



Title	プリントドスロットアンテナの新形式の試作
Author(s)	中岡, 快二郎; 川岸, 博昭; 伊藤, 精彦; 松本, 正
Citation	北海道大學工學部研究報告, 76, 67-77
Issue Date	1975-08-20
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/41300">http://hdl.handle.net/2115/41300</a>
Type	bulletin (article)
File Information	76_67-78.pdf



[Instructions for use](#)

## プリントドスロットアンテナの新形式の試作

中岡快二郎\* 川岸博昭\*

伊藤精彦\* 松本正\*

(昭和49年12月27日受理)

### Trial Manufacture of a New Type of Printed Slot Antenna

Kaijiro NAKAOKA Hiroaki KAWAGISHI  
Kiyohiko ITOH Tadashi MATSUMOTO

(Received December 27, 1974)

#### Abstract

Recently, printed-antennas with dielectric substrates have been a subject of considerable interest. This type of antenna has an advantage in that it is used in common with Microwave Integrated Circuits.

The authors have previously proposed a printed slot antenna utilizing coupling between the transverse magnetic field of an unbalanced strip line and slot. As the input impedance of slot antenna which is fed into at the center is very high, the matching between a 50 ohm feeder line and a slot antenna must be performed by an offset-feed method, when the printed slot antenna is used. But there is a possibility that the application of the offset-feed may affect the directive characteristics of slot antenna. Therefore it is advisable to use center-feed method, where possible. A folded slot antenna is suggested, as a means for making the matching at the center-feeding point. With special regard to the antenna, we have previously attempted fundamental experiments and have published the results.

Now we have performed a few experiments on the folded slot antenna utilizing a strip line as the feeder line and also have clarified that the matching between the 50 ohm strip line and the antenna by the center-feed was possible. Also we have devised an improved folded slot antenna. Thus, some measured results on this new type of slot antenna and some discussions thereof are reported in the later half this paper.

#### 1. ま え が き

プリントドアンテナは、プリント基板を利用して作ったアンテナのことで、信頼性、堅牢、低廉などの点で優れている。著者等は、従来よりこのアンテナの研究、開発を行っており、既にこのアンテナに適した給電法を開発し、それらの結果を発表している<sup>1),2)</sup>。しかしながら、この方法を利用する場合、オフセット給電法によって50オーム給電線とスロットアンテナとの整合を

\* 電子工学科 電波伝送工学講座

とっているため、製作する際、相当な精度が必要とされる。また指向性への悪影響も心配される。したがってできる限り中央給電によって整合をとることが望まれる。スロットの中央における入力インピーダンスは非常に高いため、広帯域整合はかなり困難であるが、折返スロットアンテナを利用すれば可能であることが知られている<sup>3),4)</sup>。また、給電線としてストリップ線路を利用した折返スロットアンテナについて、著者等は詳細な実験を行い、50 オーム整合が可能なことを確かめている<sup>5),6)</sup>。ところがこの方法によると、スロットの中の導体と、下のストリップ線路とを短絡する必要があり、工作上、面倒な作業が必要とされる。この難点を解決するため、今回、折返スロットアンテナをさらに改善した新しいスロットアンテナを考案し、基礎実験を行った。その結果、予想通りの特性が得られたので報告する。

## 2. 折返スロットアンテナの入力インピーダンス

### 2.1 折返ダイポールアンテナの理論

(I) 接地された折返ユニポールアンテナはインピーダンスの値が1/2になるという点を除いて折返ダイポールアンテナと同様の特性をもつ。Fig. 1 にこのユニポールアンテナを示す。ここで給電する側の素子を一次線、他方を二次線とする。このユニポールアンテナの等価回路を Fig. 2 に示す。これは下部の発振器 ( $e$ ) による放射に寄与する不平衡系と、上部の発振器 ( $e+e_1$ ) による放射に寄与しない平衡系との重ね合せとして考えられる。

この折返ユニポールアンテナの給電点インピーダンス  $Z_{in}$  は、一次線の駆動電圧  $V_1=e+e_1$  と一次線に流入する電流  $I_1$  との比で決定される。今、アンテナ長を  $\lambda_g/4$  として、上部の発振器により発生する電流は無視できるほど小さいとし、素子1と2の容量を  $C_1$ ,  $C_2$  とすると下部の発振器により発生する電流 ( $e/R$ ) のうち、一次線に流入する電流  $I_1$  は

$$I_1 = \frac{e}{R} \frac{C_1}{(C_1+C_2)} \quad (1)$$

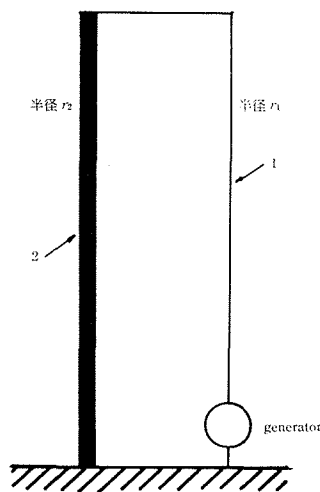


Fig. 1. Folded unipole with unlike elements.

