

## 大気球搭載用水晶制御 FM 送信機

国谷 紀夫\*・櫻井 久紀\*・松坂 幸彦\*\*  
山上 隆正\*\*・太田 茂雄\*\*・矢島 信之\*\*

### Crystal-Controlled FM Transmitter for Balloon Use

By

Norio KUNIYA, Hisanori SAKURAI, Yukihiro MASTUZAKA,  
Takamasa YAMAGAMI, Shigeo OHTA, Nobuyuki YAJIMA

**Abstract:** A crystal-controlled transmitter has been developed for a telemetry system of a scientific balloon experiment. The transmitter is designed to send 16 kHz PCM data or black and white TV camera signals by FM modulation. A carrier frequency of the transmitter is controlled by a PLL circuit and can be adjusted from 1670 MHz to 1690 MHz. The nominal output power is 0.5 W and it can be easily increased to 5 W by adopting a power booster amplifier.

In order to eliminate EMI noise effect, the main unit of the transmitter is contained in a small aluminum case. It also serves as an effective heat sink. The antenna unit is attached to a frame of a gondola and connected to the main unit through a coaxial cable.

The transmitter was applied to 15 balloon flights and all worked well. The frequency drift was smaller than 16 kHz nominal under the temperature condition in a stratosphere. The transmitter is expected to become one of the standard instrument

---

\* 明星電気株式会社開発室

\*\* 宇宙科学研究所

for scientific balloon experiments.

### 1. はじめに

大気球に搭載する 1680 MHz 帯 FM 送信機の歴史は、信頼性および安定性の向上であった。FM 送信機は真空管タイプの時代より始まり、自励式のトランジスタ型へと移行してきた。このトランジスタ型 FM 送信機は、軽量で大変扱い安いものであった。しかし、自励式で Q 値が高く、気球環境下での温度変動に対して大変敏感であり、送信周波数が  $\pm 7$  MHz 位変動するため周波数の安定性の点で多少問題があった。そのため、周波数変動の少ない水晶型制御型 FM 送信機の開発を 1986 年より開始した。1988 年度に実用化の目度が立ち、実際に 15 機を大気球に搭載し、その性能試験を行った。その結果、気球環境下における送信周波数の変動は 16 kHz 以下であり、大変安定したものであった。この予備実験により、開発製作した水晶制御型 FM 送信機は、軽量小型の周波数変動の少ない、信頼性の高い低電力 FM 送信機であることが実証された。その結果、この水晶制御型 FM 送信機は、大気球搭載用標準 FM 送信機として使用できる目度が立ち、実使用が開始された。本稿では、この水晶制御型 FM 送信機の性能について報告する。

### 2. 水晶制御型 FM 送信機の開発

従来使用してきたトランジスタ型 FM 送信機の実績を踏まえ、水晶制御型 FM 送信機は下記に示す仕様を目標に開発を行った。

- (1) 気球環境下での送信周波数の変動を  $\pm 50$  kHz 以下に安定させる。
- (2) 放熱効率の向上を計り、温度変動の少ないものにする。
- (3) 送信アンテナのアンテナパターンのリップルを 3 dB 以下にする。
- (4) 変調周波数帯域幅を 50 Hz から 1 MHz まで広く安定したものにする。
- (5) 軽量小型で電源効率の向上を図る。

上記の仕様に従い、変調周波数帯域幅が 50 Hz から 50 kHz までの観測データ伝送用と変調周波数帯域幅が 50 Hz から 1 MHz までの搭載 ITV 画像伝送用の 2 種類の水晶制御型 FM 送信機を開発を行った。

### 3. 水晶制御型 FM 送信機の概要

水晶制御型 FM 送信機は、第 1 図に示したように送信ユニットとアンテナユニットと両者を接続する RF ケーブルとより構成されている。送信ユニットは、つや消し黒色塗装を施

