

ミラクルワイヤの特性

Characteristics of the "Miracle Wire"

中川 順吉* 古川 忠男** 古賀 正臣***
Junkichi Nakagawa Tadao Furukawa Masaomi Koga

要 旨

ミラクルワイヤとは、数ミクロン程度の銅その他の導体に薄いガラス被覆を施した絶縁電線であって、電子機器の耐熱性向上および超小形軽量化のために用いられる。

現在、銅、銀およびマンガン導体のミラクルワイヤが製造できる。ミラクルワイヤの機械的特性は被覆ガラスに依存しており、引張強さは大きい、最小巻付可能径は仕上径の約100倍径すなわち2~3mmである。被覆ガラスにはピンホールがまったくなく、破壊電圧は室温で3,000V、500℃でも100V以上（被覆厚0.01mm）を示し、高温まで良好な絶縁性を有している。また、導体径0.01mmの銅導体線の450℃における許容電流は約140mAである。

1. 緒 言

ガラスを被覆とした極細電線は、ソ連およびイギリスで開発され、超小形、耐熱性において特に注目されている。また製造方法は従来の線引きした導体に絶縁被覆を施すものとは異なり、導体金属および被覆ガラスを高温の熔融状態から高速で引き伸ばし、一工程で絶縁線を製造するもので、ガラスの紡糸に類似したまったく新しい方法であり技術的にも関心がもたれている⁽¹⁾。

ソ連においては、ソ連科学アカデミーで銅、マンガン、コンスタンタン、金、銀および鉄を導体とする導体径1~200μのマイクロワイヤ⁽²⁾が、またイギリスにおいてはイギリス航空省の要請によりGlass Development Ltd. で銅およびマンガンを導体とする1~35μのG. D. Microwire⁽³⁾が開発されている。

ミラクルワイヤは、日立電線株式会社が日東紡績株式会社との共同研究で開発した同種の極細電線である。以下ミラクルワイヤの製造方法とその特性を述べる。

2. ミラクルワイヤの製造

電子工業の発達は、極細電線の需要を急速に増加するものと予想されるが、従来のダイス引きによる方法および加工性のよい金属を被覆し線引き後被覆金属を除去する方法では、いずれも製造できる寸法に限度があり、極細電線の新しい製法が注目されている。

ミラクルワイヤは、ガラス管に導体金属を入れ加熱熔融し、数ミクロンまで引き伸ばし、ダイスを用いず一工程でガラス絶縁された極細電線を製造するまったく新しい方法である。線に加工する導体金属についてはおもに融点だけで定まり、用いるガラスの繊維化温度で液体状になる金属であればよい。

製造装置の模式図を図1に示す。絶縁被覆となるガラス管は、電気的特性の良好な硼珪酸系ガラスである。ガラス管に金属チップを入れ、高周波誘導加熱で周方向均一に加熱する。ガラス管を一定速度で送り加熱位置を一定に保ちつつ熔融部を高速で引いてミラクルワイヤを製造する。

現在、導体金属として銅、銀およびマンガンのミラクルワイヤが製造できる。各金属および被覆用ガラスの諸性質を表1および表2に示す。

ミラクルワイヤの現在の製造寸法範囲を表3に示す。1本の線の長さは、標準500m、最大2,000mである。

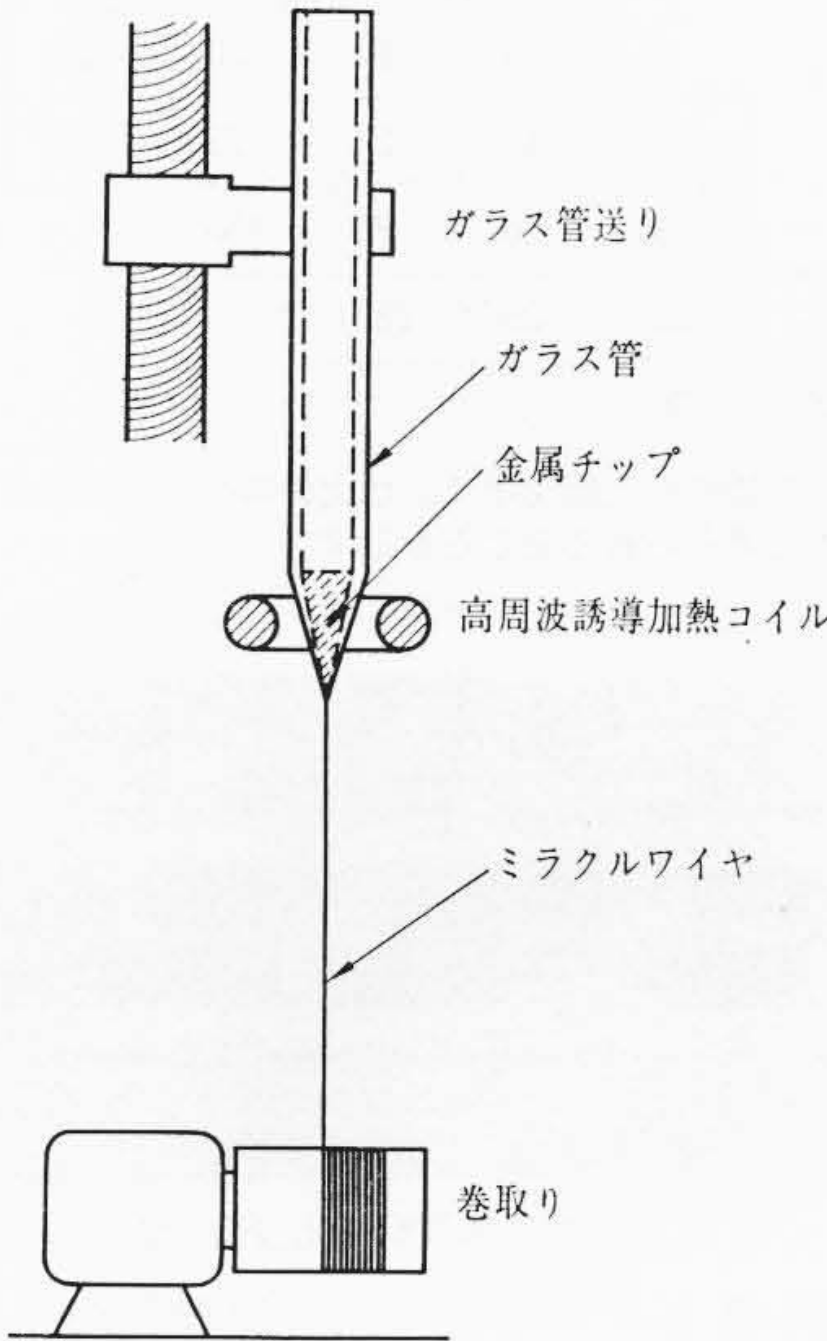


図1 ミラクルワイヤの製造装置

表1 導体金属の性質

金 属		銅	銀	マンガン
項 目				
組 成		Cu	Ag	86Cu, 12Mn, 2Ni
比 重 (20℃)		8.92	10.5	8.4
体積抵抗率 (20℃) μΩ-cm		1.69	1.62	43
体積抵抗率の温度係数 1/℃		3.93×10 ⁻³	3.8×10 ⁻³	1×10 ⁻⁶
線 膨 張 係 数 10 ⁻⁶ /℃		16.6	18.9	19
融 点 ℃		1,083	960.5	960

表2 被覆ガラスの性質

項 目		
比 軟 化 温 度 ℃ ひ ず み 温 度 ℃ 線 膨 張 係 数 屈 折 率	重 度	2.23
	℃	820
	℃	520
	率	32×10 ⁻⁷ 1.474
体 積 抵 抗 率 Ω・cm	25℃	10 ¹⁵
	250℃	1.3×10 ⁸
	350℃	4×10 ⁶
誘 電 特 性 1 Mc 20℃	tan δ	0.0046
	誘 電 率	4.6

