

M-V型ロケット機体アンテナの開発

鎌田幸男

1. 序

一般にロケット搭載アンテナは、各搭載機器の役割により多少異なるが、ロケットの異常飛翔により姿勢が大きく変化した場合にも、確実な通信回線が得られるように無指向性アンテナが要求される。これは、M-Vにおいても当然のことである。無指向性のアンテナは、取り付けられる構体の形状及び寸法により大きく影響を受けるため、ロケットボディーを含めた設計が必要となる。

M-V型ロケットは、従来のM-3SII型ロケットから大きく進化し、その形状寸法は全く新しくなっている。アンテナ設計の観点から見たM-V型ロケットの特徴は次のようになる。

①ロケットボディの大型化

従来のMロケットの直径1.4mから2.5mへ大きくなった。

②ロケット外周部のストリンガー

1・2段接手及び2・3段接手部に強度剛性を高めるためのストリンガーが配列された

③CFRP製のノーズフェアリング

M-VではB3-PL部が新設され、電波を透過しないCFRP製のNF内部に入った。

以上のことからM-V機体アンテナは、M-3SII搭載アンテナを全て見直し、殆ど全てのアンテナが新規設計を行うこととなった。以下に各搭載部に分けて機体アンテナの開発について述べる。

2. 設計方針

M-V型ロケット搭載用アンテナの開発を行うに当たり、以下のような設計方針に基づいて設計を行う。

①信頼性の向上

適応可能な現有技術の活用とシンプルな構成

②通信回線との適合性

各搭載機器の役割と性能を把握し、地上系の性能を考慮する。

③環境との適合性

ロケットの厳しい環境条件に適合する。

④無指向性アンテナ

ロケットの異常飛翔時においても通信を確保する。

⑤ロケットとの適合性

アンテナ設計上のロケットの特徴を考慮する。

3. B2-PL 外板部搭載アンテナ (B2-300TM-ANT, 450CM-ANT, B2-STM-ANT, 1.6RT-ANT, 5.6RT-ANT, TV-TM-ANT)

3.1. B2-300テレメータアンテナ (B2-300TM-ANT)

従来 M ロケットでは、300TM アンテナ系は 8 素子の円偏波給電により無指向性のアンテナ系を構成していたが、M-V ではロケットの径が 2.5m と約 1.8 倍になり、放射パターンはレベル変動が大きくなり無指向性アンテナとしては適さないことが確認された。従って、多素子化により無指向性のアンテナ系を構成することは、素子数の増加とパターンの劣化を招き得策ではない。ここでは、M ロケットの S バンドテレメータ用アンテナ系で採用している、二素子切替方式によりアンテナ系を構成する。

この切り替え信号は S バンドアンテナ切り替え受信機から得ており、地上局に対向している側のアンテナより伝送される。この方式では、一つのアンテナに送信出力の全てが入力されることになるため、耐電力性能は 2 W 以上必要になる。しかし、従来の伝送線路型アンテナは耐電力が低く、最も放電しやすい気圧の約 0.2 Torr では約 0.6 W で放電する。そこで、耐電力性能の向上と空力加熱に対する耐熱性等の改善を図るため図 1 に示すように線路部を誘電体カバーの中に埋め込んだ構造のアンテナを開発した。このカバーの材料には耐熱性が良く、電気特性も優れている物としてセラミック材の中からボロンナイトライドを選定した。本アンテナは気圧に対する耐電力特性を測定した結果、1 Torr で 8.5 W、最も放電しやすい 0.2 Torr でも 3.8 W の耐電力特性が得られている〔1〕。

本アンテナの外観図を図 2 に、放射パターンを図 3 にそれぞれ示す。なお、 $\theta = 0^\circ$ 方向が機体後方を示す。このようにアンテナの放射特性は、ストリンガーによる影響はほとんどなく、アンテナ全周のパターンは図 3 に示すように、アンテナ取り付け面側はほぼ無指向性のブロードな放射特性が得られており、反対側のパターンはこれと対向する位置に取り付けられるアンテナの守備範囲となり全球面で無指向性のアンテナ系を構成する。B1・B2 300TM アンテナ系のシステム系統図を図 4 に示す。

