

住宅用照明器具の工事省力化機構

Man Power Saving Mechanism for Domestic Lighting Apparatus Fitting

中村幸明*
Koumei Nakamura

要 旨

本論文は住宅用照明器具の取付工事の中で、特に電気工事業者から要求が強い電源接続の簡易化とネジ類を使わない器具の取付方式について、開発研究を行なったものである。その結果、これからの要求に即応した速結コネクター、速結端子および器具本体の引掛式取付け、透光カバーのバネ式取付けなどの省力化機構が開発できた。本文ではこの機構についての設計上の要点と諸特性について述べている。

1. 緒 言

最近、電気工事量の増加に伴い、電気工事士の不足と人件費の増加がますます深刻な問題となってきた。これは取付器種数の多い住宅照明器具の取付工事においても同様であり、その対策の一つとして、照明器具の取付構造を改良し、作業の省力化を図ることが必要である。

照明器具の取付工事には、器具の取付工事と電源接続工事がある。器具の取付工事は、天井や壁と取付台の取付け、取付台と本体、本体と透光カバーの取付けなどがあり、ほとんどネジ止めされている。

電源接続は、単一接続の場合と照明器具を介して送り配線する場

合とがあるが、いずれの場合も、ほとんど圧着スリーブで電線を圧着接続後ビニルテープで絶縁処理をしているのが現状である。

表1はこれらの作業を省力化するために開発した機構と使用器種の一覧表である。以下省力化機構について記述する。

2. 電源接続機構の検討

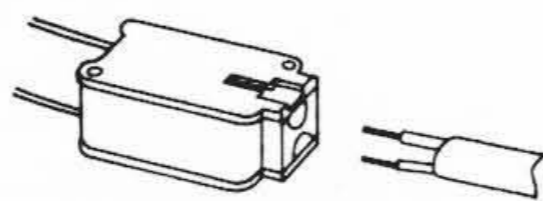

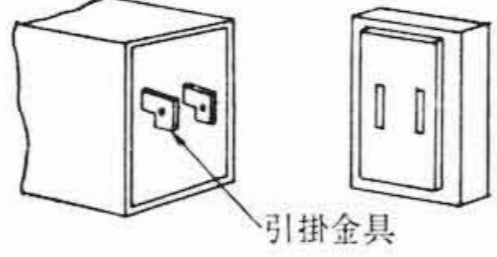

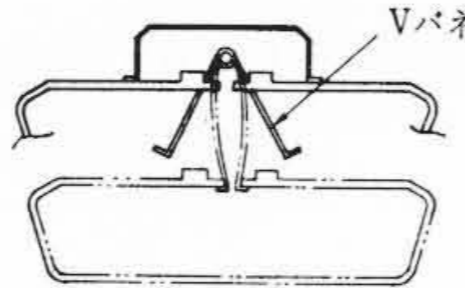
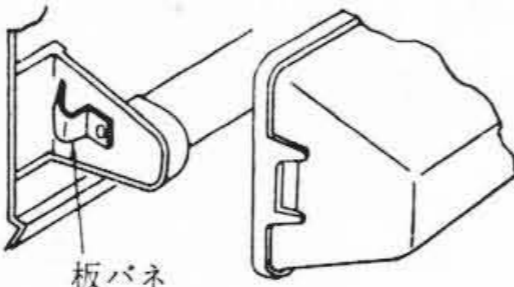
新しく開発した、速結コネクター、速結端子のうち、特に国内で初めて製品化した速結コネクターを中心に、以下説明する。

2.1 速結コネクター

2.1.1 設計の要点

速結コネクターとは、照明器具内の電源接続線に取付けておき、電気配線工事のとき器具内に導入されたVV-Fケーブルの被覆を

表1 省 力 化 機 構

項番	名 称	説 明 図	使 用 例	使 用 器 種	作 業 能 率	
電 源 接 続 機 構	1	速結コネクター	 速結コネクター 本体	ブラケット シーリングライト 流し元灯 74器種	120%	
	2	速結端子	 送り配線	ソケット 本体	白熱灯ダウンライト 白熱灯ブラケット 白熱灯シーリングライト 48器種	150%
取 付 機 構	3	本体取付け (上下式引掛け)	 引掛金具	コンセント (取付台) 本体	白熱灯ブラケット 16器種	120%
	4	本体取付け (回転式引掛け)	 引掛金具	取付台 ソケット 透光カバー	白熱灯シーリングライト 2器種	130%
機 構	5	透光カバーの着脱 (Vバネ式)	 Vバネ	本体 透光カバー	天井直付器具 12器種	120%
	6	透光カバーの着脱 (板バネ式)	 板バネ	透光カバー	ブラケット 6器種	120%
電源接続機構と取付機構を組合せて使用した場合				140器種	120~150%	

注：作業能率は省力化前後（日立製作所器具比較）の取付台数（1人、1日）の比率で算出した。

* 日立製作所亀戸灯具工場

表2 速結コネクタの設計仕様

項目	設計目標	摘要
定格電流	7 A	適用ビニルコードの許容電流が7 Aのため
引張強度	9 kg 以上	JIS および ULの押込形端子の規定による
定格電流による温度上昇	初期値 30 deg 以下 セートサイクル後 40 deg 以下	JIS に採用されている銅合金接続部の許容温度上昇による
定格電流の1.5倍の電流による温度上昇	45分通電, 45休止の ヒートサイクル 0~25 サイクル目 50 deg 以下	UL, EEI-NEMA を参考にして作成した JIS 原案「電線コネクタ通則(案)」による
経年変化	25~500 サイクル目は 25 サイクル目より 8 deg を越えない	
耐熱性	100°C に耐える熱硬化性樹脂または自己消火性熱可塑性樹脂とする	UL, BS 規定およびこれにならう IEC に準ずる

取り、速結コネクタの端子部に押し込むだけで電源と接続することができる。その条件を列挙すれば次のようになる。

- (1) 絶縁被覆をおいた電線を押し込むだけで接続できること。
- (2) 送り配線を必要としない器具に使用するため、単一配線のみできるものであること。
- (3) 使用される屋内配線側の電線は照明器具の配線工事に使用されている 1.6 VV-F, 2.0 VV-F の単心とする。
- (4) 軽量小形であること。
- (5) 耐久性があり、信頼感を与えるものであること。
- (6) 特性に関する設計仕様は表2に示すとおりである。

図1はこれらの諸条件を考慮して開発した速結コネクタの構造を示す外観である。

図で見られるように、速結コネクタの穴に電線を入れ、内部の導電バネの反力に抗して押し込むと、電線の両側面に導電バネが圧接し、電線を保持する構造になっている。

2.1.2 導電バネの設計

表2の設計目標をもとに導電バネと電線の接触力、引張強度の計算を次のように行ない導電バネを設計した。

一般に温度上昇は接触部の接触抵抗によるジュール熱である。この接触抵抗を決定する重要な要素が加圧保持している導電バネの接触力である。温度上昇と接触抵抗の関連は次式による。

$$T = \frac{I^2 R_K}{KS} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 T : 温度上昇 (deg)
 I : 電流 (A)
 R_K : 接触抵抗 (Ω)
 S : 放熱面積 (cm^2)
 K : 係数

接触抵抗 R_K は次によって表わされる。

$$R_K = R_C + R_t \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 R_C : 集中抵抗 (Ω)
 R_t : 境界抵抗 (Ω)

集中抵抗 R_C は図2のように金属どうしが清浄な面で接触している場合において、微小な接触点に電流が集中して絞られるために生じる抵抗である。

境界抵抗 R_t は接触面間に金属酸化物、硫化物の被膜や油、ごみなどが付着しているために生ずる抵抗である。

集中抵抗 R_C と境界抵抗 R_t は次式により算出される。

$$R_C = \left(\frac{1}{4\lambda_1} + \frac{1}{4\lambda_2} \right) \sqrt{\frac{\pi f_{\min}}{nP \times 10^3}} \dots \dots \dots (3)$$

