



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I872093 B

(45)公告日：中華民國 114 (2025) 年 02 月 11 日

(21)申請案號：109125432

(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 07 月 28 日

(51)Int. Cl. : **G06F17/13 (2006.01)**
A61B10/00 (2006.01)**G01R23/02 (2006.01)**

(30)優先權：2019/08/01 日本

2019-142379

(71)申請人：日商積分幾何科學股份有限公司 (日本) INTEGRAL GEOMETRY SCIENCE INC.
(JP)

日本

(72)發明人：木村建次郎 KIMURA, KENJIRO (JP) ; 木村憲明 KIMURA, NORIAKI (JP)

(74)代理人：劉法正；尹重君

(56)參考文獻：

TW 201313193A

CN 106456137A

CN 108471979A

US 2006/0241409A1

審查人員：黃偉程

申請專利範圍項數：15 項 圖式數：20 共 74 頁

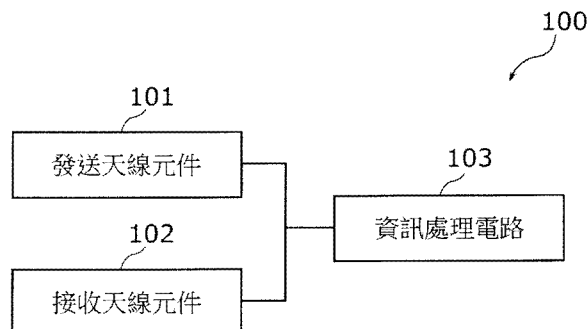
(54)名稱

散射斷層掃描裝置及散射斷層掃描方法

(57)摘要

一種散射斷層掃描裝置，具備：發送天線元件，將電波從物體的外部往物體的內部發送；接收天線元件，在物體的外部接收已往物體的內部發送之電波的散射波；及資訊處理電路，使用顯示已在接收天線元件所接收到的散射波之計測資料來生成顯示物體的內部之圖像，資訊處理電路進行以下程序：使用計測資料來導出滿足散射場函數為解的方程式之關係式；使用關係式來導出圖像函數，前述圖像函數是反映出以下參數之函數：依照德拜鬆弛(Debye relaxation)來顯示電波的頻率變化與物體的介電常數變化之對應關係的參數；及使用圖像函數來生成圖像。

指定代表圖：



符號簡單說明：

100:散射斷層掃描裝置

101:發送天線元件

102:接收天線元件

103:資訊處理電路

【圖19】



公告本

I872093

【發明摘要】

【中文發明名稱】

散射斷層掃描裝置及散射斷層掃描方法

【中文】

一種散射斷層掃描裝置，具備：發送天線元件，將電波從物體的外部往物體的內部發送；接收天線元件，在物體的外部接收已往物體的內部發送之電波的散射波；及資訊處理電路，使用顯示已在接收天線元件所接收到的散射波之計測資料來生成顯示物體的內部之圖像，資訊處理電路進行以下程序：使用計測資料來導出滿足散射場函數為解的方程式之關係式；使用關係式來導出圖像函數，前述圖像函數是反映出以下參數之函數：依照德拜鬆弛(Debye relaxation)來顯示電波的頻率變化與物體的介電常數變化之對應關係的參數；及使用圖像函數來生成圖像。

【指定代表圖】 圖19

【代表圖之符號簡單說明】

100:散射斷層掃描裝置

101:發送天線元件

102:接收天線元件

103:資訊處理電路

【特徵化學式】

(無)

【發明說明書】

【中文發明名稱】

散射斷層掃描裝置及散射斷層掃描方法

【技術領域】

【0001】 本揭示是有關於一種使用電波的散射波來生成顯示物體的內部之圖像的散射斷層掃描裝置等。

【先前技術】

【0002】 作為有關於使用電波的散射波來生成顯示物體的內部之圖像的散射斷層掃描裝置等之技術，有專利文獻1、專利文獻2及專利文獻3所記載之技術。

【0003】 例如，在專利文獻1所記載的技術中，將從微波送出器所送出的波束入射至檢查對象，並藉由微波檢測器來檢測已散射之波束的振幅及相位。並且，可從微波檢測器的輸出訊號來計算介電常數的分布，而進行檢查對象中的斷層的像顯示。

先前技術文獻

專利文獻

【0004】 專利文獻1：日本特開昭62-66145號公報

專利文獻2：國際公開第2014/125815號公報

專利文獻3：國際公開第2015/136936號公報

【發明內容】

發明欲解決之課題

【0005】 然而，使用微波等之電波的散射波，並以較高的精度來生成顯示物體的內部之圖像並不容易。

【0006】 具體而言，在物體的內部的狀態為已知的情況下求出相對於入射至物體的電波而計測為散射波的資料即計測資料之作法被稱為順推問題，是較

為容易的。另一方面，在計測資料為已知的情況下求出物體的內部的狀態之作法被稱為反推問題，且較不容易。

【0007】又，入射至物體的電波可能包含多數個頻率成分。若電波的頻率不同，物體中的介電常數會不同，且電波的傳播速度也會不同。亦即，電波具有與複數個頻率成分相對應的複數個傳播速度。因為計測資料會受此影響，所以要從計測資料來求出物體的內部的狀態之作法是困難的。

【0008】於是，本揭示是提供一種可以使用電波的散射波，並以較高的精度來生成顯示物體的內部之圖像的散射斷層掃描裝置等。

用以解決課題之手段

【0009】本揭示的一態樣之散射斷層掃描裝置具備：發送天線元件，將電波從物體的外部往前述物體的內部發送；接收天線元件，在前述物體的外部接收已往前述物體的內部發送之前述電波的散射波；及資訊處理電路，使用顯示已在前述接收天線元件所接收到的前述散射波之計測資料，來生成顯示前述物體的內部之圖像，

前述資訊處理電路進行以下程序：

使用前述計測資料來導出滿足散射場函數為解的方程式之關係式，前述散射場函數是輸入前述電波的發送位置及前述散射波的接收位置來輸出前述接收位置上的前述散射波的量之函數；

使用前述關係式來導出圖像函數，前述圖像函數是用於生成前述圖像之函數，且是反映出以下參數之函數：依照德拜鬆弛(Debye relaxation)來顯示前述電波的頻率變化與前述物體的介電常數變化之對應關係的參數；及

使用前述圖像函數來生成前述圖像。

【0010】再者，這些全面性的或具體的態樣可以藉由系統、裝置、方法、積體電路、電腦程式、或電腦可讀取的CD-ROM等非暫時的記錄媒體來實現，也

可以藉由系統、裝置、方法、積體電路、電腦程式、及記錄媒體的任意組合來實現。

發明效果

【0011】 根據本揭示的一態樣，即成為可使用電波的散射波，並以較高的精度來生成顯示物體的內部之圖像。

【圖式簡單說明】

【0012】 圖1是顯示實施形態中的30°C的水的介電常數之頻率相依性的圖表。

圖2A是顯示實施形態中的對於各頻率之乳房的脂肪組織之相對介電常數的圖表。

圖2B是顯示實施形態中的對於各頻率之乳房的脂肪組織之有效導電率的圖表。

圖3是顯示實施形態中的用於測定切除試料的介電常數之測定裝置的概略圖。

圖4是顯示實施形態中的陣列天線在曲面上掃描來計測散射資料之例子的圖。

圖5是顯示實施形態中的發送天線元件的位置與接收天線元件的位置與物質的位置之關係的示意圖。

圖6是顯示實施形態中的單基地(monostatic)天線在曲面上掃描來計測散射資料之例子的圖。

圖7是顯示實施形態中的發送接收的位置與物質的位置之關係的示意圖。

圖8是顯示實施形態中之多基地陣列雷達(multi-static array radar)的整體系統構成的圖。

圖9是顯示實施形態中的已在直線上或曲線上配置成一排的陣列天線的圖。

圖10是顯示實施形態中的藉由陣列天線所進行之掃描方法的圖。

圖11是顯示實施形態中的藉由陣列天線所進行之掃描方法中的計測點的圖。

圖12是實施形態中的可以就2個偏振方向(direction of polarization)之雙方來計測電波的單基地天線之實現例的圖。

圖13是顯示介電常數耗散較大的情況下之相對介電常數與頻率的關係的圖。

圖14A是顯示 $t=0$ 奈秒下之電波的模擬結果的圖。

圖14B是顯示 $t=0.2$ 奈秒下之電波的模擬結果的圖。

圖14C是顯示 $t=0.4$ 奈秒下之電波的模擬結果的圖。

圖14D是顯示 $t=0.6$ 奈秒下之電波的模擬結果的圖。

圖14E是顯示 $t=0.8$ 奈秒下之電波的模擬結果的圖。

圖15是顯示重構的模擬之計算模型的圖。

圖16A是顯示第1事例之模擬的結果的XY平面圖。

圖16B是顯示第1事例之模擬的結果的立體圖。

圖17A是顯示第2事例之模擬的結果的XY平面圖。

圖17B是顯示第2事例之模擬的結果的立體圖。

圖18A是顯示第3事例之模擬的結果的XY平面圖。

圖18B是顯示第3事例之模擬的結果的立體圖。

圖19是顯示實施形態中的散射斷層掃描裝置的基本構成的方塊圖。

圖20是顯示實施形態中的散射斷層掃描裝置的基本動作的流程圖。

【實施方式】

用以實施發明之形態

【0013】 本揭示的一態樣之散射斷層掃描裝置具備：發送天線元件，將電

波從物體的外部往前述物體的內部發送；接收天線元件，在前述物體的外部接收已往前述物體的內部發送之前述電波的散射波；及資訊處理電路，使用顯示已在前述接收天線元件所接收到的前述散射波之計測資料，來生成顯示前述物體的內部之圖像，前述資訊處理電路進行以下程序：

使用前述計測資料來導出滿足散射場函數為解的方程式之關係式，前述散射場函數是輸入前述電波的發送位置及前述散射波的接收位置來輸出前述接收位置上的前述散射波的量之函數；

使用前述關係式來導出圖像函數，前述圖像函數是用於生成前述圖像之函數，且是反映出以下參數之函數：依照德拜鬆弛來顯示前述電波的頻率變化與前述物體的介電常數變化之對應關係的參數；及

使用前述圖像函數來生成前述圖像。

【0014】 藉此，散射斷層掃描裝置可以依據藉由發送位置及接收位置來顯示散射波的量之散射場函數、與已在接收天線元件所接收到之散射波的計測資料，來導出用於導出圖像函數的關係式。又，在圖像函數中反映有以下參數：顯示電波的頻率變化與物體的介電常數變化之對應關係的參數。從而，散射斷層掃描裝置可以讓頻率變化與介電常數變化的對應關係反映在顯示物體的內部之圖像的生成上。

【0015】 亦即，散射斷層掃描裝置可以使用電波的散射波，並以較高的精度來生成顯示物體的內部之圖像。

【0016】 例如，在以X座標、Y座標及Z座標所構成的3維空間中，前述發送天線元件的配置位置之X座標和前述接收天線元件的配置位置之X座標相同，可將前述散射場函數以下式來規定：

[數式1]

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

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

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

x表示前述發送位置及前述接收位置之X座標，y₁表示前述發送位置之Y座標，y₂表示前述接收位置之Y座標，z₁表示前述發送位置之Z座標，z₂表示前述接收位置之Z座標，ω表示前述電波的角頻率，D表示包含藉由反射前述電波而產生前述散射波的物質之區域，ξ表示前述區域內的位置之X座標，η表示前述區域內的位置之Y座標，ζ表示前述區域內的位置之Z座標，ε(ξ, η, ζ)表示反射率，i表示虛數單位，k表示前述電波的波數。

【0017】 藉此，散射斷層掃描裝置可以依據上述之散射場函數來適當地導出用於導出圖像函數的關係式，其中前述散射場函數是依據發送天線元件的配置位置之X座標為和接收天線元件的配置位置之X座標相同之情形來規定之函數。

【0018】 又，例如，可將前述方程式以下式來規定：

[數式2]

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

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

【0019】 藉此，散射斷層掃描裝置可以依據作為上述之散射場函數為解的方程式而規定的上述之偏微分方程式，來適當地導出用於導出圖像函數的關係式。

【0020】 又，例如，可將前述關係式以下式來規定：

[數式3]

$$\phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, k) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} a(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k) e^{i s_1(k_x, k_{y1}, k_{y2}) z_1} e^{i s_2(k_x, k_{y1}, k_{y2}) z_2} dk_x dk_{y1} dk_{y2},$$

k_x 表示有關於前述散射場函數的 x 之波數， k_{y1} 表示有關於前述散射場函數的 y_1 之波數， k_{y2} 表示有關於前述散射場函數的 y_2 之波數， $a(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k)$ 以下式來規定：

[數式4]

$$a(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k) = \sum_{I, J} a_{I, J}(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k) = \sum_{I, J} e^{i(k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-i s_1(k_x, k_{y1}, k_{y2}) z_I} e^{-i s_2(k_x, k_{y1}, k_{y2}) z_J} \Phi(k_x, y_I, y_J, k),$$

I 表示前述發送天線元件所存在的前述發送位置的索引， J 表示前述接收天線元件所存在的前述接收位置的索引， y_I 表示前述發送天線元件所存在的前述發送位置之 Y 座標， y_J 表示前述接收天線元件所存在的前述接收位置之 Y 座標， $a_{i, j}(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k)$ 表示以 k_x 、 k_{y1} 、 k_{y2} 及 k 中的前述計測資料所規定之係數， $\Phi(k_x, y_I, y_J, k)$ 表示 k_x 、 y_I 、 y_J 及 k 中的前述計測資料。

【0021】 藉此，散射斷層掃描裝置可以依據上述之關係式來適當地導出圖像函數，且前述關係式藉由與發送天線元件所存在的發送位置及接收天線元件所存在的接收位置相對應的計測資料來規定。

【0022】 又，例如，可將前述圖像函數以下式來規定：

[數式5]

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

前述圖像函數的 x 表示前述圖像之 X 座標，前述圖像函數的 y 表示前述圖像之

Y座標，前述圖像函數的z表示前述圖像之Z座標，前述圖像函數中的包含於被積分函數的變數是以下式來規定：

[數式6]

$$k_z = \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - k_x^2}$$

$$k = \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2} + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2)}$$

$$\frac{dk}{dk_z} = \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{-(a+b-c_0^2 \alpha k^2) + \sqrt{(a+b-c_0^2 \alpha k^2)^2 + 4a\alpha c_0^2 k^2}}{2a\alpha}}$$

$$\frac{d\omega}{dk} = \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2a\alpha \omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2},$$

c_0 表示真空中的前述電波的傳播速度， a 、 b 及 α 表示前述參數。

【0023】 藉此，散射斷層掃描裝置可以使用上述之圖像函數來適當地生成圖像，且前述圖像函數反映了顯示電波的頻率變化與物體的介電常數變化之對應關係的參數。

【0024】 又，例如，前述資訊處理電路將以前述發送天線元件的配置位置及前述接收天線元件的配置位置所得到的前述計測資料，也作為將前述發送天線元件的配置位置與前述接收天線元件的配置位置調換而得到的資料來使用，並生成前述圖像。

【0025】 藉此，散射斷層掃描裝置可以變更發送天線元件的配置位置及接收天線元件的配置位置，來使取得計測資料的次數減少。

【0026】 又，例如，前述散射斷層掃描裝置具備複數個前述接收天線元件，且前述資訊處理電路使用顯示前述散射斷層掃描裝置所具備的複數個接收天線元件的每一個所接收到的前述散射波的前述計測資料，來生成前述圖像。

【0027】 藉此，散射斷層掃描裝置可以對於1個發送位置上的1次發送，取

得複數個接收位置上的計測資料。從而，散射斷層掃描裝置可以減少發送次數，且可以減少接收位置的變更改數。

【0028】 又，例如，可將前述發送天線元件與前述複數個接收天線元件排列成一排，讓前述發送天線元件位於前述發送天線元件與前述複數個接收天線元件所排列的前述一排的一端，並可在前述發送天線元件與前述複數個接收天線元件的集合之間配置電波吸收材。

【0029】 藉此，構成為可在直線上或曲線上配置發送裝置及複數個接收天線元件。因此，可抑制計算處理的複雜化以及掃描的複雜化。又，可藉由電波吸收材來抑制電波未入射至物體而從發送天線元件直接朝向接收天線元件之情形。

【0030】 又，例如，在以X座標、Y座標及Z座標所構成的3維空間中，前述發送天線元件的配置位置之X座標、Y座標及Z座標，是分別和前述接收天線元件的配置位置之X座標、Y座標及Z座標相同，且可將前述散射場函數以下式來規定：

[數式7]

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

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

x表示前述發送位置及前述接收位置之X座標，y表示前述發送位置及前述接收位置之Y座標，z表示前述發送位置及前述接收位置之Z座標，D表示包含藉由反射前述電波而產生前述散射波的物質之區域，ξ表示前述區域內的位置之X座標，η表示前述區域內的位置之Y座標，ζ表示前述區域內的位置之Z座標，ε(ξ, η, ζ)表示反射率，i表示虛數單位，k表示前述電波的波數。

【0031】 藉此，散射斷層掃描裝置可以依據上述之散射場函數來適當地導

出用於導出圖像函數的關係式，其中前述散射場函數依據發送天線元件的配置位置為和接收天線元件的配置位置相同之情形來規定。

【0032】又，例如，可將前述方程式以下式來規定：

[數式8]

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

【0033】藉此，散射斷層掃描裝置可以依據作為上述之散射場函數為解的方程式而規定的上述之偏微分方程式，來適當地導出用於導出圖像函數的關係式。

【0034】又，例如，可將前述關係式以下式來規定：

[數式9]

