



Title	薄型空洞スロットアンテナの帯域幅について
Author(s)	中岡, 快二郎; Nakaoka, Kaigiro; 伊藤, 精彦 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 69, 87-94
Issue Date	1973-11-15
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41176
Type	departmental bulletin paper
File Information	69_87-94.pdf



薄型空洞スロットアンテナの帯域幅について

中岡 快二郎* 伊藤 精彦* 松本 正*

(昭和48年4月28日受理)

On the Bandwidth of Shallow-Cavity-Backed Slot Antenna

Kaigiro NAKAOKA, Kiyohiko ITOH, Tadashi MATSUMOTO

(Received April 28, 1973)

Abstract

In this paper we describe the bandwidth of shallow-cavity-backed slot antenna on the basis of experimental results. It is known that a shallow-cavity-backed slot antenna is convenient as one of the components of an energy density antenna.

With regard to the shallow-cavity-backed slot antenna which has a hollow inside, a detailed investigation has already been made theoretically and experimentally by the present authors. And the characteristics of an antenna filled with a dielectric medium have been clarified experimentally.

Input impedance and directivity are required for the design of an antenna and it is noted that the bandwidth is an important factor. Here, some experiments on the bandwidth of the shallow-cavity-backed slot antenna were made, and we have found some means to broaden the bandwidth of this slot antenna. As a result it was clarified that the relative bandwidth could be broadened to about 7.0 per cent.

We are of the opinion that our experimental results may be applied extensively in the future, in the designing of a shallow-cavity-backed slot antenna.

1. ま え が き

薄型空洞スロットアンテナは、スロット・ユニポール結合型アンテナシステムのスロット部として適しており、構造が簡単、結電線との整合が容易などの利点を有する。このスロットアンテナは空洞の内部が空気の場合と、内部に誘電体を充填した場合の二つの場合に区別される。さらに誘電体充填薄型空洞スロットアンテナは、スロット上の伝搬モードとして、leaky wave を利用したときと、surface wave を利用したときの二つの場合に分けて考えることができる。

空洞の内部が空気の薄型空洞スロットアンテナの入力インピーダンス、指向性に関しては既に理論的、実験的に筆者等により解析されており^{1,2)}、誘電体を充填した場合についても、実験により大体明らかとなっている³⁾。

アンテナを設計するとき必要な要素は入力インピーダンス、指向性であるが、帯域幅も重要な要素であり得る。したがって、この報告は、上に述べた種類の薄型空洞スロットアンテナについて種々な実験を行い、その結果を基にしてこのスロットアンテナの帯域幅について考察している。

* 電子工学科 電波伝送講座

2. 空洞の内部が空気の薄型空洞スロットアンテナ

薄型空洞スロットアンテナの外形および断面図を Fig. 1. (a) (b) に示す。実験は、Fig. 1. に示されている通り、セミリジッドケーブルを給電線として使用し、給電線とスロットアンテナとの整合は、オフセット給電法により行なった。また空中線の入力インピーダンスはネットワークアナライザーで測定した。

薄型空洞スロットアンテナの帯域幅は、空洞の厚さ a 、幅 b またはスロット幅 d 、スロット長 l などの変化により種々変わるものと考えられる。したがって、それぞれのパラメータについてすべて実験を行なわなければ帯域幅についての完全な考察はできない。しかしこのスロットアンテナには Q が最低となるような最適な a が存在することが、文献(1)において理論的に確かめられている。 Q の低下は当然アンテナの広帯域化につながるから、理論的に決定された最適な a を用いることにより沢山あるパラメータを減らすことができる。最適な a は 1.0~1.2 cm で与えられるので以下の実験では 1 cm 程度の a を用いてアンテナを製作している。したがってここでは、 b および d をパラメータとして実験を行なった。

なお以下の記述において、比帯域幅は次の定義に従っている。比帯域幅 = $(V. S. W. R. 1.5$ あるいは 2.0 以内に収まる周波数範囲)/(中心周波数)

