

# クロスノッチ構造のSHF帯円偏波アンテナ

長谷部 望\*・市川 満  
座間知之\*・谷岡 憲隆\*\*

## A Circularly Polarized SHF Cross-Notch Antenna

By

Nozomu HASEBE, Mitsuru ICHIKAWA, Tomoyuki ZAMA and  
Noritaka TANIOKA

**Abstract:** A circularly polarized SHF crossed-notch antenna, which is based on the principle of the turnstile antenna, is presented. As an application, the rocket-borne antenna for the C-band radar is demonstrated. From the calculated and the experimental results of the radiation pattern, it is pointed out an advantage of adopting the circular polarization. The fact is also confirmed from the results of the flight experiments.

### 概 要

ターンスタイルアンテナの原理をノッチアンテナに適用したSHF帯クロスノッチ構造の円偏波アンテナを提案する。その応用例として、Cバンドレーダ用ロケット搭載アンテナを製作し、指向性の計算結果と実測結果から円偏波採用の利点を指摘する。また飛しよう実験結果からこの効果が確かめられる。

### 1. まえがき

円偏波アンテナは移動局と固定局間の通信に際して、相互の姿勢変化やマルチパス反射の影響を受けにくい利点を有する。そのためロケットや人工衛星と地上局間の通信に数多く使用されている。アンテナを搭載する移動局（例えばロケットの胴体）の寸法が波長に比べて大きな場合でも、波長に比べて寸法の小さな円偏波アンテナをその放射軸を適当に選んで取付けるならば、そのアンテナは広い範囲にわたって電波を放射する。したがって固定局に到来電波の偏波に近い特性のアンテナを採用すれば安定した通信が行える。

従来より知られている円偏波発生機構をもつSHF帯の放射器としては主に導波管を利用

---

\* 東京大学生産技術研究所

\*\* 宇宙開発事業団

したものが多い[1]～[4]。しかし、これらのアンテナを移動局アンテナに用いる場合は、アンテナの寸法が大きいとか、単体の指向性が鋭いとかの他に円偏波発生機構を別に必要とするなどの問題点があった。また浅いキャビティとクロススロットを組合せ、給電回路に位相差をもたせて円偏波を発生させるUHF帯アンテナが報告されているが[5]、SHF帯で製作するには若干問題がある。

本文のSHF帯円偏波クロスノッチアンテナはターンスタイルアンテナ[6]の原理をノッチアンテナに応用したものである。このアンテナは黒川、長谷部がVHF帯で開発した円偏波十文字スロットアンテナ[7]をクロスノッチ構造に拡張したもので、金属角柱に直交したノッチを切り、その深さを調整することで円偏波を発生している。したがって本アンテナは円偏波発生機構を内蔵し、かつ小型で構造が単純堅牢であることを特徴としている。

本文においては本アンテナの構造と円偏波発生機構を説明し、ロケット搭載アンテナとして製作した5.6 GHz帯アンテナの指向特性と飛ばし実験結果につき記述する。

## 2. アンテナの構造と円偏波発生機構

半波長ダイポールを用いたターンスタイルアンテナは図1(a)に示すように、直交したダイポールの給電位相を互いに $\pi/2$ 異ならせることにより垂直軸方向に円偏波を発生させる。

このアンテナを実現させる方法には、(1)図1(b)に示すように給電回路に $\pi/2$ 位相差を持たせる方法と、(2)図1(c)に示すように抵抗分とリアクタンス分の絶対値が等しい $Z_c = R - jR$ の入力インピーダンスを有する素子を直交させ、一方に直列リアクタンスを挿入することにより $Z_L = R + jR$ のインピーダンスを持たせ、これらを並列給電する方法などがあげられる。後者は給電回路が単純となるため良く採用される方法である。また完全な円偏波は得られないが、(3)素子長を変化して上述の $Z_c$ 、 $Z_L$ に近い入力インピーダンスを与えるダイポール長を求め、これらを直交させる方法も考えられる(図1(d))。この方法はダイポールの入力抵抗分が長さの増加とともに増加するため、 $|Z_c| \neq |Z_L|$ となって完全な円偏波とならない。そこで $Z_c$ を与えるダイポールには太いものを、 $Z_L$ を与えるダイポールには細いものを用いる方法が考えられる。

ここで提案するクロスノッチによるターンスタイルアンテナは(3)の方法によるものである。

図2(a)は金属角柱に切った単独ノッチアンテナを示す。後述するように、厚みのあるノッチアンテナの入力インピーダンスの絶対値は、深さを変化したとき、共振点の前後でほぼ対称となる。そこで直交するノッチの深さを調整することにより、 $Z_c$ 、 $Z_L$ を与える入力インピーダンスに近いノッチアンテナの深さを求める。その基本的な構造を図2(b)に示す。すなわち、金属角柱に直交して切った深さの異なるノッチ①およびノッチ②とそれに対角状に給電した同軸線路より成る。ノッチ①とノッチ②は直列に挿入された形となるので、それぞれの励振電圧は図3に示すように

$$\begin{aligned} V_1 &= Z_L I_T = (R + jR) I_T \\ V_2 &= Z_c I_T = (R - jR) I_T \end{aligned} \quad (1)$$

