

# 導電材としての銀入銅とその応用

栗本 暢夫\*      飯塚 富雄\*\*

## Silver Bearing Copper as a High Conductivity Material and Its Applications

By Nobuo Kurimoto

Hitachi Electric Wire and Cable Works, Hitachi, Ltd.

Tomio Iizuka

Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.

### Abstract

With the progress in electric machinery and equipment, the need of superior conducting materials to be used in them has been felt for some time.

The present writers studied silver bearing copper as a new industrial conducting material fulfilling current requirements.

The characteristics of copper containing 0.1~0.5% Ag were compared with those of plain tough pitch copper extensively used at the present time, and a description is given of the examples of actual application of the new material for the convenience of electric machine designers.

The merits of silver bearing copper are:

- (1) Comparatively high conductivity
- (2) High softening temperature
- (3) Adaptability for mass production methods

### 〔I〕 緒 言

最近の電気機器は絶縁物およびそれに伴う絶縁電線の著しい改良進歩により、ますます大容量あるいは高速度へと進んでいる。

したがってこれらに使用される各種の導電材料はその寸法精度において、また導電率および機械的性能において従来よりもさらに高度のものが要求されて来ている。また一方機械の温度上昇の限度も次第に高く採るようになり従来の純銅材料では軟化温度が低いいため長時間で比較的高温使用によりその常温の機械的性能を失うに至り重大な故障の危険にさらされる機会が増大して来た。

したがって純銅と導電率が大差なくかつ純銅よりも軟化温度が高く比較的高温で長時間使用後も常温の機械的性能を失わない導電材料が要求され、過去において種々

な銅基合金が発明され、特許にも登録されているが実際にはその製造方法の困難性のため、したがって高価であることおよび大量生産の均一性の点において問題があり一般に使用されているものはきわめて少い。

これらのうち銀を少量添加したいわゆる銀入銅は現状では最も要求に適し欧米においても相当大量使用されている。

日立製作所においても古くからこの点に着目し銀入銅について幾多の実験研究を重ね成品として整流子片、ローターコイルなど製作している。

ここに銀入銅についての基礎的性質の調査結果を取纏めて報告し電気機器設計の一助ともなし、また日立製作所において製作している銀入銅の成品について若干の説明を加え参考に供したい。

### 〔II〕 物理的性質

銀入銅の物理的性質中必要と思われるものを純銅と比較し述べるにつきの通りである。

\* 日立製作所日立電線工場

\*\* 日立製作所日立研究所



銀入銅 (0.25%Ag)

比重..... 8.916

弾性係数..... 12,500 kg/mm<sup>2</sup>

熱膨脹係数..... 17.4×10<sup>-6</sup>/°C

純銅 (硬引材)

比重..... 8.899

弾性係数..... 12,250 kg/mm<sup>2</sup>

熱膨脹係数..... 16.5×10<sup>-6</sup>/°C

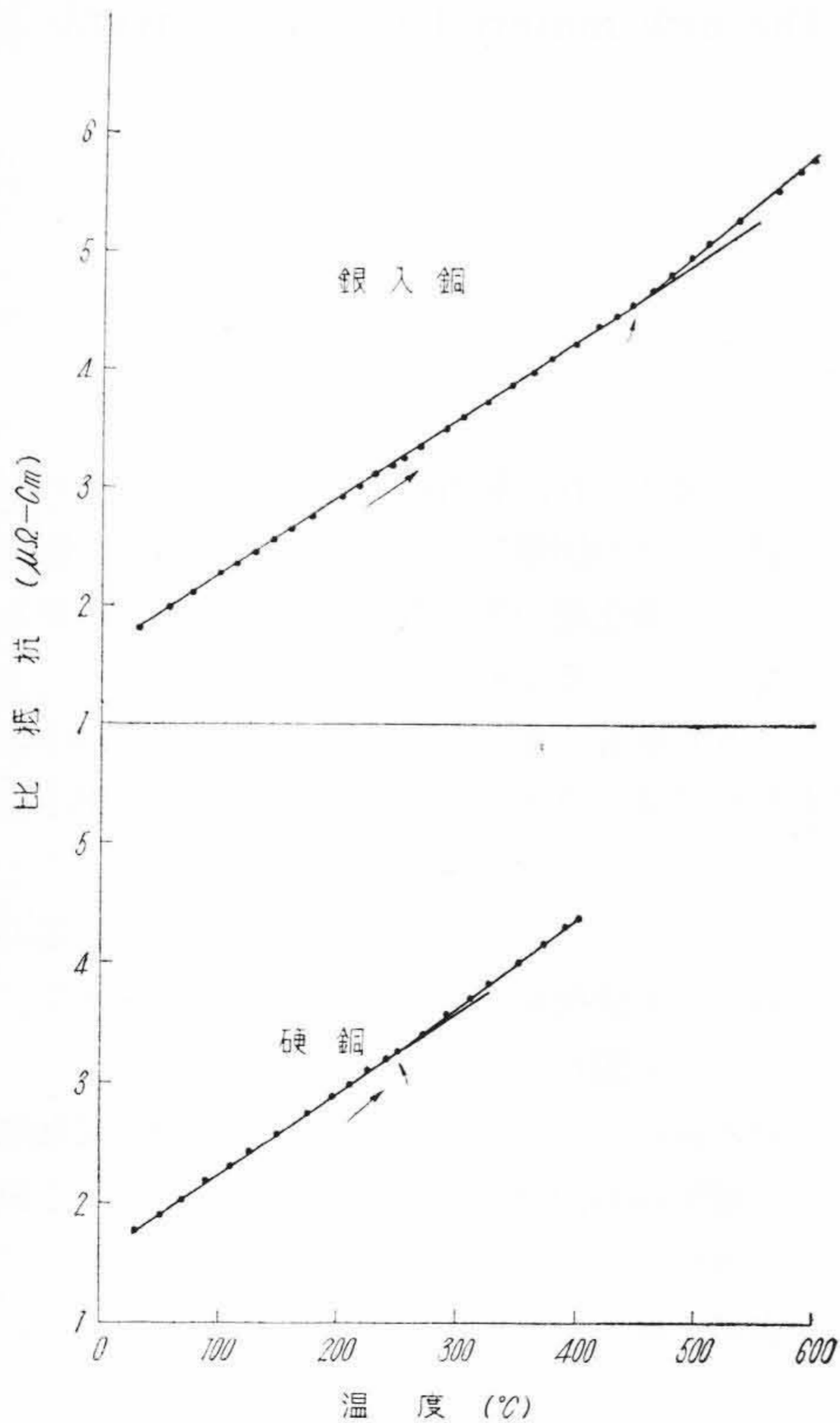
(30~200°C 平均値)

電気抵抗

温度上昇に伴う電気抵抗の変化を真空中で測定比較した結果を第1図に示す。

銀入銅(0.25%Ag), 純銅いずれも 7.8mmφ 荒引線より中間焼鈍することなしに連続伸線により 2.6mmφ の線となし試験片をとつた。加熱速度は 2~3°C/mn である。

第1図を見るとわかるように常温における比抵抗は銀入銅は 1.8270 μΩ-cm で、純銅の 1.7853 μΩ-cm に比し若干高い値を示すが、電気抵抗の温度係数が前者が後者に比し小さいので、300°C では両者の値はほぼ同一となる。



第1図 電気抵抗の温度による変化  
Fig.1. Change of Electrical Resistance due to the Increase of Temperature

また電気抵抗-温度曲線上に銀入銅では 450°C, 純銅では 250°C 附近にそれぞれ折点がありこれ以上の温度では電気抵抗の温度係数が大となつている。

この折点を示す温度は各試料の再結晶温度を示すものであり、銀入銅は純銅に比し再結晶温度の高いことを示している。

〔III〕 常温性能

銀入銅の銀添加量と機械的諸性質との関係をあきらかにするため、第1表に示したように銀添加量を 0 より 0.5% まで変化させた 6 種類の試料を同一条件で溶解および加工をほどこして実験に用いた。

