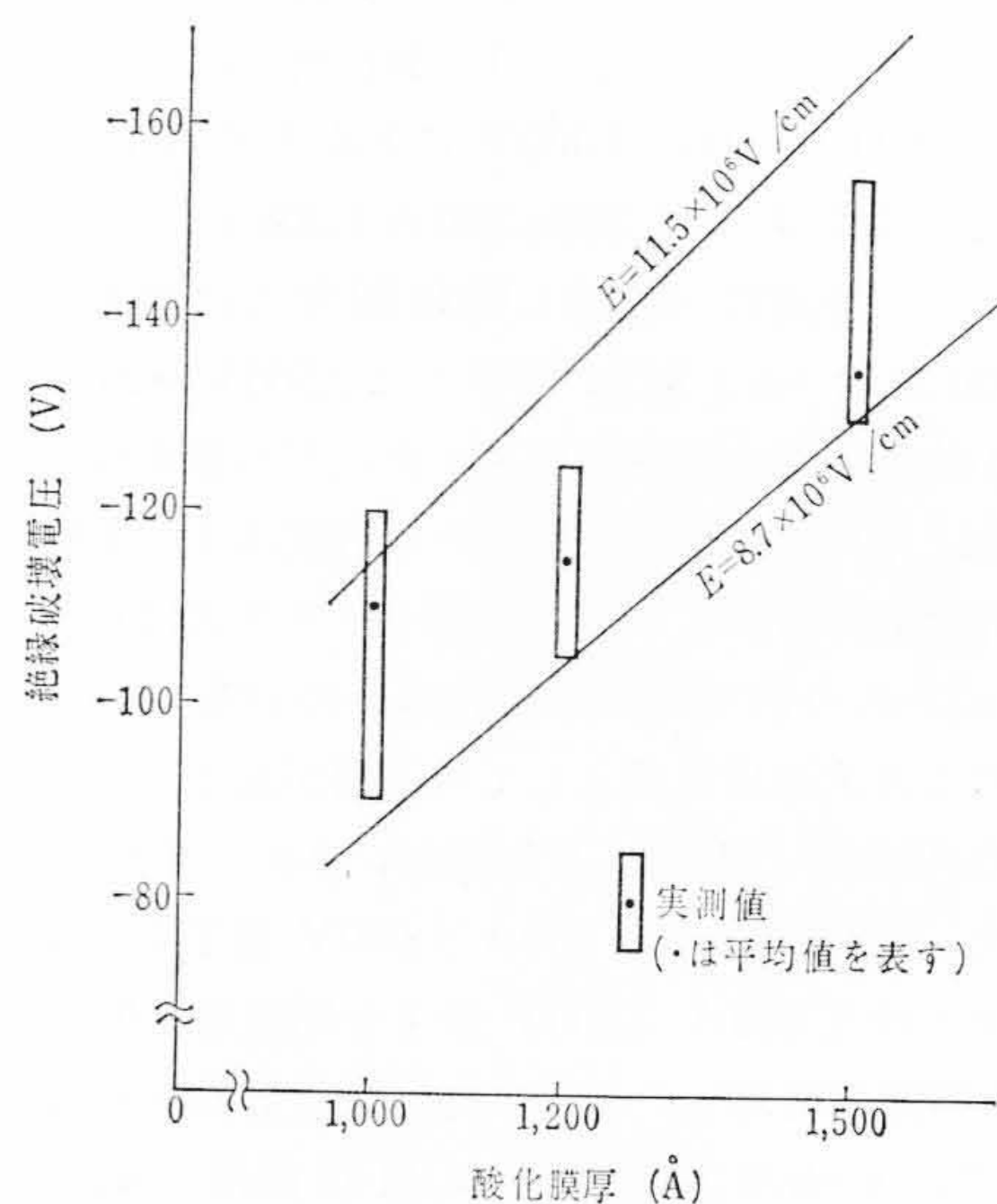


図 1 酸化膜厚と絶縁破壊電圧の関係

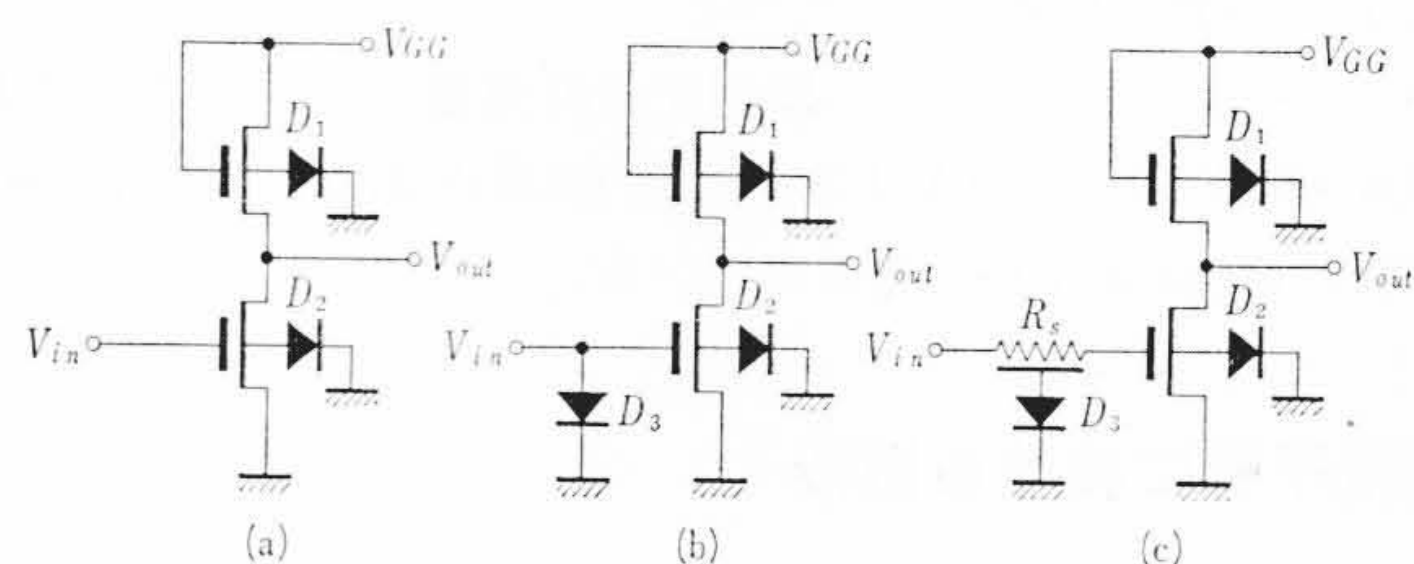


図 2 各種の保護回路

い。また、IC と人体とを同電位にしておくことも同じ効果がある。これら人体の接地はある程度危険性を伴うのでできれば避けたい。IC 自体がこれらの静電圧やサージ電圧に強いものであればよいわけである。このような観点のもとに特に破壊に対して弱いゲート電極の端子には保護回路を採り入れることが望ましい。

(2) ゲート破壊防止について

第一に考えられる方法としては従来からよく用いられるクランプダイオードを入れる方法がある。図 2 (a) はゲートに直接入力信号が印加される場合を示し、(b) は保護用としてクランプダイオード D_3 をそう入した等価回路を示している。図 1 から求められるゲート酸化膜の絶縁破壊電圧よりクランプダイオード D_3 の降伏電圧を低くしておけば、ゲートに印加される電圧は常に破壊電界強度にならないことになる。しかし (b) の保護回路のみでは過渡的に高電圧が印加された場合、保護ダイオードの直列抵抗のためゲートに保護ダイオードのブレークダウン電圧以上の電圧が印加されることになる。それがゲート酸化膜の破壊電圧以上に達するとゲート酸化膜の最も弱い微小部分に電流の通路が形成されゲートの永久破壊を生ずる。図 3 はクランプダイオードのみの

* 日立製作所武蔵工場

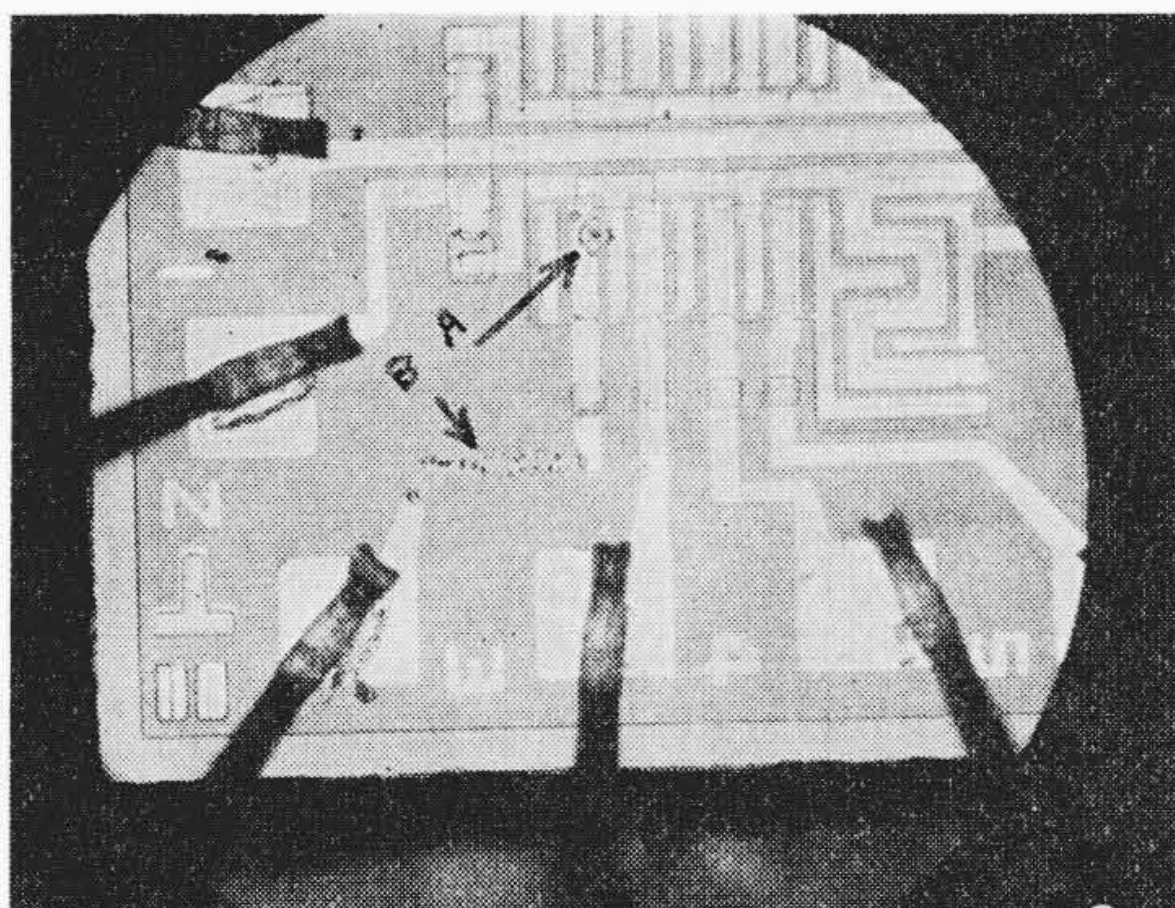


図3 クランプダイオードのみの保護回路とゲート破壊をした写真

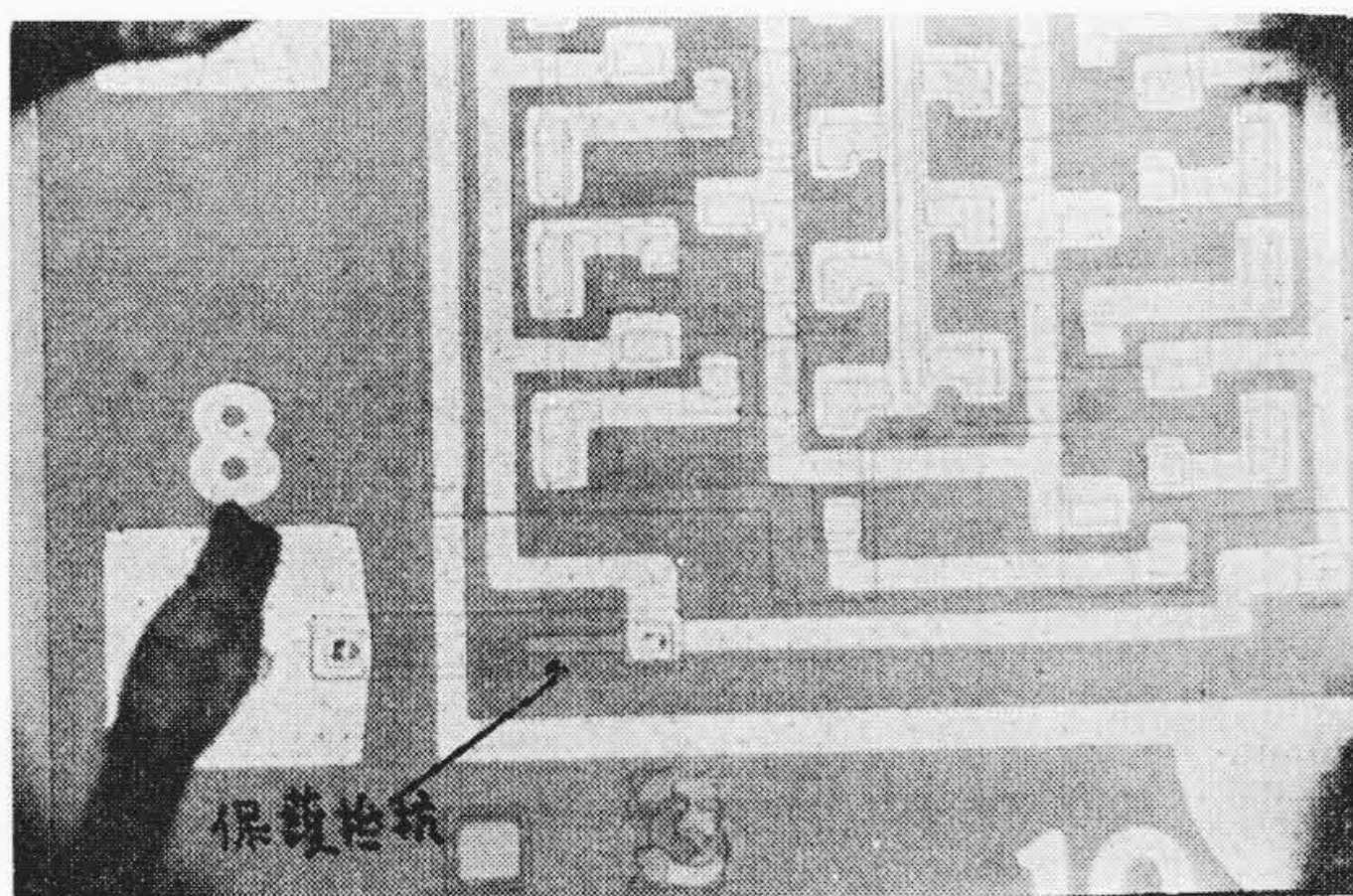


図4 保護抵抗をクロック入力端子に適用した例

保護回路をIC化した場合を示し、ドレイン側のゲート酸化膜下に破壊が発生しアルミ電極が溶けた状態を示している。なおB部に見るようにゲート破壊による過電流のため配線用のアルミが溶ける場合もある。図2(c)はこれを避けるために拡散抵抗とクランプダイオードを同時にそう入した場合の保護回路を示したものである。HD 701 Mのクロック入力端子に適用した拡大写真は図4に示すとおりである。この保護抵抗は分布定数的に示され、過渡的なサージ電圧は信号の伝達遅れと分布するダイオードのクランプ効果により、ゲート酸化膜上にはほとんど影響を及ぼさなくなる。これはMOS ICが扱う程度の周波数では、信号を遅らせて回路設計上困るようなことはない。またサージの源となる電源の内部抵抗や人間が扱う場合の接触抵抗などにより直接ゲート酸化膜に印加される電圧は $1/3 \sim 1/5$ 以下になる。保護回路の効果をみるためのモデル実験としては図5に示すように100 pFのコンデンサに一定電圧を印加して電荷を充電し、ICのゲートに接続したときのゲート破壊を開始する電圧と、破壊の発生率を測った。前に述べた図2(b)の保護回路ではゲート酸化膜の破壊電圧とほぼ同程度の電圧でゲート破壊が起こる。これに対し、保護抵抗を入れた(c)のICでは3倍以上の耐破壊電圧が得られている。これはゲートに直列にそう入される抵抗値が大きければ大きいほどクランプの効果が大きく、破壊を開始する電圧も高くなり、破壊率も低下する。

2.2 動作下限周波数 (f_{cpm})

MOS ICではゲート容量を利用して信号を記憶することができる。この特長を利用して Delayed Flip Flop や Transfer Gate と組合せて Shift Register を構成し高集積密度のICが実現できることは周知である。この場合の記憶時間はp-n接合の漏えい電流とゲート容量を主とする寄生容量からなる時定数で決まる。図6はこの関係を示したものである。これらの Dynamic Memory 機能を用

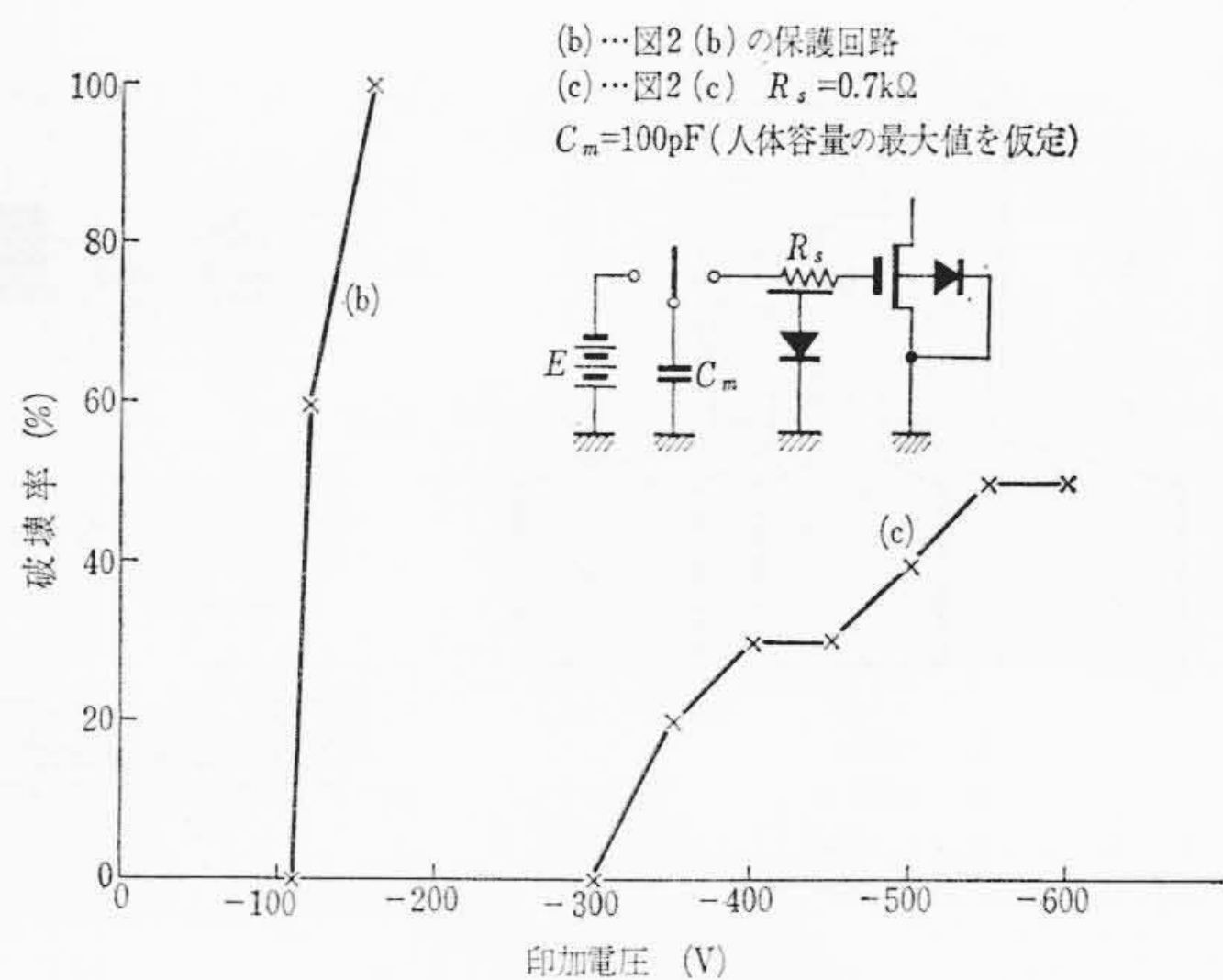


図5 コンデンサ印加電圧と破壊率

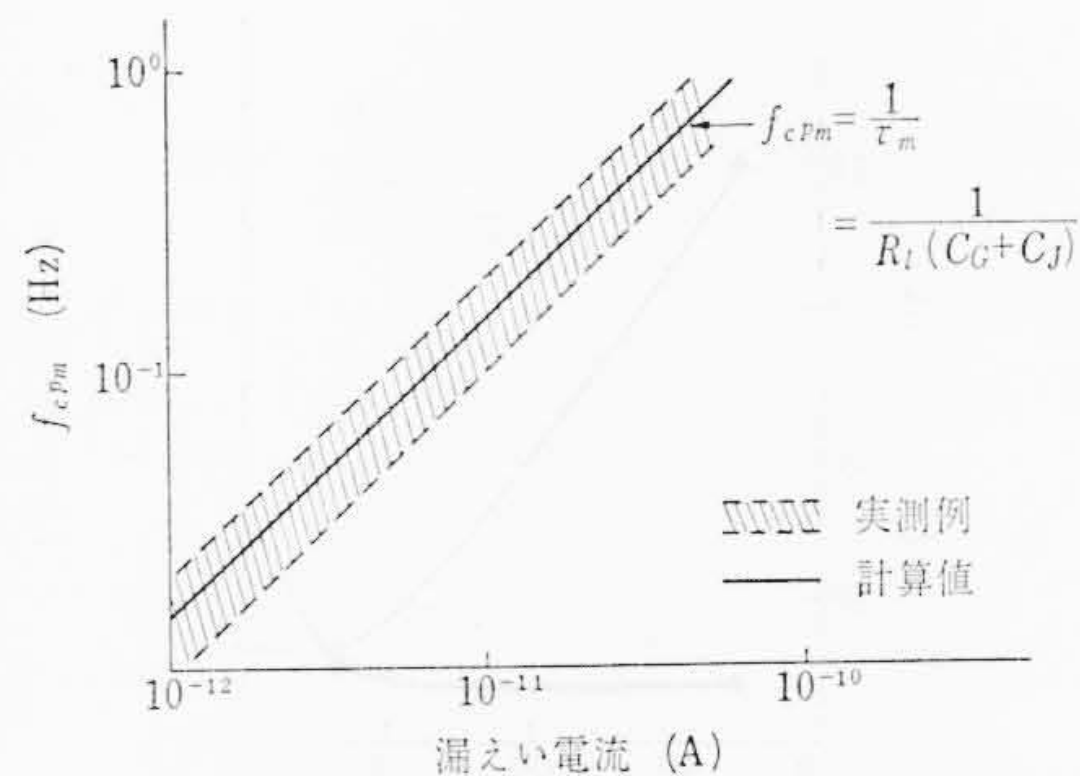


図6 漏えい電流対下限動作周波数 (f_{cpm})

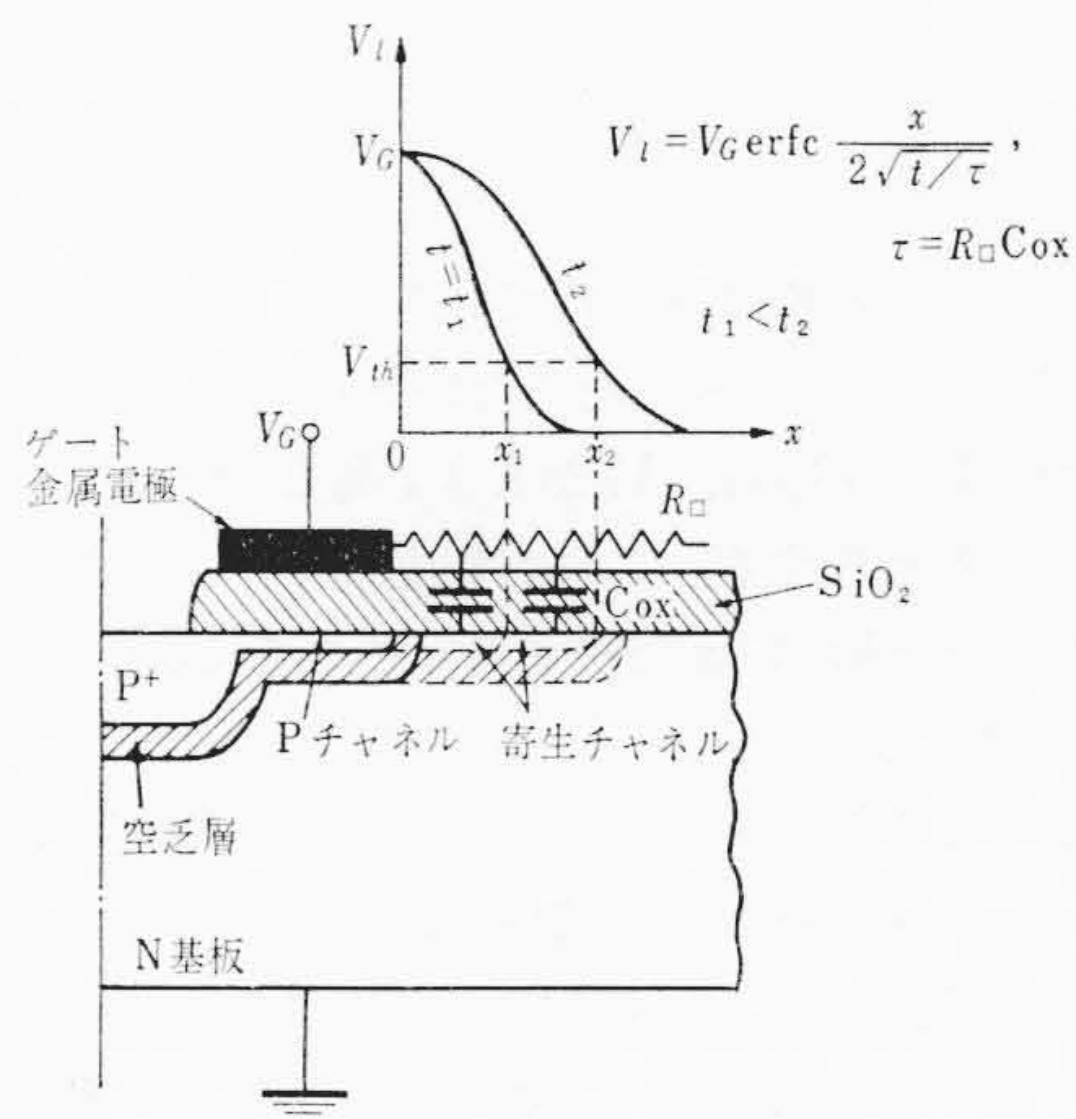


図7 ゲート電極からの静電荷漏えいと寄生チャネルの生成⁽³⁾

いたICについての f_{cpm} 経時変化は漏えい電流の経時変化に対する対策と考え、特にじゅうぶんに設計上の考慮をはらった。接合面積 $S_J = 90 \mu\text{m} \times 105 \mu\text{m}$ ゲート容量と接合容量の和 $C = C_G + C_J = 6.6 \text{ pF}$ のときの1 Hz以下とするためには漏えい電流は $5 \times 10^{-11} \text{ A}$ 以下である必要がある。漏えい電流は接合面積の小さいほうが欠陥を含む確率も低下し有利である。この種の Dynamic Memory 用のICでは極力ソースまたはドレインの接合面積を小さくし、クリーンプロセスによりP-N接合の漏えい電流に対する考慮をした。この結果、接合面積の小さなHD 701 Mの動作下限周波数に関する不良とか、漏えい電流の経時変動に起因すると思われる動作周波数の変動は全く起こっていない。