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

k_x 表示有關於前述散射場函數的x之波數， k_y 表示有關於前述散射場函數的y之波數， $a(k_x, k_y, k)$ 是以下式來規定：

[數式10]

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

I表示前述發送天線元件及前述接收天線元件所存在之前述發送位置及前述接收位置的索引， x_I 表示前述發送天線元件及前述接收天線元件所存在之前述發送位置及前述接收位置之X座標， z_I 及 $f(x_I)$ 表示前述發送天線元件及前述接收天線元件所存在之前述發送位置及前述接收位置之Z座標，

[數式11]

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

表示 x_I 、 k_y 、及 k 中的前述計測資料。

【0035】 藉此，散射斷層掃描裝置可以依據上述之關係式來適當地導出圖像函數，且前述關係式藉由與發送天線元件所存在的發送位置及接收天線元件所存在的接收位置相對應的計測資料來規定。

【0036】 又，例如，可將前述圖像函數以下式來規定：

[數式12]

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

前述圖像函數的 x 表示前述圖像之 X 座標，前述圖像函數的 y 表示前述圖像之 Y 座標，前述圖像函數的 z 表示前述圖像之 Z 座標，前述圖像函數中的包含於被積分函數的變數是以下式來規定：

[數式13]

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

c_0 表示真空中的前述電波的傳播速度， a 、 b 及 α 表示前述參數。

【0037】 藉此，散射斷層掃描裝置可以使用上述之圖像函數來適當地生成圖像，且前述圖像函數反映了顯示電波的頻率變化與物體的介電常數變化之對應關係的參數。

【0038】 又，例如，前述散射斷層掃描裝置具備複數個前述發送天線元件，

並且具備複數個前述接收天線元件，前述散射斷層掃描裝置所具備的複數個發送天線元件分別對應於前述電波的複數個偏振方向，前述散射斷層掃描裝置所具備的複數個接收天線元件是分別對應於前述電波的前述複數個偏振方向。

【0039】 藉此，散射斷層掃描裝置可以依據複數個偏振方向來進行發送及接收。從而，散射斷層掃描裝置可以取得對應於偏振方向的資訊。

【0040】 又，例如，前述參數是藉由以下來規定：對前述電波的複數個頻率，來計測和前述物體同種的物體的複數個介電常數。

【0041】 藉此，散射斷層掃描裝置可以依據參數來適當地生成圖像，其中前述參數已作為顯示電波的頻率變化與物體的介電常數變化之對應關係的參數而適當地規定。

【0042】 又，例如，前述電波為脈衝波。

【0043】 藉此，散射斷層掃描裝置可以使用具有多數個頻率成分的脈衝波，並以較高的精度來生成顯示物體的內部之圖像。

【0044】 又，例如，本揭示的一態樣之散射斷層掃描方法包含以下步驟：

藉由發送天線元件來將電波從物體的外部往前述物體的內部發送；

藉由接收天線元件而在前述物體的外部接收已往前述物體的內部發送之前述電波的散射波；及

使用顯示已在前述接收天線元件所接收到的前述散射波之計測資料，來生成顯示前述物體的內部之圖像，

在生成前述圖像的步驟中進行以下程序：

使用前述計測資料來導出滿足散射場函數為解的方程式之關係式，前述散射場函數是輸入前述電波的發送位置及前述散射波的接收位置來輸出前述接收位置上的前述散射波的量之函數；

使用前述關係式來導出圖像函數，前述圖像函數是用於生成前述圖像之函

數，且是反映出以下參數之函數：依照德拜鬆弛來顯示前述電波的頻率變化與前述物體的介電常數變化之對應關係的參數；及

使用前述圖像函數來生成前述圖像。

【0045】 藉此，可成為可依據藉由發送位置及接收位置來顯示散射波之量之散射場函數、與已在接收天線元件所接收到之散射波的計測資料，來導出用於導出圖像函數的關係式。又，在圖像函數中反映有顯示電波的頻率變化與物體的介電常數變化之對應關係的參數。從而，成為可讓頻率變化與介電常數變化的對應關係反映在顯示物體的內部之圖像的生成上。

【0046】 亦即，成為可使用電波的散射波，並以較高的精度來生成顯示物體的內部之圖像。

【0047】 以下，利用圖式來說明實施形態。再者，以下所說明之實施形態是顯示總括性的或具體性的例子。以下實施形態所示的數值、形狀、材料、構成要素、構成要素的配置位置及連接形態、步驟、步驟的順序等，都只是一個例子，其主旨並非用來限定申請專利範圍。

【0048】 (實施形態)

本實施形態中的散射斷層掃描裝置是使用電波的散射波來生成顯示物體的內部之圖像。以下，對本實施形態中的散射斷層掃描裝置，將成為其基礎的技術及理論也包含在內來詳細地進行說明。再者，在以下，雖然主要是設想微波乳房攝影(mammography)，而在電波所用的是微波，且在物體所用的是乳房，但是適用領域並非限定於微波乳房攝影，亦可使用和微波不同的電波、以及和乳房不同的物體。

【0049】 <I 介電常數的頻率相依性>

首先，說明對由散射斷層掃描裝置所使用的電波造成影響之介電常數的頻率相依性。電磁學中的馬克士威方程式是如以下的式(1-1)來表現。

【0050】 [數式14]

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\partial_t \mathbf{B}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \partial_t \mathbf{D}$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

$$\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$$

...(1-1)

【0051】 在此， \mathbf{E} 表示電場， \mathbf{B} 表示磁通密度， t 表示時間， \mathbf{H} 表示磁場， \mathbf{j} 表示電流， \mathbf{D} 表示電通密度， μ 表示導磁率， ε 表示介電常數。在此，基本上是考察在活體等之介電體中傳播的波動(電波)。因此，雖然介電常數會變化，但是導磁率是和真空中之值相等。從而，介電常數、導磁率及電流可如以下的式(1-2)來表現。

【0052】 [數式15]

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

$$\mu = \mu_0 \text{ (真空中之值)}$$

$$\mathbf{j} = 0$$

...(1-2)

【0053】 在此， ε_0 表示真空中的介電常數。 ε_r 表示相對介電常數。 μ_0 表示真空中的導磁率。藉由以上的式(1-1)及(1-2)，可得到以下的式(1-3)。

【0054】 [數式16]

$$-\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} = \mu_0 \varepsilon \partial_t^2 \mathbf{E}$$

...(1-3)

【0055】 接著，考慮1維的波。若將波的傳播方向設為x軸，且將電場(\mathbf{E})的方向設為y軸方向時，因為 $\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$ 會成立，所以可從式(1-3)得到以下的式(1-4)。

【0056】 [數式17]

$$\Delta \mathbf{E} = \mu_0 \varepsilon \partial_t^2 \mathbf{E}$$

...(1-4)

【0057】若將電場(E)的y方向成分設為 $\phi(t, x)$ 時，可得到顯示有關於1維的波的波動方程式之以下的式(1-5)。亦即，可依據馬克士威方程式來得到波動方程式。

【0058】 [數式18]

$$\partial_t^2 \phi(t, x) - \frac{1}{\mu_0 \epsilon} \partial_x^2 \phi(t, x) = 0$$

...(1-5)

【0059】例如，若考慮解析度及穿透距離時，使用於微波乳房攝影的頻帶為1GHz~20GHz。但是，在此區域中，以較大的比率構成活體的水會引發介電耗散。

【0060】圖1是顯示介電常數的頻率相依性的圖表，且是顯示在30°C的水的德拜(Debye)鬆弛。在圖1中， ϵ_r' 表示複介電常數的實部， ϵ_r'' 表示複介電常數的虛部。當頻率變高時，介電常數會下降。

【0061】圖2A及圖2B是顯示乳房的脂肪組織中的介電耗散。具體而言，圖2A是顯示對於各頻率之乳房的脂肪組織之相對介電常數，圖2B是顯示對於各頻率之乳房的脂肪組織之有效導電率。

【0062】例如，和1~5GHz的區域相較之下，在14~20GHz的區域中，介電常數會成為大約60%之值。介電常數的頻率相依性可依照德拜鬆弛，而表現為如以下的式(1-6)、(1-7)、(1-8)及(1-9)。

【0063】 [數式19]

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + i\omega\tau}$$

$$\epsilon(0) = \epsilon_s$$

$$\epsilon(\infty) = \epsilon_\infty$$

...(1-6)

【0064】 [數式20]

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_{\infty} + \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty})}{1 + \omega^2 \tau^2} - i \frac{\omega \tau (\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty})}{1 + \omega^2 \tau^2}$$

$$\varepsilon_r(\omega) = \varepsilon_{\infty} + \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty})}{1 + \omega^2 \tau^2} = a + \frac{b}{1 + \alpha \omega^2}$$

...(1-7)

【0065】 [數式21]

$$c(\omega) = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_r(\omega)}}$$

$$\omega = c(\omega)k$$

...(1-8)

【0066】 [數式22]

$$\omega = \frac{c_0 k}{\sqrt{a + \frac{b}{1 + \alpha \omega^2}}}$$

...(1-9)

【0067】 在此， ω 表示角頻率。 $\varepsilon(\omega)$ 表示 ω 中的複介電常數。 i 表示虛數單位。 τ 表示鬆弛時間。 $\varepsilon_r(\omega)$ 表示 ω 中的複介電常數的實部。 a 、 b 及 α 表示常數。 $c(\omega)$ 表示 ω 中的傳播速度。 c_0 表示真空中的傳播速度。 k 表示波數。如式(1-8)所示，傳播速度是相依於介電常數，且介電常數是相依於頻率(角頻率)。從而，傳播速度是相依於頻率(角頻率)。

【0068】 以 f 來表現頻率的情況下， $\omega = 2\pi f$ 會成立。若針對 f 來解式(1-9)，可得到以下的式(1-10)。

【0069】 [數式23]

$$f = \frac{1}{2\pi} \omega = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{-(a+b-c_0^2 \alpha k^2) + \sqrt{(a+b-c_0^2 \alpha k^2)^2 + 4a\alpha c_0^2 k^2}}{2a\alpha}}$$

...(1-10)

【0070】 又，當以 $\omega = 2\pi f$ 所規定的頻率為固定時，波動方程式可表現為如以下的式(1-11)。

【0071】 [數式24]

$$(\partial_x^2 + \partial_y^2 + \partial_z^2)\phi(t, x, y, z) - \frac{1}{c(\omega)^2} \partial_t^2 \phi(t, x, y, z) = 0$$

...(1-11)

【0072】 在此， x 、 y 、及 z 表示座標位置。 $\phi(t, x, y, z)$ 表示 t 、 x 、 y 及 z 中的振動之位移。

【0073】 但是，在有介電耗散的情況下，要將非固定頻率的波動表示為1個波動方程式的解是困難的。這是由於必須同時地考慮成為介電耗散的原因之分子(偶極子)的運動。例如，在微波乳房攝影中，可使用具有多數個頻率成分之脈衝波。為了得到高精度的資料，細尖的波形的脈衝波會較實用。然而，因為多數個頻率成分以各種傳播速度來傳播，所以波形會變得較和緩。從而，要得到高精度的資料會變得困難。

【0074】 於是，使用空間的波數 k 來表示頻率 f 的式(1-10)，會在用於解出有介電耗散的介質內的逆散射問題中發揮重要的作用。又，式(1-7)中的 a 、 b 及 α ，更具體而言為德拜模型的參數，且表示頻率變化與介電常數變化之對應關係的參數。此參數可藉由在事前對各頻率來測定和檢查對象物同種之試料的介電常數而特定。

【0075】 圖3是顯示用於測定切除試料的介電常數之測定裝置。圖3所示的測定裝置300是用於實際地測定介電常數的頻率相依性的裝置，並且具備向量網路分析器301、電腦302、及介電常數測定用探針306等。

【0076】 向量網路分析器301與電腦302是透過 GPIB (General Purpose

Interface Bus，通用界面匯流排)纜線303來連接。向量網路分析器301與介電常數測定用探針306是透過高頻同軸纜線304來連接。

【0077】 例如，可使用同軸型的介電常數測定用探針306來測定在外科手術中得到的切除試料305。介電常數測定用探針306是連接於向量網路分析器301的S11埠(用於取得前向反射之埠)。資料是以經由GPIB纜線303的方式保存於電腦302。可從複數個切除試料，來特定出式(1-7)中的 a 、 b 及 α 。此參數在以下的逆解析中會變得重要。

【0078】 <II 有介電耗散的介質中的散射之反向問題>

以下，說明使用電波的散射波來生成顯示物體的內部之圖像的計算處理。再者，亦可合宜而部分地使用專利文獻2或專利文獻3所記載的計算處理。

【0079】 <II-1 曲面上的多基地(multi-static)逆散射理論>

首先，作為1個典型的例子來針對採取曲面上的多基地計測，而有介電耗散的介質中的散射之反向問題來描述。在此是假設為：配置在X座標為相同的曲線上的陣列天線沿著曲面來掃描。此假設是在對微波乳房攝影的應用中相當實際的假設。

【0080】 圖4是顯示陣列天線在曲面上掃描來計測散射資料之例子的圖。在圖4中，陣列天線401為多基地天線，且包含發送天線元件及接收天線元件，並沿著以 $z=f(x, y)$ 來表現的曲面來掃描。再者，陣列天線401可包含複數個發送天線元件或複數個接收天線元件。

【0081】 例如， $P_1(x, y_1, z_1)$ 表示發送天線元件的位置， $P_2(x, y_2, z_2)$ 表示接收天線元件的位置， $P(\xi, \eta, \zeta)$ 表示將微波反射的物質的位置。並且，例如，可將微波從 $P_1(x, y_1, z_1)$ 發送，且在 $P(\xi, \eta, \zeta)$ 進行反射，並在 $P_2(x, y_2, z_2)$ 被接收。

【0082】 由於有介電耗散，因此 $\omega = c(\omega)k$ 。在此， $c(\omega)$ 為傳播速度， k 為波數。若設為波長為 λ ，則有 $k = 2\pi/\lambda$ 之關係。在此，導入如下的散射場函數 ϕ 。

【0083】 [數式25]

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

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

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

...(2-1)

【0084】 在式(2-1)中，將時間的因子假設為和 $\exp(-i\omega t)$ 成比例。又，波數是表現為 k ，且 $P(\xi, \eta, \zeta)$ 中的反射率是表現為 $\varepsilon(\xi, \eta, \zeta)$ 。

【0085】 式(2-1)所示的散射場函數 $\phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, \omega)$ 可解釋為以下函數：可輸入具有相同之 x 座標的 YZ 平面上的任意的發送位置及任意的接收位置來輸出接收位置上的散射波的量。在輸入至散射場函數的發送位置及接收位置為和發送天線元件及接收天線元件的位置分別一致的情況下，散射場函數 ϕ 的輸出會和藉由接收天線元件而得到的計測資料一致。

【0086】 並且，若將 $t \rightarrow 0$ 、 $x \rightarrow x$ 、 $y_1 \rightarrow y_2 (= y)$ 、及 $z_1 \rightarrow z_2 (= z)$ 適用於散射場函數時，可設想為：散射場函數表示在 (x, y, z) 上電波發送後當下瞬間所接收的散射波之量，亦即 (x, y, z) 上的反射的量。用於生成顯示物體的內部之圖像之圖像函數，是如以下地導出為顯示像這樣的量之函數。

【0087】 在初始階段中，因為 $\varepsilon(\xi, \eta, \zeta)$ 為未知，所以散射場函數 $\phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, \omega)$ 為未知。為了求出散射場函數 $\phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, \omega)$ 的具體的內容，而如以下地求出散射場函數 $\phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, \omega)$ 所滿足的方程式。

【0088】 首先，將位於式(2-1)的被積分項之核函數表現為如以下的式(2-2)。

【0089】 [數式26]

$$\phi = \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2}$$

...(2-2)

【0090】為了求出式(2-1)中的散射場函數 $\phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, \omega)$ 所滿足的方程式，而求出式(2-2)中的核函數 ϕ 成為解的偏微分方程式。為此，在藉由微分的結果所產生的複數項當中，關於 $1/\rho$ 只要將高次的項忽略來計算即可。在此，將微分的簡記法定義為如以下的式(2-3)。

【0091】 [數式27]

$$\frac{\partial}{\partial t} \rightarrow \partial_t, \frac{\partial}{\partial x} \rightarrow \partial_x, \frac{\partial}{\partial y_1} \rightarrow \partial_{y_1}, \frac{\partial}{\partial y_2} \rightarrow \partial_{y_2}, \frac{\partial}{\partial z_1} \rightarrow \partial_{z_1}, \frac{\partial}{\partial z_2} \rightarrow \partial_{z_2}$$

...(2-3)

【0092】核函數 ϕ 的各次數的微分結果可使用式(2-3)來表現為如以下的式(2-4)。

【0093】 [數式28]

$$\partial_x \phi = ik(x - \xi) \left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right) \phi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{y_1} \phi = ik \frac{y_1 - \eta}{\rho_1} \phi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{y_2} \phi = ik \frac{y_2 - \eta}{\rho_2} \phi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{z_1} \phi = ik \frac{z_1 - \zeta}{\rho_1} \phi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{z_2} \phi = ik \frac{z_2 - \zeta}{\rho_2} \phi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_x \partial_x \phi = (ik)^2 (x - \xi)^2 \left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right)^2 \phi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{y_1} \partial_{y_1} \phi = (ik)^2 \left(\frac{y_1 - \eta}{\rho_1} \right)^2 \phi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{y_2} \partial_{y_2} \phi = (ik)^2 \left(\frac{y_2 - \eta}{\rho_2} \right)^2 \phi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{z_1} \partial_{z_1} \phi = (ik)^2 \left(\frac{z_1 - \zeta}{\rho_1} \right)^2 \phi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{z_2} \partial_{z_2} \phi = (ik)^2 \left(\frac{z_2 - \zeta}{\rho_2} \right)^2 \phi + o(\rho^{-3})$$

