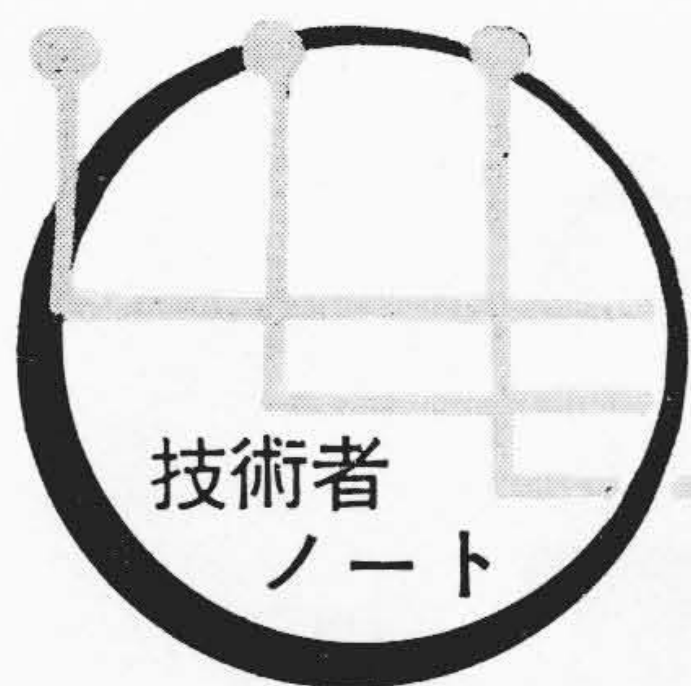


高信頼管の特色とその使用法

Specialities and Practical Applications
of the Reliable Tubes

高橋 忠夫*

Tadao Takahashi

1. 緒 言

真空管の用途はここ数年来急激に増大し、1セット当りの使用本数も増加し、またその使われ方も多岐にわたるようになった。ここにおいて新たに高信頼管が開発され世に出されることになった。

本文は主として真空管を使う機器設計者のために、高信頼管の特色を述べ、管球製造者の立場からみた望ましい使用法を記述したものである。

2. 定 義

高信頼管の定義としては、一般につぎの説明文⁽¹⁾が支持されている。

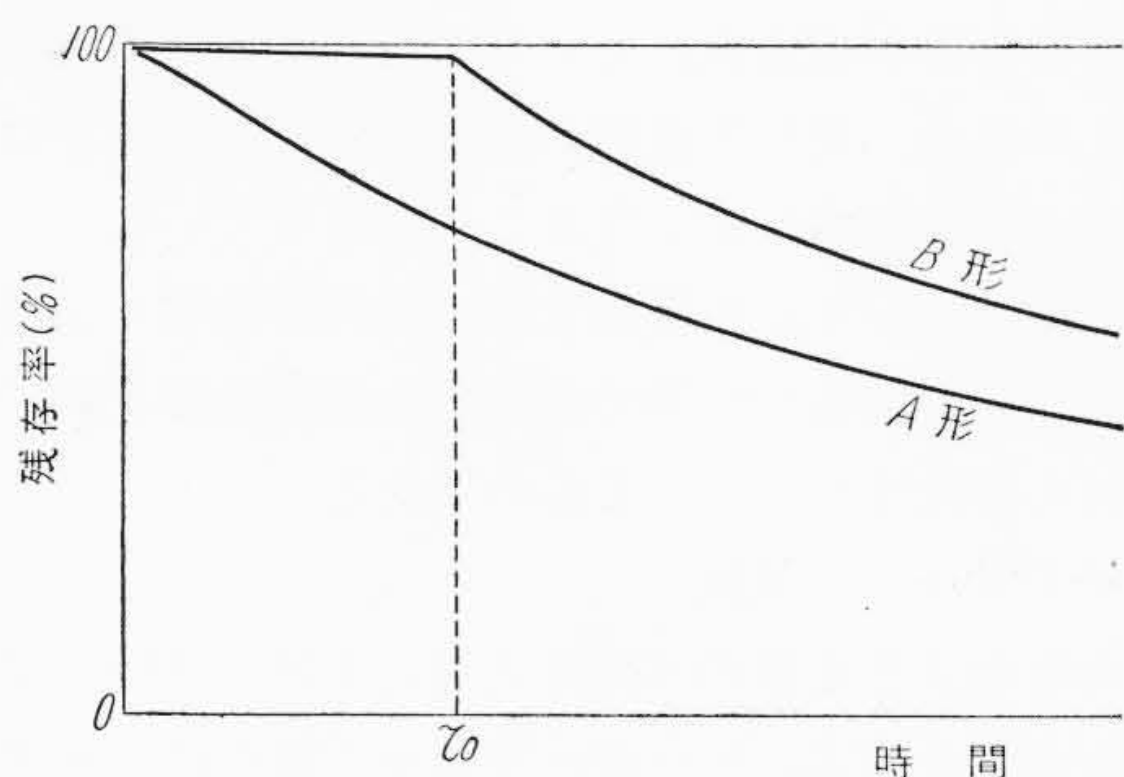
『高信頼管とは、真空管を倉庫から取り出して装置に挿入した場合、予期した性能とおりに動作する確率がきわめて高く、しかもある定められた期間中に不良となる確率がきわめて小さいような真空管をいう』

