

UHF テレビ用送信管 2T72

New Power Triode 2T72 for UHF TV Transmitter

太 田 晃* 久 田 宏**
Akira Ôta Hiroshi Hisada

内 容 梗 概

UHF テレビ用の小電力送信管 2T72 を開発した。2T72 は同軸円筒構造の 3 極管で、サテライト装置に適する特性と、寿命的信頼度を重点に設計、製作された。試作管は特性試験、寿命試験によってほぼ目的のレベルに達していることが確かめられた。

1. 緒 言

昭和 36 年日立市に出力 100W の UHF テレビ中継(いわゆるサテライト放送) 実験局が開局して以来、全国各地に着々と UHF サテライト局が設置されつつあり、運用実績がふえるにつれて送信管に関する問題点も明らかになってきた。100W 装置においては比較的高電力段の 4 極管 4F16R, 5F60R, 7F13R はいずれも 10,000 時間以上の寿命をもち、まったく問題ないのに反し、低電力段の 2C39A にはサテライト装置に不適な点が浮かび上がってきた。この問題について日本放送協会技術研究所で検討した結果⁽¹⁾, 2C39A の多少の設計変更あるいは既存の他管種への置換えでなく、新管種の開発が必要と決断され、基本設計が行なわれた。日立製作所茂原工場ではこの基本設計に製造技術的な面から構造上の検討を加え、同研究所の依頼により試作を行なった。慎重な寿命試験を経て所期の性能がほぼ確認でき、新管種 2T72(R) として試作が完成したので概要をまとめて報告する。なお 2T72 は伝導冷却形、2T72R は強制空冷形であるが電気的特性は同一である。

2. 2T72 の設計と製作

2.1 板極形と円筒形

2T72 設計上の命題は 2C39A 並みのすぐれた動作特性を長寿命と両立させることであった。寿命を支配する重要な因子である陰極電流密度の比較を第 1 表に示す。2C39A の動作電流密度は他管種に比べて非常に高いが、この差がエミッション寿命に大きな影響を及ぼしているものと考えられる。これは直径の増大とともに生じるグリッドの冷却困難、グリッドと陰極の平行保持などの問題で陰極面積を十分とれないという板極管の宿命的な欠陥からきている。さらにこの陰極面積の制約のもとで大きな相互コンダクタンスを得るために陰極—グリッド間げきがきわめて小さく、使用中に生ずるわずかな軸方向の電極間げきの変化がサテライト装置には敏感に影響する。一般に板極管は電極引出部が簡単でインダクタンスや漂遊容量が小さく、動作上は有利であるが寿命的には上述の困難を内蔵している。一方、円筒電極構造は円筒端部に生ずる先端静電容量などのため原理的には動作上多少不利な点はあるが、グリッドの冷却が軸方向に行なわれるので所要電流値に応じて陰極直径を大きくすることにより UHF テレビ放送波帯程度の周波数では陰極面積の制約を受けることが実質上ほとんどなく、陰極電流密度を安全値内におさめることができる。第 1 表の 4F16R 以降の円筒電極 4 極管シリーズはこの考え方にしたがって最大陰極電流密度がほぼ一定の 110~120 mA/cm² に設計されている。

2T72 の設計はこれを出発点とし、円筒電極形が選ばれた。

* 日本放送協会技術研究所主任研究員

** 日立製作所茂原工場

第 1 表 UHF 管の電流密度

管 種	最 大 定 格		最大定格に対する電流密度 (mA/cm ²)	動作電流 (陰極電流) (mA)	動作電流に対する電流密度 (mA/cm ²)
	陽極損失 (W)	陽極電流 (mA)			
2C39A	100	125	250	40	80
4F16R	115	180	122	64	43
5F60R	450	500	116	220	51
7F13R	1,500	1,000	113	450	50
2T72	40	80	120	35	53

