

通信管の製造について

高橋 忠 夫*

On the Manufacture of the Repeater Tubes

By Tadao Takahashi

Mobara Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The repeater tubes should have particularly the following features for the performance of their duties as compared with other radio receiving tubes :-

1. Uniformity of characteristics
2. Long life
3. High reliability

About five years have passed since the manufacture of the repeater tubes was started in 1946. The present paper deals with the brief description of the manufacturing processes with special emphasis on the technical improvements achieved to meet these requirements.

[I] 緒 言

搬送電話中継用真空管（以下管通信と稱す）は従来は我が國では某一社のみが製造していたが、終戦後日立製作所もその製造に参加した。昭和 21 年に製造を開始してから現在まで、多数の通信管を電通省、運輸省及び日本發送電株式會社等に納入し、信用を得ている。

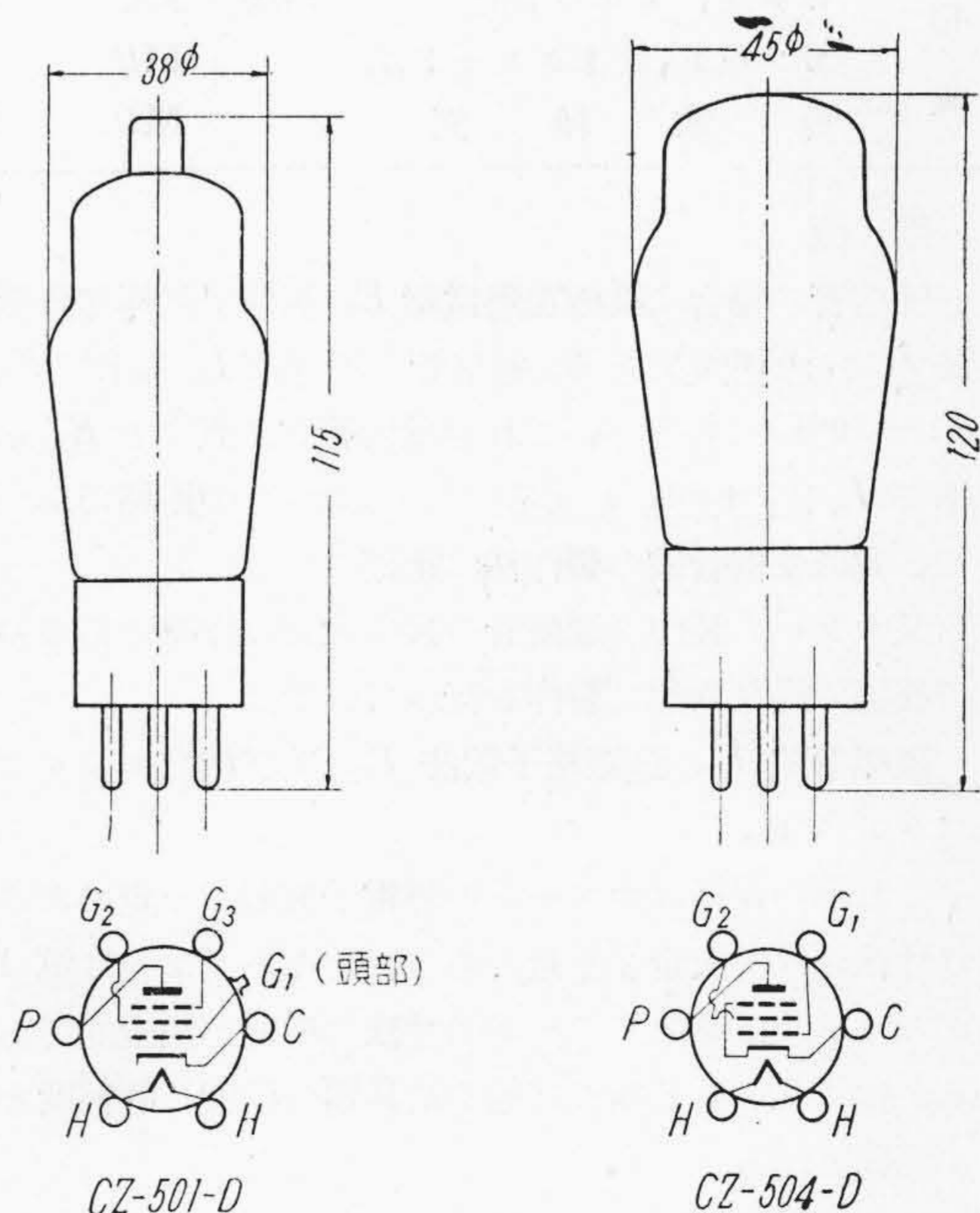
通信管は一般ラジオ用受信管に比べ、外形は同一であるが

1. 規格値が高級である
2. 長壽命である
3. 信頼度が高い

の三項目を特に強く要求され、この點で一般受信管と區別されるべきものであるが、これらの要求を満足する爲に行つた努力と、改良進歩した足跡につきその大要を記述しよう。

[II] 規格の検討

通信管 (CZ-501-D, CZ-504-D) の主なる規格を第 1 表に示し若干の検討を加える。何れも利得が高く特性の規格幅が幾分狭い外は CZ-501-D は UZ-6 C 6 に、CZ-504-D は UZ-42 に殆ど同じである。又外形圖を第



第 1 圖 通信管外形圖及び底面接續圖

Fig. 1. Overall Dimensions and Base Connections (Bottom View) of Repeater Tubes

1 圖に示す。

* 日立製作所茂原工場

第 1 表 通 信 管 規 格 表 Table 1. Standard Ratings of Repeater Tubes

品 種				CZ-501-D	CZ-504-D	摘 要
項 目	用 途			電 壓 増 幅	電 力 増 幅	
	構 造			傍熱型五極管	傍熱型五極管	
	口			JES-6B 及	JES-6 A	
				JES-1 A		
陰 極	ヒータ電流	I_h	A	1.0	1.0	
	ヒータ電圧	E_h	V	3.5	5.5	
静 特 性 及 び 三 定 數	陽極電圧	E_p	V	250	250	
	第一格子電圧	E_{g1}	V	-2.5	-13.5	
	第二格子電圧	E_{g2}	V	130	200	
	第三格子電圧	E_{g3}	V	0	0	
	陽極電流	I_p	mA	6.5	40.0	
	第二格子電流	I_g	mA	1.5	7.5	
	第一格子電流	$-I_{g1}$	μA	1.0 以下	1.5 以下	
	相互コンダクタンス増幅率	g_m	μS	3,500	3500	
		μ	3,500	315		
動 特 性	利得	G	db	36.5	29.0	
	陰極効率	A_K	db	1.0 以下	1.0 以下	$I_h \pm 5\%$ 變化に依る G 變動
	歪減衰量	K_2	db	30.0 以上	30.0 以上	基本波 15 kc (3% 相當)
	雑音量	K_3	db	40.0 以上	40.0 以上	基本波 10 kc (1% 相當)
		N	db	-115 以下	-105 以下	3~30 kc
絶 縁	ヒータ、カソード間	I_{HK}	μA	50 以下	50 以下	$I_h = 1 A$, DC $\pm 45 V$
	カソード、第 1 グリッド間		M Ω	20 以上	20 以上	DC 500 V
	他電極間		M Ω	50 以上	50 以上	DC 500 V

1. 陰 極

受信管の場合は陰極加熱電圧 E_h 基準で陰極加熱電流 I_h が $\pm 10\%$ である。通信管の場合は I_h 基準で E_h が $\pm 10\%$ であるが、これを受信管式に直すと E_h 基準で I_h が $\pm 6\%$ となる。これはかなり厳格であつて、到底受信管式の製作法は適用されない。

