

V H F 送 信 管 8 F 7 6 R

VHF Transmitting Tube 8F76R

久 田 宏* 川 島 真知夫*
Hiroshi Hisada Machio Kawashima

要 旨

信頼度を重視した設計による VHF テレビおよび FM 放送用 10 kW 級送信管 8F76R を NHK の指導により開発した。従来品種の問題点を分析し設計的にそれぞれ対策を施した。とくにグリッドについてはモリブデン板放電加工方式を採用し信頼性の向上に寄与していることを確認試験により明らかにした。

1. 緒 言

テレビや FM の放送網の目ざましい拡大充実に伴って、保守量の著しい増加をカバーするために、送信設備の無人化や自動化が積極的にすすめられる一方、保守、補給業務の簡易化、計画化のために主要な消耗部品の一つである送信管の特性の均一化と信頼度の向上が強く望まれている。これに対処するため日本放送協会 (NHK) ではすでに昭和 36 年ごろから一貫した方針のもとに放送用高信頼形送信管系列の整備に意を注がれている。日立製作所が同協会のご指導をうけて開発した 2T72(R)⁽¹⁾⁽²⁾、4F64(R)⁽²⁾、6F62R⁽³⁾⁻⁽⁶⁾、7F60RA はこの系列整備計画にもとづく VHF 送信管である。これらに続いて系列を完成させる 10 kW 級送信管は基幹局に使用されるという使命の重大さと、大電力管であるための管球設計上の条件のきびしさから、既開発品種の思想を踏襲するにとどまらず、さらに高度の技術水準のものでなければならぬと考えられる。ここに概要を報告する強制空冷 4 極管 8F76R (図 1) はこのような考え方のもとに NHK が示された基本設計を日立製作所において具体化したものである。

2. VHF 大電力送信管の問題点と 8F66R

具体例をあげて説明することにする。

VHF 帯のテレビ放送用には、アメリカで 10 数年前に開発された強制空冷 4 極管 6166 (日本名 8F66R) が世界的に普及しており、数年前からは外囲器をセラミック化した 6166A/7007 (8F66RA) に置換されてなお盛んに使用されている。この品種が開発当時画期的な送信管であったことはその普及ぶりから明らかであり、テレビ放送の発展に残した功績はきわめて大きい。その後の送信管技術の進歩ことに UHF 送信管の開発に伴う新技術の実用化により、8F66RA の設計が陳腐化してきたことはいなめない。またここ数年の使用実績をみると、放送事故に直接つながる電極接触、特性変化、管球破損など自然寿命でない不良が交換総数のおよそ半分を占めており、開発以来製造者、使用者によって続けられている品質改良の努力によっても決定的効果のみられない現状は、その底に設計的な問題点をもっていると解すべきである。

動作波長から決められる寸法的制限の中で、必要な電力を最も安全に処理する方法を求めることが VHF 大電力送信管設計上の基本的課題である。電力が大きくなるほど電極単位面積 (または体積) 当たりの電力密度が増大するという原理上の条件を、新規な製造技術や材料によって克服したときはじめて信頼度の飛躍的向上が実現できる。このような観点から 8F66RA の電極構造 (図 2 (b)) をおもな不良現象⁽⁷⁾と対応させて考えてみる。

