

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

①1 N° de publication : **3 101 951**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **20 10232**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **G 01 N 29/48 (2020.12), G 01 N 29/26**

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 **Date de dépôt** : 07.10.20.

③0 **Priorité** : 11.10.19 JP 2019-187887.

④3 **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 16.04.21 Bulletin 21/15.

⑤6 **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire** : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

⑥0 **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

**Demande(s) d'extension** :

⑦1 **Demandeur(s)** : SINTOKOGIO, LTD. Société de droit japonais — JP.

⑦2 **Inventeur(s)** : ITO Yuuka, YAMAGUCHI Eiji, HORIE Nayuta et OKUBO Mizuki.

⑦3 **Titulaire(s)** : SINTOKOGIO, LTD. Société de droit japonais.

⑦4 **Mandataire(s)** : REGIMBEAU.

⑤4 **Dispositif de contrôle ultrasonore et procédé de contrôle ultrasonore.**

⑤7 Un dispositif de contrôle ultrasonore comprend une unité d'acquisition qui, en faisant balayer une onde ultrasonore via un milieu sur l'objet à contrôler, acquiert à chaque position du balayage un signal exprimant le fondamental et le second harmonique de l'onde ultrasonore obtenue, une unité de calcul qui calcule à chaque position du balayage une valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental, et une unité de sortie qui fournit des informations de défauts de l'objet à contrôler en se basant sur la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental.

Figure pour l'abrégié : figure 1

FR 3 101 951 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : Dispositif de contrôle ultrasonore et procédé de contrôle ultrasonore.**

#### **Domaine technique**

[0001] La présente invention concerne un dispositif et un procédé de contrôle ultrasonore.

#### **Arrière-plan technologique**

[0002] La demande de brevet japonais publiée non-examinée sous le n° 2005-106636 divulgue un dispositif qui détecte les défauts des pièces métalliques par une méthode ultrasonore non-linéaire en immersion dans l'eau. Ce dispositif envoie une onde ultrasonore (train d'onde sinusoïdale) sur la pièce métallique placée dans l'eau et reçoit l'onde ultrasonore transmise. Ce dispositif détecte les défauts de la pièce métallique en se basant sur une valeur du quotient  $A_2/A_1$  de l'amplitude du second harmonique  $A_2$  par l'amplitude du fondamental (amplitude de l'onde incidente)  $A_1$  de l'onde ultrasonore transmise.

#### **Présentation de l'invention**

##### **Problème posé**

[0003] Dans la méthode ultrasonore non-linéaire en immersion dans l'eau, étant donné que les défauts de la pièce métallique sont détectés à l'aide d'une onde ultrasonore propagée dans l'eau en tant que milieu, l'amplitude du fondamental  $A_1$  et l'amplitude du second harmonique  $A_2$  de l'onde ultrasonore sont affectées par la non-linéarité de l'eau, sans pour autant que cet effet de non-linéarité de l'eau s'exerce nécessairement de façon identique sur l'amplitude du fondamental  $A_1$  et sur l'amplitude du second harmonique  $A_2$ . De ce fait, il y a le risque que parmi les défauts de l'objet à contrôler que détecte le dispositif de la demande de brevet japonais publiée non-examinée sous le n° 2005-106636 sur la base de la valeur de  $A_2/A_1$  figurent de fausses détections imputables à la non-linéarité de l'eau.

[0004] La présente invention propose un dispositif de contrôle ultrasonore qui permet d'améliorer la précision de contrôle des défauts de l'objet à contrôler.

##### **Solution apportée au problème**

[0005] Un dispositif de contrôle ultrasonore selon l'invention comprend une unité d'acquisition qui, en faisant balayer une onde ultrasonore via un milieu sur l'objet à contrôler, acquiert à chaque position du balayage un signal exprimant le fondamental et le second harmonique de l'onde ultrasonore ainsi obtenue, une unité de calcul qui calcule à chaque position du balayage la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental, et une unité de sortie qui fournit des informations de défauts de l'objet à contrôler en se basant sur la valeur du

quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental.

[0006] Dans ce dispositif de contrôle ultrasonore, un signal exprimant le fondamental et le second harmonique d'une onde ultrasonore obtenue en balayant l'objet à contrôler est acquis à chaque position du balayage par l'unité d'acquisition. Puis la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental est calculé à chaque position du balayage par l'unité de calcul. L'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore peut être décrite comme une fonction linéaire de l'amplitude du fondamental reflétant la non-linéarité du milieu. D'autre part, l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore peut être décrite comme une fonction quadratique de l'amplitude du fondamental reflétant la non-linéarité du milieu. Autrement dit, l'influence de la non-linéarité du milieu sur l'amplitude joue avec une intensité de même ordre sur l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore et sur le carré de l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore. Ce dispositif de contrôle ultrasonore est à même de décrire la relation entre l'amplitude du second harmonique et l'amplitude du fondamental sous une modalité qui atténue l'effet provenant de la non-linéarité du milieu en se servant du rapport entre l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore et le carré de l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore. Ce faisant, ce dispositif de contrôle ultrasonore permet d'améliorer la précision de détection des défauts de l'objet à contrôler comparativement à une détection des défauts de l'objet à contrôler qui serait fondée sur le rapport  $A_2/A_1$  entre l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore et l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore.

[0007] Selon un mode de réalisation, on peut faire en sorte que l'unité de sortie sorte une image en tant qu'informations de défauts de l'objet à contrôler. En ce cas, le dispositif de contrôle ultrasonore permet de visualiser la position des défauts de l'objet à contrôler.

[0008] Selon un mode de réalisation, on peut faire en sorte que l'unité de calcul calcule à chaque position du balayage la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par l'amplitude du fondamental, et que l'unité de sortie fournisse les informations de défauts de l'objet à contrôler en se basant sur la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par l'amplitude du fondamental et la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental. Les amplitudes de fondamental et de second harmonique sont sensibles à la réflectance de l'onde ultrasonore à l'interface entre milieu et objet à contrôler ainsi qu'à la réflectance de l'onde ultrasonore au niveau des défauts de l'objet à contrôler. De plus, cette influence de la réflectance sur l'amplitude joue avec une intensité de même ordre sur l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore et sur l'amplitude du second

harmonique de l'onde ultrasonore. Ce dispositif de contrôle ultrasonore est à même de décrire la relation entre l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore et l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore sous une modalité qui atténue l'effet provenant de la réflectance en se servant du rapport entre l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore et l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore. Ce faisant, ce dispositif de contrôle ultrasonore permet d'atténuer l'influence exercée sur l'amplitude par la réflectance de l'onde ultrasonore en se servant du rapport entre l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore et l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore.

[0009] Selon un autre aspect de l'invention, un procédé de contrôle ultrasonore comprend l'acquisition, en faisant balayer une onde ultrasonore via un milieu sur l'objet à contrôler, d'un signal exprimant le fondamental et le second harmonique de l'onde ultrasonore obtenue par ce balayage, à chaque position du balayage; le calcul, à chaque position du balayage, de la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental ; et la fourniture d'informations de défaut de l'objet à contrôler en se basant sur la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental.

[0010] Dans ce procédé de contrôle ultrasonore, un signal exprimant le fondamental et le second harmonique d'une onde ultrasonore obtenue en balayant l'objet à contrôler est acquis à chaque position du balayage. Puis la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental est calculé à chaque position du balayage. Autrement dit, ce procédé de contrôle ultrasonore est à même de décrire la relation entre l'amplitude du second harmonique et l'amplitude du fondamental sous une modalité qui atténue l'effet provenant de la non-linéarité du milieu par le fait de se servir du rapport entre l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore et le carré de l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore. Ce faisant, ce procédé de contrôle ultrasonore permet d'améliorer la précision de détection des défauts de l'objet à contrôler.

