

(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
2020年2月13日(13.02.2020)



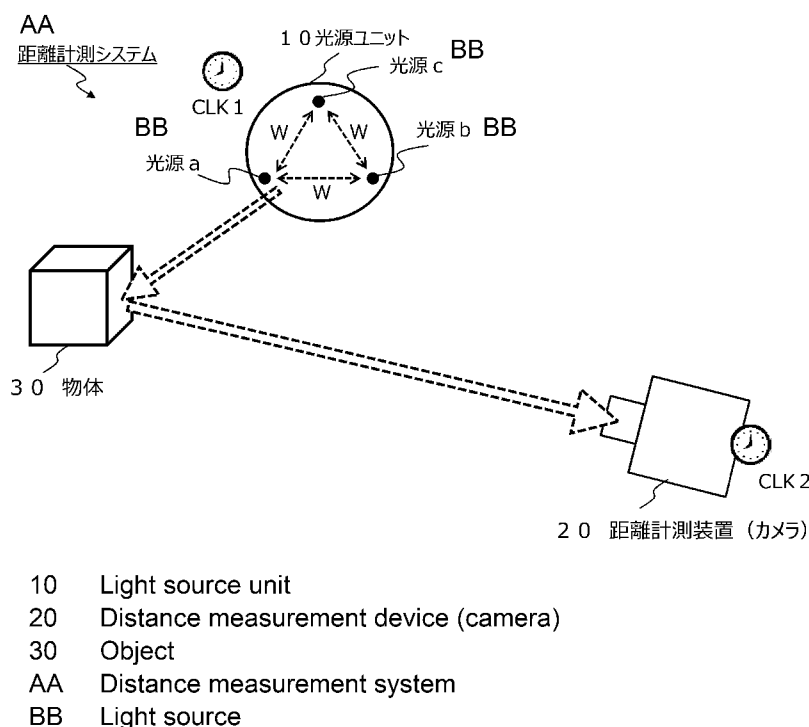
(10) 国際公開番号

WO 2020/031603 A1

- (51) 国際特許分類:
G01S 7/486 (2006.01) *G01S 17/46* (2006.01) 神奈川県厚木市旭町4丁目14番1号 Kanagawa (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/027353 (72) 発明者: 城 堅誠(JO, Kensei); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町4丁目14-1 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 竹田 智哉(TAKEDA, Tomoya); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町4丁目14-1 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP). 松本 奈々(MATSUMOTO, Nana); 〒2430014 神奈川県厚木市旭町4丁目14-1 ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社内 Kanagawa (JP).
- (22) 国際出願日: 2019年7月10日(10.07.2019)
- (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 2018-148529 2018年8月7日(07.08.2018) JP
- (71) 出願人: ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社(SONY SEMICONDUCTOR SOLUTIONS CORPORATION) [JP/JP]; 〒2430014 (74) 代理人: 宮田 正昭, 外(MIYATA, Masaaki et al.); 〒1040032 東京都中央区八丁堀三丁目25番9

(54) Title: DISTANCE MEASUREMENT DEVICE, DISTANCE MEASUREMENT SYSTEM, DISTANCE MEASUREMENT METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 距離計測装置、距離計測システム、および距離計測方法、並びにプログラム



(57) Abstract: The present invention achieves a configuration in which a light source unit, which has a plurality of light sources, and a distance measurement device (camera) are controlled by discrete clocks and the light sources can be placed in discretionary positions. In the present invention, a distance to an object is calculated through the photography using a ToF sensor of light that has been reflected by the surface of the object after being output from a plurality of light sources of a light source unit. A sensor clock for controlling the photography timing of the ToF sensor is a device-specific clock

号 Daiwa 八丁堀駅前ビル西館 8 階 特許
業務法人 大同特許事務所 Tokyo (JP).

- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

different from a light source unit clock for controlling the light emission timings of the light sources of the light source unit. A distance measurement device generates a plurality of difference calculation equations that are distance calculation equations for calculating the distances from each light source to the device and uses the generated difference calculation equations to calculate the distance to the object.

(57) 要約: 複数光源を有する光源ユニットと距離計測装置(カメラ)を個別のクロックで制御して、光源を任意の位置に設定可能とした構成を実現する。光源ユニットの複数光源の出力光を物体表面で反射させてToFセンサで撮影し物体までの距離を算出する。ToFセンサの撮影タイミングを制御するセンサクロックは、光源ユニットの光源の発光タイミングを制御する光源ユニットクロックと異なる装置固有のクロックであり、距離計測装置は、各光源から装置までの距離を算出する複数の距離算出式の差分算出式を生成し、生成した差分算出式を用いて物体までの距離を算出する。

明 細 書

発明の名称：

距離計測装置、距離計測システム、および距離計測方法、並びにプログラム

技術分野

[0001] 本開示は、距離計測装置、距離計測システム、および距離計測方法、並びにプログラムに関する。具体的には、ToF (Time of Flight) 方式を用いて物体の距離を計測する距離計測装置、距離計測システム、および距離計測方法、並びにプログラムに関する。

背景技術

[0002] 物体までの距離や、物体の3次元形状を計測する方式として、ToF (Time of Flight) 方式が知られている。

ToF方式は、光を物体に照射し、その反射光を解析して物体までの距離や、物体の形状を計測する方式である。

[0003] ToF方式を用いた距離計測装置は、発光部（光源）と受光部（カメラ）を一体化したいわゆるToFカメラを用いて、光源からの出力光を計測対象となる物体（距離計測対象オブジェクト）に照射して、その反射光をカメラで受光する構成を持つ。

[0004] しかし、この構成ではカメラと一体化された光源から出力した光は、物体に到達した後、物体表面で反射してカメラ側に戻る往復経路を辿ることになり、カメラから物体までの距離が d である場合、光路はその2倍の $2d$ となる。このように、光路が長いとカメラに入力する光の強度が低下し、距離計測精度が低下するという問題がある。特に、カメラから遠方の物体の距離を計測する場合には、測定精度の低下が顕著になる。

[0005] 本出願人は、先の特許出願である特許文献1（特開2018-31607号公報）において、光源とカメラを独立した構成とし、カメラから離れた位置にある光源の出力光を、直接、カメラで受光して、カメラから光源までの

距離を計測する装置を提案した。

[0006] この構成では、光源とカメラの距離が d である場合、光源の出力光も距離 d の経路のみを経由してカメラに入射することになり、上述した光強度の低下による測定精度の低下を防止できる。

しかし、この特許文献において開示した構成は、光源を直接カメラで観測することを想定しており、センサのダイナミックレンジが広くないと使用できない構成だった。例えば、光源を直接観測するためには飽和を避けるために露光時間を短く設定する必要があるが、そうすると周囲の被写体が黒つぶれしてしまう問題がある。また、光源とカメラのクロックのズレに起因する問題に対する解決方法は開示していなかった。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2018-31607号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 本開示は、例えば上記問題点に鑑みてなされたものであり、光源以外の一般的な物体についても光強度の低下による測定精度の低下を発生させることのない距離計測装置、距離計測システム、および距離計測方法、並びにプログラムを提供することを目的とする。

[0009] さらに、本開示の一実施例は、発光部（光源）と受光部（カメラ）を個別のクロックで制御する構成として発光部（光源）と受光部（カメラ）を離れた位置に置くことを可能とし、発光部（光源）から物体に照射した光の反射光を受光部（カメラ）に入射してToF方式によって物体までの距離や、物体の3次元形状を計測する距離計測装置、距離計測システム、および距離計測方法、並びにプログラムを提供するものである。

課題を解決するための手段

[0010] 本開示の第1の側面は、

複数光源を有する光源ユニットの各光源の出力光を物体の表面で反射させて入力するToF (Time of Flight) センサと、

前記ToFセンサの出力を解析して、前記物体までの距離を算出する距離算出部を有し、

前記ToFセンサの画像撮影タイミングを制御するセンサクロックは、前記光源ユニットの光源の発光タイミングを制御する光源ユニットクロックと異なる装置固有のクロックである距離計測装置にある。

[0011] さらに、本開示の第2の側面は、

複数光源を有する光源ユニットと、

前記光源ユニットの各光源の出力光を物体の表面で反射させて入力する距離計測装置を有する距離計測システムであり、

前記距離計測装置は、

前記物体からの反射光を入力するToF (Time of Flight) センサと、

前記ToFセンサの出力を解析して、前記物体までの距離を算出する距離算出部を有し、

前記光源ユニットの光源の発光タイミングを制御する光源ユニットクロックと、前記距離計測装置のToFセンサの画像撮影タイミングを制御するセンサクロックは異なる独立したクロックである距離計測システムにある。

[0012] さらに、本開示の第3の側面は、

距離計測装置において実行する距離計測方法であり、

ToF (Time of Flight) センサが、複数光源を有する光源ユニットの各光源の出力光を物体の表面で反射させて入力するステップと、

距離算出部が、前記ToFセンサの出力を解析して、前記物体までの距離を算出する距離算出ステップを実行し、

前記距離算出ステップは、

前記光源ユニットの複数光源から前記距離計測装置までの距離を算出する

複数の距離算出式として、

(a) 前記距離計測装置と前記物体間の距離データと、

(b) 前記物体と、前記光源ユニットの各光源間の距離データと、

(c) 前記センサクロックと前記光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセットC、

これら(a)～(c)のデータからなる複数の距離算出式を生成し、

さらに、前記距離算出式各々の差分を算出する差分算出式を生成して、生成した差分算出式を用いて前記物体までの距離を算出するステップである距離計測方法にある。

[0013] さらに、本開示の第4の側面は、

複数光源を有する光源ユニットと、前記光源ユニットの各光源の出力光を物体の表面で反射させて入力する距離計測装置を有する距離計測システムにおいて実行する距離計測方法であり、

前記光源ユニットが、

光源ユニットクロックによって規定される発光タイミングで前記光源ユニットの各光源を発光するステップと、

前記距離計測装置のToFセンサが、

前記光源ユニットクロックと異なるセンサクロックによって規定される画像撮影タイミングで画像撮影を実行するステップと、

前記距離計測装置の距離算出部が、

前記ToFセンサの出力を解析して、前記物体までの距離を算出するステップ、

を有する距離計測方法にある。

[0014] さらに、本開示の第5の側面は、

距離計測装置において距離計測処理を実行させるプログラムであり、

ToF (Time of Flight) センサに、複数光源を有する光源ユニットの各光源の出力光を物体の表面で反射させて入力させるステップと、

距離算出部に、前記ToFセンサの出力を解析して、前記物体までの距離を算出させる距離算出ステップを実行させ、

前記距離算出ステップにおいて、

前記光源ユニットの複数光源から前記距離計測装置までの距離を算出する複数の距離算出式として、

(a) 前記距離計測装置と前記物体間の距離データと、

(b) 前記物体と、前記光源ユニットの各光源間の距離データと、

(c) 前記センサクロックと前記光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセットC、

これら(a)～(c)のデータからなる複数の距離算出式を生成する処理と、

さらに、前記距離算出式各々の差分を算出する差分算出式を生成する処理と、生成した差分算出式を用いて前記物体までの距離を算出する処理を実行させるプログラムにある。

[0015] なお、本開示のプログラムは、例えば、様々なプログラム・コードを実行可能な画像処理装置やコンピュータ・システムに対して、コンピュータ可読な形式で提供する記憶媒体、通信媒体によって提供可能なプログラムである。このようなプログラムをコンピュータ可読な形式で提供することにより、情報処理装置やコンピュータ・システム上でプログラムに応じた処理が実現される。

[0016] 本開示のさらに他の目的、特徴や利点は、後述する本発明の実施例や添付する図面に基づくより詳細な説明によって明らかになるであろう。なお、本明細書においてシステムとは、複数の装置の論理的集合構成であり、各構成の装置が同一筐体内にあるものには限らない。

発明の効果

[0017] 本開示の一実施例の構成によれば、複数光源を有する光源ユニットと距離計測装置（カメラ）を個別のクロックで制御して、光源を任意の位置に設定可能とした構成が実現される。

具体的には、例えば、光源ユニットの複数光源の出力光を物体表面で反射させてToFセンサで撮影し物体までの距離を算出する。ToFセンサの撮影タイミングを制御するセンサクロックは、光源ユニットの光源の発光タイミングを制御する光源ユニットクロックと異なる装置固有のクロックであり、距離計測装置は、各光源から装置までの距離を算出する複数の距離算出式の差分算出式を生成し、生成した差分算出式を用いて物体までの距離を算出する。

本構成により、複数光源を有する光源ユニットと距離計測装置（カメラ）を個別のクロックで制御して、光源を任意の位置に設定可能とした構成が実現される

なお、本明細書に記載された効果はあくまで例示であって限定されるものではなく、また付加的な効果があってもよい。

図面の簡単な説明

[0018] [図1] ToF方式による距離計測処理の概要について説明する図である。

[図2] ToF方式による距離計測処理の概要について説明する図である。

[図3] ToF方式による距離計測処理の概要について説明する図である。

[図4] ToF方式による距離計測処理の概要について説明する図である。

[図5] 本開示の距離計測装置が実行する処理の概要について説明する図である。

[図6] 位相同期処理について説明する図である。

[図7] 本開示の距離計測システムの一構成例について説明する図である。

[図8] 光源ユニットの具体的構成例について説明する図である。

[図9] 各光源を時分割で駆動する設定とした光源の駆動制御例を示す図である

[図10] 距離計測装置（カメラ）の詳細構成について説明する図である。

[図11] 本開示の距離計測システムを利用した距離計測の全体シーケンスについて説明するフローチャートを示す図である。

[図12] 本開示の距離計測システムを利用した距離計測の全体シーケンスについて説明するフローチャートを示す図である。

[図13]フレーム同期処理の詳細について説明する図である。

[図14]クロックの周波数を推定する処理について説明する図である。

[図15]距離計測装置（カメラ）における周波数同期処理のシーケンスについて説明するフローチャートを示す図である。

[図16]距離計測装置（カメラ）における周波数同期処理を実行する構成要素について説明する図である。

[図17]光源ユニットの位置姿勢の算出処理と被写体距離算出の具体的処理例について説明する図である。

[図18]光源ユニットの位置姿勢の算出処理と被写体距離算出の具体的処理例について説明する図である。

[図19]光源ユニットの位置姿勢の算出処理と被写体距離算出の具体的処理シーケンスについて説明するフローチャートを示す図である。

[図20]距離計測装置（カメラ）において光源ユニットの位置姿勢の算出処理と被写体距離算出を行う構成要素について説明する図である。

[図21]クロック位相差に基づくオフセット算出処理と、物体の距離（デプス）算出処理を行う場合の具体的処理例について説明する図である。

[図22]クロック位相差に基づくオフセット算出処理と、物体の距離（デプス）算出処理を行う場合の具体的処理例について説明する図である。

[図23]双曲面について説明する図である。

[図24]クロック位相差に基づくオフセット算出処理と、物体の距離（デプス）算出処理を行う場合の具体的処理シーケンスについて説明するフローチャートを示す図である。

[図25]距離計測装置（カメラ）において、クロック位相差に基づくオフセット算出処理と、物体の距離（デプス）算出処理を行う構成要素について説明する図である。

[図26]光源位置、光源クロックオフセットが既知の場合に、物体の距離（デプス）を算出する処理の具体例について説明する図である。

[図27]距離計測装置（カメラ）において、光源位置、光源クロックオフセッ

トが既知の場合に、物体の距離（デプス）を算出する処理を行う構成要素について説明する図である。

[図28]双曲面方程式と直線方程式との連立方程式の解に重解を発生させない構成例について説明する図である。

[図29]双曲面方程式と直線方程式との連立方程式の解に重解を発生させない構成例について説明する図である。

[図30]本開示の距離計測システムの特徴について説明する図である。

[図31]複数の光源ユニットを利用した構成例について説明する図である。

[図32]複数の光源ユニットを利用した構成例について説明する図である。

[図33]本開示の距離計測システムの利用例について説明する図である。

[図34]本開示の距離計測システムの利用例について説明する図である。

[図35]本開示の距離計測システムの利用例について説明する図である。

[図36]本開示の距離計測システムの利用例について説明する図である。

[図37]本開示の距離計測システムの利用例について説明する図である。

[図38]本開示の距離計測装置のハードウェア構成例について説明する図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、図面を参照しながら本開示の距離計測装置、距離計測システム、および距離計測方法、並びにプログラムの詳細について説明する。なお、説明は以下の項目に従って行う。

1. T o F 方式による距離計測処理の概要について
2. 本開示の距離計測装置が実行する処理の概要について
3. 本開示の距離計測装置の実行する処理のシーケンスについて
4. フレーム同期処理について
5. 周波数同期処理について
6. 光源ユニットの位置姿勢の算出処理の詳細と、光源ユニット位置姿勢算出処理に併せて距離算出を行う場合の具体的処理例について
7. クロック位相差に基づくオフセット算出処理と、物体の距離（デプ

ス) 算出処理を行う場合の具体的処理例について

8. 光源位置、光源クロックオフセットが既知の場合に、物体の距離（デプス）を算出する処理の具体例について

9. 双曲面方程式と直線方程式との連立方程式の解に重解を発生させない構成について

10. 複数の光源ユニットを利用した構成例について

11. 本開示の距離計測システムのその他の利用例について

12. 距離計測装置のハードウェア構成例について

13. 本開示の構成のまとめ

[0020] [1. T o F 方式による距離計測処理の概要について]

まず、T o F 方式による距離計測処理の概要について説明する。

[0021] 前述したように、T o F (Time of Flight) 方式は、物体までの距離や、物体の3次元形状を計測する方式の一つである。T o F 方式は、光を物体に照射し、その反射光を解析して物体までの距離（デプス）や、物体の形状を計測する方式である。

図1以下を参照して、T o F 方式による距離（デプス）計測処理の概要について説明する。なお、以下の説明では3次元形状の計測処理については特に言及しないが、物体表面の距離を物体表面全体に渡って計測することで物体の3次元形状を計測することが可能となる。

[0022] 図1には、光源（発光部）1、カメラ（受光部）2、物体3を示している。光源（発光部）1から出力された光が物体3に反射してカメラ（受光部）2に入射する。

この構成において、光源1からの出力光が物体3に反射してカメラ2に入射するまでの時間 Δt を計測することで、カメラ2から物体3までの距離（デプス） d を計測することができる。

[0023] 距離 d は以下の（式1）に従って算出できる。

$$d = (1/2) \times c \times \Delta t \cdots \text{(式1)}$$

上記（式1）において、

c : 光速

である。

[0024] なお、図では、分かりやすくするため光源 1 とカメラ 2 をわずかに離れた位置に示しているが、従来の一般的な装置では、光源 1 の発光タイミングやカメラ 2 による撮像タイミングを 1 つのクロックで制御するため、光源 1 とカメラ 2 は同一の装置等、ほぼ同じ位置に構成される。従って、光源 1 からの出力光が物体 3 に反射してカメラ 2 に入射するまでの時間 Δt は、カメラ 2 から物体 3 までの距離（デプス） d の 2 倍の距離を光が進む時間となる。これが、上記（式 1）の距離 d の算出式で、 $(1/2)$ を乗算している理由である。

[0025] しかし、この図 1 に示す構成において、時間 Δt は非常に短い時間であり、この時間 Δt を正確に計測するのは困難である。従って、実際には、光源 1 からパルス光を発光し、カメラ 2 が受光したパルス光の時間差を位相差に変換して距離を求める。

この処理について、図 2 を参照して説明する。

[0026] 図 2 にも図 1 と同様、光源（発光部）1、カメラ（受光部）2、物体 3 を示している。光源 1 からパルス光を発光し、物体 3 で反射して帰ってきたパルス光をカメラ 2 が受光する。

この構成で、光源 1 の出力パルス光と、カメラ 2 の入力パルス光の時間差を位相差に変換して観測する。

[0027] 光源 1 は、既知の周波数 f Hz で高速に点滅させる。すなわち光源 1 の発光パターンの 1 周期は $1/f$ 秒となる。カメラ 2 は、画素毎に光の点滅パターンの位相を計測する。この画素単位の位相計測構成の具体例については、後段で図 3 を参照して説明する。

[0028] 例えば、光源 1 の出力するパルス光の位相と、カメラ 2 が受光したパルス光の位相の差が ϕ とすると、光源 1 からの出力光が物体 3 に反射してカメラ 2 に入射するまでの時間 Δt は、以下の（式 2）によって算出できる。

$$\Delta t = (1/f) \times (\phi/2\pi) \cdots \text{(式 2)}$$

[0029] 上記（式 2）によって算出された時間 Δt を先に説明した（式 1）に代入することで、カメラ 2（または光源 1）から物体 3 までの距離 d は、以下の（式 3）によって算出できる。

$$d = (c \phi) / 4 \pi f \cdots \text{（式 3）}$$

上記（式 3）において、

c : 光速

ϕ : 光源 1 の出力パルス光の位相と、カメラ 2 の受光パルス光の位相の差

f : パルス光の周波数

である。

[0030] 図 3 を参照して、カメラ 2 における画素単位のパルス光の位相算出構成について説明する。

図 1、図 2 を参照して説明したカメラ 2 は、通常のカメラとは異なる T o F カメラであり、各画素が高速に O N / O F F を繰り返し、O N 期間のみ電化を蓄積する。

T o F カメラを用いて、物体の距離計測を行う場合、

O N / O F F の実行タイミングを順次、切り替えて各タイミングにおける蓄積電荷を解析する。O N / O F F の実行タイミングの切り替えパターンは、例えば、図 3 左の図に示す以下の 4 種類である。

（c 1）位相 0 度、

（c 2）位相 9 0 度、

（c 3）位相 1 8 0 度

（c 4）位相 2 7 0 度

[0031] （c 1）位相 0 度は、O N タイミング（受光タイミング）を光源 1 の出力するパルス光の位相、すなわち図 3 左の図に示す（a）発光パターンと同じ位相とした設定である。

（c 2）位相 9 0 度は、O N タイミング（受光タイミング）を光源 1 の出力するパルス光（（a）発光パターン）と 9 0 度遅れた位相とした設定である。

(c 3) 位相 180 度は、ON タイミング (受光タイミング) を光源 1 の出力するパルス光 ((a) 発光パターン) と 180 度遅れた位相とした設定である。

(c 4) 位相 270 度は、ON タイミング (受光タイミング) を光源 1 の出力するパルス光 ((a) 発光パターン) と 270 度遅れた位相とした設定である。

[0032] カメラ 2 において、これら 4 種類の切り替えを順次実行し、受光タイミングを変化させた受光量を取得する。すなわち蓄積位相を変えた 4 種類の受光量とその受光量に応じた電荷を得る。

例えば、発光パターンに対する受光画素の位相差を 0, 90, 180, 270 度としたときに蓄積する電荷を、それぞれ Q_0 , Q_{90} , Q_{180} , Q_{270} とする。

[0033] ここで、先に説明した (式 3) を適用して物体までの距離 d を算出するために必要な位相差 ϕ は、光源 1 の出力パルス光の位相と、カメラ 2 の受光パルス光の位相の差である。この位相差 ϕ は、以下の (式 4) に基づいて算出することができる。

$$\phi = \text{Arctan} \left((Q_{90} - Q_{270}) / (Q_{180} - Q_0) \right) \cdots \text{(式 4)}$$

[0034] 上記 (式 4) によって算出した位相差 ϕ 、すなわち、光源 1 の出力パルス光の位相と、カメラ 2 の受光パルス光の位相の差 ϕ を上記 (式 3) に代入することで、(式 3) に従って、カメラ 2 (または光源 1) から物体 3 までの距離 d を算出することができる。