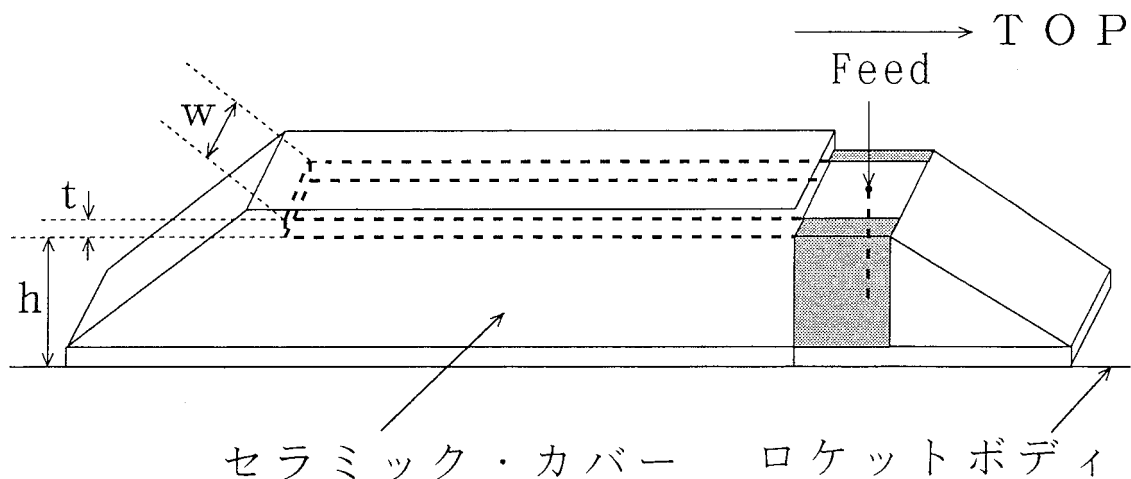


図1 300TM-ANT の構造

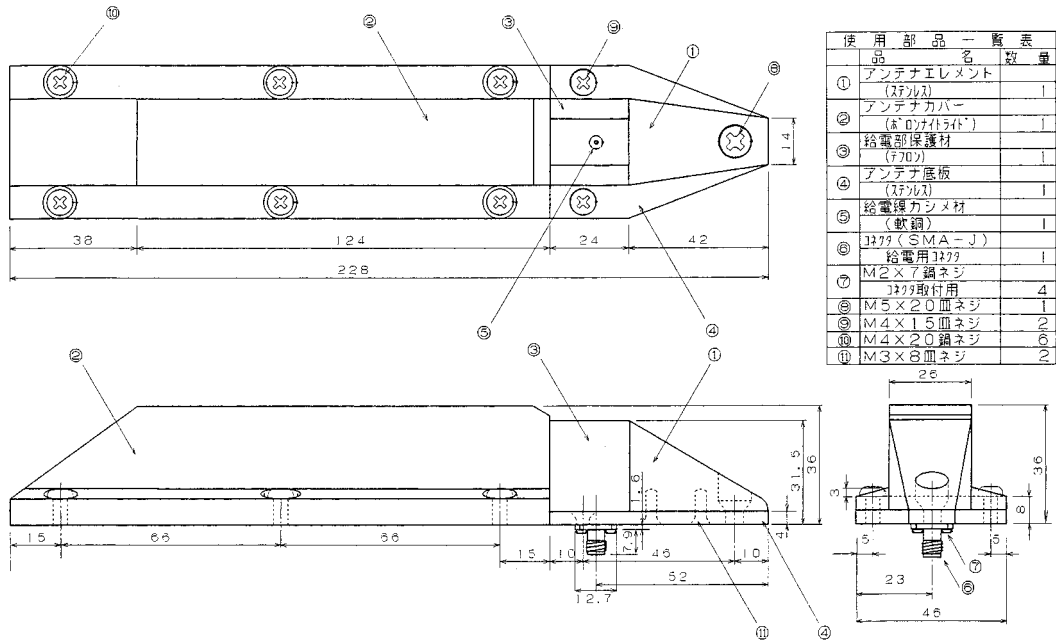


図2 300TM-ANT 外観図

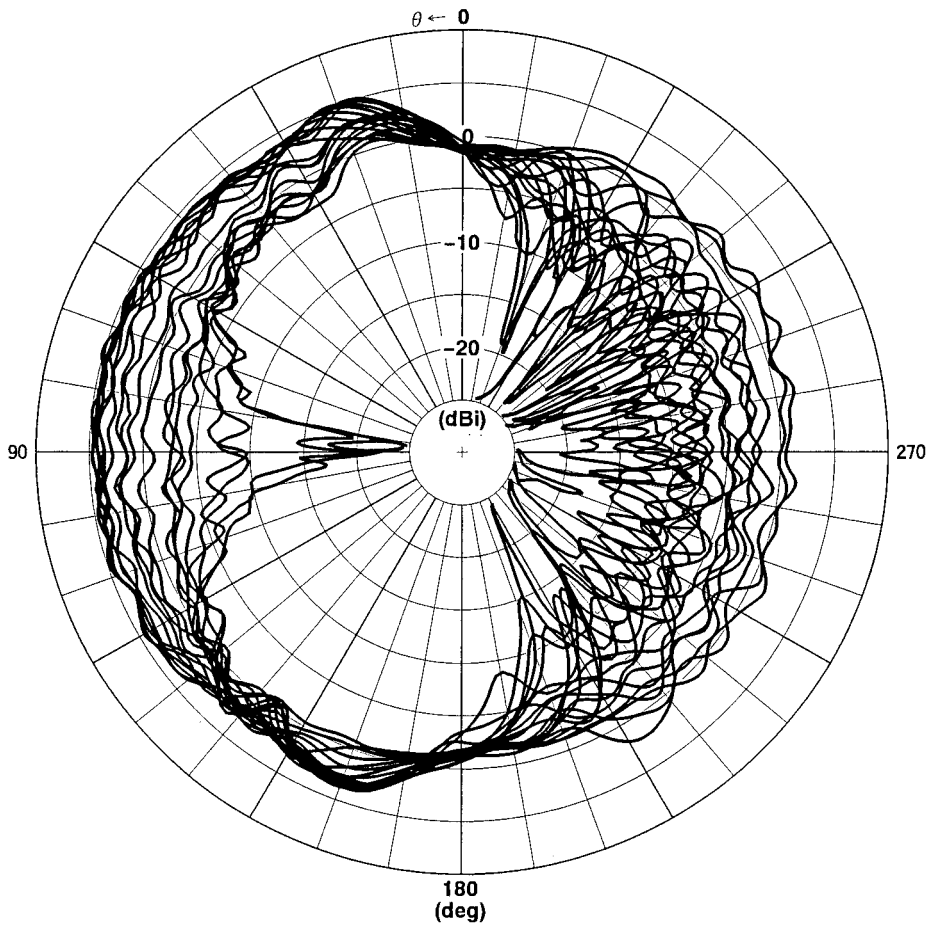


図3 300TM-ANT 放射パターン

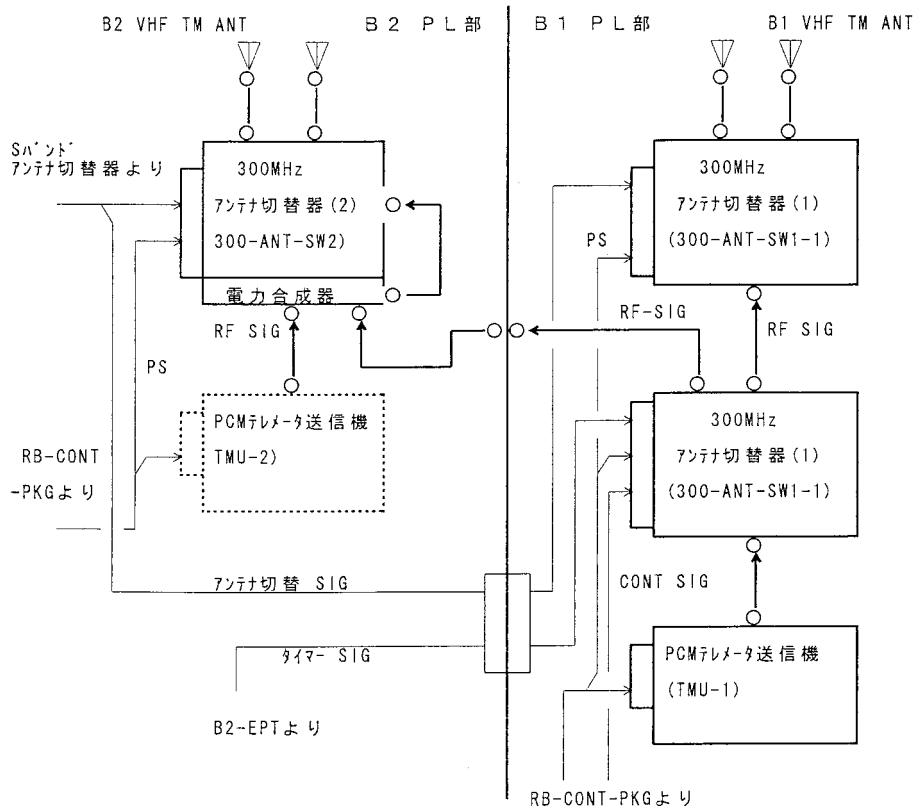


図4 B1・B2 300TM-ANT系システム系統図

3.2. 450コマンドアンテナ (450CM-ANT)

このアンテナ系も、ロケットの直径が大きくなり二素子合成パターンは切れ込みが多く生じ、無指向性アンテナには不適當になったため、二素子切替方式に変更する。このアンテナの系統図を図5に示す。このアンテナ素子は、300TMアンテナと同様の構造であり、図6に外観図を示す。放射特性は図7に示すように300TMアンテナと同様にストリンガーによる影響は殆どなく、良好な特性が得られている。

