



CONFÉDÉRATION SUISSE
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

Int. Cl. 2: G 01 C 11/04
G 03 B 35/00
G 03 C 9/00

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

FASCICULE DU BREVET A5



617 266

21 Numéro de la demande: 15370/76

22 Date de dépôt: 07.12.1976

30 Priorité(s): 11.08.1976 JP U/51-107157
11.08.1976 JP 51-95802
11.08.1976 JP 51-95803

24 Brevet délivré le: 14.05.1980

45 Fascicule du brevet
publié le: 14.05.1980

73 Titulaire(s):
Tsutomu Kano, Kodaira-shi/Tokyo (JP)

72 Inventeur(s):
Tsutomu Kano, Kodaira-shi/Tokyo (JP)

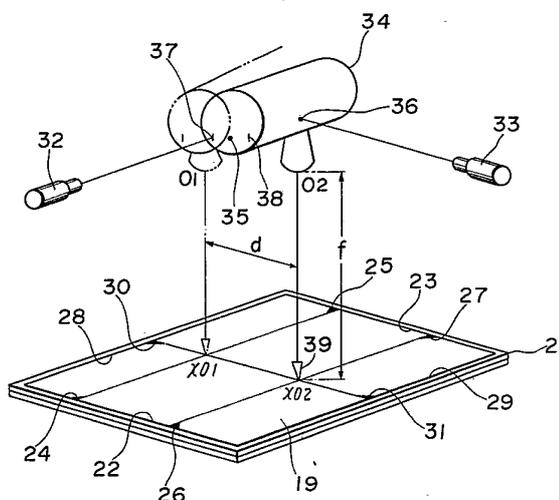
74 Mandataire:
Bovard & Cie., Bern

54 Procédé et appareil de détermination des composantes tridimensionnelles de la distance entre deux points par des mesures effectuées sur deux clichés.

57 Le procédé et l'appareil permettent d'obtenir une mesure facile et précise de la profondeur dans un sujet, à l'aide de son image tridimensionnelle, obtenue à partir de deux clichés photographiés stéréoscopiquement.

On utilise pour cela trois facteurs, à savoir le repère, sur les pellicules (19), du point central situé sur l'axe optique d'un tube à rayons X (34) ou d'un appareil photographique au moment de chaque prise de vue photographique, l'amplitude de l'écartement du premier point photographique (O_1) au second point photographique (O_2) et la distance (f) entre le tube à rayons X (34) ou la lentille et la pellicule (19).

L'appareil et le procédé s'utilisent pour la localisation de zones du cerveau pour des interventions chirurgicales.



REVENDEICATIONS

1. Procédé de détermination des composantes tridimensionnelles de la distance entre deux points d'un sujet tridimensionnel, et/ou de détermination de cette distance elle-même, par des mesures effectuées sur deux clichés photographiques ou radio-photographiques dudit sujet, qui forment ensemble une image stéréoscopique de celui-ci, en tenant compte de l'écartement des centres optiques respectifs des deux clichés et de la distance de focalisation ou d'éclairage de ceux-ci à la prise de vue, caractérisé en ce qu'on prépare l'image stéréoscopique avec les deux dits clichés (19, fig. 2, 3, 4; 41, 42, fig. 5, 6) en marquant leurs centres optiques respectifs (XO_1 , XO_2), on dispose les deux clichés (41, 42) dans un agencement (fig. 5, fig. 6) permettant leur vision commune en stéréoscopie, on fait glisser un premier repère (61) pour l'amener sur le centre optique du premier cliché (41), on fait glisser un second repère (63) pour l'amener sur le centre optique du second cliché (42) puis, depuis cette position de départ des repères (61, 63) on les amène, chacun respectivement sur le cliché dont le centre optique lui sert de point de départ, juste sur le point de ce cliché correspondant à un premier point déterminé (A) dans l'image stéréoscopique, on mesure les déplacements ainsi effectués par les repères dans les deux directions, respectivement parallèles et perpendiculaires à la direction d'écartement des centres optiques, d'une façon qui fournit trois valeurs paramétriques permettant le calcul des composantes tridimensionnelles de la position dudit point (A) dans un système de coordonnées tridimensionnelles prédéterminé, puis on fait glisser lesdits repères (61, 62) juste sur les points des deux clichés (41, 42) qui correspondent à un second point déterminé (B) dans l'image tridimensionnelle, et on mesure à nouveau les déplacements correspondants des deux repères dans les deux directions, d'une façon qui fournit trois nouvelles valeurs paramétriques permettant le calcul des composantes tridimensionnelles de la position dudit second point (B) dans le même système de coordonnées tridimensionnelles, les trois sommes algébriques, pour chacune des trois directions, des deux dites composantes dans cette direction-là, fournissant les trois composantes, selon les trois axes dudit système de coordonnées tridimensionnelles, de la distance dans l'espace entre les deux points considérés (A, B).

2. Appareil pour la mise en œuvre du procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens porte-clichés (40), destinés à recevoir deux clichés stéréoscopiques, dans la disposition côte à côte avec l'écartement de leurs centres optiques adéquat pour la reproduction d'une image stéréoscopique, une table (57) de déplacement selon l'axe Y, perpendiculaire à la direction d'écartement des centres optiques, cette table (57) de déplacement selon l'axe Y étant déplacée, par un premier moteur (64) dans un plan parallèle à celui des moyens porte-clichés, dans la direction perpendiculaire à la direction d'écartement des centres optiques, une table (58) de déplacement selon la direction X, parallèle à la direction d'écartement des centres optiques, qui est placée sur la table de déplacement selon l'axe Y (57) et qui est déplacée, par un second moteur (65), dans un plan parallèle à celui des moyens porte-clichés dans la direction perpendiculaire à celle du déplacement de la table (57) de déplacement selon l'axe Y, et une table (59), ayant fonction d'appréhension d'un paramètre relatif à l'axe Z, perpendiculaire au plan des moyens porte-clichés, dans l'image stéréoscopique, mais qui, placée sur la table (58) de déplacement selon l'axe X, est elle-même déplacée selon ce même axe X, dans la même direction que la table de déplacement selon l'axe X, par un troisième moteur (66), des moyens pour mesurer respectivement les quantités de mouvements des trois dites tables (57, 58, 59) un premier repère (61) qui est solidaire de la table (58) de déplacement selon l'axe X de façon à glisser sur la surface recevant le pre-

mier cliché (41), et un second repère (63) qui est solidaire de la table (59) d'appréhension d'un paramètre relatif à la dimension selon l'axe Z mais se déplaçant selon l'axe X, ce second repère (63) étant disposé sur cette table (59) de façon à glisser sur la surface destinée à recevoir le second cliché (42), l'agencement destiné à la reproduction de l'image stéréoscopique sur la base de deux clichés conjoints (41, 42) disposés sur les moyens porte-clichés (40) constituant un projecteur d'images stéréoscopiques muni de sources lumineuses (45, 46), qui projette de la lumière sur les deux dits clichés (41, 42) par l'intermédiaire de lentilles condensatrices (43, 44), ce projecteur comprenant de plus un agencement de miroirs et de lentilles (47-51, 53-56) par lequel des images du premier et du second clichés sont alignées et focalisées sur un écran (52).