を満足したとき、直交したノッチ①と②には大きさ等しく $\pi/2$ 移相した電界が発生し、円偏波が励振される。

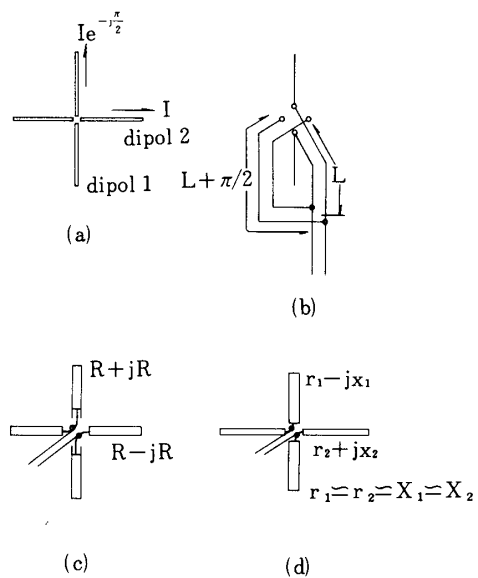


図1 ターンスタイルアンテナ

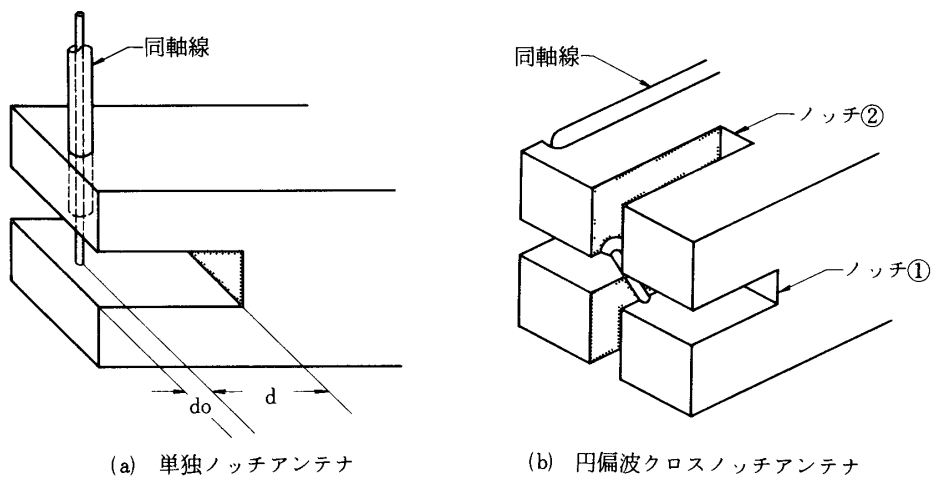


図2 ノッチアンテナ構造

(a) 単独ノッチアンテナ

(b) 円偏波クロスノッチアンテナ

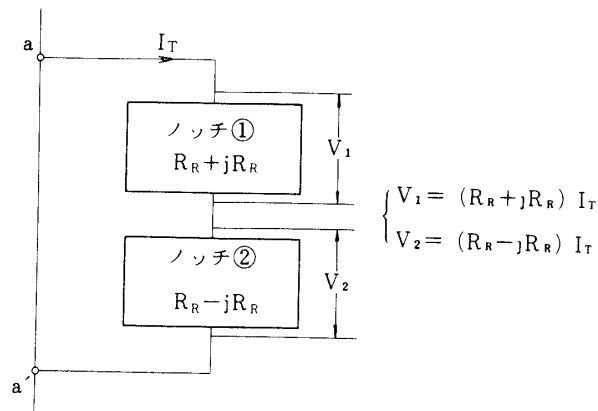


図3 クロスノッチアンテナの等価回路

### 3. ノッチアンテナの指向性

このアンテナの指向性を検討するためには、まず金属角柱に単独ノッチを切ったアンテナの指向性を知る必要がある。指向性の理論解析としては、厚みのない半無限金属板の端にノッチを切った場合の指向性を計算した例 [10] はあるが、金属角柱に切ったノッチアンテナにそのまま適用できるものではない。また本文のノッチアンテナは  $\lambda/4 \sim \lambda/2$  ( $\lambda$ : 波長) の厚みを有するため、この面からの放射がほぼ指向性を決定すると考えられる。そこで付録 I に示すようにノッチの開口面に注目し、電界が一様分布であると見做して近似計算を行った。

図4は金属の厚み  $b = 0.5 \lambda$ 、ノッチ幅  $a = 0.02 \lambda$ 、深さ  $d = 0.25 \lambda$  としたとき、ノッチに平行な面内 (磁界面内) の指向性  $E_\phi(\theta, \pi/2)$  と、ノッチに直交した面内 (電界面内) の指向性  $E_\theta(\theta, 0)$  の計算結果を示す。図5は  $a = 0.028 \lambda$ 、 $b = 0.411 \lambda$ 、 $d = 0.243 \lambda$  のノッチアンテナの実測指向性である。両者を比較すると、 $\theta = \pi/2$  方向と  $\pi$  方向の  $E_\theta$  に

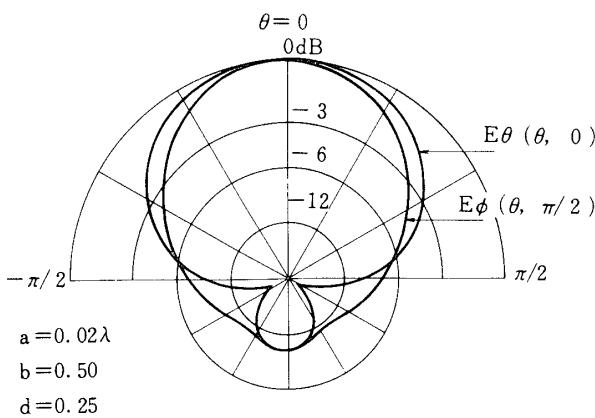


図4 単独ノッチアンテナの計算指向性

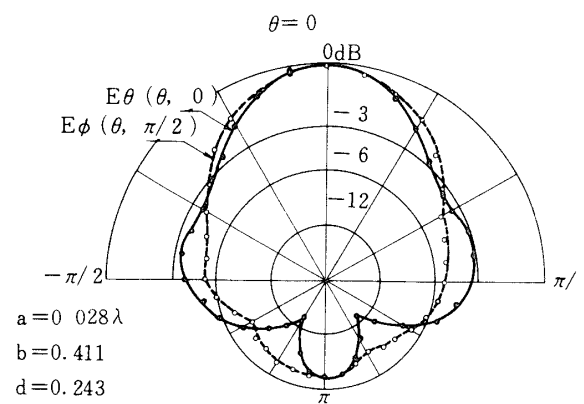
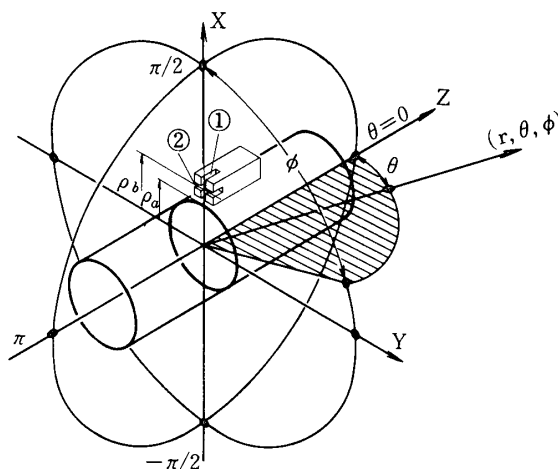


