HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	移動無線用900MHz帯スロット・ユニポール結合型エネルギー密度アンテナのプロトタイプの試作
Author(s)	伊藤, 精彦; 渡辺, 隆市; 中岡, 快二郎 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 75, 47-57
Issue Date	1975-07-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41286
Type	departmental bulletin paper
File Information	75_47-58.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

移動無線用 900 MHz 帯スロット・ユニポール結合型エネルギー密度アンテナのプロトタイプの試作

伊藤精彦* 渡辺隆市* 中岡快二郎* 松本 正*

(昭和49年9月30日受理)

Trial Manufacture of a Prototype Slot-Unipole Energy-Density Antenna for 900 MHz-Band Mobile Telephone

Kiyohiko ITOH, Ryuichi WATANABE, Kaijiro NAKAOKA,
Tadashi MATSUMOTO

(Received September 30, 1973)

Abstract

Radio signals received by moving vehicles in mountainous regions or in large modern cities with high buildings may exhibit violent amplitude fluctuations leading to fade out because of the existance of standing wave patterns. An energy-density antenna system which samples the electromagnetic energy density in space was suggested as a means for coping with this spatial fading phenomenon.

One of the authors has previously proposed a unipole and crossed slot combination as a new and universal energy-density antenna system. Also, we mentioned that a shallow-cavity-backed slot antenna is convenient for the slot of the above mentioned slot-unipole antenna system, and that a unipole can be mounted on this shallow-cavity. Therefore, in connection with our previous reports, a prototype of the slot-unipole energy-density antenna system can be constructed.

This report deals with a trial model of the slot-unipole energy-density antenna system and its experimental results.

1. まえがき

自動車等の移動物体に搭載した受信アンテナが山間部や都会のビル間を走る場合には，電波の陰となる不感地帯の存在によるフェージングの他に，ビル等による電波の多重反射波相互による干渉，または，それらの反射波と基地局よりの入射波とが干渉した，いわゆる定在波によるフェージングが存在する。

この移動通信における定在波によるフェージング軽減装置として，磁界をスロットアンテナで，電界をユニポールアンテナで受信する，エネルギー密度アンテナが提案された[1]。

その後，車載用の目的から装置の小型化が進められ，種々の検討が行なわれた[2]。その結果，スロットアンテナ部については shallow-cavity を装着しその内部に誘電体を装荷することで所定の特性が得られている[3]。また，ユニポールアンテナ部についても，スロットアンテナ部に付随する shallow-cavity との間に存在する相互作用について検討を行ない，この相互作用を有効に活

* 電子工学科 電波伝送工学講座

用し，ユニポールアンテナのアンテナ長の短縮し，この効果を見込んでユニポールアンテナを設計することが可能となっている[4]。

そこで，本報告は，新しく陸上移動無線サービスに割り当てが予定されている 800～900 MHz 帯で実際にスロットアンテナ，ユニポールアンテナを設計し crossed-slots-unipole 結合型エネルギー密度アンテナシステムを構成した。そして，その際問題となる 2, 3 の点を指摘し，新しい給電法によりこれを解決し，実用化を目指したアンテナシステムを試作した。また，そのシステムの諸特性を測定し，それについて，若干の考察を加えた。

2. crossed-slots-unipole antenna system の構成と設計

2.1 はじめに

slots-unipole-antenna-system は，Fig. 1 に示した様な構造になっており，slots-antenna, unipole-antenna 各単体については理論面，実験面ともに種々の検討がなされ，既に所定の特性が得られている[2,3,4]。また，この crossed-slots-unipole antenna system についても，理論的には検討が行なわれ各アンテナ間，空胴内に励振される slot-mode と unipole-mode 間の独立性が確かめられており[4]，独立に設計した各アンテナ単体を組合わせることによって，このアンテナシステムが実現できることが示されていた。そこで，ここでは，これら各単体によって実際にアンテナシステムを構成し，その諸特性を測定した。

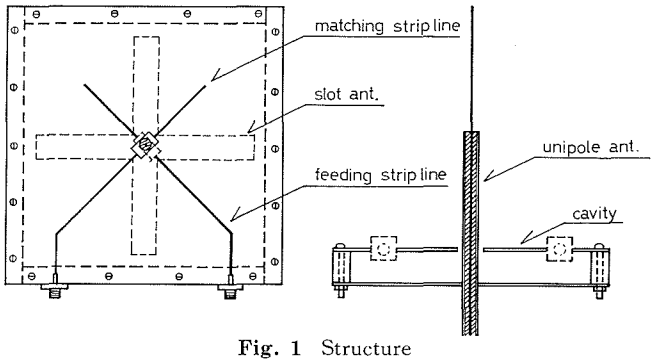

Fig. 1 Structure

2.2 スロットアンテナ部について

2.2.1 アンテナ間の独立性について

スロットアンテナ部は，二本のスロットアンテナを同一平面で直交させた crossed-slots-antenna を用いる。この場合，直交する二本のスロットアンテナの電磁界モードは直交関係にあり，各アンテナは，それぞれ独立している。そのため，この二本のアンテナ間には基本的に結合は存在せず，この crossed-slots-antenna は，システムを構成する際，非常に有効なアンテナシステムとなると考えられる。以下では，主に crossed-slots-antenna を実現するための励振方法と整合について述べることにする。

