

E 3 Diffraction Tomography実験による任意形状物体の再構成

伊藤孝充 山口芳雄 山田寛喜 阿達透

新潟大学工学部

1. まえがき

物体内部の構造を測定する方法として Diffraction Tomographyが提案され、その理論的検討はさまざま行われてきた^{[1],[2]}。しかし実験においては高い精度で散乱波の振幅と位相を測定する必要があり、これまであまり行われていない。我々はアンテナをステップモータで操作し、ネットワークアナライザを用いることによりこれを可能とし、軸対称な物体である誘電体円柱に対する再構成について既に報告した^{[3],[4]}。そこでこの報告では、ターンテーブルを用いることにより360度全ての方向からの測定を可能とし、任意形状物体の再構成結果について報告する。

2. 再構成理論

再構成理論には1次Born近似を用いたフィルタ補正逆伝搬法を用いる。物体関数 $f(r)$ は比透磁率を1とし、比誘電率分布 $f(r) = \epsilon_r(r) - 1$ とする。散乱電界 $u_s(r)$ は物体関数 $f(r)$ と全電界 $u(r)$ 、波動方程式のグリーン関数の畳み込み積分として次のように表される。

$$u_s(r) = \iint_V k^2 f(r_0) u(r_0) G(r, r_0) dr_0 \quad (1)$$

図1で示すX軸を測定ラインとし、 ϕ 方向に平面波を入射すると、この軸上で得られる散乱電界 $u_{s,\phi}(X)$ は、次のように表される。

$$u_{s,\phi}(X) = -\frac{j k^2 u_0}{4\pi} \int_{-k}^k d\alpha \iint_V dX_0 dY_0 \times \frac{1}{\beta} \exp[-j(\alpha X + \beta Y)] \times g(X_0, Y_0) \exp[j(\alpha X_0 + (\beta - k)Y_0)] \quad (2)$$

(2)式の2重積分は、物体関数の2次元フーリエ変換の形をしているのでこれを $F(\alpha, \beta - k)$ とし、さらに $u_{s,\phi}(X)$ のフーリエ変換を $U_{s,\phi}(\omega)$ とする。

$$U_{s,\phi}(\omega) = -\frac{j k^2 u_0}{2} \frac{1}{\sqrt{k^2 - \omega^2}} \exp(-j\sqrt{k^2 - \omega^2} l) \times F(\omega, \sqrt{k^2 - \omega^2} - k) \quad (3)$$

次に $F(\Omega, \theta)$ を物体関数 $f(x, y)$ の2次元フーリエ

変換とすると次のように表される。

$$f(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\pi}^{\pi} d\theta \int_0^l d\Omega F(\Omega, \theta) \times \exp[-j\Omega(x \cos \theta + y \sin \theta)] \quad (4)$$

(4)式に(3)式を代入し各変数間の関係を使うと、次のフィルタ補正逆伝搬法の式を得る。

$$f(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\pi}^{\pi} d\phi \int_{-k}^k d\omega \frac{-1}{j k u_0} \exp(j k l) U_{s,\phi}(\omega) \times |\omega| \exp\left[j\left(\sqrt{k^2 - \omega^2} - k\right)(l - \eta)\right] \times \exp(-j\omega \xi) \quad (5)$$

3. 実験

本研究では散乱電界を得るためにネットワークアナライザ (HP8720C) を使用した。またアンテナにはホーンアンテナを用い、ステップモータにより走査を行った。実験条件は測定距離63.5cm、測定間隔0.5cm、測定点数128点、測定周波数15.0GHz、受信アンテナ開口面と座標原点間の距離50cmとする。

実験では解析に必要な散乱電界を得るために、物体がある場合の全電界とない場合の入射電界の2回行い、全電界から入射電界を引くことにより散乱電界を得る。この操作は、不要な壁の反射やシステムによるノイズを同時に除去する効果もある。

理論では物体を360度回転させ全ての方向からのデータを取得し再構成を行うが、我々はこれまで、円柱対を用いることにより、その対称性を利用して1回の測定で360度全て同じ値が得られるとし、それに対する実験による再構成が可能であることを既に報告した。