元来銀入銅は第2図<sup>(1)</sup>に示すように析出硬化型の合金であるが、0.5% 程度では完全に均一な固溶体をつくつていていると考えられる。

また酸素分析結果よりもわかるように素材は Tough Pitch Cu+Ag なる状態である。

加工は圧延品として通常使用されるので、焼鈍後冷間圧延をほどこし圧延加工度の影響も検討した。

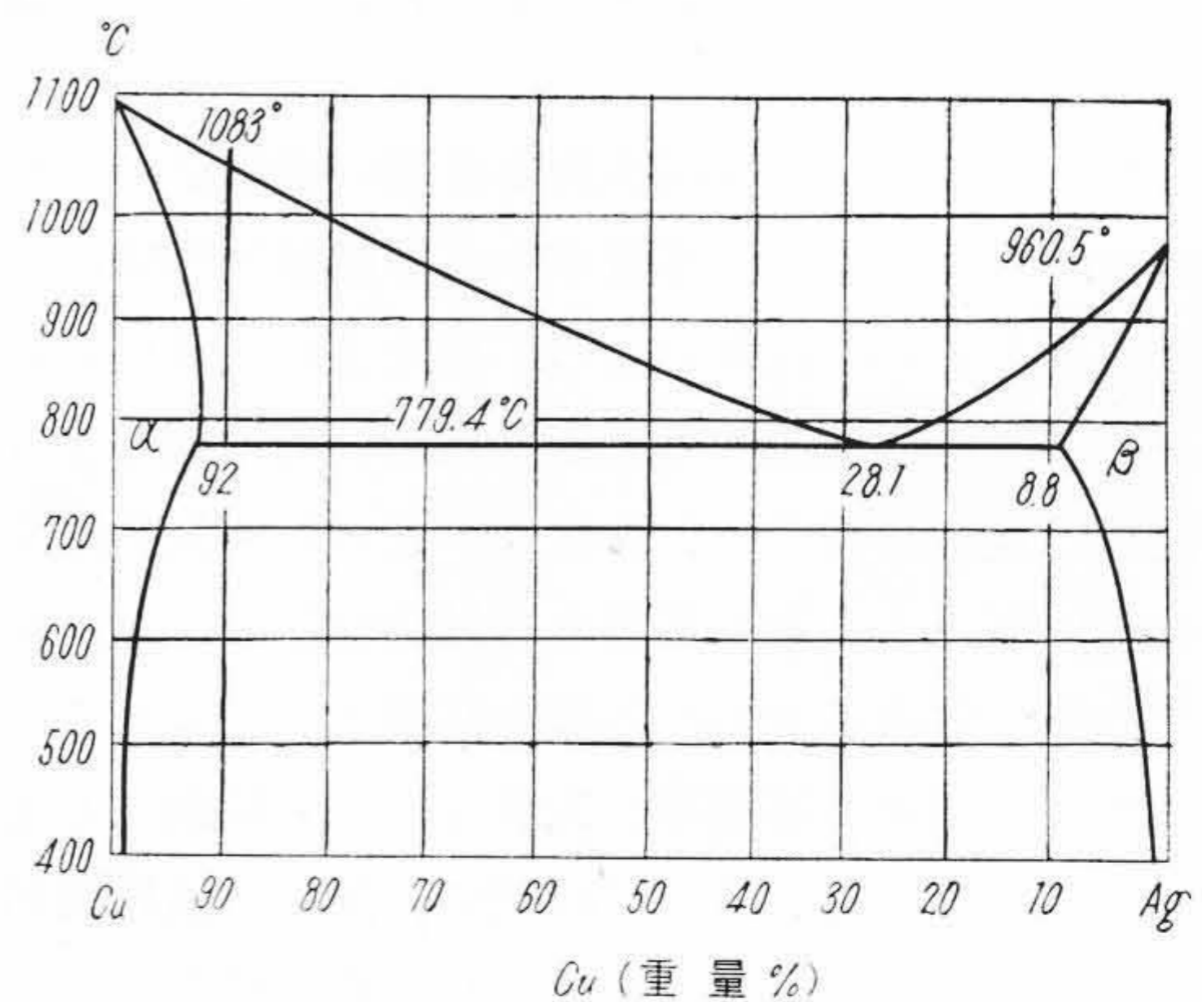
(1) 引張り強さおよび伸びにおよぼす銀の影響

試験片は各試料とも 1mm 厚さの圧延試料より JES 6 号試験片を切り出し使用し、伸び測定標準距離は 31 mm とした。

第1表 試料の化学成分

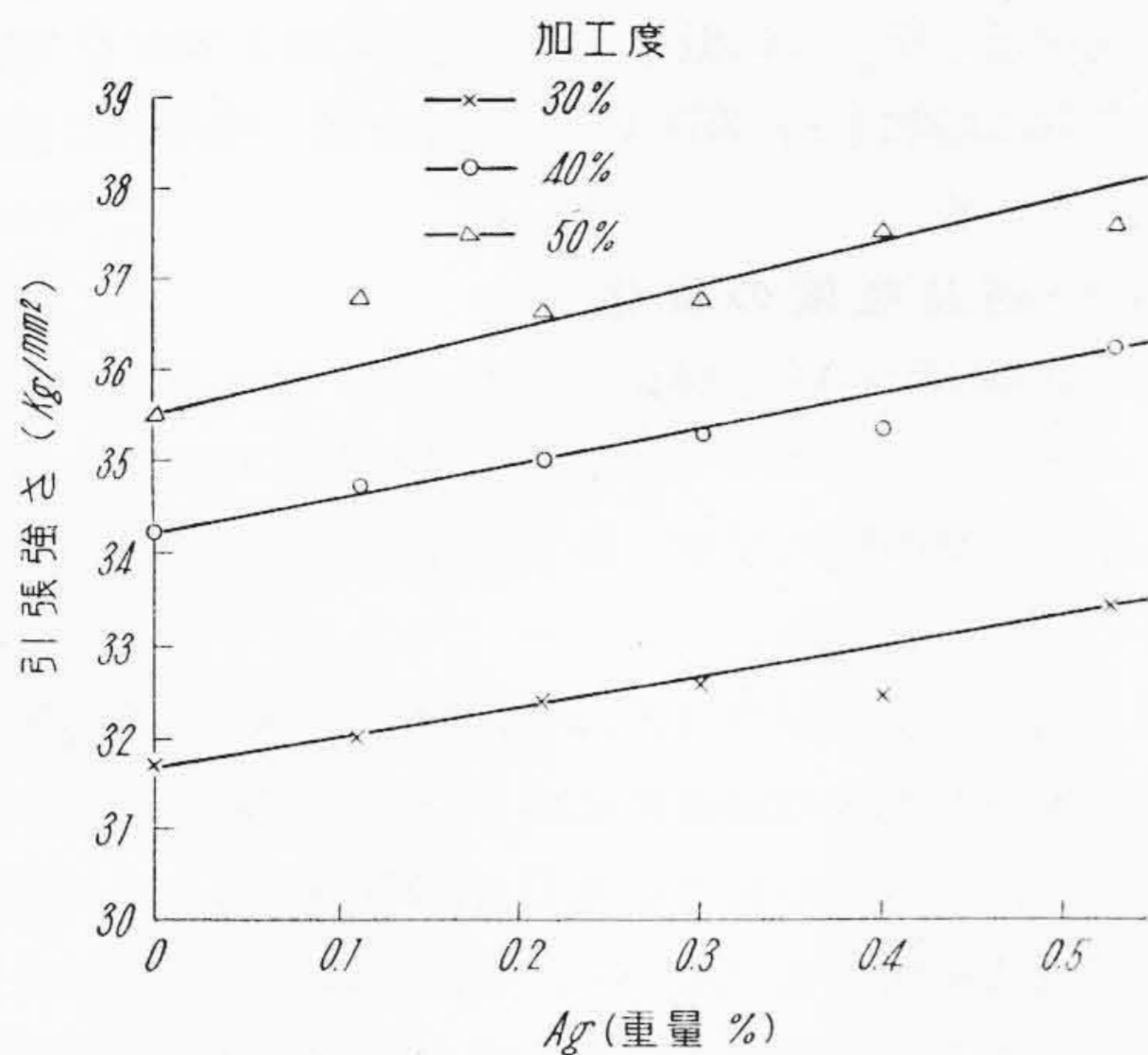
Table 1. Chemical Composition of Specimen

試 番	Ag (%)	Fe (%)	O <sub>2</sub> (%)
0	nil	0.003	0.032
01	0.11	0.004	0.035
02	0.21	0.006	0.028
03	0.30	0.004	0.021
04	0.40	0.004	0.021
05	0.53	0.002	0.023

