

岩崎 久雄
H. Iwasaki

移動体衛星通信に用いる移動体アンテナにおいて、人間が携帯する場合は小型・薄型・軽量のアンテナが必要である。また、車に搭載する場合はビームをつねに衛星の方向に向けるビーム走査機能が望まれている。さらに、移動体衛星通信では、送信と受信を同時に行う必要がある。送信では大電力の電波を送り、受信では衛星からの微弱な電波を受ける。送信信号が受信信号に漏れ込むと通信ができないという問題が生ずる。

これらの問題を解決するものとして、アンテナ配置法、給電法、送信アンテナと受信アンテナの円偏波の組合せに着目し、送信アンテナと受信アンテナ間のアイソレーションが図れる機能をもつ4素子と8素子からなる高性能平面アンテナを開発した。

In mobile satellite communications, compact, lightweight and low-profile antennas are required. Furthermore, electrical beam scanning and pattern reconfiguration functions are necessary in order for antennas to transmit and receive good-quality RF signals.

The isolation between the transmitting and receiving ports was analyzed. The element arrangement method for infinite isolation and the relationship between the directions of polarization and the phase of the feed current were clarified.

This paper introduces a planar array antenna for portable terminals featuring a self-diplexing function.

1 まえがき

移動体衛星通信の発展により、さまざまなサービスが提供されるにつれ、無線端末を携帯して利用するようになり、より小型・薄型・軽量の無線端末が求められている。また、移動体衛星通信では、衛星に向けた大電力の電波の送信と、衛星からの微弱な電波の受信とが、同時に行われる。送信した信号が受信する信号に漏れ込むと受信信号の通信品質を劣化させたり、通信が不可能になる場合がある。これを防ぐためには、送信と受信の間で約90 dB以上のアイソレーションを確保する必要がある。従来は、フィルタやダイプレクサを用いて要求されるアイソレーションを実現していたために、携帯化に対し無線端末の送受信機の寸法が大きくなるという問題があった。

この問題を解決する方法として送信と受信の間をアイソレーションする機能をアンテナ自身にもたせることが考えられる。これができれば、送受信機のフィルタやダイプレクサへの要求値を大幅に低減でき、アンテナだけでなく送受信機を含めて小型・薄型・軽量化を実現できる。

送信アンテナから受信アンテナへの漏れ込みを解決するために、送信と受信との間のアイソレーションの定式化を行い、アンテナ素子の配列法、給電法の関係を明確にした結

果、アイソレーション機能をもつアンテナを初めて見出した。さらに、試作したアレーアンテナで45 dB以上のアイソレーションを実現した。この結果、送受信機のフィルタやダイプレクサへの要求値を大幅に低減し、アンテナだけでなく送受信機の小型・薄型・軽量化を実現したので紹介する。

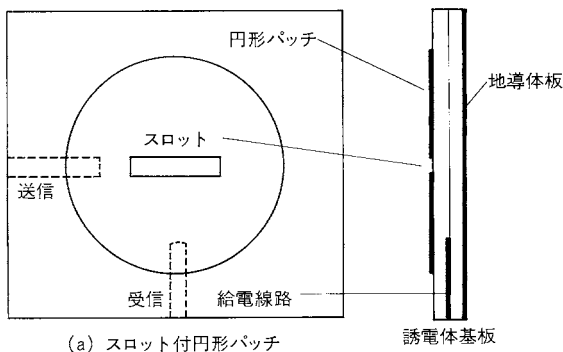
2 平面アレーアンテナの構成

誘電体基板上に形成したマイクロストリップアンテナを用いることで、薄型の平面アレーアンテナを実現することができる。さらに、一つのアンテナ素子で送信と受信を同時に行うことができれば小型化も図れる⁽¹⁾。