[0011] Selon encore un autre aspect de l'invention, un dispositif de contrôle ultrasonore comprend une unité d'acquisition qui est configurée pour, en faisant balayer une onde ultrasonore via un milieu sur l'objet à contrôler, acquérir un signal exprimant le fondamental et le second harmonique de l'onde ultrasonore obtenue, à chaque position du balayage, et une unité de sortie qui est configurée pour fournir une image relative à l'objet à contrôler, l'image possédant des valeurs de pixel qui correspondent respectivement aux positions du balayage, et les valeurs de pixel sont les valeurs résultant de l'application d'une loi de conversion en valeur de pixel prédéterminée au quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental associé à la position de balayage correspondante. Dans ce dispositif de contrôle ultrasonore, un

signal exprimant le fondamental et le second harmonique d'une onde ultrasonore obtenue en balayant l'objet à contrôler est acquis à chaque position du balayage par l'unité d'acquisition. De plus, une image relative à l'objet à contrôler est fournie par l'unité de sortie. L'image possède des valeurs de pixel qui correspondent respectivement aux positions du balayage, et les valeurs de pixel sont les valeurs résultant de l'application d'une loi de conversion en valeur de pixel déterminée au quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental associé à la position de balayage correspondante. De ce fait, ce dispositif de contrôle ultrasonore est à même de visualiser la relation entre l'amplitude du second harmonique et l'amplitude du fondamental sous une modalité qui atténue l'effet provenant de la non-linéarité du milieu en se servant du rapport entre l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore et le carré de l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore.

### **Effets de l'invention**

[0012] Le dispositif de contrôle ultrasonore selon l'invention permet d'améliorer la précision de détection des défauts de l'objet à contrôler.

### **Présentation des dessins**

[0013] La [fig.1] est la représentation schématique d'un exemple de système de contrôle ultrasonore ;

[0014] la [fig.2] représente le schéma fonctionnel du dispositif de contrôle ultrasonore de la figure 1 ;

[0015] la [fig.3] est une illustration schématique du chemin de propagation de l'onde ultrasonore balayant l'objet à contrôler 7 ;

[0016] la [fig.4] représente un exemple d'informations de défauts de l'objet à contrôler ;

[0017] la [fig.5] représente l'organigramme de traitement du procédé de contrôle ultrasonore ;

[0018] la [fig.6] est une illustration schématique de la pluralité de chemins de propagation de l'onde ultrasonore balayant l'objet à contrôler 7.

### **Description détaillée**

[0019] L'exposé qui suit décrit des modes de réalisation de l'invention en référence à des dessins. Il usera des mêmes notations pour désigner des éléments identiques ou équivalents et s'abstiendra d'explications redondantes. De plus, les dessins ne sont pas censés respecter nécessairement les rapports dimensionnels tels qu'ils ressortent de cet exposé. Enfin, par commodité, les notions de « haut », « bas », « gauche », « droite » sont à comprendre dans le contexte des dessins.

### **Constitution du système de contrôle ultrasonore**

[0020] La [fig.1] est la représentation schématique d'un exemple de système de contrôle ultrasonore. Dans ce dessin, X et Y désignent des directions horizontales, Z la direction

verticale. Ces directions X, Y, Z constituent les axes mutuellement perpendiculaires d'un repère orthogonal de l'espace tridimensionnel. Le système de contrôle ultrasonore 100 comprend un dispositif de commande 1, un générateur d'impulsions 2, un démultiplexeur 3, une unité d'entraînement 4, une sonde ultrasonore 5, une cuve d'eau 6, un objet à contrôler 7, un filtre haute fréquence 8, un récepteur d'impulsions 9 et un dispositif de contrôle ultrasonore 10. Le système de contrôle ultrasonore 100 balaie l'objet à contrôler 7 par ondes ultrasonores et fournit des informations de défauts de l'objet à contrôler 7.

- [0021] Le dispositif de commande 1 est formé d'un ordinateur universel comprenant notamment une unité arithmétique et logique telle qu'une unité centrale de traitement, (CPU, pour l'anglais "Central Processing Unit"), etc., des unités de mémoire telles qu'une mémoire morte (ROM, pour l'anglais "Read Only Memory"), une mémoire vive (RAM, pour l'anglais "Random Access Memory"), un disque dur (HDD, pour l'anglais "Hard Disk Drive"), etc. et un dispositif de communication. Le dispositif de commande 1 est connecté au générateur d'impulsions 2, à l'unité d'entraînement 4 et au dispositif de contrôle ultrasonore 10.
- [0022] Le générateur d'impulsions 2 fait produire une onde ultrasonore à la sonde ultrasonore 5 en générant une tension électrique. Le générateur d'impulsions 2 module la forme d'onde de la tension en fonction d'instructions délivrées par le dispositif de commande 1. Le générateur d'impulsions 2 est connecté à la sonde ultrasonore 5 et au filtre haute fréquence 8 via le démultiplexeur 3. Le générateur d'impulsions 2 fait produire à la sonde ultrasonore 5 une onde ultrasonore fonction d'une tension. À titre d'exemple, le générateur d'impulsions 2 fait produire à la sonde ultrasonore 5 un train d'onde sinusoïdale. Un train d'onde sinusoïdale est une onde ultrasonore sinusoïdale générée de manière instantanée. L'amplitude et la fréquence du train d'onde sinusoïdale sont déterminées par la forme d'onde de la tension produite par le générateur d'impulsions 2.
- [0023] L'unité d'entraînement 4 est disposée au-dessus de la cuve d'eau 6 et comprend une pluralité d'arbres mobiles faisant se déplacer la sonde ultrasonore 5. Par exemple, cette pluralité d'arbres mobiles est formée de mécanismes de vis à billes servant les directions axiales X, Y, Z. Ces mécanismes de vis à billes sont entraînés par des servomoteurs. L'unité d'entraînement 4 déplace la sonde ultrasonore 5 en fonction d'instructions délivrées par le dispositif de commande 1. L'unité d'entraînement 4 retourne au dispositif de commande 1 l'information de position de la sonde ultrasonore 5.
- [0024] La sonde ultrasonore 5 produit une onde ultrasonore en recevant la tension en provenance du générateur d'impulsions 2. La sonde ultrasonore 5 est munie d'une surface de sondage comportant à l'intérieur un composant piézoélectrique. À la

réception de la tension, la sonde ultrasonore 5 produit à partir de sa surface de sondage une onde ultrasonore fonction de ladite tension. Lorsque sa surface de sondage reçoit une onde ultrasonore, la sonde ultrasonore 5 génère un signal électrique exprimant l'onde ultrasonore reçue. Ce signal électrique est un signal analogique procédant de la variation d'une valeur de tension.