3. ミラクルワイヤの寸法

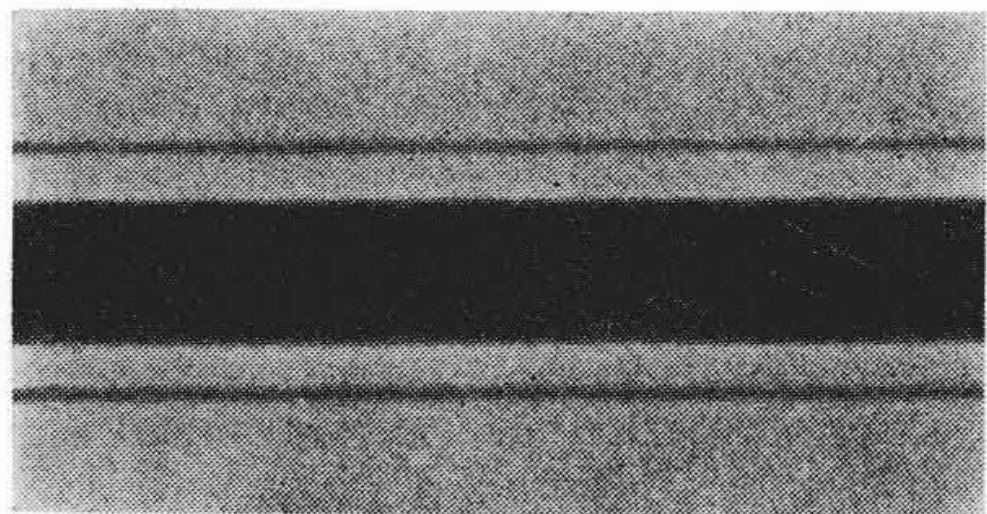
ミラクルワイヤは、紡糸の技術によるまったく新しい方法で製造

* 日立電線株式会社日高工場
** 日東紡績株式会社砥織研究所
***日立電線株式会社電線工場

表 3 ミラクルワイヤの製造可能寸法範囲

金属	導 体 径 (μ)								导体径 仕上径×100
	2	4	6	8	10	12	15	20	
銅					(20)	(25)			50 %
			(15)	20	(25)	(30)			40 %
		(14)	20	25	30				30 %
		20	30	40					20 %
銀						(15)	(20)	(25)	80 %
					(15)	18	(20)		70 %
					17	20	(25)		60 %
		(12)	16	20	25				50 %
		15	20	(25)	(30)				40 %
	14	20	(25)						30 %
	20	(30)							20 %
マン ガ ニ ン						(15)			80 %
					(15)	(18)	(20)		70 %
			(14)	17	20	(25)			60 %
		(12)	16	20	25	(30)			50 %
		15	20	25	(30)				40 %
	14	20	25	(32)					30 %
	20	(30)							20 %

(注) わく内の数値は仕上径を示す。仕上径にカッコのあるところは将来製造可能となると考えられるところを示す。



(銀导体径 12 μ, 仕上径 22 μ)

図 2 ミラクルワイヤの投下光顕微鏡写真 (600 倍)

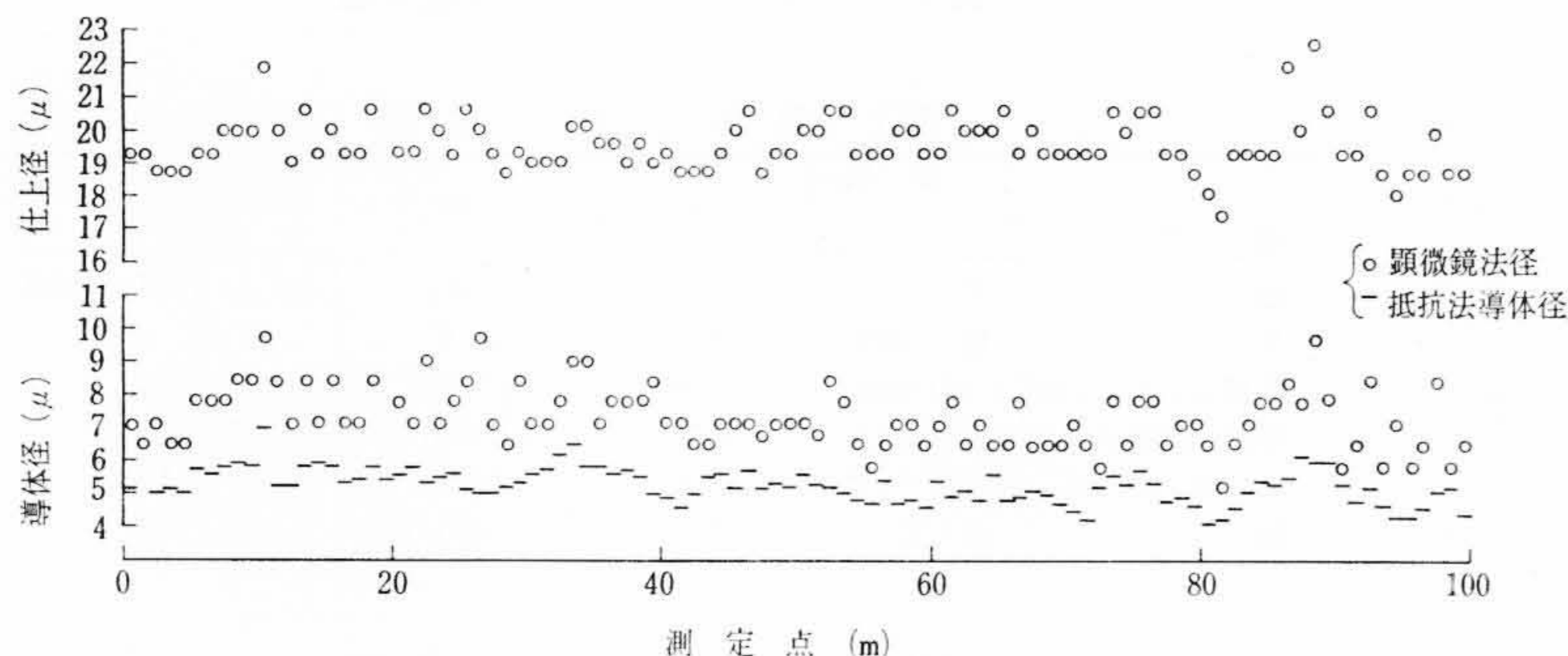


図 3 ミラクルワイヤの寸法

されることおよび製品が非常に細いことにより寸法にはきわめて関心がもたれる。

ミラクルワイヤは、導体が非常に細くガラス被覆をハク離した状態では取扱いが困難になるので、ガラス被覆をしたままの状態、導体径および仕上径の測定を行なうことが望ましい。被覆ガラスの透明性を利用し、光学的に顕微鏡で寸法測定を行なった。投下光による拡大写真を図 2 に示す。

また、導体径については、導体抵抗測定値から径を換算する抵抗法でも測定を行なった。導体金属の抵抗率には表 1 の値を用い、換算式は次式による。抵抗法による径は、測定した長さの平均的な径を表わしている。

