

# UHF テレビ中継放送用大電力進行波管1W31の開発

Development of High Power Traveling Wave Tube for  
UHF Television Translator

鈴 鹿 彪\* 稲 村 一 郎\*  
Takeki Suzuka Ichirô Inamura  
内 海 宏\*\* 酒 井 昌 雄\*\*  
Hiroshi Uchiumi Masao Sakai

## 要 旨

UHF テレビ放送の進展に伴って今後 300 W～3 kW のような大きなテレビ中継局の建設が増すことが予想される。UHF 大電力進行波管 1 W 31 はこれらの中継局用を目的として開発された電力増幅管で飽和出力 6 kW と UHF 進行波管としてはこれまでの製品の中では最も高出力のものである。本管の最大の特長は電子銃にマグネトロン入射電子銃 (MIG) を採用したことで、中空の高パービアンスビーム (14.3  $\mu P$ ) を実現し、高出力化、低電圧動作を可能にした。本管は現在テレビ岩手放送の二つの中継局で運用されているので本管の設計、特性の概要を報告する。

## 1. 緒 言

進行波管はクライストロンや極管に比較して広帯域で取扱いが容易であることから、10～100 W の UHF テレビ中継局の大半で出力管として使われてきた。その後 UHF 帯が親局にも使用を認められ、テレビ放送も UV 混在期にはいり、またテレビの全面 UHF 化構想とも相まって新たに 300 W～3 kW の中電力局の需要が増してくることが予想されている。これらの出力帯の送信管としても従来の実績から進行波管が注目されており開発が進められてきた。日立製作所では UHF テレビ中継用進行波管としてはすでに小電力局用として 1 W 65, 1 W 67<sup>(1)</sup> で NHK, 民放合わせて 120 局以上で使用されているが、上記の中電力局用としても 1 W 80, 1 W 31 の 2 管種を開発しテレビの全面 UHF 移行時の需要にこたえられるようになった。

本報告では飽和出力 6 kW という UHF 進行波管ではこれまでの最高の出力を有する 1 W 31 の概要について述べる。進行波管として、kW クラスの出力は大電力の部類に属しており、大電力化に伴う種々の問題が発生する。進行波管の特長は広帯域性にあるが、これは遅波回路にヘリックスを使用することによるもので、このヘリックスは大電力化に対して、熱的に弱い、後進波発振を起こしやすいという難点がある。一方、進行波管の大電力化のためには高パービアンス電子銃を必要とするが、従来用いられてきたピアス形の電子銃では高パービアンスを獲得するのに限界がある。したがってわれわれは本管の電子銃にこれまであまり実用化の実績<sup>(3)</sup>はないが、高パービアンスを獲得することが可能なマグネトロン入射電子銃 (Magnetron Injection Gun 以下略して MIG という) を採用することとした。MIG の実用化にさいしては、中空ビームの安定性、ビーム透過、ノイズなどに対して未解決な問題が残されていた。

また本管は中継局で使用されるが、中継局は高地に建設されることが普通である。たとえばテレビ岩手 1 kW 中継放送所 (釜石, 北福岡) の 2 局はいずれも 1,000 m の山頂にあり冬期は積雪で雪上車ですら登ることが困難な悪条件下におかれている。したがって保守取扱いの便宜さを考えた構造にすることがきわめて重要である。本管は当初コレクタの冷却を蒸発冷却で行なうように設計されたが、保守の容易さから強制空冷式に変更され、当時としては最大級の強制空冷ラジエータを実現するなど、機構面でも新規な設計がとり入

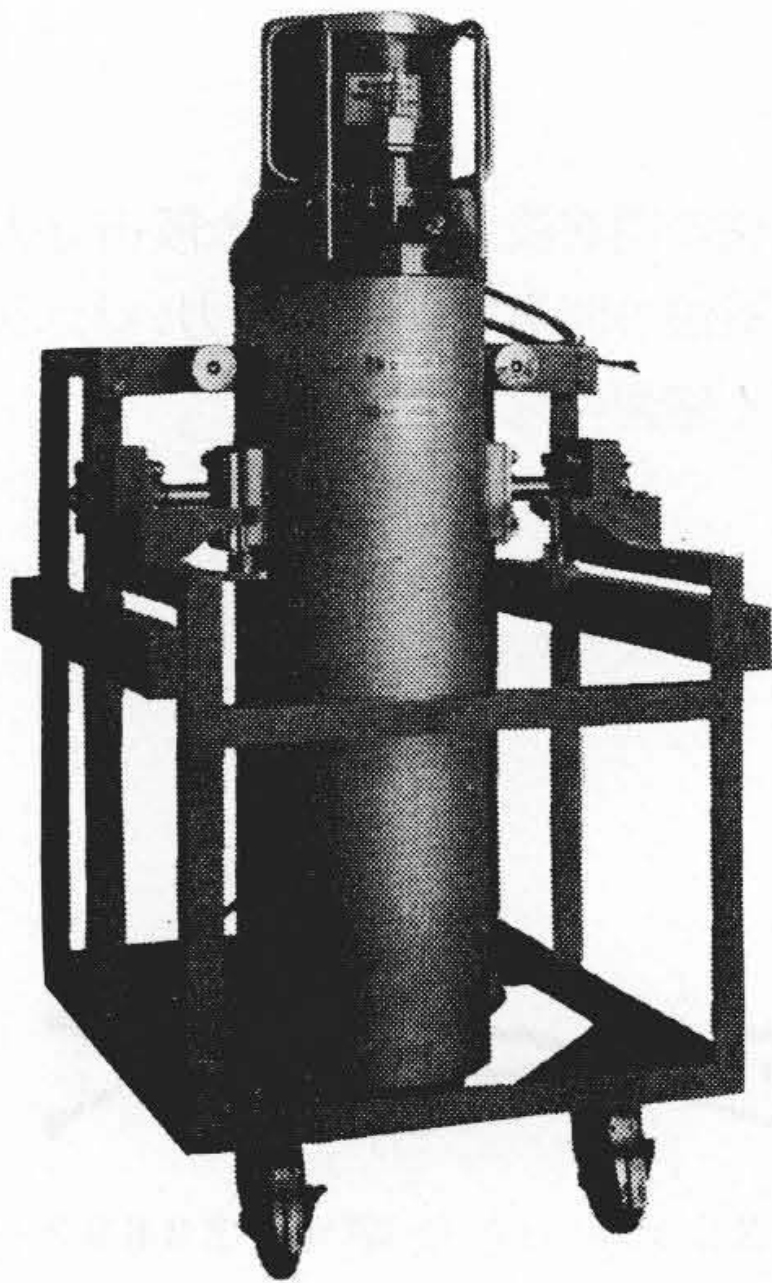


図 1 1 W 31 の外観

表 1 1 W 31 の 定 格

| 一般特性          |                 |        | 動作例 (1 kW サテライト条件) |                        |
|---------------|-----------------|--------|--------------------|------------------------|
| ヒータ電圧         | 10 V DC         |        | 周波数                | 650 MHz                |
| ヒータ電流         | 10 A DC         |        | 加速電極電圧             | 4.5 kV                 |
| 周波数範囲         | 470～770 MHz     |        | 加速電極電流             | 2 mA                   |
| 外形寸法          | 350φ×1,300      |        | ヘリックス電圧            | 6.5 kV                 |
| 重量 {管球<br>電磁石 | 50 kg<br>150 kg |        | ヘリックス電流            | 10 mA                  |
| 冷却 {管球<br>電磁石 | 強制空冷<br>電磁石     |        | コレクタ電圧             | 6.5 kV                 |
| 集束磁界装置        | 電磁石             |        | コレクタ電流             | 4.6 A                  |
| 最大定格          |                 |        | 電磁石電流              | 15 A                   |
| ヒータ電圧         | 9               | 11 V   | 電磁石電圧              | 46 V                   |
| 加速電極電圧        |                 | 5 kV   | 電力利得               | 31 dB                  |
| ヘリックス電流       |                 | 100 mA | 飽和出力               | 6 kW                   |
| ヘリックス損失       |                 | 1 kW   | 混変調量               | -17 dB                 |
| コレクタ電圧        | 5               | 8 kV   | 雑音(ランダム)           | >55 dB                 |
| コレクタ電流        |                 | 5 A    | 冷却風量               | 45 m <sup>3</sup> /min |
| コレクタ損失        |                 | 33 kW  | 入出力定在波比            | 2 以下                   |