2.2.2 給電系と整合について

crossed-slots-antenna を実現するために一番重要な点は給電法と整合の問題である。以下では，給電部の整合の問題を含めた給電系について検討する。

一般にスロットアンテナは，中央給電点インピーダンスが高く数百オームにな成ってしまい，50 オームの同軸給電系との整合は取れない。そのため，一般には off-set 給電を行なって，50 オーム整合を取っている。しかし，現アンテナシステムの場合，スロットアンテナがその中央部で交差し，そこにユニポールアンテナが存在しているという複雑な構造であるため，一方のスロットアンテナを一点で off-set 給電しても，整合は取れても，中央のユニポール導体に電界が集中してしまい他のスロットを等振幅で励振しなくなるという結果を生む。そのため，この off-set 給電法で整合を取り，すべてのスロットを同時に励振するためには，各スロットをそれぞれ別々

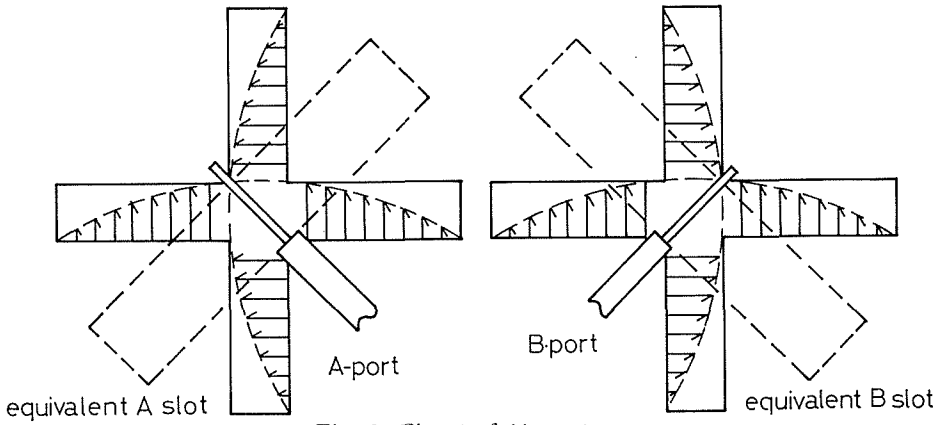

Fig. 2 Electric field on slots

の給電線で給電する必要が有り，最大4点で給電する必要が生ずる[5]。この様な方法を用いた場合，その4本の給電線の位相差を正確に制御する必要が生じ，システムの複雑化を生むことになり好ましくない。そこで我々は，この点を解決するため，中央給電法を採用し，整合の問題は，整合素子を付加することによって解決した。この方法によると，crossed-slots-antenna の給電は，2本の給電線で可能となり，整合素子も適当な長さの線路を装着することで実現可能で，装置が簡単になる。この場合の給電の配置が Fig. 1 に示されている。給電は，二本のスロットを対角的に跨いで励振している。この場合一本の給電線で，一波長スロットアンテナを励振した場合，スロット上には，Fig. 2 に示した様に電界が加わり，同時に二本のスロットアンテナを励振することになり，一見アンテナ間に，給電を媒介にした結合が生じる様に思われる。しかし，実際には，スロット上の電界の分布を考えて，それを合成すると，この給電線に対し二本のアンテナは Fig. 2 に点線で示した様な一本のアンテナと等価な働きをし，給電線は，この等価なアンテナに対してのみ給電していると考えることができる。そこで，この crossed-slots-antenna を Fig. 1 に示した様な円偏波に必要な二線給電で使用した場合にも同様のことが言えて，完全に直交する二本の給電線で crossed-slots を励振した場合，crossed-slots 上に立つ電磁界モードは直交関係にあり，それぞれのモードが直交する二本の等価なスロットアンテナと同等の働きをし，これらの等価な直交するスロットアンテナ間には，前述の様に全く結合は存在しない。また，給電線同志においても，それらが完全に直交している場合，等価な直交するスロットを独立に励振していると考えることができるので，crossed-slots を媒介にした結合は全く考えられない。

次に，実際に，二線給電で中央励振する場合，給電部にユニポールアンテナが突出しており，給電線は，これを迂回する必要がある。また，給電線同志の結合を避ける為に，給電線を直交させる必要がある。このため給電線としては，同軸線ではなく，ストリップ線路を使用し，二本のストリップが交差する所では，基板の両面を用い直交させる立体構造にした。さらに，スロットアンテナを対称に励振する様に，給電部分は Fig. 1 に示した様な長方形の対称構造にした。この様な構造にすることにより，給電線同志の結合，対称励振の問題を一挙に解決することができる。

