

6.4 フェージング対策部

6.4.1 フェージング対策の概要

本船舶地球局で採用したフェージング対策の基本原理について説明する。本方式は、海面のような誘電体によって反射された円偏波の物理的特性と、円偏波アンテナに一般に用いられるハイブリッドの電気的特性を有効に利用したものである。上記の両特性を利用すると原理的には海面反射を完全に除去し、直接波のみを取り出すことが可能である。

ハイブリッドと海面によって反射される円偏波の特性を簡単に記述する。

A. ハイブリッドの電気特性

クロスダイポール等を用いた円偏波アンテナは一般に2点で給電され第6.4-1図に示すように90度/3dBハイブリッドが用いられる。第6.4-1図の、T1、T2、T3及びT4はハイブリッドの4端子で、この散乱行列[S]H次式で与えられる。

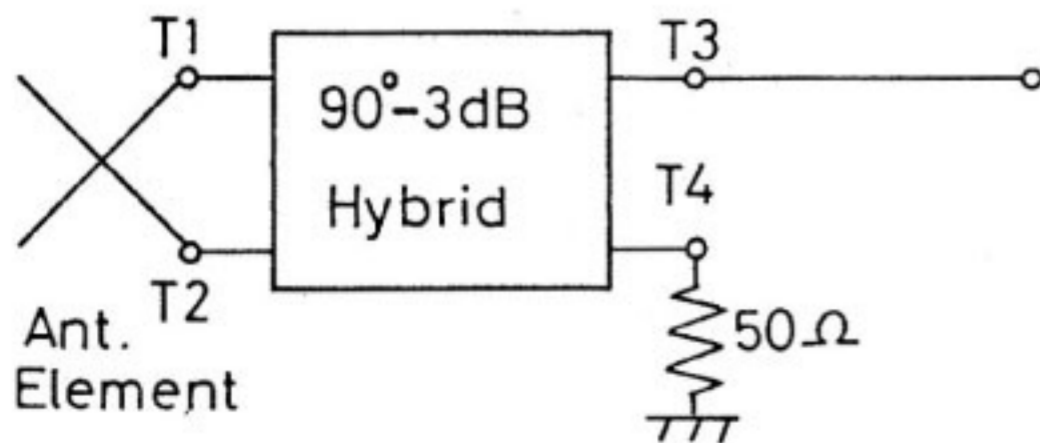
$$[S] = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{-j}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-j}{\sqrt{2}} \\ \frac{-j}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{-j}{\sqrt{2}} & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

一方、円偏波は空間的に直交し、位相が90度異なる二つの直線偏波の和で示される。したがって、右旋、左旋円偏波を各々 E_R 、 E_L とし、Z方向に伝搬しているとすると以下のように表される。

$$E_R = \frac{E_R}{\sqrt{2}}(\hat{x} + j\hat{y})e^{j\phi_R}$$

$$E_L = \frac{E_L}{\sqrt{2}}(\hat{x} - j\hat{y})e^{j\phi_L}$$

ここで ϕ_R と ϕ_L は位相、 E_R と E_L は振幅を表す。 \hat{x} 、 \hat{y} は xyz 座標の単位ベクトルを示す。端子T1、T2



第6.4-1図 一般的な円偏波アンテナの構成

大森 慎吾 (宇宙通信部 移動体通信研究室), 長谷 良裕, 川崎和義 (鹿島支所 第二宇宙通信研究室)

に接続された円偏波アンテナで右旋、及び左旋円偏波を受信した場合の T1、T2、T3 及び T4 での出力電圧 V_{1r} 、 V_{2r} 、 V_{3r} 及び V_{4r} は、xy 軸をダイポール方向と一致させた場合に次式で与えられる。

$$\begin{pmatrix} V_{1r} \\ V_{2r} \\ V_{3r} \\ V_{4r} \end{pmatrix} = [S] \begin{pmatrix} \frac{E_R}{\sqrt{2}}e^{j\phi_R} + \frac{E_L}{\sqrt{2}}e^{j\phi_L} \\ j\frac{E_R}{\sqrt{2}}e^{j\phi_R} - j\frac{E_L}{\sqrt{2}}e^{j\phi_L} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

