

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2010年1月21日(21.01.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/007830 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 29/44 (2006.01) G01B 17/06 (2006.01)
A61B 8/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/059212
- (22) 国際出願日: 2009年5月19日(19.05.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2008-187578 2008年7月18日(18.07.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人東北大学 (Tohoku University) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 山中一司 (YAMANAKA Kazushi) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 小原良和 (OHARA Yoshikazu) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台

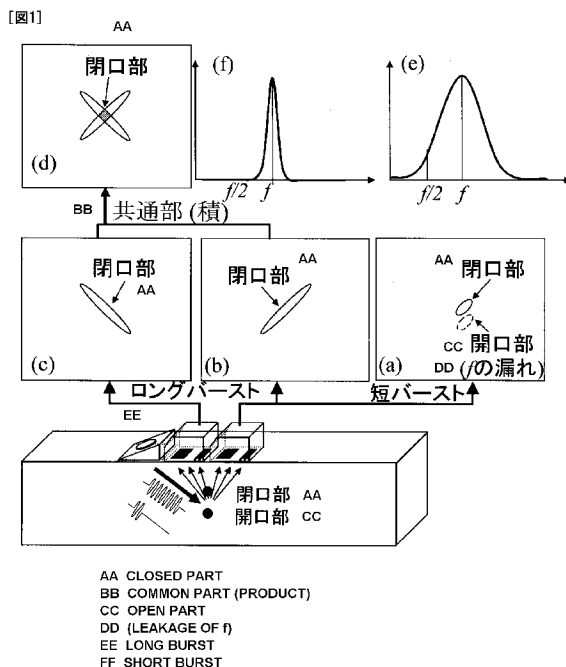
市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 新宅洋平 (SHINTAKU Yohei) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP).

- (74) 代理人: 須田篤, 外 (SUDA Atsushi et al.); 〒9800012 宮城県仙台市青葉区錦町一丁目2番10-605号 Miyagi (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ,

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR IMAGING STRUCTURE DEFECT, DEVICE FOR IMAGING STRUCTURE DEFECT, METHOD FOR IMAGING BUBBLE OR LESION, AND DEVICE FOR IMAGING BUBBLE OR LESION

(54) 発明の名称: 構造物欠陥の映像化方法、構造物欠陥の映像化装置、気泡や病変部の映像化方法および気泡や病変部の映像化装置



(57) Abstract: Provided is a method and device for imaging a structure defect with a high frequency resolution and a high spatial resolution and realizing an improved capability of discrimination between a closed crack and an open crack. Furthermore provided is a method and device for imaging a bubble or a lesion with a high frequency resolution and a high spatial resolution and realizing an improved capability of discrimination between a tissue and a bubble or a lesion. The structure defect imaging device includes an ultrasonic transmitter and an array receiver arranged at first places. A burst ultrasonic wave is directed to a structure from the ultrasonic transmitter, a scattered wave from a defect is received by the array receiver, and a received signal is obtained. The received signal is made to pass through a band-pass filter passing a specific frequency component, and the resultant signal is shifted by different periods of time corresponding to the positions of the reception sensor elements of the array receiver. The shifted signals are added together, and thereby a processing signal is generated. From the processing signal, an image of the defect is obtained. Then the ultrasonic transmitter and the array receiver are rearranged at second places. A similar operation is conducted, and another image of the defect is obtained. The common part of the two images is extracted.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2010/007830 A1



NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

規則 4.17 に規定する申立て:

— 発明者である旨の申立て (規則 4.17(iv))

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

【課題】高い周波数分解能および空間分解能を有し、閉じたき裂と開いたき裂との識別性を高めることができる構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置を提供する。また、高い周波数分解能および空間分解能を有し、組織と気泡や病変部との識別性を高めることができる気泡や病変部の映像化方法および気泡や病変部の映像化装置を提供する。【解決手段】欠陥に対して、超音波送信器およびアレイ受信器の異なる 2 つの配置について、超音波送信器から構造物に対して照射されたバースト超音波の欠陥からの散乱波を、アレイ受信器で受信して受信信号を得る。その受信信号に特定の周波数成分を通過させる帯域透過フィルタをかけ、アレイ受信器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して処理信号を得る。その処理信号に基づいて欠陥の映像をそれぞれ得る。得られた 2 つの映像の共通部分を抽出する。

明 細 書

発明の名称：

構造物欠陥の映像化方法、構造物欠陥の映像化装置、気泡や病変部の映像化方法および気泡や病変部の映像化装置

技術分野

[0001] 本発明は、構造物に含まれるき裂のような欠陥を検出する構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置、ならびに、組織に含まれる気泡や病変部を検出する気泡や病変部の映像化方法および気泡や病変部の映像化装置に関する。

背景技術

[0002] 原子炉、航空機、鉄道などの重要機器の安全性確保、及び製造された材料、接合された材料の健全性確保には、破壊の原因となるき裂や不完全な接合面を超音波の反射や散乱によって検出し、その大きさを正確に評価しつつ危険性があれば交換するという安全管理が行われている。しかし、様々な原因でき裂面を閉じさせるき裂閉口応力が大きい疲労き裂や、応力腐食割れに起因したき裂面に酸化膜が形成された閉じたき裂などにおいては、超音波の反射・散乱が小さく、き裂の長さや深さの計測誤差が大きいことが問題となっている。

[0003] 受信アレイ素子で得た散乱波に素子の位置に応じて異なる遅延を与えた信号を加算することにより、き裂の映像を得る工程はフェーズドアレイ法と呼ばれ、非破壊検査の分野では公知である（例えば、非特許文献1参照）。しかし、フェーズドアレイ法による映像によっても、閉じたき裂の正確な計測は困難であった。

[0004] このような背景のもとで、振幅の大きい超音波を照射し、閉じたき裂で発生する分調波を利用する閉じたき裂の定量評価法、及び閉じたき裂の定量評価装置が提案されている（例えば、特許文献1参照）。この評価法および装置では、分調波に対しフェーズドアレイ法を適用することで、閉じたき裂を

映像化することができる。この方法は、SPACE (subharmonic phased array for crack evaluation) と命名されている (例えば、非特許文献2 参照)。ここで、「subharmonic」は分調波を意味する。

- [0005] 図14は、SPACEの原理図である。SPACEでは、要素技術として、大振幅超音波の発生が可能な耐圧性に優れたLiNbO₃単結晶振動子を用いた送信側探触子 (送信器)、映像化を行うためのアレイ受信器および周波数通過フィルタ (デジタルフィルタ) を用いる。送信側探触子から大振幅超音波 (周波数 f) を入射することにより、き裂開口部での基本波 (周波数 f) の線形散乱に加えて、閉口部ではその閉じたき裂面が大振幅超音波の引張応力で開き閉振動することで分調波 (周波数 $f/2$) が発生する。これをアレイ受信器で受信し、デジタルフィルタで各成分を分離することで、基本波像および分調波像が観察できる。き裂先端が閉じている場合、基本波像では過小評価してしまうき裂深さを、分調波像により正確に計測できる。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1: 特開2005-315636号公報

非特許文献

- [0007] 非特許文献1: T. L. Szabo, "Diagnostic Ultrasound Imaging: Inside Out", Academic Pr, 2004年9月7日, p. 171

非特許文献2: Yoshikazu Ohara, Setsu Yamamoto, Tsuyoshi Mihara, and Kazushi Yamanaka, "Ultrasonic Evaluation of Closed Cracks Using Subharmonic Phased Array", Japanese Journal of Applied Physics, 2008, 47, p. 3908-3915

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0008] 図14に示すSPACEでは、高い距離分解能が必要な場合は、サイクル数3以下のバースト波を入射波とする。このとき、周波数分解能が低くなる

ため、非線形散乱源（き裂閉口部）と線形散乱源（底面・き裂開口部）とが接近している場合や、非線形散乱源に比べて線形散乱源からの応答が強い場合、分調波像には、き裂閉口部だけではなく、フィルタで除去し切れなかった基本波成分が現れてしまう。その結果、閉じたき裂と開いたき裂との識別が困難になり、識別性が低下するという課題があった。なお、バースト波とは、複数のサイクル数の正弦波から成る波である。サイクル数が1つの正弦波から成る波は、パルス波である。

[0009] 本発明は、高い周波数分解能および空間分解能を有し、閉じたき裂と開いたき裂との識別性を高めることができる構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置を提供することを目的とする。また、同じ原理に基づき、高い周波数分解能および空間分解能を有し、組織と気泡や病変部との識別性を高めることができる気泡や病変部の映像化方法および気泡や病変部の映像化装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] 上記目的を達成するために、本発明に係る構造物欠陥の映像化方法は、構造物に含まれるき裂のような欠陥を検出する構造物欠陥の映像化方法であって、所定のサイクル数の正弦波から成るバースト超音波を照射する超音波送信器と、複数の受信センサ素子を有するアレイ受信器とを有し、前記欠陥に対して前記超音波送信器および前記アレイ受信器を所定の位置に配置した第1の配置において、前記超音波送信器から前記構造物に対して照射された前記バースト超音波の前記欠陥からの散乱波を、前記アレイ受信器で受信して第1の受信信号を得る第1受信工程と、前記第1の受信信号に特定の周波数成分を通過させる帯域透過フィルタをかけ、前記アレイ受信器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して第1の処理信号を得、得られた前記第1の処理信号に基づいて前記欠陥の第1の映像を得る第1映像化工程と、前記欠陥に対して前記超音波送信器および前記アレイ受信器のうち少なくとも一方の位置が異なる第2の配置において、前記超音波送信器から前記構造物に対して照射された前記バースト超音波の前記欠

陥からの散乱波を、前記アレイ受信器で受信して第2の受信信号を得る第2受信工程と、前記第2の受信信号に前記帯域透過フィルタをかけ、前記アレイ受信器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して第2の処理信号を得、得られた前記第2の処理信号に基づいて前記欠陥の第2の映像を得る第2映像化工程と、前記第1の映像および前記第2の映像の共通部分を抽出する抽出工程とを、有することを特徴とする。

[0011] 本発明に係る構造物欠陥の映像化方法の原理について、図1に基づいて説明する。

図1(a)は、時間分解能の高い短バースト超音波（サイクル数が少ないバースト超音波）を、左側の超音波送信器からき裂の閉口部および開口部に入射した場合の散乱波を、2つのアレイ受信器のうちの右側のアレイ受信器を用いて検出した場合の、散乱波から分離された分調波に基づく映像であり、図14に示すSPACEに対応するものである。なお、検出された散乱波に帯域透過フィルタをかけて分調波を分離し、さらにフェーズドアレイ法を用いてき裂の映像を得ている。き裂の閉口部と開口部とが離れた場合や、開口部の信号強度が小さい場合には、図1(a)の実線に示すように、開口部は見え、閉口部のみが選択的に映像される。しかし、き裂の閉口部と開口部とが接近した場合や、開口部の信号強度が大きい場合には、図1(a)の破線に示すように、閉口部だけでなく開口部も見える場合がある。これは、周波数分解能が低いためであり、具体的には図1(e)に示すように、開口部から発生した中心周波数 f の基本波の信号が広いスペクトル幅を持ち、分調波の周波数 $f/2$ まで漏れるためである。本来閉口き裂のみを示す分調波の映像に開口部も見えることは、一種のゴーストであり、閉口き裂と開口き裂の選択性の低下をもたらす。

[0012] これに対して、図1(b)～(d)は、本発明に係る構造物欠陥の映像化方法を示している。図1(b)および(c)は、ロングバースト超音波（サイクル数が多いバースト超音波）を超音波送信器からき裂の閉口部および開口部に入射した場合の散乱波を、それぞれ右側および左側のアレイ受信器を

用いて検出した場合の、散乱波から分離された分調波に基づく映像である。この場合にも、検出された散乱波に帯域透過フィルタをかけて分調波を分離し、さらにフェーズドアレイ法を用いてき裂の映像を得ている。図1 (b) および (c) に示すように、き裂の閉口部と開口部とが接近した場合や、開口部の信号強度が大きい場合であっても、閉口部のみが見え、開口部は見え、選択性が向上している。これは、周波数分解能が高いためであり、具体的には図1 (f) に示すように、開口部から発生した中心周波数 f の基本波の信号が狭いスペクトル幅を持ち、分調波の周波数 $f/2$ には漏れないためである。

[0013] しかし、図1 (b) および (c) に示すように、き裂の映像は、き裂とアレイ受信器の中心とを結ぶ方向に伸びている。このように、映像が一定の方向に伸びる現象は、本発明者等により見出されたものであり、これが空間分解能の低下をもたらしている。そこで、図1 (d) に示すように、図1 (b) に示す第1の映像、および、図1 (c) に示す第2の映像の共通部分を抽出することにより、空間分解能の向上した真の閉口部の映像を得ることができる。また、図1 (a) において見られたゴーストとしての開口部は見え、選択性も向上している。

[0014] このように、本発明に係る構造物欠陥の映像化方法は、高い周波数分解能および空間分解能を有し、閉じたき裂と開いたき裂との識別性を高めることができる。また、閉じたき裂などの欠陥を、高精度で検出することができる。本発明に係る構造物欠陥の映像化方法で、第1の配置と第2の配置とは、超音波送信器の位置のみが異なっても、アレイ受信器の位置のみが異なっても、超音波送信器およびアレイ受信器双方の位置が異なってもよい。いずれの場合も、第1の配置により得られた欠陥の映像が伸びる方向と、第2の配置により得られた欠陥の映像が伸びる方向とが異なるため、2つの映像の共通部分を抽出することにより、空間分解能の向上した、閉じたき裂などの欠陥の映像を得ることができる。