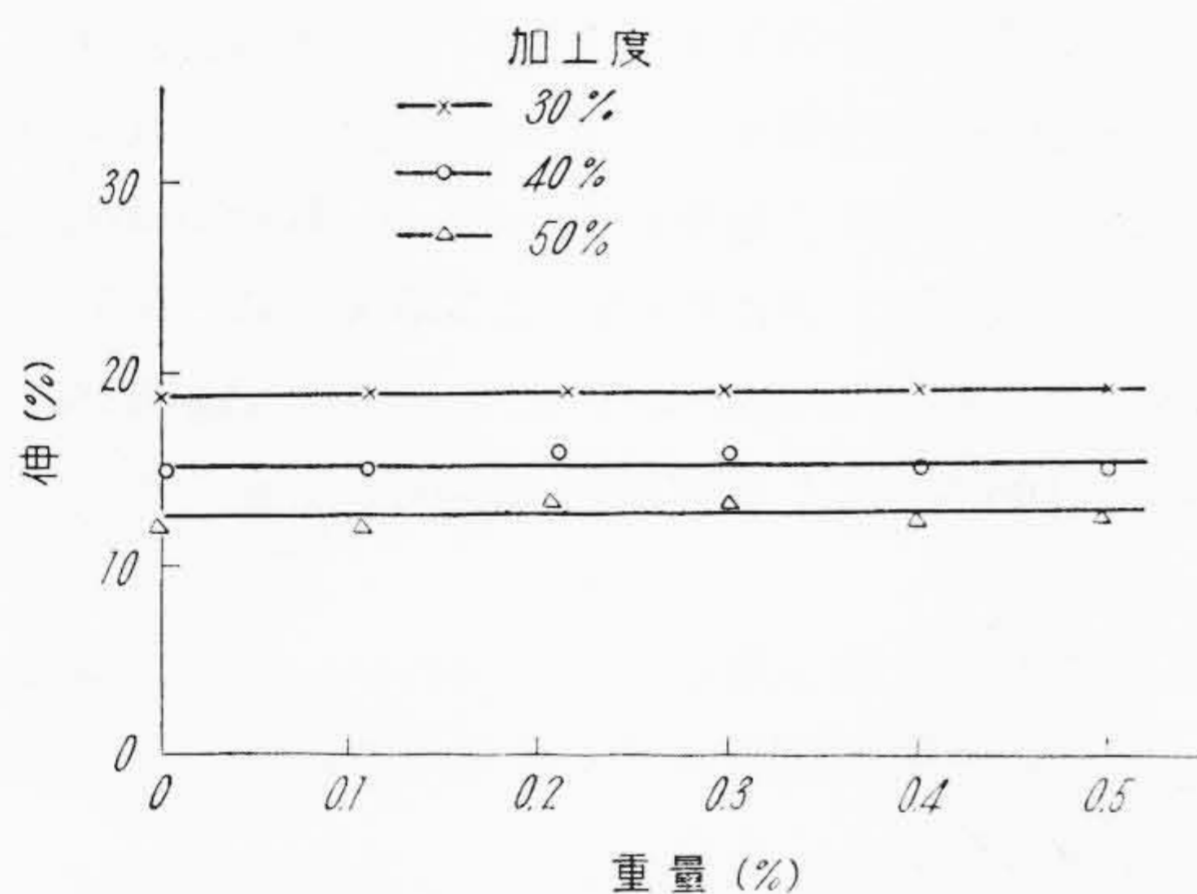


第2図 Cu-Ag 平衡状態図  
Fig.2. Cu-Ag Equilibrium Diagram  
(By Cyril Stanley Smith)





第3図 引張強さと Ag% との関係  
Fig. 3. Effect of Ag% in Cu on Tensile Strength



第4図 伸びと Ag% との関係  
Fig. 4. Effect of Ag% in Cu on Elongation

引張り強さの測定結果と銀添加量との関係を加工度 30, 40, 50% のものについて第3図に、また伸びと銀添加量との関係を第4図にそれぞれ示す。

これらの図より引張強さは銀添加量の増すにしたがって各加工度とも同様にほぼ直線的に増加し、0.5% Ag 添加により約 2 kg/mm<sup>2</sup> 程度強くなることがわかる。一方伸びはこの程度の添加ではほとんど変わらないように見受けられる。

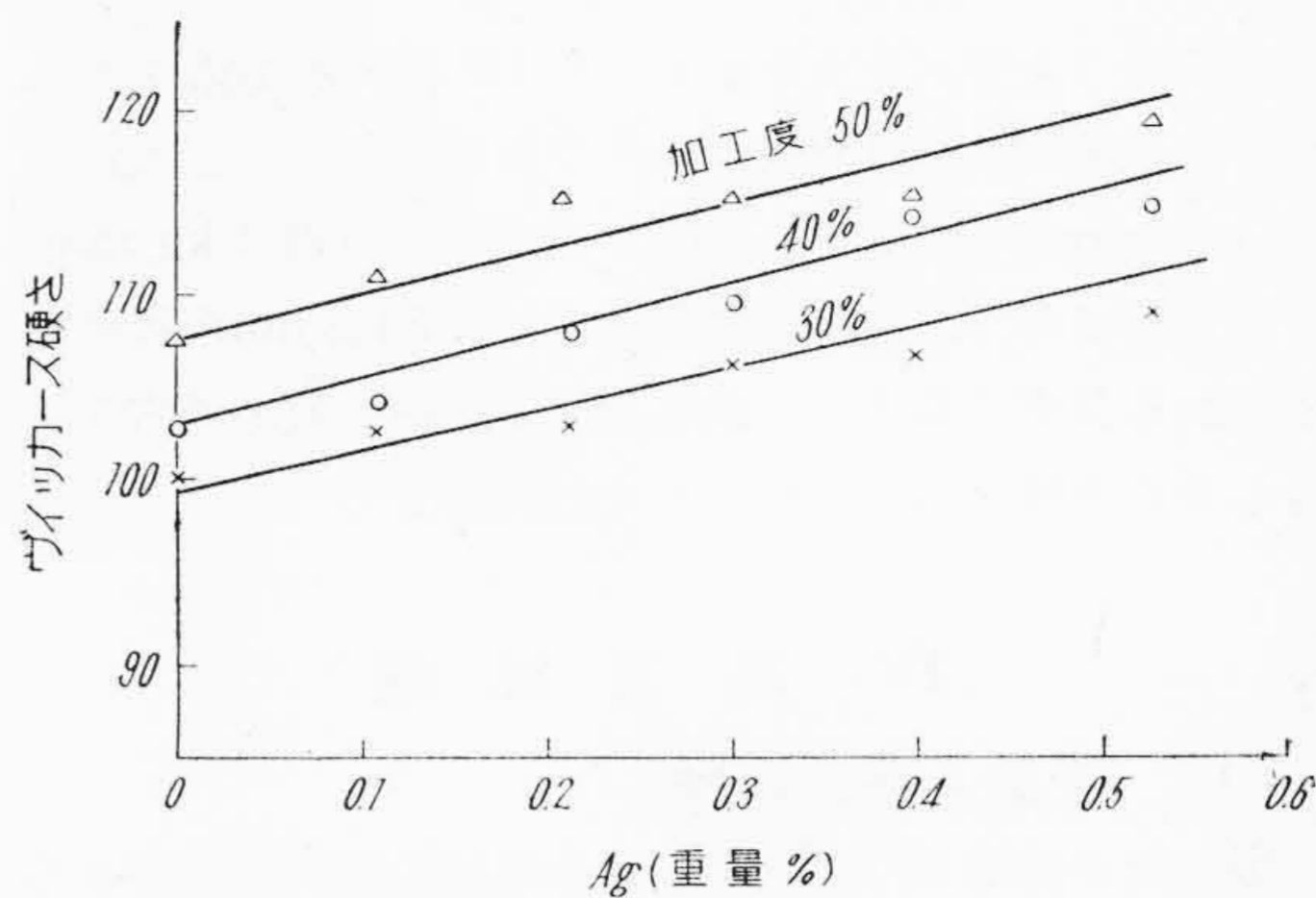
(2) 硬さにおよぼす銀の影響

硬さ測定には各試料とも 5mm 厚さの圧延試料を使用した。第5図はビッカース硬さ測定結果と銀添加量との関係を示す。引張強さの場合と同様銀の添加により直線的に硬さを増し、0.5% Ag 添加によりビッカース硬さ 10 程度硬くなることがわかる。

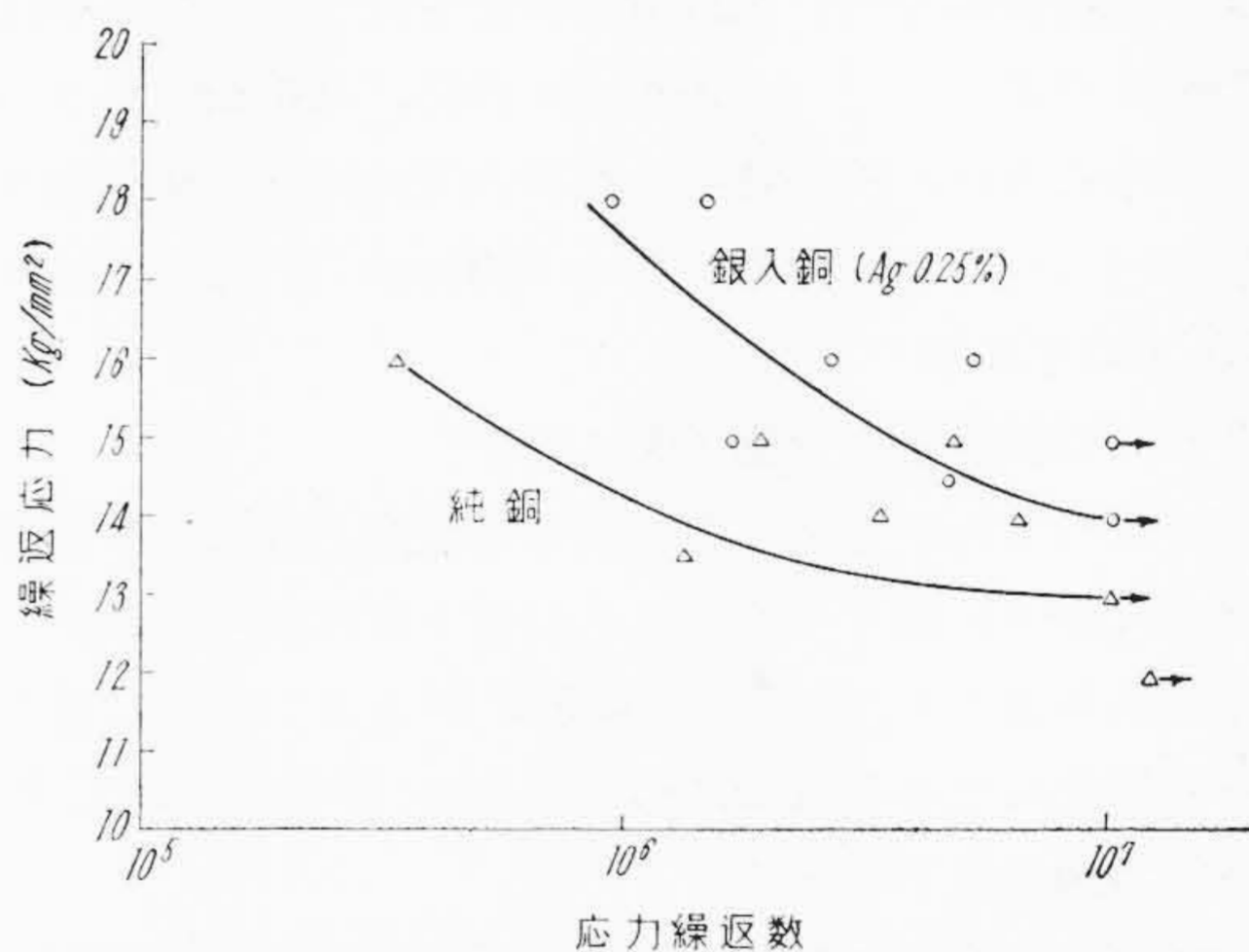
(3) 導電率におよぼす銀の影響

銅に固溶される金属の中で、銀は導電率の低下が最も少ない金属であることはよく知られているところである。

銀添加による導電率の変化については Addicks など<sup>(2)</sup> の測定結果がありつぎの通りである。



第5図 ビッカース硬さと Ag% との関係  
Fig. 5. Effect of Ag% in Cu on Vickers Hardness



第6図 銀入銅 (0.25% Ag) と純銅の疲労試験結果  
Fig. 6. Results of Fatigue Test of Silver Bearing Copper (0.25% Ag) and Tough Pitch Copper