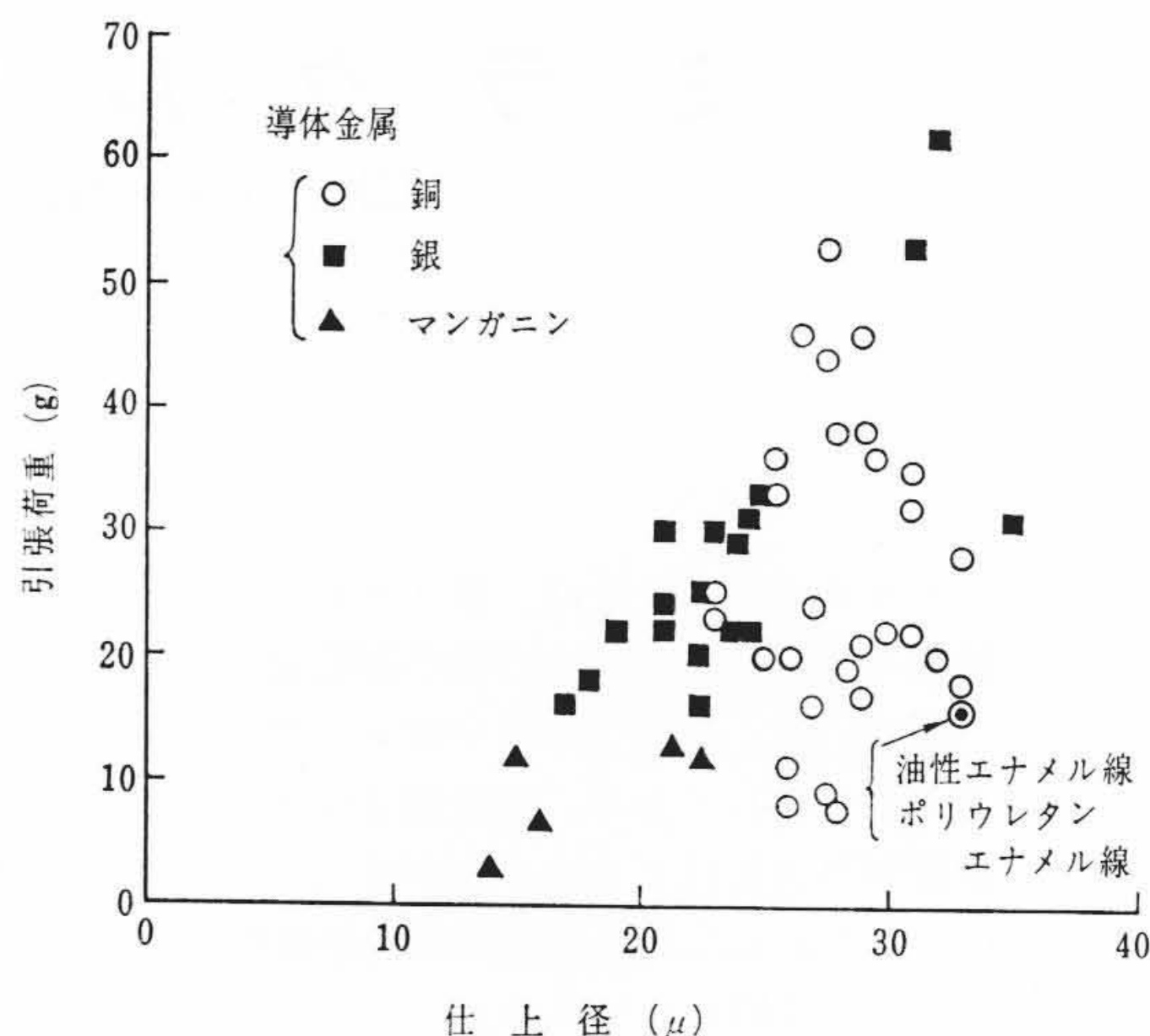


図 4 ミラクルワイヤの引張荷重

$$d=0.2\sqrt{\frac{\sigma}{\pi}\cdot\frac{l}{r}}$$

ここに、 d : 求める導体径 (mm)

l : 試料の長さ (m)

r : 長さ l の導体抵抗測定値 (Ω)

σ : 導体金属の抵抗率 (μΩ-cm)

ミラクルワイヤの寸法測定結果の一部を図 3 に示す。測定の単位長さを 1 m としたので抵抗法導体径はその間の平均径である。図は銅導体線についての測定結果である。導体径については、顕微鏡による径が抵抗法による径より一般に大きくでる傾向はあるが、試料によってその差は異なり、量的に表わすことはできない。また、導体径、仕上径とも 4~5 μ の範囲の不規則なばらつきがある。このばらつきはある長さの平均径を考えることにより平均化され、見かけ上小さくなる性質のものである。このことは導体径で、1 m の平均径である抵抗法による径が顕微鏡による径より小さなばらつきになっていることで示されている。この種のばらつきは、G.D.Microwire にも見られ、導体径 10 μ のマンガニン G.D. Microwire のばらつきの範囲は、導体径で 6 μ 程度、仕上径で 8 μ 程度と実測された。これらのばらつきは、製造法によるものと考えられるが、原因を分析して製品の寸法安定性を向上するよう検討を進めている。

現在、製品の寸法は、顕微鏡による両端末の平均値をとって表わしているが、製品内部の平均寸法と危険率 30% 程度で一致し、簡便で信頼のできるものである。

4. ミラクルワイヤの特性

つぎにミラクルワイヤの特性について述べる。

4.1 機械的特性

4.1.1 引張強さ

ミラクルワイヤの引張試験を、繊維用引張試験機で測定した。試料は切断まではほとんど伸びず、被覆ガラスの切断と同時に導体金属も切断する。線の引張荷重および引張強さを線の仕上径に対してプロットしたのが図 4 および図 5 である。引張荷重は仕上径が大きくなるにしたがって大きくなる傾向はあるが、ばらつきが大きくまた引張強さにも明瞭な関連性は見られない。これは、ミラクルワイヤの引張強さが単純に仕上径だけで考慮される性質のものでないことを示している。ミラクルワイヤの引張強さは、油性エナメル線およびポリウレタンエナメル線の約 19 kg/mm² (導体径 25 μ, 仕上径 33 μ) より一般に大きな値であり、被