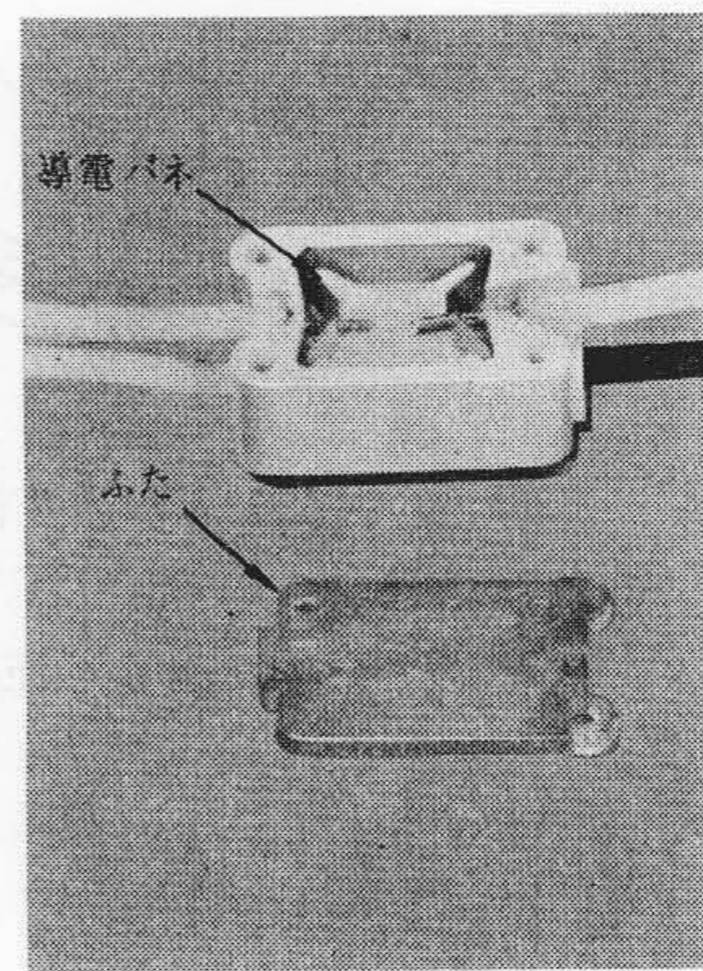


図1 速結コネクタ

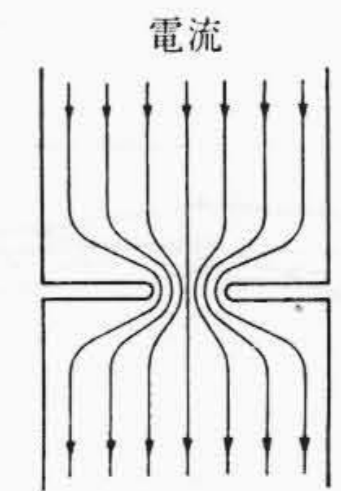


図2 接触部の電流集中

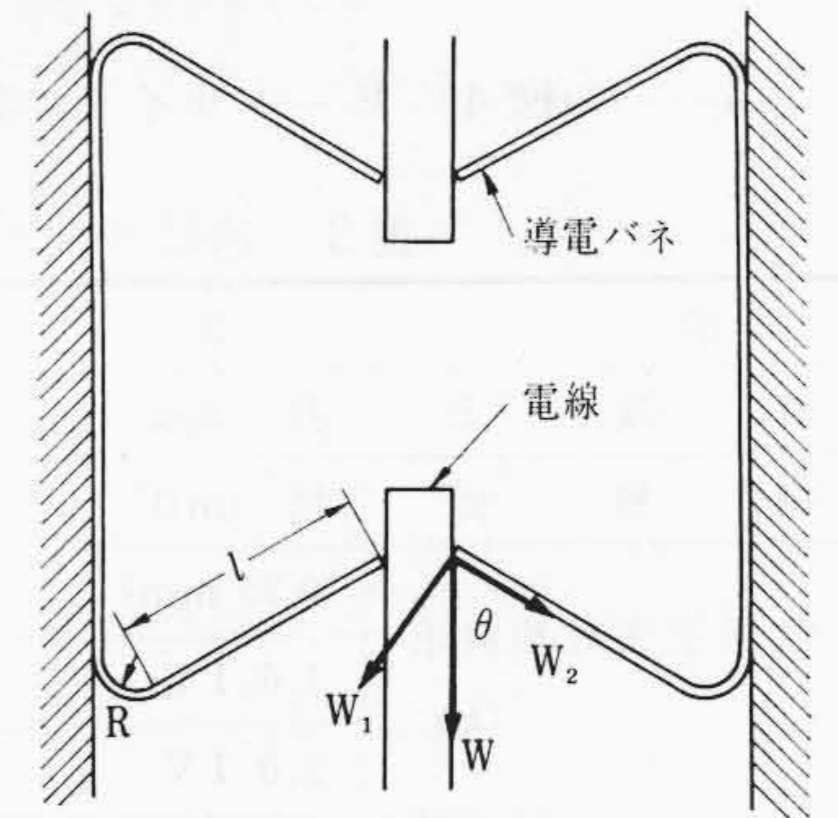


図3 引張力の分析

ここに、 λ_1, λ_2 : 両接触導体の固有抵抗 ($\Omega\text{-cm}$)

f_{\min} : 両導体の高いほうの弾性限度 (kg/cm^2)

n : 接触点の数

P : 接触力 (kg)

$$R_t = \frac{\rho \delta f_{\min}}{P} \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 ρ : 皮膜の固有抵抗 ($\Omega\text{-cm}$)

δ : 皮膜の厚さ (cm)

f_{\min} : 両導体の低いほうの弾性限度 (kg/cm^2)

(3)式と(4)式から接触力が大きいほど接触抵抗が小さくなることわかる。(3)式から接触力、接触導体の材質を決定すれば集中抵抗 R_C が算出されるが、境界抵抗 R_t は CuO などの厚さが不明のため最初は計算ができない。したがって従来の配線部品の接触部を参考にし、接触力を 1.5 kg として設計した。

導電バネの形状は次の条件を満足させるため、図3のようにコ字形のバネを対向させ、電線を加圧して保持するように決められている。

- (1) 電線が押し込みやすく、抜けにくいこと。
- (2) 両端部より電線がそう入できること。
- (3) 成形加工が容易であること。

導電バネの寸法は接触力が 1.5 kg (1枚あたり 0.75 kg) であるから次式により算出される。

$$P = \frac{EI_z}{\frac{l^3}{3} + R \left(\frac{Rl^2}{2} + \frac{\pi R^2}{4} + 2lR \right)} \dots \dots \dots (5)$$

ここに、 E : 縦弾性係数 (kg/cm^2)

I_z : 慣性二次モーメント

l : バネの直線部の長さ (cm)

R : バネの曲げの曲げ半径 (cm)