2.3 ユニポールアンテナ部について

前述の通り，ユニポールアンテナ部については，モードの直交性からスロットアンテナとは結合が存在しない。しかし，ユニポールが，shallow-cavity を突き貫けるといった構造から，この部分のアンテナ電流が空胴を励振し，アンテナと shallow-cavity 間の結合が生じ，この効果を見

込んだ設計が必要となる[7]。しかし，この場合も，空胴内部の電磁界モードは，文献 (4) に述べた様にスロットモードとユニポールモードが直交し両モード間に結合は存在しないので，ユニポールを設計する場合，非常に簡単になり，単にアンテナ電流が shallow-cavity を励振する効果のみを考慮して設計すればよい。今，shallow-cavity を空胴共振器と考え並列共振しているとすると，その入力インピーダンスは，(1) 式で与えられる。

$$Z_{in}=\frac{1}{G+j\omega C+\dfrac{1}{j\omega L}}\simeq -j\left[\omega_0 C\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)\right]^{-1} \qquad (\because\ G\simeq 0) \tag{1}$$

この式から分かる様にこの shallow-cavity のユニポールに対する効果は，その励振周波数 ω によって容量性，または，誘導性の素子をユニポールに装荷したと等価になる。この場合，空胴の入力インピーダンスは，$\omega>\omega_0$ で容量性，$\omega<\omega_0$ で誘導性となり，その量を装荷することになる。即ち，shallow-cavity ユニポールアンテナ全体を見込んだアンテナの入力インピーダンスは (2) 式で与えられることになる。

$$Z_{in}=R_{rad}+j(X_{rad}-Z_0\cot\beta l+X_{cav}) \tag{2}$$

$$Z_0=60\left(ln\frac{2l}{\rho}-1\right)$$

R_{rad}：アンテナの放射抵抗

X_{rad}：アンテナのリアクタンス

β：位相定数

l：アンテナ長

ρ：アンテナ半径

X_{cav}：空胴のリアクタンス量

(2) 式から考えて，このアンテナ系の等価回路は，整合の為の off-set を理想変成器で表わすと，Fig. 3 に示した様になり，全体の入力インピーダンスは，ユニポールと空胴の入力インピーダンスの直列和になることが文献 (4) で知られている。Fig. 4 に slot-unipole antenna system とユニポールアンテナと shallow cavity の合成値の比較を行ない，この等価回路が空胴面上にスロットが存在する場合にも有効であることを示した。(ただし，この場合，整合は取っておらず，アンテナ長 5.6 cm のユニポールの入力インピーダンスの実測値と，$24\times1.4\ cm^2$ の二本のスロットを有した $25\times25\times1\ cm^3$ の空胴体積の shallow-cavity の入力インピーダンスの実測値を用いて合成した。)

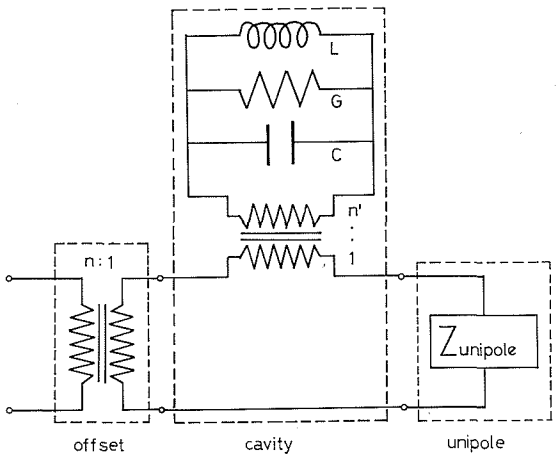

Fig. 3 Equivalent circuit

この様なアンテナを計算により設計する場合，線状アンテナのモーメント法による解法が容易に適用できる。モーメント法を用いる場合，装荷の問題は，(3) 式に示す様に一般線状アンテナの Z マトリックスの装荷位置に対応するマトリックス要素に装荷量を加えることによって実現できる。