[0015] 本発明に係る構造物欠陥の映像化装置は、構造物に含まれるき裂のような

欠陥を検出する構造物欠陥の映像化装置であって、任意のサイクル数の正弦波から成るバースト超音波を照射する超音波送信器と、前記超音波送信器から前記構造物に対して照射された前記バースト超音波の前記欠陥からの散乱波を受信可能に設けられた複数の受信センサ素子を有するアレイ受信器と、前記アレイ受信器の各受信センサ素子で受信した受信信号に、特定の周波数成分を通過させる帯域透過フィルタをかけ、前記アレイ受信器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して処理信号を得、得られた前記処理信号に基づいて、前記欠陥の映像を得る映像化手段と、前記映像化手段により得られた互いに異なる2つの映像の共通部分を抽出する抽出手段とを、有することを特徴とする。

[0016] 本発明に係る構造物欠陥の映像化装置は、本発明に係る構造物欠陥の映像化方法を容易に実施することができる。このため、本発明に係る構造物欠陥の映像化装置は、高い周波数分解能および空間分解能を有し、閉じたき裂と開いたき裂との識別性を高めることができる。また、閉じたき裂などの欠陥を、高精度で検出することができる。

[0017] 本発明に係る構造物欠陥の映像化方法は、前記バースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数が4以上であることが好ましい。また、本発明に係る構造物欠陥の映像化装置で、前記超音波送信器は正弦波のサイクル数が4以上のバースト超音波を照射するよう構成され、前記映像化手段は、前記欠陥に対して前記超音波送信器および前記アレイ受信器のうち少なくとも一方の位置が異なる2つの場合について、互いに異なる2つの映像を得るよう構成されていることが好ましい。この場合、特に周波数分解能を高めることができ、閉じたき裂と開いたき裂との識別性に優れている。また、閉じたき裂などの欠陥を、特に高精度で検出することができる。

[0018] 本発明に係る構造物欠陥の映像化方法は、前記アレイ受信器内で使用する受信センサ素子を切り換えることにより、前記第1の配置および前記第2の配置を構成してもよい。また、本発明に係る構造物欠陥の映像化装置で、前記アレイ受信器は、使用する受信センサ素子を切換可能であってもよい。こ

の場合、超音波送信器およびアレイ受信器のどちらも動かすことなく、2つの異なる映像を得ることができ、空間分解能の向上した、閉じたき裂などの欠陥の映像を容易に得ることができる。

[0019] 本発明に係る構造物欠陥の映像化方法は、構造物に含まれるき裂のような欠陥を検出する構造物欠陥の映像化方法であって、任意のサイクル数の正弦波から成るバースト超音波を照射する超音波送信器と、複数の受信センサ素子を有するアレイ受信器とを有し、前記超音波送信器から前記構造物に対して所定のサイクル数の正弦波から成る第1のバースト超音波を照射し、前記第1のバースト超音波の前記欠陥からの散乱波を、前記アレイ受信器で受信して第1の受信信号を得る第1受信工程と、前記第1の受信信号に、前記正弦波の中心周波数成分、その整数倍の周波数成分、またはその整数分の1の周波数成分を通過させる帯域透過フィルタをかけ、前記アレイ受信器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して第1の処理信号を得、得られた前記第1の処理信号に基づいて、前記欠陥の第1の映像を得る第1映像化工程と、前記超音波送信器から前記構造物に対して前記所定のサイクル数とは異なるサイクル数の正弦波から成る第2のバースト超音波を照射し、前記第2のバースト超音波の前記欠陥からの散乱波を、前記アレイ受信器で受信して第2の受信信号を得る第2受信工程と、前記第2の受信信号に前記帯域透過フィルタをかけ、前記アレイ受信器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して第2の処理信号を得、得られた前記第2の処理信号に基づいて、前記欠陥の第2の映像を得る第2映像化工程と、前記第1の映像および前記第2の映像の共通部分を抽出する抽出工程とを、有していてもよい。

[0020] この正弦波のサイクル数が異なる2つのバースト超音波を照射する場合の、本発明に係る構造物欠陥の映像化方法の原理について、図2に基づいて説明する。

図2(a)は、時間分解能の高い短バースト超音波(サイクル数が少ないバースト超音波)を、超音波送信器からき裂の閉口部および開口部に入射し

た場合の散乱波を、アレイ受信器を用いて検出した場合の、散乱波から分離された分調波に基づく映像である。なお、検出された散乱波に帯域透過フィルタをかけて分調波を分離し、さらにフェーズドアレイ法を用いてき裂の映像を得ている。図2(a)の映像では、閉口部だけでなく開口部も見える。図2(b)は、ロングバースト超音波（サイクル数が多いバースト超音波）による分調波に基づく映像で、閉口部のみが見え、開口部は見えない。しかし、映像は、アレイ受信器の中心方向に伸びている。図2(c)は、図2(a)に示す第1の映像、および、図2(b)に示す第2の映像の共通部分を抽出した映像であり、開口部を消去し、同時に空間分解能の向上した真の閉口部の映像が得られることを示している。

[0021] このように、正弦波のサイクル数が異なる2つのバースト超音波を照射する場合の、本発明に係る構造物欠陥の映像化方法は、高い周波数分解能および空間分解能を有し、閉じたき裂と開いたき裂との識別性を高めることができる。また、閉じたき裂などの欠陥を、高精度で検出することができる。この本発明に係る構造物欠陥の映像化方法は、本発明に係る構造物欠陥の映像化装置により容易に実施することができる。なお、この図2に示す方法は、長さは異なるが同一方向に伸びた2つの映像の共通部分を抽出するため、異なる方向に伸びた映像の共通部分を抽出する図1の方法より、映像は大きくなり、空間分解能が低くなる場合がある。

[0022] 正弦波のサイクル数が異なる2つのバースト超音波を照射する場合の、本発明に係る構造物欠陥の映像化方法は、前記第1のバースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数が4以上であり、前記第2のバースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数が3以下であることが好ましい。また、本発明に係る構造物欠陥の映像化装置で、前記映像化手段は前記超音波送信器が照射するバースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数が4以上の場合および3以下の場合について、互いに異なる2つの映像を得るよう構成されていることが好ましい。この場合、特に周波数分解能および空間分解能を同時に高めることができ、閉じたき裂と開いたき裂との識別性に優れている。また、閉じた

き裂などの欠陥を、特に高精度で検出することができる。

[0023] 本発明に係る構造物欠陥の映像化方法は、前記帯域透過フィルタの帯域幅を、フィルタをかける前記第1の受信信号または前記第2の受信信号に対応するバースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数に反比例させてもよい。また、本発明に係る構造物欠陥の映像化装置で、前記映像化手段は、前記帯域透過フィルタの帯域幅が、フィルタをかける前記受信信号に対応するバースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数に反比例していてもよい。この場合、特に周波数分解能を高めることができ、閉じたき裂と開いたき裂との識別性に優れている。また、閉じたき裂などの欠陥を、特に高精度で検出することができる。

[0024] 本発明に係る構造物欠陥の映像化方法は、前記第1の映像および前記第2の映像が、前記アレイ受信器の中心と前記欠陥とを結ぶ方向に、各映像に対応するバースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数に依存して伸びた形状となるよう、前記アレイ受信器の前記受信センサ素子の数を決定してもよい。また、本発明に係る構造物欠陥の映像化装置で、前記アレイ受信器は、前記2つの映像が前記アレイ受信器の中心と前記欠陥とを結ぶ方向に、各映像に対応するバースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数に依存して伸びた形状となるよう、前記受信センサ素子の数を決定されていてもよい。この場合、特に空間分解能を高めることができる。また、閉じたき裂などの欠陥を、特に高精度で検出することができる。

[0025] 本発明に係る構造物欠陥の映像化方法で、前記帯域透過フィルタは、フィルタをかける前記第1の受信信号または前記第2の受信信号に対応するバースト超音波に含まれる正弦波の周波数の整数倍の周波数を有する高調波、または、フィルタをかける前記第1の受信信号または前記第2の受信信号に対応するバースト超音波に含まれる正弦波の周波数の整数分の1の周波数を有する分調波の周波数成分のみを通過させてもよい。また、本発明に係る構造物欠陥の映像化装置で、前記帯域透過フィルタは、フィルタをかける前記受信信号に対応するバースト超音波に含まれる正弦波の周波数の整数倍の周波

数を有する高調波、または、フィルタをかける前記受信信号に対応するバースト超音波に含まれる正弦波の周波数の整数分の1の周波数を有する分調波の周波数成分のみを通過させるよう構成されていてもよい。この場合、特に周波数分解能を高めることができる。また、高調波または分調波のみを使用して、閉じたき裂などの欠陥を特に高精度で検出することができる。

[0026] 本発明に係る構造物欠陥の映像化方法で、前記抽出工程は、デジタル化された前記第1の映像および前記第2の映像の積、もしくは積の平方根を演算することにより、または、2値化された前記第1の映像および前記第2の映像の1となる部分の共通部のみに、元の前記第1の映像もしくは前記第2の映像の強度を付与することにより、前記第1の映像および前記第2の映像の共通部分を抽出するよう構成されていてもよい。また、本発明に係る構造物欠陥の映像化装置で、前記抽出手段は、デジタル化された前記2つの映像の積、もしくは積の平方根を演算することにより、または、2値化された前記2つの映像の1となる部分の共通部のみに、元の映像の強度を付与することにより、各映像の共通部分を抽出するよう構成されていてもよい。これらの場合、コンピュータを使用して各映像の共通部分を容易に抽出ことができ、閉じたき裂などの欠陥を高精度で検出することができる。

[0027] 本発明に係る構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置によれば、原子炉、航空機、鉄道、材料の製造工程、接合工程などの非破壊評価の現場において、閉じたき裂を映像化することができる。また、これにより、補修・交換の必要性を定量的に示すことができ、これらの機器・構造物の安全および安心の確立に貢献することができる。なお、本発明に係る構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置は、時間分解能の高い短バースト超音波（サイクル数が少ないバースト超音波）を使用することにより、開いたき裂も高精度で検出することができる。

[0028] 本発明に係る気泡や病変部の映像化方法は、組織に含まれる気泡や病変部を検出する気泡や病変部の映像化方法であって、任意のサイクル数の正弦波から成るバースト超音波を照射する超音波送信器と、複数の受信センサ素子

を有するアレイ受信器とを有し、前記超音波送信器から前記組織に対して所定のサイクル数の正弦波から成る第1のバースト超音波を照射し、前記第1のバースト超音波の前記気泡や病変部からの散乱波を、前記アレイ受信器で受信して第1の受信信号を得る第1受信工程と、前記第1の受信信号に、前記正弦波の中心周波数成分、その整数倍の周波数成分、またはその整数分の1の周波数成分を通過させる帯域透過フィルタをかけ、前記アレイ受信器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して第1の処理信号を得、得られた前記第1の処理信号に基づいて、前記気泡や病変部の第1の映像を得る第1映像化工程と、前記超音波送信器から前記組織に対して前記所定のサイクル数とは異なるサイクル数の正弦波から成る第2のバースト超音波を照射し、前記第2のバースト超音波の前記気泡や病変部からの散乱波を、前記アレイ受信器で受信して第2の受信信号を得る第2受信工程と、前記第2の受信信号に前記帯域透過フィルタをかけ、前記アレイ受信器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して第2の処理信号を得、得られた前記第2の処理信号に基づいて、前記気泡や病変部の第2の映像を得る第2映像化工程と、前記第1の映像および前記第2の映像の共通部分を抽出する抽出工程とを、有することを特徴とする。

[0029] 本発明に係る気泡や病変部の映像化装置は、組織に含まれる気泡や病変部を検出する気泡や病変部の映像化装置であって、任意のサイクル数の正弦波から成るバースト超音波を照射する超音波送信器と、前記超音波送信器から前記組織に対して照射された前記バースト超音波の前記気泡や病変部からの散乱波を受信可能に設けられた複数の受信センサ素子を有するアレイ受信器と、前記アレイ受信器の各受信センサ素子で受信した受信信号に、特定の周波数成分を通過させる帯域透過フィルタをかけ、前記アレイ受信器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して処理信号を得、得られた前記処理信号に基づいて、前記欠陥の映像を得る映像化手段と、前記映像化手段により得られた互いに異なる2つの映像の共通部分を

抽出する抽出手段とを、有することを特徴とする。

- [0030] 本発明に係る気泡や病変部の映像化方法および気泡や病変部の映像化装置は、本発明に係る構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置の記述における「構造物」を「組織」、「欠陥」を「気泡や病変部」と読み替えることにより、構造物の欠陥のみではなく、高調波・分調波を用いた生体組織の造影剤気泡や病変部の選択性向上にも、同様に適用できることは明らかである。このため、本発明に係る気泡や病変部の映像化方法および気泡や病変部の映像化装置は、高い周波数分解能および空間分解能を有し、組織と気泡や病変部との識別性を高めることができる。

発明の効果

- [0031] 本発明によれば、高い周波数分解能および空間分解能を有し、閉じたき裂と開いたき裂との識別性を高めることができる構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置を提供することができる。また、同じ原理に基づき、高い周波数分解能および空間分解能を有し、組織と気泡や病変部との識別性を高めることができる気泡や病変部の映像化方法および気泡や病変部の映像化装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0032] [図1]本発明の請求項1に係る構造物欠陥の映像化方法を示す原理図である。
[図2]本発明の請求項2に係る構造物欠陥の映像化方法を示す原理図である。
[図3]本発明の実施の形態の構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置を示す縦断面図および得られた映像である。
[図4]本発明の実施の形態の構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置の、アレイ受信器で受信する受信信号を作成するシミュレーション方法を示すフロー図および説明図である。
[図5]図4に示すシミュレーションで想定した構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置の構成を示す縦断面図、および、それによりサイクル数2のバースト超音波を使用して得られた映像である。
[図6]図5に示す構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置の、