この予期した性能はつぎの7項目で示される⁽²⁾。

- (1) 初期不良が通常の割合以下である。
- (2) 規定期間に電気的特性が劣化する割合が小さく、連続的に安定である。
- (3) 双極管の並列使用の場合、規定期間中平衡を維持する程度が高い。
- (4) on-off 状態で使用される場合、特性の変化が小さい。
- (5) 高温ふんい気中で動作させた場合、特性が安定で不良率が少ない。
- (6) 高度の衝撃に対して丈夫である。
- (7) 長期にわたって機械的振動に耐える。

したがって、要約すれば高信頼管とは熱的機械的悪条件を含むかこくな条件で使ったときでも、ある時間の間不良になる率が非常に少なく、しかも初期特性を安定に維持する真空管のことをいうと考えてよからう。

元来、真空管の寿命は指数分布を示すといわれており、われわれも種々の実用実績からこのことを経験しているが、われわれの最近における真空管製造に関する努力は第1図に示す寿命特性をA型からB型に改めることに集中されてきたといっても過言ではない。す



第1図 真空管の寿命特性図

なわち一群の真空管を同時に使用したとき、だらだらと脱落が始まる(A型)前に脱落が比較的少ないある時間 t_0 が存在すること(B型)を各方面から要望され、この実現に努力した結果が高信頼管の誕生となったわけである。

3. 生 い た ち

高信頼管発達の経過はおおよそ次のとおりである。

(1) 軍 用

主として第二次大戦中、米軍から在来の真空管について構造強化が強く要求され堅牢管(Ruggedized Tubes)ができた。これが次第に高信頼管に発展してきた。

(2) 民間航空用

戦後民間航空が発達するにつれて、その性質上ある時間だけ不良になる確率がきわめて少ない真空管が要求され、在来品のうちの若干品種が高信頼管に改良された。

(3) 工 業 用

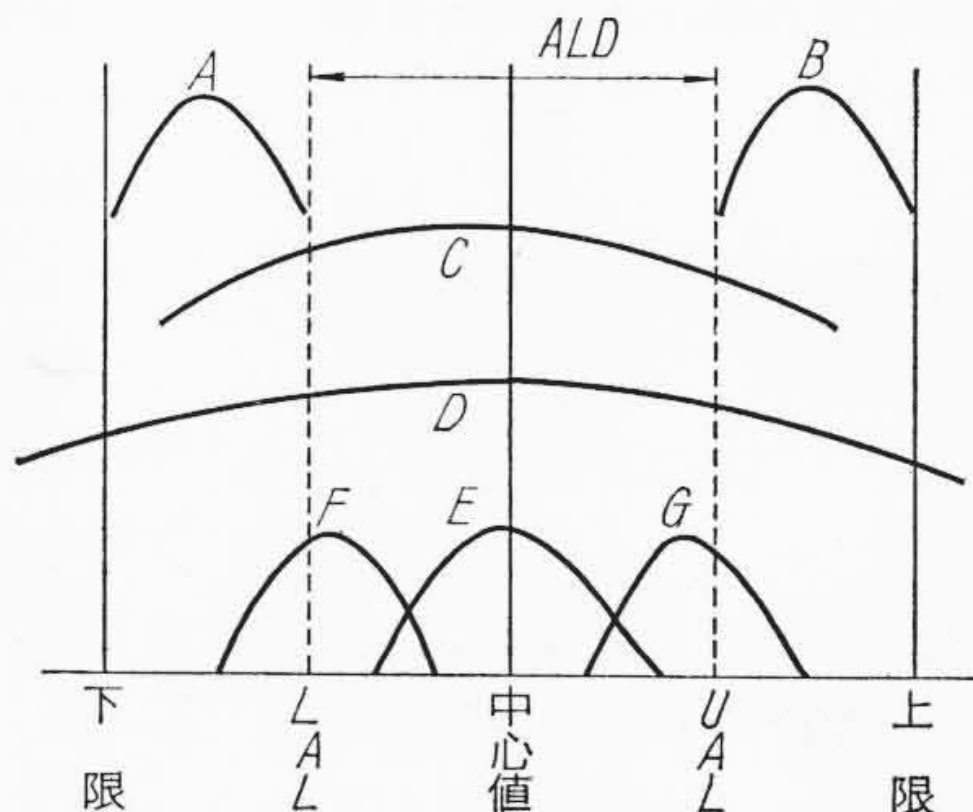
通信以外の用途のために Industrial Tube と称されるすぐれた真空管が開発された。この場合1万時間程度の長寿命が特色の一つに追加される傾向にある。

いずれも、最近の電子機器装置が複雑多目的になるにつれて、機器が満足に動作するためには構成部品の一つ一つが信頼のおけるものであることを要し、真空管も第1図の寿命特性のB型になることをねらったものである。

