

銅被アルミニウム線の屋内配電線への適用

Application of Copper-clad Aluminum Wire to House/ Building Wiring Cables

Use of aluminum in general wires and cables is spreading at a slow but steady pace. In the case of house/building wiring cables, however, the rate of diffusion of aluminum wires has been withheld at an extremely low level due to problems related to cable connection. The authors took up the copper-clad aluminum wire for application to house/building wiring cables and proved its availability to be comparable to that of the copper wires. Also they confirmed its safety through field tests conducted at Hitachi Cable, Ltd's own facilities. The functional characteristics, connection property and some examples of application of the copper-clad aluminum conductor are introduced in this report.

石下 力* Tsutomu Ishioroshi

ディートリッヒ・エールシュレーゲル**

Dietrich Oelschlagel

庄司 寛* Hiroshi Shôji

水庭 隆* Takashi Mizuniwa

1 緒 言

銅被アルミニウム材が、銅、アルミニウムに次ぐ第三の導電材料として、広範囲な用途が期待され、その実用化が急速に具体化しつつあることは、先に紹介したとおりである⁽¹⁾。

電線の導体材料として銅被アルミニウム材をみたとき、次の利点があげられる。

- (1) 接続作業が容易である。
- (2) はんだ付けが容易である。
- (3) 軽量である。
- (4) 可とう性に富んでいる。
- (5) 経済的である。

上記の利点は、需要家にとっても、またメーカーにとっても銅被アルミニウム材が歓迎すべき材料であることを物語っている。

一方、電線の導体材料についてみると、銅に代わりアルミニウムが浸透しつつある。わが国においても、昭和45年の銅価高騰を契機として、古くから歴史のある架空送配電線はもちろん、屋内配電線、地中ケーブルにもアルミニウム化の動きが活発化してきた。しかし、その実質的普及率はきわめて低い。特に屋内配電線の分野では、作業者が不特定多数となるため接続作業不良による過熱事故が懸念され、また2.0mm、2.6mmなどの細物サイズでは、表面酸化被膜の除去作業が困難であったり、アルミニウム導体に適した配線器具、端子、接続子などが数少ないことが原因して普及率の増大を阻害している。

銅価の変動、供給不足に苦しみながらも、より安定した供給が期待でき、しかも経済的なアルミニウム導体電線の採用に踏み切れなかった需要家にとって、銅被アルミニウム導体の出現は一つの救いといえるかもしれない。

欧米ではその利点を生かし、すでに実用化の段階に入り、非常に多くの実績を重ねつつある。わが国においてはまだ検討段階にあるが、接続の問題、配線器具、端子などの現状を考えると実用化が期待される。

筆者らはこのような観点から、電線導体としての使用の可否、接続部の信頼性につき調査検討するとともに、関係当局の許可を得て、日立電線株式会社の諸施設に適用し、実布設

による信頼性の検証を行ってきた。

本稿ではこれらの結果を含め、「銅被アルミニウム線の屋内配電線への適用」について紹介する。

2 銅被アルミニウム電線の検討状況

銅被アルミニウム線は、イギリスのBICC社で、経済的、技術的に銅と競合でき、しかも安定した価格と、特別な管理を考慮せず使用できる材料として約7年にわたる研究の結果生まれたものである。BICC社では、ケーブルの試験だけでなく、標準的接続に対し通電負荷、端子にそう入しうる導体の数、締付トルクおよびねじ構造などを詳細に検討した。そして、延べ1,000万時間にわたる試験の結果、実用上では技術的に銅と同等との結論を下した⁽²⁾。アメリカ・GC社でも接続部の信頼性について検討した結果、銅と同一方法で接続できると結論している。また、ULでは、10AWG、12AWGのアルミニウム導体電線に対し接続不良事故を検討した結果、接続作業上の原因によるものとの見解から使用上の注意事項を発表した⁽³⁾。使用器具もアルミニウムまたはアルミニウム-銅共用のものを使用するよう義務づけている。これに対し銅被アルミニウム電線では、これらの注意事項には関係なく銅用配線器具を使用してもよいとしている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

一方、ASTM(American Society of Testing Material)規格⁽⁶⁾では電線導体としての構造、特性が詳細に規定され、NEC規格⁽⁷⁾では各サイズの許容電流を規定して実用化への足掛りを作っている。

銅被アルミニウム線の量産化に成功したのは、アメリカのTI社で、電線導体用としては、全断面積に対する銅の比率が10%の製品が標準的である。TI社は銅被アルミニウム線材を供給し、BICC社、GC社その他が電線・ケーブルとして販売を行なっている。

電線での応用分野は広いが、屋内アルミニウム配電線の施工不良による事故から、その接続特性の信頼度と銅用配線器具が適用できるという理由により、屋内配電線への適用が主となっている。欧米では多くの使用実績を積み重ねつつあり、その報告も多い。わが国ではまだ検討段階にあり、試験布設

* 日立電線株式会社日高工場 ** 日立電線株式会社研究所 理学博士

例⁽⁸⁾その他検討結果の報告はみられるが、まだ実用の段階には至っていない。

3 銅被アルミニウム線の一般的特性

3.1 構造

図1に示すように、銅被アルミニウム線材は、アルミニウムまたはその合金を心材として表面に銅層を金属学的に一体化被覆した構造になっている。全断面積に対する銅層の比率は、10～15%が一般的な値である。図2は、各比率に対する被覆厚さを示すものである。

3.2 物理的機械的性質

表1は、銅とアルミニウムとを対比して、銅被アルミニウム線の物理的、機械的性質を示すものである。その性質の大半はアルミニウムの性質に類似している。

3.3 表面性状

図3に示すように、銅被アルミニウム線は銅と同等の接触抵抗を示している⁽⁹⁾。これに対しアルミニウム対銅、アルミニウム対アルミニウムでは非常に高い接触抵抗を示している。

これは銅の表面酸化被膜に比較し、アルミニウムのそれは、非常に強固で絶縁性であるという表面性状の相違によるもので、接続部の特性を左右する大きな要因の一つである。

4 電線導体としての機能試験

4.1 曲げ剛性試験

図4に示すように、試料の一端を固定し、有効長50mmの他端をスプリングバランスで引っ張り、90度曲げに要する荷重を測定した。表2に示す結果から、銅線に比較し曲げやすいことがわかる。これはアルミニウムの性状に類似している。

4.2 繰返し曲げ試験

図5に示すように、試料を屈曲試験機にセットし、試料を180度ずつ屈曲させて導体が断線するまでの回数を数えた。荷重2kg、 $R=2.5d$ とした。表3に示す結果から、銅、アルミニウムと同等の特性を有していることがわかる。