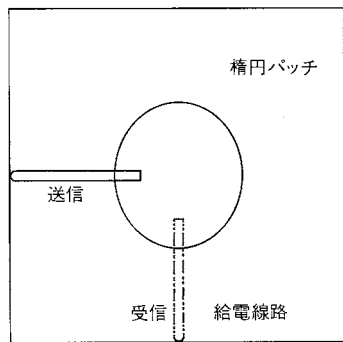
図1に示すスロットを設けた円形パッチアンテナ、楕(だ)円パッチアンテナは、送信と受信を一つのアンテナ素子で同時に行うことができる。

ここでは、送信の周波数と受信の周波数で動作するアンテナ素子で構成した、図2に示すアレーアンテナの送受信間のアイソレーションを検討する。移動体衛星通信では、円偏波が使われるので、円偏波を発生させるための給電回路が各アンテナ素子に接続されている。

送信のための各アンテナ素子への入力信号が a_{tn} , a_{rn} ($n=1, N$)、衛星からの電波を受信する各アンテナ素子の出力信



(a) スロット付円形パッチ



(b) 楕円パッチ

図1. 2周波共振アンテナ素子 誘電体基板上に写真技術でエッチングした構造で、アンテナ素子と給電線路とを重ね合わせた構造である。

Configuration of antenna element for dual frequencies

号が b_{tn} , b_{rn} ($n=1, N$) である。送信受信とも円偏波を発生させるためにアンテナ素子を適当に空間的に回転させて配置してある。さらに、円偏波特性を良くするために、シーケンシャル配列法を採用している⁽²⁾。また、給電回路に用いられている分配器は、入力信号の振幅を1対1に、位相を素子の空間的回転角度に対応した位相差で分配し、アンテナ素子で反射した波は入力ポートに戻らず、抵抗で吸収する分配器を仮定している。

3 アイソレーションの定式化

送受信アンテナへの給電位相と直線偏波の方向およびアンテナ素子配置法に着目し、素子間の相互結合である S パラメータを用いて送受信間のアイソレーションを定式化する。図2に示す各アンテナ素子の送受信用の給電点間の結合は、次式で表せる。

$$\begin{bmatrix} [b_r] \\ [b_t] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [S^{rr}] & [S^{rt}] \\ [S^{tr}] & [S^{tt}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [a_r] \\ [a_t] \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、

$[a_r]$, $[b_r]$: 受信端子への入力列ベクトルと出力列ベクトル

$[a_t]$, $[b_t]$: 送信端子への入力列ベクトルと出力列ベクトル

$[S^{rr}]$: 受信端子間の $N \times N$ の結合行列

$[S^{rt}]$: 送信端子から受信端子への結合行列

$[S^{tr}]$: 受信端子から送信端子への結合行列

$[S^{tt}]$: 送信端子間の $N \times N$ の結合行列

アイソレーションは、送信アンテナから送信した電波が空間を介し受信アンテナに漏れ込む、送信と受信の間の結合量であるので、(1)式の $[b_r]$ を求めればよい。また、アンテナ素子と給電線路は、インピーダンス整合しているので、 $[a_r]$ はゼロになるので、送信と受信の間の結合量 r_{out} は、

$$r_{out} = [r_t] [S^{rt}] [a_t] \quad (2)$$

$[r_t]$: 受信回路の給電行ベクトル

となり、送受信アンテナ間のアイソレーションは(2)式の逆数で与えられる。

ここで、アレーアンテナを構成するアンテナ素子間の行列 $[S^{rt}]$ は、各アンテナ素子の送信点から受信点への結合行列であるので、

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & \cdots & \cdots & S_{1N} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & \cdots & \cdots & S_{2N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & S_{(n-1)n} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & S_{n(n-1)} & S_{nn} & S_{n(n+1)} & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & S_{(n+1)n} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ S_{N1} & S_{N2} & \cdots & \cdots & \cdots & S_{NN} \end{bmatrix}$$