2.1 フィラメント……短期エミッション劣化

テレビ送信管として広帯域特性に必要な放射電流を十分とれるよ

* 日立製作所茂原工場

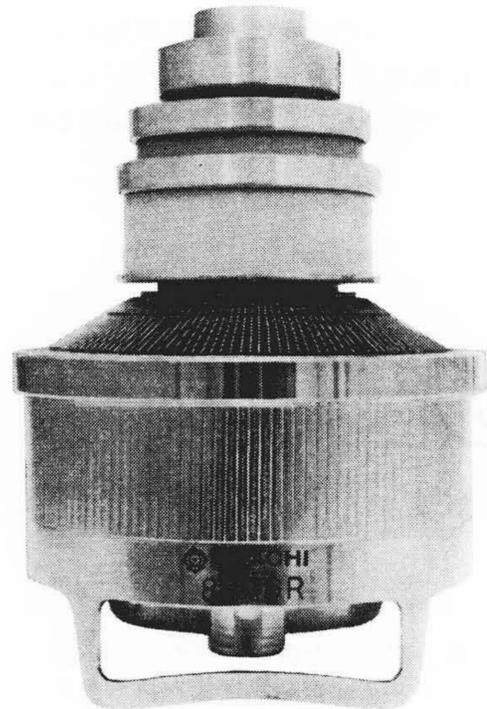


図 1 8 F 7 6 R

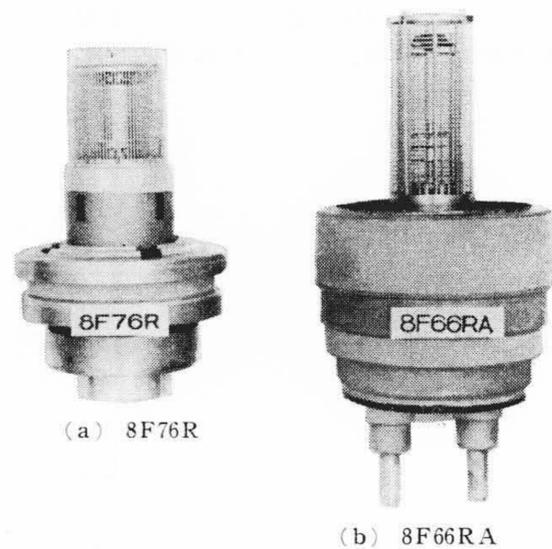


図 2 電 極 構 造 の 比 較

う出力に比べ大きなフィラメント電力を、波長で制限された小さな電極占有体積に与えるため円周上に直立した比較的太いフィラメント素線を頂部で束ねた、いわゆるマルチストランド形をとっている。素線が太く端冷却が大きいため陰極加熱効率が低く、散逸した熱がグリッドをはじめ他の部分に余分な温度上昇をもたらすだけでなく、実効的な電子放射面積が小となり、その部分の放射電流密度が過大となる。

2.2 グリッド……電極接触、特性変化 (第 2 グリッド電流増大など)

8F66RA のグリッドは図 2 (b) にみられるとおりスパイラルのグリッド線 (白金クラッドモリブデンまたはタングステン) を支柱に溶接した、短波用の 3 極管などと基本的に同形式のものであり、本質的に工作精度が十分でなく、VHF 帯で要求される狭い電極間

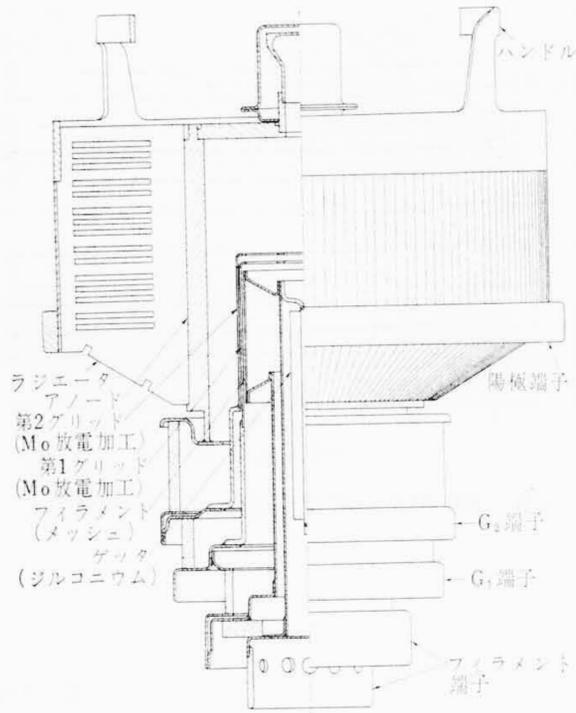


図3 8F76R 断面構造

げきに設計することが危険なため、比較的間げきを大きくとり、励振電圧を高めることにより電子走行角を許容限界におさめている。しかしこれは必然的な電極負荷密度の増大にさらに悪条件を重ねる結果となり、グリッドの表面損失密度が 12 W/cm^2 (最大定格時) に達している。同様のグリッド構造をもつ短波送信管では $3\sim 7 \text{ W/cm}^2$ に設計されているのにくらべるときわめてきびしい条件といえることができる。動作中の第1、第2グリッド線の間目ハズレによる特性変化、グリッド線の重力によるサグや電極接触は、このような工作精度上の問題と表面損失密度の異常な高さに根本的原因があると思われる。

2.3 外囲器および端子構造……ガラス破損、真空度劣化、端子焼損

VHF帯では出力電極間(4極管では陽極-第2グリッド間)の高周波電圧による外囲器絶縁物の誘電加熱が顕著となり、ガラスの吸込みや破損が経験される。この点については誘電損失係数が小さく、許容温度の高いセラミックにおきかえた8F66RAで対策された。しかし真空度劣化の対策として冷却効率を高めるため、陽極に冷却翼を直接銀ろう付けするいわゆるインテグラルラジエータ形式をとることや、フィラメント電流による端子焼損の危険を除きリードインダクタンスを減らして入力同調を容易にするため全同軸端子形(8F66RAは11φの棒状フィラメント端子)とすることなど最近のUHF、VHF送信管で一般に行なわれるようになった技術を採用入れることは、ガラス製の8F66Rとの互換上不可能であるため、セラミック化の効果がかなり限定されている。

3. 8F76Rの構造と特色

このような問題点の分析をもとに、偶発事故確率の減少、放送機に使いやすかつ分布幅の小さい特性、適正な余裕度の確保という前述の高信頼形送信管系列に共通した考え方を次のような形で8F76Rの構造(図2(a)および図3)に具体化した。

3.1 フィラメント

同系列の送信管6F62Rや7F60RAで良好な結果を得ているトリウムタングステンメッシュ形を採用した。メッシュフィラメントは比較的細い素線を用いるため端冷却が少なく表面有効度が大きくとれるので同一の陰極占有体積または加熱電力に対し放射電流の余裕度を大きくすることができる。また磁気ハムが少ないという利点もある。8F76Rでは0.23φの線を用い、傾斜角を17度とした。