3. Appareil selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend un agencement porte-film pour l'établissement par photographie stéréoscopique ou radiophotographie stéréoscopique de deux clichés conjoints pour la reproduction d'une image stéréoscopique, un cadre (21), une paire d'indicateurs (30-31) qui sont montés à glissement sur des parties mutuellement opposées de la périphérie du cadre, et deux paires d'indicateurs (24, 25; 26, 27) qui sont montés à glissement sur d'autres parties mutuellement opposées de la périphérie du cadre.

4. Appareil selon la revendication 2, caractérisé en ce que le projecteur d'images stéréoscopiques comprend des sources lumineuses (45, 46) qui projettent de la lumière respectivement sur un premier et un second clichés photographiques établis conjointement pour assurer la reconstitution d'une image stéréoscopique, un ensemble de miroirs et de lentilles (47, 48, 49, 54, 55) agencé de manière telle que l'axe optique du faisceau lumineux traversant le premier cliché coupe à angle droit l'axe optique du faisceau lumineux traversant le second cliché, un semi-miroir (51) étant placé à l'intersection de ces deux axes optiques de manière à former un angle de 45° avec chacun d'eux, et un écran (52) recevant, pour former les images superposées du premier et du second clichés, d'une part la lumière qui traverse le semi-miroir (51) et d'autre part la lumière qui est réfléchi par celui-ci.

L'invention concerne un procédé de détermination des composantes tridimensionnelles de la distance entre deux points d'un sujet tridimensionnel, et/ou de détermination de cette distance elle-même, par des mesures effectuées sur deux clichés photographiques ou radio-photographiques dudit sujet, qui forment ensemble une image stéréoscopique de celui-ci, en tenant compte de l'écartement des centres optiques respectifs des deux clichés et de la distance de focalisation ou d'éclairage de ceux-ci à la prise de vue. Elle concerne également un appareil pour la mise en œuvre de ce procédé.

Parmi les procédés permettant d'obtenir une image à effet tridimensionnel à partir de deux pellicules photographiées stéréoscopiquement, on connaît le procédé lenticulaire, le procédé de polarisation, le procédé des couleurs complémentaires, etc. par lesquels une observation stéréoscopique de l'image tridimensionnelle est rendue possible.

Dans un but de simplification, l'image à effet tridimensionnel sera dénommée ci-après «image tridimensionnelle». On remarque par ailleurs que le terme «cliché», s'il désigne typiquement une photographie sur pellicule, peut aussi s'étendre à une photographie sur support opaque.

Classiquement, les distances selon les trois axes de coordonnées (axes x, y et z) sont déterminées par calcul ou mesure, en utilisant une image tridimensionnelle qui est préparée par l'un des procédés cités ci-dessus. Cette détermination est effectuée par les méthodes suivantes: mesure et agrandissement de la

distance sur une pellicule ou un papier de tirage, mesure consistant à porter les coordonnées d'axes X et Y d'une image à échelle réduite sur un papier ayant une certaine section appropriée et à tracer le diagramme de l'image par rapport à des points connus et préalablement calculés, ou de la distance sur la base d'une image sur une pellicule optique. Dans tous ces procédés classiques, il est nécessaire de fixer les points connus du sujet sur une image photographique destinée à être utilisée et de mesurer à l'avance les distances desdits points dans les directions des axes x, y et z sur le sujet. Par conséquent, dans le cas de la mesure des positions internes de sujets tels qu'un cerveau ou un produit métallique venu de fonderie, c'est-à-dire de la position ou des distances parmi plusieurs points de l'espace tridimensionnel, il est impossible de mesurer une distance précise, du fait qu'une fixation préalable des points qui sont les points de référence pour la mesure et une mesure préalable des distances desdits points dans les directions des axes x, y et z sont impossibles.

Par contre, il est possible de préparer une image tridimensionnelle et de procéder à ces mesures dimensionnelles permettant une évaluation précise de la distance et de la position sur un sujet réel, en mesurant la distance et la position des points sur l'image tridimensionnelle en question; il faut donc une image tridimensionnelle nette et précise. Or, le projecteur classique permettant d'obtenir l'image tridimensionnelle, qui est construit comme il sera rappelé ci-après à l'aide d'une figure, n'est pas en mesure de fournir une image tridimensionnelle nette et précise.

La présente invention a pour but de fournir un procédé et un appareil pour la mesure facile et précise d'une position ou d'une distance dans un espace tridimensionnel, position ou distance qui ne pouvaient pas jusqu'ici être mesurée avec la facilité et la précision voulues des méthodes classiques sur la base d'images tridimensionnelles.

Conformément à l'invention, ce but est atteint par un procédé conforme à ce qu'énonce la revendication 1, de même que par un dispositif conforme à ce qu'énonce la revendication 2.

Les revendications ultérieures définissent des formes d'exécution particulièrement avantageuses notamment en ce qui concerne la netteté et la précision des mesures et la facilité des opérations de mesure.

Le dessin annexé illustre, comparativement à ce que connaissait l'art antérieur, une forme d'exécution de l'objet de l'invention, dans ce dessin:

la fig. 1 illustre la disposition du système optique d'un appareil classique fournissant une image tridimensionnelle,

la fig. 2 est une représentation schématique d'un appareil pour photographie stéréoscopique selon la conception proposée,

la fig. 3 est un diagramme linéaire destiné à expliquer des équations relatives à l'application du procédé de mesure proposé,

la fig. 4 est une vue en perspective d'un mode de réalisation préféré d'un porte-pellicule, faisant partie de l'appareil selon la conception en question,

la fig. 5 est un schéma illustrant le principe d'un mode de réalisation préféré de l'appareil proposé et,

la fig. 6 montre la disposition du système optique de l'appareil selon la fig. 5.