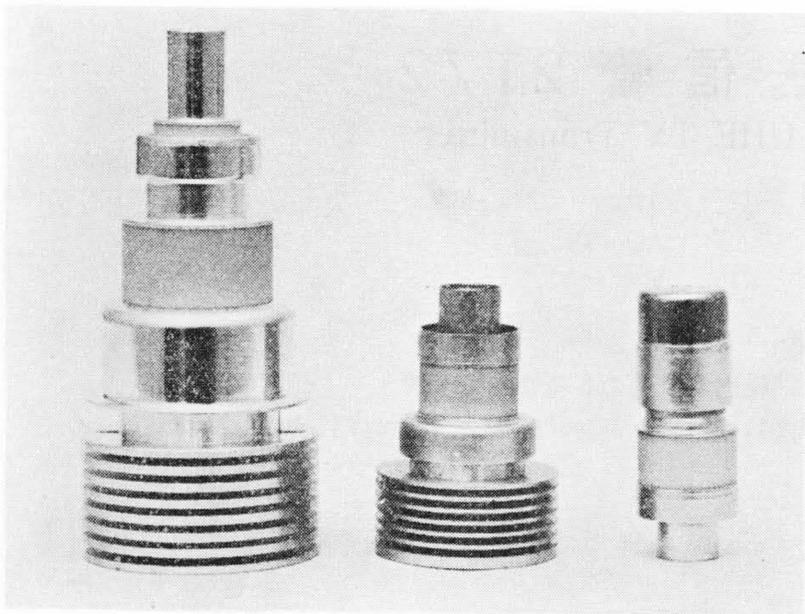
2.2 サテライト装置用送信管としての検討⁽²⁾

サテライト装置における広帯域直線電力増幅管という観点からは周知の figure of merit = gm/C を大きくし、インセル効果による電流特性の曲りを生じない設計とするほか、寿命的には特性変化による動作直線性の劣化に対する考慮が必要である。サテライト装置の電力増幅管は通常 A B 級で動作し、零信号陽極直流電流 (アイドル電流) を適当に選ぶことにより動作直線性を補正している⁽³⁾。使用中もし特性変動があつてアイドル電流が減少する (相対的に動作点がずれる) と直線性が失なわれる。具体的には陰極物質の蒸着による μ の上昇、中間層抵抗の増大、グリッド陰極間げきの増大によるパービアンスの低下などがいずれもアイドル電流を減少させる方向に作用する。このうちグリッド陰極間げきの増大は板極管に特有で、陰極支持体の収縮が原因と考えられ、材料の組合せなどで軽減はできるがある程度避け得ないものである。C 級大振幅動作では多少の特性変動があつても動作状態の変化としては現われないので、通常の用途にはまったく問題とならないが、サテライト装置という特殊用途に対しては十分考慮しておく必要がある。円筒電極形では電極間げき増大の現象は本質的に起こらない。2T72 を円筒電極形とした第 2 の理由はここにある。

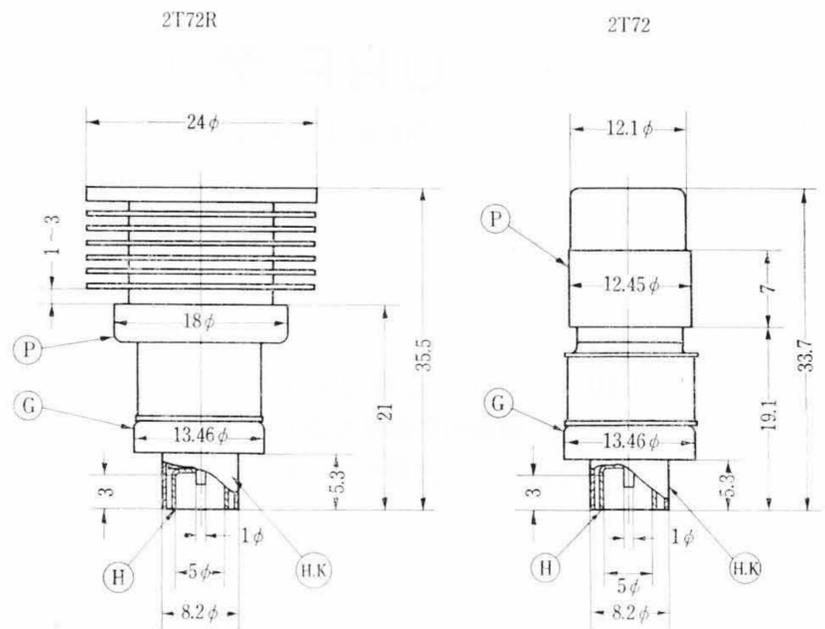
サテライト装置では負荷抵抗が低く、低陽極電圧で使うことが有利であるが、このような条件のもとでも負グリッド範囲で所要電流値が得られること、すなわちパービアンスが大きく、 μ の小さいことがのぞましい。 μ の低下はインセル効果とのかねあいで限度があるが、2C39A の 90 に対し 2T72 の μ は 75 に設計された。

