

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年2月4日(04.02.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/017489 A1

- (51) 国際特許分類:
G01B 11/25 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/070782
- (22) 国際出願日: 2015年7月22日(22.07.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-155876 2014年7月31日(31.07.2014) JP
- (71) 出願人: アルプス電気株式会社(ALPS ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1458501 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 青木 孝文(AOKI, Takafumi); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 遊佐 秀作(YUSA, Shusaku); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 伊藤 康一(ITO, Koichi); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1 国立大学法人東北大学

内 Miyagi (JP). 酒井 修二(SAKAI, Shuji); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 関口 尚大(SEKIGUCHI, Naohiro); 〒9830047 宮城県仙台市宮城野区銀杏町3-1-24 東杜シーテック株式会社内 Miyagi (JP). 鈴木 智浩(SUZUKI, Tomohiro); 〒9830047 宮城県仙台市宮城野区銀杏町3-1-24 東杜シーテック株式会社内 Miyagi (JP). 後藤 拓喜(GOTO, Hiraki); 〒9830047 宮城県仙台市宮城野区銀杏町3-1-24 東杜シーテック株式会社内 Miyagi (JP). 岩本 正美(IWAMOTO, Masami); 〒9806019 宮城県仙台市青葉区中央4-6-1 匠ソリューションズ株式会社内 Miyagi (JP). 安藤 弘一(ANDO, Koichi); 〒9806019 宮城県仙台市青葉区中央4-6-1 匠ソリューションズ株式会社内 Miyagi (JP).

- (74) 代理人: 野▲崎▼ 照夫(NOZAKI, Teruo); 〒1700013 東京都豊島区東池袋1-21-11 オーク池袋ビルディング3F Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: THREE-DIMENSIONAL MEASUREMENT APPARATUS

(54) 発明の名称: 三次元測定装置

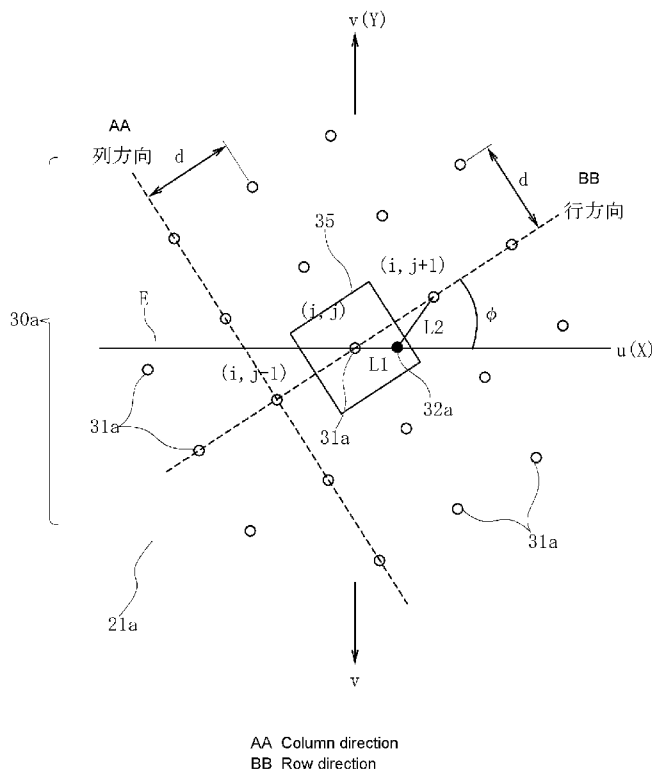


図5 (57) Abstract: [Problem] To provide a three-dimensional measurement apparatus for forming reference spots in a standard plane, and while viewing the state of motion of the reference spots in an image acquired by an image pickup member, measuring the presence of an object to be measured. [Solution] A standard pattern (30a) of standard reference spot images (31a) lining up in a regular square lattice arrangement is formed in a standard plane (21a) by coherent light. When an object to be measured appears in the standard plane (21a) and a reference spot is formed on the surface thereof, the standard reference spot image (31a) travels over an epipolar line (E), becoming a traveling reference spot image (32a) in the image (21a). The image pickup parameters are set such that the travel distance (L1) of travel of the standard reference spot image (31a) to the traveling reference spot image (32a) between the first frame and the subsequent second frame of which images (21a) are acquired is shorter than the distance (L2) between the traveling reference spot image (32a) and another standard reference spot image (31a).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/017489 A1



(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,

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

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

〔課題〕基準面に参照スポットを形成し撮像部材で取得した画像の参照スポットの移動状態を見て被測定物の存在を測定する三次元測定装置を提供する。〔解決手段〕コヒーレント光により基準面 (21a) に基準参照スポット像 (31a) が正方格子状に規則的に並んだ基準パターン (30a) が成形される。基準面 (21a) に測定対象物が現れその表面に参照スポットが形成されると、画像 (21a) においては、基準参照スポット像 (31a) がエビポーラ線 (E) 上を移動して移動参照スポット像 (32a) となる。画像 (21a) を取得する第1フレームからその次の第2フレームにかけて基準参照スポット像 (31a) が移動参照スポット像 (32a) に移動するまでの移動距離 (L1) が、移動参照スポット像 (32a) と他の基準参照スポット像 (31a) との距離 (L2) よりも短くなるように撮像条件を設定する。

明 細 書

発明の名称 : 三次元測定装置

技術分野

[0001] 本発明は、基準面に複数の参照スポットを生成し、この参照スポットを撮像手段で取得することで、基準面の手前に現れる被測定物体を検知する三次元測定装置に関する。

背景技術

[0002] 特許文献 1 に、コヒーレント光源を使用して被測定物体を検知する三次元測定装置に関する発明が記載されている。

[0003] 特許文献 1 に記載された三次元測定装置は、コヒーレント光源から生成されたランダムスペックルパターンが照明領域に照射され、照明領域からの光応答が画像化ユニットで検知される。被測定物体が照明領域に移動したときに得られるパターン画像と、被測定物体が存在していないときのランダムスペックルパターンの参照画像とでスペックルパターンのずれを検出し、三次元測量法を利用して、被測定物体の三次元マップを構築する、というものである。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特許第 5 0 0 1 2 8 6 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献 1 に記載された三次元測定装置は、スペックルパターンがランダムに形成され、被測定物体が存在してスペックルパターンがずれたときは、参照画像で設定されていたランダムパターンの特徴の相対ずれを検出するものとなっている。

[0006] この方法は、ランダムに配置された多数のスペックルパターンの相対位置関係を予め把握し、それぞれのスペックルパターンがどのように位置ずれし

たかを相関アルゴリズムを使用して演算することが必要である。そのため、演算量が多くなり、CPUの負担が増大し、応答速度を速くするのに限界がある。

[0007] 本発明は上記従来の課題を解決するものであり、被測定物体を精度良く検知でき、しかも演算量が比較的少なくCPUなどの負担を軽減できる三次元測定装置を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明は、コヒーレント光を基準面に照射して複数の参照スポットを形成する光照射部材と、参照スポット像を取得する撮像部材と、判別部とが設けられており、

前記基準面では、複数の参照スポットが基準パターン上で規則的に配列し、被測定物体が前記光照射部と前記基準面との間に位置したときに、前記基準パターン上に位置していた参照スポットが、被測定物体の表面に移動し、

前記判別部では、前記画像上で参照スポット像が移動したら、移動後の参照スポット像が、基準パターン上に位置していた複数の参照スポット像のうちの最も距離が短いものから移動したと判定し、これにより被測定物体の存在が判別されることを特徴とするものである。

[0009] 本発明の三次元測定装置は、規則的に配列する複数の参照スポットを使用し、画像上でいずれかの参照スポット像の位置に変化が生じたときに、基準パターンにおいて最も近くに存在していた参照スポット像が移動元であると判定する。この判定では、少ない演算量で被測定物体を検知することができる。