図5 単独ノッチアンテナの実測指向性

若干の差が認められるが、単純なモデルを用いた計算結果はこのアンテナの放射特性を定性的に説明している。したがって本アンテナの設計にこの近似理論は良好な指針を与えるものと考えられる。

計算と実測の結果から、 $\theta$  が $\pm 60$ 度の範囲内で $E_\theta$ と $E_\phi$ の差が小さいことがわかる。したがってこのノッチアンテナを直交して円偏波を励振させたとき広角度にわたって楕円偏波率のよい放射が得られる。通常の半波長ダイポールを直交させたターンスタイルアンテナでは、電界面内と磁界面内の指向性が本質的に異なるため、このような結果は期待できない。

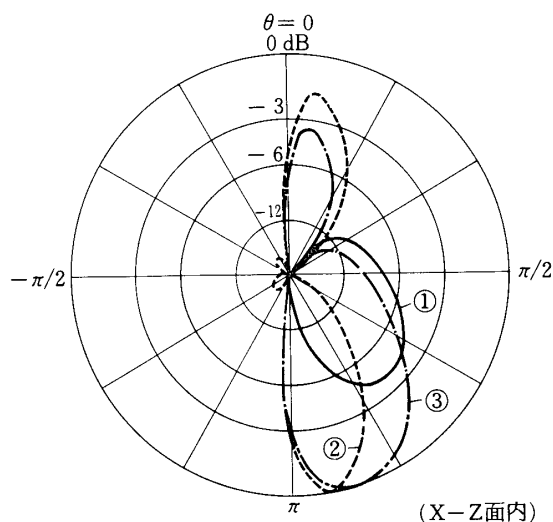
次に波長に比べて直径の大きな円柱にこのアンテナを取付けたときの指向性を検討するため、円柱を無限長の完全導体円柱でおきかえて近似計算を行った（付録Ⅱ参照）。図6はそ



①：半径方向のノッチ ②：円周方向のノッチ

図6 円柱に取付けたノッチアンテナの座標系

の座標系を示す。直交したノッチの面を $Z = 0$ 面に一致させ $\theta = \pi$ 方向に向けて取付け、円柱の中心軸とアンテナの中心との距離を $\rho_b$ とする。このとき、直交させた2つのノッチを図6に示すようにそれぞれ「半径方向のノッチ①」と「円周方向のノッチ②」と呼ぶことにする。図7は付録Ⅱに示す式を用いて直径 $16\lambda$  ( $\rho_a = 8\lambda$ )の円柱にアンテナの中心が円柱の面より $0.251\lambda$ の高さ ( $\rho_b = 8.251\lambda$ )に取付けた場合の指向性を示す。図では円柱軸とアンテナ軸を含む面内（図6の $X-Z$ 面内）の指向性が示されている。図中①は半径方向のノッチ①による指向性を、②は円周方向のノッチ②による指向性を示す。また図中③はノッチ①および②を円偏波励振し、円偏波ア

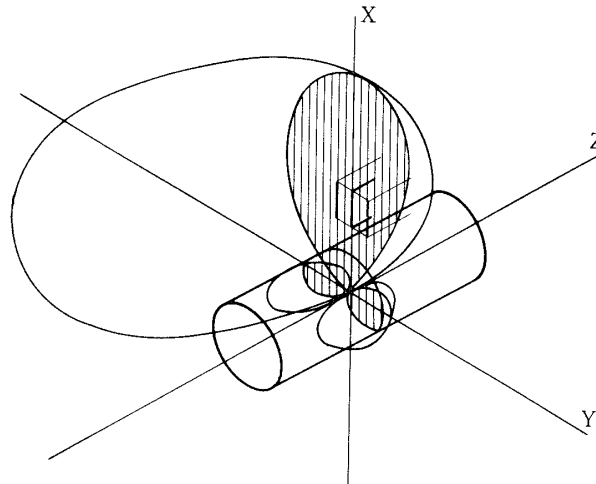


①：半径方向のノッチ、②：円周方向のノッチ  
③：クロスノッチ（円偏波受信）

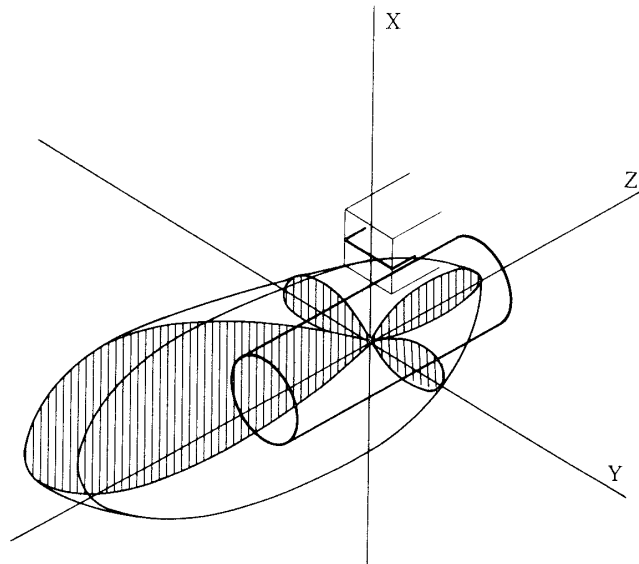
図7 無限長円柱に取付けたノッチアンテナの計算指向性

ンテナで受信した場合のX-Z面内の指向性を示す。図8(a), (b)は無有限長円柱に取付けたノッチ①および②による指向性を立体的に表わしたものである。

これらの結果から、円周方向のノッチアンテナ②からの放射は軸方向( $\theta = \pi$ )には大きい軸方向から外れると急激に減少する。また半径方向のノッチアンテナ①からの放射は円柱の側方向に大きい円柱軸方向( $\theta = \pi$ )では著しく小さい。しかし、この①, ②の2つのノッチアンテナを円偏波給電したときには、各々のノッチアンテナの指向性の欠点を補い、円柱軸方向にもまた側方向にも広い角度にわたって放射が得られる。