その効果については文献によれば、⁽³⁾⁽⁴⁾ 米軍基地における一般真空管とそれに対応する高信頼管の平均不良率はおおよそ5~7:1であること、またアメリカ民間航空用の場合 6AK5 は1,000時間で30%の不良を出したものがその高信頼管 5654 では1,000時間で3.2%の不良しか出ないことが報ぜられている。

わが国では昭和30年から主として国産ジェット機の搭載電子機器のために高信頼管の開発が進み防衛用以外の用途にも次第に使われ始めている。

このような開発過程の関係上、現在わが国で作られている高信頼管はすべて米軍規格 MIL-E-1 に準拠している。この MIL に準拠するということはわが国だけでなく多くの国々にその例がみられる。



第2図 高信頼管の特性分布形と合否関係図

分布形	計 数	計 量	
		LAL~UAL	ALD
A,B	○	×	○
C	○	○	×
D	×	○	×
E	○	○	○
F,G	○	△	○

* 日立製作所茂原工場

第 1 表 日立製作所における高信頼管一覧表

形 名	相 当 品	構 造	用 途
6 J 4 W A	6 J 4	高増幅率 3 極管	超高周波グリッド 接 地 増 幅
6 X 4 W	6 X 4	高 真 空 双 2 極 管	全 波 整 流
5654	6 A K 5	シャープカットオフ 5 極 管	高 周 波 増 幅
5670	2 C 51	中増幅率双 3 極管	高 周 波 増 幅
5725	6 A S 6	シャープカットオフ 5 極 管	二 重 制 御 高 周 波 増 幅
5726	6 A L 5	双 2 極 管	検 波 ・ 整 流
5749	6 B A 6	リモートカットオフ 5 極 管	高周波可変増幅
5750	6 B E 6	5 格 子 7 極 管	周 波 数 変 換
5751	(12A×7)	高増幅率双 3 極管	検 波 ・ 増 幅
5814A	(12 A U 7)	高増幅率双 3 極管	検 波 ・ 増 幅
6005	6 A Q 5	ビ ー ム 管	電 力 増 幅
6101	6 J 6	中増幅率双 3 極管	高周波増幅発振
6136	6 A U 6	シャープカットオフ 5 極 管	高 周 波 増 幅
6189	12 A U 7	中増幅率双 3 極管	検 波 ・ 増 幅
6201	12 A T 7	高増幅率双 3 極管	検 波 ・ 増 幅

日立製作所においては目下15種の高信頼管を生産中で、その内容は第1表のとおりである。

4. 高信頼管の特色

高信頼管の特色を一般受信管と比較して規格面からおおよその共通事項を紹介する。

4.1 計量検査の追加

電子管の特性のうち、構造用途を決定的に支配する主要項目につき計量検査の適用により特性分布の中心値とばらつき幅が規定されている。

これは最大値最小値の許容幅のおおよそ 1/2 の値をとる UAL (Upper Acceptance Limit for Averages of Samples), LAL (Lower Acceptance Limit for Averages of Samples) および UAL LAL 間の幅にほぼ等しい値をとる ALD (Acceptance Limit for Sample Dispersion) による。

すなわちロットから任意に抜き取られたサンプルのある項目は個々に最大値と最小値の間にあるほかに、その平均値は規定された UAL と LAL の間にあり、またばらつきについてはサンプルを5個ずつのグループに分け、それぞれの範囲 R を求めそれから得られるサンプルの $\bar{R}$ (R の平均値) が ALD 以内であることが必要とされる。

UAL, LAL および ALD が規定されている項目は主としてヒータ電流 I_f , 陽極電流 I_b , 相互コンダクタンス g_m , 増幅率 μ , および電極間容量などである。