れられている。

本管は昭和 45 年 9 月テレビ岩手放送の釜石, 北福岡両 1 kW 中継局に納入され運用にはいっている。以下、管球の設計、特性の概要を報告する。図 1 は 1 W 31 の外観写真を、表 1 は定格を示したものである。

\* 日立製作所電子管事業部

\*\* 日立製作所茂原工場



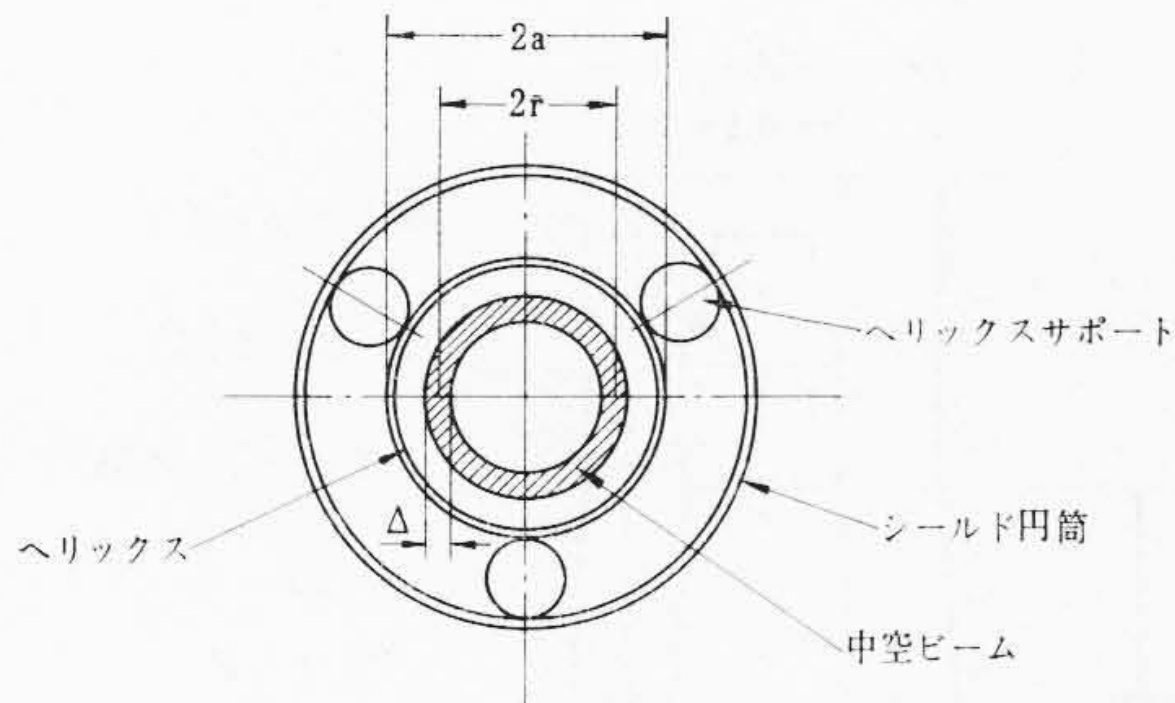


図2 遅波回路断面図

## 2. 大電力進行波管の問題点

大電力進行波管を実現するための重要な課題は、(1) 遅波回路に起因する後進波発振の抑制、(2) 高パービアンス電子銃および大電流のとれるカソードを得ること、(3) ヘリックス、コレクタの冷却などである。以下これらの問題について述べる。

### 2.1 後進波発振

遅波回路にヘリックスを用いた大電力進行波管では後進波発振を起こしやすくなることが問題である。したがってこれを防止するため設計上の考慮が必要となる。後進波発振の条件を表わすのに、進行波管の設計においては、後進波発振を起こす限界の進行波の利得(最大許容利得)で表わすのが便利である<sup>(4)</sup>。最大許容利得  $(BCN)_0$  を図2の形状の遅波回路について求めると、(1)式ようになる。ただし、この式では誘電体およびシールド円筒によるインピーダンス低減係数の項は省略されている。

$$(BCN)_0 = 3.92 \cdot B(CN)_{-1st} \cdot (k_0 a)^{2/3} (1 - k_0 a)^{1/3} \times \left[ \frac{\gamma_0 a e^{-2\gamma_0 a} I_0^2(\gamma_0 \bar{r})}{\left\{ \frac{I_1(\gamma_{-1} \bar{r})}{I_1(\gamma_{-1} a)} \right\}^2} \cdot \frac{\sinh \gamma_0 \Delta}{\gamma_0 \Delta} \cdot \frac{\sinh \gamma_{-1} \Delta}{\gamma_{-1} \Delta} \right]^{1/3} \quad \dots\dots (1)$$

ここに、C: 利得パラメータ

N: 波数

$k = \omega/c$

$\omega$ : 角周波数

c: 光速

$\gamma = \omega/v_c$

$v_c$ : 位相速度

$I_0, I_1$ : 0次および1次の変形ベッセル関数

(1)式で添字0, -1はそれぞれ進行波の基本モード( $n=0$ )、後進波の $n=-1$ モードを示している。 $(CN)_{-1st}$ は空間電荷係数(QC) $_{-1}$ と回路損失から求められる<sup>(5)</sup>。(1)式で $\Delta$ を含む項を1とおき、 $(BCN)_0$ の値を $\gamma a$ ,  $\bar{r}/a$ をパラメータにとって $k_0 a$ について図示すると図3のようになる。

後進波発振を抑制するためには $(BCN)_0$ の値が大きくなるように遅波回路のパラメータを選ぶことになり、したがって図3から、

- (a)  $k_0 a \rightarrow$  小 (ヘリックス径小…ビーム透過困難)
- (b)  $\gamma_0 a \rightarrow$  大 (低電圧化…高パービアンス電子銃が必要)
- (c)  $\bar{r}/a \rightarrow$  小 (細いビーム…効率が悪くなる)

とすることである。遅波回路にヘリックスを用いた大電力進行波管ではこれらの条件をすべて満たすことは困難であり、これが大電力化をむずかしくしているゆえんである。本管の設計では、(a)の条件は熱的機械的に限界があるので、(b), (c)の条件を満足するような設計を行なった。電子銃にMIGを用いた理由もこの設計条件を満足させることにあった。

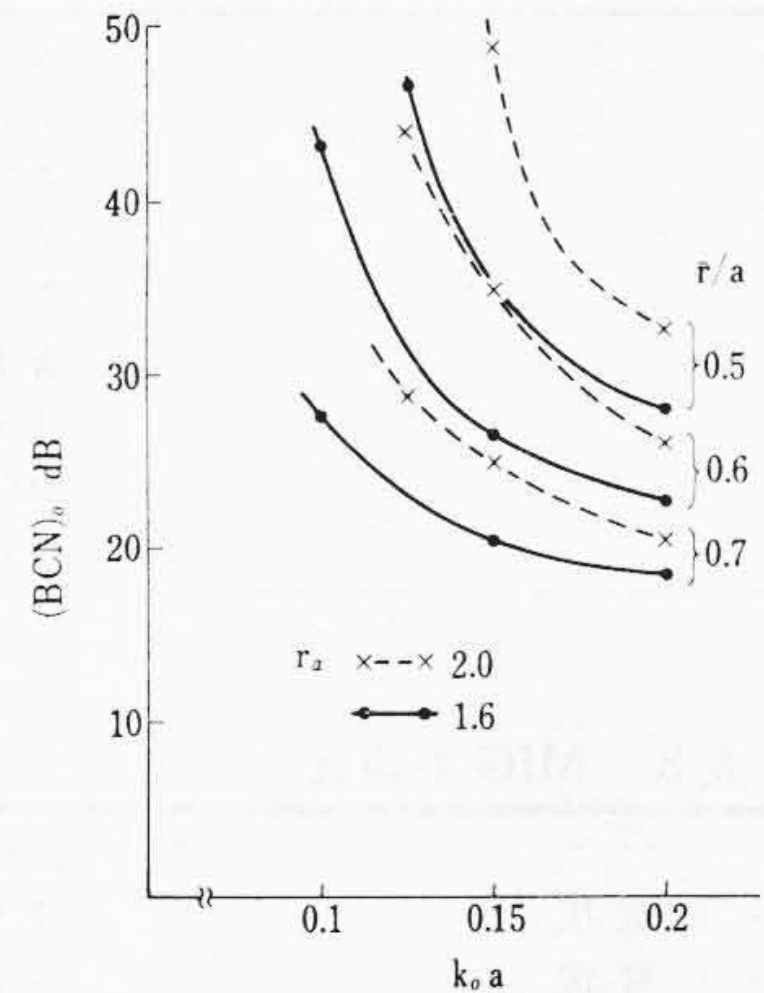


図3 後進波発振に対する最大許容利得

### 2.2 電子銃

従来、クライストロンや進行波管に使われてきた電子銃はピアス形ないしはその変形電子銃が大半である。これらの電子銃はパービアンスが大きいものでも1~2  $\mu P$ が普通であり、中には5~6  $\mu P$ という大きいものもあるが、これらはカソード面での電流密度が中心部と周辺部で大きく違い、またビームのラミナー性、リップルなどの点でも設計上の限界にきている。