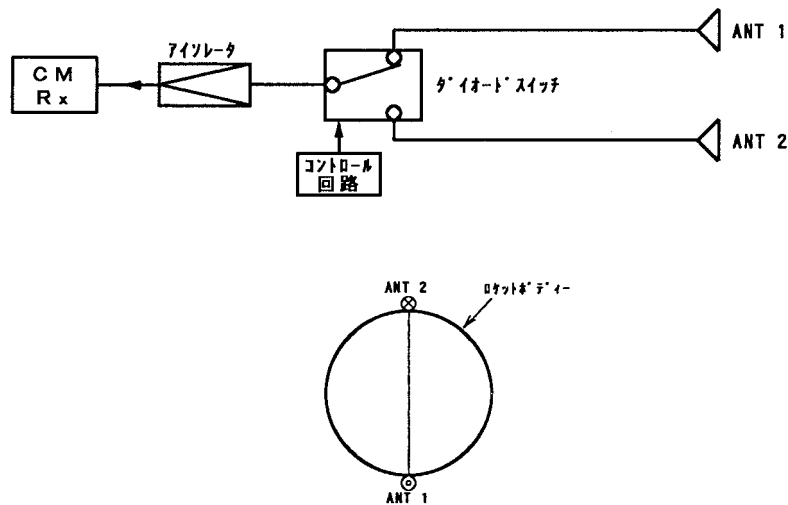


図5 450CM-ANT 系統図

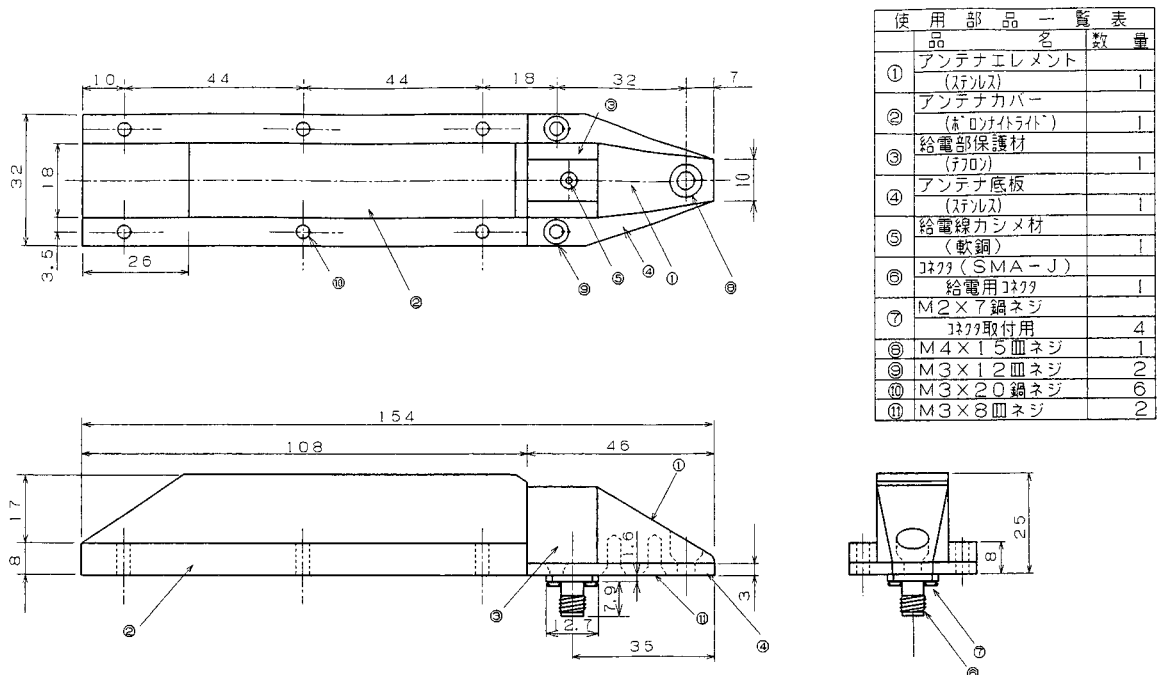


図6 450CM-ANT 外観図

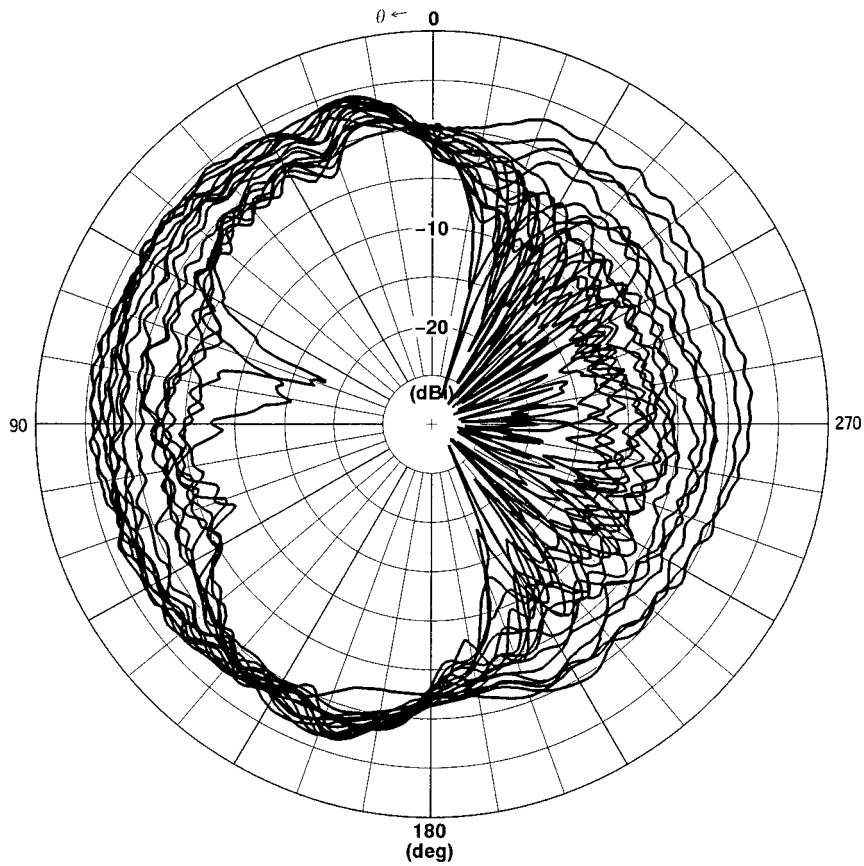


図7 450CM-ANT 放射パターン

3.3. B2-Sバンドテレメータアンテナ (B2-STM-ANT)

Sバンド(2200MHz帯)の周波数になると、波長が約13cmと小さくなるため、高さ約5cmのストリンガーが無視できなくなり、放射特性は大きく乱される。この影響を除去する方法として、ストリンガー上にアンテナ取付板を設けることとした。検討の結果、図8に示すような大きさの寸法に決定した。このアンテナ素子は、従来のMロケットに搭載されている優角コーナリフレクタ付きモノポールアンテナ〔2〕で、放射パターンは図9に示すようにロケット後方に対して良好な特性を得ることができている。このアンテナ系も二素子切替方式により、地上局に対向したアンテナに切り替えることで無指向性アンテナを構成している。本アンテナの外観図を図10に示す。