4.3 ボルトへの巻付け、巻もどし試験

端子への継ぎ込みを模擬して、ボルトへ手で巻き付けた後、巻もどす操作をくり返し、導体が断線するまでの回数を求め

図1 銅被アルミニウム線の断面構造

外層の銅層は心材アルミニウムに金属学的に一体化被覆される。

Fig. 1 Cross-sectional Photomicrograph of Copper-clad Aluminum Wire

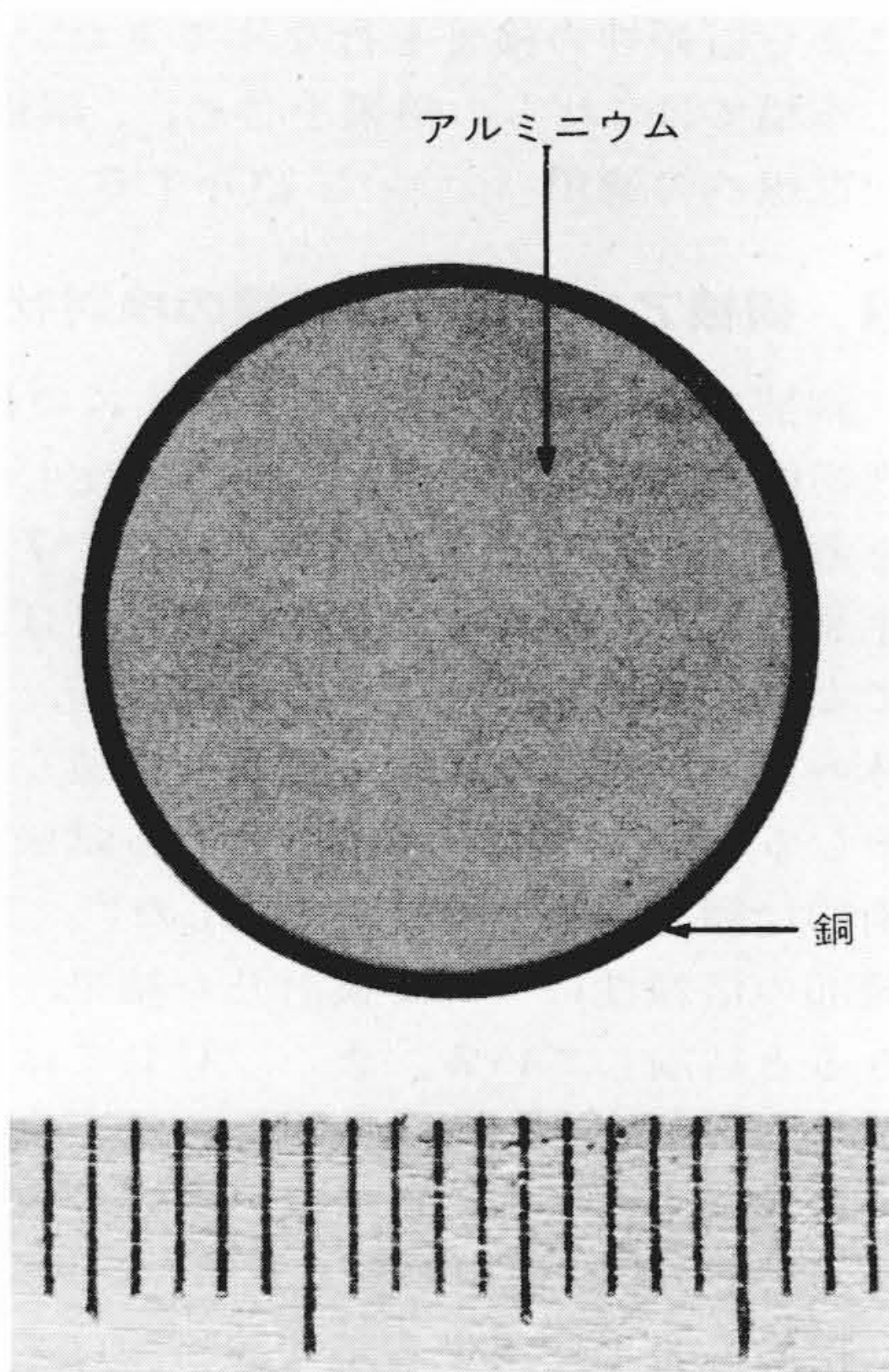


表1 各種線材の物理的、機械的性質 銅被アルミニウムは、アルミニウムを主体とするため、大半の性質はアルミニウムに類似し、その値は複合材に関する混合則にほぼ従っている。

Table 1 Comparative Properties of Aluminum Copper-clad Aluminum and Copper Wire

項目	アルミニウム	銅被* アルミニウム	銅
比重	2.71	3.34	8.91
導電率 (%)	62.0	66.7	101
線膨張係数 (1/°C)	24×10^{-6}	22×10^{-6}	17×10^{-6}
弾性定数 (kg/mm)	7,100	7,500	11,300
引張強さ (kg/mm ²)	硬質	21.7	22.6
	軟質	9.1	11.3
耐力 (kg/mm ²)	硬質	12.6	20.3
	軟質	4.8	6.6
伸び (%)	硬質	2	2
	軟質	30	31

注：*銅被覆率(体積比) 10%

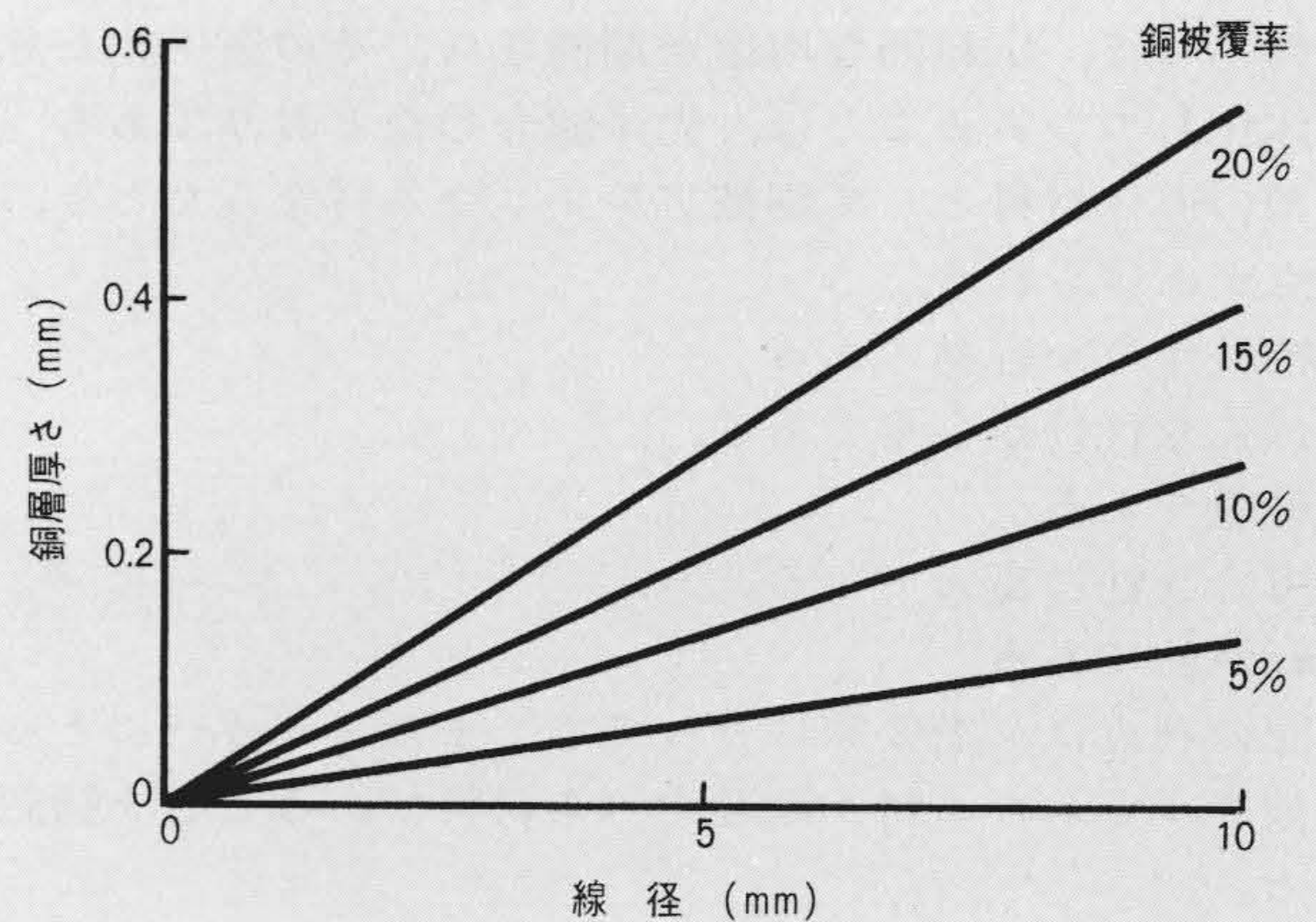


図2 銅被アルミニウム線の線径と銅層厚さの関係 銅被率覆率10%の場合、銅層厚さは8φで約0.2mm、2φで約0.05mmとなる。

Fig. 2 Copper Thickness of Copper-clad Aluminum Wire vs Diameter at Various Copper Volume