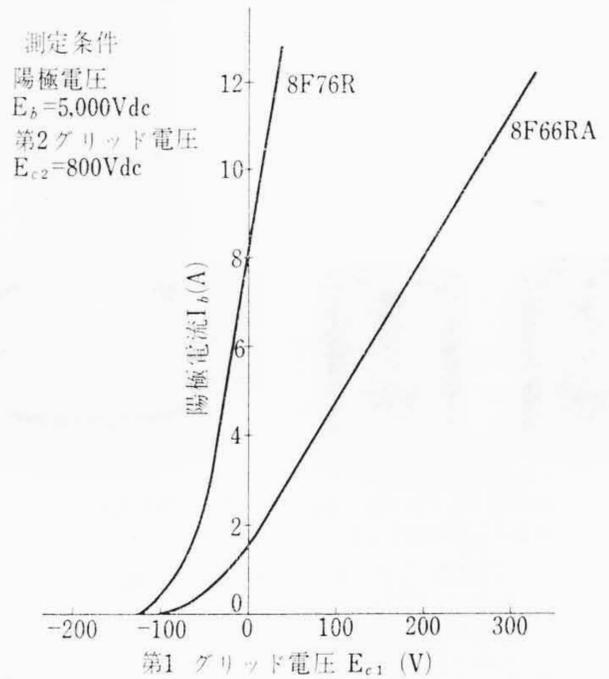


図4 相互特性の比較

3.2 グリッド

UHF送信管で発展した技術を採用入れて寸法精度が高く、きわめて堅ろうなモリブデン板放電加工グリッドとした。これについては4.に述べる。

3.3 外囲器および端子構造

外囲器は全セラミック(高アルミナ)で、8F66R(A)との互換性を考慮しない方針で2.3に述べた理由により全同軸形端子、インテグラルラジエータ形を採用した。また、出力側の形状に検討を加えて出力静電容量を約20PFと現存するこのクラスの送信管で最小の値におさえた。

3.4 共振特性

全同軸形端子として入力同調の容易化をはかったことは前述のとおりであるが、さらに出力側については組立工程の最終段階で部分組立体を標準空洞に装着し、共振周波数を標準値 $\pm 1 \text{ Mc}$ 以内に合わせた状態で封止することにより放送機同調可変範囲を小さくすることができ、管球交換時の再調整も簡単に行なわれるようにした。

3.5 その他

電力利得を高め、負グリッド動作範囲を広くとるため高相互コンダクタンス、低第2グリッド増幅率の特性をもたせるように電極設計を行なった。8F66RAの g_m 20 m μ に対し8F76Rは60 m μ 、 μ_{g2} は10に対し8.75である。図4は相互特性の比較を示したものである。

陽極損失はカラー放送において十分な余裕度をもたせるため8F66RAの12kWに対し15kWとした。なおこの値は2管動作で25kW、4管で50kWの出力も可能にしている。

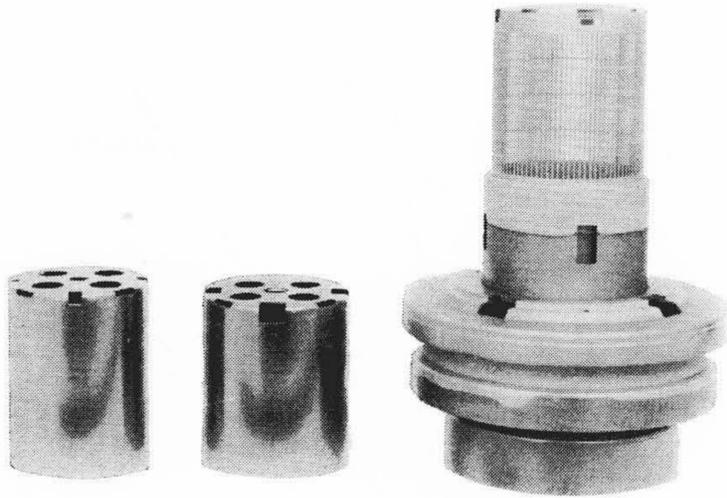
4. モリブデン放電加工グリッド

2.で述べたようにきびしい条件のVHF大電力送信管のグリッドには短波帯の延長では不十分である。8F76Rのグリッド設計にあたっては既存の製造技術にとらわれず原理的に最適なものを選択するという考えに立って検討を重ねた結果、次のような利点を有するモリブデン板放電加工方式に決定した。

4.1 放電加工グリッドの利点

(1) 目合わせが完全

放電加工を用いた4極管のグリッド製作工程においては、第1および第2グリッドとなるべき金属カップ(ブランク)を、両者の支持体の間にセラミックを介してろう付けによりあらかじめ同軸的に固定しておき、2個のブランクを貫通して1個の放電加工