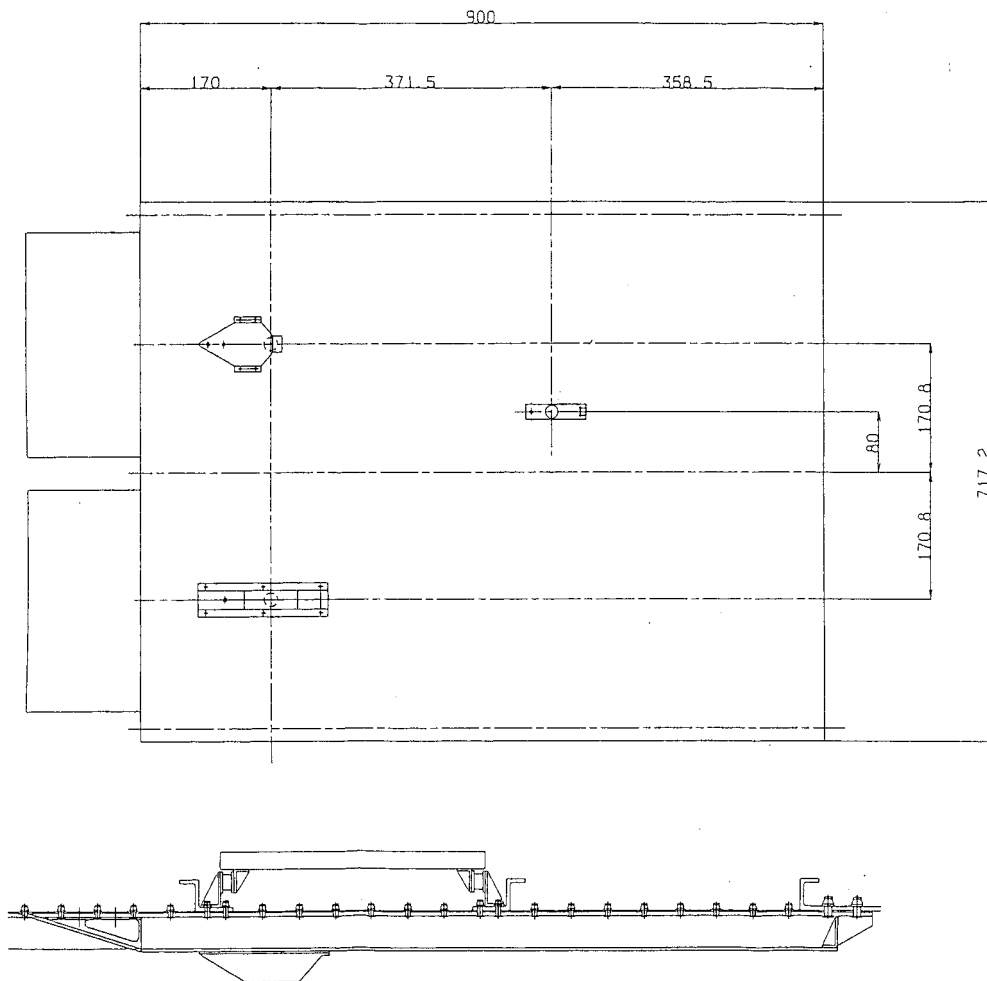


図8 アンテナ取付板

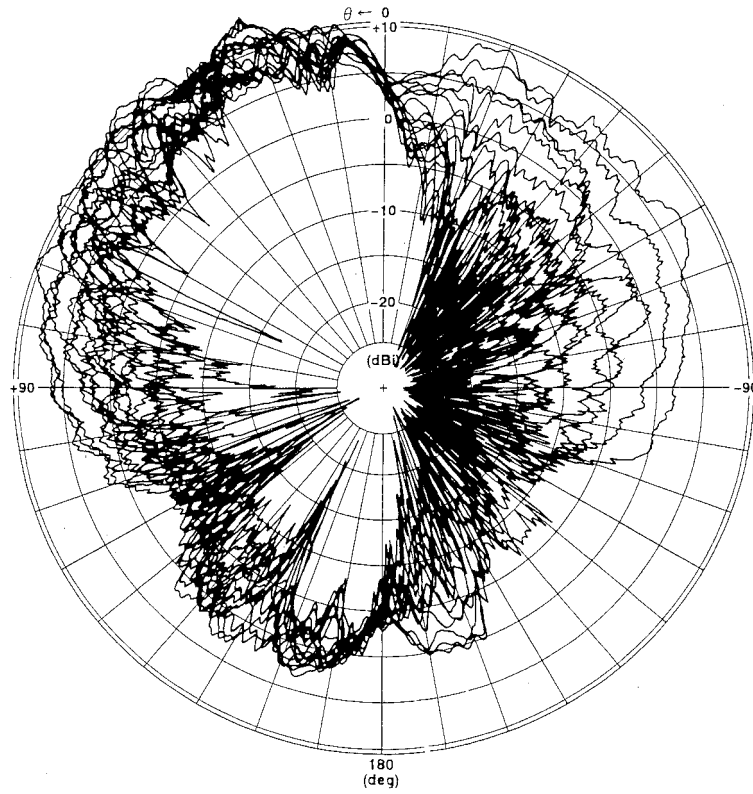


図9 B2-STM-ANT放射パターン

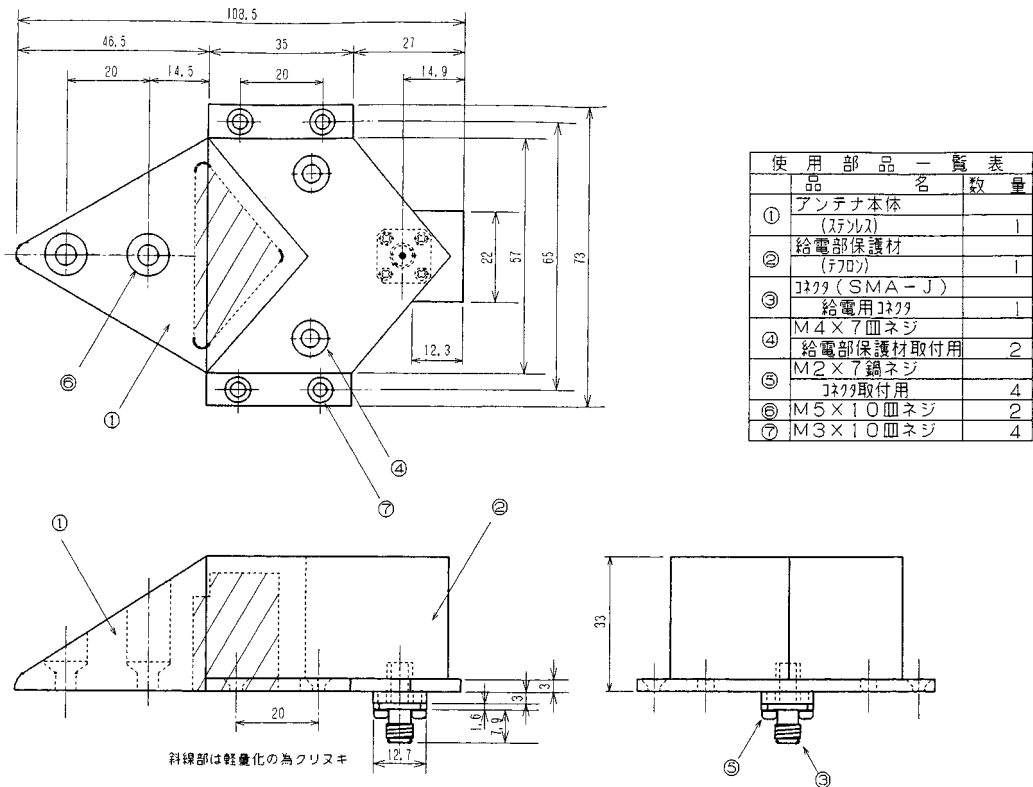


図10 B2-STM-ANT外観図

3.4. 1.6レーダトランスポンダアンテナ (1.6RT-ANT)

1.6RT アンテナ系は、従来二素子逆相給電であったが、M-Vではロケットの径が大きくなったため、二素子切替方式に変更する。また、アンテナ素子についても、従来の蟬型アンテナから図11に示すような構造のアンテナに変更する。これは、反射板と給電素子、導波器から成る三素子の八木アンテナ構成となっており、ロケット後方の指向性を上げ、利得の増大を図っている。この周波数帯もストリンガの影響が大きいため、前述したアンテナ取り付け板上に装着される。この時の放射特性を図12に示す。このようにロケット後方利得が最大で約10 dBi 以上得ることができている。これにより1.6レーダ系の通信回線は約10dB 改善される。

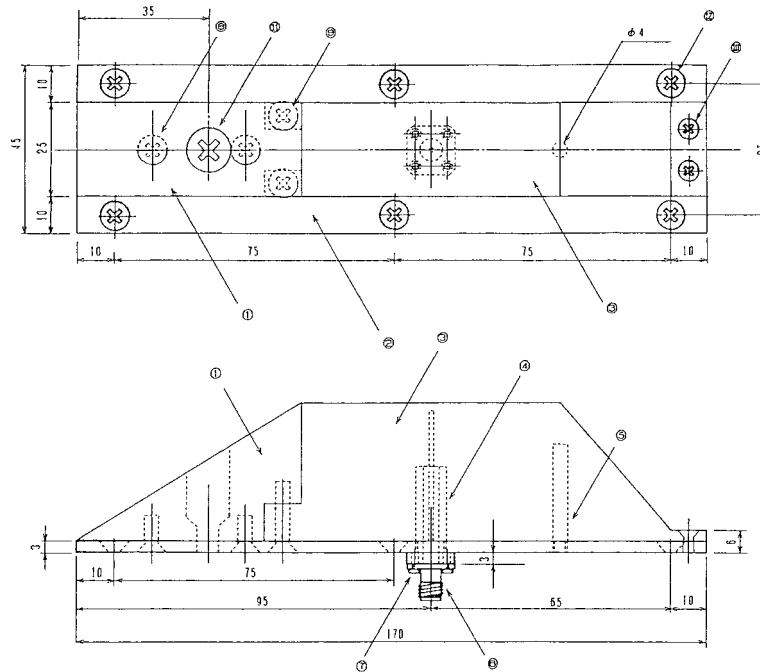


図11 1.6RT-ANT 構造図

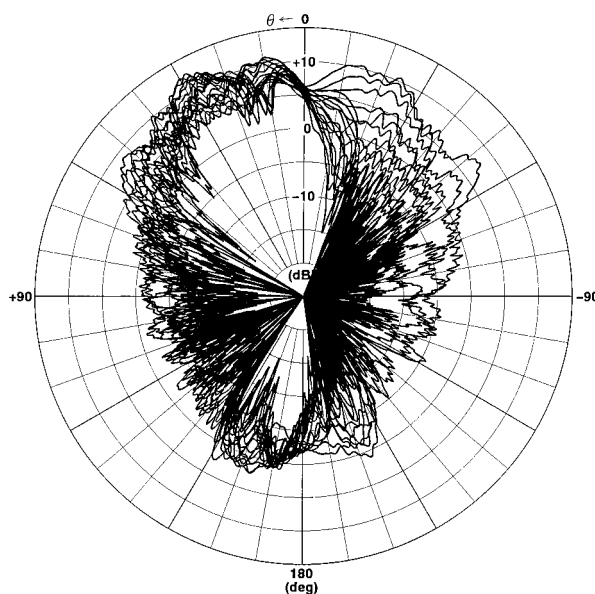


図12 1.6RT-ANT 放射パターン

3.5. 5.6レーダトランスポンダアンテナ (5.6RT-ANT)

M-V-3号機と4号機では1.6RTを取り止めB2-PL部にも5.6RTを搭載した。このアンテナの搭載位置は以前の1.6RTアンテナと同じ位置である。アンテナ形式は誘電体装荷導波管アンテナであり、導波管内部に誘電体を充填することによりアンテナを小型に出来、同時に放射パターンがブロード化が実現できる。このアンテナの外観図を図13に示す。このアンテナ系は二素子逆相給電により構成されており、構成図を14に示す。

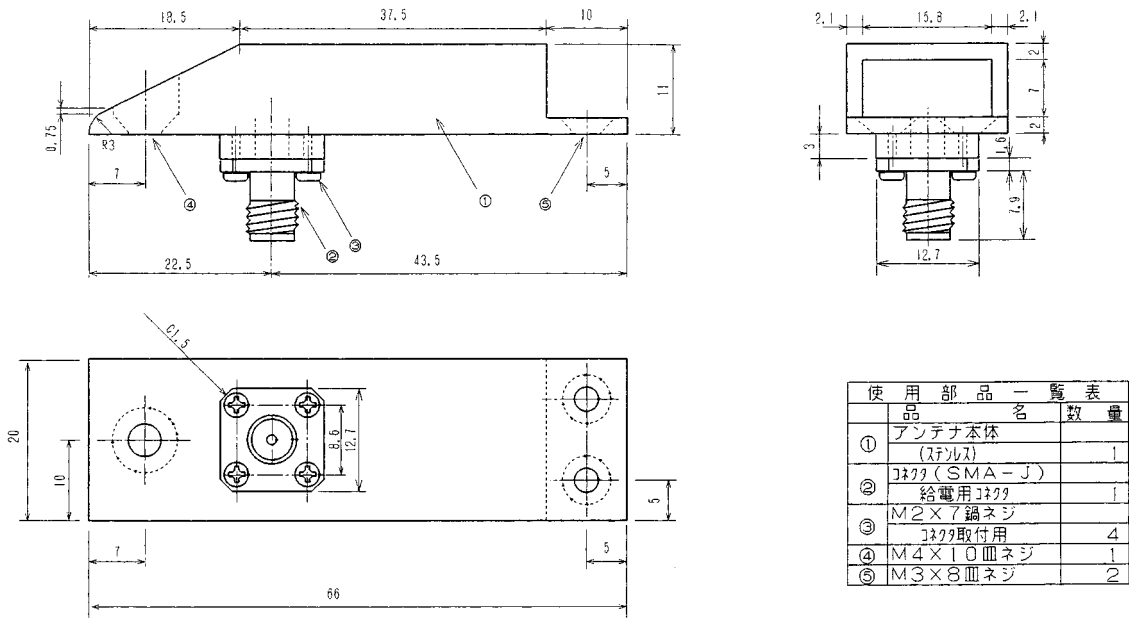


図13 B2-5.6RT-ANT 外観図

B2 PL部 5.6RT ANT

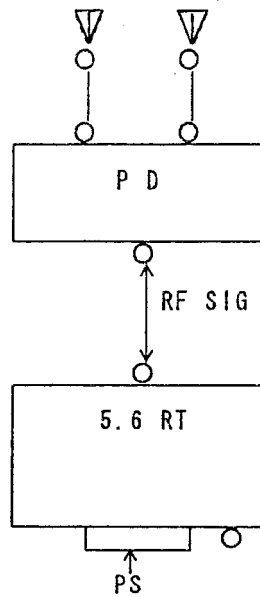


図14 B2-5.6RT-ANT 構成図

3.6. TVテレメータアンテナ (TV-TM-ANT)

このアンテナも周波数が高いためストリンガーによる影響を除去するため、アンテナ取り付け板上に装着する。この時の放射特性を図15に示す。このようにロケット後方に優れた放射特性を得ている。本アンテナの外観図を図16に示す。