[0010] 本発明の三次元測定装置は、参照スポットが被測定物の表面に移動する際に、前記画像の連続する2つのフレームの間で参照スポット像が移動する距離は、移動後の参照スポット像と基準パターン上の他の参照スポット像との距離よりも短くなるように、撮像条件が決められているものである。

[0011] 例えば、前記撮像条件は、前記撮像部材の焦点距離（ f ）、前記光照射部材と前記撮像部材との基線長（ B ）、フレームレート（ ν ）、基準パターン

での参照スポット像の最短ピッチ（ d ）、ならびに前記基準面から垂直な方向での被測定物体の寸法または移動量、に基づいて決められる。

[0012] 例えば、後に説明する数 10 を使用することで、被測定物の形状と寸法の少なくとも一方を求めることができ、後に説明する数 11 を使用することで、被測定物の移動量を求めることができる。

[0013] 本発明の三次元測定装置では、それぞれの参照スポットは、前記光照射部材から延びる照射線上に位置し、前記撮像部材による撮像方向が、それぞれの前記照射線と所定角を有して対向しており、前記基準パターンに位置していた参照スポットが被測定物体の表面に移動したときに、画像上に現れる参照スポット像が、前記照射線に対応するエピポーラ線上を移動するものとして構成できる。

[0014] この場合に、前記基準パターンでは、複数の参照スポットが、互いに直交する行方向と列方向の双方に一定のピッチで配列しており、前記エピポーラ線は前記行方向と前記列方向の双方に対して所定の角度を成すように、基準パターンでの参照スポットの配列方向が決められていることが好ましい。

[0015] 上記のように、エピポーラ線を行方向と列方向に対して所定の角度を成す向きに設定すると、エピポーラ線に沿う方向で隣り合う参照スポット像のピッチを長く確保でき、参照スポット像の移動量が比較的長くても、基準パターンのどの位置から移動してきたかを判別しやすくなる。

発明の効果

[0016] 本発明は、基準パターンにおいて参照スポットが規則的な配列となるように配置されており、被測定対象物が存在して画像上で参照スポット像が移動したときに、移動後の参照スポットが基準パターンにおいて最短距離の位置に存在していた参照スポット像から移動したものと判断する。これにより、比較的負担の少ない演算処理で、被測定物体を高精度に検知することができる。

[0017] 本発明は、画像上で、複数の参照スポット像のどれが移動したかを把握することで、被測定物体の形状と寸法を判別できる。また、画像上で、複数の

参照スポット像のどれが移動したかを把握することで、被測定物体の移動を判別できる。

図面の簡単な説明

- [0018] [図1]本発明の実施の形態の三次元測定装置を示す斜視図、
[図2]図1に示す三次元測定装置を上方から見た平面図、
[図3]画像上での参照スポット像の移動を示す説明図、
[図4]基準面に形成される参照スポットの配列を示す説明図、
[図5]撮像部材の画面に表示された参照スポット像の配列と移動を示す説明図、
[図6] (A) (B) は、参照スポット像とエピポーラ線の向きとの関係を比較する説明図、

発明を実施するための形態

- [0019] 図1と図2に示す三次元測定装置1は、基準面2と、この基準面2に対向する光照射部材10ならびに撮像部材20を有している。
- [0020] 図1と図2に示す基準面2は平面であるが、基準面2は凹凸を有するものであってもよい。
- [0021] 図1と図2には、基準座標としてX-Y-Z座標が示されている。X-Y面は基準面2と平行な面であり、X-Z面は基準面1と垂直な平面である。
- [0022] 光照射部材10は、コヒーレント光源であるレーザ光源11と、レーザ光源から発せられる発散光束14aを平行光束14bに変換するコリメートレンズ12と、コリメートレンズ12で変換された平行光束14bが通過する透過型のホログラム素子13とを有している。レーザ光源11は、人が目視できない近赤外線領域のレーザ光を発する。あるいは、可視光のレーザ光を発するものであってもよい。
- [0023] ホログラム素子13は位相型の回折格子であり、平行光束14bが回折されて、所定の発散角度を有する照射光束14cが形成され、照射光束14cが基準面2に与えられる。照射光束14cが基準面2に照射されると、基準面2に複数の基準参照スポット31が投影される。複数の基準参照スポット

31は、前記レーザ光がホログラム素子13で回折されて形成されるものであり、図4に示す例では、基準面2に小丸形状の基準参照スポット31が形成されている。基準参照スポット31の形状は小丸に限られるものではなく、任意の形状を選択できる。

[0024] 図4に示すように、平面である基準面2に形成されている基準参照スポット31が、規則的な投影パターンに従って配列されて、基準パターン30が形成される。ここでの「規則的」とは、いずれか1つの基準参照スポット31に着目したときに、その基準参照スポット31とそれぞれの方角で隣接する基準参照スポット31との方角ならびに距離の相対関係が、他の全ての基準参照スポット31において同じである関係を意味している。

[0025] 図4に示す基準パターン30では、基準参照スポット31が行方向と列方向へ一定のピッチで並ぶ正方格子状に配列している。行方向と列方向は、X-Y方向に対して傾いた状態で基準参照スポット31が照射されている。

[0026] 図2には、光照射部材10から基準面2に向けて照射される照射光束14cの照射基準線Oaが示されている。照射基準線Oaは、レーザ光源11とコリメートレンズ12ならびにホログラム素子13の光軸に一致している。照射基準線OaはX-Z平面と平行な面内に位置しており、図2の平面図に示すように、照射基準線Oaは基準面2からの垂直線Hに対して90度未満の角度 θ を有して配置されている。

[0027] ホログラム素子13から基準面2に延びる照射光束14cの内部には、それぞれの基準参照スポット31に個別に対応する照射線15が含まれている。ホログラム素子13の回折現象で生成された複数の基準参照スポット31は、それぞれの照射線15と基準面2との交点に生成される。照射光束14cは発散光であるため、厳密には個々の照射線15が拡散角を有しているが、光照射部材10と基準面2との距離を十分に長く確保することで、図2に示すように、照射線15を互いにはほぼ平行な配置関係として表すことができる。

[0028] 図1では、光照射部材10と基準面2との間に被測定物体5が入り込んだ

状態が示されている。図 1 では被測定物体 5 が人の手である。被測定物体 5 が入り込むと、その表面に参照スポットが投影される。本明細書では、被測定物体 5 の表面に投影された参照スポットを移動参照スポット 3 2 と呼んでいる。図 2 に示すように、移動参照スポット 3 2 は、個々の照射線 1 5 と被測定物体 5 の表面との交点に生成される。

[0029] 図 1 と図 2 に示すように、撮像部材 2 0 はビデオカメラ 2 1 を有している。図 2 には、ビデオカメラ 2 1 の撮像基準線 O b が示されている。撮像基準線 O b はビデオカメラ 2 1 の撮像視野の中心線であり、カメラレンズの光軸に一致している。撮像基準線 O b は、X-Z 面と平行な面内に位置し、この面内において、撮像基準線 O b は垂直線 H と平行に配置されている。その結果、照射基準線 O a と撮像基準線 O b とが、X-Z 面と平行な面内で、角度 θ を有して対向している。図 2 に示す実施の形態では角度 θ は鋭角である。なお、前記角度 θ を有していれば、照射基準線 O a が垂直線 H と平行であってもよいし、照射基準線 O a と撮像基準線 O b の双方が垂直線 H と非平行であってもよい。また角度 θ は鋭角に限られるものではない。

[0030] 図 3 には、ビデオカメラ 2 1 で撮像された画像 2 1 a が示されている。画像 2 1 a には基準参照スポット像 3 1 a と移動参照スポット像 3 2 a が映し出されている。ここでの基準参照スポット像 3 1 a と移動参照スポット像 3 2 a は、基準参照スポット 3 1 の反射光を取得した像と、移動参照スポット 3 2 の反射光を取得した像を意味している。