Comme il a été rappelé ci-dessus, le projecteur classique permettant d'obtenir l'image tridimensionnelle n'est pas en mesure de fournir une image nette et précise. Comme le montre la fig. 1, un tel projecteur nécessite un porte-film gauche 3 et un porte-film droit 4, sur lesquels sont placées une pellicule gauche 1 et une pellicule droite 2 photographiées

stéréoscopiquement; une lentille condensatrice gauche 5 et une lentille condensatrice droite 6, par exemple des lentilles de Fresnel, sont placées au-dessous des porte-films gauche et droit 3 et 4; et en outre une source lumineuse gauche 7 et une source lumineuse droite 8 sont prévues au-dessous des lentilles condensatrices 5 et 6. Une lentille gauche 9 et une lentille droite 10 sont placées aux points focaux des lentilles condensatrices 5 et 6 au-dessus des porte-films 3 et 4, et un premier miroir gauche 11 et un premier miroir droit 12, qui sont inclinés de 45° pour amener l'axe optique en direction horizontale, sont disposés l'un en face de l'autre au-dessus des lentilles 9 et 10. Un second miroir gauche 13 et un second miroir droit 14 sont montés à glissement dans des positions intermédiaires entre le premier miroir gauche 11 et le premier miroir droit 12 pour ramener les axes optiques vers le haut et un troisième miroir 16 est agencé de manière à diriger vers un écran 15 la lumière issue des seconds miroirs 13 et 14. Un filtre de polarisation gauche 17 et un filtre de polarisation droit 18, qui polarisent la lumière traversant des pellicules 1 et 2, sont disposés verticalement entre les premiers miroirs 11, 12 et les seconds miroirs 13, 14.

Dans l'appareil classique construit de cette manière, lorsque les images de la pellicule gauche 1 et de la pellicule droite 2 sont projetées sur l'écran 15, elles sont déviées l'une par rapport à l'autre comme le montre la fig. 1. Si l'on fait glisser les seconds miroirs 13 et 14 pour régler l'angle de sorte que les images se recouvrent complètement et que cette déviation soit éliminée, les images sont déformées vers les bords droits et gauche. Quand on observe une semblable image à travers des verres polarisants, on ne peut voir qu'une image tridimensionnelle affectée de distorsion et comportant une partie non focalisée, image qui ne peut pas être utilisée pour une mesure tridimensionnelle précise. En d'autres termes, cela provient du fait que les points mesurés, qui sont photographiés sur les pellicules droite et gauche, ne coïncident pas sur l'image tridimensionnelle ou sont projetés avec une certaine déviation par rapport aux positions originelles, car les rapports d'agrandissement et de réduction diffèrent dans chaque partie de l'image.

La description qui suit a trait au procédé de mesure selon la présente invention.

Sur la fig. 2, on cherche à mesurer la distance entre des points A et B d'un sujet 20 qui est placé au-dessus d'une pellicule 19. Lorsque le faisceau de rayons X est projeté sur le sujet 20 à partir d'un premier point photographique O₁ situé à la distance photographique f de la pellicule 19, l'image du point x₀₁ situé sur la perpendiculaire menée à partir du premier point photographique O₁, constitue le centre de l'axe de la lumière sans obliquité et les points A et B sont photographiés obliquement sous forme des points A₁ et B₁. Puis la pellicule 19 est remplacée par une autre, le tube à rayons X est déplacé parallèlement à la pellicule 19 d'une distance d à partir du premier point photographique O₁ vers le second point photographique O₂. Lorsque le faisceau de rayons X est projeté à partir de ce second point photographique O₂ sur le sujet, l'image du point x₀₂, situé sur la perpendiculaire menée à partir du second point photographique O₂, constitue le centre de l'axe optique sans obliquité et les points A et B sont photographiés obliquement sous forme des points A₂ et B₂. La photographie stéréoscopique du sujet 20 est effectuée par les opérations précitées et l'on obtient la pellicule O₁ qui est photographiée stéréoscopiquement à partir de la position du premier point photographique O₁ et la pellicule O₂ qui est photographiée stéréoscopiquement à partir de la position du second point photographique O₂.

Sur la fig. 3, les points A et B de la pellicule O₁ sont définis comme suit:

Point A: $\overline{x_{01} A_1} = \overline{x_{01} A_0} + \overline{A_0 A_1}$;

Point B: $\overline{x_{01} B_1} = \overline{x_{01} B_0} + \overline{B_0 B_1}$.

Dans ce cas, les points A_0 et B_0 indiquent les intersections des perpendiculaires qui sont menées à partir des points A et B sur la pellicule 19, mais ils ne sont pas photographiés.

Les points A et B sur la pellicule O_2 sont définis comme suit:

Point A: $\overline{x_{02} A_2} = \overline{x_{02} A_0} + \overline{A_0 A_2}$;

Point B: $\overline{x_{02} B_2} = \overline{x_{02} B_0} + \overline{B_0 B_2}$.

Lorsque le premier point photographique O_1 est superposé au second point photographique O_2 , $\overline{O_1 A_1}$ est égal à $\overline{O_2 a_1}$ et lorsque le point photographique se déplace de la distance d parallèlement au sujet, $\overline{O_1 B_1}$ est égal à $\overline{O_2 b_1}$. Les triangles $A A_2 A_1$ et $O_2 A_2 a_1$ étant semblables, il en résulte que $O_2 x_{02} : \overline{A_2 a_1} = \overline{A A_0} : \overline{A_2 A_1}$.

Dans cette équation, $\overline{O_2 x_{02}}$ est la distance photographique f, définie par $\overline{O_2 x_{02}} = f$.

Si $\overline{A_2 a_1} = P$ est donné, on obtient la relation suivante: $\overline{A_2 A_1} = \overline{A_2 a_1} - d = P - d$.

Si la hauteur du point A à partir de la pellicule 19 est

$\overline{A A_0} = x$, on a ce qui suit:

f : P = x : (P-d), d'où

$$x = \frac{f \cdot (P-d)}{P} .$$

A partir de la similitude des triangles B $B_2 B_1$ et $O_2 B_2 b_1$, on obtient:

$$\overline{O_2 x_{02}} : \overline{B_2 b_1} = \overline{B B_0} : \overline{B_2 B_1} .$$

Dans cette équation, $\overline{O_2 x_{02}}$ est la distance photographique f, définie par $\overline{O_2 x_{02}} = f$.

Si $\overline{B_2 b_1} = Q$ est donné,

$$\overline{B_2 B_1} = \overline{B_2 b_1} - d = Q - d .$$

Si la hauteur du point B à partir de la pellicule 19 est

$\overline{B B_0} = y$, on a:

f : Q = y : (Q-d), d'où

$$y = \frac{f(Q-d)}{Q} .$$

Sur la fig. 3, la distance (profondeur) Z entre les points

A et B dans la direction de l'axe z est donnée par l'expression suivante:

$$Z = \overline{A A_0} - \overline{B B_0} = \frac{f(P-d)}{P} - \frac{f(Q-d)}{Q}$$

$$= \frac{f \cdot d(P-Q)}{P \cdot Q} .$$

En conséquence, la distance (profondeur) de tout point sur la pellicule 19 dans la direction de l'axe z peut être évaluée en mesurant les valeurs P et Q et en introduisant les valeurs mesurées dans l'expression de relation donnée ci-dessus.