これに対しMIGは10~20  $\mu P$ という大きな値を得ることも容易であるが、本管への適用にあたってはMIGのビームの性状について実績面ではいうまでもなく、理論的にもじゅうぶん確立されていたとはいえない。特に中空ビームの安定性、ノイズ、ビーム透過の面での検討が残されていた。

### 2.3 熱的問題

大電力進行波管の冷却で問題になる点はヘリックスとコレクタである。特にヘリックスはクライストロンのドリフト管などに比べ熱容量が小さいので、大電力用にヘリックスを使用するさいにはヘリックスからの熱を外部に逃がすことができるようにじゅうぶん熱伝導の良い構造を考えなければならない。しかも高周波特性をあまりそこなってはならないという点でヘリックスタイプのむずかしさがある。

コレクタの冷却は、強制空冷の場合ラジエータを含めたコレクタの重量が重くなり管球の機械的強度、取扱いの容易さが問題になる。小形軽量化のためには冷却効率の良いラジエータが要求される一方、コレクタへのビームの入射がコレクタ温度を平均して上昇させるようにビーム軌道をとらせることが必要になる。

## 3. 設計の要点および構造

中継用進行波管を設計するにさいしては次のことをじゅうぶん考慮する必要がある。(1) 無人局で運用されること、(2) 単管方式が多いので、予備管方式や2管方式などに比べて高い信頼性が要求されること、(3) 局舎の環境(気象条件、空気の清浄度)が必ずしもよくないこと、(4) 運搬が容易なように軽量小形であること、(5) 管球の交換、冷却が容易な方式であること、(6) 管球の交換時の特性変動がじゅうぶん小さいこと。

1W31では前節の問題点のほかにこれらの点を、じゅうぶんに考慮に入れ、電気的特性のすぐれた信頼性の高い設計を行なっている。

### 3.1 設計パラメータ

#### (1) 遅波回路系

遅波回路系の主要な設計パラメータは表2に示すとおりである。



表2 遅波回路設計パラメータ

|               |                    |
|---------------|--------------------|
| 周波数 ( $f_0$ ) | 550 MHz            |
| ビーム電流         | 4.6 A              |
| ビームパービアン      | 14.3 $\mu\text{P}$ |
| ヘリックス長        | 600 mm             |
| ビーム平均径        | 17 mm $\phi$       |
| ka            | 0.176              |
| $r_a$         | 1.72               |
| C             | 0.21               |
| QC            | 0.36               |

表3 MIG の設計パラメータ

|                    |                       |
|--------------------|-----------------------|
| パービアン              | 15.4 $\mu\text{P}$    |
| アノード電圧             | 4.5 kV                |
| カソード電流             | 4.6 A                 |
| カソード電流密度           | 0.2 A/cm <sup>2</sup> |
| 半頂角                | 4°                    |
| ビーム内径              | 13.6 mm $\phi$        |
| カソード長              | 42.9 mm               |
| ビーム厚さ ( $\Delta$ ) | 3.5 mm                |
| 磁界                 | 600 G                 |

## (2) マグネトロン入射電子銃 (MIG)

MIG の設計は G. S. KINO<sup>(6)</sup> の 2 次元モデルにより行なわれた。その主要寸法は図 4 に、設計パラメータは表 3 に示すとおりである。

### 3.2 構造

1 W 31 の要部断面図を示したのが図 5 である。管球は管球本体部 (真空気密部分) と集束磁界装置とから成っている。管球本体部の主要部分は電子銃、ヘリックス、入出力結合部、コレクタなどから成り、部品にはすべて金属とセラミックを使用している。

#### (1) 電子銃

図 4 は MIG の外形寸法図であるが、カソード (円すい側面) はニッケルマトリックス形の傍熱酸化物陰極で、ヒータは円すい筒の中にらせん状のコイルヒータが差し込まれている。このカソードは軸方向に長いため、カソード温度の均一性が問題になるが、ヒータの形状、ウエネルトその他の支持物の構造に留意しカソード面の温度差を 10°C 以内に押えている。

MIG の特長は、(a) カソード面積を大きくとることができるので、カソード電流密度が小さく押えられること、(b) カソードへのイオン衝撃を受けにくい構造であること、(c) 高パービアン、中空ビームが形成できることなどから従来のピアス形電子銃を使用したものと比較して長寿命化、高能率化、低電圧動作およびヘリックス長の短縮が可能になる。

#### (2) ヘリックス

1 W 31 は周波数帯域の広さという点からヘリックスを採用したが、ヘリックスは前述したとおり構造上放熱しにくいことから大電力に対しては、熱的にじゅうぶんな考慮が払われるべきである。1 W 31 ではヘリックスにモリブデンテープを用い、3 本のヘリックスサポート (ベリリア棒) を介して直接シールド円筒に強固に固定され、管軸に対して半径方向に熱の伝導を良くしている。またヘリックスサポートの中央部には発振防止用の減衰器が取り付けられているが、この減衰器は大電力になるに従ってここでの高周波損失が大きくなり発熱するので、シールド円筒にはラジエータを取り付け空冷することで減衰器およびヘリックスの許容損失をあげている。

