

平行平板ターゲットによる Polarimetric Calibration

北山 健志[†] 高柳 雄二^{†*} 山口 芳雄[†] 山田 寛喜[†]

Polarimetric Calibration using a Corrugated Parallel Plate Target

Kenji KITAYAMA[†], Yuji TAKAYANAGI^{†*}, Yoshio YAMAGUCHI[†],
and Hiroyoshi YAMADA[†]

あらまし Polarimetric レーダで、正確な散乱行列を得るためには偏波に対する校正が必要となる。偏波に関する誤差として、アンテナのアライメント、システム誤差等がある。Polarimetric Calibration には、校正用ターゲットを使用するが、ターゲットの種類により散乱行列の性質が異なる。本論文では、物理的に理解しやすい線状ターゲットにより Polarimetric Calibration を試みた。線状ターゲット、すなわち波長に比べて細い線状導体の wire は RCS が非常に小さい。そのため、広帯域でかつ RCS が大きく線状ターゲットとして動作する平行平板ターゲットを提案し、理論解析および校正実験からその Polarimetric Calibration の有効性を明らかにしている。

キーワード 平行平板ターゲット, Polarimetric Calibration, レーダポーラリメトリ, 散乱行列

1. まえがき

Polarimetric レーダを実現するには、振幅や位相の正確な校正が必要である。そのため、あらかじめ偏波特性が既知の校正用ターゲットを用いて、Polarimetric Calibration が行われている。

校正用ターゲットの種類として、球状 [1]、面状 [2]、線状ターゲット [3] がある。広帯域な周波数を使う高分解能レーダでは、校正用ターゲットは、使用する周波数帯域に依存しない偏波特性をもつことが重要である。現在実用化されているレーダの比帯域（周波数帯域幅と中心周波数との商）は、約 5% 程度である。研究上では、それ以上の比帯域で実験や解析を行っている。これまでパルスレーダで行われている Polarimetric Calibration では、球状の性質をもつ trihedral corner reflector、面状の性質をもつ dihedral corner reflector が広帯域の校正用ターゲットとして用いられており、その有効性が確認されている [1], [2]。一方、本論文では直線偏波基底で扱いやすく、球状および面状ターゲットと異なる散乱行列をもつ性質に着目して（表 1）、線状ターゲットを用いた Polarimetric Calibration を検討した。線状ターゲットとは、波長に比べて十分細

い半径の線状導体で長さは無限長のものを指す。その線状ターゲットとして直線状 wire がある。しかし、球状および面状ターゲットと比較すると RCS が非常に小さい。そこで現在実用化されているレーダの比帯域よりも十分広帯域で wire と同じ偏波特性をもち、かつ RCS が大きい平行平板ターゲットを提案した。

以下、2. に提案した平行平板ターゲットの偏波散乱特性を、その後に Polarimetric Calibration を示す。4. では、本論文で扱う受信電力を用いたレーダポーラリメトリ解析について概説し、平行平板ターゲットの理論解析およびそれを用いた校正実験をそれぞれ 5., 6. に示す。最後にこれまでに得られた結果から校正誤差に関する考察を行う。実際の実験および理論解析か

表 1 基本ターゲットの散乱行列
Table 1 Scattering matrix of calibrator.

Calibrator	Scattering matrix $[S]$ in the linear polarization basis (hv)
Trihedral corner reflector	$[S] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$
Dihedral corner reflector	$[S] = \begin{bmatrix} \cos 2\psi & \sin 2\psi \\ \sin 2\psi & -\cos 2\psi \end{bmatrix}$
Wire	$[S] = \begin{bmatrix} \cos^2 \psi & \sin \psi \cos \psi \\ \sin \psi \cos \psi & \sin^2 \psi \end{bmatrix}$

ψ : 方向角 (Orientation angle)

[†]新潟大学工学部, 新潟市
Faculty of Engineering, Niigata University, Niigata-shi, 950-2111
Japan

* 現在, 沖電気工業株式会社幕張テクノセンター

ら、このターゲットによる Polarimetric Calibration が有効であることを示す。

2. 校正用線状ターゲット

レーダポーラリメトリ理論における線状の性質をもつターゲットとして、直線状 wire がある。しかし、RCS が小さいため実現がむずかしく、大きな RCS をもつ線状ターゲットが望まれていた。そこで、筆者らは図 1 に示すような大きな RCS をもつ線状ターゲットを提案した [4]。これを本論文では平行平板ターゲットと呼んでいる。