又カソード製作は通信管の最も大切な作業であるので後述の様な入念な製作を行つている。

2. 陽極電流 I_p , 遮蔽格子電流 I_{g2} 及び相互コンダクタンス g_m

これらの規格はカソードの熱電子放射が一定のときは寸法だけで決定する量であり、そのバラツキは第 1 グリッド及び第 2 グリッドの寸法の精度が決定的である。従てグリッド捲機其他の治具類の精度と磨耗度とが問題になる。

3. 格子逆電流 $-I_{g1}$

一般受信管に比べて可なり嚴重なものである。格子逆電流は

$$I_{g1} = I_i + I_e + I_l$$

ここで $I_i = \text{イオン電流}$
 $I_e = \text{グリッド・エ}$

製作工程にあるときは

$$I_{g1} = I_i \left\{ \begin{array}{l} \text{ミツション} \\ I_l = \text{漏洩電流を示す} \end{array} \right.$$

と考えて差支ない。これは電極の処理法、使用材料、排気法及びゲッタの取扱を上手にすることにより I_e 及び I_l は無視出来る程小さいからである。

グリッド・エミツションは使用してから起るかも知れない問題であるが、第 1 グリッドの材質と構造を考慮することに依り解決される。

4. 利得 G

(以下は測搬 4 號真空管試験器で測定する) 利得は

$$G = 20 \log_{10} (g_m \cdot R) \text{ db}$$

で g_m は動作状態の相互コンダクタンス、 R は陽極負荷抵抗である。

5. 陰極効率 A_K

ヒータ電力を変えたときの利得の變化を読む。即ち

$$A_K = \Delta G = G(I_h = 1.05 A) - G(I_h = 0.95 A) \text{ db}$$

使用中に不良になるのは A_K 劣化が最も多いが、初期値はエミツション (熱電子放射) に注意して居れば検査不要と考えても差支ない。 A_K は真空管の活性度

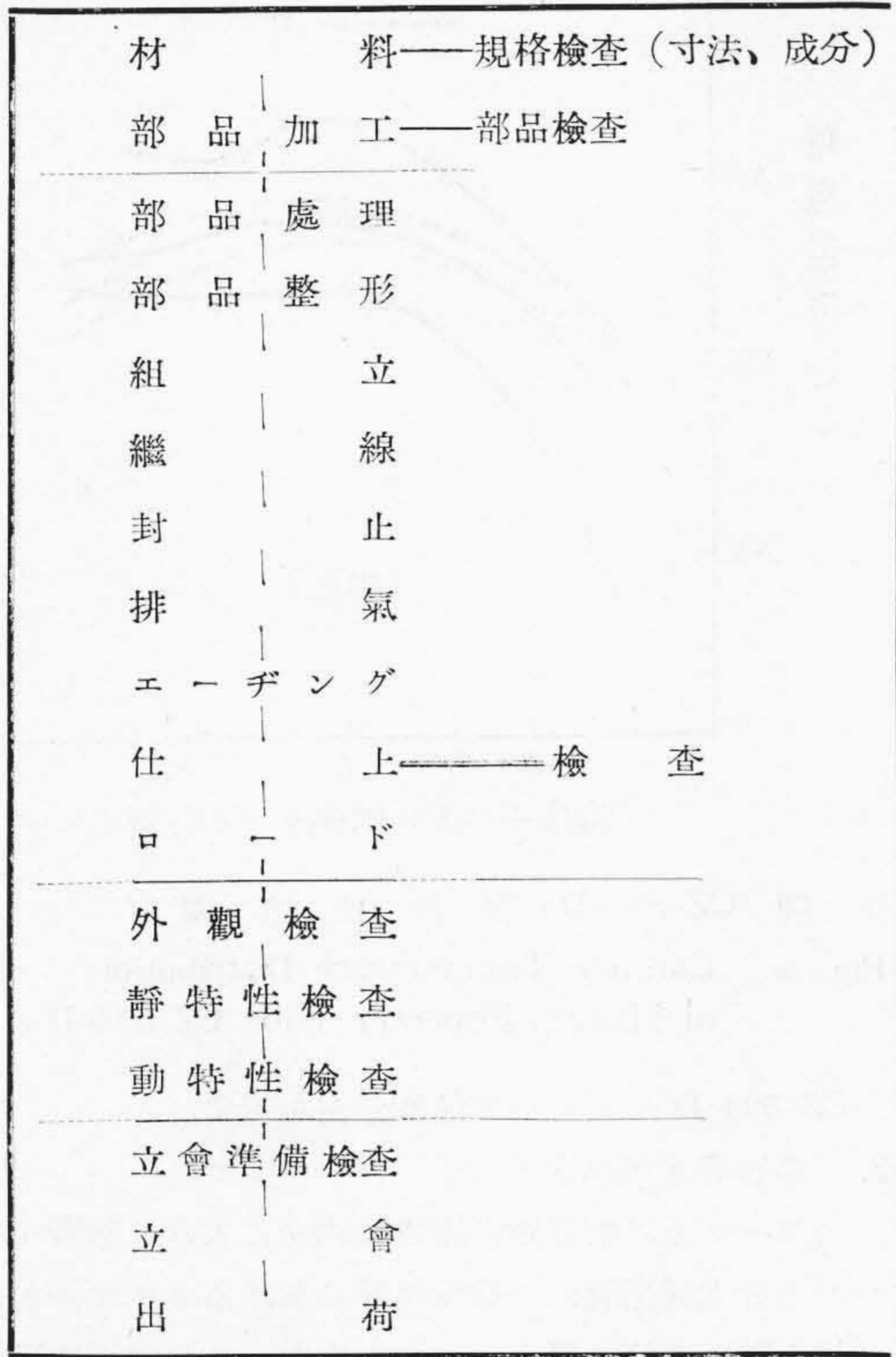
を測定するもので、使用中の劣化は炭酸塩調合から始まるすべての真空管製法が関係する。

6. 歪率

この規格は決まった設計と作業法に従って製作されている限り、静特性が規格に入つて居れば殆ど不良は出ない。

[III] 製作法の概要

通信管製造の主なる工程を示すと第2圖の如くなる。基本概念は一般の真空管製法と變らないが、特に違ふ點を述べると次の様になる。



第2圖 通信管主要製造工程
Fig. 2. Main Process of Repeater Tube Manufacturing

1. 素材購入から立會検査を受けるまで一貫して厳格な仕様を守り、作業工程毎に検査を行う。又この結果は統計法に基く管理圖に依つて監視されている。
2. 真空管の壽命を決定する最大の因子であるエミッションに關係する作業は特に入念に行つている。部品處理から排氣終了までを最短時間に切りつめることは真空管製造に關する要點の一つである。
3. 検査前にロード (load) と稱し數日間、定格状態で動作する作業を行う。最近の米國の工業用真空管製造に關する文獻に見る “pre-burn” 又は “burn-in”

と同じであるが文獻は真空管の特性を安定にし、極めて短壽命の製品を除くに効果があると説明している。

4. 最終検査はすべて各項目に亘り綿密な全數検査を行う。立會試験を受けるまで少くとも3回の検査が繰返される。

この外に技術的問題ではないが次の事項も製造工場に取つては重大な問題である。

5. 通信管の工程を一般球のそれから分離する爲、別の建屋に置く。
6. 特に優秀な作業員を配列し、よく訓練を行い、作業に異状を認めたまは直ちに連絡する習慣をつけておく。又作業員の入換は極力避ける。