しかし実際、対象物体が軸対称であることは、まれである。そこで任意形状物体の再構成が必要とされる。ここでは、ターンテーブルを用いることにより360度全ての方向からの測定を可能とした。ターンテーブルの回転角を4.5度、回転回数を80回として測定を行った。対象物体は比誘電率

1.15, 直径10.4cm, 高さ34.5cmの物体を2つ置いた。再構成結果を図2に示す。横軸はアンテナ走査方向, 縦軸は距離方向で, 色の濃淡で比誘電率の大きさを表す。この図の中心を通るように縦に切り取った断面図を図3に示す。図2から中心付近に物体が2つあることが確認でき, 図3からその比誘電率, 直径ともに物体の状態が再構成されている。これにより, ターンテーブルを用いることにより任意形状物体も再構成できることが確認できた。

4. むすび

これまであまり行われてこなかったDiffraction Tomography実験において, ターンテーブルを用いることにより任意形状物体の再構成も可能であることが確認できた。しかし任意形状物体の再構成において物体以外にもピークが見られる。これは物体形状が複雑であるため, 1次の散乱のみを考慮している1次Born近似の適用が困難になっているためと思われる。そのため今後, 高次散乱を考慮した再構成法の理論的検討が必要である。

参考文献

- [1] A. J. Devaney, "A Filtered Backpropagation Algorithm For Diffraction Tomography," *Ultrason. Imaging*, vol. 4, pp. 336-350, 1982.
- [2] A. J. Devaney, "A Computer Simulation Study of Diffraction Tomography," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-30, no. 7, 1983.
- [3] 猪又, 山口, 山田, "偏波を考慮したDiffraction Tomographyにおける再構成," *信学論 (B-II)*, vol. J79-B-II, no.5, pp. 302-305, 1996-5.
- [4] 猪又, 山口, 山田, "逆伝搬法を用いた物体の再構成実験について," *信学技法, SANE* 95-74, Oct. 1995.

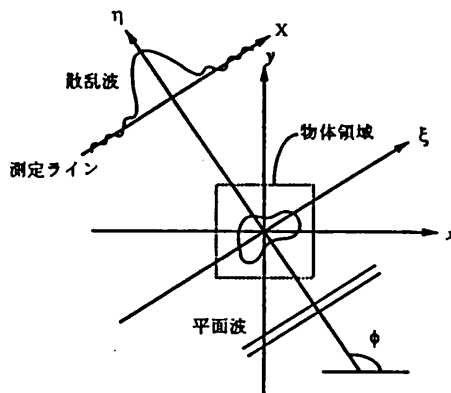


図1 測定環境の座標系

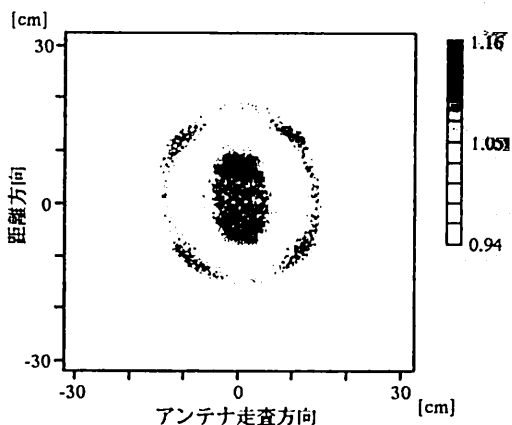


図2 再構成図 (任意形状物体)

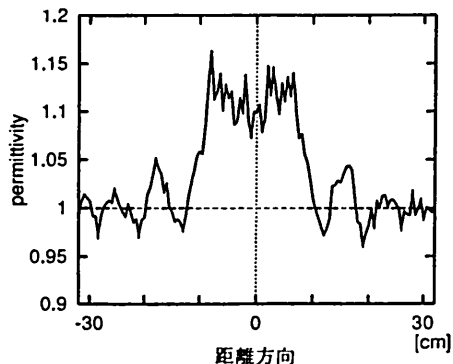


図3 図2の断面図 (任意形状物体)