$$[Z]_{Load}=[Z]_{General}+[Z]_l \tag{3}$$

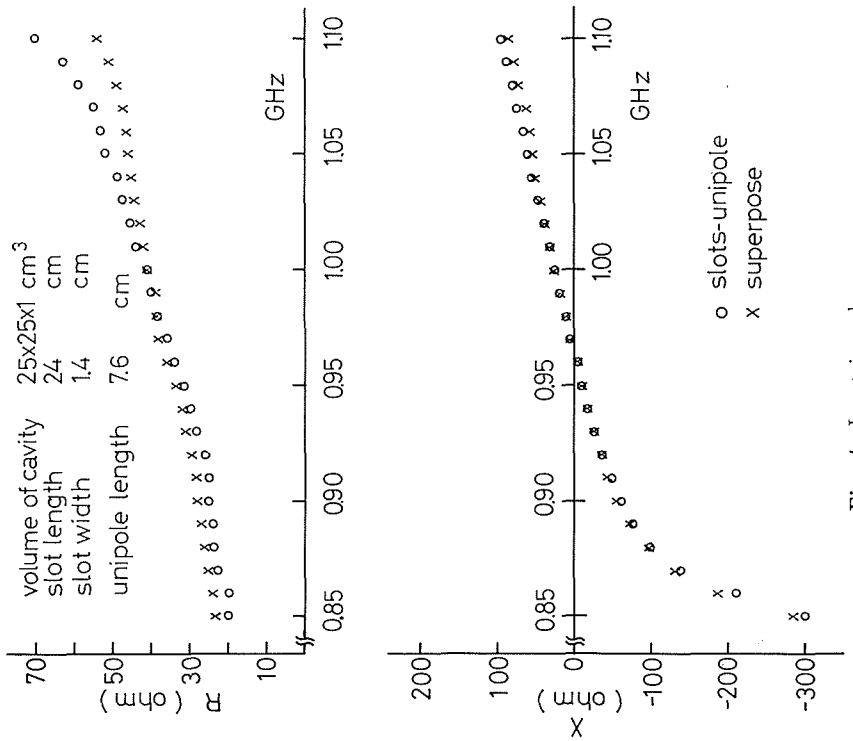

Fig. 4 Input impedance

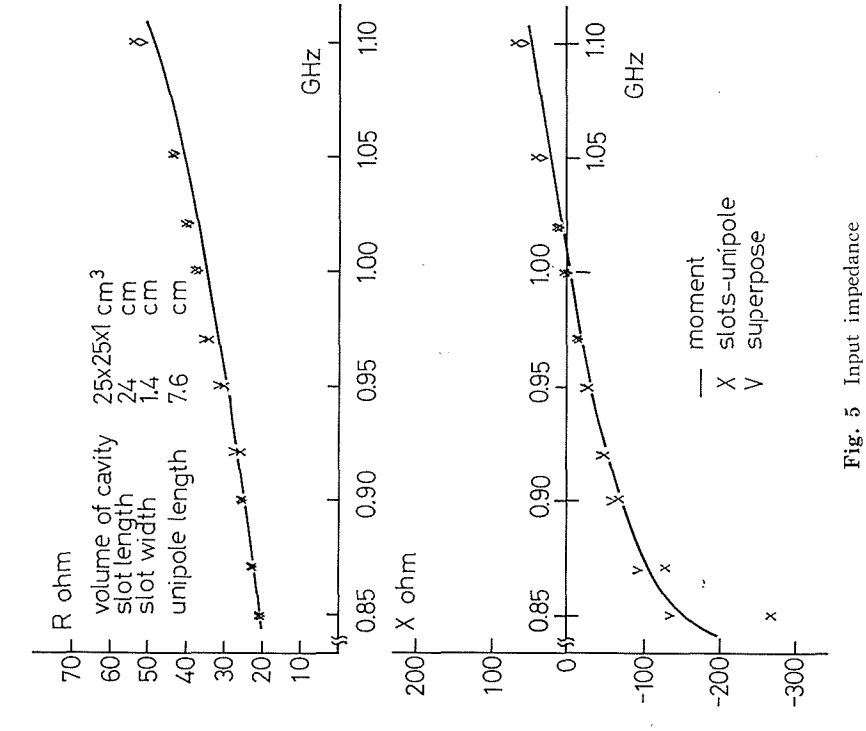

Fig. 5 Input impedance

$[Z]_{Load}$: 装荷されたアンテナのマトリックス

$[Z]_{General}$: 一般線状アンテナの Z マトリックス

$[Z]_l$: Z_{ij} にのみ値を持つ Z マトリックス

また，整合のモデルは，$[V]$ マトリックスの給電点を移動し，一般の線状アンテナの $[Z]$ マトリックスを作る時の Green 関数のアンテナ半径を含む項の値を適当に選ぶことによって解決できる。即ち (4), (5) 式で与えられる $[Z]$ マトリックス要素の距離を与える R_{pq} の半径を適当に与えることになる。

$$Z_{pq}=j\omega\mu\Delta l_p\Delta l_q\psi_{(p.q)}+\frac{1}{j\omega\varepsilon}[\psi^{++}_{(p.q)}-\psi^{-+}_{(p.q)}-\psi^{+-}_{(p.q)}+\psi^{--}_{(p.q)}] \tag{4}$$

$$\psi_{(p.q)}=\frac{1}{\Delta l_p}\int_{\Delta l_p}\frac{e^{-jkR_{pq}}}{4\pi R_{pq}}dl \tag{5}$$