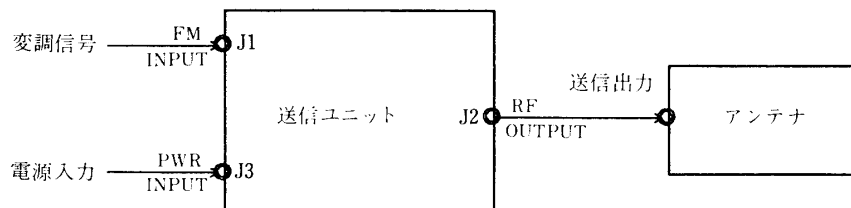


図 1 構成図

した金属シールドケースに収納し、電磁シールド効果と輻射効率の向上を図り、電波障害の軽減および放熱効果の向上を図った。送信アンテナユニットは、送信ユニットから独立させることにより、水平無指向性、垂直偏波およびダイポール・パターン等の性能の向上を図った。この送信アンテナとしてはスリーブ型のものを採用した。送信ユニットから送信アンテナユニットへの給電は、ケーブル損失 0.2 dB の RG-142 B/U 同軸ケーブルを用いた。

送信ユニットの基本構成は、水晶発信器、フェーズ・ロック・ループ回路 (PLL 回路)、変調回路、送信部および電源部よりなっている。この水晶制御型 FM 送信機は、水晶発信器を基本信号源とした PLL 回路により 1680 MHz 自励発信器の搬送周波数を安定させた FM 送信機であり、第 2 図にブロックダイアグラムを示した。また、製作した送信ユニットおよび送信アンテナユニットの外観図を第 3 図に示した。

#### 4. 水晶制御型 FM 送信機の特徴および性能

開発した水晶制御型 FM 送信機の搬送周波数特性および周波数偏差特性を第 4 図に示した。入力電源電圧が 15 V から 27 V までの変動に対して、搬送周波数はほぼ一定周波数で変化しない。また、更に詳細に周波数偏差を見ると、環境温度  $-20^{\circ}\text{C}$  では周波数偏差は、ほぼ 0 kHz であるのに対して、環境温度  $+50^{\circ}\text{C}$  では  $-16$  kHz の周波数偏差がある。

入力電源電圧変動に対する送信出力を環境温度をパラメータとして示したのが第 5 図である。電源電圧が 18 V から 27 V まで変動しても、送信出力はほぼ一定のパワーを送出する。環境温度が  $70^{\circ}\text{C}$  変化すると、送信出力は約 25% 変動する。しかし環境温度が  $50^{\circ}\text{C}$  で送信出力は、0.7 W であるが、回線設計上では送信出力が 0.3 W 以上あれば十分であり、この結果は気球環境下において問題ない変動である。