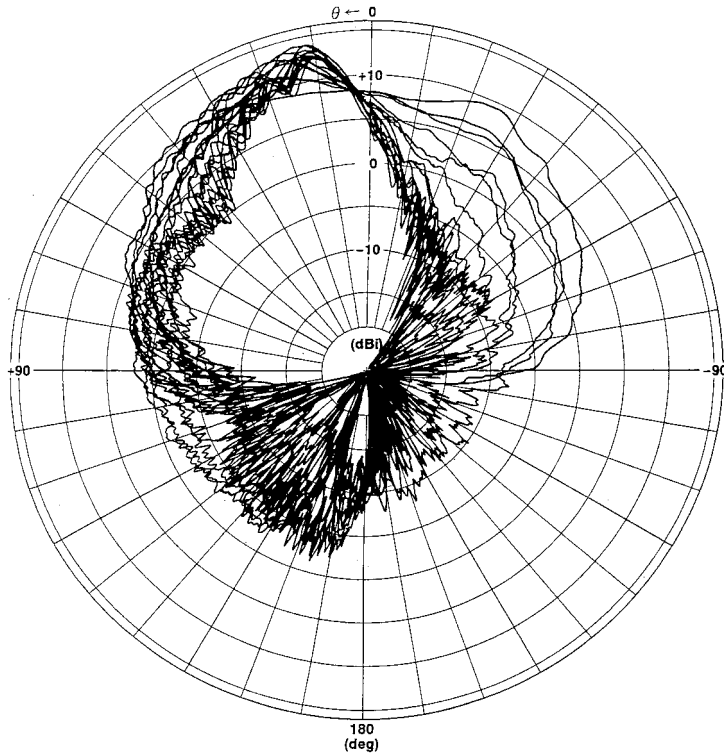


図15 TV-TM-ANT 放射パターン

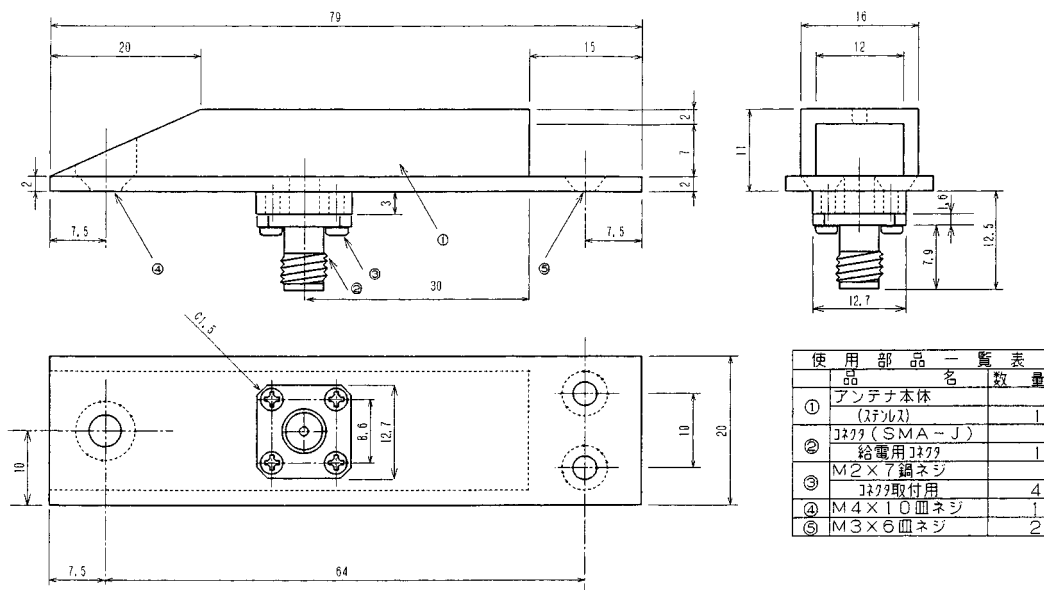


図16 TV-TM-ANT 外観図

3.7. B2-PL 搭載アンテナ取付位置

B2-PL 部に搭載される各アンテナの取り付け位置を図17に示す。

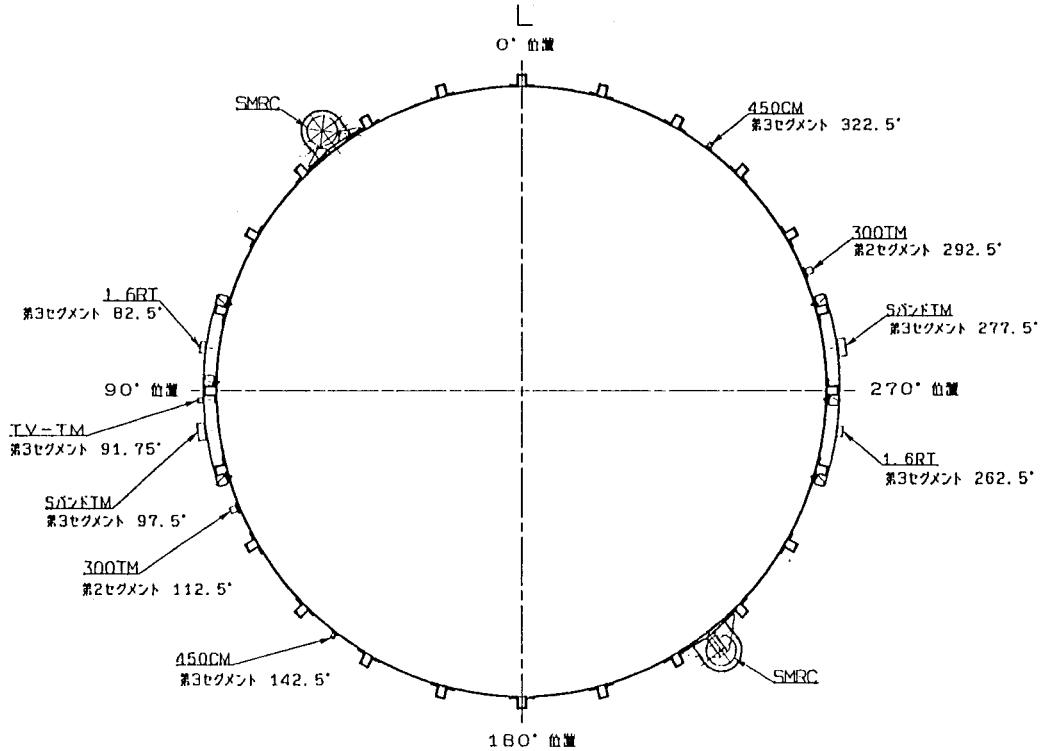


図17 B2-PL 搭載アンテナ取付位置

4. B1 後部筒搭載アンテナ (B1-300TM-ANT)

B1 計測データは B1-300テレメータにより伝送され、B1 モータの燃焼ガスの影響を避けるため、初めは従来と同様に B2-PL 部の 300TM アンテナから送信される。しかし、M-V では B1 分離直後の計測データが必要となることから、分離直前にタイマーにより B1 部に搭載されたアンテナに切り替え、送信することとなった。このため B1 後部筒外板に 300TM アンテナを 2 個搭載している。

B1-300TM アンテナ系も二素子切替方式により無指向性の放射特性を得ている。この切り替え信号は S バンドアンテナ切り替え受信機から得ており、地上局に対向している側のアンテナより送信される。このアンテナは、図 2 に示した B2-300TM アンテナと同様であり、放射特性も図 3 に示した特性と同様である。