(1) 空洞の幅 b をパラメータとした実験 使用したスロットアンテナの寸法は、 $a=1.27$, $c=0.08$, $d=0.4$, $l=15$, $f=30$ (cm) である。実験は b のみを 40, 32, 24, 16, 10, 6 (cm) と変化させて帯域幅を測定した。Fig. 2 は b と比帯域幅との関係をグラフ表示したものである。これらの測定値より $b=6$ cm にすると比帯域幅は 7.5% ($S. W. R. 1.5$ 以内) となり、もし中心周波数が 1 GHz であるとすると帯域は 75 MHz になり相当広帯域化されることになる。しかし $b=6$ cm のときの中心周波数は 2 GHz であることから、このアンテナを 1 GHz 近傍で利用するためには、スロット長 l を相当長くしなければならないことが予想され、実際的ではない。したがって、実用上便利な最小の b は約 10 cm 程度になる。結局 b を変えたときの最大の比帯域幅は 8.5% ($b=10$ cm のとき) 前後になる。

(2) スロット幅 d をパラメータとした実験 実験に用いた空中線は、 $a=0.5$, $b=25$, $c=0.08$, $f=25$, $l=15.3$ (cm) である。測定は d のみを 1.5, 3.0, 5.0, 7.0, 9.5 (mm) と変化させて行なった。その結果は Fig. 3 で、 d と比帯域幅との関係を示す。これよりスロット幅を増すことにより、比帯域を 7% 程度にすることが出来る。

上に述べた二つの実験より次の事が結論される。薄型空洞スロットアンテナを広帯域化するには、空洞の幅 b を小さくすると同時に、スロット幅 d を 1 cm 程度にすればよく、この方法により、比帯域幅を 10%~12% ($V. S. W. R. 2.0$ 以内) くらいにすることが可能になると思われる。

(3) バタフライ型スロットアンテナ (2) の実験でスロット幅 d を広くすることは、広帯域化

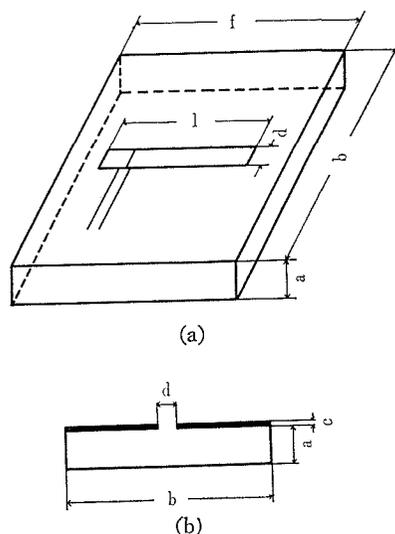


Fig. 1 (a) Structure of shallow-cavity-backed slot antenna
(b) Cross sectional view

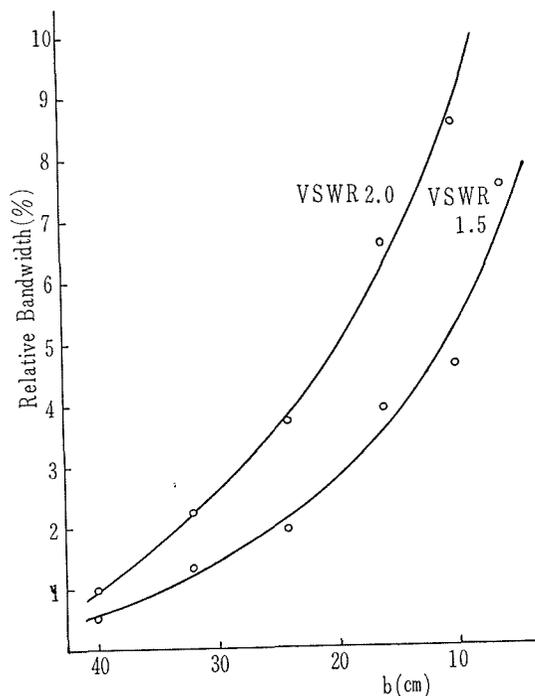


Fig. 2 Relative bandwidth for cavity width
 $a=1.27$ cm, $c=0.08$ cm, $d=0.4$ cm, $f=30$ cm