消費電流特性を第 6 図に示した。消費電流は、周囲温度により多少変動があるが、電源

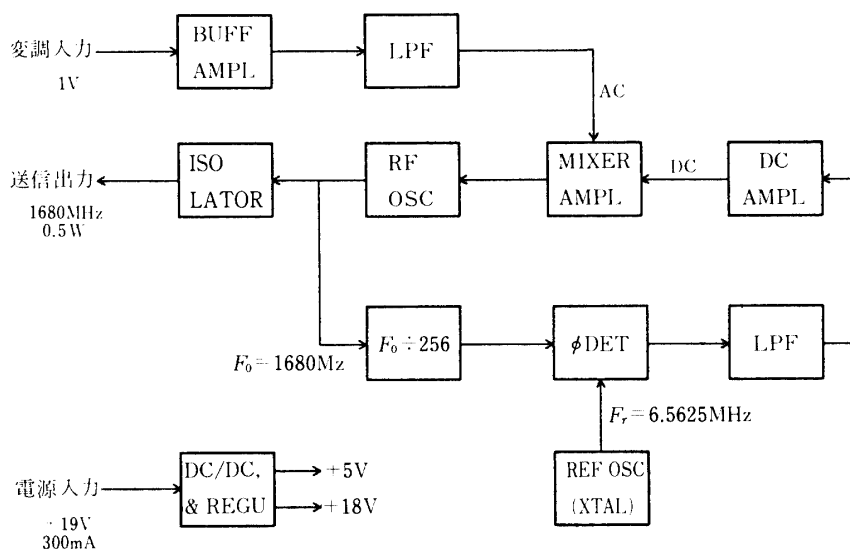


図 2 系統図

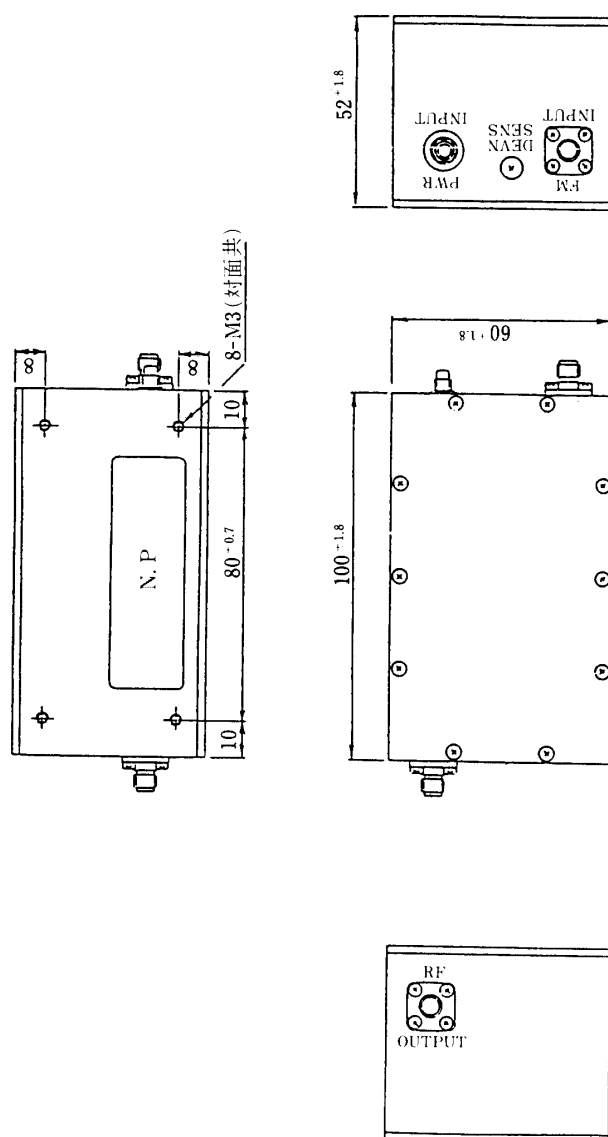


図 3 (1)送信ユニット外観図

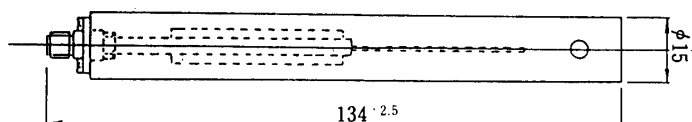


図 3 (2)アンテナ外観図

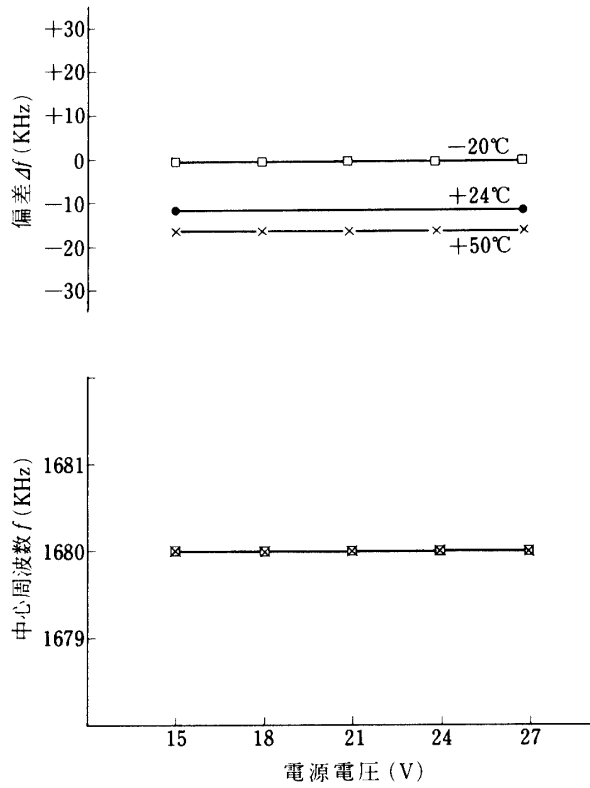


図 4 搬送周波数対電源電圧変動特性例

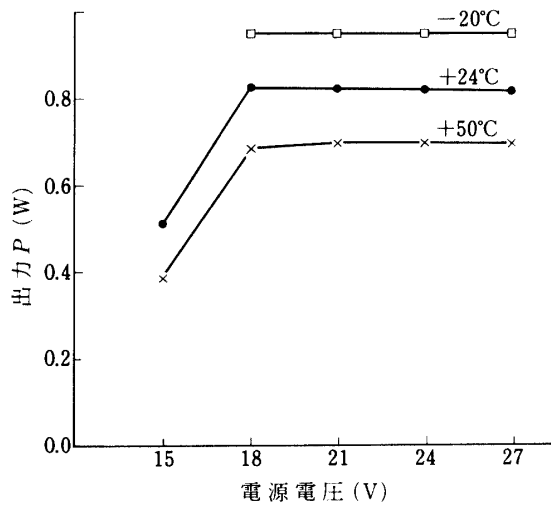


図 5 送信出力対電源電圧変動特性例

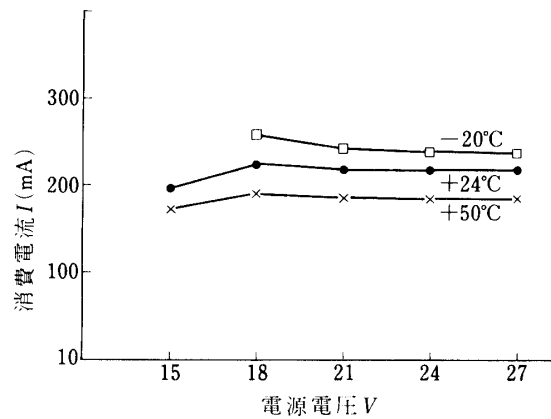


図6 消費電流対電源電圧変動特性例