サイクル数2のバースト超音波を使用した場合の、閉じたき裂に対応する位相整合波形W1（太線部）、そのパワースペクトルF1、開いたき裂に対応する位相整合波形W2（太線部）、および、そのパワースペクトルF2である。

[図7]図5に示す構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置の、サイクル数2のバースト超音波を使用した場合の、帯域透過フィルタで抽出した線形散乱波の成分に基づいた基本波像、および、帯域透過フィルタで抽出した分調波に基づいた分調波像である。

[図8]図5に示す構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の、サイクル数6のロングバースト超音波を使用して得られた映像である。

[図9]図8に示す構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置の、サイクル数6のロングバースト超音波を使用した場合の、閉じたき裂に対応する位相整合波形W3（太線部）、そのパワースペクトルF3、開いたき裂に対応する位相整合波形W4（太線部）、および、そのパワースペクトルF4である。

[図10]図8に示す構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置の、サイクル数6のロングバースト超音波を使用した場合の、帯域透過フィルタで抽出した線形散乱波の成分に基づいた基本波像、および、帯域透過フィルタで抽出した分調波に基づいた分調波像である。

[図11]本発明の実施の形態の構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置を示す、図5の反転配置の縦断面図、およびサイクル数6のロングバースト超音波を使用して得られた基本波像および分調波像である。

[図12]図10および図11に示す構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置の基本波像および分調波像から、それぞれ共通部分を抽出した基本波像および分調波像である。

[図13]図7および図10に示す構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置の基本波像および分調波像から、それぞれ共通部分を抽出した基本波像および分調波像である。

[図14]従来の、分調波に対してフェーズドアレイ法を使用したSPACEを示す原理図である。

発明を実施するための形態

[0033] 以下、図面に基づき本発明の実施の形態について説明する。

図3乃至図13は、本発明の実施の形態の構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置を示している。

図3に示すように、構造物欠陥の映像化装置は、超音波送信器1とアレイ受信器2と信号処理器3とを有している。

[0034] 超音波送信器1は、任意のサイクル数の正弦波から成るバースト超音波を照射可能に構成されている。超音波送信器1は、任意のサイクル数のバースト波を、構造物の試料S中の開いたき裂C1および閉じたき裂C2を連続的に含むき裂に照射するよう配置されている。

[0035] アレイ受信器2は、複数の受信センサ素子を有している。アレイ受信器2は、超音波送信器1から構造物の試料Sに対して照射されたバースト超音波のき裂からの散乱波、すなわち、開いたき裂C1の先端部で生成された線形散乱波、および閉じたき裂C2で生成された分調波を受信可能に設けられている。

[0036] 信号処理器3は、アレイ受信器2に接続されたコンピュータから成り、映像化手段（図示せず）と抽出手段（図示せず）とを有している。映像化手段は、アレイ受信器2の各受信センサ素子で受信した受信信号に、特定の周波数成分を通過させる帯域透過フィルタをかけ、帯域透過フィルタを通過した信号に対して、フェーズドアレイ法を用いてき裂の映像を得るようになっている。すなわち、映像化手段は、帯域透過フィルタを通過した信号に対して、アレイ受信器2の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して処理信号を得、得られた処理信号に基づいて、き裂の映像を得るようになっている。映像化手段は、帯域透過フィルタの帯域幅が、フィルタをかける受信信号に対応するバースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数に反比例している。また、帯域透過フィルタは、フィルタをかける

受信信号に対応するバースト超音波に含まれる正弦波の周波数の整数分の1の周波数を有する分調波の周波数成分のみを通過させるよう構成されている。

[0037] 抽出手段は、映像化手段により得られた互いに異なる2つの映像の共通部分を抽出するようになっている。図3に示す一例では、第1の配置Aの構造物欠陥の映像化装置から得られた映像と、第2の配置Bの構造物欠陥の映像化装置から得られた映像との共通部分を抽出するようになっている。

[0038] なお、アレイ受信器2は、得られる2つの映像がアレイ受信器2の中心と欠陥とを結ぶ方向に、各映像に対応するバースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数に依存して伸びた形状となるよう、受信センサ素子の数が決定されている。

[0039] 本発明の実施の形態の構造物欠陥の映像化装置は、本発明の実施の形態の構造物欠陥の映像化方法を容易に実施することができる。

図3に示すように、き裂に対して超音波送信器1およびアレイ受信器2を所定の位置に配置した第1の配置Aの構造物欠陥の映像化装置において、超音波送信器1から、サイクル数3以下のバースト超音波をき裂に照射し、アレイ受信器2で、開いたき裂C1の先端部で生成された線形散乱波、および閉じたき裂C2で生成された分調波が合成された受信信号を受信する。映像化手段により、その受信信号に帯域透過フィルタをかけて抽出した分調波に基づいて、斜線部Dの範囲で映像化を行うと、分調波像I1が得られる。分調波像I1では、閉じたき裂C2を映像化した実線4だけではなく、開いたき裂C1で生成された線形散乱波の漏れとして、破線5も現れてしまう。

[0040] そこで、第1の配置Aの構造物欠陥の映像化装置において、超音波送信器1で、正弦波のサイクル数が4以上のロングバースト超音波をき裂に照射し、アレイ受信器2で、開いたき裂C1の先端部で生成された線形散乱波、および閉じたき裂C2で生成された分調波が合成された第1の受信信号を受信する。映像化手段により、その第1の受信信号に帯域透過フィルタをかけて抽出した分調波に基づいて、斜線部Dの範囲で映像化を行うと、分調波像I

2が得られる。分調波像 I 2では、ロングバースト超音波の使用により、開いたき裂 C 1で生成された線形散乱波の漏れは現れず（点線 7）、閉じたき裂 C 2が映像化された実線 8のみが現れる。

[0041] ただし、その副作用として、分調波像 I 2の実線 8のように、サイクル数増加に伴う映像の伸びにより、空間分解能は低下する。この伸びがアレイ受信器 2の中心と散乱源とを結ぶ方向であることに着目すると、異なるアレイ受信器 2の配置で映像化を行うことにより、伸びの方向が異なる映像を得ることができることがわかる。

[0042] そこで、一例として、図 3に示すように、き裂に対して超音波送信器 1およびアレイ受信器 2の配置を反転させた、第 2の配置 Bの構造物欠陥の映像化装置を使用する。この第 2の配置 Bの構造物欠陥の映像化装置において、超音波送信器 1で、同一サイクル数のロングバースト超音波をき裂に照射し、アレイ受信器 2で、開いたき裂 C 1の先端部で生成された線形散乱波、および閉じたき裂 C 2で生成された分調波が合成された第 2の受信信号を受信する。映像化手段により、その第 2の受信信号に帯域透過フィルタをかけて抽出した分調波に基づいて、斜線部 Dの範囲で映像化を行うと、分調波像 I 3が得られる。分調波像 I 3では、ロングバースト超音波の使用により、開いたき裂 C 1で生成された線形散乱波の漏れは現れず（点線 10）、閉じたき裂 C 2が映像化された実線 11のみが現れる。

[0043] 互いに異なる第 1の配置 Aおよび第 2の配置 Bで得られた分調波像 I 2および I 3から、信号処理器 3の抽出手段で共通部分を抽出した映像 I 4を生成する。これにより、共通部分 13が、き裂の閉口部として抽出され、き裂閉口部のみの映像を得ることができる。このように、本発明の実施の形態の構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置によれば、空間分解能の向上した真の閉口部の映像を得ることができ、閉じたき裂などの欠陥を、高精度で検出することができる。また、高い周波数分解能および空間分解能を有し、閉じたき裂と開いたき裂との識別性を高めることができる。

[0044] 次に、抽出手段により、共通部分を抽出する方法の一例として、2つの映

像の積を取る場合についてシミュレーションを行った。

- [0045] 図4に、受信信号を作成するシミュレーション方法を示す。まず、アレイ受信器2の各受信センサ素子 ($n=1$ to N) の位置を計算する。次に、散乱源の位置を設定する。そして、これらの位置情報を元に、超音波送信器1から照射した入射波が散乱源で散乱されてアレイ受信器2の所定の受信センサ素子に到達するまでの伝搬時間を計算し、散乱源が閉口部であるか開口部であるかに応じて、図4に示すように、分調波または基本波の波形を付与する。これをすべての散乱源について繰り返し、波形を加算・保存して次の受信センサ素子に移る。全受信センサ素子の計算を終わったら、これらを受信信号として保存して終了する。
- [0046] 図5は、シミュレーションで想定した構造物欠陥の映像化装置の一例を示す構成図、およびそれにより得られた映像を示している。図5に示すように、構造物欠陥の映像化装置において、超音波送信器1で、サイクル数2のバースト超音波を、閉じたき裂に相当する分調波を発生する散乱源S1、開いたき裂を模擬した基本波を発生する線形散乱源S2、底面を模擬した基本波を発生する線形散乱源S3に照射した。ただし、S1の強度はS2、S3の2分の1であると仮定した。次に、アレイ受信器2で、閉じたき裂S1で生成された分調波、開いたき裂S2で生成された線形散乱波、及び底面S3で生成された線形散乱波を受信した。
- [0047] その受信信号に基づいて映像化手段により映像化を行うと、分調波および線形散乱波が含まれた映像I11が得られた。ただしここでは、帯域透過フィルタは基本波および分調波の両方を透過するように設定した。映像I11では、閉じたき裂S1が21に、開いたき裂S2は22に、底面S3は23に映像化されている。
- [0048] 図6は、映像I11において、閉じたき裂S1が映像化された21での位相整合波形W1（太線部）とそのパワースペクトルF1、及び、開いたき裂S2が映像化された22での位相整合波形W2（太線部）とそのパワースペクトルF2を示している。図6のパワースペクトルF1およびF2に示すよ

うに、周波数分解能の低いサイクル数2のバースト超音波を使用したため、広帯域の周波数特性を持つことがわかる。

[0049] 図7は、アレイ受信器2で受信された信号から、帯域透過フィルタで抽出した線形散乱波の成分に基づいた基本波像I12、及び、帯域透過フィルタで抽出した分調波に基づいた分調波像I13を示している。図7に示すように、基本波像I12では、開いたき裂S2が映像化された24および底面S3が映像化された25が現れた。分調波像I13では、閉じたき裂S1が映像化された26だけではなく、開いたき裂S2および底面S3で生成された線形散乱波の漏れとして27及び28も現れた。この条件では、閉じたき裂の識別性を表す、分調波像I13におけるS1とS2との強度比は、2.4であった。

[0050] そこで、図5に示す構造物欠陥の映像化装置において、超音波送信器1で、サイクル数6のロングバースト超音波を、閉じたき裂S1、開いたき裂S2、及び底面S3に照射する。アレイ受信器2で、閉じたき裂S1で生成された分調波、開いたき裂S2で生成された線形散乱波、及び底面S3で生成された線形散乱波を受信し、その受信信号に基づいて映像化手段により映像化を行うと、図8に示すように、分調波および線形散乱波が含まれた映像I21が得られる。映像I21では、閉じたき裂S1が31に、開いたき裂S2は32に、底面S3は33に映像化されている。

[0051] 図9は、映像I21において、閉じたき裂S1が映像化された41での位相整合波形W3（太線部）とそのパワースペクトルF3、及び、開いたき裂S2が映像化された42での位相整合波形W4（太線部）とそのパワースペクトルF4を示している。図9のパワースペクトルF3およびF4に示すように、ロングバースト超音波を使用したため、図6に示すパワースペクトルF1およびF2と比較して、狭帯域の周波数特性を持つことがわかる。

[0052] 図10は、アレイ受信器2で受信された信号から、帯域透過フィルタで抽出した線形散乱波の成分に基づいた基本波像I22、及び、帯域透過フィルタで抽出した分調波に基づいた分調波像I23を示している。図10に示す

ように、基本波像 I 2 2 では、開いたき裂 S 2 が映像化された 3 4 および底面 S 3 が映像化された 3 5 が現れた。分調波像 I 2 3 では、ロングバースト超音波の使用により、開いたき裂 S 2 および底面 S 3 で生成された線形散乱波の漏れは現れず、閉じたき裂 S 1 が映像化された 3 6 だけが現れた。この条件では、図 7 に示す 2 サイクルの分調波像 I 1 3 と比べると、閉じたき裂の識別性を表す、分調波像 I 2 3 における S 1 と S 2 との強度比は、7. 1 に向上した。

[0053] この副作用として、図 1 0 に示す分調波像 I 2 3 の 3 6 のように、サイクル数増加に伴う映像の伸びにより、図 7 に示す分調波像 I 1 3 に比べて、空間分解能は低下した。しかし、伸びの方向がアレイ受信器 2 の中心と散乱源とを結ぶ方向であることに着目して、ここでは、図 1 1 に示すように、図 5 に示す構造物欠陥の映像化装置の反転配置を使用する。

[0054] 図 1 1 に示すように、超音波送信器 1 で、サイクル数 6 のロングバースト超音波を、閉じたき裂 S 1、開いたき裂 S 2、及び底面 S 3 に照射し、アレイ受信器 2 で、閉じたき裂 S 1 で生成された分調波、開いたき裂 S 2 で生成された線形散乱波、及び底面 S 3 で生成された線形散乱波を受信する。アレイ受信器 2 で受信された信号から、帯域透過フィルタで抽出した線形散乱波の成分に基づいた基本波像 I 2 4、及び、帯域透過フィルタで抽出した分調波に基づいた分調波像 I 2 5 を映像化する。