Δl_p: $\overset{+}{p}, \overset{-}{p}$ 間の距離

k: 波数

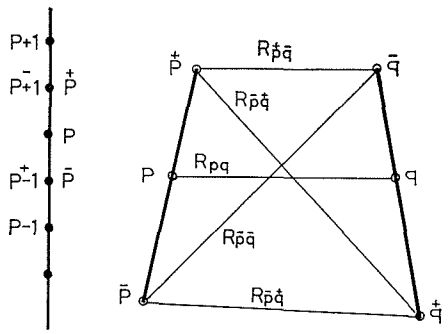

Fig. 6 *Notation in Moment Method for two segmeuts of awire*

Fig. 5 で，モーメント法によって計算した結果と実験値とを比較した。ただし，shallow-cavity の装荷量は実測値を用いている。

以上の様な方法により，ユニポールアンテナが設計でき，前記のスロットアンテナと組合わせて，エネルギー密度アンテナが実現できる。

3. crossed-slots-unipole antenna system の製作と実験装置

今回は，新らたに陸上移動無線サービスに割り当てが予想されている 800～900 MHz 帯でのシステムの実現を目指しており，設計周波数を一応 1 GHz 近傍として，ユニポール，スロットともに設計した。スロットアンテナは，crossed-slots-antenna を二線給電することになる。この為スロットアンテナ製作に当って，2.2 節で述べた様に，整合，対称励振，給電線間の結合等の問題を解決するために，給電線は同軸線ではなく，ストリップ線路で給電する方法を用いた。この為，基板は比誘電率 $\varepsilon_r=2.6$，厚さ 0.3 mm のファイバーラミネートを用い，スロットは誘電体基板の一方の面に，ストリップ線路は他面に作り，ユニポールを迂回する部分は両面に長方形の線路を用いて立体構造とし，二線が交差するのを避けた。また，迂回線路が結合を起こさないように，立体交差する部分は直交させ，平行部分は充分に距離を離した。この基板をスロット面が空胴内になる様にセットし，crossed-slots-backed-shallow-cavity を構成する。(故に，外部からは strip 線路だけで，スロットは見えない。) この様子が Fig. 1 に示されている。

一方，ユニポールアンテナは，空胴の中央を突き貫ける所に位置し，整合は，off-set により取ることとした。この結果，ほぼ 0.99 GHz 付近で，スロット・ユニポール両アンテナとも，入力インピーダンスを 50 オームに整合することができた。

実験装置は，入力インピーダンス，端子間の isolation については，S-parameter-test-unit で直接測定を行なった。

次に放射パターンの測定は，本学科屋上で行ない，crossed-slots-unipole-antenna-system を送信側とし，発振器からの 0.99 GHz 波を入力とした。また，受信側は，シュペルトッフェル整合器で整合を取ったダイポールアンテナにコーナーリフフターを装着して使用した。受信側の出力は，直接スペクトルアナライザーの入力とし利得を測定した。この時，送，受信アンテナは，地上 1.2 m の高さで，その間隔は 6.0 m とした。この距離は約 18 波長程度の距離になり充分に，far-field の条件を満足していると考えられる。

4. 実験結果とその考察

4.1 入力インピーダンスの整合と端子間の分離について

実験は，3 章で述べた装置で行なった。入力インピーダンスは，アンテナへの給電点から見た値を示している。整合に関しては，スロットアンテナは，A 端子で 0.992 GHz で 50 オーム，B 端子で 0.990 GHz で 49 オームで整合がとれ，帯域は約 VSWR 1.5 以内で 24 MHz 程となった。また，ユニポールアンテナについては，0.992 GHz で 50 オームに整合し，帯域は VSWR 1.5 以内で 53 MHz となった。これらの詳細は Fig. 7 と Table 1 に示した。この時の，各アンテナの諸定数は次の様になる。

空胴体積		$25 \times 25 \times 1\ cm^3$
スロット長		24.0 cm
スロット幅		1.4 cm
整合素子長	A 端子	7.75 cm
	B 端子	8.0 cm
unipole antenna 長		7.6 cm
unipole antenna 給電位置		2.0 cm

次に，このシステムで一番重要なアンテナ間の分離の問題について述べる。この場合，測定値は，アンテナへの給電点からの測定ではなく，各給電端子間での測定を行なった。その結果が Fig. 8 に示されており，ユニポール↔スロット間の分離は，0.8～1.2 GHz の帯域で－20 dB 以下を保持する測定結果が得られた。しかし，スロット↔スロット間では，周波数が高くなると分離度が悪くなる傾向を示している。今の場合，アンテナの帯域を限ると，その帯域内では，総てのアンテナ間の分離の状態が－20 dB 以下の値を示しており，実用上全く問題ないと考えられる。

