

衛星通信やレーダなどのマイクロ波/ミリ波  
で活躍する高出力・高効率デバイス

## 進行波管のあらましと TWT アンプの実際

蔦木 邦夫/藤原 英次

Kunio Tsutaki/Eiji Fujiwara

### 1 はじめに

無線システムでは、高速・大容量化や多値化・帯域圧縮化を行うには送信機の高出力化と低ひずみ化が必須です。マイクロ波帯やミリ波帯で高出力を発生するデバイスとして、ガリウム砒素(GaAs)や窒化ガリウム(GaN)等の化合物半導体素子の開発が近年活発に行われています。しかし、現在でも衛星通信、レーダなどの無線システムの第一線では「進行波管」と呼ばれる真空管が活躍しています。

本稿では、その歴史、動作原理、特徴、製品の実際、今後の開発動向を紹介します。

### ■ 高周波数化の動向

近年急激に進んでいる高度情報社会では、通信の高速・大容量化の要求が益々強くなっています。これに伴い、周波数資源に限りのある無線通信分野では、周波数の有効活用的手段として多値QAMやOFDMのような帯域圧縮の変調方式や通信方式が採用されていますが、限度があります。

そこで、現在種々の無線システムの用途に割り当て

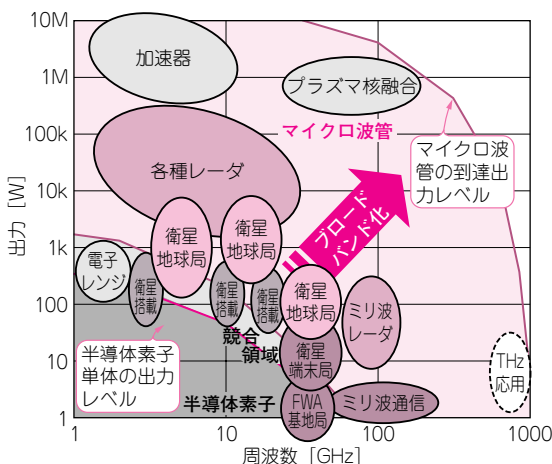
られて周波数が逼迫状況の低マイクロ波帯から、逼迫の程度がまだ低い高マイクロ波帯やミリ波帯を利用する技術開発が行われています。例えば、衛星通信・衛星放送では、従来からC帯(6 GHz)、Ku帯(14 GHz)が使われていますが、近年の高速・大容量化、すなわちブロードバンド化の要求に伴い、北米を中心にKa帯(30 GHz)の利用が加速しています。

### ■ マイクロ波管と適用領域

図1は、出力電力 vs.周波数として、マイクロ波からミリ波領域におけるさまざまな無線システムをマッピングしたものです。携帯電話基地局アンプやWiMAX等の比較的低い周波数や小電力用途では半導体素子が使用されています。

一方、地上36000 kmにある静止軌道上の通信衛星を介して電波を送受信する衛星通信地球局(写真1)や、発射した電波の遠方の物体からの反射波を探知するレーダなどでは数百W～数百kWの送信電力が必要であり、進行波管、マグネトロン、クライストロンなどのマイクロ波管が使用されています。

数十W～1kW未満の用途ではマイクロ波管と半導体素子が競合する領域があり、要求されるアプリケーションごとにそれぞれの特徴を考慮して増幅素子が選択されています。



〈図1〉マイクロ波管の適用領域



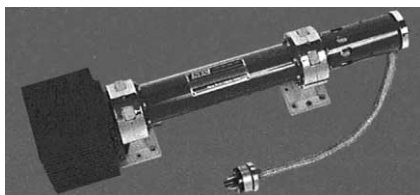
〈写真1〉衛星通信地球局の例 [写真提供：(株)放送衛星システム]

## ■ 進行波管の歴史

### ● 世界で高く評価される日本のTWT

1947年ごろに英国のRudolf Kompfner(1909～1977)によって発明された進行波管(TWT: Traveling Wave Tube)は、簡単な構造で、広帯域かつ高出力が高効率に得られることから、長年の間、無線通信を支えるキー・デバイスとして発展してきました。とくにわが国では1950～60年代に当時の電電公社のマイクロ波回線中継器の終段増幅器としてTWTが世界に先駆けて採用され、量産技術も含めて基本的な技術が確立されました。