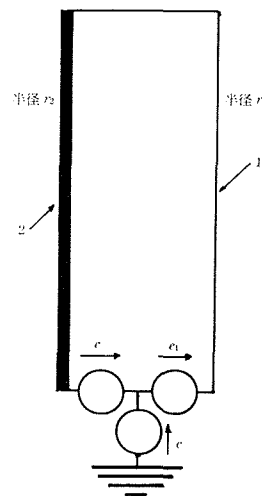


Fig. 2. Folded unipole, with single generator of Figure 1 replated by three dissimilar generators.

で与えられる。ここで  $R$  は折返ユニポールアンテナに等価なユニポールアンテナの放射抵抗である。

また、 $e$  と  $e_1$  の間には、 $e/e_1=C_1/C_2$  なる関係が成り立つから、給電点インピーダンス  $Z_{in}$  は次式で与えられる。

$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1} = R \left( 1 + \frac{C_2}{C_1} \right)^2 \quad (2)$$

ここで、素子間に零ポテンシャルの等電位面を想定すると  $C_2/C_1$  の比は、次のように特性インピーダンスと関係づけられる。

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\text{素子2と等電位面との容量}}{\text{素子1と等電位面との容量}} = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (3)$$

ここで、 $Z_1$  は各々の素子の中心間距離に等しく素子1 どうしをおいたときの特性インピーダンス。 $Z_2$  は同様にして素子2 どうしをおいたときの特性インピーダンスとして定義できる。

故に、(2)、(3)式より折返ユニポールアンテナの入力インピーダンスは次式で与えられる。

$$Z_{in} = R \left( 1 + \frac{C_2}{C_1} \right)^2 = R \left( 1 + \frac{Z_1}{Z_2} \right)^2 \quad (4)$$

ここで単一ダイポールアンテナの放射抵抗  $R_{dip}$  が与えられると(4)式より折返ダイポールアンテナの中央給電における入力インピーダンスが与えられる。

(II) また、文献<sup>4)</sup>より、折返ダイポールアンテナの入力インピーダンスは、アンテナの長さが半波長のとき次式で与えられる。

$$Z = \frac{R_{dip}}{v_s^2} \quad (5)$$

ここで、 $v_s$  は電流配分率と言われるもので

$$v_s = \frac{\log d/r_2}{\log d/r_1 + \log d/r_2} \quad (6)$$

で与えられる。 $d$  は各素子の中心間距離である。

## 2.2 折返スロットアンテナの入力インピーダンス

上に述べられた折返ダイポールアンテナの理論を利用して、折返スロットアンテナの入力インピーダンスを計算する。

ダイポールとスロットの相補性より、ダイポールとスロットのインピーダンスをそれぞれ  $Z_{di}$ 、 $Z_{si}$  とすると

$$Z_{di} = 1/Z_{si} \quad (7)$$

なる関係が成立する。

(I) (4)式を利用する方法

(4)、(7)式より折返スロットアンテナの入力インピーダンス  $Z_{in}$  は次式で与えられる。

$$Z_{in} = Z_s \left( 1 + \frac{Z_{s2}}{Z_{s1}} \right)^{-1} \quad (8)$$

ここで、 $Z_s$  は単一スロットアンテナの放射インピーダンス。 $Z_{s1}$ 、 $Z_{s2}$  は、各々のスロットの中心間距離を等しく、各素子 どうしをおいた時のスロット伝送線路の特性インピーダンス  $Z_0$  で次のように求められる。

Fig. 3 に示すような厚さが無限で比誘電率  $\epsilon_r$  なる誘電体基板上のスロット伝送線路の特性インピーダンスは次式で与えられる。

$$Z_0 = \frac{1}{C v_{ph}} \quad (9)$$

ここで  $v_{ph}$  は位相速度で、等価誘電率  $(\epsilon_r + 1)/2$  の関係より

$$v_{ph} = \left( \frac{2}{\epsilon_r + 1} \right)^{\frac{1}{2}} c \quad (10)$$

で表わされる。 $c$  は光速度である。また  $C$  は等角写像により

$$C = (\epsilon_r + 1) \epsilon_0 \frac{2a}{b} \quad (11)$$

で与えられる。

ここで

$$\frac{a}{b} = \frac{K(k)}{K'(k)}$$

$$k = a_1/b_1$$

$K(k)$  = 第一種の完全楕円積分

$$K'(k) = K(k')$$

$$k' = (1 - k^2)^{\frac{1}{2}}$$

である。

(II) (5) 式を利用する方法

(I) と同様に折返スロットアンテナの入力インピーダンス  $Z_{in}$  は

$$Z_{in} = v_s^2 Z_s \quad (12)$$

で与えられる。

ここで注意する点は、折返スロットアンテナにおいては、 $v_s$  を決定する時、等価半径を用いる必要があることである。すなわち、スロット幅を  $d$  とするとき、等価半径は、 $r = d/4$  によって与えられる。このようにして求めた  $r$  を (6) 式に代入して、 $v_s$  を決定しなければならない。