上式より

$$V_{3r} = -jE_L e^{j\phi_L} = E_L e^{j(\phi_L - 90^\circ)}$$

$$V_{4r} = E_R e^{j\phi_R}$$

この結果をみて理解できるように左旋円偏波成分は端子 T3 に、右旋円偏波成分は 90度位相が進んで端子 T4 に出力される。

B. 海面による円偏波の反射特性

海面による水平及び垂直偏波の反射係数 R_H 、 R_V はよく知られているように各々次式のように示される。

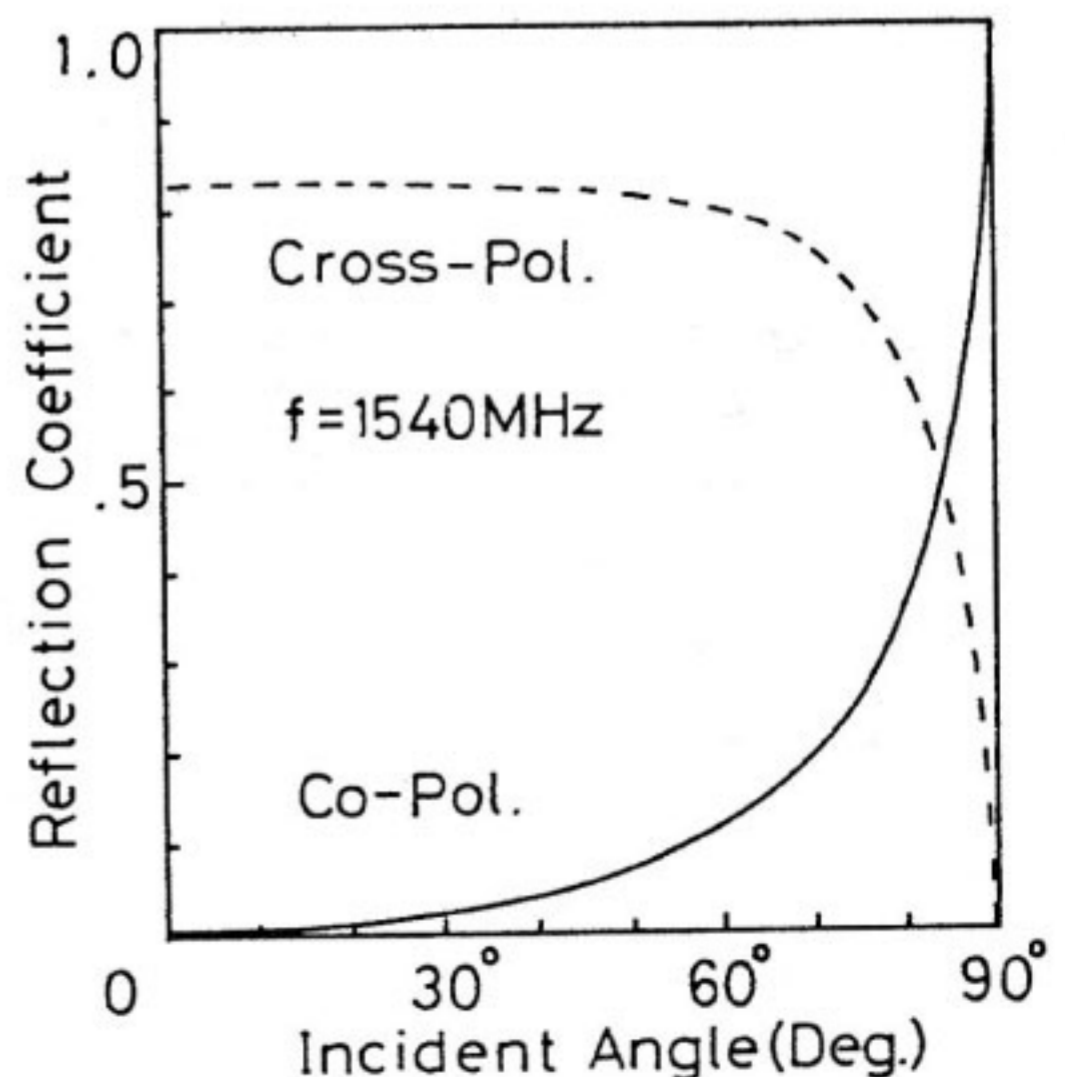
$$R_H = \frac{\cos \theta - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}$$

$$R_V = \frac{n^2 \cos \theta - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}{n^2 \cos \theta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}$$