平行平板ターゲットは、図 1 のように電波吸収体上に金属板を歯形に配列し構成される。図 2 は、ターゲットの概念的な偏波散乱機構を示している。但し、金属板のエッジに平行な偏波を水平偏波 h 、同様に垂直な偏波を垂直偏波 v とする。

v 偏波入射時に、電波は平板の影響を受けずに通過し、電波吸収体により吸収されるが、 h 偏波入射時には、平行平板導波路の Cut off 条件のため電波は内部に侵入できず、エッジ面で反射する。そのため、面反射から、大きな RCS が得られると予想される。更に Cut off 周波数以下では、周波数によらず全く同じ反

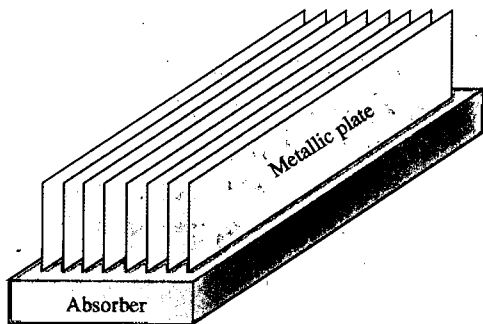


図 1 平行平板ターゲット
Fig. 1 Corrugated parallel plate target.

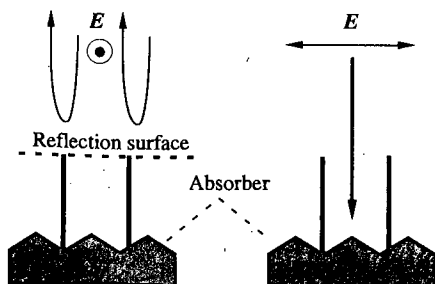


図 2 水平および垂直偏波特性
Fig. 2 Scattering nature of horizontally and vertically polarimetric wave.

射形態となるので、非常に広帯域である。

3. 散乱行列と Polarimetric Calibration

Polarimetric レーダを用いて、ターゲットのイメージング等を行う際、取得される情報は 2×2 の複素振幅を要素にもつ Sinclair 散乱行列である。これは、次式のように送信波に対して散乱波への変換行列と解釈できる。

$$\begin{bmatrix} E_a^r \\ E_b^r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{aa} & S_{ab} \\ S_{ba} & S_{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_a^t \\ E_b^t \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、直線偏波基底 (水平 h , 垂直 v) とし、更に monostatic なレーダを仮定すると散乱行列は次のように表現できる。

$$[S_{(hv)}] = \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{hv} & S_{vv} \end{bmatrix} \quad (2)$$

レーダから得られる散乱行列 (校正前の散乱行列、以下、測定散乱行列とする) $[Z]$ は、アンテナのアライメント、実験環境およびシステムに起因する誤差等により、行列の要素間で微小な相対情報の誤差を含んでいる (図 3)。要素間の相対情報 (振幅・位相) の誤差成分は次のように定義される。

$Z_{hh} - Z_{vv}$: Co-Pol channel imbalance

$Z_{hh} - Z_{hv}$: X-Pol channel imbalance

Polarimetric Calibration の概念は、 Z_{hh} を基準とし、Co-Pol channel imbalance, X-Pol channel imbalance を修正し、 $[Z]$ を $[S]$ に校正することである。校正の際に必要な誤差成分は Van Zyl の方法 [1] を一部変更することで導出される。つぎにその校正法について説明する。

まず、測定散乱行列 $[Z]$ は、校正された散乱行列 (理論上の散乱行列) を $[S]$ とすると、次のような関係式で表現できる。

$$[Z] = [R][S][T] \quad (3)$$

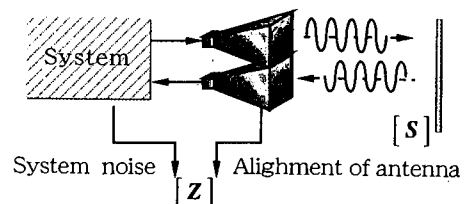


図 3 測定散乱行列と偏波誤差要因
Fig. 3 Measured scattering matrix and error factor.

$[R]$, $[T]$ は、受信および送信でシステムに依存する偏波誤差要因に関する行列である。また、相反性により次式が成立する。

$$[R] = [T]^T \quad (4)$$

各行列の成分を次のように展開する。

$$\begin{bmatrix} Z_{hh} & Z_{hv} \\ Z_{hv} & Z_{vv} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \delta_2 \\ \delta_1 & f_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{hv} & S_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \delta_1 \\ \delta_2 & f_1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

但し、 δ_1 , δ_2 は送受信システム間の cross-talk を表す変数である。 f_1 は Co-Pol channel imbalance を示す変数であり、例えば hh , vv 偏波で、同じターゲットを測定した際に生ずる振幅および位相誤差を表す。 δ_1 , δ_2 を求めるための校正法は、cross-talk calibration と呼ばれ、 f_1 を求めるための校正法は、relative phase and relative amplitude calibration と呼ばれている [1]。