図18にアンテナ取り付け位置を示す。

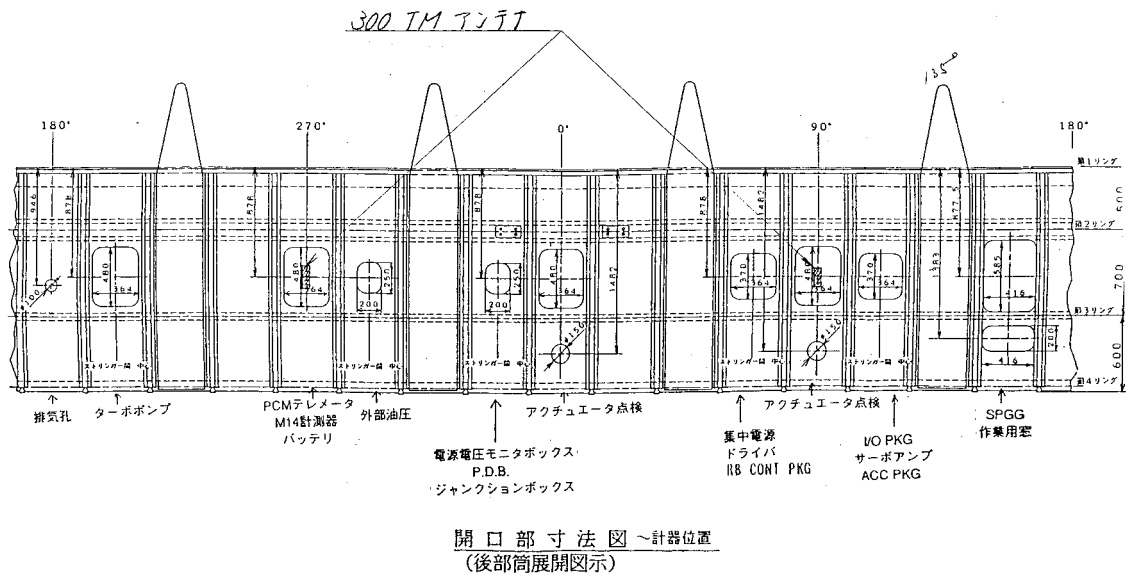


図18 B1-300TM-ANT 取付位置

5. B3-PL部とNF外板部搭載アンテナ (STM-ANT, 5.6RT-ANT)

M-VのNFは、電波を透過しないCFRP製でできており、NF内部に搭載されるレーダとテレメータは、NF開頭までの通信を確保するために何らかの方策が必要となる。ここでは、B3-PL部とNF外板にそれぞれアンテナを取付け、NF開頭時にアンテナを切り替える方式を採用した。図19に示すように、アンテナ系は送受共用と無指向性が要求されており、アップリンクの受信レベルにより切り替えの判定を行う二素子切替方式を取っている。NF側のアンテナからB3側のアンテナの切り替えは、RFスイッチと分離コネクタの機能を兼ね備えたカップリングアンテナ (CPA) により行う [3]。これにより、アンテナの切り替えとNFの開頭が常に同時に行える。このアンテナ系の構成を図20に示す。Sバンドテレメータアンテナと5.6レーダアンテナがそれぞれ2個対称位置に取り付けられる。NF開頭前のCPAはRFケーブルによりNF外板のアンテナに給電する伝送路の一部となる。NFの開頭により引き抜きワイヤーが引かれCPAが分離しNF側のアンテナと同一構造のアンテナが現れる。B3-STM-ANTとCPA結合時の外観図を図21に、B3-5.6RT-ANTとCPA結合時の外観図を図22にそれぞれ示す。

周波数帯がSバンド (テレメータ) とCバンド (レーダ) であり、B3側のアンテナとCPA結合時にはNF側のアンテナに給電する伝送路の一部となることから、アンテナの構造は導波管開口型のアンテナとした。CPA分離機構を図23に示す。NFの開頭によりバネで押さえられたスライドブロックがNFに固定されたワイヤーにより引かれて上に移動し、アンテナ本体の側壁の穴に入っていたボールが移動することによりロックが解除されて分離する。分離時の張力はバネの強度を変えることにより最適な値に調節できる。このような構造にすることにより、小さな引き抜き荷重で大きな耐震性が得られる。この環境試験としてM-Vの非常に厳しい環境レベル (36Grms) により行われ、クリアすることができた。

CPAの垂直方向引き抜き荷重と給電ロスを以下に示す。

CPA引き抜き荷重

5.6RT-CPA ————— 3.0kg~4.0kgの範囲

STM-CPA ————— 3.0kg~4.0kgの範囲

カップリングロス

5.6RT-CPA ————— 1 dB 以内

STM-CPA ————— 1 dB 以内

また、NF 外板部に搭載される NF-STM-ANT と NF-5.6RT-ANT の外観図を図24及び図25に示す。STM アンテナは誘電体装荷導波管開口アンテナで、5.6RT アンテナも B 2-PL 部に搭載しているアンテナと同様に導波管内部に誘電体を充填した誘電体装荷導波管アンテナである。これらアンテナの放射特性は、図26及び図27に示すようにロケット後方に対して良好な放射特性が得られている。さらに、アンテナ取り付け位置関係図を図28及び図29にそれぞれ示す。

4 号機では5.6RT アンテナのロケット後方指向性を上げ、B 3 燃焼中の通信回線マージンを改善するために、B 3-PL 部搭載の5.6RT アンテナと CPA は、その外観形状を S-TM アンテナと同じ寸法にし、内部の誘電体を取り除いている。レーダの受信レベルから、NF 開頭後の受信レベルが約10dB 上昇していることが確認され、回線マージンを大幅に改善する事が出来ている。