左から G₁ ブランク, G₂ ブランクおよび放電加工～白金メッキの完了したグリッド組立

図5 グリッドの外観

電極によりスリットを形成するのでほとんど完全に目合わせされたグリッド組立体が得られる。他の方法では、たとえ個々のグリッドが高精度に作られていても2個のグリッドの目合わせ誤差が残ることは避けられない。

(2) グリッド組立体としての特性を予知できる

第1および第2グリッドが組み合わさった状態でできるので、第2グリッド増幅率に対応する静電容量を測定することにより電気的特性を直接正確に予知できる。一般のグリッドでは個々に測定した幾何学的寸法データから間接に計算により特性を推定する必要があり、特性のパラッキを十分におさえられない。

(3) 機械的強度が大きい

ブランクの肉厚を適当に選ぶことにより遮へい率を大きくすることなく強度を高めることができる。またブランクは単一の板から成形されるから数点の部品を組み合わせて構成する場合のような溶接またはろう付け部分の金属のひずみや脆化のおこるおそれがない。

4.2 モリブデン放電加工グリッドの製作

このようにすぐれた放電加工グリッドも、ブランクにモリブデンを用いたものは製造上きわめて困難な技術的問題を伴うため外国における実用例も二、三にとどまっている。

8F76Rの場合、まず難加工材であるモリブデン板から、直径約45mm、深さ約60mm、肉厚0.38mmにおいて、真円度を含む直径公差0.1%、肉厚公差5%という、グリッドとして電極構造論的に要求される精度を満たすブランクを製作する。これをプレス加工で量産するためには、深絞り性にすぐれ異方性のないモリブデン素材と、特別のプレス加工法の開発を必要とした。また、モリブデンは放電加工技術的にも未知の部分の多い材料であるため、放電加工電流の周波数や波形についての最適条件を見出すために詳細な基礎実験が行われた。また成形した板材にスリットをもうける場合、グリッド線の長手方向とモリブデンの結晶組織の方向が一致しないから、管球動作中の高温下で成長した巨大結晶が粒界すべりを生ずるおそれがある。これを防ぐためMo材そのものの改良についても検討した。

このようなモリブデンに関する冶金学問題、塑性加工、放電加工技術的問題については日立製作所中央研究所の援助によりそれぞれ適切な解決手段を得ることができた。これらについてはいずれそれぞれの専門分野において発表される機会があることと思われる。

次に、線における白金クラッドに相当するグリッド電子放射抑制層を、スリットを設けたあとのグリッド線表面に形成しなければならぬことがこの種のグリッドで新たに生じた電子管技術的問題の一つである。すぐ考えられる方法は白金メッキであるが、実際には白

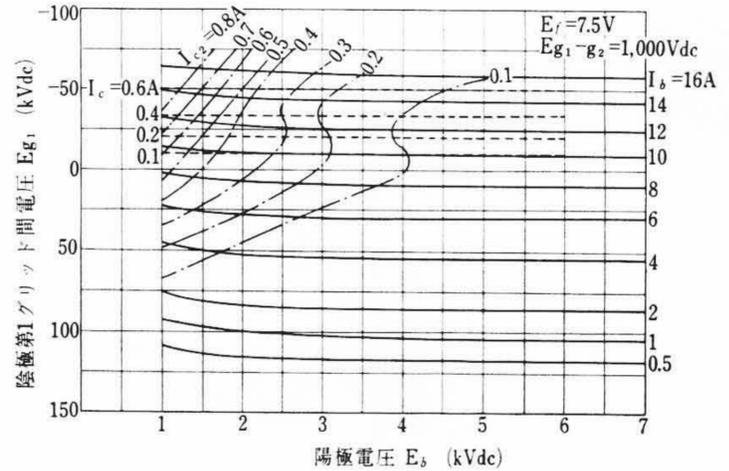


図6 8F76R定電流特性 (グリッド接地)