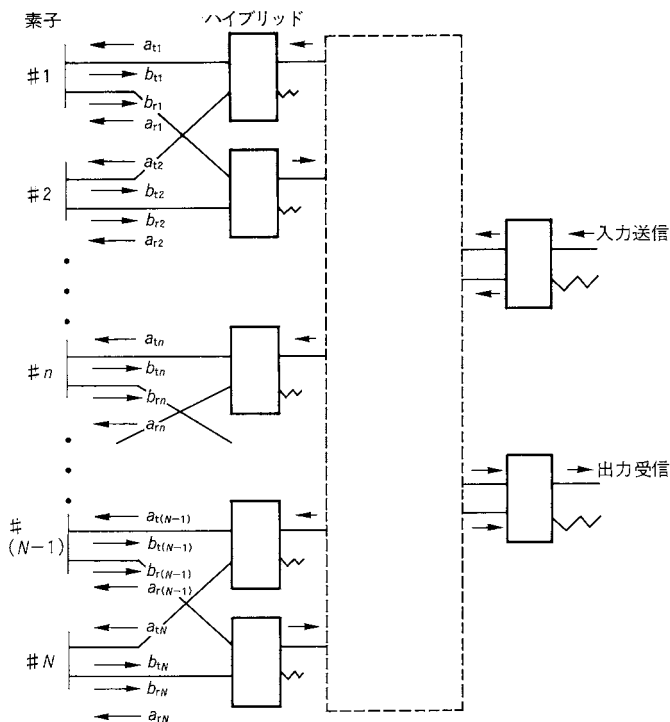


図2. N 素子からなるアレーアンテナ 送信用と受信用の給電回路と2周波共振アンテナ素子で構成されている。

Array antenna consisting of N elements

と表せる。この結合行列の各要素は、アンテナ素子の送信の給電点から受信の給電点への結合 S_{nn} 、隣合うアンテナ素子間の結合 $S_{n(n+1)}$ 、1素子置ききのアンテナ素子間の結合から $(N-2)$ 素子置ききの素子間の結合 $S_{n(n+N-1)}$ である。添字が N より大きくなる場合は $(N+1)$ を1、 $(N+2)$ を2のように置き換える。

4 無限大のアイソレーションとなるアンテナ構成

移動体衛星通信では、送信受信とも円偏波で動作するアンテナが使われる。円偏波には、電界が空間的に右回りに回転する右旋円偏波と左回りに回転する左旋円偏波がある。(2)式の $[a_i]$ と $[r_i]$ である送信回路と受信回路の給電位相の設定のしかたで、送信アンテナと受信アンテナがともに同じ円偏波で動作する場合と逆の円偏波で動作する場合がある。

ここで、図2に示したアレーアンテナとして、図3に示す半径 d の円周上に#1から# N のアンテナ素子を $\alpha_n = 2\pi(n-1)/N$ ($n=1, N$)の角度で空間的に回転させたシーケンシャル配列した円形アレーアンテナを考える。送信の偏波を実線の矢印で、受信の偏波を点線の矢印で示す。