[0031] 照射基準線 O a と撮像基準線 O b とが所定の角度 θ (θ は鋭角に限られない) で対向している結果、画像 2 1 a においては、移動参照スポット像 3 2 a が基準参照スポット像 3 1 a から延びるエピポーラ線 E 上に位置する。エピポーラ線 E は、画像 2 1 a において、基準参照スポット像 3 1 a とその基準参照スポット像 3 1 a が移動した移動参照スポット像 3 2 a とを結ぶ仮想の直線である。

[0032] 図 2 に示すように、撮像部材 2 0 では、ビデオカメラ 2 1 で取得された画像が、フレーム (コマ) 毎にフレームメモリ 2 2 に蓄積される。フレームメ

メモリ 22 には複数のフレーム分の画像が蓄積され、新たなフレームの画像が入力されると、最も古いフレームの画像が廃棄される。

[0033] フレームメモリ 22 に蓄積された画像 21 a はフレーム毎に画像分析部 23 に送られて画像が分析され、分析結果が判別部 24 に送られる。

[0034] 次に、前記三次元測定装置 1 の測定動作について説明する。

三次元測定装置 1 では、基準面 2 に基準参照スポット 31 が投影されている状態で、ビデオカメラ 21 で画像が取得される。その画像は、1 フレーム毎にフレームメモリ 22 に蓄積され、画像分析部 23 では、前後のフレームの画像を比較してどの参照スポットが移動したかが分析される。

[0035] 図 5 は、フレーム毎に取得される画像 21 a を説明するものであるが、この図には、互いに直交する横軸 u と縦軸 v が付加されている。横軸 u は、図 4 に示す基準面 2 における X 軸に対応し、縦軸 v は基準面 2 における Y 軸に対応している。画像 21 a において参照スポットが移動するエピポーラ線 E は、照射基準線 Oa と撮像基準線 Ob との対向状態により決まるもので、必ずしも横軸 u や縦軸 v と平行になるものではないが、図 2 と図 5 に示す実施の形態では、説明の都合上、参照スポットが移動するエピポーラ線 E が、横軸 u (X 軸) と平行となるように設定されている。

[0036] 図 5 には、図 4 に示す基準参照スポット 31 の反射像である基準参照スポット像 31 a が白抜きの小丸で示されている。基準パターン 30 の照射領域に被測定物体 5 が存在していないときに取得される第 1 フレームの画像 21 a では、複数の基準参照スポット像 31 a が、正方格子状に規則的に配列した基準パターン像 30 a を構成している。

[0037] 第 1 フレームに続く第 2 フレームの画像 21 a が取得されたときに、被測定物体 5 が存在してその表面に移動参照スポット 32 が照射されていると、画像 21 a に移動参照スポット像 32 a が現れる。この移動参照スポット 32 a は元の基準参照スポット像 31 a 上を通るエピポーラ線 E 上に位置する。図 5 では、第 2 フレームの画像 21 a に現れた移動参照スポット像 32 a が黒で塗られた小丸で示されている。

- [0038] また、既に基準パターン30の照射領域に存在している人の手などの被測定物体5が、前記照射領域内で動いたときは、移動参照スポット像32aが、その移動参照スポット像32aの元の位置を通過するエピポーラ線E上を移動する。
- [0039] 図5に示すように、この三次元測定装置1では、第1フレームの画像21aで規則的に配置された基準参照スポット31aが動いておらず、次の第2フレームの画像21aに移動参照スポット像32aが現れたときに、第1フレームの基準参照スポット像31aと第2のフレームの測定対象となる移動参照スポット像32aとの間のエピポーラ線E上での移動距離 L_1 が、第1フレームで既に取得されていた複数の基準参照スポット像31aのうちの移動元でない基準参照スポット像31aと測定対象である移動参照スポット像32aとの最短距離 L_2 よりも短くなるように（ $L_1 < L_2$ となるように）撮像条件が決められている。
- [0040] また、照射領域内に既に存在する被測定物体5が照射領域内で移動するときも、フレーム間で移動した測定対象となる移動参照スポット像32aのエピポーラ線E上での移動距離 L_1 が、先のフレームの複数の移動参照スポット像32aのうちの移動元でない他の移動参照スポット像32aと測定対象となる移動参照スポット像32aとの最短距離 L_2 よりも短くなるように（ $L_1 < L_2$ となるように）撮像条件が決められている。
- [0041] 前記条件（ $L_1 < L_2$ ）は、撮像部材20の焦点距離（ f ）、光照射部材10と撮像部材10との基線長（ B ）、フレームレート（ ν ）、基準参照スポット31の最短ピッチ（ d ）、ならびに基準面2から垂直な方向での被測定物体5の寸法または移動量に依存する。ここで、被測定物体5は通常は人の手であり、その大きさと移動速度、ならびに基準面2に対するZ方向の操作位置を予め予測できる。そのため、撮像部材20の焦点距離（ f ）、光照射部材10と撮像部材20との基線長（ B ）、フレームレート（ ν ）、基準参照スポット31の最短ピッチ（ d ）を調整することで、前記条件（ $L_1 < L_2$ ）を満たすことが可能である。

- [0042] 前記条件 ($L_1 < L_2$) が満たされていると、基準面 2 の手前に被測定物体 5 が存在して移動参照スポット像 3 2 a が現れたときに、その直前のフレームで得られた画像 2 1 a の複数の基準参照スポット像 3 1 a のうち、移動参照スポット像 3 2 a から最も近い位置にある基準参照スポット像 3 1 a を、その移動参照スポット像 3 2 a の移動元であると特定することができる。
- [0043] 同様に、既に基準面 2 の手前に位置する被測定物体 5 が移動し、移動参照スポット像 3 2 a が移動したときにも、その直前のフレームで得られた画像 2 1 a の複数の移動参照スポット像 3 2 a のうち、対象となる移動参照スポット像 3 2 a から最も近い位置にある移動参照スポット像 3 2 a を、その移動参照スポット像 3 2 a の移動元であると特定することができる。
- [0044] 画像 2 1 a 上で規則的に配列する基準参照スポット像 3 1 a と移動参照スポット像 3 2 a には、それぞれが区別できるように予め識別記号が付されている。この識別符号は座標点を表す番号などである。移動参照スポット像 3 2 a は、移動すると座標点が変わるため、識別符号が変化し、対応する移動参照スポット像 3 2 a の識別符号がフレーム間で相違してしまう。ただし、判別部 2 4 では、移動後の移動参照スポット像 3 2 a から最も近い距離に存在していた基準参照スポット像 3 1 a または移動参照スポット像 3 2 a の識別記号が、移動した参照スポット像 3 2 a ののものであると特定することが可能になる。
- [0045] 多数の基準参照スポット像 3 1 a または移動参照スポット像 3 2 a のうちの移動した参照スポットを特定することで、被測定物体 5 の形状や、被測定物体 5 がどの方向へ移動しているかなどを、判別部 2 4 で判別できるようになる。
- [0046] この特定方法は、ランダムに配列した参照スポットを使用した従来例に比べて演算処理を軽減できる。さらに、画像上でエピポーラ線 E を特定できなくても、移動元の基準参照スポット像 3 1 a を特定できるため、被測定物体 5 の位置や移動を測定する演算処理を容易に行うことができる。
- [0047] 図 5 に示す実施の形態では、照射線 1 5 に相当しているエピポーラ線 E が

u軸方向に延びているが、基準パターン像30aの行方向と列方向は、u軸とv軸と平行になっていない。すなわちエピポーラ線Eは、行方向ならびに列方向に角度を有して延びている。基準パターン像30aとエピポーラ線Eとの関係がこのように設定されていると、前記条件($L_1 < L_2$)を、さらに設定しやすくなる。