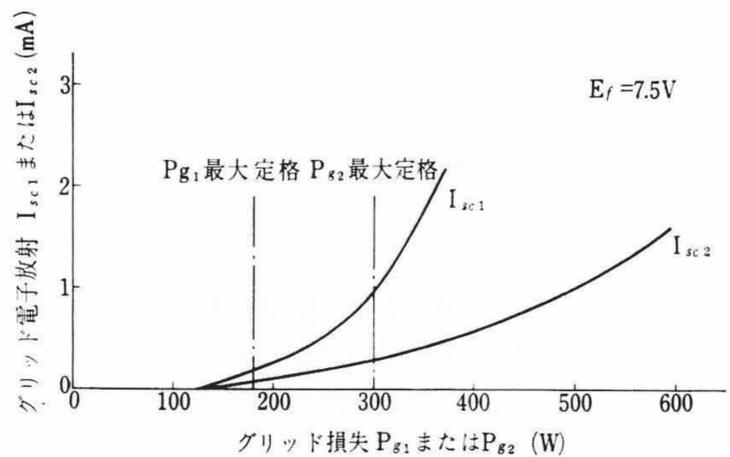


図7 グリッド電子放射特性

表1 電流分配の比較

項目	8F66RA	8F76R	8F64R	単位
陽極電流 i_b	10	10	10	A
第2グリッド電流 i_{c2}	0.8	0.46	0.53	A
第1グリッド電流 i_{c1}	0.85	0.11	0.52	A
陽極電圧 R_b	1,500	1,500	1,500	V
第2グリッド電圧 E_{c2}	890	1,000	1,000	V _{dc}
第1グリッド電圧 e_{c1}	225	12	8	V
電流分配 $\frac{i_{c1}+i_{c2}}{i_b+i_{c2}+i_{c1}}$	14.2	5.48	7.23	%
電流分配 $\frac{i_{c2}}{i_b+i_{c1}+i_{c2}}$	6.87	4.34	4.91	%
グリッド形式	スパイラル	放電加工	フォトエッチング	—

* グリッド接地定電流特性の公表データによる

金のモリブデン中への拡散を防止するために、レニウム⁽⁸⁾、ロジウム⁽⁹⁾などのち密な中間層を必要とする。図5にグリッドの外観を示す。

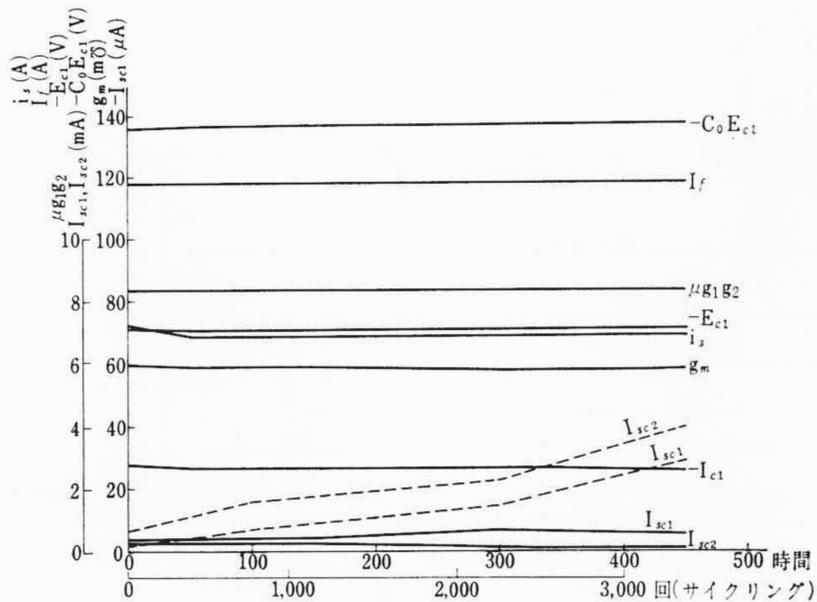
4.3 8F76Rのグリッドの性能

(1) 電流分配

図6は8F76Rの代表的な定電流特性である。また10kW出力時のせん頭陽極電流にほぼ相当する10Aの点における電流分配を比較すると表1のとおりとなり、8F76Rの第2グリッド電流のきわめて小さいことから放電加工グリッドの目合わせの完全さがよくわかる。

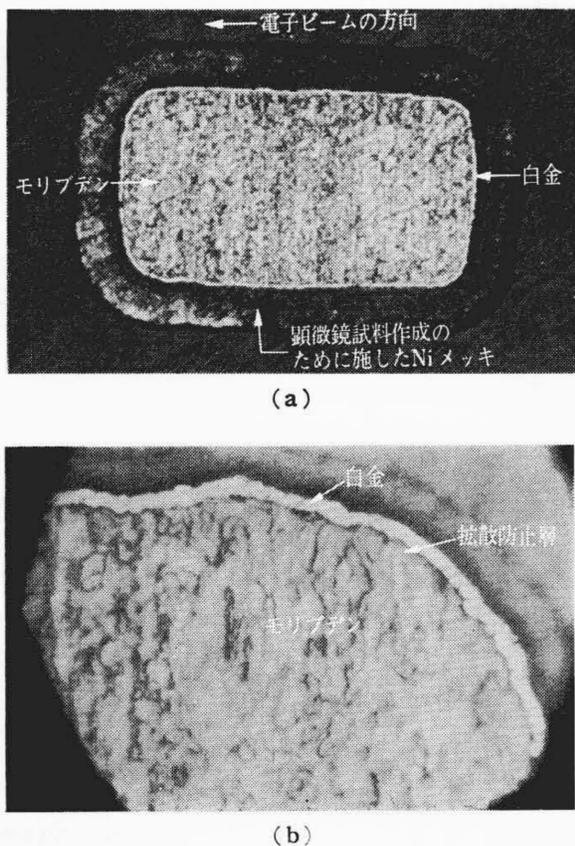
(2) グリッド電子放射および寿命経過

グリッド損失に対するグリッド電子放射の例を図7に示す。また図8は第1、第2グリッドにそれぞれ最大定格いっぱいの損失を加え、フィラメントには定格の120%の電圧を与えて同時に断続させる、いわゆるF・Gサイクリング試験(NHK規定の信頼度確認試験の一つ)における主要特性の経過、図9は500時間完了後のグリッド線の断面である。モリブデンの巨大結晶成長はまっ