2.3 冷 却 方 式

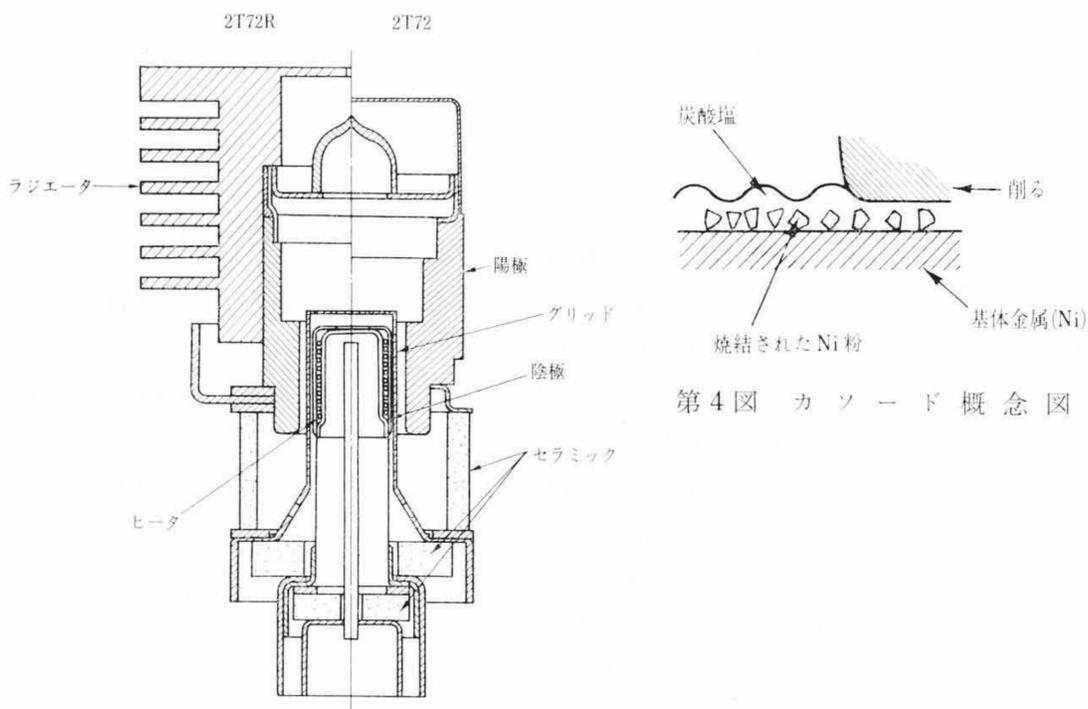
従来サテライト装置に用いられてきた送信管はすべて強制空冷形である。大出力の装置では強制空冷も別に不都合ではないが今後増加が予定されている小電力サテライト装置では冷却扇が省略される傾向にあり、これに備えて 2T72 は伝導冷却形とした。送信管の伝導冷却は宇宙通信用として発展した方式で、陽極に熱伝導の良好な物体を結合して熱をとり出し、途中必要に応じてペリリア磁器などで電氣的に絶縁したうえ、きょう体など表面積の大きい部分に熱を伝え、放射と自然対流により放散する。この方式によれば冷却扇が不要になるほか空洞共振器の設計に通風上の制約がなく、さらに積極的に同軸空洞の内導体を伝熱体を利用するというような電氣的、



第1図 左から 2C39A, 2T72R, 2T72

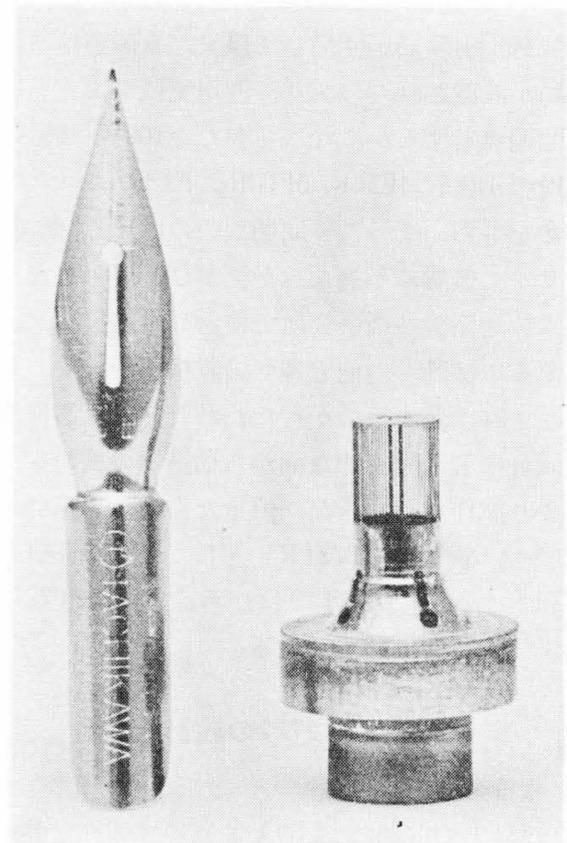


第3図 2T72(右), 2T72R(左)の外形



第2図 2T72R, 2T72 断面構造

第4図 カソード概念図



第5図 グリッド

熱的設計の組合せを工夫すればきわめて簡潔な構造の空洞が実現でき、高周波的にも有利である。また冷却風によるゴミの運びこみがなくなり保守が容易である。2T72の伝導冷却特性については3.2(1)に述べる。なお、強制空冷形のラジエータをもつ2T72Rも同時に試作した。

2.4 構造上の特長

2T72, 2T72Rの外観を2C39Aに比べて第1図に、断面構造を第2図に、外形寸法を第3図に示す。

(1) 陰極

陰極は円筒形の傍熱形酸化物塗布陰極である。陰極は設計の主要点である寿命に直接影響をもつ重要な部分であるため十種あまりの仕様で試作管を作り比較試験を行なった。その結果次にのべるマトリクス処理を行なったものを選んだ。マトリクス処理とは基体金属(ニッケル)表面にニッケル粉末を薄く焼結することで、酸化物被覆と基体との接着を良好に保ち、両者間の接触抵抗を小さくしている。ニッケル粉末は50μ前後のものをバインダで練り、粒子が一重に並ぶ程度の厚さに塗布、乾燥の後、水素炉で焼結する。これに炭酸塩を吹き付けたのち表面の凹凸をリング状の治具で削り取る(第4図)。基体円筒はヒートダムとなる薄肉部も一体のプレス部品からなり溶接部の経時変化による電極変形のおそれはまったくない。