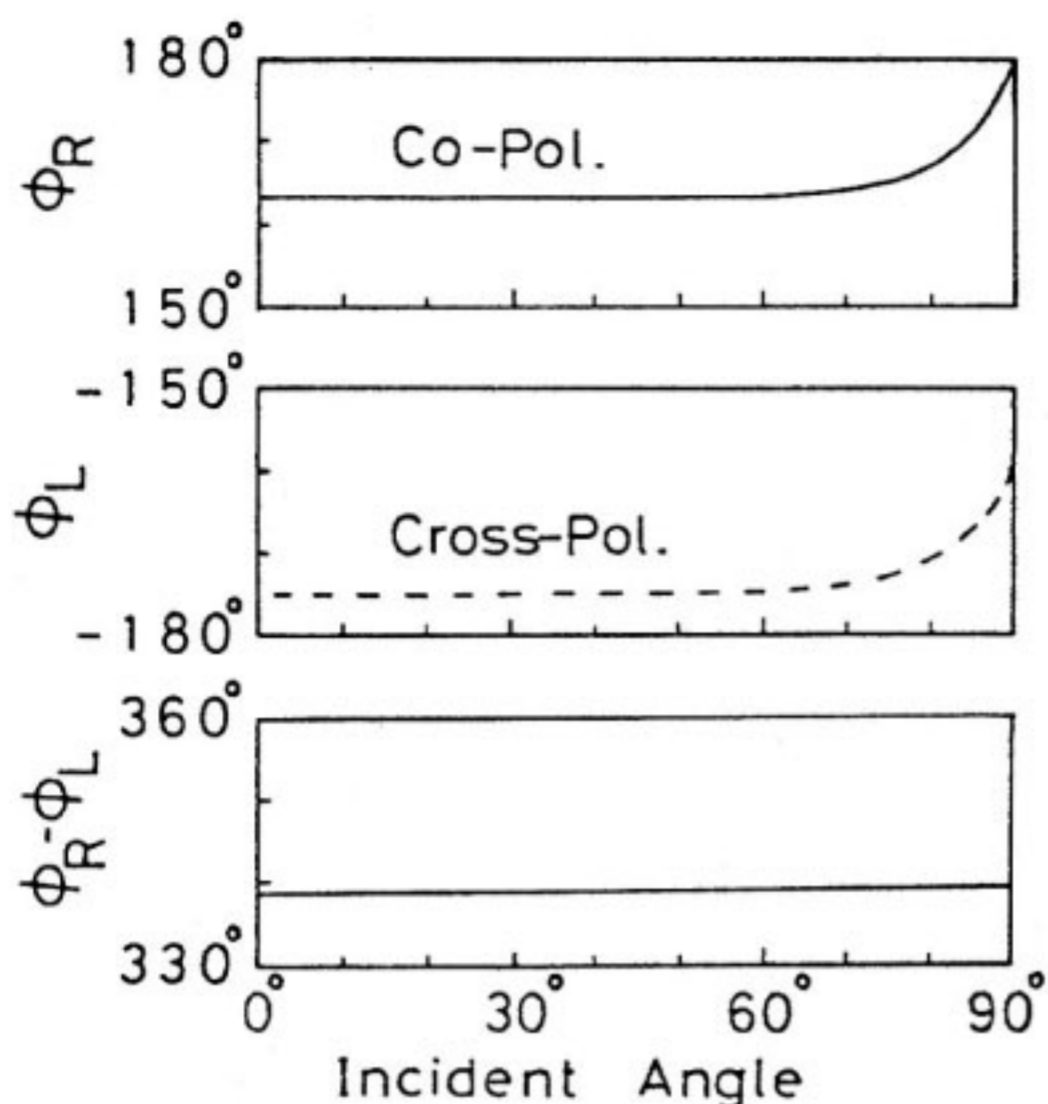
ここで

$$n^2 = \epsilon_r + j\frac{\sigma}{\omega\epsilon_0}$$

上式中 θ 、 ϵ_0 、 ω 、 ϵ_r 及び σ は入射角、真空中の誘電率、角周波数、海水の比誘電率及び導電率である。右旋



第6.4-2(a)図 円偏波の海面反射係数 (振幅)



第 6.4-2(b) 図 円偏波の海面反射係数 (位相)

及び左旋円偏波の反射係数 R_R , R_L は次式で与えられる。

$$R_R = \frac{1}{2}(R_H + R_V)$$

$$R_L = \frac{1}{2}(R_H - R_V)$$

第 6.4-2(a)(b) 図に反射係数の振幅及び位相の計算例を示す。海水の電気定数として $\epsilon_r = 70$, $\sigma = 5.5 \text{ S/m}$, $f = 1540 \text{ MHz}$ とした。