(a) ノッチ①による指向性



(b) ノッチ②による指向性

図8 無限長円柱に取付けた単独ノッチアンテナの指向性  
(a) ノッチ①による指向性  
(b) ノッチ②による指向性

#### 4. ロケット搭載アンテナの製作とその特性

SHF帯円偏波クロスノッチアンテナの応用例としてここではロケット搭載アンテナをあげる。このアンテナは地上局レーダ（司令制御精密レーダ[11]）と搭載トランスポンダを結ぶ送受信共用アンテナに用いられるもので、ロケット後方にブロードな指向性を持ち、小型、堅牢な構造であることが要求される（地上送信：5586 MHz，トランスポンダ送信：5636 MHz）。

本アンテナを製作するために、はじめに図2(a)に示す単独ノッチアンテナの深さを変化させたときのインピーダンス軌跡を測定する。ノッチの深さ $d$ を変化させやすいことと、ノッチ開口面と給電点との距離 $d_0$ を極力小さくする目的で図に記入した給電構造とした。同軸給電線はノッチの中心を通り、開口部で給電する構造とし、約 $\lambda/4$ 角(14mm角)の黄銅角柱に1.5mm幅のノッチを切る。インピーダンス測定の基準面をノッチ開口部にとって、ノッチの深さを変化させたとき、図9に示すように円形のインピーダンス軌跡が得られた。この他図2(a)に示す給電構造としたもの、角柱の幅を約半波長としたものや矩形のものについても試み、それぞれ円にのるインピーダンス軌跡の得られることを確かめた。

図9に示したインピーダンス軌跡の円の中心を求め、虚軸と平行にこの円の中心を通る線を引く。この線が円と交る点を $d_c$ 、 $d_L$ とする。インピーダンスの基準面を図の $O'$ 点まで移して考えると $d_c$ 、 $d_L$ の深さを有するノッチアンテナのインピーダンスは図から

$$Z_c / Z_0 = 0.45 - j0.45$$

$$Z_L / Z_0 = 0.45 + j0.45$$

$$Z_0 = 50 \Omega$$

と求まる。このときのそれぞれのノッチの深さは

$$d_c = 9.7 \text{ mm}, \quad d_L = 12.1 \text{ mm}$$

である。この深さのノッチを直交させて楕円偏波率を測定したところ、約0.1GHz高い周波数で楕円偏波率が最小値を示した。したがって中心周波数で楕円偏波率を良くするには若干ノッチの深さを深めに切って微調整を行う必要がある。

前述のごとく、ロケット搭載アンテナは苛酷な条件下で安定した電気的特性を保持しなければならない。したがって搭載用には特にその構造設計に注意をはらう必要がある。一方電氣的には円偏波励振の微調整およびインピーダンス整合が容易でなければならない。図10(a)