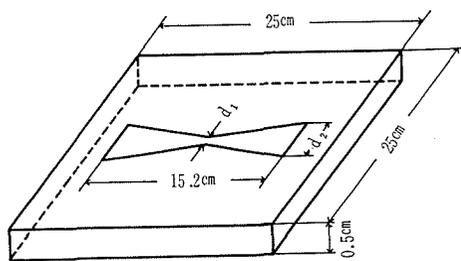


Fig. 4 Structure of butterfly slot antenna

につながる事が分った。したがって、Fig. 4 に示されている様な、スロット部を蝶型にしたバタフライスロットは広帯域化のための有効な手段になると考えられ、また広帯域化できれば実用的なアンテナでもあり得る。

このアンテナについて、 d_1 を一定に保ち、 d_2 を種々に変えて実験を行なった。この結果を Table. 1 に示す。この実験では、最適な a を用いず、また帯域を広くならしめる b でもないのに $d_2/d_1=3$ にのとき、比帯域幅は 8.1% になる。故に適当な a, b を選ぶと 10% 以上になることが予想され、このバタフライ型スロットによっても広帯域化を成し得ることが分かる。

3. 空洞の内部に誘電体を充填した薄型空洞スロットアンテナ

誘電体充填薄型空洞スロットアンテナの形状は、Fig. 1 (a) (b) と全く同様であり、空洞内に誘電体が入っている点だけが異なる。このスロットアンテナには、スロット上の伝搬モードとして、leaky wave 以外に surface wave mode も存在する。したがって実験は、leaky wave と

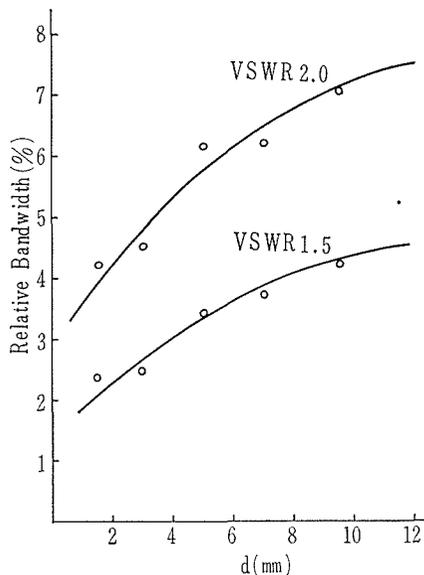


Fig. 3 Relative bandwidth for slot width.
 $a=0.5$ cm, $b=25$ cm, $c=0.08$ cm,
 $f=25$ cm

Table. 1

d_2/d_1	比帯域幅 (%)	
	V. S. W. R. 1.5 以内	V. S. W. R. 2.0 以内
1	2.3	4.0
2	2.7	4.4
3	5.2	8.1

surface wave の二つの場合に分けて行なった。

誘電体充填薄型空洞スロットアンテナの製作に当ってはプリント基板（三菱江戸川化学社）を利用した。このプリント基板の誘電体はユーピロンで、比誘電率は大体 2.8 前後である。また銅箔の厚さは、 $c=0.0036$ cm。

その他利用されるものとしては、ファイバーガラスを用いたプリント基板などが考えられる。給電方法および比帯域幅の定義は、2章で説明したのと同じである。

3.1 スロット上の伝搬モードが surface wave の場合

誘電体の ϵ_r が 2.8 前後のとき、1 GHz 近辺で表面波を半波長共振させ得るアンテナを Fig. 5 に示す。ここで空洞の深さ a は大体 0.2~5 (cm) である。この図より、表面波を利用した薄型空洞スロットアンテナは、空洞の内部が空気のアンテナに比べて、相当小型化されていることが分る。このアンテナについて a , b , d を変えた時の帯域幅の変化を測定したので以下述べる。

(1) 空洞の深さ a をパラメータとした実験 a として、0.3~5.4 (cm) の間の種々な値を選んだ。なお普通基板の厚さが 0.9~5.4 (cm) のようなプリント基板は市販されていないため、厚さが 0.5 cm のユーピロンシートを何重にも張合わせてアンテナを製作した。

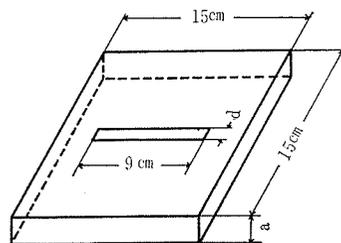


Fig. 5 Dielectric-filled shallow-cavity-backed slot antenna using a surface wavemode.