#### (3) コレクタ

コレクタは管球本体のうちで最も重量の大きい部分であり、この重量を軽減し、形状を小さくまとめることは管球の取扱い上

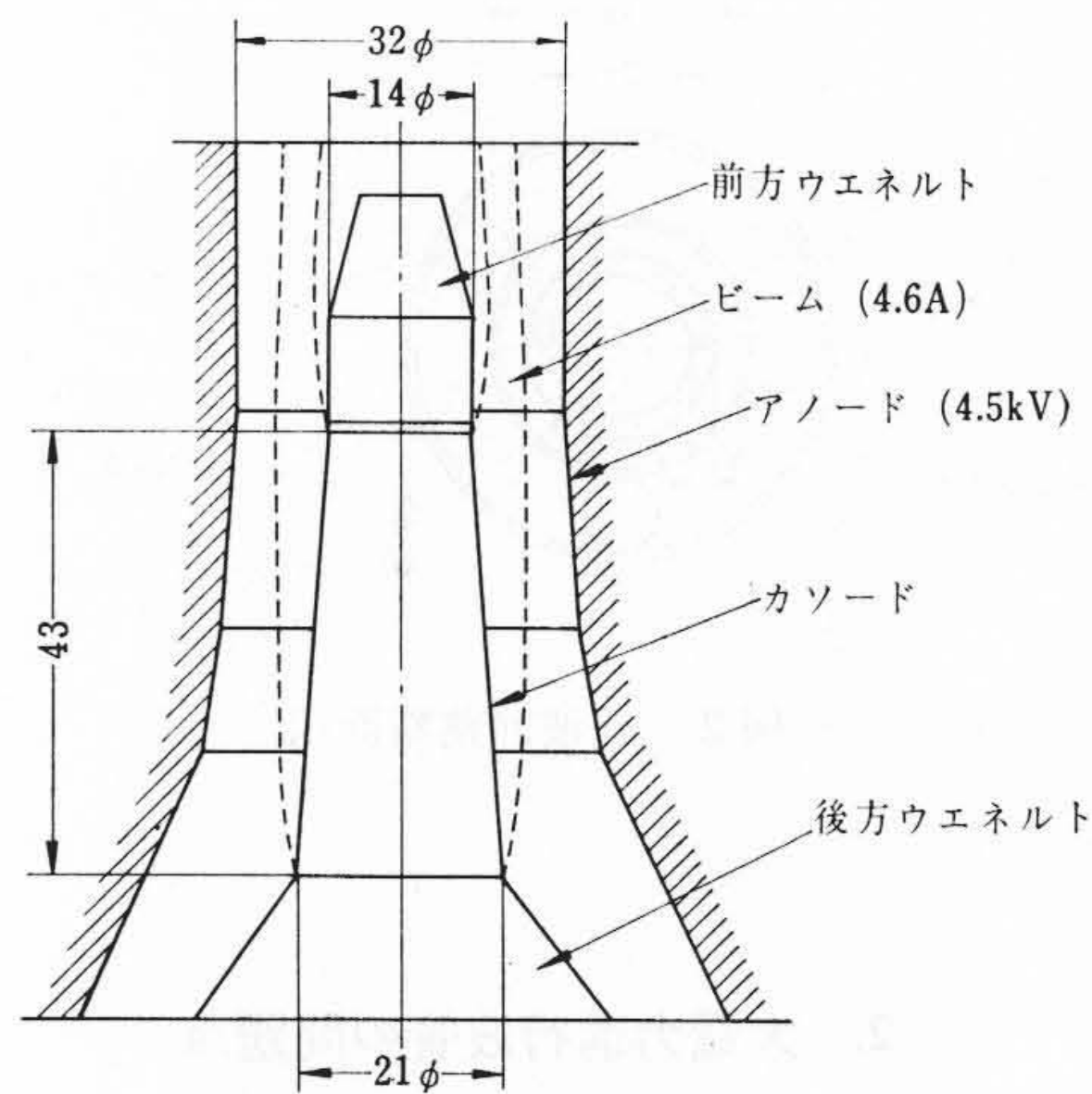


図4 MIG の主要寸法

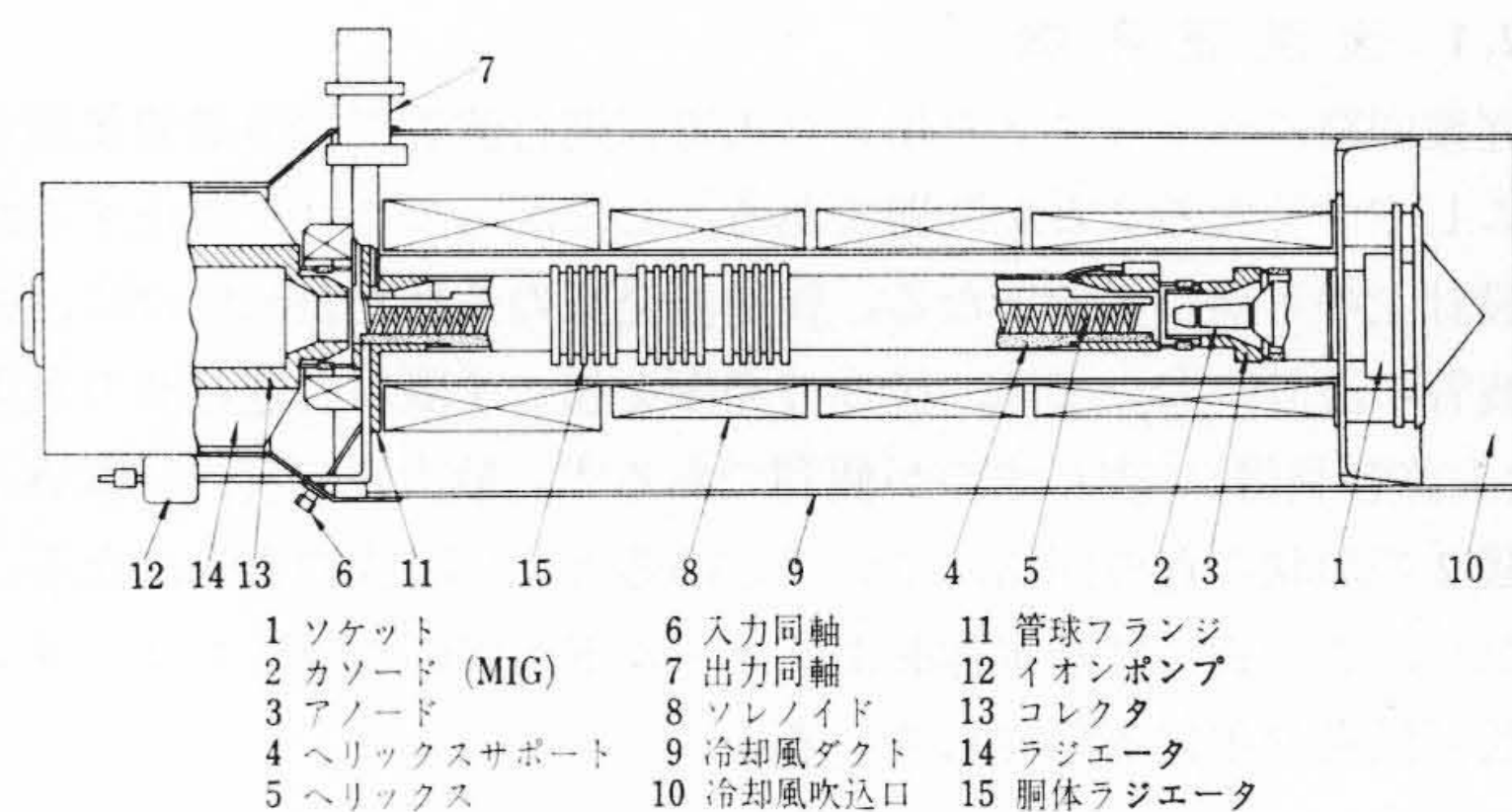


図5 1 W 31 要部断面図

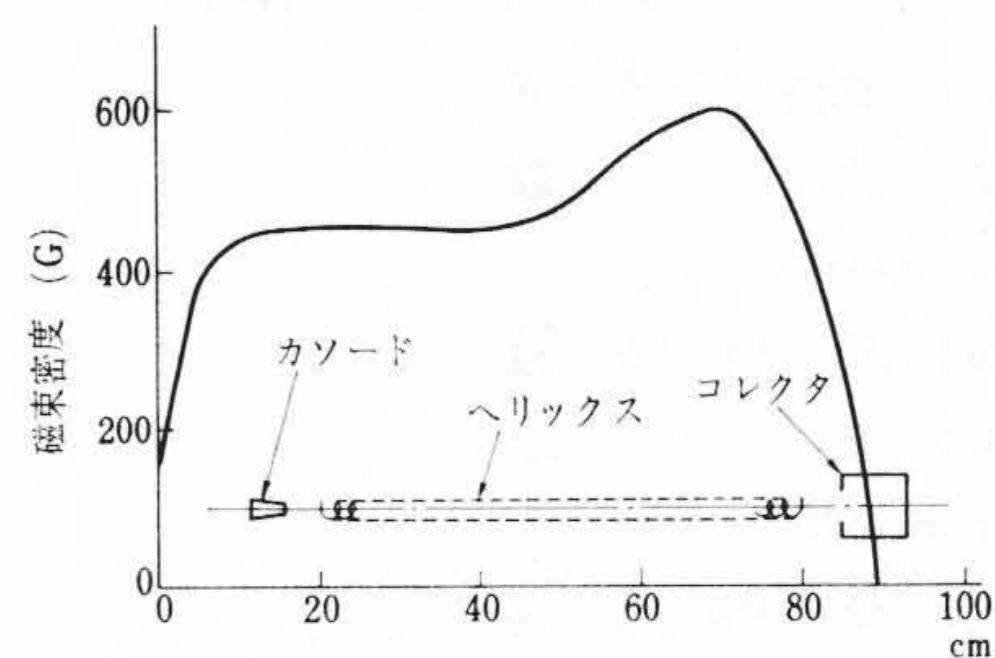


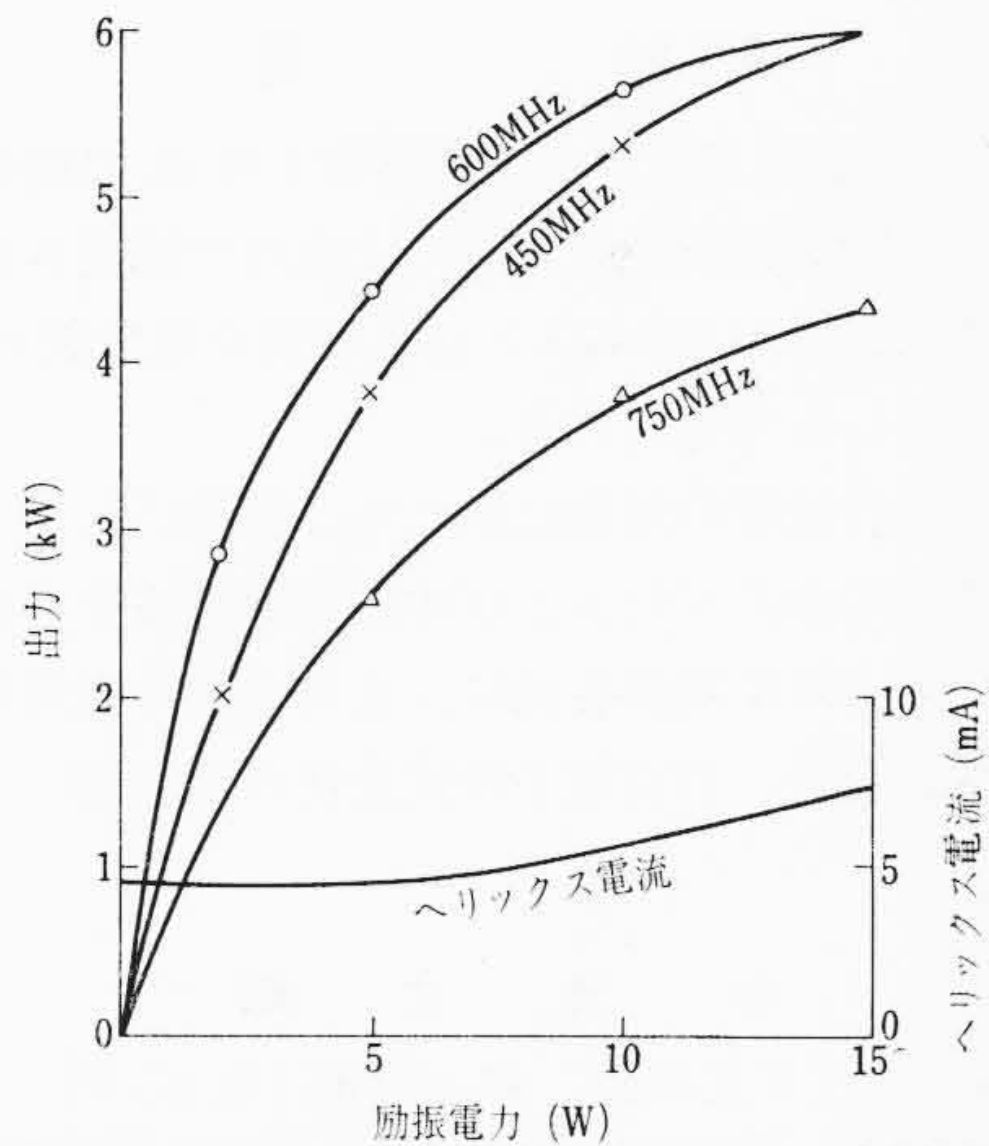
図6 1 W 31 軸上磁束密度分布

重要である。このためにはコレクタの放熱効果をあげることがたいせつで、本管ではコレクタ壁にラジエータを埋め込みろう付け接合し熱伝導を良くするとともにコレクタ形状および磁界を最適に定め、コレクタの温度上昇の均一化を図っている。