(2) グリッド

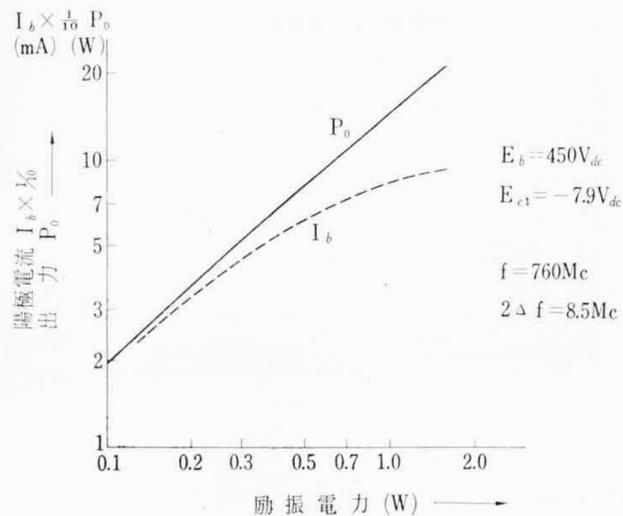
グリッドは4F16Rをはじめ一連のUHF4極管と同じくCu-Ni-P合金の円筒に放電加工でスリットを切って作られる。2T72のグリッドは寸法がきわめて微細であるため特に高精度に作られた電極で十分吟味された作業条件のもとで加工されている。最終的に調整されたグリッド線径は61μである。グリッドの写真を第5図に示す。放電加工電極の精度に左右される線径間のバラツキだけでなく、個々の線の軸方向の不均一も直線性を劣化させる。2T72では線径の絶対値がきわめて小さいためわずかの不均一も影響が大きい。この点特に加工技術を検討し、軸方向の線径は放電加工法によるこの種のグリッド製作技術の極限と考えられるまでの均一化に成功した。

(3) 陽極

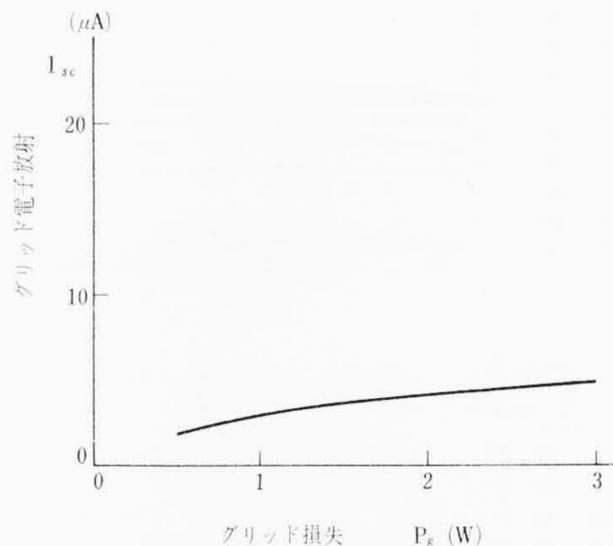
第2図に見られるように陽極はグリッドと対向する部分以外、内径を大きく削って先端容量の減少を図っている。実際の減少量は約0.15PFである。また、陽極は本体と頂部封止板が別々に作られ、すべての電極組立終了後この部分が封止される。これにより陽極、グリッド、陰極の心出しとそのチェックを正確容易に行っている。陽極-グリッド間に封着されたセラミックは静電容量減少のため薄肉円筒形となっており、陽極(銅)の膨張力を間にはさ