[0035] なお、本開示書では、図 4 に示すように、ToF カメラにおいて撮影される画像フレーム、すなわち、発光パターン (パルス) との位相ズレ量 0 度、90 度、180 度、270 度の各位相設定の撮影画像や各撮影画像の蓄積電荷をコンポーネントと呼ぶ。

図 4 に示す図は、カメラ (ToF カメラ) によって撮影される画像データを左から右に示す時間軸に従って示した図である。

発光パターン (パルス) との位相ズレ量 0 度、90 度、180 度、270

度の各位相設定の撮影画像が順次、繰り返し撮影される。

[0036] 0度、90度、180度、270度の各位相設定のコンポーネントの組み合わせの1セットをフレームと呼ぶ。

すなわち、1つのフレームは、発光パターン（パルス）との位相ズレ量0度、90度、180度、270度の各位相設定の撮影画像の蓄積電荷情報 Q_0 、 Q_{90} 、 Q_{180} 、 Q_{270} を持つ。

なお、一般的に各コンポーネント間の時間は、フレーム間の時間より短い設定である。

[0037] [2. 本開示の距離計測装置が実行する処理の概要について]

次に、本開示の距離計測装置が実行する処理の概要について説明する。

図1～図3を参照して説明したように、ToF方式による物体の距離計測では、光源の発光パルスとカメラの受光パルスの位相差を検出することが必要である。

[0038] この位相差を正確に検出するためには、光源の発光パルスのON/OFFタイミングと、カメラにおいて実行される画素のON/OFFタイミングを把握することが必要である。

このためには、例えば、光源の発光パルスのON/OFFタイミングと、カメラにおいて実行される画素のON/OFFタイミングの制御を1つのクロックに基づいて実行すること、すなわち同期させて実行すればよい。

[0039] 図5(a)に示すように、光源1とカメラ2を例えば1つの装置内に構成して1つのクロックからのクロック信号で制御すれば、光源の発光パルスとカメラ2の電荷蓄積タイミングを同期させた処理が可能となる。すなわち、発光パターン（パルス）との位相ズレ量0度、90度、180度、270度の各位相設定の撮影画像からなるコンポーネントを取得することができる。

しかし、図5(a)に示す設定では、光源1からカメラ2に至るまでの光の経路は物体3までの距離 d の2倍、すなわち $2d$ と長くなってしまうため、カメラ2の受光強度が落ち、距離計測精度が低下するという問題がある。

[0040] カメラ2の受光強度が落ち、距離計測精度が低下するという問題を解決す

るための構成として、図5（b）に示す構成が考えられる。

図5（b）に示す構成は、光源1を物体3の近くに置いたものである。このような設定とすることで、光源1の出力光が物体3に反射してカメラ2において受光するまでの経路を短くすることが可能となり、カメラ2の受光強度を低下させることなく、距離計測精度を向上させることが可能となる。

[0041] しかし、このように、光源1とカメラ2の位置を離して、それぞれの装置を別の装置とした場合、各装置は、個別のクロック信号によって制御せざるを得ない場合が発生する。

このように、光源1とカメラ2を各々異なるクロック信号で制御すると、光源1とカメラ2の制御タイミングを完全に一致させること、すなわち同期させることが困難となる。同期がとれないと、発光パターン（パルス）との位相ズレ量0度、90度、180度、270度の各位相設定の撮影画像からなるコンポーネントを正確に取得することができない。

[0042] なお、正確な距離計測を行うために必要な同期処理の種類として、以下の複数の同期処理がある。

- （1）フレーム同期処理
- （2）周波数同期処理
- （3）位相同期処理

[0043] （1）フレーム同期処理は、カメラ2側で取得したフレームやコンポーネント各々に対する光源1側の発光タイミングを取得する同期処理である。

（2）周波数同期処理は、光源1とカメラ2のクロックの周波数のズレを確認して、周波数のズレを解消するように調整する処理である。例えば、光源1と、カメラ2のクロックを100MHzに設定したとしても、クロックの個体差により、光源1のクロックが100.0001MHzになるといったことはよくあることであり、この差を正確に把握することが必要となる。

（3）位相同期処理は、光源1とカメラ2のクロックの位相のズレを確認して、位相のズレを解消するように位相を調整する処理である。

例えば、図6に示すように、光源1の波形（Light（t））を、以下

の正弦波とする。

$$\text{Light}(t) = \cos(f_L t + \theta_L)$$

位相同期処理を行うためには、図6に示すように上記正弦波に従った発光を行う光源1の発光開始時刻 t_1 と、 f_L 、 θ_L を推定する処理が必要となる。

[0044] 本開示の距離計測システムの一実施例の全体構成例を図7に示す。本開示の距離計測システムは、先に図5(b)を参照して説明した構成と同様、光源とカメラを個別のクロックで制御可能としたシステムである。

すなわち、光源の発光タイミング制御のためのクロックとカメラの撮像タイミング制御のためのクロックを個別のクロックとすることを可能としたシステムである。

[0045] このような構成とすることで、光源をカメラと離れた任意の位置に置くことが可能となる。これにより光源を距離計測対象となる物体の近くに置くことが可能となる。

この結果、光源からの出射光を距離計測対象物体に反射させて、この反射光を撮影するカメラは、光強度の低下しない反射光を撮影することが可能となり、高精度な距離計測を実現することができる。

このように本開示のシステムは、光源からの出力光を物体に反射させてカメラに入射するまでの光路を短く設定することが可能な構成を持つ。

[0046] ただし、本開示の距離計測システム光源の制御タイミングを決定するクロック(CLK1)と、カメラの制御タイミングを決定するクロック(CLK2)は異なるクロックであり、このクロックのズレを考慮した処理を行うことが必要となる。この処理については後段で詳細に説明する。

[0047] 図7に示す本開示の距離計測システムは、光源ユニット10と、距離計測装置(カメラ)20によって構成される。なお、距離計測装置(カメラ)20は、物体30と距離計測装置(カメラ)20との距離を計測する。また、距離計測に伴い、物体30の表面形状、すなわち物体30の3次元形状を計測することも可能である。

[0048] 図7に示すように、光源ユニット10は、複数の光源a, b, cを有する

。これら3つの光源は、等間隔（W）で配列されている。この光源a～cは、個別のパルス光を出力する。パルス光の出力タイミングすなわち位相制御は1つのクロック（CLK1）のクロック信号によって行われる。

[0049] なお、図7に示す実施例において光源ユニット10は、相対位置が固定された3つの光源を有している。この光源数は3個に限定されるものではなく、4つ、5つ等、3以上の光源を備えた構成でもよく、また処理によっては2つのみでもよい。

以下では3つの光源を有する光源ユニット10を用いた構成と処理、および2つの光源を有する光源ユニット10を用いた構成と処理について説明する。

[0050] ここでは、まず、3つの光源を有する光源ユニット10を用いた構成と処理について説明する。光源ユニット10の3つの光源a～cの出力パルス光は物体30の表面において反射し、距離計測装置（カメラ）20に入射する。距離計測装置（カメラ）20は、先に図2～図4を参照して説明したToFカメラと同様のToFセンサを有し、異なる受光タイミングを設定した画像、すなわち複数のコンポーネントから構成されるフレームを取得する。

距離計測装置（カメラ）20の制御タイミングは、カメラ固有のクロック（CLK2）の出力するクロック信号に基づいて実行される。

[0051] 次に、図8を参照して、光源ユニット10の具体的構成例について説明する。先に図7を参照して説明したように、光源ユニット10は複数の光源と、クロックから構成される。

[0052] 図8に示すように、光源ユニット10は、光源ユニットクロック（CLK1）101、光源制御部102、と、各光源対応の遅延制御部103～105、および複数の光源a106、光源b107、光源c108を有する。複数の光源a～cは、1つの光源ユニットクロック101によって制御されるため、発光する光（パルス光）の周波数は同一（あるいは既知の倍数）となる。

[0053] 例えば、基準クロックが10MHzクロックである場合の光源a～cの出

カパルス光の周波数設定は、以下のような設定が可能である。

（設定例１）光源 a～c のパルス光がすべて 10MHz の設定、

（設定例２）光源 a～c のパルス光が、各々 10MHz、20MHz、30MHz 等のように、規定の倍数に設定、

例えば、上記のような設定が可能である。

[0054] なお、各光源 a～c のパルス光の位相はクロック 101 から光源 a～c までの配線の長さにも依存するため、一定量のズレが生じる可能性があるが、予め補正されたとする。ここでは便宜上、複数の光源 a～c の位相は同一でズレがないものとする。なお、個々の光源の位相がずれていても、ズレ量が既知であれば後段で補正して使用することができる。

[0055] また、図 8（a）光源配置例に示すように、各光源 a～c の物理的配置は固定されているとする。

例えば、光源 a～c を光源ユニット 10 の筐体に固定し、各光源間距離が W となるように固定する。物理的に複数の光源を固定した構成が光源ユニット 10 である。

図 8（a）光源配置例に示すように、光源ユニット 10 内のある点を基準とし、光源座標系を定義する。光源ユニット内部の部品は固定されているため、各光源の位置は、光源座標系では既知となる。

[0056] 光源 a～c の発光タイミング、すなわち発光パルスは、光源制御部 102 と遅延調整部 103～105 によって調整される。なお、光源制御部 102 と遅延調整部 103～105 は光源ユニットクロック 101 から供給されるクロックによって光源 a～c の発光タイミングの制御を行う。遅延調整部 103～105 は各光源 a～c、105～108 の発光タイミングの遅延量を制御する。

[0057] なお、光源ユニット 10 の各光源 a～c からの光は、それぞれ干渉することなく距離計測装置（カメラ）20 に届くように制御される。このため、例えば、以下のような光源の駆動制御を行う。

（a）各光源を時分割で駆動する

(b) 各光源の発光周波数を異なる設定とする。例えば、各光源の発光周波数をクロック周波数の1倍、2倍、3倍などのように異なる設定とする。

(c) 各光源の使用する波長を変える。例えば、850nm, 905nm, 940nm等の異なる波長光を利用する。

[0058] 図9に「(a) 各光源を時分割で駆動する」設定とした光源の駆動制御例を示す。

図9には、光源ユニットクロック101から供給されるクロックと信号と、光源a～cの発光パルスの例を示している。

図9に示す例は、光源a～cが基準クロック（光源ユニットクロック）に対して同じ周波数、位相でタイミングを変更して順次発光する設定である。

なお、どの光源が今、発光しているかを識別可能とするため、消灯期間を設ける。消灯期間の後、光源a→b→cの順で発光させ、その後も所定の消灯期間の後、光源a→b→cの順での発光を繰り返す。

[0059] 次に、図10を参照して、距離計測装置（カメラ）20の詳細構成について説明する。

図10に示すように、距離計測装置（カメラ）20は、センサクロック201、ToFセンサ202、動被写体検知部203、位相算出部204、位相画像メモリ205、光源位置推定部206、光源ユニット位置姿勢メモリ207、クロック位相差（光源クロックオフセット）算出部208、クロック位相差（光源クロックオフセット）メモリ209、クロックズレ量推定部210、センサクロック調整部211、距離（デプス）算出部220を有する。

[0060] ToFセンサ202は、先に図2～図4を参照して説明したToFカメラと同様の撮像素子によって構成される。すなわち、異なる受光タイミングを設定した画像、すなわち複数のコンポーネントから構成されるフレームを取得する。

このToFセンサ202の受光タイミングを決定するのがセンサクロック201の出力するクロック信号である。

[0061] 動被写体検知部203は、ToFセンサ202によって撮影された画像から動く被写体を検出する。この動被写体検出処理は、先に説明した周波数同期処理、すなわち光源とToFセンサのクロックのズレを修正するための同期処理に際して利用される。この処理の詳細については後段で説明する。

[0062] 位相算出部204は、先に図2、図3を参照して説明した発光パルスと受光パルスとの位相差 ϕ を算出する。本構成において、発光パルスは、光源ユニット10の各光源a～cの発光パルスであり、受光パルスはToFセンサ202が受光した光源a～cの出力光に対応する受光パルスである。

[0063] 位相画像メモリ205には、ToFセンサ202において撮影されたコンポーネント（位相画像）から構成されるフレーム画像と、位相算出部204の算出した位相差データが格納される。

[0064] 光源位置推定部206は、光源ユニット10の位置姿勢の推定処理、具体的には例えば光源a～cの3次元位置推定処理を実行する。この具体的な処理例については後述する。

光源ユニット位置姿勢メモリ207には、光源位置推定部206の推定した光源ユニット10の位置姿勢情報（光源a～cの3次元位置情報）が格納される。

[0065] クロック位相差（光源クロックオフセット）算出部208は、センサクロック201と光源ユニットクロック101のズレ、すなわちクロック位相差の算出処理を行い、算出したクロック位相差をクロック位相差（光源クロックオフセット）メモリ209に格納する。この処理の詳細については後述する。

[0066] クロックズレ量推定部210は、センサクロック201と光源ユニットクロック101の周波数のズレ量を推定する。センサクロック調整部211は、クロックズレ量推定部210が推定したセンサクロック201と光源ユニットクロック101のズレ量に基づいてセンサクロック201の周波数を調整する。すなわち、センサクロック201のクロック周波数と光源ユニットクロック101のクロック周波数とのズレを解消または減少させる周波数調

整を行う。この処理の詳細についても後述する。

[0067] なお、このクロック周波数の調整を行っても、2つのクロックの位相差（位相ズレ）は解消されない。実際の距離計測時には、このクロック位相差を考慮した処理が必要となる。このクロック位相差を算出するのが上述のクロック位相差（光源クロックオフセット）算出部208である。

[0068] 距離（デプス）算出部220は、距離計測対象となる物体30の距離（デプス）を算出する。この算出距離は、距離計測装置（カメラ）20から物体30表面までの距離である。

[0069] この距離算出のために、位相画像メモリ205、光源ユニット位置姿勢メモリ207、クロック位相差（光源クロックオフセット）メモリ209の格納データが利用される。すなわち、

（a）位相画像メモリ205に格納されたToFセンサ202において撮影されたコンポーネント（位相画像）から構成されるフレーム画像と、位相差算出部204の算出した位相差データ。

（b）光源ユニット位置姿勢メモリ207に格納された光源位置推定部206の推定した光源ユニット10の位置姿勢情報（光源a～cの3次元位置情報）。

（c）クロック位相差（光源クロックオフセット）メモリ209に格納されたセンサクロック201と光源ユニットクロック101のズレ（位相差）、または位相差に基づいて発生する距離算出時の誤差量に相当するオフセット。

これらを用いた距離算出を行う。

この処理の詳細については後述する。

[0070] [3. 本開示の距離計測装置の実行する処理のシーケンスについて]

次に、本開示の距離計測装置（カメラ）20の実行する処理のシーケンスについて説明する。

まず、図11に示すフローチャートを参照して、図7に示す構成を持つ本開示の距離計測システムを利用した距離計測の全体シーケンスの概要につい

て説明する。

なお、図 1 1 に示すフローにはステップ S 1 1 ～ S 1 4 の 4 つの処理ステップがあるが、まず、各ステップの大まかな処理と全体の処理の流れについて説明する。個々のステップの詳細な処理については、後段で説明する。

以下、図 1 1 に示すフローチャートの各ステップの処理について、説明する。

[0071] (ステップ S 1 1)

まず、ステップ S 1 1 においてフレーム同期処理を実行する。

フレーム同期処理は、先に図 6 を参照して説明したようにカメラ側で取得したフレームやコンポーネント各々に対する光源側の発光タイミングを取得する同期処理である。

ステップ S 1 1 では、距離計測装置（カメラ）20 側で取得したフレームやコンポーネント各々に対する光源ユニット 10 側の発光タイミングを取得する。

なお、この具体的な処理については後段で説明する。

[0072] (ステップ S 1 2)

次に、ステップ S 1 2 において、周波数同期処理を実行する。この処理は、距離計測装置（カメラ）20 側で利用するセンサクロックと、光源ユニット 10 側で利用する光源ユニットクロックの周波数のズレを確認して、周波数のズレを解消するように調整する処理である。この処理には、距離計測装置（カメラ）20 が、光源ユニット 10 で利用しているクロックの周波数を推定する処理が必要となる。

[0073] (ステップ S 1 3)

次に、ステップ S 1 3 において、光源ユニット 10 の位置姿勢を推定する。先に図 7 を参照して説明したように、光源ユニット 10 は、複数の光源 a ～ c によって構成されており、ステップ S 1 3 では、これらの各光源 a ～ c の位置を推定する処理を行う。

[0074] (ステップ S 1 4)

次に、ステップS 1 4において、物体3 0の距離（デプス）計測処理を実行する。すなわち距離計測装置（カメラ）2 0から物体3 0までの距離を計測する。

なお、この処理に際して、クロック位相差、すなわち、センサクロックと光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセットCの算出処理を実行する。

これらステップのS 1 1～S 1 4の詳細処理については、後段で説明する。

[0075] なお、図1 1に示すフローは、本開示の距離計測装置（カメラ）2 0が実行する処理シーケンスの基本的なフローであるが、本開示の距離計測装置（カメラ）2 0は、この図1 1に示すフローに従った処理以外に、例えば図1 2（a）,（b）に示すようなシーケンスで、物体の距離（デプス）を算出することも可能である。

[0076] 図1 2（a）に示すフローは、ステップS 1 1～S 1 2は、図1 1に示すフローのステップS 1 1～S 1 2と同様の処理である。

図1 2（a）に示すフローは、ステップS 1 2におけるクロック周波数同期処理の後に、ステップS 2 1において、以下の処理を行う。

[0077] （ステップS 2 1）

ステップS 2 1において、光源ユニット1 0の位置姿勢を推定する処理と、物体までの距離、すなわち距離計測装置（カメラ）2 0から物体3 0までの距離の算出を併せて実行する。

このステップS 2 1の処理は、図1 1に示すフローのステップS 1 3の処理とステップS 1 4の処理を併せて実行する処理に相当する。

[0078] また、図1 2（b）に示すフローは、ステップS 1 1～S 1 3は、図1 1に示すフローのステップS 1 1～S 1 3と同様の処理である。

図1 2（b）に示すフローは、ステップS 1 3における光源ユニット1 0の位置姿勢を推定処理の後に、ステップS 3 1において、以下の処理を行う。

[0079] (ステップS 3 1)

ステップS 3 1において、クロック位相差、すなわちセンサクロックと光源クロックの位相差に基づくオフセットC、すなわち、クロック位相差に基づく距離計測誤差の値を適用して物体の距離（デプス）計測処理を実行する。

[0080] この図12（b）に示すフローに従った処理は、既にクロック位相差に基づくオフセットCが算出され、メモリに格納されている場合に実行されるフローである。

[0081] このように、本開示の距離計測装置（カメラ）20は、この図11に示すフローに従った処理以外に、例えば図12（a）、（b）に示すようなシーケンスで、物体の距離（デプス）を算出することも可能である。

これらの処理の詳細については、以下、説明する。

[0082] [4. フレーム同期処理について]

次に、図11に示すフローチャートを参照して説明したステップS 1 1のフレーム同期処理の詳細について説明する。フレーム同期処理は、距離計測装置（カメラ）20側で取得したフレームやコンポーネント各々に対する光源ユニット10側の発光タイミングを取得する処理である。

図13を参照して、この具体的な処理例について説明する。

[0083] 先に図9を参照して説明したように、光源ユニット10の3つの光源a～cは、基準クロックである光源ユニットクロックに対して同じ周波数、位相でタイミングを変更して順次発光する。さらに、どの光源が今、発光しているかを識別可能とするため、消灯期間が設けられている。消灯期間の後、光源a→b→cの順で発光させ、その後も所定の消灯期間の後、光源a→b→cの順での発光を繰り返す。

[0084] このように、時分割で各光源を順次点灯させる場合、距離計測装置（カメラ）20は、いつどの光源が発光したかを同定する必要がある。このために、光源ユニット10は、図13の下部に示すように、一定周期で消灯期間を交えて光源を順次点灯させる。

[0085] なお、距離計測装置（カメラ）20は、予め各光源の点灯時間や点灯順、消灯期間の長さについては確認済みであるとする。距離計測装置（カメラ）20は、まず撮影開始後、最初の消灯期間を検知する。一度、消灯期間が検知できれば、その後は、周期性（光源 a → b → c の順）を考慮することで今どの光源が点灯しているかを判定する。

図11に示すフローのステップS11のフレーム同期処理は、この処理であり、距離計測装置（カメラ）20が受光しているパルス光が光源ユニット10のどの広言の出力パルス光であるかを判定する処理である。

[0086] [5. 周波数同期処理について]

次に、図11に示すフローチャートを参照して説明したステップS12の周波数同期処理の詳細について説明する。

[0087] ステップS12の処理は、周波数同期処理である。この処理は、距離計測装置（カメラ）20側で利用するセンサクロックと、光源ユニット10側で利用する光源ユニットクロックの周波数のズレを確認して、周波数のズレを解消するように調整する処理である。この処理には、距離計測装置（カメラ）20が、光源ユニット10で利用しているクロックの周波数を推定する処理が必要となる。

[0088] この処理の具体例について、図14を参照して説明する。

この処理の目的は、図14に示す距離計測装置（カメラ）20側のセンサクロック（CLK2）を、光源ユニット10側の光源ユニットクロック（CLK1）に同期するように、距離計測装置（カメラ）20側のセンサクロック（CLK2）を調整することである。

[0089] 光源ユニット10には3つの光源 a ~ c があるが、これらはいずれも同じ光源ユニットクロック（CLK1）を利用しているので、どれか1つの光源の出力光を用いて調整すればよい。例えば光源 a の出力光を用いた処理例について説明する。

[0090] 図14に示すように光源ユニット10からの出力光（光源 a の出力光）を物体10に反射させて、距離計測装置（カメラ）20で受光する。

受光信号は、図14の右側の(a1)に示すコンポーネントからなるフレームである。すなわち、先に図3、図4を参照して説明したに蓄積位相を順次変更(0, 90, 180, 270度)したコンポーネントによって構成されるフレームである。

[0091] この4つのコンポーネントから構成されるフレームを時系列に複数、取得する。

ここで、距離計測装置(カメラ)20と、光源ユニット10と、物体30はいずれも動かない固定位置にあるものとする。

この場合、光源ユニット10の光源aの出力パルスと、距離計測装置(カメラ)20の受光パルスとの位相差 ϕ は、光源ユニット10～物体10～距離計測装置(カメラ)20、この経路を進む光の時間に応じた位相差となる。

[0092] 距離計測装置(カメラ)20と、光源ユニット10と、物体30はいずれも動かない固定位置にあり、かつ、距離計測装置(カメラ)20側のセンサクロック(CLK2)と、光源ユニット10側の光源ユニットクロック(CLK1)との周波数が一致していれば、図14の右側の(a21)に示すように、時系列に取得されるいずれのフレームにおいても、光源ユニット10の光源aの出力パルスと、距離計測装置(カメラ)20の受光パルスとの位相差 ϕ は不変となるはずである。

[0093] しかし、距離計測装置(カメラ)20側のセンサクロック(CLK2)と、光源ユニット10側の光源ユニットクロック(CLK1)との周波数が一致しない場合、すなわちズレが存在すると、図14の右側の(a22)に示すように、時系列に取得されるフレームの進行に従って、光源ユニット10の光源aの出力パルスと、距離計測装置(カメラ)20の受光パルスとの位相差 ϕ が変化してしまう。

[0094] 距離計測装置(カメラ)20は、図14(a22)に示すような観測データが得られた場合、距離計測装置(カメラ)20側のセンサクロック(CLK2)と、光源ユニット10側の光源ユニットクロック(CLK1)との周