Puis on cherchera à obtenir la distance X ($\overline{A_0 B_0}$) entre les points A et B dans la direction de l'axe x. Le centre de l'axe optique est photographié juste au-dessous de la perpendiculaire menée à partir du tube à rayons X sans obliquité et les images d'autres points subissent des obliquités différentes, selon les profondeurs et les positions. Etant donné que les distances de tous les points dans la direction de l'axe z peuvent être mesurées avec précision selon ce qui a été décrit ci-dessus, la distance dans la direction de l'axe x peut être exprimée en fonction de la distance à partir du centre de l'axe optique et de la distance dans la direction de l'axe z.

Sur la fig. 3, les expressions suivantes sont données:

$$\overline{A A_0} = A_z = \frac{f(P-d)}{P} \quad (1)$$

$$\overline{B B_0} = B_z = \frac{f(Q-d)}{Q} \quad (2)$$

$$\overline{A_0 B_0} = \overline{A_0 x_{02}} - \overline{B_0 x_{02}} \quad (3)$$

Etant donné que les triangles $A A_0 A_2$ et $O_2 x_{02} A_2$ sont rectangles et ont en commun l'angle $\overline{O_2 A_2 x_{02}}$, ces triangles $A A_0 A_2$ et $O_2 x_{02} A_2$ sont semblables.

A partir de l'équation (3), on obtient $\overline{A_0 x_{02}} = \overline{A_2 x_{02}} - \overline{A_2 A_0}$ et, à partir de l'équation (4) : f : $A_z = P_{2x} : \overline{A_2 A_0}$

(où $P_{2x} = \overline{A_2 x_{02}}$). Cette égalité peut s'écrire:

$$\overline{A_2 A_0} = \frac{A_z \cdot P_{2x}}{f} .$$

$$\text{Par conséquent: } \overline{A_0 x_{02}} = P_{2x} - \frac{A_z \cdot P_{2x}}{f} .$$

De même, les triangles B $B_2 B_0$ et $O_2 B_2 x_{02}$ sont semblables. (5)

$$\overline{B_0 x_{02}} = \overline{B_2 x_{02}} - \overline{B_2 B_0} .$$

D'après l'équation (5), f : $B_z = Q_{2x} : \overline{B_2 B_0}$ (où $Q_{2x} = \overline{B_2 x_{02}}$) est obtenu.

$$\overline{B_2 B_0} = \frac{B_z \cdot Q_{2x}}{f}$$

$$\overline{B_0 x_{02}} = Q_{2x} - \frac{B_z \cdot Q_{2x}}{f}$$

Si ces équations sont introduites dans l'équation (3), on

$$\overline{A_0 B_0} = X = \left(P_{2x} - \frac{A_z \cdot P_{2x}}{f} \right) - \left(Q_{2x} - \frac{B_z \cdot Q_{2x}}{f} \right)$$

On cherche maintenant à obtenir la distance Y entre les points A et B dans la direction de l'axe y. Cette distance est obtenue par le même procédé que décrit ci-dessus à propos de la distance dans la direction de l'axe x, en supposant que la pellicule 19 a subi une rotation de 90° sur la fig. 3.

$$Y = \left(P_{2y} - \frac{A_z \cdot P_{2y}}{f} \right) - \left(Q_{2y} - \frac{B_z \cdot Q_{2y}}{f} \right)$$

avec: P_{2y} = distance de l'image du point A à partir du point x_{02} dans la direction de l'axe y;

Q_{2y} = distance de l'image du point B à partir du point x_{02} dans la direction de l'axe y.

On peut alors obtenir la distance linéaire L (valeur réelle) entre les points A et B. La valeur L est exprimée en fonction des valeurs Z, X et Y considérées précédemment et elle est donnée par l'expression suivante:

$$L = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

Comme on l'a vu, la distance entre les points A et B sur le sujet 20, dans les trois dimensions de l'espace, est mesurée à l'aide des fonctions de: a) la distance d entre le premier point photographique O_1 et le second point photographique O_2 ; b) la distance photographique f entre le tube à rayons X et la pellicule 19; et c) les distances entre les centres x_{01} et x_{02} des axes optiques et chaque image au point mesuré. Par conséquent, il est nécessaire d'avoir le centre de l'axe optique sur la pellicule photographiée 19. Voici une méthode pour obtenir le centre de l'axe optique.

Sur la base des pellicules photographiées, on peut calculer la position du centre de l'axe optique en considérant les positions relatives de trois facteurs, le tube à rayons X, le sujet et les pellicules, à partir de deux pellicules photographiées stéréoscopiquement si le sujet est disponible. Mais dans la généralité des cas, seules les pellicules sont disponibles et le sujet est indisponible. Par conséquent, la photographie est exécutée avec un porte-film 21, représenté sur la fig. 4, au moment de la photographie. Le porte-film 21 se compose de deux cadres articulés et deux indicateurs 24, 25 et 26, 27 sont prévus sur chacun des côtés opposés 22 et 23 du cadre supérieur de manière à pouvoir glisser le long de ces côtés, un indicateur semblable 30, 31 étant disposé sur chacun des deux autres côtés opposés 28 et 29 du cadre supérieur. Ces indicateurs 24, 25, 26, 27, 30 et 31 sont faits d'une matière telle que le plomb qui ne laisse pas passer les rayons X lorsqu'il s'agit de radiographie.

Avant la photographie, on doit procéder aux opérations suivantes. Dans la chambre de radiographie, les faisceaux sont émis dans un tube à rayons X 34 à partir de deux sources 32 et 33 disposées à la hauteur requise de sorte que les axes optiques se coupent à angle droit, et le tube à rayons X 34 est placé de telle manière que les faisceaux passent par deux repères de centre 35 et 36 prévus sur la surface périphérique externe et la face d'extrémité de l'enveloppe extérieure du tube à rayons X 34, indiquant le centre du tube à rayons X.