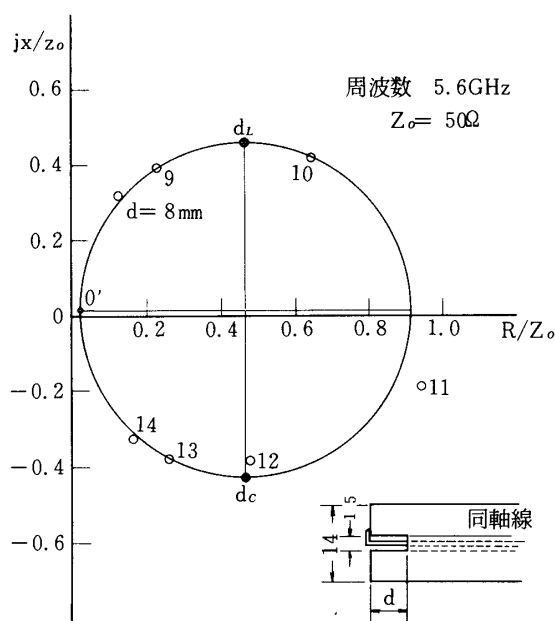


図9 単独ノッチアンテナのインピーダンス軌跡

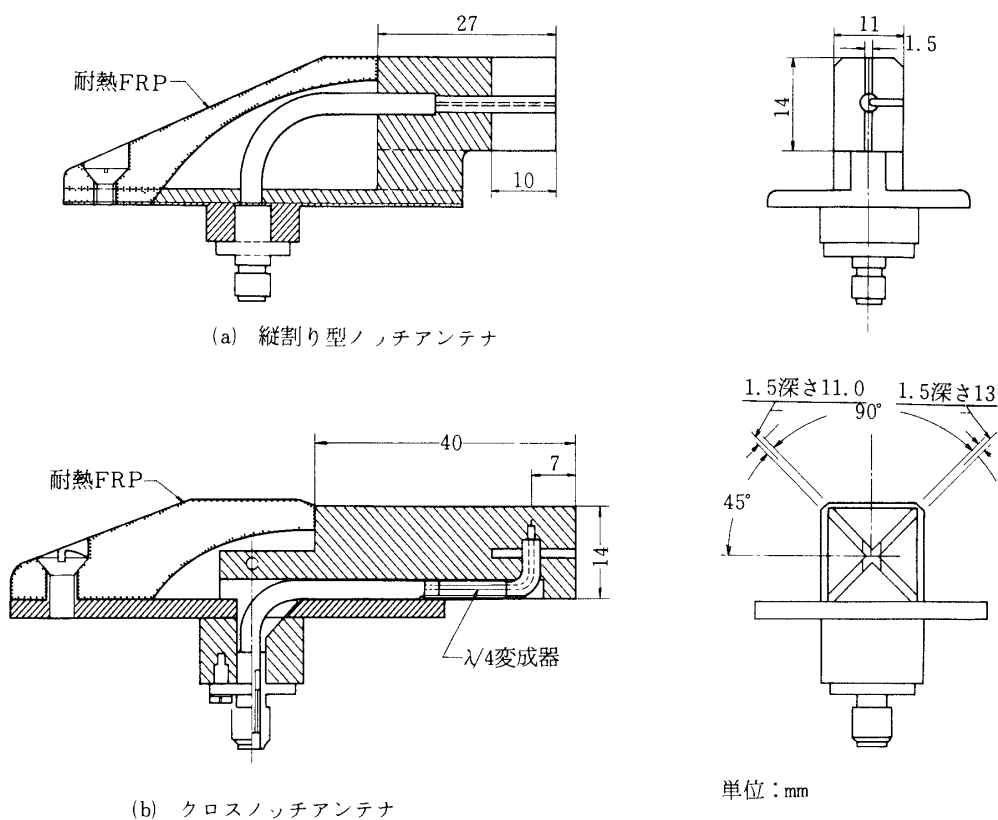


図10 M-4 S ロケット搭載アンテナ

(a) 縦割り型ノッチアンテナ

(b) クロスノッチアンテナ

はM-4 S-1~3号機に搭載した縦割りノッチアンテナを示し、同図(b)にはM-4 S-4号機以後のM型ロケットに搭載している本クロスノッチアンテナの構造を示す。ノッチはロケットとアンテナの軸を含む面に対して45°傾けて切られ、あらかじめ11mmと13mmの深さに切られた開口部の角をヤスリで削りながら円偏波の微調整を行う。給電点は図に示すようにノッチ開口面より7mmの距離にある。このときの入力インピーダンスは約100オームであった。そこで、50Ωの同軸給電線と整合をとるために、同軸給電線の誘電体を約 $\lambda/4$ 取去ることで変成器(特性インピーダンス:66Ω)を構成させた。図11は搭載したアンテナの楕円偏波率とVSWR特性を示す。図中、一点鎖線はレーダの使用周波数を示し、両周波数において、楕円偏波率1dB以下、VSWR:1.5以下に入る特性である。

このアンテナは図12に示すようにロケット胴部に装着して用いられ、ロケットが多段式であるため飛しょうに伴って金属部の長さが変化する。M-4 S型ロケットではエンジン部はトランスポンダが搭載されているペイロード部と最終的には切り離される。そしてアンテナはペイロード部の終端に取付けられた型となり、地上局アンテナとはほぼ対向状態となる。

このように変化するロケット胴部の指向性への影響を実装状態で測定するのは困難であり、縮尺による模型実験もロケットの大きさや使用周波数を考え合せると困難である。

そこで波長に比べて大きい円筒(6.7 $\lambda$   $\phi$   $\times$  6.7 $\lambda$   $l$ )を胴体の一部と見做し、アンテナを円筒中央部に取付けて電波暗室内で指向性を測定した。図13は円偏波受信アンテナで測定した実測指向性を示す。図中①は半径方向に切ったノッチアンテナの磁界面内指向性を、②は



円周方向に切ったノッチアンテナの電界面内の指向性（いずれも図6のX-Z面内）を示す。なお、図6のX-Y面内、Y-Z面内については図が煩雑となるため省略したが、図8に示した指向性と類似の結果が得られている。③は搭載用のクロスノッチアンテナの胴体とアンテナを含む面内（図6のX-Z面内に相当）の指向性を示している。図14の指向性は円筒が有限長であるための凹凸を生じており、円筒径が小さいため影の部分へのまわり込みも比較的大きい。この結果は図7の付録Ⅱで求めた近似計算による指向性とほぼ一致した傾向が認められる。

③の円偏波クロスノッチアンテナの指向性はエンジン部が切離される前には①、②のノッチアンテナの指向性の欠点を補ってブロードな指向性を与え、エンジン部が切離された後には搭載アンテナが円偏波特性であるため、姿勢変化に伴う受信レベル変動が軽減される。

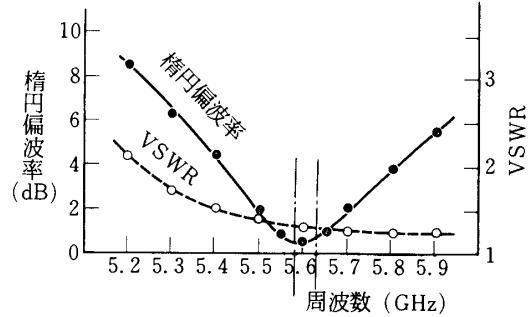


図11 円偏波クロスノッチアンテナの楕円偏波率とVSWR

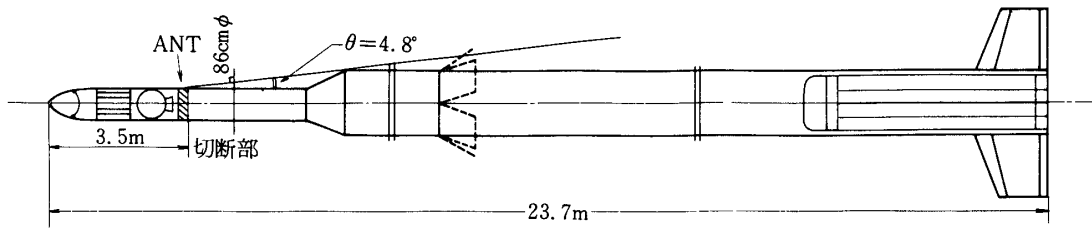


図12 M-4S型ロケットとアンテナの位置

出来上がったアンテナは以下に示す環境試験を受けてロケットに搭載された。耐圧試験は給電点で尖頭値500W、パルス幅1μS、繰返し250ppsのパルスを加え、大気圧より $10^{-2}$ mmHgまで往復3回行う。試験中、アンテナからの送信電力をモニタ受信機で受けてその波形を監視して放電の有無をチェックする。振動試験は機軸方向30Gで2分間、衝撃試験は軸方向100Gで3回行う。温度試験は予備アンテナを用いて100℃、200℃、300℃各1分間行った。

