

E1 Monostatic RadarによるSpecular反射測定

加藤 洋一

山口 芳雄

山田 寛喜

新潟大学工学部

1. まえがき

現在、レーダリモートセンシング技術を利用した多次元的な情報の解析が行われている。

入射角が20度以上で、海域や平地のような比較的平らな領域を観測する場合、鏡面反射が起きるため、後方散乱を取得する monostatic radar では詳細な情報を得ることができない。

そこで本稿では、2面リフレクタ構造を用いた monostatic radar による specular 反射測定法の提案を行っている。その検証実験として、入射角を変数とした RCS の測定と提案測定法を用いた電気定数(比誘電率, 導電率)推定の実験を行った結果を示す。また、これと同様に3面リフレクタ構造を用いた specular 反射測定の結果との比較も行った。

2. レーダポーラリメトリ理論

ポーラリメトリックレーダを用いた時に取得されるデータは、対象物の反射係数である。この反射係数を要素とした 2×2 の複素行列を散乱行列と定義し、次式で与えられる。

$$S = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \quad (1)$$

但し、添字は直線偏波基底(水平:H, 垂直:V)を表す。以下では、monostatic radar を仮定しているため、 $S_{HV} = S_{VH}$ とする。各偏波間の情報を得るため、次式の Co-pol ratio[1] を定義する。

$$\rho = \frac{S_{VV}}{S_{HH}} \quad (2)$$

3. Specular 反射測定法

誘電体面からの specular 反射(図1(a))による散乱行列は、Fresnelの反射係数を用いて次式で表される。

$$S = \begin{bmatrix} R_H & 0 \\ 0 & R_V \end{bmatrix} \quad (3)$$

上式において、

$$R_H = \frac{\cos\theta_i - \sqrt{\epsilon_r^* - \sin^2\theta_i}}{\cos\theta_i + \sqrt{\epsilon_r^* - \sin^2\theta_i}} \quad (4)$$

$$R_V = \frac{\epsilon_r^* \cos\theta_i - \sqrt{\epsilon_r^* - \sin^2\theta_i}}{\epsilon_r^* \cos\theta_i + \sqrt{\epsilon_r^* - \sin^2\theta_i}} \quad (5)$$

但し、 θ_i は入射角、 ϵ_r^* は複素比誘電率である。

Specular 反射を monostatic radar で測定するために2面リフレクタの散乱特性を利用する。同リフレクタ

では、入射された電波が2回反射されてレーダに戻ってくる散乱特性がある。この2面リフレクタが金属で構成されている時、散乱行列は次式で表される。

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

この散乱行列は金属平面からの散乱行列に等しい。つまり、底面の金属板からの反射波が、もう一方の金属板によって反射されてレーダに戻ってくる。これは、2面リフレクタの底面の金属平面からの specular 反射と考えられる。この特性を利用し、specular 反射測定を行う。ここで、図1(b)に示すように2面リフレクタの底面を誘電体に置き換える。この時の散乱行列は、上述の理論より、式(3)、(4)、(5)で与えられるはずである。

この測定法は、前方散乱を測定するものであって、前方散乱と後方散乱が生じるような対象物では、両方の散乱がレーダに戻ってきてしまう。平面の粗さが大きいと前方散乱と後方散乱が生じてしまう。本原稿における実験でのターゲット面の粗さは無視できる程小さい。

4. 電気定数推定

ここでは、specular 反射により得られた Co-pol ratio を用いた電気定数推定法を示す。

式(4)、(5)で示された反射係数を Co-pol ratio を用いて表現すると、次式で表される。

$$R_H = \frac{\cos 2\theta_i - \rho}{1 - \rho \cos 2\theta_i}, \quad R_V = \rho \frac{\cos 2\theta_i - \rho}{1 - \rho \cos 2\theta_i} \quad (7)$$

式(4)、(5)、(7)より次式を得る。

$$\epsilon_r^* = \left[1 + \frac{4\rho}{(1-\rho)^2} \sin^2\theta_i \right] \tan^2\theta_i \quad (8)$$

但し、 σ は導電率である。式(8)に実験で得られた Co-pol ratio を代入することにより、電気定数を推定することができる。

5. 実験

実験は電波暗室内で行った。2面リフレクタの各辺の長さを30cmに設定し、誘電体ターゲットとしてアクリル板(AC)とコンクリート(CO)を使用した。測定パラメータは表1に示す。

6. 実験結果と考察

図2、3は2つの金属板からなる2面リフレクタにおける RCS の結果である。結果から、ほぼ理論[2],[3]通りに測定が行われたことがわかる。図4、5は2面が金属板の RCS 理論値と2面がそれぞれ金属板と誘電体(AC, CO)の場合における RCS の結果である。実測