Table 1 band width

		unipole	等価 A slot	等価 B slot
Band width	VSWR 1.5	53 MHz	24 MHz	24 MHz
	VSWR 2.0	95 MHz	130 MHz	132 MHz
Relative band width	VSWR 1.5	5.3 %	2.4 %	2.4 %
	VSWR 2.0	9.4 %	13 %	13.3 %

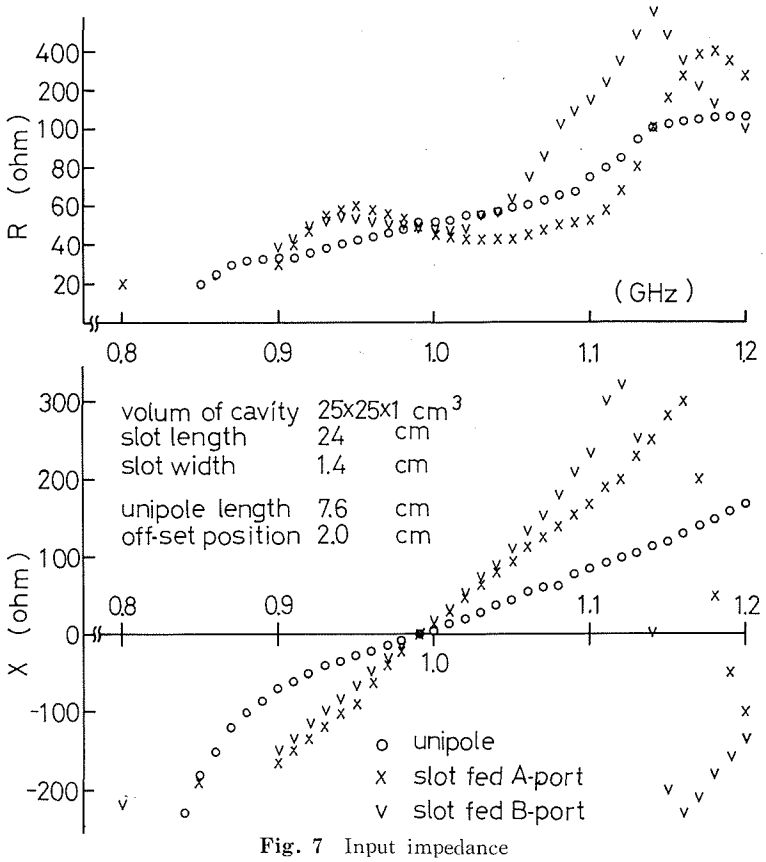

Fig. 7 Input impedance

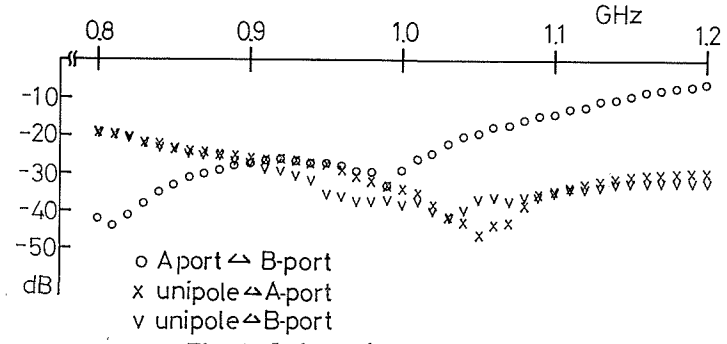

Fig. 8 Isolation between each port

4.2 アンテナパターンについて

総てのパターンは，送信システムの地導体と同程度の高さで受信した電界によって表示されている。Fig. 9 はユニポールアンテナのパターンで，ほぼ円形になっているが，0°，90°，180°，270° の位置に最大で 1 dB 程度の放射の弱い所が存在している，これは，ユニポールの地導体上の丁度その位置にスロットが切ってあり，そこに導体が存在しないため帰還電流が流れず放射が弱くなっていると考えられる。また，140°，220° 方向において，最大値が 0 dB に回復しないのは，その方向に給電部が突出していることによると思われる。

次に，Fig. 10，Fig. 11 にスロットアンテナのパターンを示してある。これらのパターンは，それぞれ，A 端子のみ，B 端子のみから給電した時のパターンを表わしており，2 本のスロット