Ag (%)	0	0.04	0.1	0.3	0.5	0.6	0.8
導電率 (%)	100.5	100	99.7	99.0	98.5	98.0	97.0

これを確かめるために前記の試料を用いて、厚さ 1mm, 幅 10mm, 長さ 1,000mm 寸法で導電率を測定した結果、焼鈍材についてその結果は上表の結果とほとんど一致した。

すなわち 0.5% Ag 添加で純銅に比し焼鈍材では約 2% 圧延材では約 3% 導電率が低下する。

また圧延加工の導電率におよぼす影響は加工度約 50% で上表の数値の約 2% 程度低下する。

(4) 疲労試験

すでに述べた機械的性質におよぼす銀添加の影響より当然疲労強度も銀添加により高くなることはわかるが、参考のために常温疲労試験を試みた。

試料は普通の純銅と Ag 0.25% 銀入銅の 2 種類で加工度は両者とも 40% のものを使用した。

試験方法は小野式回転曲げ疲労試験機を用い、回転数 1,780 rpm, 10<sup>7</sup> 回の応力繰返しによる疲労破壊の応力値をその材料の疲労限界とした。第6図にその結果を示す。



測定値は大分バラツキが多いが  $10^7$  回の疲労限を求めてみると純銅は約  $13 \text{ kg/mm}^2$  であるに対して銀入銅は約  $14 \text{ kg/mm}^2$  である。引張り強さの差が約  $1 \text{ kg/mm}^2$  の差であるので、通常疲労限の差は  $0.5 \text{ kg/mm}^2$  程度の差であるはずであるから銀添加により疲労限が通常の場合よりも上昇することがうかがわれる。

#### [IV] 高温性能

##### (1) 高温引張試験

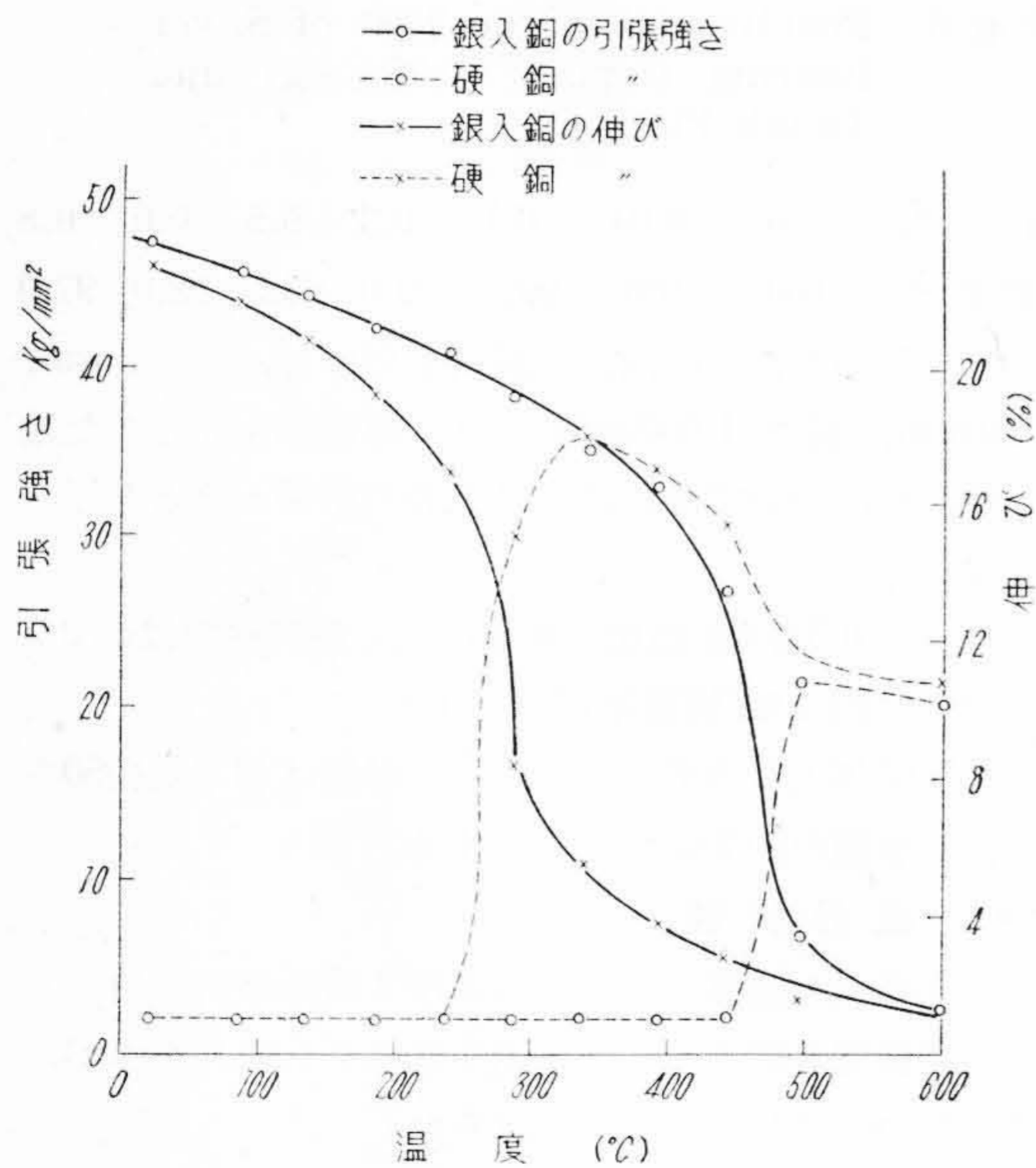
銀入銅と純銅との高温における機械的性質を比較するため常温より  $600^\circ\text{C}$  間の各温度で引張試験を行った。

試料は銀入銅 (0.25%Ag), 硬銅ともに  $7.8\text{mm}\phi$  荒引線より連続伸線を行い,  $2.6\text{mm}\phi$  とした。試料の長さは  $500\text{mm}$  であり, これを  $10\text{mm}\phi$  内径,  $400\text{mm}$  長さの電気炉中に入れ, 所定温度に約10分間保持した後引張り試験を行った。なお標点距離は  $250\text{mm}$  とし, 測定値は2~3本の平均値である。

これらの試験結果を第7図に示す。

図によつてわかるように両者とも温度上昇により引張り強さは徐々に低下するが, その低下度は銀入銅に比し純銅の方が著しく, 前者は約  $450^\circ\text{C}$  附近まで徐々に低下しそれ以上になると急激に低下するが, 後者は  $250^\circ\text{C}$  附近より急激な低下を示す。

伸びは銀入銅では  $450^\circ\text{C}$  以上で急激に増加し, 約  $500^\circ\text{C}$



第7図 銀入銅および純銅の高温引張強さと伸び (0.25%Ag)

Fig. 7. Tensile Strength and Elongation of Silver Bearing Copper (0.25Ag) and Hard Copper at Elevated Temperatures

で最高を示し後徐々に低下する。純銅では  $250^\circ\text{C}$  附近より急激に増加し約  $350^\circ\text{C}$  で最高を示し後徐々に低下を示している。

##### (2) 結晶粒度の変化

銀入銅 (0.25%Ag), 純銅の  $2.6\text{mm}\phi$  硬引線を各温度にそれぞれ6時間保持した後の結晶粒の平均直径を測定した結果を第8図に示す。銀入銅は純銅に比し結晶粒が小さいことがわかる。