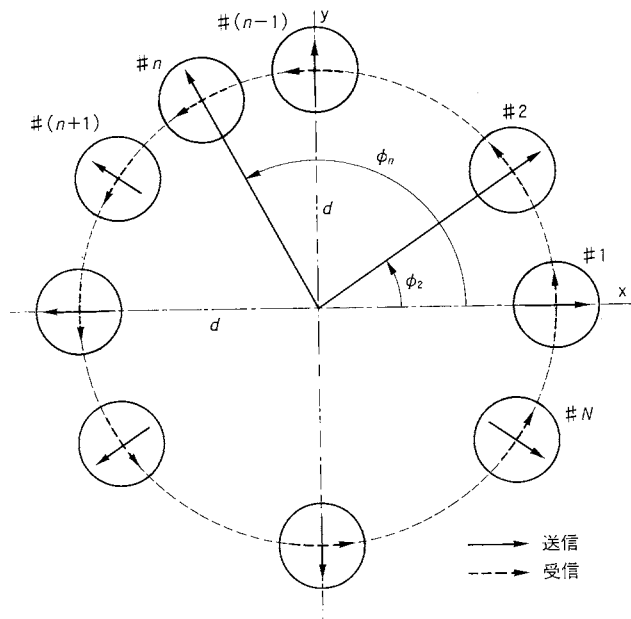


図3. N 素子からなる円形アレーアンテナ 図2に示したアンテナを円周上に配列したアレーアンテナである。

Circular array antenna consisting of N elements

このアンテナにおいて、円形アレーアンテナを構成するアンテナ素子が同じであるときの結合行列 $[S^{\text{tr}}]$ の要素を検討する。円形アレーの中心に対し各アンテナ素子は回転対称な配列であるので、 S_{nn} ($n=1, N$)はすべて等しくなる。また、 $S_{n(n+1)}$ 、 $S_{n(n+2)}$ などのアンテナ素子間の結合も素子の番

号に関係なく等しくなる。この結果、結合行列 $[S^{\text{tr}}]$ は巡回行列になり、 S_{11} 、 S_{12} から S_{1N} の N 個の素子間の結合で表される。また、 $[S^{\text{tr}}]$ は $N \times N$ の行列であるので、行列中に S_{11} は N 個あり、同様に S_{12} から S_{1N} も N 個ある。

まず、この結合行列となる構成である送信アンテナと受信アンテナが、同じ円偏波で動作する場合を考える。

アンテナ素子の送信の給電回路列ベクトル $[a_i]$ と受信の給電回路行ベクトル $[r_i]$ の要素を、ともに $e^{-j\phi_1}$ 、 $e^{-j\phi_2}$ から $e^{-j\phi_N}$ とする。さらに、 ϕ_n を $2\pi(n-1)/N$ ($n=1, N$)とする。この ϕ_n は、円周上で 360° 位相が変化することに相当する。また、アンテナ素子の空間的回転角度 α_n と一致している。これらの送信アンテナと受信アンテナの給電回路の位相 ϕ_n により、 N 個の S_{11} の位相をすべて合わせるとゼロになり、 S_{11} の値とは無関係に S_{11} の項の和はゼロとなる。 S_{12} から S_{1N} についても同様に、給電回路の位相 ϕ_n によりゼロとなる。

この結果、送信アンテナから受信アンテナに結合した信号は、送信と受信の給電回路の位相によってキャンセルされ無限大のアイソレーションが得られることになる。

一方、送信アンテナと受信アンテナが逆の円偏波で動作する場合、受信点の給電列ベクトル $[r_i]$ の各要素は、 $e^{j\phi_1}$ 、 $e^{j\phi_2}$ から $e^{j\phi_N}$ となる。 N 個の S_{11} の位相 ϕ_n は、互いに加算するように働き、 S_{11} はゼロにならない。同様に S_{12} から S_{1N} も加算される。

この結果、送信アンテナから受信アンテナに結合した信号は、給電回路で加え合わされるためにアイソレーションは、ゼロとはならない。

以上より、無限大のアイソレーションが得られるアレーアンテナ構成は、次のようになる。

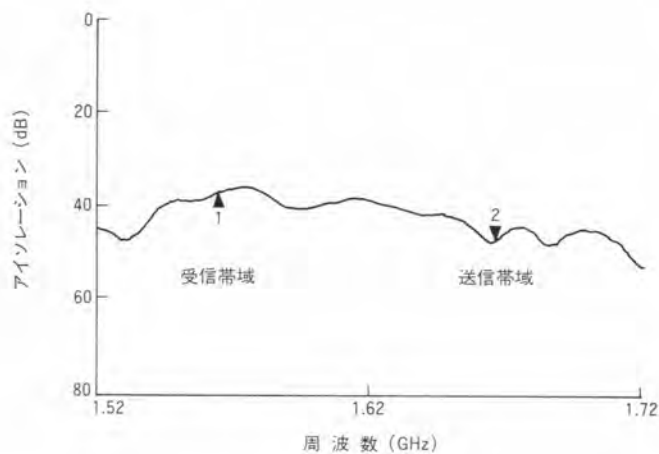
- (1) 同一素子を円形アレーの中心に対し $2\pi/N$ の角度でアンテナ素子を空間的に回転
- (2) 素子間の結合行列が巡回行列となるように配列
- (3) $2\pi/N$ の空間的回転角度に対応した位相差でおのおののアンテナ素子を給電
- (4) 送受信とも同旋の円偏波で給電