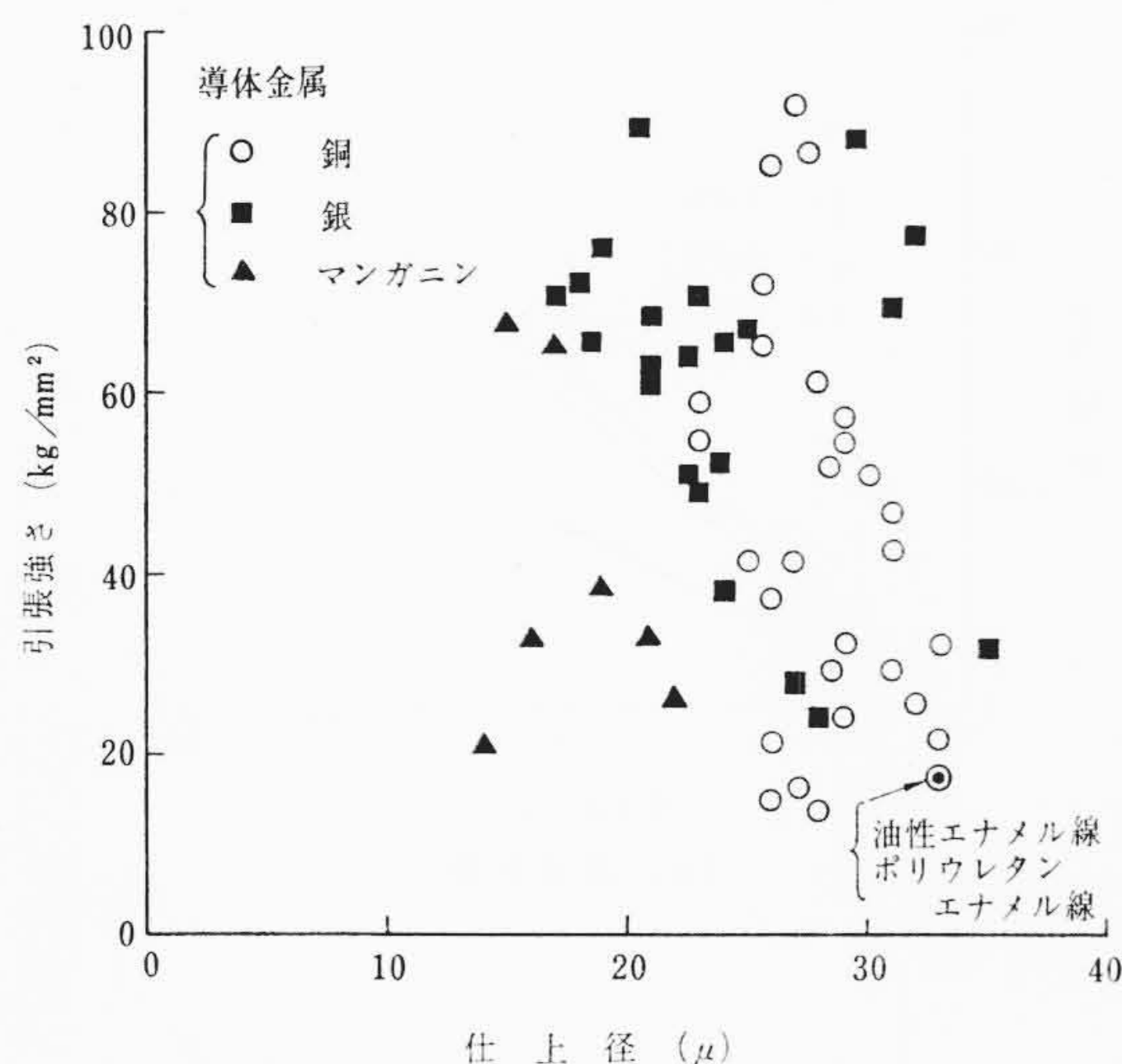


図5 ミラクルワイヤの引張強さ

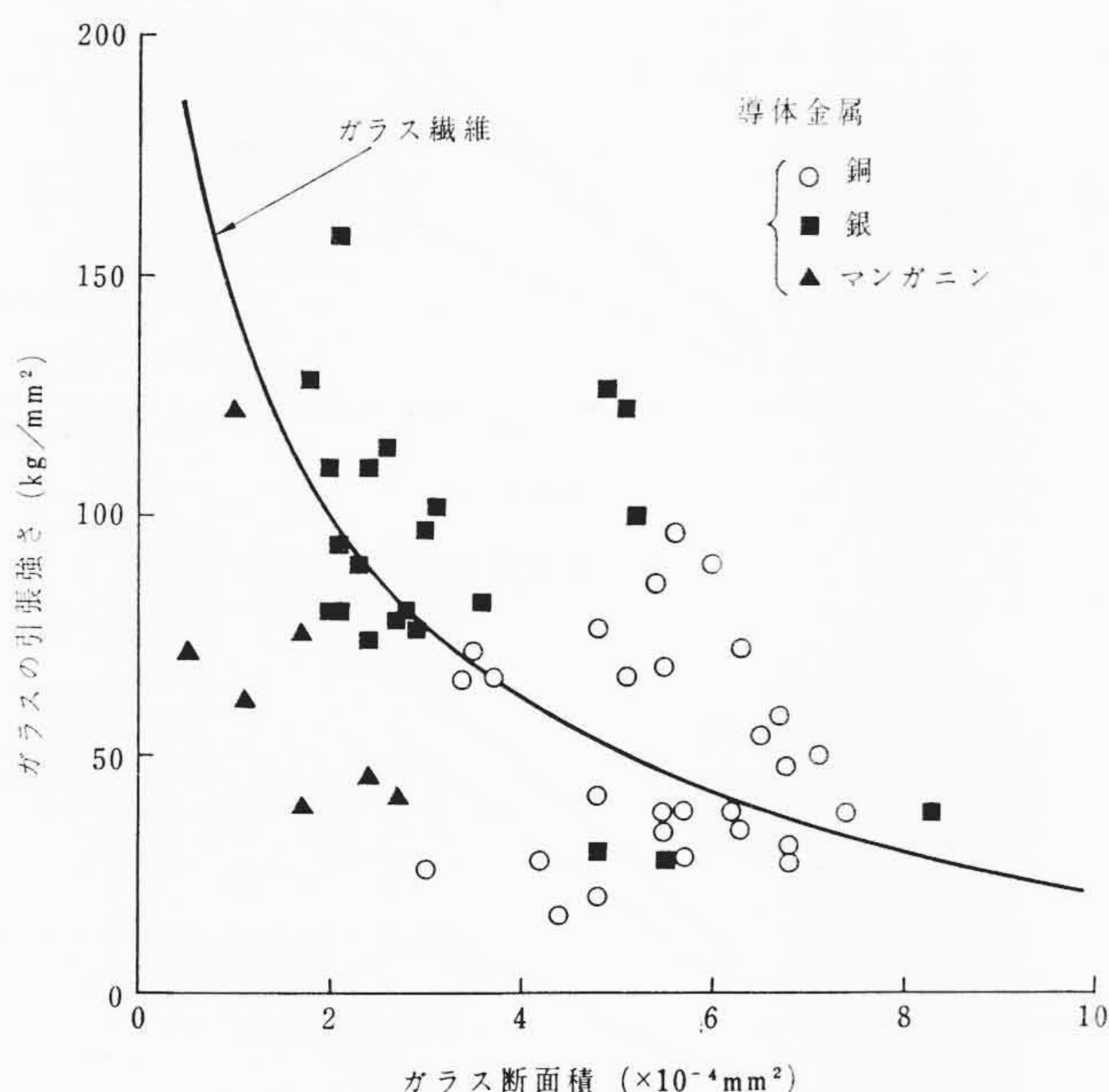


図6 ミラクルワイヤガラス層の引張強さ

覆ガラスが大きく影響していると考えられる。

ミラクルワイヤの引張荷重を被覆ガラスの断面積で割ったガラスの引張強さを考え、ガラス断面積に対してプロットし図6に示す。ばらつきはあるが、導体金属の種類によらずガラス繊維の引張強さとはほぼ同じ傾向にあり、ミラクルワイヤの引張強さはガラスの部分に依存していると考えられる。同じ結果は、中空のガラス繊維とミラクルワイヤの引張強さに差の無いことでも確かめられている。

4.1.2 たわみ性

ミラクルワイヤの被覆層はガラスであるので、たわみ性の劣ることが予想される。ガラス被覆にき裂の生ずる曲げ径でたわみ性を評価したが、特に被覆ガラスの薄い線を除いて、ガラスにき裂が生ずると導体金属まで切断した。導体径および被覆ガラスの厚さによりたわみ性は異なるが、一般に仕上径20~30μのミラクルワイヤは仕上径の約100倍径すなわち2~3mm径に曲げてもしき裂は生じない。したがって、取扱いに注意さえすれば、一般の小形コイル巻きにさしつかえない程度のたわみ性がある。