δ_1 , δ_2 は一般に微小な値となることから、relative phase and relative amplitude calibration の手法を利用する。この校正法のみ使用する場合、式 (5) は簡略化され、次式となる。

$$\begin{bmatrix} Z_{hh} & Z_{hv} \\ Z_{hv} & Z_{vv} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & f_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{hv} & S_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & f_1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

上式で、 f_1 を導出すれば、Co-Pol channel imbalance の除去が可能である。更に、X-Pol channel imbalance を除去するために、式 (3), (6) を次のように置き換える。

$$[Z] = [R][W][T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & f_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{hh} & f_2 S_{hv} \\ f_2 S_{hv} & S_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & f_1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$[W] = \begin{bmatrix} S_{hh} & f_2 S_{hv} \\ f_2 S_{hv} & S_{vv} \end{bmatrix} \quad (8)$$

f_2 は X-Pol channel imbalance を示し、 S_{hv} 成分にのみ関係していると考えられる。 $[W]$ は、 f_2 を除去する前の仲介行列である。 f_1 , f_2 を導出過程を示す。

(1) X-Pol channel imbalance を含んだ $[W]$ に

対し、relative phase and relative amplitude calibration を行い、 f_1 を求める。

(2) W_{hv} に対し、同様な計算方法で f_2 を求める。ここで、 45° 傾いた wire を校正用ターゲットとして使用したとすると、Co-Pol チャネル、X-Pol チャネルにおける散乱行列の各要素は理論的に次式を満たさなくてはならない。

$$\left. \begin{aligned} |S_{hh}| &= |S_{vv}| = 1 & \arg(S_{hh}^* S_{vv}) &= 0 \\ |S_{hh}| &= |S_{hv}| = 1 & \arg(S_{hh}^* S_{hv}) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

式 (9) の条件を用いると非常に簡単に f_1 , f_2 を以下のように導出できる。

$$\left. \begin{aligned} |f_1| &= \left| \frac{Z_{vv}^* Z_{vv}}{Z_{hh}^* Z_{hh}} \right|^{1/4} \\ \arg(f_1) &= \frac{1}{2} \arg(Z_{hh}^* Z_{vv}) \\ |f_2| &= \left| \frac{Z_{hv}^* Z_{hv}}{Z_{hh}^* Z_{hh} f_1^* f_1} \right|^{1/2} \\ \arg(f_2) &= \arg\left(\frac{Z_{hh}^* Z_{hv}}{f_1}\right) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

1 回の測定で上式によって f_1 , f_2 が決定でき、この点が wire を使う利点である。

4. 偏波と受信電力

偏波は、空間のある定まった点における電波の進行方向に対して垂直な面での電界ベクトルの軌跡である。これは、幾何学的パラメータ ellipticity angle ϵ , tilt angle τ で示される (図 4)。

つぎに受信アンテナに励起される電力は、後方散乱行列と送受信アンテナの偏波状態の組合せにより、次のように表現できる。

$$P = |\mathbf{E}_r^T [S] \mathbf{E}_t|^2 \quad (11)$$

\mathbf{E}_r , \mathbf{E}_t は、送信・受信波の電界ベクトル、 T は転置を示す。送受信アンテナの偏波状態が同じ偏波チャネル

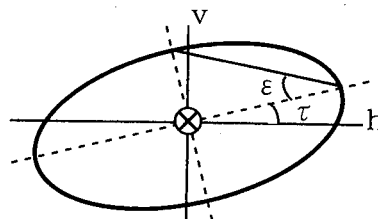


図 4 幾何学的パラメータによる偏波状態
Fig. 4 Ellipticity and tilt angles of a polarization ellipse.

は、Co-Pol チャネルと呼ばれているが、 $E_r = E_t$ として式 (11) から、各送信偏波状態でのターゲットによる受信電力を平面上にプロットした図を、Co-Pol チャネルにおける偏波シグネチャ [5] と呼び、ターゲットの偏波特性を視覚的にとらえることができる。また、受信電力が極値 (max, saddle, null) となる ϵ , τ の偏波状態を特徴的偏波状態 [5] と呼ぶ。これは散乱行列の固有値解析により求められ、ターゲットの偏波特性が数値的にとらえられる。wire の Co-Pol max における偏波状態は、直観的・物理的にもわかるように直線偏波 ($\epsilon = 0^\circ$) で、方向角 ($\tau = \psi$) である。そこで、本論文では、特徴的偏波状態の Co-Pol max を用いて偏波特性の評価を行う。

5. FD-TD 法解析

平行平板ターゲットの想定される特性を確認するために、FD-TD 法を用いて理論解析を行った [6], [7]。図 5 に解析空間、図 6 にターゲットモデルの設定を示す。格子サイズは $100 \times 100 \times 100$ 、格子間隔 1 cm、単位ステップ時間を 16.7 ps に設定した。