導電バネの材料に導電性がよく、かつバネ性のよい銅チタン合金を使用して(5)式の計算を行ない、導電バネの寸法を次のように決めた。

板厚: 0.25 mm, バネの直線部の長さ(l): 5 mm

幅: 4.5 mm, バネの曲げ半径(R): 0.75 mm

図3において電線を W の力で下方に引張った場合の破壊荷重は W_2 の分力によりバネを圧縮破壊する力と W_1 の分力でせん断破

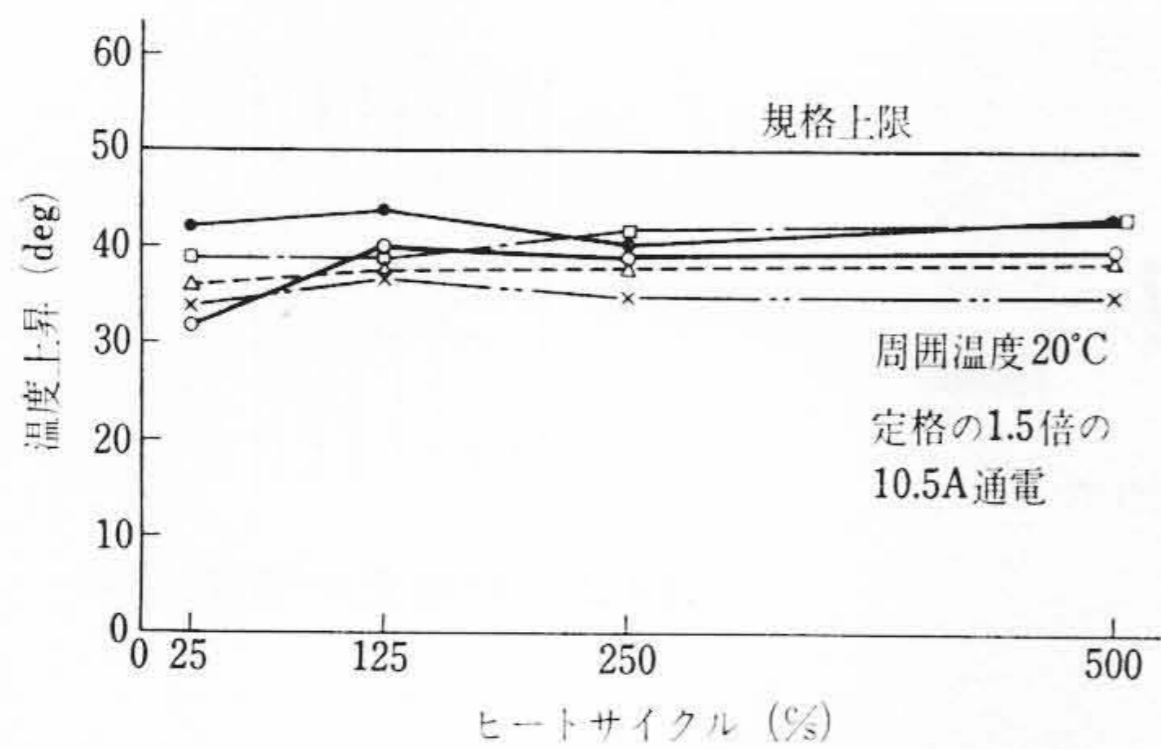


図4 ヒートサイクル試験

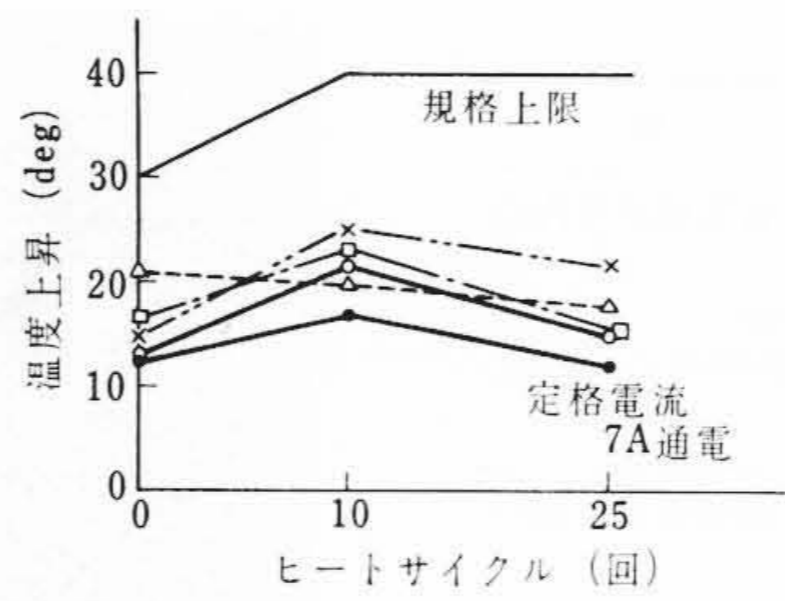


図5 IEC原案によるヒートサイクル試験

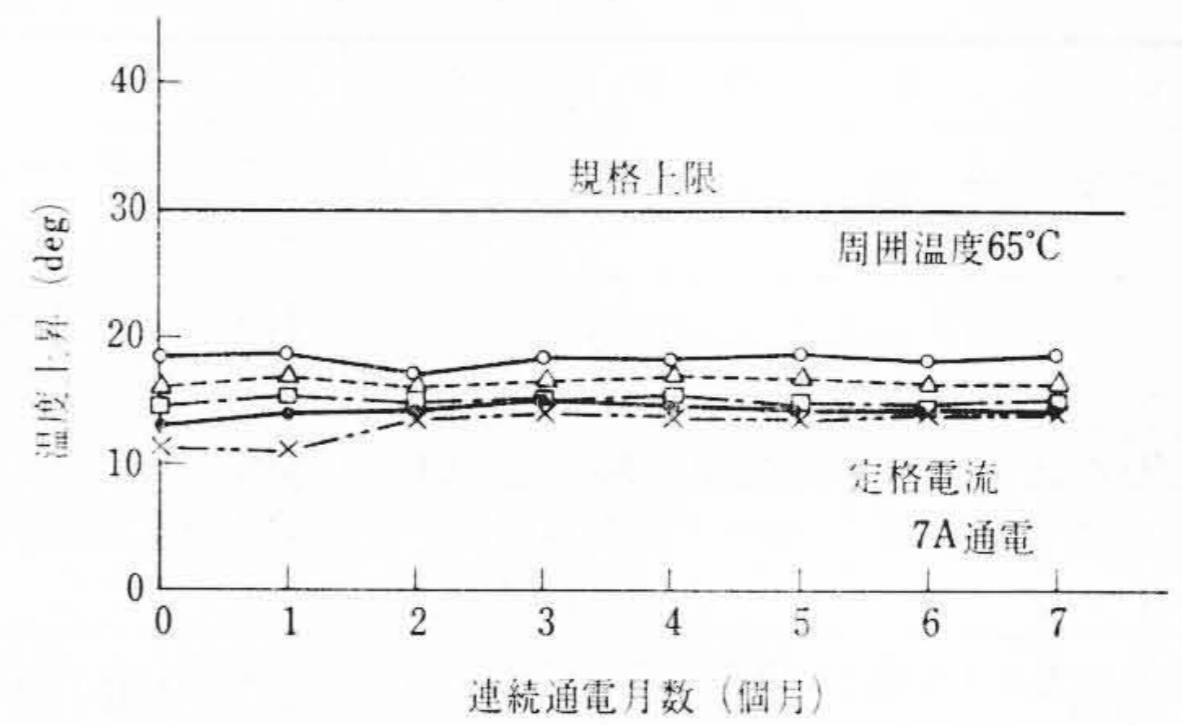


図6 連続通電試験

表3 速結コネクターの諸特性

項	目	設計目標	測定値
温度上昇	(deg)	40以下	11.5~18.3
接触抵抗	(mΩ)	—	4.0~4.4
電線引張破壊荷重 (kg)	0.75 mm ²	5以上	8.5~13
	1.6 I V	9以上	20~23
	2.0 I V	9以上	20~30
電線押込力 (kg)	0.75 mm ²	4以下	1.9~2.5
	1.6 I V	4以下	2.5~3.1
	2.0 I V	4以下	2.9~3.5

壊する力を計算すればよいことになる。

圧縮破壊荷重 W_2 とせん断破壊荷重 W_1 は次式で計算される。

$$W_2 = \frac{A\delta}{\cos\theta} \dots\dots\dots (6)$$

$$W_1 = \frac{A\delta'}{\sin\theta} \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 A ：バネの断面積 (cm²)

δ ：圧縮応力 (kg/cm²)

δ' ：せん断応力 (kg/cm²)

(6)式と(7)式から最大圧縮破壊荷重と最大せん断破壊荷重を計算した結果、 $W_2 \text{ max} : 180 \text{ kg}$ 、 $W_1 \text{ max} : 80 \text{ kg}$ となった。

2.1.3 試験結果

(1) 温度上昇、接触抵抗などの諸特性

温度上昇、接触抵抗、引張破壊荷重および電線押込力は表3に示すとおりである。

(2) 経年変化の検討

(a) ヒートサイクル試験

定格電流の1.5倍の電流でヒートサイクル試験を行なった結果は図4に示すとおりである。

IEC原案によるヒートサイクル試験(100°Cの空气中に30分間放置後、20°Cの室温まで自然冷却するヒートサイクルを25サイクル行なう)を行なった結果は図5のとおりである。

(b) 連続通電試験

高温下での連続通電に耐えるかどうかをみるため、器具内の温度を考慮してきめた65°Cの恒温槽(そう)に速結コネクタを入れて定格電流を連続通電し、温度上昇を測定したが、図6に示すように7ヶ月を経過しても全く変化がなかった。

