

スネーク導波路給電小型平面アンテナの試作

下田 忠義*・伊藤 桂一・山崎 博之・宮田 克正

A Small Planar Antenna Fed by a Snake Waveguide

Tadayoshi SHIMODA*, Keiichi ITOH, Hiroyuki YAMAZAKI and Katsumasa MIYATA

(2004年11月21日受理)

A small planar antenna fed by snake waveguide was manufactured. Snake waveguide is simple in structure and is suited for mass production. However, the reflection of electromagnetic wave at the bent walls and the radiating slots must be suppressed as low as possible so that high transmission quality of the antenna is realized. To meet this expectation, in this paper, three steps of adjustment; impedance matching of (1) snake walls, (2) unit radiating slot, and (3) residual reflection from aligned slots, were conducted. After each matching procedure was done, the total input impedance was measured. Finally, typical radiation patterns of the test antenna at $f=11.9$ GHz were measured.

1. 緒言

本研究室では昨年度、8本の導波管スロットアンテナを配列した導波管型平面アンテナを試作し、スロットからの反射の低減や、スロットに誘電体を装荷した場合の特性等について実験的に検討して来た。このアンテナは、導波管スロットアンテナを8本配列した平面構造だったが、給電回路にマイクロストリップ線路型8分配器を使用し、分波器の出力をセミリジッド同軸線路により各導波管に給電していたため、給電回路の損失が大きかった。そこで給電回路の効率向上のため、導波管分波器を試作し、給電回路の効率を改善したが、給電回路、放射回路とも導波管を用いているため、アンテナが導波路2層で厚くなる一方、その構造が複雑となる欠点があった。本研究では、これらの問題を解決し、薄型で1層構造の導波管型平面アンテナの実現を目指して、給電導波路がアンテナの端でUターンするスネーク導波路給電平面アンテナ（これより後、スネーク導波路アンテナという）を試作した。スネーク導波路アンテナは、給電回路と放射回路が1つになったアンテナで、給電系である導波路（WRJ-10規格）は、アンテナ全体の給電路としてはS字形に曲がった構造をしており、入射電磁波はこの導波路を伝搬し

ながら、途中に設けられたスロットから放射される仕組みになっている。このように、スネーク導波路アンテナは構造が単純であるため、長期的展望として、例えばプラスチック成形技術を利用した大量生産にも向いていると考えられる。

しかしながら、スネーク導波路アンテナでは、スロットによる反射と共に、このスネーク導波路曲がり部による反射が発生し、インピーダンス不整合を引き起こすため、その抑圧が必要となる。本研究では、これらの反射を抑圧するため、導波路壁面にM2のビス（容量性ポスト）を装荷し、入力ポートでの反射レベルを、電圧定在波比で約1.2程度とすることを目標として実験的に検討した。実験の手順として、次の3項目について、順次行った。

- (1) スネーク導波路曲がり部からの反射抑圧
 - (2) 放射スロット1個からの反射の抑圧
 - (3) 導波路1列（スロット数18個）の反射の抑圧：
 (2)の整合における残留反射の総和を抑圧
- 最後に、これらの調整を終了した試作平面アンテナの遠方界放射パターン測定を $f=11.9$ (GHz)で行った。

* 秋田高専専攻科学生

2. スネーク導波路アンテナの寸法および構造

本研究で試作したアンテナは、その外形寸法が縦282.9 [mm]×横339.62 [mm]であり、厚さ15 [mm]のアルミ平板に導波路をS字形に切削した導波路上に、長穴放射スロットを設けた厚さ1.5 [mm]のアルミ板を皿ネジで固定した構造になっている。導波路の断面寸法は、幅22.9 [mm]×高さ10.2 [mm]のWRJ-10規格となっている。導波路の曲がり部は全部で8個あり、導波路中心線の曲率半径は15 [mm]である。スロットの大きさは、縦2 [mm]×横7.4 [mm]である。スロットの間隔は、上下交互に15 [mm]とした。これは、周波数12 [GHz]における電磁波の管内波長がほぼ30 [mm]であることから、半波長間隔配置のスロットで同じ向きに電界が発生するように上下交互に配置した。導波路直線部1列のスロット数は18個で、アンテナ全体での総スロット数は162個である。図1に試作したスネーク導波路、図2にスネーク導波路アンテナの外観を示す。