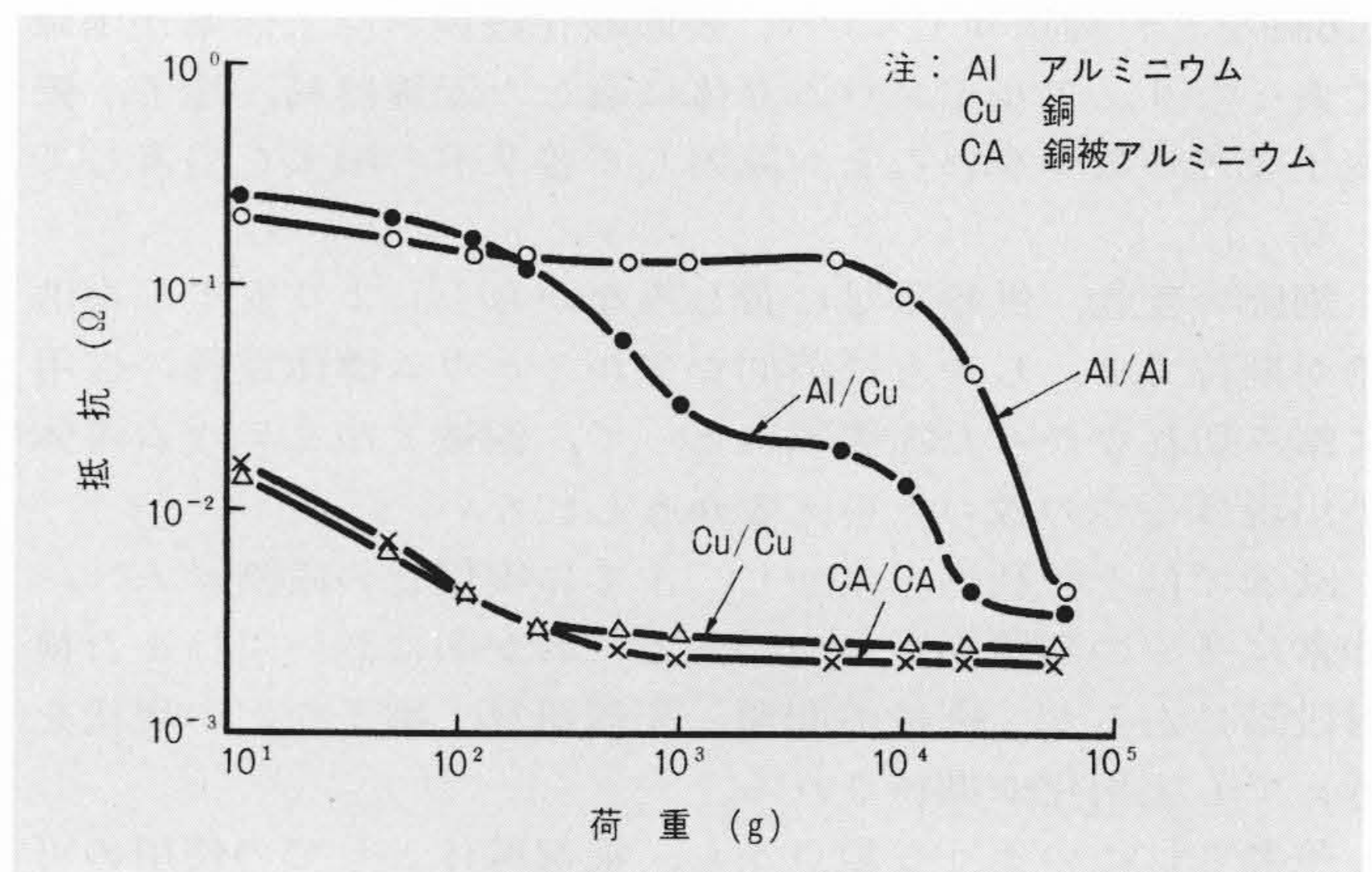


図3 各種線材の接触荷重と接触抵抗の関係 Cu/Cuの組合せと同様にCA/CAの組合せでは、小さい接触荷重で十分低い接触抵抗が得られるが、Al/Alではかなり高い接触荷重を印加後、初めて低下する。

Fig. 3 Contact Resistance Versus Pressure for Two Conductors Crossed Under Pressure Load

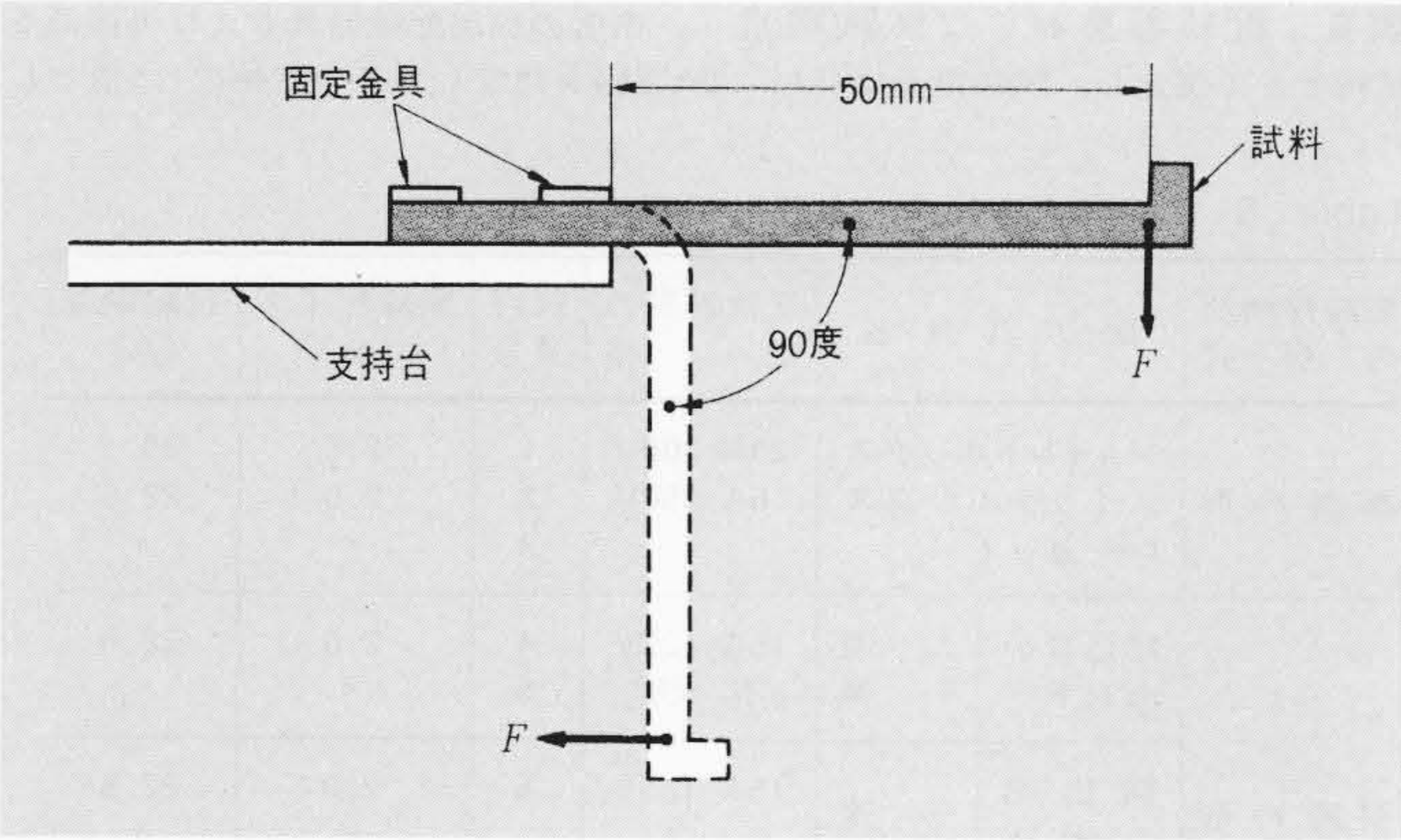


図4 曲げ剛性試験法 一端を固定し有効長50mmの他端をスプリングバランスで引っ張り90度曲げるに要する荷重を測定した。

Fig. 4 Stiffness Test Method

表2 曲げに必要な荷重(g) 銅線に比較して曲げやすいことがわかる。

Table 2 Load Required for Bending

試料	銅被アルミニウム導体	銅導体
IV 5.5mm ²	1,100	1,300
IV 2.0mm	950	"
IV 1.6mm	650	"

注：IV ビニル絶縁電線

表3 繰返し曲げ試験結果 銅線、アルミニウム線に比較して遜(そん)色のない特性を示している。

Table 3 Results of Repeating Bending Test

電線の種類	質別	線径(mm)	断線までの回数
銅線	軟	2.0	18
		2.6	17
銅被アルミニウム線	"	2.0	19
		2.6	14
アルミニウム線	半硬	2.0	19
		2.6	"

た。試験の結果は、表4に示すとおりである。単線では銅と同等であるが、より線では約1/2ぐらいの結果である。3回程度の配線替えは十分可能である。

上記のほか、各種機能試験を行なったが、それらの結果から、銅被アルミニウム導体電線を評価すると概略表5に示すようになり、機能的特性としては、アルミニウム導体に近いといえる。

5 接続特性の検討

5.1 銅用配線器具への接続特性

5.1.1 接触抵抗

線どうしを接触させた場合の接触抵抗の変化は、前述のとおりである。これを実際の配線器具で検討した結果が、図6に示すように報告されている⁽¹⁰⁾。すなわち、実際の条件のもとで、平均的作業者が締付け作業を行なうトルクの範囲では、非常に良好な状態の接触抵抗を示し、配線器具へ接続した場合の信頼性を物語っている。