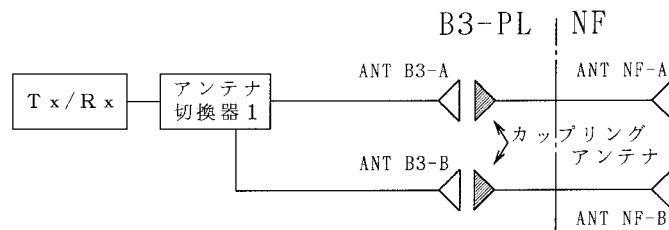


図19 B 3/NF アンテナ切替方式

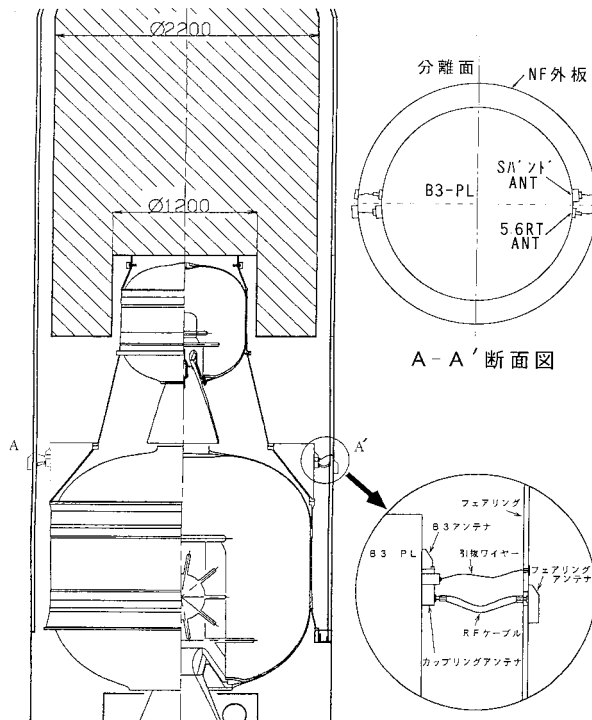


図20 B 3/NF アンテナ系構成図

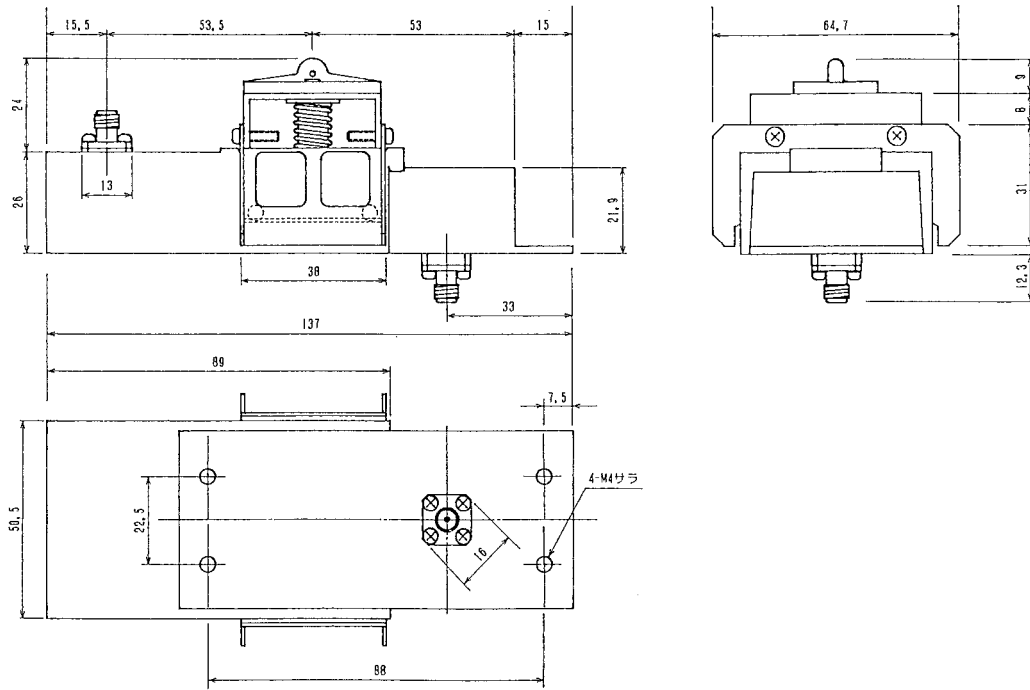


図21 B3-STM-ANT と CPA 結合時の外観図

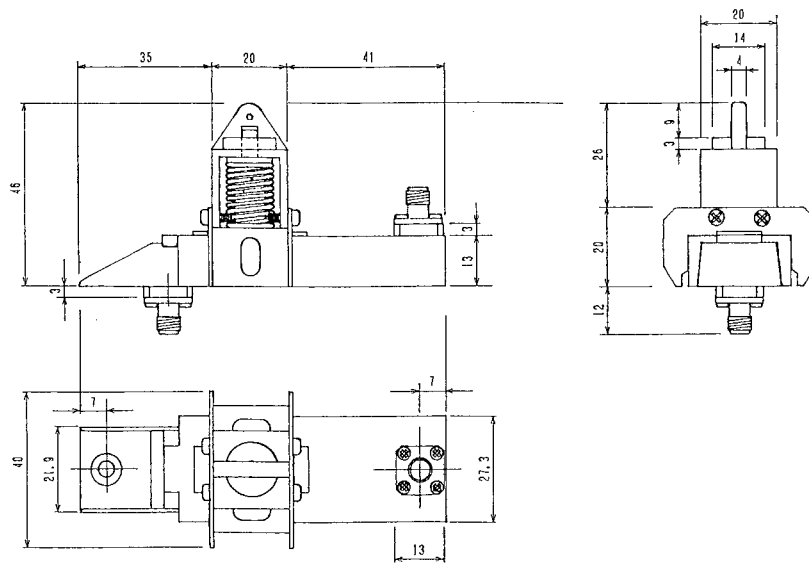


図22 B3-5.6RT-ANT と CPA 結合時の外観図

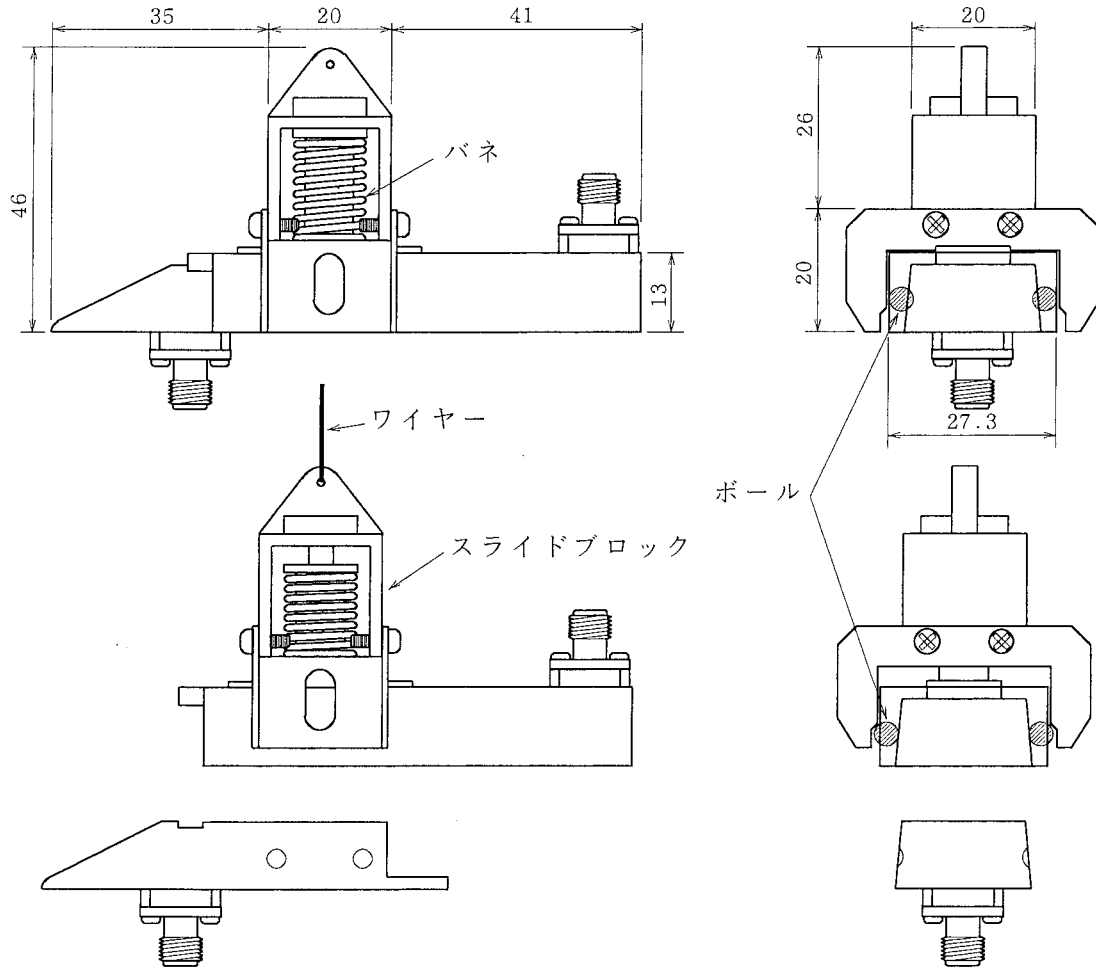
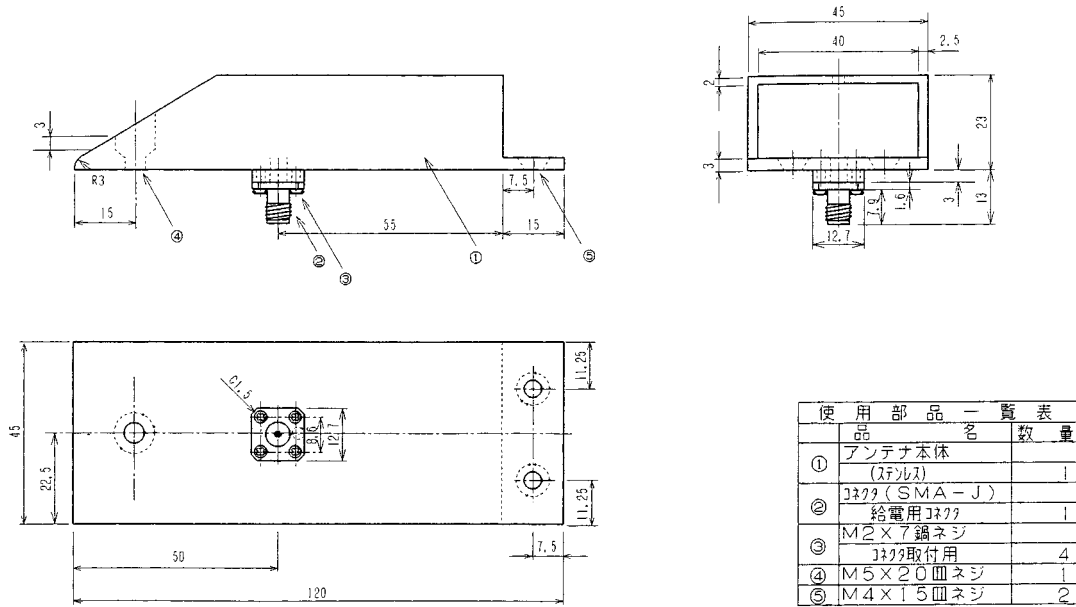


図23 CPA分離機構



使用部品一覧表		
品名	数量	
① アンテナ本体 (ｽﾌﾟﾘﾝｸﾞ)	1	
② ｺﾝﾈｸﾀ (SMA-J)	1	
③ 給電用ｽﾌﾟﾘﾝｸﾞ	1	
④ M2×7 鋼ネジ	4	
⑤ M5×20 皿ネジ	1	
⑥ M4×15 皿ネジ	2	