2.3 漏えい電荷による寄生チャネル

図7に示すMOS構造において、 SiO_2 の表面シート抵抗 (R_{ox}) が、なんらかの原因(たとえば H_2O の吸着など)で、減少したとすると、

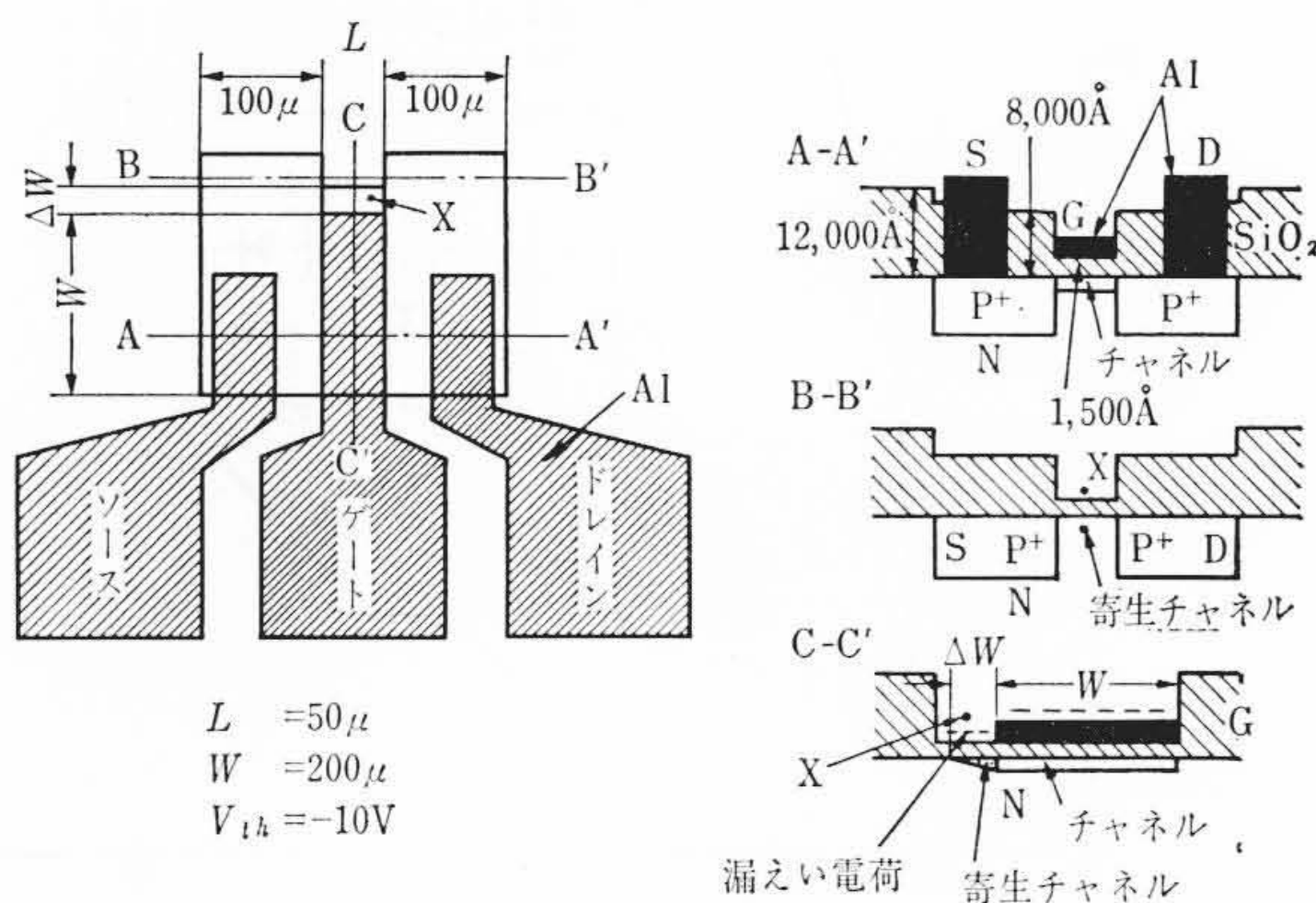


図8 試験 MOS FET

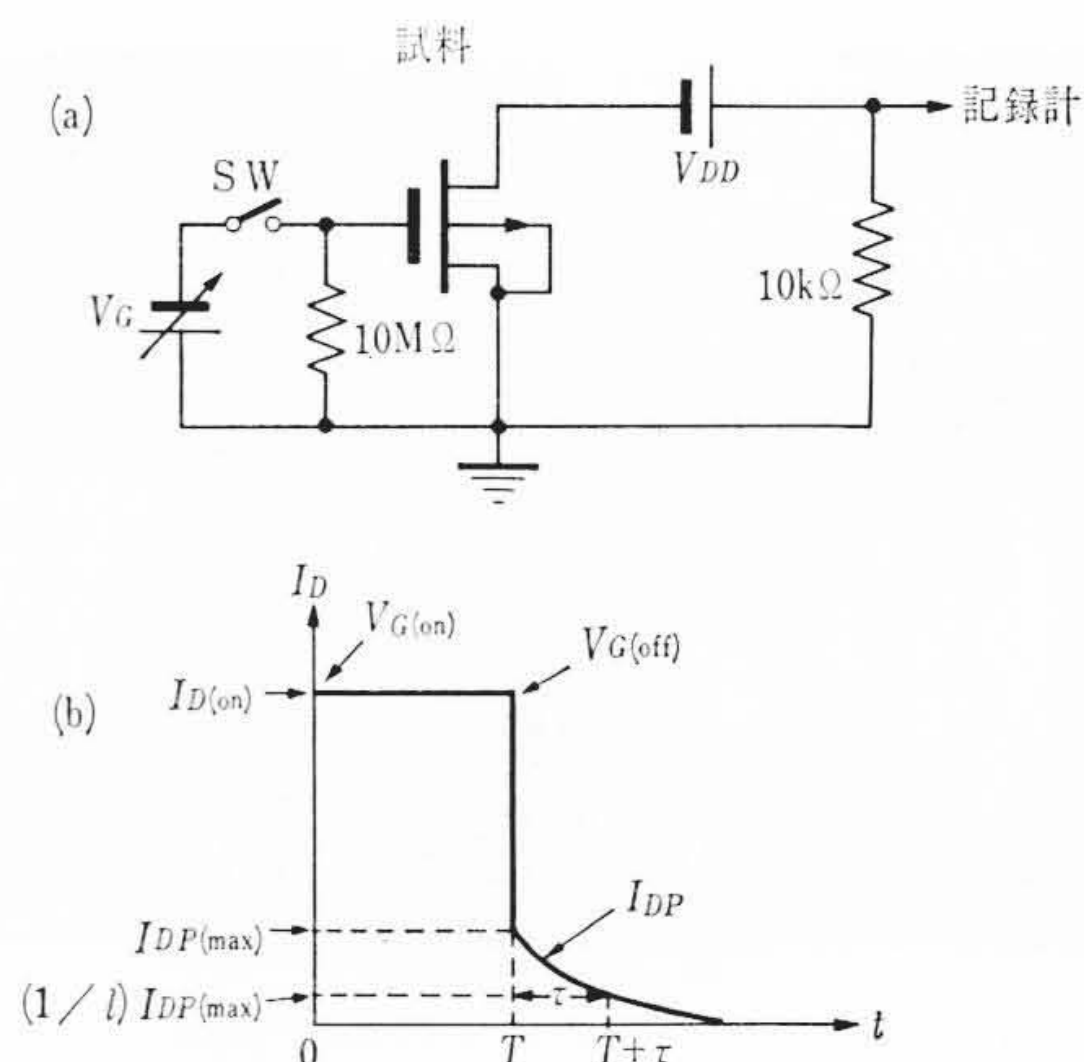


図9 寄生チャネル電流測定回路

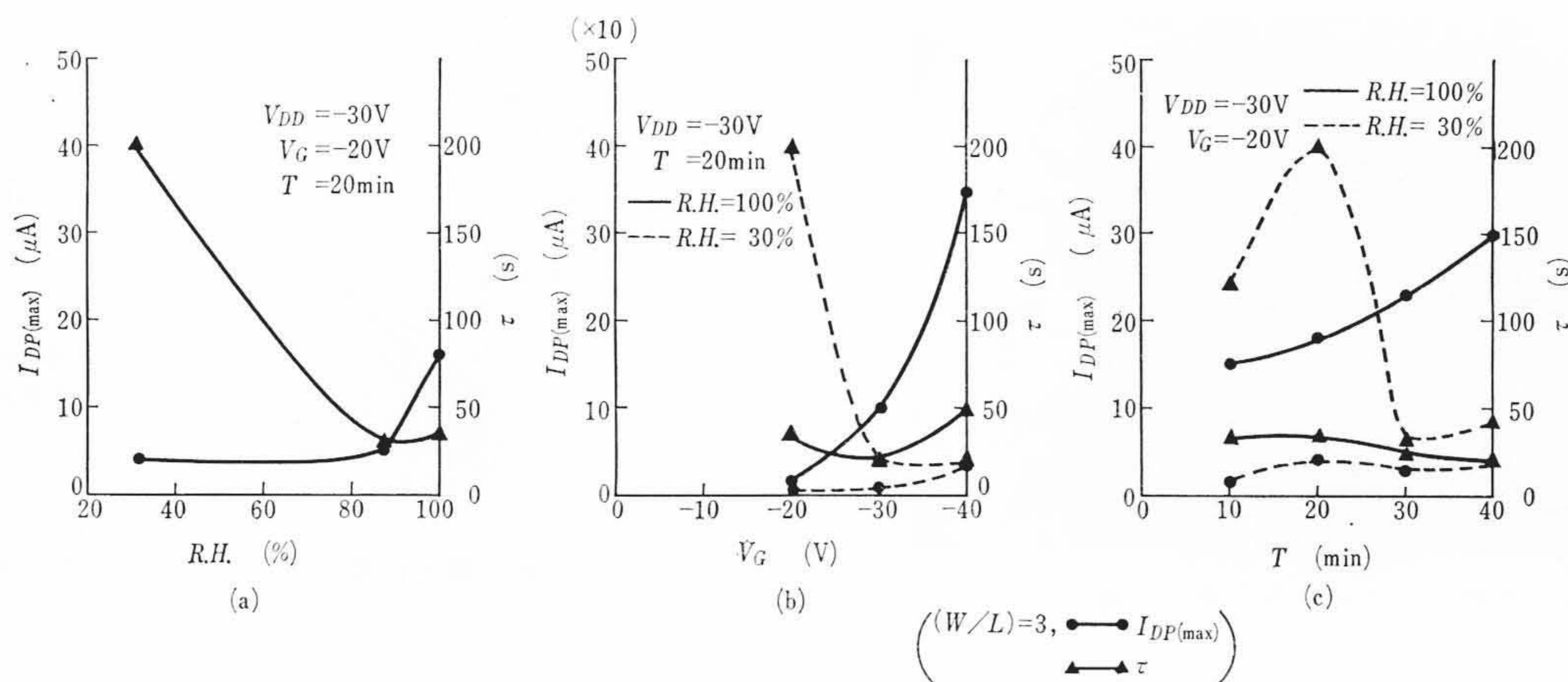


図10 寄生チャネル効果測定値

基板に対して一定の電位に保たれているゲート金属電極上の静電荷が SiO_2 上に漏えいしてくる。そのため SiO_2 は基板に対してある電位 (漏えい電位 V_i) を持ち、 V_i がしきい電圧 (V_{th}) を越すと、 SiO_2 層直下に反転層を形成する。これが寄生チャネルであり、その生成、消滅の時定数は $\tau = R \square C_{ox}$ で決まる。ここで C_{ox} は寄生チャネル上の SiO_2 の容量である。

次に、図8のような構造寸法を有する MOS FET (Pチャネル・エンハンスメント・モード) を試料として寄生チャネル効果を調べてみよう。この試料はゲートの幅方向 (W 方向) にオフセット・ゲートを持っており (図の X 部分)、この部分がゲート静電荷の漏えいにより、寄生 MOS FET として働くわけである。

寄生チャネル効果によるチャネル電流 (I_{DP}) は図9に示す回路で測定される。試料を所定の湿度に保ち、 $t=0$ のときスイッチ (SW) を閉じてゲート電圧 (V_G) を時間 T の間印加する ($V_{G(on)}$)。 $t=T$ において SW を開いて V_G を切断したとき ($V_{G(off)}$)、もし寄生チャネルが形成されていれば I_D はこの瞬間に 0 にはならない。その理由は、 $V_{G(off)}$ としても SiO_2 上の漏えい電荷は瞬時には 0 になることができず、図9(b)に示すように、 $\tau = R \square C_{ox}$ の時定数をもって指数関数的に放電し、 $V_i > V_{th}$ である間は寄生チャネル電流 (I_{DP}) を導通させるためである。このときの I_{DP} の減少の様子を記録する。

素子の幾何学的寸法が定まれば、寄生チャネル効果は、ふんい気の相対湿度 (R.H.)、 V_G 、ゲート電圧印加時間 (T) などの関数である。図8の試料を用いた測定結果を示したのが図10である。これらのグラフにおいて R.H.、 V_G および T の I_{DP} 、 τ に対する効果はそれらの物理的な意味を考えることにより容易に理解されるであろう。

次に、寄生チャネルによるチャネル長の増加分 ΔW を計算により求めてみよう (図8参照)。 $R.H.=100\%$ 、 $V_G=-20\text{V}$ 、 $T=20\text{min}$

の場合を考える。図10(b)から $\tau=35\text{s}$ 、 $t=T=20\text{min}$ として

$$V_i = -20 \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{20 \times 60/35}} = -20 \operatorname{erfc} \frac{x}{11.7}$$

この式において、 $V_i = V_{th} = -10\text{V}$ のとき $x = \Delta W$ であるから、補誤差関数 (erfc) のグラフの助けをかりて $\Delta W = 5.5\mu$ を得る。

寄生チャネルは、本来の MOS チャネルに並列にはいるので、スイッチング動作においては理想的な OFF 状態の実現を妨げ、かつ出力レベルを減少させる原因となる。演算用 MOS IC のように各 MOS FET が直結形の場合には出力レベルの減少が順次加算されるため動作下限電圧の上昇をきたすので、寄生チャネルの存在は有害である。また寄生チャネル効果はステム内の相対湿度によって変化するもので、動作温度によっても影響を受けることになる。このように寄生チャネルの生成は好ましくない現象であるので、MOS IC の高信頼度化にあっては、次のいずれかの方法、またはそれらを組み合わせることによって、寄生チャネルの生成を防止することが必要である。

- (i) オフセット・ゲート部分の SiO_2 層を厚く ($10,000 \text{ \AA}$ 以上) する (寄生チャネル形成部分の V_{th} を高くする)。
- (ii) 金属電極膜が SiO_2 層をじゅうぶんおおうようにし、オフセット・ゲートをなくす。
- (iii) $R \square$ を低下させないように、封止のときにステム内部のふんい気の相対湿度を低くする。
- (iv) SiO_2 表面をそ水性にする。

なお寄生チャネル効果は、酸化膜の生成条件や処理の仕方によって異なるものと予想されるが、これらの点に関してはさらに検討を要する。

表1 B T 試 験 結 果

品 種	1,000 時間以上の長期試験		100 時間の大量短期試験	
	試験量(IC個×h)	不良数 (個)	試験量(IC個×h)	不良数(個)
HD 701 M	1.32×10^5	0	4.3×10^5	0
703 M	2.0×10^5	0	0.6×10^5	0
704 M	1.7×10^5	0	0.4×10^5	0
705 M	1.0×10^5	0	0.5×10^5	0
706 M	1.5×10^5	1	0.6×10^5	0
707 M	1.5×10^5	0	3.3×10^5	0
708 M	1.2×10^5	0	0.6×10^5	0
710 M	1.0×10^5	0	0.5×10^5	0
712 M	1.0×10^5	0	0.6×10^5	0
合 計	1.8×10^6	1	1.14×10^6	0

表2 高温放置試験結果

品 種	試 験 数	不良数
HD 701 M	226	0
703 M	60	0
704 M	408	0
705 M	30	0
706 M	75	0
707 M	104	0
708 M	150	0
710 M	38	0
711 M	44	0
712 M	50	0
合 計	1,185	0

表3 高湿放置試験結果

品 種	試 験 数	不良数
HD 701 M	59	0
703 M	30	0
704 M	30	0
705 M	30	0
706 M	30	0
707 M	50	0
708 M	30	0
710 M	30	0
711 M	20	0
712 M	30	0
合 計	339	0

3. 信 頼 度 デ ー タ

信頼度データは、それによってFieldにおける信頼度（具体的には Failure Rate）が予測できるものでなければ価値は薄い。理想的には実使用状態に対する強制度がはっきりわかっている強制寿命試験のデータが最も有効である。しかし MOS IC そのものの歴史も浅く強制寿命試験法の確立は今後に残されている問題である。強制度がはっきりしていない強制寿命試験は最悪の場合、強制度が1以下つまりFieldで出る不良を見逃すような試験になる場合もあり、そのようなおそれのある信頼度データは非常に価値が薄い。MOS IC の場合にはトランジスタなどに比べ複雑な劣化のメカニズムが予想されるが強制度が1以上であることが確実に視できる寿命試験を行なっている。

- (1) 通電連続動作試験であり、かつ試験回路は実使用状態と酷似したものを用いる。
- (2) 周囲温度を最大動作保証温度（この場合 70℃）にする。
- (3) 動作の確認および主要特性の測定は寿命試験器にて連続動作試験中、電源を off することなく随時行なうことを可能とする。

（上記(1)～(3)を兼ね備えた試験を今後便宜上 BT 試験 (Bias Temperature の略)と呼ぶ。）

ほかの品質についても同様の試験回路を品種別に異なったものを用いている。このほかに通常半導体素子で行なわれている 150℃ の高温放置試験（無通電）、40℃、95% の高温高湿放置試験、-65℃ 低温放置試験、および各種の機械的熱的、環境試験を行なっている。

(1) B T 試 験

各種の BT 試験で現在までに得られた結果を一覧表にして示したのが表1である。これによると不良は HD 706 M にて発生した不良1本（レベル不良）のみであり、この1本のみを全試験量で割った Failure Rate は 60% 信頼度限界で 3.1×10^{-7} となる。本試験が 70℃ にて行なわれていることは、現在の用途である卓上形会計機がほとんど室温で使用されていることを考えると、強制度はかなり高いことが予想され、実際の市場においては 10^{-8} のオーダーが期待される。

(2) 高温放置試験

MOS IC の最大保存温度である 150℃ に無通電で 1,000 時間放置する試験である。表2はその結果を示したものである。最大保存温度は絶対最大定格であることを考えると満足すべき結果である。

(3) 高湿放置試験

40℃、95% の高湿中に無通電で 1,000 時間放置する試験である。表3はその結果を示したものである。

以上が日立製作所武蔵工場で得られている MOS IC に関する信頼度データのおもなるものである。この結果から信頼度に不安を覚えるような点は見あたらない。目下、市場での Failure Rate と工場内のデータを結びつけていきつつある。

なお上記の信頼度試験は人体の静電放電はじめ、過電圧印加についてはじゅうぶん注意して行なわれている。したがって過電圧によるゲート破壊不良の発生はほとんど考えられないし、事実そのような不良は発生していない。しかし機器組立メーカーにおいては、かなり注意して取扱われているようではあるが、人体の静電放電などの過電圧印加をある程度覚悟せざるを得ない。しかし顧客における実績を見てみると製造全過程におけるゲート破壊の不良率は約 0.1～0.03% 程度でありほとんど問題にならない。ゲート破壊保護構造の採用と、取扱法に関する PR の効果によりさらに減少しつつある。End User におけるゲート破壊不良については今後のデータ集積に待たねばならないが、現時点では無視し得るほどの低率である。

4. 結 言

MOS IC は半導体応用の分野で非常に難解とされている表面現象を積極的に利用した素子という印象が強い。しかし、その後の研究によりシリコン酸化膜の性質が明らかになり、安定化の方法が開発されたため難解な表面現象というよりも制御できる現象という認識が明確となった。ここでは高信頼 MOS IC 技術として特にゲート破壊防止と寄生チャネルの問題を取り上げ、これらの技術を採用した IC の信頼度が実用上問題のないことを示した。

最後に本 IC 技術確立にあたり、絶えず深甚なご配慮をいただいた日立製作所武蔵工場伴野工場長、佐藤開発部長、柴田 IC 部長、大野主任技師に心から感謝するものである。

参 考 文 献

- (1) F. L. Worthing: J. Electrochem. Soc. 115, No. 1, 88～92 (1968)
- (2) 高分子学会編: 静電気ハンドブック p. 274
- (3) A. S. Grove: Physics and Technology of Semiconductor Devices, Wiley (1967)

第7章

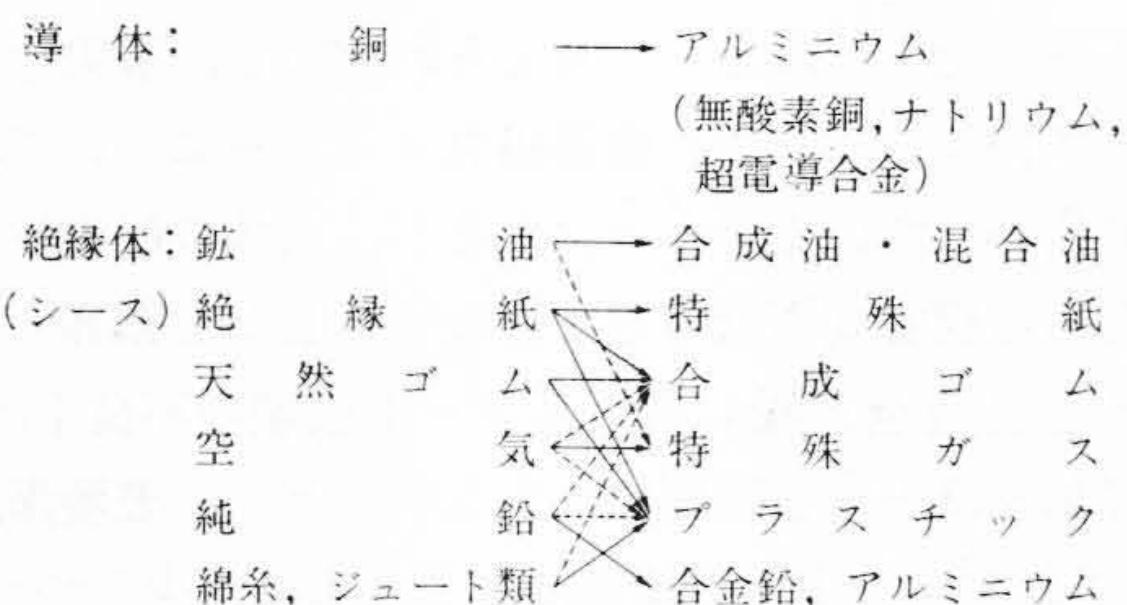
— 総 論 —

部品材料 (2)

過去、半世紀にわたる電線、ケーブルおよび伸銅品の著しい技術的進歩は旺盛(おうせい)な電気エネルギーの需要と多数の新材料の出現によるものである。

まず電力量については昭和30年代において年平均電力需要の伸び率は世界第1位の11.8%であり、現在の年間総使用電力量はアメリカ、ソ連に次いで第3位である。

一方、導電、絶縁、シースの諸材料についてもこれを改良し、また新しい材料を適用して、技術革新のテンポを早めた。その代表例として、絶縁電線および電力用ケーブルの主構成材料がどのように推移したかを下記する。



いまや、80℃で $\tan \delta$ が 1.7×10^{-3} の電力ケーブル用絶縁紙、95℃で連続使用できる合成ゴム、プラスチックケーブル、H種のポリイミド巻線、酸素含有量0.001%以下、純度99.994%の銅などが実用されるようになった。

顧みると日立電線株式会社は大正7年創業以来、戦前、戦後を通じて急激な日本経済の変動と歩みをともし、日立創業の精神を旨とし、独自の開発力によって技術の進歩に努力してきた。終戦の混迷とあいつぐ社会不安の危機を切り抜けた昭和20年代にはビニル絶縁電線、ホルマール巻線などの製造を初めとして、逐次生産を増し、昭和29年には戦前の最盛期をしのぐまでに至った。

昭和30年代の前半は日本経済が空前の発展を示し、いわゆる神武、以来の数量景気になった。この間、日立電線株式会社は昭和31年に日立製作所より、電線事業に関するいっさいの営業譲渡を受け、日立電線株式会社として分離独立し、新鋭、日高工場の建設を断行した。同時に新材料の実用化、高性能製造機械の設置、作業管理方式の確立、ならびに総合的な研究設備の拡充を行なった。さらに急速な技術進歩の時代において、企業の生成発展のためには、技術導入もまたやむを得ないものとしてこれを行なった。すなわち高電圧電力ケーブルについては北欧リリーホルメンズ社、通信ケーブル(アルペス・スタルペス)についてはアメリカ、ウェスタン社と技術援助契約を結び特許実施権の供与、技術情報の提供を受けることにした。

これらの革新技术を基礎として、60~154 kV OF ケーブルの製造技術を次々に確立し、通信ケーブルのプラスチック化を広範に行ない、国内外にその販途を拡大した。瀬戸内海の因島一向島間

に22 kV ブチルゴム絶縁海底ケーブルを布設したり、日立製作所中央研究所と協力して計数形電子計算機を開発し、ACSR など架空送電線の張力および弛度の計算方式を確立したのもこの期間である。そして高度の品質管理を実施し、優秀な品質を安定させた結果、昭和35年には工業標準化実施優良工場として、電線業界初の通産大臣賞を受賞した。

昭和30年代の後半もまた、家庭電化の急速な進展と鉄鋼、化学、自動車などの諸産業の発展は電力消費量の急増をきたし、電線、ケーブル、伸銅品類、全部門をあげて製造に全力を注ぐと同時に次々と新技術を樹立し、記録品を開発した。昭和36年には中国—四国間横断用のアルミ被鋼より線(AS線)を完成納入、500 kV OF ケーブルの試作、400~2,500 MHz 帯マイクロ波フィードを製作した。

昭和37年には国際収支が悪化し、日本経済は総合調整期にはいった。国内需要の不均衡により景気は後退し、設備投資の削減、本格的な生産調整に追いこまれる一方、貿易の自由化に対処するための技術革新、生産合理化が強く要望され始めた。これに対して、日立電線株式会社では、西ドイツシュレーマン社より、 $2 \times 1,600$ t のアルミプレスを購入し、積極的な輸出増進を図り、シンガポール公益事業局から66 kV OF ケーブルを大量に受注したのをはじめとし、昭和37年上期には24億円の輸出実績を示した(同年度におけるわが国電線ケーブルの全輸出目標高は73億円であった)。

続く、昭和38~39年の日本経済は高度成長のひずみ是正を基調とした金融引き締め態勢となり、必ずしも急激な伸びが期待されなかったが、海外技術との競争力を強化するための企業合理化、新技術開発を続行し、土浦工場に無酸素銅の連続鋳造設備を設置し、さらに275 kV $1 \times 1,000$ mm² OF ケーブル、70 kV 1×100 mm² 架橋ポリエチレンケーブルをはじめ、シアノエチル化紙を用いた巻線、無酸素銅の中空平角導体などの記録品を製造納入した。また、当時より、通信技術の開発に力をそそぎ、ミリ波伝送用導波管、各種の同軸ケーブル、障害物探知用表面波線路、テレビ、FM用のアンテナ、フィードなどを試作、製造した。特に日立電線株式会社が開発したヒョウタン形ケーブルは各種の改良が加えられ、技術上、ほとんど理想に近いヘリカル形ヒョウタンケーブルが完成し、大量に使用されたのもこの期間である。

そのほか、配電用バイパスケーブル、高圧乾式変圧器の国産アスベスト紙絶縁ガラス巻線、ローインピーダンススター形ブスバーなどの新製品を次々に産出した。工事部門でも中国—四国連絡線工事に使用した延線車を拡張した汎用一輪延線車を作り、また、通信ケーブルのポリエチレンシース溶着機をアメリカに輸出するなど、国内の経済状態が不況であるにもかかわらず多くの技術的成果が得られた。

昭和40年代にはいるや、日立電線株式会社の技術水準はほぼ世界的なものとなったと考えられる。科学技術は日進月歩し、研究開発は企業の生産発展に対して瞬時の停滞も許されない不可欠のものとなってきた。このため、日立電線株式会社では、技術開発本部を組織化し、プロジェクト中心で、タイミングよく研究成果を製品に取り入れることにした。

他方、通信ケーブル部門ではフランスSAT社と相互技術提携を契約し、同時にバロン形細心同軸ケーブル、たるみ付市内CCPケーブルを量産化した。また、電力ケーブル部門ではアメリカGE社と化学架橋ポリオレフィン絶縁ケーブルについて技術提携するとともに、超高圧ケーブル、直流ケーブルなどに関するリリーホルメンズ社との契約期間延長など、海外他社との技術交流をますます活発にした。

世界の日立電線を目標とした独自の技術開発努力と海外技術の導入により飛躍的な技術の発展をもたらした。220～275 kVの記録的超高圧OFケーブル、POFケーブルを大量に製造、布設し、架橋ポリエチレンケーブル、新しい溶接金属シースをもったタフレックスケーブルを進出させた。また、巻線部門では180℃以上の耐熱エナメル線（ポリイミドワイヤ）はすでに実用機器でじゅうぶんな真価を発揮し、さらに大形電気機器の分野に向かって伸びている。通信ケーブル部門では画期的な特性をもつ、バロン形同軸ケーブルが中、長距離のきびしい伝送特性の必要な広帯域伝送線路に広く使用され始めた。

一方、昭和40年以降、量産態勢を確立した無酸素銅は全連続溶解鑄造方式により品質の安定性を高め、きわめて多方面に応用範囲を拡げつつある。

以上の技術的成果はただちに営業活動を通じて、公共施設、電力、通信、機械その他の諸産業に多量の新製品を送り出し、日本経済発展の一助になったと確信する。図は過去約10年間における日立電線株式会社生産実績の推移を示したものである。