[0048] 図6(A)は、エピポーラ線Eと、基準パターン像30aの行方向とが一致している例を示し、図6(B)は、エピポーラ線Eが、行方向と列方向に対して45度の角度に延びている例を示している。図6(A)では、基準参照スポット像31aとその次のフレームで得られた移動参照スポット像32aとの距離が($d/2$)を超えないように前後のフレームの取得時間を設定しないと、移動参照スポット像32aがどの基準参照スポット像31aから移動したのかが解らなくなる。(d)は基準参照スポット像31aの配列ピッチである。

[0049] これに対し、図6(B)では、移動参照スポット像32aと基準参照スポット像31aとの距離が($d/2$)を超えたとしても、最短距離に有った基準参照スポット像31aを移動元であると特定することができる。

[0050] よって、エピポーラ線Eの方向を、行方向と列方向に対して45度 $\pm \beta$ (β は45度未満)の角度に設定しておくことで、フレームレートが低くても、移動参照スポット像32aの最短距離に有った基準参照スポット像31aを移動元である、と特定できるようになる。

[0051] 図5に示す例のように、移動参照スポット像32aが現れたときに、または移動参照スポット像32aが移動したときに、その移動参照スポット像32aが、移動元の基準参照スポット像31aを中心とした一辺の長さが(d)である四角形領域35の内部に位置するようにフレームレートやその他の撮像条件を設定すれば、移動参照スポット像32aから最短に位置していた基準参照スポット像31aを移動元であると特定することが可能である。

[0052] 次に、前記条件($L_1 < L_2$)を成立させるためのパラメータを説明する。

図5に示すように、基準パターン像30a上では基準参照スポット像31aが正方格子状に配列しており、行方向と列方向での基準参照スポット像31aのピッチがdである。

エピポーラ線Eの向きはu軸と平行であり、エピポーラ線Eと行方向の成す角度は ϕ である。 ϕ は、 $-(\pi/4) < \phi \leq (\pi/4)$ である。

[0053] 以下では、i行でj列に位置する基準参照スポット像31aを識別記号 $\alpha = (i, j)$ で表し、行方向においてその前後に位置する基準参照スポット像31aの識別記号をそれぞれ、 $\alpha_+ = (i, j+1)$ 、 $\alpha_- = (i, j-1)$ で表している。

[0054] 時刻 $t = t_{k-1}$ のフレームにおける $\alpha = (i, j)$ の基準参照スポット像31aの座標を以下の数1とすると、 $\alpha_+ = (i, j+1)$ と $\alpha_- = (i, j-1)$ の基準参照スポット像31aは、まとめて $\alpha_{\pm}$ として、以下の数2で表すことができる。

[0055] [数1]

$$m'_{\alpha}(t_{k-1}) = (u'_{\alpha}(t_{k-1}), v'_{\alpha}(t_{k-1}))$$

[0056] [数2]

$$\begin{aligned} m'_{\alpha_{\pm}}(t'_{k-1}) &= (u'_{\alpha_{\pm}}(t_{k-1}), v'_{\alpha_{\pm}}(t_{k-1})) \\ &= (u'_{\alpha}(t_{k-1}) \pm d \cos \phi, v'_{\alpha}(t_{k-1}) \pm d \sin \phi) \end{aligned}$$

[0057] 次のフレーム取得時刻 $t = t_k = t_{k-1} + \Delta t$ における $\alpha = (i, j)$ の基準参照スポット像31aの座標は、 $m'_{\alpha}(t_k) = (u'_{\alpha}(t_k), v'_{\alpha}(t_k))$ である。 $u'_{\alpha}(t_k)$ と $v'_{\alpha}(t_k)$ は、以下の数3で表される。

[0058] [数3]

$$\begin{aligned} u'_{\alpha}(t_k) &= u'_{\alpha}(t_{k-1}) + \Delta u'_{\alpha}(t_k) \\ &= u'_{\alpha}(t_{k-1}) + fB \frac{\Delta Z_{\alpha}(t_k)}{Z_{\alpha}(t_{k-1})Z_{\alpha}(t_k)} \\ v'_{\alpha}(t_k) &= v'_{\alpha}(t_{k-1}) \end{aligned}$$

[0059] 数3における $Z_{\alpha}(t_{k-1})$, $Z_{\alpha}(t_k)$ は、それぞれ、時刻 t_{k-1} ならびに t_k における $\alpha = (i, j)$ の基準参照スポット像31aの $u-v-Z$ の三次元座標上の Z 成分である。なお、 $u-v$ 座標は画像座標であり、 Z は世界座標(空間座標)の Z 成分である。すなわち $u-v$ と Z は別々の座標系である。 f はビデオカメラ21の焦点距離であり、 B は光照射部材10と撮像部材20との基線長である。また、 $\Delta Z_{\alpha}(t_k) = Z_{\alpha}(t_k) - Z_{\alpha}(t_{k-1})$ であり、 $\Delta u'_{\alpha}(t_k) = u'_{\alpha}(t_k) - u'_{\alpha}(t_{k-1})$ である。

[0060] 図5に示す距離 L_1 , L_2 は、以下の数4で定義でき、さらに数5に整理できる。

[0061] [数4]

$$L_1 = |m'_{\alpha}(t_k) - m'_{\alpha}(t_{k-1})|$$

$$L_2 = \min_{\beta=\{\alpha_+, \alpha_-\}} |m'_{\alpha}(t_k) - m'_{\beta}(t_{k-1})|$$

[0062] [数5]

$$L_1 = |\Delta u'_{\alpha}(t_k)|$$

$$L_2 = \sqrt{(|\Delta u'_{\alpha}(t_k)| - d \cos \phi)^2 + d^2 \sin^2 \phi}$$

[0063] ここで、 $L_1 < L_2$ となる条件を探すと、数5から、 $v'_{\alpha}(t_k)$ に対して以下の数6の条件が導かれる。

[0064] [数6]

$$|\Delta u'_{\alpha}(t_k)| < \frac{d}{2 \cos \phi}$$

[0065] また、図3を用いて $\Delta Z_{\alpha}(t_k)$ に対する条件式を求めると、 $2fB \cos \phi - Z_{\alpha}(t_{k-1})d > 0$ の場合には、以下の数7となる。

[0066] [数7]

$$-\frac{Z_{\alpha}(t_{k-1})^2 d}{2fB \cos \phi + Z_{\alpha}(t_{k-1})d} < \Delta Z_{\alpha}(t_k) < \frac{Z_{\alpha}(t_{k-1})^2 d}{2fB \cos \phi - Z_{\alpha}(t_{k-1})d}$$

[0067] $2fB\cos\phi - Z_{\alpha}(t_{k-1})d < 0$ のときは、視差が以下の数8を満たすため、 $\Delta Z_{\alpha}(t_k)$ の上限がなくなり、数9となる。

[0068] [数8]

$$D_{\alpha}(t_{k-1}) = \frac{fB}{Z_{\alpha}(t_{k-1})} < \frac{d}{2\cos\phi}$$

[0069] [数9]

$$-\frac{Z_{\alpha}(t_{k-1})^2 d}{2fB\cos\phi + Z_{\alpha}(t_{k-1})d} < \Delta Z_{\alpha}(t_k)$$

[0070] 被測定物体5が存在しているときのZ成分の範囲を $Z_{\min} \leq Z \leq Z_{\max}$ とすると、 $Z = Z_{\min}$ のときに数7は最も厳しい条件を与え、以下の数10となる。

[0071] [数10]

$$-\frac{Z_{\min}^2 d}{2fB\cos\phi + Z_{\min}d} < \Delta Z_{\alpha}(t_k) < \frac{Z_{\min}^2 d}{2fB\cos\phi - Z_{\min}d}$$