図14の上の図には図10(a)で示した縦割り型ノッチアンテナを搭載したM-4S-2号機のレーダの受信レベルを縦軸に、発射からの時間を横軸にとって示した。図14の下の図には図10(b)で示したクロスノッチアンテナを搭載したM-4S-4号機の受信レベルを示す。

ただし、実際にはこれらアンテナはロケット胴部に対称に2個装着され、片側のアンテナは主力になるアンテナに対し約-10dBの電力が分配され、主力のアンテナが全くロケットの胴部の影となったときのレベル低下を補うようになっている。

発射から83秒までロケットはゆっくりとスピンドし、地上局レーダはロケットをほぼ後方か

- ① 半径方向のノッチ (図6のX-Z面内)  
 ② 円周方向のノッチ 円柱:  $6.7\phi \times 6.7\lambda$   
 ③ クロスノッチ 円偏波受信

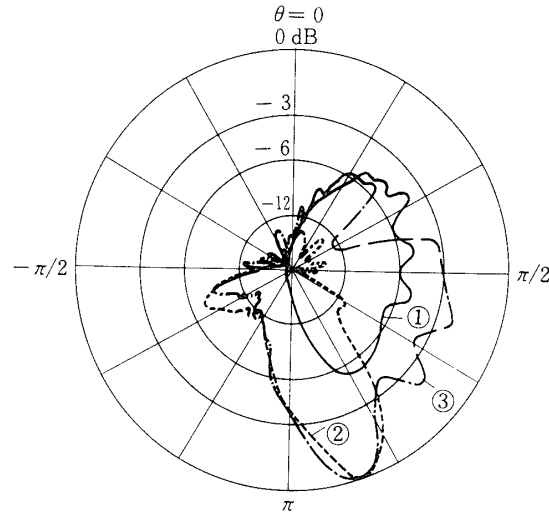
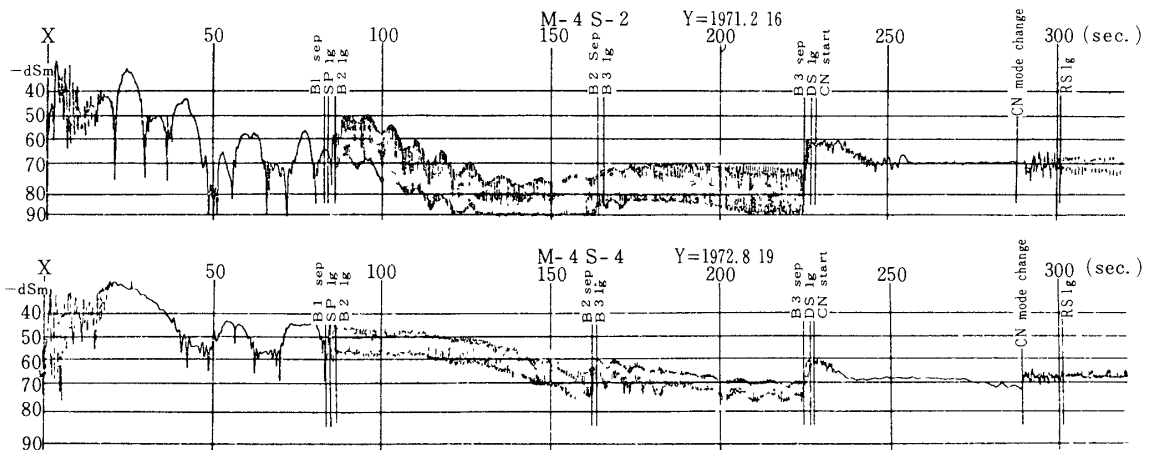


図13 有限長円柱に取付けたノッチアンテナの実測指向性  
指向性



ら見込む. このため前述のように2号機の縦割りノッチアンテナによる受信レベルはそのスピンの影響を受けて大きく変動する. これに対し, 4号機の円偏波クロスノッチアンテナは受信レベルの改善と変動の減少がはっきりと認められる. 86秒で第1段目ロケットが切離され, 1.5 Hz のスピンがロケットに加わるが, 地上局レーダから見込む角度がほぼ機軸方向と一致している. このため, 2号機の受信レベルは距離の増加に伴って大きく減少し, スピンの影響でレベルの最小値はレーダの最小受信感度 ( $-90 \text{ dBm}$ ) 近くまで落込んでいる. これに対し, 4号機では受信レベルが改善され, スピンによる変動の減少が認められ, 150秒付近でレベルの平均値にして約15 dB の改善がみられ, レベル変動も約3 dB 改善されている.

この効果は第3段目ロケットまで持続され、スピンによるレベル変動の差は一段と明白になる。228秒で第3段目ロケットエンジン部はペイロード部と切断され、スピンの停止して搭載アンテナは地上局アンテナとほぼ対向状態となる。1～3号機の受信レベルと4号機の受信レベルを比較して円偏波対向によるレベル改善分が2～3dB認められ、図14では約2dBの上昇が認められる。以上のように搭載アンテナに円偏波クロスノッチアンテナを採用した効果が飛しよう実験からも立証された。

#### 4. むすび

SHF帯円偏クロスノッチアンテナを開発し、その一応用例としてロケット搭載アンテナを製作し、その特性について報告した。

このアンテナは円偏発生機構を内蔵し、かつ小型で単純、堅牢な構造を有する。このため姿勢変化を伴う移動局アンテナとしてのみならずアレイの基本アンテナとして、パラボラアンテナの一次放射器としてなど、多方面へ応用されることを期待したい。

#### 5. 謝 辞

日頃、御指導いただく本学齊藤教授、野村教授に深謝する。また本研究をすすめるにあたり御懇切な御指導をいただく浜崎教授に厚く謝意を表す。環境試験に御指導、御便宜をいただいた植村教授、砂川教授、井山助手に、またロケット実験で御指導、御助言を賜る林教授をはじめ実験班の諸氏に厚く御礼申し上げる。本アンテナの構造設計は日産自動車(株)に、また環境試験は日本電気(株)の御協力を願った。ここに謝意を表する。