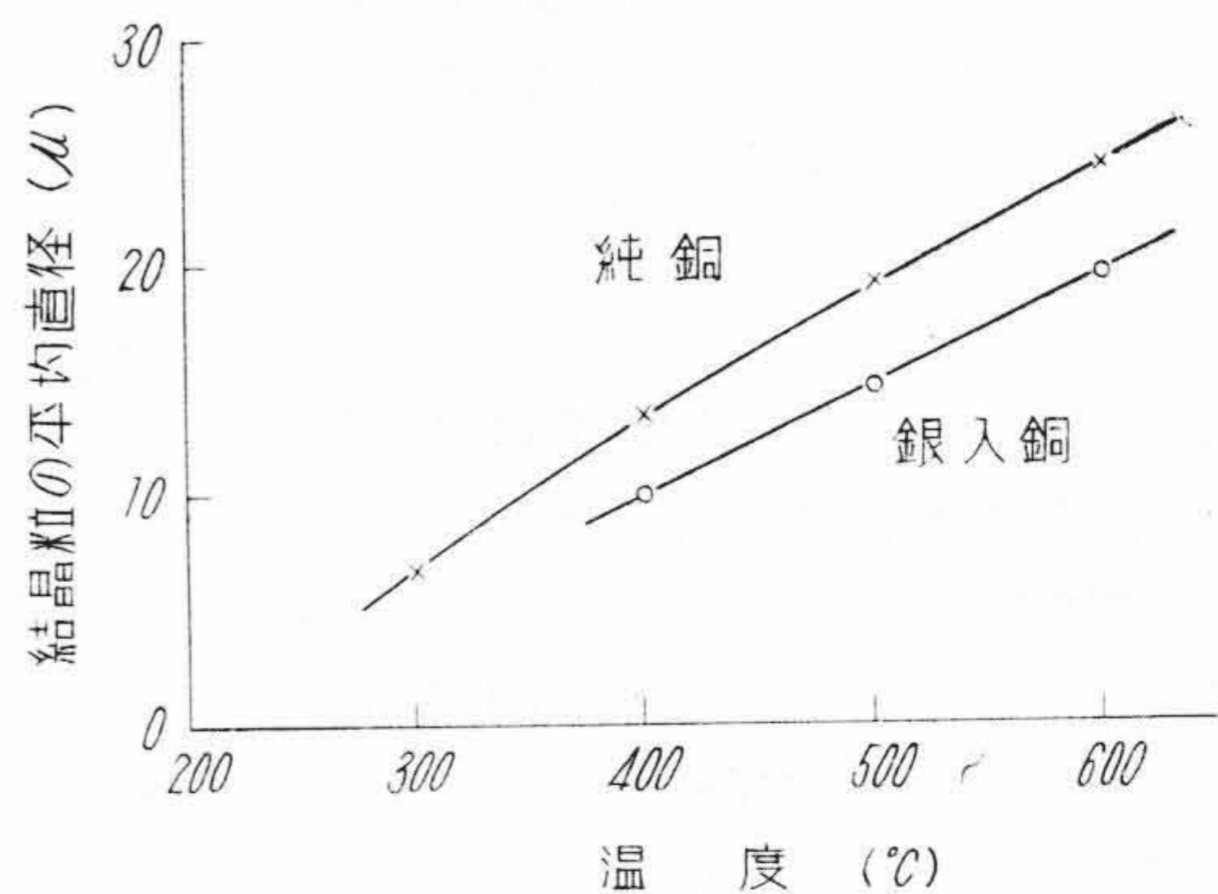
第9図は上記試料の  $100, 200, 300, 500^\circ\text{C}$  の各温度で6時間保持した後の顕微鏡組織を対比して掲げたものである。これら組織の状態を見ると,  $200^\circ\text{C}$  において銀入銅は再結晶を起していないが, 純銅ではすでに再結晶組織を示しており, 組織上からも銀入銅の高温性能が純銅よりも良いことを示している。

##### (3) 軟化試験

純銅に少量の銀を添加することにより再結晶温度が上昇し, 高温機械的性質が向上することについてはすでに述べたが, この再結晶温度について A. Burkhardt は最低再結晶温度は Ag 0.1% で  $325^\circ\text{C}$ , Ag 0.5% で  $365^\circ\text{C}$  として純銅の  $230^\circ\text{C}$  に比しわずか Ag 0.1% の添加で約  $100^\circ\text{C}$  近く最低再結晶温度が上昇するとしている。

そこでこの点を硬さ測定により確かめかつ応力がほとんどかゝらない使用状態における軟化条件におよぼす銀添加量の影響を検討してみた。

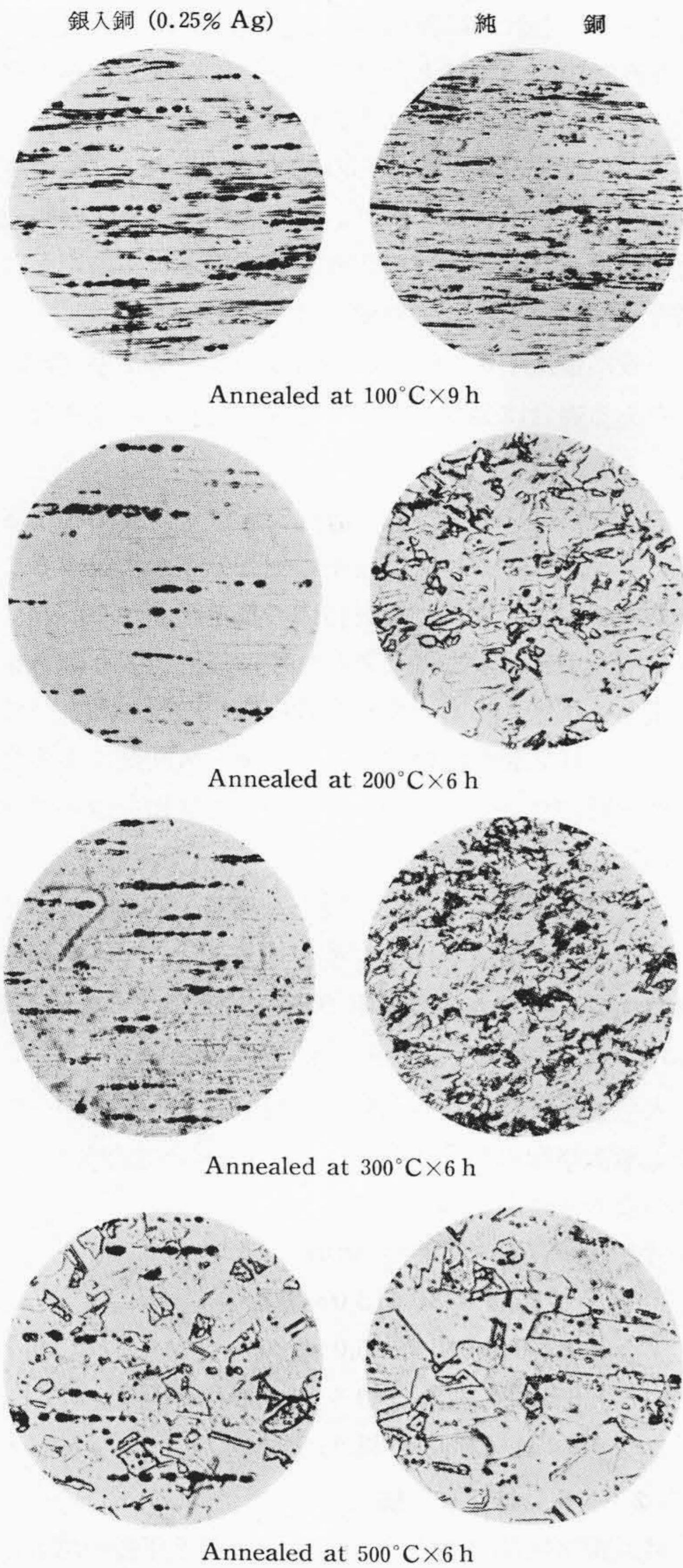
試料は第1表のうち5種類の銀入銅について加工度50%, 厚さ  $1\text{mm}$  の圧延材料を用い, 測定は明石製微小硬度計を使用し荷重  $500\text{g}$  とした。熱処理には温度および時間の正確さを保つため, 低温塩浴槽を自動温度調節計で制御して使用した。



第8図 硬引銀入銅と純銅の結晶粒の大きさにおよぼす温度の影響

Fig. 8. Effect of Temperature on the Change of Grain Size of Hard Drawn Silver Bearing Copper and Tough Pitch Copper