以上を總括すると通信管製造の爲、特に考慮した點は検査及び管理の厳格な實施

作業員の訓練

に盡きるが、これは實は平易の様に見えて最も困難な仕事であると斷言しても誤りではない。

[IV] 技術の進歩

この項では通信管の試作を初めてから現在に至るまで主として研究、設計面の技術的進歩を

- a. 長壽命
- b. 高信頼性
- c. 製造方法の改善

に分類して説明する。

- a. 長壽命

一般に真空管の壽命を示すには Gannet の式が用いられている。即ち使用開始時の球數が N_0 本のとき t 時間後に於ける殘存數 N は

$$N = N_0 e^{-\alpha t} \quad \alpha = \text{定數}$$

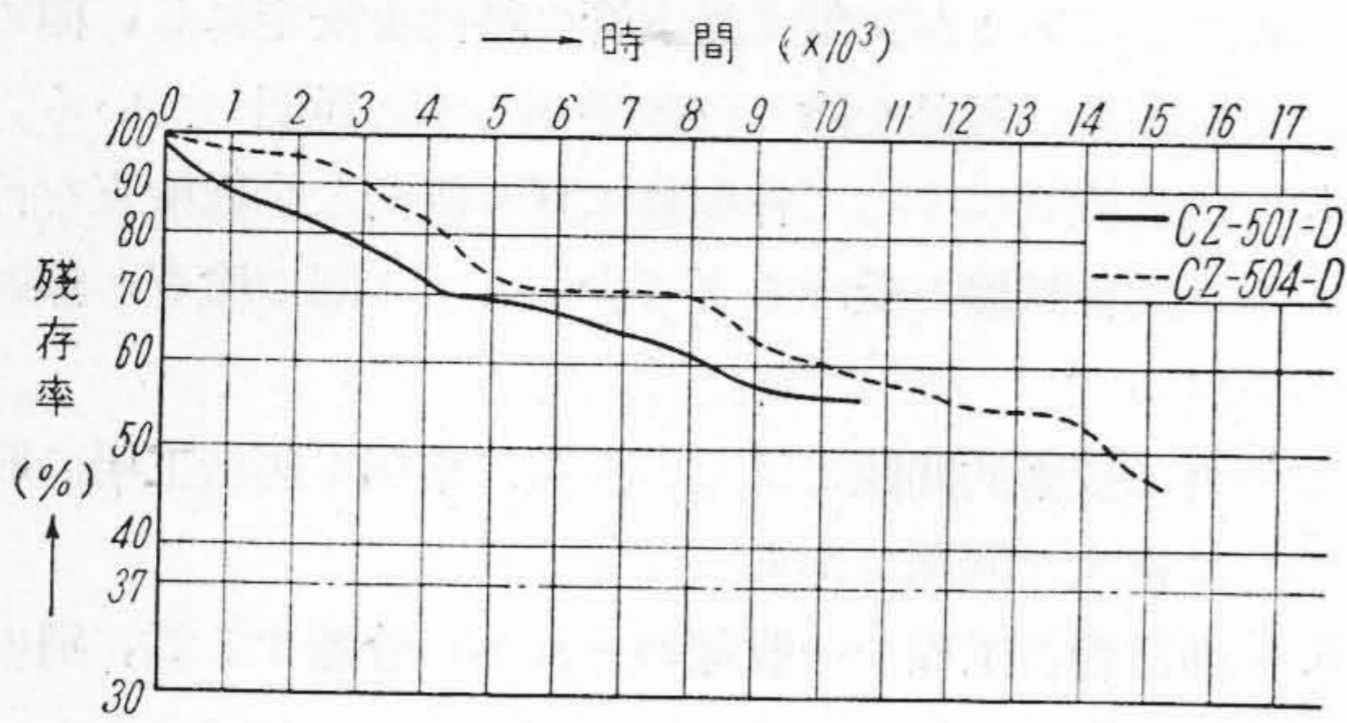
壽命は $\alpha t = 1$ のときの t である。

$$\text{從て } N = \frac{N_0}{e} \quad \text{又は } \frac{N}{N_0} = \frac{1}{e} = 37\%$$

故に横軸に時間を、縦軸に殘存率を對數目盛で取ると殘存曲線は直線となりこれが 37% の横線と交叉する t がそのロットの平均壽命である。第3圖に日立通信管の壽命特性を示す。他の方法で行つた壽命試験結果も何れも要求の1萬時間を越えた値を示している。この様に通信管は長壽命でなければならぬので、これを満足する爲に種々の進歩的施策がなされたがその代表的のものを示すと

- a. 1. カソード製作

良好な熱電子放射を有し、劣化しないカソードを作ることは真空管製造の基本であるが、通信管の開発と前後して陰極材料の調合から保存に至るまでの技術を確立した。これを要約すれば



第3圖 日立通信管壽命試験成績
 Fig. 3. Life Test Results of Hitachi Repeater Tubes

1. 炭酸鹽 [Ba·Sr(CO₃)₂] 調合は不純物混入の機會を減らし、不純物除去の操作を増す。
 2. 合成溫度、時間、攪拌條件等にはすべて最適値を採用する。
 3. スリーブの材料を吟味する。
 4. スリーブ表面は平滑にする爲電解研磨を行う。
 5. 炭酸鹽をスリーブに吹付けるときは、乾燥を行い乍ら何回も吹付け、粉雪が積つた様な状態にする。
 6. 保存は塵、埃、濕氣を避ける爲デシケーターで保存する。
- 等である。

a. 2. カソード設計

前項で説明した通り真空管の壽命は對數曲線で示され或る時間後に一群のロットが揃つて劣化を始めると云うことは少い。これは設計、製作の際の極めて僅かの差が壽命に顯著に効くので設計面の考慮は可なり重要な因子となり従來等閑視されていた事柄が最近大きく取上げられている。その主なものを示すと

1. カソード溫度の不均一性

カソード溫度を 10°C 下げると壽命は倍になり、10°C 上げると半分になることが理論的に證明される。真空管製作の際カソード溫度 10°C 位のバラツキは日常よくあり得ることであるがこれを抑える爲にはヒータ電壓のバラツキを規格の範圍より更に縮めて製作する