Fig. 6 に $a=0.2$ cm, $d=0.9$ cm, $l=9$ cm のときの入力インピーダンスのローカスを示す。但し

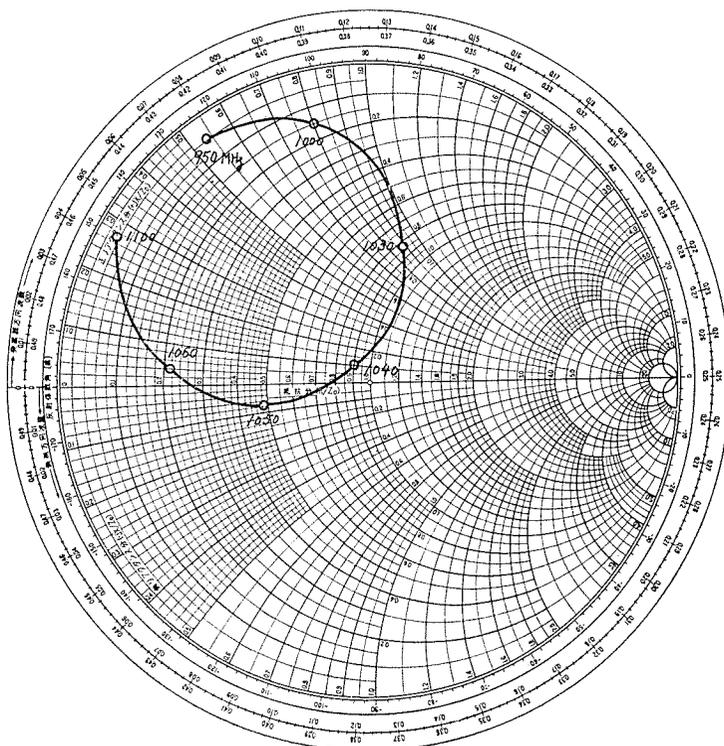


Fig. 6 Locus of input impedance.
 $a=0.9$ cm, $b=15$ cm, $d=0.2$ cm

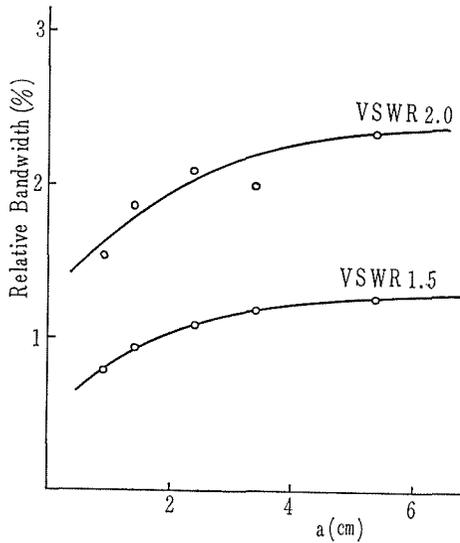


Fig. 7 Relative bandwidth for cavity depth $b=15$ cm, $d=0.2$ cm

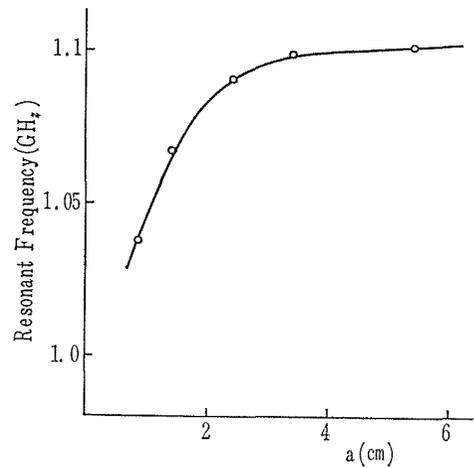


Fig. 8 Resonant frequency for cavity depth $b=15$ cm, $d=0.2$ cm

オフセット位置 $\delta=0.4$ cm。

a の変化に対応する比帯域幅の変化を Fig. 7 に、また共振周波数の変化を Fig. 8 に示す。ここで共振周波数に言及したのは、 a を変えたときの共振周波数の変化が従来の結果とは異なり、興味ある傾向を示したからである。