寿命試験条件 フィラメント、グリッド サイクリング、3分 ON、5分 OFF
 $E_f=9V$ (定格×120%), $P_{g1}=180W$, $P_{g2}=300W$ (100%)
 破線は白金拡散防止層が不完全な場合のグリッド電子放射の増加状況を示す。

図8 寿命試験における主要特性の経過



(b)は(a)の一部を拡大したもの
 図9 寿命試験後のグリッド線断面

たく認められない。また、図9にみられる白金メッキ層は初期とまったく変わらない状態であるが、拡散防止層の密度が不足すると白金層が急速に消滅し図8に破線で示したようにグリッド電子放射が増加する。

(3) グリッド温度

寿命試験による特性面からの確認とともに、動作中のグリッド温度を図10のような方法で直接実測し、図11の結果を得た。また定格フィラメント電圧で第2グリッド損失300Wの場合について計算⁽¹⁰⁾で求めた温度は図11(a)中⊗印のように1,397℃となり実測とかなりよい一致を示した。実際の管球では陽極で包囲するので図10の状態よりさらに温度上昇がある。8F76Rでは陽極内面に黒色化処理を施してこの上昇値を約30℃(計算値)におさえている。したがって4.3(2)の寿命試験中の第2グリッド温度は図11(b)に×印で示したように1,530℃に達していたことがわかり、モリブデン放電加工グリッドの高い耐熱性が実証された。

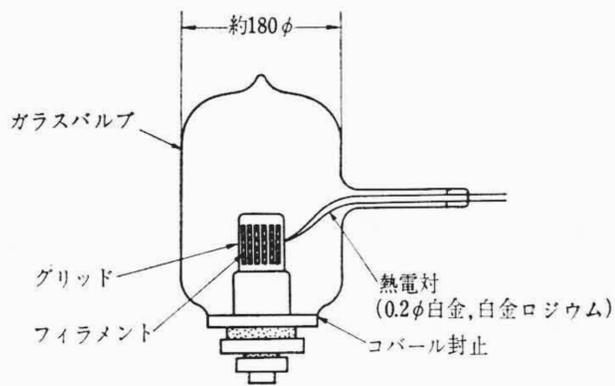


図10 グリッド温度測定説明図

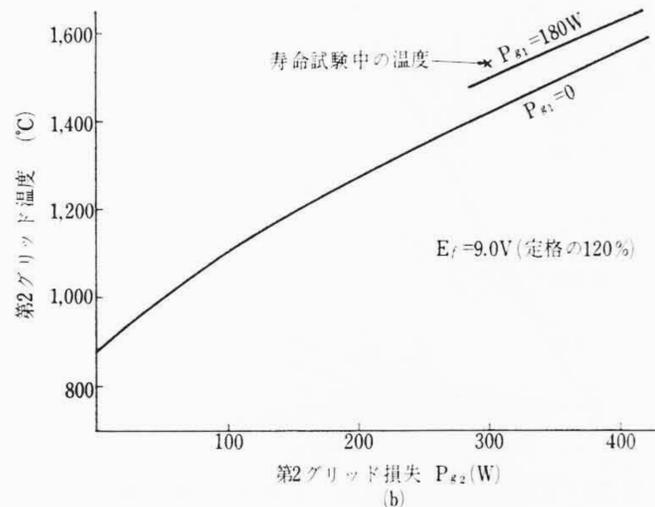
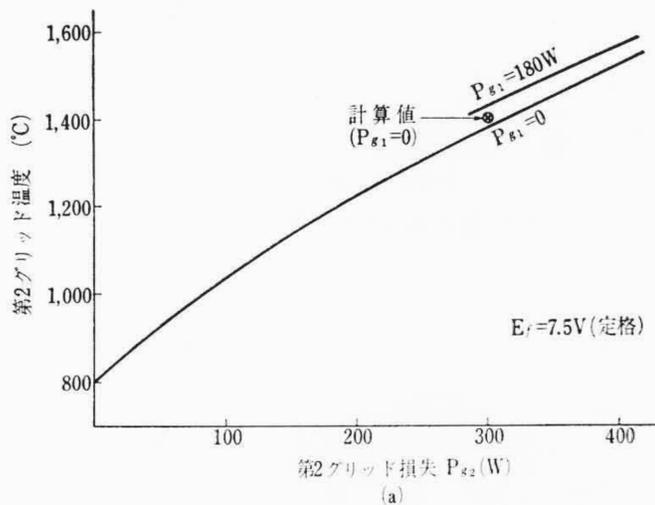


図11 第2グリッド温度の実測データ

5. VHF動作特性

周波数220Mcにおける狭帯域および広帯域(8Mc)増幅試験の結果をそれぞれ図12, 13に示す。広帯域10kW出力時の電力利得は約34(15.4dB)、陽極効率(回路効率を含む)は52%である。表2は昭和41年12月にNHK名古屋中央放送局錦テレビ放送所に設置された新形10kWテレビ放送機での実用動作状態である。またこの放送機における互換性テストで管球交換時の再調整が容易であるとの所見をいただいております、特性の均一化や出力共振周波数の管理が所期の効果を挙げているものと考えられる。