### 3. 折返スロットアンテナの入力インピーダンスの実験結果および考察

#### 3.1 折返スロットアンテナの構造

Fig. 4 に、誘電体基板上に作られた折返スロットアンテナの平面図とその断面を示す。ここで、一次側、および二次側のスロット幅を  $d_1$ ,  $d_2$ , 中央導体の幅を  $c$  とする。給電はストリップ線路によって行われ、一次側に給電される。なお、ここでストリップ線路は中央導体に短絡されている。

#### 3.2 入力インピーダンスの測定および計算値との比較

実験は適当な  $c$ ,  $d_1$  に対して  $d_2$  を変化させ、その給電点インピーダンスを測定した。この結果を Fig. 5, 6 に示す。図は横軸に  $d_2/d_1$  をとり、縦軸には共振インピーダンスの実抵抗分をとったものである。図の実線および破線は各々 (8), (12) 式により算出したもので、 $Z_s$  は実験により  $Z_s = 648 (\Omega)$  を与えている (ただし、Fig. 6 においては (8), (12) 式による結果がほぼ同じなので実線のみを示してある)。

この実験に使用した基板はユーピロン (厚さ  $h = 2.0$  mm, 比誘電率  $\epsilon_r = 2.8$ ) で、スロット長  $l$  は、ほぼ 3.2 GHz 付近で半波長共振するように  $l = 3.6$  cm とした。

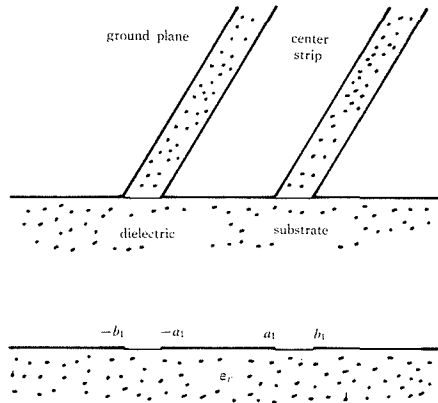


Fig. 3. Coplanar Waveguide.

この結果より、折返スロットアンテナとすることにより、中央給電法によっても適当な  $d_2/d_1$ ,  $c/d_1$  を定めることにより、入力インピーダンスを 50 オームにまで下げることが可能であることがわかる。すなわち、Fig. 5 より、 $c/d_1$  が 2 の場合は  $d_2/d_1=5$  程度でよく、Fig. 6 より  $c/d_1=10$  の場合には  $d_2/d_1=9$  程度であるというように、 $c/d_1$  の値によって、 $d_2/d_1$  の値も変わってくるという傾向にあることがわかる。また以上の実験結果は計算結果の傾向ともよく一致するといえる。

Fig. 5 において (8) 式と (12) 式の計算値が、 $d_2/d_1$  が大きくなるにつれて一致しなくなるのは、(8) 式により計算する場合、 $d_2/d_1$  の比が大きくなると、二次側のスロット伝送線路の特性インピーダンスを求めるとき、構造上物理的に意味が失われてくる

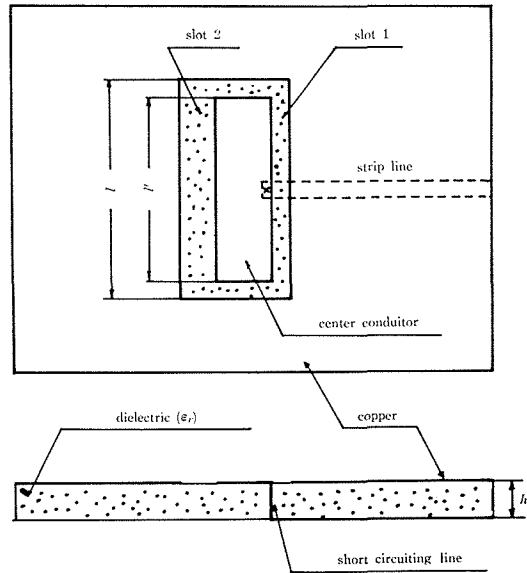


Fig. 4. Foldee slot antenna on a dielectric substrate.