図1 試作スネーク導波路

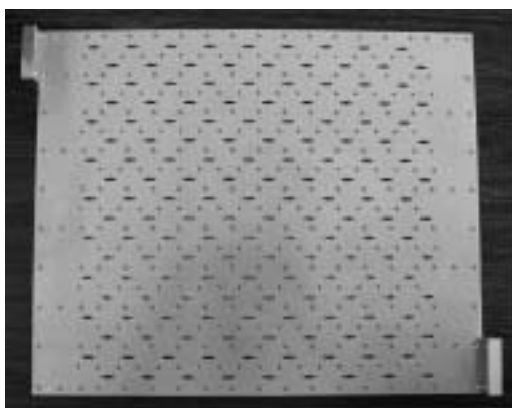


図2 スネーク導波路アンテナ

3. スネーク導波路アンテナのインピーダンス整合

3.1 ビスによるインピーダンス整合

曲がり部、スロットから生じる反射に対して、同じ大きさで位相が逆の反射をビスにより与えれば、両者の合成により反射を打ち消すことができる。ビスは導波管広壁の中心に装荷した場合、容量性ポストとして機能する。ビスを装荷した場所でみた特性は、アドミタンスチャート上では容量性の場所に現れる。ある深さまでは挿入長 h を入れるほど反射特性は容量性の線に沿って大きくなる。従って、曲がり部およびスロットの反射特性をアドミタンスチャートの誘導性の場所に位置させ、ビスの挿入長を調整すると両者の合成により反射特性はチャートの中心に向かって移動し整合状態に近づく。特性の移動はチャート上で、負荷側と発振器側の2通りの方法があるが、これは反射特性を見る基準点を負荷側あるいは発振器側に移動することを意味する。また、特性の移動に際して中心周波数12.0 [GHz]を基準とした場合、管内波長の相違から中心周波数より高い周波数ほどチャート上を速く移動し、低い周波数はチャート上を遅く移動する。

3.2 無反射終端からの微小反射の考慮

無反射終端は、理想的には電磁波をすべて吸収することになっているが、実際にはわずかに反射が存在する。このため、負荷の整合をとるにつれてその反射量が無視できなくなる。本研究では、ある時点で固定した無反射終端と、その点から無反射終端を左右どちらかに $\lambda_g/4$ 移動させた2つの測定結果を用いて、アドミタンスチャート上で補正している。無反射終端を $\lambda_g/4$ 移動させると、無反射終端からの反射波は、移動させる前と比べて伝送距離が $\lambda_g/2$ 変化する。つまり、反射波の位相が π [rad] だけずれる。ベクトル的には逆方向になるため、2つの測定結果を線分で結んだ中点が負荷の反射特性となる。

3.3 測定系の構成と定在波測定の原理

実験で用いた測定系の概略図を図3に示す。本研究では、周波数11.8 [GHz]～12.2 [GHz]まで0.1 [GHz]刻みで測定した。発振器から出力された電磁波は定在波測定器を通り、被測定アンテナ(負荷)に入る。被測定アンテナでは、入射電磁波の大部分が空間に放射されるが、不整合に対応した反射波は定在波測定器に戻り、発振器からの入射波と合成される。残りの電磁波は被測定アンテナの無反射終端で消費される。定在波測定器内には図4の(a)の

ように電圧定在波が生じる。電圧定在波の大きさは、電圧の最大値 V_{max} と最小値 V_{min} の比（電圧定在波比 ρ : VSWR）で表される。電圧定在波と反射には式 (1), (2) のような関係がある。

$$\rho = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (1) \quad |\Gamma| = \frac{\rho-1}{\rho+1} \quad (2)$$

式 (2) から ρ により、反射係数 $|\Gamma|$ を知ることができる。本研究では定在波測定器に取り付けたプローブにより電圧定在波を検知し、SWR METER によって電圧定在波比を測定している。