[0072] 以上から、焦点距離（f）、基線長（B）、基準パターン30aの配列ピッチ（d）と角度（ ϕ ）ならびに、基準参照スポット像31aのZ方向の移動最短距離（ $Z_{\min}$ ）を調整することで、条件（ $L_1 < L_2$ ）を実現できる。数10で、条件（ $L_1 < L_2$ ）を実現することで、どの基準参照スポット像31aが動いたかを知ることができ、その結果、被測定物5の寸法と形状とを把握することができる。

[0073] なお、被測定物5が既に基準パターン30の照射領域に有り、フレーム間で被測定物5が移動する場合には、 $\Delta Z_{\alpha}(t_k)$ の代わりに、被測定物体5のZ方向の移動速度である $\Delta V_{\alpha}(t_k) = \Delta Z_{\alpha}(t_k) / \Delta t$ を用いて数10を書き換えると、以下の数11となる。数11の ν はフレームレートであり、 $\Delta t = 1 / \nu$ である。

[0074]

[数11]

$$-\frac{Z_{\min}^2 \nu d}{2fB \cos \phi + Z_{\min} d} < \Delta V_{\alpha}(t_k) < \frac{Z_{\min}^2 \nu d}{2fB \cos \phi - Z_{\min} d}$$

[0075] 以上から、焦点距離（ f ）、基線長（ B ）フレームレート（ ν ）、基準パターン30aの配列ピッチ（ d ）と角度（ ϕ ）ならびに、基準参照スポット像31aのZ方向の移動最短距離（ $Z_{\min}$ ）を調整することで、条件（ $L_1 < L_2$ ）を実現可能な操作対象の動作速度を定義することができる。数11で、条件（ $L_1 < L_2$ ）を実現することで、被測定物5の移動量を把握できる。

[0076] 前記実施の形態では、基準参照スポット像31aと移動参照スポット像32aとの距離 L_1 を算出して、最も近い距離に存在していた基準参照スポット31aと移動参照スポット像32aとを関連付けている。しかし、本発明は、基準参照スポット像31aおよび移動参照スポット像32aの座標を比較することで距離を算出するのではなく、距離の算出手法を変えても良い。具体的には各スポット像の座標変換を行った後に比較を行っても良い。

[0077] 例えば、光照射部材10から照射されるスポット像を片方の画像とみなすことで、撮像部材20とのステレオ系として考えることができる。この場合には、光照射部材10から出射されるスポット像と撮像部材20内のスポット像の間の変換を表す射影変換行列を定義することができるため、射影変換を行ってスポット像を整列させた後に距離を算出することができる。

[0078] ここでの射影変換行列とは、ステレオ画像間の点の変換行列を意味している。レーザー・カメラ系も、レーザーの投光パターンを片方の画像とみなすことでステレオ系と考えることができるため、投光パターンとカメラ画像内のレーザー一点の間の変換を表す射影変換行列を定義することができる。

[0079] その際には、各フレームで用いる射影変換行列は、前フレームで求めた射影変換行列を、前後フレーム両方のスポット像に対して用いるものとする。

[0080] 前後フレームで共通の射影変換行列を用いる理由は、それぞれのフレーム

で求めた射影変換行列を用いてそれぞれのスポット像を変換したとすると、変換先の基準参照スポット像 3 1 a が同一であるため、両方のフレームのスポット像が重なることになる。射影変換行列を求める際に、基準参照スポット像 3 1 a と移動参照スポット像 3 2 a とが正しく対応付けされていれば問題ないが、対応付けができていない際には変換後のスポット像が行または列ごとずれて重なってしまう。この場合は、フレーム間のスポット像の対応付けは最も近い距離のものを対応付ける最近傍探索というよりも、基準参照スポット像 3 1 a の対応付けの問題になってしまう。

[0081] なお、射影変換は各スポット像を全て含む画像全体に対して一回行うか、または画像を分割し、その分割されたそれぞれの領域で射影変換行列を行い、結果を組み合わせる、のいずれかを選択すれば良い。

[0082] 射影変換を用いた演算プロセスは以下の通りである。

仮想画像上の α 番目の格子点座標を (u_{α}, v_{α}) 、カメラ画像上の対応する格子点座標を $(u'_{\alpha}, v'_{\alpha})$ 、カメラ画像座標を仮想画像に変換する射影変換行列を以下の数 1 2 とすると、変換式は数 1 3 で与えられる。数 1 3 での s はスカラーである。

[0083] [数12]

$$H = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & 1 \end{bmatrix}$$

[0084] [数13]

$$s \begin{bmatrix} u_{\alpha} \\ v_{\alpha} \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} u'_{\alpha} \\ v'_{\alpha} \\ 1 \end{bmatrix}$$

[0085] 射影変換行列 H の自由度は 8 であり、4 つ以上の仮想画像とカメラ画像上の格子点の組があれば、最小二乗法により H を求めることができる。

[0086]

[数14]

$$x_{\alpha} = \begin{bmatrix} u_{\alpha} \\ v_{\alpha} \end{bmatrix}$$

$$w_{\alpha} = \begin{bmatrix} u'_{\alpha} & v'_{\alpha} & 1 & 0 & 0 & 0 & u'_{\alpha}u_{\alpha} & v'_{\alpha}v_{\alpha} \\ 0 & 0 & 0 & u'_{\alpha} & v'_{\alpha} & 1 & u'_{\alpha}u_{\alpha} & v'_{\alpha}v_{\alpha} \end{bmatrix}$$

$$h = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 & h_4 & h_5 & h_6 & h_7 & h_8 \end{bmatrix}^T$$

数14でのTは配置を示す。

[0087] [数15]

$$X = \begin{bmatrix} x_1^T & x_2^T & \cdots & x_{\beta}^T \end{bmatrix}^T$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_{\beta} \end{bmatrix}$$

[0088] 数15のように定義すると、 $\beta \geq 4$ の場合に、hを数16のように求めることができる。ここで W^+ はWの疑似逆行列を表す。

[0089] [数16]

$$h = W^+ X$$

[0090] この射影変換行列を使用する手法は、被測定物が既にレーザーの照射範囲にあり、フレーム間で被測定物が移動する場合でも同様に計算できる。

符号の説明

[0091] 1 三次元測定装置

2 基準面

- 5 被測定物体
 - 1 0 光照射部材
 - 1 1 レーザ光源
 - 1 2 コリメートレンズ
 - 1 3 ホログラム素子
 - 1 5 照射線
 - 2 0 撮像部材
 - 2 1 ビデオカメラ
 - 3 0 基準パターン
 - 3 0 a 基準パターン像
 - 3 1 基準参照スポット
 - 3 1 a 基準参照スポット像
 - 3 2 移動参照スポット
 - 3 2 a 基準スポット像
- E エピポーラ線
 - O a 照射基準線
 - O b 撮像基準線

請求の範囲

[請求項1] コヒーレント光を基準面に照射して複数の参照スポットを形成する光照射部材と、参照スポット像を取得する撮像部材と、判別部とが設けられており、

前記基準面では、複数の参照スポットが基準パターン上で規則的に配列し、被測定物体が前記光照射部と前記基準面との間に位置したときに、前記基準パターン上に位置していた参照スポットが、被測定物体の表面に移動し、

前記判別部では、前記画像上で参照スポット像が移動したら、移動後の参照スポット像が、基準パターン上に位置していた複数の参照スポット像のうちの最も距離が短いものから移動したと判定し、これにより被測定物体の存在が判別されることを特徴とする三次元測定装置。

[請求項2] 参照スポットが被測定物の表面に移動する際に、前記画像の連続する2つのフレームの間で参照スポット像が移動する距離は、移動後の参照スポット像と基準パターン上の他の参照スポット像との距離よりも短くなるように、撮像条件が決められている請求項1記載の三次元測定装置。