金属平板のモデル化は、表面で電界を 0 とし、ターゲットモデルの長さ a , c , d は実験で使用する周波数帯の最高周波数における波長 λ_0 で正規化した。この解析では、 $\lambda_0 = 20$ cm を想定している。平板間隔 a は、Cut off 周波数を考慮に入れて $0.4\lambda_0$ とし、エッジ

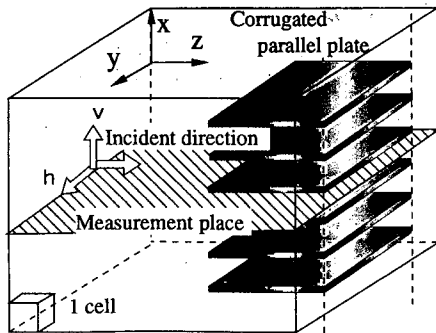


図 5 解析空間
Fig. 5 Space for analysis.

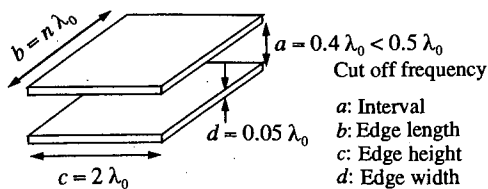


図 6 ターゲットモデルの設定
Fig. 6 Target size.

の長さ b は変数として解析を行ったため $b = n\lambda_0$ としている。計算を行う際、解析境界を Mur の 1 次吸収境界条件とした。解析方法として、平行平板ターゲットの偏波特性および内部減衰特性を調べる際には、解析領域を入射波と反射波が存在する Total 領域、反射波のみ存在する散乱領域に分け、後方散乱行列、RCS を求める際には、散乱波のみ存在する領域で、遠方界変換を行った。以下に、解析内容および結果を示す。

5.1 平行平板ターゲットの水平垂直偏波特性

水平・垂直偏波をそれぞれ入射させたときの最終ステップにおける瞬時電界を図 7 に示す。(a) は垂直偏波を入射した場合であるが、ターゲットの影響を受けずに伝搬していることがわかる。ターゲットの透過波は、ターゲットの下にある電波吸収体により吸収される。図 7 (b) は水平偏波を入射した場合で、ターゲット内部では波の伝搬が見られず減衰している。ターゲット

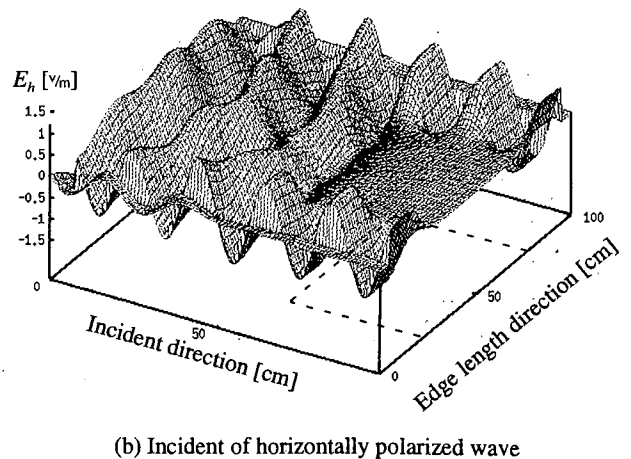
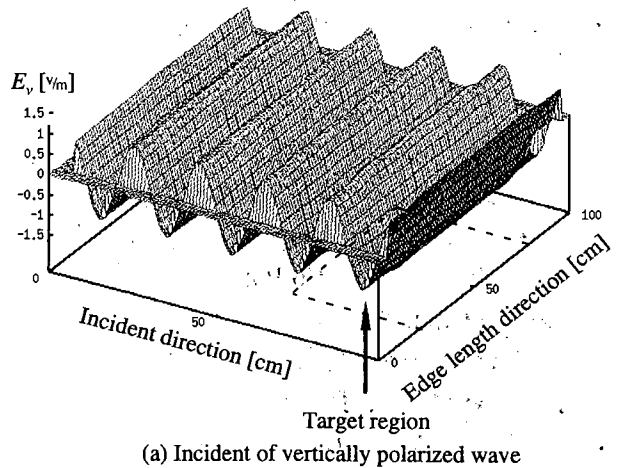


図 7 瞬時電界による偏波特性結果：(a) 垂直偏波入射、(b) 水平偏波入射

Fig. 7 Polarimetric character results of instantaneous electric field: (a) incident of vertically polarized wave (b) incident of horizontally polarized wave.