スリーブ寸法、肉厚、表面平滑度等を一定に抑える

炭酸鹽の吹付厚さ吹付面の状態等を一定に抑える等で要するに機械的寸法の公差を狭く、作業條件を一定にすることに依り向上される。

2. カソード上の溫度分布

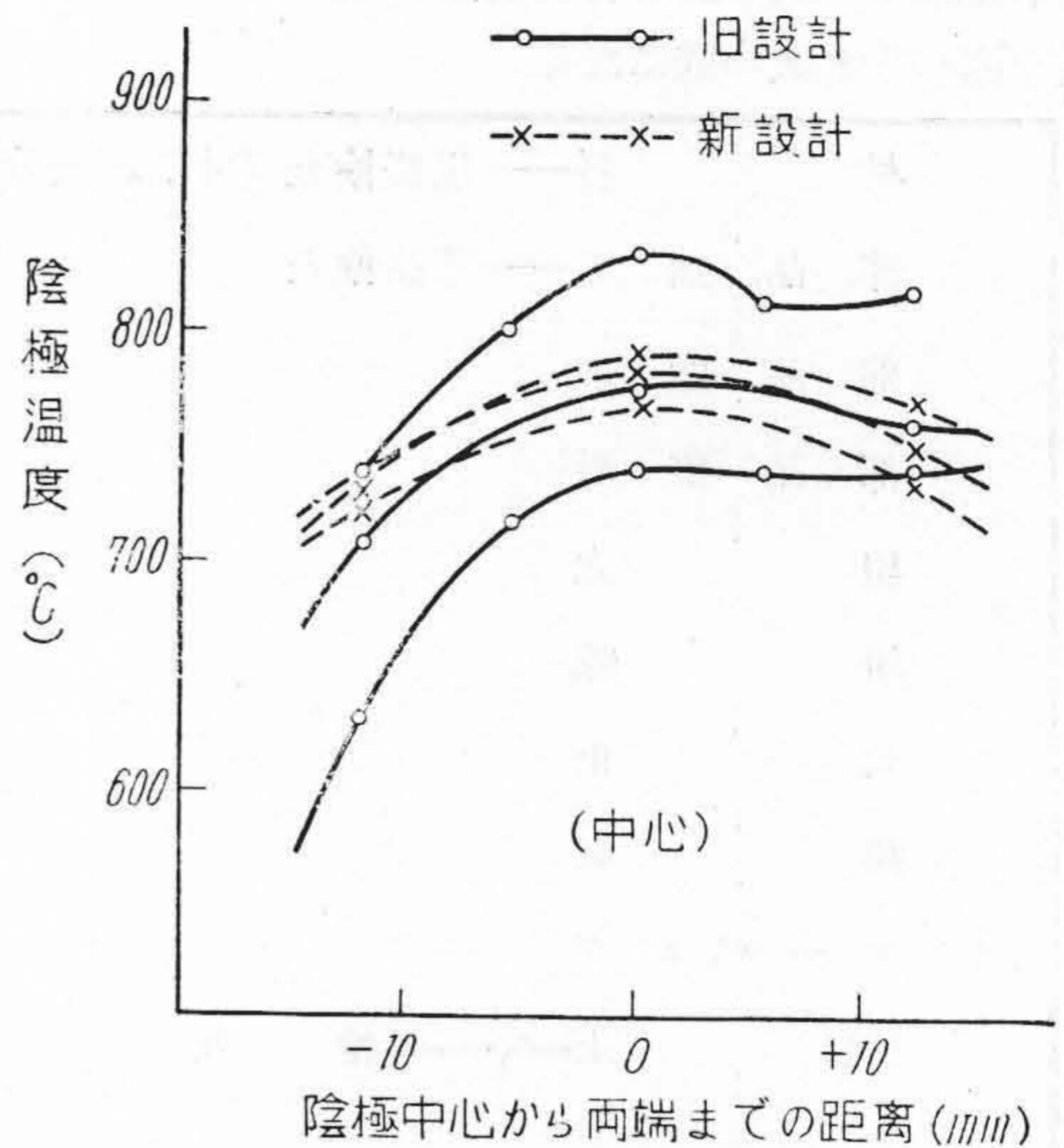
一本のカソード上の溫度分布は端冷却即ちヒータ及びカソード・リボンからの熱傳導、及びマイカ保持に依る熱傳導の爲決して一様ではなく正弦波又は拋物線形で示され、甚しいときは最高溫度と最低溫度

との差が 100°C にも達することがある。而してこの溫度差が壽命に及ぶ影響については前項の説明から容易に理解されると思う。この影響を減小する爲長いスリーブの中央に短く炭酸鹽を吹付ける。

ヒータの折長を長くする

ヒータ足及びカソードリボンの熱傳導に依るカソード下半分の溫度の低下を補償する爲にヒータの位置を數耗下へ移動する

等である。第4圖に改良前と改良後の日立通信管の



第4圖 CZ-504-D 陰極溫度圖
 Fig. 4. Cathode Temperature Distribution of Hitachi Repeater Tube CZ-504-D

CZ-504-D のカソード溫度分布を示す。

3. 炭酸鹽塗布厚さ

スリーブ上の酸化物の厚さは壽命に大きく影響するので日立通信管は一般受信管におけるオキサイドの塗布厚の2倍の厚さにしているが、これは平均溫度を低下し溫度分布を改良するのに役立つ。然し同時に塗布厚のバラツキは溫度のバラツキを増す結果になるので顯微鏡で直徑を檢查し乍ら吹付を行う。一般に塗布厚を厚くする程オキサイド割れ、剝脱等の不良を併發し又特性のバラツキを増すので作業は困難になる。

a. 3. 排氣法

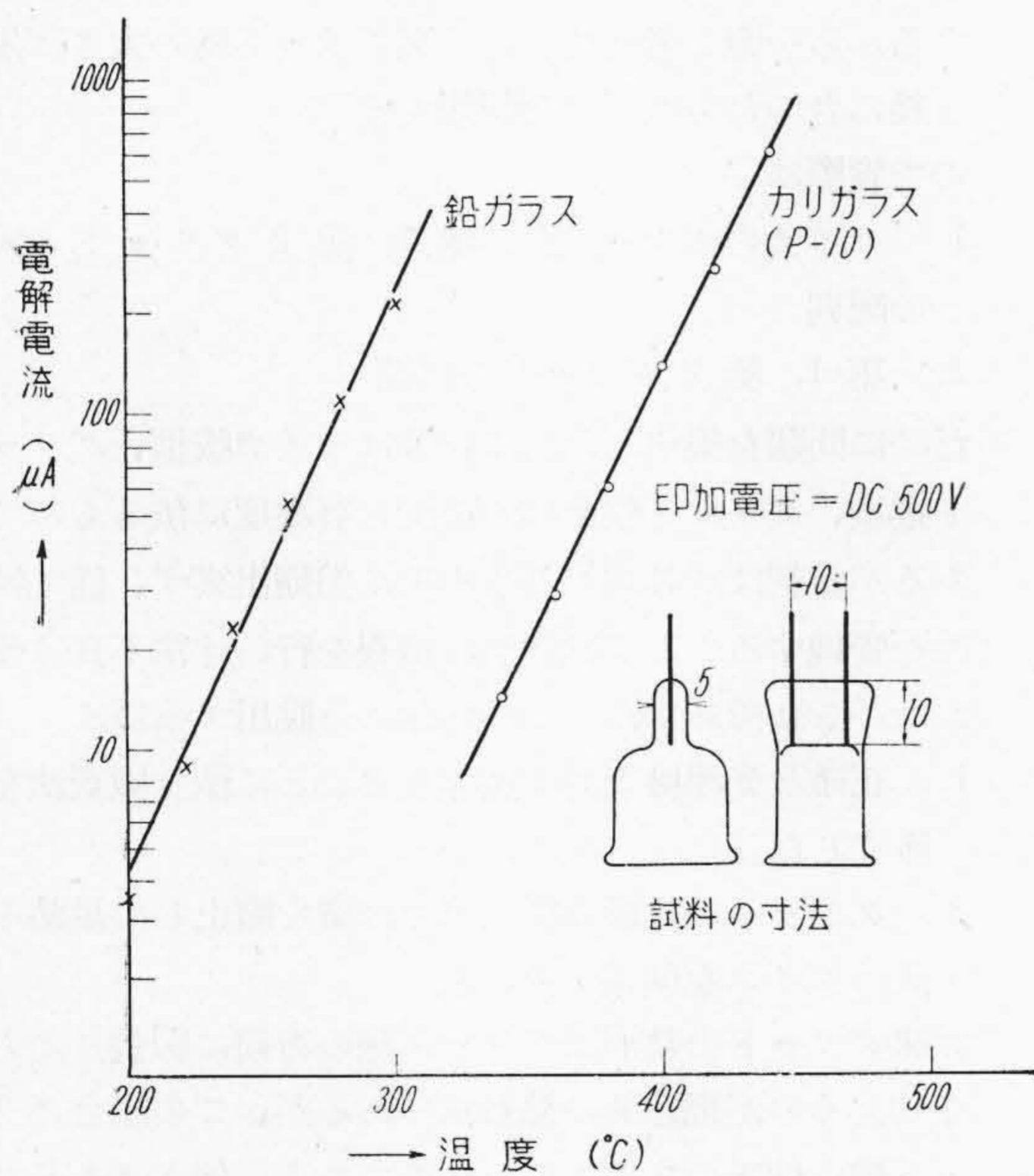
如何にカソードの製法や設計が優秀でも排氣法に不備があれば何にもならぬ。排氣法を適格に實施することに依り上述のカソードの機能が始めて充分に發揮されるものである。この項では排氣法の要點を述べると