...(2-4)

【0094】式(2-4)中的 ρ 是對應於 ρ_1 及 ρ_2 。 o 是朗道符號(Landau symbol)，若 ρ 充分地大，則 $o(\rho^{-3})$ 會遠比 ρ^{-3} 更小。因為設想為 $o(\rho^{-3})$ 是充分地小，所以在以下省略繁雜的 $o(\rho^{-3})$ 之項。在式(2-4)當中，若取有關於2階微分的5個式子的和時，可得到以下的式(2-5)。

【0095】 [數式29]

$$\begin{aligned}\Delta_5\phi &= (\partial_x^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_{z_1}^2 + \partial_{z_2}^2)\phi \\ &= (ik)^2 \left\{ 2 + 2 \frac{(x-\xi)^2}{\rho_1\rho_2} \right\} \phi\end{aligned}$$

...(2-5)

【0096】此外，可從式(2-5)來得到以下的式(2-6)。

【0097】 [數式30]

$$\begin{aligned}\{\Delta_5 - 2(ik)^2\}\phi &= 2(ik)^2 \frac{\rho_1^2 - (y_1 - \eta)^2 - (z_1 - \zeta)^2}{\rho_1\rho_2} \phi \\ &= 2(ik)^2 \frac{\rho_2^2 - (y_2 - \eta)^2 - (z_2 - \zeta)^2}{\rho_1\rho_2} \phi\end{aligned}$$

...(2-6)

【0098】使式(2-6)的左邊的運算子作用2次後，則可得到以下的式(2-7)。

【0099】 [數式31]

$$\begin{aligned}\{\Delta_5 - 2(ik)^2\}^2\phi &= 4(ik)^4 \frac{\{\rho_1^2 - (y_1 - \eta)^2 - (z_1 - \zeta)^2\} \{\rho_2^2 - (y_2 - \eta)^2 - (z_2 - \zeta)^2\}}{\rho_1^2\rho_2^2} \phi \\ &= 4(ik)^4 \{1 - (ik)^{-2}\partial_{y_1}^2 - (ik)^{-2}\partial_{z_1}^2\} \{1 - (ik)^{-2}\partial_{y_2}^2 - (ik)^{-2}\partial_{z_2}^2\} \phi\end{aligned}$$

...(2-7)

【0100】從而，核函數 ϕ 會滿足以下的式(2-8)的方程式。

【0101】 [數式32]

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

...(2-8)

【0102】 若將此整理後，可得到如以下的式(2-9)的方程式。

【0103】 [數式33]

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

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

...(2-9)

【0104】 式(2-9)是在式(2-2)中所示的核函數 ϕ 成為解的方程式。亦即，核函數 ϕ 會滿足式(2-9)。在式(2-9)中，核函數 ϕ 可置換為在式(2-1)中所示的散射場函數 ϕ 。從而，式(2-9)也是在式(2-1)中所示的散射場函數 ϕ 成為解的方程式。亦即，散射場函數 ϕ 會滿足數式(2-9)。

【0105】 另一方面，由於電波的傳播速度會因頻率而不同，因此無法從式(2-9)容易地導出時間相依的波動方程式。於是，使用後述的擬微分運算子 (pseudodifferential operator) 的方法來導出時間相依的偏微分方程式。此時，如以下的式(2-10)及(2-11)所示，進行變數的置換。

【0106】 [數式34]

$$\omega \rightarrow i\partial_t$$

...(2-10)

【0107】 [數式35]

$$k^2 = \frac{\omega^2}{c_0^2} \left(a + \frac{b}{1 + \alpha \omega^2} \right) \rightarrow \frac{-\partial_t^2}{c_0^2} \left(a + \frac{b}{1 - \alpha \partial_t^2} \right)$$

...(2-11)

【0108】 可藉由對式(2-9)進行式(2-10)及(2-11)所示的置換，而得到以下的式(2-12)來作為有介電耗散的介質中的散射場的方程式。

【0109】 [數式36]

$$\left[\frac{1}{4} \Delta_5^2 - \frac{\partial_t^2}{c_0^2} \left(a + \frac{b}{1 - \alpha \partial_t^2} \right) \partial_x^2 - (\partial_{y_1}^2 + \partial_{z_1}^2)(\partial_{y_2}^2 + \partial_{z_2}^2) \right] \phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, t) = 0$$

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

...(2-12)

【0110】 在式(2-11)及(2-12)中可使用後述的擬微分運算子。式(2-12)的方程式是線性偏微分方程式，且是有介電耗散的情況之散射場的基礎方程式。此方程式可以具有一般性的時間相依的函數來作為解，前述一般性的時間相依的函數是將按每個頻率而滿足式(2-9)的固定頻率的解以複數個頻率來合成而完成。

【0111】 要直接求出式(2-12)的方程式的解並不容易。於是，將頻率固定，並從式(2-9)求出散射場的方程式的解。因為只要頻率固定，即可將傳播速度固定，所以可從式(2-9)得到時間相依的波動方程式。具體而言，可對式(2-9)，如以下的式(2-13)所示地進行變數的置換。在此， c 表示固定頻率中的電波的傳播速度。

【0112】 [數式37]

$$-ik \rightarrow \frac{1}{c} \partial_t$$

...(2-13)

【0113】 藉由上述的置換，可得到式(2-14)來作為固定頻率中的時間相依的波動方程式。

【0114】 [數式38]

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

...(2-14)

【0115】 為了就各波數 k 來解出式(2-9)，而對已從式(2-9)導出的式(2-14)中

的 ϕ ，進行如以下的式(2-15)所示之有關於 t 、 x 、 y_1 及 y_2 的多工傅立葉轉換。

【0116】 [數式39]

$$\tilde{\phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z_1, z_2, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} dt \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{y_1} y_1} dy_1 \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{y_2} y_2} dy_2 \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_x x} \phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, t) dx$$

...(2-15)

【0117】 若取代於 ∂_{z_1} 、 ∂_{z_2} 而寫為 D_{z_1} 、 D_{z_2} 後，可從式(2-14)及(2-15)得到以下的式(2-16)的方程式。

【0118】 [數式40]

$$\{(D_{z_1}^2 + D_{z_2}^2 - k_x^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2 - 4k^2 k_x^2 - 4(D_{z_1}^2 - k_{y_1}^2)(D_{z_2}^2 - k_{y_2}^2)\} \tilde{\phi} = 0$$

...(2-16)

【0119】 式(2-16)的基本解是表現為如以下的式(2-17)。

【0120】 [數式41]

$$E(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z_1, z_2) = \exp(is_1 z_1) \exp(is_2 z_2)$$

...(2-17)

【0121】 在此， s_1 及 s_2 是決定成如以下的式(2-18)的函數。

【0122】 [數式42]

$$s_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}) = \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

$$s_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}) = \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

...(2-18)

【0123】 可使用式(2-18)中的 $s_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2})$ 及 $s_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2})$ ，而將有關於各波數 k 的式(2-9)的解表現為如以下的式(2-19)。

【0124】 [數式43]

$$\begin{aligned} & \phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} a(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k) e^{i s_1(k_x, k_{y1}, k_{y2}) z_1} e^{i s_2(k_x, k_{y1}, k_{y2}) z_2} dk_x dk_{y1} dk_{y2} \\ & \dots (2-19) \end{aligned}$$

【0125】 接著，將式(2-19)中的函數 $a(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k)$ 與計測資料建立關連。

【0126】 圖5是顯示發送天線元件的位置與接收天線元件的位置與物質的位置之關係的示意圖。例如，微波是從發送天線元件的位置即 $P_I(x, y_I, z_I)$ 發送，且在物質的位置即 $P(\xi, \eta, \zeta)$ 反射，並在接收天線元件的位置即 $P_J(x, y_J, z_J)$ 被接收。圖5所示的截面曲線S是顯示圖4所示的陣列天線401的掃描面的y-z截面。

【0127】 將已固定x的截面曲線S的方程式假設為例如以下的式(2-20)。再者，在此是假設為：圖4所示的陣列天線401的掃描面在x方向上未彎曲，且將掃描面的y-z截面藉以下的式子來提供。

【0128】 [數式44]

$$\begin{aligned} & z = f(y) \\ & \dots (2-20) \end{aligned}$$

【0129】 若設為在曲面上得到有 $\phi(x, y_1, y_2, f(y_1), f(y_2), k)$ 之值，即可從式(2-19)得到以下的式(2-21)的積分方程式。

【0130】 [數式45]

$$\begin{aligned} & \phi(x, y_1, y_2, f(y_1), f(y_2), k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} a(k_x, k_{y1}, k_{y2}) e^{i\{s_1(k_x, k_{y1}, k_{y2}) f(y_1) + s_2(k_x, k_{y1}, k_{y2}) f(y_2)\}} dk_x dk_{y1} dk_{y2} \\ & \dots (2-21) \end{aligned}$$

【0131】 接著，求出積分方程式(2-21)的解。可將已對在曲面上的點 P_I 、 P_J 所測定出的 $\phi(x, y_I, y_J, z_I, z_J, t)$ 進行傅立葉轉換的函數 $\Phi(k_x, y_I, y_J, k)$ 表現為如以下的式(2-22)。

【0132】 [數式46]

$$\Phi_{I,J}(k_x, y_I, y_J, k) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ikt - ik_x x} \phi(x, y_I, y_J, z_I, z_J, t) dt dx$$

...(2-22)

【0133】在此，由於 z_I 、 z_J 是在截面曲線上，因此以下的式(2-23)會成立。

【0134】 [數式47]

$$z_I = f(y_I)$$

$$z_J = f(y_J)$$

...(2-23)

【0135】可從數式(2-21)、數式(2-22)、及數式(2-23)的組合得到以下的式(2-24)。

【0136】 [數式48]

$$\begin{aligned} \Phi(k_x, y_I, y_J, k) \\ = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{y_1} y_I + k_{y_2} y_J)} a_{I,J}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{is_1(k, k_x, k_{y_1}, k_{y_2}) z_I} e^{is_2(k, k_x, k_{y_1}, k_{y_2}) z_J} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

...(2-24)

【0137】式(2-24)是藉由著眼於發送天線元件之Y座標即 y_I 、以及接收天線元件之Y座標即 y_J ，而可變形成如以下的式(2-25)。在此， (x, y_I, z_I) 、 (x, y_J, z_J) 是成為基準的正交座標系統中的計測點的位置(發送天線元件及接收天線元件的位置)， δ 表示德爾塔函數(delta function)。

【0138】 [數式49]

$$\begin{aligned} \Phi(k_x, y_I, y_J, k) \delta(y_I - y_J) \delta(y_2 - y_J) \\ = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a_{I,J}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{is_1(k, k_x, k_{y_1}, k_{y_2}) z_I} e^{is_2(k, k_x, k_{y_1}, k_{y_2}) z_J} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

...(2-25)

【0139】取式(2-25)的兩邊的傅立葉轉換後，可得到以下的式(2-26)。

【0140】 [數式50]

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k'_{y_1} y_1 + k'_{y_2} y_2)} \Phi(k_x, y_I, y_J, k) \delta(y_1 - y_I) \delta(y_2 - y_J) dy_1 dy_2 \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k'_{y_1} y_1 + k'_{y_2} y_2)} \left\{ \frac{1}{(2\pi)^2} \right. \\ & \quad \left. \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a_{I,J}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{is_1(k, k_x, k_{y_1}, k_{y_2})z_I} e^{is_2(k, k_x, k_{y_1}, k_{y_2})z_J} dk_{y_1} dk_{y_2} \right\} dy_1 dy_2 \end{aligned}$$

...(2-26)

【0141】 積分的結果，可得到式(2-27)。

【0142】 [數式51]

$$\begin{aligned} & e^{i(k'_{y_1} y_1 + k'_{y_2} y_2)} \Phi(k, k_x, y_I, y_J) \\ &= \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(k_{y_1} - k'_{y_1}) \delta(k_{y_2} - k'_{y_2}) a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{is_1(k, k_x, k_{y_1}, k_{y_2})z_I} e^{is_2(k, k_x, k_{y_1}, k_{y_2})z_J} dk_{y_1} dk_{y_2} \right\} \\ &= a_{I,J}(k_x, k'_{y_1}, k'_{y_2}, k) e^{is_1(k, k_x, k'_{y_1}, k'_{y_2})z_I} e^{is_2(k, k_x, k'_{y_1}, k'_{y_2})z_J} \end{aligned}$$

...(2-27)

【0143】 可從式(2-27)，而如以下的式(2-28)地求出 $a_{I, J}$ 。

【0144】 [數式52]

$$a_{I,J}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = e^{i(k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-is_1(k, k_x, k_{y_1}, k_{y_2})z_I} e^{-is_2(k, k_x, k_{y_1}, k_{y_2})z_J} \Phi(k_x, y_I, y_J, k)$$

...(2-28)

【0145】 若就全部的I、J來將式(2-28)的和求出，可得到以下的式(2-29)。

【0146】 [數式53]

$$\begin{aligned} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) &= \sum_{I,J} a_{I,J}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ &= \sum_{I,J} e^{i(k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-is_1(k, k_x, k_{y_1}, k_{y_2})z_I} e^{-is_2(k, k_x, k_{y_1}, k_{y_2})z_J} \Phi(k_x, y_I, y_J, k) \end{aligned}$$

...(2-29)

【0147】 可得到以式(2-19)及(2-29)表現的關係式來作為式(2-9)的解。換言之，以式(2-19)及(2-29)表現的關係式是滿足式(2-9)的關係式，且表示式(2-9)的解的關係式。再者，雖然在式(2-19)中所使用的是 k ，但是可依據式(1-9)，將 k 轉換成 ω 。

【0148】可藉由將 $t \rightarrow 0$ 、 $x \rightarrow x$ 、 $y_1 \rightarrow y_2 (= y)$ 、及 $z_1 \rightarrow z_2 (= z)$ 適用於以式(2-19)及(2-29)表現的關係式，而得到顯示電波發送後當下瞬間所接收的散射波的量之函數。以下的式(2-30)是對應於像這樣的函數。重構圖像是將以下的式(2-30)針對 k 或 ω 來積分而求出。

【0149】 [數式54]

$$\begin{aligned} \phi(x, y, y, z, k) &= \text{Lim}_{y_1 \rightarrow y} [\phi(x, y_1, y, z, k)] \\ &= \text{Lim}_{y_1 \rightarrow y} \left[\frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_y y)} a(k_x, k_{y_1}, k_y, k) e^{i\{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_y^2}\}z} dk_x dk_{y_1} dk_y \right] \end{aligned}$$

...(2-30)

【0150】為此，如以下的式(2-31)所示地導入成為 k_z 的變數。再者，在以下的式(2-31)中，也顯示有以 k_z 來表示 k 的式子以及已以 k_z 將 k 微分的函數。

【0151】 [數式55]

$$\begin{aligned} k_z &= \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - k_x^2} \\ k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2} + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2)} \\ \frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \end{aligned}$$

...(2-31)

【0152】可從式(1-10)起，將波數 k 與頻率 ω 的關係藉以下的式(2-32)及(2-33)來提供。

【0153】 [數式56]

$$\omega = \sqrt{\frac{-(a+b-c_0^2 \alpha k^2) + \sqrt{(a+b-c_0^2 \alpha k^2)^2 + 4a\alpha c_0^2 k^2}}{2a\alpha}}$$

...(2-32)

【0154】 [數式57]

$$\frac{d\omega}{dk} = \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2}$$

...(2-33)

【0155】由於包含於 $a(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k)$ 的定義之測定資料 $\Phi(k_x, y_I, y_J, k)$ 並不是以 k 而是以 ω 來提供，所以如上述的 k - ω 轉換會變得必要。藉此，可將介電耗散的式(1-9)匯入。將式(2-30)針對 ω 來積分而得到的重構圖像可導出為如以下的式(2-34)。以下的式(2-34)也可表現為用於生成重構圖像的圖像函數。

【0156】 [數式58]

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

...(2-34)

【0157】若將位於式(2-34)的被積分函數的變數匯總後，可將這些變數表現為如以下的式(2-35)。

【0158】 [數式59]

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

...(2-35)

【0159】以上為在曲面上計測散射資料來得到區域內部的3維圖像之重構

理論的詳細內容。

【0160】 <II-2 曲面上的單基地(monostatic)逆散射理論>

圖6是顯示單基地(monostatic)天線在曲面上掃描來計測散射資料之例子的圖。在此例中，單基地天線601是將發送天線元件與接收天線元件結合並沿著曲面來掃描。又，假設為單基地天線601的發送天線元件及接收天線元件是位於同一點。亦即，單基地天線601是在同一點上進行發送及接收。

【0161】 單基地天線601是往x軸方向而沿著曲線來掃描，之後，往y軸方向位移，且再次往x軸方向而沿著曲線來掃描。單基地天線601藉由重複這些動作，而沿著曲面來掃描。作為例子，可相對於y軸方向而在直線上，且相對於x軸方向而在 $z=f(x)$ 的曲線上得到資料。並且，可在曲面上提供邊界條件。

【0162】 基本上，有關於陣列天線401且上述之理論，亦可就單基地天線601來適用。然而，在單基地天線601中，因為是在同一點上進行發送及接收，所以計算式不同。