Tandis que l'un des faisceaux est maintenu aligné sur le repère de centre 36 sur la surface périphérique externe de l'enveloppe extérieure du tube à rayons X 34, on déplace parallèlement ce tube 34 d'une distance égale à d/2. Cette opération est effectuée en alignant l'un (37) de deux repères d'axe optique 37, 38, situés, à une distance d/2 de part et d'autre du repère de centre 35 inscrit sur la surface d'extrémité de l'enveloppe extérieure du tube à rayons X, sur l'autre faisceau. Dans cette position, c'est-à-dire au premier point photographique O_1 , un fil à plomb 39 est suspendu à partir du centre du tube à rayons X vers le porte-film 21. On fait glisser les indicateurs 24, 25, 30 et 31 et on les fixe de sorte que la ligne tracée entre les indicateurs 24 et 25 du porte-film 21 coupe la ligne tracée entre les indicateurs 30 et 31 au point repéré par le fil à plomb 39. Ce point d'intersection indique le centre x_{01} de l'un des axes optiques. Puis on déplace parallèlement le tube à rayons X 34 d'une distance d dans le sens inverse par rapport à l'opération précédente. La direction de ce mouvement est parallèle à la ligne tracée entre les indicateurs 30 et 31 et cette opération est effectuée en alignant l'un des faisceaux sur l'autre repère d'axe optique 38, tandis que l'autre faisceau est maintenu aligné sur le repère de centre 46 inscrit sur la surface périphérique externe de l'enveloppe extérieure du tube à rayons X 34. Dans cette position, c'est-à-dire au second point photographique O_2 , le fil à plomb 39 est suspendu au centre du tube à rayons X vers le porte-film 21. Les indicateurs 26 et 27 sont déplacés et fixés de sorte que la ligne tracée entre les indicateurs 26 et 27 du porte-film 21 coupe la ligne tracée entre les indicateurs 30 et 31 au point repéré par le fil à plomb 39. Ce point d'intersection indique le point central x_{02} de l'autre axe optique. Après avoir ainsi déterminé le premier et le second points photographiques O_1 et O_2 et les centres x_{01} et x_{02} des axes optiques, on place la pellicule 19 sur le porte-film 21 et on pose le sujet dessus. La pellicule O_1 est obtenue en projetant le faisceau de rayons X sur le sujet à partir du premier point photographique. Pour obtenir la pellicule O_2 , on remplace le film par un autre sans déplacer le sujet et on projette le faisceau de rayons X sur celui-ci à partir du second point photographique O_2 .

Les indicateurs sont photographiés avec le sujet sur les pellicules O_1 et O_2 et ils indiquent les centres des deux axes optiques selon ce qui a été décrit précédemment.

La description suivante a trait à l'appareil qui effectue la mesure par photographie stéréoscopique à l'aide de deux pellicules préparées de la manière indiquée ci-dessus. La fig. 5 montre le principe de l'appareil et la fig. 6 montre, plus exactement, la disposition de son système optique. Un porte-film 40 est construit de sorte que la pellicule O_1 (41) et la pellicule O_2 (42) soient fixées en position parallèle. Deux lentilles de Fresnel 43 et 44 sont prévues au-dessous du porte-film 40 et deux sources de lumière 45 et 46 sont disposées encore au-dessous des lentilles de Fresnel 43, 44. Les sources de lumière 45 et 46 comportent de préférence des lampes au xénon afin d'absorber la chaleur, mais cela n'est pas obligatoire. Un premier miroir gauche 47 est disposé avec une inclinaison de 45° au-dessus de la pellicule O_1 41 afin de dévier la lumière vers la direction horizontale. Une lentille gauche 48, qui reçoit la lumière provenant du premier miroir gauche 47, est placée au point focal de la lentille de Fresnel 43, agrandit l'image et dirige la lumière vers un second miroir gauche 49. Le second miroir gauche 49 est disposé parallèlement au premier miroir gauche 47 pour dévier la lumière à la verticale. Un filtre de polarisation gauche 50 est placé horizontalement au-dessus du second miroir gauche 49 et un semi-miroir 51 est disposé avec une inclinaison de 45° au-dessus du filtre de polarisation gauche 50. Un troisième miroir 53 est prévu avec une inclinaison de 45° au-dessus du semi-miroir 51 pour diriger la lumière vers un écran 52 disposé du côté frontal. Une lentille

droite 54 est disposée verticalement au point focal de la lentille de Fresnel au-dessus de la pellicule O₂ 42 et un premier miroir droit 55 est incliné de 45° au-dessus de la lentille droite 54 pour dévier la lumière à l'horizontale et l'envoyer sur le semi-miroir 51. Un filtre de polarisation droit 56 est disposé verticalement dans une position intermédiaire entre le premier miroir droit 55 et le semi-miroir 51. Le filtre de polarisation gauche 50 et le filtre de polarisation droit 56 sont montés de manière à former entre eux un angle de 90°. Une table 57 d'axe y, qui peut glisser vers l'avant et vers l'arrière, est située dans un plan parallèle au porte-film 40 et une table 58 d'axe x, qui se déplace perpendiculairement au mouvement de la table 57 d'axe y, est placée au-dessus de celle-ci. En outre, une table 59 d'axe z, qui se déplace dans la même direction que la table 58 d'axe x, est située au-dessus de celle-ci.

Un repère gauche 61 est fixé au bout d'un bras 60 qui est solidaire de la table 58 d'axe x, de manière à glisser sur la pellicule O₁. Un repère droit 63 est fixé au bout d'un bras 62 qui est solidaire de la table 59 d'axe z, de manière à glisser sur la pellicule O₂ 42. Par conséquent, le repère gauche 61 et le repère droit 63 ne sont indépendants l'un de l'autre que quand la table 59 d'axe z est manœuvrée et que quand la distance qui les sépare est augmentée ou diminuée. Dans les autres circonstances, le repère de gauche 61 est manœuvré avec le repère de droite 63. Les tables 57, 58 et 59 précitées sont mues par des vis d'avance (non représentées) mises en rotation par un moteur (non représenté), mais cela ne signifie pas que leurs mouvements soient limités. Les vis d'avance sont équipées de codeurs rotatifs 64, 65 et 66 et les quantités de mouvement des tables 57, 58 et 59 peuvent être connues par comptage du nombre des impulsions produites par les codeurs rotatifs 64, 65 et 66. Les codeurs rotatifs 64, 65 et 66 sont raccordés à une unité 68 de traitement des données qui est connectée à un dispositif d'affichage numérique 67 qui indique les valeurs mesurées sur les pellicules 41 et 42, tandis que l'unité de traitement 68 est reliée à une microcalculatrice 69 qui est capable d'effectuer les calculs sur la base des données d'entrée et d'en indiquer numériquement les résultats. La microcalculatrice 69 effectue les calculs sur la base des équations données ci-dessus et elle affiche les valeurs Z, X, Y et L (valeurs réelles).