ラジエータの大きさは最大コレクタ損失 33 kW 用としては 210 $\phi$ ×200 と小形化されている。

#### (4) 集束磁界装置

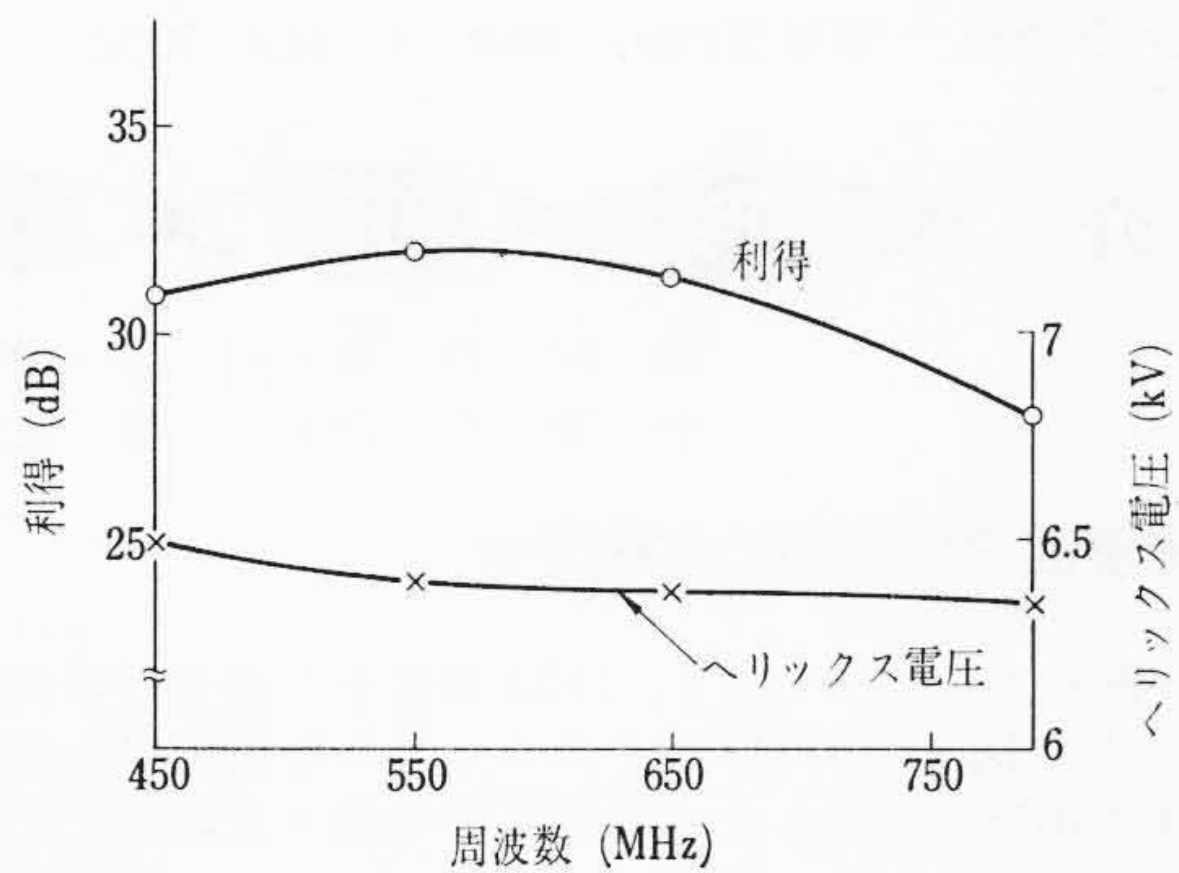
管球本体と集束磁界装置は図 5 の管球フランジ 11 で管球本体を左側に引くことで分離される。集束磁界装置はソレノイド、ダクト、ソケット部から成っており、図 1 のように架台に取り付けられ、管球の交換時には中央部の回転軸で横に倒して管球の着脱ができるようになっている。集束磁界装置の磁束密度分布と管球の位置関係は図 6 に示されている。





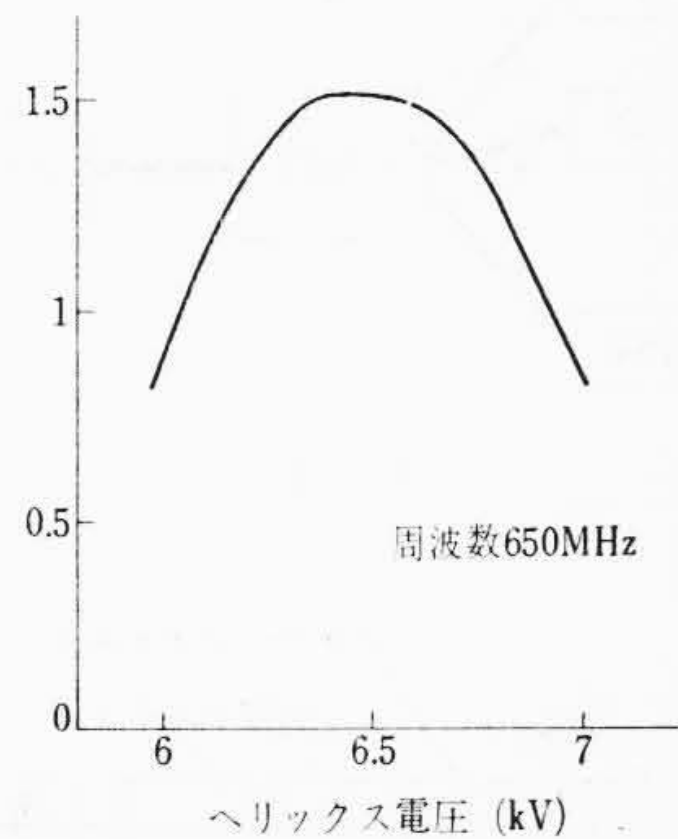
動作条件：コレクタ電圧，ヘリックス電圧 6.5 kV  
コレクタ電流 4.6A