第2表 2T72, 2T72R の定格

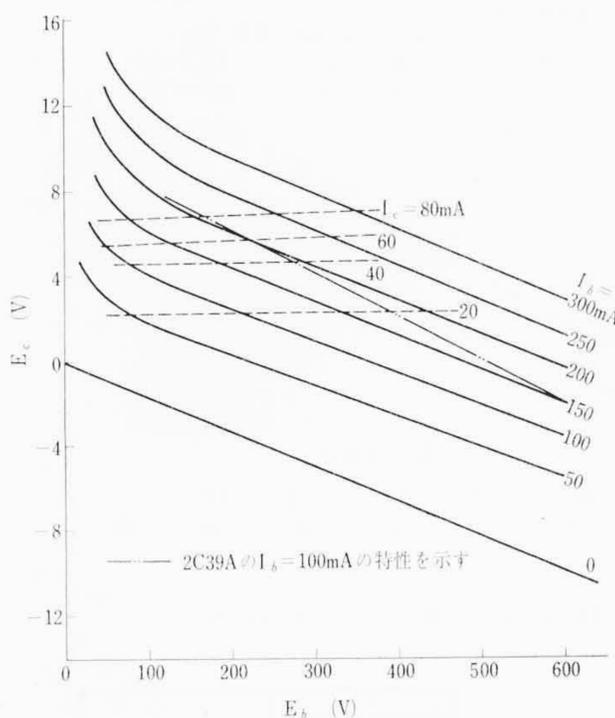
電 気 的 定 格	
一 般 定 格	
陰 極.....	傍熱形酸化陰極
電 圧.....	6.3 V
電 流.....	0.9 A
最小子熱時間.....	60 s
増 幅 率.....	75
電 極 間 静 電 容 量	
グリッド — 陰 極.....	約 9.0 pF
グリッド — 陽 極.....	約 2.6 pF
陽 極 — 陰 極.....	0.06 pF max
最 大 定 格	
陽 極 直 流 電 圧.....	750 Vdc
グリッド直 流 電 圧.....	-100 Vdc
陽 極 直 流 電 流.....	80 mAdc
グリッド直 流 電 流.....	30 mAdc
陽 極 損 失.....	40 W
グリッド損 失.....	1 W
周 波 数.....	1,500 Mc
機 械 的 定 格	
外 形 寸 法	2T72 2T72R
全 長.....	33.7..... 35.5 mm
最 大 部 直 径.....	13.46..... 24 mm
重 量.....	約 14 g 約 20 g
使 用 位 置.....	任意 任意
冷 却	
陽 極.....	伝導冷却..... 強制空冷
風 量..... 約 0.05 m ³ /min
最 高 温 度.....	250 250°C
各 端 子 部 最 高 温 度.....	250 250°C
流 入 空 気 最 高 温 度..... 45°C
最 高 周 囲 温 度.....	45 -°C



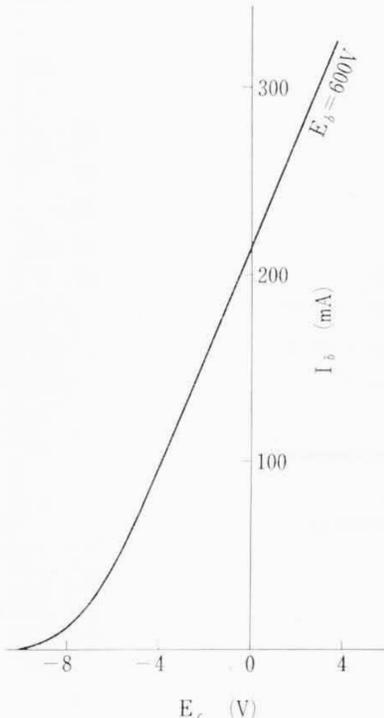
第8図 動作特性の測定例



第9図 グリッド電子放射



第6図 2T72(R) 定電流特性



第7図 E_c - I_b 特性

まれたコパールフランジ(伝導形)または2枚のコパールワッシャ(空冷形)によってセラミックから遮断している。

3. 2T72 の 特 性

3.1 電 気 的 特 性

(1) 静 特 性

第2表は2T72(R)の定格表、第6図は定電流特性である。第6図に記入した2C39Aに比べ低陽極電圧での陽極電流が大きく、負グリッド範囲が広がっている。E_c - I_b 特性は第7図に示すとおりである。

(2) 動 作 特 性

動作試験はグリッド接地形空胴共振器を用いて周波数 760 Mcで行なわれた。測定値の一例は第8図に示すとおりである。帯域幅 8.5 Mc で電力利得約 15、陽極能率約 35% が得られている。

(3) グリッド電子放射

グリッド強度の目安となるグリッド損失とグリッド電子放射の

関係を第9図に示す。定格最大グリッド損失 1 W に対し 3W までグリッド電子放射の急増はなく、十分な余裕を示している。

(4) 寿 命 試 験

設計の重点である長寿命を実証するため、陰極仕様の比較を含め寿命試験は繰返し慎重に行なわれた。直流動作、ヒータサイクリング、グリッドを商用周波で励振した交流動作寿命の経過を第10～12図に示す。

3.2 冷 却 特 性

(1) 伝 導 冷 却 形

伝導冷却は伝導路の形状寸法材質などにより冷却効果に著しい差が生じるが、第13図は図中に示す比較的単純な構造の冷却系を用いて測定した2T72の陽極損失と各部の温度上昇である。この結果から、2T72 1個当たり 2 mm 厚、約 30 cm 四方の銅板に相当する放熱体が必要である。

(2) 強 制 空 冷 形

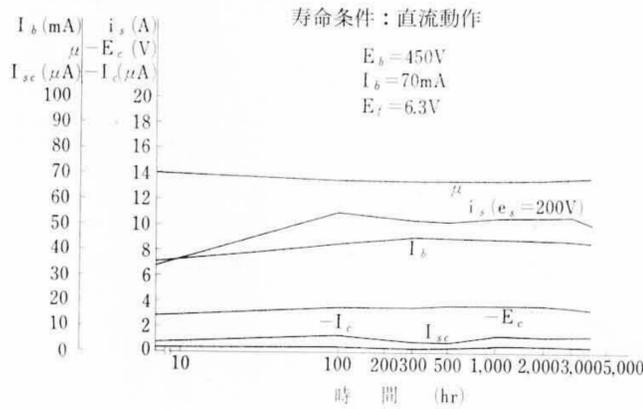
第14図は強制空冷形(2T72R)の冷却風量、陽極損失、陽極温度の関係である。40Wの最大陽極損失に対し冷却風量は 0.05 m³/min で十分である。