以上の試験結果では、温度上昇、引張強度などいずれも規格を満足している。特に定格電流の1.5倍の電流によるヒートサイクル試験および65°Cにおける連続通電試験において、温度上昇の変化がみられないことはじゅうぶんな耐久性があるものと判定できる。

2.2 速結端子

速結コネクターの機構を応用して、照明器具の本体また取付台に速結式の端子を組み込んだものである。図7、図8は製品化した白熱灯ダウンライトと白熱灯ブラケットの外観である。

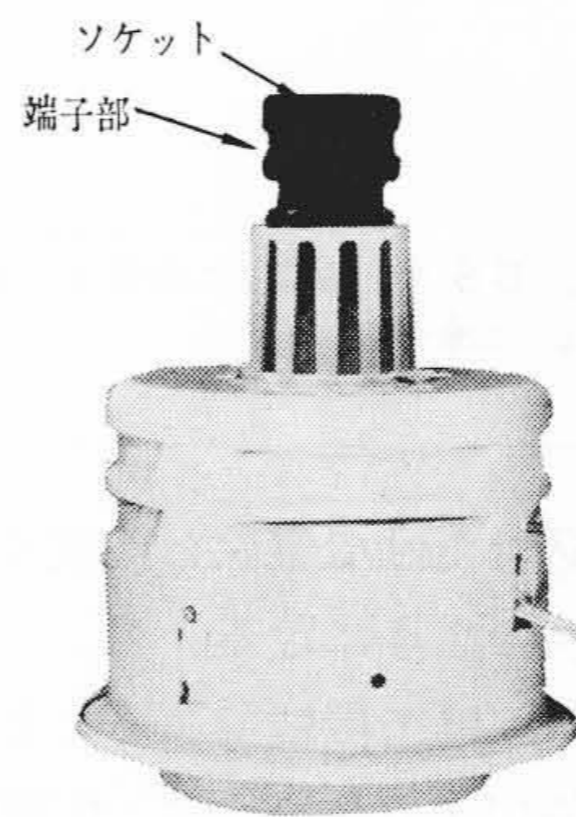


図7 白熱灯ダウンライト

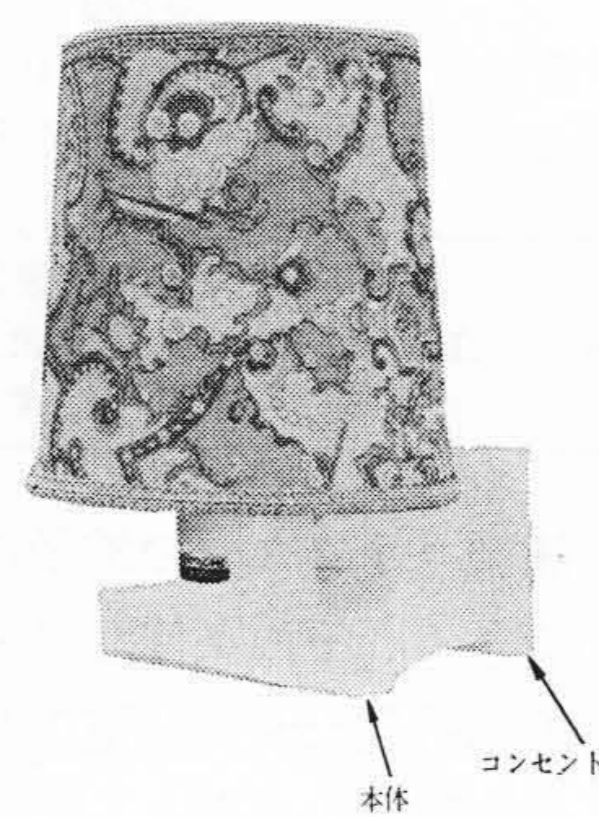


図8 白熱灯ブラケット

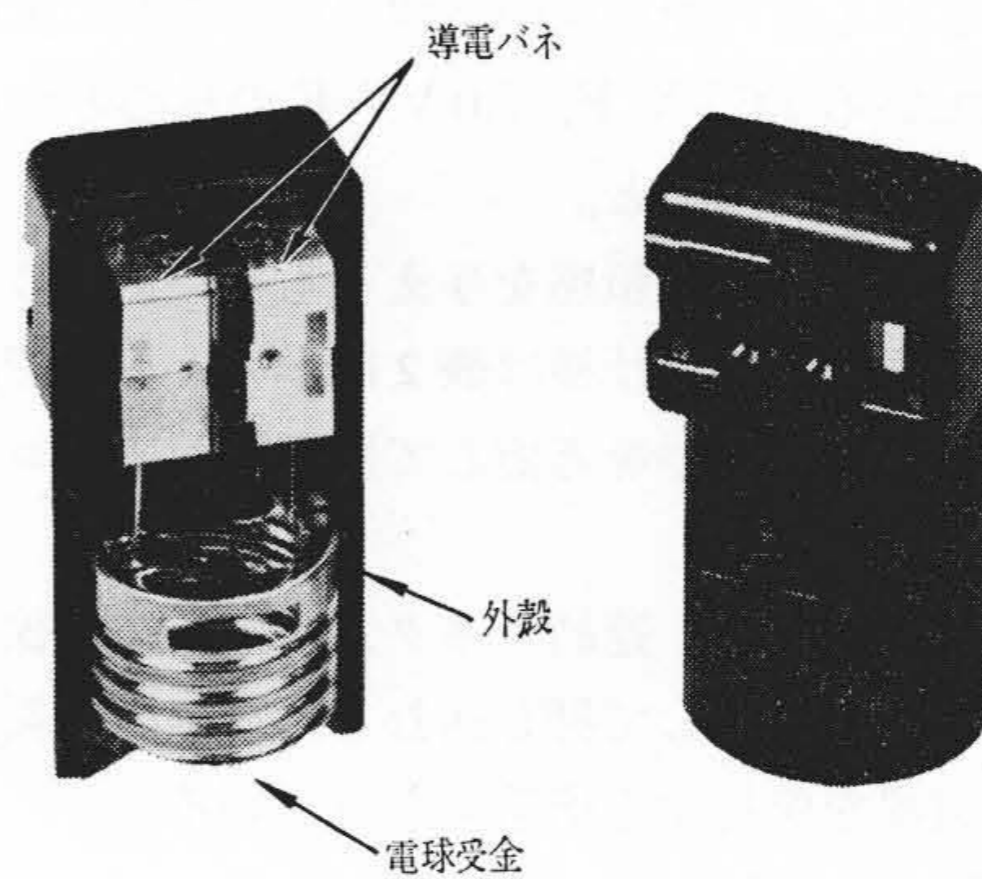


図9 ソケットの分解図

その構造および特性を白熱灯ダウンライトで説明する。

2.2.1 ダウンライト用ソケットの構成

ダウンライトは多数取り付け使用される場合が多いため、送り配線ができるようにし、接続電線を取りはずして再接続ができる構造である。

外殻の材料は電球の受金を組み込んだソケットであるため、フェノール樹脂を使用している。

図9はソケットの分解図で、受金の上に電線保持用の導電パネを組配置して、端子部を設け、それぞれの導電パネに両端から電線が接続できるようにしてある。2組の端子部は電源接続用と送り配線用であるが、電線の接続は前述の速結コネクタと同じである。

一度接続した電線をははずす場合は図10のように、電線そう入用穴の横にあけられた角穴にドライバーを押し込み、電線をくわえこんだ導電パネを押し広げて保持された電線をははずす構造にしてある。