5.1.2 通電ヒートサイクル試験

市販の銅用配線器具に対する接続特性を通電ヒートサイクル試験により確認した。表6は、試験試料および試験電流を、

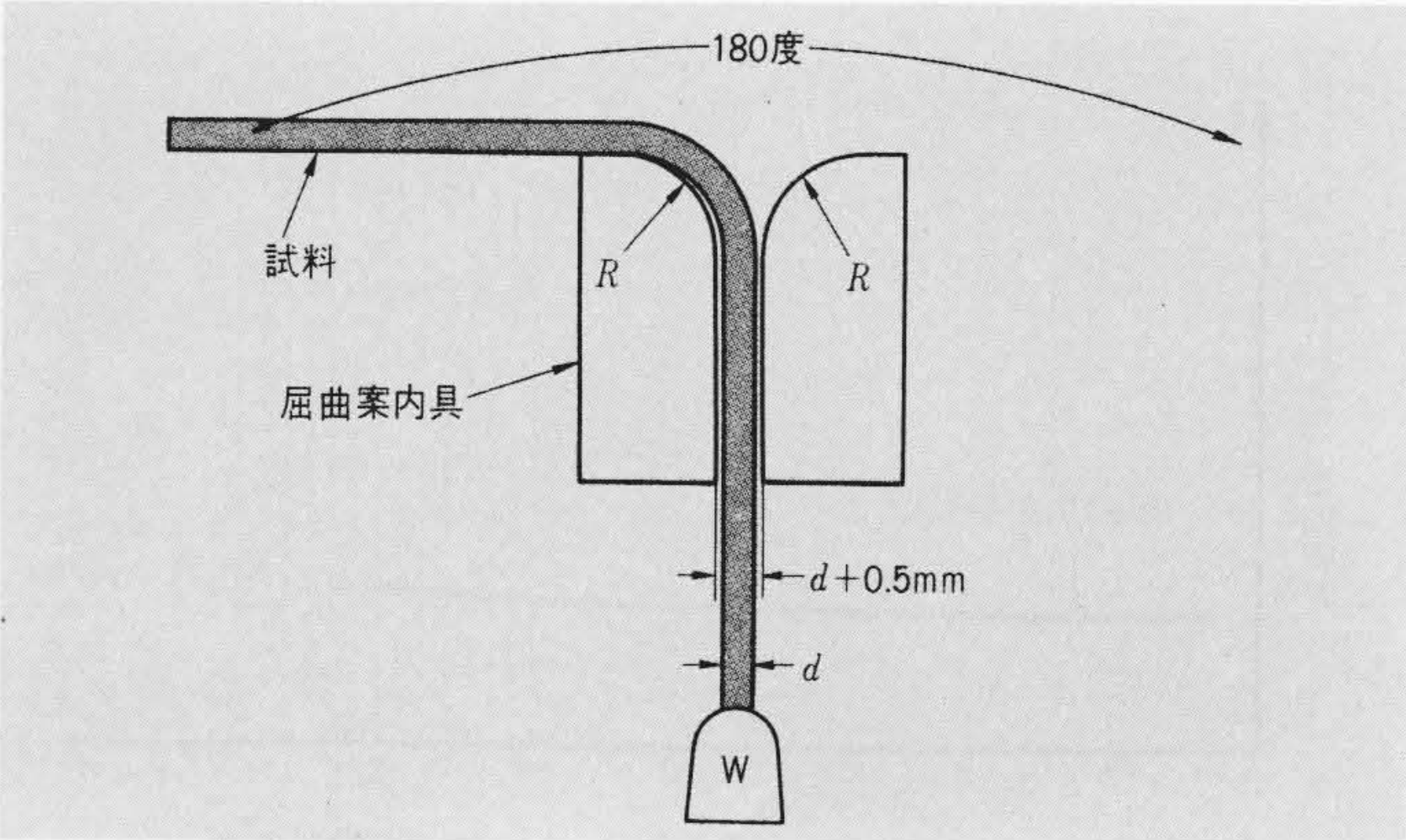


図5 屈曲試験法 試料を180度ずつ屈曲させて、導体が断線するまでの回数を数えた。

Fig. 5 Bending Test Method

表4 ボルトへの巻付け、巻もどしによる断線までの回数 断線に至るまでの回数から3回程度の配線替えは可能であると考えられる。

Table 4 The number of Times until the Conductor Breaks by Winding up and off Around a Bolt

試料	ボルト径(mm)	結果(回)	
		銅被アルミニウム導体	銅導体
IV 1.6mm	3.5	8	—
IV 2.0mm	"	7	8
IV 5.5mm ²	3.9	9	21
IV 14 mm ²	7.9	21	33

表5 銅被アルミニウム電線の評価 各特性ともアルミニウム導体とほぼ同等の性能を有している。

Table 5 Judgement of Copper-clad Aluminum Wire

特性の分類	試験項目	評価
可とう性	○曲げ剛性	○銅導体に比べて曲げやすい。
引張り耐力	○引張り破断荷重	○許容張力はおよそ銅導体の1/2にしなければならない。
取扱性、屈曲寿命および細線心の効果	○繰返し曲げ ○キンク ○引張衝撃 ○回転引張り	○単線、同心よりは、焼鈍材が好ましい。 ○常時屈曲する用途には、アルミニウム導体と同等。
ボルトへの巻付け	○ボルトへの巻付け、巻もどし。	○アルミニウム導体と同等。
皮はぎ性	○ワイヤストリップによる皮はぎ ○ナイフによる皮はぎ	○ワイヤストリップの使用が望ましい。

図7は、結果を示すものである。いずれの試料も安定した特性を示し、アルミニウム心材に銅層を被覆した効果が現われている。試験はすべて特殊な処理や配慮を施さず行なったもので、銅被アルミニウム線が、銅用配線器具に銅線と同一要領で適用できることを示している。

5.2 銅用圧着端子への接続特性

わが国の屋内線布設では、圧着端子および接続子の存在を無視できない。筆者らは、市販の銅用圧着端子、重ね合せ形接続子、リングスリーブで圧着工具との組合せを含め、約450個の試料をJIS C2810(屋内配線用コネクタ通則)に基づいた通電ヒートサイクルにより試験した。その結果、合格試料と