図7 入出力特性



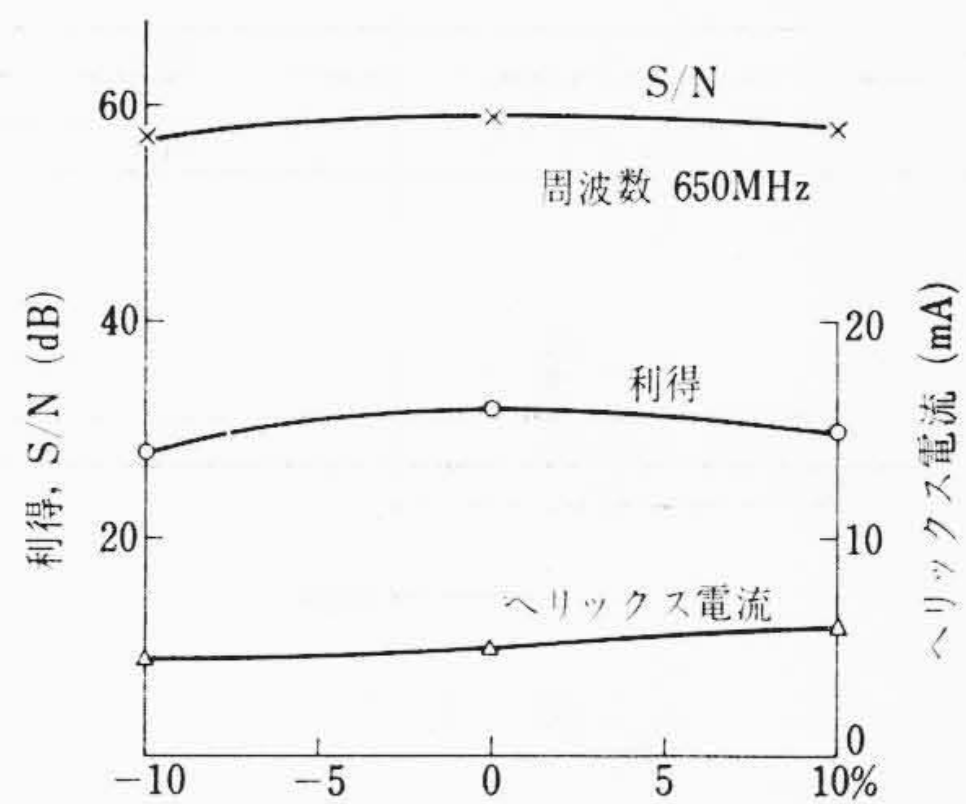
動作条件：コレクタ電圧，ヘリックス電圧 6.5 kV  
コレクタ電流 4.6A，出力 1.3 kW

図8 周波数特性



動作条件：コレクタ電圧，ヘリックス電圧 6.5 kV  
コレクタ電流 4.6A，励振電力 1W

図9 1W31 同期電圧特性



動作条件(0%)：コレクタ電圧，ヘリックス電圧 6.5 kV  
アノード電圧 4.5 kV，コレクタ電流 4.6A  
ヒータ電圧 10V，ソレノイド電流 10A