ト外部では波の伝搬が見られる。これらの結果より平行平板ターゲットの偏波特性が確認できる。

5.2 平行平板ターゲット内部減衰特性

平行平板ターゲットは金属平板間を導波管とみなせる。実験およびシミュレーションを行う際には、 $b \rightarrow \infty$ における Cut off 周波数を考慮し、それより低い周波数を用いる。

エッジの長さ $b \rightarrow \infty$ とした場合の減衰定数は次式で表される。

$$\alpha = \sqrt{k^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2}, \quad k = \frac{2\pi f}{c}, \quad f = \frac{c}{\lambda_0} \quad (12)$$

上式を計算すると、 $\alpha = 2.0 \text{ dB/cm}$ となる。このときの減衰曲線を理論減衰曲線とする。

図 8 は、観測スライス面内の長さ b の中央における伝搬方向に対する電界強度を表している。この電界強度は sin 波を入射し、十分定常とみなせる時間ステップから最終ステップまで DFT を施すことで得られる。

図 8 の結果より、ターゲット内部では急激に減衰し、ターゲットモデルから 20 cm で約 40 dB 落ち込んでいることがわかり、理論減衰曲線と一致している。

5.3 Co-Pol チャンネルによる偏波特性結果

平行平板ターゲットが、wire と同様の偏波特性であることを確認するために、Co-Pol チャンネルにおける特徴的偏波状態を求めた。

理論における wire の受信電力は、このターゲットに平行な直線偏波を入射し Co-Pol チャンネルで受信したとき、最も強い受信電力が得られる。そのことから、方向角 $\psi = 45^\circ$ の wire を配置したときの理論値は、 $\epsilon = 0^\circ, \tau = 45^\circ$ で極大となる。

表 2 は、Co-Pol における平行平板ターゲットの特

徴的偏波状態を表している。結果から、平行平板ターゲットは、Co-Pol max が wire と同様であることから、wire として認識されていることがわかる。

5.4 平行平板ターゲットの RCS (後方散乱断面積)

平行平板ターゲットの定量的な解析を行うために plate の RCS の比較を行った。比較方法を図 9 に示す。plate の大きさは、金属平板間およびエッジ部分を含む断面積としている。

解析結果を図 10 に示す。比較する plate の RCS [8]

表 2 b の変化による特徴的偏波状態
Table 2 Characteristic polarization states as a function of b .

b (Edge length)	Co-Pol max	
	ϵ (degree)	τ (degree)
λ_0	0	45
$2\lambda_0$	0	45
$3\lambda_0$	0	45

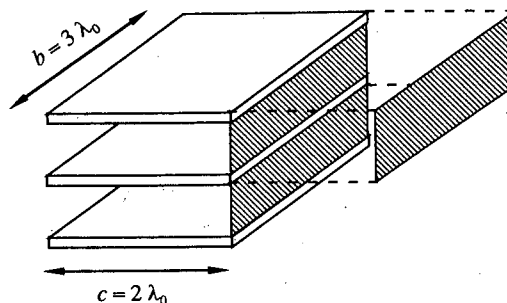


図 9 比較方法
Fig.9 Comparison method.

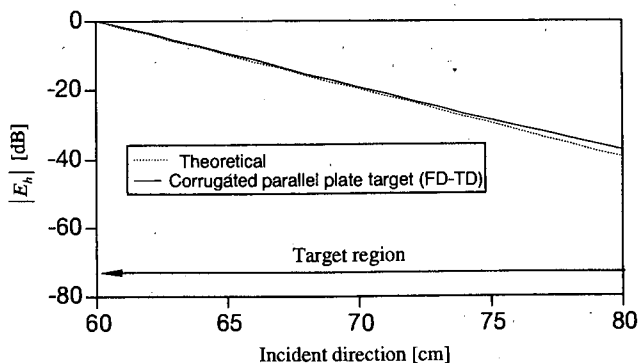


図 8 ターゲット内部における減衰曲線 (水平偏波入射)
Fig.8 Attenuation character in corrugated parallel plate target.

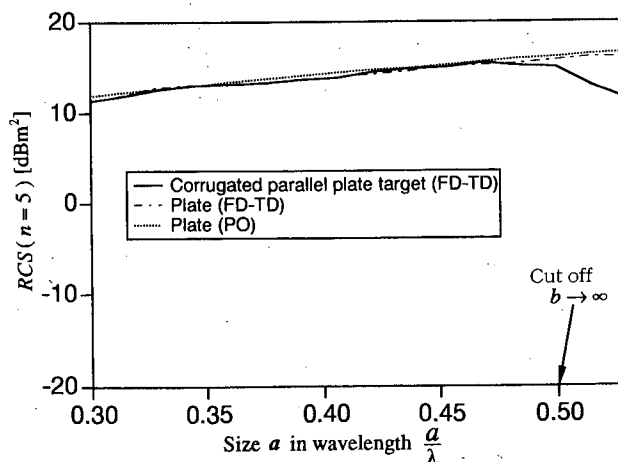


図 10 plate と平行平板ターゲットの RCS
Fig.10 RCS of plate and corrugated parallel plate target.

