

請求の範囲

[請求項1] 物体の外部から前記物体の内部へ電波を送信する送信アンテナ素子と、

前記物体の内部へ送信された前記電波の散乱波を前記物体の外部で受信する受信アンテナ素子と、

前記受信アンテナ素子で受信された前記散乱波を示す計測データを用いて、前記物体の内部を示す画像を生成する情報処理回路とを備え、

前記情報処理回路は、

前記電波の送信位置及び前記散乱波の受信位置が入力されて前記受信位置における前記散乱波の量が出力される散乱場関数が解である方程式を満たす関係式を、前記計測データを用いて導出し、

前記関係式を用いて、前記画像を生成するための関数であり、デバィ緩和に従って前記電波の周波数変化と前記物体の誘電率変化との対応関係を示すパラメータが反映された関数である画像関数を導出し、

前記画像関数を用いて、前記画像を生成する

散乱トモグラフィ装置。

[請求項2] X座標、Y座標及びZ座標で構成される3次元空間において、前記送信アンテナ素子の配置位置のX座標は、前記受信アンテナ素子の配置位置のX座標と同じであり、

前記散乱場関数は、

[数1]

$$\phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, \omega) = \iint_D \frac{e^{ik_1 \rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik_2 \rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

$$\rho_1 = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z_1 - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z_2 - \zeta)^2}$$

で定められ、 x は、前記送信位置及び前記受信位置のX座標を表し、 y_1 は、前記送信位置のY座標を表し、 y_2 は、前記受信位置のY座

標を表し、 z_1 は、前記送信位置のZ座標を表し、 z_2 は、前記受信位置のZ座標を表し、 ω は、前記電波の角周波数を表し、 D は、前記電波を反射することにより前記散乱波を生じさせる物質を含む領域を表し、 ξ は、前記領域内の位置のX座標を表し、 η は、前記領域内の位置のY座標を表し、 ζ は、前記領域内の位置のZ座標を表し、 ε (ξ , η , ζ)は、反射率を表し、 i は、虚数単位を表し、 k は、前記電波の波数を表す

請求項1に記載の散乱トモグラフィ装置。

[請求項3] 前記方程式は、

[数2]

$$\left[\frac{1}{4} \Delta_5^2 - (ik)^2 \partial_x^2 - (\partial_{y_1}^2 + \partial_{z_1}^2)(\partial_{y_2}^2 + \partial_{z_2}^2) \right] \phi = 0$$

$$\Delta_5 = \partial_x^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_{z_1}^2 + \partial_{z_2}^2$$

で定められる

請求項2に記載の散乱トモグラフィ装置。

[請求項4] 前記関係式は、

[数3]

$$\phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, k)$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{i s_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}) z_1} e^{i s_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}) z_2} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2}$$

で定められ、 k_x は、前記散乱場関数のxに関する波数を表し、 k_{y_1} は、前記散乱場関数の y_1 に関する波数を表し、 k_{y_2} は、前記散乱場関数の y_2 に関する波数を表し、 $a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$ は、

[数4]

$$a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = \sum_{I, J} a_{I, J}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

$$= \sum_{I, J} e^{i(k_{y_1} y_1 - k_{y_2} y_2)} e^{-i s_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}) z_1} e^{-i s_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}) z_2} \Phi(k_x, y_1, y_2, k)$$

で定められ、 I は、前記送信アンテナ素子が存在する前記送信位置のインデックスを表し、 J は、前記受信アンテナ素子が存在する前記受信位置のインデックスを表し、 y_1 は、前記送信アンテナ素子が存在

する前記送信位置のY座標を表し、 y_j は、前記受信アンテナ素子が存在する前記受信位置のY座標を表し、 $a_{i,j}(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k)$ は、 k_x 、 k_{y1} 、 k_{y2} 及び k における前記計測データで定められる係数を表し、 $\Phi(k_x, y_i, y_j, k)$ は、 k_x 、 y_i 、 y_j 及び k における前記計測データを表す

請求項3に記載の散乱トモグラフィ装置。

[請求項5]

前記画像関数は、

[数5]

$$\begin{aligned} \rho(x, y, z) &= \int_{-\infty}^{\infty} \lim_{y_1 \rightarrow y_2 = y} [\phi(x, y_1, y_2, z, k)] d\omega \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} e^{ik_z z} a(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k) \left(\frac{dk}{dk_z} \right) \left(\frac{d\omega}{dk} \right) dk_x dk_{y1} dk_{y2} dk_z \end{aligned}$$