- [0025] La cuve d'eau 6 est remplie à l'intérieur d'une eau 6a. L'objet à contrôler 7 est supporté dans l'eau 6a par un plateau porte-échantillon 6b disposé à l'intérieur de la cuve d'eau 6. L'eau 6a fait fonction de milieu de propagation vers l'objet à contrôler 7 pour l'onde ultrasonore produite par la sonde ultrasonore 5. À titre d'exemple, l'objet à contrôler 7 est un matériau composite formé d'une couche d'aluminium 71 et d'une couche de plastique renforcé de fibres de carbone ou « CFRP » (pour l'anglais "Carbon Fiber Reinforced Plastics") 72. L'objet à contrôler 7 réfléchit l'onde ultrasonore propagée. Le plateau porte-échantillon 6b supporte l'objet à contrôler 7 de telle façon que l'onde ultrasonore propagée à l'objet à contrôler 7 ne se propage pas à la cuve d'eau 6.
- [0026] La sonde ultrasonore 5 projette l'onde ultrasonore sur l'objet à contrôler 7. En outre, la sonde ultrasonore 5 reçoit l'onde ultrasonore réfléchie par l'objet à contrôler 7. Si on appelle U l'onde ultrasonore projetée par la sonde ultrasonore 5, l'onde ultrasonore réfléchie par l'objet à contrôler 7 contient un fondamental dont la fréquence est égale à celle de l'onde ultrasonore U, et des harmoniques d'ordre n dont les fréquences valent n fois (n : entier naturel) celle de l'onde ultrasonore U. On nomme « balayage » le fait pour la sonde ultrasonore 5 de projeter l'onde ultrasonore U sur l'objet à contrôler 7 et de recevoir l'onde ultrasonore réfléchie par l'objet à contrôler 7. L'onde ultrasonore obtenue en balayant l'objet à contrôler 7 contient au moins le fondamental et le second harmonique.
- [0027] La sonde ultrasonore 5 balaie l'objet à contrôler 7 par l'onde ultrasonore dans une position déterminée. Après quoi l'unité d'entraînement 4 déplace la sonde ultrasonore 5. La sonde ultrasonore 5 balaie de nouveau l'objet à contrôler 7 par l'onde ultrasonore dans la position atteinte au terme du déplacement. L'unité d'entraînement 4 déplace la sonde ultrasonore 5 suivant une trajectoire déterminée. La trajectoire pilotée par le dispositif de commande 1 est préprogrammée par le dispositif de commande 1 pour que l'objet à contrôler 7 soit balayé par l'onde ultrasonore d'une manière exhaustive dans le plan XY.
- [0028] La sonde ultrasonore 5 est connectée au dispositif de contrôle ultrasonore 10 via le filtre haute fréquence 8 et le récepteur d'impulsions 9. La sonde ultrasonore 5 envoie au dispositif de contrôle ultrasonore 10, sous forme de signal électrique, l'onde ultrasonore qui est obtenue en balayant l'objet à contrôler 7.
- [0029] Le filtre haute fréquence 8 comprend un circuit électrique équipé par exemple de ré-

sistances variables et de condensateurs variables. Le filtre haute fréquence 8 réduit, au sein du signal électrique envoyé par la sonde ultrasonore 5, les composantes de fréquence inférieure à une valeur déterminée. Le signal électrique envoyé par la sonde ultrasonore 5 renferme, outre les composantes exprimant l'onde ultrasonore obtenue en balayant l'objet à contrôler 7, des composantes dues aux perturbations telles que les fluctuations de la tension d'alimentation ou les ondes radio rayonnées. Le signal électrique exprimant l'onde ultrasonore obtenue en balayant l'objet à contrôler 7, dans la mesure où il renferme une part importante de composantes de haute fréquence, traverse le filtre haute fréquence 8. En revanche, les perturbations telles que fluctuations de la tension d'alimentation et ondes radio rayonnées, qui renferment une part importante de composantes de basse fréquence, sont atténuées par le filtre haute fréquence 8.

[0030] Le récepteur d'impulsions 9 reçoit via le filtre haute fréquence 8 le signal électrique exprimant l'onde ultrasonore obtenue en balayant l'objet à contrôler 7. Le récepteur d'impulsions 9 comprend un circuit électrique équipé par exemple d'un amplificateur opérationnel et d'un convertisseur analogique/numérique (A/D pour l'anglais "analog-digital converter"). Le récepteur d'impulsions 9 convertit en un signal numérique la variation de la valeur de tension du signal électrique reçu. Le signal numérique consiste en une onde rectangulaire de tension. Le récepteur d'impulsions 9 envoie au dispositif de contrôle ultrasonore 10 le signal numérique exprimant le fondamental et le second harmonique.

[0031] Le dispositif de contrôle ultrasonore 10 fournit des informations de défauts de l'objet à contrôler 7 en se basant sur l'onde ultrasonore obtenue en balayant l'objet à contrôler 7.

[0032] **Constitution du dispositif de contrôle ultrasonore**

[0033] La [fig.2] représente le schéma fonctionnel du dispositif de contrôle ultrasonore de la [fig.1]. Le dispositif de contrôle ultrasonore 10 comprend une unité d'acquisition 11, une unité de calcul 12 et une unité de sortie 13. Le dispositif de contrôle ultrasonore 10 consiste par exemple en un ordinateur universel comprenant notamment une unité arithmétique et logique telle qu'un processeur central (CPU, pour l'anglais "Central Processing Unit"), etc., un dispositif mémoire tel qu'une mémoire morte (ROM, pour l'anglais "Read Only Memory"), une mémoire vive (RAM, pour l'anglais "Random Access Memory"), un disque dur (HDD, pour l'anglais "Hard Disk Drive"), etc. et un dispositif de communication.

[0034] L'unité d'acquisition 11 acquiert, sur la base du signal numérique envoyé par le récepteur d'impulsions 9, le fondamental et le second harmonique de l'onde ultrasonore obtenue en faisant balayer l'objet à contrôler 7 par la sonde ultrasonore 5. En outre, l'unité d'acquisition 11 acquiert auprès du dispositif de commande 1 l'information de

position de la sonde ultrasonore 5 retournée par l'unité d'entraînement 4. En mettant en correspondance les fondamental et second harmonique de l'onde ultrasonore acquis et l'information de position retournée par l'unité d'entraînement 4, l'unité d'acquisition 11 associe le fondamental et le second harmonique de l'onde ultrasonore, obtenus en faisant balayer l'objet à contrôler 7 par la sonde ultrasonore 5 avec l'information de position relevée lors du balayage de l'objet à contrôler 7 par la sonde ultrasonore 5. Autrement dit, l'unité d'acquisition 11 acquiert un signal exprimant le fondamental et le second harmonique à chaque position de balayage de la trajectoire de la sonde ultrasonore 5.

[0035] L'unité de calcul 12 calcule la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental à partir du signal exprimant le fondamental et le second harmonique acquis par l'unité d'acquisition 11. On va maintenant exposer le principe sur lequel se fonde la fourniture des informations de défauts de l'objet à contrôler 7.

[0036] La [fig.3] est une illustration schématique du chemin de propagation de l'onde ultrasonore balayant l'objet à contrôler 7. L'onde ultrasonore émise à partir de la sonde ultrasonore 5 (voir [fig.1]) est transmise de l'eau 6a à la couche d'aluminium 71. L'onde ultrasonore transmise de l'eau 6a à la couche d'aluminium 71 est réfléchiée à l'interface de liaison 7a. L'onde ultrasonore réfléchiée à l'interface de liaison 7a est transmise de la couche d'aluminium 71 à l'eau 6a. L'onde ultrasonore propagée dans l'eau 6a est reçue par la sonde ultrasonore 5. Ici, la célérité  $C$  d'une onde ultrasonore longitudinale dans un continuum linéaire obéissant à la loi de Hooke peut être décrite de manière générale par l'expression (1) en fonction de la masse volumique du matériau  $\rho$ , du module d'élasticité longitudinal  $E$  et du coefficient de Poisson  $\nu$ .