定在波測定器では、反射係数の位相も知ることができる。本研究では次のような方法で位相を求めている。最初に測定の基準点とする場所（ r_p : リファレンスポイント）に短絡板を取付け、短絡する。このとき発生する電圧定在波は図 4 の (b) のようになり、 V_{min} の点が正確に $\lambda g/2$ の間隔で現れる。この V_{min} の点 l_{min} を定在波測定器によって測定し、各周波数ごとに図 5 に示すように位相チャートを作成する。次に短絡板をはずし、被測定アンテナによって生じた電圧定在波の V_{min} の点 l'_{min} を測定する。この l'_{min} と図 5 の位相チャートを利用して位相を求める。

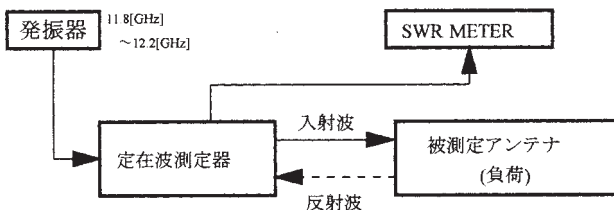


図3 測定系の構成

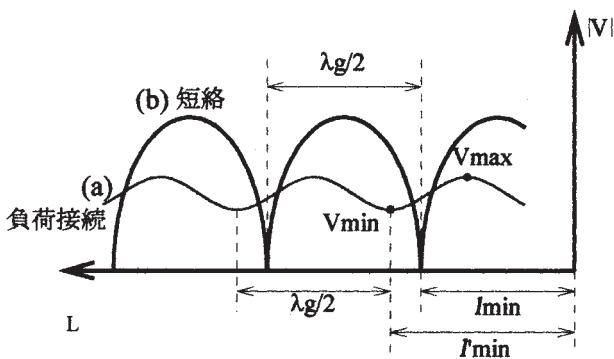


図4 定在波の様子

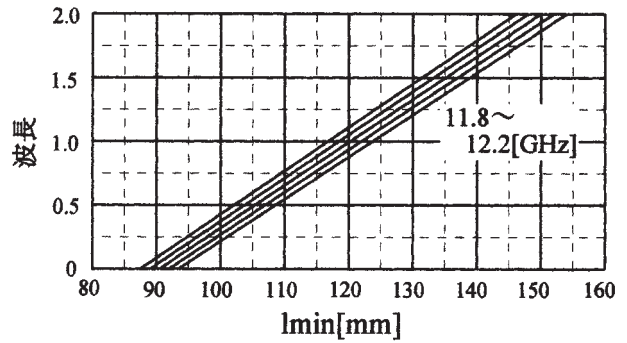


図5 位相チャート

3.4 インピーダンス整合の手順

曲がり部およびスロットからの反射を抑え、スネーク導波路アンテナのインピーダンス整合をとるために、本研究では以下に示す順序で実験を行った。
 第1段階：曲がり部単体について整合をとる。
 第2段階：スロット単体について整合をとる。
 第3段階：第2段階で得られたビスの位置および挿入長のデータを直線導波路1列（18スロット）に適用し、整合をとる。また、直線導波路に残留となっている反射を追加ビスにより整合をとる。
 第4段階：第1, 第3段階から得られた結果をスネーク導波路アンテナに適用し整合をとる。

4. 整合結果

第1段階の結果を図6に示す。 r_p は曲がり部終端とした。ビス装荷前の電圧定在波比は1.014~1.032の間である。これに対し、 r_p から発振器側に $0.538 \lambda_{gm}$ (λ_{gm} : 中心周波数12.0 [GHz] の管内波長) 移動させ、ビスを0.8 [mm] 挿入した場合、電圧定在波比が周波数全域にわたり1.01以内とすることが出来た。

第2段階の結果を図7に示す。 r_p は電圧定在波測定器終端とした。ビス装荷前の電圧定在波比は1.021~1.037の間である。これに対し、 r_p から負荷側に $1.766 \lambda_{gm}$ 移動させ、ビスを0.9 [mm] 挿入した場合、電圧定在波比が周波数全域で1.01以内とすることが出来た。