【0163】 圖7是顯示發送接收的位置與物質的位置之關係的示意圖。圖7所示的截面曲線S是顯示圖6所示的單基地天線601的掃描面的x-z截面。單基地天線601是往x軸方向，且沿著以 $z=f(x)$ 規定的曲線S來掃描。亦即，為發送接收的位置且為計測點的位置之 $P_I(x_I, y, z_I)$ 是在截面曲線S上移動。

【0164】 可考慮在曲線S上的點 P_I 上放射，且在點P反射後，再次在點 P_I 上接收的波動。例如，微波是從 $P_I(x_I, y, z_I)$ 放射，且在 $P(\xi, \eta, \zeta)$ 反射，並在 $P_I(x_I, y, z_I)$ 被接收。顯示散射強度的散射場函數 ϕ 可以寫成如以下的式(3-1)。

【0165】 [數式60]

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

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

...(3-1)

【0166】 又，式(3-1)的散射場函數會滿足表現成如以下的式(3-2)的方程式。

亦即，式(3-1)的散射場函數會滿足以下的式(3-2)。

【0167】 [數式61]

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

...(3-2)

【0168】 k 與 ω 的關係可藉以下的式(3-3)來提供。

【0169】 [數式62]

$$k = \frac{\omega}{c_0} \sqrt{a + \frac{b}{1 + \alpha\omega^2}}$$

...(3-3)

【0170】 時間相依的散射場的方程式可表現成如下的式(3-4)。

【0171】 [數式63]

$$\left[\partial_x^2 + \partial_y^2 + \partial_z^2 - \frac{4\partial_t^2}{c_0^2} \left(a + \frac{b}{1 - \alpha\partial_t^2} \right) \right] \phi(x, y, z, t) = 0$$

...(3-4)

【0172】 已將頻率固定的散射場的方程式之一般解是藉以下的式(3-5)來提供。在此， k_x 是有關於散射場函數 ϕ 的 x 之波數， k_y 是有關於散射場函數 ϕ 的 y 之波數。

【0173】 [數式64]

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

...(3-5)

【0174】 對應於掃描面的曲面的方程式可表現成如以下的式(3-6)。

【0175】 [數式65]

$$z = f(x)$$

...(3-6)

【0176】 在此， $a(k_x, k_y, k)$ 是藉由將曲面上的測定值作為邊界條件來使用，而以如以下的式(3-7)的方式求出。

【0177】 [數式66]

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

...(3-7)

【0178】 在此，

【數式67】

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

是 x_I 、 k_y 及 k 中的散射資料的測定值。

【0179】 若將 $\Phi(x, y, \omega)$ 設為有關於散射資料的時間之傅立葉影像後，即可得到表現成如以下的式(3-8)的影像化函數。

【0180】 [數式68]

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

...(3-8)

【0181】 在此，有以下的式(3-9)的關係。介電常數的耗散性是在將 ω 與 k 結合起來時產生。

【0182】 [數式69]

$$k_z = \sqrt{4k^2 - k_x^2 - k_y^2}$$

$$k = \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2}$$

$$\frac{dk}{dk_z} = \frac{k_z}{4k}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{-(a+b-c_0^2\alpha k^2) + \sqrt{(a+b-c_0^2\alpha k^2)^2 + 4a\alpha c_0^2 k^2}}{2a\alpha}}$$

$$\frac{d\omega}{dk} = \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2a\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2}$$

...(3-9)

【0183】 <III UWB微波雷達裝置的概要>

接著，說明多基地陣列雷達的系統的概要。

【0184】 圖8是顯示多基地陣列雷達的整體系統構成的圖。

【0185】 微波的訊號是具有DC~20GHz的頻率成分之擬隨機時間序列訊號(PN碼：Pseudo Noise Code，偽雜訊碼)。此訊號是從PN碼生成用FPGA板1002輸出。更具體而言，此訊號有2種。其中一種訊號(LO訊號：local oscillator signal，局部振盪器訊號)是通過延遲電路(數位控制板1003)而往RF檢波器電路(RF檢波板1007)傳送。

【0186】 另一種訊號(RF訊號：Radio Frequency Signal，射頻訊號)是往多基地陣列天線1008的發送用微波UWB天線傳送而放射。微波的散射訊號是在多基地陣列天線1008的接收用UWB天線接收，並且往RF檢波器電路(RF檢波板1007)傳送。在此，發送接收訊號會通過天線元件選擇開關(UWB天線RF開關1004)。

【0187】 又，延遲的訊號(LO訊號)是按PN碼之值變化的時間之 $1/2^n$ 倍(n是比2更大的整數)的時間而延遲。已進行檢波的訊號是作為IF訊號(Intermediate Frequency Signal，中頻頻率訊號)而在訊號處理計算機1005中進行A/D轉換並記憶。又，亦可將顯示已進行檢波的訊號之資訊顯示於訊號螢幕裝置1006。

【0188】 這些一連串的動作的時間點是藉由數位控制板1003內的微處理器

而控制成和來自測距儀1001的訊號(測距訊號或自由運行訊號(**free-run signal**))同步。例如，數位控制板1003內的微處理器會發送Switch切換訊號及PN碼掃掠觸發等。

【0189】 又，訊號處理計算機1005是使用經A/D轉換且記憶之訊號，來進行3維重構，並進行3維圖像顯示。又，訊號處理計算機1005亦可進行訊號校正。又，訊號處理計算機1005亦可進行原始波形顯示。

【0190】 接著，針對UWB天線進行說明。

【0191】 圖9是顯示在直線上或曲線上配置成一排的陣列天線的圖。在圖9中，陣列天線為線性陣列天線，且具備配置在線上的 $n+1$ 個天線元件，在 $n+1$ 個天線元件當中，1個為發送用， n 個為接收用。在圖9中，在發送用的1個天線元件附有T的標籤，並且在接收用的 n 個天線元件附有R(R_1 、 R_2 、... R_n)的標籤。

【0192】 在圖9中，附有A的標籤的部分是對應於電波吸收材。藉由在發送用的天線元件與接收用的天線元件之間配置電波吸收材，而使作為UWB天線的性能提升。T與R是可交換的，亦可為：在 $n+1$ 個天線元件當中， n 個為發送用，1個為接收用。即使將T與R交換，仍然可取得同等的散射資料。

【0193】 n 的數值亦可因應於檢查對象物來變更。掃描方向是圖中的箭頭的方向。例如，往 $z=0$ 的平面投影，而將配置有構成陣列天線的複數個天線元件之方向規定為 y 軸方向，並且將掃描方向規定為 x 軸方向。在此情況下，雖然藉由將陣列天線所掃描的線逐漸地錯開(例如按天線元件的尺寸的 $1/2$ 而往 y 軸方向錯開)來計測散射資料，會花費一些計測的時間，但是解析度會提升。

【0194】 圖10是顯示藉由圖9所示的陣列天線所進行的掃描方法的圖。圖10中的陣列天線包含1個發送天線元件與3個接收天線元件。並且，陣列天線是按天線元件的尺寸的 $1/2$ 而往 y 軸方向錯開，並以掃描線1、掃描線2、掃描線3、...、掃描線 n 的方式來掃描。

【0195】圖11是顯示圖10所示的掃描方法中的計測點的圖。具體而言，藉由將包含1個發送天線元件與3個接收天線元件的陣列天線的掃描線按天線元件的尺寸的 $1/2$ 來往 y 方向偏移，而將所計測之散射資料的發送位置的 Y 座標與接收位置的 Y 座標之組合以斜線來顯示。又，將發送位置的 Y 座標表現為 y_1 ，且將接收位置的 Y 座標表現為 y_2 。

【0196】又，1個區塊的1邊的長度是對應於天線元件的尺寸的 $1/2$ ，顯示 y_1 及 y_2 的每一個的數值是以天線元件的尺寸的 $1/2$ 之單位來表現。從而，在例如發送天線元件的 Y 座標為1的情況下，3個接收天線元件的3個 Y 座標為5、7及9。又，在例如發送天線元件的 Y 座標為2的情況下，3個接收天線元件的3個 Y 座標為6、8及10。

【0197】又，即使將發送天線元件的位置與接收天線元件的位置調換，仍然可得到相同的散射資料。從而，矩陣 (y_1, y_2) 具有對稱性。可將比對角線更左側也填充為計測點。像這樣地得到的散射資料可使用於圖像重構。

【0198】圖12是可以就正交的2個偏振方向之雙方來計測電波的單基地天線之實現例的圖。

【0199】在圖12中，在附有 T_1 的標籤的發送天線元件與附有 R_1 的標籤的接收天線元件之間、以及在附有 T_2 的標籤的發送天線元件與附有 R_2 的標籤的接收天線元件之間，配置有附有 A 的標籤之共通的電波吸收材。並且，可在散射資料的計測中使用 T_1 與 R_1 的組合、以及 T_2 與 R_2 的組合。

【0200】藉由上述的構成，可進行對應於2個偏振方向的散射資料之計測。例如，可得到在特定的偏振方向上反應的物質等之資訊。並且，可藉由上述之構成，而實現複數個發送天線元件與複數個接收天線元件為一對一地對應的單基地天線。

【0201】再者，掃描方向亦可如圖中的箭頭所示地，對應於正交的2個方向。

【0202】 <IV 擬微分運算子>

接著，針對偏微分方程式論中的擬微分運算子進行說明。在此，是處理 n 維歐幾里德空間 R^n 中的函數。因此，使用以下的式(4-1)所示的記號。

【0203】 [數式70]

$$\begin{aligned}x &= (x_1, x_2, \dots, x_n) \\y &= (y_1, y_2, \dots, y_n) \\ \xi &= (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n) \\ \alpha &= (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \\ D^\alpha &= (-i\partial_1)^{\alpha_1} \dots (-i\partial_n)^{\alpha_n}\end{aligned}$$

...(4-1)

【0204】 將常數係數的線性微分運算子假設成如以下的式(4-2)。

【0205】 [數式71]

$$P(D) = \sum_{\alpha} a_{\alpha} D^{\alpha}$$

...(4-2)

【0206】 可藉由使式(4-2)的線性微分運算子作用在 R^n 上之附有緊緻台(compact support)而平滑的函數 u ，而得到式(4-3)。

【0207】 [數式72]

$$P(D)u(x) = \sum_{\alpha} a_{\alpha} D^{\alpha} u(x)$$

...(4-3)

【0208】 已廣為周知的是，若對式(4-3)進行傅立葉轉換後，會成為被稱為symbol(象徵)的多項式之簡單的乘法運算。以下的式(4-4)是顯示此多項式。

【0209】 [數式73]

$$P(\xi) = \sum_{\alpha} a_{\alpha} \xi^{\alpha}$$

...(4-4)

【0210】 若對式(4-4)進行逆傅立葉轉換，即可得到以下的式(4-5)。

【0211】 [數式74]

$$\begin{aligned} P(D)u &= \frac{1}{(2\pi)^n} \int_{R^n} \int_{R^n} e^{i(x-y)\xi} P(\xi) u(y) dy d\xi \\ &= \frac{1}{(2\pi)^n} \int_{R^n} e^{ix\cdot\xi} P(\xi) \tilde{u}(\xi) d\xi \end{aligned}$$

...(4-5)

【0212】 將式(4-5)一般化，將在symbol包含x之一般的多項式的情況下也可適用的運算子 $P(x, D)$ 定義成如以下的式(4-6)。

【0213】 [數式75]

$$P(x, D)u = \frac{1}{(2\pi)^n} \int_{R^n} e^{ix\cdot\xi} P(x, \xi) \tilde{u}(\xi) d\xi$$

...(4-6)

【0214】 將式(4-6)的 $P(x, D)$ 稱為擬微分運算子。又，針對 $u(x)$ 來對表現成如以下的式(4-7)的偏微分方程式求解。

【0215】 [數式76]

$$P_1(D)u(x) = P_2(D)f(x)$$

...(4-7)

【0216】 若對式(4-7)的兩邊進行傅立葉轉換，即可得到以下的式(4-8)。

【0217】 [數式77]

$$P_1(\xi)\tilde{u}(\xi) = P_2(\xi)\tilde{f}(\xi)$$

...(4-8)

【0218】 可從式(4-8)來得到如以下的式(4-9)的關係式。

【0219】 [數式78]

$$P(\xi)\tilde{u}(\xi) = \frac{P_1(\xi)}{P_2(\xi)}\tilde{u}(\xi) = \tilde{f}(\xi)$$

...(4-9)

【0220】若寫入式(4-9)的逆傅立葉轉換，即可表現成如以下的式(4-10)。

【0221】[數式79]

$$P(D)u = \frac{1}{(2\pi)^n} \int_{R^n} e^{ix \cdot \xi} \frac{P_1(\xi)}{P_2(\xi)} \tilde{u}(\xi) d\xi = f(x)$$

...(4-10)

【0222】式(4-10)的P(D)也是擬微分運算子，且可進行如以下的式(4-11)之記述。

【0223】[數式80]

$$P(D) = \frac{P_1(D)}{P_2(D)}$$

...(4-11)

【0224】如上述所示，可藉由擬微分運算子，而導入正常的微分算子的有理多項式及非整數次方等之概念。

【0225】<V 介電耗散的模擬>

接著，顯示有關於介電耗散的影響之模擬。

【0226】<V-1 耗散性介質中的波動方程式>

在模擬中，考察如能以德拜模型來記述介質的耗散性之情況。

【0227】以單基地的情況為對象來進行模擬。可將在介電常數存有耗散性之1維空間中的電磁波(電波)的傳播，記述成如以下的式(5-1)的擬微分方程式。

【0228】[數式81]

$$\left[\partial_x^2 - \frac{4\partial_t^2}{c_0^2} \left(a + \frac{b}{1 - \alpha \partial_t^2} \right) \right] \phi(x, t) = 0$$

...(5-1)

【0229】在此， c_0 是真空中電磁波(電波)的速度。時間微分之項的(factor, 因數)4，在考慮單基地逆散射的情況下，是依據波動2次通過相同路徑之情形。

【0230】圖13是顯示介電常數耗散較大的情況下之相對介電常數與頻率的關係的圖。圖13中所示的相對介電常數與頻率的關係是依據 $a=1$ 、 $b=7$ 、及 $\alpha=0.0001$ 。

【0231】圖14A、圖14B、圖14C、圖14D及圖14E是顯示具有介電耗散的情況的電波之模擬結果的圖。縱軸為振幅，橫軸為距離 $x(\text{cm})$ 。各圖的時間 t 為： $t=0.2n$ 奈秒($n=0、1、2、3、4$)。從圖14A、圖14B、圖14C、圖14D及圖14E，可得知吊鐘狀的波形會隨著時間而逐漸走樣。

【0232】<V-2 有介電耗散的介質中的重構>

考量單基地逆散射解析的情況。散射的反向問題的方程式為以下的式(6-1)。

【0233】[數式82]

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

...(6-1)

【0234】波數 k 與角頻率 ω 的關係是藉以下的式(6-2)來提供。

【0235】[數式83]

$$k = \frac{\omega}{c_0} \sqrt{a + \frac{b}{1 + \alpha\omega^2}}$$

...(6-2)

【0236】在以下，在有介電耗散性的介質中，根據放射電波而測定散射資料的結果，顯示若忽視介電耗散來進行逆解析後會變得如何。

【0237】圖15是顯示計算模型的圖。包含於計算模型的解析對象模型，是置於3D空間中的深度1cm的平面上之互相分開了0.8cm的3個點。在此計算模型中， x 軸方向的計測點的數量為 $NX=128$ ， y 軸方向的計測點的數量為 $NY=64$ ， x 軸

方向的計測點的間隔為 $dx=0.1\text{cm}$ ， y 軸方向的計測點的間隔為 $dy=0.1\text{cm}$ 。

【0238】圖16A是顯示第1事例之模擬的結果之 z (深度)= 1cm 的XY平面圖，圖16B是顯示第1事例之模擬的結果的立體圖。具體而言，圖16A及圖16B是顯示以下的情況下之模擬的結果：在5GHz下相對介電常數為7.5，在14GHz下相對介電常數為5.0。

【0239】圖17A是顯示第2事例之模擬的結果之 z (深度)= 1cm 的XY平面圖，圖17B是顯示第2事例之模擬的結果的立體圖。具體而言，圖17A及圖17B是顯示以下的情況下之模擬的結果：在5GHz下相對介電常數為6.5，在14GHz下相對介電常數為5.5。

【0240】圖18A是顯示第3事例之模擬的結果之 z (深度)= 1cm 的XY平面圖，圖18B是顯示第3事例之模擬的結果的立體圖。具體而言，圖18A及圖18B是顯示以下的情況下之模擬的結果：在5GHz下相對介電常數為6，在14GHz下相對介電常數為6。

【0241】第3事例之模擬的結果是對應於在沒有介電耗散性的介質中的逆散射解析之結果。在正常的活體(乳房)組織中測定了介電常數的結果，會接近於第2事例的耗散性。若忽略介電耗散性，圖像的解析度會明顯地降低。

【0242】以上的解析是對應於單基地散射場解析。但是，同樣的內容也可針對多基地散射場解析來適用。從而，在散射場解析中介電耗散性的考慮是重要的。

【0243】 <VI 總結>

依據上述之內容，以下簡潔地顯示使用電波的散射波來生成顯示物體的內部之圖像之散射斷層掃描裝置的構成及動作。

【0244】圖19是顯示本實施形態中的散射斷層掃描裝置的基本構成圖。圖19所示之散射斷層掃描裝置100具備發送天線元件101、接收天線元件102及資訊

處理電路103。

【0245】發送天線元件101是發送電波的電路。具體而言，發送天線元件101將電波從物體的外部往物體的內部發送。電波亦可為微波、毫米波或兆赫波(terahertz wave)等。物體亦可為活體、製造物或自然素材等。特別是，物體亦可為乳房。散射斷層掃描裝置100亦可具備複數個發送天線元件101。