波数にズレがあると判定し、このズレを解消させるためのセンサクロック調整処理を行う。

[0095] センサクロック調整処理の詳細シーケンスは以下の通りである。

まず、ズレのある2つのクロックの周波数を以下の f_L 、 f_S とする。

f_L : 光源ユニットクロック周波数

f_S : センサクロック周波数

とする。

[0096] このとき、2つのクロックのT秒間のクロックズレ量は、

$$(f_L - f_S) T$$

となる。

また、2つのクロックのT秒間のクロックの位相ズレ量は、

$$2\pi (f_L - f_S) T$$

となる。

[0097] さらに、単位時間（1秒）あたりの位相ズレ量（ $\Delta\phi$ ）は、

$$\Delta\phi = 2\pi (f_L - f_S)$$

となる。

この単位時間（1秒）あたりの位相ズレ量（ $\Delta\phi$ ）は、図14の（a21）、（a22）に示すグラフの傾きに相当する。

図14の（a21）、（a22）に示すデータは、距離計測装置（カメラ）20観測値として得られるデータである。すなわち、観測データに基づいて、単位時間（1秒）あたりの位相ズレ量（ $\Delta\phi$ ）が取得できる。

[0098] 観測データから得られる単位時間（1秒）あたりの位相ズレ量（ $\Delta\phi$ ）に基づいて上記式（ $\Delta\phi = 2\pi (f_L - f_S)$ ）に従って、2つのクロックの周波数差（ $f_L - f_S$ ）を以下の式に従って算出することができる。

$$(f_L - f_S) = (\Delta\phi / 2\pi)$$

[0099] 距離計測装置（カメラ）20は、上記式に従って算出された2つのクロックの周波数差に基づいて、センサクロックの周波数と光源ユニットクロックの周波数とのズレを解消または低減させる処理（周波数同期処理）を行う。

調整後の新たなセンサクロックの周波数 f'_s は以下の式によって得られる周波数である。

$$f'_s = f_s + (\Delta\phi / 2\pi)$$

[0100] このようにして、図 11 のフローのステップ S 12 の周波数同期処理、すなわち、距離計測装置（カメラ）20 側で利用するセンサクロックと、光源ユニット 10 側で利用する光源ユニットクロックの周波数ズレを確認して、周波数ズレを解消する調整処理が実行される。

[0101] 次に、図 15、図 16 を参照して、距離計測装置（カメラ）20 における周波数同期処理を実行する構成要素と、処理シーケンスについて説明する。

図 15 は、周波数同期処理の処理シーケンスを説明するフローチャートである。

図 16 は、先に図 10 を参照して説明した距離計測装置（カメラ）20 の構成と同様の構成図であり、周波数同期処理において利用される構成要素を太枠で示している。

[0102] 図 15 のフローチャートの各ステップの処理について、図 16 に示す構成図を参照しながら説明する。

（ステップ S 101）

まず、ステップ S 101 において、時刻 t において取得した 1 つのフレームに基づいて位相画像 $\phi(t, x)$ を計測する。

この処理は、図 16 に示す位相差算出部 204 が、ToF センサ 202 から入力する 1 つのフレームに基づいて実行する。

この処理は、先に図 14 を参照して説明した図 14（a 21）または（a 22）のフレーム 1 の時間 t における位相差 ϕ の取得処理に相当する。なお、 x は取得画像の画素位置を示す。

[0103] （ステップ S 102）

次に、ステップ S 102 において、時刻 $t + \Delta t$ において取得した 1 つのフレームに基づいて位相画像 $\phi(t + \Delta t, x)$ を計測する。

この処理も、図 16 に示す位相差算出部 204 が、ToF センサ 202 か

ら入力する1つのフレームに基づいて実行する。

[0104] (ステップS103)

次に、ステップS103において取得フレームに含まれる動被写体位置を検出する。

この処理は、図16に示す動被写体検知部203が実行する処理である。

[0105] 先に図14を参照して説明したように、この周波数同期処理においては、光源、物体、カメラ（ToFセンサ）の相対位置が固定されていることが必要であり、例えば物体が移動している場合、その移動物体による反射光を用いても正確な周波数同期処理を行うことができない。

ステップS103の処理は、このような動被写体の撮影画素を処理対象から除去するために行われる。

[0106] (ステップS104)

次に、ステップS104において、ステップS101～S102において取得した位相画像 $\phi(t, x)$ と位相画像 $\phi(t + \Delta t, x)$ を用いて、単位時間（1秒）あたりの位相ズレ量 $\Delta\phi(t, x)$ を以下の式に基づいて算出する。

$$\Delta\phi(t, x) = (\phi(t + \Delta t, x) - \phi(t, x)) / \Delta t$$

[0107] なお、前述したように、 x は取得画像の画素位置を示し、各画素位置について、単位時間（1秒）あたりの位相ズレ量 $\Delta\phi(t, x)$ を算出する。

この処理は、図16に示す位相差算出部204が実行する。なお、 x は取得画像の画素位置を示す。

[0108] (ステップS105)

次に、ステップS105において、ステップS101～S104の処理を複数フレームの繰り返し処理として規定回数分、完了したか否かを判定する。

規定回数に達していない場合は、ステップS101以下の処理を繰り返す。規定回数に達した場合は、ステップS106に進む。

[0109] (ステップS106)

次に、ステップS 1 0 6において、ステップS 1 0 4において算出した各画素単位の位相ズレ量 $\Delta \phi(t, x)$ から、動被写体位置の画素対応データを除去して、静止被写体対応の位相ズレ量 $\Delta \phi(t, x)$ の平均値を算出して、これを、単位時間（1秒）あたりの位相ズレ量（ $\Delta \phi$ ）とする。

この処理は、図16に示すクロックズレ量推定部210が実行する。

[0110] なお、動被写体画素対応データを含めないのは、前述したように物体が移動している場合、その移動物体による反射光を用いても正確な周波数同期処理を行うことができないからである。

[0111] （ステップS 1 0 7）

次に、ステップS 1 0 7において、現在のセンサクロック周波数 f_s を、光源ユニットクロックの周波数にほぼ一致させた新たな調整センサクロック周波数 f'_s を以下式に従って算出する。

$$f'_s = f_s + (\Delta \phi / 2\pi)$$

この処理は、図16に示すクロックズレ量推定部210が実行する。

[0112] （ステップS 1 0 8）

最後に、ステップS 1 0 8において、ステップS 1 0 7で算出した調整センサクロック周波数 f'_s を、センサクロックの周波数に設定する。

この処理は、図16に示すセンサクロック調整部211が実行する処理である。

[0113] このフローに立従った処理の結果、距離計測装置（カメラ）20側のセンサクロック（CLK2）と、光源ユニット10側の光源ユニットクロック（CLK1）との周波数のズレがほぼ解消される。

なお、本実施例では、距離計測装置（カメラ）20側にクロック調整部211を設けて光源ユニット10側の光源ユニットクロック（CLK1）と、距離計測装置（カメラ）20側のセンサクロック（CLK2）の周波数ズレを解消または減少させる構成としているが、例えば、光源ユニット10側にクロック調整部を設けて、光源ユニット10側で2つのクロック間の周波数のズレを解消または減少させるための調整を行う構成としてもよい。

[0114] [6. 光源ユニットの位置姿勢の算出処理の詳細と、光源ユニット位置姿勢算出処理に併せて距離算出を行う場合の具体的処理例について]

次に、図 1 1 に示すフローチャートを参照して説明したステップ S 1 3 の光源ユニットの位置姿勢の推定処理の詳細について説明する。

さらに、本項目では、図 1 2 (a) に示すフローチャートを参照して説明したステップ S 2 1 の処理、すなわち、光源ユニットの位置姿勢の推定と距離算出を併せて行う場合の処理の具体例についても併せて説明する。

[0115] 図 1 1 に示すフローのステップ S 1 3 の処理は、光源ユニット 1 0 の位置姿勢を推定する処理である。先に図 7 を参照して説明したように、光源ユニット 1 0 は、複数の光源 a ~ c によって構成されており、ステップ S 1 3 では、これらの各光源 a ~ c の 3 次元位置を推定する処理を行う。

[0116] また、図 1 2 (a) に示すフローのステップ S 2 1 の処理は、光源ユニット 1 0 の位置姿勢を推定する処理と、物体までの距離、すなわち距離計測装置 (カメラ) 2 0 から物体 3 0 までの距離の算出を併せて実行する処理である。

このステップ S 2 1 の処理は、図 1 1 に示すフローのステップ S 1 3 の処理とステップ S 1 4 の処理を併せて実行する処理に相当する。

[0117] これらの処理の具体例について、図 1 7 以下を参照して説明する。

図 1 7、図 1 8 は、光源ユニットの位置姿勢の推定処理の手順を説明する図である。なお、この光源ユニットの位置姿勢の推定処理は、以下の前提の下で実行される。

(a) 光源ユニットの座標系である光源座標系が定義されている、未定義の場合は定義する。

ただし光源座標系とカメラ座標系の相対位置は未知である。

(b) 光源ユニット内での各光源の相対位置は既知。

すなわち、光源座標系では各光源位置は既知。

(c) 光源ユニット全体はどこに配置されているかはわからない。

(d) 光源クロックとセンサクロックのクロック周波数はほぼ一致 (調整

完了済み)、またはズレが既知とする。

ただし、位相ズレは残っている。

[0118] これらの前提条件の下、光源ユニット 10 の位置姿勢推定処理、具体的には、光源ユニット 10 に備えられた複数の光源各々の 3 次元位置の推定処理を行う。

なお、この光源位置推定処理を実行するのは、図 10 に示す距離計測装置(カメラ) 20 の光源位置推定部 206 である。光源位置推定部 206 の詳細構成については、後段で図 20 を参照して説明する。

[0119] 光源位置推定部 206 は、まず、図 17 (1) に示す光源位置推定処理手順の前半の処理(ステップ S1)を実行する。

すなわち、(ステップ S1)において、光源ユニット 10 の各光源 a ~ c が発光するパルスの受光パルスに基づいて取得されるフレームを用いて距離(各光源 a ~ c から距離計測装置(カメラ) 20 間の距離)を算出する。

[0120] この各光源 a ~ c から距離計測装置(カメラ) 20 間の距離は、以下の(式 11)によって表される。

[0121] [数1]

$$Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_1) = |\vec{OD}| + |\vec{DE}_1| + C$$

$$Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_2) = |\vec{OD}| + |\vec{DE}_2| + C$$

$$Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_3) = |\vec{OD}| + |\vec{DE}_3| + C$$

・・・(式 11)

[0122] なお、上記(式 11)におけるベクトル表記パラメータ(各パラメータの上部に→を表記したパラメータ)は、ある 1 つの座標系、例えば光源座標系の原点からのベクトルを示す。また、上記(式 11)における各パラメータは以下の意味を有する。

Cは光源ユニット10と距離計測装置（カメラ）20のクロックの位相ズレに起因する計測距離誤差に相当するオフセット項、

$Obs(u_D, E_1)$ は、位置 E_1 に位置する光源aが発光したときに画素位置 u_D にて観測される距離、

$Obs(u_D, E_2)$ は、位置 E_2 に位置する光源bが発光したときに画素位置 u_D にて観測される距離、

$Obs(u_D, E_3)$ は、位置 E_3 に位置する光源cが発光したときに画素位置 u_D にて観測される距離、

$u_D = (u_D, v_D)$ は点Dが投影される画素位置

$|OD|$ は、距離計測装置（カメラ）20と物体30とを結ぶベクトルの大きさ（距離）。なお、Oは距離計測装置（カメラ）20の座標系であるカメラ座標系の原点である。Dは光源からの光の物体30における反射位置である。

$|DE_n|$ は、位置 E_n にある各光源と物体30における反射位置とを結ぶベクトルの大きさ（距離）

である。

なお、上記式の説明においてベクトル表記は省略している。なお、以下においても、明細書中の説明部分ではベクトル表記は省略して説明する。

[0123] このように、光源位置推定部206は、（ステップS1）において、光源ユニット10に装着された3つの光源a～cから距離計測装置（カメラ）20までの3つの距離算出式として、

（a）距離計測装置と物体間の距離データ $|OD|$ と、

（b）物体と各光源間の距離データ $|DE_n|$ と、

（c）センサクロックと光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセットC、

これら（a）～（c）のデータからなる3つの距離算出式を算出する。

[0124] 次に、光源位置推定部206は、図18（1）に示す光源位置推定処理手順の後半の処理（ステップS2～S3）を実行する。

すなわち、（ステップS 2）において、ステップS 1で算出した3つの各距離： $Obs(u_D, E_1)$ 、 $Obs(u_D, E_2)$ 、 $Obs(u_D, E_3)$ 、これらの各距離の差分の算出式からなる連立方程式を生成する。以下の（式1 2）に示す連立方程式である。

[0125] [数2]

$$\begin{aligned} Obs(\vec{u_D}, \vec{E_1}) - Obs(\vec{u_D}, \vec{E_2}) &= |\vec{DE_1}| - |\vec{DE_2}| \\ Obs(\vec{u_D}, \vec{E_2}) - Obs(\vec{u_D}, \vec{E_3}) &= |\vec{DE_2}| - |\vec{DE_3}| \\ Obs(\vec{u_D}, \vec{E_3}) - Obs(\vec{u_D}, \vec{E_1}) &= |\vec{DE_3}| - |\vec{DE_1}| \\ &\dots (式1 2) \end{aligned}$$

[0126] 次に、（ステップS 3）において、上記連立方程式を解いて、光源座標系での複数の被写体位置 L_{Dk} と、対応する画素位置 u_k を求める。

カメラ座標からみた各光源位置は未知であるため、この式をカメラ座標系でそのまま解くことはできない。しかし、光源座標系での各光源位置は既知であるため光源座標系であれば解くことができる。

[0127] 上記の（式1 2）に示す連立方程式を光源座標系を用いて解くことで、光源座標系での複数の被写体位置 L_{Dk} と、対応する画素位置 u_k を求めることができる。

なお、本例において、上記の複数の被写体位置 L_{Dk} には、例えば光源ユニット10の各光源a～cの位置 E_1 、 E_2 、 E_3 や、物体30の表面位置が含まれる。

[0128] なお、一般に、ある座標系での複数の点と、その点がカメラで投影される画素位置の対応関係がわかっているならば、その座標系とカメラ座標系の相対位置姿勢を求めることができる。

すなわち、いわゆるPnP（Perspective-n-Point Problem）問題を解くことで、光源座標系とカメラ座標系との相対関

係を導き、光源座標系での被写体位置をカメラ座標系に変換することができる。

[0129] この処理により、カメラ座標系における被写体位置 L_{Dk} と、対応する画素位置 u_k を求めることができ、光源 $a \sim c$ の撮影された画素位置から、各光源 $a \sim c$ の位置 E_1 , E_2 , E_3 や、物体30の表面位置をカメラ座標系で求めることが可能となる。物体30の表面位置をカメラ座標系で求めることで、物体30までの距離、すなわち、距離計測装置（カメラ）20と物体までの距離を算出することができる。

[0130] 次に、図19、図20を参照して、距離計測装置（カメラ）20の光源位置推定部206の詳細構成と、光源位置姿勢推定処理と被写体位置算出処理（＝距離算出処理）の処理シーケンスについて説明する。

図19は、光源位置姿勢推定処理と被写体位置算出処理（＝距離算出処理）の処理シーケンスを説明するフローチャートである。

図20は、先に図10を参照して説明した距離計測装置（カメラ）20の光源位置推定部206の詳細構成を示す図である。

[0131] 図19のフローチャートの各ステップの処理について、図20に示す構成図を参照しながら説明する。

（ステップS201）

まず、ステップS201において、光源ユニット10の光源 $a \sim c$ の1つの光源からの出力光、すなわち発光パルスの受光パルスに基づいて取得されるフレームを用いて距離（光源 $a \sim c$ から距離計測装置（カメラ）20間の距離）を算出する。

[0132] この各光源 $a \sim c$ から距離計測装置（カメラ）20間の距離は、先に説明した以下の（式11）によって表される。

[0133]

[数3]

$$Obs(\vec{u_D}, \vec{E_1}) = |\vec{OD}| + |\vec{DE_1}| + C$$

$$Obs(\vec{u_D}, \vec{E_2}) = |\vec{OD}| + |\vec{DE_2}| + C$$

$$Obs(\vec{u_D}, \vec{E_3}) = |\vec{OD}| + |\vec{DE_3}| + C$$

・・・(式11)

[0134] このように、光源位置推定部206は、ステップS201において、光源ユニット10に装着された3つの光源a～cから距離計測装置（カメラ）20までの3つの距離算出式として、

（a）距離計測装置と物体間の距離データ $|\vec{OD}|$ と、

（b）物体と各光源間の距離データ $|\vec{DE_n}|$ と、

（c）センサクロックと光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセットC、

これら（a）～（c）のデータからなる3つの距離算出式を算出する。

[0135] 図20は、距離計測装置（カメラ）20の光源位置推定部206の詳細構成を示す図である。位相画像メモリ1～3、205は、図10に示す位相画像メモリ205に対応する。図20では、各光源a～c対応の位相画像を格納したメモリとして個別に示している。

このステップS201の処理は、図20に示す位相－距離変換部251において実行される。

[0136] （ステップS202）

ステップS202は、すべての光源についての距離情報の取得が完了したか否かを判定するステップである。

すべての光源についての距離情報の取得が完了していない場合は、ステップS201に戻り、未処理の光源についての距離情報取得処理を実行する。

すべての光源についての距離情報取得を完了するとステップS203に進

む。

[0137] (ステップS203)

ステップS203では、複数の注目点（被写体）の光源座標系での位置と、その点の画像上での座標を求める処理を行う。

[0138] この処理は、先に説明した図18の（ステップS2～S3）の処理に対応する処理である。

すなわち、まず、（ステップS201）において算出した3つの各光源対応の距離： $Obs(u_D, E_1)$ 、 $Obs(u_D, E_2)$ 、 $Obs(u_D, E_3)$ 、これらの各距離の差分の算出式からなる連立方程式を生成する。先に説明した以下の（式12）に示す連立方程式である。

[0139] [数4]

$$Obs(\vec{u_D}, \vec{E_1}) - Obs(\vec{u_D}, \vec{E_2}) = |\vec{DE_1}| - |\vec{DE_2}|$$

$$Obs(\vec{u_D}, \vec{E_2}) - Obs(\vec{u_D}, \vec{E_3}) = |\vec{DE_2}| - |\vec{DE_3}|$$

$$Obs(\vec{u_D}, \vec{E_3}) - Obs(\vec{u_D}, \vec{E_1}) = |\vec{DE_3}| - |\vec{DE_1}|$$

・・・（式12）

[0140] なお、この差分算出処理は、図20に示す差分計算部252において実行される。

差分計算部252の算出した差分データは、被写体位置計算部253に出力され、被写体位置計算部253が、上記連立方程式を解いて、光源座標系での複数の被写体位置 L_{Dk} と、対応する画素位置 u_k を算出する。

[0141] 先に図18を参照して説明したように、カメラ座標からみた各光源位置は未知であるため、この式をカメラ座標系でそのまま解くことはできない。しかし、光源座標系での各光源位置は既知であるため光源座標系であれば解くことができる。

[0142] 上記の（式12）に示す連立方程式を、光源座標系を用いて解くことで、

光源座標系での複数の被写体位置 L_{Dk} と、対応する画素位置 u_k を求めることができる。

なお、本例において、複数の被写体位置 L_{Dk} には、例えば光源ユニット10の各光源 $a \sim c$ の位置 E_1 , E_2 , E_3 や、物体30の表面位置が含まれる。

[0143] (ステップS204～S205)

先に図18を参照して説明したように、一般に、ある座標系での複数の点と、その点がカメラで投影される画素位置の対応関係がわかっているならば、その座標系とカメラ座標系の相対位置姿勢を求めることができる。

[0144] まず、ステップS204において、PnP (Perspective-n-Point Problem) 問題を解くことで、光源座標系とカメラ座標系との相対関係を導く。

この処理は、図20に示す光源-カメラ位置関係推定部254が実行する。光源-カメラ位置関係推定部254は、光源座標系光源位置メモリ254に格納された光源座標系光源位置を取得して、PnP (Perspective-n-Point Problem) 問題を解くことで、光源座標系とカメラ座標系との相対関係を導き、結果をカメラ-光源座標系相対位置DB256に格納する。この情報は、座標変換部257に出力される。

[0145] 次に、ステップS205において、光源座標系での被写体位置をカメラ座標系に変換する。この処理は、座標変換部257において実行される。

これらの処理により、カメラ座標系における被写体位置 L_{Dk} と、対応する画素位置 u_k を求めることができ、光源 $a \sim c$ の撮影された画素位置から、各光源 $a \sim c$ の位置 E_1 , E_2 , E_3 や、物体30の表面位置をカメラ座標系で求めることで、物体30までの距離、すなわち、距離計測装置(カメラ)20と物体までの距離を算出することができる。

なお、この距離(デプス)算出処理を実行するのは、図10を参照して説明した距離計測装置(カメラ)20の距離(デプス)算出部220である。

[0146] [7. クロック位相差に基づくオフセット算出処理と、物体の距離(デプス)算出処理を行う場合の具体的処理例について]

次に、図 1 1 に示すフローチャートを参照して説明したステップ S 1 4 の処理、すなわち、クロック位相差に基づくオフセット算出処理と、物体の距離（デプス）算出処理を行う場合の具体的処理例について説明する。

[0147] 図 1 1 に示すフローのステップ S 1 4 の処理は、物体 3 0 の距離（デプス）の計測処理、すなわち距離計測装置（カメラ）2 0 から物体 3 0 までの距離を計測する処理である。さらに、この処理に際して、クロック位相差、すなわち、センサクロックと光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセット C の算出処理を実行する。

なお、この処理は光源ユニット 1 0 が 2 つの光源からなる構成であっても実行可能な処理である。すなわち光源ユニット 1 0 は 2 つ以上の複数の光源を備えていればよい。

[0148] この処理の具体例について、図 2 1 以下を参照して説明する。

光源ユニット 1 0 側のクロックと、距離計測装置（カメラ）2 0 側のクロックとの位相差算出処理は、以下の前提の下で実行される。

（a）光源ユニット 1 0 の各光源位置は、カメラ座標系で既知である。

（b）光源ユニット 1 0 の光源ユニットクロックと、距離計測装置（カメラ）2 0 側のセンサクロックの周波数はほぼ一致、または推定されている。

[0149] これらの前提条件の下、距離計測装置（カメラ）2 0 側のクロックとの位相差算出処理を実行し、さらに、物体 3 0 等の被写体距離の算出を行う。

なお、クロック位相差算出処理を実行するのは、図 1 0 に示す距離計測装置（カメラ）2 0 のクロック位相差（光源クロックオフセット）算出部 2 0 8 であり、距離算出を行うのは、距離（デプス）算出部 2 2 0 である。

[0150] なお、クロック位相差（光源クロックオフセット）算出部 2 0 8 は、距離計測装置（カメラ）2 0 側のクロックとの位相差、または、位相差に基づく距離計測誤差に相当するオフセット C を算出する。距離（デプス）算出部 2 2 0 は、このオフセット C を適用して物体 3 0 までの距離を算出する。

[0151] オフセット C は、センサクロック 2 0 1 と光源ユニットクロック 1 0 1 の位相差に基づく距離算出時の誤差量に相当するオフセット C であり、先に図

17を参照して説明した（ステップS1）で利用した式11のオフセットCと同様の値である。

[0152] 距離計測装置（カメラ）20側のクロックとの位相差算出処理と、物体30等の被写体距離算出処理は、光源ユニット10の2つの光源からの発光パルスのみを用いて実行することができる。