かくして、日立電線株式会社は現在、資本金75億円、電線、日高、土浦、豊浦の四工場と総合研究所を有する態勢となり、いっそう技術の進歩に努力している。

いまや、電線業界も生産量46～47万t、売上げ金額3,600～3,700億円となり、日本工業界の10指に数えられるようになったが、他方、資本の自由化を控え、海外企業と競争し得る技術開発力を強化しなければならない情勢にある。幸いにもわが国電力需要は引き続き増大することが予想されており、日本電力調査会(EEI)では昭和41～47年間の年平均増加率は9.0%、昭和47年度の電力需要は2782億4200万kWhと想定している。

これら現実に対処し、電力関係では大容量送電、配電系統の近

代化、各種電気機器類の小型軽量化、通信関係では画像、データ伝送、宇宙通信などの技術革新が焦眉の急となってきた。

次に取り上げた技術論文は以上の課題の一つで、都心部の配電方式を近代化するために検討されているネットワーク回路の一次側20 kVのケーブルおよび付属品について開発した新技術の成果の一部である。地中配電に関する20 kV、低圧レギュラーおよびスポットネットワーク方式を欧米では古くから行なわれてきたが、わが国では緒についたばかりである。

日立電線株式会社では、ここ数年来、東京電力株式会社はじめ、各電力会社の関係各位のご指導により、配電の特殊性に応じた新製品、新技術の開発に全力を傾注してきた。この内容は20 kVケーブルおよび付属品について文字どおり革新的なもので、日立電線技術の粋を結集したものである。

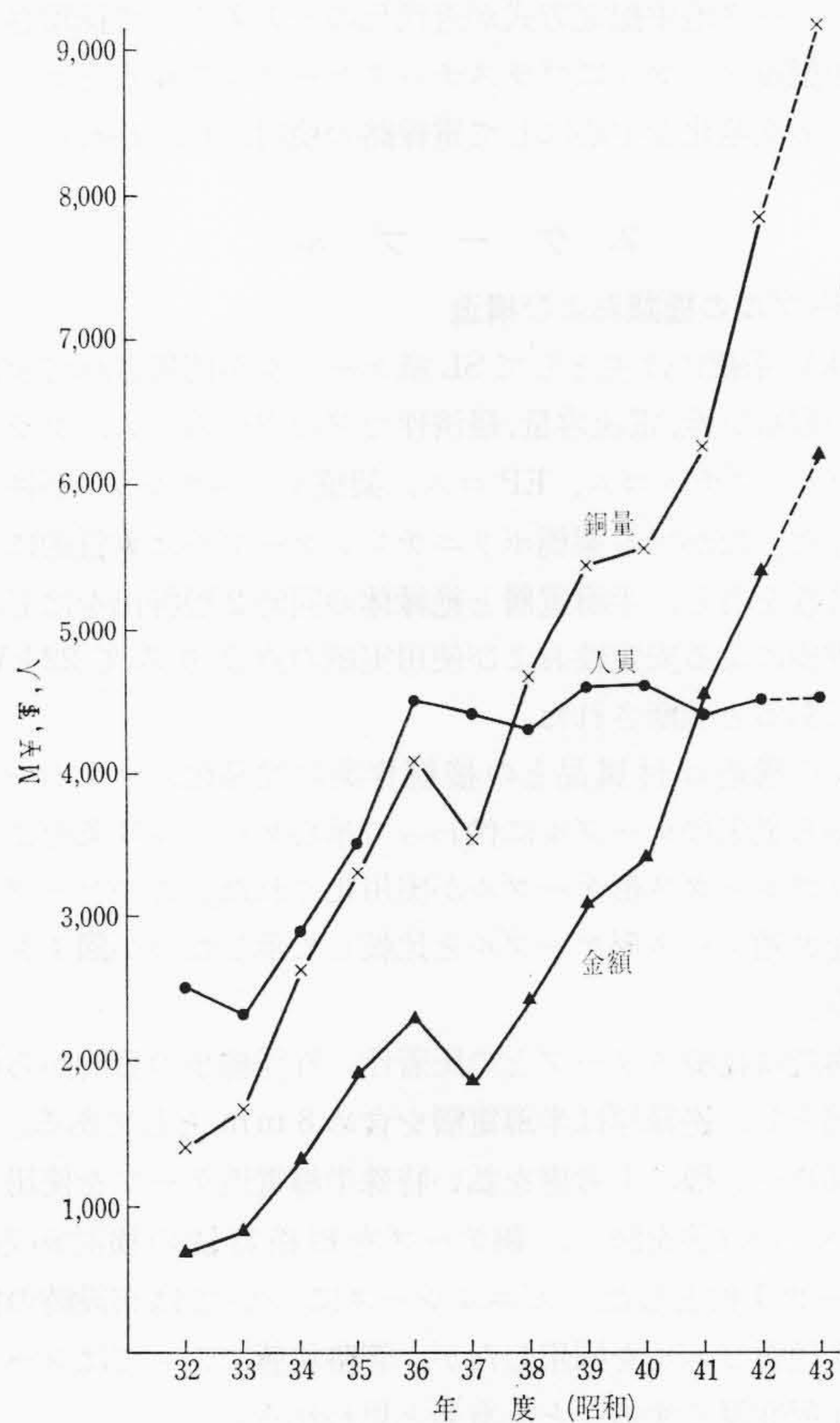


図1 最近における生産実績 (月額)

配電近代化用22kV級ケーブルおよび付属品

22 kV Power Cable and Accessories Contributing to Modernization of Distribution System

水 上 徳 五 郎* 庄 司 一 男*
Tokugorô Mizukami Kazuo Syôji
増 岡 信 雄* 依 田 文 吉**
Nobuo Masuoka Bunkichi Yoda

要 旨

本論文は電力流通機構整備の一環として配電近代化の要求に基づいて行なったケーブルおよび付属品類の開発結果をまとめたものである。配電系統の特長として分岐個所を多数必要とすることから小形簡略化したケーブル付属品の要求が強く、新方式の目標を寸法の小形化、作業の簡略化、保守の容易化などにおき、この方向に沿った製品の開発を行なってきた。まずケーブルの構造は従来の3心一括共通シースに代え、各心シースケーブルの3条より合せ形(トリプレックス形)とした。また各種付属品は共通部品の組合せによって構成するものとし具体的には導体接続はテーパスリーブ方式、絶縁処理はモールドストレスコーン方式に統一しY分岐接続部をはじめ直線接続部、異種接続部、屋内外ケーブルヘッド、機器直結形ケーブルヘッドなど各種の試作検討を行ないほぼ所期の目的を達成することができた。

1. 結 言

わが国では近年都市の過密化、郊外住宅圏の拡大に伴い、電力需要が急増し配電系統の整備が急務とされている。この配電系統は、用地取得がますます困難となりつつあること、都市近代化に伴う環境美化の要求などが強いことから従来の架空配電方式から地中配電方式へと切り換えられるすう勢にある。特に都心部の超高密度負荷地域に対しては22 kV 一次系統による低圧レギュラーおよびスポットネットワーク地中配電方式が近代化の一方策として採用され、22 kV 地中配電ケーブルにプラスチックケーブルの導入とケーブル付属品の小形簡略化を中心にして電線路の検討が行なわれた。

2. ケ ー ブ ル

2.1 ケーブルの種類および構造

従来22 kV 系統には主としてSL 紙ケーブルが使用されてきたがケーブルの取扱い性、電流容量、経済性などの点からゴム、プラスチックケーブル(ブチルゴム、EP ゴム、架橋ポリエチレン)が注目されるに至った。なかでも架橋ポリエチレンケーブルは本質的にすぐれた電気特性を有し、半導電層と絶縁体の同時2層押出をはじめ製造技術の進歩による安定性および使用実績の点よりみて22 kV 系統に最適であると判断された。

ケーブルの構造は付属品との接続作業の簡易化、マンホールの縮小などから従来のケーブルに代わって単心ケーブル3条をより合わせたトリプレックス形ケーブルが実用化された。このケーブルの構造特長を共通シース形ケーブルと比較して示したのが図1および表1である。

線心の構造は接続スリーブとの圧着性、外径縮小の目的から導体を円形圧縮とし、絶縁厚は半導電層を含め8 mm としてある。

また外部遮へい層にも考慮を払い特殊半導電性テープを使用してコロナレベルの改善を図り、銅テープを短絡容量の検討から0.1 mm 厚テープ1枚とした。ビニルシースについては布設時の損傷を考慮し半硬質ビニルを採用したが、管路状態によってはシース厚を0.5 mm 程度厚くすることも有効と思われる。

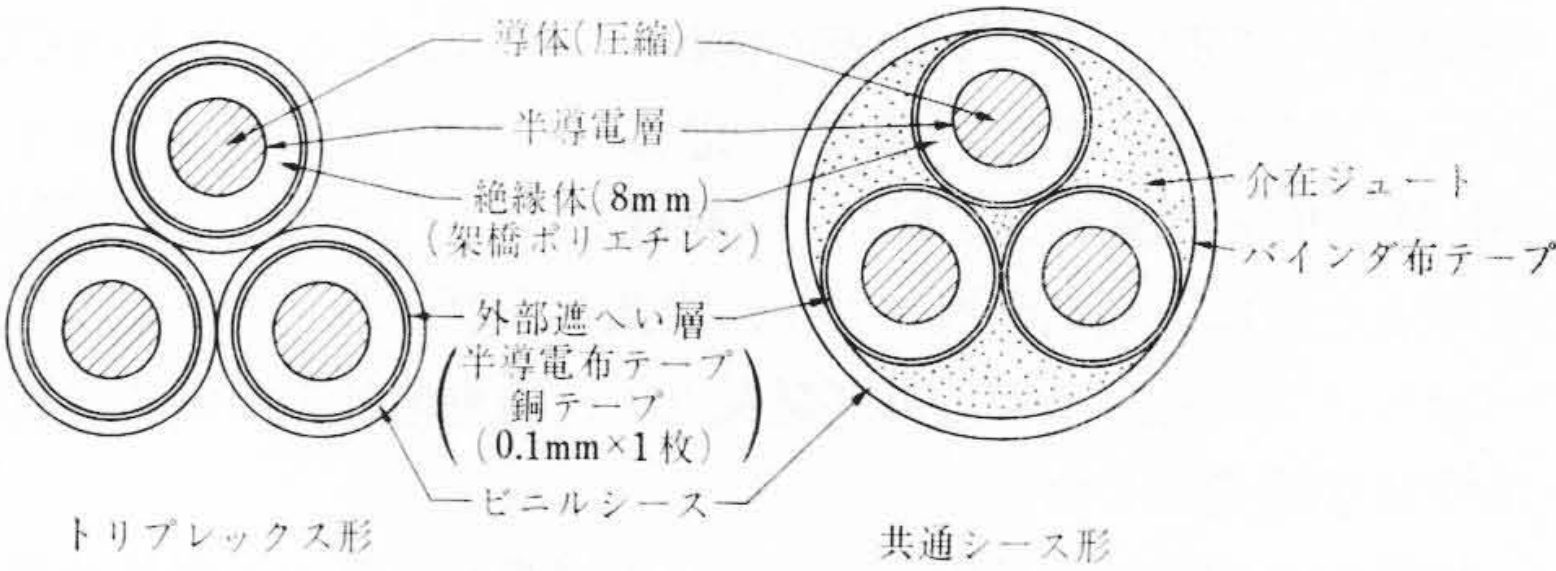


図1 ケーブル構造の概要

表1 トリプレックス形ケーブルと共通シース形ケーブルの比較

項 目	優 劣 (すぐれるほうに○印)		共通シース形ケーブルに比べた、 トリプレックス形ケーブルの特長
	トリプレックス形	共通シース形	
外 径		○	各線心共シースをもつため約4%大
重 量	○		より合せ介在が不要で約7%小
送 電 容 量	○		熱抵抗小さくV空中布設で15%以上、管路布設でも約10%大
短 絡 特 性	○		地絡事故時、線心がシースで分離されているため、相間短絡の可能性小
布 設 作 業 性	○	○	ほとんど変わりなし、約500 mの管路布設可能
マンホール内 オフセット	○		単心に分離可能、曲げ半径は共通シース形の約65%でオフセット小
管 路 内 の 熱 伸 縮	○		線心がおのおの伸縮可能、管路内で熱伸縮を吸収できマンホールへの伸び出しほとんどなし、管路口の拘束装置、伸び吸収用オフセット不要
管路口の防水		○	形状複雑で、防水装置の構造やや複雑
接 続 作 業 性	○		絶縁体接続は両者変わらないが、線心の分離が容易。線心にシースをもつため防食処理簡単
価 格	○		やや安価

2.2 許 容 電 流

トリプレックス形ケーブルの電流容量を決定するため、22 kV、200 mm² CV ケーブルを使用し共通シース形ケーブルと比較して三相通電による温度上昇試験を行なった。図2および表2はその結果の一部を示したものである。図2より同一の導体温度上昇を得る通電電流値はトリプレックス形では共通シース形の約23%増で従来ケーブルに比べ有利である。

許容電流の計算ではトリプレックス形では絶縁体およびシースの熱抵抗に単心ケーブルの式をとり、表面放散熱抵抗には3条俵積の

* 日立電線株式会社日高工場
** 日立電線株式会社研究所 工学博士

式を採用すれば表2に示すように実測値とよく一致する。

なお表2には共通シース形ケーブルについてJCS-168Bに従う計算値を併記したが、これも実測値と非常によく一致している。

2.3 短絡特性

ケーブルの短絡特性は従来主として6.6kV以下のケーブルについて検討されてきたが、22kV系統にゴム、プラスチックケーブルを使用するに当たって絶縁材料、被覆構造およびトリプレックス形という特殊構造の面から短絡特性を確認した。

今回は架橋ポリエチレンケーブル(CV)充てん剤入り架橋ポリエチレンケーブル(日立電線商品名:ポリサーモQV)およびEPゴムケーブル(PV)の3種につきそれぞれ22kV 60mm²および38mm²ケーブルで三相短絡試験を実施した。この結果いずれのケーブルも短絡時導体温度350℃未満ではわずかに振動する程度で異常は認められない。また1,000℃に達するような過酷な条件下では発煙、発火(900℃以上)や心線の一部破断、内部押出半導電層の溶け出しなどの現象が見られるが、絶縁材料の物理特性、ケーブルの電気特性にはほとんど変化がない。短絡後試料の破壊特性は図3のとおりであるが総合的にはQVが最も安定した特性を示した。また現在使用されている短絡許容温度をさらに検討する余地のあることも暗示している。

トリプレックス形の構造よりみた場合、線心のよりピッチが線心径の30倍程度では短絡電磁力によるよりの乱れが発生することから、特性および製造の許す限りよりピッチの縮小が望ましく、この点からよりピッチは線心径の20倍前後が適当と判断される。

また超高圧研究所武山研究所における試験でトリプレックス形では線心の防護が完全で、1線地絡が相間短絡に移行する可能性がなく共通シース形に比べ安全性の高いことが実証された。

2.4 引入れ実験および熱伸縮の検討

トリプレックス形ケーブルの管路布設時の損傷、挙動を22kV 200mm²CVを用いて検討した。まず曲げ半径5m、1.5mの曲管を用いた側圧試験では2,000kg/m未満での損傷、電気特性の低下は全く認められず、側圧は従来なみの1,500kg/mを許容することが実証された。

次に半径5mの45度曲り6箇所をもつ約100mの石綿セメント管路で60mケーブルを用い模擬引入れを実施した。2回の引入れで引出口張力の最大値4.6t、最大側圧1,000kg/mに達したにもかかわらずコロナレベル、交流長時間および衝撃電圧破壊値の変化は認められなかった。またよりピッチを線心径の約20倍にしたが引入れ後の全長の伸びは1%弱で両端約2mまでよりのゆるみが認められ、ほかは線心間のズレもほとんど見られなかった。中間部でのケーブル挙動およびシースの管路との接触跡からこの程度のよりピッチであれば張力は3線心に均一にかかり、張力計算は共通シース形と同様に考えてさしつかえなく摩擦係数も約0.4で一般ケーブルと同等とみられる。次に管路内のトリプレックス形ケーブルの熱伸縮を検討した。22kV 250mm²CVの見かけ上の弾性係数Eを求めたところ44kg/mm²と共通シース形ケーブルの約5,000kg/mm²に比べ著しく小さい。このEの値を用いて管路布設時伸縮量、拘束力を一般に知られている式より算出してみると約10m以上では不動域を形成し、管路口の拘束力が無い場合でも伸出量は3mm以下で、伸びを拘束するにも40kg以下の力でじゅうぶんである。また布設温度以下では共通シース形と同一のEで動くと考えられるが、500mスパンとしての収縮量も15mm以下であり、いずれの場合を考えてもオフセットは不要である。

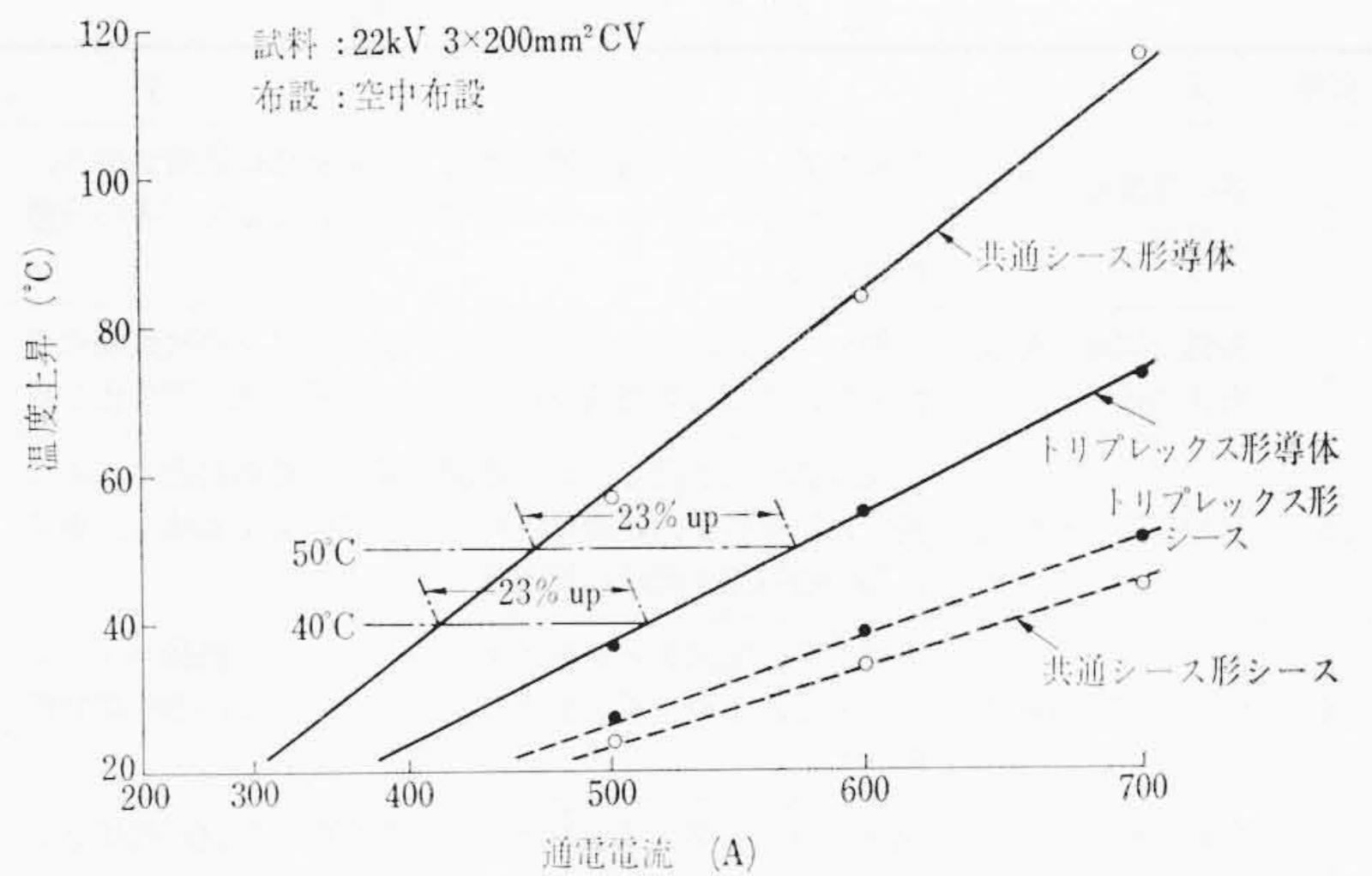


図2 ケーブルの通電による温度上昇特性

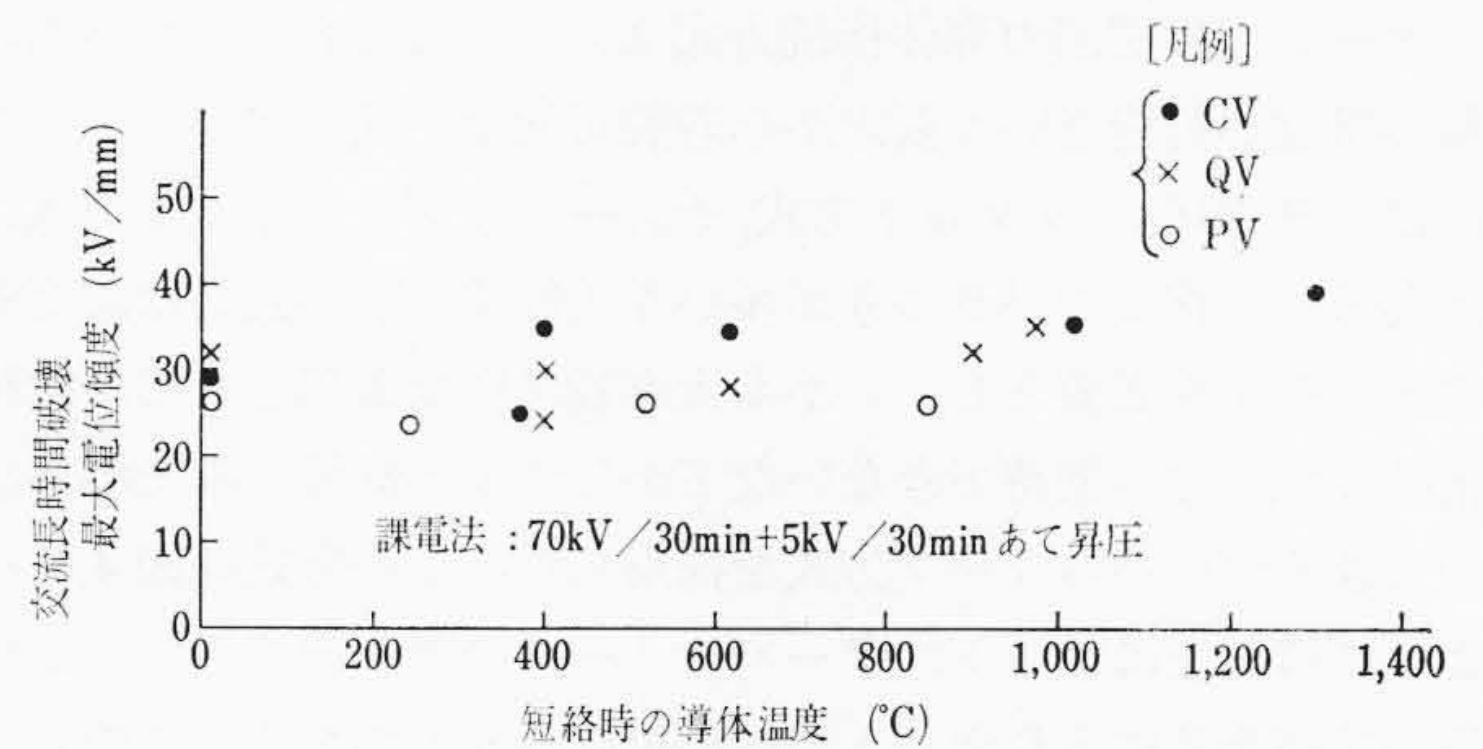
表2 22kV 3×200mm²CVの熱抵抗

	電 流 I (A)	導体の発熱量 W (W/cm)	導体の 温度上昇 T ₁ (°C)	全熱抵抗 R _{th} (°C/W/cm)	シース表面 温度上昇 T ₃ (°C)	表面放散 熱抵抗 R ₄ (°C/W/cm)	絶縁体および シースの 熱抵抗 R _{th} -R ₄ (°C/W/cm)
トリ プレ ッ ス 形	500	0.708	37.0	52.3	27.0	38.2	14.1
	600	1.063	55.0	51.8	39.3	37.0	14.8
	700	1.555	72.8	46.8	51.3	33.0	13.8
	計算値*	—	—	52.8	—	32.0	20.8
共 通 シ ー ス 形	500	0.745	56.3	75.5	23.5	31.6	43.9
	600	1.166	83.5	71.7	34.5	29.6	42.1
	700	1.743	116.5	66.8	44.9	25.8	40.9
	計算値**	—	—	75.5	—	32.9	42.6

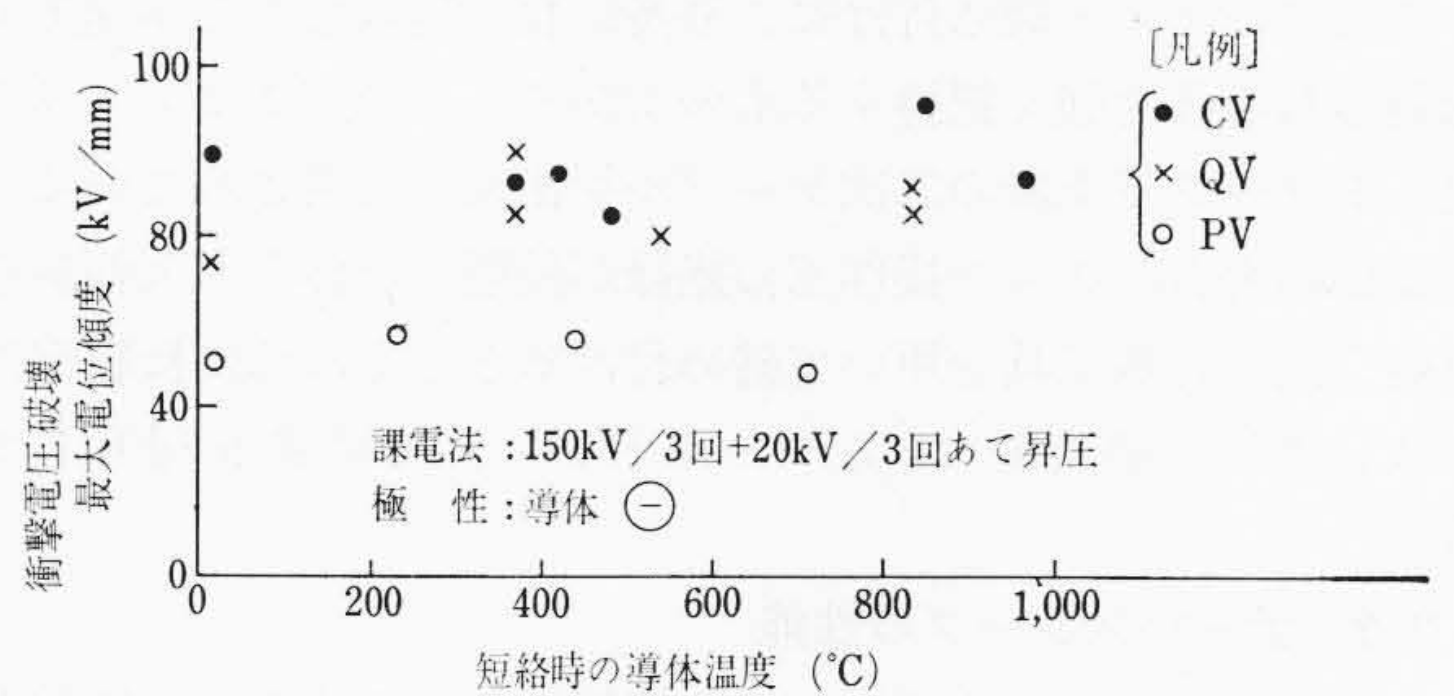
(注) $W = n r_0 \{1 + \alpha T_1\} \pm 2$ (n : 線心数, r_0 : 気温での導体抵抗, α : 温度係数)
 $R_{th} = T_1 / W$
 $R_4 = T_3 / W$