[請求項3] 前記撮像条件は、前記撮像部材の焦点距離（ f ）、前記光照射部材と前記撮像部材との基線長（ B ）、フレームレート（ ν ）、基準パターンでの参照スポット像の最短ピッチ（ d ）、ならびに前記基準面から垂直な方向での被測定物体の寸法または移動量、に基づいて決められる請求項2記載の三次元測定装置。

[請求項4] 以下の数10を使用することで、被測定物の形状と寸法の少なくとも一方を求める請求項3記載の三次元測定装置。

[数10]

$$-\frac{Z_{\min}^2 d}{2fB\cos\phi + Z_{\min}d} < \Delta Z_{\alpha}(t_k) < \frac{Z_{\min}^2 d}{2fB\cos\phi - Z_{\min}d}$$

ただし、 ϕ は基準スポット像の配列方向とエピポーラ線との成す角度、 (Z_{min}) はスポット像のZ方向の移動最短距離、 $Z_{\alpha}(t_k)$ は時刻 t_k における基準スポット像のZ成分である。

[請求項5] 以下の数11を使用することで、被測定物の移動量を求める請求項3記載の三次元測定装置。

[数11]

$$-\frac{Z_{min}^2 \nu d}{2fB \cos \phi + Z_{min} d} < \Delta V_{\alpha}(t_k) < \frac{Z_{min}^2 \nu d}{2fB \cos \phi - Z_{min} d}$$

ただし、 ϕ は基準スポット像の配列方向とエピポーラ線との成す角度、 (Z_{min}) はスポット像のZ方向の移動最短距離、 $\Delta V_{\alpha}(t_k)$ は時刻 t_k における被測定物体のZ方向の移動速度である。

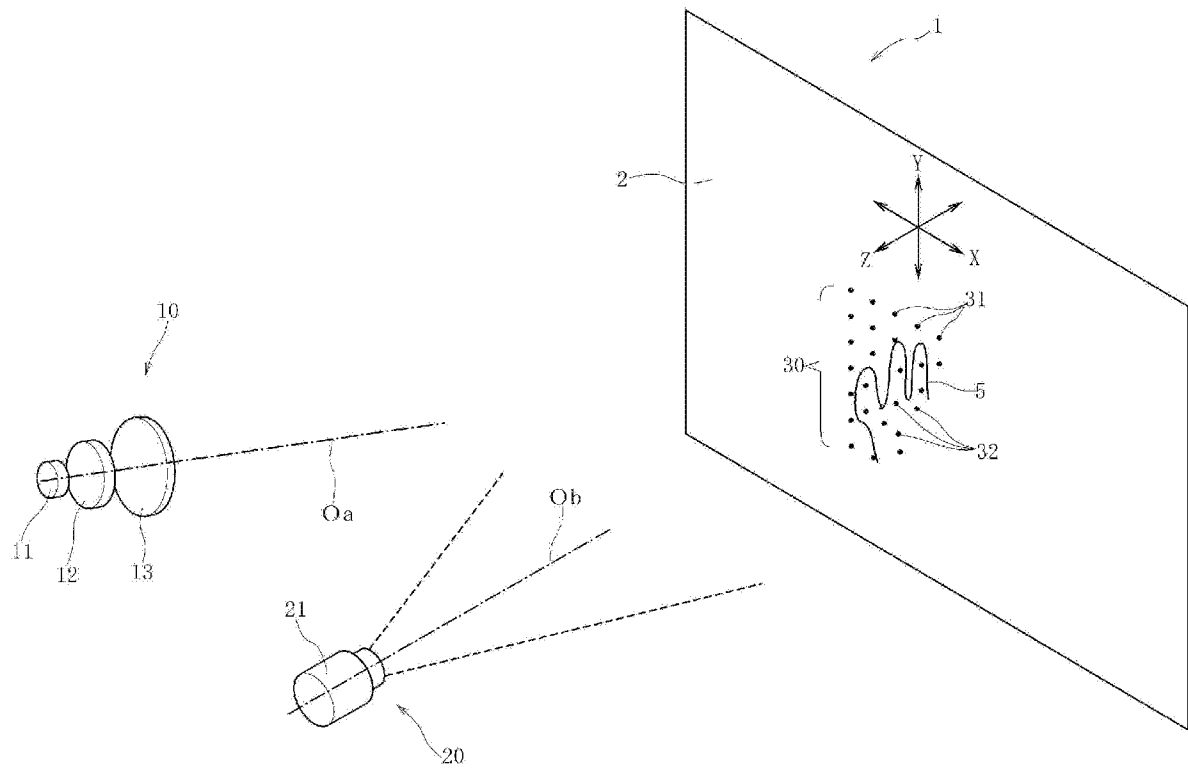
[請求項6] それぞれの参照スポットは、前記光照射部材から延びる照射線上に位置し、前記撮像部材による撮像方向が、それぞれの前記照射線と所定角を有して対向しており、

前記基準パターンに位置していた参照スポットが被測定物体の表面に移動したときに、画像上に現れる参照スポット像が、前記照射線に対応するエピポーラ線上を移動する請求項1ないし5のいずれかに記載の三次元測定装置。

[請求項7] 前記基準パターンでは、複数の参照スポットが、互いに直交する行方向と列方向の双方に一定のピッチで配列しており、前記エピポーラ線は前記行方向と前記列方向の双方に対して所定の角度を成すように、基準パターンでの参照スポットの配列方向が決められている請求項6記載の三次元測定装置。

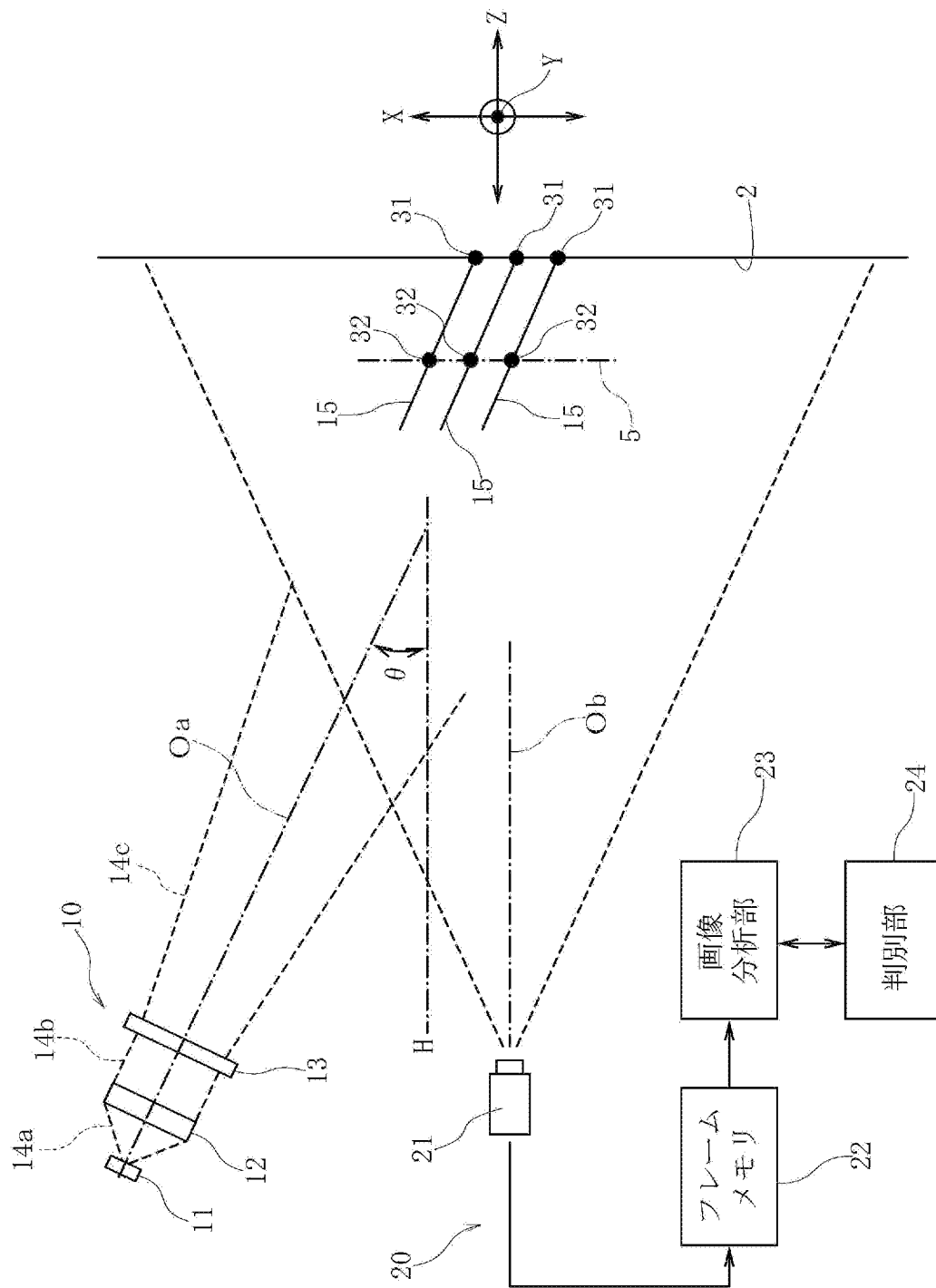
[図1]