4.2 電気的特性

4.2.1 導体抵抗

導体金属の導電率を求めるには、寸法および導体抵抗を精密に

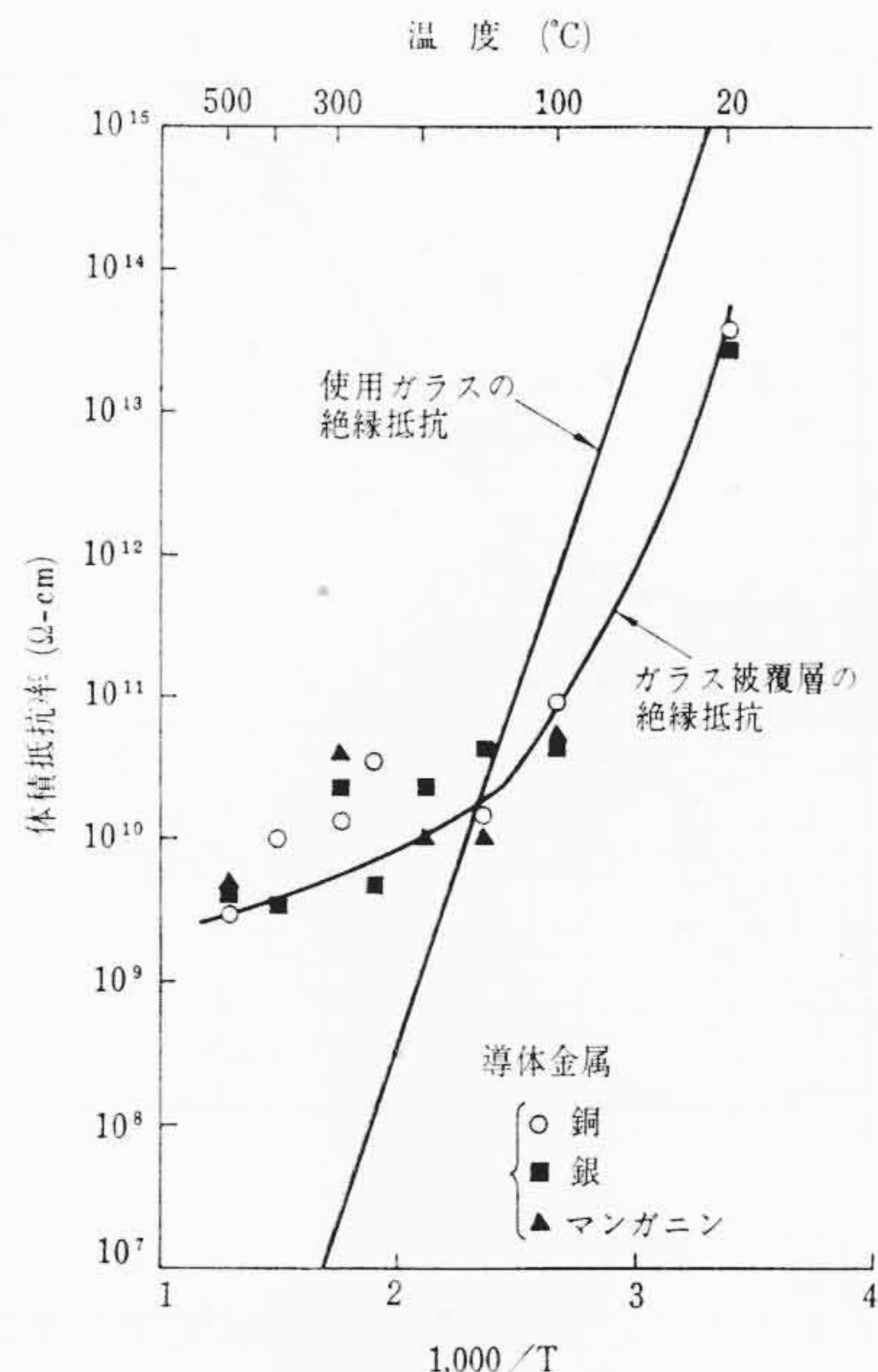


図7 ミラクルワイヤの絶縁抵抗

測定しなければならない。現在の長さ方向にばらつきのある試料では寸法を精密に測定するには短い試料が望ましい。一方短い試料の導体抵抗を測定する場合には、測定中に流れる電流で発熱し線の温度が上昇し、温度の正確な導体抵抗は測定できない。このように寸法と導体抵抗を同時に精密に測定することは困難であって、精密な導電率は求められていない。

しかし、表1の抵抗率を用いて抵抗法によって換算した寸法が顕微鏡で測定した導体径とほぼ一致することは、加工によって金属の導電率に大きな変化を与えていないことを示している。

4.2.2 絶縁抵抗

ガラス絶縁層の絶縁抵抗は線を導電性液体に浸漬する方法で測定した。導電性液体として室温では水銀、100~500℃ではウッド合金、スズまたは鉛を用いた。液中の試料が5cmになるよう支持し、導電性液体と導体線を両端子として直流100V直偏法で測定した。電極液から導体線端子までの距離を長くすることによって表面伝導を分離するガード電極を取り付ける必要のないことも確認した。

測定結果を体積抵抗率に換算して図7に示す。測定値は用いたガラスの絶縁性より高温部で良い値を示している。

4.2.3 交流絶縁破壊電圧

ガラス絶縁層の交流絶縁破壊電圧を、絶縁抵抗の測定と同じく導電性液体に浸漬し、AC 50 c/s 電源を用いて測定した。

室温における破壊電圧を被覆厚さに対してプロットしたのが図8である。破壊電圧は導体金属によらず被覆厚さに対してほぼ直線的に増加する。室温での他の極細エナメル線と比較すると、油性エナメル線およびポリウレタンエナメル線の約1.5倍である。破壊電圧を被覆厚さで割って絶縁耐力を求め各温度に対して信頼度95%の区間推定値で表わしたのが図9である。絶縁耐力は温度により急激に低下するが250℃以上では低下は小さくなり、500℃でも10 kV/mm以上の値を示し耐熱性も優秀である。

4.2.4 許容電流

ミラクルワイヤの許容電流を検討する目的で、直流電流による線の温度上昇を測定した。端末接続部のほかは支持物を用いず、熱は空气中へ自然放熱させた。線の温度測定は一般的な方法では測定できないので温度によって変色する塗料サーモペイントを用いた。すなわち線のガラス表面にサーモペイントを塗り、サーモ

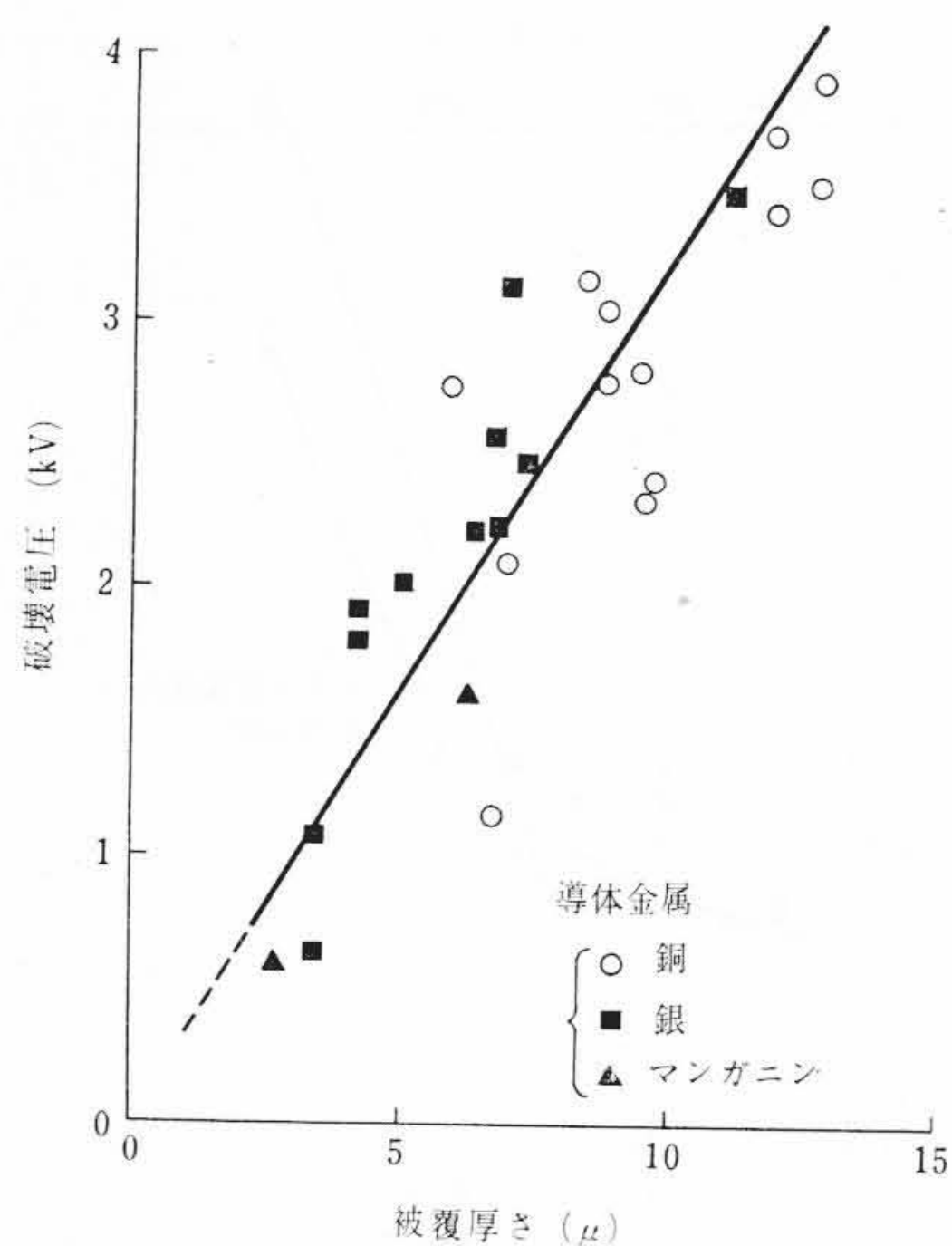


図 8 ミラクルワイヤの交流絶縁破壊電圧 (室温)