$$[0037] \quad C = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1)$$

[0038] Cependant, la relation contrainte-déformation gouvernée par les forces interatomiques présente un caractère non-linéaire. En considérant jusqu'au terme d'ordre 2 de la déformation  $\varepsilon$ , on peut donner de la contrainte  $\sigma$  l'expression (2) en utilisant la constante élastique d'ordre 2  $C_{1W}$  du chemin de propagation exposé à l'effet de non-linéarité de l'eau et la constante élastique d'ordre 3  $C_{2W}$  du chemin de propagation exposé à l'effet de non-linéarité de l'eau.

$$[0039] \quad \sigma = C_{1W}\varepsilon + C_{2W}\varepsilon^2 \quad (2)$$

[0040] Le déplacement  $u$  dans l'équation d'onde unidimensionnelle d'un corps élastique obéissant à (2) est donné par l'expression (3) :

$$[0041] \quad u = A_{1W} \exp \{ i(kx - \omega t) \} \varepsilon + \frac{C_{2W}}{8C_{1W}^2} A_{1W}^2 k^2 x \exp \{ 2i(kx - \omega t) \} \quad (3)$$

[0042] où  $k$  désigne le nombre d'onde,  $x$  la distance de propagation,  $\omega$  la fréquence

angulaire,  $t$  le temps,  $i$  l'unité imaginaire.  $A_{1w}$  représente l'amplitude du fondamental de même fréquence que l'onde ultrasonore  $U$  émise par la sonde ultrasonore 5 avec l'amplitude du fondamental affectée par l'effet de non-linéarité de l'eau 6a.

[0043] Sur la base de l'expression (3), on peut exprimer par l'expression (4) et l'expression (3) l'amplitude du fondamental  $A_1$  et l'amplitude du second harmonique  $A_2$  de l'onde ultrasonore obtenue en faisant balayer l'objet à contrôler 7 suivant le chemin de propagation illustré dans la [fig.3] :

$$[0044] \quad A_1 = RT_1 T_2 A_{1w} \quad (4)$$

$$[0045] \quad A_2 = RT_1 T_2 \frac{C_{2w}}{8C_{1w}} A_{1w}^2 k^2 x + T_2 \alpha \quad (5)$$

[0046]  $R$  désigne le coefficient de réflexion de l'interface de liaison 7a,  $T_1$  le coefficient de transmission de l'eau 6a à la couche d'aluminium 71,  $T_2$  le coefficient de transmission de la couche d'aluminium 71 à l'eau 6a,  $\alpha$  le signal dû au clappement (clapping).

[0047] Compte tenu des expressions (4) et (5), la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental a pour expression (6) :

$$[0048] \quad \frac{A_2}{A_1^2} = \frac{1}{RT_1 T_2} \frac{C_{2w}}{8C_{1w}} k^2 x + \frac{T_2 \alpha}{R^2 T_1^2 T_2^2 A_{1w}^2} \quad (6)$$

[0049] Dans cette expression (6) formalisant le rapport entre l'amplitude du second harmonique et le carré de l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore obtenue en balayant l'objet à contrôler 7, le terme  $A_{1w}$  affecté par l'effet de non-linéarité de l'eau 6a a pu être éliminé du premier terme du membre de droite. D'autre part, le second terme du membre de droite incluant le signal dû au clappement  $\alpha$  est suffisamment petit. C'est ainsi une grandeur dont a été atténué l'effet de non-linéarité de l'eau 6a qui est calculée par l'unité de calcul 12. Ladite unité de calcul 12 calcule une valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental à chaque position de balayage de la trajectoire de la sonde ultrasonore 5.

[0050] L'unité de sortie 13 fournit, à chaque position de balayage de la trajectoire de la sonde ultrasonore 5, des informations de défauts de l'objet à contrôler 7 en se basant sur la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental calculé par l'unité de calcul 12. Par défauts de l'objet à contrôler 7, on entend des sites de variation discontinue des constantes élastiques qui sont apparus à l'intérieur de l'objet à contrôler 7 ; ce peut être par exemple des microfissures apparues à l'interface de liaison 7a entre couche d'aluminium 71 et couche de CFRP 72. Le rapport entre la constante élastique d'ordre 3  $C_{2w}$  affectée par l'effet de non-linéarité de l'eau et la constante élastique d'ordre 2  $C_{1w}$  affectée par l'effet de non-linéarité de l'eau, qu'on trouve au premier terme du membre de droite de l'expression (6), recèle une information de défauts puisqu'il varie suivant l'état de défectuosité de l'objet à contrôler 7. Par état de défectuosité, on entend par exemple la largeur et l'aire

de microfissures apparues à l'interface de liaison 7a. En conséquence, la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental exprimé par l'expression (6) recèle des informations de défauts de l'objet à contrôler 7, pour lequel l'effet de non-linéarité de l'eau 6a a été atténué. L'unité de sortie 13 applique une loi prédéterminée de conversion en valeur de pixel aux quotients de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental exprimés par l'expression (6) et construit une image en se basant sur les valeurs de pixel issues de la conversion. Par exemple, l'unité de sortie 13 peut opérer la conversion en valeurs de pixel en multipliant les valeurs obtenues à chacune des positions du balayage par un coefficient de conversion déterminé et construire l'image en se basant sur les valeurs de pixel issues de la conversion. Autrement dit, l'image possède des valeurs de pixel qui correspondent respectivement aux positions du balayage. À titre d'exemple concret de la loi prédéterminée de conversion en valeur de pixel, on va ici décrire la procédure de construction d'une image en niveaux de gris. L'unité de sortie 13 commence par établir la correspondance entre les positions de balayage et les positions des pixels contenus dans l'image. Puis l'unité de sortie 13 met en correspondance les gradations de l'image avec les informations de défauts. L'unité de sortie 13 opère cette mise en correspondance entre informations de défauts et gradations de telle façon que la gamme des informations de défauts obtenues aux différentes positions de balayage s'inscrive dans les limites de l'échelle de gradation de l'image en niveaux de gris et qu'informations de défauts et gradations soient en relation de proportionnalité. Par exemple, l'unité de sortie 13 fait correspondre la valeur minimale des informations de défauts à la gradation de plus faible luminosité (noir) et la valeur maximale des informations de défauts à la gradation de plus forte luminosité (blanc). Dans le cas d'une représentation de la gradation sur 8 bits, la valeur de pixel 0 est la valeur minimale des informations de défauts et correspond au  $A_2/A_1^2$  d'un endroit sain, et la valeur de pixel 255 est la valeur maximale des informations de défauts et correspond au  $A_2/A_1^2$  d'un endroit défectueux. Cette loi de conversion conduit à fournir une image dans laquelle plus une position est de couleur proche du blanc et plus elle renvoie à un endroit défectueux. L'unité de sortie 13 peut aussi, moyennant une division électrique du signal d'image associé à une position de balayage, réaliser une conversion en signaux d'image correspondant à des positions de balayage plus fines. Il devient alors possible d'accroître la précision des valeurs frontières entre endroits sains (noirs) et défectueux (blancs). En outre, l'unité de sortie 13 peut aussi programmer un seuil prenant pour référence le  $A_2/A_1^2$  d'un endroit sain et représenter les endroits défectueux de façon automatique. Par exemple, l'unité de sortie 13 peut programmer à l'avance le  $A_2/A_1^2$  des endroits sains en tant que seuil et représenter en tant qu'endroits défectueux les valeurs de pixel correspondant à des  $A_2/A_1^2$  plus grands que le seuil.