は、PO 近似を用いて次のように表現できる。

$$\begin{aligned} \text{RCS}_{\text{plate}} &= \frac{4\pi}{\lambda^2} (\text{plate area})^2 \\ &= \frac{4\pi}{\lambda^2} \{n(a+d) - a\}b^2 \end{aligned} \quad (13)$$

n は平板の枚数である。図 10 より、平行平板ターゲットは、plate と同様の特性を示し、RCS が大きいことがわかる。更に、Cut off 周波数以上では、RCS の減衰が見られる。これらより、当然ではあるが、平行平板ターゲットを用いる際は、導波管の Cut off 周波数以下で行うことが重要である。

6. 校正実験

測定状況を図 11 に示す。レーダ方式は FM-CW レーダとし、掃引周波数を 14.5 ~ 15.5 GHz の 1GHz (比帯域約 7%) に設定して、校正用ターゲットを $\psi = 45^\circ$ に配置して測定を行った。校正用ターゲットは、金属板 5 cm × 85 cm のものを 8mm 間隔で 20 枚並べたものである。アンテナを 2次元走査させて得られた測定データに合成開口処理を行い、高さ 115 cm におけるスライス面 (64 × 64 ピクセル) の測定散乱行列を導出した。この測定散乱行列による span image を図 12 に示す。span image は散乱行列全要素の 2乗和で与えられる。この image からターゲットと想定される

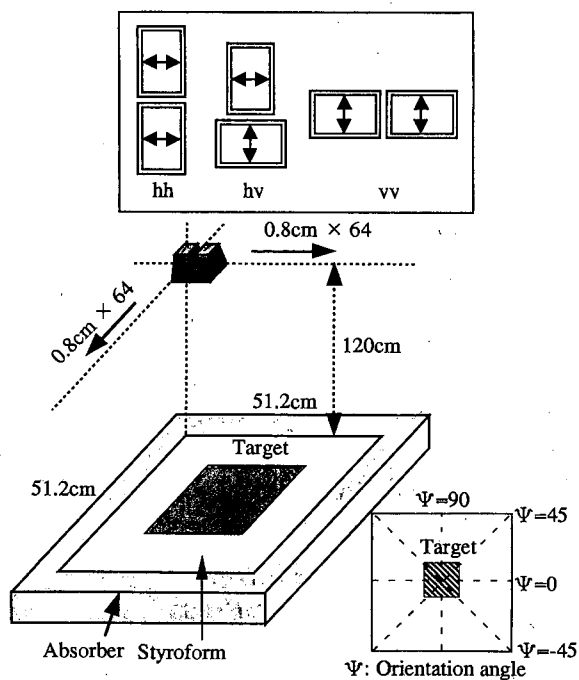


図 11 測定状況
Fig.11 Measurement scheme.

場所 100 ポイントを取り出し、3. で示した校正法により各ピクセルの f_1, f_2 を導出した。この値の分布図を図 13 に示す。図において、 f_1, f_2 の値は密集しており、ターゲット全体が同じ偏波特性であることがわかる。

各ピクセルに対応する導出した誤差成分 f_1, f_2 に対して、校正前と校正後の相対情報の変化を求めた。図 14, 図 15 に示す。横軸が相対振幅 (電力)、縦軸が相対位相である。この校正用ターゲットが理論の散乱行列として得られる場合、Co-Pol channel ($S_{hh} - S_{vv}$), X-Pol channel ($S_{hh} - S_{hv}$) の相対振幅、相対位相はそれぞれ 0 dB, 0 deg とならなければならない。両図の校正前と校正後と比較すると、校正後の値はほぼ図の中心部 (若しくは相対位相 $\pm 180^\circ$ 近辺) に点在することがわかる。

つぎに、同じターゲット (平行平板ターゲット) を用い、 ψ を 0, 30, 60, 90, -30, -60° 変化させ、測定を行った。これまでと同様にピクセルを取り出し、平均化した誤差成分および測定散乱行列を求め、

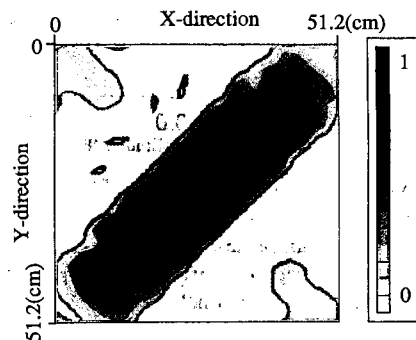


図 12 校正用ターゲット ($\psi = 45^\circ$) Span image
Fig.12 Span image of the 45° oriented corrugated parallel plate target.