まず最初に Fig. 7 について考える。 a の増加につれ、帯域幅は少し増加しているが大幅なものではなく、最高で 2.3% 程度でしかない。空洞内が空気の場合 (すなわち leaky wave mode) には、草域幅を最大にする最適な a が存在したが、表面波を利用したこのスロットアンテナには最適値はないようである。

Fig. 8 のグラフで注意すべき傾向は、 a が増加するにつれて共振周波数が次第に高くなり、ある一定値に近づいて行くことで、これは leaky wave を利用した場合と、全く逆な現象を示している。比較のため、後述する leaky wave を利用したアンテナで、 a に対応する共振周波数の変化を表すグラフを Fig. 9 に示しておく。

今スロット長を 9 cm としているから、表面波が半波長共振しているとすれば、そのときの共振波長 λ_g は、18 cm と考えられる。Fig. 8 より、 $a=0.3$ cm のときの共振周波数は 985 MHz であるから、上に述べた λ_g を用いて β/k を計算すると 1.69 となり、 $a=5.4$ cm のときは $\beta/k=1.51$ になる。これは誘電体の厚さ、すなわち a が薄いときの方が分厚いときよりも等価誘電率が大きくなり、したがって波長短縮率も大きくなることを示している。 a を漸次大きくすると同時に、スロット軸方向および、それと直角な方向の空洞の長さを増していくと、半無限空間がすべて誘電体で満たされたものと等価になる。このときの等価比誘電率は、文献 (4) によって、第

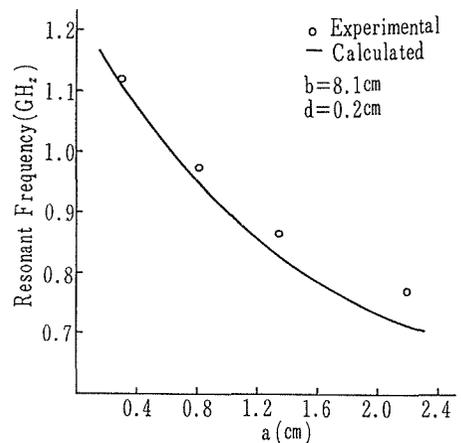


Fig. 9 Resonant frequency for cavity depth

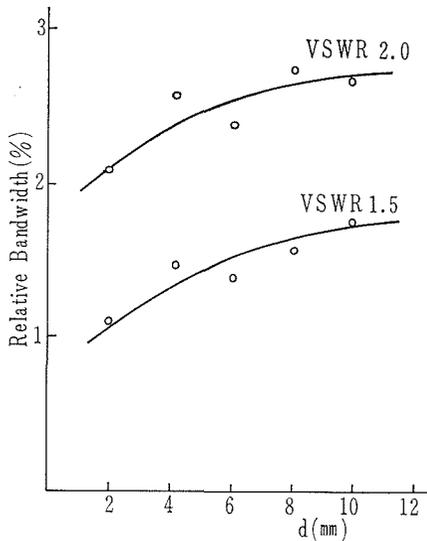


Fig. 10 Relative bandwidth for slot width
 $a=2.4$ cm, $b=15$ cm

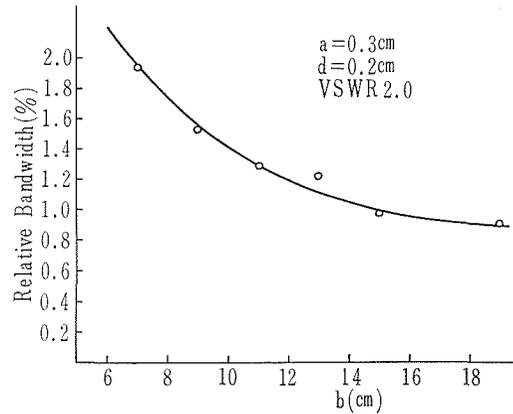


Fig. 11 Relative bandwidth for cavity width

零近似の解として求められており、 $\epsilon_{eq}=(\epsilon_r+1)/2$ となる。したがって、 $\beta/k=\sqrt{(\epsilon_r+1)/2}$ 。今の場合、 $\epsilon_r=2.8$ として計算すると、 $\beta/k=1.38$ となる。これらのことから、 β/k が漸近する一定値はこの値になるものと思われる。故にアンテナの小型化を計る為には、空胴の深さを小さくすればよい。