[0051] La [fig.4] représente des exemples d'informations de défauts de l'objet à contrôler. La partie 4(A) illustre des informations de défauts de l'objet à contrôler 7 qui ont été fournies en se basant sur la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental, celui-ci ayant été calculé sur une base expérimentale. Les informations de défauts de l'objet à contrôler 7 sont fournies, par l'unité de sortie 13, sous forme d'image dans un plan bidimensionnel correspondant aux positions de balayage de la trajectoire de la sonde ultrasonore 5. La partie 4(B) illustre des informations de défauts de l'objet à contrôler 7 qui ont été fournies en se basant sur la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par l'amplitude du fondamental, celui-ci ayant été calculé sur une base expérimentale. La partie 4(A) met en évidence, par comparaison avec la partie 4(B), une visualisation plus exacte des informations de défauts de l'objet à contrôler 7 s'étendant en forme de cercle. Dans le cas où, en appliquant aux valeurs de pixel contenues dans une image la procédure inverse de la loi de conversion en valeur de pixel sus-décrite, on convertit toutes les valeurs de pixel en  $A_2/A_1^2$  associés à des positions de balayage correspondantes, on peut dire que ladite image est une image ayant été construite au moyen de la méthode selon l'invention.

[0052] **Fonctionnement du dispositif de contrôle ultrasonore**

[0053] La [fig.5] représente l'organigramme de traitement du procédé de contrôle ultrasonore. Cet organigramme de la [fig.5] est exécuté par le dispositif de contrôle ultrasonore 10.

[0054] Comme le montre la [fig.5], le dispositif de contrôle ultrasonore 10 commence par exécuter le processus d'acquisition (étape S11) qui consiste à acquérir la position du balayage de l'objet à contrôler 7 par la sonde ultrasonore 5 et les fondamental et second harmonique de l'onde ultrasonore obtenue en balayant l'objet à contrôler 7. Ce processus d'acquisition (étape S11) est basé sur le signal numérique fourni par le récepteur d'impulsions 9 et le retour obtenu auprès de l'unité d'entraînement 4.

[0055] Ensuite, le dispositif de contrôle ultrasonore 10 exécute le processus de calcul (étape S12) qui consiste à calculer, à chaque position du balayage de l'objet à contrôler 7 par la sonde ultrasonore 5, la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental à partir des fondamental et second harmonique acquis. Comme cela a été indiqué à propos de l'expression (6), ce sont des informations de défauts de l'objet à contrôler 7 pour lesquelles l'effet de non-linéarité de l'eau 6a a été atténué qui sont calculées lors de ce processus de calcul (étape S12).

[0056] Ensuite, le dispositif de contrôle ultrasonore 10 exécute le processus de sortie (étape S13) qui consiste à fournir des informations de défauts de l'objet à contrôler 7 en se basant sur la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental. Les informations de défauts de l'objet à contrôler 7, telles

que la largeur et l'aire de microfissures présentes à l'interface de liaison 7a, sont fournies comme la traduction de la variation du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental. Par exemple, les informations de défauts de l'objet à contrôler 7 sont sorties sous la forme d'une image. L'achèvement du processus de sortie (étape S13) marque la fin de l'organigramme de la [fig.5].

### **Synthèse des modes de réalisation**

[0057] Selon le dispositif de contrôle ultrasonore 10 et le procédé de contrôle ultrasonore, un signal exprimant le fondamental et le second harmonique d'une onde ultrasonore obtenue en faisant balayer l'objet à contrôler 7 par la sonde ultrasonore 5 est acquis par l'unité d'acquisition 11 à chaque position de balayage de la trajectoire de la sonde ultrasonore 5. La valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental est calculé par l'unité de calcul 12 à chaque position de balayage de la trajectoire de la sonde ultrasonore 5. Des informations de défauts de l'interface de liaison 7a de l'objet à contrôler 7 pour lesquelles l'effet de non-linéarité de l'eau 6a a été atténué sont fournies par l'unité de sortie 13 en se basant sur la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental. De la sorte, le dispositif de contrôle ultrasonore 10 est à même de fournir des défauts de l'objet à contrôler 7 dont a été atténué l'effet de non-linéarité de l'eau 6a. Ce faisant, ce dispositif de contrôle ultrasonore 10 et ce procédé de contrôle ultrasonore permettent d'améliorer la précision de détection des défauts de l'objet à contrôler 7 comparativement à une détection des défauts de l'objet à contrôler 7 qui serait fondée sur le rapport  $A_2/A_1$  entre l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore et l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore.

[0058] L'unité de sortie 13 a la possibilité de fournir une image en tant qu'informations de défauts de l'objet à contrôler 7. Le dispositif de contrôle ultrasonore 10 est à même de visualiser les défauts de l'objet à contrôler 7.

### **Variantes**

[0059] On vient d'exposer divers modes de réalisation à titre d'exemples, mais il est entendu qu'ils ne limitent aucunement l'invention et peuvent faire l'objet de toutes formes de simplifications, substitutions ou modifications.

[0060] L'unité de sortie 13 n'est pas tenue de fournir sous la forme d'une image les informations de défauts de l'objet à contrôler 7. Par exemple, l'unité de sortie 13 peut fournir sous la forme d'un graphique la variation de la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental. L'unité de sortie 13 peut également fournir un résultat de contrôle basé sur les informations de défauts de l'objet à contrôler 7. Par exemple, ce résultat de contrôle peut être le résultat du jugement du statut conforme ou défectueux de l'objet à contrôler 7.

[0061] Il est également possible que l'unité de calcul 12 calcule à chaque position de balayage de la trajectoire de la sonde ultrasonore 5 la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore obtenue par le balayage, et que l'unité de sortie 13 fournisse les informations de défauts de l'objet à contrôler 7 en se basant sur la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par l'amplitude du fondamental et la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental. On va maintenant exposer le principe sur lequel se fonde la fourniture des informations de défauts de l'objet à contrôler 7.

[0062] La [fig.6] est une illustration schématique de la pluralité de chemins de propagation de l'onde ultrasonore balayant l'objet à contrôler 7. Plusieurs situations sont à envisager pour le chemin de propagation de l'onde ultrasonore obtenue en balayant l'objet à contrôler 7 : la réflexion à l'interface externe 7b entre la couche d'aluminium 71 et l'eau 6a ; la réflexion sur une portion saine de l'interface de liaison 7a de l'objet à contrôler 7 ; la réflexion sur une portion défectueuse de l'interface de liaison 7a de l'objet à contrôler 7. Soient  $R_W$  la réflectance de l'interface externe 7b entre couche d'aluminium 71 et eau 6a, et  $R_G$  la réflectance d'une portion saine de l'interface de liaison 7a de l'objet à contrôler 7. Les interfaces étant toutes dénuées de non-linéarité, les rapports  $A_2/A_1^2$  et  $A_2'/A_1'^2$  sont représentés par les expressions (7) et (8) en considérant que le signal dû au clappement est nul ( $\alpha=0$ ):

$$[0063] \quad \frac{A_2}{A_1^2} = \frac{1}{R_W T_1 T_2} \frac{C_{2W}}{8C_{1W}} k^2 x \quad (7)$$

$$[0064] \quad \frac{A_2'}{A_1'^2} = \frac{1}{R_G T_1 T_2} \frac{C_{2W}}{8C_{1W}} k^2 x \quad (8)$$

[0065]  $A_1'$  désigne l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore réfléchi sur une portion saine de l'interface de liaison 7a de l'objet à contrôler 7,  $A_2'$  l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore réfléchi sur une portion saine de l'interface de liaison 7a de l'objet à contrôler 7. Le rapport entre l'expression (7) et l'expression (8) s'exprime selon la revendication (9) :

$$[0066] \quad \frac{\frac{A_2}{A_1^2}}{\frac{A_2'}{A_1'^2}} = \frac{R_W}{R_G} \quad (9)$$