La description qui suit a trait au mode opératoire de l'appareil selon la présente invention (voir fig. 6). La pellicule O₁ 41 et la pellicule O₂ 42 sont disposées parallèlement aux endroits requis sur le porte-film 40. Lorsque la source lumineuse gauche 45 émet de la lumière, celle-ci traverse la lentille de Fresnel gauche 43 et la pellicule gauche 41, subit une déviation de son axe dans la direction horizontale en se réfléchissant sur le premier miroir gauche 47 et est condensée sur la lentille gauche 48. La lumière qui est condensée sur la lentille gauche 48 et traverse celle-ci est réfléchiée par le second miroir gauche 49 qui dévie son axe à la verticale et une phase spéciale de la lumière est éliminée par le filtre de polarisation gauche 50. Puis cette lumière traverse le semi-miroir 51 de la face arrière à la face avant de celui-ci, avec une légère réfraction. D'autre part, lorsque la source lumineuse droite 46 émet de la lumière, celle-ci traverse la lentille de Fresnel droite 44 et la pellicule droite 42 pour être condensée sur la lentille droite 54. La lumière qui est condensée sur la lentille droite 54, et traverse celle-ci, est réfléchiée par le premier miroir droit 55 qui dévie son axe à l'horizontale et elle atteint le filtre de polarisation droit 56 où la lumière de phase spéciale est éliminée. Puis la lumière atteint le semi-miroir 51 et est réfléchiée sur lui. A ce moment, son axe optique est aligné avec celui de la lumière qui provient de la face arrière du semi-miroir 51 après avoir traversé la pellicule gauche 41, et la lumière atteint le troisième miroir 53 en même temps que celle qui provient de la face arrière du semi-miroir 51, et elle est réfléchiée par le troisième miroir 53. En conséquence, les images de la pellicule gauche

41 et de la pellicule droite 42 sont entièrement superposées, agrandies et projetées sur l'écran 52. Lorsque ces images superposées sont observées à travers une paire de verres polarisants dont l'angle de rotation diffère de 90° du côté gauche et du côté droit, l'œil gauche peut voir l'image de la pellicule gauche 41 et l'œil droit celle de la pellicule droite 42, de sorte qu'il est possible d'obtenir une image tridimensionnelle nette et précise.

Tout en observant l'image tridimensionnelle, on déplace la table 57 d'axe y et la table 58 d'axe x et on aligne le repère gauche 61 sur le centre x₀₁ de l'axe optique de la pellicule 41. Puis on déplace la table 59 d'axe z et on aligne le repère droit 63 sur le centre x₀₂ de l'axe optique de la pellicule O₂ 42. Ainsi, les repères 61 et 63 sont placés aux centres x₀₁ et x₀₂ des axes optiques et les appareils d'affichage 67, 69 sont remis en l'état initial pour ramener à zéro les valeurs des trois axes. Puis on déplace les tables 57, 58 et 59 pour aligner les repères 61 et 63 sur le premier point de mesure A dans l'image tridimensionnelle, tout en observant celle-ci. Dans ces conditions, le repère gauche 61 est aligné sur le point A₁ (fig. 3) sur la pellicule O₁ 41 et le repère droit 63 sur le point A₂ (fig. 3) sur la pellicule O₂ 42, et la quantité de mouvement dans les directions des trois axes est calculée et affichée. Sur la fig. 3, $\overline{x_{01} A_1}$ ($\equiv \overline{x_{02} a_1}$) et $\overline{x_{02} A_2}$ sont mesurés et on obtient:

$$\overline{A_2 a} = P = \overline{x_{02} A_2} + \overline{x_{02} a_1}.$$

Lorsque la distance d ($= \overline{x_{01} x_{02}}$) entre le premier point photographique O₁ et le second point photographique O₂ et la distance f entre le tube à rayons X et les pellicules ont été introduites dans la microcalculatrice 69, celle-ci calcule les valeurs suivantes:

$$\overline{A_0 A_0} = \overline{A_z} = \frac{f(P-d)}{p}$$

$$\overline{A_0 x_{01}} = P_{1x} - \frac{A_z \cdot P_{1x}}{f}$$

$$\overline{A_0 y_{01}} = P_{1y} - \frac{A_z \cdot P_{1y}}{f},$$

où $\overline{A_0 y_{01}}$ est la distance entre le centre x₀₁ de l'axe optique et le point A₀ dans la direction de l'axe y; en outre, la valeur suivante

$$L = \sqrt{A_z^2 + \overline{A_0 x_{01}}^2 + \overline{A_0 y_{01}}^2}$$

est calculée et affichée numériquement sur la microcalculatrice 69.

Puis les valeurs mesurées et les valeurs calculées sont enregistrées dans la mémoire de la microcalculatrice 69 et l'opération d'étalonnage pour déterminer ce premier point de mesure A en tant que point de référence est effectuée. Par cette opération, les dispositifs d'affichage de la microcalculatrice 69 sont remis à 0 (zéro) et, par conséquent, ils indiquent toujours 0 quand les repères gauche et droit 61 et 63 sont alignés sur le premier point de mesure A.

Après que les repères 61 et 63 ont été amenés au second point de mesure B, $\overline{x_{01} B_1}$ ($= \overline{x_{02} b_1}$) et $\overline{x_{02} B_2}$ sont mesurés et on obtient la valeur suivante:

$$\overline{B_2 b_1} = Q = \overline{x_{02} B_2} + \overline{x_{02} b_1} \text{ (voir fig. 3)}$$

Les valeurs suivantes sont calculées dans la microcalculatrice 69

$$\overline{B_0 B_0} = B_z = \frac{f(Q-d)}{Q}$$

$$\overline{B_0 x_{01}} = Q_{1x} - \frac{B_z \cdot Q_{1x}}{f}$$

$$\overline{B_0 y_{01}} = Q_{1y} - \frac{B_z \cdot Q_{1y}}{f}$$

où $B_0 y_{01}$ est la distance du centre x_{01} de l'axe optique au point B_0 dans la direction de l'axe y.

$$L = \sqrt{B_z^2 + \overline{B_0 x_{01}}^2 + \overline{B_0 y_{01}}^2}$$

et les valeurs suivantes sont calculées sur la base du premier point de mesure A servant de point de référence et visualisées sur les dispositifs d'affichage de la microcalculatrice 69.

$$Z = A_z - B_z$$

$$\overline{A_0 B_0} = X = (P_{1xp} - \frac{A_z \cdot P_{1x}}{f}) - (Q_{1x} - \frac{B_z \cdot Q_{1x}}{f})$$

$$Y = (P_{1y} - \frac{A_z \cdot P_{1y}}{f}) - (Q_{1y} - \frac{B_z \cdot Q_{1y}}{f})$$

$$L = \sqrt{Z^2 + X^2 + Y^2}$$

Ces valeurs peuvent être enregistrées dans la mémoire de la microcalculatrice 69. Lorsque les repères 61 et 63 ont été amenés au troisième point de mesure C, les distances X, Y et Z dans les trois directions des axes à partir du premier point de mesure A et la distance linéaire (valeur réelle) L peuvent être calculées. Lorsque l'opération d'étalonnage a été effectuée en un point de mesure arbitraire, le point de référence se situe en ce point de mesure, puis les distances à partir de ce point sont mesurées.