1. 眞空爐又は水素爐に依る電極處理を正確に實施する。

2. 処理後排気完了までの時間を切りつめる。
 3. 組立のとき塵、埃、手垢等が電極に附着しない様にする。
 4. ゲッタの取扱を慎重に行う。
 5. 排気スケジュールに於ては脱ガスが充分完了するまで電極加熱を行う。
 6. エージングの時間を長くする。
- 等である。

a. 4. ステム電解

一般に小型真空管のステムには加工性の點から鉛硝子を使用するがこれは温度が上昇するに従て鉛を析出しこれが導入線を取巻き次第に生長する。その爲スロリーク或は硝子の成分の變化に原因する歪に依るステムクラック等を生じ、不良となるもので電力増幅管の場合は可なり問題になる。これを解決するにはカリを數%混入したカリ硝子を使用すればよい。現在使用のP-10なるカリ硝子と普通の鉛ガラスの電解特性を第5圖に示す。



第5圖 ステム硝子電解特性
Fig. 5. Electrolytic Characteristics of Stem Glass

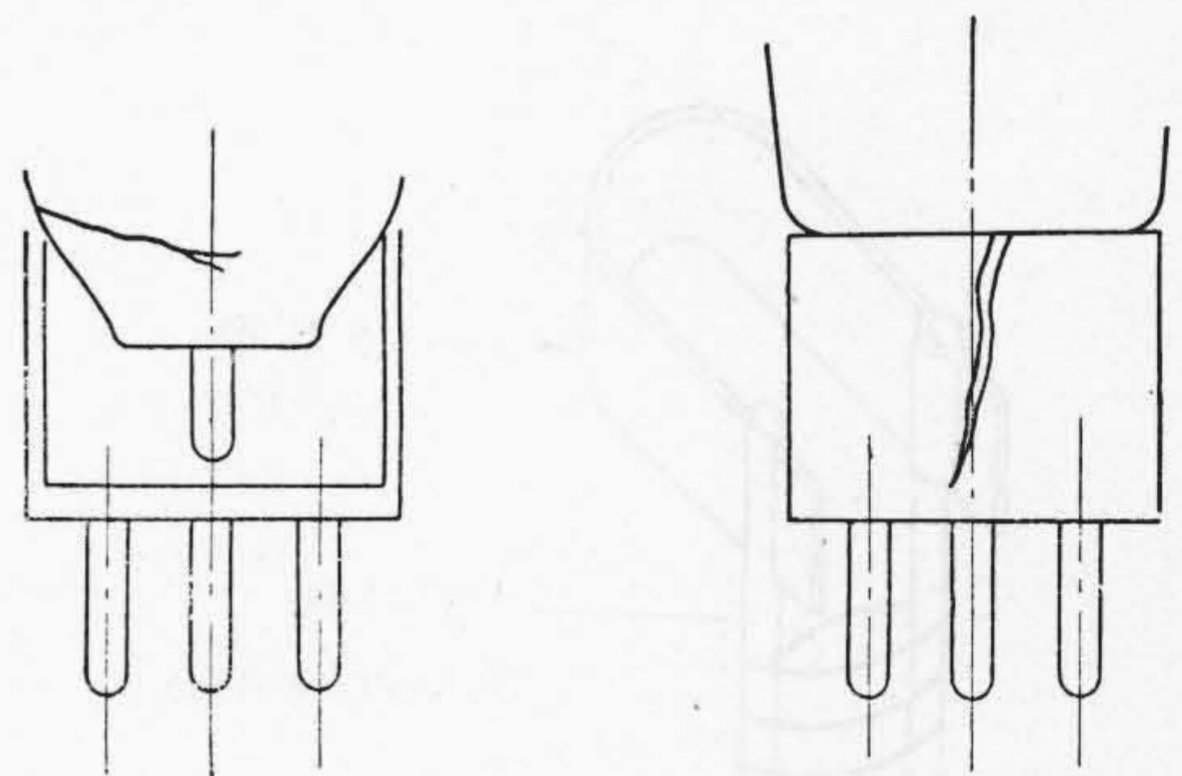
b. 高信頼性

高信頼性とはその真空管が壽命を全うするまで、他の事故で不良になることなしに最初と同じ特性で安定に動作することである。一般受信管の場合は受信機内の或る球が不良になつたら、それを抜いて新しいものをさし換えるだけで済むが通信管の場合は簡単でない。

例えば東京一仙臺間には9中繼所があり一通話は最低29本の真空管に依存し、どの真空管が事故を起しても通話が中斷され、不良真空管を發見して交換するまで回復されない。これが通信管が特に高信頼性を要求される所以である。日立通信管は改良の結果充分高信頼性のものとなつた。

b. 1. ベースクラック

真空管の不良でルーズ・ベースは従來はよく見られた不良であるがこれは主として接着劑の焼付温度の不足が原因するものである。即ち接着劑の普遍的なものはベークライト樹脂と炭酸カルシウムを混合したものでこれはベークライト C の状態になる温度まで加熱しないと上述の危険性が去らないものであるがこの邊の温度ではベースが變形や損傷を起すことがあるので低温接着のための硬化促進劑として或る種の酸化物を數%加えたものを使うことに依り略々解決した。然るに初期のもので若干のベースクラック (第6圖の如く