当時のわが国のTWTの技術レベルは世界でも高く評価され、米国のマイクロ波回線網構築のために米国に技術輸出されたこともありました。その高信頼性の功績により、実際に使われたTWT(写真2)がワシントンDCのスミソニアン博物館に保存されています。



〈写真2〉米国スミソニアン博物館に永久保存されている日本の進行波管6W52 [C帯, 出力20W, NECマイクロ波管㈱]

### ● 衛星中継器や地球局はTWTを採用

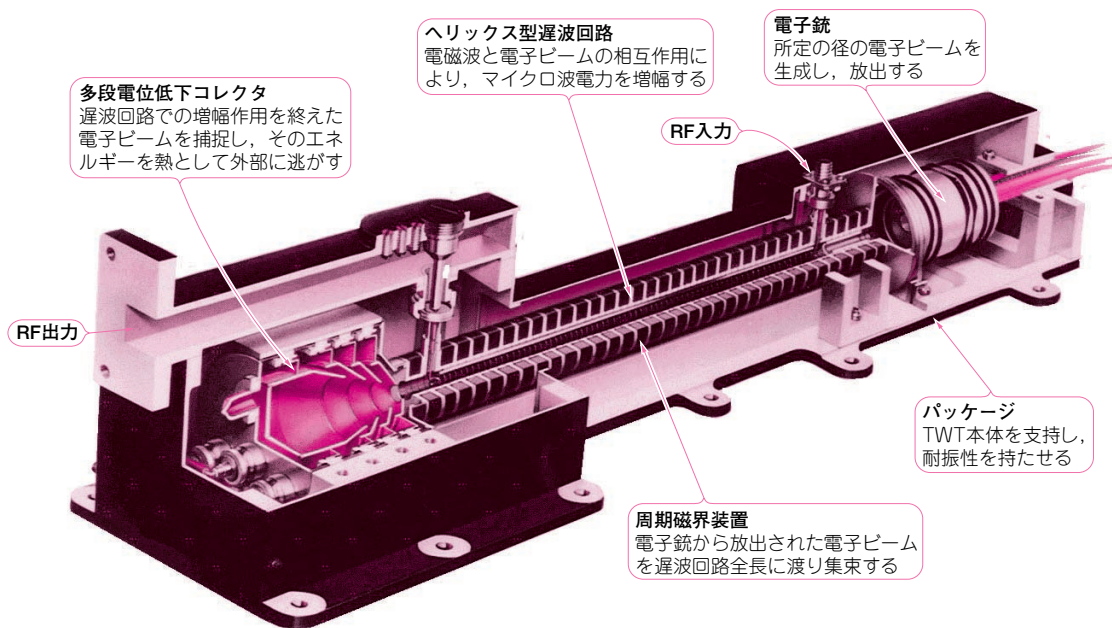
ところで、TWTは真空管の一種なので、真空管への信頼性の懸念や短寿命が考えられ、「固体化」なる言葉があるように半導体素子への置換が一つの技術目標となりました。しかし、TWTはその広帯域性、高効率性、高出力の特徴から、1960年代に出現した衛星通信分野において衛星搭載中継器、地球局電力増幅装置の双方に使用されてきました。昨今の小・中電力のTWTでは多方面の技術開発から格段の高性能化が進んでいます。例えば、電子を放出するカソードでは含浸材の改良により低温度、高電流密度動作が可能となり、20万時間を越える寿命を実現しています。

保守修理が不可能な通信衛星でも一時期に送信増幅器の固体化の動きがありましたが、電力効率(太陽電池容量決定に支配的)、信頼性(故障率・寿命)、経済性(打ち上げ時の質量)等のトレードオフの結果、現在でもほとんどの通信衛星や放送衛星ではTWTが採用されています。

## 2 TWTの動作原理

### ■ TWTの構造

図2に代表的なヘリックス型TWTの構造図を示します。TWTは電子ビームを射出する電子銃部、電磁波と電子ビームが相互作用するヘリックス型遅波回路部、遅波回路全長にわたって電子ビームを所定のビーム径に集束するための周期磁界装置部(PPM:



〈図2〉ヘリックス型TWTの内部構造