なお8F76Rの一般特性、最大定格ならびに外形寸法は表3、図14に示すとおりである。

6. 結 言

8F76Rの完成によりわが国のVHF放送用送信管の系列は完全に一新された。信頼度を重視した新系列送信管は今後保守や補給面での合理化に重要な役割を果たしていくものと期待される。

終わりに、8F76Rの開発に当たり終始適切なお指導を賜った日本放送協会総合技術研究所、技術局保全部、施設局送信設備部の各位に深く感謝の意を表するものである。また、モリブデン放電加工

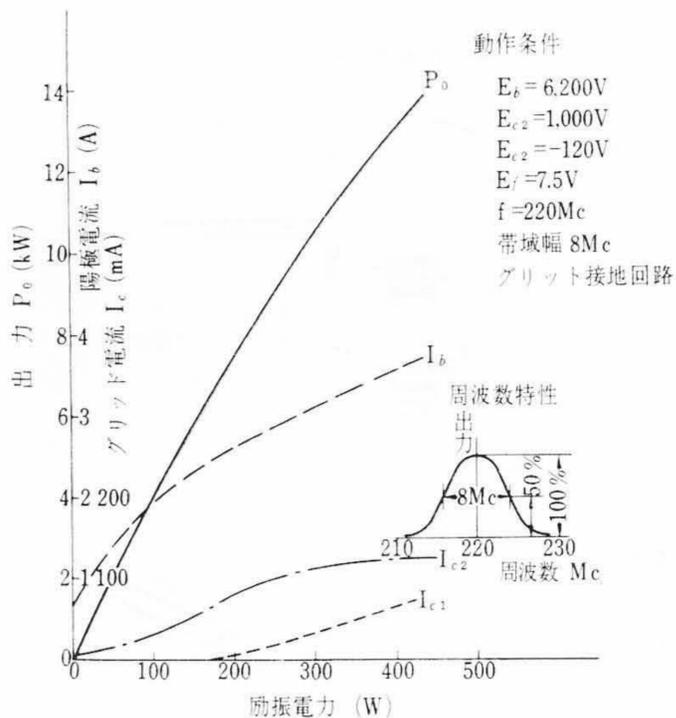


図 12 VHF 動作特性 (I) B 級広帯域増幅

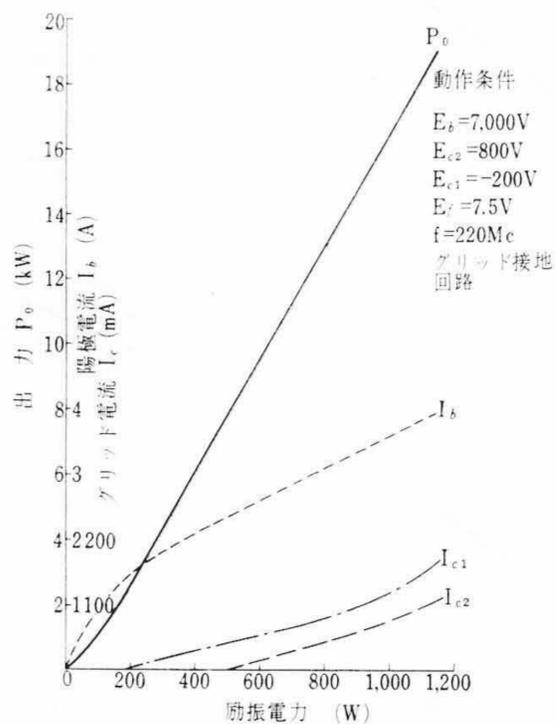


図 13 VHF 動作特性 (II) C 級狭帯域増幅

表 2 10kW テレビ放送機の動作例*

陽極直流電圧	5,600 V
第2グリッド直流電圧	1,000 V
第1グリッド直流電圧	-100 V
陰極直流電流	3.3 A
第2グリッド直流電流	69 mA
第1グリッド直流電流	19 mA
有効出力(同期せん頭値)	10.2 kW

* 全黒信号時のデータ

グリッドについて長期にわたり基礎的検討を重ねていただいた日立製作所中央研究所および茂原工場の生産技術関係のかたがたの努力に敬意を表したい。

参 考 文 献

- (1) 太田, 久田: 日立評論 46, 1827 (昭 39-11)
- (2) 太田: NHK 技研月報 8 (昭 40-4)
- (3) 太田, 岩本, 今堀: NHK 技研月報 5 (昭 37-11)
- (4) 太田, 岩本, 今堀: TV 学会誌 16 (昭 37-12)
- (5) 五十嵐, 池田: 放送技術 15 769 (昭 37-12)
- (6) 岩柳, 久田: Hitachi Review S.I. No. 6 (1963-4)
- (7) 斎藤: 送信管の信頼度と故障原因 電気通信学会信頼性と品質管理研究会資料 (昭 37-12)
- (8) Deak, M.: Brown Boveri Review 48, 394 (1961-7)
- (9) U.S. Patent No. 3, 164, 740 (1965-1)
- (10) 中原: 日立評論 39, 1159 (昭 32-10)