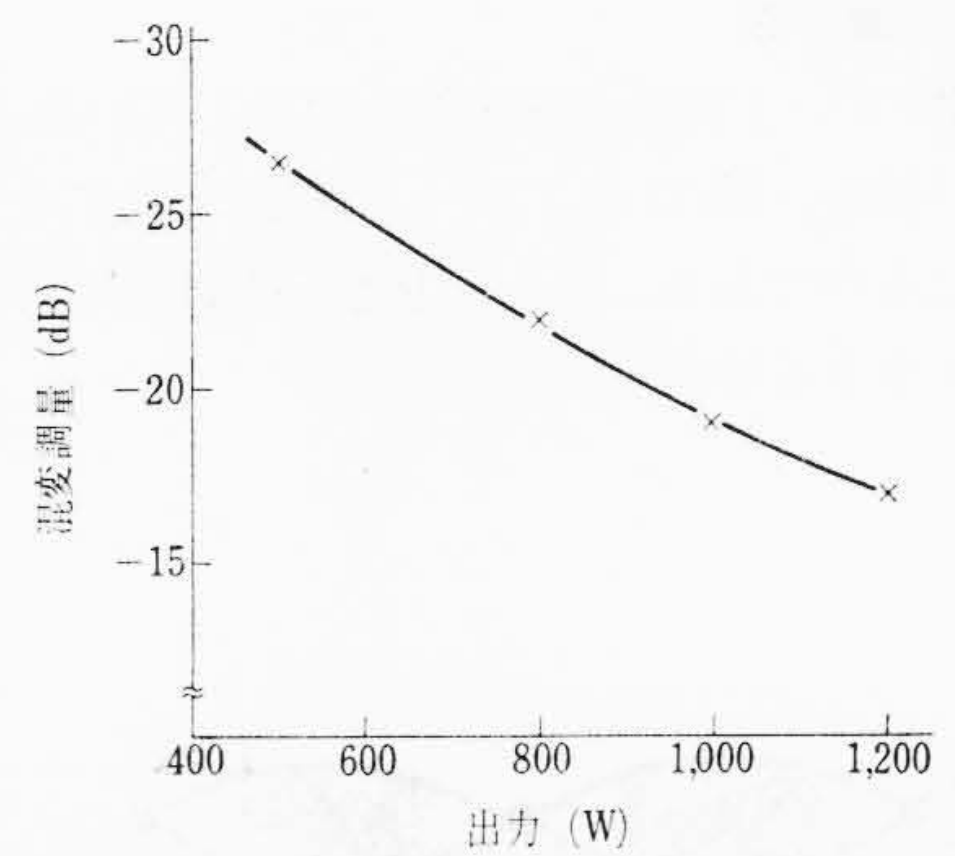
図10 全電源電圧変動特性

#### 4. 特 性

日立 1W31 の平均特性は図7以下に示すとおりである。

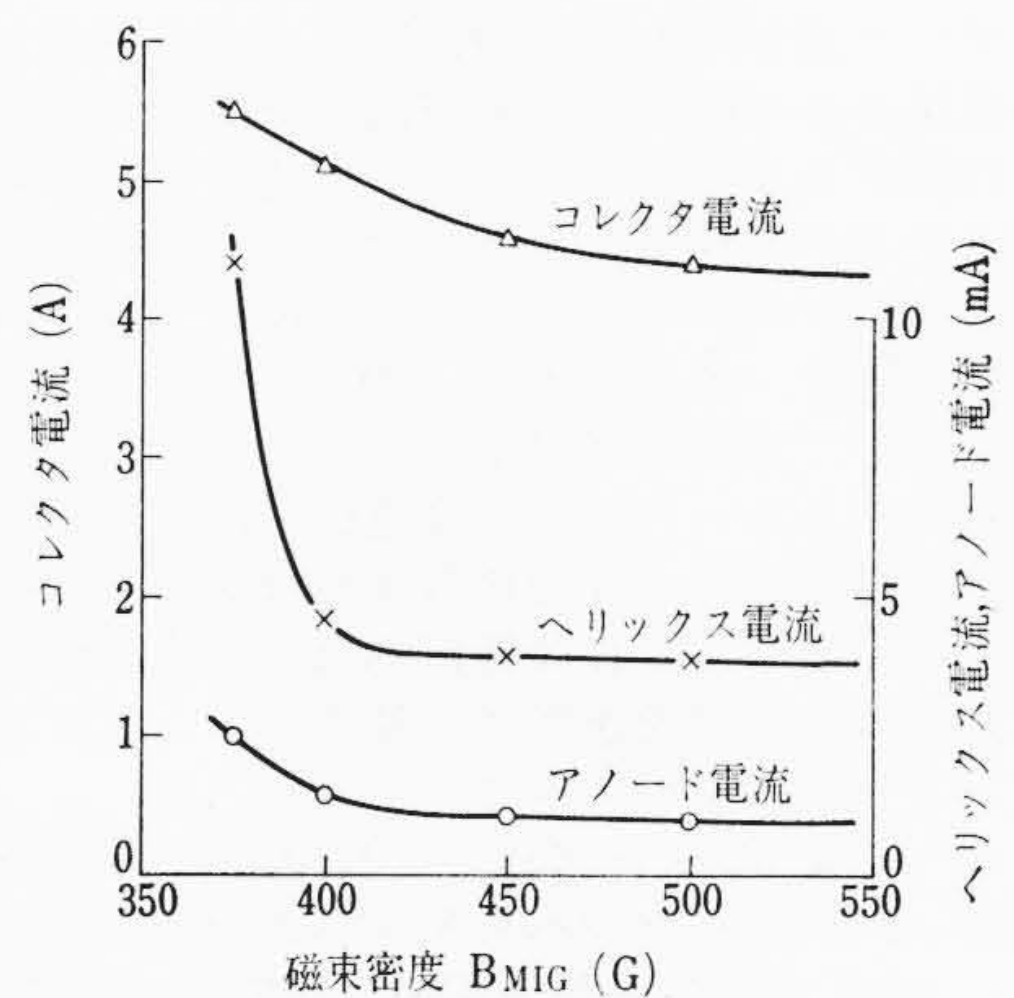
##### 4.1 増幅特性

図7は入出力特性を示したものである。出力 1.5 kW 点での出力の直線性は約 5% である。励振電力に対するヘリックス電流の増加は PPM 集束の進行波管に比べるとときわだって少ない。図8は利得の周波数特性を，図9は同期特性を示したものである。周波数の高



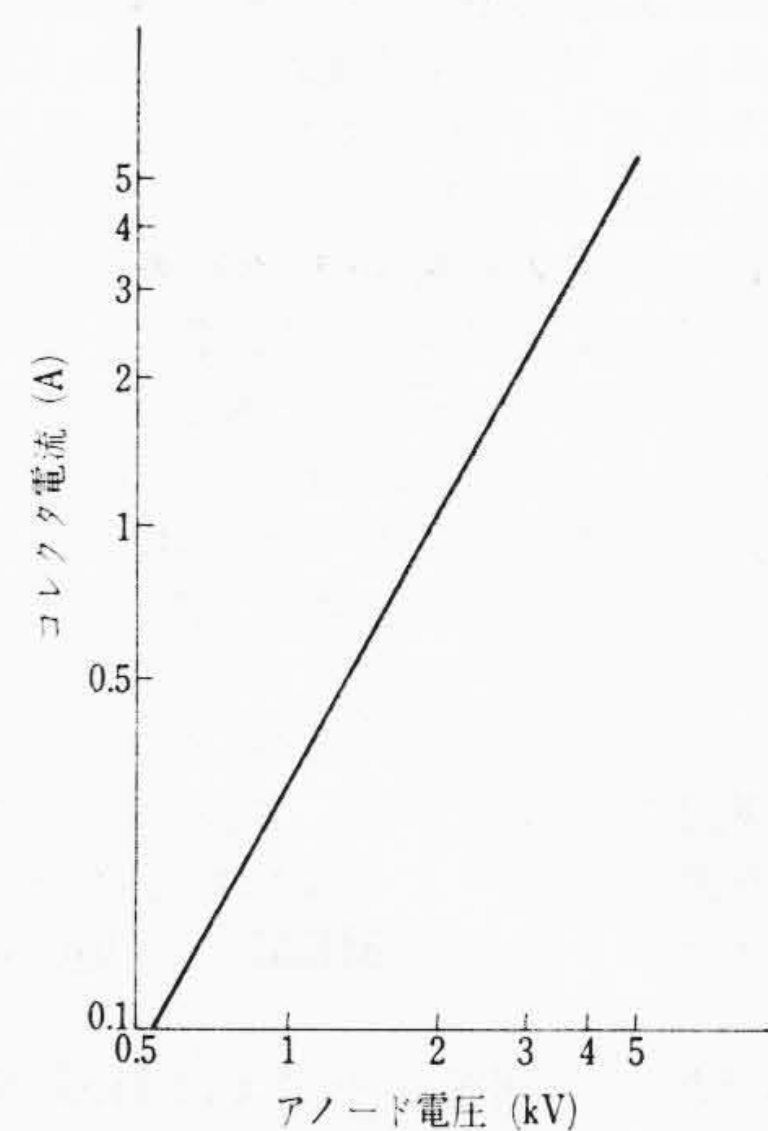
動作条件：コレクタ電圧，ヘリックス電圧 6.5 kV  
コレクタ電流 4.6A，周波数 650 MHz

図11 1W31 の混変調



動作条件：コレクタ電圧，ヘリックス電圧 6.5 kV  
アノード電圧 4.5 kV

図12 MIG のビーム透過特性



動作条件：コレクタ電圧，ヘリックス電圧 6.5 kV  
磁束密度 (BMIG) 450 G

図13 電子銃の 3/2 乗特性



いほうの利得、飽和出力が低下しているのは、周波数の設計中心を 550 MHz に選んだためである。

#### 4.2 電源電圧変動特性

図 10 は標準動作条件に対し全電圧を  $\pm 10\%$  変動させたときの S/N, 利得, ヘリックス電流の変化を示したものであるが、電源変動に対してはきわめて安定であることがわかる。

#### 4.3 混 変 調

図 11 は出力に対する混変調量を示したものである。管球単体の混変調は良くないので、位相補償回路を取り付け混変調量を 35 dB 以下に改善して使用する必要がある。

#### 4.4 ビーム透過特性

本管では MIG という特殊な電子銃を使用している。図 12 はビーム透過特性の一例を、図 13 はアノード電圧に対するコレクタ電流の関係を示したものである。ビーム透過率は 99.8% 以上と従来のピクス形電子銃にまさる特性を得ている。

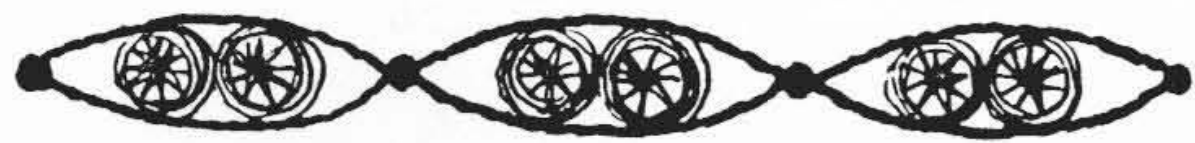
### 5. 結 言

以上、UHF 中継放送用大電力進行波管 1 W 31 の概要について述べたが、本管は UHF 進行波管としては内外で開発された中で、最も高出力のもので、しかも MIG という新規な電子銃が採用されたことは意義が大きいと考えられる。

終わりにこの進行波管の開発にあたりご指導いただいた大阪大学工学部電子工学科のかたがたおよび中継用進行波管で日ごろご意見をいただいている NHK 関係各位に、また本管の実用化に尽力されたテレビ岩手株式会社、日立電子株式会社の関係者に厚く感謝の意を表する。

### 参 考 文 献

- (1) 佐藤, 鈴鹿: 日立評論 48, 1069 (昭 41-9)
- (2) J. F. Gitting: Power Traveling Wave Tubes, 51 (1965)
- (3) B. Arfin: Proceedings of the 4th Int. Congress on Microwave Tubes, 595 (Sept. 1962)
- (4) D. A. Dunn: IRE Trans. ED-4, 246 (July 1957)
- (5) H. R. Johnson: Proc. IRE, 43 684 (June 1955)
- (6) G. S. KINO: IRE Trans. ED-9, 1 (Jan. 1962)



特許 第 594541 号 (特公昭 45-19343 号)

### 特 許 の 紹 介



堀 田 鉄 夫・内 藤 敏 晴  
中 野 浩 行・古 屋 九 二 雄

#### 速度変換機能を有する集配信装置における高低速度回線相互間の接続方式

この発明はデータ通信における通信回線の有効利用を目的とするもので、低速回線と高速回線間の両方向データ伝送速度変換を行なう集配信方法に関するものである。データ通信システムは各分野に導入され、システムが大きくなるほどデータの発信個所も広範囲に数多く必要とされる。このようなシステムにおいて個々のデータ量があまり多くない場合、低速度伝送 (50 ボー~200 ボー) で行なうのが経済的であるが、端末の使用率以上に回線能率は上らず回線的能力を有効に利用できない。一方、高速伝送回線 (1,200 ボー以上) については伝送し得るデータ量を比較すれば低速回線よりはるかに経済的である。この発明によれば経済的な低速端末を使用し、おもな伝送回線として高速回線を能率よく使用してシステム全体の経済性を著しく向上させることができる。