[0055] 図 1 1 に示すように、基本波像 I 2 4 では、開いたき裂 S 2 が映像化された 3 7 および底面 S 3 が映像化された 3 8 が現れた。分調波像 I 2 5 では、ロングバースト超音波の使用により、開いたき裂 S 2 および底面 S 3 で生成された線形散乱波の漏れは現れず、閉じたき裂 S 1 が映像化された 3 9 だけが現れた。また、I 2 4 および I 2 5 は、伸びの方向が、図 1 0 に示す I 2 2 および I 2 3 とは異なる映像が得られた。

[0056] 図 1 0 および図 1 1 に示すように、互いに異なる超音波送信器 1 およびアレイ受信器 2 の配置で得られた基本波像 I 2 2 および I 2 4、分調波像 I 2 3 および I 2 5 から、信号処理器 3 の抽出手段により積算処理を行い、共通

部分を抽出すると、図 12 に示す基本波像 I 26 および分調波像 I 27 が得られる。これにより、基本波像 I 26 では、共通部分 41、42 が得られ、共通部分 41 がき裂の開口部となる。分調波像 I 27 では、共通部分 43 がき裂の閉口部となる。これにより、分調波像 I 23 および I 25 に比べて映像の伸びを低減するとともに、き裂閉口部のみの映像を得ることができることが示された。この条件では、閉じたき裂の識別性を表す、分調波像 I 27 における S1 と S2 との強度比は、7.1 であった。

[0057] なお、図 7 および図 10 に示すように、異なるサイクル数で得られた、基本波像 I 12 および I 22、分調波像 I 13 および I 23 から、信号処理器 3 の抽出手段により積算処理を行い、共通部分を抽出すると、図 13 に示す基本波像 I 28 および分調波像 I 29 が得られる。これにより、基本波像 I 28 では、共通部分 44、45 が得られ、共通部分 44 がき裂の開口部となる。分調波像 I 29 では、共通部分 46 がき裂の閉口部となる。これにより、分調波像 I 23 に比べて映像の伸びを低減するとともに、き裂閉口部のみの映像を得ることができることが示された。この条件では、2 サイクルの分調波像 I 13 と比べると、閉じたき裂の識別性を表す、分調波像 I 29 における S1 と S2 との強度比は、4.0 に向上した。

[0058] このように、正弦波のサイクル数が異なる 2 つのバースト超音波を照射する場合であっても、本発明の実施の形態の構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置によれば、高い周波数分解能および空間分解能を有し、閉じたき裂と開いたき裂との識別性を高めることができる。また、閉じたき裂などの欠陥を、高精度で検出することができる。なお、図 13 に示すように、長さは異なるが同一方向に伸びた 2 つの映像の共通部分を抽出するため、異なる方向に伸びた映像の共通部分を抽出する図 12 の方法より、映像は大きくなり、空間分解能が低くなる場合がある。

[0059] なお、本発明の実施の形態の構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置で、アレイ受信器 2 は使用する受信センサ素子を切換可能であり、アレイ受信器 2 内で使用する受信センサ素子を切り換えることにより、第

1の配置および第2の配置を構成してもよい。この場合、超音波送信器1およびアレイ受信器2のどちらも動かすことなく、2つの異なる映像を得ることができ、空間分解能の向上した、閉じたき裂などの欠陥の映像を容易に得ることができる。

[0060] また、本発明の実施の形態の構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置で、帯域透過フィルタは、フィルタをかける各受信信号に対応するバースト超音波に含まれる、正弦波の周波数の整数倍の周波数を有する高調波の周波数成分のみを通過させるよう構成されていてもよい。この場合にも、分調波ではなく高調波を使用して、閉じたき裂などの欠陥を特に高精度で検出することができ、周波数分解能を高めることができる。

[0061] 本発明の実施の形態の構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置で、抽出手段は、デジタル化された2つの映像の積の平方根を演算することにより、各映像の共通部分を抽出するよう構成されていてもよい。また、抽出手段は、2値化された2つの映像の1となる部分の共通部のみに、元の映像の強度を付与することにより、各映像の共通部分を抽出するよう構成されていてもよい。これらの場合でも、コンピュータを使用して各映像の共通部分を容易に抽出することができ、閉じたき裂などの欠陥を高精度で検出することができる。

[0062] なお、本発明の実施の形態の気泡や病変部の映像化方法および気泡や病変部の映像化装置は、本発明の実施の形態の構造物欠陥の映像化方法および構造物欠陥の映像化装置の記述における「構造物」を「組織」、「欠陥」を「気泡や病変部」と読み替えることにより、構造物の欠陥のみではなく、高調波・分調波を用いた生体組織の造影剤気泡や病変部の選択性向上にも、同様に適用できることは明らかである。

符号の説明

- [0063]
- 1 超音波送信器
 - 2 アレイ受信器
 - 3 信号処理器

- A 第1の配置
- B 第2の配置
- C 1 開いたき裂
- C 2 閉じたき裂
- S 試料
- S 1 閉じたき裂
- S 2 開いたき裂
- S 3 底面

請求の範囲

[請求項1]

構造物に含まれるき裂のような欠陥を検出する構造物欠陥の映像化方法であって、

所定のサイクル数の正弦波から成るバースト超音波を照射する超音波送信器と、複数の受信センサ素子を有するアレイ受信器とを有し、

前記欠陥に対して前記超音波送信器および前記アレイ受信器を所定の位置に配置した第1の配置において、前記超音波送信器から前記構造物に対して照射された前記バースト超音波の前記欠陥からの散乱波を、前記アレイ受信器で受信して第1の受信信号を得る第1受信工程と、

前記第1の受信信号に特定の周波数成分を通過させる帯域透過フィルタをかけ、前記アレイ受信器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して第1の処理信号を得、得られた前記第1の処理信号に基づいて前記欠陥の第1の映像を得る第1映像化工程と、

前記欠陥に対して前記超音波送信器および前記アレイ受信器のうち少なくとも一方の位置が異なる第2の配置において、前記超音波送信器から前記構造物に対して照射された前記バースト超音波の前記欠陥からの散乱波を、前記アレイ受信器で受信して第2の受信信号を得る第2受信工程と、

前記第2の受信信号に前記帯域透過フィルタをかけ、前記アレイ受信器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して第2の処理信号を得、得られた前記第2の処理信号に基づいて前記欠陥の第2の映像を得る第2映像化工程と、

前記第1の映像および前記第2の映像の共通部分を抽出する抽出工程とを、

有することを特徴とする構造物欠陥の映像化方法。

[請求項2]

構造物に含まれるき裂のような欠陥を検出する構造物欠陥の映像化

方法であって、

任意のサイクル数の正弦波から成るバースト超音波を照射する超音波送信器と、複数の受信センサ素子を有するアレイ受信器とを有し、

前記超音波送信器から前記構造物に対して所定のサイクル数の正弦波から成る第1のバースト超音波を照射し、前記第1のバースト超音波の前記欠陥からの散乱波を、前記アレイ受信器で受信して第1の受信信号を得る第1受信工程と、

前記第1の受信信号に、前記正弦波の中心周波数成分、その整数倍の周波数成分、またはその整数分の1の周波数成分を通過させる帯域透過フィルタをかけ、前記アレイ受信器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して第1の処理信号を得、得られた前記第1の処理信号に基づいて、前記欠陥の第1の映像を得る第1映像化工程と、

前記超音波送信器から前記構造物に対して前記所定のサイクル数とは異なるサイクル数の正弦波から成る第2のバースト超音波を照射し、前記第2のバースト超音波の前記欠陥からの散乱波を、前記アレイ受信器で受信して第2の受信信号を得る第2受信工程と、

前記第2の受信信号に前記帯域透過フィルタをかけ、前記アレイ受信器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して第2の処理信号を得、得られた前記第2の処理信号に基づいて、前記欠陥の第2の映像を得る第2映像化工程と、

前記第1の映像および前記第2の映像の共通部分を抽出する抽出工程とを、

有することを特徴とする構造物欠陥の映像化方法。

[請求項3] 前記バースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数が4以上であることを特徴とする請求項1記載の構造物欠陥の映像化方法。

[請求項4] 前記第1のバースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数が4以上であり、前記第2のバースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数が

3以下であることを特徴とする請求項2記載の構造物欠陥の映像化方法。

[請求項5] 前記アレイ受信器内で使用する受信センサ素子を切り換えることにより、前記第1の配置および前記第2の配置を構成することを特徴とする請求項1または3記載の構造物欠陥の映像化方法。

[請求項6] 前記帯域透過フィルタの帯域幅を、フィルタをかける前記第1の受信信号または前記第2の受信信号に対応するバースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数に反比例させることを特徴とする請求項1、2、3、4または5記載の構造物欠陥の映像化方法。

[請求項7] 前記第1の映像および前記第2の映像が、前記アレイ受信器の中心と前記欠陥とを結ぶ方向に、各映像に対応するバースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数に依存して伸びた形状となるよう、前記アレイ受信器の前記受信センサ素子の数を決定することを特徴とする請求項1、2、3、4、5または6記載の構造物欠陥の映像化方法。

[請求項8] 前記帯域透過フィルタは、フィルタをかける前記第1の受信信号または前記第2の受信信号に対応するバースト超音波に含まれる正弦波の周波数の整数倍の周波数を有する高調波、または、フィルタをかける前記第1の受信信号または前記第2の受信信号に対応するバースト超音波に含まれる正弦波の周波数の整数分の1の周波数を有する分調波の周波数成分のみを通過させることを特徴とする、請求項1、2、3、4、5、6または7記載の構造物欠陥の映像化方法。

[請求項9] 前記抽出工程は、デジタル化された前記第1の映像および前記第2の映像の積、もしくは積の平方根を演算することにより、または、2値化された前記第1の映像および前記第2の映像の1となる部分の共通部のみに、元の前記第1の映像もしくは前記第2の映像の強度を付与することにより、前記第1の映像および前記第2の映像の共通部分を抽出することを特徴とする請求項1、2、3、4、5、6、7または8記載の構造物欠陥の映像化方法。

- [請求項10] 構造物に含まれるき裂のような欠陥を検出する構造物欠陥の映像化装置であって、
- 任意のサイクル数の正弦波から成るバースト超音波を照射する超音波送信器と、
- 前記超音波送信器から前記構造物に対して照射された前記バースト超音波の前記欠陥からの散乱波を受信可能に設けられた複数の受信センサ素子を有するアレイ受信器と、
- 前記アレイ受信器の各受信センサ素子で受信した受信信号に、特定の周波数成分を通過させる帯域透過フィルタをかけ、前記アレイ受信器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して処理信号を得、得られた前記処理信号に基づいて、前記欠陥の映像を得る映像化手段と、
- 前記映像化手段により得られた互いに異なる2つの映像の共通部分を抽出する抽出手段とを、
- 有することを特徴とする構造物欠陥の映像化装置。
- [請求項11] 前記超音波送信器は正弦波のサイクル数が4以上のバースト超音波を照射するよう構成され、
- 前記映像化手段は、前記欠陥に対して前記超音波送信器および前記アレイ受信器のうち少なくとも一方の位置が異なる2つの場合について、互いに異なる2つの映像を得るよう構成されていることを、
- 特徴とする請求項10記載の構造物欠陥の映像化装置。
- [請求項12] 前記映像化手段は前記超音波送信器が照射するバースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数が4以上の場合および3以下の場合について、互いに異なる2つの映像を得るよう構成されていることを、特徴とする請求項10記載の構造物欠陥の映像化装置。
- [請求項13] 前記アレイ受信器は、使用する受信センサ素子を切換可能であることを特徴とする請求項10または11記載の構造物欠陥の映像化装置。

- [請求項14] 前記映像化手段は、前記帯域透過フィルタの帯域幅が、フィルタをかける前記受信信号に対応するバースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数に反比例していることを特徴とする請求項10、11、12または13記載の構造物欠陥の映像化装置。
- [請求項15] 前記アレイ受信器は、前記2つの映像が前記アレイ受信器の中心と前記欠陥とを結ぶ方向に、各映像に対応するバースト超音波に含まれる正弦波のサイクル数に依存して伸びた形状となるよう、前記受信センサ素子の数を決定されていることを特徴とする請求項10、11、12、13または14記載の構造物欠陥の映像化装置。
- [請求項16] 前記帯域透過フィルタは、フィルタをかける前記受信信号に対応するバースト超音波に含まれる正弦波の周波数の整数倍の周波数を有する高調波、または、フィルタをかける前記受信信号に対応するバースト超音波に含まれる正弦波の周波数の整数分の1の周波数を有する分調波の周波数成分のみを通過させるよう構成されていることを特徴とする、請求項10、11、12、13、14または15記載の構造物欠陥の映像化装置。
- [請求項17] 前記抽出手段は、デジタル化された前記2つの映像の積、もしくは積の平方根を演算することにより、または、2値化された前記2つの映像の1となる部分の共通部のみに、元の映像の強度を付与することにより、各映像の共通部分を抽出するよう構成されていることを特徴とする請求項10、11、12、13、14、15または16記載の構造物欠陥の映像化装置。
- [請求項18] 組織に含まれる気泡や病変部を検出する気泡や病変部の映像化方法であって、
任意のサイクル数の正弦波から成るバースト超音波を照射する超音波送信器と、複数の受信センサ素子を有するアレイ受信器とを有し、
前記超音波送信器から前記組織に対して所定のサイクル数の正弦波から成る第1のバースト超音波を照射し、前記第1のバースト超音波