前述したように、この処理は光源ユニット10が3つの光源を有することなく、2つの光源のみの構成であっても実行可能な処理である。

[0153] 図21には、光源ユニット10の2つの光源a, bのみを示している。

光源a, bは位置E₁に位置する光源aと、位置E₂に位置する光源bである。なお、位置は、図21に示す距離計測装置（カメラ）20の位置に原点Oを持つカメラ座標系で取得されているものとする。

[0154] 図21右側には、クロック位相差（光源クロックオフセット）算出部208と距離（デプス）算出部220の実行する（1）距離（デプス）算出処理の概要を示している。

まず、（ステップS1）において、光源ユニット10の2つの光源a, bが発光するパルスの受光パルスに基づいて取得されるフレームを用いて距離（各光源a, bから距離計測装置（カメラ）20間の距離）を算出する。

[0155] この各光源a, bから距離計測装置（カメラ）20間の距離は、以下の（式21）によって表される。

[0156] [数5]

$$Obs(\overrightarrow{u_D}, \overrightarrow{E_1}) = |\overrightarrow{OD}| + |\overrightarrow{DE_1}| + C$$

$$Obs(\overrightarrow{u_D}, \overrightarrow{E_2}) = |\overrightarrow{OD}| + |\overrightarrow{DE_2}| + C$$

・・・(式21)

[0157] なお、上記（式21）におけるベクトル表記パラメータ（各パラメータの上部に→を表記したパラメータ）は、ある1つの座標系、例えばカメラ座標

系の原点からのベクトルを示す。また、上記（式 2 1）における各パラメータは以下の意味を有する。

C は光源ユニット 1 0 と距離計測装置（カメラ）2 0 のクロックの位相ズレに起因する計測距離誤差に相当するオフセット項、

$Obs(u_D, E_1)$ は、位置 E_1 に位置する光源 a が発光したときに画素位置 u_D にて観測される距離、

$Obs(u_D, E_2)$ は、位置 E_2 に位置する光源 b が発光したときに画素位置 u_D にて観測される距離、

$u_D = (u_D, v_D)$ は点 D が投影される画素位置

$|OD|$ は、距離計測装置（カメラ）2 0 と物体 3 0 とを結ぶベクトルの大きさ（距離）。なお、 O は距離計測装置（カメラ）2 0 の座標系であるカメラ座標系の原点である。 D は光源からの光の物体 3 0 における反射位置である。

$|DE_n|$ は、位置 E_n にある各光源と物体 3 0 における反射位置とを結ぶベクトルの大きさ（距離）

である。

なお、上記式の説明においてベクトル表記は省略している。

[0158] このように、距離（デプス）算出部 2 2 0 は、（ステップ S_1 ）において、光源ユニット 1 0 に装着された 2 つの光源 $a \sim b$ から距離計測装置（カメラ）2 0 までの 2 つの距離算出式として、

（a）距離計測装置と物体間の距離データ $|OD|$ と、

（b）物体と各光源間の距離データ $|DE_n|$ と、

（c）センサクロックと光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセット C 、

これら（a）～（c）のデータからなる 2 つの距離算出式を算出する。

[0159] 次に、（ステップ S_2 ）において、ステップ S_1 で算出した 2 つの各距離： $Obs(u_D, E_1)$ 、 $Obs(u_D, E_2)$ 、これらの距離の差分の算出式を生成する。以下の（式 2 2）に示す差分算出式である。

[0160] [数6]

$$Obs(\overrightarrow{u_D}, \overrightarrow{E_1}) - Obs(\overrightarrow{u_D}, \overrightarrow{E_2}) = |\overrightarrow{DE_1}| - |\overrightarrow{DE_2}|$$

・・・(式22)

[0161] この差分算出式を生成することで、(ステップS1)において生成した距離算出式に含まれるオフセット項C、すなわち、光源ユニット10と距離計測装置(カメラ)20のクロックの位相ズレに起因する計測距離誤差に相当するオフセット項Cを消去できる。

[0162] 次に、(ステップS3)において、物体30までの距離、すなわち、距離計測装置(カメラ)20と物体30との距離Dを算出する。

この処理においては、まず、距離計測装置(カメラ)20の原点Oから、物体30の表面DまでのベクトルOD方向の単位ベクトルdを求めて、以下の(式23)を生成する。

[0163] [数7]

$$\overrightarrow{OD} = D\vec{d}$$

・・・(式23)

[0164] この(式23)は、距離計測装置(カメラ)20から物体30を結ぶ直線方程式である。

このように、距離(デプス)算出部220は、(ステップS3)において、

(d) 距離計測装置(カメラ)20と物体30間を結ぶ直線方程式を生成する。

[0165] 次に、この(式23)と、先に(ステップS2)で生成した距離の差分算

出式（式 2 2）を用いて、物体 3 0 の表面 D の位置（ x ， y ， z ）を算出し、この位置（ x ， y ， z ）に基づいて距離 D を算出する。

[0166] ステップ S 1 ～ S 3 の処理をまとめると以下の処理となる。

距離（デプス）算出部 2 2 0 は、（ステップ S 1）において、光源ユニット 1 0 に装着された少なくとも 2 つの光源から距離計測装置（カメラ） 2 0 までの 2 つの距離算出式として、

（a）前記距離計測装置と前記物体間の距離データと、

（b）前記物体と、前記光源ユニットの各光源間の距離データと、

（c）前記センサクロックと前記光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセット C、

これら（a）～（c）のデータからなる 2 つの距離算出式を生成する。

さらに、（ステップ S 2）において、距離算出式各々の差分を算出する 1 つの差分算出式を生成する。

[0167] さらに、（ステップ S 3）において、

（d）前記距離計測装置と前記物体間を結ぶ直線方程式を生成し、

差分算出式と、直線方程式を連立方程式として解いて、距離計測装置（カメラ） 2 0 と物体 3 0 との距離を算出する

[0168] この処理について、図 2 2 を参照して説明する。

（ステップ S 2）で生成した距離の差分算出式（式 2 2）は、光源 a，b の位置 E_1 と位置 E_2 を焦点とする二葉双曲面の片側を示す方程式に相当する。本稿では以下簡単のため単に双曲面と記述する。

一方、（ステップ S 3）で生成した（式 2 3）は、距離計測装置（カメラ） 2 0 の原点 O と、物体 3 0 の表面 D を結ぶ直線を示す方程式に相当する。

[0169] 図 2 2（A）に示すように、

双曲面の方程式に相当する差分算出式（式 2 2）と、

直線方程式に相当する（式 2 3）、

これら 2 つの式を連立方程式として解くと、図 2 2（B 1）に示すように、2 つの式を満たす点、すなわち交点が算出できる。

図 2 2 (B 1) に示すように、この交点は、物体 3 0 の表面の位置 D の位置 (x , y , z) となる。

[0170] このように、双曲面の方程式に相当する差分算出式 (式 2 2) と、直線方程式に相当する (式 2 3) 、

これら 2 つの式を連立方程式として解くことで、物体 3 0 の表面 D の位置 (x , y , z) を算出することが可能となる。この位置 (x , y , z) はカメラ座標系の位置を示す座標であり、この位置 (x , y , z) に基づいて、カメラ座標系の原点 O からの距離 D を算出することができる。

[0171] なお、図 2 2 (B 2) に示すように、双曲面の方程式に相当する差分算出式 (式 2 2) と、直線方程式に相当する (式 2 3) による交点が 2 つ検出されてしまう可能性があり、一般的にはどちらが真の位置か特定することは出来ない。しかしこの問題はカメラ、光源の相対位置を変えることでできる (後述)。あるいは、各点光源に遮光板等をつけ、カメラ方向 (あるいはカメラと逆方向) にのみ投光することで、重解のうちどちらが真の位置か特定することができる。

[0172] なお、一般的にある点 A、点 B から点 P の距離を $|AP|$ 、 $|BP|$ としたとき、 $|AP| - |BP|$ が一定となる点 P の集合は双曲面の一部となる。すなわち、前述の差分算出式 (式 2 2) は双曲面の一部を示す式となる。

例えば、図 2 3 に示すように点 A の座標を (0 , 0 , c)、点 B (0 , 0 , - c)、 $|AP| - |BP| = 2e$ とすると点 P は、下記 (式 2 4) を満たす。

[0173] [数 8]

$$\frac{1}{c^2 - e^2} x^2 + \frac{1}{c^2 - e^2} y^2 - \frac{1}{e^2} z^2 = -1$$

・・・ (式 2 4)

[0174] なお、上記 (式 2 4) が表す図形は、図 2 3 の双曲面を示す図中の + z 方

向と $-z$ 方向の2つの曲面に分かれるが、これは $|AP| - |BP| = -2e$ となる場合も同じ上記（式24）が得られるためであり、 $|AP| - |BP|$ の符号が分かって入ればどちらか片方に特定される。

前述の差分算出式（式22）も、この問題と同等であるため、（式22）が表す図形は、（二葉）双曲面の片側となる。

[0175] このように、距離（デプス）算出部220は、双曲面の方程式に相当する差分算出式（式22）と、直線方程式に相当する（式23）、これら2つの式を連立方程式として解き、物体30の表面Dの位置（ x , y , z ）を算出し、さらに、算出した位置（ x , y , z ）に基づいて、カメラ座標系の原点Oからの距離Dを算出する。

[0176] 次に、図24、図25を参照して、距離計測装置（カメラ）20のクロック位相差（光源クロックオフセット）算出部208と距離（デプス）算出部220の詳細構成と、クロック位相差算出処理と被写体位置算出処理（＝距離算出処理）の処理シーケンスについて説明する。

図24は、クロック位相差算出処理と被写体位置算出処理（＝距離算出処理）の処理シーケンスを説明するフローチャートである。

図25は、先に図10を参照して説明した距離計測装置（カメラ）20のクロック位相差（光源クロックオフセット）算出部208と距離（デプス）算出部220の詳細構成を示す図である。

[0177] 図25に示す構成中、クロック位相差（光源クロックオフセット）算出部208以外の位相－距離変換部271～被写体位置計算部275の構成は、距離（デプス）算出部220の構成要素である。内部パラメータメモリ273は、距離（デプス）算出部220がアクセス可能な距離計測装置（カメラ）20内のメモリであり、例えば事前に実行されるカメラのキャリブレーション処理によって得られたカメラパラメータ等が格納されている。

[0178] 図24のフローチャートの各ステップの処理について、図25に示す構成図を参照しながら説明する。

（ステップS301）

まず、ステップS301において、光源ユニット10の2つの光源a, b
いずれか1つの光源からの出力光、すなわち発光パルスの受光パルスに基づ
いて取得されるフレームを用いて距離（光源から距離計測装置（カメラ）2
0間の距離）を算出する。

[0179] このステップS301の処理は、図25に示す位相－距離変換部271に
おいて実行される。

[0180] （ステップS302）

ステップS302は、2つの光源についての距離情報の取得が完了したか
否かを判定するステップである。

2つの光源についての距離情報の取得が完了していない場合は、ステップ
S301に戻り、未処理の光源についての距離情報取得処理を実行する。

2つの光源についての距離情報取得を完了するとステップS303に進む
。

[0181] このステップS302の処理において2つの光源の距離情報取得完了と判
断された場合は、2つの光源から距離計測装置（カメラ）20間の距離算出
式として、先に説明した以下の（式21）によって表される式の距離情報が
取得されたことになる。

[0182] [数9]

$$Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_1) = |\vec{OD}| + |\vec{DE}_1| + C$$

$$Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_2) = |\vec{OD}| + |\vec{DE}_2| + C$$

・・・（式21）

[0183] 図25は、距離計測装置（カメラ）20のクロック位相差（光源クロック
オフセット）算出部208と距離（デプス）算出部220の詳細構成を示す
図である。位相画像メモリ1～2、205は、図10に示す位相画像メモリ
205に対応する。図25では、各光源a, b対応の位相画像を格納したメ

モリとして個別に示している。

[0184] (ステップS303)

次に、(ステップS301)において算出した2つの各光源対応の距離：
Obs(u_D, E_1)、Obs(u_D, E_2)、これらの各距離の差分算出式を
生成する。先に説明した以下の(式22)に示す差分算出式である。

[0185] [数10]

$$Obs(\overrightarrow{u_D}, \overrightarrow{E_1}) - Obs(\overrightarrow{u_D}, \overrightarrow{E_2}) = |\overrightarrow{DE_1}| - |\overrightarrow{DE_2}|$$

・・・(式22)

[0186] なお、この差分算出処理は、図25に示す差分計算部272において実行される。

差分計算部272の算出した差分データは、被写体位置計算部275に出力される。

[0187] (ステップS304)

次に、ステップS304において、既知条件、既知パラメータを用いて、
ステップS303で生成した差分算出式を満たす双曲面方程式を生成する。

[0188] 先に説明したように前述の差分算出式(式22)は双曲面の一部を示す式となる。すなわち、図23に示すように点Aの座標を(0, 0, c)、
点B(0, 0, -c)、 $|AP| - |BP| = 2e$ とすると点Pは、先に説明した(式24)を満たし、(式24)が表す図形は、図23の双曲面を示す図中の+z方向と-z方向の2つの曲面に分かれる。

これは $|AP| - |BP| = -2e$ となる場合も同じ上記(式24)が得られるためであり、 $|AP| - |BP|$ の符号が分かって入ればどちらか片方に特定される。

前述の差分算出式(式22)も、この問題と同等であるため、(式22)

が表す図形は、（二葉）双曲面の片側となる。

ステップS304では、上記の既知条件、既知パラメータを用いて、ステップS303で生成した差分算出式を満たす双曲面方程式を生成する。

この処理は、図25に示す被写体位置計算部275が実行する。

[0189] （ステップS305）

次に、ステップS305において、既知条件、既知パラメータを用いて、距離計測装置（カメラ）20から、物体30の表面DまでのベクトルOD方向の単位ベクトルdを求めて、単位ベクトルdを含む直線方程式、すなわち、先に説明した（式23）に示す直線方程式を生成する。

なお、一般的に、ある空間上の点（x，y，z）が、カメラ上に投影される画素位置を（u，v）とすると、これらの位置関係は以下の（式25）のように定義される。

[0190] [数11]

$$u = f \frac{x}{z} + c_u$$

$$v = f \frac{y}{z} + c_v$$

・・・（式25）

[0191] なお、f，c_v，c_uは、予め求めることができるレンズのパラメータ（内部パラメータ）であり、図25に示す内部パラメータメモリ273に格納されている。

[0192] 一方、カメラ上に投影される画素位置（u，v）が与えられれば、その画素位置が観察している視線方向（視線ベクトル）を推定することができる。すなわち、以下の（式26）が成立する。

[0193]

[数12]

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \propto \begin{pmatrix} \frac{u - c_u}{f} \\ \frac{v - c_v}{f} \\ 1 \end{pmatrix}$$

・・・(式26)

[0194] 上記の(式26)を解くことで、ベクトルOD方向の視線ベクトルに相当する単位ベクトルdを求めることができる。

この処理によって、距離計測装置(カメラ)20から、物体30の表面DまでのベクトルOD方向の単位ベクトルdを求めて、単位ベクトルdを含む直線方程式、すなわち、以下に示す先に説明した(式23)に示す直線方程式を生成する。

[0195] [数13]

$$\overrightarrow{OD} = D\vec{d}$$

・・・(式23)

[0196] なお、この処理は、図25に示す視線ベクトル算出部274と、被写体位置計算部275において実行される。

[0197] (ステップS306)

最後に、ステップS306において、ステップS303～S304で生成した双曲面方程式と、ステップS305で生成した直線方程式からなる連立方程式を解き、双曲面と直線との交点位置を算出し、算出した交点位置に基づいて、距離計測装置(カメラ)20から、物体30の表面までの距離Dを算出する。

[0198] この処理は、先に図22を参照して説明した双曲面と直線との交点位置の

算出処理である。すなわち、双曲面の方程式に相当する差分算出式（式 2 2）と、直線方程式に相当する（式 2 3）、これら 2 つの式から構成される以下の連立方程式を取得する処理である。

[0199] [数14]

$$Obs(\overrightarrow{u_D}, \overrightarrow{E_1}) - Obs(\overrightarrow{u_D}, \overrightarrow{E_2}) = |\overrightarrow{DE_1}| - |\overrightarrow{DE_2}|$$

・・・ (式 2 2)

$$\overrightarrow{OD} = D\vec{d}$$

・・・ (式 2 3)

[0200] 上記の連立方程式として解くことで、物体 30 の表面 D の位置（x， y， z）を算出する。この位置（x， y， z）はカメラ座標系の位置を示す座標であり、この位置（x， y， z）に基づいて、カメラ座標系の原点 O からの距離 D を算出することができる。

[0201] このステップ S 306 の処理は、図 25 に示す被写体位置計算部 275 において実行される。

このようにして、物体 30 までの距離を算出することができる。

[0202] なお、フローには示していないが、この距離算出処理に際して、図 25 に示すクロック位相差（光源クロックオフセット）算出部 208 は、さらに、ステップ S 301 ～ S 302 において生成した距離算出式、すなわち、以下の（式 2 1）の距離算出式に含まれるオフセット C、すなわち、センサクロックと光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差の値を算出して、クロック位相差（光源クロックオフセット）メモリ 209 に格納する。

[0203]

[数15]

$$Obs(\overrightarrow{u_D}, \overrightarrow{E_1}) = |\overrightarrow{OD}| + |\overrightarrow{DE_1}| + C$$

$$Obs(\overrightarrow{u_D}, \overrightarrow{E_2}) = |\overrightarrow{OD}| + |\overrightarrow{DE_2}| + C$$

・・・(式21)

[0204] オフセットCの値は固定的な値であるので、その後の距離算出処理において利用可能となる。

なお、物体30の位置や距離は、図24に示すフローに従った処理によって算出済みであり、また、光源位置も取得済みであるので、これらの値から、上記(式21)の距離算出式を用いてオフセットCの値を算出することができる。

なお、オフセットCの値が算出できれば、オフセットCの値に基づいてセンサクロックと光源クロックの位相差も算出可能であり、算出した位相差を、オフセットCの値とともに、クロック位相差(光源クロックオフセット)メモリ209に格納する構成としてもよい。

[0205] [8. 光源位置、光源クロックオフセットが既知の場合に、物体の距離(デプス)を算出する処理の具体例について]

次に、光源位置、光源クロックオフセットが既知の場合に、物体の距離(デプス)を算出する処理の具体例について説明する。

[0206] この処理は、図12(b)に示すフローチャートのステップS31の処理に相当する。

図12(b)に示すフローのステップS31の処理は、クロック位相差、すなわちセンサクロックと光源クロックの位相差に基づくオフセットC、すなわち、クロック位相差に基づく距離計測誤差の値を適用して物体の距離(

デプス)を計測する処理である。先に説明したように、この図12(b)に示すフローに従った処理は、既にクロック位相差に基づくオフセットCが算出され、メモリに格納されている場合に実行されるフローである。

[0207] すなわち、例えば、前述した図21～図25を参照して説明した処理において、クロック位相差(光源クロックオフセット)算出部208が、オフセットCの値をクロック位相差(光源クロックオフセット)メモリ209に格納した後に行われる距離算出処理である。

なお、先に説明したように、オフセットCは、センサクロックと光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差の値に相当する。

[0208] この処理の具体例について、図26以下を参照して説明する。

この処理では、距離(デプス)算出部220が、図26の右側に示す2つの式の連立方程式を解くことで、物体30までの距離を算出する。

すなわち、以下の(式31)に示す連立方程式である。

[0209] [数16]

$$Obs(\overrightarrow{u_D}, \overrightarrow{E_1}) = |\overrightarrow{OD}| + |\overrightarrow{DE_1}| + C$$

$$\overrightarrow{OD} = D\vec{d}$$

・・・(式31)

[0210] 上記(式31)の連立方程式は、光源aから距離計測装置(カメラ)20間の距離算出式と、距離計測装置(カメラ)20から物体30表面までのベクトルOD方向の単位ベクトルdを含む直線方程式の2つの式によって構成される。

[0211] 光源aから距離計測装置(カメラ)20間の距離算出式は、先に説明した(式11)や(式21)に含まれる式と同じであり、

$Obs(u_D, E_1)$ は、位置 E_1 に位置する光源 a が発光したときに画素位置 u_D にて観測される距離、

$u_D = (u_D, v_D)$ は点 D が投影される画素位置

また、 C は、オフセット項であり、センサクロックと光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差の値に相当する。本処理例において、このオフセット C の値は既知である。

単位ベクトル d を含む直線方程式は、先に説明した（式 23）と同じ式である。

[0212] 図 27 は、この処理を実行する距離（デプス）算出部 220 の詳細構成を示す図である。図 27 を参照して、これらの連立方程式の生成処理と、連立方程式を解いて物体 30 までの距離を算出する距離（デプス）算出部 220 の実行する処理について説明する。

[0213] まず、位相－距離変換部 282 が、光源ユニット 10 の 1 つの光源 a からの出力光、すなわち発光パルスの受光パルスに基づいて取得されるフレームを用いて距離（光源から距離計測装置（カメラ）20 間の距離）を算出する。

この算出式が、上記（式 31）の $Obs(u_D, E_1)$ を算出する距離算出式である。なお、この距離算出式に含まれるオフセット C は、センサクロックと光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差の値であり、図 27 に示すクロック位相差（光源クロックオフセット）メモリ 209 に格納された既知の値である。

[0214] 一方、視線ベクトル算出部 281 と被写体位置計算部 283 は、既知条件、既知パラメータを用いて、距離計測装置（カメラ）20 から、物体 30 の表面 D までのベクトル OD 方向の単位ベクトル d を求めて、単位ベクトル d を含む直線方程式、すなわち、上記の（式 31）に含まれる直線方程式を生成する。

[0215] この処理は、先に図 24 を参照して説明したフローのステップ S305 の処理と同じ処理である。

[0216] 次に、被写体位置計算部 283 は、位相－距離変換部 282 が生成した距離算出式と、単位ベクトル d を含む直線方程式から構成される連立方程式、すなわち、上述した（式 31）の連立方程式を解いて、物体 30 の表面 D の 3 次元位置を求めて、カメラ座標系の原点 O からの距離 D を算出する。なお、これらの処理において利用する光源位置情報は、光源ユニット位置姿勢メモリ 207 から取得し、オフセット C の値は、クロック位相差（光源クロックオフセット）メモリ 209 から取得する。

[0217] [9. 双曲面方程式と直線方程式との連立方程式の解に重解を発生させない構成について]

次に、双曲面方程式と直線方程式との連立方程式の解に重解を発生させない構成について説明する。

[0218] 先に図 22 を参照して説明したように、物体 30 の距離を求めるための処理として、以下の連立方程式を解いて、双曲面と直線との交点を算出する処理について説明した。

[0219] [数 17]

$$Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_1) - Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_2) = |\overrightarrow{DE_1}| - |\overrightarrow{DE_2}|$$

・・・(式 22)

$$\overrightarrow{OD} = D\vec{d}$$

・・・(式 23)

[0220] すなわち、2つの光源からの距離算出式の差分算出式である（式 22）と、距離計測装置（カメラ）20 から物体 30 を結ぶ直線方程式、すなわち、距離計測装置（カメラ）20 の原点 O から、物体 30 の表面 D までのベクトル OD 方向の単位ベクトル d を含む直線方程式である（式 23）によって構成される連立方程式である。

[0221] 先に図 2 2 を参照して説明したように、双曲面の方程式に相当する差分算出式（式 2 2）と、

直線方程式に相当する（式 2 3）、

これら 2 つの式を連立方程式として解くと、図 2 2（B 1）に示すように、2 つの式を満たす点、すなわち交点が算出できる。

図 2 2（B 1）に示すように、この交点は、物体 3 0 の表面の位置 D の位置（ x ， y ， z ）となる。

[0222] このように 2 つの式を連立方程式として解くことで、物体 3 0 の表面 D の位置（ x ， y ， z ）を算出することが可能となる。この位置（ x ， y ， z ）はカメラ座標系の位置を示す座標であり、この位置（ x ， y ， z ）に基づいて、カメラ座標系の原点 O からの距離 D を算出することができる。