2.2.2 諸特性および検討

導電パネの設計は前述の速結コネクタの場合と同じであるが、送り配線ができるため、定格電流は電灯用15A分岐回路と同じく15Aで設計されている。

表4はダウンライト用の速結端子の諸特性を示したものである。

再接続による温度上昇の増加がみられないのはドライバー使用

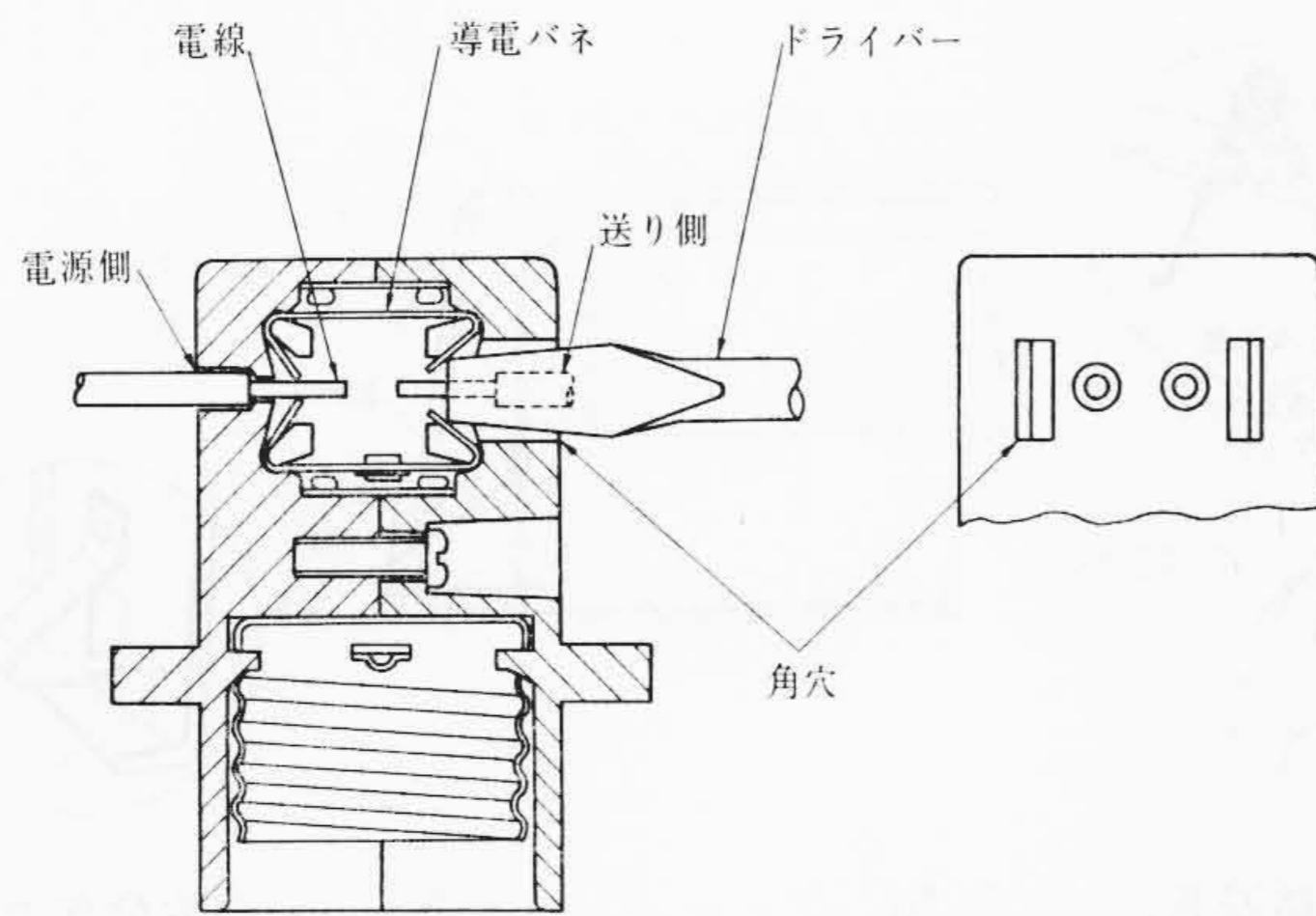


図10 ソケットの断面図

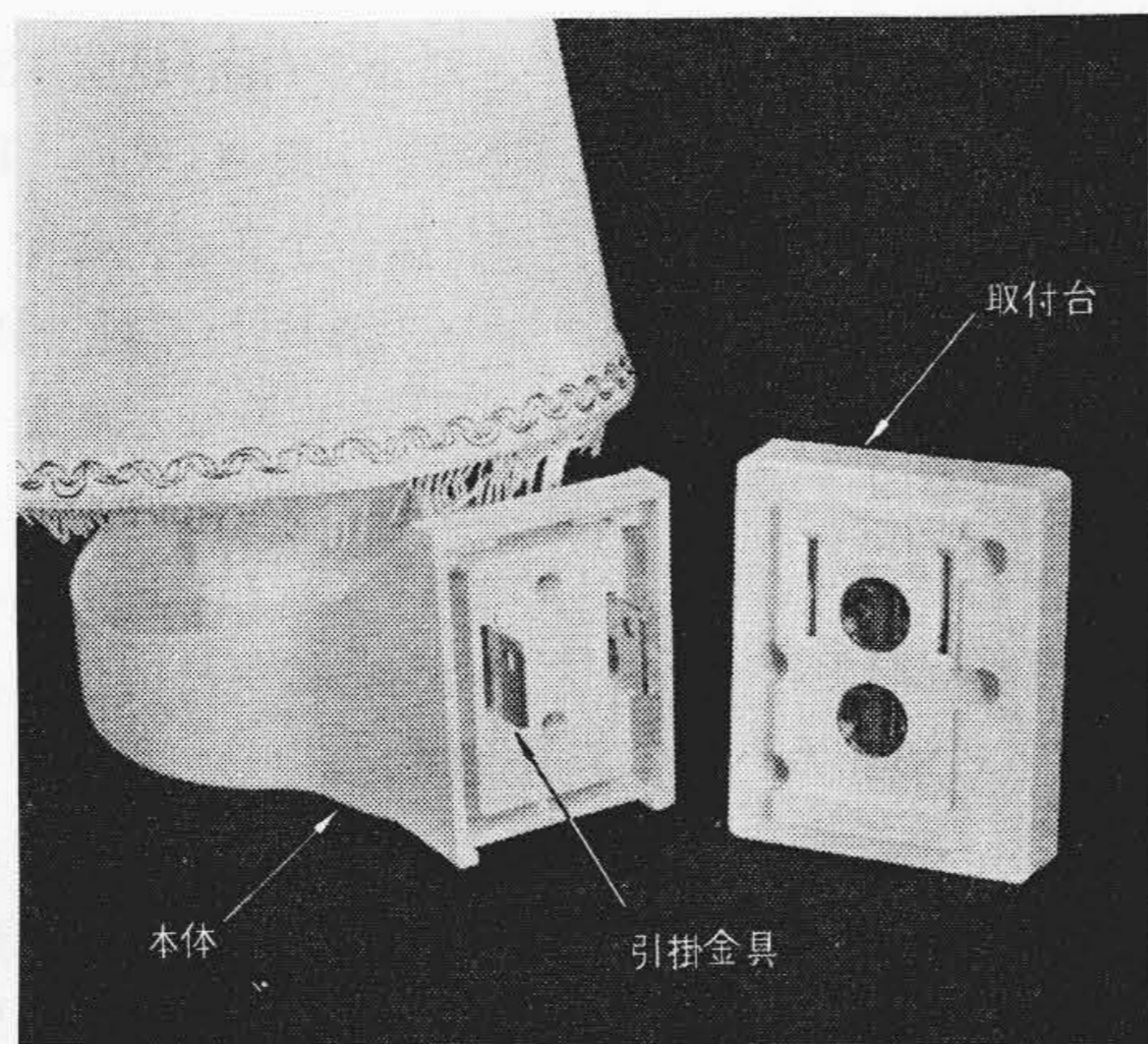


図11 白熱灯ブラケットの取付部

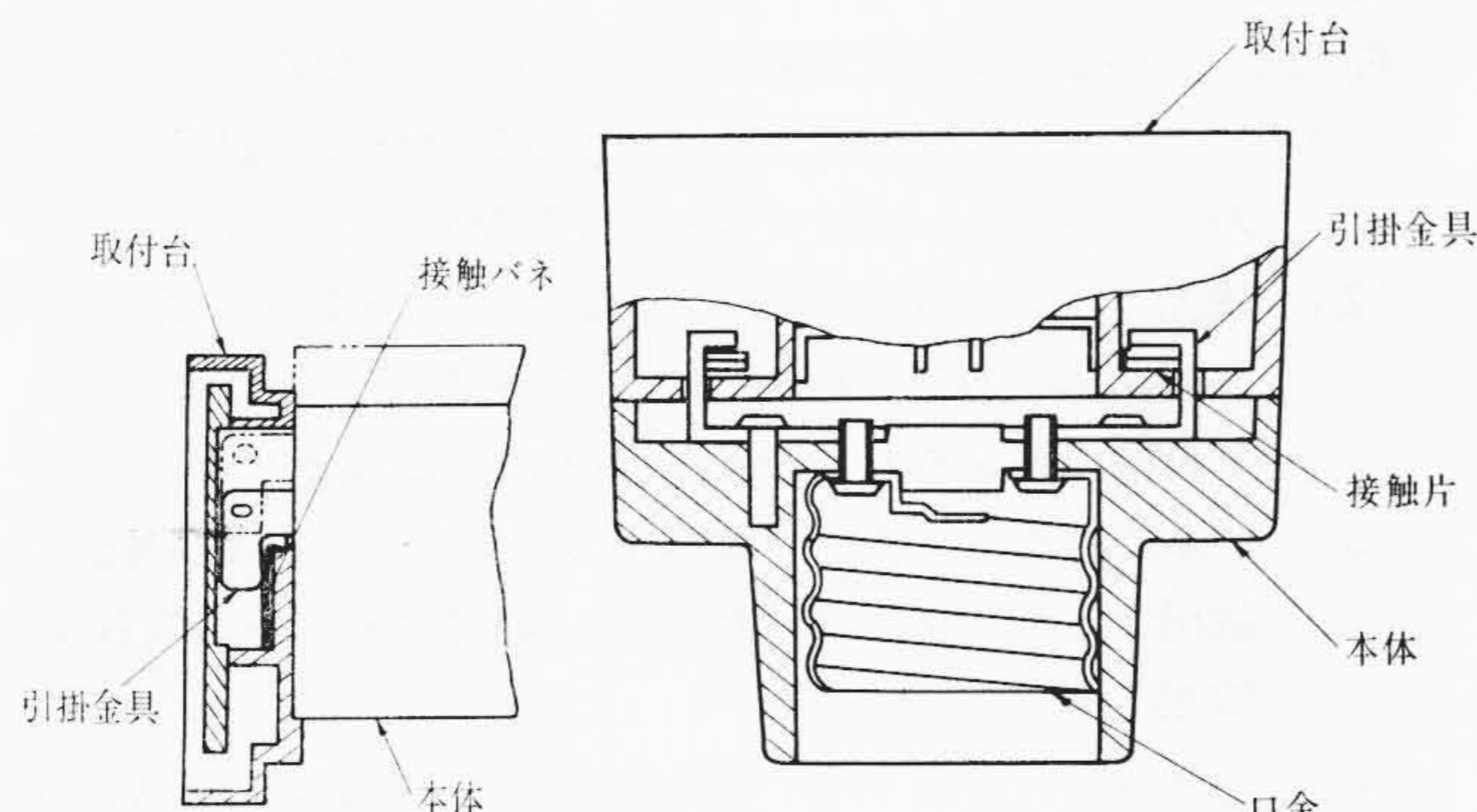


図12 白熱灯ブラケットの本体取付部の構造図

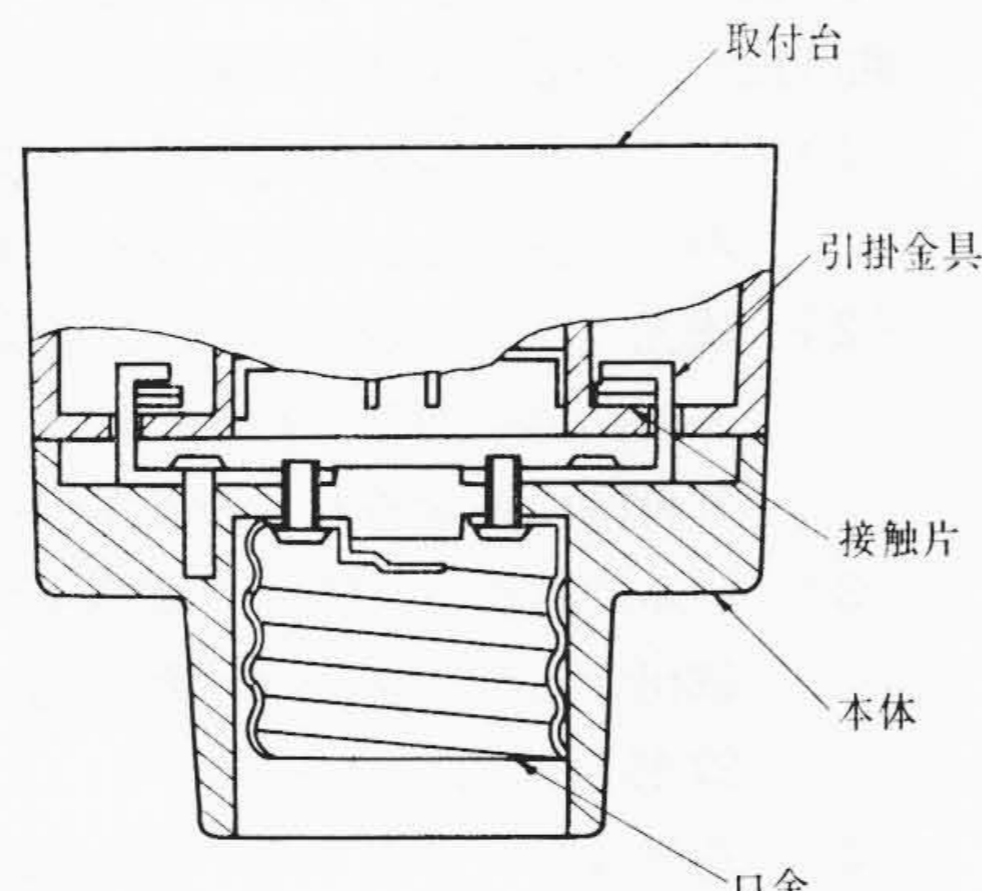


図13 白熱灯シーリングライトの本体取付部の構造図

によって電線をはずしても、バネのへたりが無いことを示すものである。

電線やドライバーを押し込む力は押し込む角度によって若干のばらつきを生ずるが、通常の動作範囲では10回の繰り返し後も変化がない。

3. 取付機構の検討

照明器具の取付けに関して要求される省力化の条件を列挙すれば次のようになる。

- (1) ドライバー、ペンチなど工具類を使用しないこと。
- (2) 操作が簡単で、確実に取り付けられること。
- (3) 器具を取り付けると同時に電源接続がなされること。