図24 NF-STM-ANT 外観図

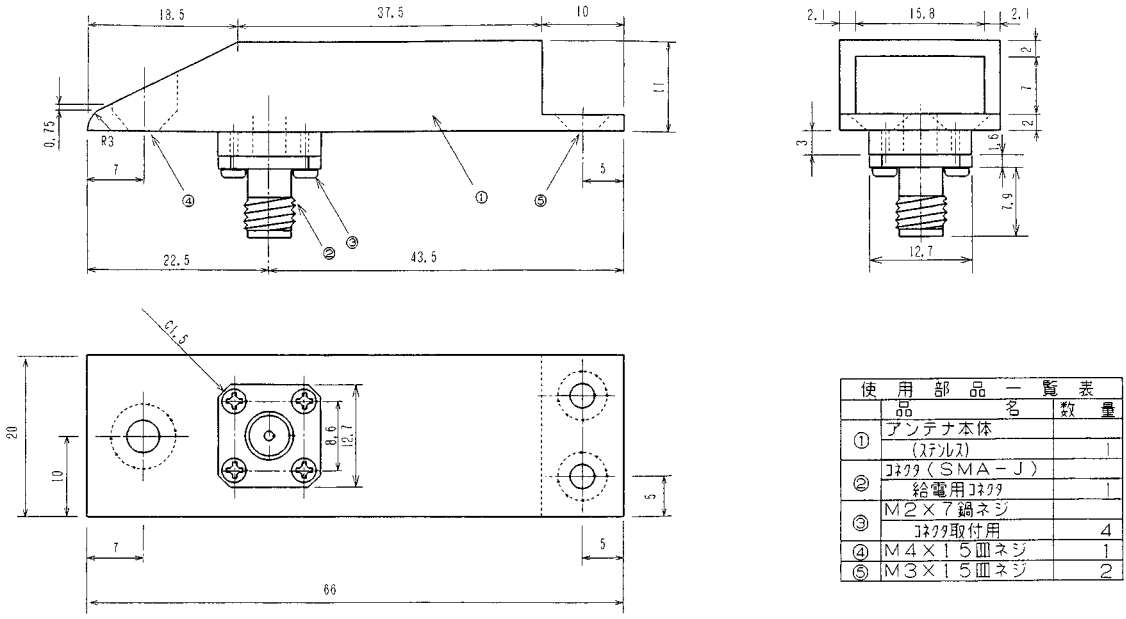


図25 NF-5.6RT-ANT 外観図

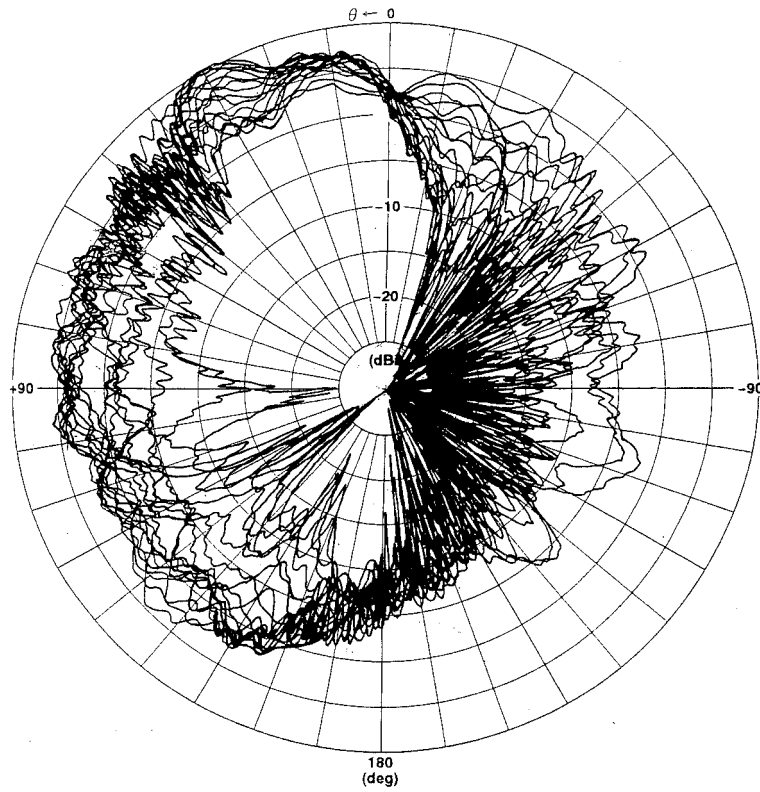


図26 B3/NF STM-ANT の放射パターン

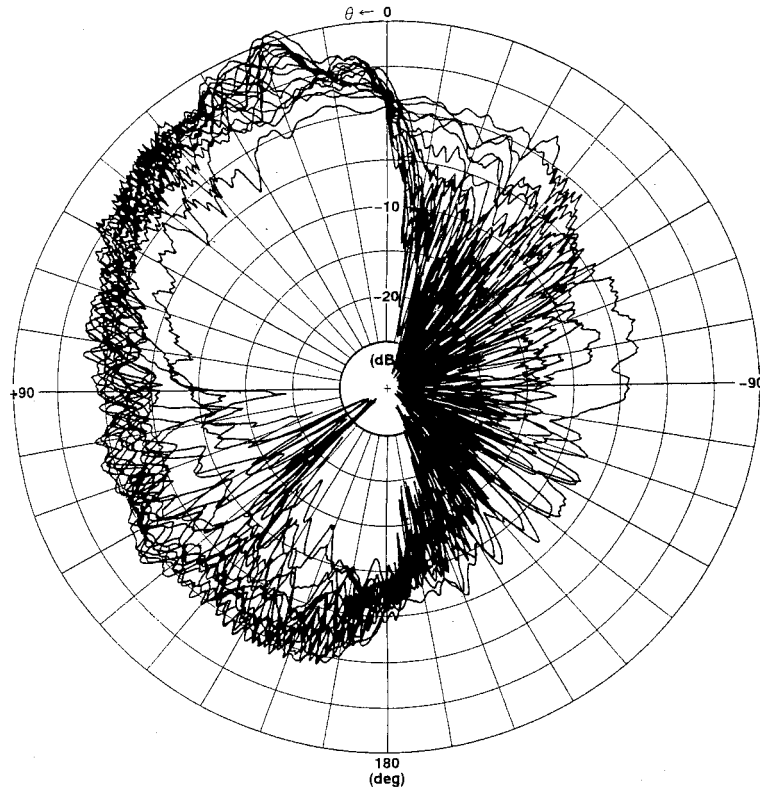


図27 B3/NF 5.6RT-ANTの放射パターン

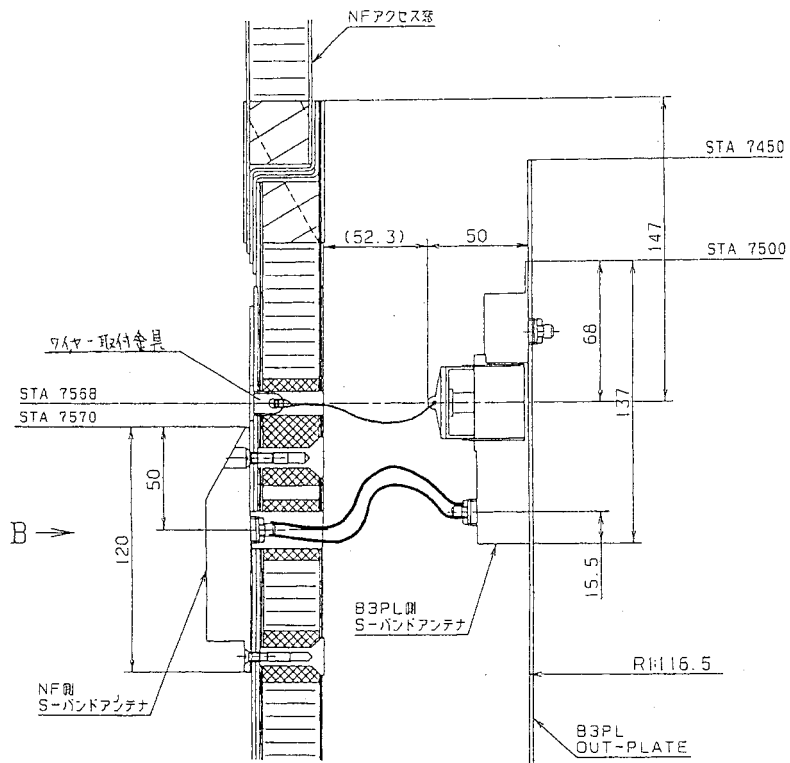


図28 B3/NF STM アンテナ系の取付位置関係

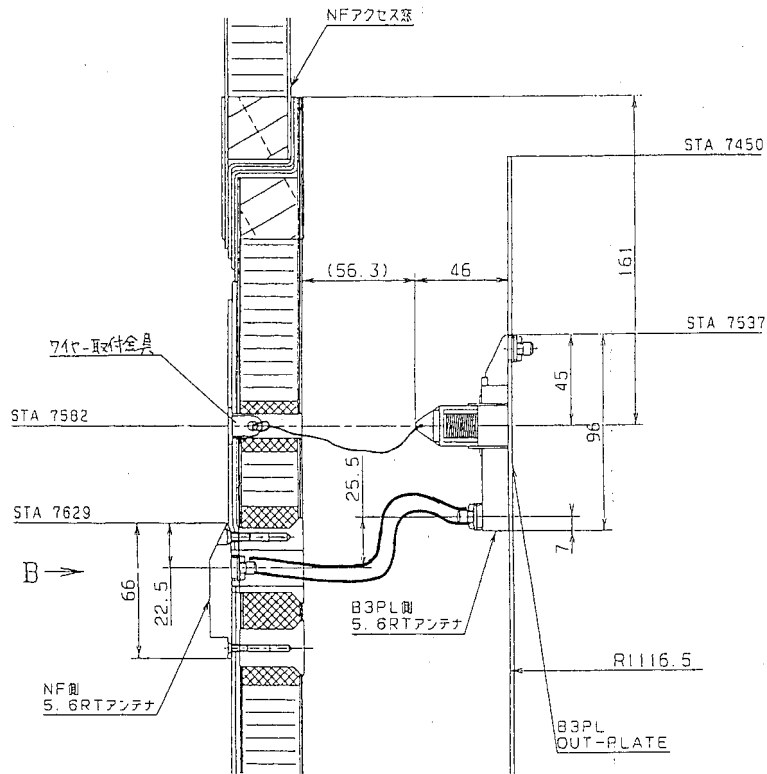


図29 B3/NF 5.6RT アンテナ系の取付位置関係

6. 結 言

M-V型ロケット搭載用機体アンテナについて、新たな開発項目を中心に各搭載部について述べた。各アンテナは通信回線レベルの結果から所期の目的を十分に発揮したと思われる。アンテナ系の開発に当り、ご指導、御協力いただいた関係各位に深甚なる謝意を表す。

参 考 文 献

- [1] 鎌田幸男, 近藤田城, 市川満, 高野忠, 横山俊一, “線路部をセラミックに埋め込んだロケット搭載用伝送線路型耐熱アンテナ” 信学技報, AP95-101, Jan. 1996
- [2] 鎌田幸男, 市川満, 林友直, “憂角コーナリフレクタを用いたロケット搭載用アンテナ” 信学論, Vol.J73-B-II No. 2, pp111-119, Feb. 1990
- [3] 鎌田幸男, 市川満, 小野田淳次郎, 横山俊一, “M-Vロケット搭載用カップリングアンテナの開発” 第38回宇科連講演会, 1 C12, 1994