*: 絶縁体, シースは単心ケーブル, 表面放散は3条俵積として計算

**: JCS-168B による



(a) 交流長時間破壊最大電位傾度の変化



(b) 衝撃電圧破壊最大電位傾度の変化

図3 短絡による破壊特性の変化

3. ケーブル付属品

3.1 開発品の特長

新方式の目標を寸法小形化, 作業簡略化, 保守容易化に置いて製品の開発を行ってきた。これら付属品の特長を表3に示す。

基本的な特長はテーパスリーブを用いた導体接続方式とモールドストレスコーンそう入絶縁方式である。

表3 開発付属品の特長

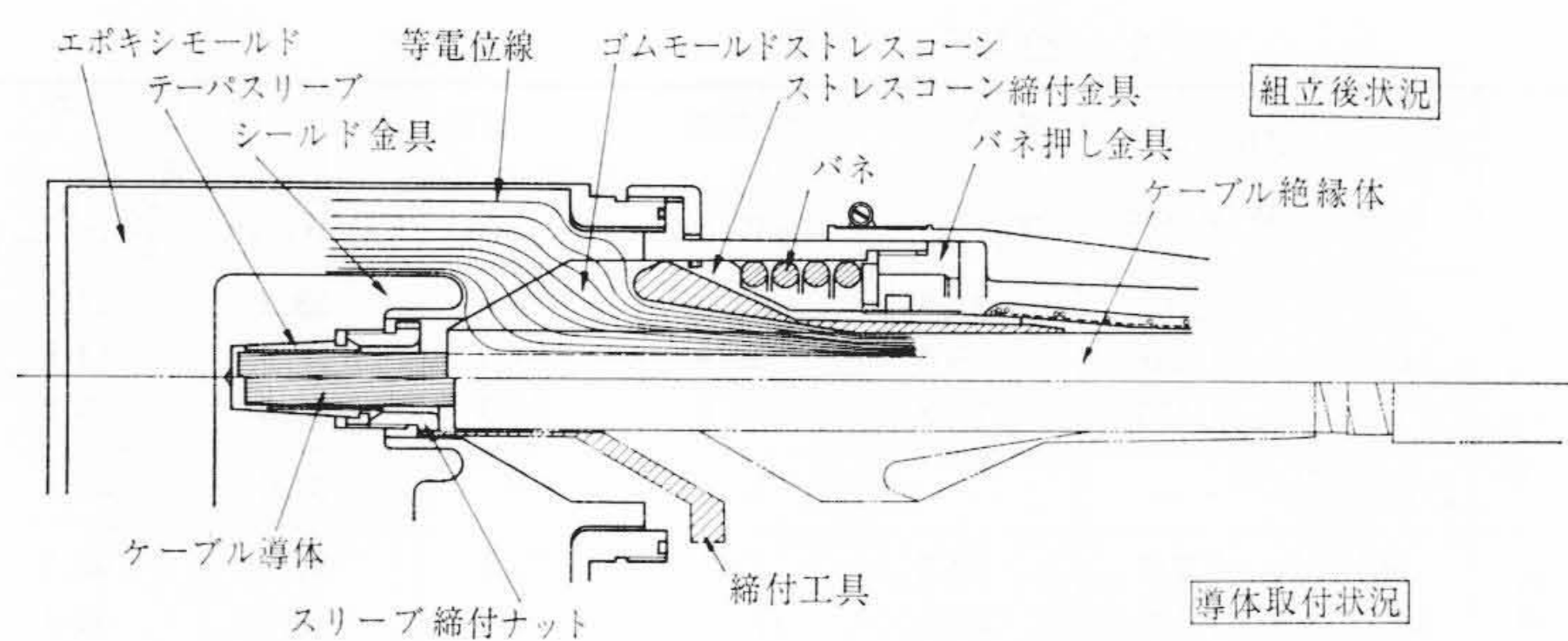
項番	項目	内容
1	各心分離接続方式の採用	従来の3心一括共通保護箱方式では小形化に限度があり、ケーブルをトリプレックス化するとあいまって、各心分離接続方式とした。
2	各種付属品の処理方式の統一	直線接続、分岐、ケーブルヘッドなどすべての付属品の導体接続、絶縁処理方式を同一とし、部品も統一標準化した。
3	現地作業の単純化	作業に長時間を要し、かつ熟練を要した導体接続のはんだ揚げ、圧縮作業、絶縁処理のテープ巻作業を省略し、単に部品の組み立てだけに簡易化した。
4	作業時間の短縮化	主要部分の部品化とともにケーブルヘッドの絶縁コンパンドをあらかじめ工場で封入しておくなどして作業時間を短縮した。
5	分解再組立の可能化	保守点検を容易とするため接続部を分解再組立が可能とした。

表4 ストレスコーン接触面のせん絡特性および接触面圧

角度 (度)	接触面の長さ (mm)	接触面AC破壊特性 (kV/mm)	接触面圧** (kg/cm ²)
45	28.3	3.18	1.62
30	39.2	3.32	0.81
15	70*	0.46*	0.22

* 6 kV 用のデータ

** バネ荷重は 120 kg で計算した。



注：図の中心線より下側は締付け工具により導体締付けスリーブを取り付けている状況を、上側は正規に組み立てた状態を示す。

図4 そう入式接続部原理図

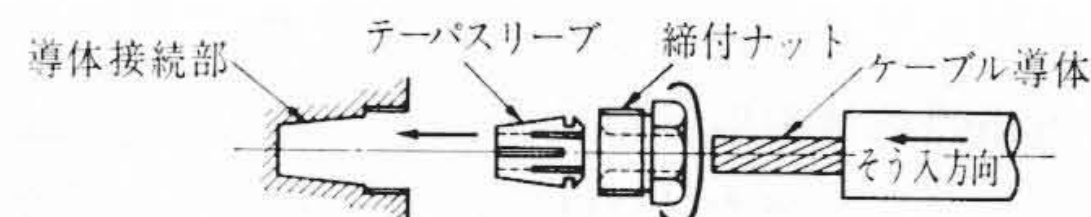


図5 テーパスリーブの把持力、電気抵抗

3.2 導体接続方式

3.2.1 導体接続部の構造

ケーブル接続部の導体接続方式は保守点検を容易にするため分解再組立が可能という要求から着脱可能な方式を検討した。これにはプラグピン-ソケット方式、チューリップコンタクト方式などがあるが、作業のバラつきが多いうえ作業時間が長いのはんだ揚げや圧縮作業を必要とし、しかも大容量導体接続部としての機械的把持（はじ）力が期待できないなどからナット締付のみで導体接続ができるテーパスリーブ方式を採用した。この方式は図4に示すように導体上にナット、テーパスリーブの順にそう入し、これを導体接続金具に入れナットで締め付けるものである。このスリーブは外面にテーパがついており、また長さ方向にみぞがはいっているため、ナット締め付けにより奥に食い込みながら半径方向に圧縮され導体を強く把持するものである。この方式はアメリカのネットワーク変圧器の二次ケーブル引出部に実用されているが、高電圧の場合はナット操作部の絶縁が問題で導体そう入側から分解組立式の特殊工具を用いて締め付けるとともに導体接続部外周にはいずれの場合も大きなシールドリングで電界を緩和している。

3.2.2 テーパスリーブの性能

テーパスリーブの性能としては接触抵抗、把持力が特に重要であるが、これはテーパの角度、ナット締付力に左右される（図5にその特性を示す）。こう配が小さくなるに従い抵抗は減少し把持力は増加するが逆にスリーブの長さを長くしなければならない。把持力の目標値をケーブル熱伸縮による挫屈力を約200 kgの3倍（600 kg）とするとテーパ1.33/10、締め付トルク700 kg-cmが標準となる。

また導体接続部のヒートサイクル試験も行なったが定格温度上昇にて500回くり返し後も電気抵抗、把持力ともにほとんど変化せず、しかも絶対値は導体自身の約90%であり実用上余裕を持

っていることが確認できた。

3.3 絶縁接続方式

シールドリングおよびストレスコーンの形状、相互位置などから絶縁特性の要点である両者の圧着面の電界分布を改善し特性の安定と寸法縮小化を図った。電界の集中するシールドリングの表面の絶縁は電気特性のすぐれたエポキシ樹脂モールドによりまたケーブル遮へい端の絶縁補強はモールドストレスコーンをケーブルにそう入することにより行なわれる。CVケーブルではゴムモールドストレスコーン（絶縁ゴムと一体にモールドされた導電ゴムでベルマウスを形成）をエポキシ成形部に圧縮し、通電ヒートサイクルによるストレスコーンの伸縮を吸収するため、バネを用いて一定圧力で加圧する（図4参照）。SL紙ケーブルではエポキシモールドストレスコーン（ベルマウスは導電ペイントで形成）とエポキシ成形部間に絶縁コンパンドを充てんする。

これら接続部のうちCVケーブルの場合の絶縁方式の検討結果を以下に述べる。

3.3.1 ストレスコーン接触面角度

ストレスコーンそう入方式において接触面の角度は電氣的強度、寸法決定のうえで重要な点である。表4は接触角度とせん絡電圧の関係を示したものである。接触面の長い（角度15度）場合でも単位長さ当たりの破壊電圧はあまり上昇していない。これはエポキシ樹脂-ゴムの組合せでは角度を小さくして接触面を長くすると面圧が小さくなり密着度に問題が出て接続部全長も長くなる。そこで接触面の長さは短いが適当な面圧が得られ、電氣的にもじゅうぶん安定した性能を示した30度を採用した。

3.3.2 ストレスコーン加圧力

本絶縁方式はエポキシ成形部にゴムモールドストレスコーンをバネで加圧し圧着するのを基本としており、バネの荷重が電氣的強度に大きく影響する。またストレスコーンとケーブル絶縁体とのギャップが性能上特に重要であるためケーブル外径に対するス

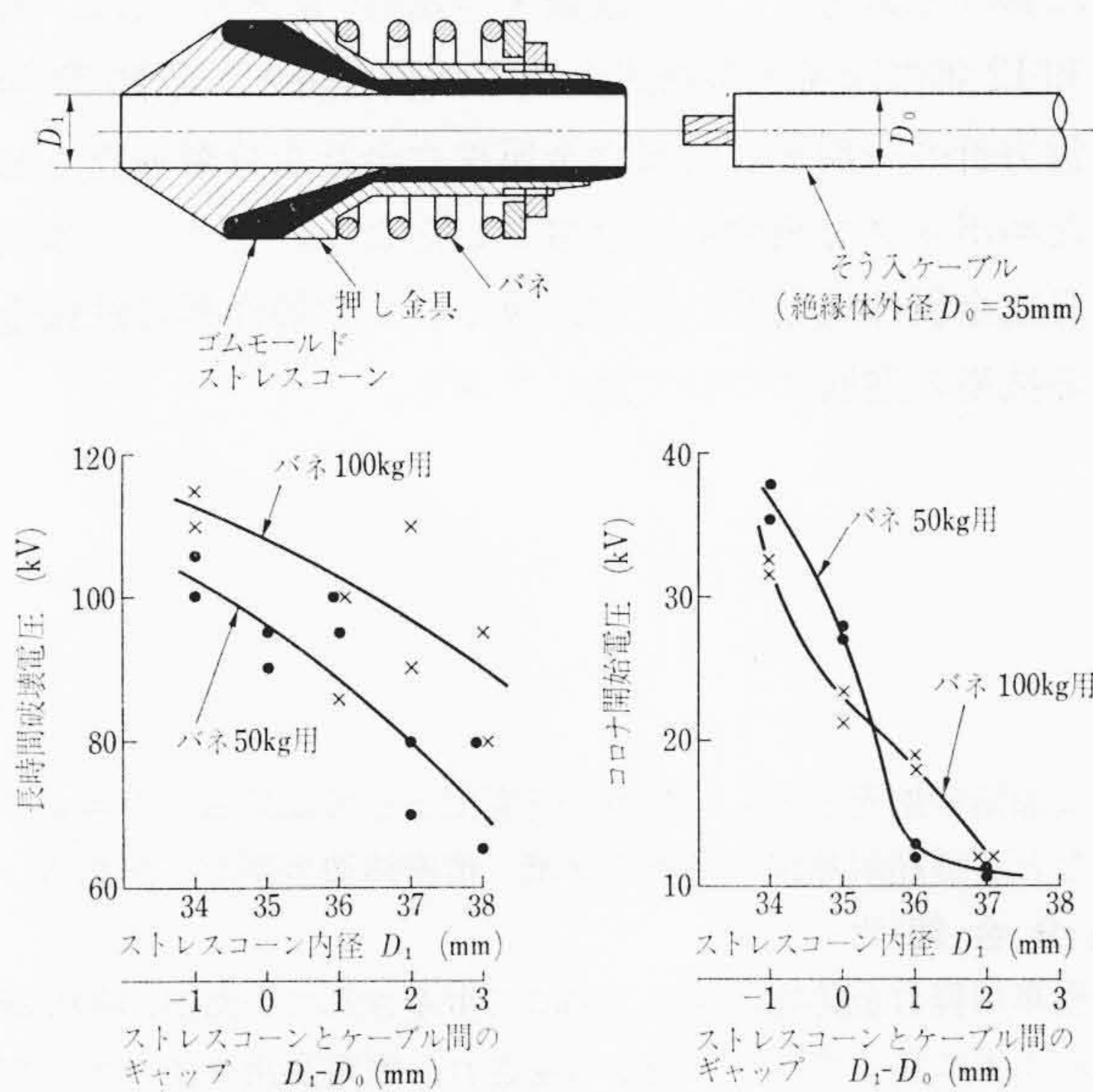


図6 ストレスコーン内径による接続部のコロナおよび交流長時間破壊電圧特性

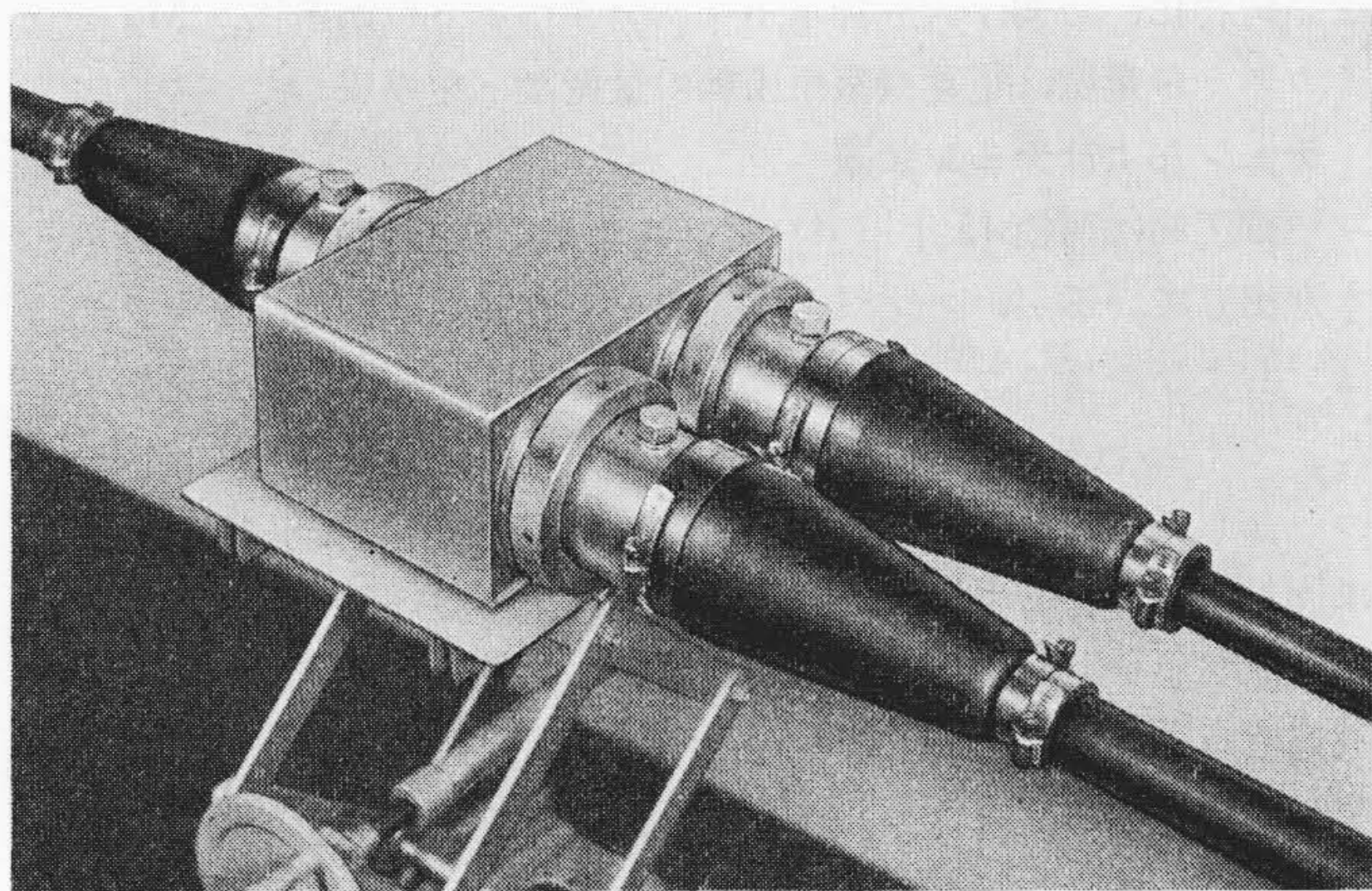


図7 22 kV 架橋ポリエチレンケーブル用 Y 分岐接続部の構造

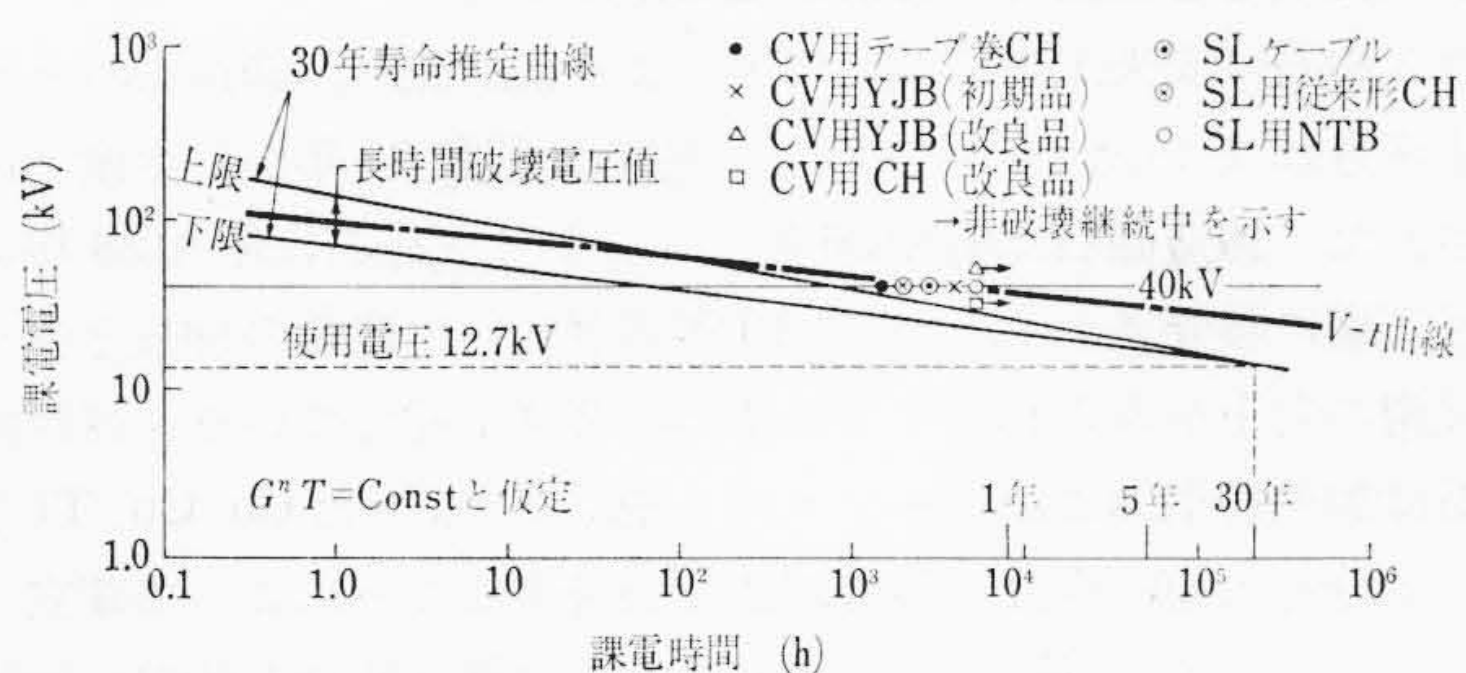


図8 各種接続部の寿命推定曲線

トレスコーンの適切な内径寸法およびバネ荷重の選定が必要である。図6に接続部のコロナおよび交流長時間破壊特性を示す。

3.3.3 ケーブルヘッド充てん混和物

ケーブルヘッドのがい管内壁とケーブル表面間の空間は吸湿によるせん絡防止のため絶縁混和物の充てんが必要である。従来行なわれていた絶縁混和物の現地充てんを省略するため工場であらかじめストレスコーンなどを取り付けたまま半流動性の絶縁混和

表5 各種付属品の電気特性

試験別		交流長時間破壊特性	衝撃電圧破壊特性
項目			
22 kV 配電系統必要特性		$\frac{22 \text{ kV}}{\sqrt{3}} \times 3 \times 1.15 = 44 \text{ kV}$	BIL 150 kV $\times 1.2 = 180 \text{ kV}$
架橋ポリエチレンケーブル用	Y 分岐接続部	110~120 kV ケーブル部	330~390 kV ケーブル沿面, ケーブル部
	直線接続部	100~120 kV ケーブル沿面, ケーブル部	300 kV 良
	屋内用ケーブルヘッド	95~100 kV 表面せん絡	190~230 kV 表面せん絡
	屋外用ケーブルヘッド	100~130 kV 表面せん絡	230~240 kV 表面せん絡
	機器直結ケーブルヘッド	100~110 kV ケーブル沿面	310 kV ケーブル沿面
SL紙ケーブル用	Y 分岐接続部	90~110 kV ケーブル沿面	280~320 kV ケーブル沿面
	直線接続部	90~115 kV ケーブル沿面	280~300 kV ケーブル沿面
	機器直結ケーブルヘッド	90~100 kV ケーブル沿面	200~380 kV ケーブル沿面
SL-CV 異種接続部		95~100 kV SLケーブル沿面	280~330 kV ケーブル沿面

物を充てんしておき、ケーブル導体に導体引出棒を取り付けたのち、下部からそう入するだけでよくきわめて短時間に作業ができる。

以上の考え方に基づいて開発した付属品の代表例として Y 分岐接続部の構造を示したのが図7である。

3.4 特性および実証試験

3.4.1 初期特性

以上の各種付属品はその導体および絶縁方式をすべて同一方式としており、その部品はすべて工場で特性検査済のものを使用するので特性はきわめて安定している。表5はおもな特性を示したものであるが、20 kV 級としてはじゅうぶんな裕度がある。

3.4.2 長期実負荷試験

これら開発品については実用性を比較的短期間に確認するため常規大地電圧の 3.1 倍に相当する AC 40 kV の連続課電と 200 mm², 250 mm² のケーブル接続部に対して 400 A の負荷サイクルを与える実負荷試験を昭和 42 年初から実施している。図8は寿命特性であるが、従来品のケーブル接続部の破壊時間に対して開発品は長く、少なくとも同等以上の性能を保証できると考える。

4. 結 言

以上 22 kV 地中配電用ケーブルおよび付属品について述べたが、これらプラスチック絶縁トリプレックス形ケーブルおよび新方式付属品はすでに 22 kV/低圧ネットワーク配電線路に一部実用化されるとともに、22 kV 一般地中送電線路用にも実用されつつある。また超小形化されたコンパクト変電所用機器直結接続部などの変電部門にも応用されている。

なお本報では 22 kV 級についてのみ述べてきたが、これらケーブルおよび付属品の新技術は、100, 200 V 低圧用、6 kV 用にも 30 kV 級、60, 70 kV 級にも適用されている。これらについても別報する予定である。

終わりにこれらの開発に当たり終始ご鞭撻(べんたつ)いただいた東京電力株式会社はじめ各電力会社ご関係各位、種々ご協力いただいた日立製作所および日立電線株式会社関係者に謝意を表する。

第 7 章

— 総 論 —

部品材料 (3)

■ 日立金属株式会社における鉄鋼金属製品の動向

黒心可鍛鉄

この 10 年間のわが国自動車産業の進展は著しく、今やアメリカに次いで世界第 2 位を占めるに至った。自動車用可鍛鉄を主体とする日立マレブルは戸畑、深川両工場で生産しているが、各部門で設備の合理化、流れの合理化が行なわれた。鑄造作業は自動化が強力に進められ、熱処理作業はふんい気調整式連続焼鈍炉が完成し、黒心可鍛鉄、高力可鍛鉄ともに時間短縮、品質向上に寄与した。そのほか各部門に新鋭設備を導入することにより、この 10 年間に生産能率は約 3 倍に向上した。昭和 41 年 2 月より対米輸出が本格化し、現在月間千数百トンに達している。

〇印管継手・バルブ類

桑名工場における生産性向上、製造設備の合理化、新技術の開発は各方面において著しいものがあり、進展する配管業界に寄与するための新製品も数多く開発された。連続造型設備はいよいよ高能率化し、シェル中子機は増設され、焼鈍および鑄仕上量産ライン、ねじ切り作業の無人化オートラインなども完成した。マレブルバルブも各種の 20 kg/cm^2 バルブ、 10 kg/cm^2 バルブ、汎用バルブを製造し好評を博した。このほかハイパワージョイント、ガスメータ継手、ビニコート継手などが開発された。

ロ ー ル

最近 10 年間のわが国鉄鋼業の発展はめざましいものがあり、今やアメリカ、ソ連に次いで世界第 3 位となった。この間圧延技術の進歩、圧延機の大形化に対処して新しいロール材の開発改善、ロール大形化に対する製造技術の改良、設備の合理化による生産性の向上が行なわれた。これを品種別にみると、アダマイトロールの生産量は飛躍的に増大し、若松工場では 10 年前の 10 倍、月 $1,000\text{ t}$ 以上を生産している。これは大形形鋼ミルの増設、ホットストリップ仕上前段用、粗スタンド用のようにその適用分野を広めたからである。若松工場の主力製品であるホットストリップ仕上後段用高合金グレンロールは改善に努力の結果、圧延成績で 30% 向上した。また従来鑄鍛鋼ロールの分野であったテンパーおよびスキンプスロールにも適用され好成績をおさめますます需要を高めている。ダクタイルロールについては業界に先がけて大形分塊ロールに適用し、材質改善と相まって鑄鍛鋼ロールの 2~3 倍の圧延成績をおさめている。

特 殊 鋼

安来工場では高級特殊鋼の開発および加工度を上げたみがき帯鋼、みがき棒鋼、機械加工品ならびに精密鑄造品の開発、生産確立に力をそそぎ、成果をあげた。設備面では海綿鉄製造設備、大形鍛造プレス、プラネタリーミル、センジミア 20 段冷間圧延機を初めとする各種冷間帯鋼圧延設備、各種みがき棒鋼設備ならびに大形機械加工機を設置して生産性の向上、合理化を図った。この

日立製作所における素材としての鉄鋼・金属部門については、大別すると、昭和 12 年の国産工業株式会社の吸収合併と、昭和 31 年日立の総合経営方針の一環として日立金属株式会社を分離独立させたことが大きなエポックを画するでき事といえよう。そこで、本論においては、日立金属株式会社の成立以後と、日立製作所の鉄鋼金属加工における技術の進展について論じてみる。

ような設備の拡充とともに製品の高度化としてはジェットエンジン用など各種超耐熱鋼、高級工具鋼、精密鑄造金型などがある。

軽合金鑄物

自動車用軽合金鑄物は深川工場にて生産されていたが、昭和 36 年熊谷工場に移ってから一段と増産され、家電品用ダイカスト部品、一般車両部品そのほか広い分野に及んでいる。ダイカスト品、金型品、砂型品いずれも生産しており、わが国における屈指の軽合金鑄物工場に発展した。この間インターマニホールドの金型鑄物化、防衛庁大形特車用シリンダヘッドの国産化、Mg ダイカストの量産、電算機室用床板の量産などを達成した。

チェーンおよびチェーン装置

戸畑工場は明治 45 年以来マレブルチェーンを生産し広く海外にも進出しているが、コンベヤ用スチールチェーン、動力用ローラチェーンおよびsprocketのほかに各種チェーン装置の製造を始めた。これら新製品はすでに輸出までしており、総合チェーンメーカーとして確固たる地位を築いた。これら新製品は昭和 41~42 年に熊谷工場に移管され、いっそうの進展をみている。チェーン装置はマレブルチェーン使用の水処理装置を主体として始まったが、製鉄用重コンベヤにのび、穀物や化学工業用、製糖工業用の原料や製品を輸送するばら物コンベヤその他一般工場用コンベヤとして需要分野を拡大している。さらにばら物で輸入される穀物、飼料原料、木材チップなどの港湾荷役サイロ設備や飼料製造設備にまで発展している。

永久磁石など磁性材料および磁石応用機器

永久磁石は安来工場において早くより鍛造磁石、鑄造磁石として生産されていたが、フェライト磁石は昭和 34 年から生産が開始された。鑄造磁石は昭和 36 年、フェライト磁石は昭和 38 年に熊谷工場に移管された。この 10 年間著しい生産量の伸長と多くの技術の向上がみられ、すでに業界第 2 位に達している。高性能磁石は加熱鑄型およびゾーンメルト法により、また Co, Cu, Ti などの成分を大幅に検討し熱処理法を改善することによって確立された。フェライト磁石においても異方性の製造技術を確立し回転機用として大きく進出した。昭和 36 年以降開発販売のゴム磁石は電気冷蔵庫に多く用いられている。ソフトフェライトは昭和 41 年に日立化成工業株式会社より移管されテレビ用 DY, FBT その他を生産している。一方安来工場において電磁軟鉄、ステンレスバネなどが開発され通信機に使用されている。磁石応用機器は昭和 38 年に、開発されて以来大容量クーラントセパレータ、つり上形磁選機、全自動鋼板搬送装置など斯界の記録品を製作した。