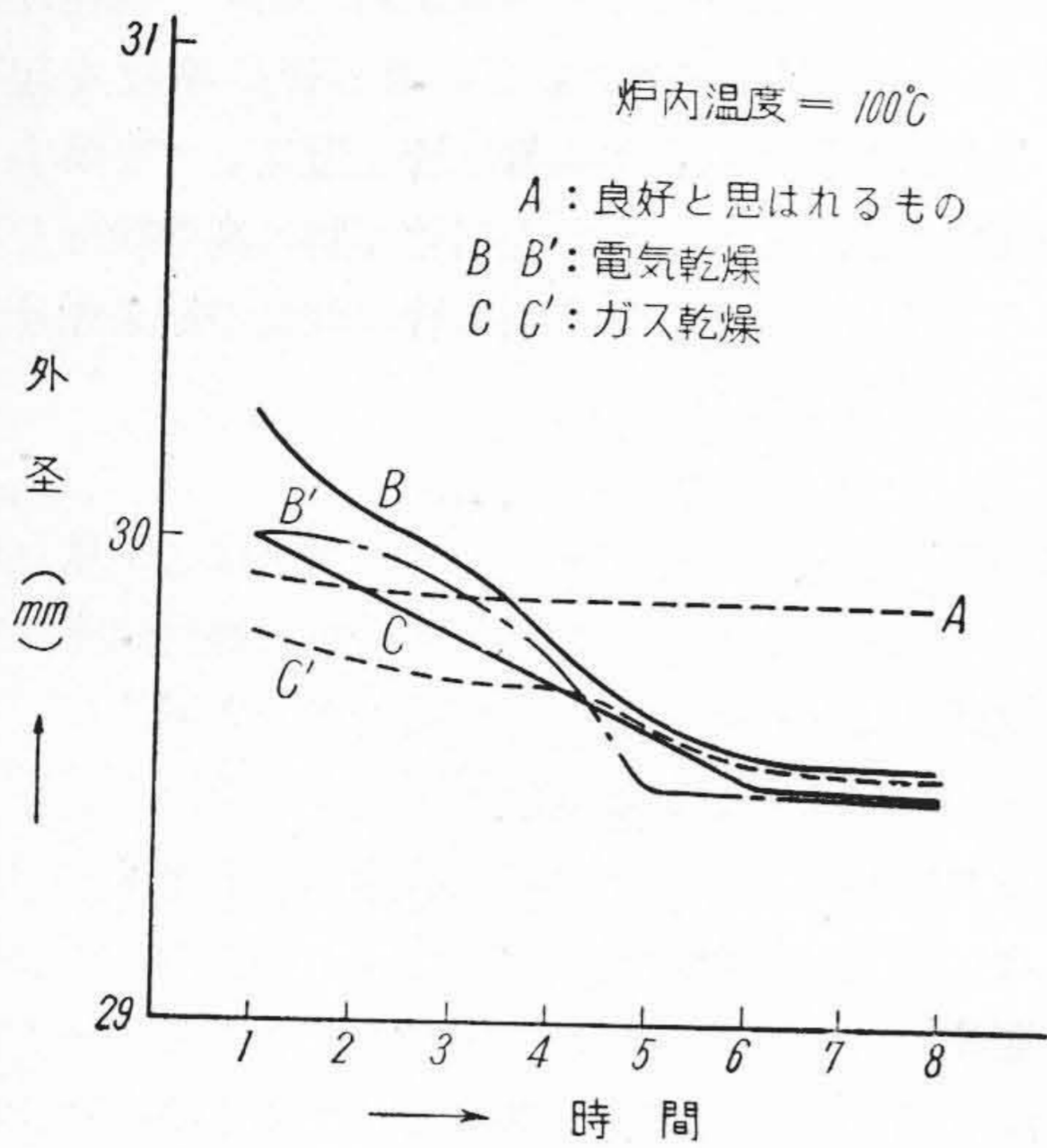


第6圖 ベースクラック圖
Fig. 6. The View of Base Crack

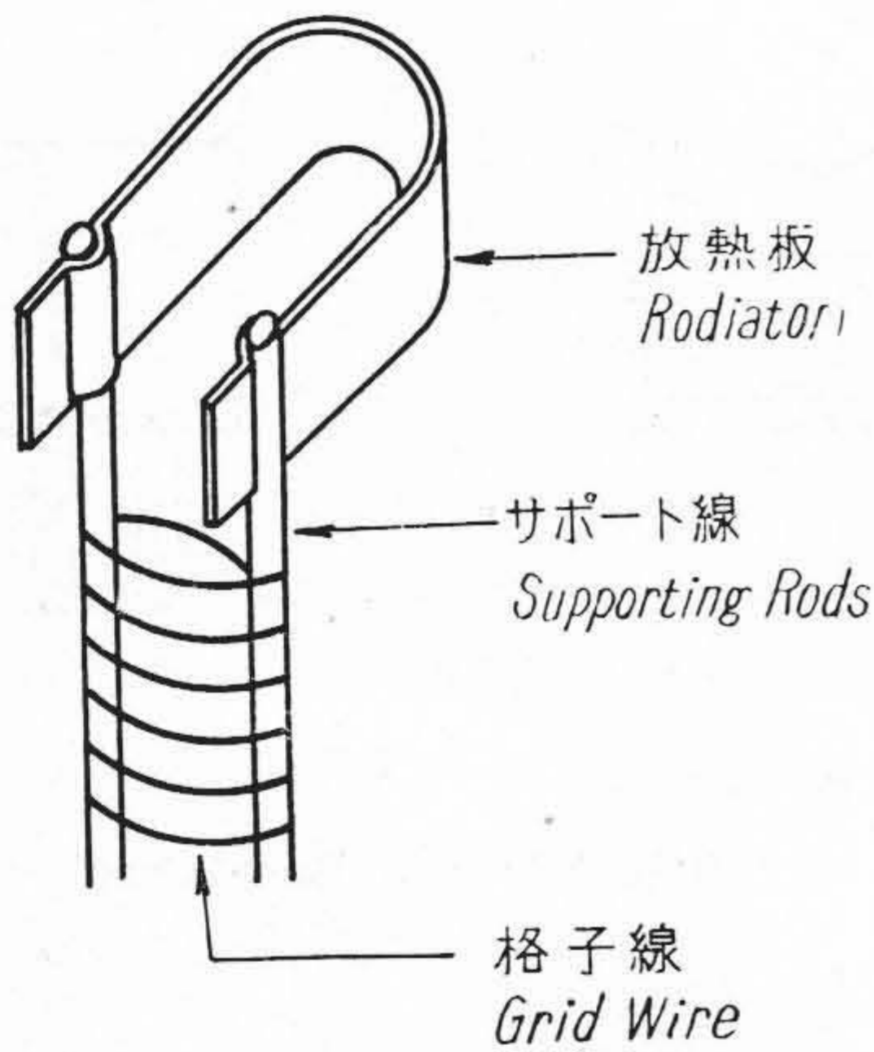
ベースが縦に割れ、ベースとの接合部のバルブにクラックを生ずる不良の總稱)を生じたが、現在では接着劑の調合管理に依り満足し得る状態を保ち得ている。たまたま或るロットがベースクラックを若干生じたので原因を調査した結果

ベース乾燥

に問題があることが判明した。第7圖に示す様にベースは直徑1耗位も收縮するものがあるので100°Cの温度で數時間乾燥し予め收縮を行つてから使用していたが、加熱方法が一定でなかつた。即ちガス加熱の場合はメタンガスの燃焼物は水分が主であるので偶然ガス加熱を行つた場合は水蒸氣中に置いたことになり電熱に依る加熱より收縮狀況が劣ることは第7圖から明かである。依て加熱法は電熱に依ることとし、尙ベースの收縮狀況などを管理の對象にした。尙ベースは殆ど收縮をしない優秀なものもあり、この原因は原材料



第7圖 ベースの収縮状況
Fig. 7. Shrinkage of Moulded Bases



第8圖 第 1 格子構造
Fig. 8. Construction of Control Grid

と成型法に依るものである。

b. 2. グリッド・エミッション

工場内の生産工程では姿を見ないが、使用して數百時間経過すると生ずる惧れのある甚だ厄介なものである。すべて真空管は活性度が充分ある間はグリッド・エミッションの心配があると考えて差支ない。問題は如何にしてこれを抑制するかであるが日立通信管は

1. グリッド線のモリブデンをマンガンが數%入ったニッケル線にした。マンガンはエミッションを殺すと云われている。
2. グリッド・サポートのニッケルを銅にして熱傳導をよくした。
3. ラヂエーターを黒化して熱輻射を良好にした。

これらに依り一應心配は去つた様である。尙使用する際は、ヒータ電流を定格以上に上げることは甚だ危険である。壽命がカソード温度の僅かな差で激しく變化すると同様なことがグリッド・エミッションに就いても云えるからである。

c. 其他

この項では主として製作法の技術的向上について述べる。

c. 1. 特性

通信管は g_m が高く特性幅が狭く、更に社内規格を設けてあるので可なり高級なものである。 g_m が高くなることは必然的にカソード第1グリッドの間隔が小さくなることを意味し種々の面から製作に困難が加わる。特性はエミッションが安定しているときは電極の寸法だけに支配され、特にカソード、第1グリッド、第2グリッドの寸法が決定的である。このうち

1. スリーブの外径は可なり正確で、塗布厚は別に嚴重に検査する。

2. グリッドのピッチはグリッド捲機のピッチ棒に依るから一定と考えてよい。又グリッド線の太さは規格に合つたものだけを使用する

ので實際は

1. マイカのカソード及び第 1, 第 2 グリッドの穴の配列
2. 第 1, 第 2 グリッドの内徑

だけに問題を集中した。これ等はマイカ拔型、グリッド捲型、グリッド整形型の精度と磨耗度に依るものであるが当初は治具類が要求事項に追隨出來ず、従て特性を管理することは組立前に検査を行い寸法不良は使わないことであつた。この状態から脱出する爲に