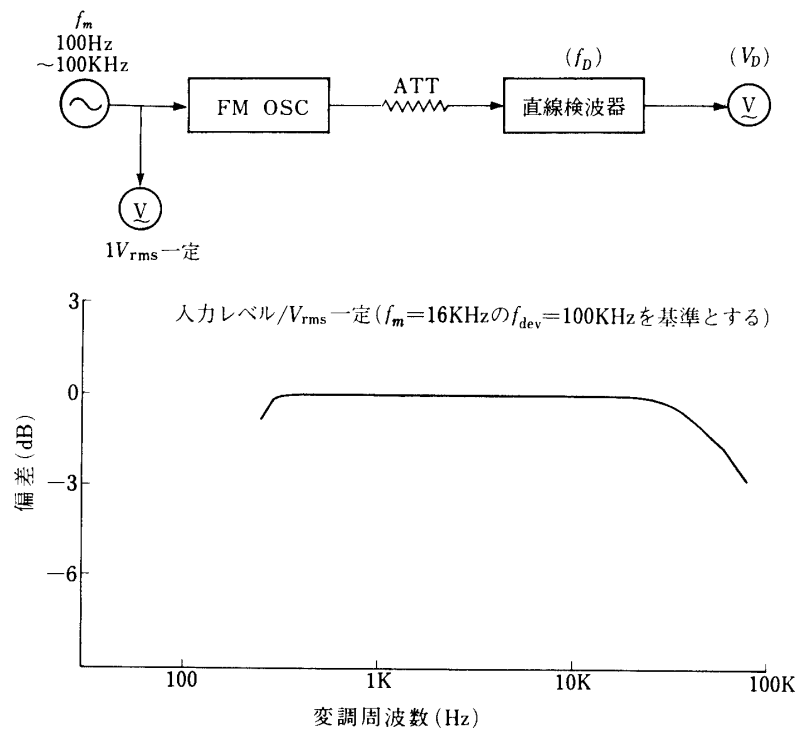


図7 変調周波数特性例 (データ伝送用)

電圧が18 V から27 V までの変動に対して、210 mA $\pm$ 20 mA である。

直線検波器の指示を変調特性とし、変調感度の周波数特性を示したのが第7図の変調周波数特性曲線である。変調感度は、

$$20 \log(F_D/F_{D0}) \text{ (dB)} \text{ または } 20 \log(V_D/V_{D0}) \text{ (dB)}$$

で表される。ここで、変調信号周波数  $F_m=16 \text{ kHz}$  での周波数偏移を  $F_{D0}$  とし、 $F_D$  は任意の  $F_m$  での周波数偏移、 $V_D$  は直線検波器の検波出力である。第7図より、変調周波数特性