[0223] しかし、図 2 2（B 2）に示すように、双曲面の方程式に相当する差分算出式（式 2 2）と、直線方程式に相当する（式 2 3）による交点が 2 つ検出されてしまう、すなわち連立方程式に複数の解、いわゆる重解が発生する可能性がある。

以下では、このような重解が発生させないための被写体、すなわち距離計測対象となる物体の配置制限について説明する。

[0224] 図 2 8 は、重解が発生させないための物体 3 0 の配置制限例の一例を示す図である。

図 2 8 に示すように、予め被写体、すなわち距離計測対象となる物体の物体（被写体）存在許容領域 3 0 1 を規定する。

[0225] 次に、この物体（被写体）存在許容領域 3 0 1 の端点に接する双曲面 3 0 2 を求める。この際、双曲面 3 0 2 が物体（被写体）存在許容領域 3 0 1 の端点に接し、かつ以下の式（式 4 1）によって定義される k の絶対値が最大値となる面を算出する。

[0226]

[数18]

$$|\overrightarrow{DE_1}| - |\overrightarrow{DE_2}| = k$$

・・・(式41)

[0227] 上記(式41)によって算出される値kは、物体30と光源aとの距離と、物体30と光源bとの距離の差分に相当する。

この条件で定義される双曲面の内側領域にカメラ、すなわち、図に示すような位置に距離計測装置(カメラ)20を配置する。

このような設定とすることで、双曲面の方程式に相当する差分算出式(式22)と、直線方程式に相当する(式23)との連立方程式に重解が発生しない、すなわち、交点が2つ検出されることのない設定とすることができる。

[0228] 図29は、連立方程式に重解を発生させないための図28と異なる条件設定例である。

図29に示す例は、光源a、bとカメラ、すなわち距離計測装置(カメラ)20を以下の条件を満たす配置とする配置制限例である。

(条件A) 光源a、bとカメラ、すなわち距離計測装置(カメラ)20を一直線上に並べる。

(条件B) 距離計測装置(カメラ)20の光軸(撮影方向)を上記直線から傾ける。

[0229] これらの条件A、Bを満足するように光源と距離計測装置(カメラ)20を配置することで、双曲面の方程式に相当する差分算出式(式22)と、直線方程式に相当する(式23)との連立方程式に重解が発生しない、すなわち、交点が2つ検出されることのない設定とすることができる。

例えば図 29 に示す物体（被写体）存在許容領域 303 に距離計測対象となる物体 30 を配置することができる。

[0230] [10. 複数の光源ユニットを利用した構成例について]

次に、複数の光源ユニットを利用した構成例について説明する。本開示の距離計測システムの特徴として、光源ユニットを距離計測装置（カメラ）と独立した構成とすることができるという特徴がある。

[0231] すなわち、図 30 に示すように、光源ユニット 10 は、距離計測装置（カメラ）20 と異なるクロックによって制御されており、光源ユニットを距離計測装置（カメラ）と独立した構成とすることができ、光源ユニット 10 は、任意の位置に置くことが可能となる。

[0232] この結果、光源ユニット 10 を、距離計測対象とする物体 30 の近くに置くことが可能となり、光源ユニット 10 の各光源の光が物体 30 表面に反射して距離計測装置（カメラ）20 のセンサ（ToF センサ）に入力するまでの光路を短くすることができる。この構成により、距離計測装置（カメラ）20 のセンサ（ToF センサ）は強度の高い光を入力することが可能となり、検出精度を向上させることができる。

[0233] なお、光源ユニット 10 の各光源 a～c からの光は、それぞれ干渉することなく距離計測装置（カメラ）20 に届くように制御される。このため、例えば、以下のような光源の駆動制御を行う。

（a）各光源を時分割で駆動する

（b）各光源の発光周波数を異なる設定とする。例えば、各光源の発光周波数をクロック周波数の 1 倍、2 倍、3 倍などのように異なる設定とする。

（c）各光源の使用する波長を変える。例えば、850 nm, 905 nm, 940 nm 等の異なる波長光を利用する。

[0234] このような特徴を利用して、例えば、図 31 に示すような構成とすることで、例えば、広い空間に配置された様々な物体についての距離計測可能な構成を実現することができる。

すなわち、図 31 に示すように、複数の光源ユニット U1～U3 を数珠つ

なぎに連結して、それぞれを同期用配線で接続し、1つのクロックによって発光制御を行う。

[0235] 光源ユニットU1～U3は同期用配線で接続されており、1つのクロックによって規定されるタイミングで発光制御がなされる。

しかし、各ユニットの光源a～iは、それぞれ干渉することなく距離計測装置（カメラ）20に届くように制御される。具体的には、上述したように、例えば、以下のような光源の駆動制御を行う。

（a）各光源を時分割で駆動する

（b）各光源の発光周波数を異なる設定とする。例えば、各光源の発光周波数をクロック周波数の1倍、2倍、3倍などのように異なる設定とする。

（c）各光源の使用する波長を変える。例えば、850nm，905nm，940nm等の異なる波長光を利用する。

[0236] このような構成とすることで、色い空間に置かれた様々な物体の距離を正確に計測することができる。具体的利用例を図32に示す。

図32は、例えば倉庫の棚に複数の光源ユニットを配置したものである。各光源ユニットは同期用配線で接続され、1つのクロックで制御される。

[0237] 各棚には、それぞれ異なる品物が置かれ、光源からの光は、それぞれの品物の表面で反射し、距離計測装置（カメラ）20のToFセンサに入力される。ToFセンサは、入力光中、最も高強度の光に基づいて距離算出を行う。このような構成とすることで、広い空間内の様々な位置の物体の距離を高精度に計測することができる。

[0238] [11. 本開示の距離計測システムのその他の利用例について]

次に本開示の距離計測システムのその他の利用例について説明する。

図33は、車両内部に、光源ユニット10と、距離計測装置（カメラ）20を装着した構成である。

この装置は、例えばドライバの姿勢等を検出することを可能とした装置である。

例えば、突然の病気の発生により、ドライバがハンドルにもたれかかった

ような姿勢になった場合に車両を緊急停止させるといった用途に利用可能である

[0239] 光源ユニット 10 の出力光をドライバの頭部等に照射し、その反射光を距離計測装置（カメラ）20 によって撮影してドライバの姿勢を検知し、通常の運転姿勢と異なる姿勢が検出された場合に、警報を出力する、あるいは車両を緊急停止させるといった処置を行うことができる。

[0240] 図 34 は、リビングルームにいるユーザが HMD（Head Mount Display）を装着して VR（Virtual Reality）画像を見ながらゲームを楽しんでいる設定である。

HMD には、現実のカメラによる撮影映像と、例えばアニメーション等の仮想画像が併せて表示されることになる。

アニメーション等の画像は、現実の撮影画像に存在する様々な物体に合わせて表示、移動させることが必要となる。

例えば図に示すリビングルームの床の上やテレビの脇などをアニメーションの動物が移動するといった設定である。

[0241] このような VR 画像を HMD に表示するためには、実在の物体までの距離を正確に計測することが必要となる。

この距離計測のために、本開示のシステムを利用する。例えば図に示す天井の照明を、本開示のシステムの光源ユニット 10 とし、ユーザが装着する HMD に本開示の距離計測装置（カメラ）20 を内蔵する。

[0242] このようなシステムにより、HMD 側の距離計測装置（カメラ）20 は、天井照明によって構成される光源ユニット 10 からの出力光の反射光を解析して、リビングルーム内の床、テレビ、観葉植物等の様々な物体までの距離を正確に計測することが可能となる。この距離情報を HMD 内の仮想オブジェクト表示制御に用いることで、高精度な VR 画像の出力を行うことができる。

[0243] なお、図 34 に示す例では、距離計測装置（カメラ）20 を HMD に一体化した構成例を説明したが、例えば、図 35 に示すように、距離計測装置（

カメラ) 20をHMDとは別に構成してもよい。図35に示す例は、距離計測装置(カメラ) 20はテレビの上に置き、光源ユニット10をHMD側に設けた構成である。

[0244] このような構成とすることで、ユーザ側のHMDと一体化した光源からの光をリビングルーム内の様々な物体に反射させ、その反射光をテレビの上の距離計測装置(カメラ) 20内のToFセンサが受光することが可能であり、この受光信号を解析することで各物体の距離を計測することができる。距離計測情報は、例えばWi-Fi等でHMDやテレビに送信し、HMDやテレビに測距情報を利用したVR画像を出力する。

[0245] 光源ユニット10と距離計測装置(カメラ) 20の配置例は、その他、様々な構成が可能である例えば図36に示すように、光源ユニット10をリビングルームに置かれたスタンドに配置するといった構成も可能である。

[0246] 本開示の距離計測システムのもう一つの利用例として、例えば洗車機における利用例を図37に示す。

[0247] 洗車装置では、洗車対象の自動車の位置を正確に計測することで最適な洗浄処理を行うことが可能となる。

そのために、本開示の距離計測システムを利用することができる。洗車装置の天井部や側面に光源ユニット10と距離計測装置(カメラ) 20を配置する。

[0248] この構成では、光源ユニット10からの光は車両の表面で反射して光源ユニット10のToFセンサに入力する。この反射光を解析することで車両表面までの距離を正確に測定することが可能となり、水圧調整、洗浄剤の噴射量等の最適制御が可能となり、より効果的な洗浄を行うことが可能となる。

[0249] [12. 距離計測装置のハードウェア構成例について]

次に、図38を参照して距離計測装置のハードウェア構成例について説明する。

なお、図38は、上述した実施例において説明した距離計測装置として利用可能なハードウェアの一構成例を示す図である。

[0250] CPU (Central Processing Unit) 501は、ROM (Read Only Memory) 502、または記憶部508に記憶されているプログラムに従って各種の処理を実行するデータ処理部として機能する。例えば、上述した実施例において説明したシーケンスに従った処理を実行する。RAM (Random Access Memory) 503には、CPU 501が実行するプログラムやデータなどが記憶される。これらのCPU 501、ROM 502、およびRAM 503は、バス504により相互に接続されている。

[0251] CPU 501はバス504を介して入出力インタフェース505に接続され、入出力インタフェース505には、各種スイッチ、キーボード、マウス、マイクロホンなどよりなる入力部506、ディスプレイ、スピーカなどよりなる出力部507が接続されている。

CPU 501は、入力部506から入力される指令に対応して各種の処理を実行し、処理結果を例えば出力部507に出力する。

[0252] 入出力インタフェース505に接続されている記憶部508は、例えばハードディスク等からなり、CPU 501が実行するプログラムや各種のデータを記憶する。通信部509は、インターネットやローカルエリアネットワークなどのネットワークを介したデータ通信の送受信部、さらに放送波の送受信部として機能し、外部の装置と通信する。

[0253] 入出力インタフェース505に接続されているドライブ510は、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、あるいはメモリカード等の半導体メモリなどのリムーバブルメディア511を駆動し、データの記録あるいは読み取りを実行する。

[0254] ToFセンサ521は、光源から出力される光の物体反射光を検出する。センサクロック522は、ToFセンサ521の受光タイミングを制御するクロックとして利用される。

[0255] [13. 本開示の構成のまとめ]

以上、特定の実施例を参照しながら、本開示の実施例について詳解してき

た。しかしながら、本開示の要旨を逸脱しない範囲で当業者が実施例の修正や代用を成し得ることは自明である。すなわち、例示という形態で本発明を開示してきたのであり、限定的に解釈されるべきではない。本開示の要旨を判断するためには、特許請求の範囲の欄を参酌すべきである。

[0256] なお、本明細書において開示した技術は、以下のような構成をとることができる。

(1) 複数光源を有する光源ユニットの各光源の出力光を物体の表面で反射させて入力するT o F (Time of Flight) センサと、

前記T o F センサの出力を解析して、前記物体までの距離を算出する距離算出部を有し、

前記T o F センサの画像撮影タイミングを制御するセンサクロックは、前記光源ユニットの光源の発光タイミングを制御する光源ユニットクロックと異なる装置固有のクロックである距離計測装置。

[0257] (2) 前記距離計測装置は、

前記センサクロックの周波数と、前記光源ユニットクロックの周波数とのズレを解消または減少させる制御を行うセンサクロック調整部を有する(1)に記載の距離計測装置。

[0258] (3) 前記距離計測装置は、

前記センサクロックの周波数と、前記光源ユニットクロックの周波数とのズレ量を算出するクロックズレ量推定部を有し、

前記センサクロック調整部は、

前記クロックズレ量推定部の推定した周波数ズレ量に従って前記センサクロックの周波数を調整する(2)に記載の距離計測装置。

[0259] (4) 前記距離計測装置は、

前記光源ユニットの各光源の位置を解析する光源位置推定部を有する(1)～(3)いずれかに記載の距離計測装置。

[0260] (5) 前記光源位置推定部は、

前記光源ユニットに装着された少なくとも3つの光源から前記距離計測装

置までの距離を算出する3つの距離算出式として、

- (a) 前記距離計測装置と前記物体間の距離データと、
- (b) 前記物体と、前記光源ユニットの各光源間の距離データと、
- (c) 前記センサクロックと前記光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセットC、

これら(a)～(c)のデータからなる3つの距離算出式を生成する(4)に記載の距離計測装置。

[0261] (6) 前記距離計測装置は、さらに、

前記距離算出式各々の差分を算出する3つの差分算出式を生成して、
生成した3つの差分算出式を連立方程式として解いて、前記距離計測装置と物体間の距離を算出する距離算出部を有する(5)に記載の距離計測装置。

[0262] (7) 前記差分算出式は、

前記センサクロックと前記光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセットCを含まない式である(6)に記載の距離計測装置。

[0263] (8) 前記距離計測装置は、

前記光源ユニットに装着された少なくとも2つの光源から前記距離計測装置までの距離を算出する2つの距離算出式として、

- (a) 前記距離計測装置と前記物体間の距離データと、
- (b) 前記物体と、前記光源ユニットの各光源間の距離データと、
- (c) 前記センサクロックと前記光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセットC、

これら(a)～(c)のデータからなる2つの距離算出式を生成し、
さらに、前記距離算出式各々の差分を算出する1つの差分算出式を生成し、
さらに、

- (d) 前記距離計測装置と前記物体間を結ぶ直線方程式を生成し、

前記差分算出式と、前記直線方程式を連立方程式として解いて、前記距離計測装置と物体間の距離を算出する距離算出部を有する（１）～（７）いずれかに記載の距離計測装置。

[0264] （９） 前記差分算出式は、

前記光源ユニットの２つの光源の位置を焦点とする双曲面を規定する方程式であり、

前記距離算出部は、

前記差分算出式によって規定される双曲面と、前記直線方程式との交点を前記物体の位置として算出する（８）に記載の距離計測装置。

[0265] （１０） 複数光源を有する光源ユニットと、

前記光源ユニットの各光源の出力光を物体の表面で反射させて入力する距離計測装置を有する距離計測システムであり、

前記距離計測装置は、

前記物体からの反射光を入力するＴｏＦ（Time of Flight）センサと、

前記ＴｏＦセンサの出力を解析して、前記物体までの距離を算出する距離算出部を有し、

前記光源ユニットの光源の発光タイミングを制御する光源ユニットクロックと、前記距離計測装置のＴｏＦセンサの画像撮影タイミングを制御するセンサクロックは異なる独立したクロックである距離計測システム。

[0266] （１１） 前記光源ユニットは、相対位置が固定された複数の光源を有する（１０）に記載の距離計測システム。

[0267] （１２） 前記光源ユニットは、相対位置が固定された３つ以上の光源を有する（１０）または（１１）に記載の距離計測システム。

[0268] （１３） 距離計測システムは、

複数光源を有する光源ユニットを複数有する構成であり、

複数の光源ユニットに装着された複数の光源の発光タイミングは、１つの光源ユニットクロックによって制御される構成である（１０）～（１２）い

ずれかに記載の距離計測システム。

[0269] (14) 前記光源ユニットの複数の光源と、前記距離計測装置は1つの直線上に配置された構成であり、

前記距離計測装置は、前記直線方向と異なる方向からの入力光を前記ToFセンサによって撮影する構成である(10)～(13)いずれかに記載の距離計測システム。

[0270] (15) 前記光源ユニット、または前記距離計測装置の少なくとも一方に、

前記センサクロックの周波数と、前記光源ユニットクロックの周波数とのズレを解消または減少させる制御を行うクロック調整部を有する(10)～(14)いずれかに記載の距離計測システム。

[0271] (16) 距離計測装置において実行する距離計測方法であり、

ToF(Time of Flight)センサが、複数光源を有する光源ユニットの各光源の出力光を物体の表面で反射させて入力するステップと、

距離算出部が、前記ToFセンサの出力を解析して、前記物体までの距離を算出する距離算出ステップを実行し、

前記距離算出ステップは、

前記光源ユニットの複数光源から前記距離計測装置までの距離を算出する複数の距離算出式として、

(a) 前記距離計測装置と前記物体間の距離データと、

(b) 前記物体と、前記光源ユニットの各光源間の距離データと、

(c) 前記センサクロックと前記光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセットC、

これら(a)～(c)のデータからなる複数の距離算出式を生成し、

さらに、前記距離算出式各々の差分を算出する差分算出式を生成して、生成した差分算出式を用いて前記物体までの距離を算出するステップである距離計測方法。

[0272] (17) 複数光源を有する光源ユニットと、前記光源ユニットの各光源の出力光を物体の表面で反射させて入力する距離計測装置を有する距離計測システムにおいて実行する距離計測方法であり、

前記光源ユニットが、

光源ユニットクロックによって規定される発光タイミングで前記光源ユニットの各光源を発光するステップと、

前記距離計測装置のToFセンサが、

前記光源ユニットクロックと異なるセンサクロックによって規定される画像撮影タイミングで画像撮影を実行するステップと、

前記距離計測装置の距離算出部が、

前記ToFセンサの出力を解析して、前記物体までの距離を算出するステップ、

を有する距離計測方法。

[0273] (18) 距離計測装置において距離計測処理を実行させるプログラムであり、

ToF (Time of Flight) センサに、複数光源を有する光源ユニットの各光源の出力光を物体の表面で反射させて入力させるステップと、

距離算出部に、前記ToFセンサの出力を解析して、前記物体までの距離を算出させる距離算出ステップを実行させ、

前記距離算出ステップにおいて、

前記光源ユニットの複数光源から前記距離計測装置までの距離を算出する複数の距離算出式として、

(a) 前記距離計測装置と前記物体間の距離データと、

(b) 前記物体と、前記光源ユニットの各光源間の距離データと、

(c) 前記センサクロックと前記光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセットC、

これら(a)～(c)のデータからなる複数の距離算出式を生成する処理

と、

さらに、前記距離算出式各々の差分を算出する差分算出式を生成する処理と、生成した差分算出式を用いて前記物体までの距離を算出する処理を実行させるプログラム。

[0274] また、明細書中において説明した一連の処理はハードウェア、またはソフトウェア、あるいは両者の複合構成によって実行することが可能である。ソフトウェアによる処理を実行する場合は、処理シーケンスを記録したプログラムを、専用のハードウェアに組み込まれたコンピュータ内のメモリにインストールして実行させるか、あるいは、各種処理が実行可能な汎用コンピュータにプログラムをインストールして実行させることが可能である。例えば、プログラムは記録媒体に予め記録しておくことができる。記録媒体からコンピュータにインストールする他、LAN (Local Area Network)、インターネットといったネットワークを介してプログラムを受信し、内蔵するハードディスク等の記録媒体にインストールすることができる。

[0275] なお、明細書に記載された各種の処理は、記載に従って時系列に実行されるのみならず、処理を実行する装置の処理能力あるいは必要に応じて並列的にあるいは個別に実行されてもよい。また、本明細書においてシステムとは、複数の装置の論理的集合構成であり、各構成の装置が同一筐体内にあるものには限らない。

産業上の利用可能性

[0276] 以上、説明したように、本開示の一実施例の構成によれば、複数光源を有する光源ユニットと距離計測装置（カメラ）を個別のクロックで制御して、光源を任意の位置に設定可能とした構成が実現される。

具体的には、例えば、光源ユニットの複数光源の出力光を物体表面で反射させてToFセンサで撮影し物体までの距離を算出する。ToFセンサの撮影タイミングを制御するセンサクロックは、光源ユニットの光源の発光タイミングを制御する光源ユニットクロックと異なる装置固有のクロックであり

、距離計測装置は、各光源から装置までの距離を算出する複数の距離算出式の差分算出式を生成し、生成した差分算出式を用いて物体までの距離を算出する。

本構成により、複数光源を有する光源ユニットと距離計測装置（カメラ）を個別のクロックで制御して、光源を任意の位置に設定可能とした構成が実現される

符号の説明

- [0277]
- 1 光源
 - 2 カメラ（受光部）
 - 3 物体
 - 10 光源ユニット
 - 20 距離計測装置（カメラ）
 - 30 物体
 - 101 光源ユニットクロック
 - 102 光源制御部
 - 103～105 遅延制御部
 - 106～108 光源a～c
 - 201 センサクロック
 - 202 ToFセンサ
 - 203 動被写体検知部
 - 204 位相算出部
 - 205 位相画像メモリ
 - 206 光源位置推定部
 - 207 光源ユニット位置姿勢メモリ
 - 208 クロック位相差（光源クロックオフセット）算出部
 - 209 クロック位相差（光源クロックオフセット）メモリ
 - 210 クロックズレ量推定部
 - 211 センサクロック調整部

- 2 2 0 距離（デプス）算出部
- 2 5 1 位相－距離変換部
- 2 5 2 差分計算部
- 2 5 3 被写体計算部
- 2 5 4 光源－位置姿勢メモリ
- 2 5 6 カメラ－光源座標系相対位置DB
- 2 5 7 座標変換部
- 2 7 1 位相－距離変換部
- 2 7 2 差分計算部
- 2 7 3 内部パラメータメモリ
- 2 7 4 視線ベクトル算出部
- 2 7 5 被写体位置計算部
- 2 8 1 視線ベクトル算出部
- 2 8 2 位相－距離変換部
- 2 8 3 被写体位置計算部
- 3 0 1, 3 0 2 物体（被写体）存在許容領域
- 5 0 1 CPU
- 5 0 2 ROM
- 5 0 3 RAM
- 5 0 4 バス
- 5 0 5 入出力インタフェース
- 5 0 6 入力部
- 5 0 7 出力部
- 5 0 8 記憶部
- 5 0 9 通信部
- 5 1 0 ドライブ
- 5 1 1 リムーバブルメディア
- 5 2 1 ToFセンサ