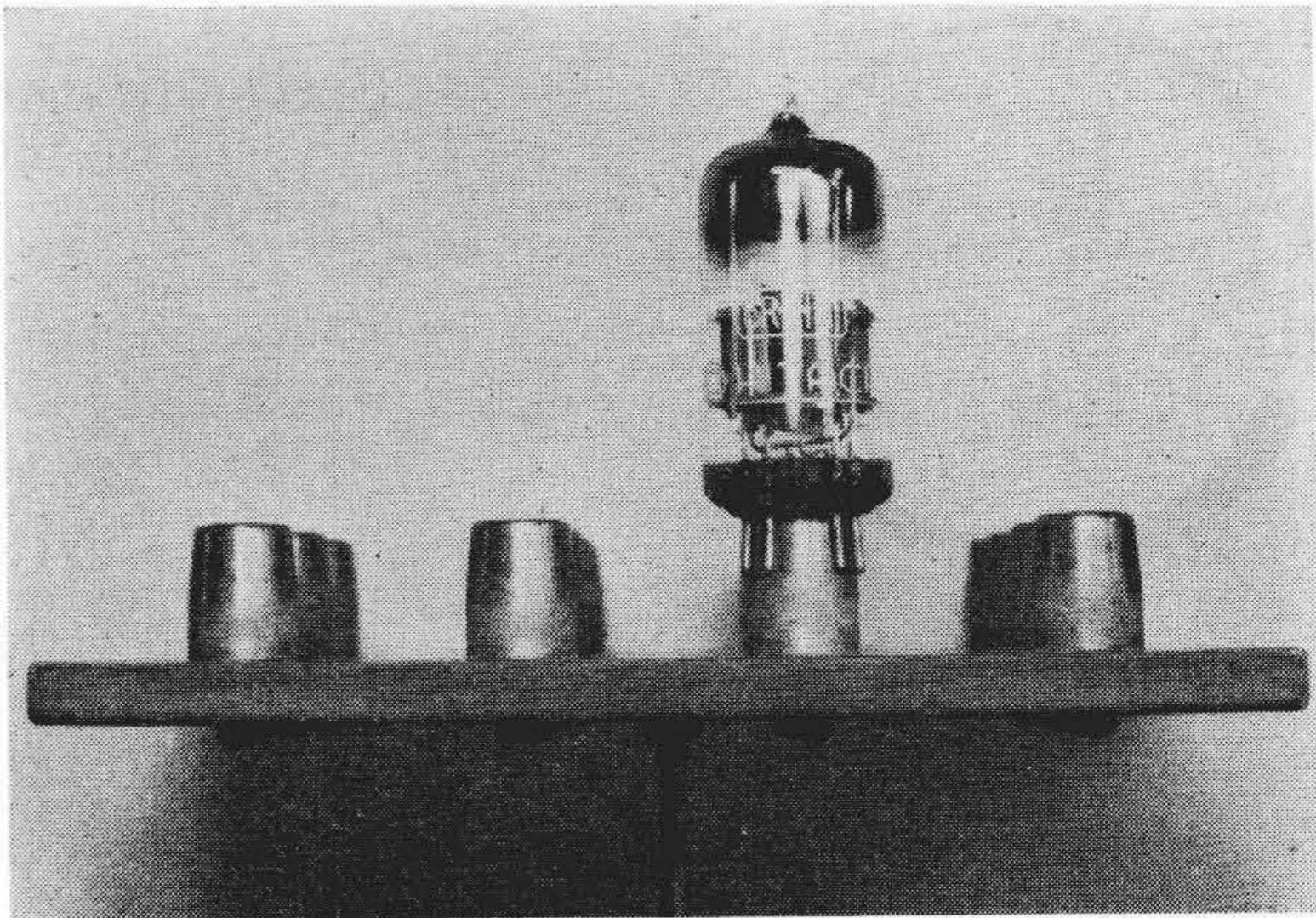
目的は互換性の確保にあり、第2図についていえば、在来の規格ではD型以外はすべて合格になるが、高信頼管の場合必然的にE型をとることになる。

4.2 不良率低下の考慮

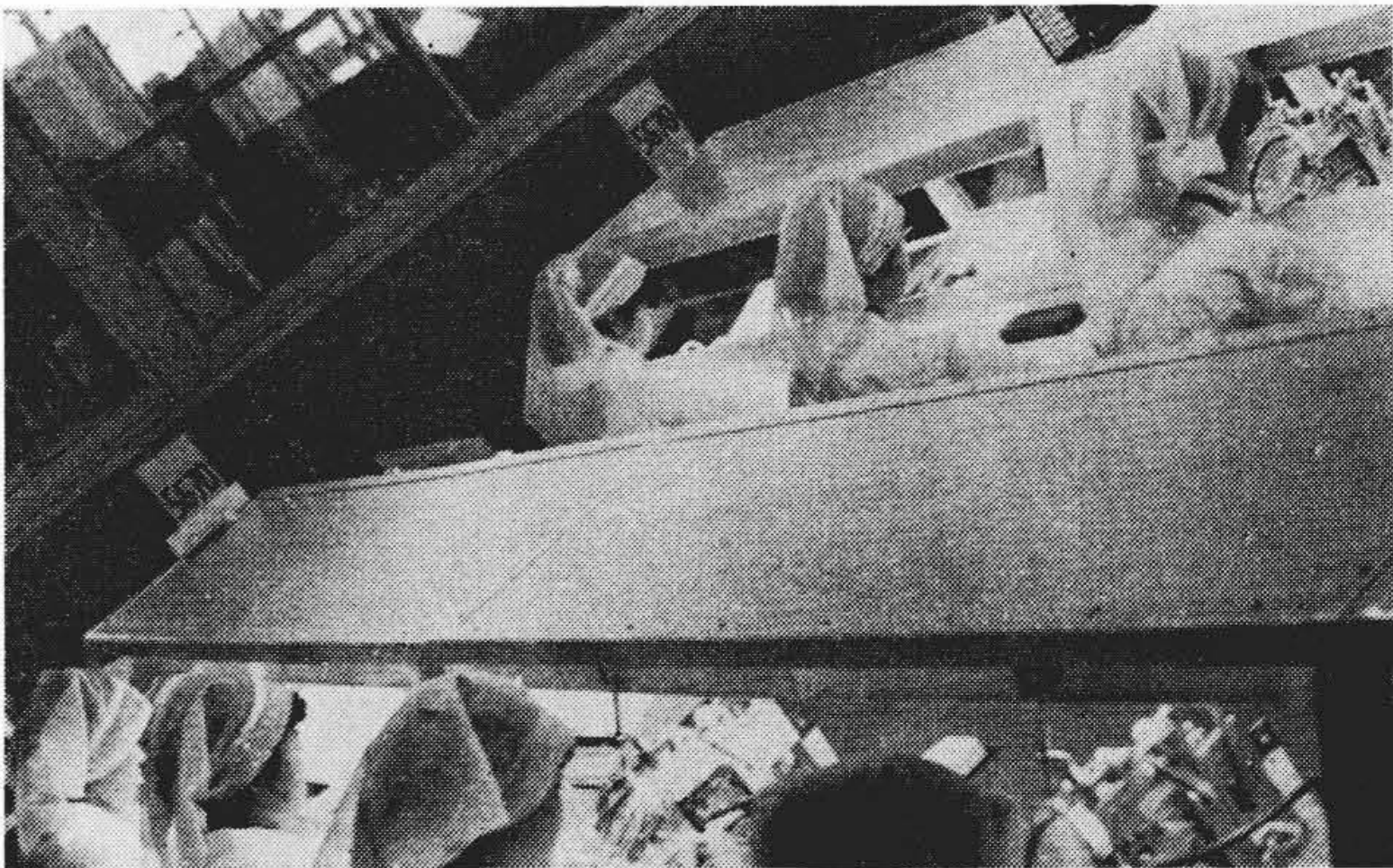
寿命初期における不良が少ないことは高信頼管の最も重要な特色であるが、そのためにつぎに説明する事項が規格で規定されている。