4. 伝 導 冷 却 について

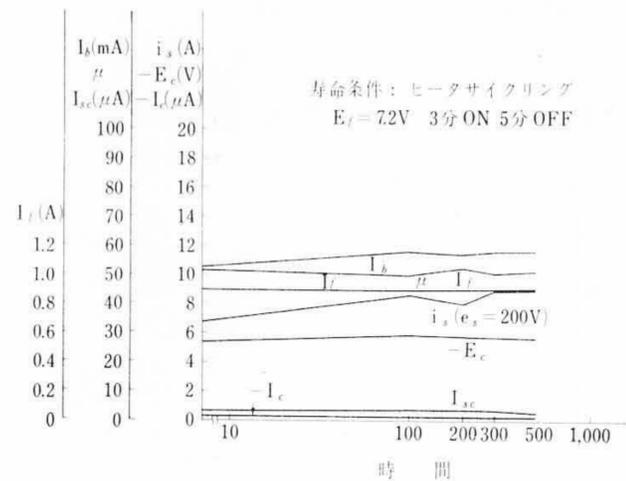
送信管の伝導冷却方式は冷却系が陽極共振回路に並列にはいるもの(第15図a)、直列にはいるもの(第15図b)、および共振回路外にあるものに大別される。

(1) 並 列 形

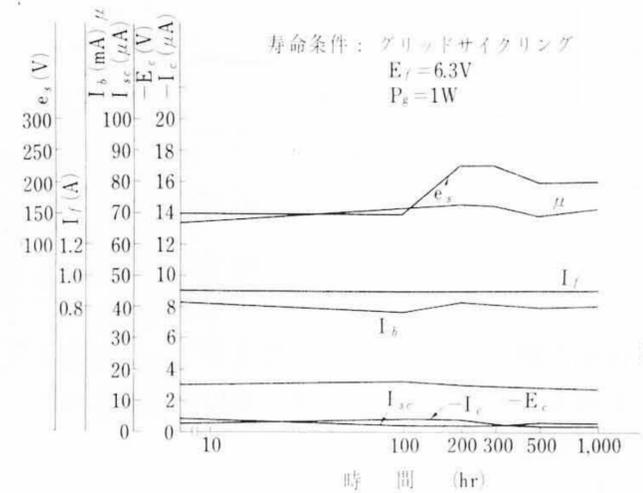
図で明らかなように並列形の場合、熱伝導抵抗と静電容量がともに小さくなければならない。第16図によって考えるとA面と