(2) スロット幅 d およびスロット軸と直角な方向の長さ b と帯域幅との関係 最初に $a=2.4$ cm, $b=15$ cm, $l=9$ cm, を一定とし、 d を 0.2 cm \sim 1 cm の間で変化させ、帯域幅を測定した。その結果を Fig. 10 に示す。

次に $a=0.3$ cm, $d=0.2$ cm, $l=9$ cm, 一定とし b を種々に変えた実験を行なった。Fig. 11 は b と比帯域幅との関係を表わしている。これらの図について考察する。空胴内が空気るときには、広帯域化の方向として、 b を小さくすると共に、スロット幅 d を広くすることが有効な手段であった。ところが、Fig. 10, Fig. 11 より、この方法は今の場合広帯域化と結びつかないことが分る。したがって、広帯域化のためには別な方法を試みる必要がある。その為、様々な形状のアンテナを製作し、実験を行った。たとえば、バタフライ型スロットアンテナについて、その開き角を $5^\circ\sim 30^\circ$ の間で種々に変化させて測定した。しかし、どのアンテナについても、比帯域幅はせいぜい 3% (V. S. W. R. 2.0 以内) に留まることが明らかとなった。

(1), (2) の実験結果より次のことが分かる。誘電体を充填した薄型空胴スロットアンテナについて、表面波を利用する場合、アンテナは相当小型化される。しかしその反面、帯域幅は狭く普通 1% 前後である。したがって、このスロットアンテナは帯域幅の広いことを必要としない使用目的に対しては、小型、堅牢、信頼性などの点で優れている為、利用価値が大きいものと思われる。

3.2 スロット上の伝搬モードが leaky wave の場合

空胴内に充填した誘電体の比誘電率が 2.8 程度であるため、leaky wave は、ある限られた狭い範囲内でしか存在しないことが既に知られている。その結果によると、1 GHz 近傍において半波長共振する薄型空胴スロットアンテナの寸法は、 $a=0.3\sim 2$ (cm) $b=7\sim 10$ (cm) 程度に選ぶ必

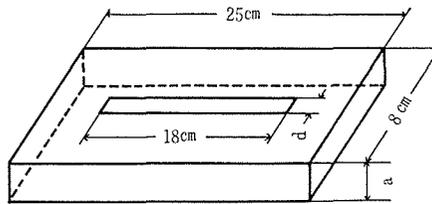


Fig. 12 Dielectric-filled shallow-cavity-backed slot antenna using a leaky wave mode