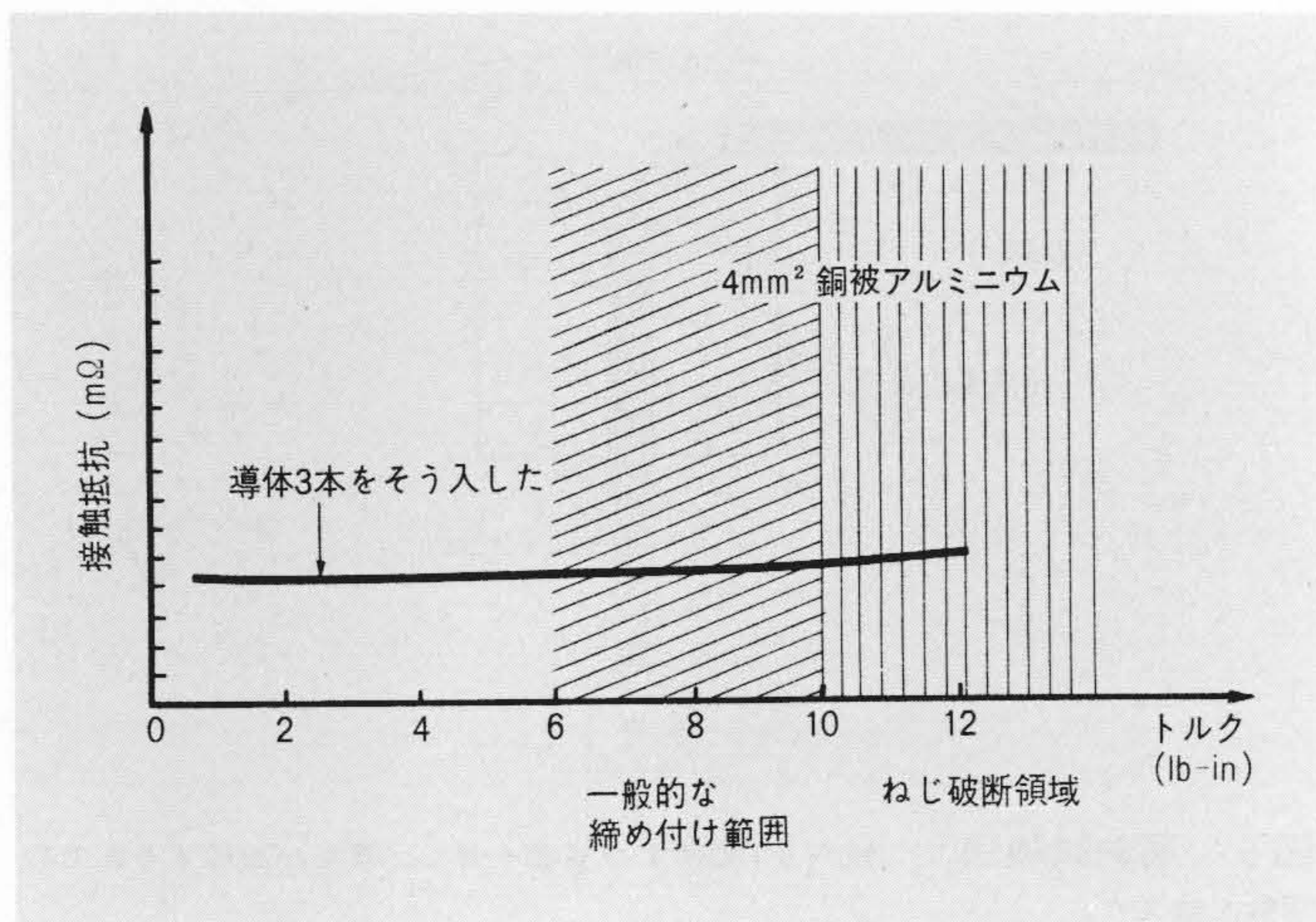


図6 接触抵抗と締め付トルクとの関係 13A用配線器具で接触抵抗と締め付トルクの関係を検討した結果、平均的作業者が作業を行なうトルクの範囲では、非常に良好な接触抵抗を示す。

Fig. 6 Resistance/Torque Characteristics

不合格試料ではそれぞれ共通性のあることが確認できた。次に示す試験の結果は、合格試料の共通性の組合せによるもので、単線2.0mm, 2.6mmについて試験した。

5.2.1 適用サイズ範囲による影響

市販の銅用圧着端子は、その圧着機構から適用サイズ範囲が広い。しかし、銅被アルミニウム電線に対しては、銅線に

表6 配線器具および試験電流 市販の銅用配線器具および外国品を試料として選定し、試験電流は15A, 20A回路を想定し、その定格の1.5倍とした。

Table 6 Wiring Devices and Its Test Current

電線接続部の形式	配線器具名	配線器具の定格	試料番号	電線サイズ (mm)	試験電流 (A)
巻締め形	ジョイントボックス スイッチボックス ローゼット	20A-300V	1	2.6	30
		6A-250V	2	2.0	22.5
		"	3	"	"
引締め形	埋込コンセント	15A-125V	4	2.0	22.5
		不明*	5	"	"
	露出形コンセント	15A-125V	6	2.0	22.5
		"	"	"	"
押しねじ形	積算電力計	5A	7	2.6	30
			8	"	"
			9	2.0	22.5

注：* 不明となっている器具はすべて外国製品である。

対するサイズ範囲をそのまま適用できないことが判明した。図8に示すように、端子を適当に選べば安定した特性が得られるが、現在の標準端子を適用することはできない場合がある。