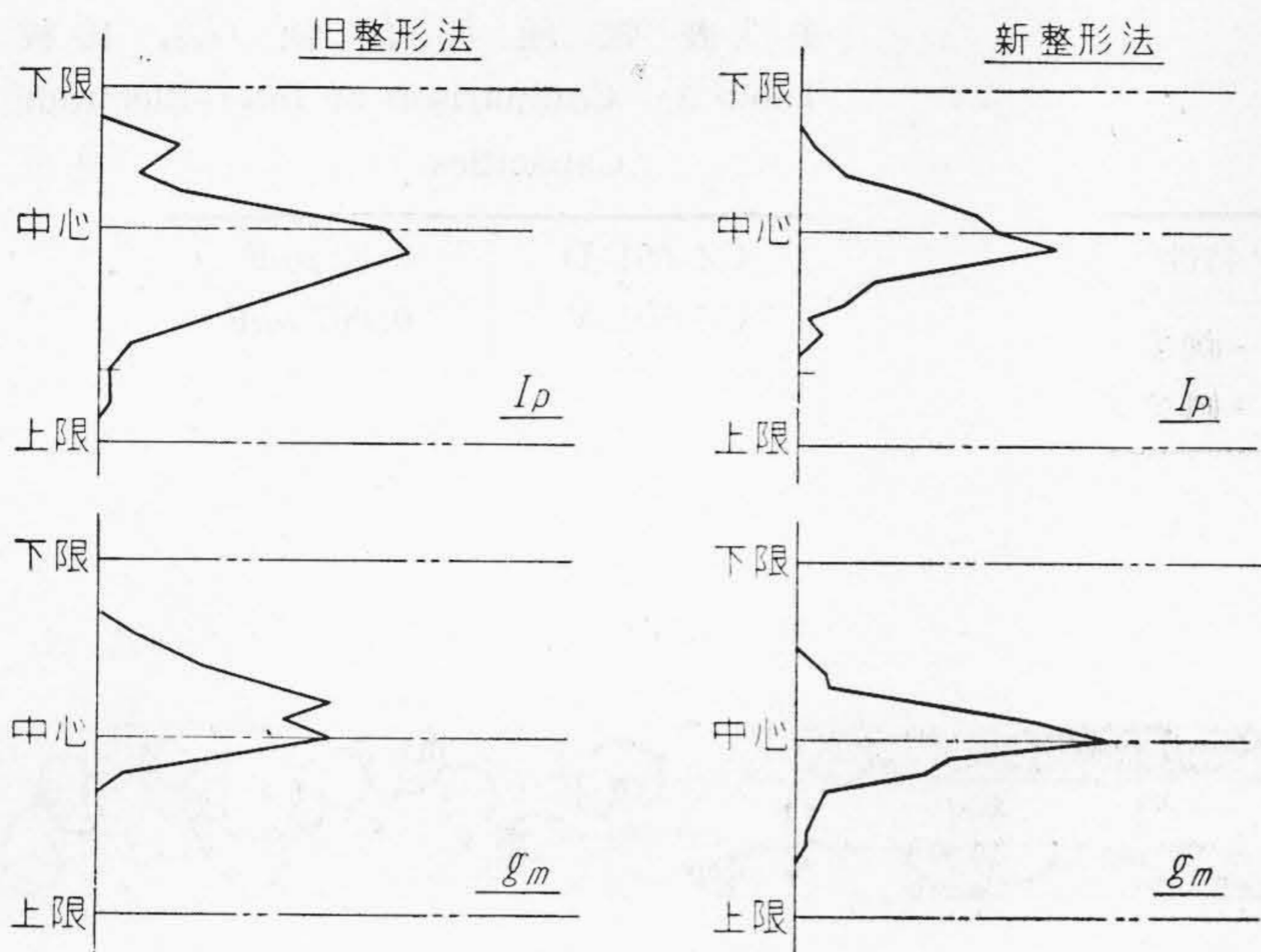
1. 正確な光學検査具を使用することに依り検査法を確立した。
2. グリッドの整形は従來の手作業を廢止して足踏み式のダイスを使用した。

元來グリッドの整形はグリッド線の方に引張りの力を加えるのが理想的の整形法であるが、この場合グリッド線に伸びのあることが必要である。例えばモリブデン線の場合は約 15% の伸びがあればよい。若し伸びがないときは所望の寸法になり難く、手数が掛るにも拘らず整形歩留が悪い結果になる。第9圖に従來の整形法と改良された整形法に依る特性分布圖の比較を示す。