[0067] D'après l'expression (4), le rapport entre l'amplitude du fondamental réfléchi à l'interface externe 7b entre couche d'aluminium 71 et eau 6a et l'amplitude du fondamental réfléchi par une portion saine de l'interface de liaison 7a de l'objet à contrôler 7 s'exprime selon l'expression (10) :

$$[0068] \quad \frac{A_1'}{A_1} = \frac{R_W}{R_G} \quad (10)$$

[0069] On obtient, en transformant l'expression (9) par l'expression (10), l'expression (11) :

$$[0070] \quad \frac{\frac{A_2'}{A_1'}}{\frac{A_1'}{A_1}} = \frac{\frac{1}{R_G}}{\frac{1}{R_W}} = \frac{A_1'}{A_1} \quad (11)$$

[0071] puis en réarrangeant les deux membres de l'expression (11), on obtient l'expression (12) :

$$[0072] \quad \frac{A_2'}{A_1'} = \frac{A_2}{A_1} \quad (12)$$

[0073] Soient  $R_F$  la réflectance d'une portion défectueuse de l'interface de liaison 7a de l'objet à contrôler 7,  $A_1''$  l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore réfléchi sur une portion défectueuse de l'interface de liaison 7a de l'objet à contrôler 7, et  $A_2''$  l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore réfléchi sur une portion défectueuse de l'interface de liaison 7a de l'objet à contrôler 7. La détermination de  $A_2''/A_1''$  de la même manière que précédemment conduit à obtenir l'expression (13) :

$$[0074] \quad \frac{A_1''}{A_1} = \frac{R_W}{R_F}$$

$$\frac{\frac{A_2''}{A_1''}}{\frac{A_1''}{A_1}} = \frac{\frac{1}{R_F T_1 T_2 8 C_{1W}} k^2 x + \frac{T_2 a}{R_F^2 T_1^2 T_2^2 A_{1w}^2}}{\frac{1}{R_W T_1 T_2 8 C_{1W}} k^2 x} = \frac{1}{R_F} + \frac{\frac{T_2 a}{R_F^2 T_1^2 T_2^2 A_{1w}^2}}{\frac{1}{R_W T_1 T_2 8 C_{1W}} k^2 x}$$

$$= \frac{R_W}{R_F} + \frac{A_1^2}{A_2} \frac{T_2 a}{R_F^2 T_1^2 T_2^2 A_{1w}^2} = \frac{A_1''}{A_1} + \frac{A_1^2}{A_2} \frac{T_2 a}{R_F^2 T_1^2 T_2^2 A_{1w}^2} \quad (13)$$

[0075] En réarrangeant les deux membres de l'expression (13) et en regroupant les termes incluant  $\alpha$  sous une entité  $A(\alpha)$ , on obtient l'expression (14) :

$$[0076] \quad \frac{A_2''}{A_1''} = \frac{A_2}{A_1} + A(\alpha) \quad (14)$$

[0077] Cela signifie que le rapport entre l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore et l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore obtenues en faisant balayer l'onde ultrasonore, tel qu'il ressort des expressions (12) et (14), admet une valeur constante au terme  $A(\alpha)$  près, que l'onde ultrasonore soit réfléchi à l'interface externe 7b, à l'interface de liaison 7a interne ou sur une portion défectueuse de l'objet à contrôler 7. Autrement dit, s'agissant des amplitudes de fondamental et de second harmonique d'une onde ultrasonore réfléchi suivant différents chemins de pro-

pagation, il est possible de décrire la relation entre l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore et l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore sous une modalité qui atténue l'effet provenant de la réflectance en se servant du rapport entre l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore et l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore.

- [0078] L'unité de calcul 12 calcule la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore par l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore et la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore par le carré de l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore à chaque position de balayage de la trajectoire de la sonde ultrasonore 5.
- [0079] L'unité de sortie 13 fournit des informations de défauts de l'objet à contrôler 7 en se basant sur la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore par l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore et la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental qui ont été calculés par l'unité de calcul 12. Concrètement, l'unité de sortie 13 compare l'image fournie en se basant sur la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par l'amplitude du fondamental et l'image fournie en se basant sur la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental. Si, dans la comparaison des images, la part de concordance des positions des défauts n'atteint pas une valeur donnée arbitraire, l'unité de sortie 13 fournit le commentaire disant que les défauts ont été détectés de manière erronée à cause de l'effet exercé sur l'amplitude par les coefficients de réflexion de l'onde ultrasonore. Ce faisant, le dispositif de contrôle ultrasonore 10 permet d'atténuer l'effet exercé sur l'amplitude par la réflectance de l'onde ultrasonore, en se basant sur le rapport entre l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore et l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore et le rapport entre l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore et le carré de l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore.
- [0080] L'unité d'acquisition 11 peut également acquérir une onde ultrasonore qui balaie l'objet à contrôler 7 en le traversant. On va maintenant exposer le principe sur lequel se fonde la fourniture des informations de défauts de l'objet à contrôler 7.
- [0081] L'onde ultrasonore qui balaie l'objet à contrôler 7 traverse l'interface externe 7b entre la couche d'aluminium 71 et l'eau 6a, l'interface de liaison 7a de l'objet à contrôler 7 et entre le CFRP et l'eau 6a. En ce cas, l'amplitude du fondamental et l'amplitude du second harmonique transmises par l'objet à contrôler 7 s'écrivent selon les expressions (15) et (16) :

$$[0082] \quad A_1 = T_5 T_1 T_3 A_{1W} \quad (15)$$

$$[0083] \quad A_2 = T_5 T_1 T_3 \frac{C_{2W}}{8C_{1W}} A_{1W}^2 k^2 x + T_5 a \quad (16)$$

[0084]  $T_3$  désigne la transmittance de la couche d'aluminium 71 à la couche de CFRP 72,  $T_5$  la transmittance de la couche de CFRP 72 à l'eau 6a. Dans le cas où on acquiert une onde ultrasonore qui balaie l'objet à contrôler 7 en le traversant, la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental devient d'après les expressions (15) et (16) :

$$[0085] \quad \frac{A_2}{A_1^2} = \frac{1}{T_5 T_1 T_3} \frac{C_{2W}}{8C_{1W}} k^2 x + \frac{T_5 a}{T_5^2 T_1^2 T_3^2 A_{1W}^2} \quad (17)$$

[0086] Il apparaît, à l'instar de ce qu'on a vu pour l'expression (6), que dans cette expression (17), le rapport de l'amplitude du second harmonique de l'onde ultrasonore et du carré de l'amplitude du fondamental de l'onde ultrasonore indique que le terme  $A_{1W}$  affecté par l'effet de non-linéarité de l'eau 6a a pu être éliminé du premier terme du membre de droite. En conséquence, dans le cas où l'unité d'acquisition 11 acquiert une onde ultrasonore qui balaie l'objet à contrôler 7 en le traversant, le dispositif de contrôle ultrasonore 10 se montre là encore à même, comme dans le cas où elle acquiert une onde ultrasonore qui balaie l'objet à contrôler 7 en s'y réfléchissant, de fournir des défauts de l'objet à contrôler 7 avec une atténuation de l'effet de non-linéarité de l'eau 6a.

### Nomenclature

[0087] 100 : système de contrôle ultrasonore ; 1 : dispositif de commande ; 2 : générateur d'impulsions ; 3 : démultiplexeur ; 4 : unité d'entraînement ; 5 : sonde ultrasonore ; 6 : cuve d'eau ; 7 : objet à contrôler ; 8 : filtre haute fréquence ; 9 : récepteur d'impulsions ; 10 : dispositif de contrôle ultrasonore ; 11 : unité d'acquisition ; 12 : unité de calcul ; 13 : unité de sortie.