1976年8月10日

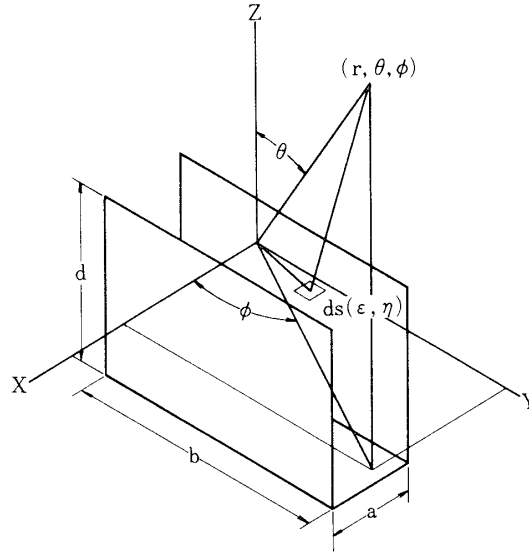
#### 付 録 I] ノッチアンテナからの放射

幅のあるノッチアンテナからの放射電界は、ノッチ開口部に注目して、その電界分布が一様であると見做して計算する。

このときの放射電界は、図A-1に示すノッチ幅： $a$ の“コ”字形の開口面について考えればよい。この放射電界の成分を $Z=0$ 面内と $Y=\pm b/2$ 面内に区別して表わすと、

$$E_{\theta}^{\phi}(z=0) = j \frac{E_0 e^{-jkr} (1 + \cos \theta) \cos \phi}{2 \lambda r} \times \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} e^{jk(\xi \sin \theta \cos \theta + \eta \sin \theta \sin \theta)} d\xi d\eta$$

$$E_{\theta}(y=\pm b/2) = j \frac{E_0 e^{-jkr} \cos \theta \cos \phi}{2 \lambda r}$$



図A-1 単独ノッチアンテナの座標系

$$\times \int_{-d}^0 \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} e^{jk(\xi \sin \theta \cos \phi \pm \frac{b}{2} \sin \theta \sin \phi + r \cos \theta)} d\xi d\tau$$

$$E_{\theta}(r=\pm b/2) = j \frac{E_0 e^{-jkr} (\sin \phi \pm \sin \theta)}{2 \lambda r}$$

$$\times \int_{-d}^0 \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} e^{jk(\xi \sin \theta \cos \phi \pm \frac{b}{2} \sin \theta \sin \phi + r \cos \theta)} d\xi d\tau$$

と表わせる。したがって、ノッチアンテナによる遠方電界  $E_{\theta}$ 、 $E_{\phi}$  は

$$E_{\theta} = j \frac{ab E_0 e^{-jkr} \cos \phi}{2 \lambda r} \frac{\sin(u_0)}{u_0} \left\{ (1 + \cos \theta) \frac{\sin(u_1)}{u_1} + \frac{2d}{b} \cos \theta \frac{\sin(u_2)}{u_2} \cos(u_1) e^{-j \frac{kd}{2} \cos \theta} \right\}$$

$$E_{\phi} = j \frac{ab E_0 e^{-jkr}}{2 \lambda r} \frac{\sin(u_0)}{u_0} \left\{ (1 + \cos \theta) \sin \phi \frac{\sin(u_1)}{u_1} \right\}$$

$$+ j \frac{2d}{b} \sin \theta \frac{\sin(u_2)}{u_2} \sin(u_1) e^{-j \frac{kd}{2} \cos \theta} \left. \right\}$$

$$u_0 = (\pi a / \lambda) \sin \theta \cos \phi, \quad u_1 = (\pi b / \lambda) \sin \theta \cos \phi$$

$$u_2 = (\pi d / \lambda) \cos \theta$$

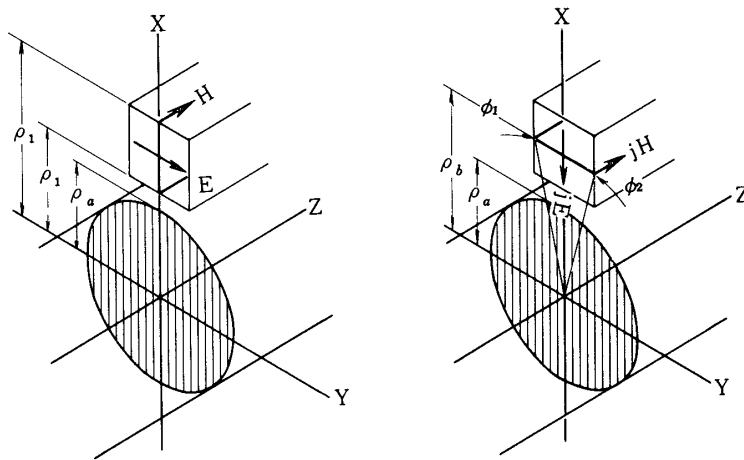
となり、両式よりノッチアンテナ単体の電界が与えられる。

**付 録 II) ロケット胴部の指向性への影響**

円偏波クロスノッチアンテナをロケット胴部に装着したとき指向性に与える影響を考察するに、ロケット胴部を無限円柱に近似して指向性の計算を行う。

無限円柱の近傍にある電磁流源からの遠方電界は、Carter [14] により Lorentz の可逆定理を使用した解が求められており、関口・稲垣両氏により更に一般性を持たせた解が求められている [15]。