の前記気泡や病変部からの散乱波を、前記アレイ受信器で受信して第1の受信信号を得る第1受信工程と、

前記第1の受信信号に、前記正弦波の中心周波数成分、その整数倍の周波数成分、またはその整数分の1の周波数成分を通過させる帯域透過フィルタをかけ、前記アレイ受信器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して第1の処理信号を得、得られた前記第1の処理信号に基づいて、前記気泡や病変部の第1の映像を得る第1映像化工程と、

前記超音波送信器から前記組織に対して前記所定のサイクル数とは異なるサイクル数の正弦波から成る第2のバースト超音波を照射し、前記第2のバースト超音波の前記気泡や病変部からの散乱波を、前記アレイ受信器で受信して第2の受信信号を得る第2受信工程と、

前記第2の受信信号に前記帯域透過フィルタをかけ、前記アレイ受信器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して第2の処理信号を得、得られた前記第2の処理信号に基づいて、前記気泡や病変部の第2の映像を得る第2映像化工程と、

前記第1の映像および前記第2の映像の共通部分を抽出する抽出工程とを、

有することを特徴とする気泡や病変部の映像化方法。

[請求項19]

組織に含まれる気泡や病変部を検出する気泡や病変部の映像化装置であって、

任意のサイクル数の正弦波から成るバースト超音波を照射する超音波送信器と、

前記超音波送信器から前記組織に対して照射された前記バースト超音波の前記気泡や病変部からの散乱波を受信可能に設けられた複数の受信センサ素子を有するアレイ受信器と、

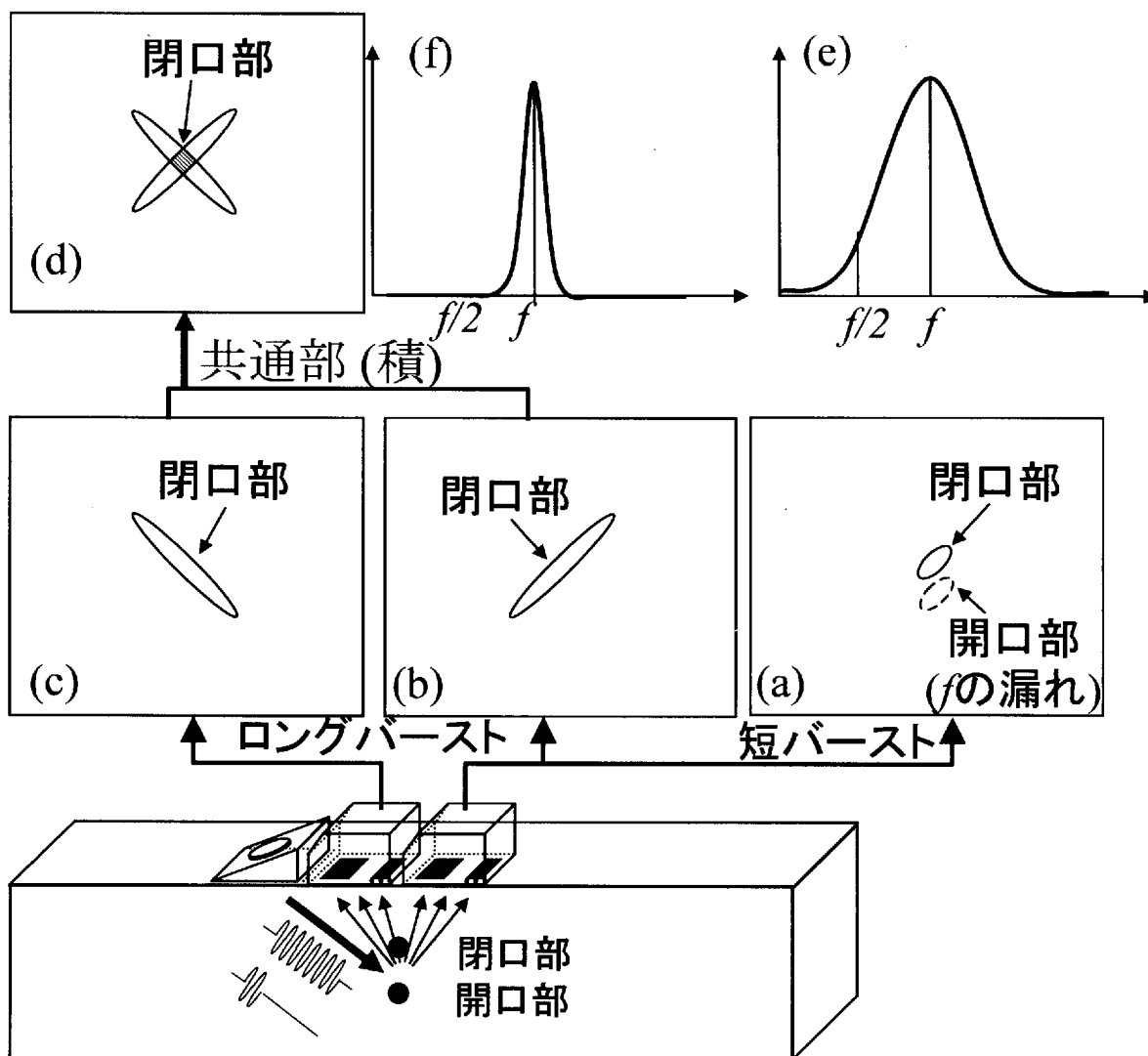
前記アレイ受信器の各受信センサ素子で受信した受信信号に、特定の周波数成分を通過させる帯域透過フィルタをかけ、前記アレイ受信

器の各受信センサ素子の位置に応じて異なる時間だけシフトさせた後、加算して処理信号を得、得られた前記処理信号に基づいて、前記欠陥の映像を得る映像化手段と、

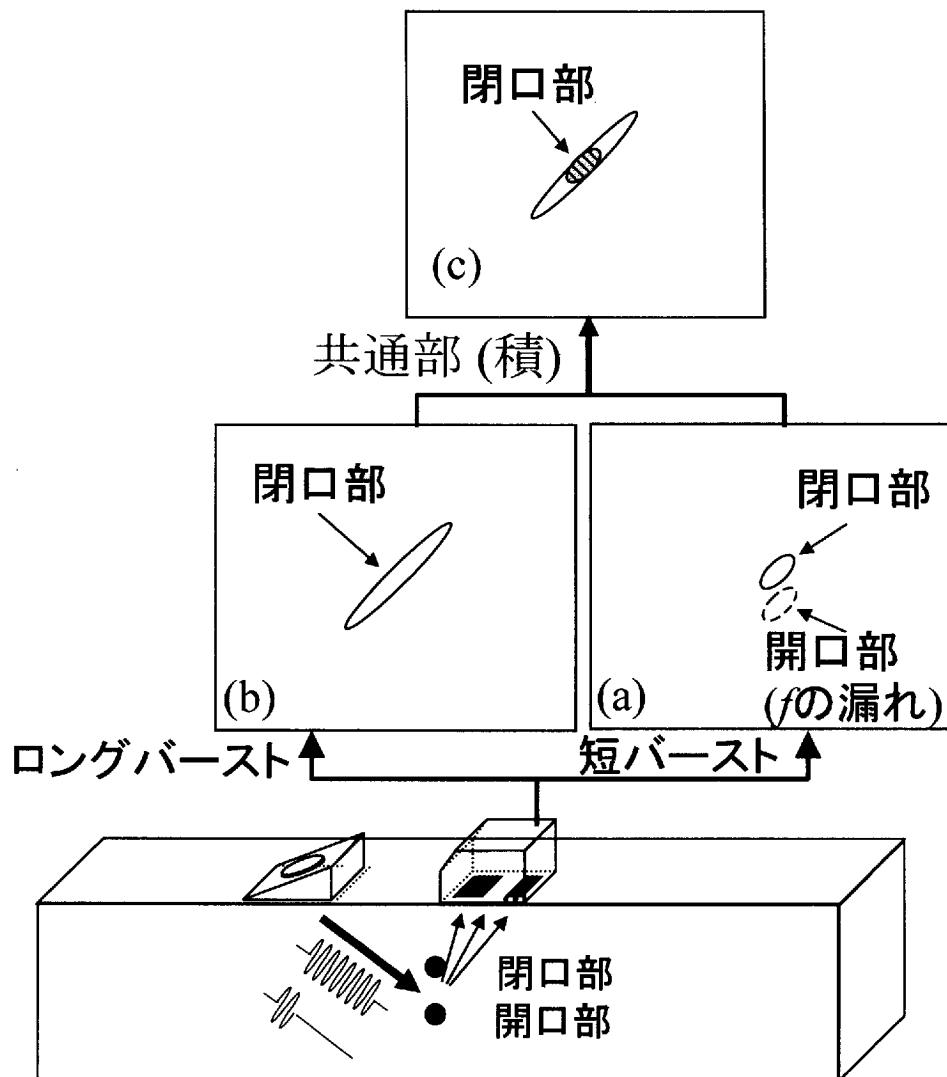
前記映像化手段により得られた互いに異なる2つの映像の共通部分を抽出する抽出手段とを、

有することを特徴とする気泡や病変部の映像化装置。

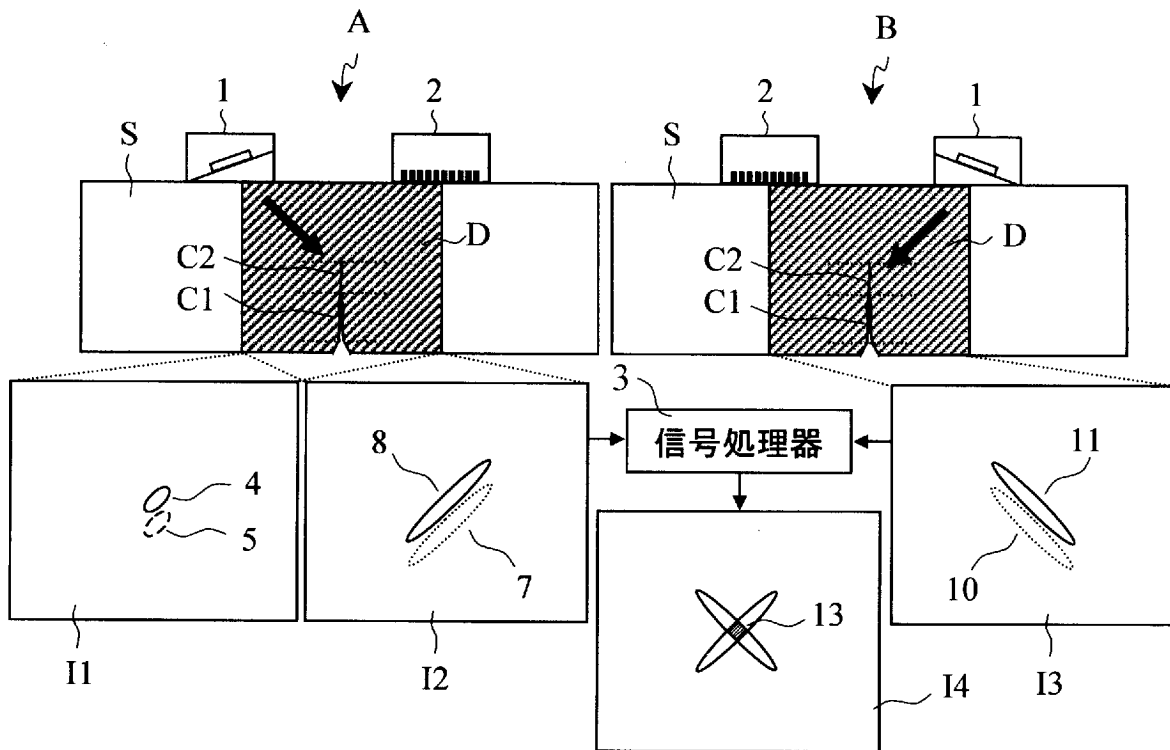
[図1]



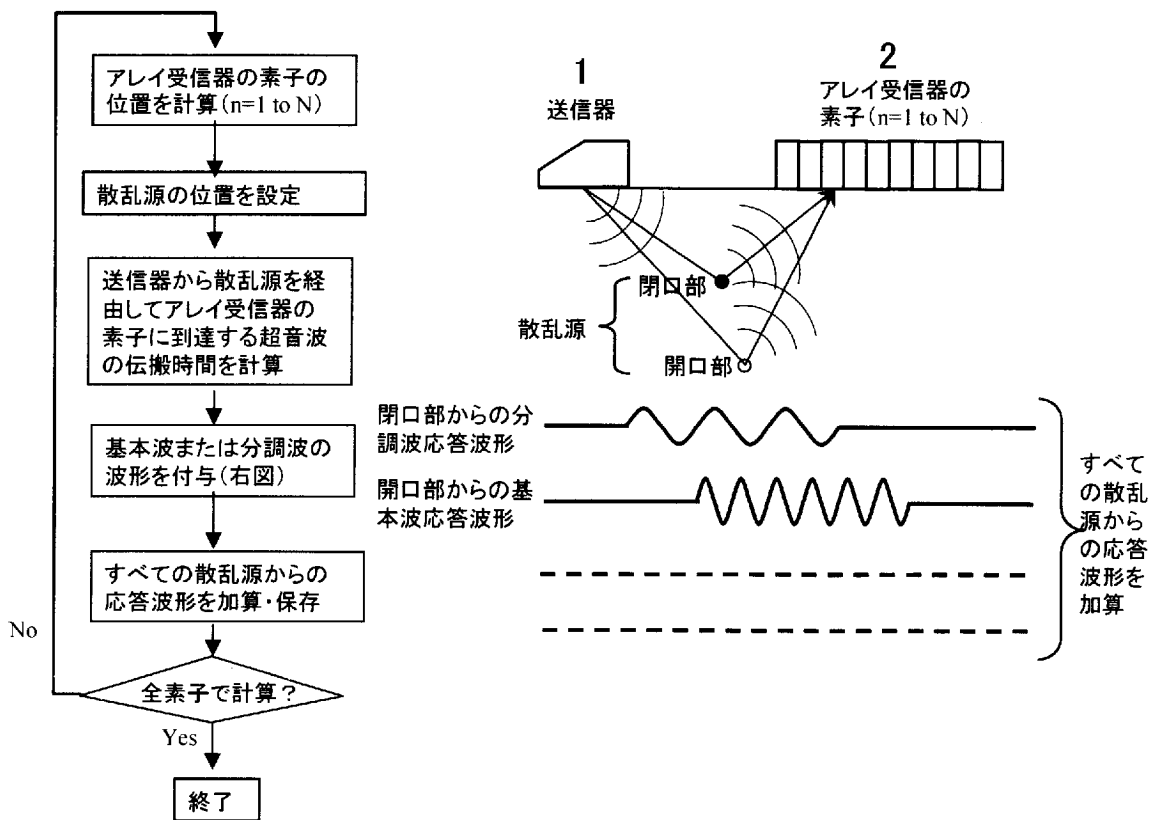
[図2]