この結果は、市販の安価な量産品を適用できる可能性を示すもので、需要家にとっても大いに期待されることである。

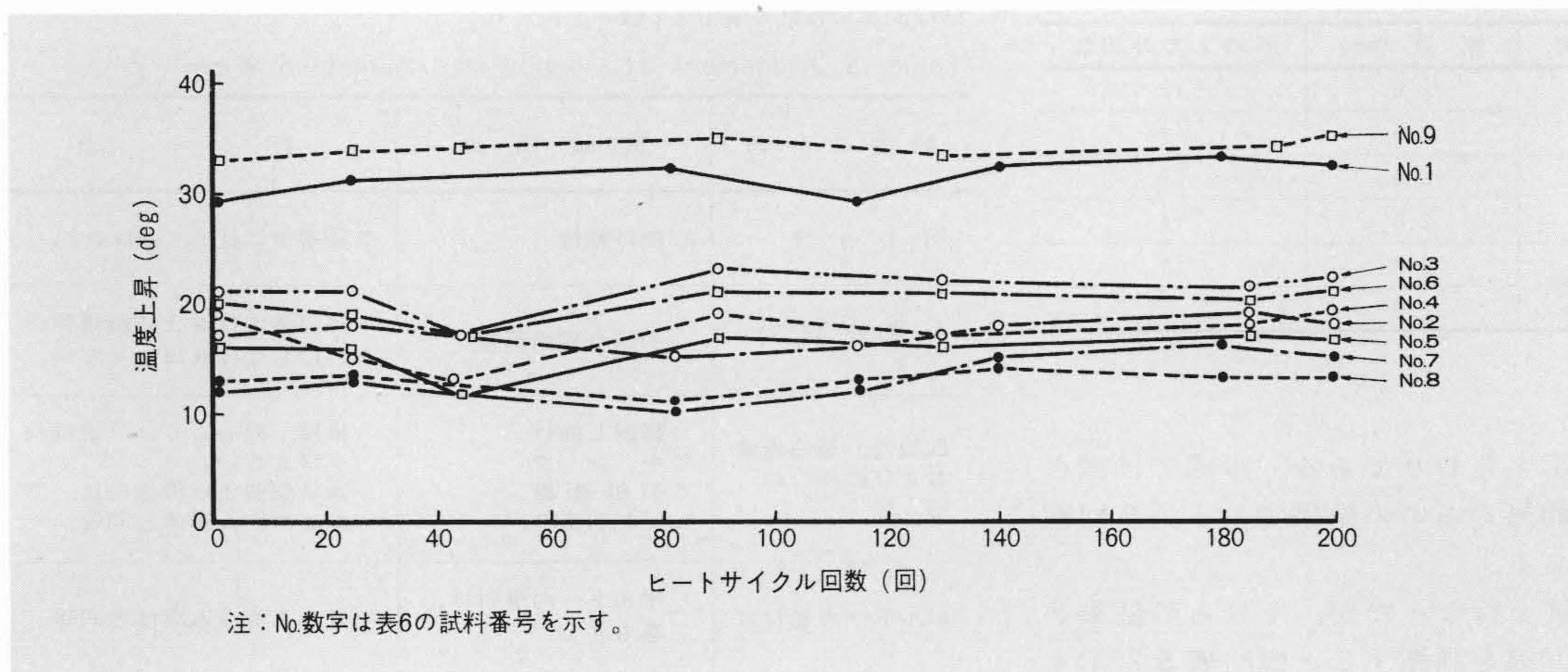


図7 配線器具のヒートサイクル試験結果 各配線器具とも異常な温度上昇もなく、安定した特性を示している。

Fig. 7 Heat Cycling Test Results of Wiring Devices

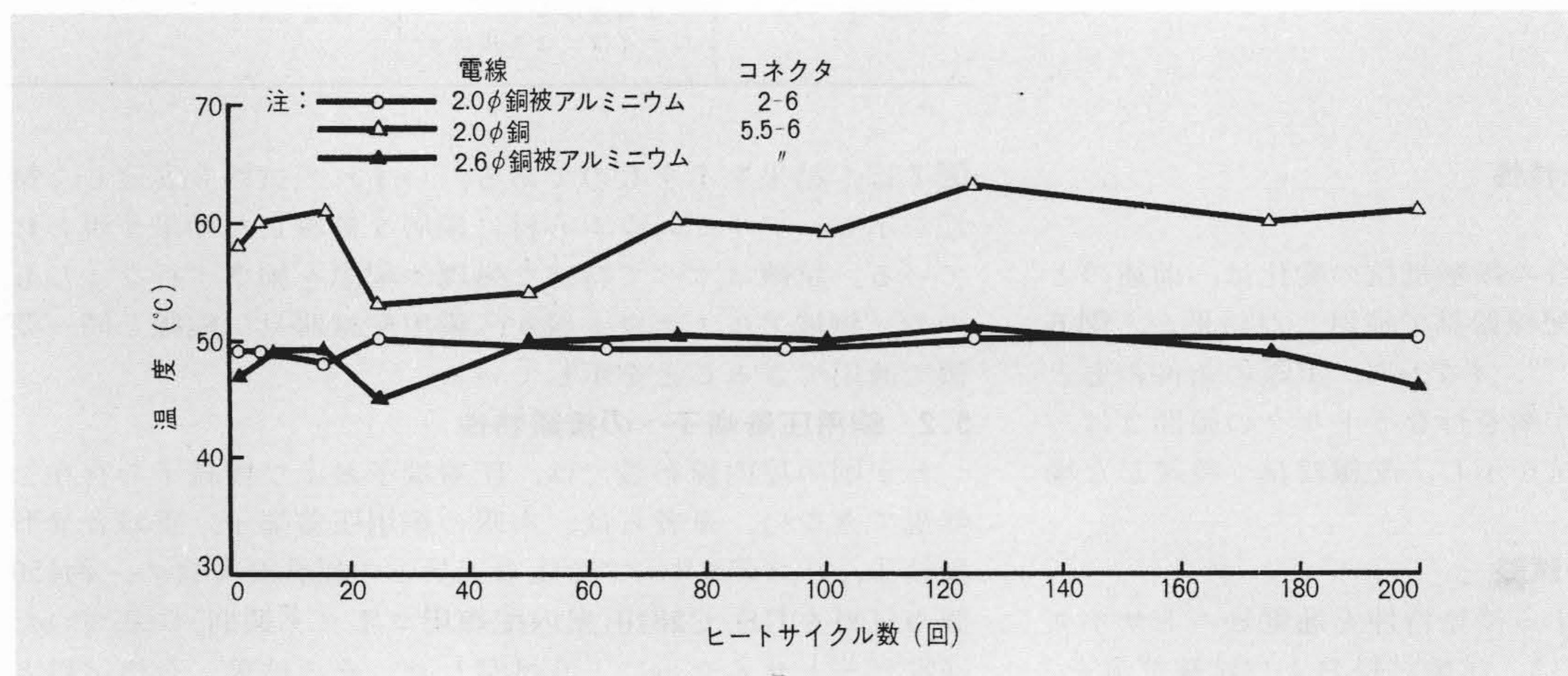


図8 圧着端子のヒートサイクル試験結果 銅線と同様安定な特性を示しており、銅用圧着端子の適用が可能なことを示している。

Fig. 8 Heat Cycling Test Results of Compression Type Terminals

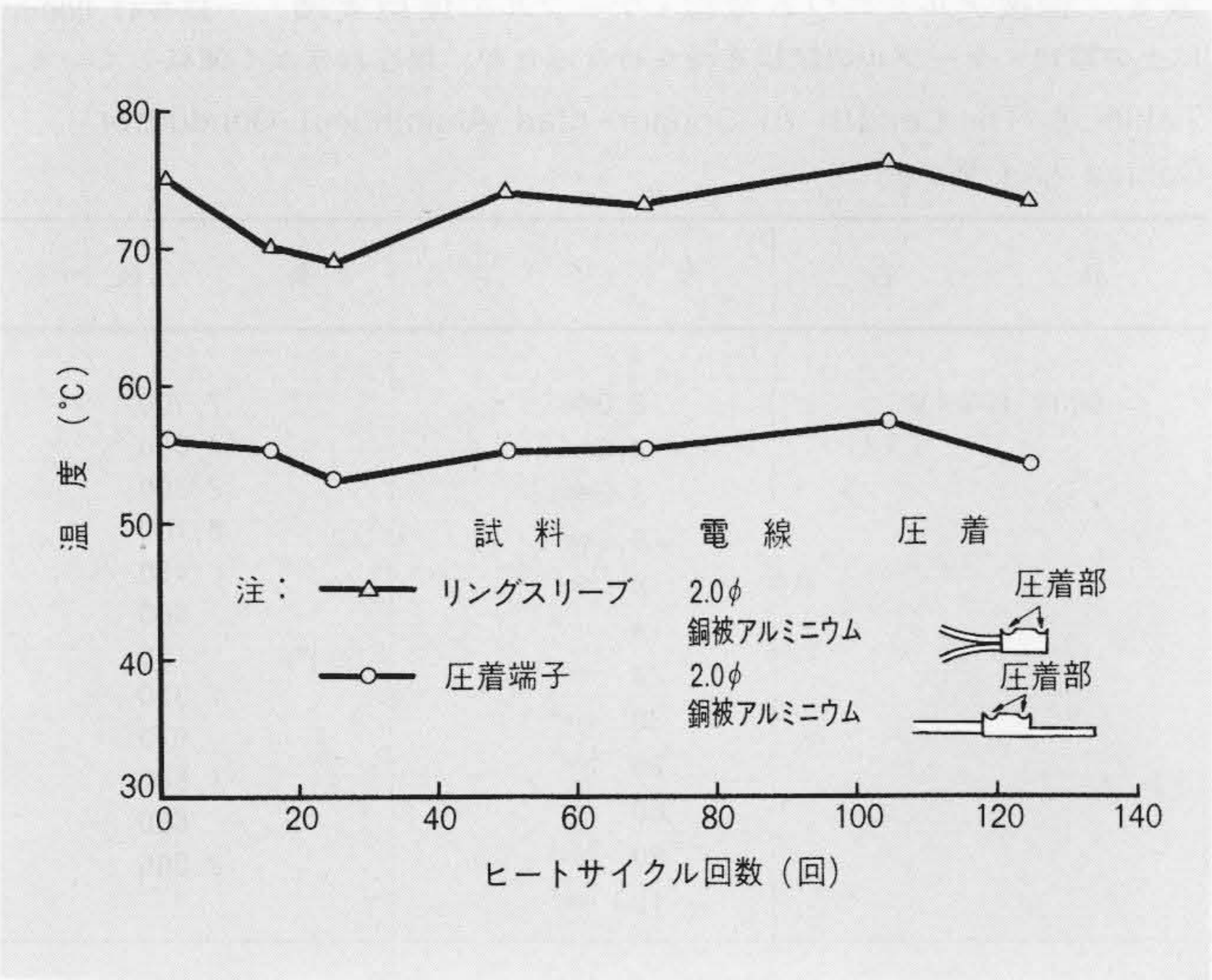


図9 2回圧着によるヒートサイクル試験結果 1回圧着では合格しなかった試料が、2回圧着することにより安定な特性を示した。

Fig. 9 Heat Cycling Test Results of Samples Compressed at Two Points

5.2.2 2回圧着の効果

図9に示すように2回圧着することにより、市販の銅用圧着端子を銅線と同じように使用しても良好な接続特性が得られることが判明した。しかし、現在市販されている圧着端子類は圧着部が短いため、実際の作業ではばらつきが出る可能性があり、現用品よりいくぶん長めにした端子類の出現が望まれる。

5.3 各種端子および接続子への適用性

端子あるいは接続子の種類は非常に多く、すべての種類を網羅することはできない。日立電線株式会社での実験の結果、スプリングコネクタ、ボルト形コネクタ、YKターミナルなど、圧着、圧縮以外の接触圧力による形の端子類およびアルミニウム導体用の端子類が安定した特性を示すことが判明した。スプリングコネクタ、アルミニウム端子および分岐スリ

表7 各種コネクタ端子とその試験電流 市販のスプリングコネクタおよびアルミ用端子分岐スリーブを試料とし、試験電流はJISのコネクタ通則により決定した。

試料	適用電線	通電電流 (A)	試料番号
スプリングコネクタ (A)	14mm ² ×2本	85	1
	8mm ² ×2本	62	2
	14mm ² ×1本	85	3*
	8mm ² ×1本	62	
	"	23	
スプリングコネクタ (B)	8mm ² ×2本	62	4
アルミニウム分岐スリーブ (A)	100mm ² ×1本	365	5*
	60mm ² ×1本	265	
	38mm ² ×1本	100	
アルミニウム圧縮端子(A)	100mm ² ×	365	6
アルミニウム圧縮端子(B)	60mm ² ×	265	7
アルミニウム圧縮端子(C)	38mm ² ×	100	8