Comme on l'a indiqué, la mesure tridimensionnelle par le procédé et le dispositif selon la présente invention est effectuée en alignant les repères gauche et droit 61 et 63 sur les centres x_{01} et x_{02} des axes optiques avant de les aligner sur l'image tridimensionnelle projetée sur l'écran 52 et en déplaçant les tables 57, 58 et 59 pour amener les repères 61 et 63 au premier point de mesure A après avoir remis à zéro les dispositifs d'affichage numérique. La distance de mouvement dans chaque direction axiale est affichée numériquement pour les axes x, y et z. Lorsque les repères 61 et 63 sont amenés au second point de mesure B après que la distance de mouvement a été enregistrée dans la mémoire et que l'opération d'étalonnage a été effectuée, la distance de mouvement entre les centres x_{01} et x_{02} des axes optiques et le second point de mesure B peut être mesurée. En introduisant les résultats de la mesure dans les équations de calcul, on peut mesurer la distance réelle entre un point de mesure arbitraire A (O, O, O) et le point de mesure B (x, y, z).

Il a été question ci-dessus de la mesure à l'aide de deux pellicules radiographiques qui sont photographiées stéréoscopiquement. Cette mesure peut être effectuée de manière semblable avec un appareil photographique ordinaire. En d'autres termes, le premier point photographique O_1 et le second point photographique O_2 sont les centres des objectifs de gauche et de droite pour l'appareil photographique ordinaire. Les distances entre les centres des objectifs enregistrés sur les pellicules et les images aux points arbitraires sur les pellicules sont mesurées de la même manière ou par les mêmes moyens que précédemment, par enregistrement des centres des objectifs sur les pellicules gauche et droite, et la position ou les distances effectives entre plusieurs points de l'espace tridimensionnel peuvent être obtenues à l'aide de la distance entre les centres des objectifs et la distance entre les objectifs et les pellicules lors de la photographie.

D'après ce qui a été exposé ci-dessus, la présente invention permet de mesurer la distance effective entre des points arbitraires de l'espace tridimensionnel, avec les images tridimensionnelles préparées à partir de deux photographies stéréoscopiques, en calculant les données de la photographie, c'est-à-dire la distance d entre le premier point photographique O_1 et le second point photographique O_2 , la distance f du tube à rayons X à la pellicule et les distances à partir des centres x_{01} et x_{02} des axes optiques aux points arbitraires sur les pellicules, distances qui sont mesurées en observant les images tridimensionnelles. En d'autres termes, dans le cas de la présente invention, il n'y a pas besoin de mesurer à l'avance la distance entre les points spécifiés qui est fixée au préalable. En conséquence, le procédé de mesure selon la présente invention est extrêmement précieux pour le diagnostic d'une partie atteinte du corps humain. La forme et la position de la partie atteinte peuvent être mesurées avec précision avant une intervention chirurgicale qui peut donc être effectuée avec précision et efficacité. En outre, la guérison de la partie atteinte après l'intervention peut être vérifiée et diagnostiquée facilement et la présente invention apporte une contribution importante dans le domaine de la médecine. Dans les applications industrielles, ce procédé et ce dispositif seront avantageux pour la détection de défauts internes de produits venus de fonderie, pour le contrôle de qualité sans destruction des produits, du fait que la forme et la position de défauts peuvent être reconstruites de l'extérieur, pour l'inspection de pièces dans les installations sans arrêter le fonctionnement ni détruire ces pièces, pour la prévention d'accidents et de dérangements, avec des économies importantes sur les frais de main-d'œuvre et de matériels nécessaires pour l'inspection.

Dans l'appareil réalisé selon la présente invention, le repère gauche 61 est fixé par le bras 60 à la table 58 d'axe x disposée sur la table 57 d'axe y et le repère droit 63 est fixé par le bras 62 à la table 59 d'axe z qui est disposée sur la table 58 d'axe x et se déplace dans la même direction que celle-ci; la mesure de parallaxe dans la direction de l'axe x peut donc être effectuée facilement. Etant donné qu'il suffit de prévoir des vis d'avance et des moteurs sur les tables 57, 58 et 59 et de fixer des codeurs rotatifs aux vis d'avance pour provoquer le mouvement et mesurer la quantité de mouvement, la construction peut être simple et le calcul des valeurs effectives peut être facilité.