値を見ると、特定の入射角において値が小さくなっていることが確認できる。これは、誘電体における散乱特性を示している。

図6, 7に実験で用いたターゲットにおける Fresnel の反射係数 (VV 偏波) を示す。60度, 70度付近に Brewster 角がみられ、これと実測値とを比較すると、同様な特性が得られていることが確認できる。

次に、入射角45度で測定した Co-pol ratio 及び推定した電気定数の結果と3面フレクタ構造を用いた結果を表2, 3に示す。アクリルの比誘電率は2-4, 導電率は 10^{-2} S/m 程度である。また、コンクリートの比誘電率は4-6, 導電率は 10^{-3} から 10^{-2} S/m 程度である。各提案手法を比較すると、3面フレクタ構造では、比誘電率の推定値はほぼ予想通りの値が得られ、精度良い推定が行われているが、導電率に関しては3桁程の違いが見られる。これは、Co-pol ratio の虚部における大きな違いが原因と考えられる。2面構造でも同様に比誘電率の推定が精度良く行われているが、導電率に関しては1桁程の違いが見られることが確認できる。導電率は、誘電体内部での減衰に関する項であるため、反射波のみでは精度良い推定は困難であったと考えられる。しかし、それぞれの提案手法において、電気定数が予想通りに推定されていることから、各提案手法を用いて specular 反射の測定を行うことは可能であると考えられる。

7. まとめ

Specular 反射測定法として、2つの提案手法を行い、検証実験として RCS の測定、電気定数推定を行った。その結果、両提案手法において比誘電率の推定は精度良く行えたものの、導電率の推定は理論値と大きく異なっていた。しかし、比誘電率の推定は正しく行えたことから、各フレクタ構造を用いた手法で、specular 反射を測定することができることを示した。

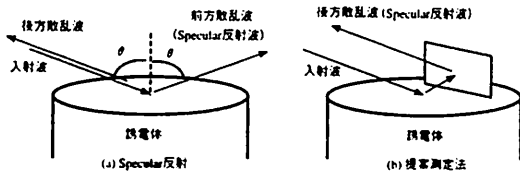


図1. 誘電体平面における散乱過程

表1. 測定パラメータ

システム	Network analyzer (HP8720C)
アンテナ	Rectangular horn
使用周波数	9 - 11 [GHz]
中心周波数	10 [GHz]
周波数ポイント	201
走査点数(間隔)	64(1.0 [cm])
ターゲットサイズ	30 x 30 x 6 [cm]

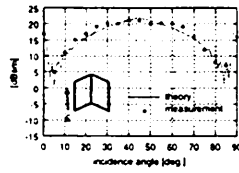


図2. HH 偏波

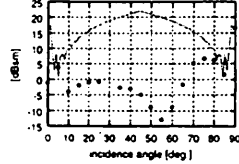


図4. VV 偏波 (AC)

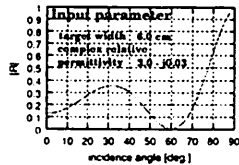


図6. AC の反射係数

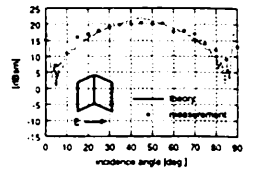


図3. VV 偏波

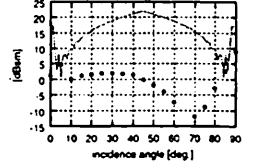


図5. VV 偏波 (CO)

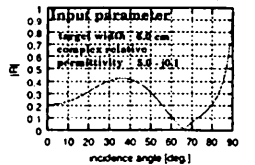


図7. CO の反射係数

表2. 測定・推定結果 (AC)

	2面構造	3面構造
Co-pol ratio	0.38-j0.11	0.46-j0.11
比誘電率	2.61	3.58
導電率	0.66	1.005

表3. 測定・推定結果 (CO)

	2面構造	3面構造
Co-pol ratio	0.44-j0.11	0.58-j0.11
比誘電率	3.25	5.91
導電率	0.89	2.33

参考文献

- [1] 小林弘晃 他, 信学技報, vol.103, no.100, SANE2003-13, pp.35-40, 2003年5月.
- [2] E. F. Knott, "RCS reduction of dihedral corners," IEEE AP, vol. 25, no.5, pp. 406-409, May, 1977.
- [3] S. Y. Wang and S. K. Jeng, "A compact RCS formula for dihedral corner reflector at arbitrary aspect," IEEE AP, vol.46, no.7, pp.1112-1113, July,1998.