【0246】接收天線元件102是接收為電波的散射波等之電波的電路。具體而言，接收天線元件102是在物體的外部接收已往物體的內部發送之電波的散射波。散射斷層掃描裝置100亦可具備有複數個接收天線元件102。又，接收天線元件102亦可配置在和發送天線元件101實質上相同的位置，亦可配置在和發送天線元件101不同的位置。

【0247】又，發送天線元件101與接收天線元件102亦可構成多基地天線，亦可構成單基地天線。

【0248】資訊處理電路103是進行資訊處理的電路。具體而言，資訊處理電路103是使用顯示在接收天線元件102所接收到的散射波之計測資料，來生成顯示物體的內部之圖像。資訊處理電路103亦可為電腦、或電腦的處理器。資訊處理電路103亦可從記憶體中讀出程式，並且藉由執行程式來進行資訊處理。又，資訊處理電路103亦可為使用計測資料來生成顯示物體的內部之圖像的專用電路。

【0249】例如，資訊處理電路103亦可對應於圖8所示之複數個構成要素當中的1個以上。具體而言，是例如，資訊處理電路103亦可對應於訊號處理計算機1005。又，資訊處理電路103亦可將已生成的圖像顯示於液晶顯示器裝置等之顯示裝置。

【0250】圖20是顯示圖19所示的散射斷層掃描裝置100的基本動作的流程圖。具體而言，是圖19所示的散射斷層掃描裝置100的發送天線元件101、接收天

線元件102及資訊處理電路103進行圖20所示的動作。

【0251】 首先，發送天線元件101將電波從物體的外部往物體的內部發送(S201)。接著，接收天線元件102在物體的外部接收已往物體的內部發送之電波的散射波(S202)。並且，資訊處理電路103使用顯示在接收天線元件102所接收到的散射波之計測資料，來生成顯示物體的內部之圖像(S203)。

【0252】 資訊處理電路103在使用計測資料來生成圖像時，首先，使用計測資料來導出滿足散射場函數為解的方程式之關係式。散射場函數是以下函數：輸入電波的發送位置及前述散射波的接收位置來輸出接收位置上的散射波的量。亦即，散射場函數是以下之函數：相對於任意地規定的發送位置及接收位置來顯示接收位置上的散射波的量。

【0253】 並且，資訊處理電路103是使用已導出的關係式來導出圖像函數。圖像函數是用於生成圖像之函數，且是反映出以下參數之函數：依照德拜鬆弛來顯示電波的頻率變化與物體的介電常數變化之對應關係的參數。並且，資訊處理電路103是使用圖像函數，來生成顯示物體的內部之圖像。

【0254】 藉此，散射斷層掃描裝置100可以依據藉由發送位置及接收位置來顯示散射波的量之散射場函數、與已在接收天線元件102所接收到之散射波的計測資料，來導出用於導出圖像函數的關係式。又，在圖像函數中反映有顯示電波的頻率變化與物體的介電常數變化之對應關係的參數。因此，散射斷層掃描裝置100可以讓頻率變化與介電常數變化的對應關係反映在顯示物體的內部之圖像的生成上。

【0255】 亦即，散射斷層掃描裝置100可以使用電波的散射波，並以較高的精度來生成顯示物體的內部之圖像。

【0256】 例如，在上述之基本構成及基本動作中所示的發送天線元件101、接收天線元件102、資訊處理電路103、散射場函數、方程式、關係式、圖像函數

及參數等中，可適當地適用在本實施形態中所示的構成要素、式子及變數等。

【0257】又，在本實施形態中所示的散射場函數、方程式、關係式及圖像函數等，亦可適當地變形來適用。例如，亦可使用以其他的表現方式來顯示和上述之數式實質上相同的內容之數式，亦可使用依據上述之理論而導出的其他的數式。

【0258】又，例如，電波具有複數個頻率成分。電波亦可為脈衝波，亦可不是脈衝波。

【0259】(補充說明)

以上，雖然已依據實施形態來說明散射斷層掃描裝置的態樣，但是散射斷層掃描裝置的態樣並不限定於實施形態。亦可施行本發明所屬技術領域中具有通常知識者對實施形態可設想得到的變形，亦可將實施形態中的複數個構成要素任意地組合。例如，亦可取代特定的構成要素，而讓別的構成要素來執行在實施形態中藉由特定的構成要素所執行的處理。又，亦可變更複數個處理的順序，且亦可將複數個處理並行來執行。

【0260】又，包含散射斷層掃描裝置的各構成要素所進行的步驟之散射斷層掃描方法亦可藉由任意的裝置或系統來執行。例如，亦可將散射斷層掃描方法的一部分或全部，藉由具備處理器、記憶體及輸入輸出電路等的電腦來執行。此時，亦可藉由讓用於使電腦執行散射斷層掃描方法的程式藉由電腦來執行，而執行散射斷層掃描方法。

【0261】又，亦可將上述的程式記錄於非暫時之電腦可讀取的記錄媒體。

【0262】又，散射斷層掃描裝置的各構成要素，亦可藉專用的硬體來構成，亦可藉執行上述程式等之通用的硬體來構成，亦可藉這些的組合來構成。又，通用的硬體，亦可藉記錄有程式的記憶體、以及從記憶體中讀出程式來執行之通用的處理器等來構成。在此，記憶體亦可為半導體記憶體或硬碟等，通用的處理器

亦可為CPU等。

【0263】 又，專用的硬體亦可藉記憶體及專用的處理器等來構成。例如，專用的處理器亦可參照用於記錄計測資料的記憶體，並且執行上述的散射斷層掃描方法。

【0264】 又，散射斷層掃描裝置的各構成要素亦可為電路。這些電路亦可作為整體而構成1個電路，且亦可是各自不同的電路。又，這些電路亦可對應於專用的硬體，亦可對應於執行上述之程式等的通用的硬體。

產業上之可利用性

【0265】 本揭示的一態樣，對於使用電波的散射波來生成顯示物體的內部之圖像之散射斷層掃描裝置是有用的，且可以適用於地球物理勘探或醫療診斷等。

【符號說明】

【0266】 100:散射斷層掃描裝置

101:發送天線元件

102:接收天線元件

103:資訊處理電路

300:測定裝置

301:向量網路分析器

302:電腦

303:GPIB纜線

304:高頻同軸纜線

305:切除試料

306:介電常數測定用探針

401:陣列天線

601:單基地天線

1001:測距儀

1002:PN碼生成用FPGA板

1003:數位控制板

1004:UWB天線RF開關

1005:訊號處理計算機

1006:訊號螢幕裝置

1007:RF檢波板

1008:多基地陣列天線

S:截面曲線

S201~S203:步驟

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種散射斷層掃描裝置，具備：

發送天線元件，將電波從物體的外部往前述物體的內部發送；

接收天線元件，在前述物體的外部接收已往前述物體的內部發送之前述電波的散射波；及

資訊處理電路，使用顯示已在前述接收天線元件所接收到的前述散射波之計測資料，來生成顯示前述物體的內部之圖像，

前述資訊處理電路進行以下程序：

使用前述計測資料來導出滿足散射場函數為解的方程式之關係式，前述散射場函數是輸入前述電波的發送位置及前述散射波的接收位置來輸出前述接收位置上的前述散射波的量之函數；

使用前述關係式來導出圖像函數，前述圖像函數是用於生成前述圖像之函數，且是反映出以下參數之函數：依照德拜鬆弛來顯示前述電波的頻率變化與前述物體的介電常數變化之對應關係的參數；及

使用前述圖像函數來生成前述圖像，

前述電波為脈衝波。

【請求項2】 如請求項1之散射斷層掃描裝置，其中在以X座標、Y座標及Z座標所構成的3維空間中，前述發送天線元件的配置位置之X座標，是和前述接收天線元件的配置位置之X座標相同，

且前述散射場函數是以下式來規定：

[數式1]

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

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

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

x 表示前述發送位置及前述接收位置之X座標， y_1 表示前述發送位置之Y座標， y_2 表示前述接收位置之Y座標， z_1 表示前述發送位置之Z座標， z_2 表示前述接收位置之Z座標， ω 表示前述電波的角頻率， D 表示包含藉由反射前述電波而產生前述散射波的物質之區域， ξ 表示前述區域內的位置之X座標， η 表示前述區域內的位置之Y座標， ζ 表示前述區域內的位置之Z座標， $\varepsilon(\xi, \eta, \zeta)$ 表示反射率， i 表示虛數單位， k 表示前述電波的波數。

【請求項3】 如請求項2之散射斷層掃描裝置，其中前述方程式是以下式來規定：

[數式2]

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

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

【請求項4】 如請求項3之散射斷層掃描裝置，其中前述關係式是以下式來規定：

[數式3]

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

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

k_x 表示有關於前述散射場函數的 x 之波數， k_{y_1} 表示有關於前述散射場函數的 y_1 之波數， k_{y_2} 表示有關於前述散射場函數的 y_2 之波數， $a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$ 是以下式來規定：

[數式4]

$$\begin{aligned}
 a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) &= \sum_{I, J} a_{I, J}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\
 &= \sum_{I, J} e^{i(k_{y_1} y_I + k_{y_2} y_J)} e^{-is_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2})z_I} e^{-is_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2})z_J} \Phi(k_x, y_I, y_J, k) ,
 \end{aligned}$$

I表示前述發送天線元件所存在之前述發送位置的索引，J表示前述接收天線元件所存在之前述接收位置的索引， y_I 表示前述發送天線元件所存在之前述發送位置的Y座標， y_J 表示前述接收天線元件所存在之前述接收位置的Y座標， $a_{i,j}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$ 表示以 k_x 、 k_{y_1} 、 k_{y_2} 及 k 之前述計測資料所規定的係數， $\Phi(k_x, y_I, y_J, k)$ 表示 k_x 、 y_I 、 y_J 及 k 之前述計測資料。

【請求項5】 如請求項4之散射斷層掃描裝置，其中前述圖像函數是以下式來規定：

[數式5]

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

前述圖像函數的x表示前述圖像的X座標，前述圖像函數的y表示前述圖像的Y座標，前述圖像函數的z表示前述圖像的Z座標，前述圖像函數中的包含於被積分函數的變數是以下式來規定：

[數式6]

$$k_z = \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - k_x^2}$$

$$k = \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2} + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2)}$$

$$\frac{dk}{dk_z} = \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{-(a+b-c_0^2 \alpha k^2) + \sqrt{(a+b-c_0^2 \alpha k^2)^2 + 4a\alpha c_0^2 k^2}}{2a\alpha}}$$

$$\frac{d\omega}{dk} = \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2a\alpha \omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2},$$

c_0 表示真空中的前述電波的傳播速度， a 、 b 及 α 表示前述參數。

【請求項6】 如請求項1至5中任一項之散射斷層掃描裝置，其中前述資訊處理電路將以前述發送天線元件的配置位置及前述接收天線元件的配置位置所得到的前述計測資料，也作為將前述發送天線元件的配置位置與前述接收天線元件的配置位置調換而得到的資料來使用，並生成前述圖像。

【請求項7】 如請求項1至5中任一項之散射斷層掃描裝置，其中前述散射斷層掃描裝置具備複數個前述接收天線元件，

前述資訊處理電路使用顯示前述散射斷層掃描裝置所具備的複數個接收天線元件的每一個所接收到的前述散射波的前述計測資料，來生成前述圖像。

【請求項8】 如請求項7之散射斷層掃描裝置，其中前述發送天線元件與前述複數個接收天線元件是排列成一排，

讓前述發送天線元件位於前述發送天線元件與前述複數個接收天線元件所排列的前述一排的一端，

並可在前述發送天線元件與前述複數個接收天線元件的集合之間配置電波吸收材。

【請求項9】 如請求項1之散射斷層掃描裝置，其中在以X座標、Y座標及Z座標所構成的3維空間中，前述發送天線元件的配置位置之X座標、Y座標及Z座

標分別和前述接收天線元件的配置位置之X座標、Y座標及Z座標相同，

前述散射場函數是以下式來規定：

[數式7]

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

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

x表示前述發送位置及前述接收位置之X座標，y表示前述發送位置及前述接收位置之Y座標，z表示前述發送位置及前述接收位置之Z座標，D表示包含藉由反射前述電波而產生前述散射波的物質之區域，ξ表示前述區域內的位置之X座標，η表示前述區域內的位置之Y座標，ζ表示前述區域內的位置之Z座標，ε(ξ, η, ζ)表示反射率，i表示虛數單位，k表示前述電波的波數。

【請求項10】如請求項9之散射斷層掃描裝置，其中前述方程式以下式來規定：

[數式8]

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

【請求項11】如請求項10之散射斷層掃描裝置，其中前述關係式是以下式來規定：

[數式9]

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

k_x表示有關於前述散射場函數的x之波數，k_y表示有關於前述散射場函數的y之波數，a(k_x, k_y, k)是以下式來規定：

[數式10]

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

I表示前述發送天線元件及前述接收天線元件所存在之前述發送位置及前述接收位置的索引， x_I 表示前述發送天線元件及前述接收天線元件所存在之前述發送位置及前述接收位置的X座標， z_I 及 $f(x_I)$ 表示前述發送天線元件及前述接收天線元件所存在之前述發送位置及前述接收位置的Z座標，

[數式11]

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

表示 x_I 、 k_y 及 k 中的前述計測資料。

【請求項12】如請求項11之散射斷層掃描裝置，其中前述圖像函數是以下式來規定：

[數式12]

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

前述圖像函數的x表示前述圖像之X座標，前述圖像函數的y表示前述圖像之Y座標，前述圖像函數的z表示前述圖像之Z座標，前述圖像函數中的包含於被積分函數的變數是以下式來規定：

[數式13]

$$k_z = \sqrt{4k^2 - k_x^2 - k_y^2}$$

$$k = \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2}$$

$$\frac{dk}{dk_z} = \frac{k_z}{4k}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{-(a+b-c_0^2\alpha k^2) + \sqrt{(a+b-c_0^2\alpha k^2)^2 + 4a\alpha c_0^2 k^2}}{2a\alpha}}$$

$$\frac{d\omega}{dk} = \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2a\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2},$$

c_0 表示真空中的前述電波的傳播速度， a 、 b 及 α 表示前述參數。

【請求項13】如請求項1之散射斷層掃描裝置，其中前述散射斷層掃描裝置具備複數個前述發送天線元件，並且具備複數個前述接收天線元件，

前述散射斷層掃描裝置所具備的複數個發送天線元件分別對應於前述電波的複數個偏振方向，

前述散射斷層掃描裝置所具備的複數個接收天線元件分別對應於前述電波的前述複數個偏振方向。

【請求項14】如請求項1至5中任一項之散射斷層掃描裝置，其中前述參數是藉由以下來規定：對於前述電波的複數個頻率，計測和前述物體同種的物體的複數個介電常數。

【請求項15】一種散射斷層掃描方法，包含以下步驟：

藉由發送天線元件來將電波從物體的外部往前述物體的內部發送；

藉由接收天線元件而在前述物體的外部接收已往前述物體的內部發送之前述電波的散射波；及

使用顯示已在前述接收天線元件所接收到的前述散射波之計測資料，來生成顯示前述物體的內部之圖像，

在生成前述圖像的步驟中進行以下程序：

使用前述計測資料來導出滿足散射場函數為解的方程式之關係式，前述散

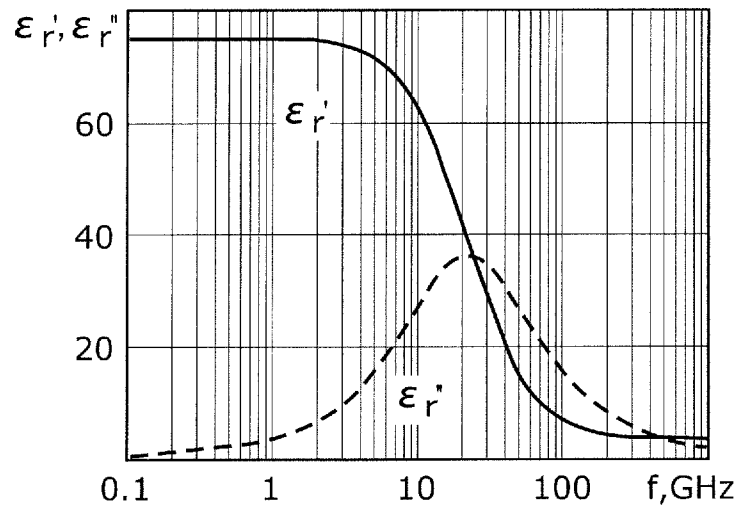
射場函數是輸入前述電波的發送位置及前述散射波的接收位置來輸出前述接收位置上的前述散射波的量之函數，

使用前述關係式來導出圖像函數，前述圖像函數是用於生成前述圖像之函數，且是反映出以下參數之函數：依照德拜鬆弛來顯示前述電波的頻率變化與前述物體的介電常數變化之對應關係的參數；及