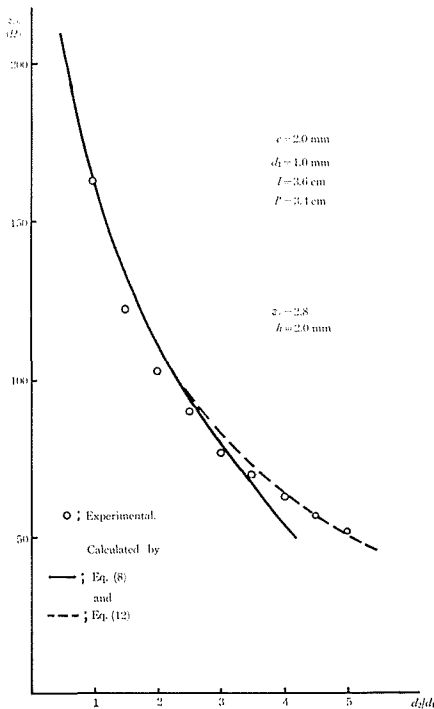


Fig. 5. Comparison of experimental and calculated results for the input impedance of a folded slot antenna.

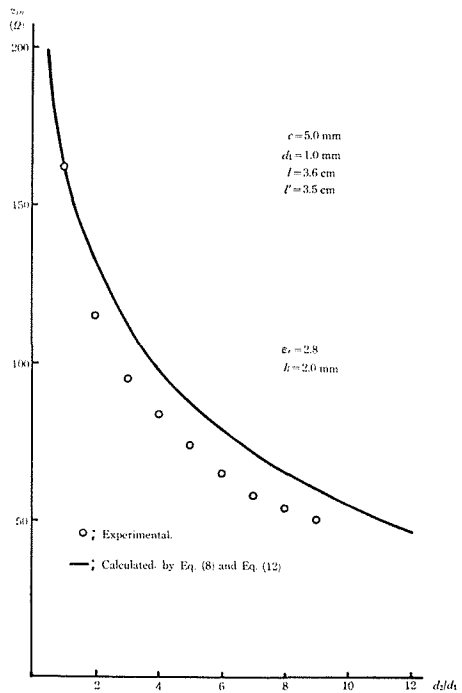


Fig. 6. Comparison of experimental and calculated results for the input impedance of a folded slot antenna.

と同時に、スロット幅が広がると、誘電体の厚みを考慮する必要があるためであると考えられる。これは Fig. 6 に示すように、 $c/d_1$  の比を大きくとることにより避けられる。

次に問題となるのは、折返スロットアンテナの共振インピーダンスが 20 オーム程度のリアクタンスを持つため、共振周波数と整合周波数が一致しないことである。この原因を、折返スロットアンテナが誘電体基板上に作られるため、平衡系と不平衡系の位相定数が異なり、共振インピーダンスにリアクタンス分が含まれると考え、中央導体の長さ  $l$  を変えて平衡系においても共振をとりリアクタンス分を打消す実験を行った。

Fig. 7 には、 $d_1=1.0$  mm,  $d_2/d_1=1$ ,  $c=2.0$  mm,  $l=3.6$  cm の折返スロットアンテナについて、 $l'$  を 3.4 cm から 2.9 cm に変化させたときの共振インピーダンスの実抵抗分とリアクタンス分を示してある。

これによれば、 $l'$  を短くすることにより、リアクタンスが打消されると共に、共振インピーダンスも大きくなる傾向にあることがわかる。この間、共振周波数は 3.2 GHz 付近でほぼ一定であるので、 $l'$  の変化による影響はないと考えられる。

以上のことを考慮して、共振周波数と整合周波数とを一致させた結果を Fig. 8 に示す。

これは、まず、 $d_2/d_1$ ,  $c/d_1$  を適当に選び、共振インピーダンスを 50 オームにまで下げ、次に  $l'$  を短くして共振周波数と整合周波数とを一致させたものである。

以上の結果より、中央給電法によっても、折返スロットアンテナとすることにより 50 オームに共振インピーダンスで整合可能であることがわかる。

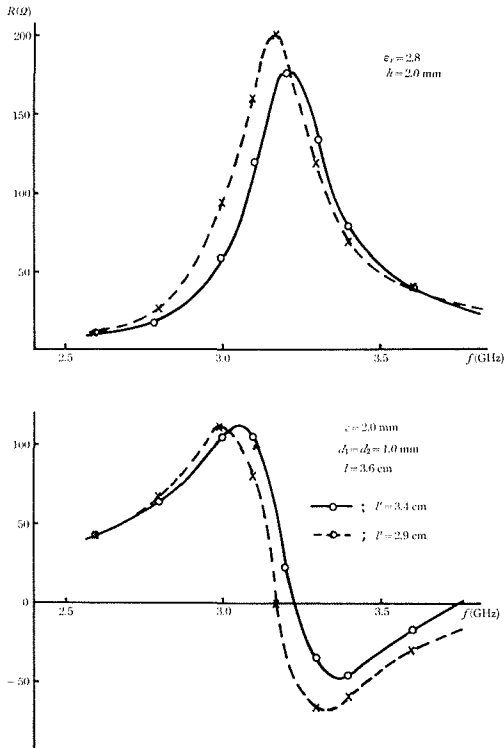


Fig. 7. Input impedance for the folded slot Antenna with the  $l'$  as a parameter.