図1



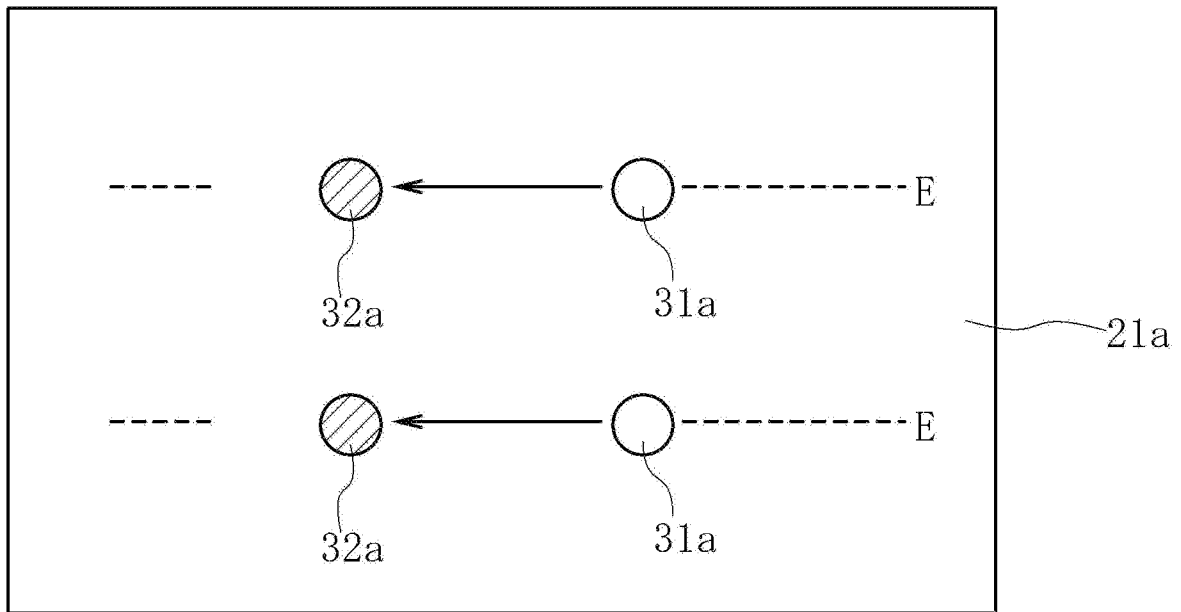
[図2]

図2



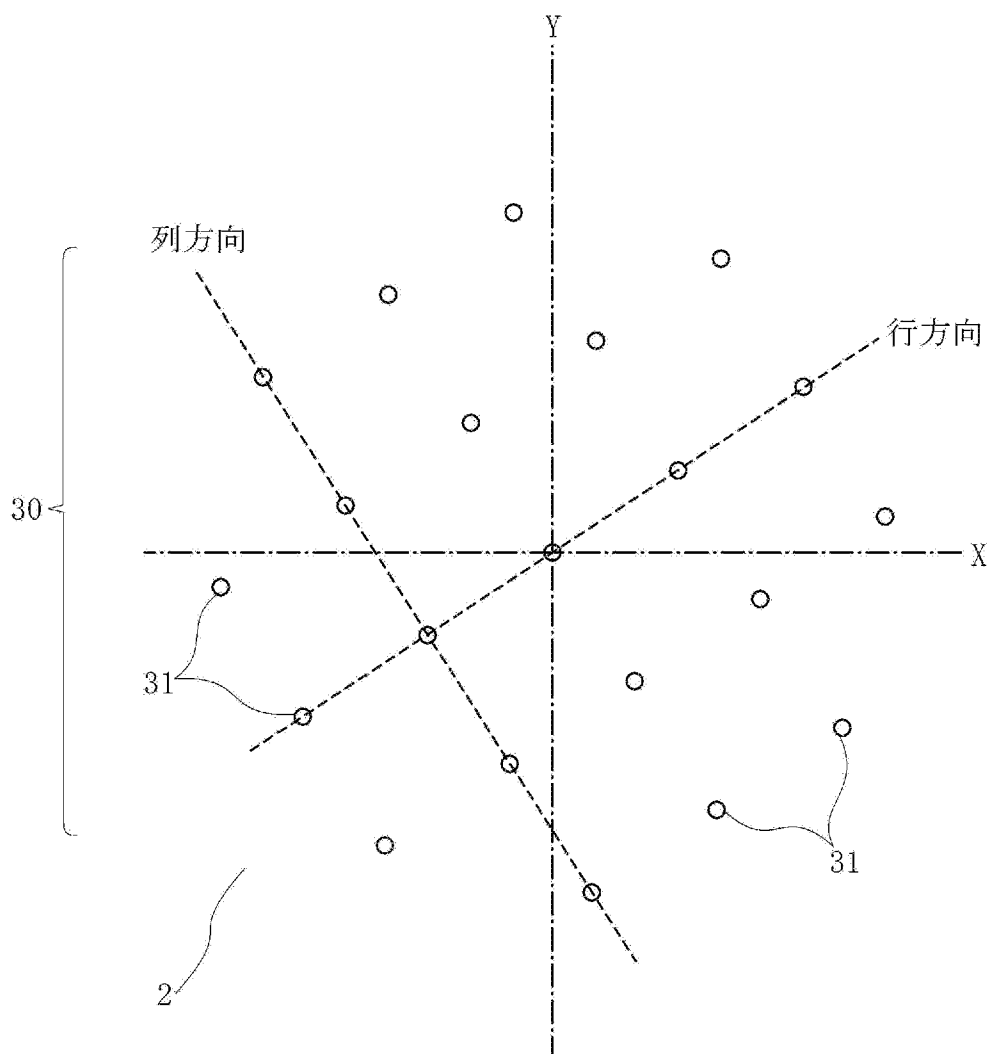
[図3]