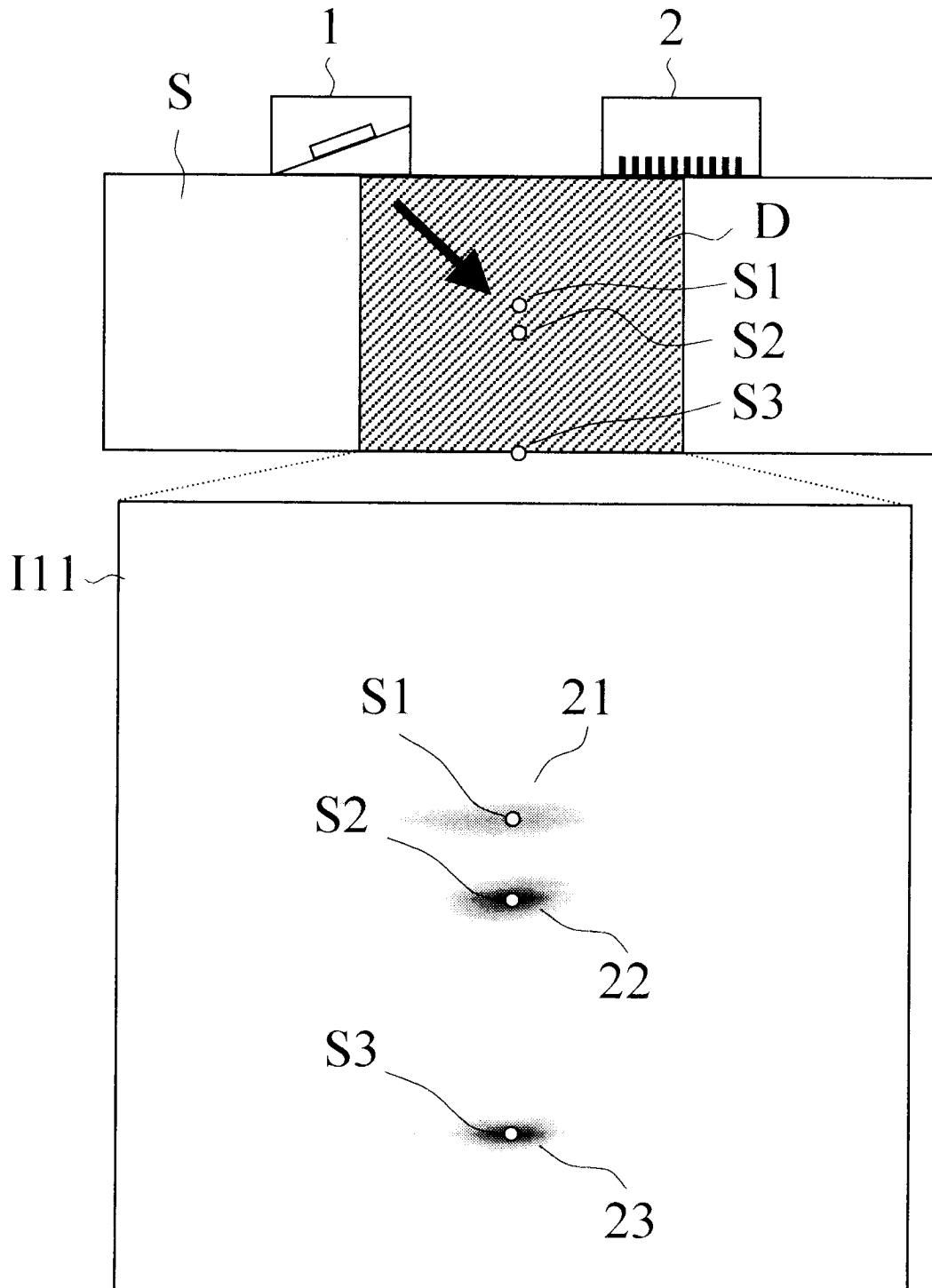
[図3]



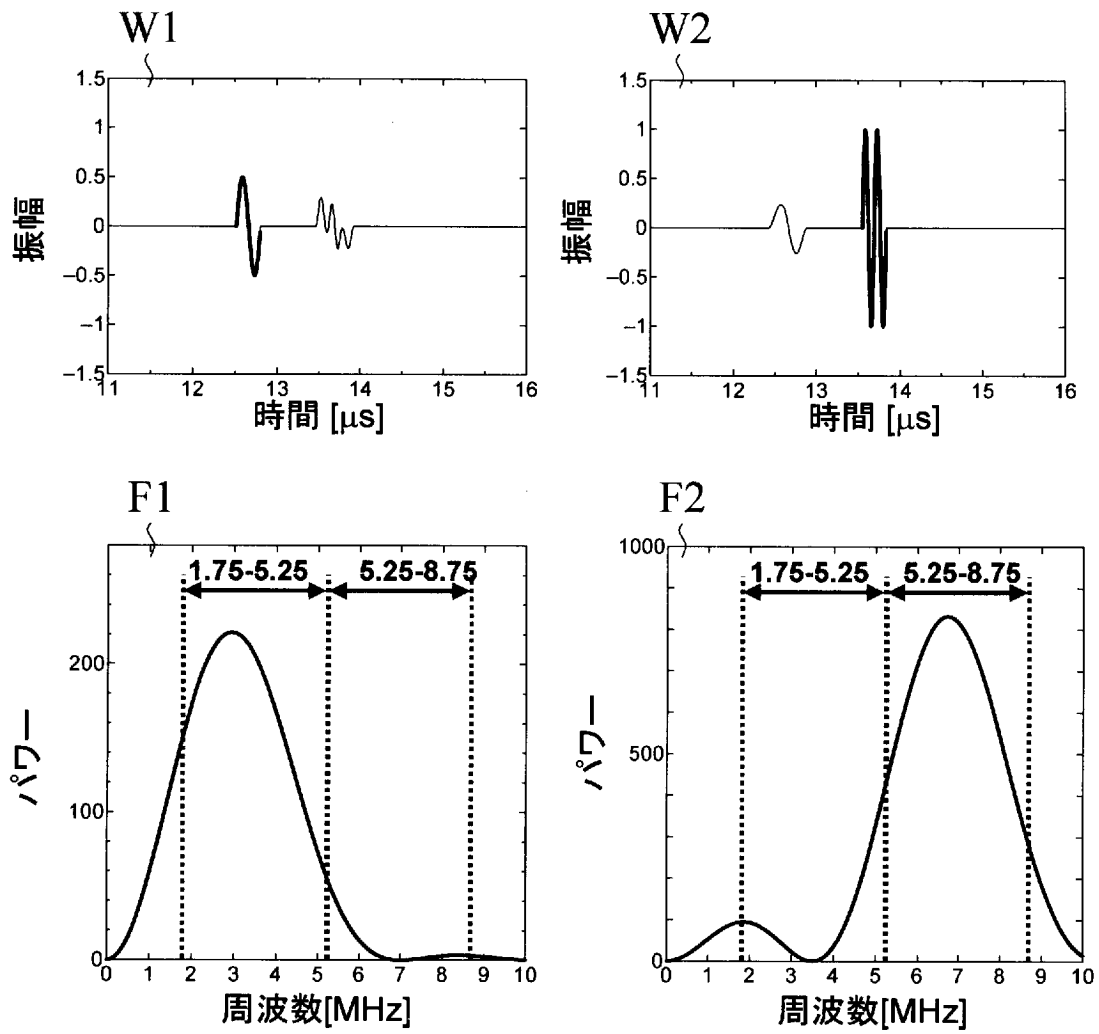
[図4]



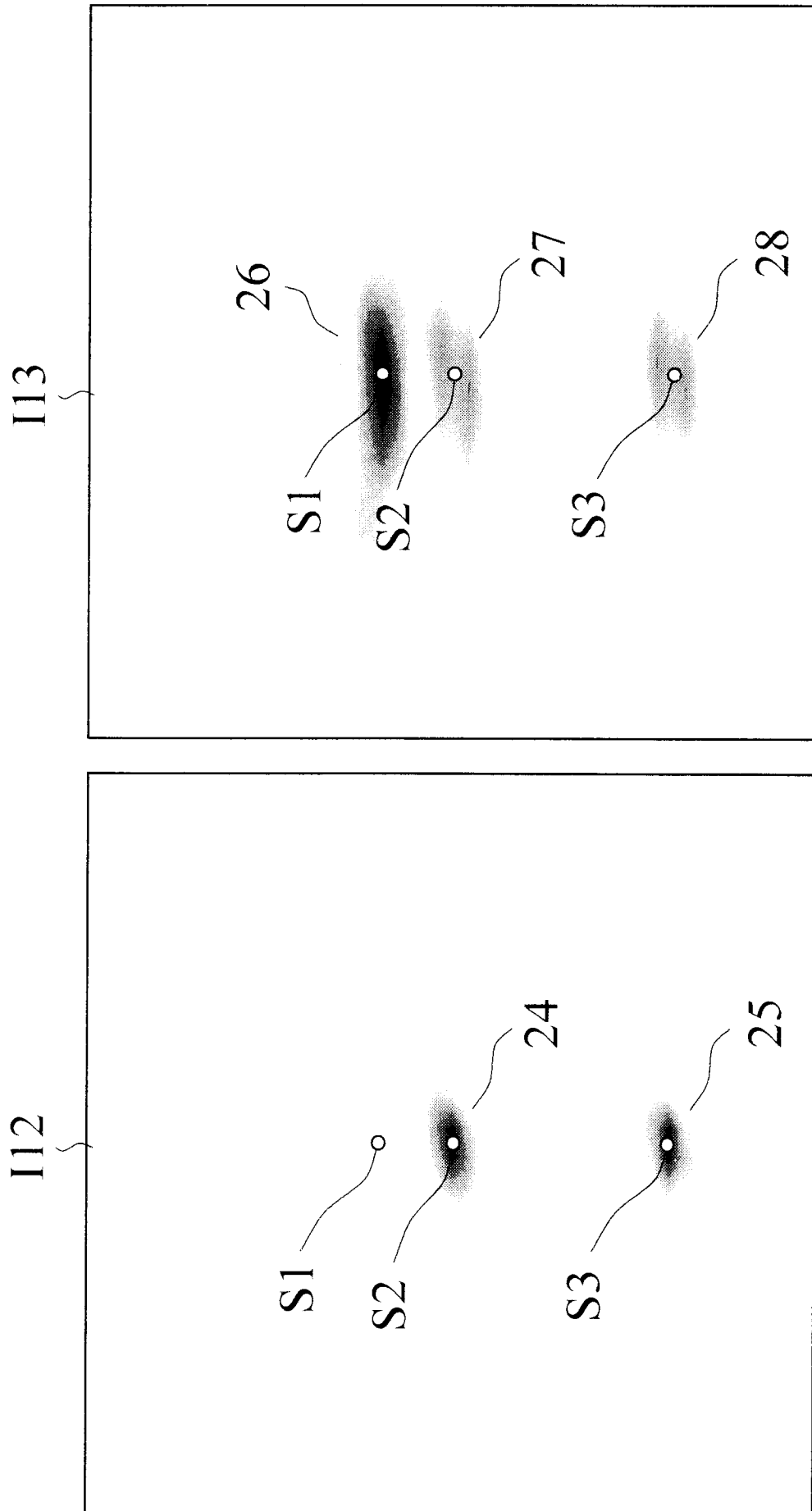
[図5]