は、現在使用している 600 Hz から 32 kHz までの観測データ用矩形 PCM 信号および気球との距離を測定する 500 Hz と 5 kHz の測距信号に対して、十分満足できるものである。また、搭載用 ITV 画像伝送送信機の変調周波数特性を第 8 図に示した。この図より、画像周波数帯域は 1 MHz であり、偏差は  $-1.5$  dB である。この送信機で伝送できる水平解像度は 200 本程度である。

観測データ用送信機の変調感度特性を第 9 図に示した。この図より、受信周波数帯域 200 kHz、変調周波数 16 kHz とし、実際に使用する 100 kHz 以下の変調直線性は十分である。また、入力変調電圧が 0 V のとき、残留ノイズ 5 kHz は PCM 信号に対して十分無視でき

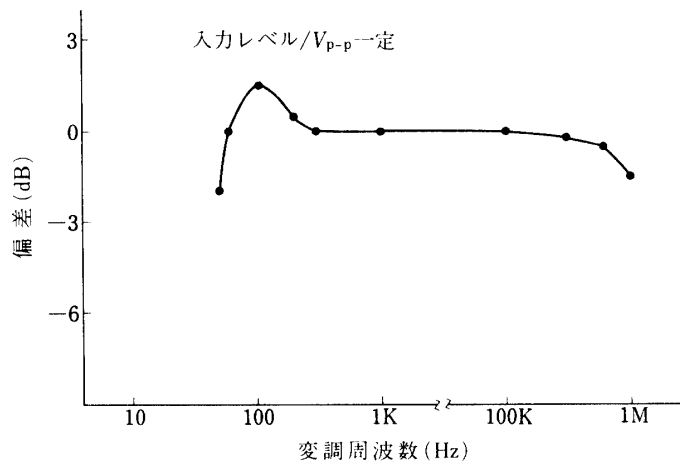


図 8 変調周波数特性例 (画像伝送用)

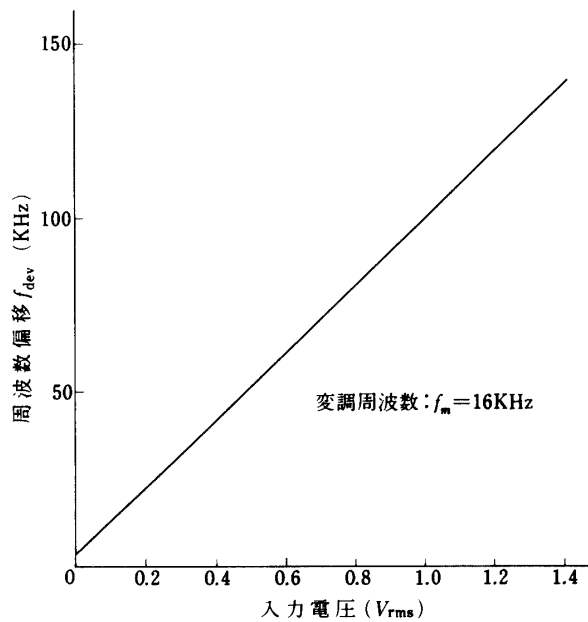


図 9 変調感度特性例 (データ伝送用)

るものである。画像伝送用送信機の変調感度特性を第10図に示した。この送信機は、受信周波数帯域1.5 MHz、最高変調周波数1 MHzとすると、画像のコンポジット信号1 V<sub>pp</sub>で約1 MHzの周波数偏移のものである。

VCO(電圧制御発信器)入出力特性を第11図に示した。環境温度-40°Cから+50°C範囲で送信周波数1673 MHzを一定に保持するために、VCOの制御電圧を4 Vから12 Vまで制御できれば良いことがこの図よりわかる。また、その制御が予備試験で十分実証された。