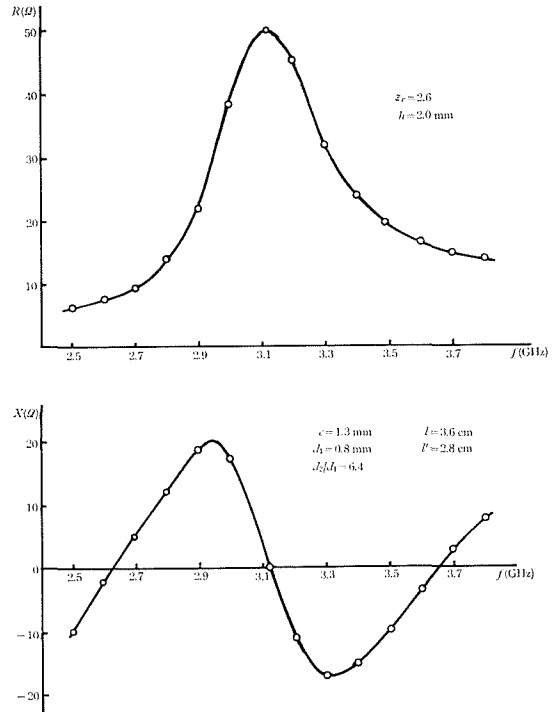


Fig. 8. Input impedance for the folded slot Antenna.

#### 4. プリントドスロットアンテナの新形式の説明および実験結果

前章で述べたように、折返スロットを利用することによりスロットと50オーム給電線との整合は中央給電によっても比較的容易になされることが明らかになった。しかしながら、このアンテナは特性面では十分に使用に耐え得るものであるが、中央導体とストリップ給電線とを短絡しなければならず、製作上、面倒な作業を必要とする。この短所を解決するアンテナを考案したので、この章では、この新しい型式のスロットアンテナの構造を説明すると同時に、その実験結果について述べる。

このアンテナは、従来の折返スロットアンテナの中央導体を、スロット面とは反対の誘電体側に張り付け、それをストリップ線路と一体化したものである。

このアンテナのインピーダンス特性は、基板の厚さ  $h$  が薄い場合は、従来の折返スロットアンテナと同じようになることが予想されるが、このことを以下の実験で確かめた、なお使用したプリント基板はファイバークラスラミネートで  $\epsilon_r=2.6$ ,  $h=0.3, 1.2$  mm である。

#### 実験結果および考察

前章の実験と同様に適当な  $c, d_1$  に対し  $d_2$  を変化させ新型スロットアンテナと折返スロットアンテナとの入力インピーダンスの比較を行った。この結果を Fig. 9, 10 に示す。ここで新型スロットアンテナおよび折返スロットアンテナの測定値を各々○印, ×印で示してある。図の実

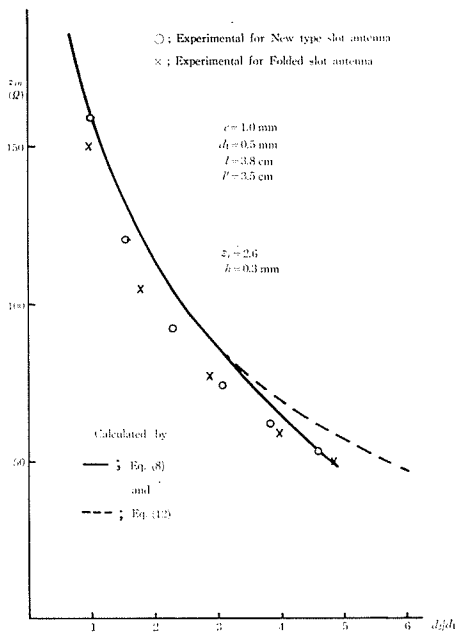


Fig. 9. Comparison of experimental of New type of slot antenna and Folded slot antenna, and calculated result for the input impedance of a Folded slot antenna.