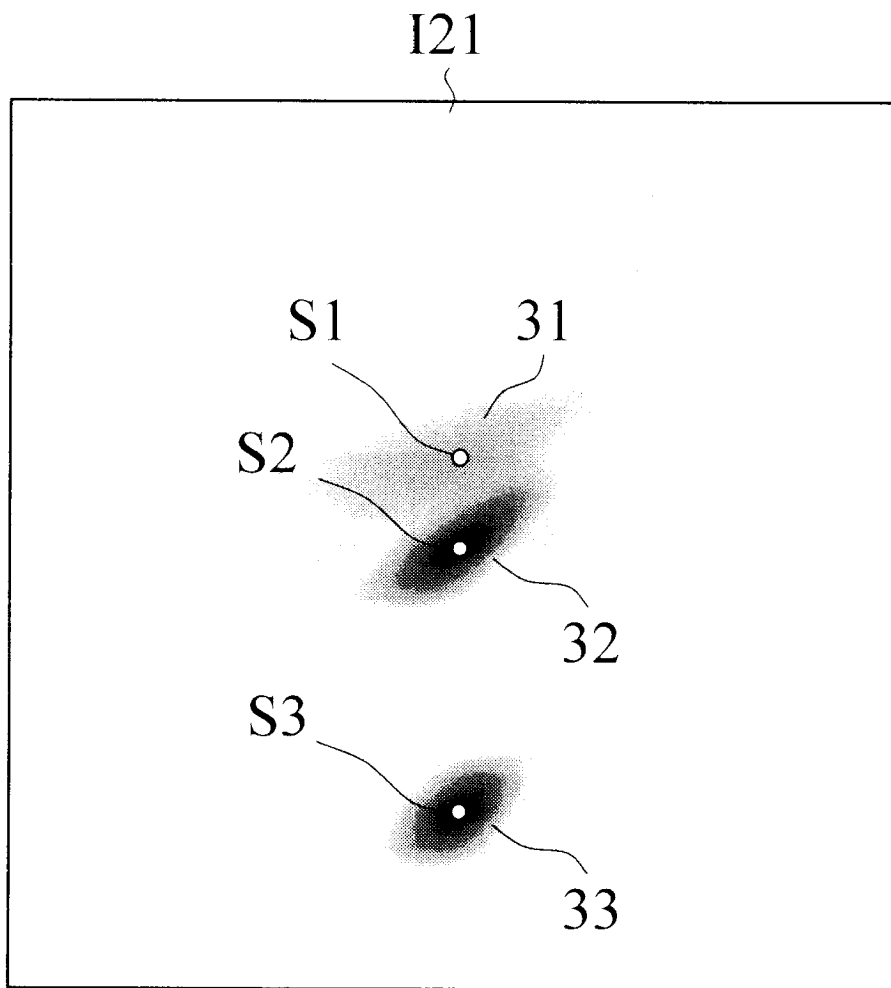
[図6]



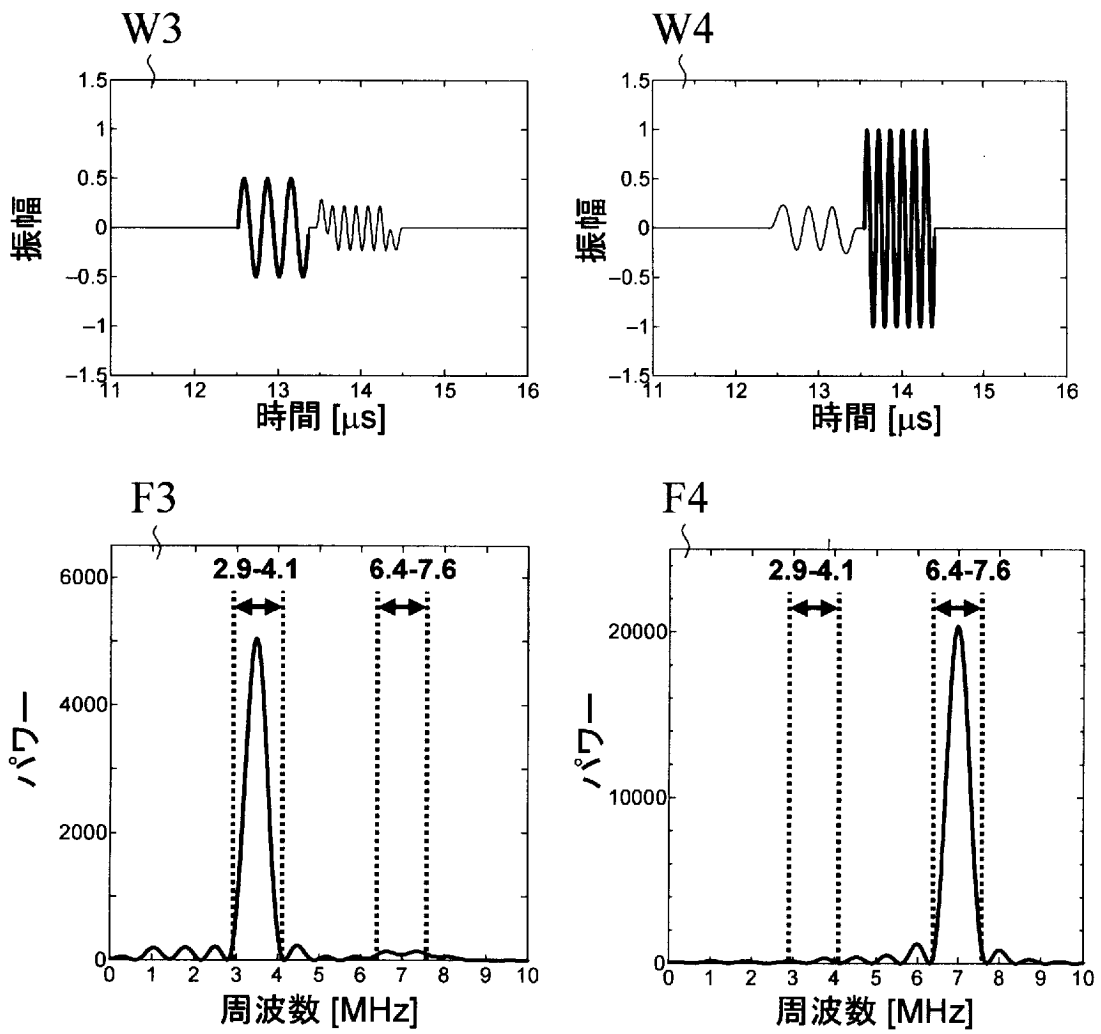
[図7]



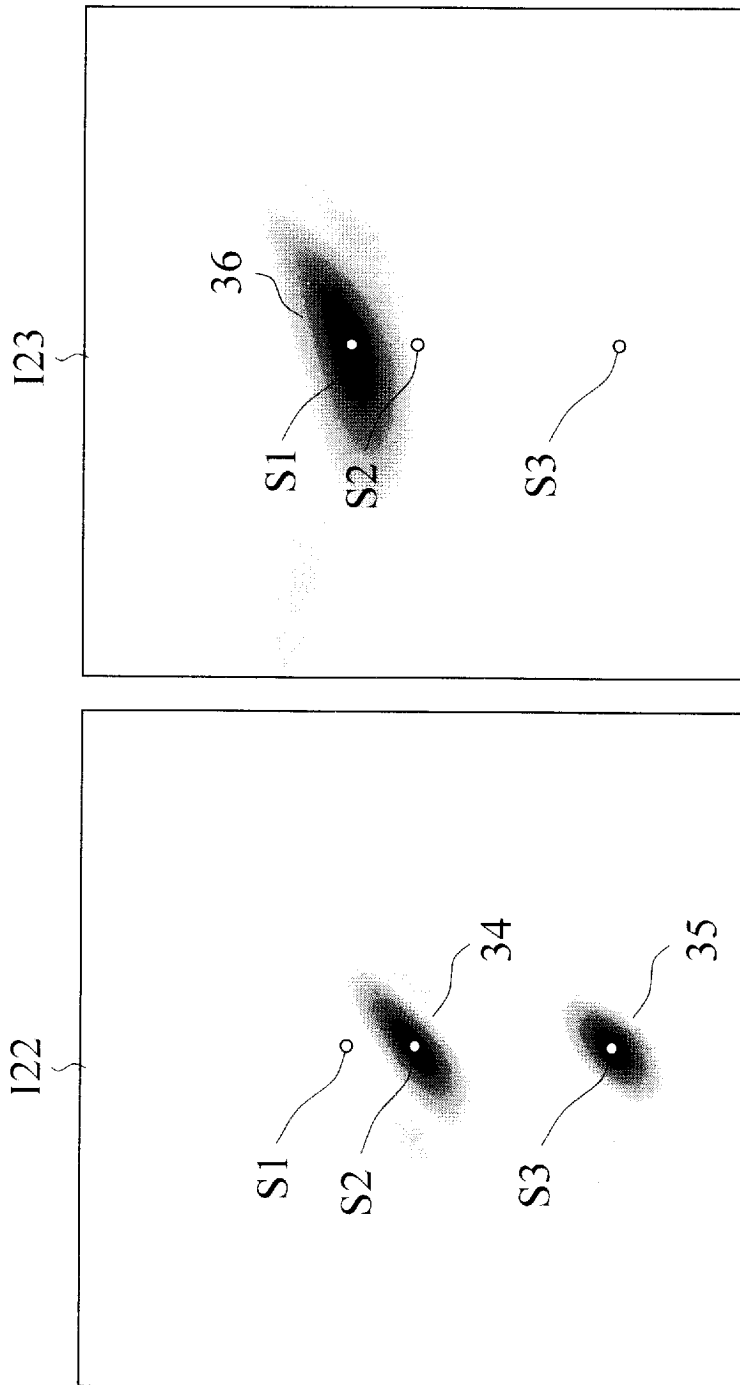
[図8]



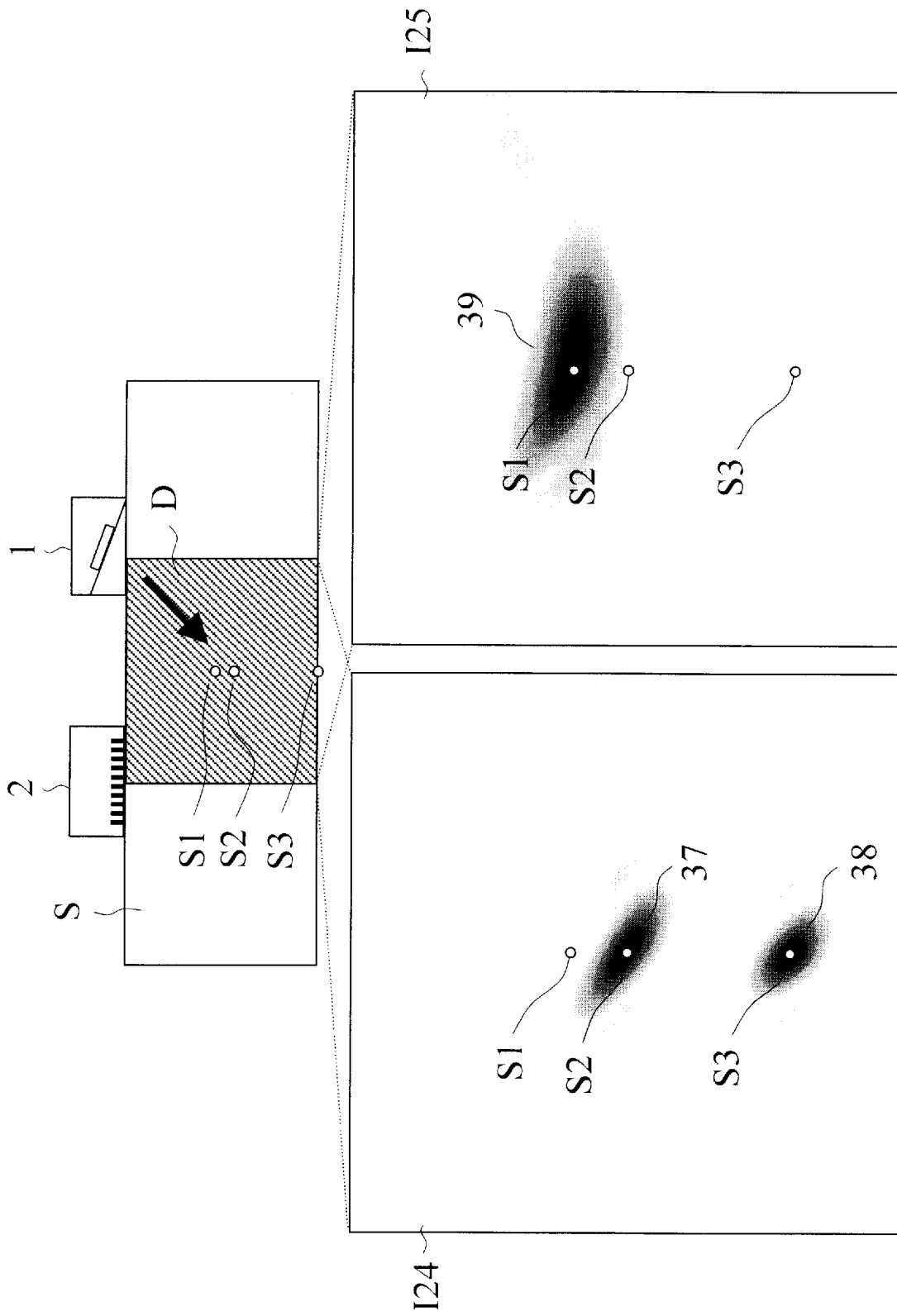
[図9]