第 10 図
寿命データ (1)
直流動作



第 11 図
寿命データ (2)
ヒータサイク
リング



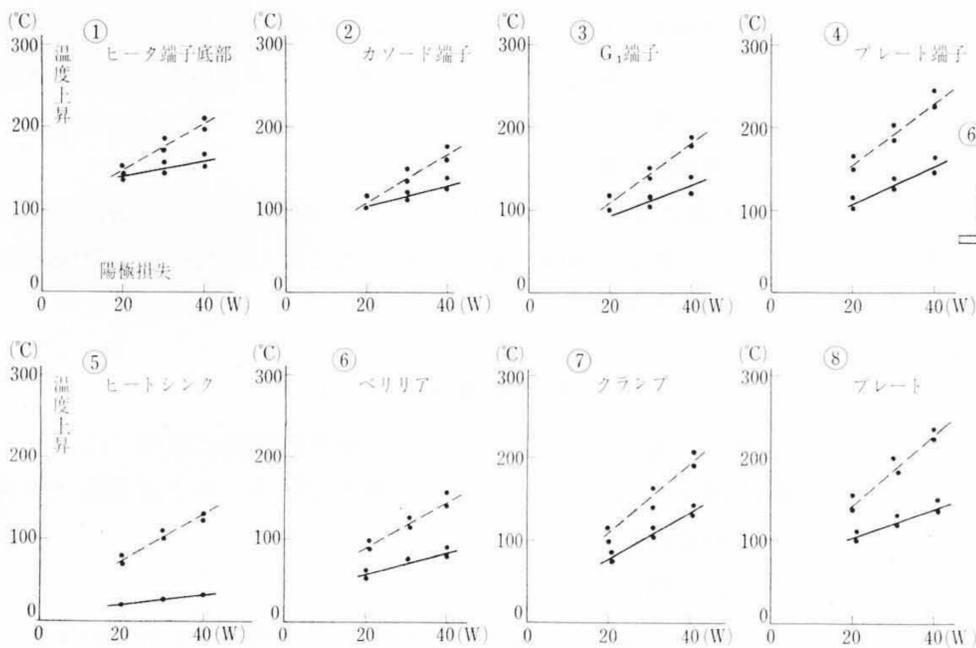
第 12 図
寿命データ (3)
グリッドサイ
クリング

記号	測定項目	測定条件
I_b	陽極電流	$E_b=500\text{ V}, E_c=0, R_k=100\ \Omega, C_k=100\ \mu\text{F}$
μ	増幅率	$E_b=500\text{ V}, I_b=50\text{ mA}$
$-E_c$	グリッド電圧	$E_b=500\text{ V}, I_b=60\text{ mA}$
$-I_c$	グリッド逆電流	$E_b=500\text{ V}, I_b=60\text{ mA}$
I_{sc}	グリッド電子放射	$P_g=1\text{ W}, t=15\text{ s}$
e_s	エミッション電圧	$i_s=10\text{ A}$
i_s	放射電流	$e_s=200\text{ V}$

E_f はすべて 6.3 V

ヒートシンク 36.5×27.5cm 厚さ 1mm } 材質: 銅
ヒートシンク 12×12 cm 厚さ 2mm }

日立F513ベリリア使用。各端子は
静特性測定用ソケットで接続。



第 13 図 2T72 伝導冷却の一例

B面の温度差 ΔT は

$$\Delta T = T_1 - T_2 = \frac{tW}{kS} \dots\dots\dots (1)$$

T_1, T_2 : A, B面の温度
 S : 断面積
 t : 厚さ
 W : 通過熱量
 k : 熱伝導率

一方、静電容量は

$$C = \frac{\epsilon S}{t} \dots\dots\dots (2)$$

ϵ : 誘電率

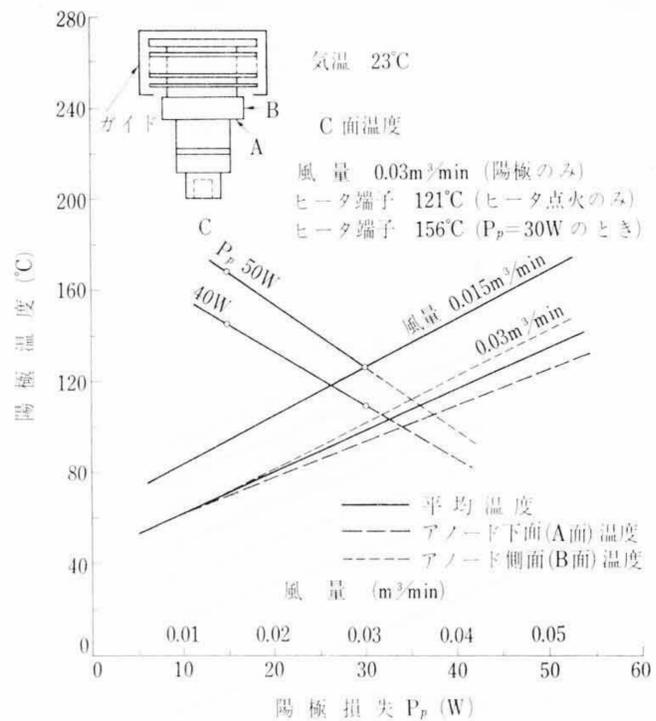
であるから(1), (2)式を組み合わせると

$$\frac{k}{\epsilon} = \frac{W}{C\Delta T} \dots\dots\dots (3)$$

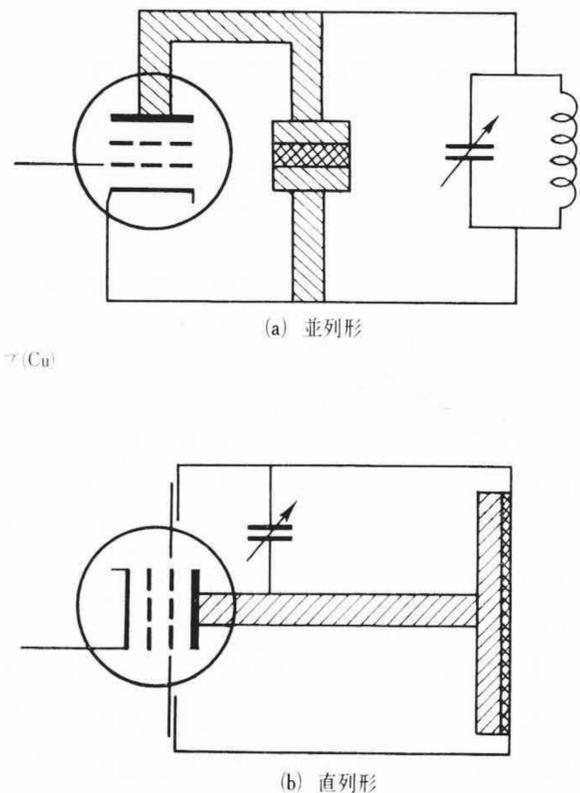
あるいは熱的コンダクタンスを $Y = \frac{W}{\Delta T}$ で表わせば、

$$\frac{k}{\epsilon} = \frac{Y}{C} \dots\dots\dots (3')$$

となる。左辺は材料によって定まる値で並列形伝導冷却用絶縁物



第 14 図 2T72R の冷却特性



(ハッチングは導体, クロスハッチングは絶縁物を示す)
第 15 図 伝導冷却の形式

第3表 伝導冷却用絶縁物の特性

	誘電率	熱伝導率 cal/cm ² /cm/s/°C	figure of merit k/c × 1,000
ベリリア	5.8	0.4	69
アルミナ	8~10	0.04	4.5
マイカ	5~9	0.0014	0.2
テフロン	2	0.00035	0.18
ポリエステル(マイラー)	4~6	0.00034	0.068