5 2 2 センサクロック

請求の範囲

- [請求項1] 複数光源を有する光源ユニットの各光源の出力光を物体の表面で反射させて入力するToF (Time of Flight) センサと、
- 前記ToFセンサの出力を解析して、前記物体までの距離を算出する距離算出部を有し、
- 前記ToFセンサの画像撮影タイミングを制御するセンサクロックは、前記光源ユニットの光源の発光タイミングを制御する光源ユニットクロックと異なる装置固有のクロックである距離計測装置。
- [請求項2] 前記距離計測装置は、
- 前記センサクロックの周波数と、前記光源ユニットクロックの周波数とのズレを解消または減少させる制御を行うセンサクロック調整部を有する請求項1に記載の距離計測装置。
- [請求項3] 前記距離計測装置は、
- 前記センサクロックの周波数と、前記光源ユニットクロックの周波数とのズレ量を算出するクロックズレ量推定部を有し、
- 前記センサクロック調整部は、
- 前記クロックズレ量推定部の推定した周波数ズレ量に従って前記センサクロックの周波数を調整する請求項2に記載の距離計測装置。
- [請求項4] 前記距離計測装置は、
- 前記光源ユニットの各光源の位置を解析する光源位置推定部を有する請求項1に記載の距離計測装置。
- [請求項5] 前記光源位置推定部は、
- 前記光源ユニットに装着された少なくとも3つの光源から前記距離計測装置までの距離を算出する3つの距離算出式として、
- (a) 前記距離計測装置と前記物体間の距離データと、
 - (b) 前記物体と、前記光源ユニットの各光源間の距離データと、
 - (c) 前記センサクロックと前記光源クロックの位相差に基づいて

発生する距離計測誤差に相当するオフセットC、

これら (a) ~ (c) のデータからなる3つの距離算出式を生成する請求項4に記載の距離計測装置。

[請求項6]

前記距離計測装置は、さらに、

前記距離算出式各々の差分を算出する3つの差分算出式を生成して、

生成した3つの差分算出式を連立方程式として解いて、前記距離計測装置と物体間の距離を算出する距離算出部を有する請求項5に記載の距離計測装置。

[請求項7]

前記差分算出式は、

前記センサクロックと前記光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセットCを含まない式である請求項6に記載の距離計測装置。

[請求項8]

前記距離計測装置は、

前記光源ユニットに装着された少なくとも2つの光源から前記距離計測装置までの距離を算出する2つの距離算出式として、

(a) 前記距離計測装置と前記物体間の距離データと、

(b) 前記物体と、前記光源ユニットの各光源間の距離データと、

(c) 前記センサクロックと前記光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセットC、

これら (a) ~ (c) のデータからなる2つの距離算出式を生成し、

さらに、前記距離算出式各々の差分を算出する1つの差分算出式を生成し、

さらに、

(d) 前記距離計測装置と前記物体間を結ぶ直線方程式を生成し、

前記差分算出式と、前記直線方程式を連立方程式として解いて、前記距離計測装置と物体間の距離を算出する距離算出部を有する請求項

1 に記載の距離計測装置。

[請求項9]

前記差分算出式は、

前記光源ユニットの2つの光源の位置を焦点とする双曲面を規定する方程式であり、

前記距離算出部は、

前記差分算出式によって規定される双曲面と、前記直線方程式との交点を前記物体の位置として算出する請求項8に記載の距離計測装置。

[請求項10]

複数光源を有する光源ユニットと、

前記光源ユニットの各光源の出力光を物体の表面で反射させて入力する距離計測装置を有する距離計測システムであり、

前記距離計測装置は、

前記物体からの反射光を入力するToF (Time of Flight) センサと、

前記ToFセンサの出力を解析して、前記物体までの距離を算出する距離算出部を有し、

前記光源ユニットの光源の発光タイミングを制御する光源ユニットクロックと、前記距離計測装置のToFセンサの画像撮影タイミングを制御するセンサクロックは異なる独立したクロックである距離計測システム。

[請求項11]

前記光源ユニットは、相対位置が固定された複数の光源を有する請求項10に記載の距離計測システム。

[請求項12]

前記光源ユニットは、相対位置が固定された3つ以上の光源を有する請求項10に記載の距離計測システム。

[請求項13]

距離計測システムは、

複数光源を有する光源ユニットを複数有する構成であり、

複数の光源ユニットに装着された複数の光源の発光タイミングは、

1つの光源ユニットクロックによって制御される構成である請求項1

0に記載の距離計測システム。

[請求項14] 前記光源ユニットの複数の光源と、前記距離計測装置は1つの直線上に配置された構成であり、

前記距離計測装置は、前記直線方向と異なる方向からの入力光を前記ToFセンサによって撮影する構成である請求項10に記載の距離計測システム。

[請求項15] 前記光源ユニット、または前記距離計測装置の少なくとも一方に、前記センサクロックの周波数と、前記光源ユニットクロックの周波数とのズレを解消または減少させる制御を行うクロック調整部を有する請求項10に記載の距離計測システム。

[請求項16] 距離計測装置において実行する距離計測方法であり、ToF (Time of Flight) センサが、複数光源を有する光源ユニットの各光源の出力光を物体の表面で反射させて入力するステップと、

距離算出部が、前記ToFセンサの出力を解析して、前記物体までの距離を算出する距離算出ステップを実行し、

前記距離算出ステップは、

前記光源ユニットの複数光源から前記距離計測装置までの距離を算出する複数の距離算出式として、

(a) 前記距離計測装置と前記物体間の距離データと、

(b) 前記物体と、前記光源ユニットの各光源間の距離データと、

(c) 前記センサクロックと前記光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセットC、

これら(a)～(c)のデータからなる複数の距離算出式を生成し、

さらに、前記距離算出式各々の差分を算出する差分算出式を生成して、生成した差分算出式を用いて前記物体までの距離を算出するステップである距離計測方法。

[請求項17] 複数光源を有する光源ユニットと、前記光源ユニットの各光源の出力光を物体の表面で反射させて入力する距離計測装置を有する距離計測システムにおいて実行する距離計測方法であり、

前記光源ユニットが、

光源ユニットクロックによって規定される発光タイミングで前記光源ユニットの各光源を発光するステップと、

前記距離計測装置のToFセンサが、

前記光源ユニットクロックと異なるセンサクロックによって規定される画像撮影タイミングで画像撮影を実行するステップと、

前記距離計測装置の距離算出部が、

前記ToFセンサの出力を解析して、前記物体までの距離を算出するステップ、

を有する距離計測方法。

[請求項18] 距離計測装置において距離計測処理を実行させるプログラムであり、

、

ToF (Time of Flight) センサに、複数光源を有する光源ユニットの各光源の出力光を物体の表面で反射させて入力させるステップと、

距離算出部に、前記ToFセンサの出力を解析して、前記物体までの距離を算出させる距離算出ステップを実行させ、

前記距離算出ステップにおいて、

前記光源ユニットの複数光源から前記距離計測装置までの距離を算出する複数の距離算出式として、

(a) 前記距離計測装置と前記物体間の距離データと、

(b) 前記物体と、前記光源ユニットの各光源間の距離データと、

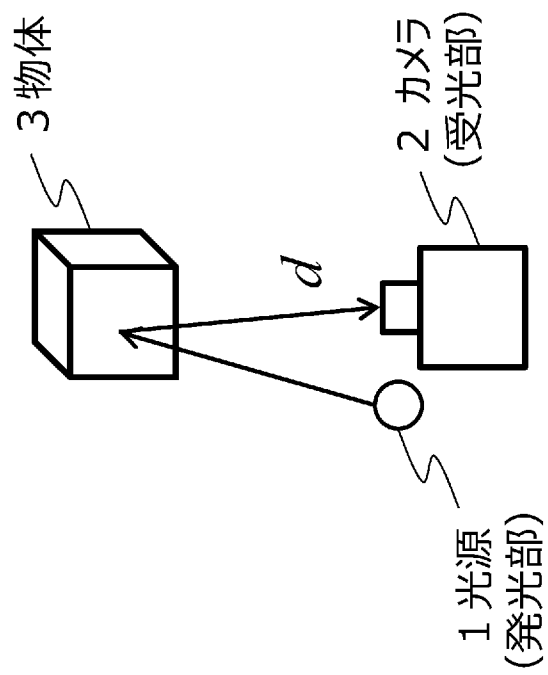
(c) 前記センサクロックと前記光源クロックの位相差に基づいて発生する距離計測誤差に相当するオフセットC、

これら(a)～(c)のデータからなる複数の距離算出式を生成す

る処理と、

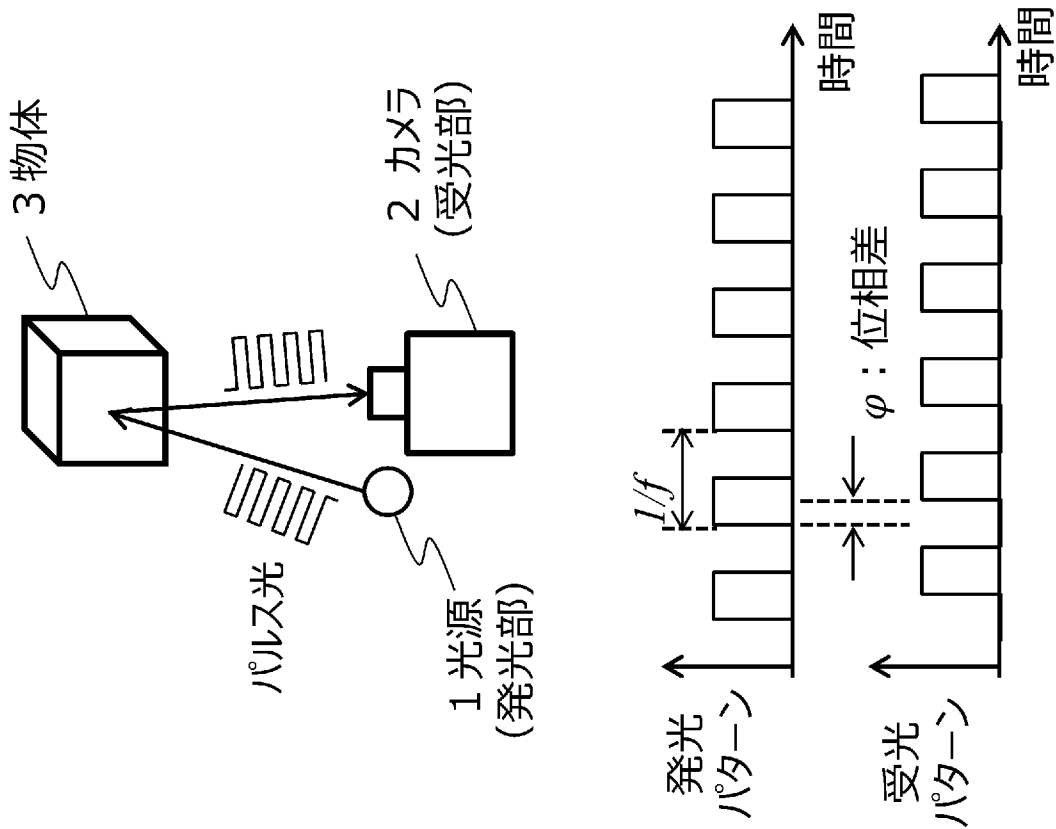
さらに、前記距離算出式各々の差分を算出する差分算出式を生成する処理と、生成した差分算出式を用いて前記物体までの距離を算出する処理を実行させるプログラム。

[図1]



$$d = \frac{1}{2} c \Delta t$$

[図2]

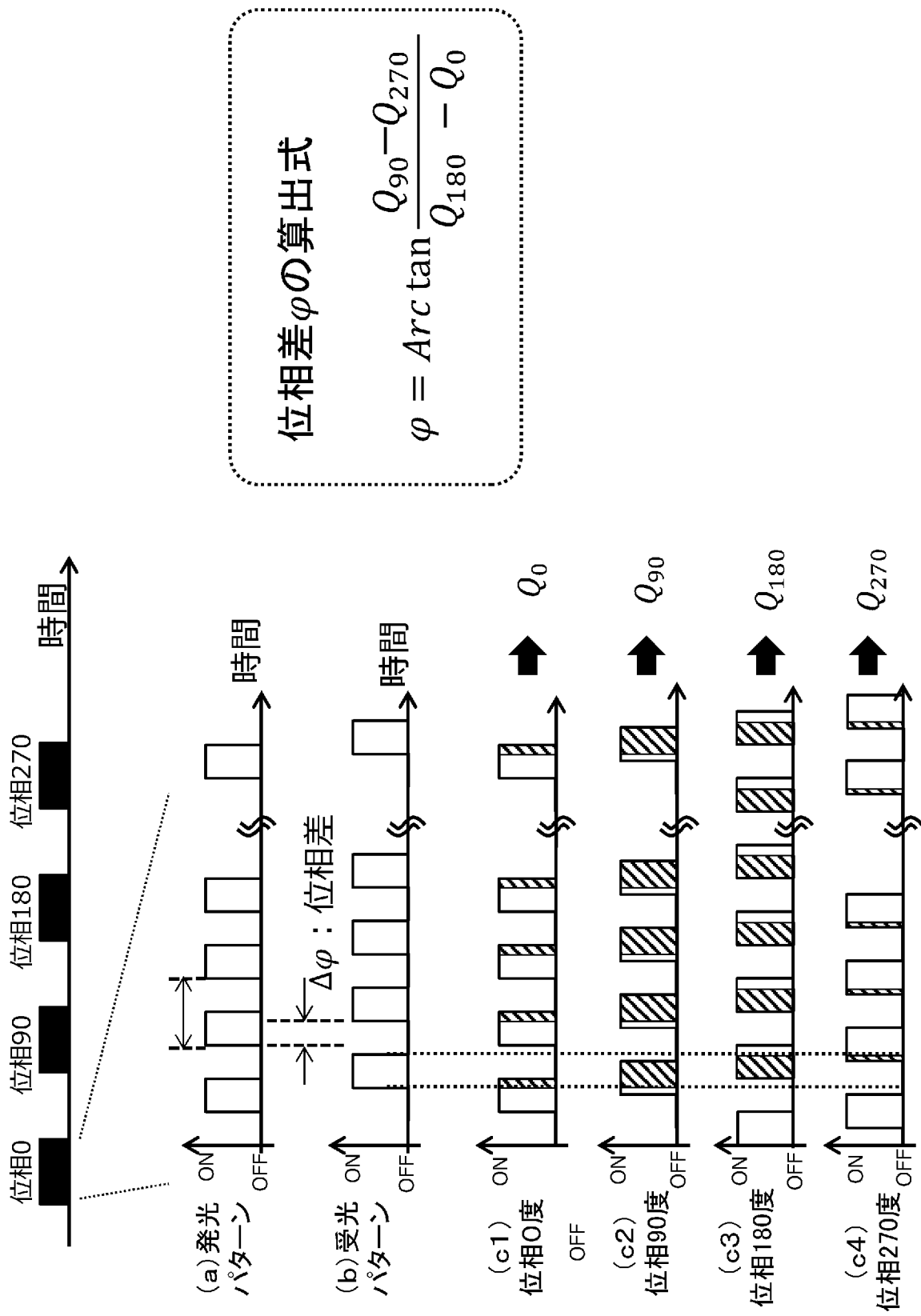


位相差 $= \varphi$ のとき、
 Δt は以下で算出できる

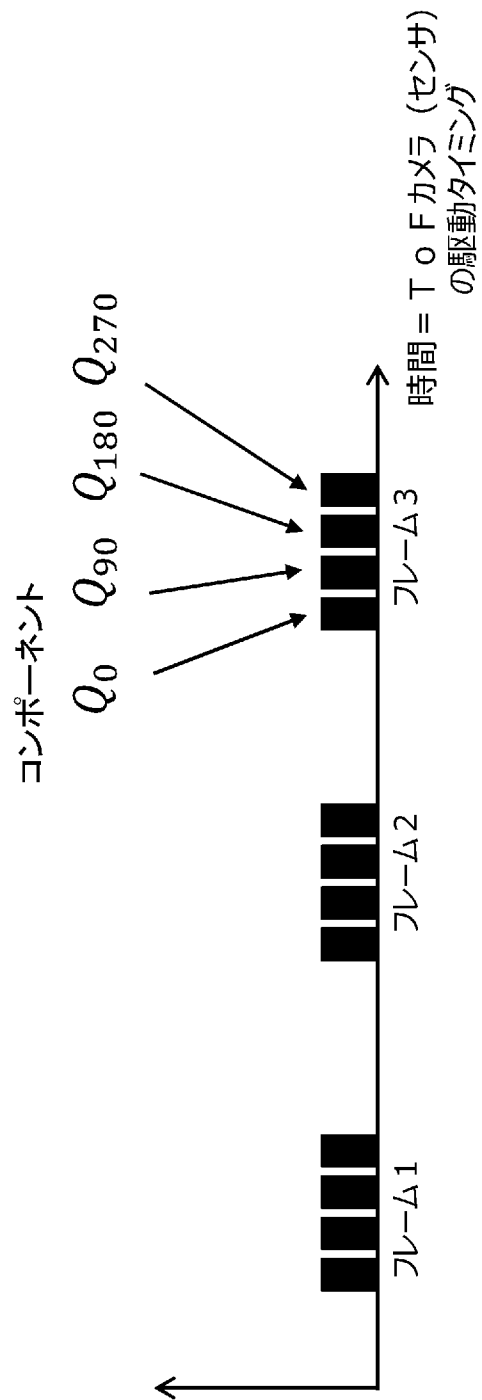
$$\Delta t = \frac{1}{f} \times \frac{\varphi}{2\pi}$$
 距離 d は以下で算出できる

$$d = \frac{c\varphi}{4\pi f}$$

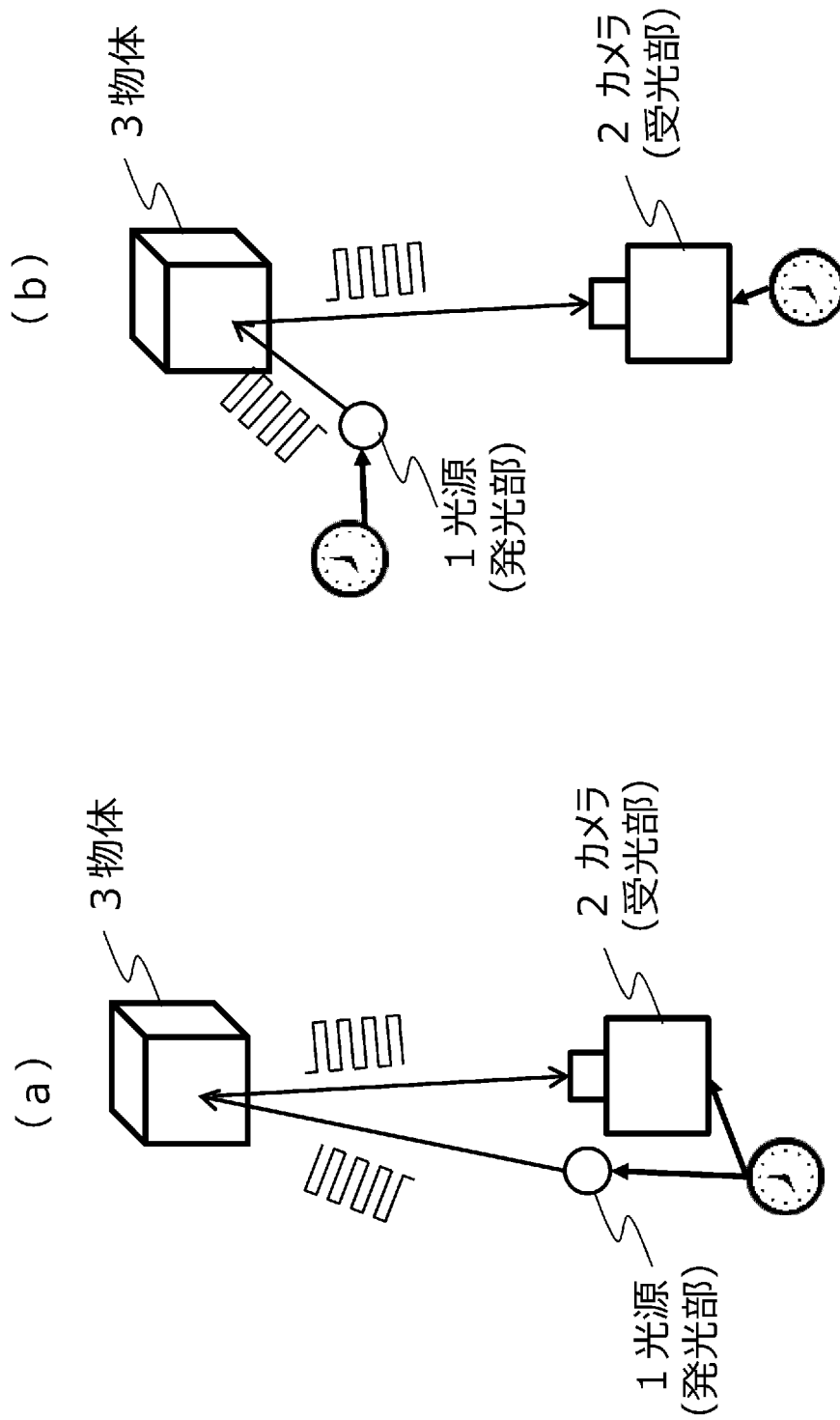
[図3]



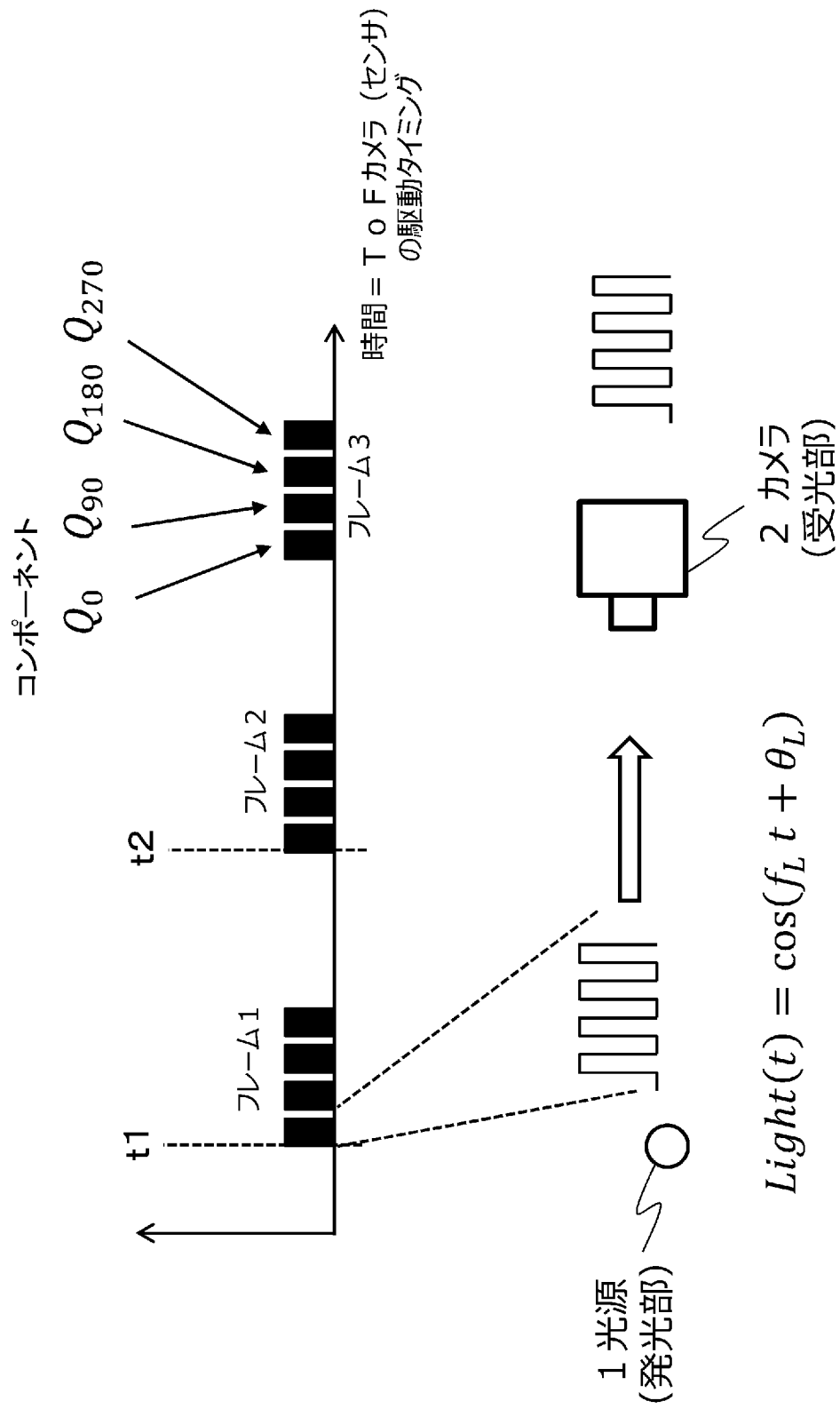
[図4]