(1) ベースひずみおよびガラスひずみ

ベースひずみは排気直後の球を、5度のテーパーを有する円すいにステムピン足を拡張するように取付け 97~100°C の沸騰水に15秒間浸し、室温中に放置した後ガラスクラックや空気入りの有無をしらべる。第3図にその状況を示す。この試験はステムのピン足を変形させるので明らかに破壊試験に属する。



第 3 図 ベースひずみ試験用円すいに球を取り付けた状況図



第 4 図 高 信 頼 管 組 立 作 業 状 況

ガラスひずみは球を沸騰水に15秒間浸した後、ただちに0~5°Cの冷水に浸しこれを取り出してガラスクラックや空気入りの有無をしらべる。

いずれも寿命初期におけるガラス破損の突発事故の防止を目的とするものである。

(2) 導通および短絡

ヒータ電圧を印加した“hot”の状態で所定の電極電圧を印加し、球に所定の打撃を与えながら、各電極と引出し線間の導通の有無と、電極間の永久短絡、一時短絡の有無をしらべる。導通は主として組立作業の際の電極接続に用いる熔接作業の巧拙に原因し、永久短絡は主として組立作業の熟練度、一時短絡は空中の浮遊塵埃特に糸くずが関係する。日立製作所では上記の理由により第4図に見るように、塵埃除去装置のついた二重空調室内において、ナイロン上被をつけた熟練作業者が屋根付作業台の中で拡大鏡を用いて、ていねいに作業する方式を採用している。