■ 日立製作所における鉄鋼・金属の加工技術の動向

製鋼および鑄造

火力、水力のほか原子力が加わり、ますます機器の大形化と高

性能化が進み材料の開発と製造技術とが高度の進展をみた。その例に、出力 600 MW タービン用ケーシングあるいはアメリカサンルイス納め 18-8 鋳鋼製水車ランナなど、重量 50 t に達する大物鋳鋼品を初め多数の一体構造 13Cr 鋳鋼製ペルトンバケットランナや原子炉関係の圧力容器材がある。またロールの製造においては、黒鉛鋼ロールや高耐摩耗セنجミアロールの新製品を生んだほかスリーブ組立式補強ロール製造法を確立するとともに、厚板用補強ロールは年々その単位重量を更新し昭和 42 年には単位重量 145 t に達する超大形ロールを製造するなど進歩の跡が顕著である。鋳造技術の新しい進歩をもたらした N-プロセスは日立社内に止まらず社外への普及もめざましく、流動造型作業の確立によってその真価が発揮された。また、鋳造の機械化、自動化などの合理化によって鋳物工場の近代化が進んだことや鋳鉄丸棒の連鋳による製造は見逃し得ないところである。

溶 接

自動化率の向上は著しく特に量産、非量産を問わず顕著であった。重機械工場においてはエレクトロスラグ溶接、バンドアークによる肉盛溶接、摩擦溶接あるいは片面自動溶接や、溶射による表面処理などの新技術が意慾的に実施された。また旭化成工業株式会社との共同開発による爆発圧接法やサブアージ溶接におけるボンドフラックスの発明などは日立独自の技術として高く評価され、特に前者は化学機械において信頼度の高い高温高压容器の

製作に、後者はステンレス鋼に限らず高合金鋼および低合金鋼全般の溶接にも応用された。溶接構造物としては羽田—浜松町間のモノレールの曲線軌道製作におけるナライ溶接や、川崎重工業株式会社納め 200t ガントリクレーンなどが記録品としてあげられる。

研究および開発

原子力平和利用の National Project に当初から参画し、研究炉から出発し動力炉に至る構成材料はもちろん核燃料も含め溶接ならびに非破壊検査法の諸問題に取り組み、その技術的成果は原子炉の製作のみにとどまらず各種機器の製作にも応用された。MHD 発電に関連して超電導磁石に使用する超電導線用 Nb-Zr-Ti 合金を発明し、さらに線を銅中に埋め込んだストリップの量産技術の確立をみ、45 kG 超電導磁石の製作に着手するなど将来の MHD 発電への態勢を固めることができた。一方、電子工業のめざましい進展と変遷、計測器などの進歩に伴って新しい性能を有する材料の要望に答えるため技術の高度化は必至であった。すなわち、電子衝撃溶解、浮揚溶解などの新溶解技術に加え、衝撃加工機、交流駆動 20 段圧延機などの完成と相まって銅合金バネ、ステンレスバネ、特殊な磁性材料および抵抗材料、恒弾性材料、接合材料などの新材料が数多く開発され、成果として見るべきものが多数あげられる。

ヤスキ海綿鉄プラントの完成と特殊鋼の品質向上

Materializing of the Yasuki Sponge Iron Plant and
the Quality Level-up of the Yasuki Special Steels

中 村 信 夫*
Nobuo Nakamura

要 旨

山陰地方に埋蔵される膨大な砂鉄の各種特性を研究し、これを活用して当時専用していた木炭銑高炉用として、わが国初のペレタイジング工業化設備を研究開発した。それに引き続き海綿鉄用としてのペレタイジング法と海綿鉄法の研究を机上実験、パイロットプラントからスケールアップ方程式など工業化の基礎資料を得て、ここにヤスキ海綿鉄プラントを完成した。

この海綿鉄を用いたヤスキ高級特殊鋼の特性についても各種の比較試験を行ないその優秀性を確認した。

1. 緒 言

本研究は原料鉄鉱石である砂鉄の研究からはじまり、その選鉱、ペレタイジング法と、その小形木炭銑高炉への応用を経て今日の高級特殊鋼原鉄をうる最高の方法である海綿鉄製造法へと発展せしめた約20年間にわたる一連の研究である。

ヤスキ高級特殊鋼の品質は、その製鋼、加工技術とあいまって、国内はもとより国際的水準においてもトップレベルにあるのであって、以下その経過を述べてみたい。

2. ヤスキ海綿鉄法完成の背景となった諸研究

2.1 原鉱石(砂鉄)とその選鉱法の研究⁽¹⁾

原鉱石としての山陰地方産砂鉄は、もともと黒雲母花崗岩および閃緑(せんりょく)岩中であって、これが長年月にわたり風化して一種の残留鉱床をなして埋蔵されているものである。いまこの砂鉄鉱山とジェット噴水による採掘状況を示すと図1のとおりである。

採掘現場より流下して来た砂鉄と混合砂分はいったん貯鉱場にたくわえられ、その後一定量ずつ水流とともにバンナー磁選機、クロケット磁選機を経て山元一次精鉱となる。その品位の一例は重量%で示して、T. Fe 60.24, FeO 24.12, Fe₂O₃ 62.08, SiO₂ 8.20, CaO 1.12, MgO 1.58, Al₂O₃ 1.28, MnO 0.28, Cr₂O₃ 0.032, TiO₂ 1.03, V₂O₅ 0.262, P 0.064, S 0.054, Cu 0.009, Sn 0.0031, As 0.0014, Sb 痕(こん)跡程度であって通常の鉄鉱石に比べてかなり高品位である。これはさらに海綿鉄工場に送られてから後述のように粉碎選鉱され、極限にまで高品位の最終精鉱となる。ここで注目されることは山陰砂鉄中のチタン分(TiO₂)が他地区砂鉄中の10%以上と比べてきわめて微量なことであって、しかもその選鉱特性においても大きな差のあることは重要な意味をもっている。

これら選鉱特性の差は海綿鉄製造上大きな意味をもつものであって、高炉や電気銑炉が熔融製練で鉱滓(こうし)の存在も必要条件であるので装入鉱石の品位は極度の高品位を必要としないが、海綿鉄は乾式製練によるもので原鉱の品位がそのまま生成海綿鉄の品位を支配するので原鉱石の選鉱特性そのものが決定的な意味を有している。

2.2 ペレタイジング法の研究

砂鉄のような粉鉱石を高炉その他のシャフト炉に装入することの不合理性はいうまでもない。これを固める手段としては団鉱法、焼結法があり、時に後者はその代表的なものとして用いられている。ところが第二次大戦中アメリカにおいてタコナイト鉱を原料としたペレタイジング法の発展がみられたことを終戦後察知して文献皆無

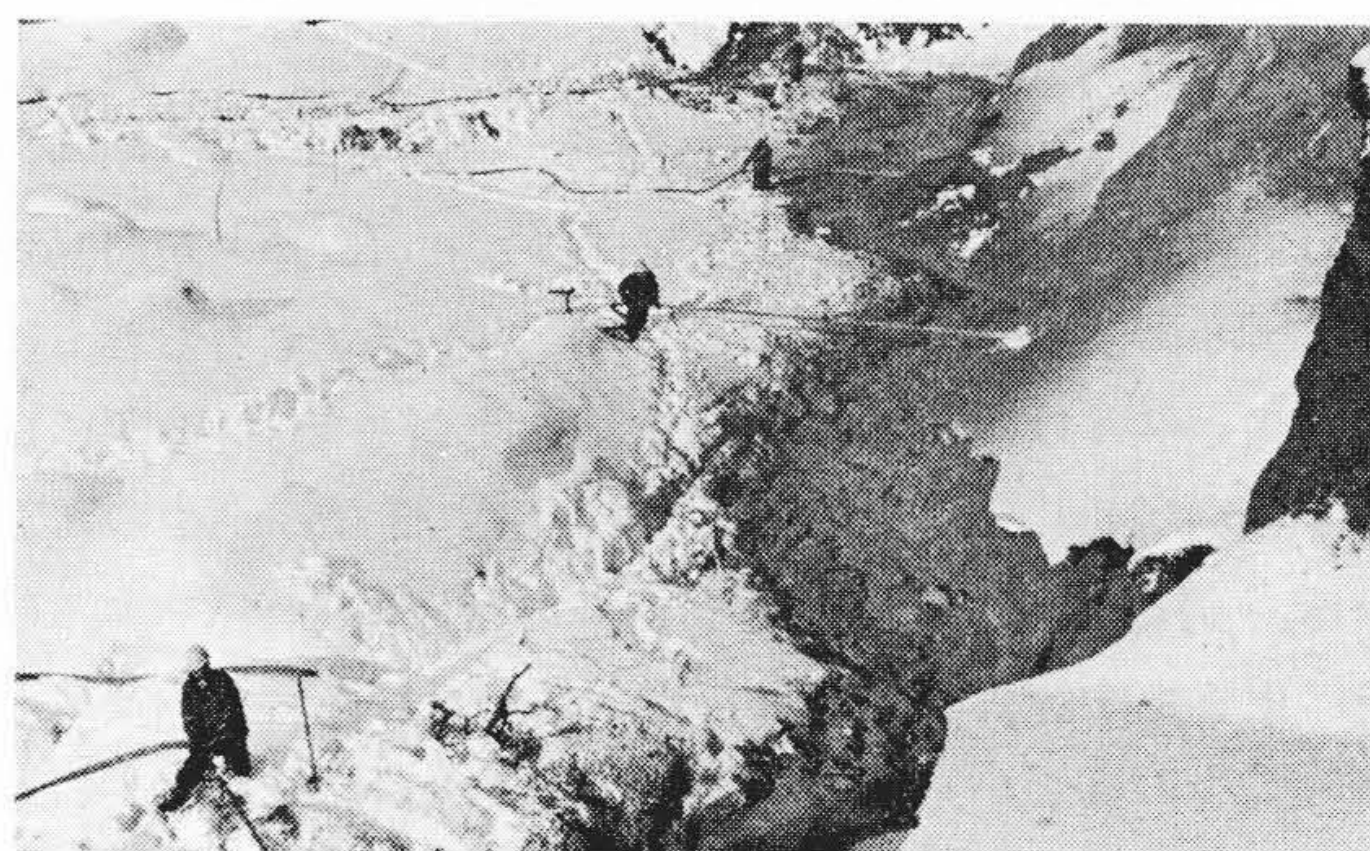


図1 山陰砂鉄のジェット噴水による採掘状況

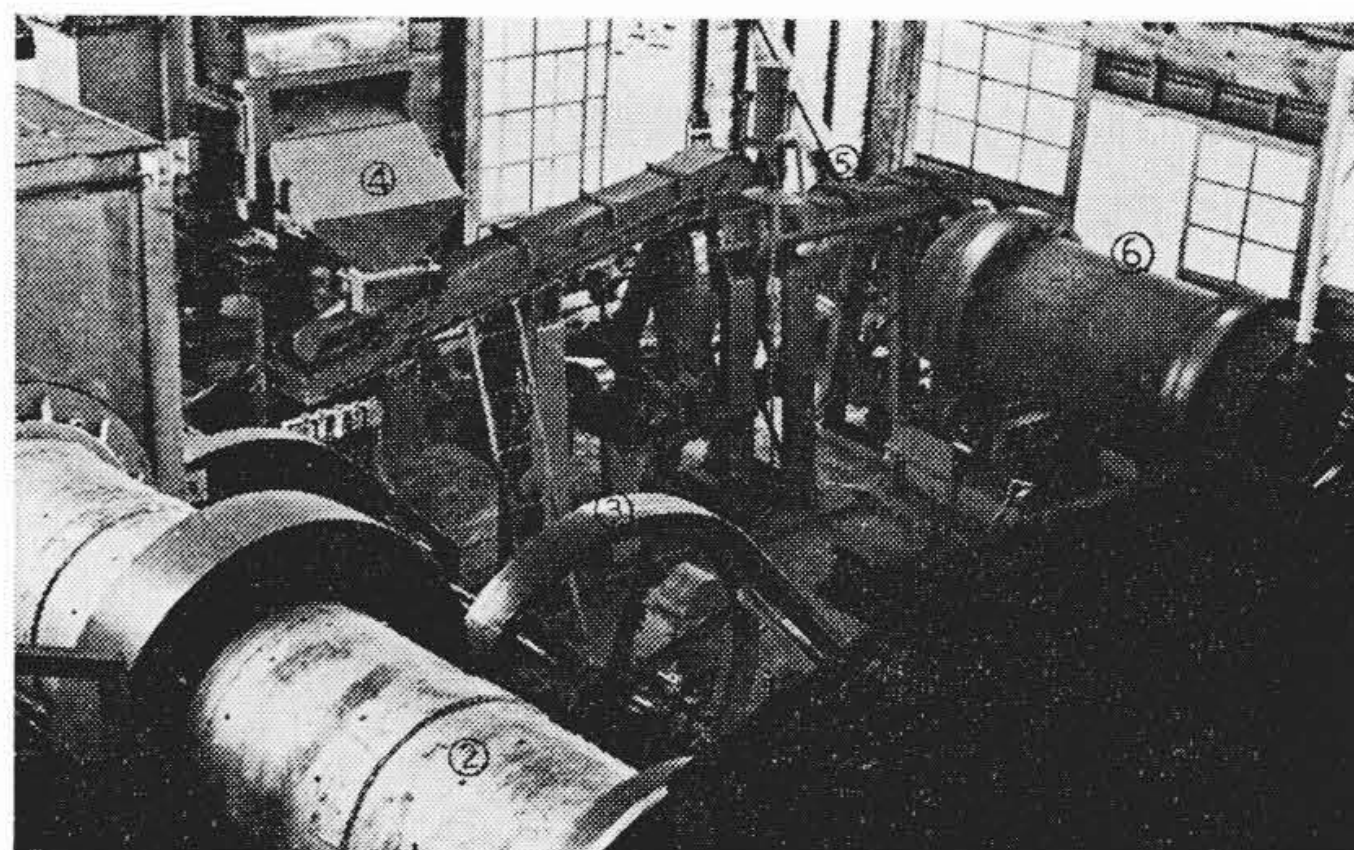


図2 鳥上木炭銑工場ペレタイジング設備の一部

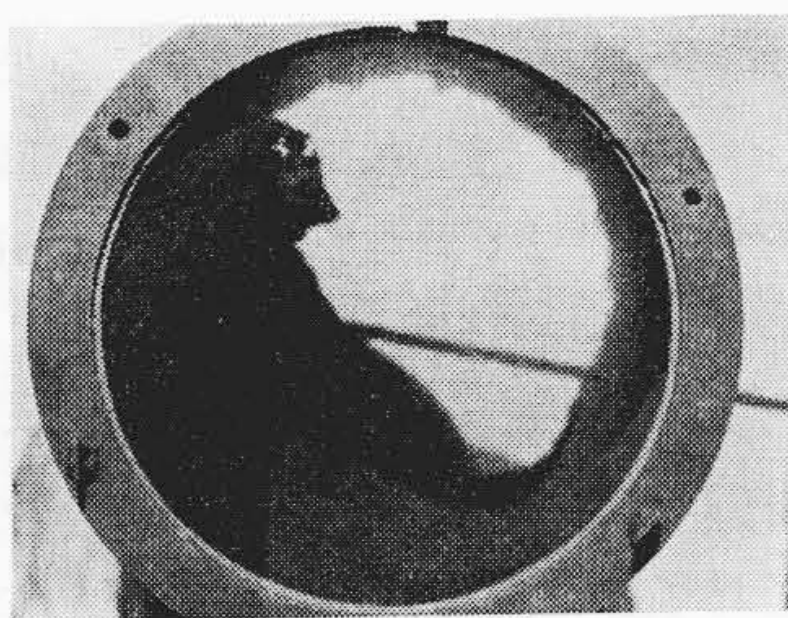
のころより基礎研究を日立金属株式会社安来工場冶金研究所内において開始した。その後昭和26年度通商産業省鉱工業研究補助金の交付を得て大々的に開発段階にはいり、わが国最初の工業化設備を鳥上木炭銑工場に完成した。その設備の一部を示すと図2のとおりである。

海綿鉄法の基礎となるものは前述のペレタイジング法であるが、高炉のような熔融製練の場合とは相違するので、木炭銑高炉に用いたペレットは用いられず、ここにより高能率、より高品位を目指して新ペレタイジング法の研究開発を展開した。

新しいペレタイジング法の研究は、まず湿ペレットの回転造粒機内における形成機構、焙焼(ばいしょう)炉における焼結機構、机上模型焙焼炉による流体の運動とこれに基づく日産1tおよび5tの焙焼炉パイロットプラントの研究を行ないスケールアップ方程式を導いた。

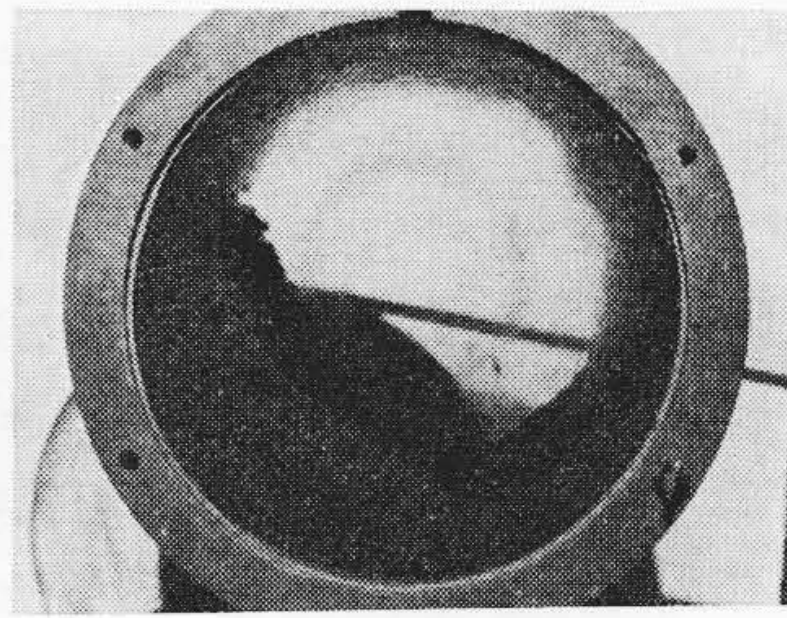
まずボーリングドラム内における湿粉鉱の運動、造粒過程の直接観察を行なった。図3、4に例示したように造粒が進むにつれて滝状落下軌跡が小さくなることを示している⁽²⁾。さらに湿ペレットの造粒機構はドラム内運動に伴う Arrangement effect, 水酸化物の

* 日立金属株式会社安来工場冶金研究所 工学博士



充てん率：20%，水分：10%
 回転速度：35 rpm
 回転時間：始動より 1 mm

図3 模型ボーリングドラム
 内の運動(1)



充てん率：20%，水分：10%
 回転速度：45 rpm
 回転時間：始動より 6 mm

図4 模型ボーリングドラム
 内の運動(2)

生成にも関連する毛細管引力と Thixotropy 現象によるものであることを実証した⁽³⁾。

また、一連の焙焼炉についての実験結果より、スケールアップ方程式を確立した。すなわち基礎微分方程式は Navier-Stokes の式

$$\begin{aligned}
 \rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = & \rho g \cos \alpha_x - \frac{\partial p}{\partial x} \\
 & + \frac{1}{3} \mu \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right. \\
 & \left. + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \dots \dots \dots (1)
 \end{aligned}$$

であって、これに独立変数の次元解析を行なうと

$$\Delta p / \rho v^2 = \phi(\rho v L / \mu, v^2 / L g, \rho v^2 L / \sigma) \dots \dots \dots (2)$$

であって、Reynolds 数, Schmidt 数, Prandtl 数, Thring 数, (発生熱/壁損失) 比などよりなり、これらを整理して結局スケール方程式として $\hat{v} = \hat{H}_w = 1$ と $\hat{q}_w = \hat{L}^2$ の2式を得た。すなわちスケールアップに際して考慮すべきものは送風量(q_w)は線次元比($\hat{L}$)の自乗に比例さす必要があり、これを大小のパイロットプラント実験で確認した。また大小両系とも流速(v)は同じとなり、単位壁面当たりの熱損失と同じであるから壁厚(H_w)は両者とも同一にすべきであることになる⁽⁴⁾。

2.3 海綿鉄製造に関する研究

研究はペレットの還元機構、速度式の導入から初められた⁽⁵⁾。まずオーソドックスに還元反応抵抗を化学反応抵抗(ペレット構成微粒子の近似均一反応抵抗とペレット内部の還元ガスおよび反応生成ガスの拡散抵抗)と境膜抵抗(境膜拡散抵抗と境膜伝熱抵抗)を考慮して机上還元実験結果を解析した。この詳細は省略し、ここでは水素ガスによるヘマタイトの還元方程式、



より導いてみると、還元速度式は次式となる。

$$d[\text{Fe}_2\text{O}_3]/dt = k_1[\text{Fe}_2\text{O}_3][\text{H}_2]^3 - k_2[\text{Fe}][\text{H}_2\text{O}]^3 \dots (4)$$

しかるに H_2 の流量がじゅうぶん多くて境膜抵抗のないときは(4)式の $[\text{H}_2]$ は一定と見なされ、かつ第2項は無視されてよいので、

$$-d[\text{Fe}_2\text{O}_3]/dt = k[\text{Fe}_2\text{O}_3] \dots \dots \dots (5)$$

となり、これを積分し、かつ初期条件として $t=0$ するとき $[\text{Fe}_2\text{O}_3] = 1$ とすると、還元率 y は

$$y = 1 - e^{-kt} \dots \dots \dots (6)$$

となる。

海綿鉄製造に関する中間試験は各種のベンチスケールプラントの研究と 1 t パイロットプラントの研究であって、前者は 120 kg/day であって図5はその設備を示したものである。すべて $\text{H}_2 + \text{CO}$ ガスによる還元である。

後者の実験結果の一例を示すと、海綿鉄 1,200 kg/day、得られた海綿鉄の品位は T. Fe 87~90%, M. Fe 72~80% で、海綿鉄トン当たりの原単位はペレット装入量は 1,540 kg、重油消費量は 180 kg、木炭 1,050 kg、石炭 54 kg、コークス 350 kg、電力 320 kWh である。

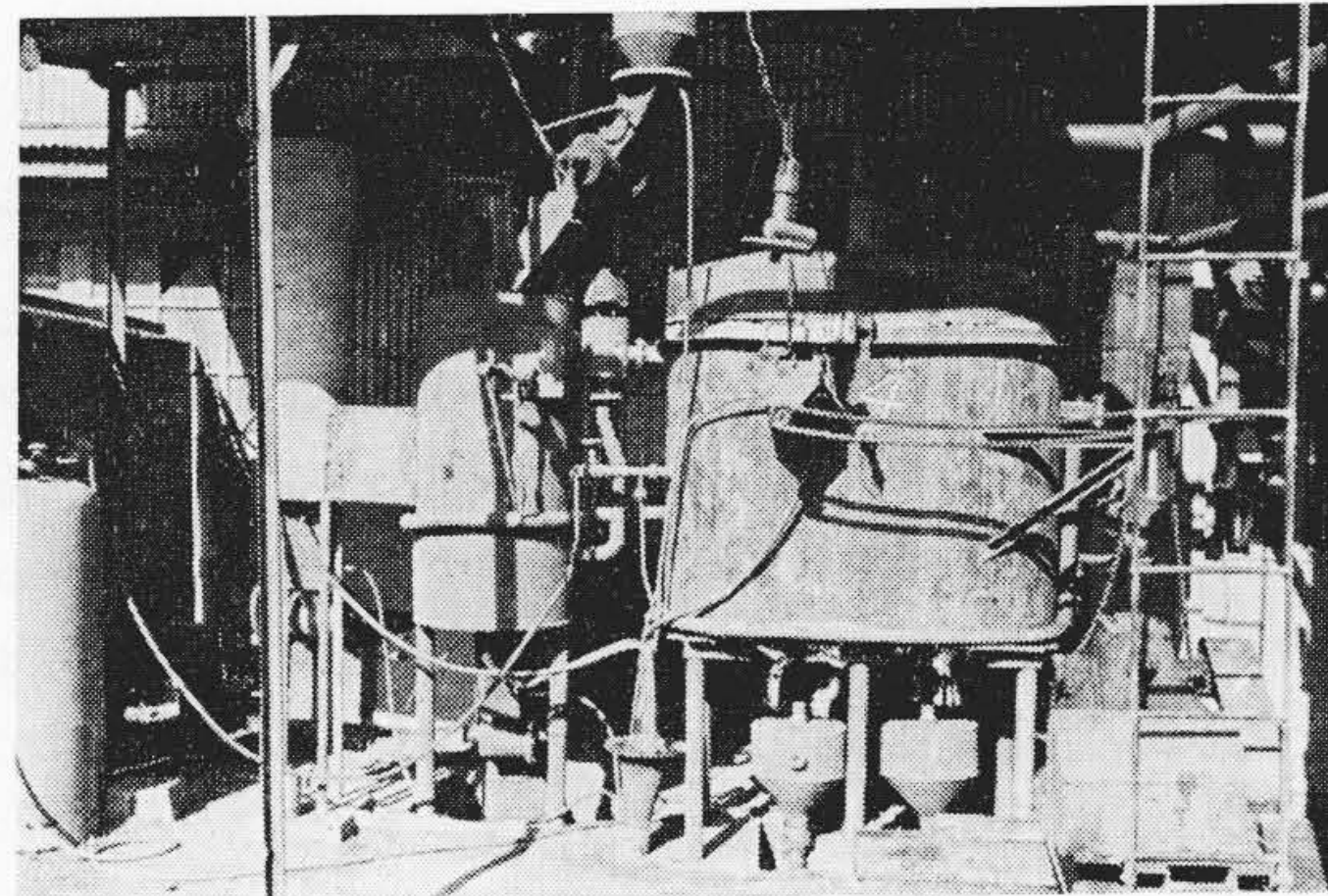


図5 ベンチスケール海綿鉄製造試験プラント

このプラントの還元炉の外観の一部を示すと図6のとおりである。

スケールアップに対する考察を上記ベンチスケールおよびパイロットプラント実験により行ないこれを確認した。すなわち、小形炉と大形炉において、同一温度同一組成のガスによって鉄石を還元する場合、特にその鉄石がペレットのような多孔質のものであれば粒径の影響はほとんど無視されるので、両炉内で同一の還元率をうるためには炉内滞留時間が両者等しくなければならぬ。すなわち大小両炉におけるペレットの装入速度を q'_w, q_w 、代表長を L', L とすると

$$q'_w / q_w = (L' / L)^3 \dots \dots \dots (7)$$

の関係が成り立たねばならぬ。したがって v'_w, v_w をそれぞれ大小両炉内における装入物の降下速度とすると

$$v'_w / v_w = (q'_w / q_w) / (L' / L)^2 = (L' / L)^3 / (L' / L)^2 = L' / L \dots \dots \dots (8)$$

となり、小形炉の鉄石降下速度 v_w は上式より

$$v_w = v'_w / (L' / L) \dots \dots \dots (9)$$

の関係となる。仮りに大きさ 1/5 の小形炉とすると炉内における装入物の降下速度は大形炉の 1/5 となるのであって、このため装入物互いの接触時間は長くなり表面結合によるたなつりの機会は 5 倍にも増加する。しかしスケールアップの場合は逆であってたなつり現象はなくなるが降下速度の増大による粉化傾向が大となり、ペレットそのものの性状そのものの重要性が増すことになる。