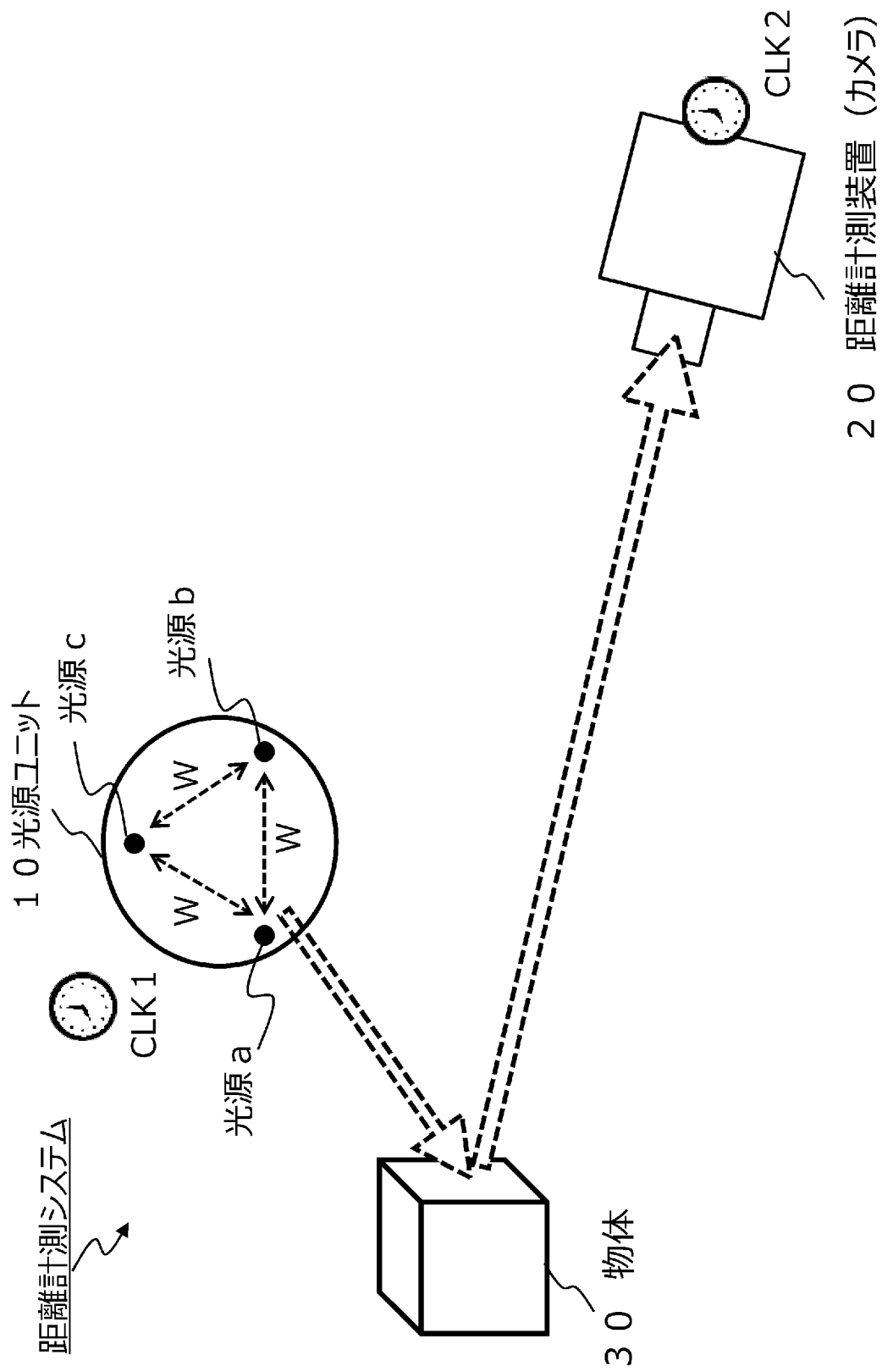
[図5]



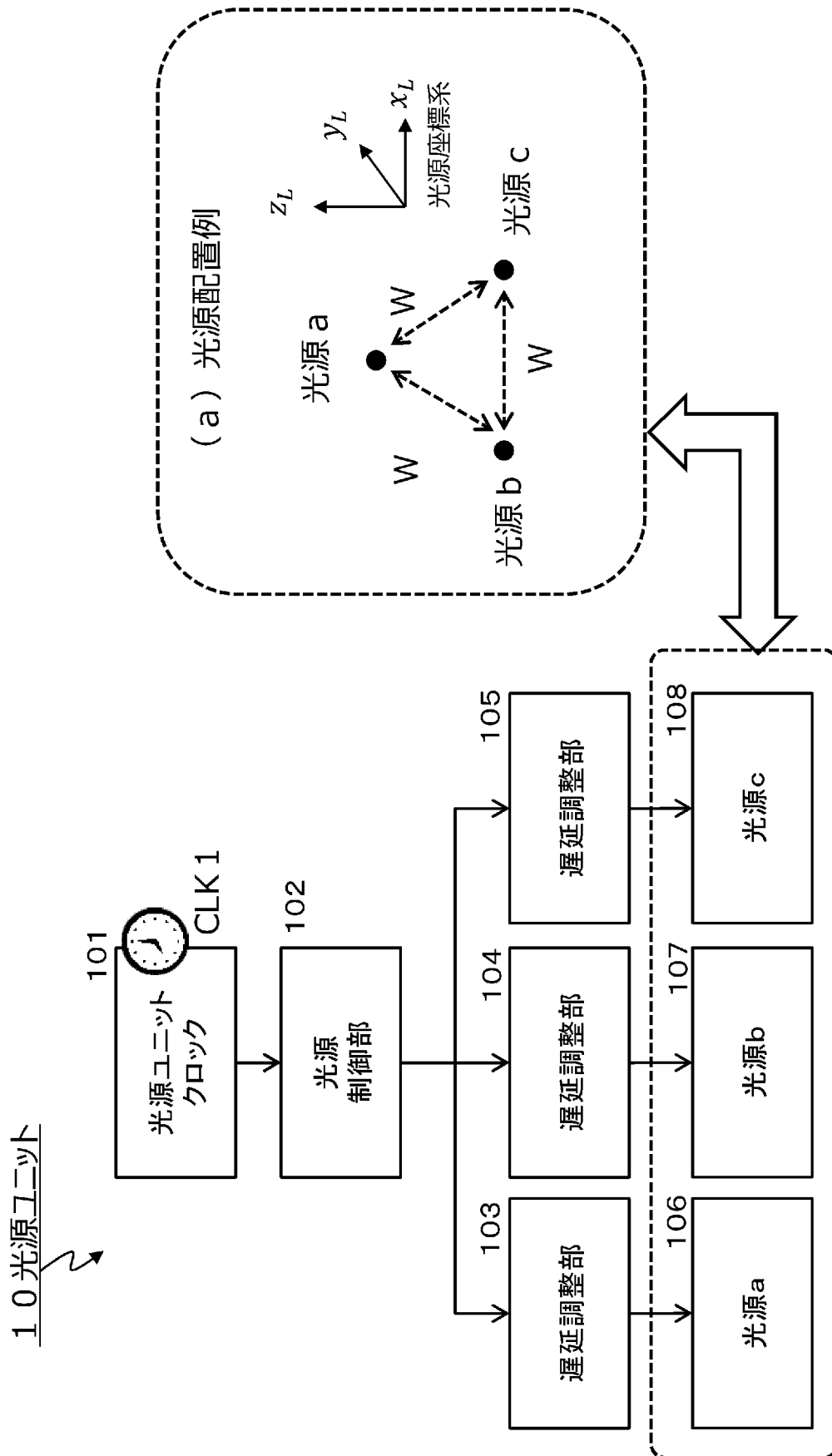
[図6]



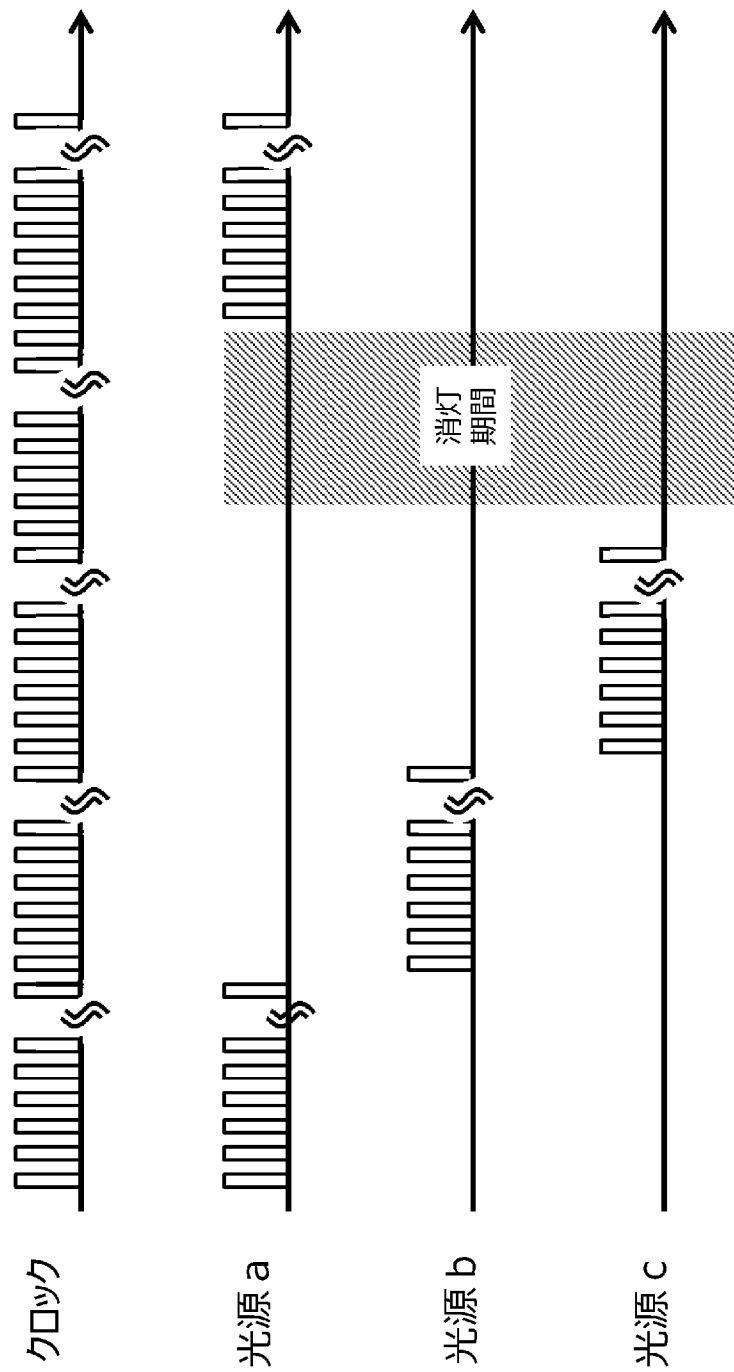
[図7]



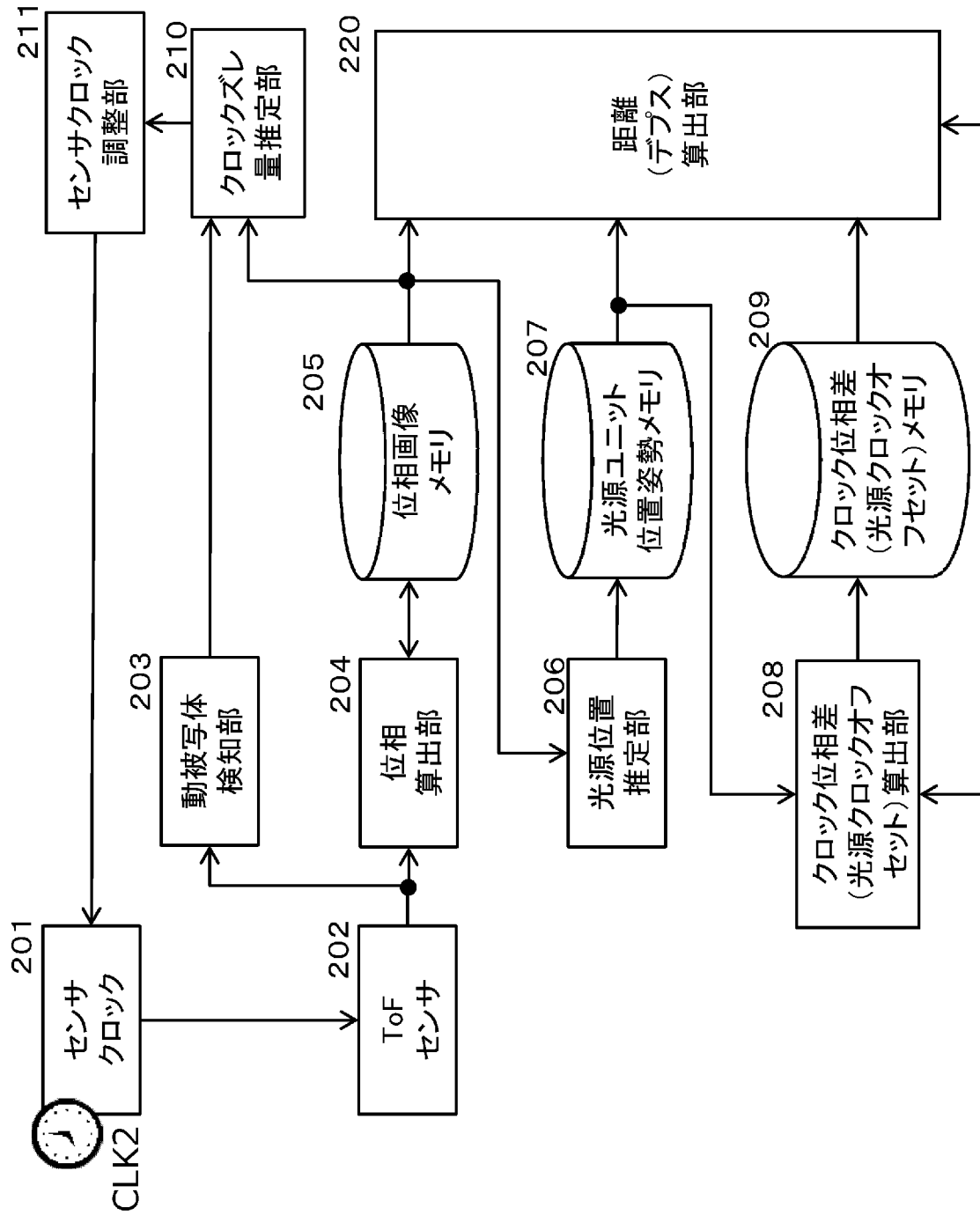
[図8]



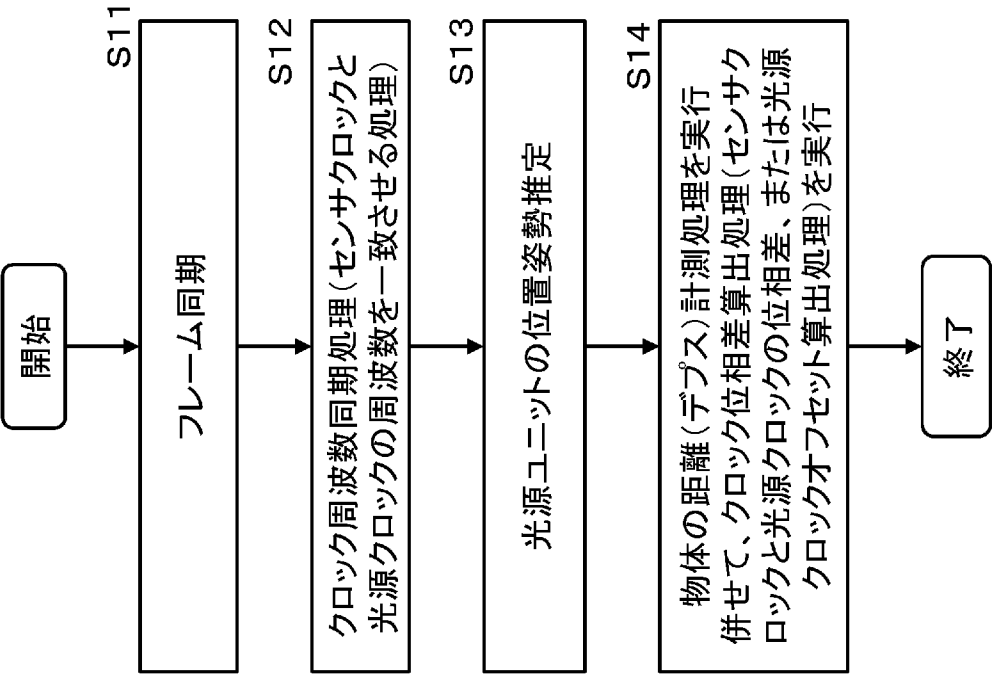
[図9]



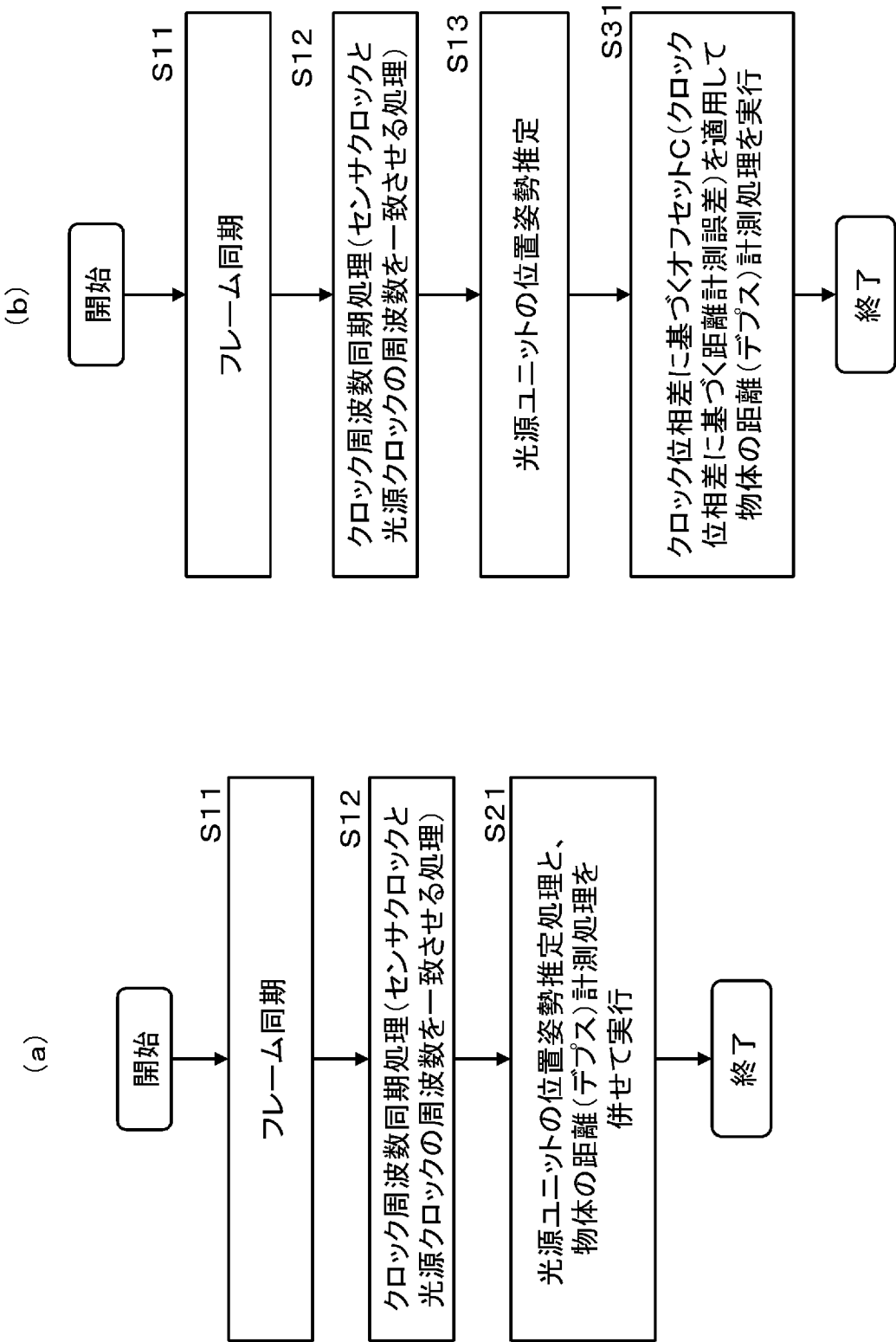
[図10]



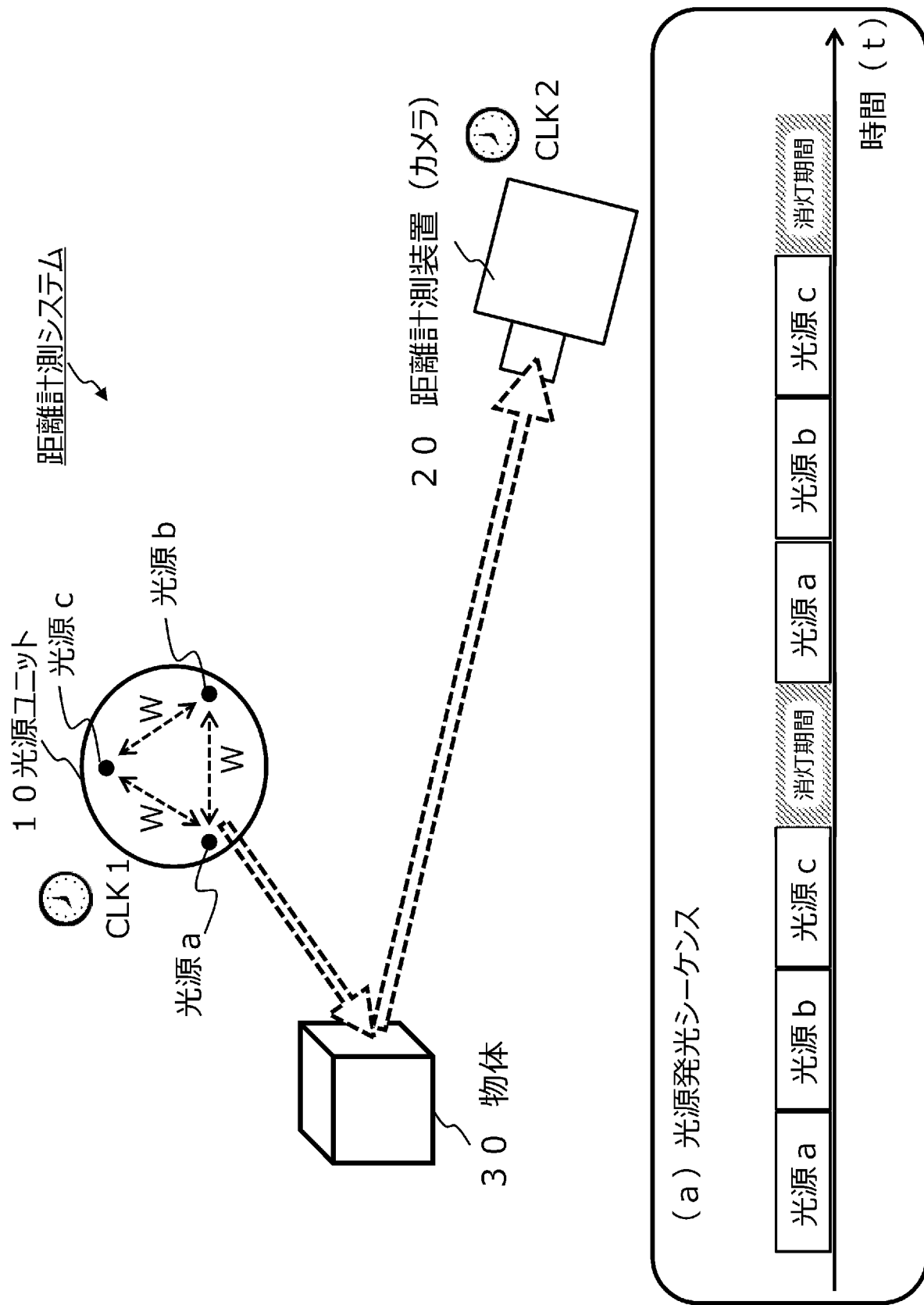
[図11]