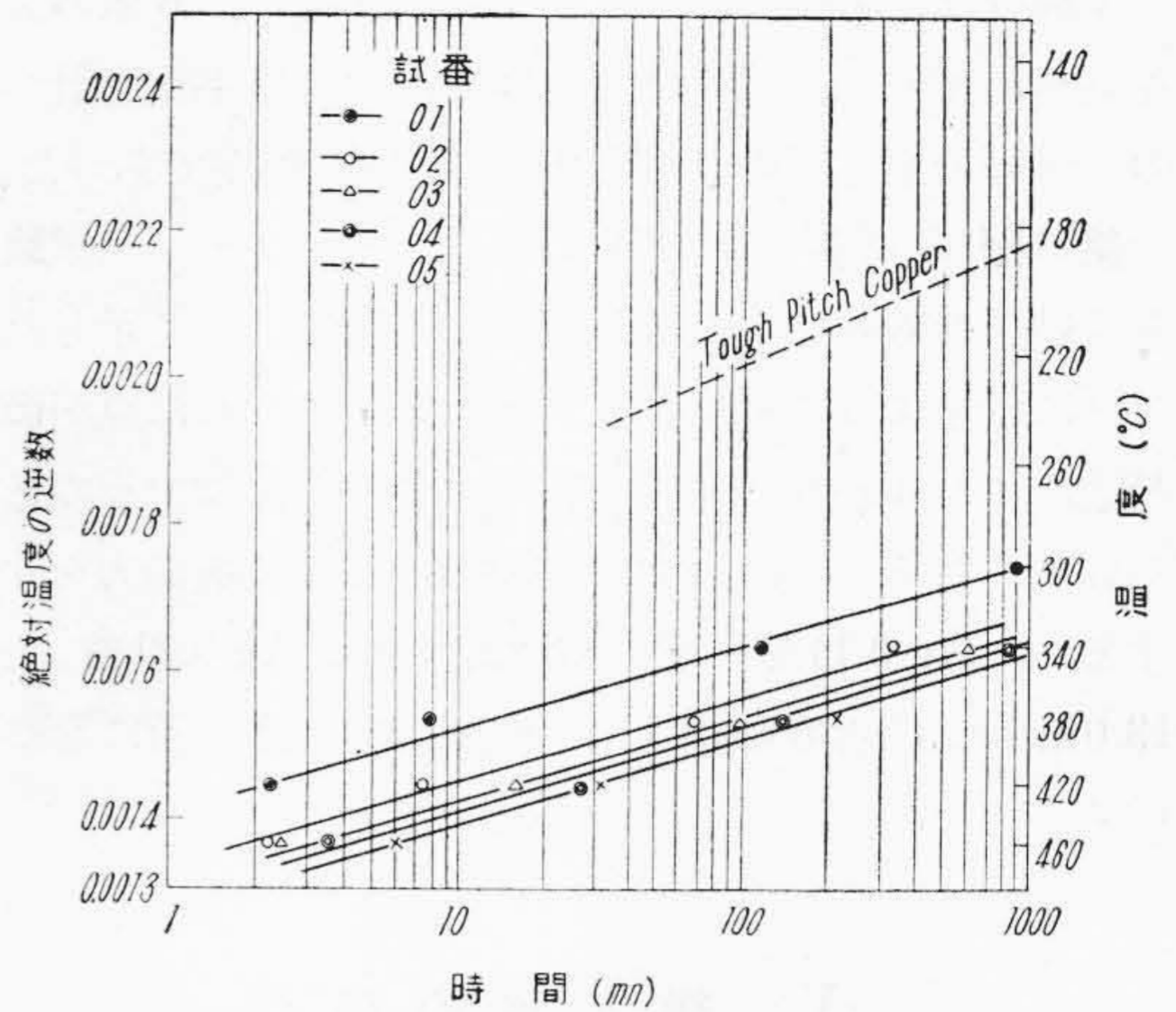
第9図 銀入 (0.25% Ag) 銅と純銅との焼鈍温度による顕微鏡組織の変化の比較

Fig. 9. Comparison of Microstructure Changes Effect on Annealed Temperatures for Silver Bearing Copper and Tough Pitch Copper (0.25% Ag)

処理の温度は 300, 340, 380, 420 および 460°C の 5 種類とし、時間をそれぞれ 5 分, 15 分, 1, 4, 10, 20, 50, 100 時間と変えて軟化状態を調べた。

以上の測定結果よりその温度における 1/2 軟化時間を各試料について求め、絶対温度の逆数との関係を記載したのが第10図である。なお比較のため N.D. Benson などによる純銅の場合を追加して示した。

図によりわかるように少量の銀添加で顕著に軟化開始



第10図 銀入銅の時間と 1/2 軟化と絶対温度の逆数との関係

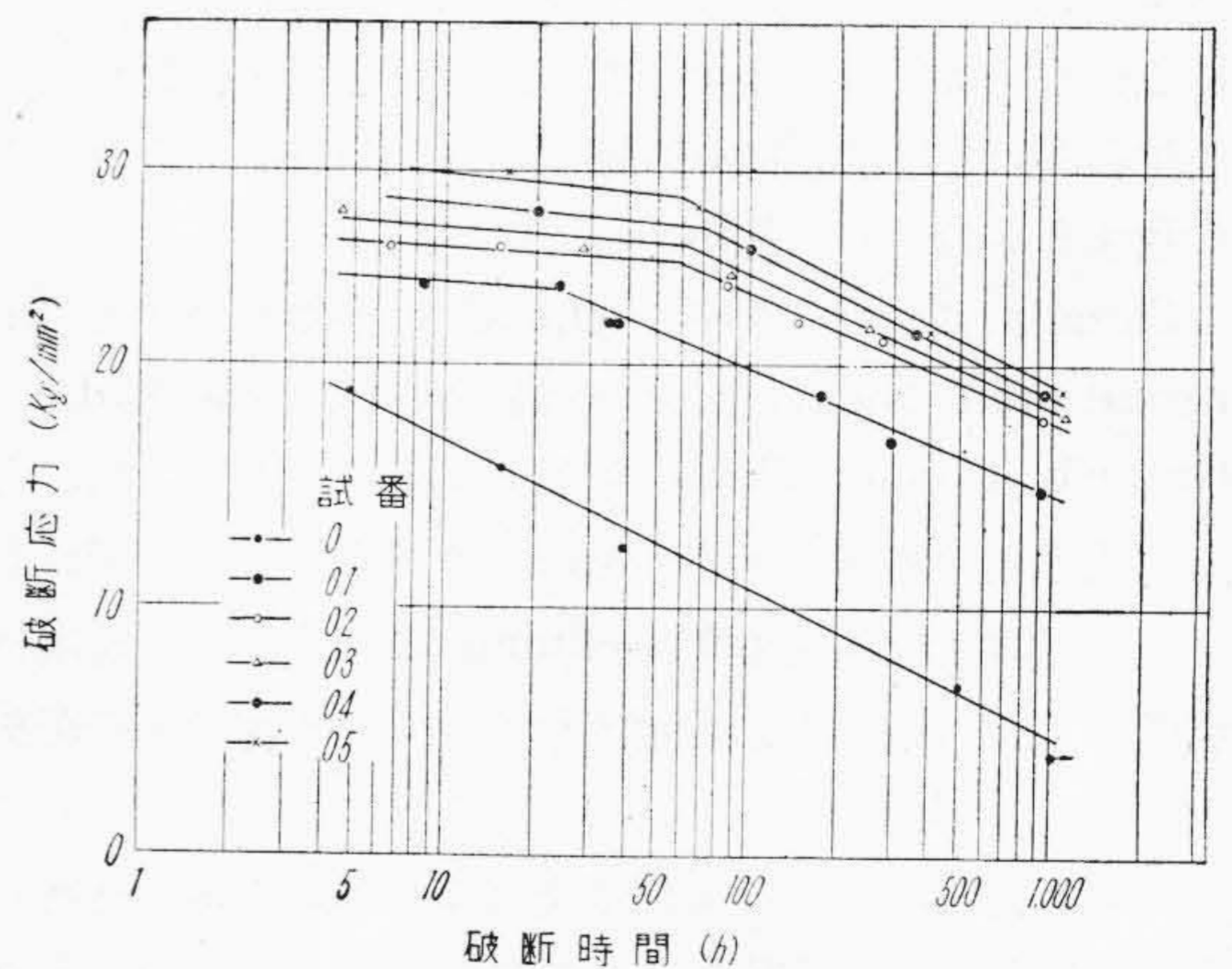
Fig. 10. Relation between Treated Times and Reciprocals of 1/2 Softening Absolute Temperatures for Silver Bearing Copper

温度が上昇している。すなわち一例を図より求めてみると、200°C で純銅は 7 時間で 1/2 軟化するが、Ag 0.11% 添加では 19<sup>4</sup> 時間、Ag 0.53% 添加では 10<sup>5</sup> 時間以上軟化しないことがわかる。

#### (4) ラプチャー試験

銀入銅の高温機械的性質が純銅に比しすぐれていることをさらに実際の使用状態に引張試験よりも近似していると考えられるラプチャー試験によつて確めた。

試料は第1表の 6 種類を 40% の加工度で冷間伸線して 1mmφ の線として使用した。



第11図 銀入銅と純銅のラプチャー試験結果 (試験温度 250°C)

Fig. 11. Results of Rapture Test on Silver Bearing Copper and Tough Pitch Copper (Tested Temperature 250°C)



試験機は自家製簡易ラプチャー試験機で、6本の試料を同時に測定し、精度は多少犠牲にして能率化を計つたので試料の中心部の温度変化は $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 程度であつた。

第11図(前頁参照)は $250^{\circ}\text{C}$ におけるラプチャー試験の測定結果を破断応力と破断時間との関係として示した。

図に示すように純銅に比し銀入銅のすぐれた点が破断特性によく現われている。特に少量の銀添加でその影響が顕著である。すなわち1,000時間の破断応力を比較すると、Ag 0.11%で約 $9.5\text{kg}/\text{mm}^2$ 、Ag 0.21%で約 $13.0\text{kg}/\text{mm}^2$ 程度純銅に比し破断応力が高い値になつている。

### [V] 銀入銅の応用

純銅に銀を配合した材料はその配合割合、したがつてそれらの用途は相当広範囲にわたつている。

しかしながら最も多量に使用されているのは導電材料として、0.05~0.6% Ag含有の低濃度銅合金である。

すなわち導電材料としては特別の場合を除きその導電率が純銅と大差がないことが最も必要な条件である。

したがつて著者らはこの観点から既述のように低濃度銅—銀合金の特性と純銅の性能とを比較検討を行つたのでこれら銀入銅の特性を見ればわかるように0.1~0.5% Ag含有の銀入銅はつぎの三大特長がある。