- (4) 保守が容易なこと。

これらの諸条件を考慮して開発した省力化機構は取付台と本体の取付機構、透光カバーの着脱機構および反射板の着脱機構である。

以下、取付機構の要点を説明する。

表4 ダウンライト用ソケットの諸特性

項目	初期値		再使用時 (電線10回取りはずし後)	
	設計値	測定値	設計値	測定値
温度上昇 (deg)	20.0	19.5~22.0	20.0	20.1~22.2
接触抵抗 (mΩ)	2.0	2.2~3.3	3.0	2.4~3.3
電線引張破壊荷重 (kg) 1.6ϕ VV-F	9以上	—	9以上	40~50
電線押込力 (kg) 1.6ϕ VV-F	3.0	1.6~4.6	2.0	1.5~5.0
ドライバー押込力 (kg) 幅: 7mm	3.8	2.0~6.1	3.8	3.0~5.5

表5 白熱灯ブラケット本体の諸特性

項目	目	目標値	測定値
温度上昇 (deg)	開閉前	40以下	2.0~4.0
	開閉後	40以下	3.5~6.0
引掛力 (kg)	開閉前	1.0~4.0	1.3~3.2
	開閉後	1.0~4.0	2.4~3.5
絶縁抵抗 (MΩ)		100以上	100以上異常なし
耐電圧		1,500V 1分間	1,500V 1分間異常なし
本体と取付台の引張強度 (kg)		15以上	前後60 上下35
引掛金具のそう入力 (kg)		1.0~2.0	1.2~1.7