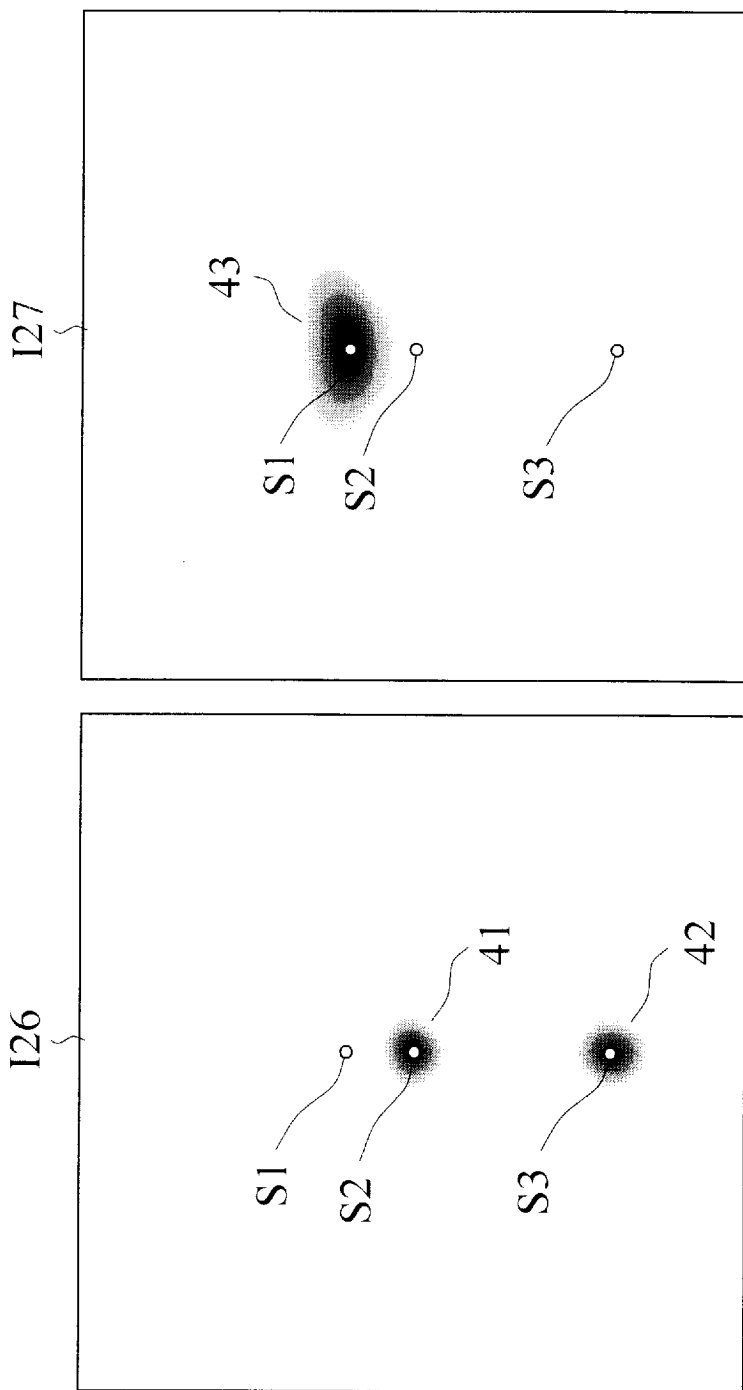
[ 10]



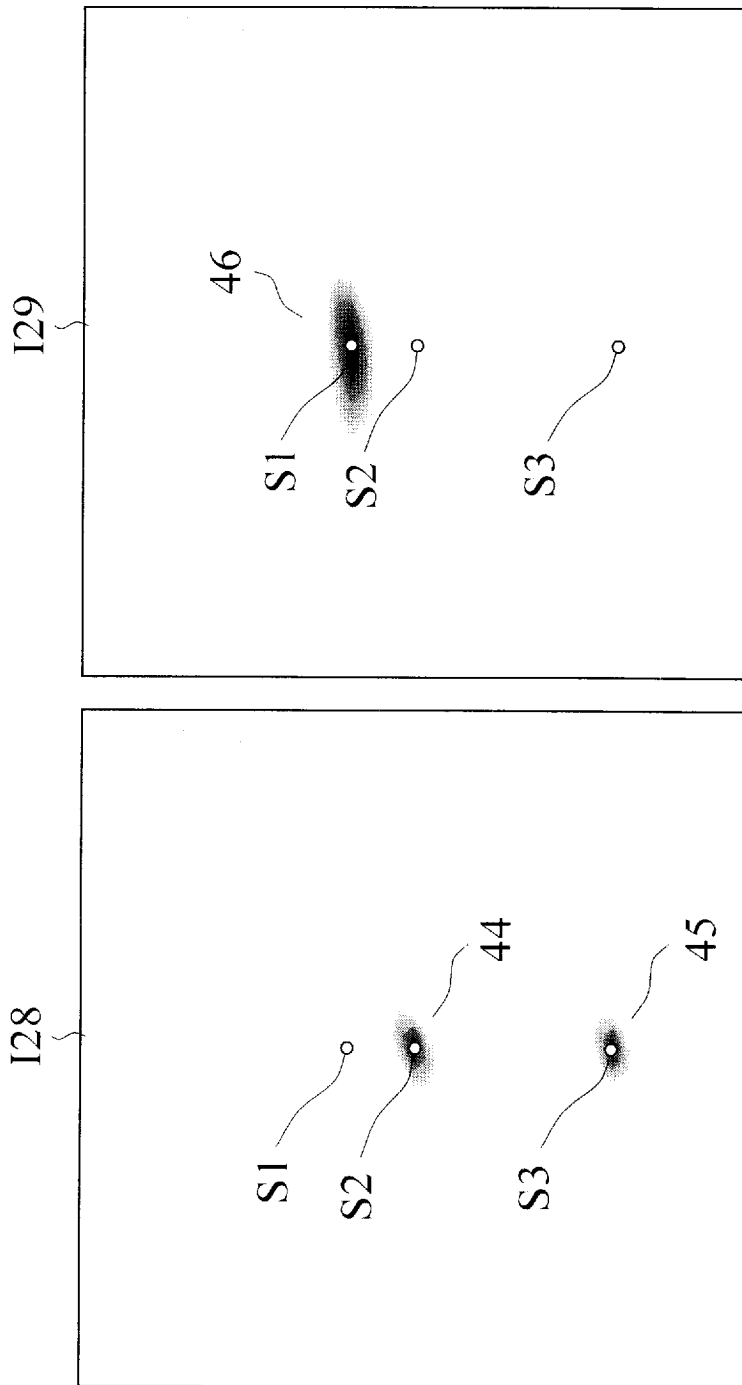
[図11]



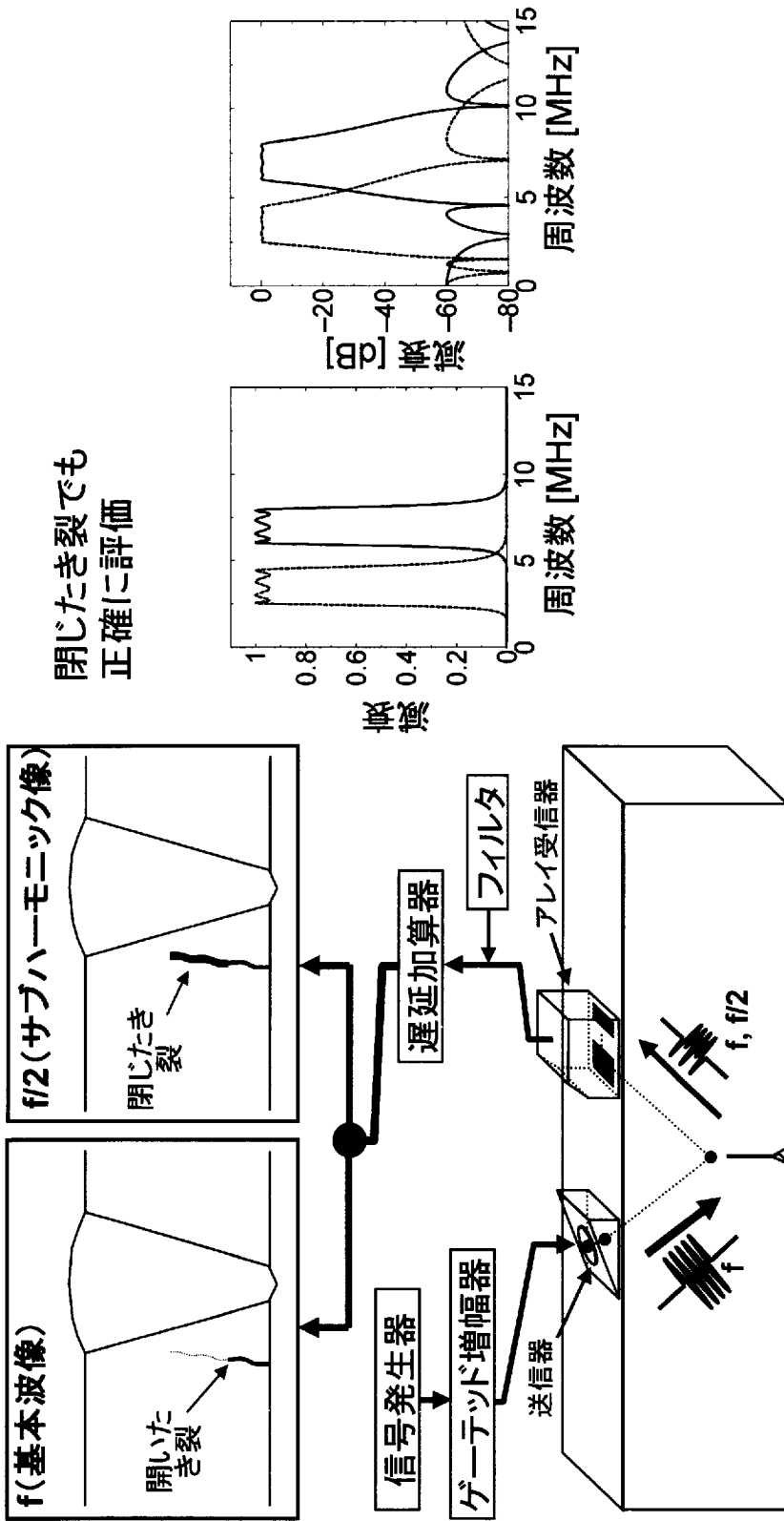
[12]



[ 13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2009/059212

<p>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01N29/44(2006.01) i, A61B8/00(2006.01) i, G01B17/06(2006.01) i</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>											
<p>B. FIELDS SEARCHED</p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01N29/00-G01N29/52, A61B8/00-A61B8/14, G01B17/00-G01B17/08</p> <p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2009 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2009 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2009</p> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus (JDreamII)</p>											
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width:10%;">Category*</th> <th style="width:70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width:20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td align="center">A</td> <td>Yoshikazu OHARA et al., "Mienai Kiretsu o Choonpa de Sokutei", Inspection Engineering, 01 May, 2008 (01.05.08), Vol.13, No.5, pages 8 to 14</td> <td align="center">1-17,19</td> </tr> <tr> <td align="center">A</td> <td>Kazushi YAMANAKA et al., "Tojita Kiretsu mo Mieru Choonpa Eizo Sochi 'SPACE' no Kaihatsu", Genshiryoku eye, 01 November, 2007 (01.11.07), Vol.53, No.11, pages 38 to 41</td> <td align="center">1-17,19</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	Yoshikazu OHARA et al., "Mienai Kiretsu o Choonpa de Sokutei", Inspection Engineering, 01 May, 2008 (01.05.08), Vol.13, No.5, pages 8 to 14	1-17,19	A	Kazushi YAMANAKA et al., "Tojita Kiretsu mo Mieru Choonpa Eizo Sochi 'SPACE' no Kaihatsu", Genshiryoku eye, 01 November, 2007 (01.11.07), Vol.53, No.11, pages 38 to 41	1-17,19
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.									
A	Yoshikazu OHARA et al., "Mienai Kiretsu o Choonpa de Sokutei", Inspection Engineering, 01 May, 2008 (01.05.08), Vol.13, No.5, pages 8 to 14	1-17,19									
A	Kazushi YAMANAKA et al., "Tojita Kiretsu mo Mieru Choonpa Eizo Sochi 'SPACE' no Kaihatsu", Genshiryoku eye, 01 November, 2007 (01.11.07), Vol.53, No.11, pages 38 to 41	1-17,19									
<p><input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p>											
<p>* Special categories of cited documents:</p> <table style="width:100%;"> <tr> <td style="width:50%;"> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </td> <td style="width:50%;"> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p> </td> </tr> </table>			<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>							
<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>										
<p>Date of the actual completion of the international search 03 June, 2009 (03.06.09)</p>		<p>Date of mailing of the international search report 16 June, 2009 (16.06.09)</p>									
<p>Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office</p>		<p>Authorized officer</p>									
<p>Facsimile No.</p>		<p>Telephone No.</p>									

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/059212

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.: 18

because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

Claim 18 pertains to diagnostic methods to be practiced on the human body and thus relates to a subject matter which this International Searching Authority is not required, under the provisions of Article 17(2)(a)(i) of the PCT and Rule 39.1 of the Regulations under the PCT, to search.

2. Claims Nos.:

because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.:

because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.

3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest
the

The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee.

The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G01N29/44(2006.01)i, A61B8/00(2006.01)i, G01B17/06(2006.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. G01N29/00-G01N29/52,
 A61B 8/00-A61B 8/14,
 G01B17/00-G01B17/08

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
 日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2009年
 日本国実用新案登録公報 1996-2009年
 日本国登録実用新案公報 1994-2009年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)
 JSTPlus(JDreamII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	小原良和, 他1名, 見えないき裂を超音波で測定, 検査技術, 2008.05.01, Vol. 13, No. 5, P. 8-14	1-17, 19
A	山中一司, 他3名, 閉じたき裂も見える超音波映像装置「SPACE」 の開発, 原子力eye, 2007.11.01, 第53巻, 第11号, P. 38-41	1-17, 19

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

<p>* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</p>	<p>の日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献</p>
---	---

国際調査を完了した日 03.06.2009	国際調査報告の発送日 16.06.2009
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 高場 正光 電話番号 03-3581-1101 内線 3292

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. 請求項 18 は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、請求項18は、人の身体の診断方法であり、PCT第17条(2)(a)(i)及びPCT規則39.1の規定により、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
2. 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

1. 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。