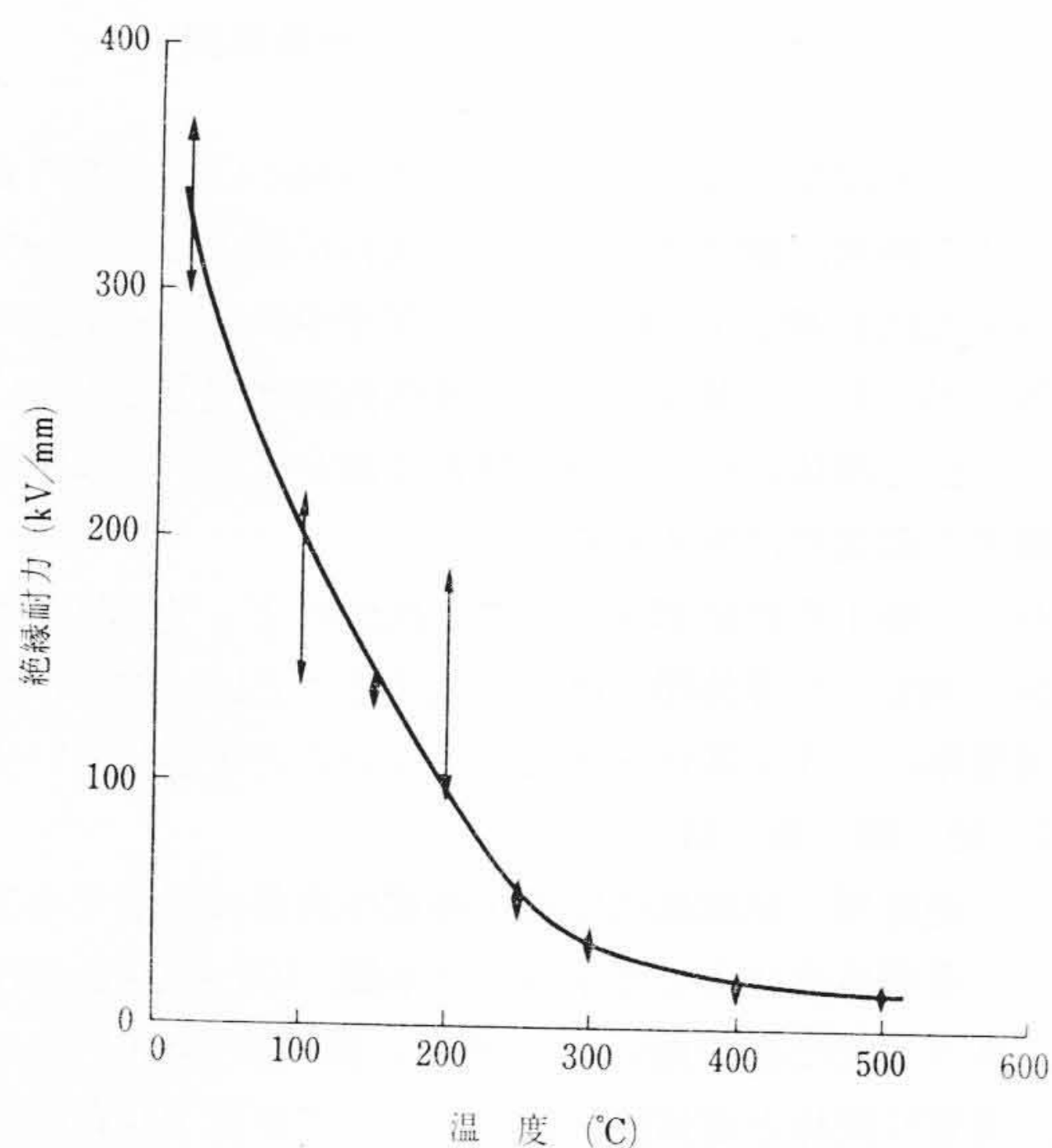


図 9 ミラクルワイヤの絶縁耐力

ペイントの変色する電流を測定した。線の温度が 110, 310°C および 450°C になる電流を導体径に対してプロットし図 10 に示す。同一温度に達する電流は導体径にはほぼ比例して増加し、線が 450°C になる電流は 10 μ の銅および銀導体線で 140 mA, マンガン導体線で 38 mA である。

設計上必要な絶縁抵抗あるいは破壊電圧になる温度を図 7 あるいは図 9 から定め、線がこの温度になる電流をミラクルワイヤの許容電流とした。

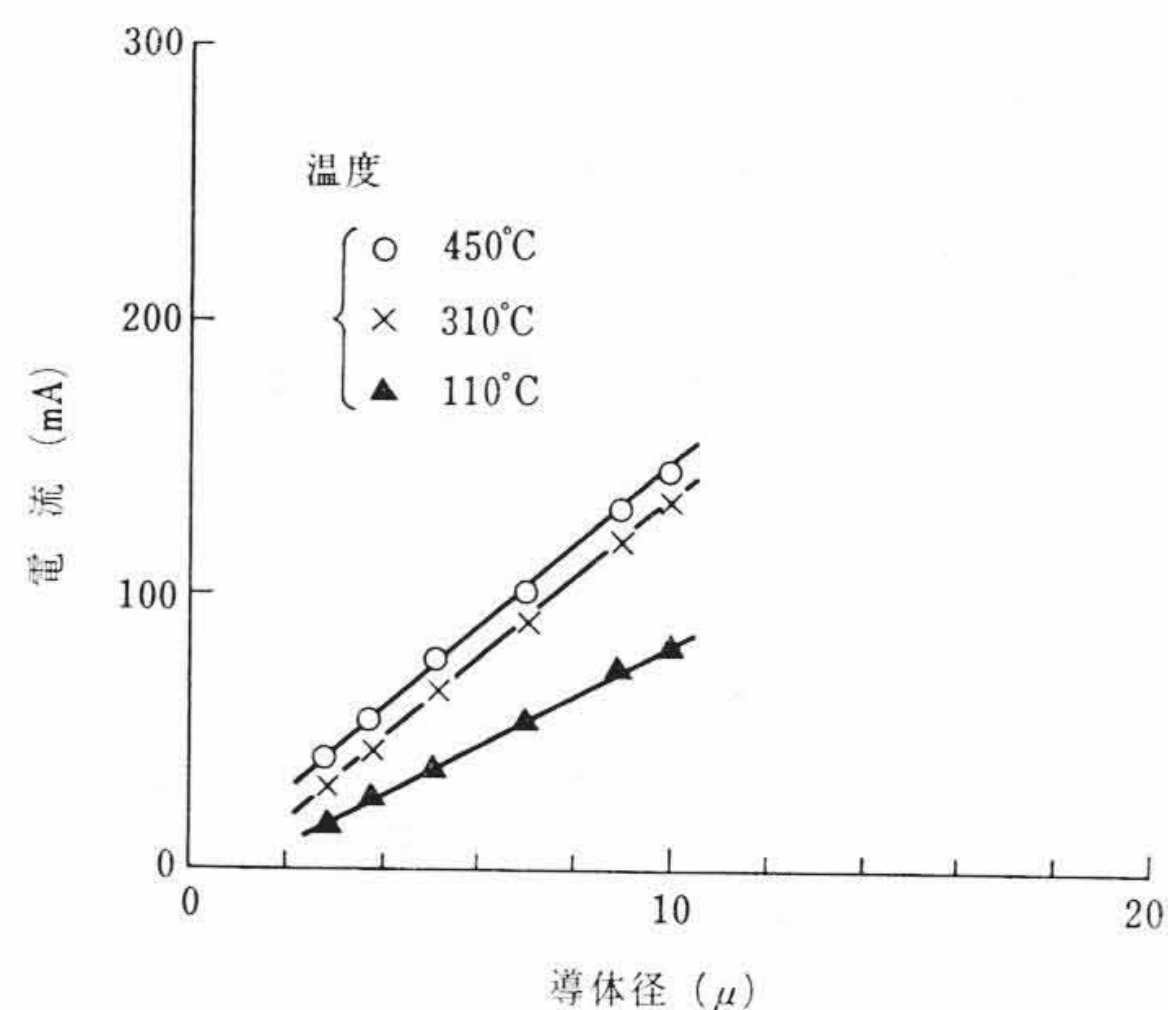
4.2.5 ピンホール試験

一般のエナメル線のピンホール試験と同じく, JIS, C 3203 に準じて食塩水中で直流 12V を印加してピンホールを観察した。ピンホールはまったく見られず良好な結果であった。