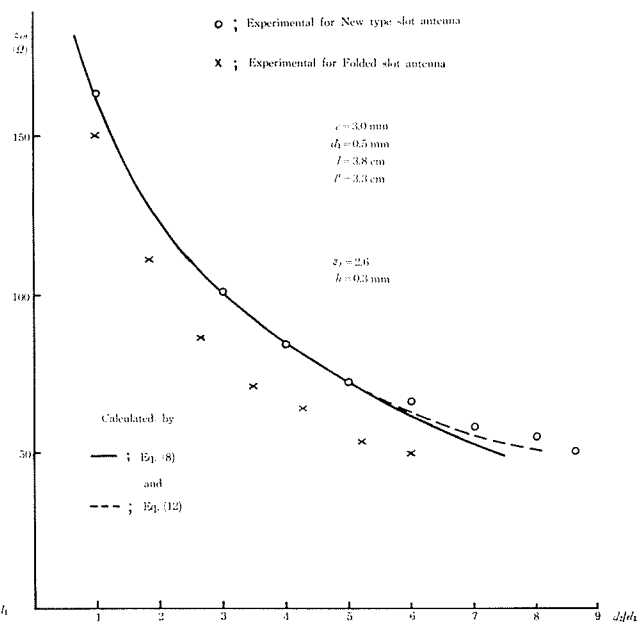


Fig. 10. Comparison of experimental of New type of slot antenna and Folded slot antenna, and calculated result for the input impedance of a Folded slot antenna.



線および破線は折返スロットアンテナについて(8), (12)式による計算結果である。なお計算値は  $Z_0=644.7(\Omega)$  として算出した。また、使用した基板は  $\epsilon_r=2.6$ ,  $h=0.3$  mm である。

Fig. 11 には基の厚み  $h$  をパラメータとしたときの新型スロットアンテナの入力インピーダンスの測定結果を示してある。

以上の結果より新型スロットアンテナによっても折返スロットアンテナと同様な傾向で入力インピーダンスを50オームにまで下げることが可能であることがわかる。また基板を厚くすることにより同じ形でも入力インピーダンスが高くなり50オームにまで下げするためには  $d_2/d_1$  の値も大きくとらなくてはならない。このことは、スロットとストリップ線路との距離が大きくなるに従って、両者の結合が小さくなるためと考えられる。

さて、新型スロットアンテナと折返スロットアンテナとの構造的に異なる点の一つとして中央導体が誘電体側に付されているので、この長さを、スロットの長さに制約されることなく自

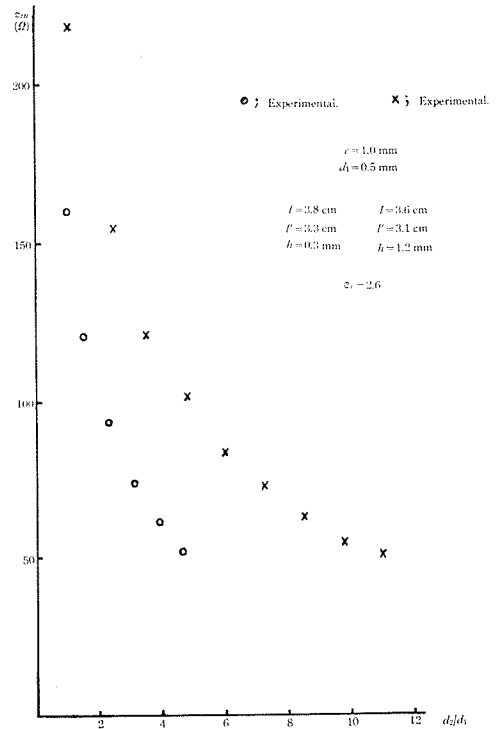


Fig. 11. Comparison of experimental of New type of slot antenna with the  $h$  as a parameter.

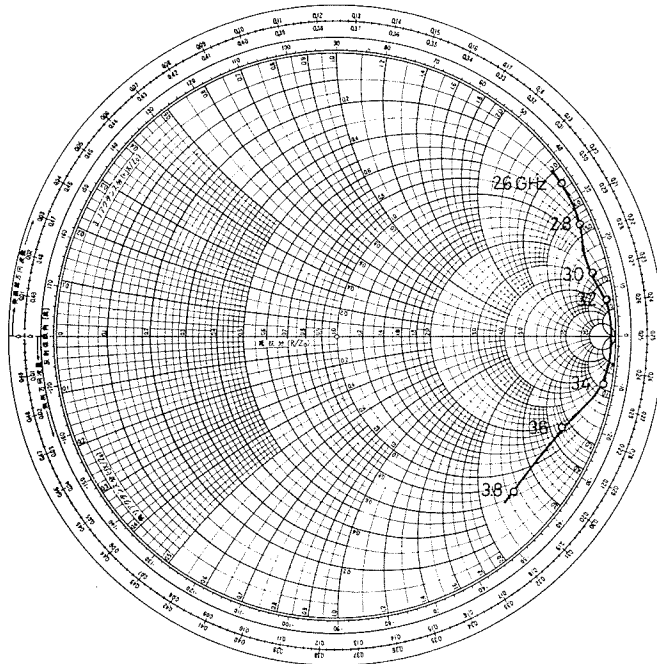


Fig. 12. Smith-chart plots of input impedance normalized to 50 ohm.  $d_1=d_2=0.5$  mm,  $c=3.0$  mm,  $l=3.8$  cm,  $l'=4.8$  cm.