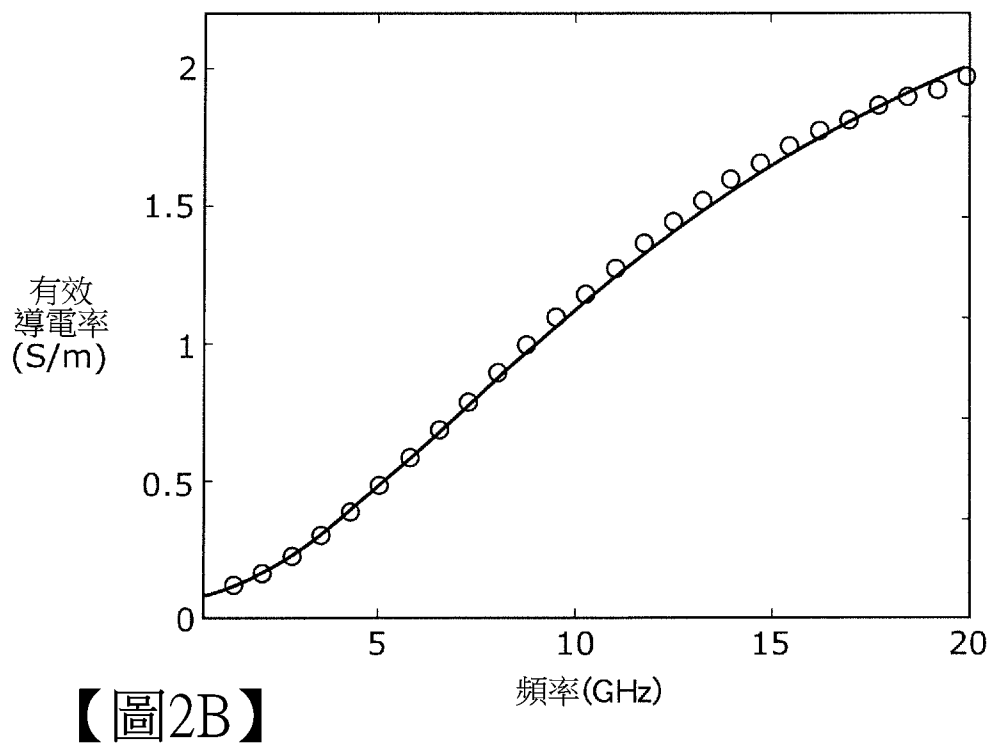
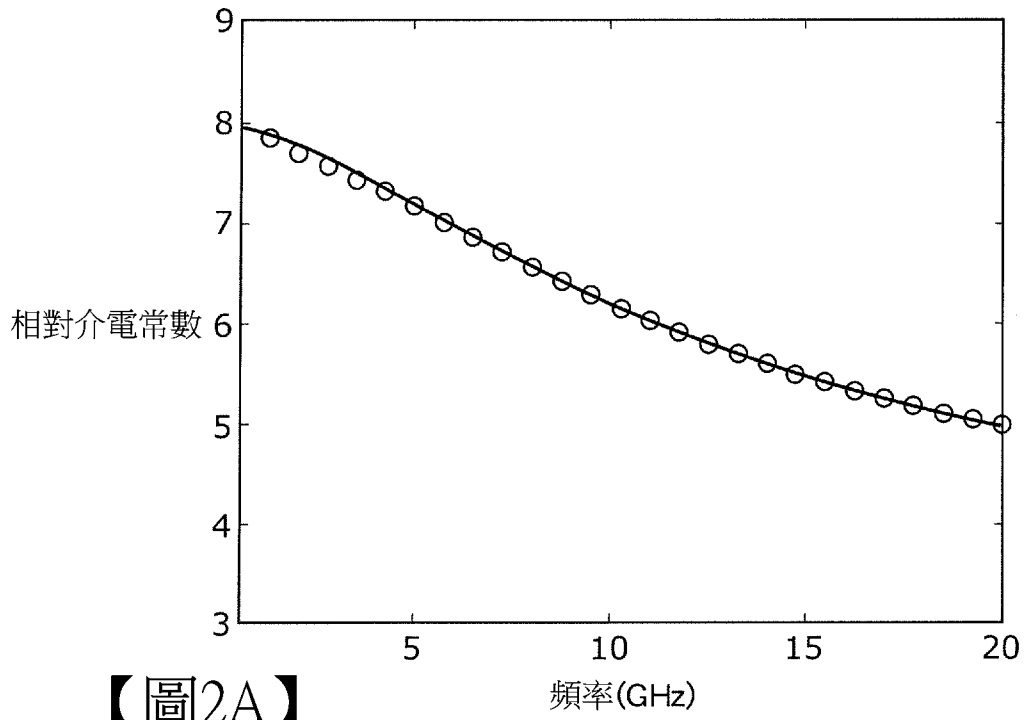
使用前述圖像函數來生成前述圖像，