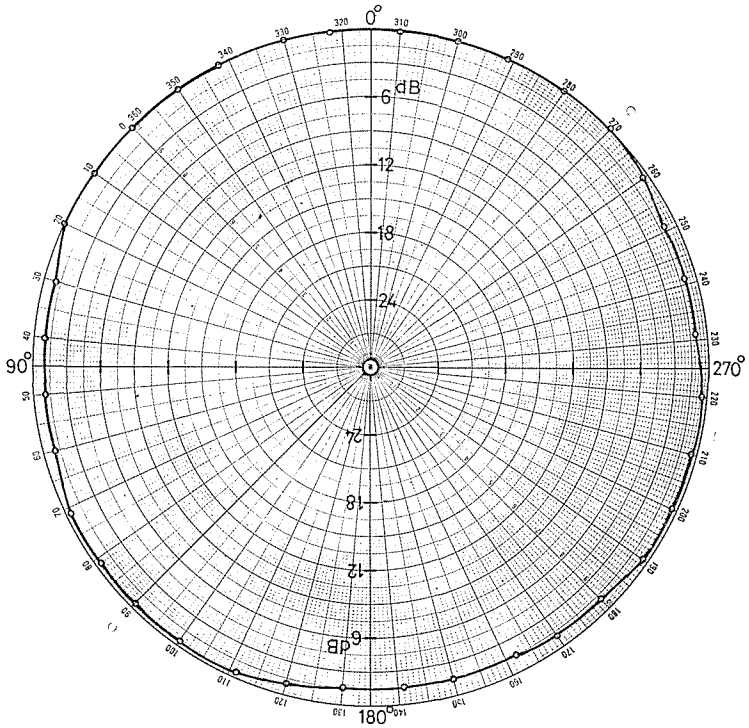

Fig. 9 Unipole antenna pattern

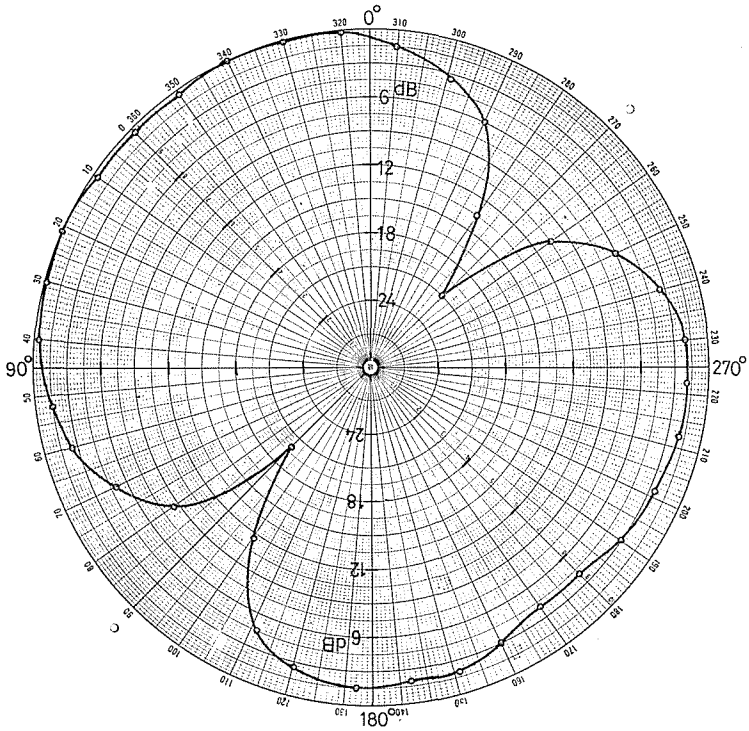

Fig. 10 Equivalent A slot antenna pattern

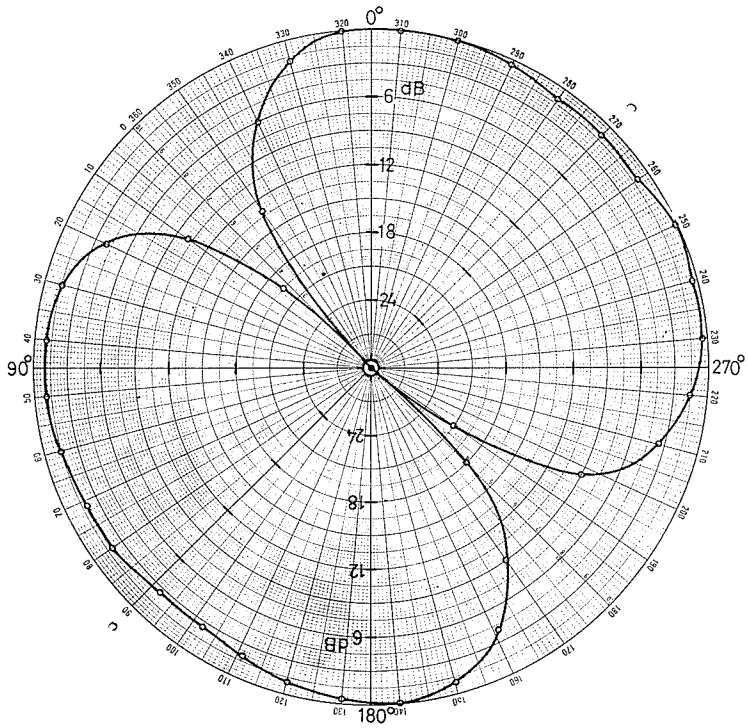

Fig. 11 Equivalent B slot antenna pattern

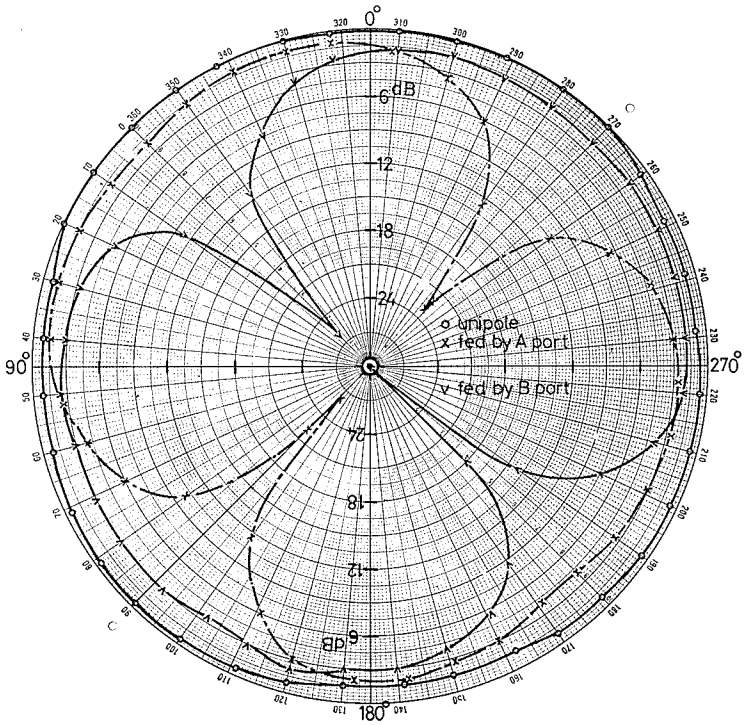

Fig. 12 Antenna pattern normalized by unipole gain

を同時に励振した場合，放射パターンは，その形状から前述3章の等価スロットのパターンと等しいことを示している。半値角は約120°である。また，各パターンの扇形部分の中央部が凹でいるのは，二本のスロットアンテナが一波長共振し，それぞれ放射パターンが鋭くなっているため，合成した時その影響が出たと考えられる。又，等価 A スロットの 135°，等価 B スロットの 225° 方向の放射が弱いのは，ユニポールのパターン同様，給電部の突出によると考えられる。さらに，A, B 両者のパターンの形状の違い，等価 A スロットのパターンの null-point が −20 dB 程度しかないのは，A スロットの miss-matching によると思われる。実際にパターンを測定した時の A 端子の入力インピーダンスは，0.99 GHz で 46 オームであった。

また，Fig. 12 には，ユニポールの最大利得により規格化したパターンを示した。この時，ユニポールとスロットの最大利得とは 1.5 dB 程度の差になり，ほぼ同じオーダーの利得が得られた。このことは，エネルギー密度アンテナを構成する場合非常に重要な点となる。