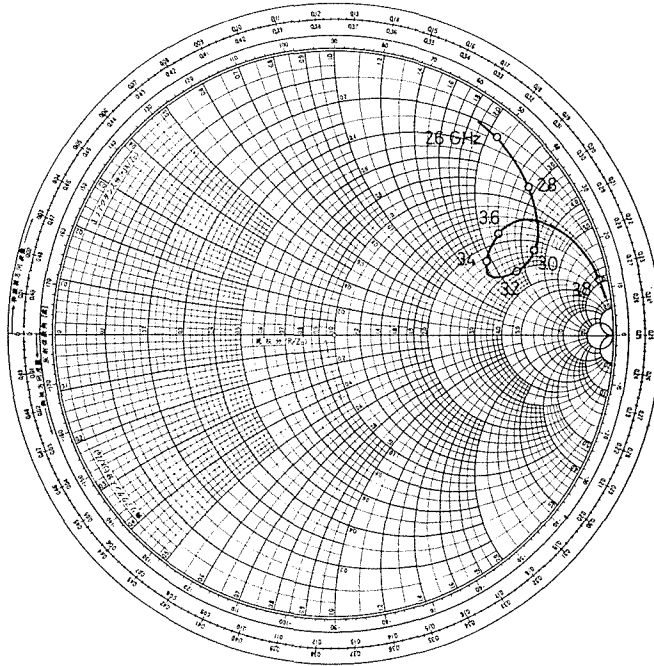


Fig. 13. Smith-chart plots of input impedance normalized to 50 ohm.  
 $d_1 = d_2 = 0.5$  mm,  $c = 3.0$  mm,  $l = 3.8$  cm,  $l' = 4.8$  cm.

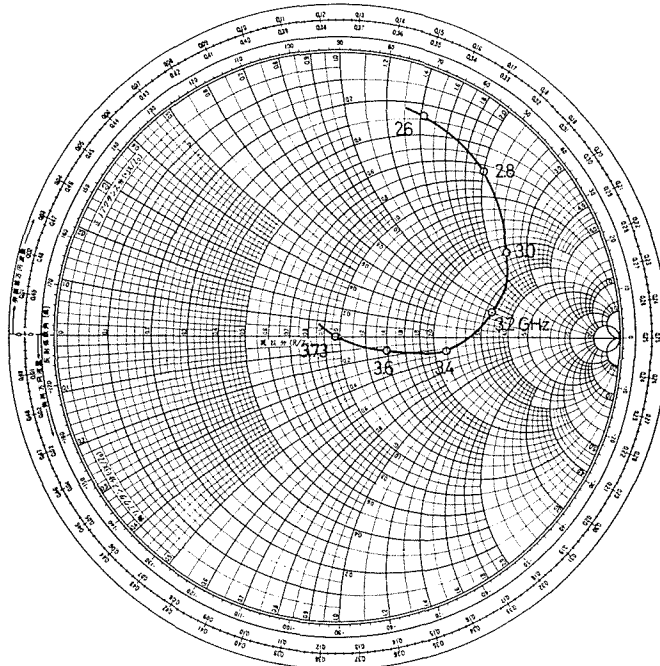


Fig. 14. Smith-chart plots of input impedance normalized to 50 ohm.  
 $d_1 = d_2 = 0.5$  mm,  $c = 3.0$  mm,  $l = 3.8$  cm,  $l' = 4.0$  cm.

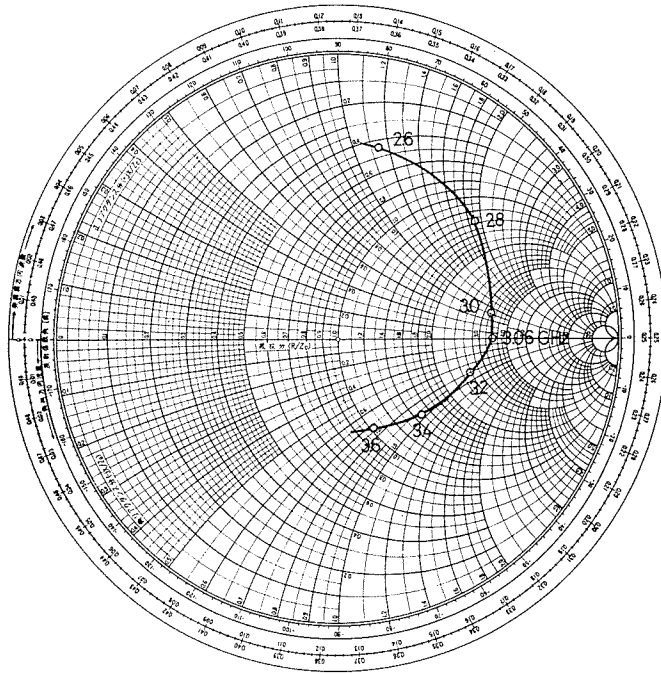


Fig. 15. Smith-chart plots of input impedance nomalized to 50 ohm.  $d_1=d_2=0.5$  mm,  $c=3.0$  mm,  $l=3.8$  cm,  $l'=3.3$  cm.