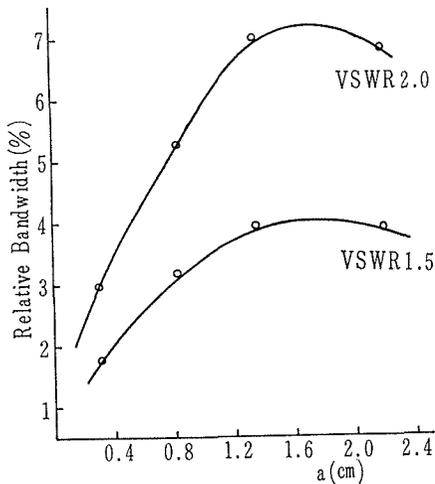


Fig. 13 Relative bandwidth for cavity depth
 $b=8.1$ cm, $d=1.0$ cm

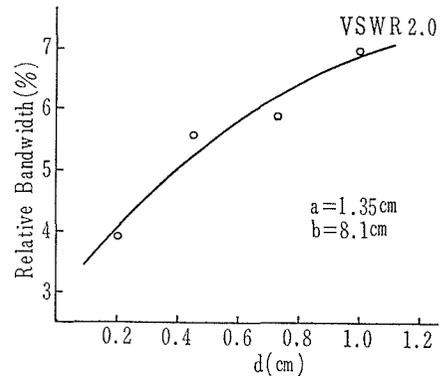


Fig. 14 Relative bandwidth for slot width

要がある。これを参考にして製作した薄型空洞スロットアンテナの外形を Fig. 12 に示す。

b の変化に対しては、leaky wave の存在する周波数範囲は大幅に動くため、実験は $b=8$ cm 一定とし、 a を 0.3 cm から 2.2 cm、 d を 0.2 cm から 1 cm の間でそれぞれ変えて行なった。Fig. 13, Fig. 14 は、 a と比帯域幅、 d と比帯域幅との関係を示す。

Fig. 13 より、 $a=1.35$ cm 付近までは、 a の増加に従い帯域幅も漸次広がっているが、 $a=2.2$ cm で逆に狭くなっていることが注目される。このことは、帯域幅を最大とするような最適な a が存在することを意味する。2章において、空洞内が空気の場合帯域を最大とする a が存在することを説明しており、その最適値は 1 cm 前後であった。誘電体を充填した今の場合、Fig. 13 より、1.8 cm 前後と考えられる。 $a=1$ cm の空洞に $\epsilon_r=2.8$ の誘電体を入れると、その電気長は $1\text{ cm} \times \sqrt{\epsilon_r}$ だけ増加し 1.7 cm 程度になるから、両者の最適な a は、等価的長さを考慮して、一致していることが分る。

Fig. 14 より、スロット幅 d を広くすることは、広帯域化に対して非常に有効な手段となることが分る。

上記実験結果をまとめると、leaky wave を利用した誘電体充填薄型空洞スロットアンテナでは、小型化に関しては表面波を利用したものより劣るが、帯域幅については優れており、広帯域化が可能である。

4. 結 言

薄型空洞スロットアンテナに関して、空洞の寸法をパラメータとした各種の実験を行い、帯域幅について考察した。その結果次のことが明らかとなった。

空洞の内部が空気のスロットアンテナの広帯域化は、スロット軸と直角な方向の空洞の長さを小さくすると同時に、スロット幅を 1 cm 程度まで広げることにより実現し、 $V. S. W. R. 2.0$ 以内の比帯域幅で 10% くらいにすることができる。また、バタフライ型スロットアンテナによっても帯域幅を広くすることが可能である。

次に、空洞の内部に誘電体を充填したスロットアンテナは、surface wave を利用したものと、leaky wave を利用したものと 2 種類のアンテナに分けられる。これら 2 つのアンテナは、それぞれ独自の特徴を有している。前者のアンテナは、空洞内が空気の場合に比べて、相当小型化されるという長所を持つ一方、いかなる工夫をしても帯域幅は広くならず、せいぜい 3% ($V. S. W. R. 2.0$ 以内) くらいである。したがって、このスロットアンテナは固定周波数の送受信を目的とする使用に対しては、小型であることから有用なものになると考えられる。後者のアンテナの長所は帯域を広くすることができる点にある。しかし小型化に関しては、表面波を利用したものより劣る。これらのアンテナは、それぞれの長所を生かせば、十分実用に耐え得るものになると思われ、他の分野、たとえばマイクロ波帯における printed antenna への応用などが考えられ得る。

文 献

- 1) 伊藤精彦, 松本 正: “エネルギー密度アンテナ用薄型空洞スロットアンテナの設計理論” 信学会アンテナ伝播研究会資料 AP 72-31 (1972-06).
- 2) 伊藤精彦, 中岡快二郎, 松本 正: “薄型空洞スロットアンテナの実験的条察” 信学会アンテナ伝播研究会資料 AP 72-32 (1972-06).
- 3) 中岡快二郎, 伊藤精彦, 松本 正: “誘電体充填 Shallow-Cavity-Backed Slot Antenna の実験” 信学会アンテナ伝播研究会資料 AP 72-76 (1973-01).
- 4) Galejs, J.: “Excitation of slots in a conducting screen above a lossy dielectric half space” IRE Trans. AP vol. AP-10, July 1962.