## Revendications

- [Revendication 1] Dispositif de contrôle ultrasonore, comprenant:  
 une unité d'acquisition configurée pour, en faisant balayer une onde ultrasonore via un milieu sur l'objet à contrôler, acquérir à chaque position du balayage un signal exprimant le fondamental et le second harmonique de l'onde ultrasonore obtenue ;  
 une unité de calcul configurée pour calculer à chaque position du balayage une valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental ; et  
 une unité de sortie configurée pour fournir des informations de défauts de l'objet à contrôler en se basant sur la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental.
- [Revendication 2] Dispositif de contrôle ultrasonore selon la revendication 1, dont l'unité de sortie fournit une image en tant qu'informations de défauts de l'objet à contrôler.
- [Revendication 3] Dispositif de contrôle ultrasonore selon la revendication 1, dans lequel l'unité de calcul calcule à chaque position du balayage une valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par l'amplitude du fondamental, et  
 l'unité de sortie sort les informations de défauts de l'objet à contrôler en se basant sur la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par l'amplitude du fondamental et la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental.
- [Revendication 4] Dispositif de contrôle ultrasonore selon la revendication 2, dans lequel l'unité de calcul calcule à chaque position du balayage une valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par l'amplitude du fondamental, et  
 l'unité de sortie sort les informations de défauts de l'objet à contrôler en se basant sur la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par l'amplitude du fondamental et la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental.
- [Revendication 5] Procédé de contrôle ultrasonore, comprenant  
 l'acquisition, en faisant balayer une onde ultrasonore via un milieu sur l'objet à contrôler, d'un signal exprimant le fondamental et le second harmonique de l'onde ultrasonore obtenue à chaque position du balayage,

le calcul à chaque position du balayage d'une valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental, et

la fourniture d'informations d'un défaut de l'objet à contrôler en se basant sur la valeur du quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental.

[Revendication 6]

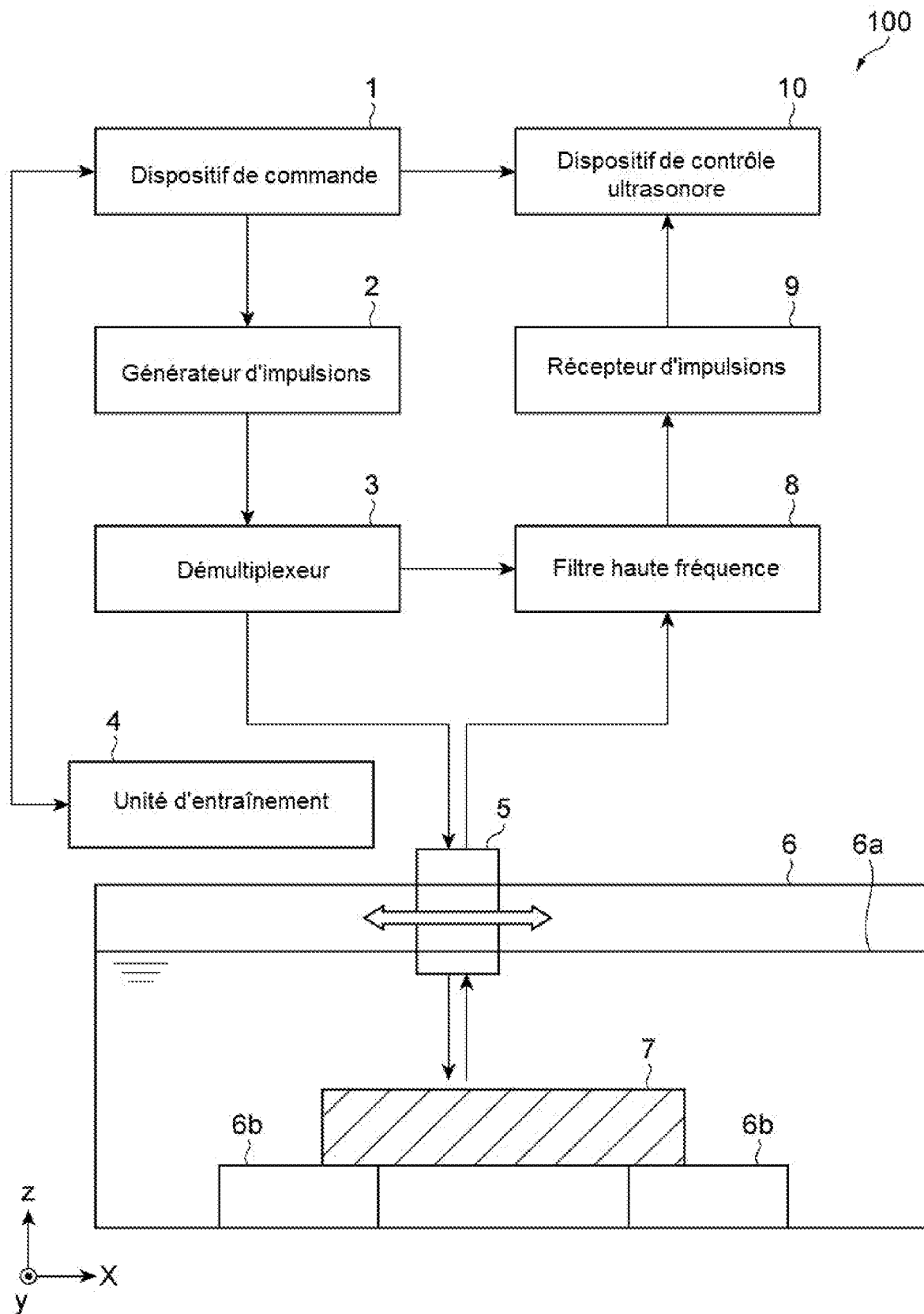
Dispositif de contrôle ultrasonore, comprenant

une unité d'acquisition configurée pour acquérir, en faisant balayer une onde ultrasonore via un milieu sur l'objet à contrôler, un signal exprimant le fondamental et le second harmonique de l'onde ultrasonore obtenue, à chaque position du balayage, et

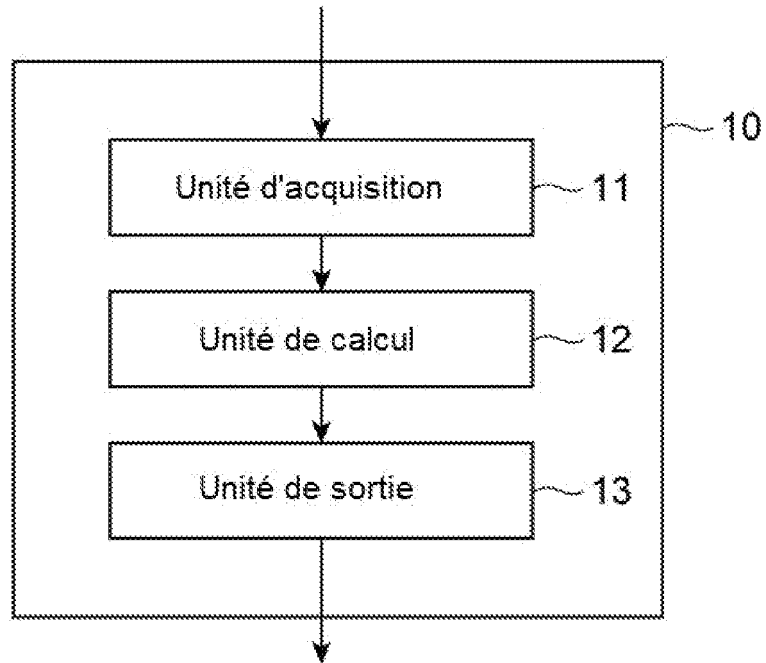
une unité de sortie configurée pour fournir une image relative à l'objet à contrôler,

dans lequel l'image possède des valeurs de pixel qui correspondent respectivement aux positions du balayage, et dont les valeurs de pixel sont les valeurs résultant de l'application d'une loi prédéterminée de conversion en valeur de pixel au quotient de l'amplitude du second harmonique par le carré de l'amplitude du fondamental associé à la position de balayage correspondante.