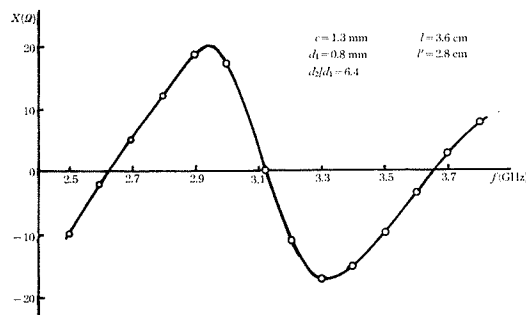
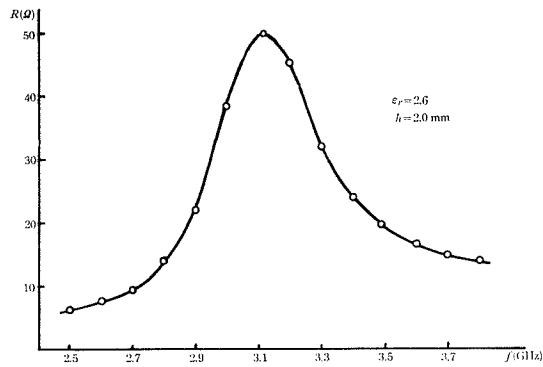


Fig. 16. Input impedance for a New type of slot antenna.

由にとれる点にある。そこでスロットの端より、出た部分をトラップ回路として利用し、インピーダンスを動かすことが考えられる。中央導体の長さを  $l'$  として、これをパラメータとしたときのインピーダンス軌跡を Fig. 12, 13, 14 に示す。

この中央導体をストリップ線路とみなし、終端開放で定在波を立たせると、この場合、 $\lambda_g/4 = 1.6$  cm (短縮率 0.665 を用いる) である。Fig. 12 については、スロットの端より、中央導体は 1.55 cm 出ており、ほぼ  $\lambda_g/4$  である。故にスロットの端では電氣的に短絡となるので輻射はない。

次に、 $l'$  を短くして、スロットの内部にはいるようにすると、Fig. 15 に示すように、折返スロットアンテナと同様に  $l' = 3.3$  cm で共振インピーダンスのリアクタンス分が打消されることがわかる。

以上の結果より、新型スロットアンテナに対しても、共振周波数と整合周波数とを一致させることが可能である。この結果を Fig. 16 に示す。

これは前章の折返スロットアンテナと同様に、まず、 $d_2/d_1$ ,  $c/d_1$  を適当に選び、共振インピーダンスを 50 オーム程度まで下げ、次に  $l'$  を短くすることにより共振周波数を整合周波数に一致させたものである。

## 5. む す び

給電線としてストリップ線路を利用した中央給電法による折返スロットアンテナに関する詳細な実験を行い、理論値と測定値がよく一致することを確かめた。

次に、プリントドスロットアンテナとして使用される新方式のスロットアンテナを提案しその基礎実験を行った。その結果、新しいスロットアンテナは、使用するプリント基板の厚みが非常に薄い場合、前記の折返スロットアンテナと同様なインピーダンス特性を有することを明らかにした。このアンテナは種々の特徴を持っており、将来アレイアンテナの素子として利用され得る。今後は、指向性についても実験を行い、このアンテナの指向特性を明らかにしてゆくつもりである。

## 文 献

- 1) 中岡快二郎, 伊藤精彦, 松本 正: “スロット伝送線路により給電したスロットアンテナについて”, 昭和 48 年, 電子通信学会全国大会, 602.
- 2) 中岡快二郎, 伊藤精彦, 松本 正: “PRINTED SLOT ANTENNA の素子およびアレイについて”, 電子通信学会アンテナ・伝播研究会資料, AP 73-36 (1973-09).
- 3) H. G. Booker: “Slot Aerials and their relation to complementary Wire Aerials (BABINET'S PRINCIPLE)” J.I.E.E. (London), 93, Part III A, No. 4, 1946.
- 4) 中岡快二郎, 伊藤精彦, 松本 正: “折返スロット空中線の入力インピーダンス”, 工学部研究報告第 67 号 (昭和 48 年 3 月).
- 5) 川岸博昭, 中岡快二郎, 伊藤精彦, 松本 正: “Printed Antenna 用 Folded Slot Antenna の入力インピーダンスについて”, 昭和 49 年, 電子通信学会全国大会, 785.
- 6) 川岸博昭, 中岡快二郎, 伊藤精彦, 松本 正: “Folded Slot Antenna の入力インピーダンスに対する考察”, 昭和 49 年, 電子通信学会北海道支部大会, 91.