注：* 印試料は、3本の分岐接続を行なった。

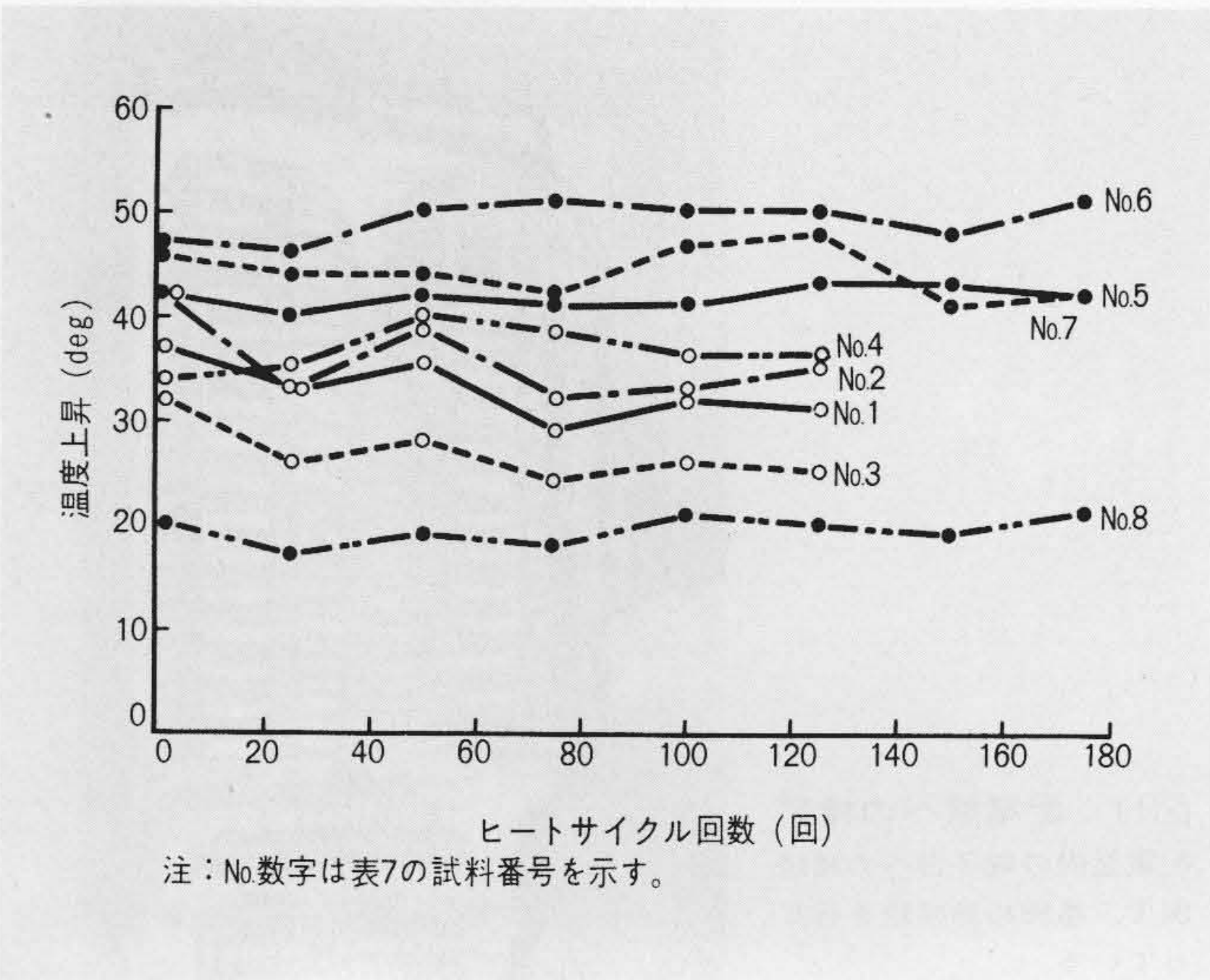


図10 各種コネクタ・端子のヒートサイクル試験結果 異常な温度上昇もなく、すべての試料が良好な特性を示している。

Fig. 10 Heat Cycling Test Results of Various Kinds of Connectors and Terminals

ープでの試験結果は、表7および図10に示すとおりである。

以上、接続特性の検討結果を紹介してきたが、試験はすべて銅線と同一の作業条件で行なったものである。アルミニウム導体電線では、接続作業時導体表面をブラッシングし、表面の酸化被膜を完全に除去すること、接続用コンパウンドを塗布することおよびブラッシング後60分以内に接続を完了することなどの制約があった。銅被アルミニウム導体電線では、これらの配慮がすべて不要で、しかも、市販の配線器具がそのまま適用できることは、特に細物サイズの電線を使用する場合大きな福音となる。細物サイズの電線では不特定多数の作業となるため、正確な作業を期待するのは困難である。さらに、市販の配線器具についても接続子にめっきは付いてはいるが、これによって細物アルミニウム線を使用する場合の問題点が解決されたとはいえなかった。このような観点から銅被アルミニウム線をこの分野に適用することにより、接続上の問題が回避できることは明らかで、好結果が期待される。

6 実布設例

基礎的検討の結果、銅被アルミニウム線が屋内配電線に適用しうるとの結論を得て、筆者らは実布設による検証を行なうこととした。実証試験を行なうにあたり次の点に留意した。

- (1) 配線器具は市販の銅線用を使用する。
- (2) 圧着端子、接続子は試験に合格した製品を使用する。
- (3) 導体のブラッシング、コンパウンドの塗布は行なわない。
- (4) 作業者は一般の電気工事者とする。
- (5) 作業はすべて指示を与えず、銅線での作業どおり行なう。

以上の条件の下に日立電線株式会社施設のアパート、文化体育センター、生産工場に布設した。布設後6ヶ月ごとの定期点検によりその変化を監視しているが、3年を経過した現在でも異常を認めていない。接続部は、サーモペイントおよびサーモラベルによる異常温度上昇の監視と、経時変化によるボルトの緩みの監視をしている。配線中には各種の接続部があるが、その数例を図11～14に紹介した。実証試験に供した電線ケーブルの内訳は表8に示すとおりである。

表 8 銅被アルミニウム電線・ケーブルの使用実績 延長41,000m
以上の電線・ケーブルの試験布設を行なったが、現在異常なく運転している。

Table 8 The Length of Copper-clad Aluminum Conductor
Cables and Wires

品 名	サ イ ズ	条 長 (m)
600V CA-IV	2.0mm	7,700
	2.6mm	14,000
	3.2mm	2,300
	5.5mm ²	8,100
	8 mm ²	490
	14 mm ²	660
	22 mm ²	90
	30 mm ²	1,320
	38 mm ²	970
	60 mm ²	1,580
	80 mm ²	850
	100 mm ²	2,065
600V CA-VV-F	2 × 2.0mm	200
	3 × 2.0mm	"
600V CA-VV-R	2 × 30mm ²	330
	3 × 80mm ²	200
	3 × 100mm ²	330

注：CA-IV 600V 銅被アルミニウム導体ビニル絶縁電線
CA-VV 600V 銅被アルミニウム導体ビニル絶縁ビニルシースケーブル
(-F：平形，-R：丸形)

7 結 言

筆者らは、数年にわたって銅被アルミニウム線の屋内配電線への適用を検討してきた。市販の銅用配線器具へは銅線と全く同一の工法で適用でき、しかも選定を誤まらなければ、銅用圧着端子および接続子へも適用可能なことを明らかにした。日立電線株式会社施設への試験布設による実証試験でも、銅被アルミニウム線が屋内配電線用導体として有効であることが確認された。欧米の使用実績からも、今後わが国においての実用化が期待される。

本稿を終わるにあたり、終始ご指導をいただいた日立電線株式会社研究所の山路副所長および実験、ご指導をいただいた関係各位に対し深謝する。

参考文献

- (1) 参木、三宅ほか：「銅被アルミニウム材の諸性能」日立評論54, 956 (昭47-11)
- (2) British Insulated Callender's Cables Limited : Publication No. 626A
- (3) Underwriter's Laboratories Inc. : "Termination of Aluminum Conductors at Wire Binding Screws" (July 9, 1971)
- (4) Underwriter's Laboratories Inc. "Recognition of Copper-Clad Aluminum Conductor For Use In Terminals Suitable For Copper Conductor" (April 2, 1971)
- (5) Under Writer's Laboratories Inc. : "Copper-Clad Aluminum Conductor-Expanded Use of the No.12-10AWG Solid Conductor Sizes" (June 15, 1971)
- (6) ASTM : Designation No. B 566-72
- (7) National Fire Protection Association : NFPA No.70-1971 ANSI C-1-1971
- (8) 山本ほか：「銅クラッドアルミ電線屋内配線の施行例」電設工業 69 (昭45-7)
- (9) Texas Instrument Inc. : Bulletin No. 516-DS92-970
- (10) R.S.Ralphs, "Copperclad wiring cables cut costs" Electrical Review (July, 1970)