で定められ、前記画像関数の x は、前記画像のX座標を表し、前記画像関数の y は、前記画像のY座標を表し、前記画像関数の z は、前記画像のZ座標を表し、前記画像関数における被積分関数に含まれる変数は、

[数6]

$$\begin{aligned} k_z &= \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2} \right)^2 - k_x^2} \\ k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + \frac{(k_{y1}^2 - k_{y2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2} + 2(k_{y1}^2 + k_{y2}^2)} \\ \frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\ \omega &= \sqrt{\frac{-(a+b-c_0^2 \alpha k^2) + \sqrt{(a+b-c_0^2 \alpha k^2)^2 + 4a\alpha c_0^2 k^2}}{2a\alpha}} \\ \frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2a\alpha \omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \end{aligned}$$

で定められ、 c_0 は、真空中の前記電波の伝搬速度を表し、 a 、 b 及び α は、前記パラメータを表す

請求項4に記載の散乱トモグラフィ装置。

[請求項6]

前記情報処理回路は、前記送信アンテナ素子の配置位置及び前記受信アンテナ素子の配置位置で得られる前記計測データを前記送信アン

テナ素子の配置位置と前記受信アンテナ素子の配置位置とを入れ替えて得られるデータとしても用いて、前記画像を生成する

請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の散乱トモグラフィ装置。

[請求項7]

前記散乱トモグラフィ装置は、前記受信アンテナ素子を複数備え、前記情報処理回路は、前記散乱トモグラフィ装置が備える複数の受信アンテナ素子のそれぞれで受信された前記散乱波を示す前記計測データを用いて、前記画像を生成する

請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の散乱トモグラフィ装置。

[請求項8]

前記送信アンテナ素子と前記複数の受信アンテナ素子とは、一列に並び、

前記送信アンテナ素子は、前記送信アンテナ素子と前記複数の受信アンテナ素子とが並ぶ前記一列の端に位置し、

前記送信アンテナ素子と、前記複数の受信アンテナ素子のセットとの間に、電波吸収材が配置される

請求項 7 に記載の散乱トモグラフィ装置。

[請求項9]

X 座標、Y 座標及び Z 座標で構成される 3 次元空間において、前記送信アンテナ素子の配置位置の X 座標、Y 座標及び Z 座標は、それぞれ、前記受信アンテナ素子の配置位置の X 座標、Y 座標及び Z 座標と同じであり、

前記散乱場関数は、

[数7]

$$\phi(x, y, z, k) = \iint_D \frac{e^{ik\rho}}{\rho} \frac{e^{ik\rho}}{\rho} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

$$\rho = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

で定められ、 x は、前記送信位置及び前記受信位置の X 座標を表し、 y は、前記送信位置及び前記受信位置の Y 座標を表し、 z は、前記送信位置及び前記受信位置の Z 座標を表し、 D は、前記電波を反射することにより前記散乱波を生じさせる物質を含む領域を表し、 ξ は、前

記領域内の位置のX座標を表し、 η は、前記領域内の位置のY座標を表し、 ζ は、前記領域内の位置のZ座標を表し、 ε (ξ , η , ζ)は、反射率を表し、 i は、虚数単位を表し、 k は、前記電波の波数を表す

請求項1に記載の散乱トモグラフィ装置。

[請求項10] 前記方程式は、

[数8]

$$(\partial_x^2 + \partial_y^2 + \partial_z^2 + 4k^2)\phi = 0$$

で定められる

請求項9に記載の散乱トモグラフィ装置。

[請求項11] 前記関係式は、

[数9]

$$\phi(x, y, z, k) = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ik_x x - ik_y y} a(k_x, k_y, k) e^{iz\sqrt{4k^2 - k_x^2 - k_y^2}} dk_x dk_y$$

で定められ、 k_x は、前記散乱場関数のxに関する波数を表し、 k_y は、前記散乱場関数のyに関する波数を表し、 $a(k_x, k_y, k)$ は、

[数10]

$$\begin{aligned} a(k_x, k_y, k) &= \sum_I e^{ik_x x_I} e^{-ik_z z_I} \tilde{\Phi}(x_I, k_y, k) \\ &= \sum_I e^{ik_x x_I} e^{-ik_z f(x_I)} \tilde{\Phi}(x_I, k_y, k) \end{aligned}$$