- (i) 導電率が純銅に比べてあまり低下しない。
- (ii) 軟化温度が純銅に比べて高い。すなわち常温機械的性質は約 $300^{\circ}\text{C}$ 附近でも長時間維持される。
- (iii) 銀入銅は多量生産可能である。すなわち比較的安価で成分均一かつ各種寸法、重量のものが製造可能である。

電気機器の進歩は絶縁物の改良進歩に伴いそれらに使用される導電材料は上記三大特長を有する材料を要求し現状においては前記低濃度銅—銀合金が最もこの要求に合致するものとして賞用されている。

Canadaにおいて有名なO.R.C.の商標を有するInternational Nickel Company of Canada Ltd.のOntario, Copper Cliffの銅製錬工場でも上記目的に応じて銀入銅の鑄塊の生産<sup>(3)</sup>を行つており、また英国においてもEnfield Copper Refining Co., Ltd.で導電材料として銀入銅の大量生産<sup>(4)</sup>を行つている旨の報告がある。

日立製作所においても従来よりこれら銀入銅を顧客の要求に応じて各種の成品として生産をしているが、それらの内おもな成品について若干の説明と考察を加えたいと思う。

#### (1) 整流子片

直流電気機器はますます高速度あるいは大容量へと向

つており、それらに使用される整流子片は特に既述のような性能が必須条件となりこの条件に合致した銀入整流子片の需要がますます拡大されつゝある。

さらに整流子片はこれらの特性に加うるに寸法精度が特に厳格に要求されており、日立製作所は長年の製造技術の経験から寸法公差により一般機用と特殊機用とに規格を分けて定め需要家の便をはかつている。

一般に整流子片の性能の標示は硬度と導電率(特に要求のある場合は温度上昇による硬度試験)によりなされている。

こゝに硬度については一般にショア硬度が利用されているが、銅については正確に引張強さを代表することに疑問があり、また硬度計自体の誤差範囲からいつてかなりしも適当なものと思われず、最近引張り強さをより正しく代表するピッカース硬度採用の声が高まつて来ている。日立製作所はすでにピッカース硬度による作業管理を行つている。このことについては稿を改めて検討したいと考えている。

導電率については97%以上を希望する向きが多くしかも強度を一方において必要とするところから必然的に銀添加量も制限され導電率97%以上に対しては0.25~0.3% Agが適当でありまた十分である。

大型整流子片すなわちC寸法(幅)の大なるものへの要求も漸次増加の傾向にあり、日立製作所の記録品としてはつぎの寸法のものがある。

寸法は A/B×C長さ mm で示す。

6.736/4.623×113.0×823

9.200/5.710×125.0×226

6.516/4.472×140.5×1,030

8.154/4.960×152.5×283

#### (2) トロリ線

最近電気機関車の大型化、大編成電車運転の増加、電車通過間隔の稠密化などの傾向より普通純銅トロリ線の軟化断線の危険が増大してきたのでその対策として導電率にすぐれたいわゆる耐熱トロリ線の必要性が痛感される傾向になつて来た。しかしてこれには均一、量産、安価の条件を十分備えているものでなければならない。日立製作所ではこれらの点より銀入トロリ線が最も条件に適するものとして、耐熱トロリ線としての実験を続けるとともに製造を行つている。

銀入トロリ線と硬銅トロリ線の性能の比較を $110\text{mm}^2$ 溝付トロリ線で行つた結果について第2表に示す。また周期の短い間歇負荷電流が流れる場合、トロリ線がかなりの温度上昇を来たすが、この測定実験については別稿に述べられることになつているので、こゝでは銀入トロリ線と硬銅トロリ線とを比較した結果について述べるこ



導電材としての銀入銅とその応用

第2表 耐熱 110mm<sup>2</sup> 溝付トロリ線の諸性質  
Table 2. Some Properties of Heat Resisting 110mm<sup>2</sup> Grooved Trolley Wire

(1) 商用試験

項目 規格	寸法 (mm)				抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び 250mm (%)	屈曲 25mmR (回)	温度 (°C)	電気抵抗 20°C (μΩ/m)	重量 (g/m)	米抵抗 20°C (Ω)	導電率 (%)	硬度 ロツクウエル(B) (度)
	A	B	C	D									
試料番	12.34 ±0.12	12.24 ±0.24	7.27 ±0.14	9.75 ±0.19	—	—	8以上	—	—	—	—	—	40以上
No. 1 (始)	12.29	12.33	7.24	9.73	43.70	3.2	17	20.0	161.2	981.3	0.15825	96.86	平均 50.3
No. 1 (終)	12.28	12.31	7.23	9.67	44.30	3.0	13	20.0	162.3	975.3	0.15829	96.83	平均 51.8

(備考) 試験は国鉄規格電3号に準ず。

(2) 参考試験 (耐熱比較試験)

種別 項目 加熱温度 および時間	耐熱トロリ線			硬銅トロリ線		
	抗張荷重 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び (250mm) (%)	抗張荷重の常温よりの低下率 (%)	抗重荷重 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び (250mm) (%)	抗張荷重の常温よりの低下率 (%)
常温	43.75 43.70	3.2 3.2	—	41.85 41.90	3.6 3.6	—
300°C 1h	40.50 40.60	5.8 5.6	平均 7.3	26.30 26.20	42.0 42.8	平均 37.3
300°C 3h	39.80 39.80	6.4 7.0	平均 9.0	25.65 25.70	45.6 45.8	平均 38.6
300°C 6h	39.90 39.90	7.6 7.6	平均 8.7	25.85 25.80	44.4 44.8	平均 38.3

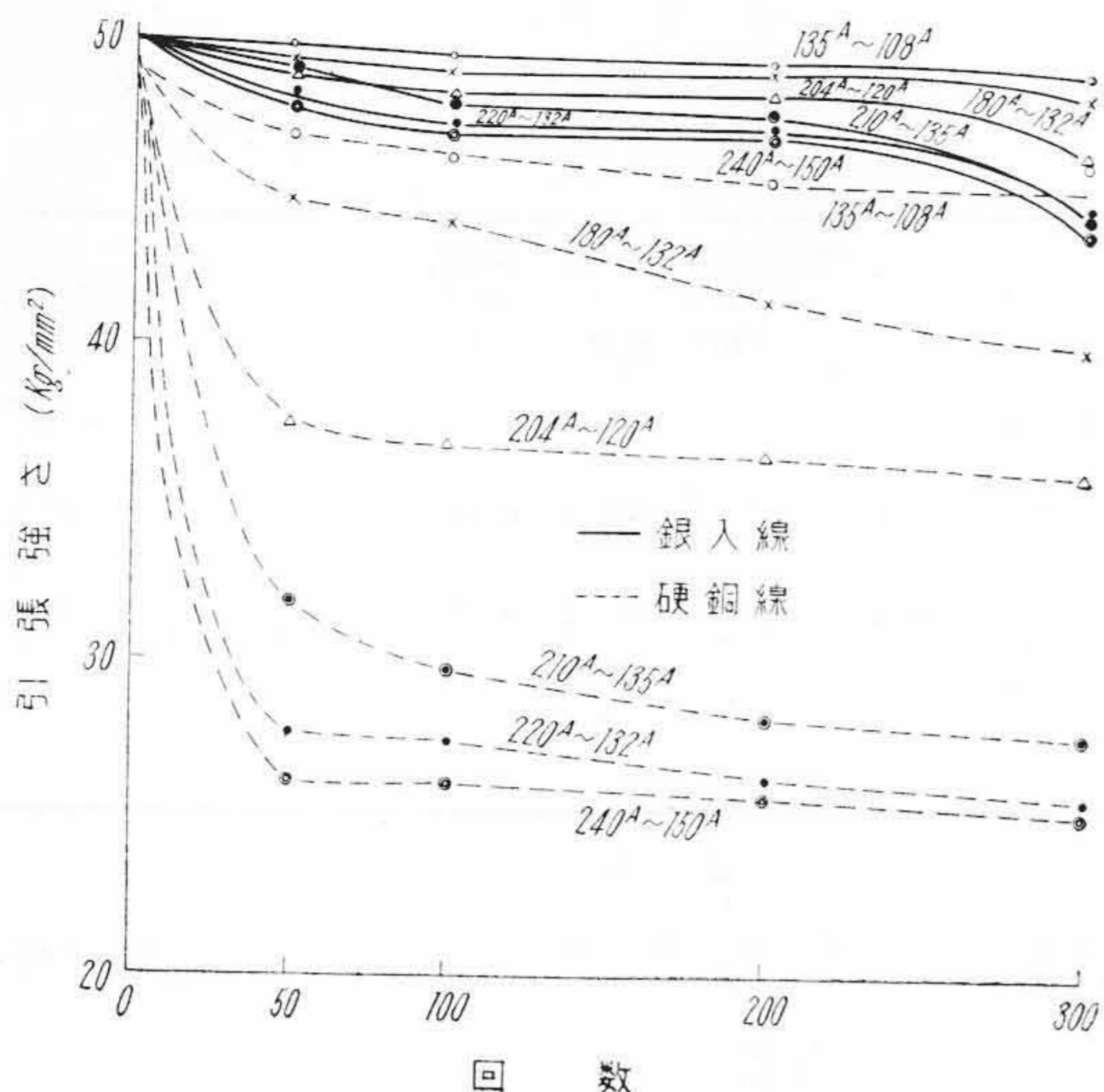
第3表 モデルトロリ線の間歇負荷電流による性能変化

Table 3. Some Properties of Model-Trolley Wire Caused by the Intermittent Current