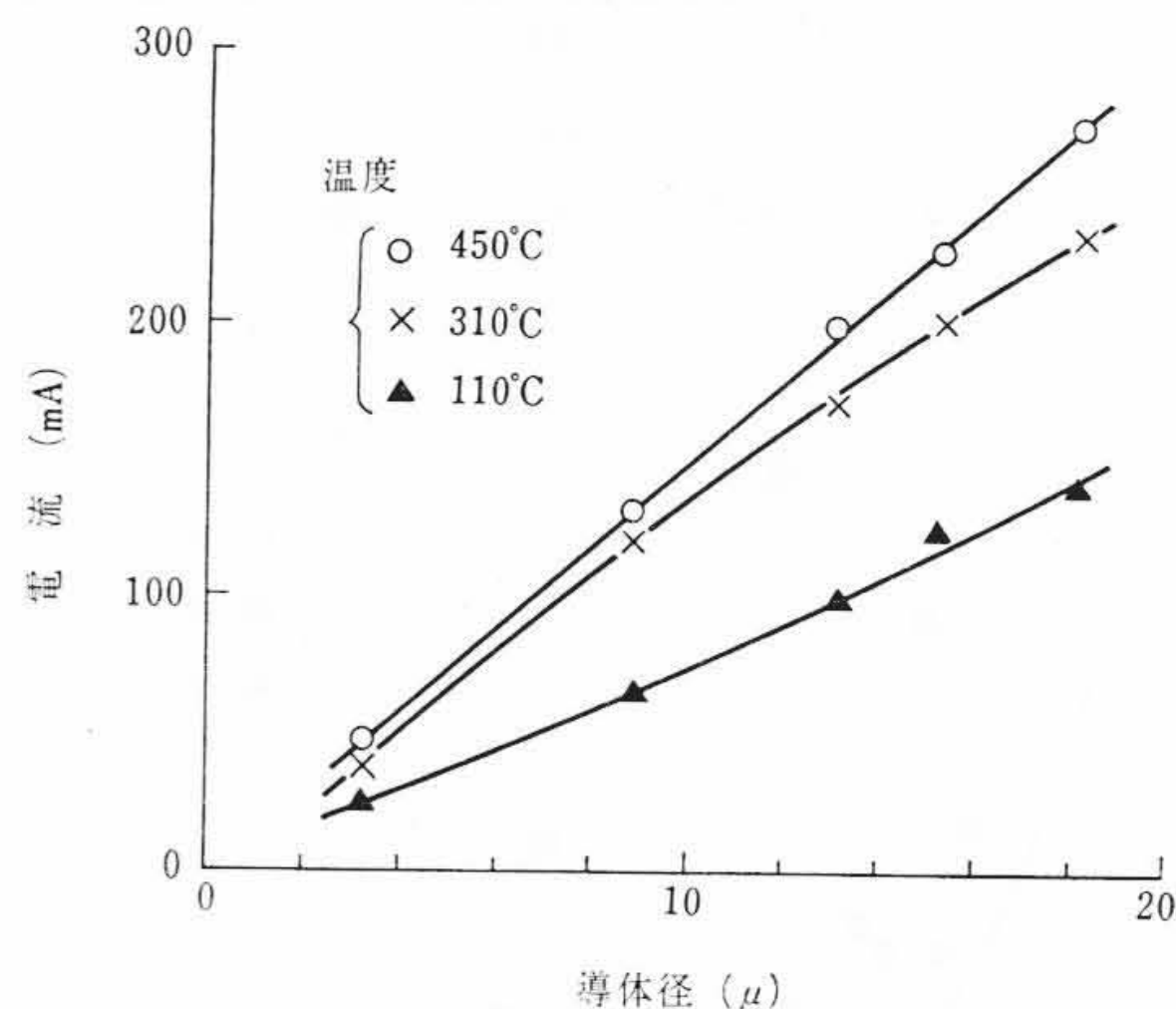
被覆が薄いにもかかわらず良好な機械的および電気的特性を示すのは, 被覆にピンホールがまったく無いことによるものである。

5. 端末ハク離および接続

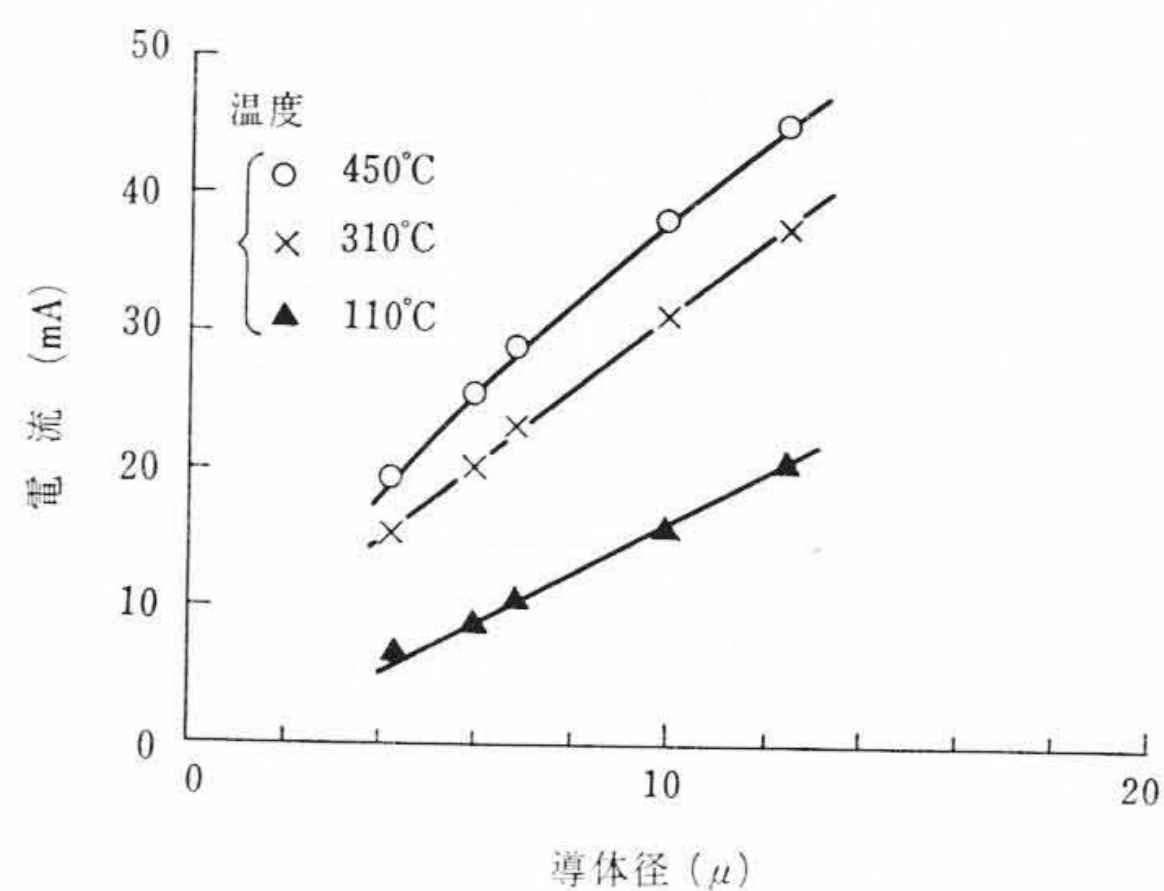
端子接続を行なうためのガラス絶縁層のハク離は, 熔融カセイソーダ (約 330°C) に 2~3 秒間浸漬して溶解除去される。ハク離後は稀塩酸で中和し, 水洗をすれば完全である。他に, フッ化水素水に