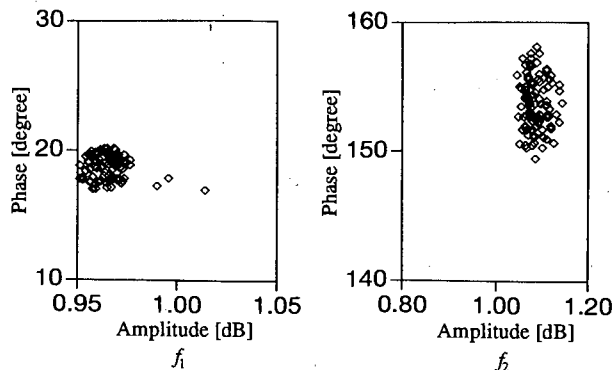


図 13 平行平板ターゲットによる f_1, f_2 の分布
Fig.13 f_1 and f_2 distribution of corrugated parallel plate target.

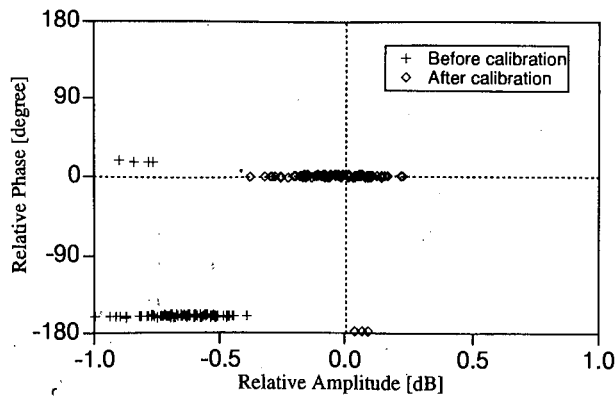


図 14 Co-Pol チャネルにおける平行平板ターゲット ($\psi = 45^\circ$) の相対振幅, 相対位相特性
 Fig. 14 Relative amplitude and phase characteristic of the 45° oriented corrugated parallel plate target for Co-Pol channel.

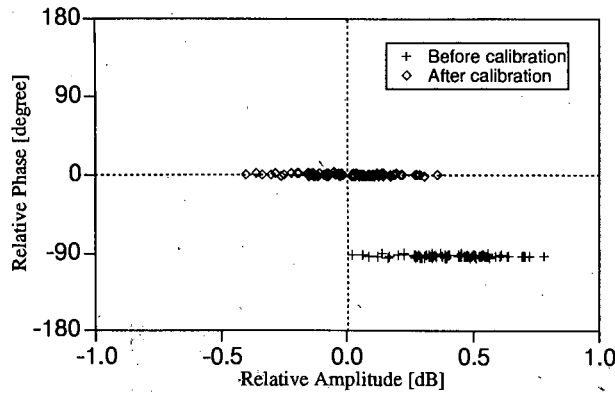


図 15 X-Pol チャネルにおける平行平板ターゲット ($\psi = 45^\circ$) の相対振幅, 相対位相特性
 Fig. 15 Relative amplitude and phase characteristic of the 45° oriented corrugated parallel plate target for X-Pol channel.

表 3 ψ の変化による特徴的偏波状態
 Table 3 Characteristic polarization states as a function of ψ .

orientation angle (degree)	Co-Pol max	
	ϵ (degree)	τ (degree)
± 90	0.0	± 89.7
60	1.2	60.3
30	1.3	29.9
0	-0.5	-0.2
-30	-2.6	-32.4
-60	3.8	-62.0

Polarimetric Calibration を行った。表 3 に校正後における平行平板ターゲットの Co-Pol max を示す。wire の Co-Pol max の理論値は、方向角に関係なく $\epsilon = 0^\circ$

で、 τ は方向角に依存することから、実験結果により平行平板ターゲットは、wire と同様の偏波特性をもつことがわかる。

7. 校正誤差に関する考察

本章では、平行平板ターゲットにおける測定散乱行列の各要素に含まれる誤差成分が、Co-Pol max の偏波状態に対してどのような影響を及ぼすか検討する。測定散乱行列を次のように表す。

$$[Z] = \begin{bmatrix} 1 & A_2 e^{j\phi_2} \\ A_2 e^{j\phi_2} & A_1 e^{j\phi_1} \end{bmatrix} \quad (14)$$