通電電流 (A)	項目	通電回数							
		50		100		200		300	
		Ag	Cu	Ag	Cu	Ag	Cu	Ag	Cu
135~108 (130°C)	伸び (%)	1.30	1.70	1.50	2.20	1.50	2.00	1.40	1.80
	引張り強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	47.82	46.29	48.70	45.68	48.67	44.85	48.27	45.47
	大気変化 (°C)	29.0~31.0		19.4~22.5		21.5~26.2		23.0~29.0	
	導体温度 (°C)	140		128		119		125	
180~132 (170°C)	伸び (%)	1.70	1.60	1.80	2.50	1.52	3.40	1.80	3.20
	引張り強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	47.63	44.20	48.34	43.53	48.46	41.09	47.69	39.73
	大気変化 (°C)	26.0~2.80		23.2~25.6		12.5~22.2		21.0~25.0	
	導体温度 (°C)	170		169		163		175	
204~120 (200°C)	伸び (%)	1.50	5.70	1.60	5.80	1.80	6.80	2.20	7.40
	引張り強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	48.18	37.29	47.85	36.76	47.85	36.45	45.92	35.80
	大気変化 (°C)	16.5~18.5		18.8~22.8		15.0~19.8		18.5~26.5	
	導体温度 (°C)	185		189		195		210	
210~135 (220°C)	伸び (%)	2.00	17.30	2.30	22.40	2.00	26.70	4.80	36.80
	引張り強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	48.37	31.59	47.50	29.49	47.13	27.96	43.96	25.68
	大気変化 (°C)	18.0~20.80		18.5~23.2		21.5~25.1		20.0~23.0	
	導体温度 (°C)	229		213		230		222	
220~132 (250°C)	伸び (%)	2.40	29.00	2.90	31.10 27.31	3.20	35.60	3.60	37.24
	引張り強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	46.84	27.54	45.80		45.71	26.20	44.17	25.65
	大気変化 (°C)	21.0~23.6		17.0~18.8		16.0~22.0		18.5~23.0	
	導体温度 (°C)	248		255		242		255	
240~150 (280°C)	伸び (%)	2.20	31.40	2.90	34.80	3.30	35.40	4.58	37.12
	引張り強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	46.35	25.98	45.72	26.01	45.71	25.77	43.52	25.32
	大気変化 (°C)	17.5~18.0		19.0~22.0		21.5~25.5		18.8~26.0	
	導体温度 (°C)	291		274		258		310	

(註) 無負荷時: 伸び Ag 1.5%, Cu 1.9% 引張り強さ Ag 48.73 kg/mm<sup>2</sup>, Cu 46.38 kg/mm<sup>2</sup>





第12図 モデルトロリ線の間歇負荷電流による引張強さの変化

Fig. 12. Change of Tensile Strength of Model-Trolley Wire Caused by the Intermittent Current

とにする。本実験は 2.6mmφ のモデルトロリ線を使用して行つたもので試験条件としては第3表(前頁参照)にもあるように通電電流を変え、それぞれについて 37 秒通電、4分23秒休止する5分間周期で、50、100、200、300回のそれぞれについて導体温度、引張り強さ、伸びなどを測定した。第3表はその結果をまとめたもので、第12図および第13図はそれぞれ間歇負荷による引張り強さ、伸びの変化を図示したものである。これらの結果を見ても通電による温度上昇には銀入銅は純銅に比し著しくすぐれていることがわかる。

(3) ローターコイル

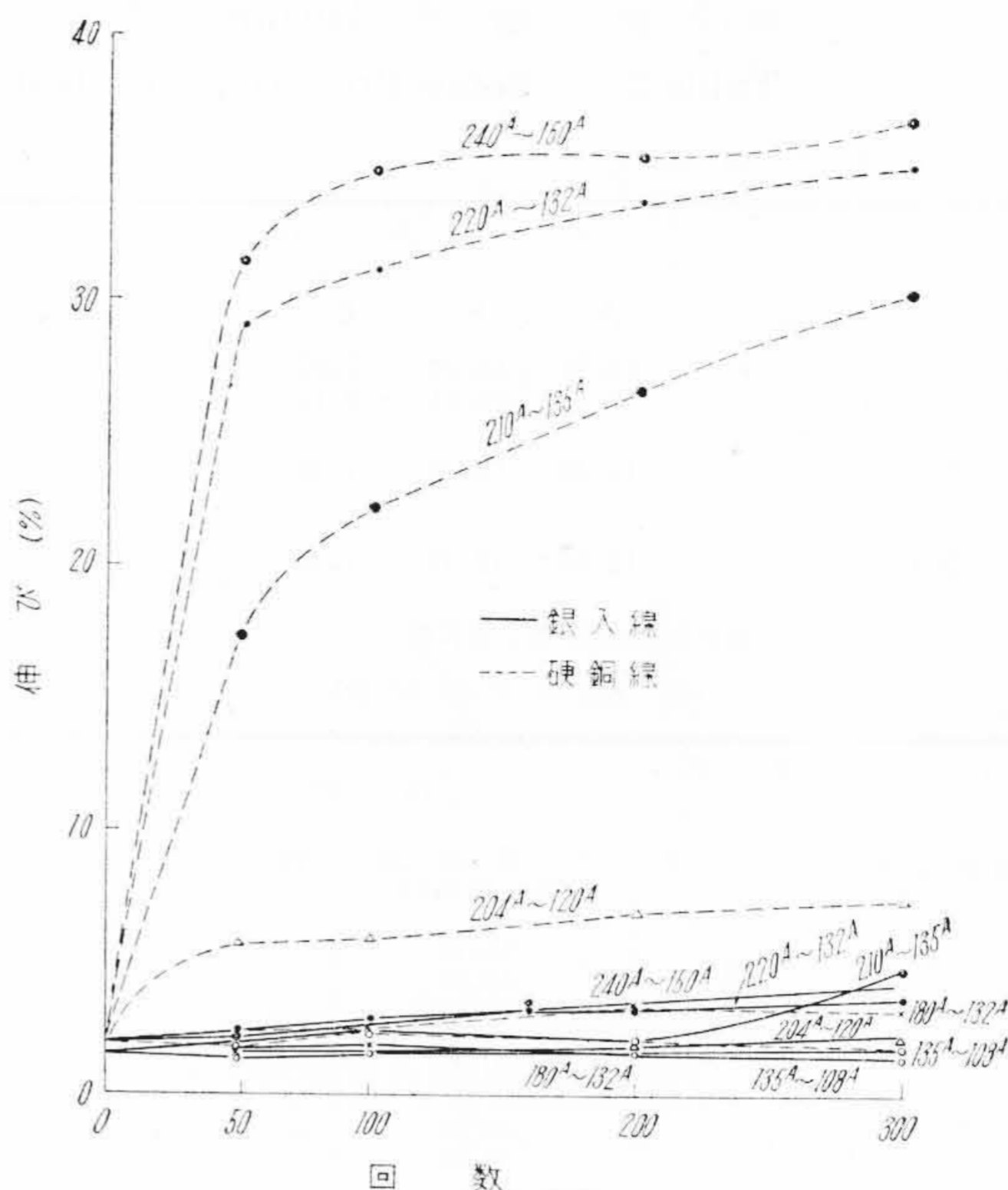
発電機の大型化、高速化への進歩に伴いそれらに使用する回転子巻線用の導電材料が問題となつてくる。

すなわち、運転中に起るローターコイルのいわゆる Copper Shortening といわれる変形である。欧米においても古くから論議され研究され結局種々の特性をもつ銀入銅の使用により解決している。

このローターコイルについては特に必要な性質はクリープ特性である。これについては N.D. Benson<sup>(5)</sup> らの詳細な報告がある。同氏らは約 0.1% Ag 添加の銀入銅と純銅とを 130~225°C, 10,000 時間までのクリープ試験を行い比較検討して銀入銅の優秀性を証明している。

日立製作所ではすでに潮田発電所用の 55,000 kW の発電機などに銀入銅を使用し好結果をえている。

なお小型高速機については銀入平角線の使用が増大しつつある。



第13図 モデルトロリ線の間歇負荷電流による伸びの変化

Fig. 13. Change of Elongation of Model-Trolley Wire Caused by the Intermittent Current

[VI] 結 言

以上導電材料として使用される低濃度銅—銀合金の特性とその応用例の二、三について述べ、電気機器メーカーの参考に供したが、今後電気機器の進歩改良に伴い銀入銅の特性が活用され大量使用される傾向にかんがみ日立製作所はいかなる量産も可能な態勢を確立している。本論文が電気機器設計者の参考の一端にもなれば筆者などの喜びこれにまさるものはない。

本論文をまとめるに際し御指導を戴いた日立製作所日立研究所小野健二博士、日立電線工場岩田伸線部長および基礎研究に協力された山路、橋本の両君に対し深謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) Metals Hand Book: Am. So. for Metals 1148 (1948)
- (2) Addicks: Am. Inst. Min. and Metallurg, Eng. 36 (1906)
- (3) R.H. Waddington: Inst. of Metals; Monograph and Report Series No. 6 1157 (1949)
- (4) J. Sykes: J. Inst. of Metals Mar. (1953)
- (5) N.D. Benson, etc.: J. Inst. of Metals Nov. (1951)