図3



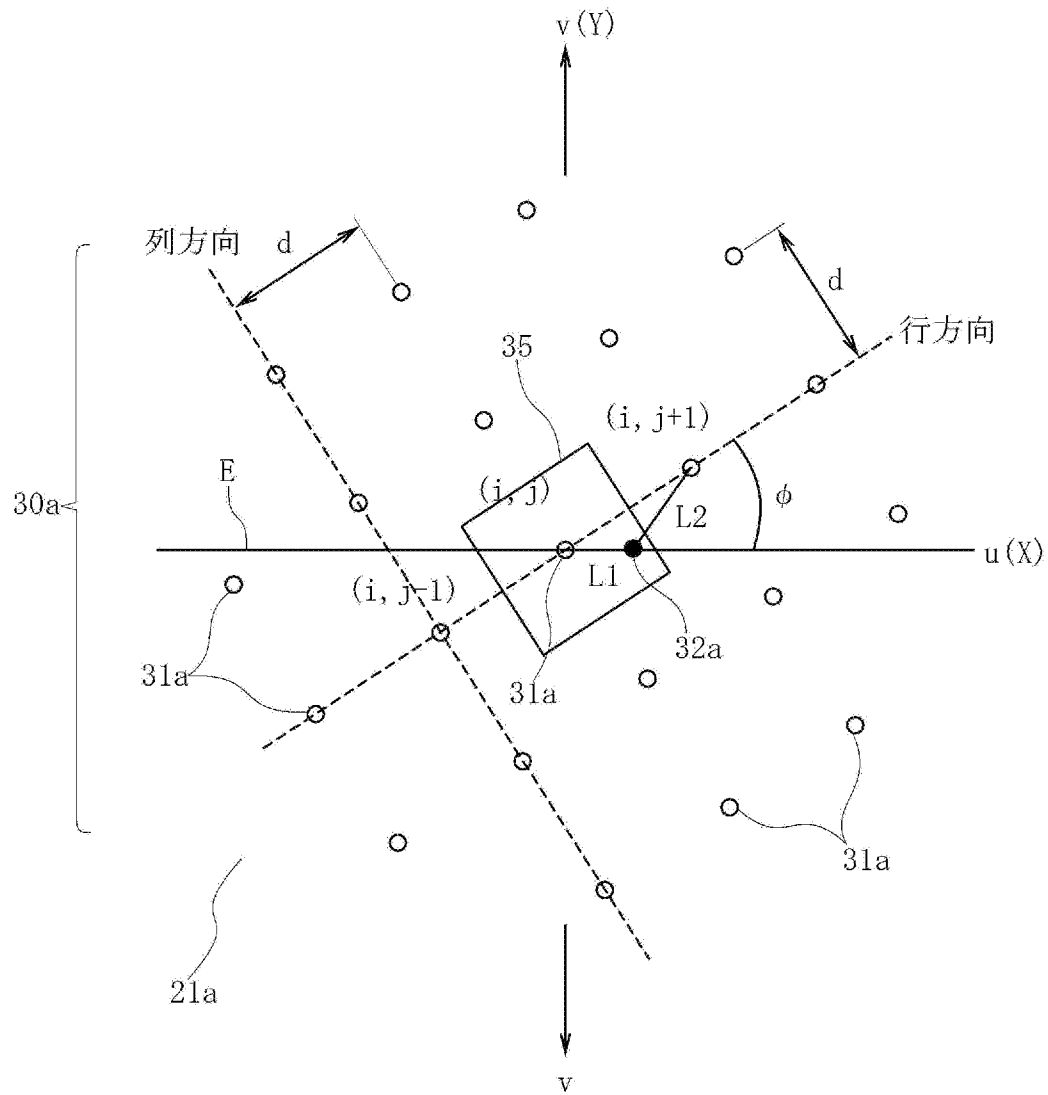
[図4]

図4



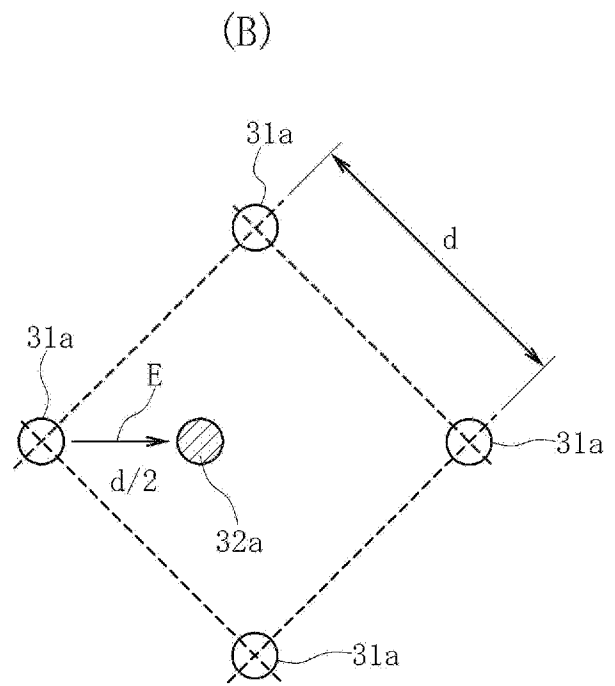
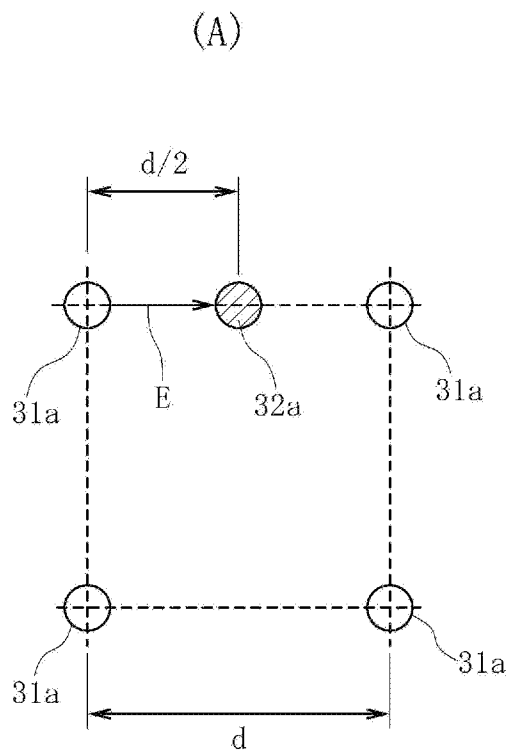
【図5】

图5



[図6]

図6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/070782

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B11/25(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01B11/25

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

SPIE Digital Library

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
<u>Y</u> A	JP 3-42507 A (Omron Corp.), 22 February 1991 (22.02.1991), page 1, lower right column, line 14 to page 3, upper left column, line 16; all drawings (Family: none)	<u>1-2, 6-7</u> 3-5
<u>Y</u> A	JP 2002-122417 A (Sumitomo Osaka Cement Co., Ltd.), 26 April 2002 (26.04.2002), paragraphs [0005], [0021] to [0028]; all drawings (Family: none)	<u>1-2, 6-7</u> 3-5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
08 October 2015 (08.10.15)

Date of mailing of the international search report
20 October 2015 (20.10.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/070782

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DIPANDA, Albert et al., Efficient correspondence problem-solving in 3-D shape reconstruction using a structured light system, Optical Engineering, 2005.09.27, Vol. 44(9), 093602, pp. 1-14, doi:10.1117/1.2055102	1-7

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01B11/25(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01B11/25

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

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

SPIE Digital Library

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
<u>Y</u> A	JP 3-42507 A（オムロン株式会社）1991.02.22, 第1頁右下欄第14行－第3頁左上欄第16行, 全図（ファミリーなし）	<u>1-2, 6-7</u> 3-5
<u>Y</u> A	JP 2002-122417 A（住友大阪セメント株式会社）2002.04.26, 段落[0005], [0021]-[0028], 全図（ファミリーなし）	<u>1-2, 6-7</u> 3-5

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

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 8 . 1 0 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

2 0 . 1 0 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

神谷 健一

2 S

9 7 0 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 8

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	DIPANDA, Albert et al., Efficient correspondence problem-solving in 3-D shape reconstruction using a structured light system, Optical Engineering, 2005.09.27, Vol. 44(9), 093602, pp. 1-14, doi:10.1117/1.2055102	1-7