5 実験

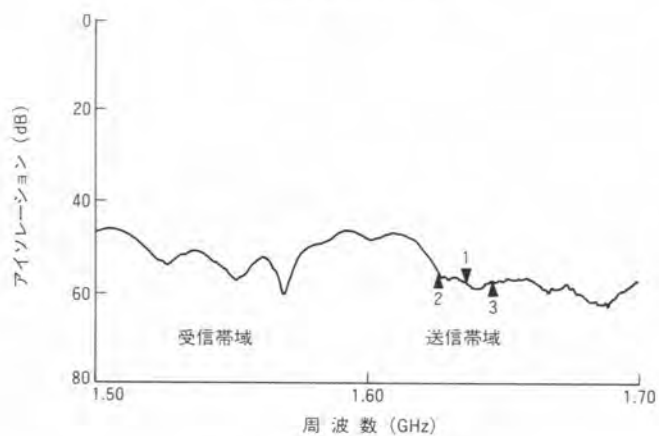
この解析結果の有効性を確認するためにアレーアンテナを試作し、送受信間のアイソレーションを測定評価した。

図4(a)に半径が70 mmである4素子円形アレーアンテナの、図4(b)に半径が175 mmである8素子円形アレーアンテナのアイソレーションの測定結果を示す。

送信周波数において、4素子アレーアンテナで約45 dB、8素子アレーアンテナで約57 dBのアイソレーションが得られた。無限大のアイソレーションが得られなかった理由は、アンテナ製作精度と給電回路の振幅と位相の設定誤差により生じたものと考えられる。



(a) 4素子アレーアンテナ



(b) 8素子アレーアンテナ

図4. アレーアンテナのアイソレーション 送信と受信とのアイソレーションを示す。送信帯域でアイソレーション効果を確認できる。

Isolation of array antennas

一方、送信アンテナと受信アンテナを逆の円偏波で動作させた場合の送受信間のアイソレーションは、同様の実験から約 27 dB 程度であった。

以上の結果から、アンテナ自身にフィルタの機能をもたせることができることが明らかになった。このため、従来に比べ送受信機のフィルタに要求される 90 dB の値は、アンテナ自身で約 50 dB 程度低減でき、フィルタへの要求は 40 dB 程度でよいことになる。この結果、従来に比べフィルタの寸法を大幅に小型化でき、アンテナだけでなく送受信機の小型化と軽量化に大きく寄与する。

6 あとがき

移動体衛星通信に用いるアレーアンテナとして、アンテナ配置法・給電法・送信アンテナと受信アンテナの円偏波の組合せに着目し、送信アンテナと受信アンテナ間のアイソレーションが図れる機能をもつ高性能平面アンテナを開発し、送受信機を含めた小型・薄型・軽量を実現した。

今後は、能動素子を含むアレーアンテナによりビームを走査できる機能、不要波や干渉波を抑圧除去する機能をもつ高性能平面アンテナの研究に注力する。

文献

- (1) 岩崎久雄, 他: 衛星移動体通信携帯端末用セルフダイプレキシングアンテナ, 電子通信学会技報, AP91-86(1991)
- (2) T. Teshirogi, et al: Wideband Circularly Polarized Array Antenna with Sequential Rotations and Phase Shifters of Elements, Proc.Int. Symp. Antennas Propagat., Japan, pp.113-120(1985)



岩崎 久雄 Hisao Iwasaki, D.Eng.

1975 年入社。移動体通信用アンテナの研究・開発に従事。現在、研究開発センター 情報・通信システム研究所主任研究員、工博。

Communication & Information Systems Research Labs.