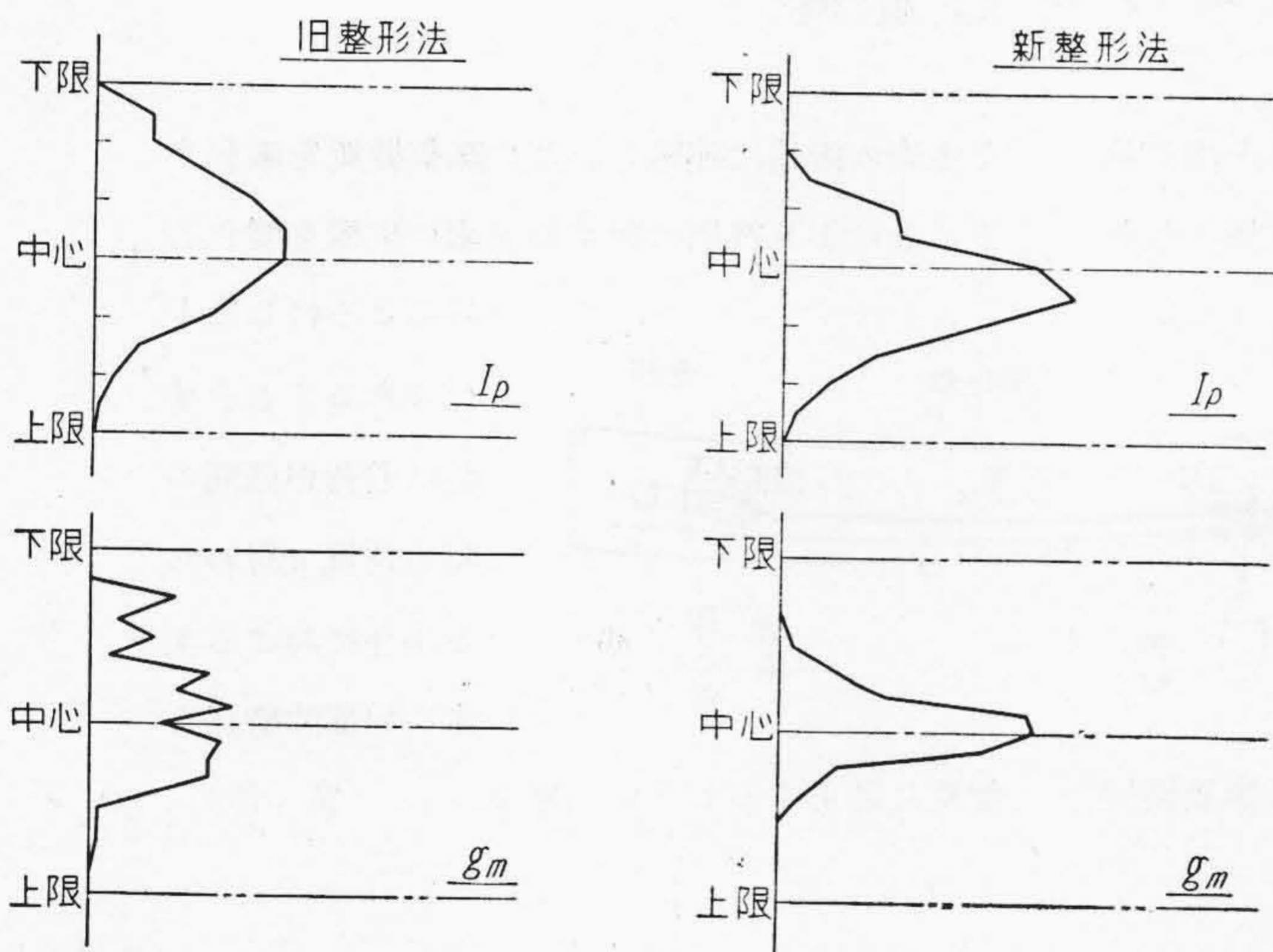
c. 2. I_{HK}

ヒータ、カソード間漏洩電流 (略稱 I_{HK}) は

1. 最初は絶縁材料であるアルミナ (Al_2O_3) 中の不純物が I_{HK} を悪くすることを知り不純物の少いも



第9圖 (a) CZ-501-D 特性分布圖
Fig. 9. (a) Distribution of Characteristics on CZ-501-D



第9圖 (b) CZ-504-D 特性分布圖
Fig. 9. (b) Distribution of Characteristics on CZ-504-D

のを使用することに勉めた。

2. 最近のアルミナは分光分析の結果可なり高純度であることを知った。又焼結温度を高くすれば良いことを知り、焼結温度を高くした。この爲従来使用したタングステン線では再結晶を起して折れ易くなり使えないので、タンモリ合金線に切換えた。又爐温を高くすることは爐の壽命を著しく短縮するので保守に困難が加わるものである。

[V] 結 言

終戦後通信管を初めて試作してから現在までの主たる技術的進歩を主題にして通信管の製造を説明したが要約すると

通信管は一般受信管に比較して特性が高級で長壽命、高信頼性を要求されるので、製造法としては材料の吟味、入念な作業、厳格な検査が必要である。又技術的進歩としては

1. 陰極製作法の進歩
2. 陰極設計法の確立
3. 処理、組立、排氣技術の進歩
4. ルーズベース、ベースクラック、グリッド・エミッション、 I_{HK} 等の諸問題の解決

等が挙げられる。

これ等の進歩は通信管だけに止まらず他の真空管にも普及出来るもので逐次実施中である。

尙、觀點を變えれば通信管製造は一應量産の緒についた姿で更に長壽命、高信頼性特に最近大きく採り上げられている最短壽命保證等については更に今後の研究に俟たなければならない。

終りに通信管製造に関する技術の進歩は中央研究所、茂原工場の關係諸氏の御盡力の集積であるが、電氣通信省電氣通信研究所、施設局調査課、検査課の關係諸官には終始變らぬ熱心な御指導、御鞭撻を頂いたことを末尾乍ら厚く御禮申上ぐるものである。

参 考 文 献

1. 搬送部會真空管分科會資料 (電氣通信省調査課)
2. 通信管技術連絡會議々事録 (電氣通信研究所)

3. オキサイド委員會
排氣部會
スリーヴ部會
- } 會議錄 (日立製作所、中央研究所、茂原工場、連絡會議々事録)

附 6.3 V 級通信管

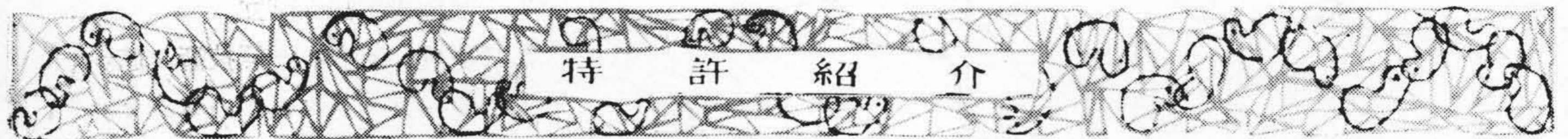
通信管の長壽命と信頼性を搬送電話以外の無線機、精密測定等に利用する爲、受信管のヒータ電壓の 6.3 V に改造したものでその特性は次の通りである。(第2表次頁参照) 尙 CZ-501-V は無線周波に於ける使用を考慮して電極間容量を若干改善してある。(第3表次頁参照)

第 2 表 6.3 V 級 通 信 管 規 格 表
Table 2. Ratings for 6.3 V Class
Communication Tubes

	E_h (V)	I_h (A)	其ノ他ノ特性
CZ-501-V	6.3	0.55	CZ-501-D = 同ジ
CZ-504-V	6.3	0.9	CZ-504-D = 同ジ

第 3 表 電 極 間 容 量 (C_{pg1}) 比 較
Table 3. Comparison of Inter-Electrode
Capacities

CZ-501-D	0.02 $\mu\mu\text{F}$
CZ-501-V	0.007 $\mu\mu\text{F}$



特許 188227 號

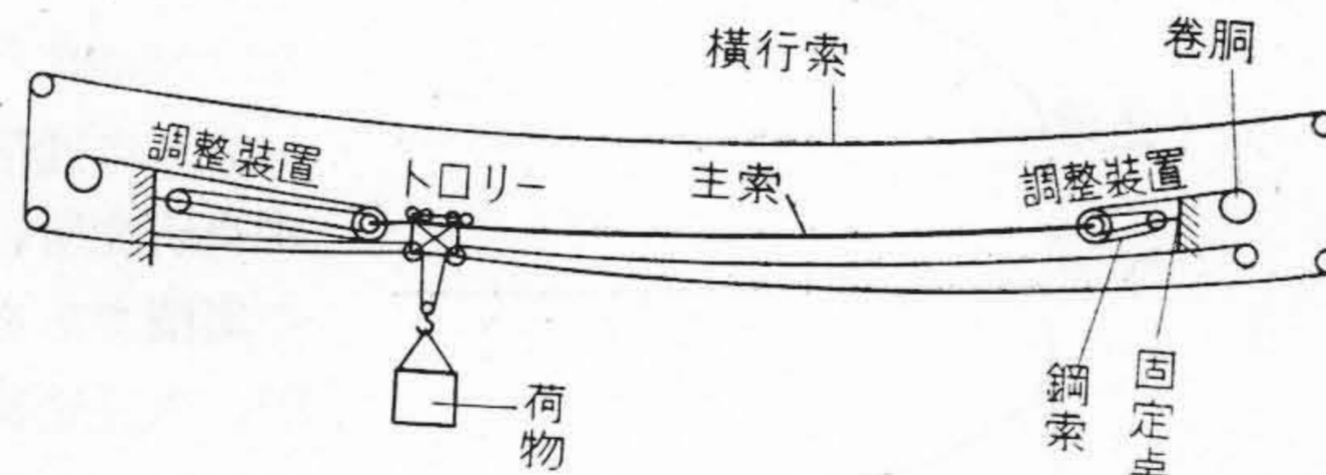
赤 木 進

ケ ー ブ ル 起 重 機

ケーブル起重機により堰堤工事などをする場合、地勢の関係で着荷を径間の特定位置で行わねばならぬことが往々ある。そのため主索は局部的に磨耗し寿命が短くなる。

この発明は、巻胴・鋼索・滑車を組合わせて構成した調整装置

を主索の両端に連絡し、この調整装置を駆動することにより径間に對する主索の位置を變化し得るようにしたものである。こうすれば着荷が径間の特定位置で行われる場合におこる主索の局部的磨耗を簡単に防止することが出来る。(富田)



蓄 電 池 の 充 電

日立製作所 多賀工場 若林圭次郎 著

A 列 5 判 34 頁 定 價 30 圓 十 6 圓

東京都品川区
大井坂下町 2717

日 立 評 論 社 發 行