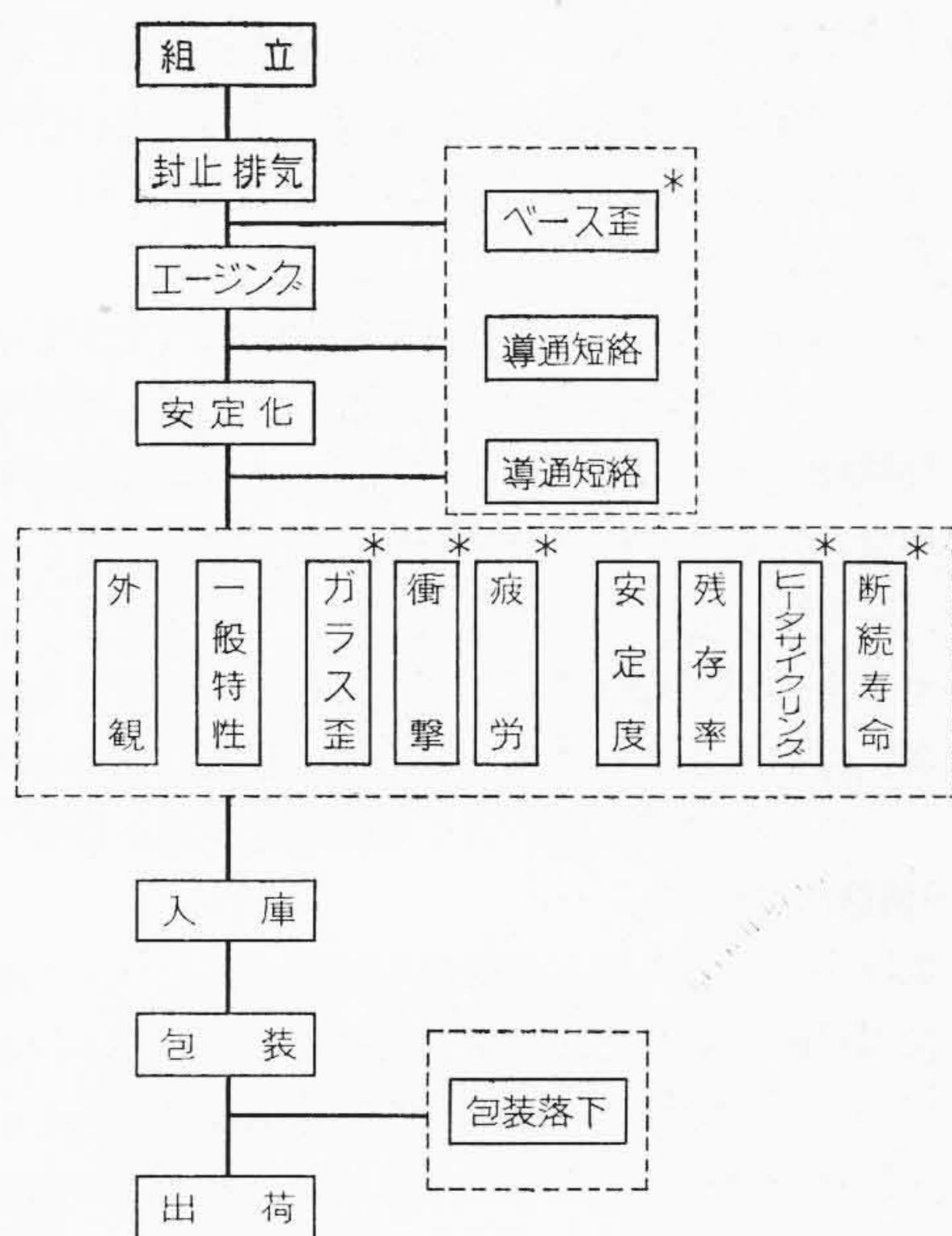
(3) 安定化および残存率寿命試験

検査前に安定化エージングと称し定格動作状態で48~96時間のエージングをすることが規定されている。目的は初期不良の摘発と特性の安定化にあり、発生不良数が規定値をこえるときはそのロットは検査をうける資格がなくなることになっている。

残存率寿命試験はロットから所定本数の試料を抜取り定格状態で100時間動作させたのち(2)項で説明した導通短絡試験で不良の有無と、特性の劣化度をしらべるものである。

(4) ヒータサイクリング試験

ヒータ電圧をおおよそ定格の120%とし、1分間 ON, 2分間 OFF を 2,000 回繰り返す。ヒータ、カソード間にはヒータを正としておおよそ 135 V の電圧を印加する。ほかの電極には電圧を加えない。



印は試験工程であることを示す
* 印は破壊試験であることを示す

第5図 高信頼管の製作、試験工程図

この試験は陰極構体の機械的欠陥の発見に効果があり、この試験に合格するロットはヒータ断線、ヒータ短絡、ヒータ、カソード短絡、およびカソード引出線切断などの不良が生ずる確率がかなり少ないものである。

(5) 断続寿命試験

定格動作状態で 75 分 ON, 15 分 OFF にして 500 時間後と 1,000 時間後に劣化状況をしらべる。MIL では寿命試験時の管壁温度を規定している。

この試験では機械的突発不良 (Sudden Failures) と緩慢な特性劣化 (Gradual Failures) とがあり、後者については個々の特性値の終止点が規定されているほかに、相互コンダクタンス g_m などの主要特性はその変化率でも規定されている。また一般に電極間絶縁の劣化も厳重に規定されているのが高信頼管寿命試験の大きな特色である。

4.3 機械的強度の向上

高信頼管が、真空管にとって好ましくない悪い条件でも、規定時間、少ない不良で安全に動作することを可能にするために衝撃試験と疲労試験がある。

(1) 衝撃試験

各電極に指定の電圧を印加した動作状態で、縦横 2 方向ずつ計 4 方向について各方向ごとに 5 回ずつ約 500 g の衝撃を加える。なお MIL では所定の衝撃試験機を指定し、管球ごとに試験の際のハンマー角度を指定している。試料はこの試験の後にも突発不良や規定以上の特性の劣化が認められないことになっている。

(2) 疲労試験

指定のヒータ電圧を印加した状態で振幅 1.0 mm, 振動数 25 c/s, 2.5 g の加速度で 1 方向に 32 時間ずつ横 2 方向, 縦 1 方向, 計 3 方向合計 96 時間の振動試験である。試料はこの試験の後にも突発不良や規定以上の特性劣化が認められないことになっている。

4.4 その他

高信頼管に特有のそのほかの試験として低気圧耐電圧試験がある。これは気圧 55 mmHg にして電極端子間に 500 V ac を印加したときアーク放電が起らぬことが必要とされる。これは上空で使用するときに必要な事柄である。

以上で高信頼管の特色を規格の面から大要を説明したが、これを一括すると第 5 図のようになる。図中 * 印は破壊試験であることを示す。このように高信頼管は多くのきびしい試験に合格して初めて出荷される。一たんある項目で不合格になると、それが破壊試験であるときはほとんど選別不能でしかも再生修理も不可能だからそのロットは高信頼管でないとして棄却される。したがって高信頼管を製造するには高度の技術が必要である。これを説明するのは本文の目的ではないが要約すれば