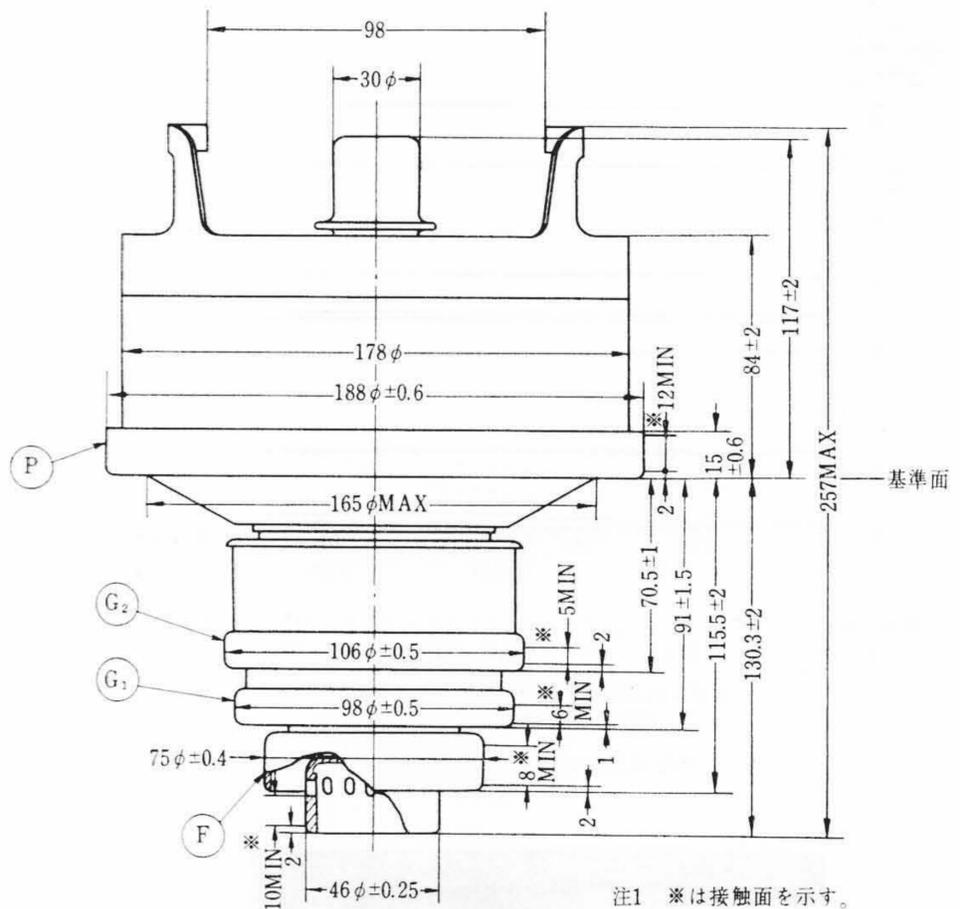


図 14 8 F 7 6 R 外 形 図

表 3 8F76R 定 格 表

電 気 的 定 数	
一 般 定 格	
陰 極	FT
フィラメント電圧	7.5 V
フィラメント電流	120 A
最大瞬間電流	300 A
最小子熱時間	15 Sec
相互コンダクタンス(陽極電流 2.5 A にて)	60 m μ
第2グリッド増幅率	8.75
電 極 間 静 電 容 量	
第1グリッド 陰 極	56 PF
第1グリッド 第2グリッド	91 PF
第2グリッド 陽 極	20 PF
第1グリッド 陽 極	0.6 PF
陽 極 陰 極	0.075 PF
最 大 定 格	
	BTV CT
陽極直流電圧	10,000 10,000 Vdc
第2グリッド直流電圧	1,500 1,500 Vdc
第1グリッド直流電圧	-1,000 -1,000 Vdc
陽極直流電流	5.5* 4.5 Adc
第2グリッド直流電流	250 250 mAdc
第1グリッド直流電流	250 250 mAdc
陽 極 入 力	30 30 kW
陽 極 損 失	15 15 kW
第2グリッド損失	300 300 W
第1グリッド損失	180 180 W
周 波 数	250 250 Mc

* 同期信号レベル

機 械 的 定 格

外 形 寸 法	
全 長	257 mm Max
最 大 部 直 径	188 mm
重 量	(約) 6 kg
重 使 用 位 置	垂 直
冷 却	
陽 極 部 分	強 制 空 冷
(陽極損失 15 kW にて)	
最 小 風 量	20 m ³ /min
最 小 静 圧	110 mm 水柱
各 電 極 封 じ 部 分	強 制 通 風
最 高 温 度	
陽 極 部 分	250°C
各 電 極 封 じ 部 分	250°C