注：開閉試験条件は電圧125V、電流4.5A、開閉回数100回とした。

3.1 白熱灯ブラケットの引掛式取付機構

3.1.1 構造

取付台と本体の取り付けは、従来、2本の締付ネジかナットが使われている。これを引掛金具によって取り付けようとしたもので、その方法にはスライドして引掛けるものと回転させて引掛けるものが考えられる。ブラケットの場合は壁面にのみ取り付けられるため、上下にスライドして着脱できる構造が自然であり、簡単である。

図11、図12は白熱灯ブラケットの取付部の外観と断面を示したものである。

取付台と本体の電気的接続は差込コンセント式であるため、本体を引掛けて取り付けると同時に電源の接続ができる構造になっている。図でみられるように、電気的な接続は取付台の内側に配置した2個の接触バネと、本体の取付面に配置した2個の引掛金具によって行なわれる。この場合は機械的な強度のほか接触部の温度上昇が設計上のポイントになる。

3.1.2 諸特性

表5の試験結果が示すように、開閉試験後の特性も初期値とほとんど変わらず安定している。本体と取付台の引張強度については耐久性の面から判断してもじゅうぶんであり、JISの引掛形さし込接続器の荷重試験に規定されている、30kg(ブラケットは引掛金具が2本であるから、1本15kg)をじゅうぶん満足している。

3.2 白熱灯シーリングライトの引掛式取付機構

3.2.1 構造

白熱灯シーリングライトは玄関、廊下、階段および便所などの天井に使われる器具である。基本的な構造は配線器具として多く使われている引掛シーリングに合せてある。これは回転して取り付ける操作が簡単であるほか、互換性を考慮したためである。図13は白熱灯シーリングライトの取付部を示したものである(説明図、使用例は、表1-(4)に示す)。

図でみられるように、電球の受金の上に取付用の引掛金具を2個配置する。それぞれの引掛金具を取付台の穴にそう入後、回転させると、取付台の内面に配置した2個の接触片に引掛金具の先端が引掛けられ、接続される。性能上問題となるのは、引掛金具と接触片のはめあいの状態である。この部分は一般の引掛シーリングを参考にして、温度上昇が20deg以下になるよう設計され