ノッチアンテナのノッチ面内から放射される電界は一様分布であり、幅は無限小であると仮定し、付図 A-2 を参照して各ノッチから放射される電界を求める。



図A-2 無限長円柱に取付けたノッチアンテナ座標系

(a) 半径方向 ①

(b) 円周方向 ②

ノッチ①からの電界  $E_{\theta 1}$  ,  $E_{\phi 1}$  は、文献 [15] を参照して次式の如く表わせる。

$$E_{\theta 1} = j \frac{E_0 e^{-jkr}}{4\pi r} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn(\phi+\pi_2)} \left[ \frac{n(1-\cos\theta)}{\sin\theta} \int_{u'_1}^{u'_2} \frac{Z_{n2}(u)}{u} du - 2n \sin\left(\frac{\pi}{4} \cos\theta\right) \left\{ \frac{Z_{n2}(u'_1)}{u'_1} + \frac{Z_{n2}(u'_2)}{u'_2} \right\} e^{j\frac{\pi}{4} \cos\theta} \right]$$

$$E_{\phi_1} = \frac{E_0 e^{-jkr}}{4\pi r} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn(\phi + \frac{\pi}{2})} \left[ \frac{1 - \cos \theta}{\sin \theta} \{ Z_{n_1}(u_2') - Z_{n_1}(u_1') \} \right. \\ \left. + \frac{2 \sin(\frac{\pi}{4} \cos \theta)}{\cos \theta} \left\{ Z_{n_1}'(u_2') + Z_{n_1}'(u_1') + j \sin \theta \{ Z_{n_1}(u_2') - Z_{n_1}(u_1') \} \right\} \right] \\ e^{j \frac{\pi}{4} \cos \theta}$$

$$Z_{n_1}(h\rho) = J_n(h\rho) - \frac{J_n'(h\rho_a)}{H_n^{(2)'}(h\rho_a)} H_n^{(2)}(h\rho)$$

$$Z_{n_2}(h\rho) = J_n(h\rho) - \frac{J_n(h\rho_a)}{H_n^{(2)'}(h\rho_a)} H_n^{(2)}(h\rho)$$

′ : 変数についての微分  $J_n(h\rho)$  : ベッセル函数,  $H_n^{(2)}$  : ハンケル函数

$$u_1' = k(\rho_b - \lambda/4) \sin \theta, \quad u_2' = k(\rho_b + \lambda/4) \sin \theta$$

ノッチ②による電界  $E_{\theta_2}$ ,  $E_{\phi_2}$  は, ノッチが Y 軸と平行なため円柱座標に変換した後に求める. しかし胴体径は波長に比べ大きいことから, 電界は  $\phi$  方向のみに分布していると近似する. ただし, ノッチ②は①より  $\pi/2$  進相している. この条件のもとでは,

$$E_{\theta_2} = j \frac{E_0 e^{-jkr}}{4\pi r} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn(\phi + \frac{\pi}{2})} \left[ \frac{2k(1 - \cos \theta)}{n} Z_{n_2}'(u_0') \sin n\phi_1 \right. \\ \left. - 4 \sin(\frac{\pi}{4} \cos \theta) \cos n\phi_1 Z_{n_2}'(u_0') e^{j \frac{\pi}{4} \cos \theta} \right]$$

$$E_{\phi_2} = \frac{E_0 e^{-jkr}}{4\pi r} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn(\phi + \frac{\pi}{2})} \left[ 2k(1 - \cos \theta) \frac{Z_n(u_0')}{u_0'} \sin n\phi_1 \right. \\ \left. + \frac{4 \sin(\frac{\pi}{4} \cos \theta)}{\cos \theta} \left\{ \frac{n}{u_0'} \cos n\phi_1 + j \sin \theta \sin n\phi_1 \right\} Z_{n_1}(u_0') e^{j \frac{\pi}{4} \cos \theta} \right]$$

$$u_0' = k \rho_b \sin \theta, \quad \phi_1 = \lambda/4 / \rho_b$$

と求まる. ノッチ①, ②による合成電界は,

$$E_{T\theta} = E_{\theta_1} + E_{\theta_2}$$

$$E_{T\phi} = E_{\phi_1} + E_{\phi_2}$$

となる. 円偏波の励振条件として  $\theta = \pi$  方向を右旋円偏波として選んであるから, これに合致した円偏波アンテナで受信すれば,

$$E_{RC} = E_{T\theta} - j E_{T\phi}$$

の電界が得られる.

## 参 考 文 献

- [1] J. T. Bangert, et al.: The Spacecraft Antenna, B. S. T. J. Vol. XLII, No. 4, July 1963, p. 869.
- [2] A. J. Simmons.: Circularly Polarized Slot Radiators, IRE. Trans. Vol. AP, Jan. 1957, p. 31.
- [3] V. Galindo: A near Isotropic Circularly Polarized Antenna for Space Vehiecles. IEEE Trans. Vol. AP-13, Nov. 1965.
- [4] W. A. Schreiner: The Relay Communication Satellite, Wescon (1963).
- [5] C. A. Lindberg: A Shallow-Cavity UHF cross-slot Antenna, IEEE Trans. AP-17, Sep. 1969, p. 558.
- [6] G. H. Brown: The Turnstile Antenna, Electronics, Vol. 9, No. 15, April 1936.
- [7] 黒川, 長谷部 “円偏波スロットアンテナ” 昭39, 電気4学会連大, 1092
- [8] 長谷部 “VHF帯円偏波発生十字スロットアンテナ”  
生産研究 20巻, 4号, p. 11
- [9] G. H. Brown & J. Epstein: A Pretuned Turnstile Antenna, Electronics, Vol. 18, June 1945, p. 102.
- [10] W. A. Johnson: The Notch Aerial and Some Application to Aircraft Radio Installations, Proc. IEE, Pt. B, Vol. 102, March 1955, p. 211.
- [11] 高木, 斎藤, 野村 “東京大学におけるスペースエレクトロニクスの開発研究”  
信学誌, Vol. 50. No. 6, June 1967, p. 137
- [12] 長谷部, 谷岡 “ロケット塔載用Cバンド円偏波アンテナ” 昭46, 信学全大, 469.
- [13] 長谷部, 座間, 谷岡 “ロケット塔載用Cバンド円偏波アンテナ” 昭48, 信学全大, 603.
- [14] P. S. Carter: Antenna Arrays Around Cylinders, Proc. IRE, Dec. 1943, p. 671.
- [15] 関口, 稲垣 “円筒構造を持った空中線系の指向性について” 信学会, アンテナ  
研資, 1963. 12.