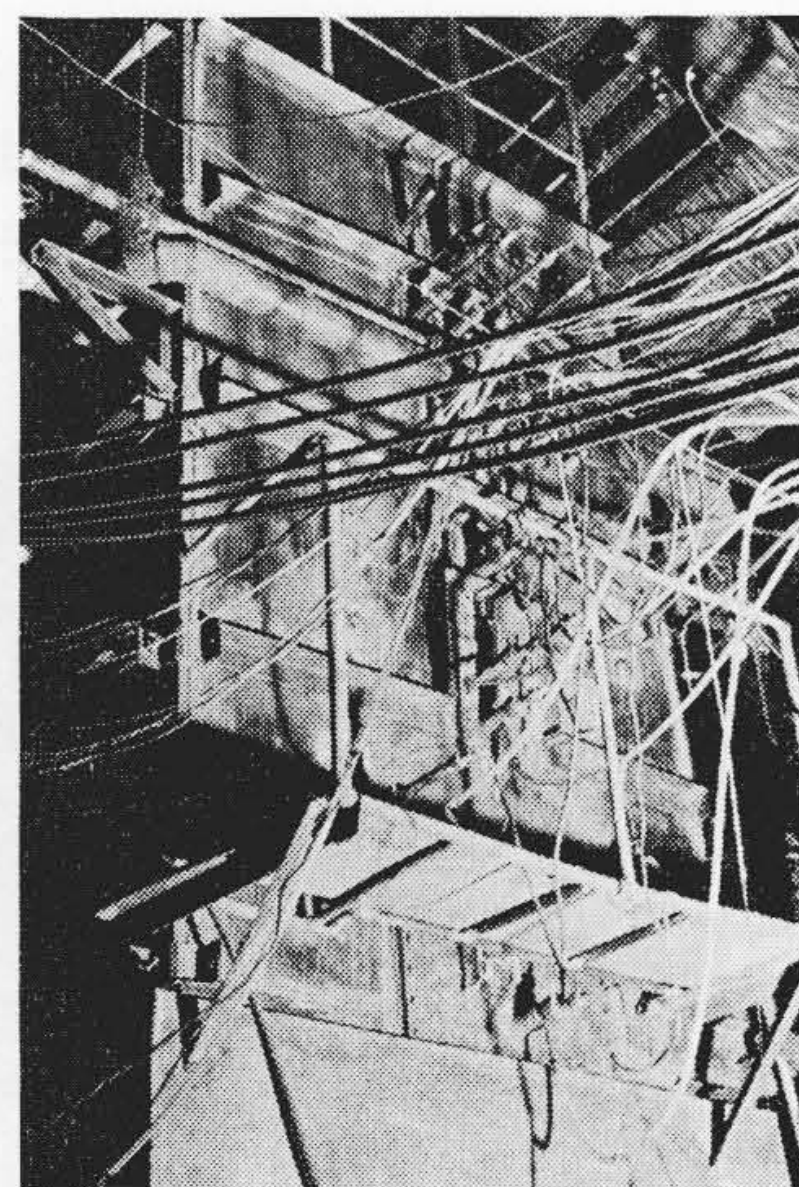


図6 1 t/day 海綿鉄製造パイロットプラント還元炉

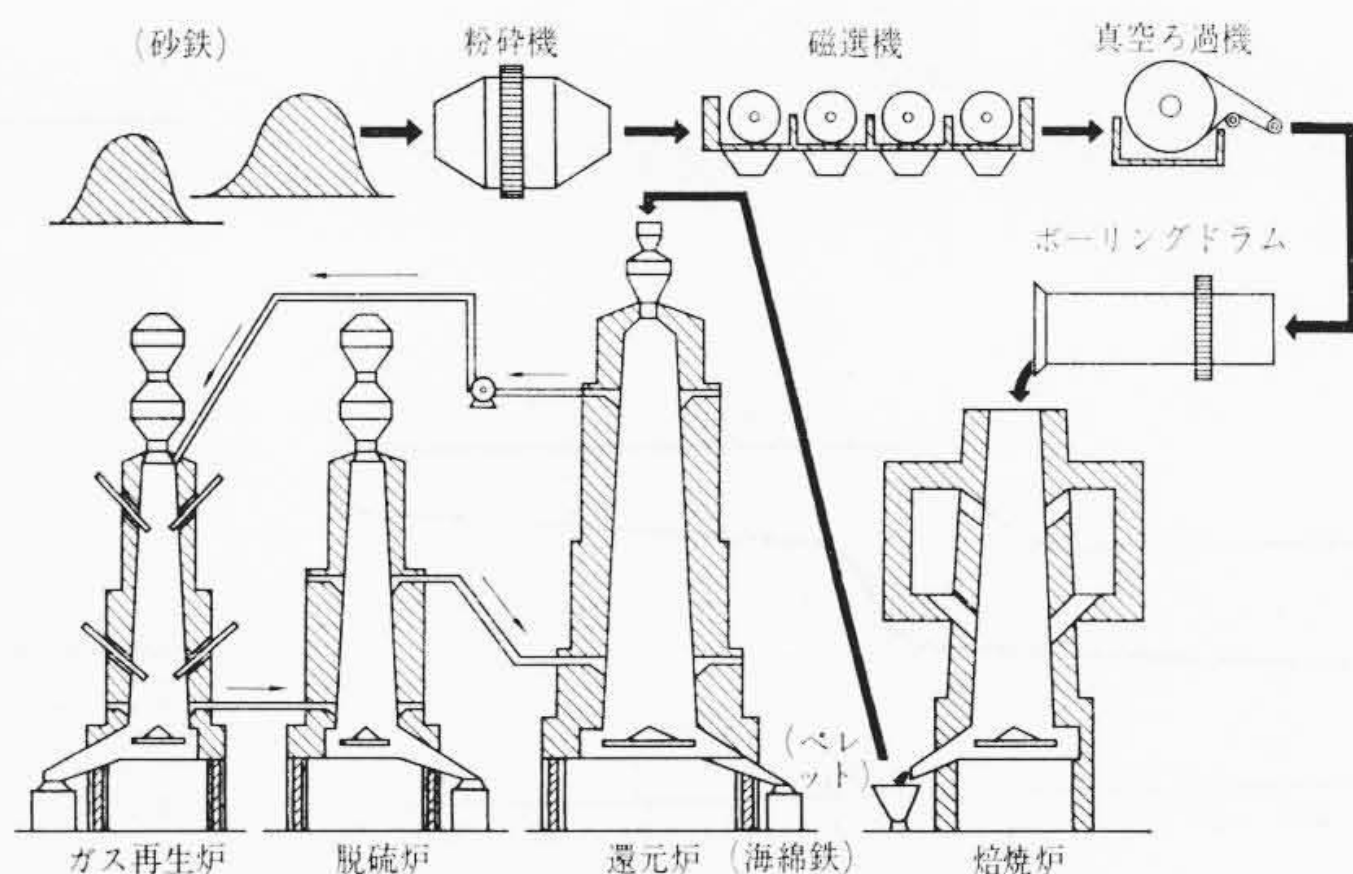


図7 ヤスキ海綿鉄製造工程図

3. ヤスキ海綿鉄プラント

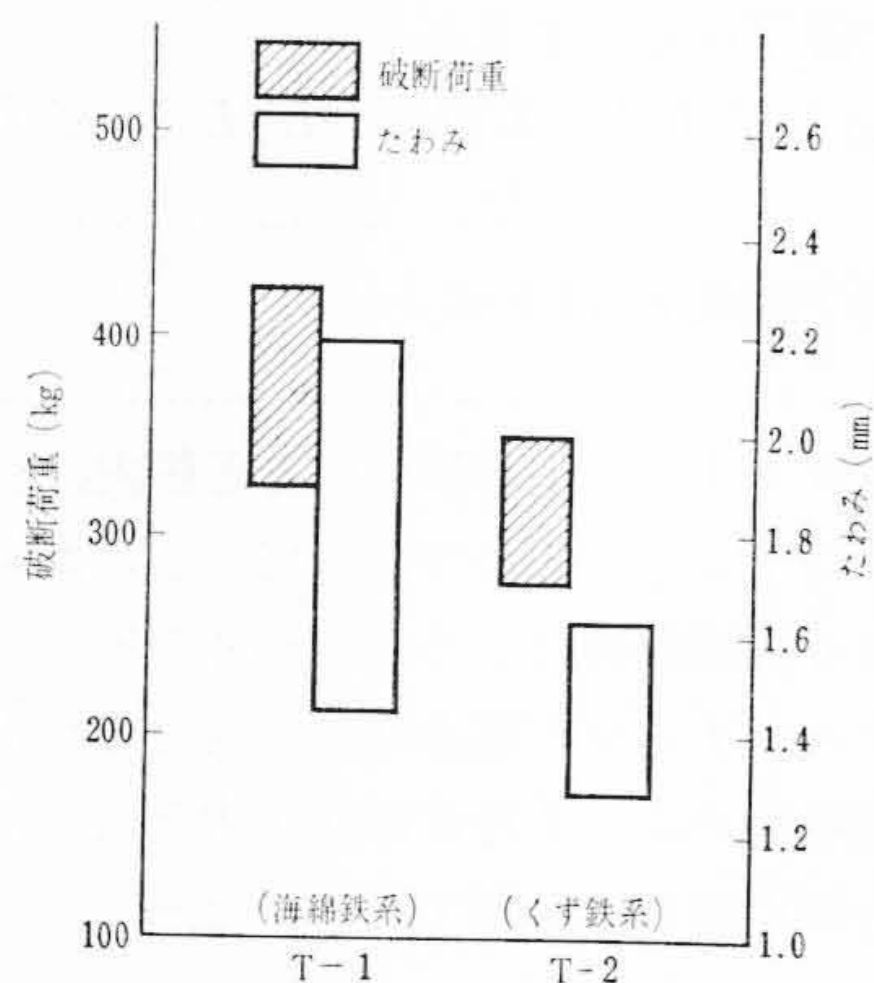
以上の背景となった諸研究を総合して、ここにわが国初めてかつ唯一の海綿鉄プラントが完成した。そのフローシートを示すと図7のとおりである。山元より送られて来た一次精鉱砂鉄はテーブルフィーダによりボールミルに送られ湿式で-325メッシュに微粉碎され回転ベルト真空ろ過機で8~10%水分まで脱水される。得られた精鉱はりん、いおうはもとより、ヒ素その他の不純物は除かれ、鉄分は70%程度にまで向上している磁鉄鉱微粉である。この湿微粉に約2%の石灰粉を均一に混合添加してボーリングドラムに送られ約25mmφの湿ペレットにしてから立形焙焼炉炉頂に回転分布機によって周辺部ストックラインに均一に装入される。これら一連の工程はすべて連続ライン化されている。

焙焼炉内温度は約1,200℃であって、灼熱焼結ペレットは炉底より上昇する冷空気によって冷却されて炉底ボックスに連続降下する。一方熱交換による高温予熱空気は炉側面の燃焼室に炉内圧力差



手前：海綿鉄炉建家 中央：ペレタイジング建家 先方：貯鉱および選鉱場

図8 ヤスキ海綿鉄プラントのふかん図



試験片：5φ×70mmI, 7P
焼入：820℃油冷
焼戻し：180℃空冷

図9 原料鉄の異なるSATの抗折試験結果

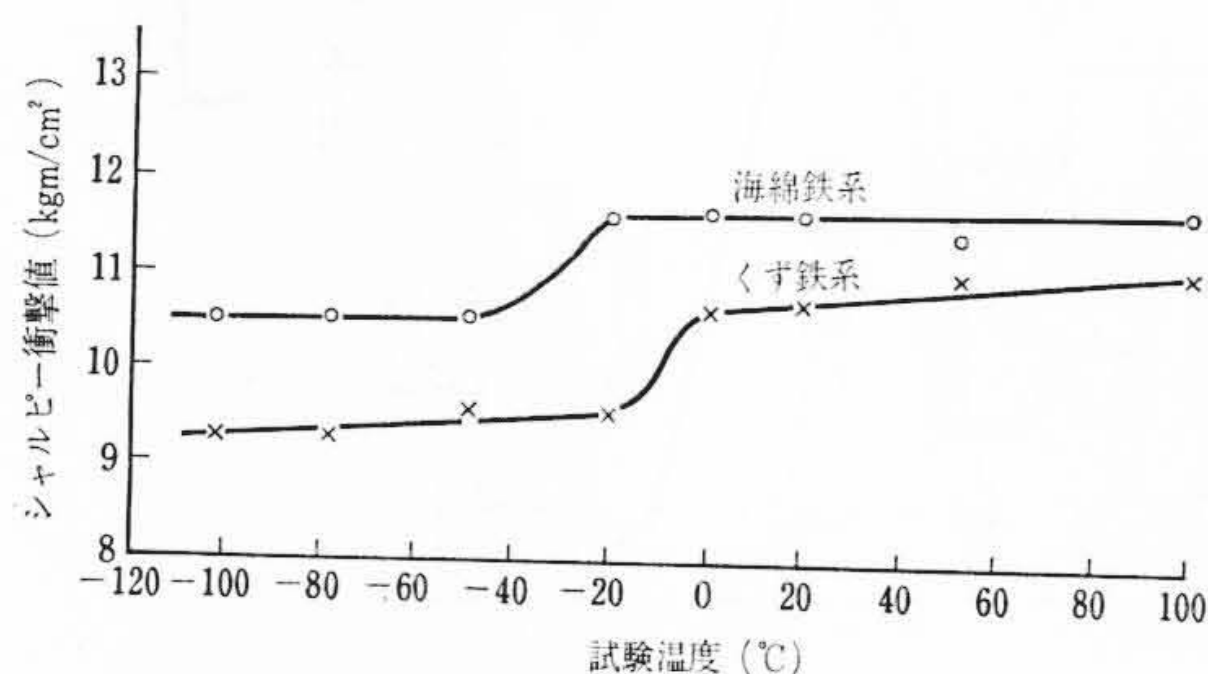


図10 原料鉄の異なるSCM 22の遷移温度

によってはいり重油燃焼の二次空気となる。燃焼ガスは再び炉上半部にポートよりはいり降下してくるペレットを焼結、乾燥して炉頂ドラフトに逃げる。燃料消費量はペレット1t当たり100,000kcal以下で、還元強度も95%以上であり、機械的強度も大きい。

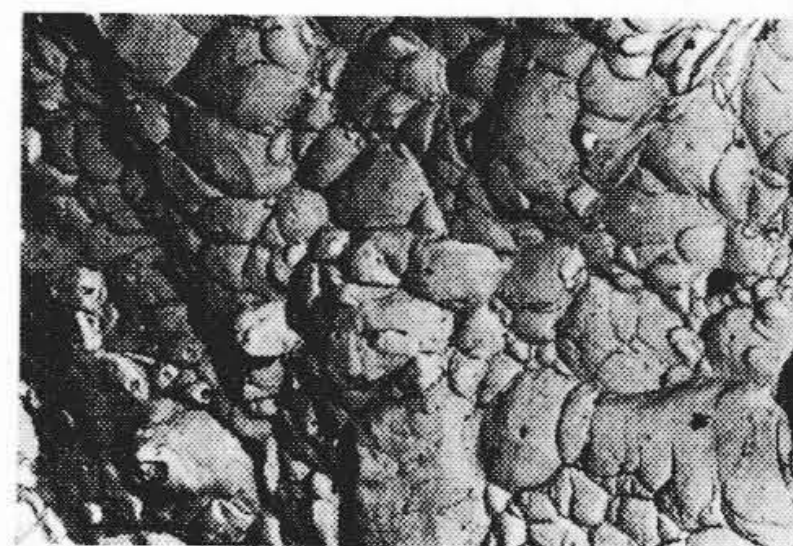
この焼結ペレットは還元炉に送られ、水素、一酸化炭素混合ガスによって900℃以下で低温還元され還元率95%以上の海綿鉄となって炉外に連続排出される。還元を終了した主成分二酸化炭素と水蒸気は耐熱密閉送排風機によって再生炉炉頂に送られ、この炉内において灼熱コークスによる水成ガス反応によりもとの水素と一酸化炭素に再生され、ドロマイト脱硫炉を経て還元炉に循環される。還元炉、再生機構、脱硫機構、自動制御機構すべてにわたり独特のくふうが採り入れられている。このプラントの実況を示したのが図8である。生産量は年間15,000t以上である。

4. 海綿鉄配合による特殊鋼の品質向上

4.1 海綿鉄配合鋼の特性

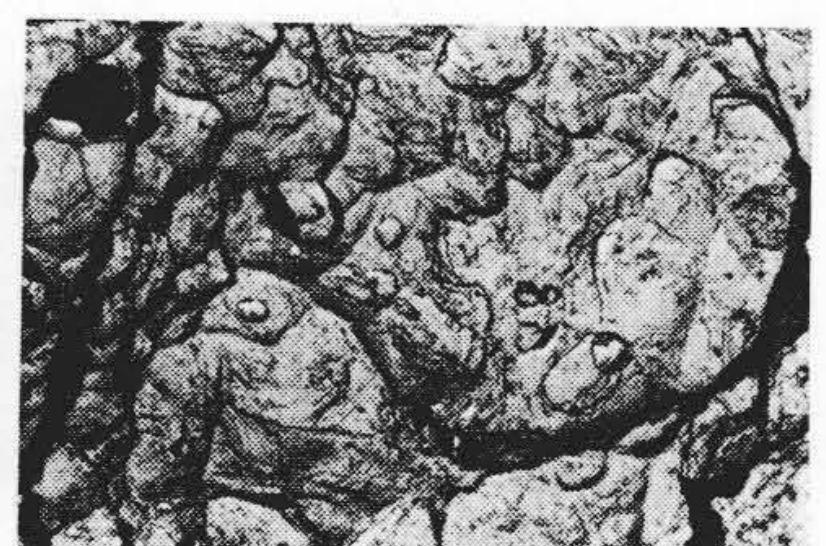
一例としてタップなどに用いられる特殊工具鋼SATをそれぞれ海綿鉄、くず鉄を用いて溶製したものの抗折試験の結果から破断荷重とたわみ量との関係を示すと図9のとおりで、両者のじん性の差は明らかで海綿鉄系SATがすぐれている。表1は化学組成を示したものである。

一般的について等しいかたさにおけるじん性は海綿鉄系のものはくず鉄系のものに比較して大きい。このことは温度のファクタがはいっても同様であって、たとえば表2に示すクロム・モリブデン構造用鋼SCM 22の遷移温度を求めると図10に示すとおりで、明らかにくず鉄系の遷移温度は高温側にあり、通常の使用条件においてもぜい性破壊のおそれがある。図11, 12は常温破断面のmicrofract-



(microfractography)

図11 海綿鉄系SCM 22の破断面 (×1,500)



(microfractography)

図12 くず鉄系SCM 22の破断面 (×1,500)

表1 原料鉄の異なる特殊工具鋼(SAT)の試料組成(%)

試料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	V	Cu	Al	Ti	As	Sn	Sb
T-1	1.19	0.21	0.36	0.016	0.004	0.02	0.32	1.05	0.08	0.05	0.021	Nil.	0.009	0.010	Nil.
T-2	1.18	0.26	0.27	0.020	0.013	0.08	0.20	1.01	0.07	0.10	0.024	Tr	0.021	0.016	Nil.

(注) T-1：海綿系
T-2：リターンスクラップ系

表2 原料鉄の異なるクロム・モリブデン鋼(SCM22)の試料組成(%)

試料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Sn	As	Sb	insol. N	sol N
海綿鉄系	0.23	0.12	0.67	0.010	0.011	Nil.	1.18	0.28	0.02	Tr.	0.004	Nil.	0.001	0.003
くず鉄系	0.22	0.24	0.68	0.013	0.024	0.08	1.12	0.28	0.24	0.073	0.034	0.006	0.002	0.008

表3 原料鉄の異なる高炭素高クロム鋼の試料組成(%)

試料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Sn	As	Total Gas	[H]	[O]	[N]
海綿鉄系	1.00	0.15	0.75	0.009	0.006	0.06	13.62	Nil.	0.003	0.005	cc/100gr. 19.50	0.00014	0.0050	0.0140
くず鉄系	1.01	0.18	0.81	0.019	0.014	0.18	13.58	0.11	0.013	0.009	23.20	0.00023	0.0062	0.0151

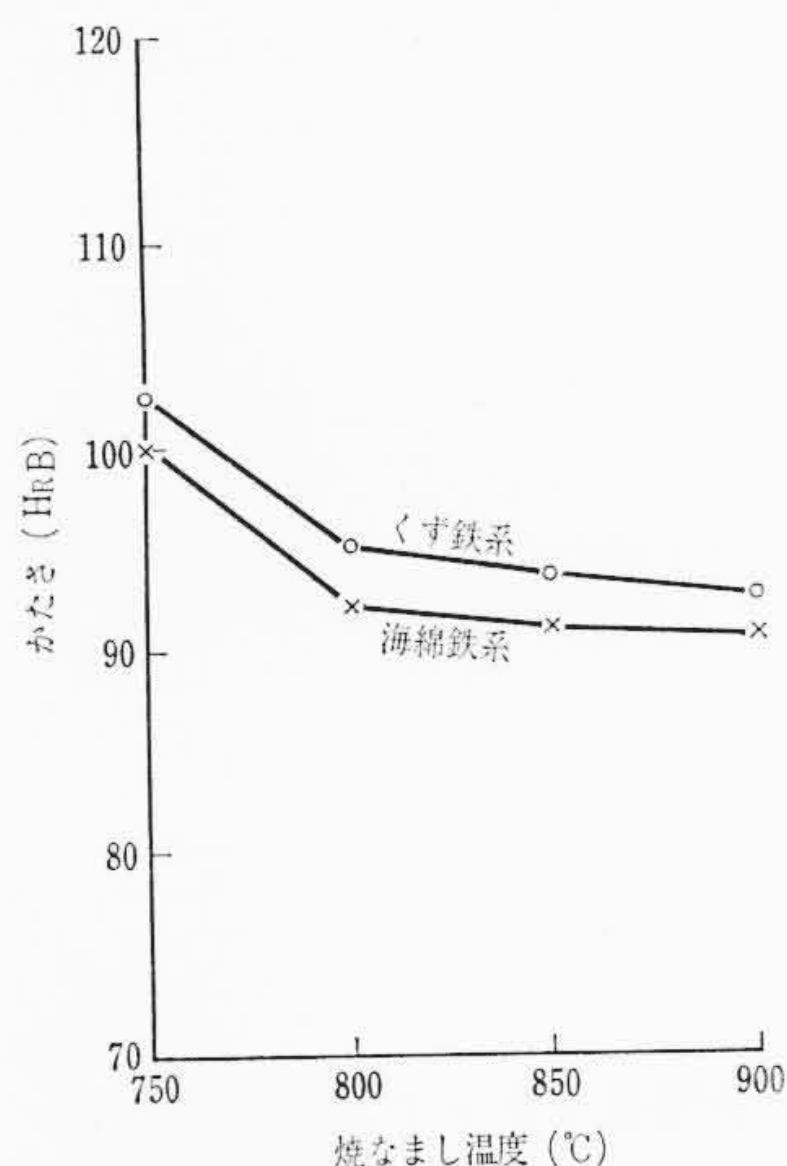


図 13 高炭素クロム鋼の
焼なまし硬度の差

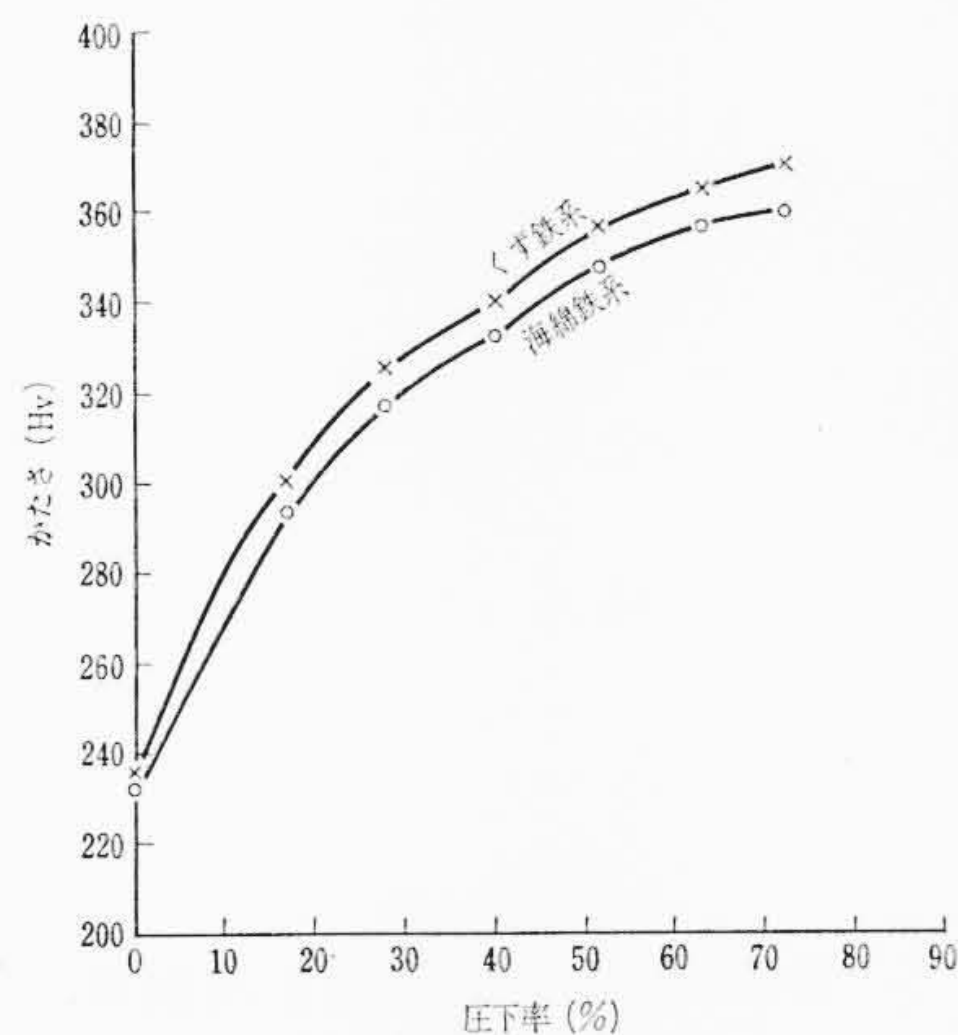


図 14 焼なまし材の冷間圧延
による硬度の上昇比較

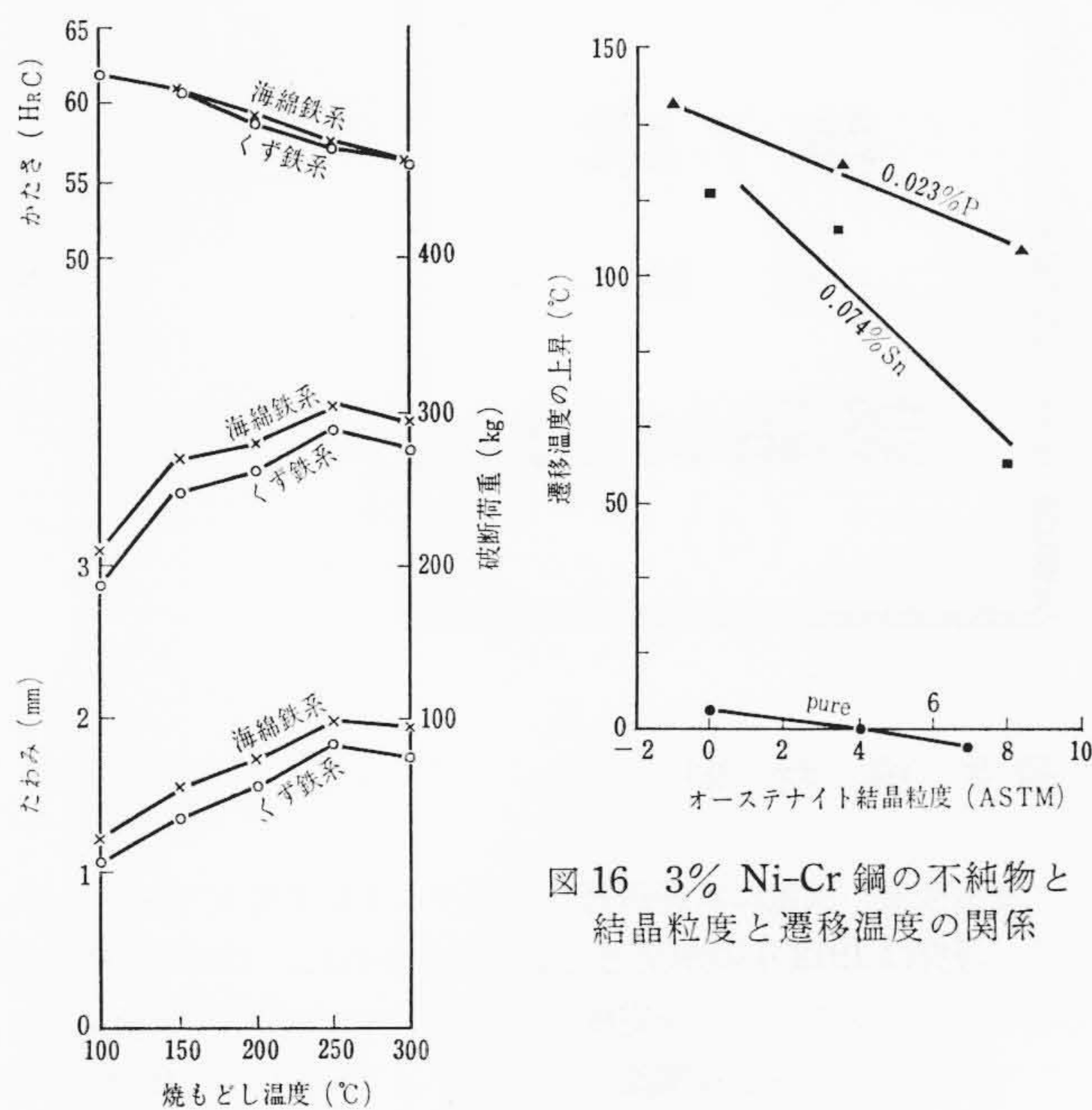
graph を示したもので、海綿鉄使用材は dimple 状(やや丸味)の代表的延性破断面を示しており、他は乱れたぜい性破断面を示しており前記データを裏付けていることがわかる。

次に表 3 に示す高炭素高クロム鋼の焼なまし硬度の低下の相違を図 13 に、冷間加工による硬度上昇の状況を図 14 に、そして抗折試験の結果を図 15 に示した。そのいずれをみても海綿鉄系材料がすぐれている。