5. むすび

slots-unipole 結合型エネルギー密度アンテナが提案され，多くの基礎実験，理論解析が行なわれて来た。今回，それらのデータを基に実際に，900 MHz 帯でこのシステムを実現し，その諸特性を測定した。その結果，整合素子により，50 オーム整合が可能であり，各アンテナ端間の分離度も，−20 dB 以下の値が得られた。また，パターンについても両アンテナとも，かなり良好な結果が得られ，このアンテナシステムが，ほぼ完全に実用に供せられることが判明した。今度は，このアンテナシステムに，位相回路，混合器等を装着した種々応用用途を開発していくことが重要となろう。

謝辞

この研究の一部は，文部省科研一般 D 965050 によって行なわれた。

文献

1) Kiyohiko Itoh: "Energy Density Antenna Apparatus for Mobile Radio Reciever" United States Patent 3, 631, 500, filed Mar., 1970 (Dec. 1971).
2) 柏木道朗，伊藤精彦，松本 正："エネルギー密度アンテナ用薄型空胴スロットアンテナ"，北大工学部研究報告第59号，pp. 24-33，(昭和46年3月).
3) 柏木道朗，伊藤精彦，松本 正："薄型空胴スロットアンテナの測定について"，北大工学部研究報告第64号，pp. 53-62，(昭和47年3月).
4) 伊藤精彦，渡辺隆市，中岡快二郎，松本 正："エネルギー密度アンテナ用装荷ユニポールアンテナ"，北大工学部研究第71号，pp. 103-114，(昭和49年6月).
5) J. D. Parsons: "Field-Diversity Antenna For U. H. F. Mobile Radio", Electr. Lett. vol. **10**, No. 7, pp. 91-92, (April 1974).