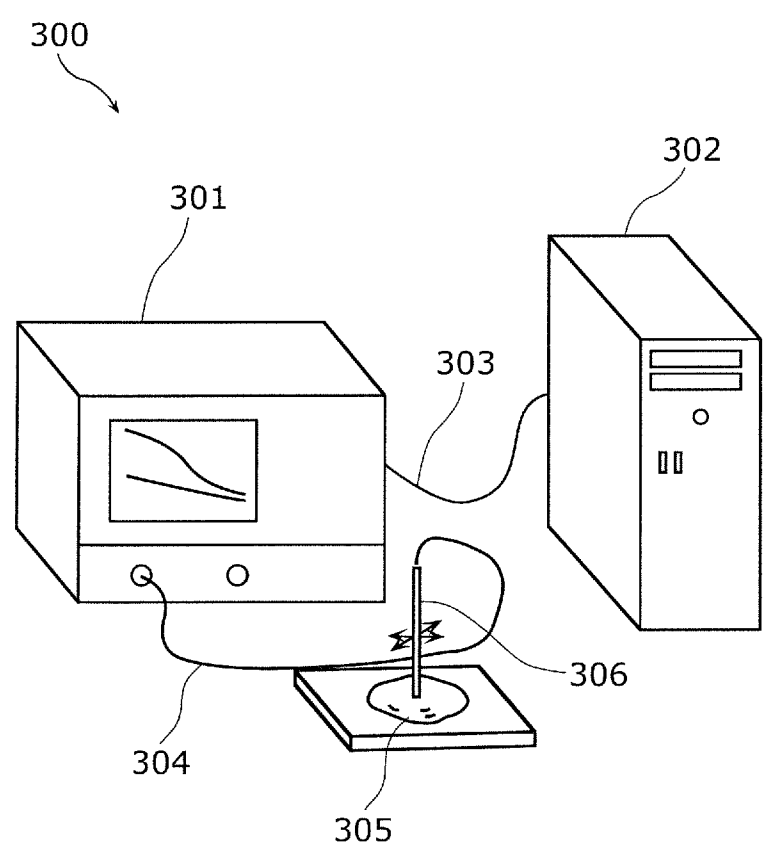
前述電波為脈衝波。

【發明圖式】

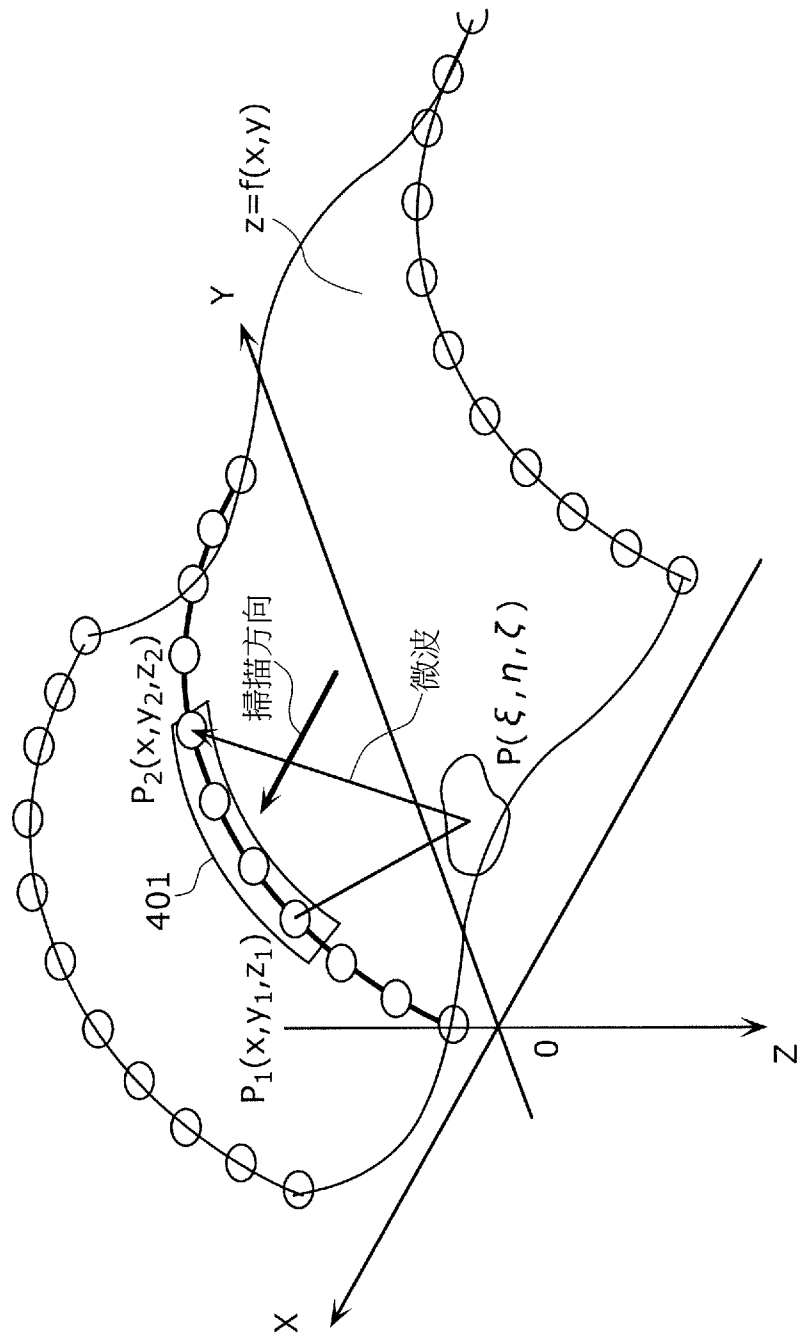


【圖1】

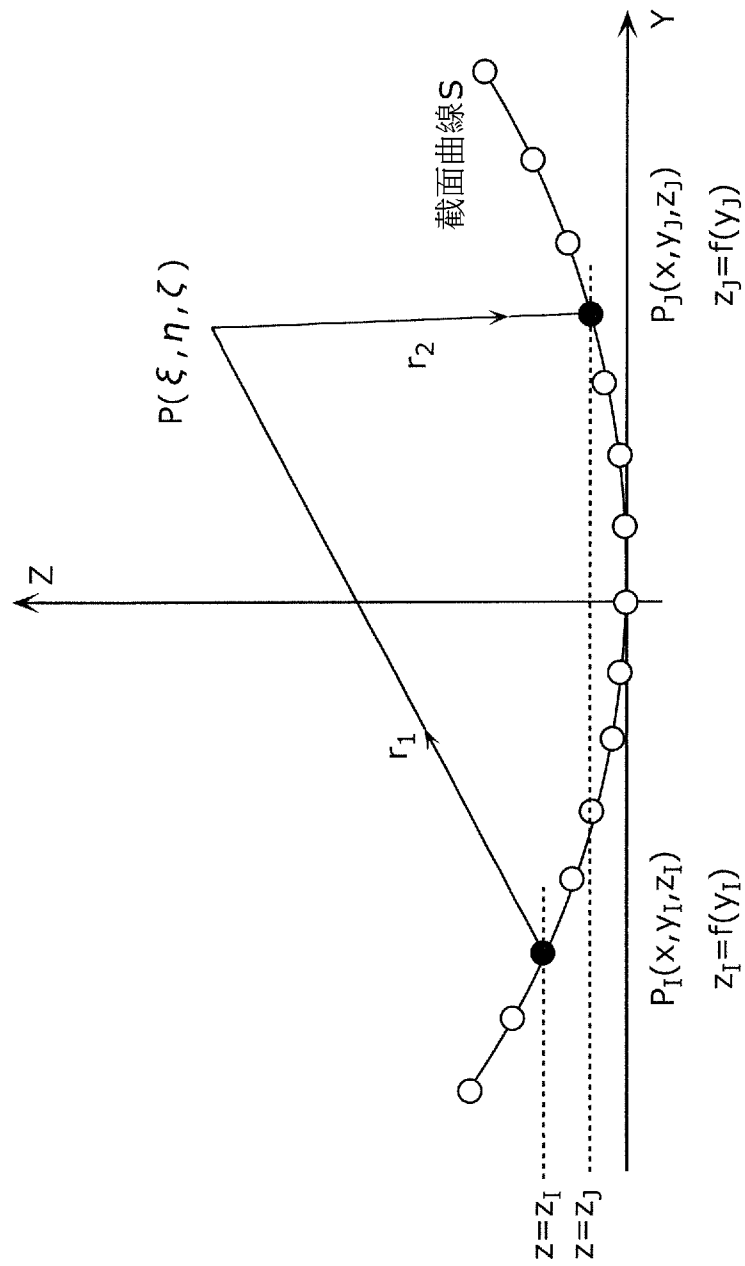




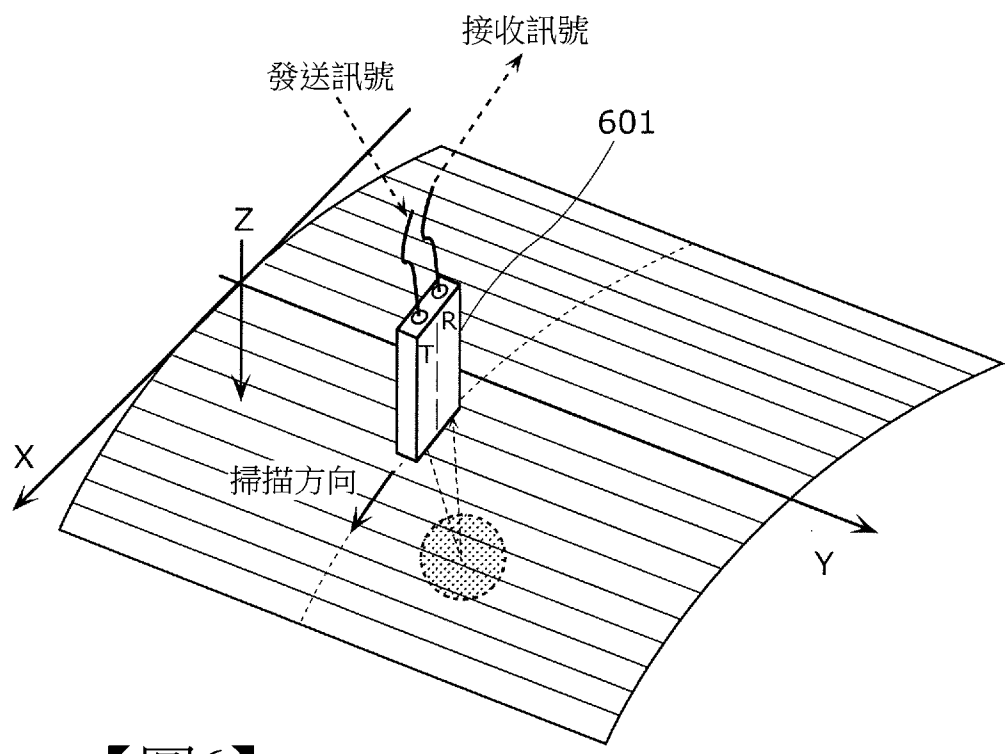
【圖3】



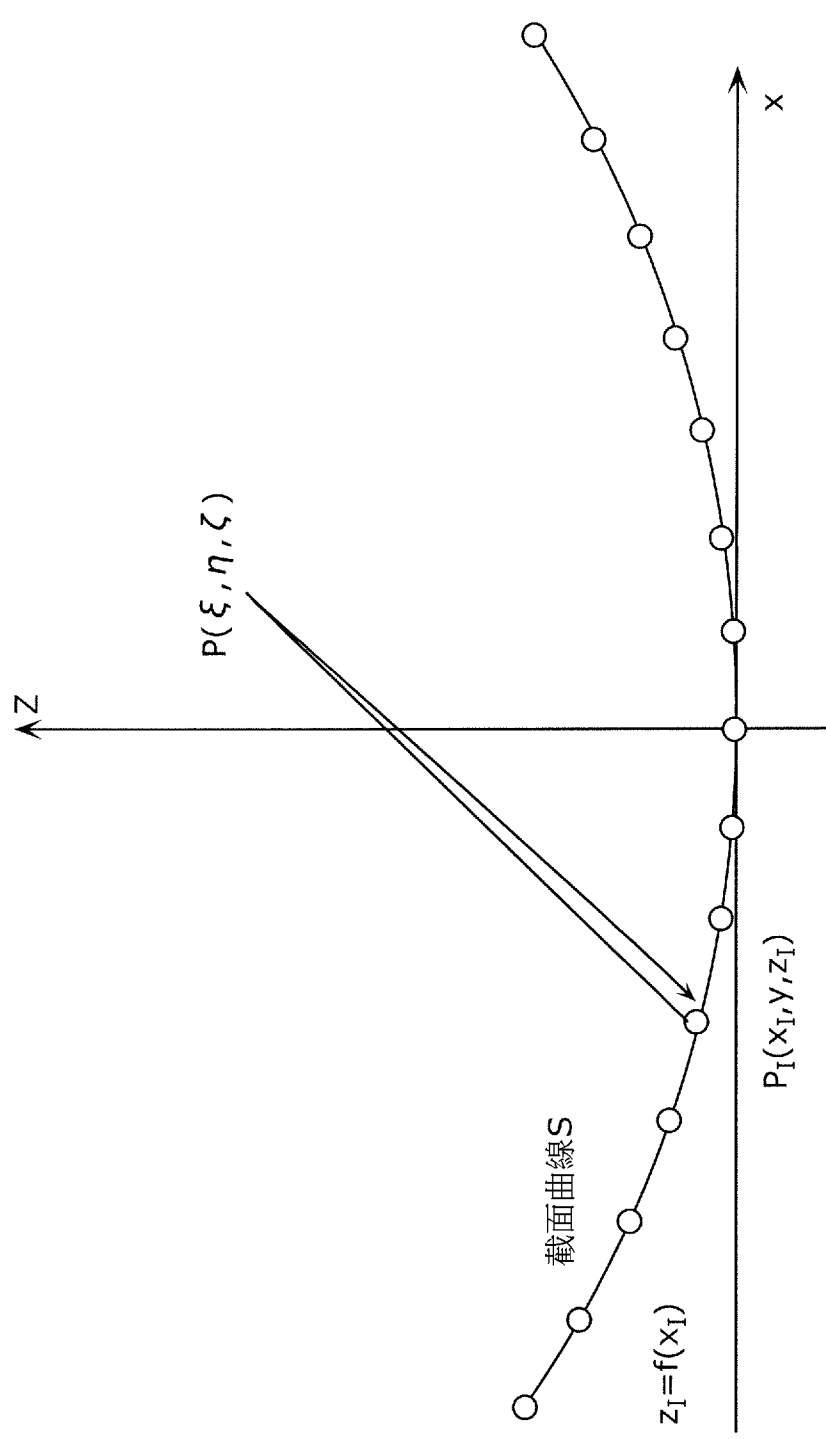
【圖4】



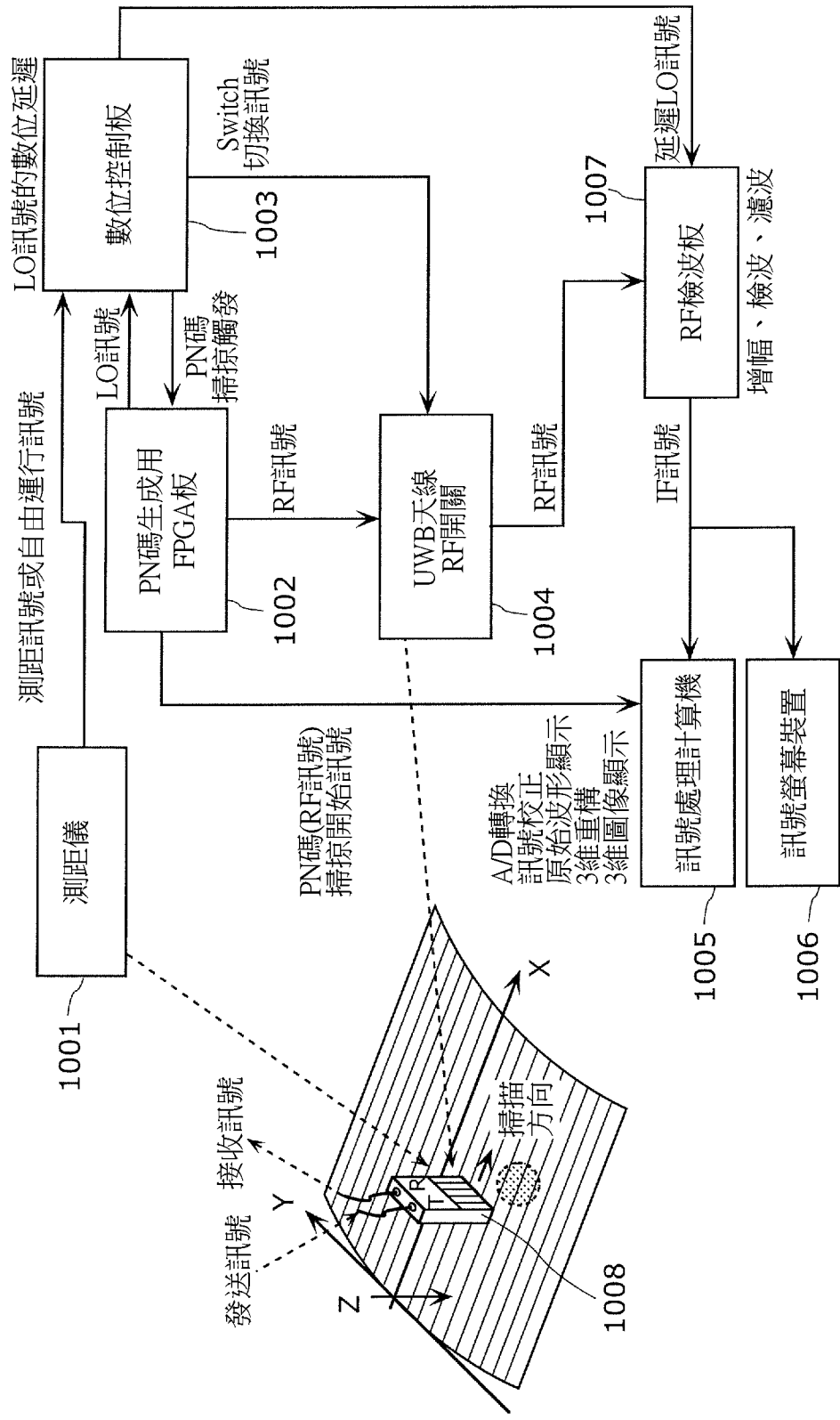
【圖5】



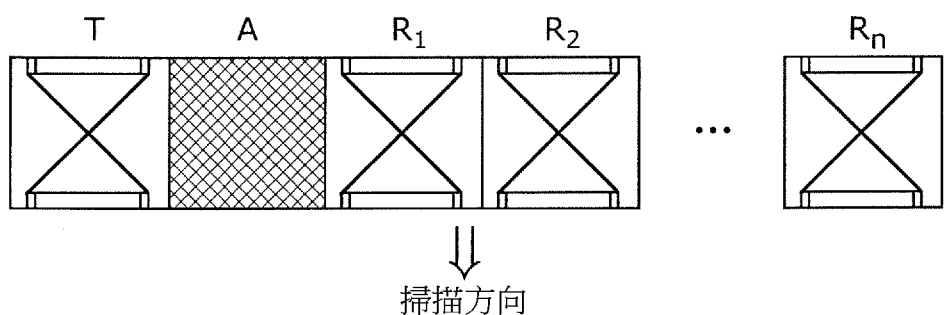
【圖6】



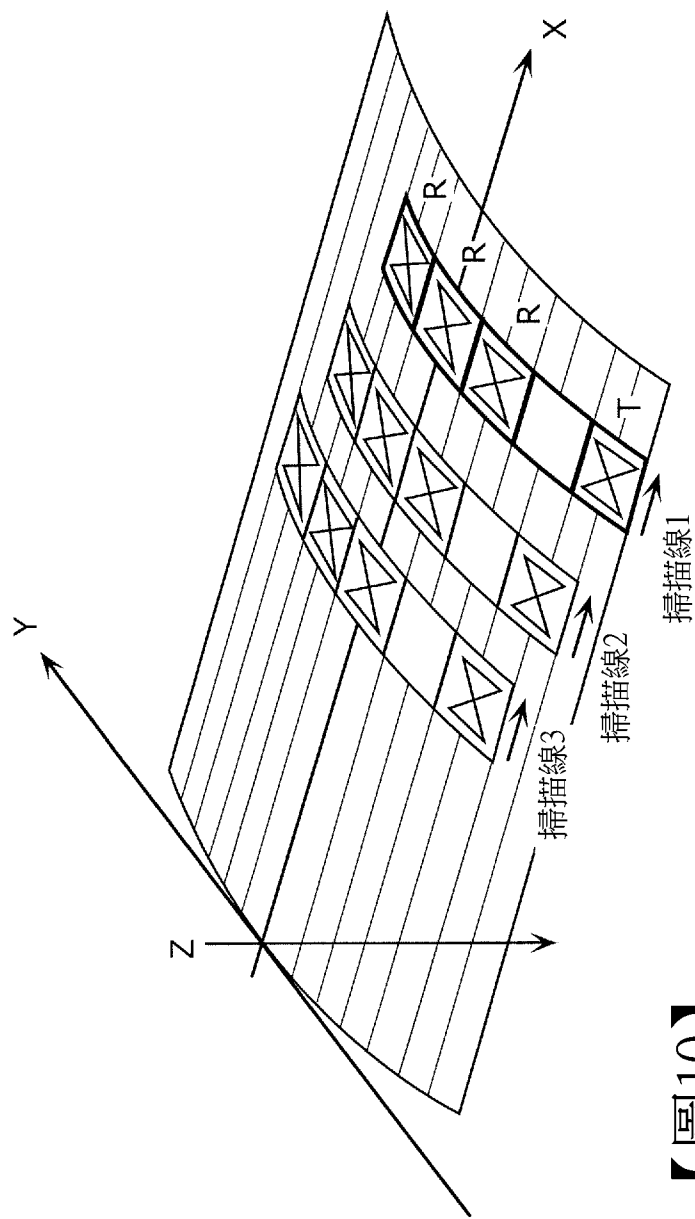
【圖7】



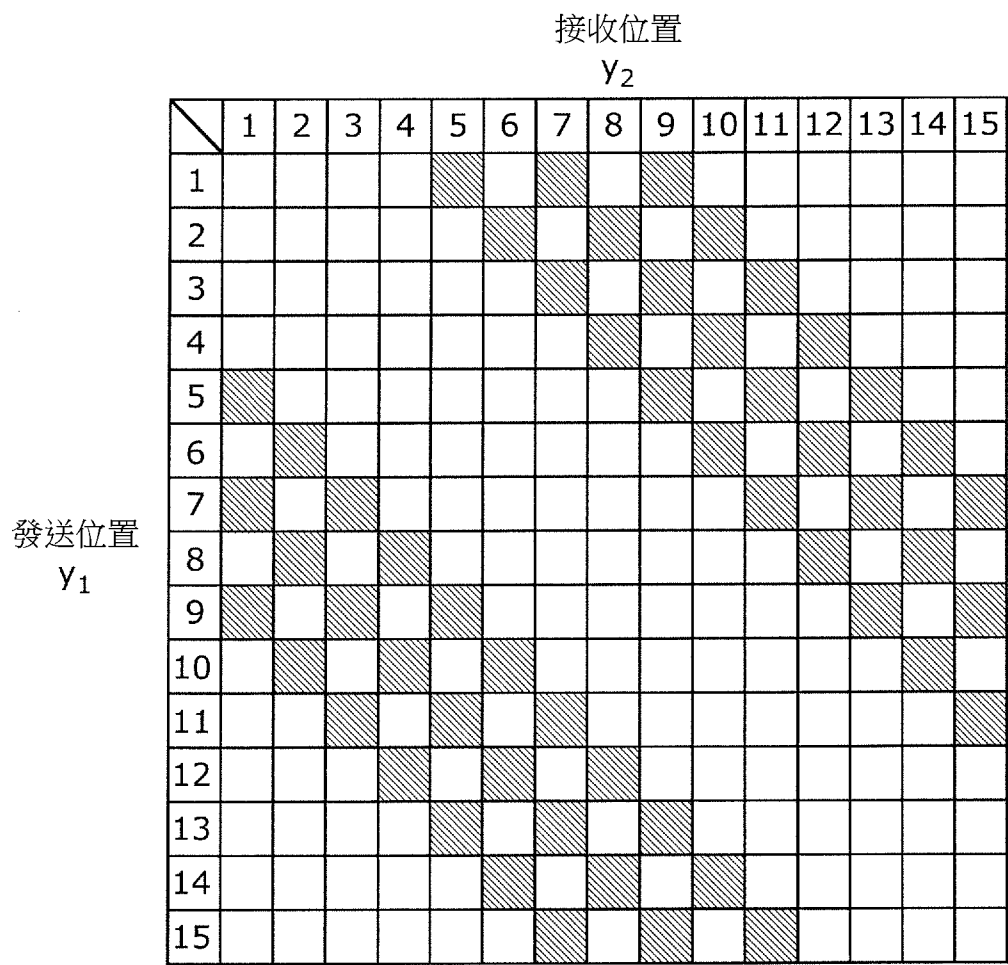
【圖8】



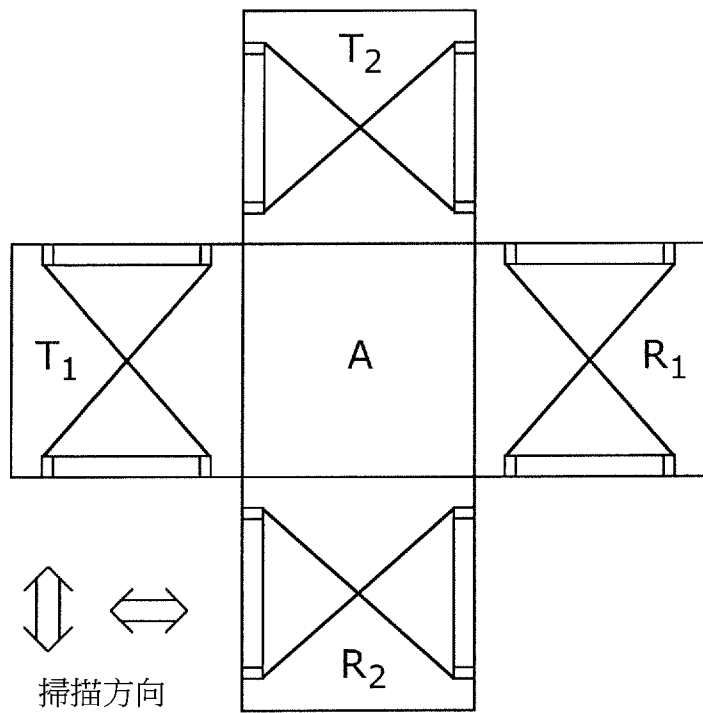
【圖9】



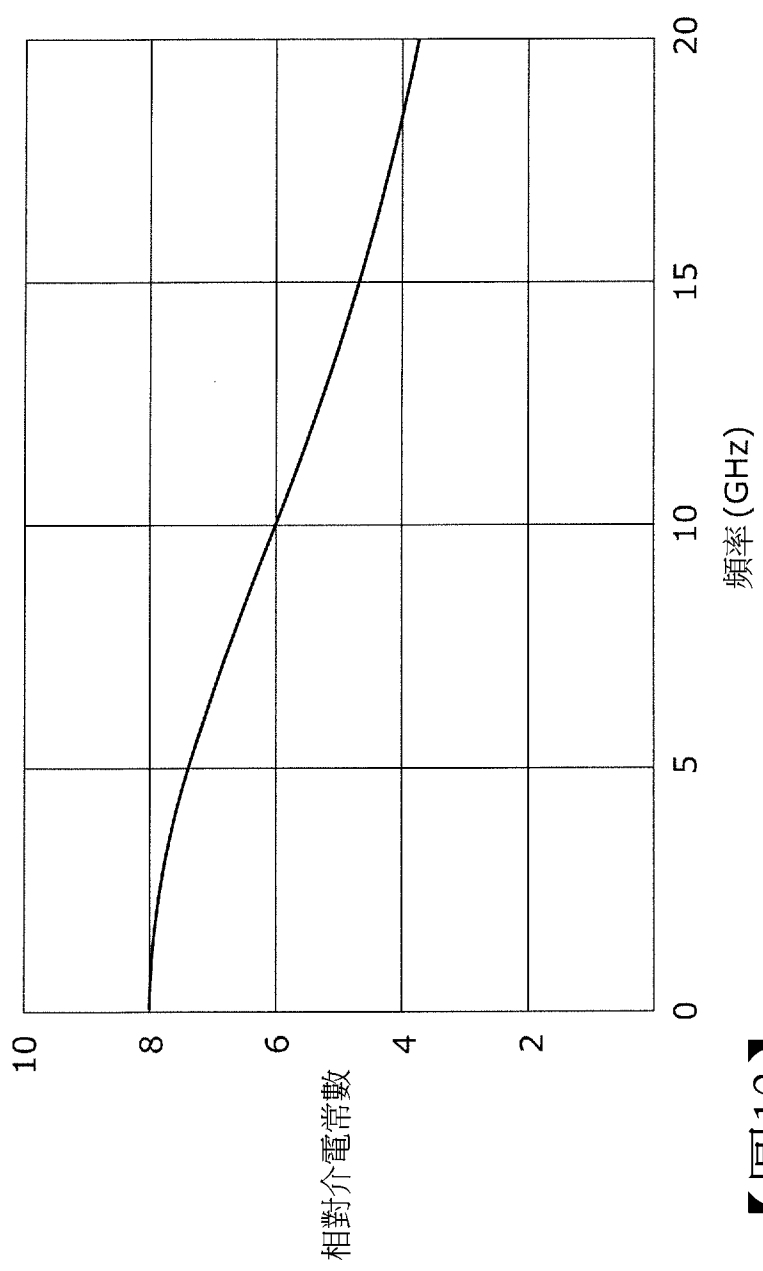
【圖10】



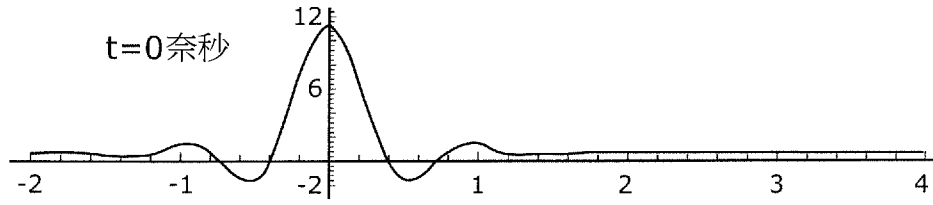
【圖11】



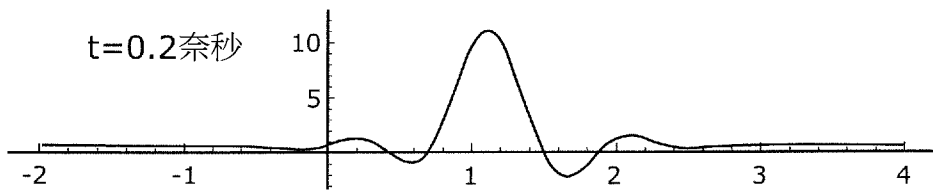