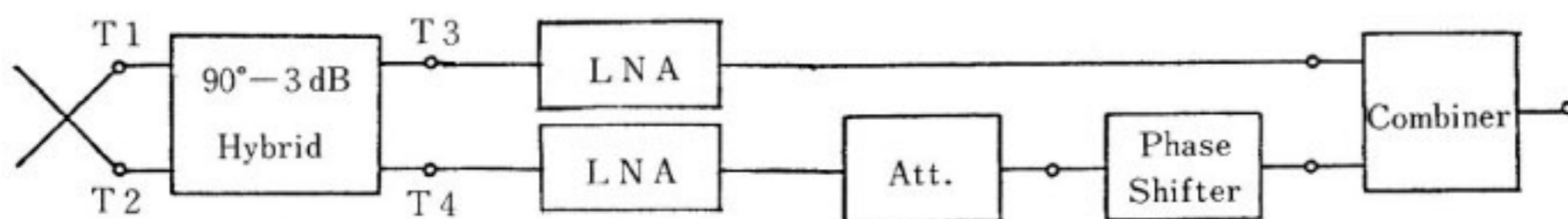
C. フェージング除去方式及びアンテナ

インマルサット海事衛星通信では衛星仰角 5 度以上の海域を通信のサービス領域としている。一方、第 6.4-2(a) 図に示すように左旋円偏波 (正旋成分) が海面に入射した場合、反射波は左旋 (正旋) と右旋 (逆旋) 成分に分離され、かつ仰角 5 度以上であれば逆旋成分が正旋成分より大きくなるのがわかる。

一方、前に述べたように円偏波アンテナの端子 T3 には直接波である正旋成分と海面反射による正旋成分 E_R が、T4 には海面反射による逆旋成分 E_L が以下のように出力される。

$$T3 : E_0 + E_L e^{j(\phi_L - 90^\circ)}$$

$$T4 : E_R e^{j\phi_R}$$



第 6.4-3 図 フェージング除去アンテナの構成

通常の円偏波アンテナでは端子 T4 に出力される反射によって生じる逆旋成分は終端抵抗により無駄な電力として消費される。しかし、上式から理解されるように T3, T4 の両出力を E_R と E_L の振幅を等しく、かつ逆位相となるよう加えると $E_R e^{j\phi_R}$ と $E_L e^{j(\phi_L - 90^\circ)}$ の両成分は互いに相殺され、直接波成分 E_0 のみを取り出されることがわかる。このような原理に基づき構成されたフェージング除去機能を第 6.4-3 図に示す。実際の構成は、ここで述べた原理を基に、合成器、減衰器及び移相器による挿入損等为了避免のため低雑音増幅器を 2 台用いている。

この方式を採用すると振幅の制御はせず逆旋成分の移相のみを制御して常に振幅が最大になるようにすることも可能である。

D. フェージング対策部の動作

フェージング対策部では、受信 IF 信号 (通常 1542.925 MHz の無変調波を受信する) のレベルを基に、逆旋成分受信系のアッテネータと移相器を制御する。制御は受信 IF 信号を狭帯域 (帯域幅は通常 2 kHz) フィルターを通して検波した信号の大きさに基づいてマイクロプロセッサにより行う。制御方法は前に述べたように、合成波の振幅を一定にする方法と、変動はあっても常に直接波以上の振幅とする方法が考えられるが、現在のところ制御の簡単さから、移相器のみを制御する後者の方法を採用してソフトウェアが開発された。しかし、前者の方式についても今後実験を行う予定である。

受信波の検波信号は A/D 変換器により 2 msec ごとにサンプリングされてマイクロプロセッサに送られる。これを一定回数 (64, 128, 256, 512 から選択) 平均して受信レベルとする。この受信レベルが最大となるように移相器を制御するステップトラックを行う。ステップトラックの動作速度は、先に述べた平均回数による。移相器は PIN ダイオードを用いた高速切替型のデジタル移相器で 1 ステップ当たり 22.5 度の移相量が得られる。また、アッテネータは 1 dB ステップで可変範囲は 0 dB - 15 dB であるが、現在のところ 0 dB に固定している。

なお、本方式では正旋成分側と逆旋成分側の両方に低雑音増幅器が入っているため、移相器や減衰器等の各コンポーネントによる損失による受信 C/N₀ の低下は無い。