- (1) 材料吟味
- (2) よい設計、仕様
- (3) 設備、環境の浄化
- (4) 品質管理の適用
- (5) 検査、特に前工程検査の励行

で代表されることが考えられる。

5. 使用上の注意

電子管製造者から電子管を使用する機器設計者への、真空管使用上の要望事項や注意事項についてはすでに種々の文献があるが⁽³⁾⁽⁵⁾, まったく同様のことを筆者などもしばしば経験しているので、ここに改めて整理列記する。これは機器を実用に供するとき高度の信頼性を維持するには、真空管そのものの信頼度が必要であると同時に、真空管の性質をよく理解して使用することが重要だからである。

5.1 機器性能のゆとり

回路設計にあたっては、どの球をさしても複雑あるいは微妙な調整をすることなく所望の性能が出るよう余裕のある設計考慮が望ましい。元来高信頼管はある時間を経過したらいっせいで交換をする分野から出発したもので、交換が円滑に行われるためにすでに説明したように主要特性は分布の形を規制していて、この分布形のロットなら無条件で使えることを建前としている。ARINC の例によれば⁽³⁾, 米軍不良球を調査した結果、1/3 は良品でこれは機器の複雑さ、取扱者の熟練度が関係するとして複雑な機器で未熟な取扱者でも間違いなく処置できるような機器構造であることが望ましいとしている。したがって規定された特性幅の中にある球ならすべてが支障なく使えるように、負饋還や自己バイアス、回路抵抗などが選定されることが望ましい。

5.2 最大定格と信頼度

一般に真空管はその使用条件により信頼度や寿命が著しく左右される。定格以上の使い方をすれば寿命は短縮する。このことに関しアメリカでの実験データがあり⁽⁶⁾⁽⁷⁾, 特にヒータ電圧と管壁温度 (つまり周囲温度) の上り過ぎを警告しているが、これはわれわれもしばしば経験したところである。

5.3 ヒータ電圧について

ヒータ電圧は特に定格値通りに維持する考慮が必要である。ヒータ電圧が過大のときはカソード温度が高くなりすぎその結果 g_m 低下, 絶縁劣化, グリッドエミッション増大, およびヒータカソード間漏洩電流 I_{hk} の増大などの好ましくない現象をもたらす。また逆にヒータ電圧の著しい低下は特性不安定や特性劣化を起す。したがってヒータ電圧はできるだけ変動が少ないことが必要である。どうしても異状電圧変動がさけられない場合は、ヒータ電圧を低いほうへの変動を大きくとり、ヒータ電圧の過大をさけるほうが寿命の点から好ましい。このことは特に真空管をカットオフの状態で作動させる機会の多い場合に、中間層抵抗増大防止の見地から重要であるとされている。

5.4 ヒータ回路についてのその他の考慮

ヒータ回路の設計にあたり考慮しなければならない項目につぎの

ことがある⁽⁸⁾。

(1) ヒータの直列接続

定電流用に設計された真空管とヒータ・ウォームアップ・タイム (heater warm up time, T_{hw}) が規格化された真空管以外はヒータを直列に接続することはさけるべきである。

もしこれを行えばスイッチを入れた直後の起動時にある真空管の陰極が過熱されたり、安定後もヒータ端子電圧が所望値にならないため真空管の正常な動作が期待できない場合もありうる。

(2) ヒータ・カソード間電圧 E_{hk}

高信頼管の寿命試験は E_{hk} が +135V (ヒータプラス) で 1,000 時間寿命が規定されているが、一般に真空管は E_{hk} 、特にヒータプラスの E_{hk} が低いことが望ましい。また E_{hk} がさらに低いと真空管がヒータ事故に対してより高信頼になると期待してよい。

(3) ヒータ・カソード間容量 C_{hk}

C_{hk} が規格に指定されている品種もあるが、一般に C_{hk} が同調回路の要素に入り込むことは好ましくない。ヒータはその目的から 1,200°C くらいの高温になるので熱変形がさがたいから、 C_{hk} が同調回路にはいと周波数変動、ハム、マイクロホニツ雑音発生などの問題を起しやすい。

5.5 グリッド回路

グリッド回路に使用されるグリッド抵抗値 R_{g1} はできる限り高くないことが望ましい。特に g_m の高い真空管を浅いバイアスで使う場合、ヒータ電圧が高すぎたり管壁温度が上りすぎたりすると真空管は急激に劣化する。 R_{g1} は可能な限り、高くないほうが望ましいが、場合によりやむを得ずある程度の高い値の R_{g1} が使われるときは陽極電流が不当に増加することを妨げるだけの、十分な直列抵抗を陽極回路や第 2 格子回路に挿入する必要がある。

5.6 管壁温度

高信頼管の寿命試験のとき、MIL では管壁温度が指定されており、おおむね一般真空管より若干の高温ふんい気中での使用が可能とされているが、元来真空管の管壁温度は低いにこしたことはなく、管壁温度が低ければそれだけさらに信頼度は増すと考えてよい。管壁温度を引下げるには通風をよくすることが重要である。シールドケースを使うとき、セットを密閉型にしなければならないとき、低気圧中や上空で使用するとき、および管壁温度が不当に上昇する原因があるときは、その使用状態において管壁温度が規格値をこえないよう確認が必要である。このことは種々の文献にも報告されており⁽³⁾、われわれもしばしば経験している。