の figure of merit ともいうべきものである。数種の絶縁物の誘電率、熱伝導率ならびに figure of merit を第3表に示す。

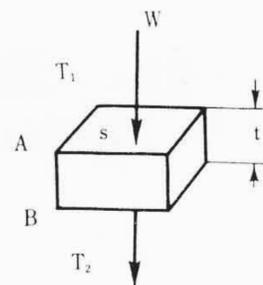
(2) 直列形

この場合は絶縁物のもつ静電容量は一般に大きいことが必要であるから絶縁物の厚さは十分小さく作られ熱伝導上の要求と方向としては一致する。普通は静電容量の要求から耐圧の許すかぎり薄いマイカが多く使われるが、第3表からもわかるようにマイカは熱伝導が劣るため熱的設計のチェックを十分に行なうことが望ましい。

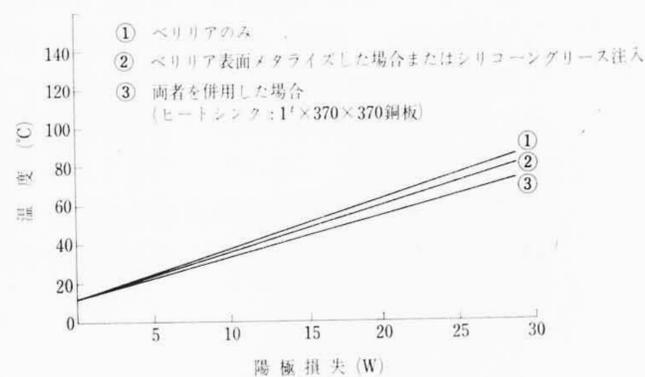
(3) 外部形および伝導冷却系の一般的注意

伝導系が共振回路外にある場合はもっぱら熱的な条件から設計が行なえるが、一般にこの場合には伝導路が長くなることが多く熱源(主として陽極)と放熱体(ヒートシンク)の間の熱抵抗の増大に注意しなければならない。真空管の許容陽極温度と通常のヒートシンクの温度、したがって両者の温度差は球の大小に無関係にほとんど一定であるから、陽極損失に比例して伝導路の熱抵抗を小さくしなければならず、設計上細心の注意が必要である。伝導路内の各部品の接触面の状態は熱抵抗に大きく影響する。接触面へのシリコングリス注入、ベリリア表面のメタライズなどが熱抵抗減少に有効である。

第17図は2T72の冷却系におけるメタライズとグリスの効果を示す実測値である。電気的接続に用いられるコンタクトフィンガの熱抵抗は形状材質により相当異なるが普通の状態で銅と接触しているとき、接触長1cm当たり10°C/W程度もあるといわれ、多くの場合コンタクトフィンガのみで陽極損失を引き出すことは危険である。2T72の場合、許容陽極温度250°Cであるからヒートシンク最高温度を100°Cとすれば40Wの陽極損失を放散させるには250-100/40=3.75°C/Wの伝導路が必要である。陽極直径12.45mmにコンタクトフィンガを接触させたとすれば2.5W/cmの熱抵抗があり他の部分の熱抵抗を残り1.25W/cmに抑えることはほとんど不可能である。したがって2T72の伝導冷却は銅



第16図



第17図 ベリリアと金属の接触面へのメタライズまたはシリコングリス注入の効果

ブロックなどを用いて熱抵抗を小さくすることが必要である。

5. 結 言

2T72(R)は初期のUHFテレビサテライト装置が既存品種のうちから送信管を選択採用したのに対し、装置自体の実用経験を十分にとり入れた専用新管種である点に新しい性格をもっている。特に設計製作とも寿命的信頼度を第一義に考慮して、無人化が原則となりつつあるサテライト装置の動向にこたえている。寿命試験の経過はほぼ目的の達せられていることを示している。

2T72の試作に関しては日本放送協会技術研究所電子管部、開発部、技術局保全部の各部長をはじめ各関係のかたがたに終始ご熱心なご指導をいただいた。ここに厚くお礼申しあげる。また試作にご協力いただいた日立製作所茂原工場の各位に感謝する。

参 考 文 献

- (1) 太田: UHF テレビサテライト装置用真空管, NHK 技研月報 昭 39.4. P. 20~24
- (2) 久田: UHF テレビ用送信管 7F70R, 日立評論 46, 71~75 (昭 39-4)
- (3) 副島, 桑原, ほか: UHF サテライト装置, NHK 技術研究 14, 6, P. 384 (昭 37-7)