但し、 A_1, A_2 は振幅誤差成分、 ϕ_1, ϕ_2 は位相誤差成分である。上式で、方向角 $\psi = 0^\circ$ を考えると、このときの散乱行列の理論値は、 hh 偏波成分が 1 で残りの要素は 0 となる。このような散乱行列を測定する場合、1 に比べて、どの程度の大きさの測定値を 0 とみなすかで測定精度は左右される。実験に用いた FM-CW レーダシステムでは、 $A_1 = A_2 = -23$ dB 程度が測定限界であったので、 ϕ_1, ϕ_2 を $-180 \sim 180^\circ$ 変化させて Co-Pol max の偏波状態を導出してみた。その結果、誤差として現れる範囲は以下のものであった。

$$\sigma_\tau = 4.3^\circ, \sigma_\epsilon = 4.3^\circ$$

但し、 $\sigma_\tau, \sigma_\epsilon$ は、それぞれ τ, ϵ の誤差範囲を表している。表 3 より、校正実験では、誤差範囲は $\sigma_\tau = 2.4^\circ, \sigma_\epsilon = 3.8^\circ$ となっており、許容誤差範囲に入っている。

一方、本論文の校正法は上に述べたような 0 の測定限界を調べる方法ではなく、 $\psi = 45^\circ$ としているため $[S]$ のすべての要素が同じ大きさになるような校正方法である。その評価として Co-Pol max を調べたが、この偏波状態は wire の方向角に直接関係しており、表 3 に示すように 3° 程度以下の方向角誤差は、実用上十分な精度があると考えられる。

8. むすび

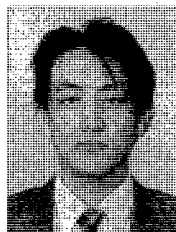
Polarimetric レーダによる Polarimetric Calibration において、平行平板ターゲットを提案し、理論解析および実験を行った。理論解析では、平行平板ターゲットの想定された特性を定性的・定量的に評価し、瞬時電界による偏波特性・特徴的偏波状態から、wire と同様の偏波特性をもっていること、減衰特性と RCS の解析結果から、このターゲットを用いることの妥当性を確認した。更に校正実験では、レーダ方式として

FM-CW レーダを使用し、校正された散乱行列の特徴的偏波状態の値に関し、良好な結果が得られ、wireとして広帯域に動作していることを確認した。また、このターゲット全体を通して偏波特性の均一性がみられ、校正用線状ターゲットとして優れていることを示した。従って、平行平板ターゲットによる Polarimetric Calibration が有効であることを確認した。

文 献

- [1] J.J. Van Zyl, "Calibration of polarimetric radar imaging using only image parameters and trihedral corner reflector responses," IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing, vol.28, no.3, pp.337-348, May 1990.
- [2] M. Fujita and T. Masuda, "A metal strip grating dihedral for polarimetric calibration," Radio Science, vol.30, no.2, pp.423-428, March-April 1995.
- [3] K. Sarabandi, F.T. Ulaby, and M.A. Tassoudji, "Calibration of polarimetric radar system with good polarization isoration," IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing, vol.28, no.1, Jan. 1990.
- [4] 高柳雄二, 山口芳雄, 山田寛喜, "FM-CW レーダによる散乱行列とその較正に関する検討," 信学技報, SANE95-75, pp.9-16, Oct.1995.
- [5] W.-M.Borner, W.-L.Yan, and A.-Q.Xi, "On the basic principles of radar polrmetry: The target characteristic polarization state theory of kennaugh, huynen's polarization fork concept, and its extension to the partially polarized case," Proc.IEEE, vol.79, no.10, Oct. 1991.
- [6] 北山健志, 山口芳雄, 山田寛喜, "校正用平行平板ターゲットによる Polarimetric Calibration の検討," 信学技報, A・P97-69, pp.73-78, July 1997.
- [7] A. Taflove, "Computational Electromagnetics The Finite-Difference Time-Domain Method," Artech House, Norwood, MA, 1995.
- [8] H. Mott, "Antennas for radar and communications: A polarimetric approach," John Wiley & Sons, New York, NY, 1992.

(平成9年10月14日受付, 10年3月5日再受付)



高柳 雄二 (学生員)

平6新潟大・工・情報卒。平8同大大学院修士課程了。同年沖電気工業(株)勤務。在学中、レーダポーラリメトリに関する研究に従事。



山口 芳雄 (正員)

昭51新潟大・工・電子卒。昭53東工大大学院修士課程了。同年新潟大・工・助手。現在、同大・工・情報・教授。トンネル内等損失媒質での電波伝搬、地中・雪中用FM-CWレーダ、マイクロ波リモートセンシング、ポーラリメトリの研究に従事。工博。IEEEシニア、日本雪工学会各会員。



山田 寛喜 (正員)

昭63北大・工・電子卒。平5同大大学院博士課程了。同年新潟大・工・助手。現在、同大・工・情報・助教授。この間、高分解能時間領域測定法を用いた電磁波回路、アンテナ、散乱測定に関する研究に従事。工博。平3IEEE AP-S東京支部 Young Engineer Award, 平9年度本会学術奨励賞受賞。IEEE会員。



北山 健志 (学生員)

平9新潟大・工・情報卒。現在、同大大学院修士課程在学中。レーダポーラリメトリに関する研究に従事。