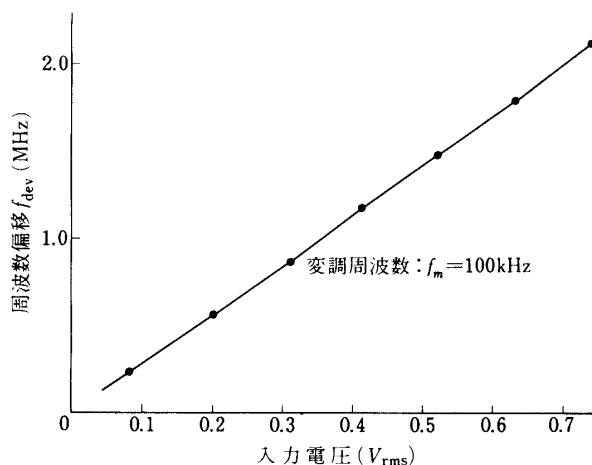


図10 変調感度特性例(画像伝送用)

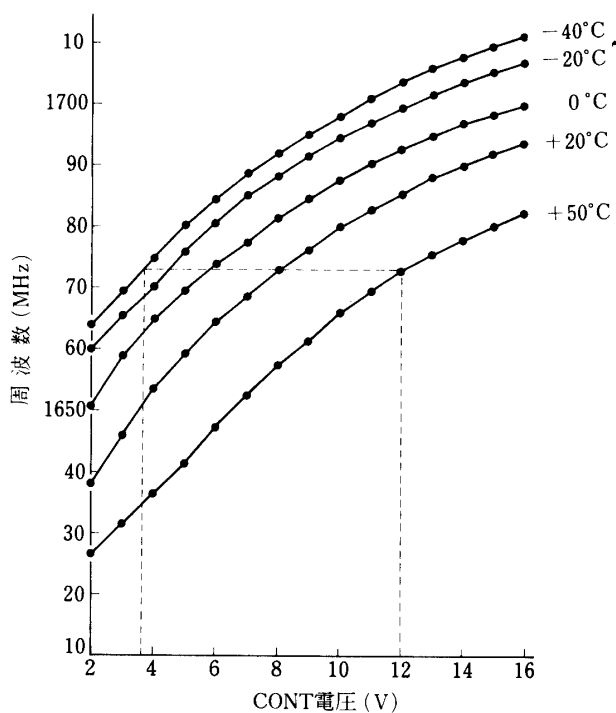


図11 VCO入出力特性例(NEL 2301)



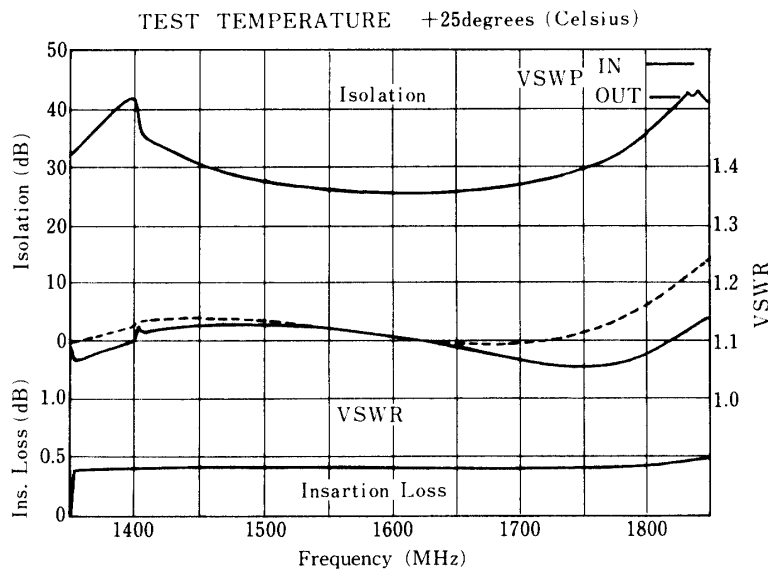


図 12 サーキュレータ特性例 (CU 924 A 3 L-17)

送信機の周囲状況が送信アンテナを通して送信機特性を変化させないためにサーキュレータ回路を用いている。使用したサーキュレータ特性を第 12 図に示した。このサーキュレータによる送信電力損失は 0.4 dB 以下と大変少なく、送信出力端で約 26 dB 以上のアイソレーションをすることができる。

送信アンテナパターン特性を第 13 図に示した。使用したアンテナはスリーブ型であり、アンテナパターンはほとんどダイポールパターンと同じパターンを示す。このアンテナの最大利得は、水平方向で約 2 dB、海面方向でヌルである。地上受信アンテナから見た場合、仰角 44 度でアンテナパターンはビーム半値、仰角 75 度で -20 dB である。