第3段階の結果を図8に示す。 r_p は電圧定在波測定器終端とした。ビス装荷前の電圧定在波比は1.31~1.85の間である。第2段階の結果を各スロットに適用すると、電圧定在波比は1.074~1.186まで抑えられた。この残留分を抑えるために、 r_p から

スネーク導波路給電小型平面アンテナの試作

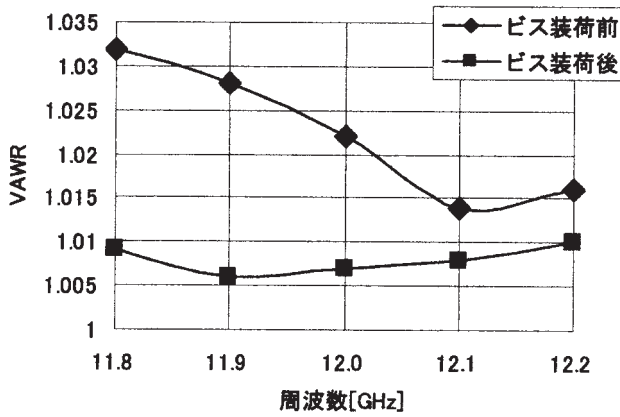


図6 曲がり部単体の入力インピーダンス

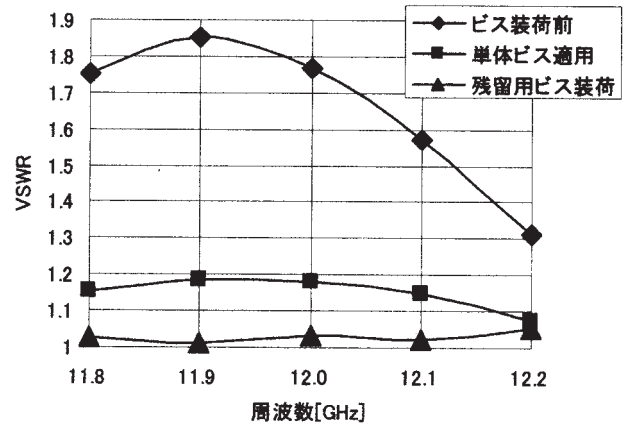


図8 直線導波路部の入力インピーダンス

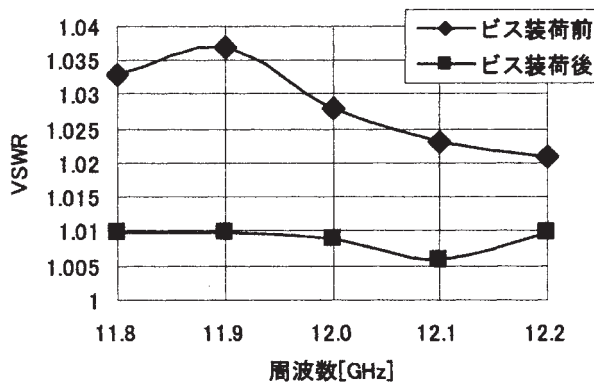


図7 スロット単体の入力インピーダンス

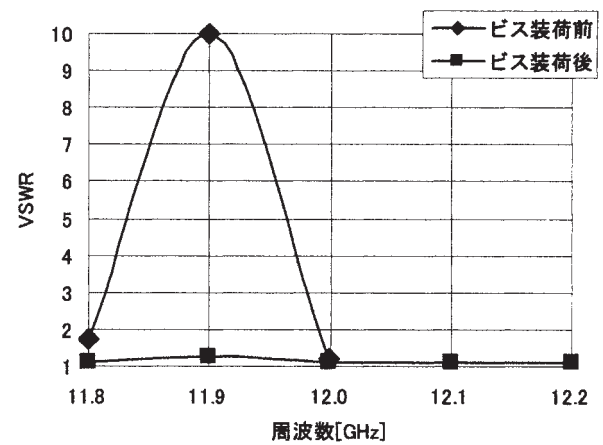


図9 スネーク導波路アンテナ全体の入力インピーダンス

表1 管内波長

周波数 [GHz]	直管の管内波長 [mm]	曲がり部の管内波長 [mm]	直線導波路の管内波長 [mm]
11.8	30.535	29.917	30.304
11.9	30.166	29.450	29.933
12	29.808	28.997	29.572
12.1	29.459	28.558	29.221
12.2	29.119	28.131	28.879