【圖12】



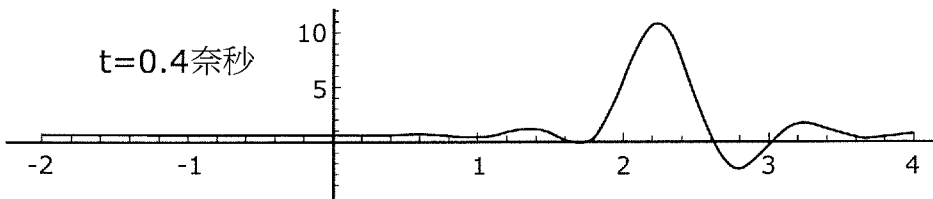
【圖13】



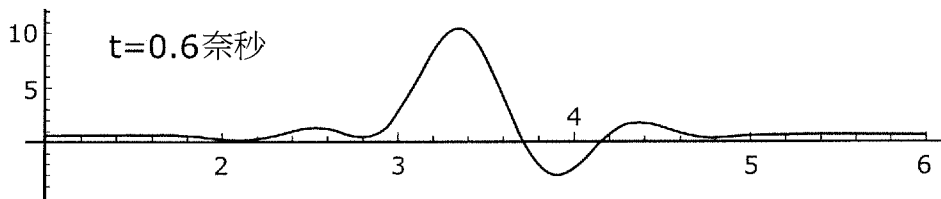
【圖14A】



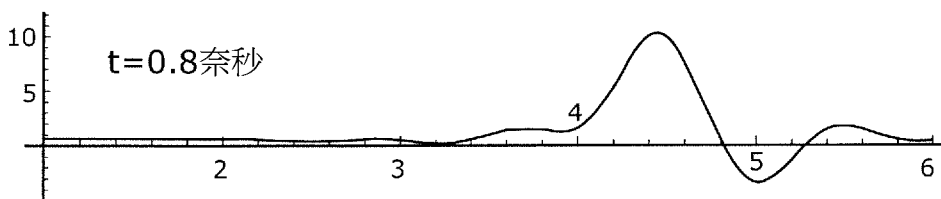
【圖14B】



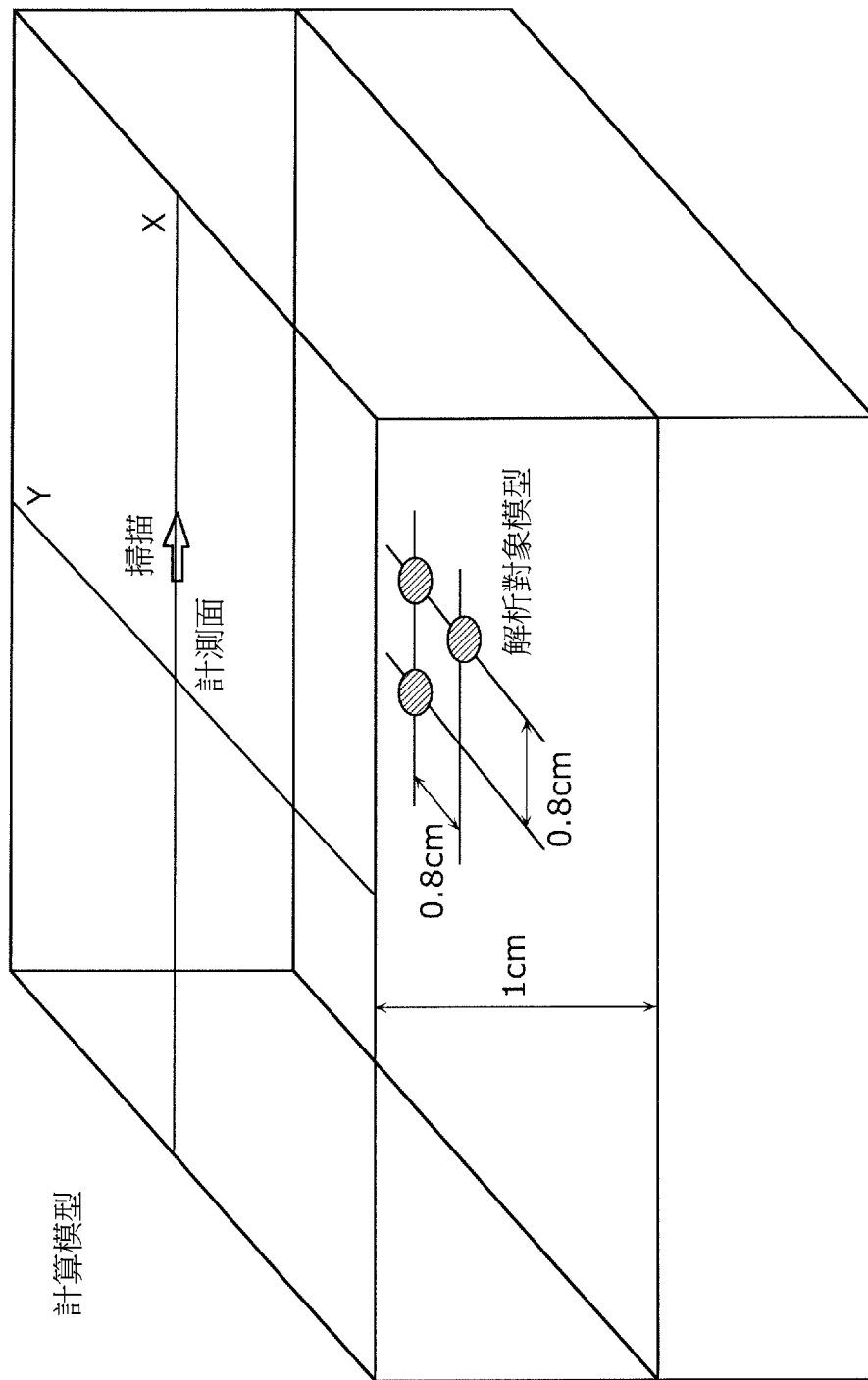
【圖14C】



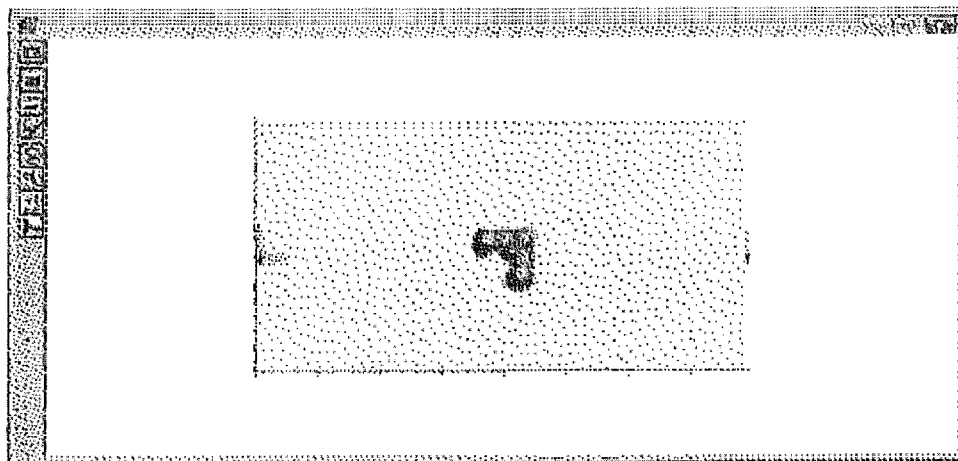
【圖14D】



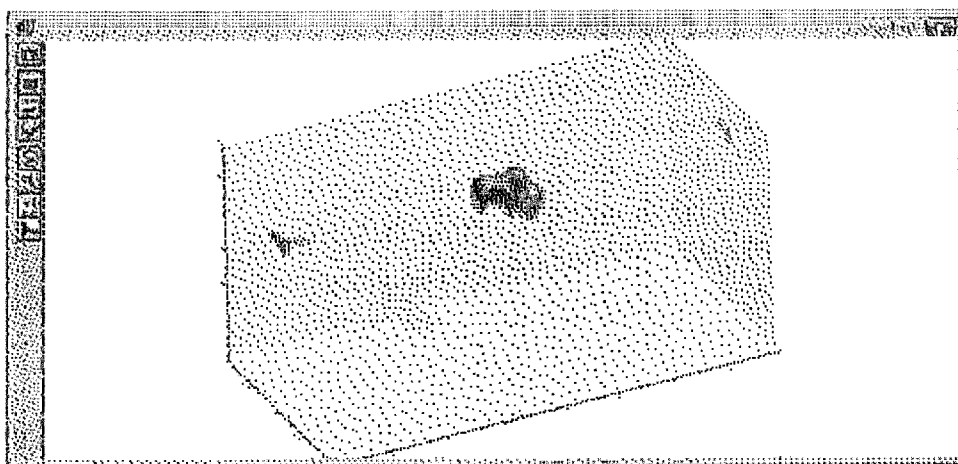
【圖14E】



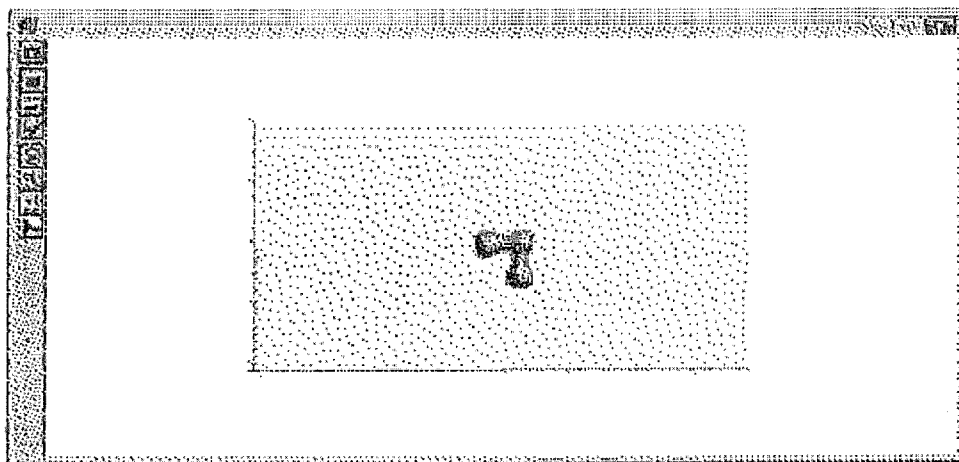
【圖15】



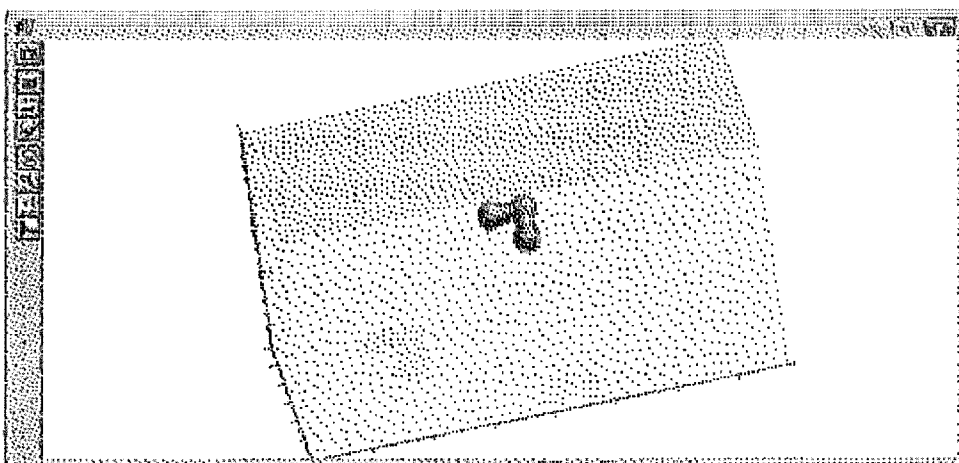
【圖16A】



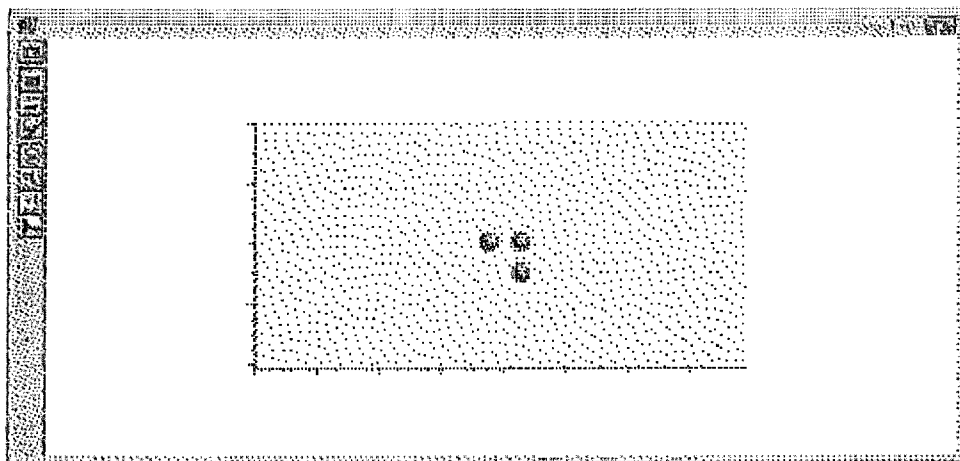
【圖16B】



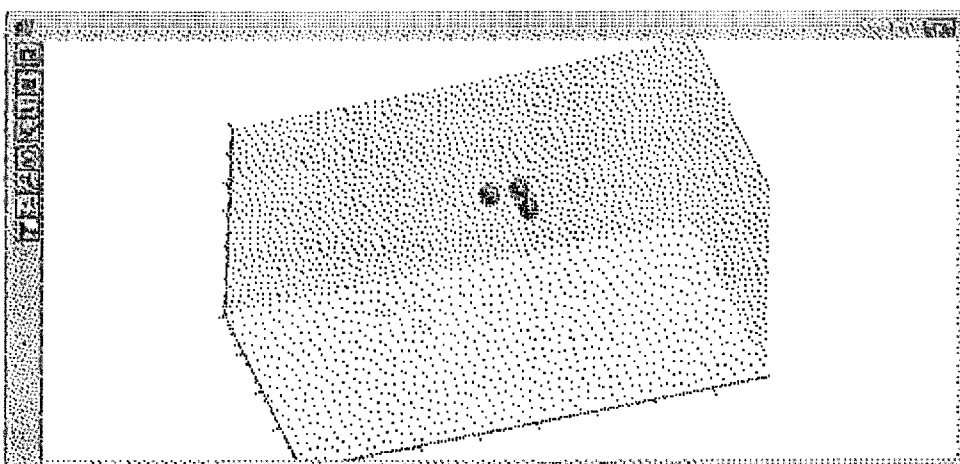
【圖17A】



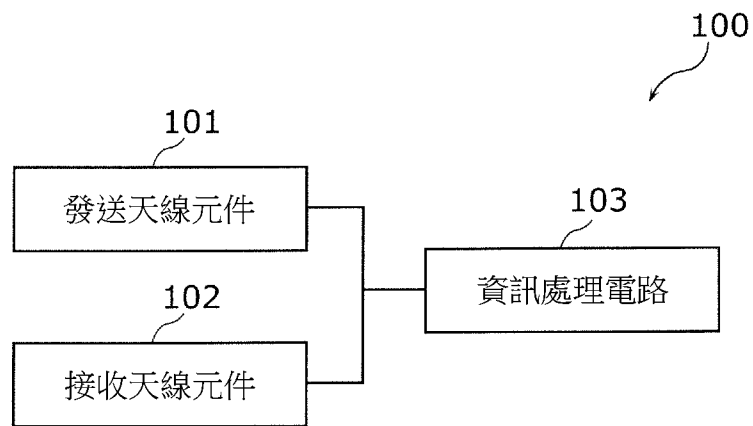
【圖17B】



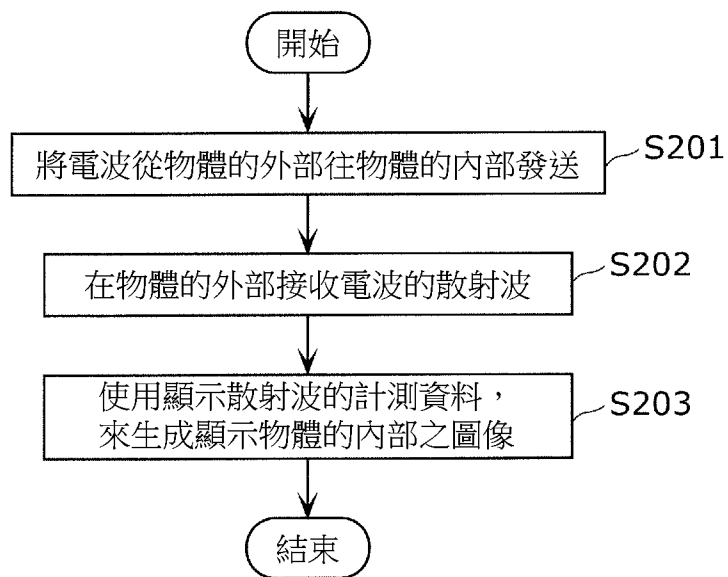
【圖18A】



【圖18B】



【圖19】



【圖20】