4.2 不純物と機械的性質の関係についての考察

一般にハガネの中に残留する residual element のおもなるものは Cu, Ni, Cr, Sn, As, Sb, Pb, Zn, P, S などであって、H, N, O などのガスも含まれている。これらが直接、間接に材料の機械的性質に悪影響を及ぼすことは明らかであって、Capus 氏⁽⁶⁾ は 0.3% C, 3% Ni, 0.75% Cr 鋼において、 $P=0.002\sim0.023\%$, $Sn=0.005\sim0.074\%$ に変化した材料の遷移温度を測定している。図 16 はその一例で、P, Sn とともに遷移温度を上昇せしめる。注目すべきことは結晶粒度の影響が図中曲線 1 のように小さくなることである。この理由はこれら不純物が前 γ 粒界への平衡偏析 (Equilibrium segregation) にあるとしている。粒界が優先析出の場合となることは電顕観察でも認められる場合があるが、Turnbull 氏⁽⁷⁾ によると不純物は粒界に沿って拡散が容易であることと粒界近傍はいくらか原子配列がゆるんだ状態なので析出に伴って体積変化に応じやすいことに原因すると述べている。Hill 氏⁽⁸⁾ は C 0.40~0.42% 材において As, Sb などの不純物は優先的に粒界に析出し界面エネルギーを下げ、これがいっそう炭化物などの析出を容易にすることを述べている。粒界を炭化物、非金属介在物におきかえてみても共通するところが多いと思われる。

一般に鋼中の不純元素の挙動はかなり複雑であって、その種類、固溶しているか化合物として析出しているか、析出していてもその形状、大きさ、分布状況によっても影響は違ってくる。これらはさらに原子論的に、あるいは転位論的に、さらには材料力学的な解明をまたねばならない問題である。今日金属材料を強化する方法はウイスキーは別にして転位などの欠陥を多くすることとされている。しかし実用材料は強さとともにじん性が必要であって、そのためには転位を全く動けないようにピンアップすることとなく、多少応力集中を緩和する程度にミクロ的塑性変形が生ずることを必要とする。それには転位の制御 (たとえばその方位性を整えること)⁽⁹⁾ が重要である。それに不純物除去による材料内各種異相間、境界のコヒーレンシー低下を避けねばならない。すなわち不純物偏析によりその部分の結晶が不整になりエネルギー準位を上げ小さい外力により容易にクラックが発生するほどに弱化さすおそれが多い、そして



(5φ×70 L, 10R 押金具による中央一点荷重方式)

図 15 原料鉄を異とする高炭素高
クロム鋼の焼成温度と破断荷重
およびたわみの関係

図 16 3% Ni-Cr 鋼の不純物と
結晶粒度と遷移温度の関係

ひとたび微小クラックが発生すると容易に応力集中源となり、さらに含有ガスとくに水素などがここに集まりクラックの表面エネルギーを下げ Griffith の理論⁽¹⁰⁾ に従ってさらに破壊しやすくなるものである。砂鉄系海綿鉄を原料とする材料は上記の意味から実用材として最高のものであると信ずるものである。

5. 結 言

以上これを要約すると次のとおりである。

- (1) まず背景となった研究として、山陰地区砂鉄の特性を全国他地区のそれと比較検討し海綿鉄原料として最適であることを確認した。
- (2) ペレタイジング法の研究は当初は木炭銑高炉用として完成し、ついで海綿鉄用としてさらに深く研究してペレットとしての特性とスケールアップの基礎資料を得た。
- (3) 海綿鉄法の研究としてはペレットの還元機構、ベンチスケール、1 t パイロットプラントの研究をあげることができる。
- (4) ヤスキ海綿鉄プラントの概要とこれを用いた各種特殊鋼の特性研究の一例を述べた。

最後に本一連の研究は、歴代日立金属株式会社安来工場長および工場内各位のお力に負うところが大きい、さらには日立製作所馬場顧問および東北大学名誉教授の場幸雄 博士 (現富士製鉄株式会社副社長) の終始変わらざるご指導のたまものであって、ここに上記各位に対し衷心より感謝の意をささげるものである。

参 考 文 献

- (1) 中村：東北大学選鉱製錬研究所集報 11, 2 (1955)
- (2) 中村：鉄鋼協会東京大会にて講演 (4, 1953)
- (3) 中村：学術振興会 54 委員会資料 192 (1951)
- (4) 中村信夫：模型理論とスケールアップ 68 (昭 39, 日刊工業新聞)
- (5) 中村：金属学会名古屋大会にて講演 (10, 1958)
- (6) J. M. Capus: JISI 200, 11 (1962)
- (7) D. Turnbull: Defects in Crystalline Solid 20 (1954)
- (8) R. G. C. Hill: Metal Treatment and Drop Forging 29, 203 (1962)
- (9) 久保田 (訳)：金属の構造と強さ 175 (1968, 東京図書)
- (10) 金属学会編：転位論の金属学への応用 178 (1957)

第7章

— 総 論 —

部品材料

(4)

■ 有 機 材 料

電気機器の国産には絶縁材料の国産もまた不可欠であるため、その研究は1912年の創業とともに開始された。1914～1916年には一応自家用のワニス完成し、1925年には各種の絶縁ワニス、コンパウンドの外販を開始した。マイカ絶縁材料は1914年にワニスコスは1931年にそれぞれ完成している。

さらに電気機器の進歩発展に伴い、機器製作者の立場からも独自の改善を加えて品種を拡充し、1942年にはワニスだけで月生産量300tに達し、国内では他の追従をゆるさない独占的地位を占めるに至った。

1945年の空襲で生産停止していた主力工場は、同年末には再開されたが、戦後の資材不足により生産が困難をきわめた。しかしながら、研究活動は重点的に行なわれ、1952年新合成樹脂によるサーモセット形コイルワニスの完成をみた。シリコンワニスの研究は1944年にさかのぼるが、その後信越化学工業株式会社との協同研究によって1954年市販に移った。またわが国最初の無溶剤コイルワニスを1958年に開発してE種モータの量産化に寄与し、通信ケーブルガスダム用コンパウンドを完成して1959年日本電信電話公社総裁から表彰された。これらはいずれも不飽和ポリエステル樹脂の研究から生まれたものである。

近年電気機器の高性能化により、絶縁材料に対する要求も多様化され、次々と新製品の研究、生産が行なわれた。1952年ビニルホルマール電線用ワニス、1956年ポリエステルフィルムスロットライナ、集成マイカ製品、1957年ワニステトロンクロス、1958年耐熱アルキドワニス、1959年ポリエステル電線用ワニス、1961年エポキシ絶縁ワニス、1963年超耐熱マイカプレート、1965年流動浸漬法用絶縁材料、1966年滴下法用絶縁ワニスを製品化し、電気機器の性能向上に寄与した。なお1965年独自の画期的な技術により耐熱性ポリアミドイミドワニスを開発し、1968年にはこのフィルム化に成功した。

戦後の大きな動向は天然材料から合成材料への移行である。1950年ごろから前述の絶縁材料の合成樹脂化と密接な関係にある各種合成樹脂の開発と製品化に努力した。1951年アルキド樹脂、ブチル化アミノ樹脂、ロジン変性樹脂の生産をはじめ、塗料用樹脂として新分野への展開を図り、1956年設備を大幅に拡張するとともに約10年間にアルキルフェノール樹脂、アクリル変性アルキド樹脂、アクリル樹脂、ケトン樹脂、合成脂肪酸変性アルキド樹脂、ゴム用および接着剤用フェノール樹脂、印刷インキ用樹脂などを陸続として製品化した。

1950年絶縁材料として出発した不飽和ポリエステル樹脂は1955年の外販開始を境にして塗装用、注型用、FRP用などに用途を広げた。1958～1959年に開発されたノンワックス空乾性ポリエステル樹脂はわが国最初のもので、パテ、塗装、化粧板用に用途が

展開された。引き続き波板用、一般塗装用ポリエステル、各種FRP用に適した汎用ポリエステル、イソフタルポリエステルの製品化に成功している。

以上の分野に必要な特殊化学素材の研究は1953～1955年ごろから開始され、1959年トリメチロールプロパン、およびジシクロペンタジェンから誘導される無水ハイミック酸の製造に成功した。引き続いて無水メチルハイミック酸の製造技術を確立し、エポキシ樹脂の硬化剤として広く使用されている。さらに増加するジシクロペンタジェン需要をまかなうため1968年その量産新工場を千葉県五井に建設し稼働にはいった。

その他の分野ではアミノ酸樹脂から作られる合成皮革を1966年より市販し、道路白線に用いる溶着塗布材料を1967年に完成している。

■ 成 形 品

熱硬化性樹脂の電気絶縁などへの応用は、遠く1920年に日立製作所日立研究所でフェノール樹脂の合成研究が行なわれたのに始まる。その後、成形材料、積層棒・管と品種がそろい、1924年には鉄道省へ納入の国産大形電気機関車に成形品から積層板まで各種が用いられた。

1940年ごろにはフェノール樹脂製品の品種もそろい、遮断器用耐アーク材料として尿素樹脂積層板が商品化され遮断器の性能向上に貢献した。戦後1950年ごろまでは物量の確保が優先したが、ようやく1952年に高周波絶縁用に無機質充てんフェノール樹脂成形材料、アニリン樹脂成形材料、またわが国では初めてのフラン樹脂を完成しエナメル線塗料、防食材料として用いられている。

1953年、フェノール樹脂成形材料の耐衝撃性と電気絶縁性を兼ねた品種を、通信機用に打抜加工性を改善した高絶縁積層板を量産に移した。さらに翌年H種絶縁および高周波用のガラス布基材シリコン樹脂積層板・棒・管、ガラス布基材フェノール樹脂およびメラミン樹脂積層板を商品化した。

1955年には厚さ35 μ の銅ハクを片面に接着した紙基材フェノール樹脂印刷回路用積層板を、1956年には常温打抜加工用の品種を商品化したのが、今日の印刷回路用および多層回路板の発端であり、前述の打抜加工性のすぐれた積層板および接着技術に負うところが大きい。1957年には防衛庁によるアメリカMIL規格のフェノール樹脂成形材料、積層板・棒・管およびシリコン積層板の17品目の認定を受けた。1959年には電子機器、通信機器などに急速に印刷回路がとり入れられるとともに高性能化の要求に応じ、高周波絶縁特性、寸法安定性などにすぐれたガラスクロス基材ポリエステルまたはエポキシ樹脂およびテトロン布エポキシ樹脂による印刷回路用積層板を完成した。汎用級の品種では打抜などの機械加工性を最重点に改良し、1962年には中級絶縁で打抜性の

すぐれた品種を、フェノール樹脂成形材料では汎用級を、高周波絶縁用にエポキシ成形材料を量産化した。1963年には高絶縁常温打抜加工用紙基材フェノール樹脂積層板、紙基材エポキシ樹脂印刷回路用積層板、しゅう動スイッチなどの印刷回路用に導体面を平面に二次プレスできる品種、高周波絶縁、機械的強度、耐熱性、寸法安定性などにすぐれたジアリルフタレート成形材料を量産化しコネクタなどに用いられている。電子計算機の試作、無線装置の大容量化などから積層板などへも難燃性の要求に応じ、1964年には難燃性フェノール樹脂積層板を基材にした印刷回路用積層板を完成し、高周波用にガラスクロス入りポリエチレン積層板を、一方、送電用変圧器の大容量化に伴い絶縁筒として内径1,000～2,400 mmの紙フェノール樹脂積層管を製品化した。翌年紙基材エポキシ樹脂積層板を難燃化し、印刷回路用としてともにアメリカ NEMA 規格の FR3 級該当で電算機などに多量に用いられるようになった。熱硬化成形品の成形性向上に射出成形用フェノール成形材料を量産化した。

コンピュータの大形、量産化と集積回路の採用により部品の実装密度を上げることから多層印刷回路板が用いられるようになり、1966年には多層印刷回路用積層板および接着材料を開発した。1967年にはフェノール樹脂成形材料では成形の硬化がきわめて早い高絶縁用を完成した。

一方、1940年ごろからフェノール樹脂軸受の耐摩耗・強度の向上を図り1953年にはヒタフラン軸受、1964年にはそれを改善したハイロード軸受を量産した。

積層板の一種として、鉄道車両の内装を目的に1956年にメラミン化粧板を量産し新柄の開発とともに家具、建築に使用され、ポストフォーム可能な化粧板を量産するとともに、これらの化粧板の応用品として住宅用流し台を商品化した。

1962年にはフラン樹脂成形品として600 lの容器を原子燃料公社へ納入した。FRP（ガラス繊維強化ポリエステル樹脂）による800 l水タンクを新幹線車両用に、1965年には新幹線先頭車の光前頭部を量産し、ホテルなどの設備コアとしてバスユニットの量産にはいり1966年にFRPの一環としてフィラメントワインド方法による大口径パイプをわが国ではじめて量産し、化学工業用、温泉配管などに用いられている。FRPほかプラスチック材質を用い小形軽量で浄化効率のすぐれた暴気式浄化槽を量産に移した。

一方熱可塑性プラスチック製品として1953年にセルロースアセテートの射出成形による自動車ハンドル、1956年にわが国でははじめての卓上扇風機の羽根を射出成形した。1963年には世界最大の射出成形品としてプラスチック浴槽を、1964年には耐熱性、耐熱性、耐衝撃性にすぐれた硬質塩化ビニルによる600形電話機きょう体などを量産化した。また1958年からポリエチレンパイプ、フィルムの量産にはいり、1961年にはポリエチレンの耐熱性を向上させ電力ケーブルの接続などに用いる電子線照射フィルム

を、1964年にはポリエチレンパイプの応用品として吸熱効果の大きい太陽熱温水器を量産した。

1964年には独立気泡で断熱、緩衝用にポリエチレンフォームのシートを量産した。

■無機材料

戦前戦後を通じて、おもに重電機器用がいしの製造を手がけ、330 kV トランス用がい管など多くの製品を開発した。特に、機器用の高圧、特高圧がいしの分野では高度の技術水準を維持している。またレジンがいしを開発し、量産化した。

1939年わが国最初のアルミナ磁器点火せんがいしを開発、以来高純度アルミナ磁器、ジルコン磁器、チタン磁器、ステアタイト磁器などを開発した。戦後の産業界の技術革新に対応して、技術の向上と新製品の開発を進め、各種 IC 基板類、セラミック気密封止部品などの電子工業部品、耐熱部品、メカニカルシールなどの機械部品、照明用部品など広範囲にわたる製品を供給している。

1937年炭素刷子の試験方法に関して新機軸を案出し、電刷子国産化に大きく貢献して以来、電鉄用刷子、船舶用刷子、電装用刷子、高高度航空機用刷子、のめり防止用刷子など各種刷子および電刷子保持器を開発し業界のトップを占めている。

電刷子の開発と並行して1954年よりカーボンパッキング、カーボンベアリング、シールリング、クラッチカーボンなどを開発し、カーボンしゅう動材として販売を開始した。その他ガウジングカーボン、分光分析用カーボン、カーボン治具などの特殊炭素製品、バリスタ、酸化金属皮膜抵抗体などの電子部品も開発した。

焼結金属製品の発足は同業各社とほとんど期を同じくし、当初は各社とも銅系軸受が主力で、逐次鉄-銅系から鉄-銅-炭素系に移り、鉄系部品の抗張力も1960年代は15～40 kg/mm²で鋳鉄代用程度に考えられていたが、現在は密度も95～98%、抗張力120 kg/mm²に達している。用途も主要な構造材料として考えられるにつれて、静的強度のみならず動的な衝撃強さを疲労強さが要求されてきた。これら要求に対し1964年からHS材を開発し、自動車のミッションギヤなどとして使用され好評を博している。

膠質(こうしつ)黒鉛、二硫化モリブデンは、テレビ受像管増産の波に乗り、1959年日立製作所茂原工場のブラウン管の内外装用を始め各社に使用され、現在は国産膠質黒鉛の約40%を占有するに至り、タングステン、モリブデン線線引き用潤滑剤としても不可欠のものとなった。また、鋳鍛造用離型剤として自動車メーカーに使用されている。

なお、応用製品として、1968年に日立工機株式会社、日立製作所コンピュータ事業部、神奈川工場および小田原工場の協力により、電子計算機ラインプリンタ用リボンを開発した。

印刷配線用積層板・MCLの諸特性

General Characteristics of Laminates and MCL for Printed Circuit Boards

相 沢 齊* 岩 倉 正 美*
Hitoshi Aizawa Masami Iwakura

要 旨

従来の印刷配線板は、特に高密度、高信頼性を要求される場合、その製造工程が複雑で生産単価が高価であるほか、工程の途中で不良が発生したときには、これを再生することが困難である。そのためわれわれは、これら短所の改善を主目的として、銅の析出を助長するように改良した積層板および銅張積層板（以下 MCL という）の開発を行なった。

その結果、所期の性能を有する積層板および MCL の開発に成功し、これらがいずれも印刷配線用基板として有用であることを確認した。

1. 緒 言

ラジオ、テレビなどの民生用電子機器から、電子計算機、通信機などの高級電子機器に至るまで各分野に普及している印刷配線板は、従来ほとんど MCL-エッチング法⁽¹⁾によって製造されてきたが、その需要の激増および応用範囲の拡大につれて、より経済的かつ信頼性の高い製造方式の開発が強く要望されるようになった。そこでわれわれは、1965 年以来、主として化学銅メッキによる回路形成法いわゆる CC-4 法に適する基板の開発を進めた。

この基板は、銅の析出を助長するようになっており、さらに場合によっては積層板表面に回路を印刷し、その部分だけに銅が析出し、かつハンダ耐熱性、引きはがし強さなどの諸特性をじゅうぶん発揮できるものである。また特に回路精度を必要とするときはこの基板に銅ハクを張り合わせた MCL とすればよい。

われわれは、これらの点について適正な回路特性を有する基材の製造方法、MCL の製造方法などについて検討し、その結果本文で述べるメッキ用特殊積層板（以下 ACL という）⁽¹⁾および MCL⁽²⁾を開発したので、以下その諸特性を述べ、使用者各位の参考に供したい。

2. CC-4 法の工程概要と特長

CC-4 法には、主として化学銅で導体パターンを形成させる CC-4 標準法、および MCL-エッチング法と CC-4 法とを組み合わせた NT-1 法がある。これらの方法を用いて、両面スルーホールメッキ印刷配線板を製造する場合を例にとって MCL-エッチング法と工程を比較すると表 1 のようになる。また、これらの方法の製造工程上の特長および製品性能上の特長を比較すると表 2 のようになる。

表 1 および表 2 からわかるように CC-4 法はいずれの場合も、MCL-エッチング法に比べて短工程で印刷配線板の製造が可能であり、またスルーホールメッキの場合、均一に化学銅が析出するため、スルーホールメッキと基板との密着性にすぐれ、したがって高度の信頼性を保つことができる。特に NT-1 法は高密度、高信頼性のスルーホールメッキ印刷配線板製造に最も有利である。

3. CC-4 法印刷配線用基板の品種

われわれの開発した CC-4 法印刷配線用基板の品種は、表 3 に示したとおりで、大別して ACL およびメッキ用 MCL に分けられる。

これらはいずれも回路導体、スルーホールメッキが容易にかつ確実に形成されるようにくふうされているのが特長である。

最近、印刷配線板に部品実装の高密度化、高性能化を要求されるようになって、信頼性の高い両面印刷スルーホールメッキ配線板の

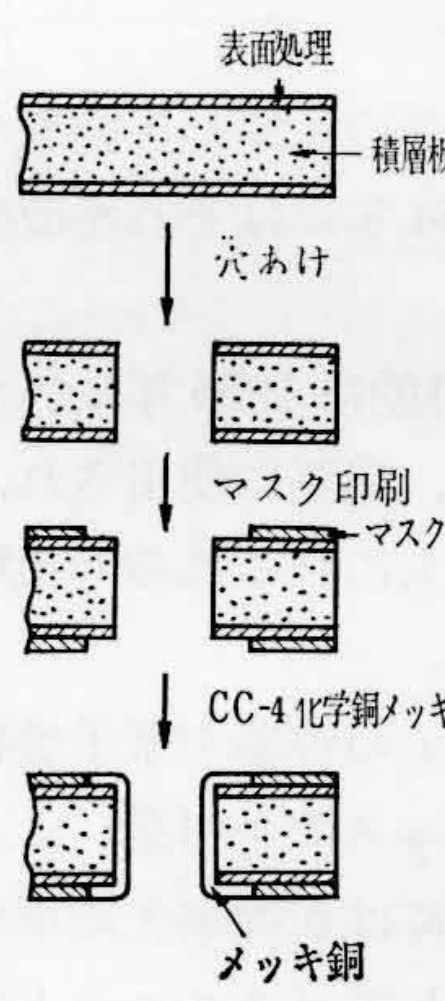
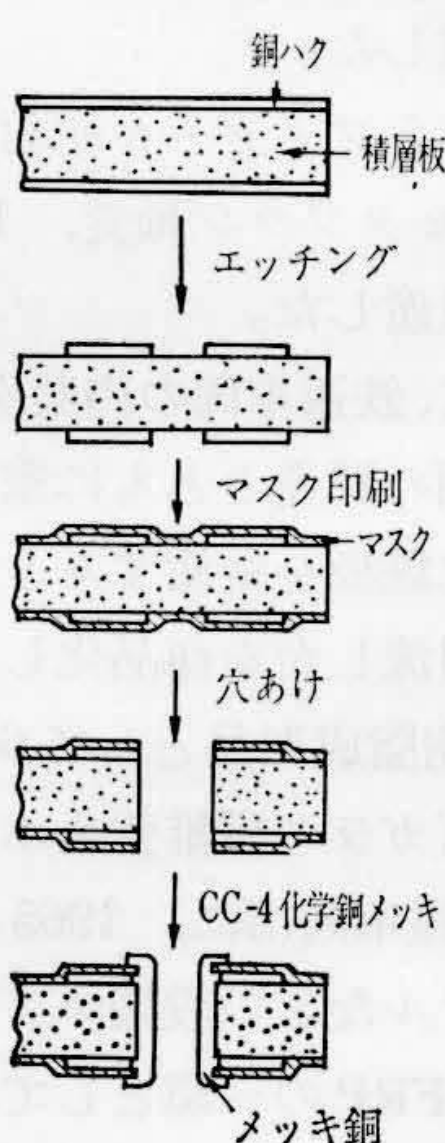
需要が急増している折柄、このような基板の有用性はきわめて大きいと考える。

ACL は CC-4 標準法、メッキ用 MCL は NT-1 法に適用され、それぞれ低密度および中密度スルーホールメッキ印刷配線ならびに高密度スルーホールメッキ印刷配線板の製造に用いられる。

4. JIS による基板の一般特性

積層板、MCL の特性規格は、国内においては JIS⁽⁴⁾に規定されており、また国外においてもアメリカの NEMA⁽⁵⁾ (National Electrical Manufacturers Association)、MIL⁽⁶⁾ (Military Specification) およびドイツの DIN⁽⁷⁾ (Deutsche Industrie Normen) などに規定

表 1 両面スルーホールメッキ印刷配線板製造における各プロセス工程概要

CC - 4 法		MCL・エッチング法
標準法	NT-1法	
ACL	メッキ用 MCL	一般 MCL
		

* 日立化成工業株式会社下館工場

表2 各プロセスの比較

		CC-4 法		MCL エッチング法
		標準法	NT-1 法	
工程上の特長	基 材	ACL	メッキ用 MCL	一 般 MCL
	適 用 (用 途)	低密度および中密度配線板 (線幅 0.5 mm 以上) 製造に適している。ラジオ、 テレビ、卓上電子計算機など	高 密 度 配 線 板 (線 幅 0.5 mm 以 下) 製造に適している。電子計算機、 通信機など	
	工程および製造原価	最も工程が短く、製造原価 低減に最も有利。	MCL エッチング法に比べて工程が短い。	工程が長く、スルーホールメッキの際に金 またはハンダメッキを必要とするので高価
製品性能上の特長	析出銅の引きはがし強さ	1.4~1.9 kg/cm	1.4~1.5 kg/cm	1.4~1.5 kg/cm
	析出銅のハンダ耐熱性 (260℃)	10~30 s	20~60 s	20~60 s
	パタンメッキの一樣性	析出銅の厚さは均一である	—	—
	* スルーホールメッキ 一樣性	B/D に関係なく、S/H は一定		B/D の増加とともに S/H も増加する。すな わち穴内部がやせる
	スルーホールメッキ 密着性	優		左3者より劣る

(注) *

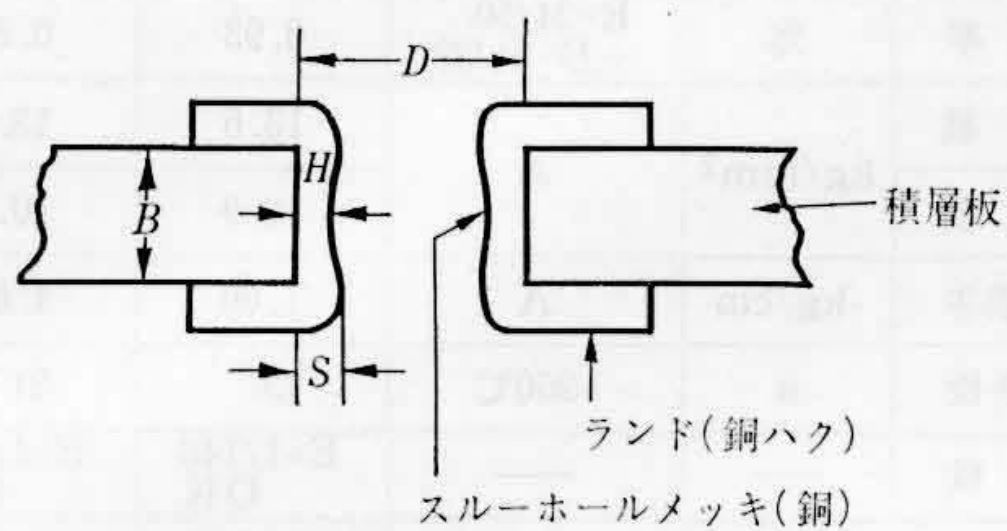


表3 印刷配線用基板の品種および用途

種 別	品 種	構 成 材 料	使 用 方 法	Grade		用 途
				JIS	NEMA	
ACL	ACL-143	紙基材・フェノール樹脂	CC-4 標準法	PP-7	XPC	低密度および中密度 スルーホールメッキ 印刷配線板 (ラジオ、テレビ、卓 上電子計算機など)
	ACL-141	紙基材・フェノール樹脂		PP-3	XXXPC	
	ACL-E-147	紙基材・エポキシ樹脂		PE-1	FR-3	
メッキ用 MCL	MCL-141	紙基材・フェノール樹脂	NT-1 法 など	PP-3	XXXPC	高密度スルーホールメッ キ印刷配線板 (電子計算機、通信機 など)
	MCL-E-147	紙基材・エポキシ樹脂		PE-1	FR-3	
	MCL-E-161	ガラス布基材・エポキシ樹脂		GE-4	G-10	

されている。

われわれは、これら規格の中から JIS を選び、その規格に従って一般特性の試験を行なった。規格としてはすべて MCL に関する規格を用いたが、その理由はここに報告する基板がいずれも印刷配線板製造に用いられるものであるからである。

表4は JIS の MCL に関する規格値である。

なお、スルーホールメッキ性の試験に関しては、直径 1mm の穴を数個あけた試験片を CC-4 メッキ浴に浸漬し、2 時間後すべての穴壁に銅が一樣に析出しているかどうかによってその良否を判断した。

4.1 ACL の一般特性

JIS に準じて試験した結果を表5に示した。表5からわかるように、ACL-143、ACL-141 および ACL-E-147 はいずれも良好な性能を示し、JIS 規格をほぼ満足している。

またスルーホールメッキ性もいずれも良好である。

4.2 メッキ用 MCL の一般特性

JIS に準じて試験した結果を表6に示した。表6からわかるように MCL-141、MCL-E-147 および MCL-E-161 はいずれもきわめて良好な性能を示し、JIS 規格をじゅうぶん満足している。またスルーホールメッキ性も良好である。

表4 MCL の JIS 規格値

JIS			PP-7	PP-3	PE-1	GE-4
該当品種						
項 目	単 位	*処理条件	143 系	141 系	E-147 系	E-161 系
引きはがし強さ	kg/cm	A	>1.2	>1.2	>1.4	>1.4
ハンダ耐熱性	s	260℃	>5	>5	>10	>20
体 積 抵 抗 率	Ω・cm	C-96/20/65	—	>5×10 ¹²	>5×10 ¹²	>10 ¹³
		C-96/40/90	—	>5×10 ¹¹	>5×10 ¹¹	>5×10 ¹²
表 面 抵 抗	Ω	C-90/20/65	—	>10 ¹²	>10 ¹²	>10 ¹²
		C-96/40/90	—	>10 ¹¹	>10 ¹¹	>10 ¹¹
絶 縁 抵 抗	Ω	C-90/20/65	>10 ⁹	>10 ¹¹	>10 ¹¹	>5×10 ¹¹
		D-2/100	>10 ⁶	>5×10 ⁸	>10 ⁹	>10 ⁹
耐 熱 性	—	A	E-0.5/130 OK	E-0.5/130 OK	E-1/130 OK	E-1/140 OK
曲 げ 強 さ	kg/mm ²	A	>8.0	>8.0	>11.5	>32
誘 電 正 接 1MHz	—	C-90/20/65	—	<0.040	<0.035	<0.035
		D-48/50	—	<0.050	<0.045	<0.045
誘 電 率 1MHz	—	C-90/20/65	—	<5.0	<4.6	<5.5
		D-48/50	—	<5.3	<5.0	<5.8
耐トリクレン性	—	トリクレン 蒸 気	2 分 OK	2 分 OK	5 分 OK	5 分 OK