図11 配電盤への接続
配電盤内の端子台への接続例で、巻締め形接続を行っている。

Fig. 11 Connection to
Distribution Board

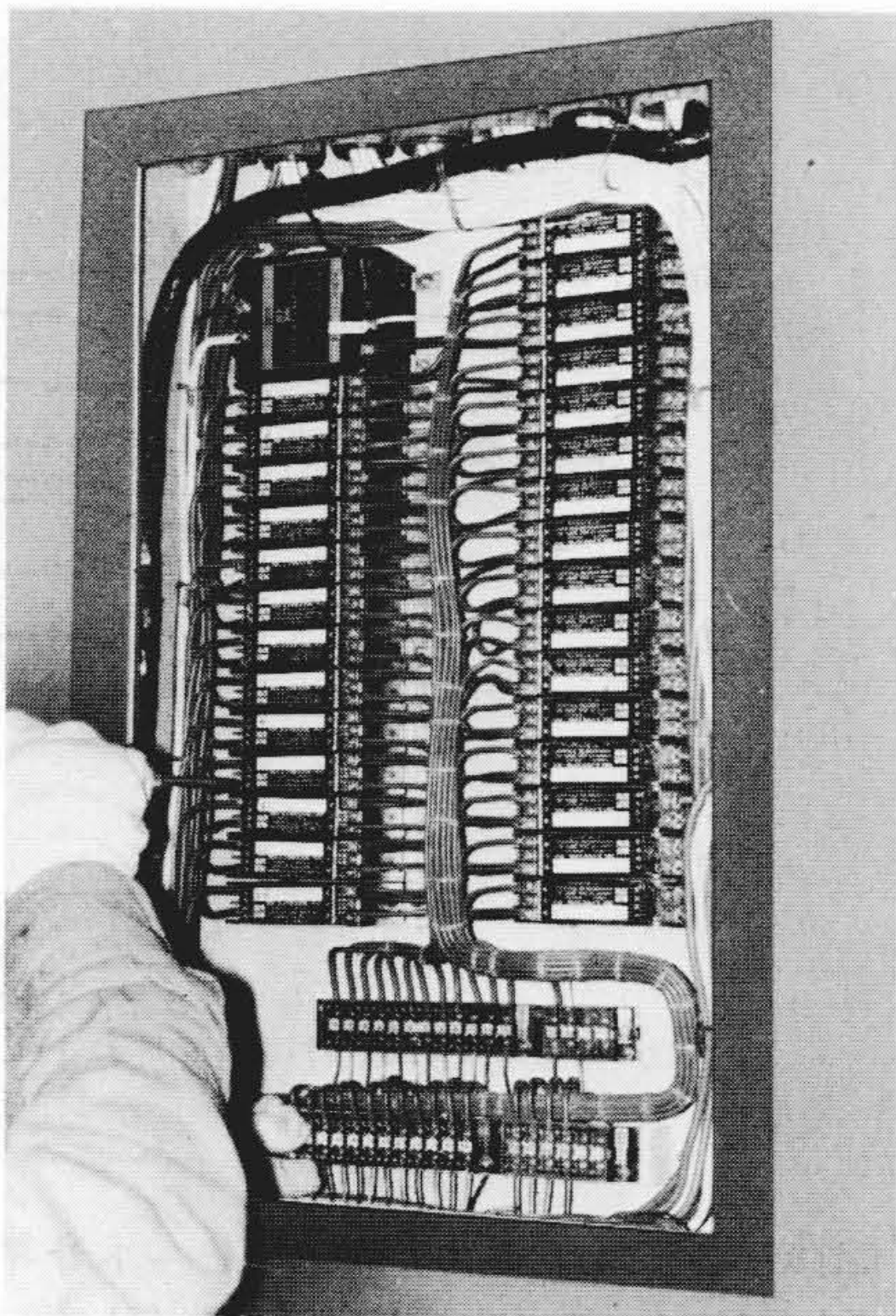


図12 埋込形コンセントへの接続
壁埋込形コンセントへの接続例で、引締め形接続を行なっている。

Fig. 12 Connection to
Buried Type Conccent

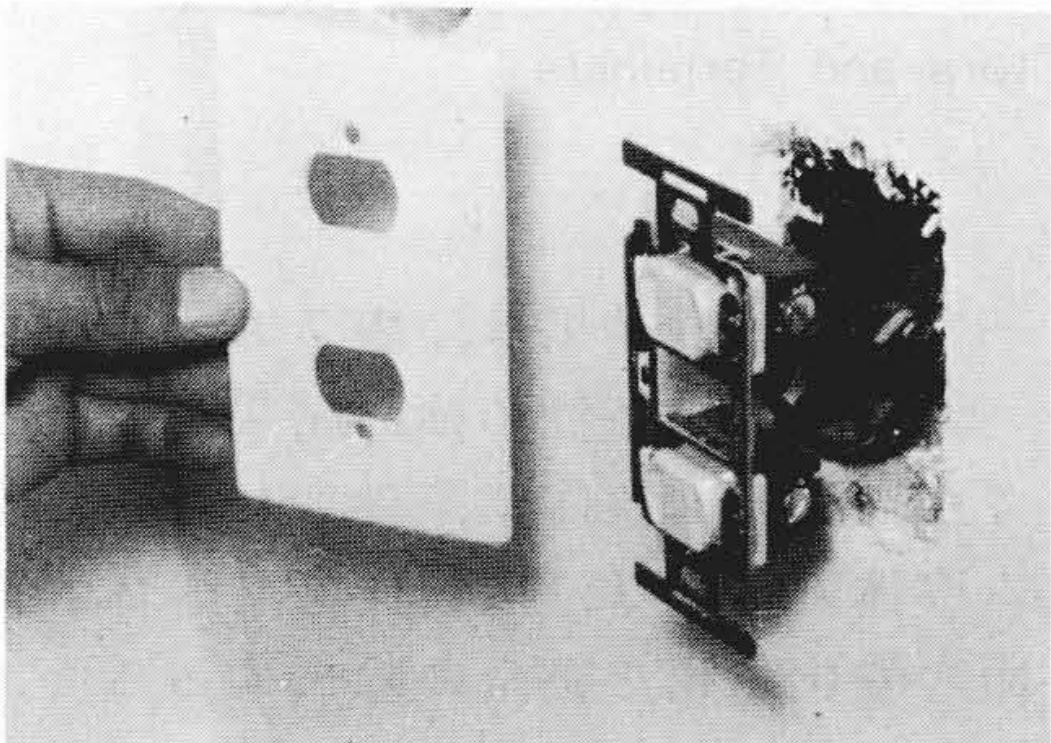


図13 ブレーカへの接続
家庭用ブレーカへの接続例で、押し締め形接続を行なったものである。

Fig. 13 Connection to
Circuit Breaker

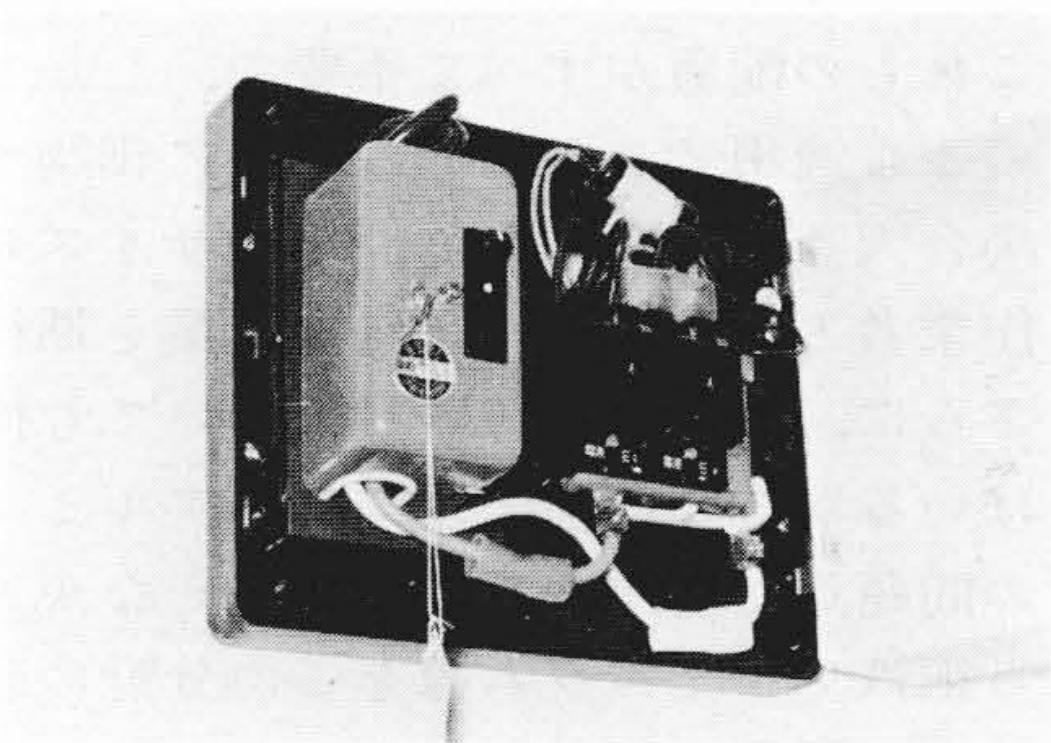


図14 ローゼットへの接続
電灯線のローゼットへの接続例を示す。接続は巻締め形によっている。

Fig. 14 Connection to
Roset for Light