図 1 はメッセージを 50 ボー回線から 1,200 ボー回線へ集中または 1,200 ボー回線から 50 ボー回線へ分配する本発明の集配信機能ブロック図である。同図で記憶装置 (MEM) は制御回路 (CONT) により高速回線と低速回線間の授受を行なわせるために双方の同期をとる制御情報を記憶する記憶装置である。低速変換回路 (LSP) および高速変換回路 (HSP) は回線の直列情報ビット情報と CONT で取扱う並列情報 (キャラクタ情報) との間で直並列変換 (シリアル、パラレル変換) を行なう回路である。

一例として低速回線 (LSP 側) から高速回線 (HSP 側) への集信動作について説明すると、時間を横軸にとった LSP 側のデータと HSP 側のデータについてキャラクタの対応を示したのが図 2 である。同図で時間  $T$  は LSP 側の 1 キャラクタの時間であり、時間  $T$  の間 HSP 側は LSP 全回線の 1 キャラクタを順次転送することができる。この時間  $T$  の間に低速回線との同期をとるためのキャラクタである同期チャネルを先頭に LSP 各回線対応に転送順序が決められた LSP 側からのデータが続いて送出される。この転送順番 (以下チャネルと称する) は低速回線の番号と対応してもよいが、回線番号とチャネルの関係を固定にすると低速回線の能率が低い場合、高速回線のチャネルに空の部分が生じ、高速回線を有効に使用できないため一連のデータが発生した順でチャネルを LSP 側に割当てて自由にチャネルを選択できるようにして高速回線の有効利用を計ったのが、本発明の方法であり、この LSP 側の回線番号とチャネル番号との対応付けを行なうものが MEM に記憶される制御情報である。

図 3 は LSP 用制御情報 1 回線分を図 4 は HSP 用の制御情報 1 チャネル分を示したものである。この制御情報は図 3 の低速回線数倍、図 4 のチャネル数倍あり、さらに集信、配信用としてこれらを 2 倍した数を必要とする。図 3 で OP 部は動作指令 (たとえば“送伝せよ”) を記憶する部分であり、ST 部は空塞状態 (たとえば“送伝動

作中”) を表示する部分であり、IND 部はその他の他の表示用として用いられる。図 4 で LNO がそのチャネルを選択した低速回線番号を記憶する部分であることを除けば他は図 3 と同様である。

(三輪孝次)

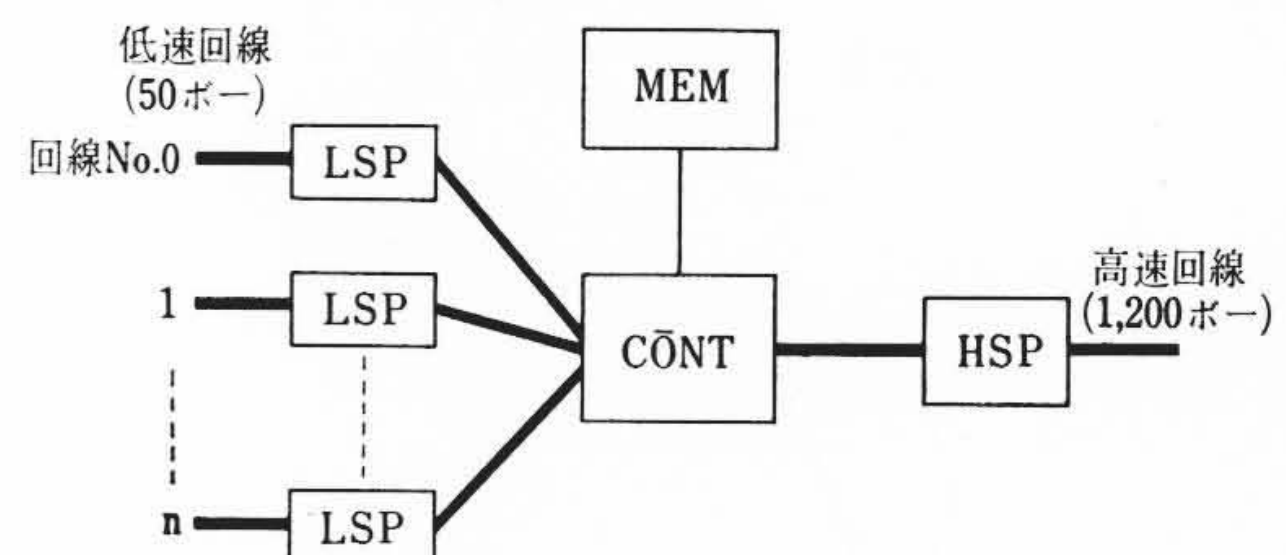


図 1

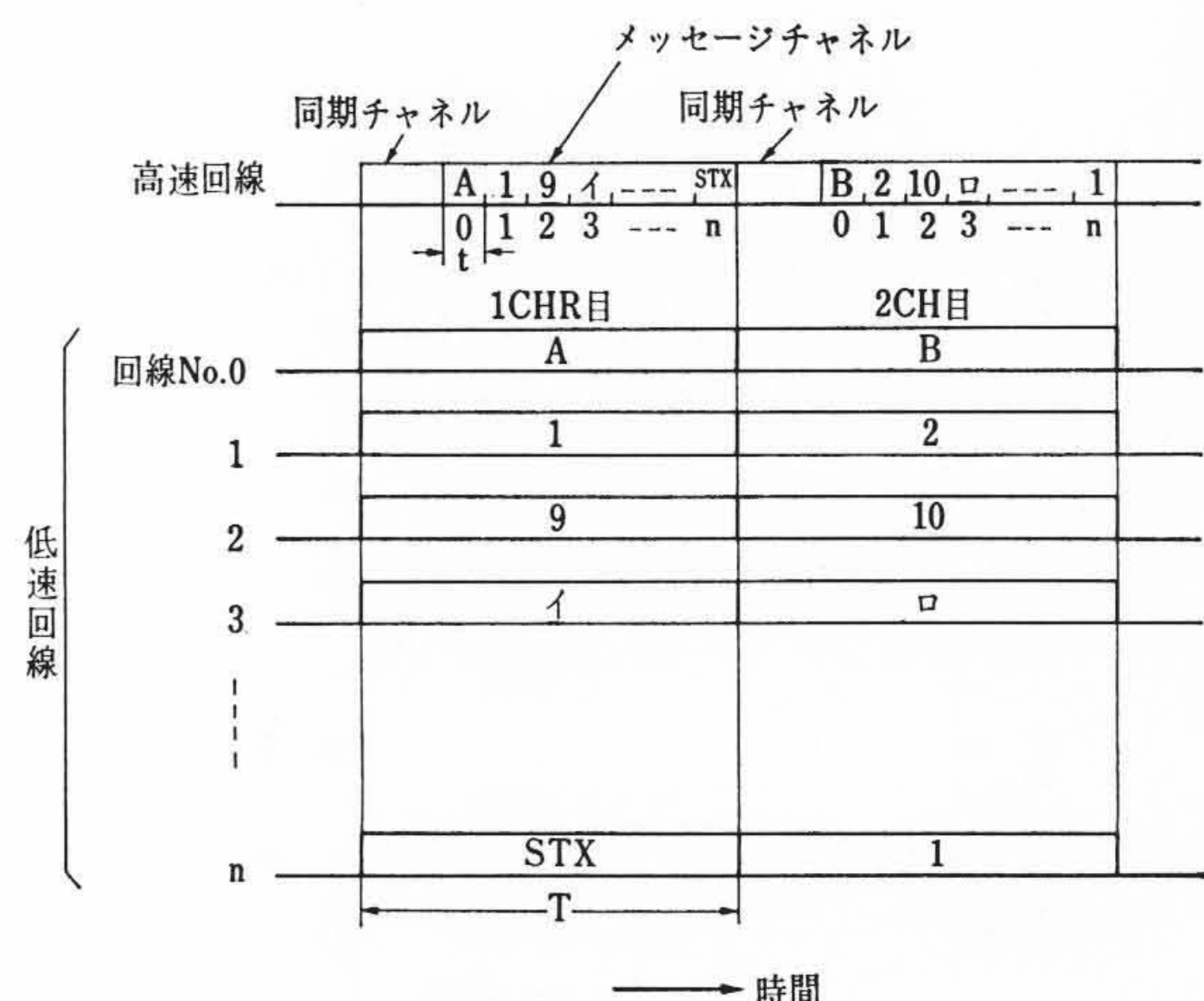


図 2

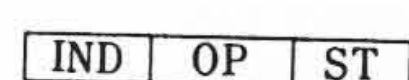


図 3



図 4