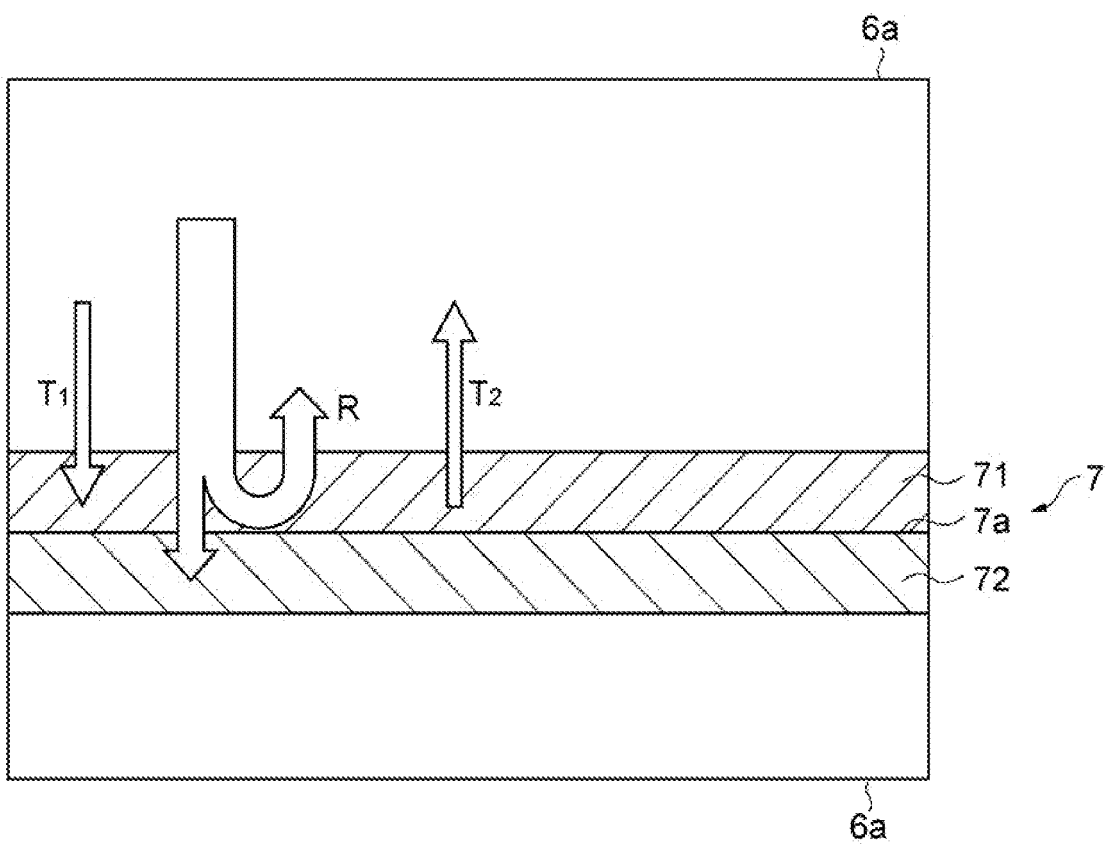
[Fig. 1]



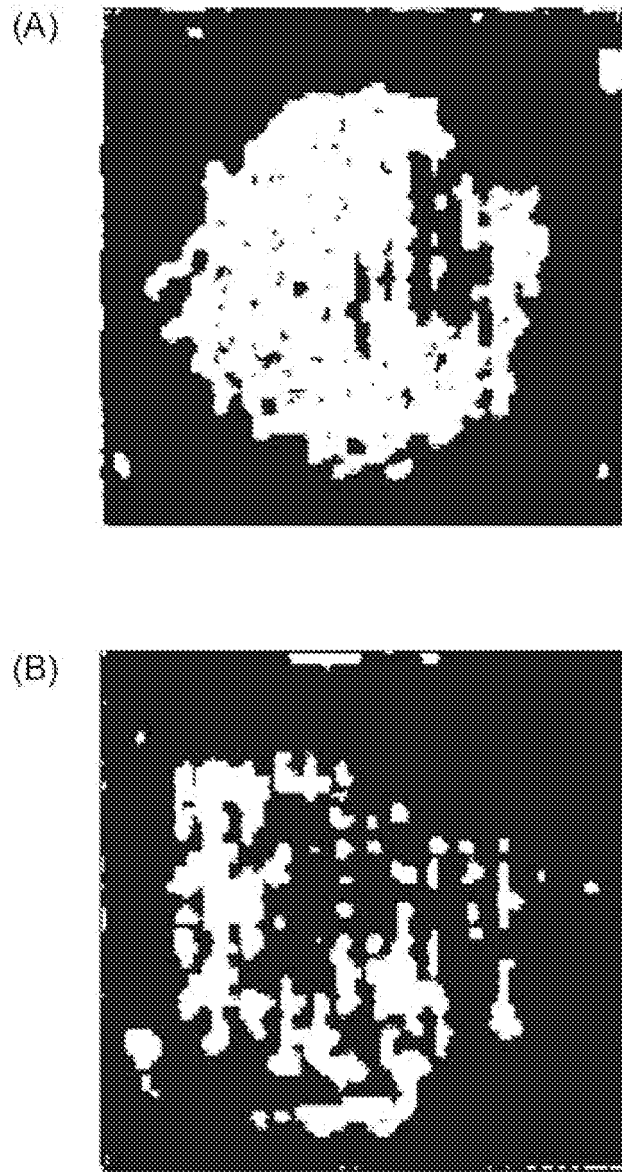
[Fig. 2]



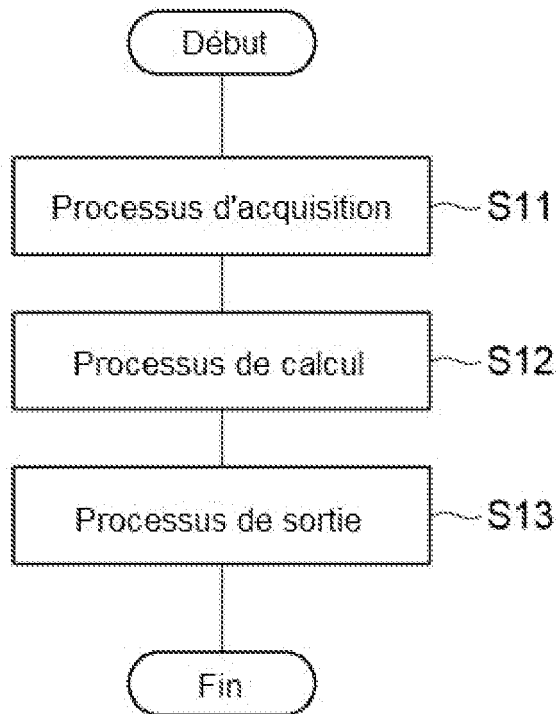
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]