(注) * 処理条件 A: 受理状態, E: 加熱処理, C: 湿度処理, D: 浸漬処理
たとえば C-96/40/90 は 40℃ 90% RH の恒温恒湿気中で 96 時間処理することを表す。

5. ACL を用いた印刷配線板の一般特性

ACL を用い CC-4 標準法により製造した印刷配線板の特性を表7に示した。なお使用したテストパタンは図1に示したものであり、

表5 ACL の一般特性

項目			特 性 値		
			ACL-143	ACL-141	ACL-E-147
品 種	単 位	処 理 条 件			
表 面 抵 抗	Ω	A	5.3×10^{10}	8.6×10^{10}	3.1×10^{11}
		C-96/40/90	8.6×10^9	1.0×10^{10}	1.1×10^{10}
体 積 抵 抗 率	$\Omega \cdot \text{cm}$	A	6.2×10^{12}	3.6×10^{13}	1.2×10^{14}
		C-96/40/90	3.3×10^{11}	4.6×10^{11}	1.4×10^{13}
誘 電 正 接 1MHz	—	A	0.0486	0.0392	0.0420
		D-48/50	0.0517	0.0452	0.0466
誘 電 率 1MHz	—	A	4.56	4.50	4.44
		D-48/50	5.11	4.80	4.75
絶 縁 抵 抗	Ω	A	8.4×10^{10}	2.0×10^{12}	8.8×10^{11}
		D-2/100	1.4×10^8	6.9×10^9	1.1×10^{10}
沿 層 耐 電 圧	kV	D-48/50	24	>35	>35
曲 げ 強 さ	kg/mm ²	A	12.3	12.3	14.9
			11.3	9.8	13.4
吸 水 率	%	E-24/50 +D-24/23	0.90	0.54	0.39
自 己 消 炎 性	s	A	—	—	10
耐 熱 性	—	A	E-1/140 OK	E-1/140 OK	E-1/160 OK
耐 アセトン 性	—	沸騰アセトン 30min	OK	OK	OK
*打ち抜き加工性	—	A	Good	Good	Good
メ ッ キ 性	—	CC-4メッキ浴 2h	良 好	良 好	良 好

(注) * ASTM D-617 による。

表6 メッキ用 MCL の一般特性

項目			特 性 値		
			MCL-141	MCL-E-147	MCL-E-161
品 種	単 位	処 理 条 件			
表 面 抵 抗	Ω	A	6.8×10^{12}	7.6×10^{12}	8.3×10^{12}
		C-96/40/90	3.3×10^{11}	4.4×10^{11}	2.5×10^{12}
体 積 抵 抗 率	$\Omega \cdot \text{cm}$	A	6.7×10^{13}	2.0×10^{14}	1.0×10^{14}
		C-96/40/90	3.7×10^{12}	1.1×10^{14}	4.1×10^{14}
誘 電 正 接 1MHz	—	A	0.0335	0.0332	0.0231
		D-48/50	0.0353	0.0344	0.0322
誘 電 率 1MHz	—	A	4.29	4.28	5.10
		D-48/50	4.45	4.50	5.27
絶 縁 抵 抗	Ω	A	1.6×10^{12}	4.3×10^{12}	3.4×10^{12}
		D-2/100	1.1×10^{11}	3.6×10^{10}	9.4×10^9
引きはがし強さ	kg/cm	A	1.59	1.60	1.62
ハンダ耐熱性	s	260°C	22	47	>60
曲 げ 強 さ	kg/mm	A	11.7	18.6	49.9
			9.6	15.1	49.8
吸 水 率	%	E-24/50 +D-24/50	0.56	0.30	0.10
自 己 消 炎 性	s	A	—	8.0	—
耐トリクレン性	—	沸騰トリクレン	2 min OK	5 min OK	5 min OK
*打ち抜き加工性	—	A	Fair	Fair	—
メ ッ キ 性	—	CC-4メッキ浴 2h	良 好	良 好	良 好

(注) * ASTM D-617 による。

表7 ACL 基材印刷配線板の一般特性

項目			特 性 値		
			ACL-143	ACL-141	ACL-E-147
品 種	単 位	処 理 条 件			
表 面 抵 抗	Ω	A	2.1×10^{10}	4.4×10^{10}	3.8×10^{10}
		C-96/40/90	6.0×10^9	1.5×10^{10}	9.4×10^9
体 積 抵 抗 率	$\Omega \cdot \text{cm}$	A	6.8×10^{12}	2.1×10^{13}	4.9×10^{13}
		C-96/40/90	4.4×10^{11}	8.0×10^{11}	2.0×10^{13}
誘 電 正 接 1MHz	—	A	0.0479	0.0368	0.0418
		D-48/50	0.0550	0.0425	0.0468
誘 電 率 1MHz	—	A	4.60	4.32	4.37
		D-48/50	5.15	4.61	4.60
絶 縁 抵 抗	Ω	A	3.2×10^{11}	8.1×10^{11}	8.9×10^{11}
		D-2/100	5.8×10^8	8.5×10^9	1.2×10^{10}
吸 水 率	%	E-24/50 +D-24/23	0.93	0.57	0.39
曲 げ 強 さ	kg/mm ²	A	13.6	13.5	15.6
			12.9	10.0	13.9
引きはがし強さ	kg/cm	A	1.60	1.60	1.60
ハンダ耐熱性	s	260°C	13	21	35
耐 熱 性	—	—	E-1/140 OK	E-1/140 OK	E-1/160 OK
自 己 消 炎 性	s	A	—	—	12.5
*打ち抜き加工性	—	A	Good	Good	Good

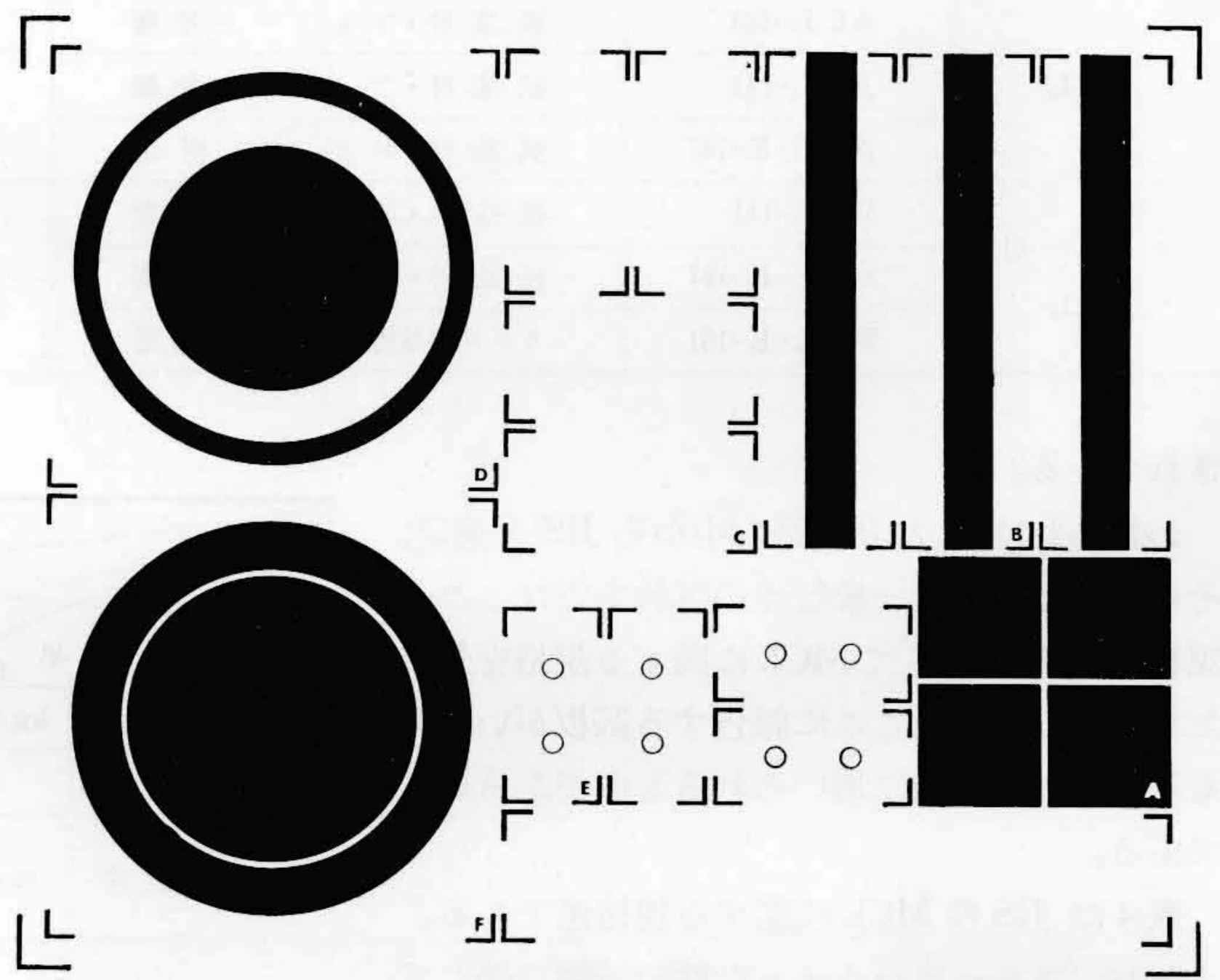


図1 JIS テストパターン

とはほとんどないことを示すものである。一例として、絶縁抵抗の煮沸くり返しによる劣化特性を図2に示した。

また機械特性については、曲げ強さ、打ち抜き加工性とも良好であり析出銅の引きはがし強さも図3に示したように一般のMCLと同等である。

ハンダ耐熱性は使用する基板によりいくらかの差は認められるが、おしなべて良好である。

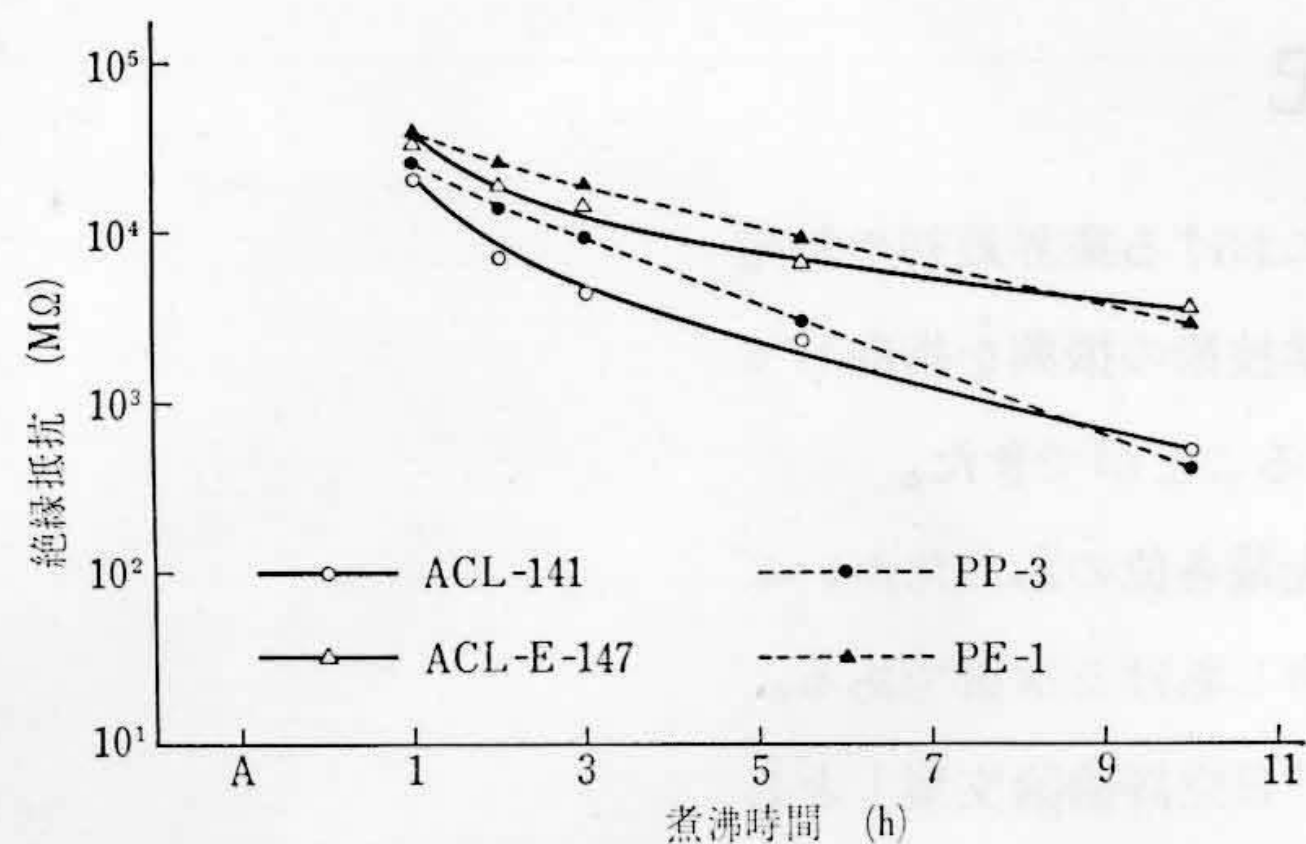
5.2 スルーホールメッキ特性

MIL規格に準じて行なったスルーホールメッキ特性試験結果を表8に示した。表8より明らかなように、スルーホール抵抗およびスルーホールメッキ強度はいずれも良好な結果を示し、MIL規格を満足している。またスルーホールメッキ厚さは先端部、中心部お

スルーホールメッキ性能に関する試験はMIL規格⁽⁸⁾に準じた。

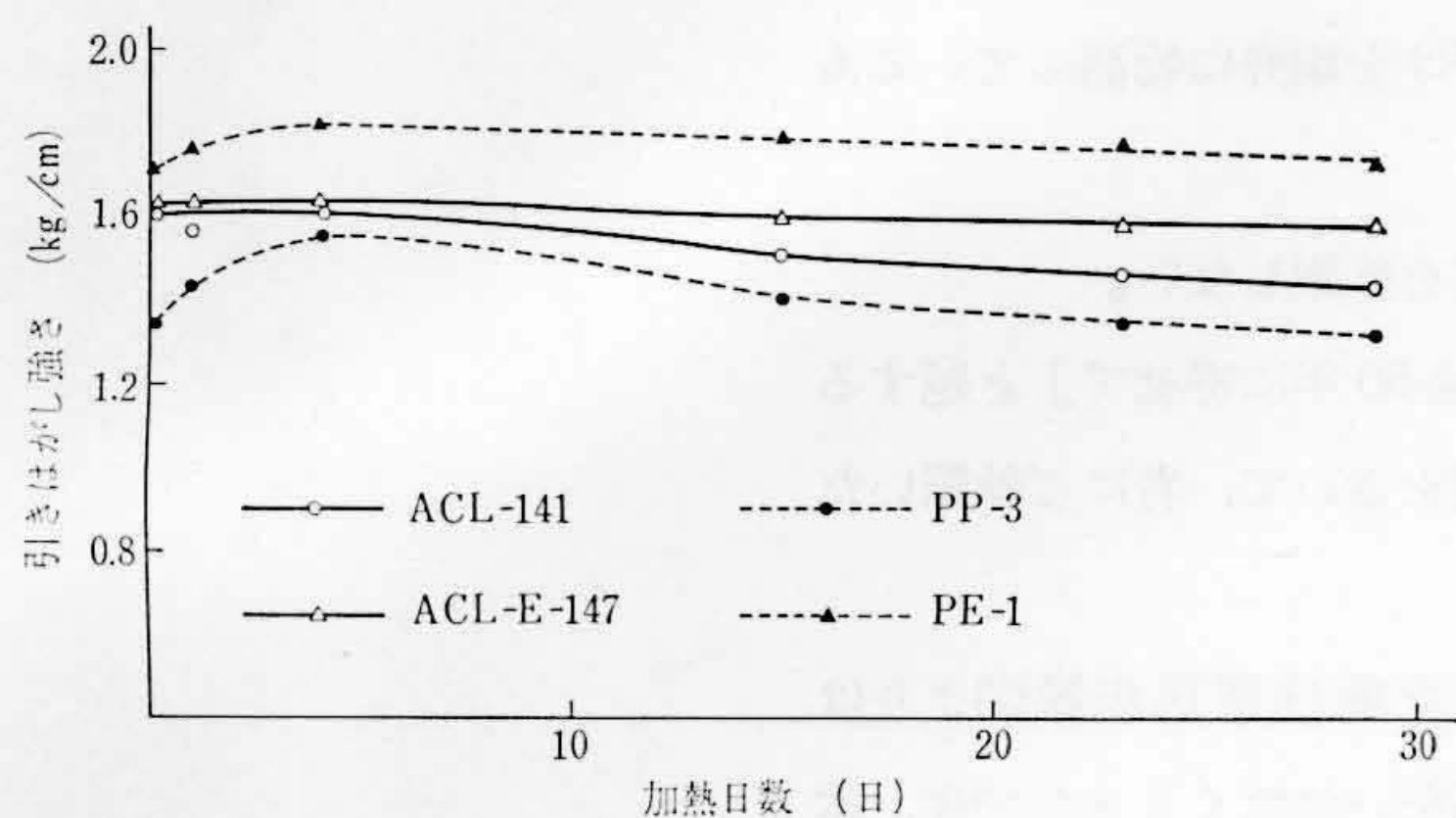
5.1 電気特性および機械特性

電気特性はACLとしての特性が、ほとんどそのまま印刷配線板の特性に移っており、MCLに関するJIS規格をほぼ満足している。これは印刷配線工程を経ることによって基板の劣化が起こるこ



煮沸くり返しによる絶縁抵抗の変化

図2 印刷配線板の劣化特性 (I)



加熱 (120℃) による引きはがし強さの変化

図3 印刷配線板の劣化特性 (II)

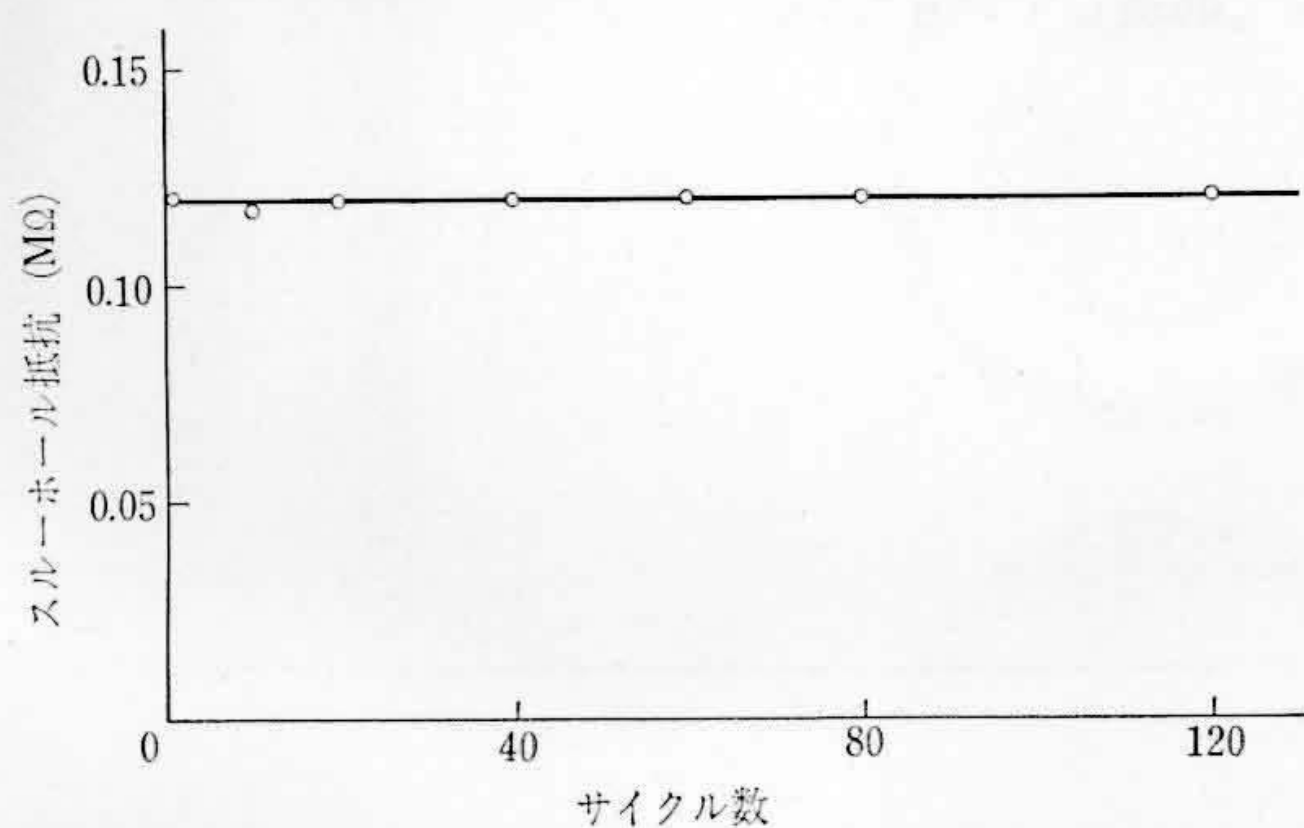


図4 温湿度サイクル試験によるスルーホール抵抗値の変化

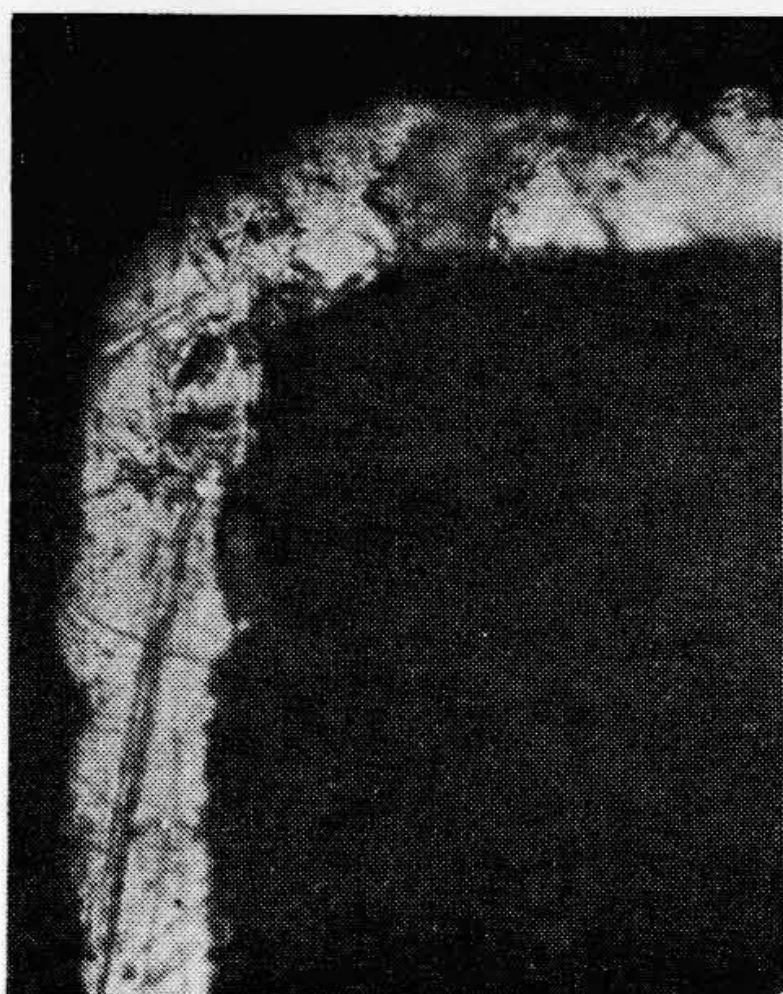


図5 ドリル加工穴のスルーホールメッキ断面

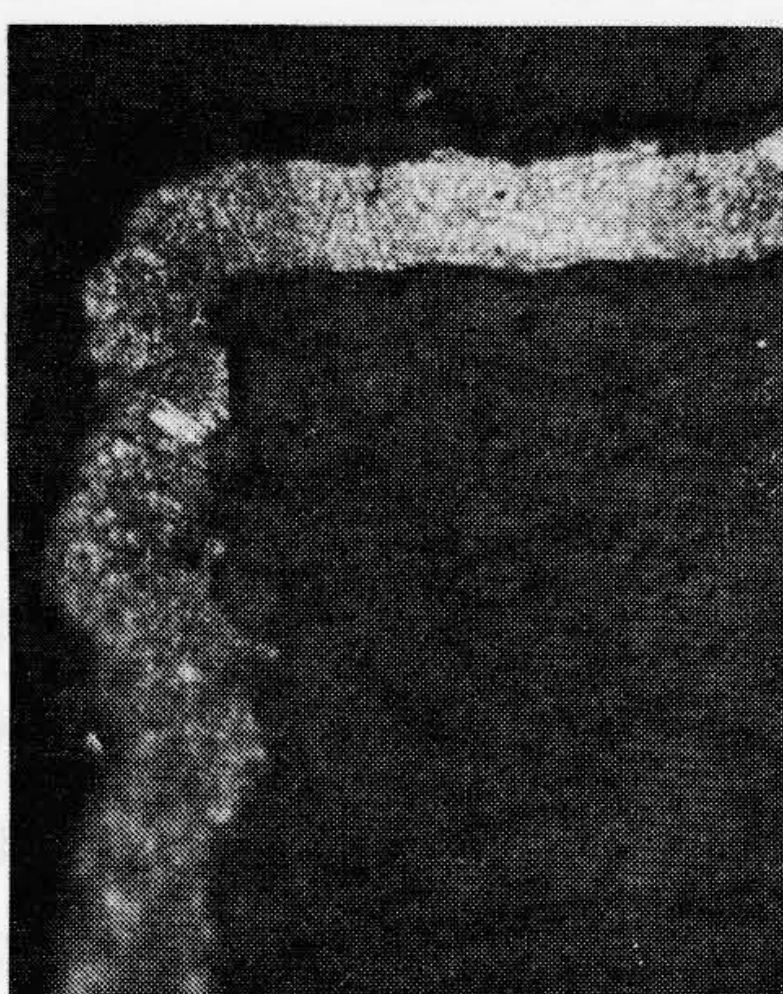


図6 打抜加工穴のスルーホールメッキ断面

よびパッド部の3点について測定した結果、良好な均一性を示している。

表8 MILによるスルーホールメッキ特性試験結果

項目	単位	処 理 件 件	MIL 規格値	特 性 値		
				ACL-143	ACL-141	ACL-E-147
*スルーホール抵抗	mΩ	A	—	0.12	0.12	0.12
スルーホールメッキ強度	kg/cm ²	A	>141	465	477	494
沿面耐電圧	—	1,000V 30s	>OK	OK	OK	OK
メッキ厚さ	パッド部	μ	A	—	37	41
	中心部				37	39
	エッジ部				32	34

(注) * スルーホール抵抗は 1.6 mmφ穴 パッド径 3.2 mmφの1個のスルーホールについて測定した値である。

現在、MIL-STD-202B-106A-1によるスルーホールメッキの温湿度サイクル試験を長期にわたって続行中であるが、試験開始より約120サイクルを過ぎた時点におけるスルーホール抵抗値は図4に示したように試験開始当初の値とほとんど変わらない。この断面形状を図5、6に示した。

以上述べたように、テストパターンによる性能試験結果は良好でじゅうぶん実用性のあることが確かめられた。なお、メッキ用MCLを使用した印刷配線板の一般特性およびスルーホールメッキ特性についても同様の試験を行ない良好な結果を得ている。

これらの結果をもとに現在中密度の両面スルーホールメッキ印刷配線板(たとえば、卓上電子計算機用両面スルーホール印刷配線板)を生産し好評を得ている。

6. 結 言

印刷配線用基板として、ACLおよびメッキ用MCLを新たに開発しその特性について検討した。

その結果、下記の点が明らかとなった。

- (1) ACLおよびメッキ用MCLは、それぞれ良好な一般特性を示しJIS規格をほぼ満足する。また、スルーホールメッキ性も良好でCC-4メッキ浴により2時間以内に穴壁全面に均一な銅を析出させることができる。
- (2) これらの基板を使用するにあたって
 - (a) ACLはCC-4標準法を適用して、低密度および中密度スルーホールメッキ印刷配線板を製造するのに好適である。
 - (b) メッキ用MCLは、NT-1プロセスを適用して高密度スルーホールメッキ印刷配線板を製造するのに好適である。
- (3) これらの基板を用いて製造した印刷配線板の一般特性は良好であり、また、スルーホールメッキ特性すなわちスルーホールメッキ強度およびスルーホールメッキ信頼性は特にすぐれており、その実用性はじゅうぶんである。
- (4) これらの基板を用いた印刷配線板製造工程は、従来のMCL-エッチング法のそれに比べて大幅に短縮される。
- (5) メッキ用ガラス布基材エポキシ樹脂MCLは、NT-1法とともに多層印刷配線板への応用が期待される。

参 考 文 献

- (1) 特許出願中
- (2) 特許出願中
- (3) 網島：「プリント配線の設計と製作」
- (4) JIS C 6482~6485
- (5) National Electrical Manufacturers Association Standard No. LI-1 Part 10, 1965
- (6) Military Specification MIL-P-13949C 1962
- (7) Deutsche Industrie Normen DIN-40802
- (8) Military Specification MIL-P-55110A 1965