(a) 銅導体線



(b) 銀導体線



(c) マンガン導体線

図 10 ミラクルワイヤの電流と温度

浸漬する方法および機械的にガラスを破壊して取り除く方法がある。端末ハク離した線は, 一般のハンダ付けができる。

6. 結 言

ミラクルワイヤは開発されたばかりであり, その現在の寸法範囲は限られているが, 得られた線について特性試験を行なった。以下はその結果を要約したものである。

- (1) 導体径および仕上径のばらつきは $\pm 30\%$ 程度である。このばらつきは, 製造方法に起因するものと考えられる。
- (2) 引張強さは被覆ガラスに依存しており, 一般の極細エナメル線に比べて大きい。
- (3) たわみ性は仕上径の約 100 倍径すなわち 2~3mm で, 注意すれば小形コイル巻きにさしつかえない。
- (4) 導体金属の導電率は加工によって変化しないと考えてよい。
- (5) 絶縁抵抗は体積抵抗率に換算して室温で $10^{13} \Omega\text{-cm}$, 500°C

でも $10^9 \Omega\text{-cm}$ あり、 200°C 以上の温度では用いたガラスの絶縁抵抗より高い絶縁性を示す。

- (6) 絶縁破壊電圧は室温で 3,000V、 500°C でも 100V 以上（被覆ガラス厚さ 0.01mm）を示し、高温まで良好である。
- (7) 同一温度で流し得る電流は導体径にほぼ比例し、導体径 0.01mm の銅導体ミラクルワイヤの 450°C における許容電流は 140mA である。
- (8) 被覆ガラスにはピンホールがまったくない。

ミラクルワイヤは以上述べたように、寸法においても特性においても従来の電線の概念とはかけはなれた電線であり、電子回路や電子部品その他の分野で専門のかたがたによって新しい用法が考えられるであろう。線間の高い耐電圧を生かしたパルス回路のコイル、高温真空でもガスを発生せず、被覆ガラスにピンホールの無いことを生かした密閉形リレー、高温リレー、真空装置内のリレーのコ

イルをはじめガルバノメータのコイルおよび吊(つり)線、電位差計の抵抗、小形変圧器の巻線および電子機械用一般巻線なども考えられる。

さらに、製造寸法範囲の拡大、白金など他の導体金属線の製造を進めていく予定である。

終わりに臨んで、本研究に種々ご指導ご援助を賜った日東紡績株式会社福島工場佐野工場長、雨宮研究員、日立電線株式会社電線工場間瀬副工場長、同社日高工場吉川主管研究員ならびに実験にご協力いただいた永山久夫氏その他関係各位に対し厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) H. Wagner: Wire 869 (Jun. 1964)
- (2) 間瀬喜好: 電学誌 84, 1656 (昭 39-11)
- (3) M. Falk: ETZ-B 15, 425 (Jul. 1963)

第 28 卷

目 次

第 3 号

- ・明 日 へ の 群 像
- ・パ ル ス 小 僧 ま か り 通 る
- ・楽 し い 旅 は “み ど り の 窓 口” か ら
- ・ぼ く と わ た し の 専 用 リ ン ク
- 「こどもの国」の野外アイススケートリンク——
- ・ア ロ ハ ・ 常 夏 の パ ラ ダ イ ス
- 東北のハワイ＝常磐ハワイアンセンター——
- ・物質のなぞを追う「007」たち——分析機器のはなし——

- ・は る か な る 海 よ り 日 本 の 町 へ
- ・随 筆 堀切橋の1時間……岩田藤七
- ・成果のかげに 純国産蛍光ランプの誇り
- ・話のロビー めし談義あれこれ
- ・トピック ゴミの終着駅
- ・ハイライト 実用に入った超高圧電子顕微鏡
- ・サイエンスジョッキー 赤外線の話
- ・ニ ュ ー ス

発行所 日 立 評 論 社

東京都千代田区丸の内1丁目4番地

取次店 株式会社 オーム社書店

振替口座東京 71824 番

東京都千代田区神田錦町3丁目1番地

振替口座東京 20018 番



特許 第315245号 (特公昭39-851)

特 許 の 紹 介



磯 崎 薫・有 富 亨

信 号 受 信 器

従来の信号受信器は信号選択回路、検波回路および必要な場合は増幅器とにより構成されているため、選択回路は限られた周波数帯域の有効な利用をして雑音に対する抑圧度を大きくする必要から狭帯域でかつ急峻な選択特性を有することが望まれる。このため回路の設計に高度の技術が要求され、かつ複雑にして形状が大きくなるという欠点があった。

この発明はこのような欠点を解決したもので、図に示すように限流増幅器1は振動体2に加わる振動入力を一定レベルに保ち、励振電極3、3'に高周波電力が印加されると振動体2は振動を始めるが、印加周波数が振動体2の共振周波数である場合は機械的ひずみが最大で離調するにつれてひずみは小さくなる。振動体2に機械的ひずみが与えられると、それに比例した大きさの表面電荷が発生し、周囲に電界が作られる。したがってこの振動体2を放電ガス中に封入すれば共振時に放電を生じ離調したら放電を停止するようにしたので、電極4、4'に直流電源5より直流電圧を印加しておけば放電時

出力電極4、4'間のインピーダンスが低下し、負荷6に直流出力を得ることができる。

すなわち振動体2は周波数選択機能と検波機能を有し、その選択特性は狭帯域であると同時に立ち上がり時間がきわめて短いという効果がある。(後藤)

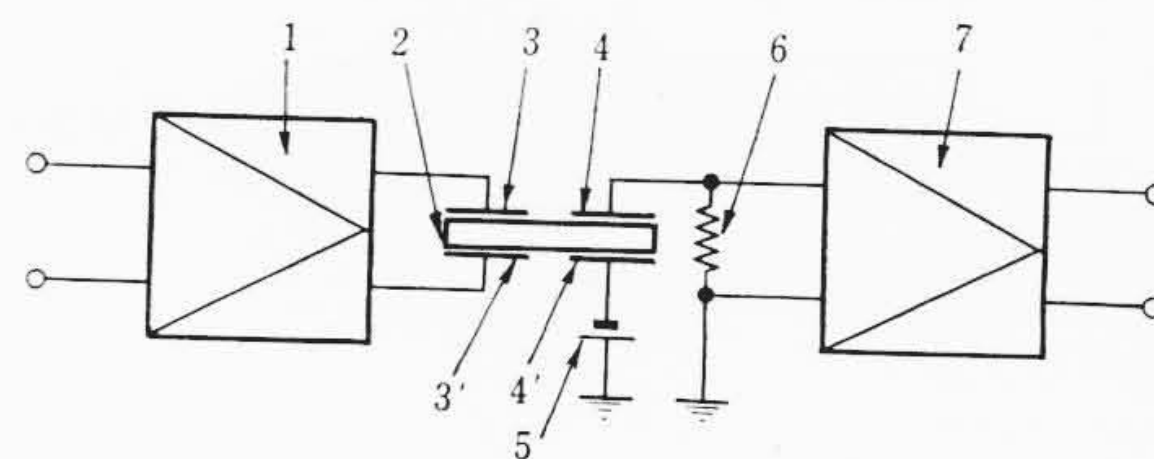


図 1