5.7 例外的使用の場合

規格表に公表されてない性能がその真空管使用機器にとって重要なときは必ず真空管製造者に相談をしてほしい。これは真空管の風変りな使い方はいけないという意味ではなく、公表されていない特性は大抵は管理状態におかれていないので、製造会社により製造時期により相当な変動がありうるから、これが原因で好ましくない事態が起ることを防止するためである。

5.8 寿命の予知

高信頼管は第 1 図の寿命曲線の B 形が示すように初期不良がきわめて少ない τ_0 時間だけ使い、その後いっせい交換をする性質の用途から発展したものであるが、 τ_0 時間の後も使える球は使いたい場合がある。このときは定期点検により寿命の予知ができると好都合でしかも点検時に球をソケットから抜きさしすることなく目的が達せられるとさらに好都合である。真空管の寿命予知については、緩慢な特性劣化 (Gradual Failures) による寿命に関してはある程度可能で、おおよそつぎの二方法がある。

(1) E_f を下げる

セットを動作状態にしてヒータ電圧 E_f だけを少し (約 10%)

低下させると g_m が低下気味の球の摘発が可能である。また陰極から発生する雑音は g_m 低下に密接に関係する⁽⁹⁾。したがって E_f を下げて出力電圧や雑音増大をチェックすることは活性度低下すなわち g_m 劣化球の摘発に有効であるとされている。

(2) E_f を上げる

セットを動作状態にしてヒータ電圧 E_f だけを少し (約 10%) 上げると、グリッドエミッションの増大、および I_{hk} 増大やヒータ事故、電極間絶縁劣化に原因する雑音増大球の摘発に有効である。後者の場合、球にごく軽い打撃を与えると摘発がさらに確実に行われる。

なおセットの定期点検にバルブチェッカーが用いられるのを散見するが、球を抜きさしすること自体が好ましいことでなく、バルブチェッカーの選定と使い方にも慎重な注意が必要である。

5.9 予備機について

機器の故障がただちに重大な損失に結びついたり、人命にかかわるような使用目的に対しては通常予備セットが準備されることが常識になっているようである。元来真空管は消耗品であるが、第 1 図の τ_0 時間以降の使用に際しては特性の緩慢劣化球は前記の点検でほぼ摘出除去可能 (事実長時間使用後の不良球は緩慢劣化が主であるが) で、まれに起る突発不良に対しては予備機をもつことが好ましい。

6. 結 言

真空管を使う機器設計者のために、高信頼管の特色と望ましい使用法を述べた。われわれは絶えず高田・島田氏の提唱する⁽¹⁰⁾ 初期不良率のきわめて少ない真空管の実現に努力してきたが、その所産が高信頼管である。したがって高信頼管の特色をよく理解され、本文で述べた使用法を実行されれば必ずよい結果が得られるものと確信する。

最後に一言蛇足を加えると、本文をよまれて一般真空管が信頼性がないように受取られることを筆者は最もおそれるものである。テレビ、ラジオを主とする家庭用真空管はそれぞれ用途に応じて必要な特性を十分発揮し、しかも量産を利して非常な低価格としたもので、あまりひどい振動や衝撃もうけず、かつ受信機 1 台当たりせいぜい 20 本程度しか使用されてない家庭用には相当高い信頼性を示している。しかし最近の工業用、軍用など電子機器の進歩は 1 機器当りの真空管使用本数においても、その使われかたにおいてもますます増加複雑化の傾向にあるので、これらの用途に適當であるよう本文に記載した特色をもって製造されたものが高信頼管である。したがって一般真空管がきわめて低価格なのに対し、高信頼管がやや高価な傾向にあるのはやむをえないことで、あわせて需要家各位のご理解を得たいところである。

参 考 文 献

- (1) E. G. Rowe: Technique of Trustworthy Valves, B. IRE, Nov. 1951
- (2) M. A. Acheson & E. M. Mc Elwee: Concerning the Reliability of Electron Tubes, IRE Oct. 1952
- (3) E. R. Jervis: Reliability of Electron Tubes in Millitary Application, H. IRE, pp 902-906 June. 1954
- (4) G. Gage: High Reliability Miniature Tubes Electronics, Dec. 1950
- (5) : Preferred List of Special Quality Tubes ARINC REPORT No. 402-A July. 8. (1955)
- (6) H. T. Prager: Performance Evaluation of "Special Red" Tubes RCA Review, Sept. 1953
- (7) IRE Transactions on Reliability and Quality Control (1956)
- (8) 畑, 村田, 伊藤: 日立評論 別冊 27 1958
- (9) たとえば 甘粕: 通研月報 Oct., 1950
中村, 佐藤, 小松: 通研月報 Jan., 1953
- (10) 高田, 島田: 小数例による真空管寿命の推定法 信学誌, 7. 34 (26 年 6 月)