送信アンテナの VSWR 特性を第 14 図に示した。回路系が安定していれば、アンテナの放射効率を VSWR 特性で決定できる。送信機ユニット側はアイソレータにより安定化されている場合、効率や損失を考慮して VSWR 値が 2 以下であれば実用範囲とされている。このアンテナ VSWR 値は 1.1~1.3 であり、損失については無視できる範囲である。また周波数範囲も広く、チューニングは比較的容易なものとなっている。

DC/DC コンバータの消費電流特性を第 15 図に示した。使用したコンバータの実使用 100 mA での効率は約 70% である。

## 5. おわりに

開発を行ってきた水晶制御型 FM 送信機は、1988 年度に実用化の目度が立ち、15 機を実際に大気球に搭載し、性能試験を行った。その結果、気球環境下における送信周波数の変動は、 $\pm 16$  kHz 以下であり大変安定した FM 送信機を製作することができた。この送信周波数安定性の向上により、地上受信装置を製作する上で、大変簡略化できると期待されている。また、送信周波数の安定した水晶制御型 FM 送信機をラジオブイに応用することに

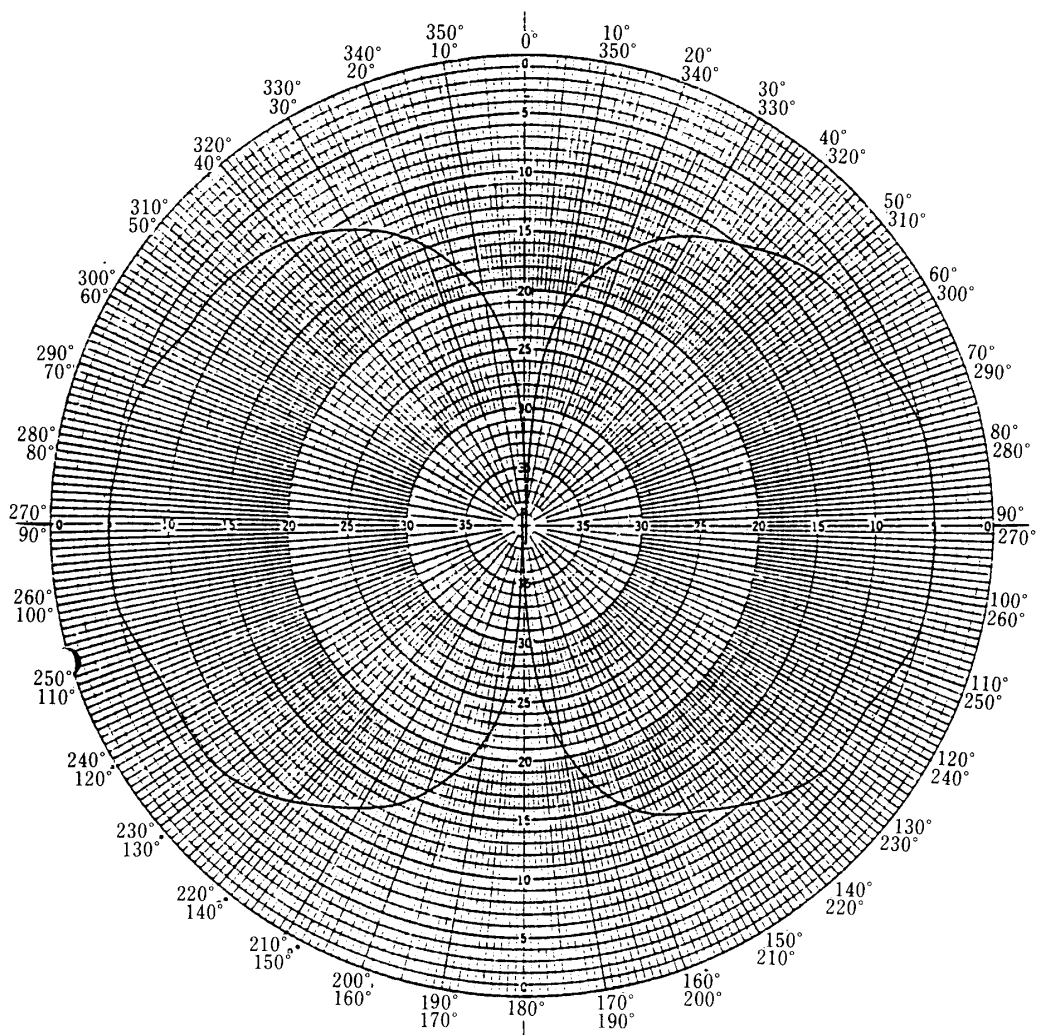


図 13 アンテナパターン (E 面) 特性例

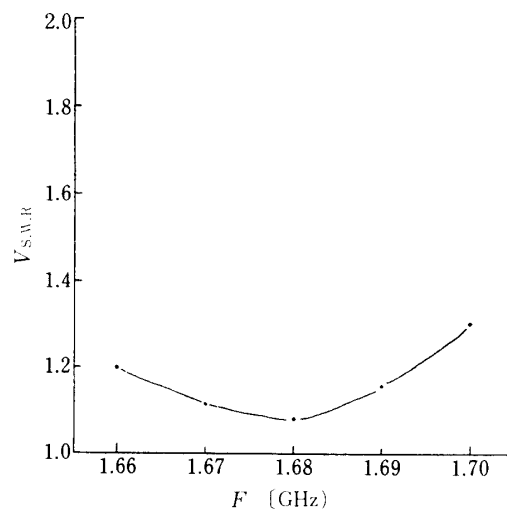


図 14 アンテナ V. S. W. R. 特性例

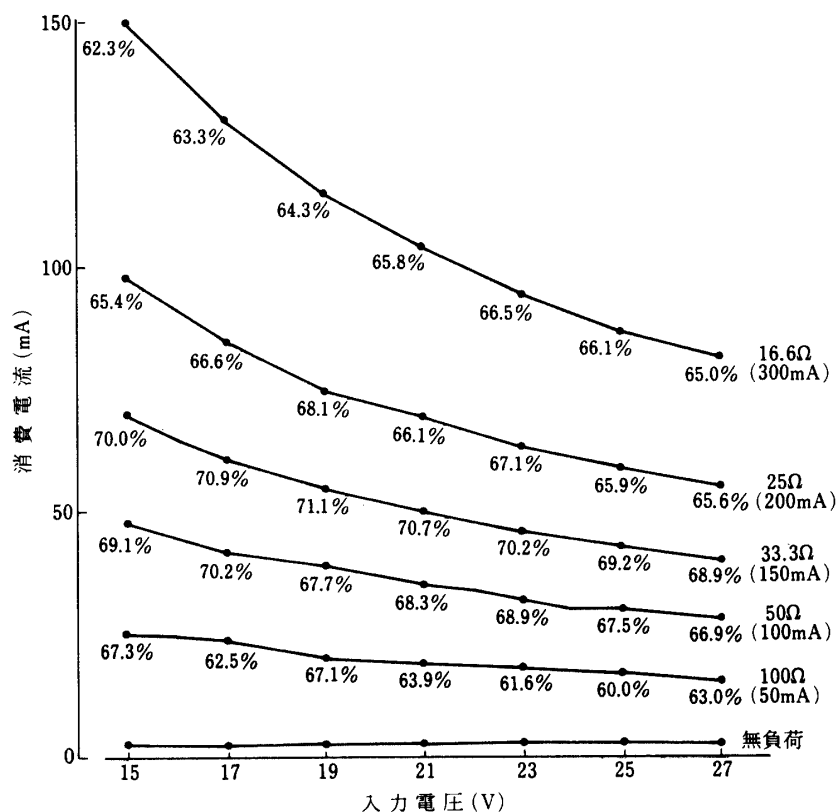


図 15 DC/DC コンバータ消費電流特性例

よって、単周波数の小型で軽量、取扱い安い回収用受信機を製作でき、更に回収効率を向上させることができるものと考えている。

最後に、水晶制御型 FM 送信機の開発を進めるにあたって、御指導および御助力を頂いた宇宙科学研究所西村 純教授、廣澤春任教授および明星電気株式会社柴田利二開発室室長、上原正二製造部次長、森川公夫機器開発課課長に深く感謝の意を表します。