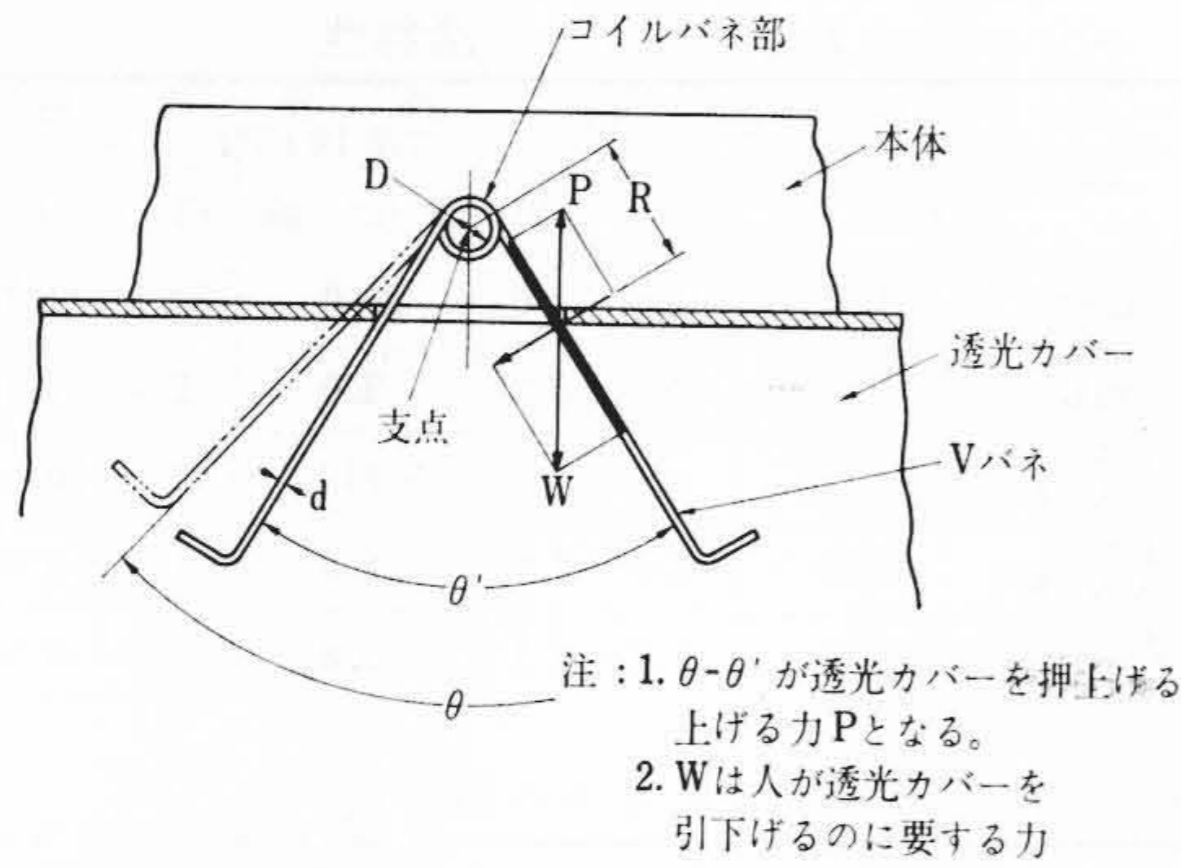


図14 Vばねの説明図

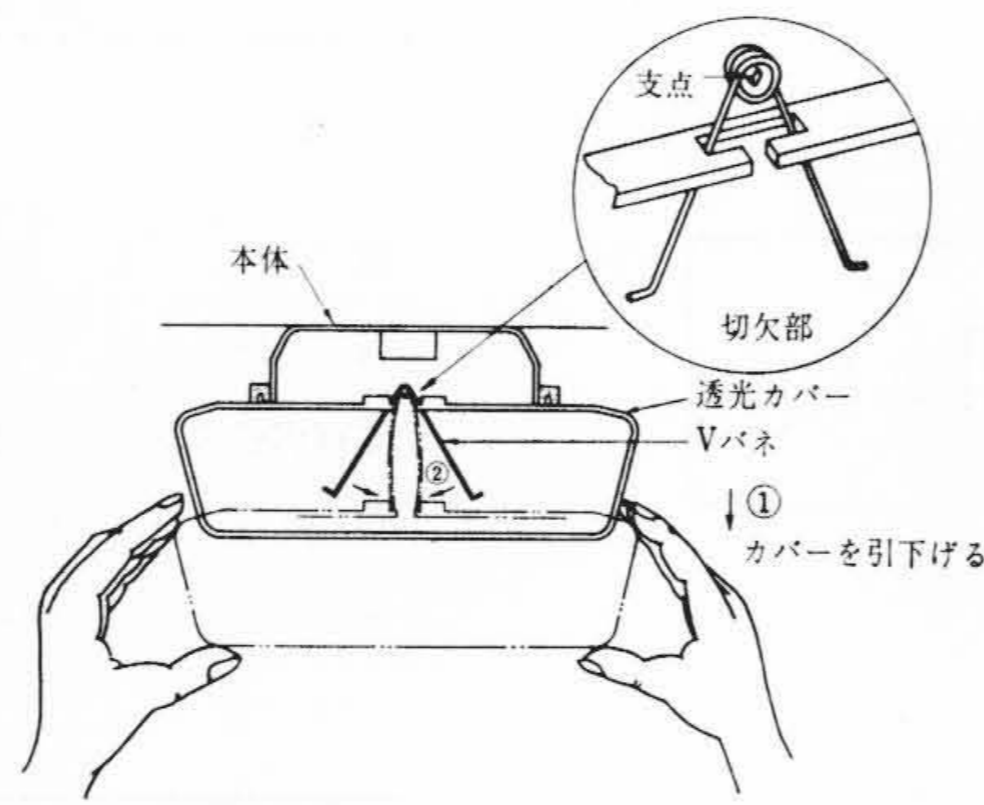


図15 透光カバー付天井直結器具の透光カバー取付部の構造図

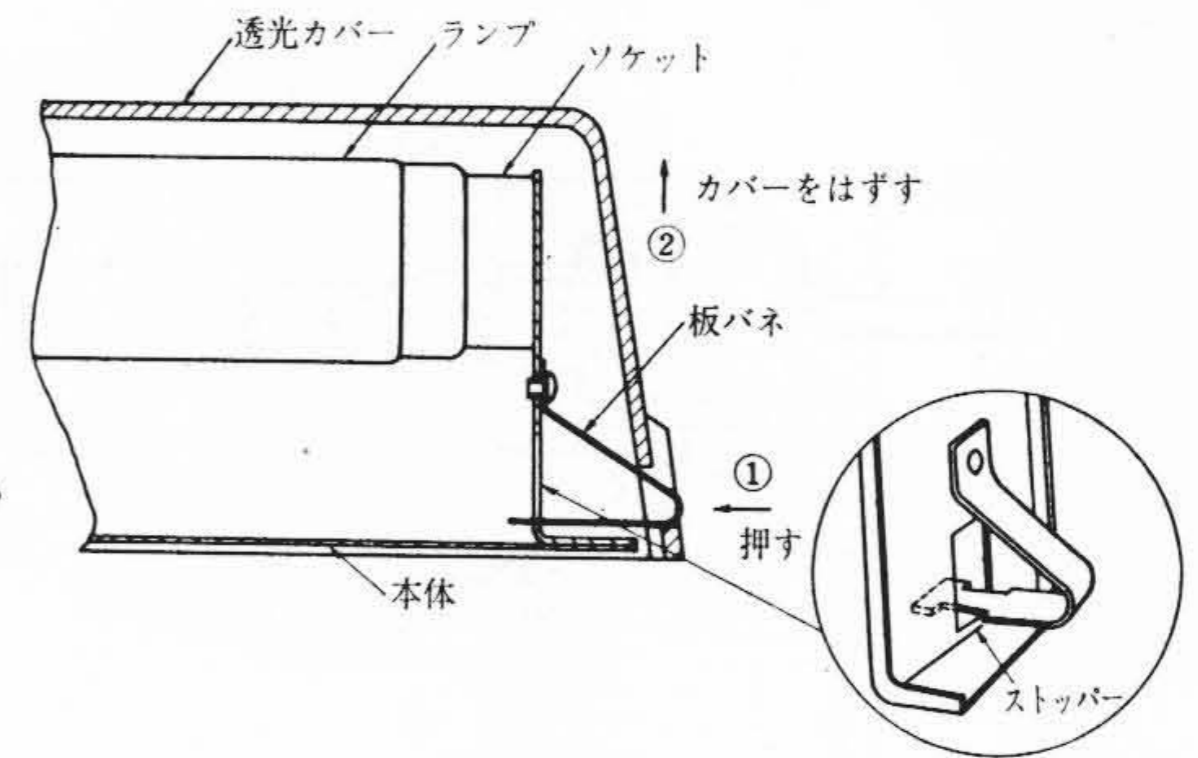


図16 ブラケットの透光カバーの取付部の構造

表6 白熱灯シーリングライト本体の諸特性

項	目	目標値	測定値
温度上昇 (deg)	開閉前	20 以下	7.5 ~ 17.5
	開閉後	20 以下	6.5 ~ 16.5
通電 6 A	開閉前	0.3 以上	0.4 ~ 0.75
	開閉後	0.3 以上	0.35 ~ 0.53
接触圧力 (kg)		0.3 以上	0.35 ~ 0.53
絶縁抵抗 (MΩ)		100 以上	100 以上
耐電圧		1,500 V 1分間	1,500 V 1分間異常なし
本体と取付台の引張強度 (kg)		20 以上	32 ~ 40
本体の着脱回転トルク (kg-cm)		10 ~ 20	15 ~ 19

注：開閉試験条件は電圧 250 V，電流 9 A，開閉回数 100 とした。

ている。

3.2.2 諸特性

表6の試験結果が示すように、開閉試験後の特性も初期値とほとんど変わらず安定している。配線器具として使われている一般の引掛シーリングの本体着脱トルクは5~10 kgになっているが、この場合は、電球ソケットが引掛金具と一体化されているので、電球をはずすとき本体がはずれないように、回転トルクを10~20 kgになるようにしてある。

3.3 透光カバーの着脱機構

今回検討した透光カバーの着脱機構は、鋼線コイル部を介してV形に加工したVバネの弾性を利用したものと、曲げ板バネの弾性を直接使ったものがある。

3.3.1 Vバネ式透光カバーの着脱機構

Vバネを使用する理由には、透光カバーが簡単に着脱できるほかに、図14に示すように、透光カバーが本体に取り付けられた状態で常時カバーを押し上げる力を作用させることができるため、虫やほこりがはいるにくい密閉形の器具に適しているからである。

Vバネの設計上、特に検討すべき点は透光カバーを押し上げようとする力と、これに抗して透光カバーを引き下げる力とのバランスである。この力は操作性を重点に検討し、押し上げ力0.8 kg引下げ力2.0~2.5 kgとした。Vバネの形状は図14に示すように、直線部を有するねじりバネで、寸法は次式より算出される。

$$W = \frac{\pi d^4 E}{64 l R^2} \delta \quad \dots\dots\dots (8)$$

- ここに、W：引下げ力 (kg)
- d：線径 (cm)
- E：縦弾性係数 (kg/cm²)
- l：バネの長さ (cm)
- R：荷重の腕の長さ (cm)
- δ：たわみ (cm)

(8)式の計算を行ないVバネの寸法を次のように決めた。

線径：1.2 mm，コイル部分の内径(D)：3.5 mm
有効巻数：2¼巻，荷重の腕の長さ(R)：15 mm

ただし、Vバネの材料は表面摩擦係数が小さく、こすられたあとでもさびの心配がない硬質ステンレス鋼B号-27種を使用した。

図15は上述のVバネを使用した器具の構造を示したものである。器具本体にVバネのコイル状の部分を取り付けておき、2本の直線部を透光カバーに設けた切欠部に入れる。透光カバーの開閉は、透光カバーを上下に動作するだけで簡単にできる。

3.3.2 板バネ式透光カバーの着脱機構

この機構は、従来モールドネジで締め付けて透光カバーを固定していた取付方法を、板バネで着脱、固定できるよう改良したものである。図16は曲げ板バネを使用したブラケットの取付部の構造で、透光カバーの端部に設けた穴に、ソケット台に取り付け曲げ板バネの凸部をそう入し固定する。

- 曲げ板バネの設計条件を列挙すれば次のようになる。
- (1) ブラケットは壁面のほか天井にも取り付けて使用されるので、振動などで透光カバーが脱落しないようにする。
- (2) 透光カバーの取はずしは、透光カバーの端面の穴からバネの凸部を押して行なわれる。この場合、取はずし、取り付けに要するバネの操作力を1.0~2.0 kgとする。
- (3) バネの材質は、表面の摩擦係数が小さく、一部が外部に露出するためさびの心配がない硬質ステンレス鋼B号-27種を使用している。
- (4) 透光カバーを取りはずすため、カバーを引いたとき、バネが変形しないよう、バネの可動端にストッパーを付けること。

これらの諸条件を考慮して設計した結果、開閉操作力1.2~1.8 kgの透光カバー着脱機構が得られた。

4. 結 言

電源接続の速結化、ネジを使わない本体、透光カバーの着脱機構など新しい省力化機構を開発し、140器種の住宅用照明器具に採用した。取付工事の作業能率は省力化前後(日立製作所比較)の取付台数を1人、1日の比率で算出すると、120~150%の向上となる。省力化機構の安全性については、接触部の温度上昇およびヒートサイクル試験による経年変化の確認と、引張強度および保持力の確認を行ない、構造的にもじゅうぶんな耐久性を有することが必要で、この要望を満す照明器具を製品化した。

参 考 文 献

- (1) JIS 原案「電線コネクター通則(案)」
- (2) VL 498 Attachmentplug and receptacle
- (3) IEC draft (Secretarait) 20
- (4) S. Timosenco 材料力学