で定められ、 I は、前記送信アンテナ素子及び前記受信アンテナ素子が存在する前記送信位置及び前記受信位置のインデックスを表し、 x_I は、前記送信アンテナ素子及び前記受信アンテナ素子が存在する前記送信位置及び前記受信位置のX座標を表し、 z_I 及び $f(x_I)$ は、前記送信アンテナ素子及び前記受信アンテナ素子が存在する前記送信位置及び前記受信位置のZ座標を表し、

[数11]

$$\tilde{\Phi}(x_I, k_y, k)$$

は、 x_I 、 k_y 及び k における前記計測データを表す

請求項10に記載の散乱トモグラフィ装置。

[請求項12]

前記画像関数は、

[数12]

$$\begin{aligned} \rho(x, y, z) &= \frac{1}{(2\pi)^2} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x - k_y y)} a(k_x, k_y, k) e^{ik_z z} dk_x dk_y d\omega \\ &= \frac{1}{(2\pi)^2} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{i(k_x x + k_y y) + ik_z z} \left\{ \sum_I e^{ik_x x_I} e^{-ik_z f(x_I)} \tilde{\Phi}(x_I, k_y, k) \right\} \frac{d\omega}{dk} \frac{dk}{dk_z} dk_x dk_y dk_z \end{aligned}$$

で定められ、前記画像関数の x は、前記画像の X 座標を表し、前記画像関数の y は、前記画像の Y 座標を表し、前記画像関数の z は、前記画像の Z 座標を表し、前記画像関数における被積分関数に含まれる変数は、

[数13]

$$\begin{aligned} k_z &= \sqrt{4k^2 - k_x^2 - k_y^2} \\ k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2} \\ \frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z}{4k} \\ \omega &= \sqrt{\frac{-(a+b-c_0^2 \alpha k^2) + \sqrt{(a+b-c_0^2 \alpha k^2)^2 + 4a\alpha c_0^2 k^2}}{2a\alpha}} \\ \frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2a\alpha \omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \end{aligned}$$

で定められ、 c_0 は、真空中の前記電波の伝搬速度を表し、 a 、 b 及び α は、前記パラメータを表す

請求項11に記載の散乱トモグラフィ装置。

[請求項13]

前記散乱トモグラフィ装置は、前記送信アンテナ素子を複数備え、かつ、前記受信アンテナ素子を複数備え、

前記散乱トモグラフィ装置が備える複数の送信アンテナ素子は、それぞれ、前記電波の複数の偏波方向に対応し、

前記散乱トモグラフィ装置が備える複数の受信アンテナ素子は、それぞれ、前記電波の前記複数の偏波方向に対応する

請求項 1 に記載の散乱トモグラフィ装置。

[請求項14] 前記パラメータは、前記電波の複数の周波数に対して前記物体と同種の物体の複数の誘電率を計測することで定められる

請求項 1 ～ 1 3 のいずれか 1 項に記載の散乱トモグラフィ装置。

[請求項15] 前記電波は、パルス波である

請求項 1 ～ 1 4 のいずれか 1 項に記載の散乱トモグラフィ装置。

[請求項16] 送信アンテナ素子によって、物体の外部から前記物体の内部へ電波を送信するステップと、

受信アンテナ素子によって、前記物体の内部へ送信された前記電波の散乱波を前記物体の外部で受信するステップと、

前記受信アンテナ素子で受信された前記散乱波を示す計測データを用いて、前記物体の内部を示す画像を生成するステップとを含み、

前記画像を生成するステップでは、

前記電波の送信位置及び前記散乱波の受信位置が入力されて前記受信位置における前記散乱波の量が出力される散乱場関数が解である方程式を満たす関係式を、前記計測データを用いて導出し、

前記関係式を用いて、前記画像を生成するための関数であり、デバイ緩和に従って前記電波の周波数変化と前記物体の誘電率変化との対応関係を示すパラメータが反映された関数である画像関数を導出し、

前記画像関数を用いて、前記画像を生成する

散乱トモグラフィ方法。