Fig.1

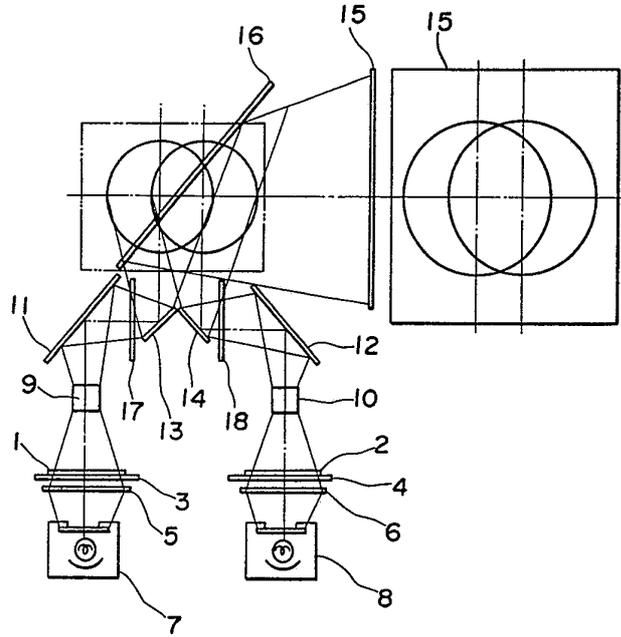


Fig. 2

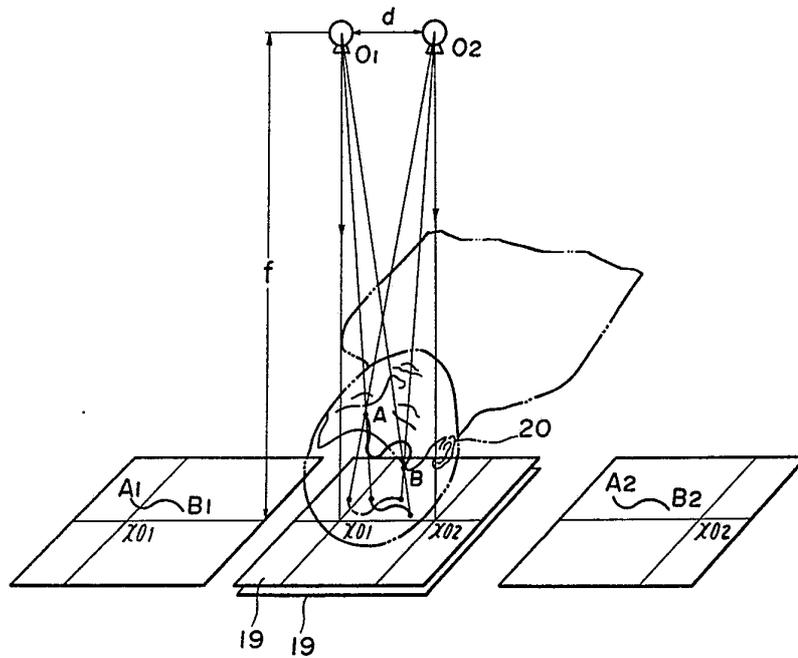


Fig. 3

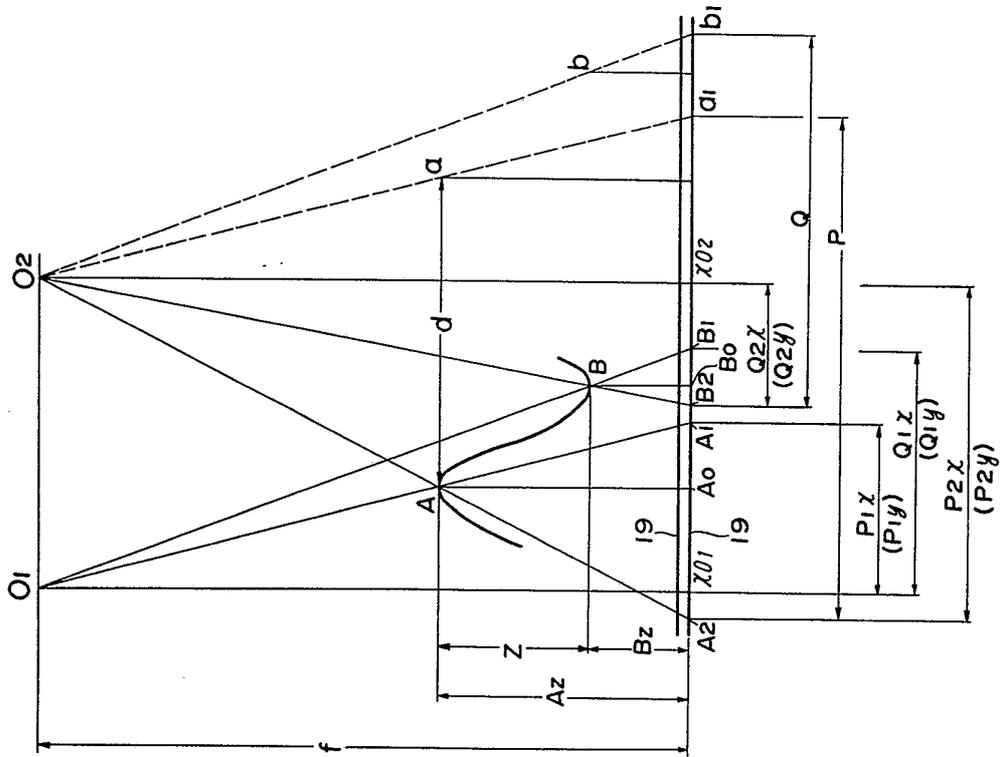


Fig. 4

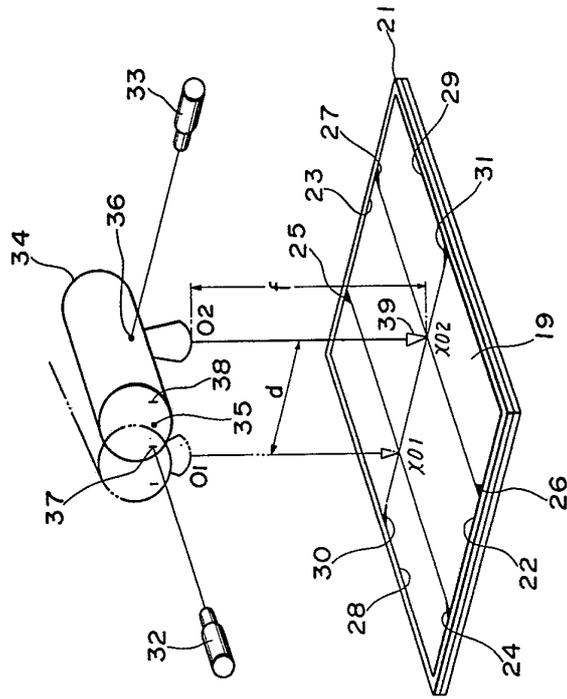


Fig. 6

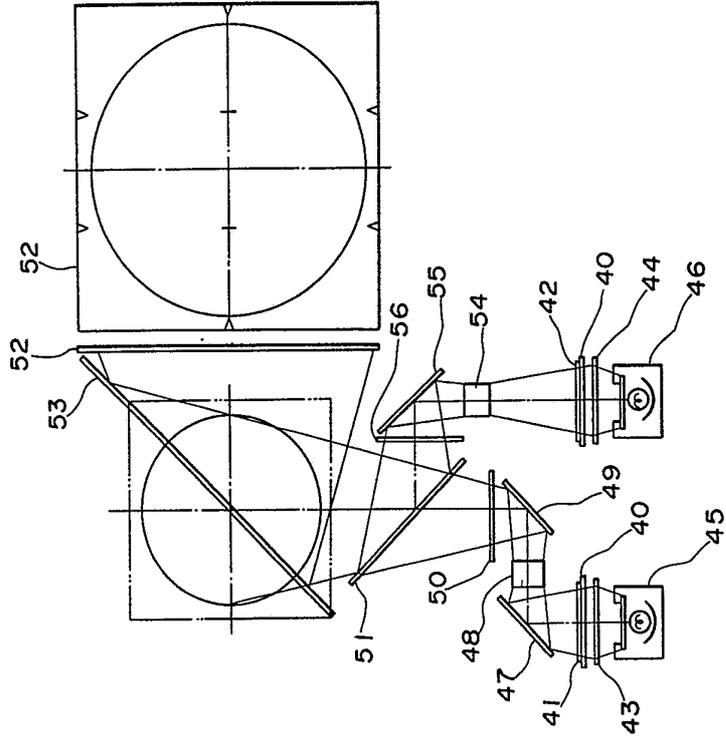


Fig. 5