負荷側に $6.114 \lambda_{gm}$ 移動させ、ビスを2.4 [mm] 挿入し、さらに、rp から負荷側に $6.114 \lambda_{gm}$ 移動した場所より発振器側に $17/8 \lambda_{gm}$ 移動させ、ビスを1.8 [mm] 挿入した場合、電圧定在波比が周波数全域で1.052以内とすることが出来た。

第4段階の結果を図9に示す。ビス装荷前の電圧定在波比は1.2~10の間である。第1, 第3段階の結果を適用すると、電圧定在波比が周波数全域で1.242以内とすることが出来た。

尚、曲がり部と直線導波路では直管の場合と管内波長が異なるので、管内波長の違いを表1に示した。

5. スネーク導波路アンテナの放射パターン測定

本校設置の簡易コンパクトレンジ (1800 [mm] ϕ のオフセットアンテナを利用) で、3.の実験でインピーダンス整合をとったスネーク導波路アンテナの放射パターンを測定した。例として11.9 [GHz]

における放射パターンを測定した。測定結果を図10, 11に示す。放射パターンは単一指向性のパターンであり、平面アンテナとして機能していることがわかる。一方、広角度方向でサイドローブレベルが高く、特に E 面放射パターンでのレベルが高く、改善の必要がある。

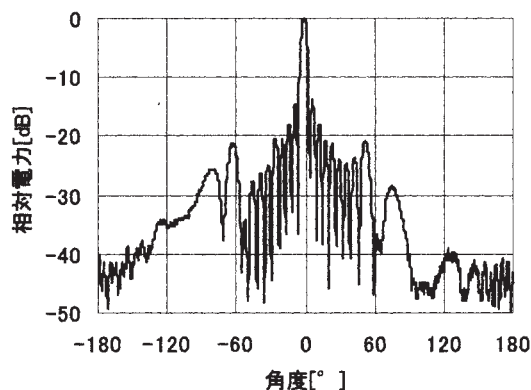


図10 E面放射パターン

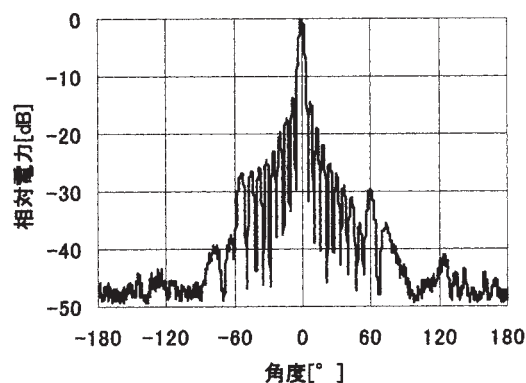


図11 H面放射パターン

6. 結言

1層構造の導波管型平面アンテナの実現を目指し、スネーク導波路アンテナを試作してビスを用いて整合を行った結果、非整合時に最大10あった電圧定在波比を、周波数全域で1.242以内に抑えることが出来た。また、例として11.9 [GHz] における放射パターンを測定したところ、単一指向性のパターンが得られ、平面アンテナとして機能していることが確認できた。このことから、スネーク導波路アンテナの実現についての展望が開けたと考えている。

今後の課題としては、(1) アンテナの利得の測定を行う、(2) アンテナの終端が無反射終端のため電力が消費されているので、終端を短絡した場合の整合をとる、(3) スロットや整合用ビス装荷による管内波長の修整を考慮した導波路の設計を行う、(4) 周波数特性を改善すること、等が挙げられる。

7. 参考文献

- (1) 下田, 宮田, 伊藤, 山崎, 「スネーク導波路給電小型平面アンテナの試作」, 平成16年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 104, p.136, (2004)
- (2) 下田, 宮田, 「スネーク導波路の整合についての検討」, 平成15年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 2D16, p.139, (2003)

8. 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金（課題番号14550392）によりおこなわれたことを付記する。