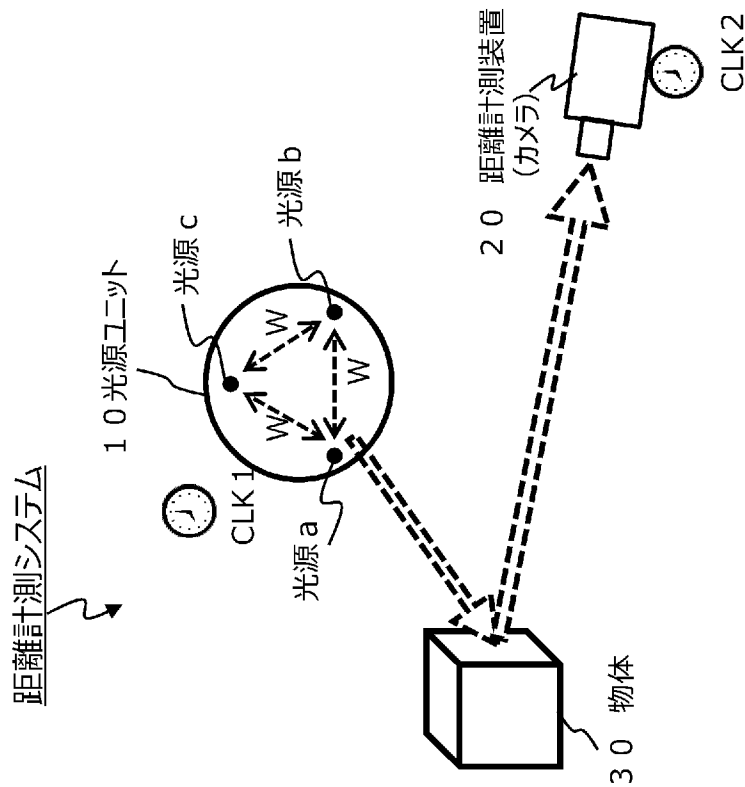
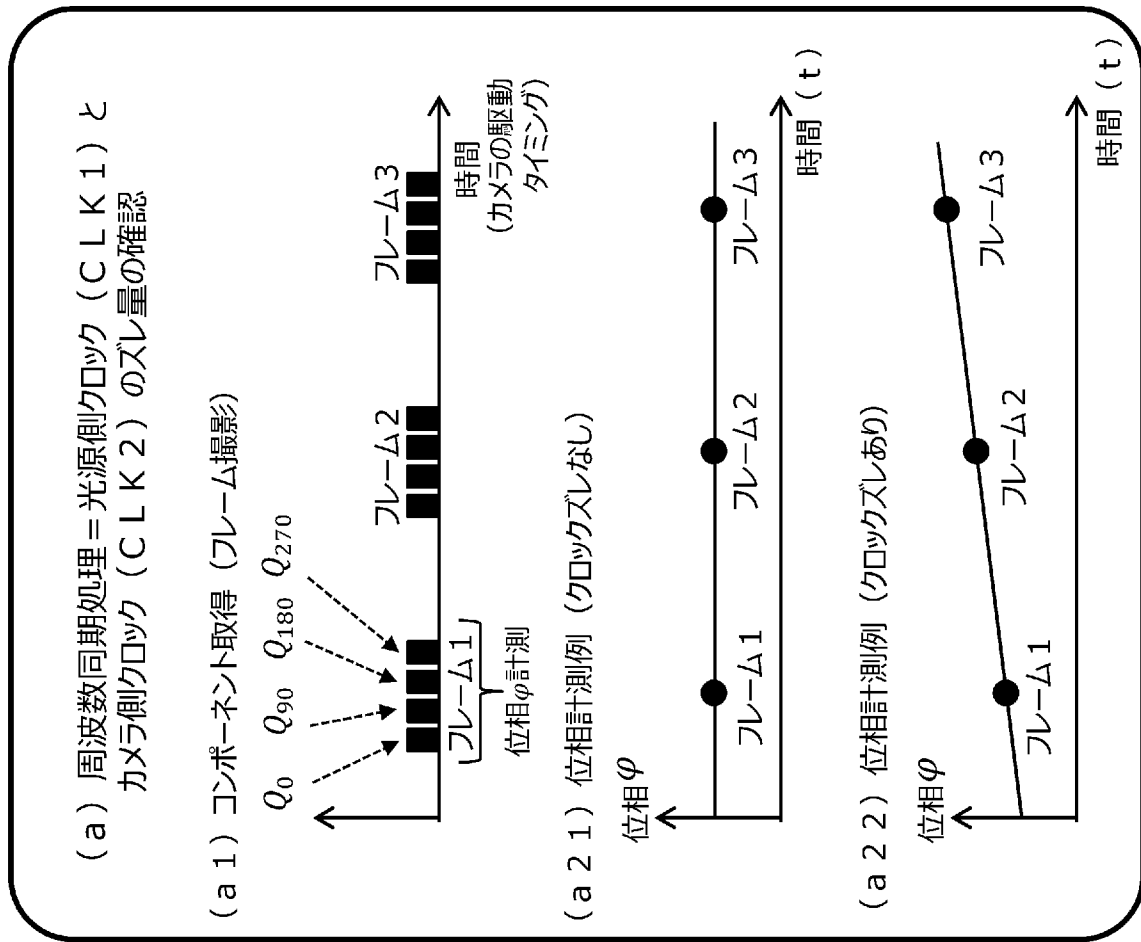
[図12]



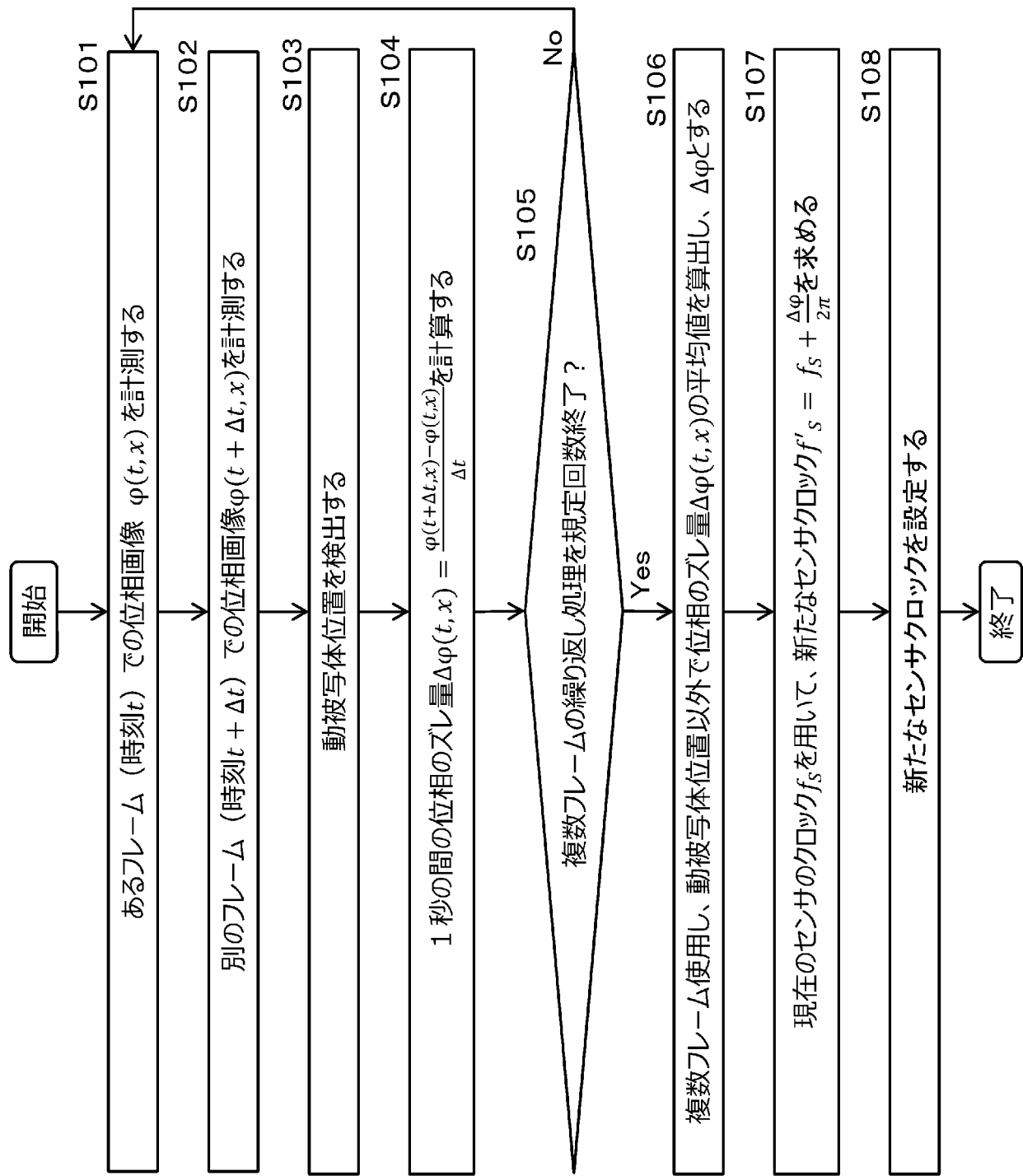
[図13]



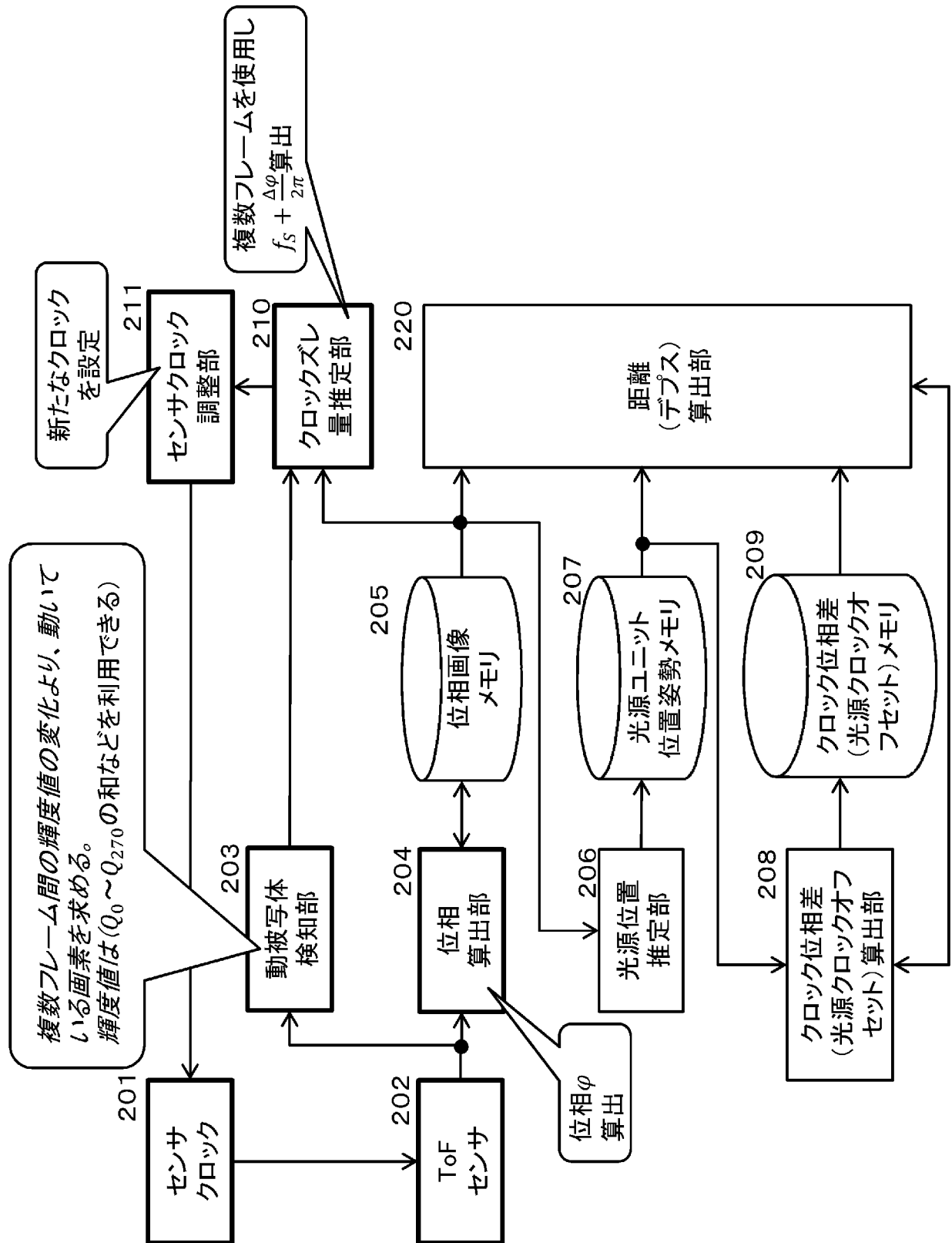
[図14]



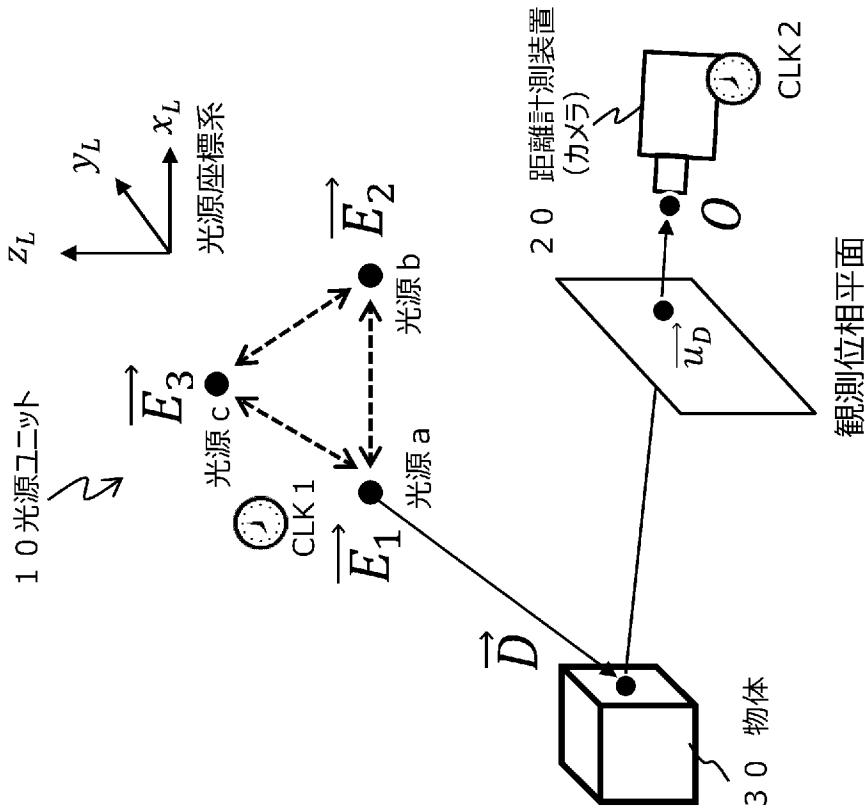
[図15]



[図16]



[図17]

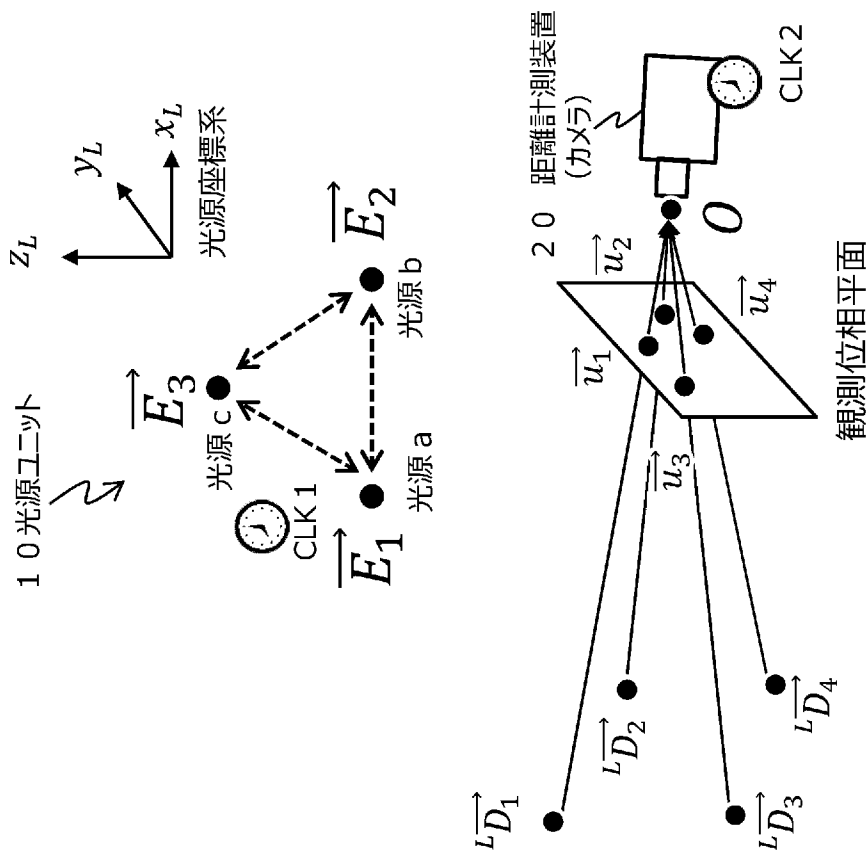


(1) 光源位置推定手順
(S1) 各光源 a ~ c が発光したときに、各フレームで計測される距離

$$\begin{aligned} Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_1) &= |\vec{OD}| + |\vec{DE}_1| + C \\ Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_2) &= |\vec{OD}| + |\vec{DE}_2| + C \\ Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_3) &= |\vec{OD}| + |\vec{DE}_3| + C \end{aligned}$$

C は光源とカメラのクロックの位相ズレに起因するオフセット項
 $Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_1)$ は、位置 $\vec{E}_1$ に位置する光源 a が発光したときに画素位置 $\vec{u}_D$ にて観測される距離
 $\vec{u}_D = (u_D, v_D)$ は点 D が投影される画素位置

[図18]



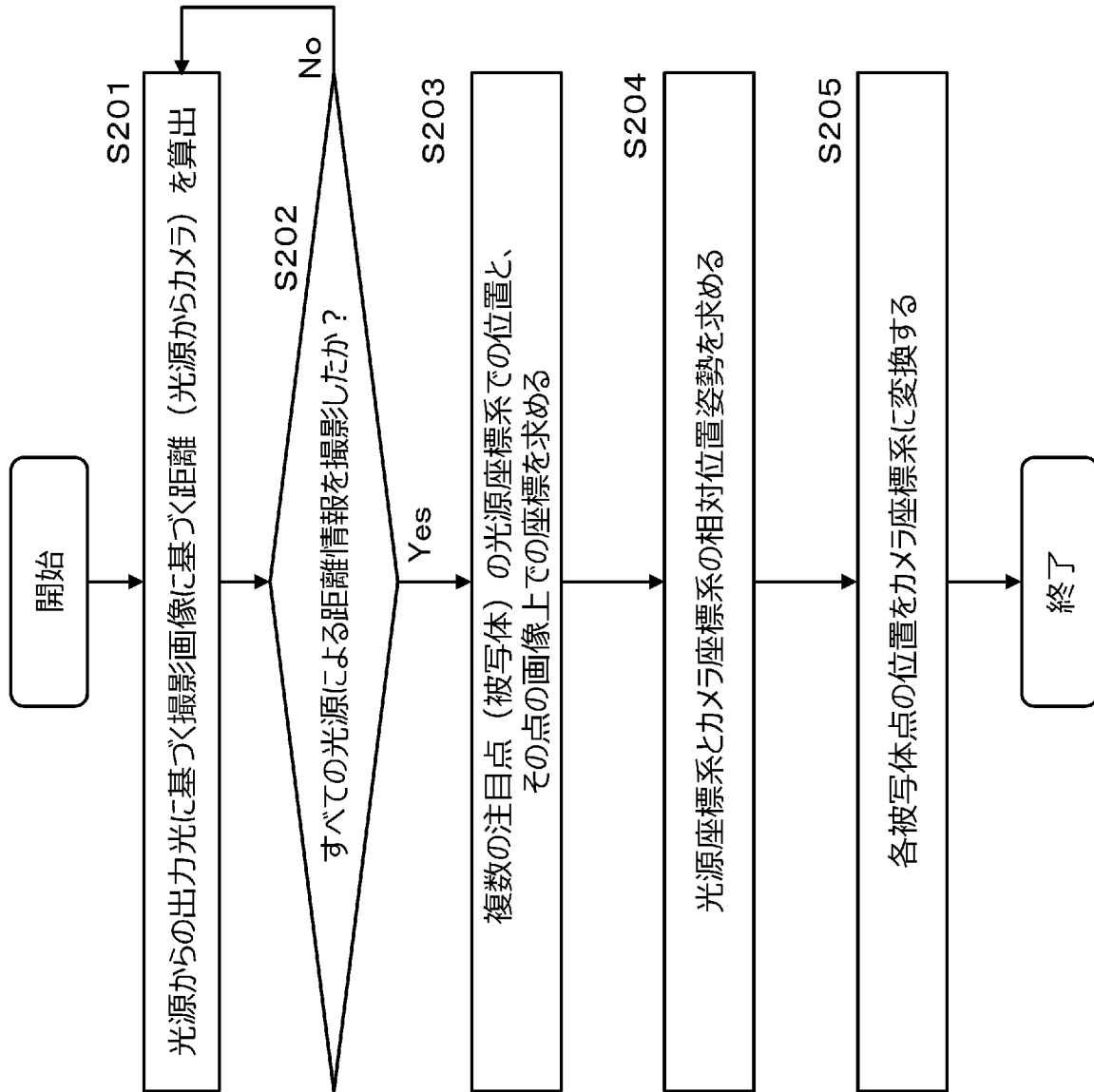
(1) 光源位置推定処理手順

(S2) (S1)で算出した距離の差分の算出式を生成

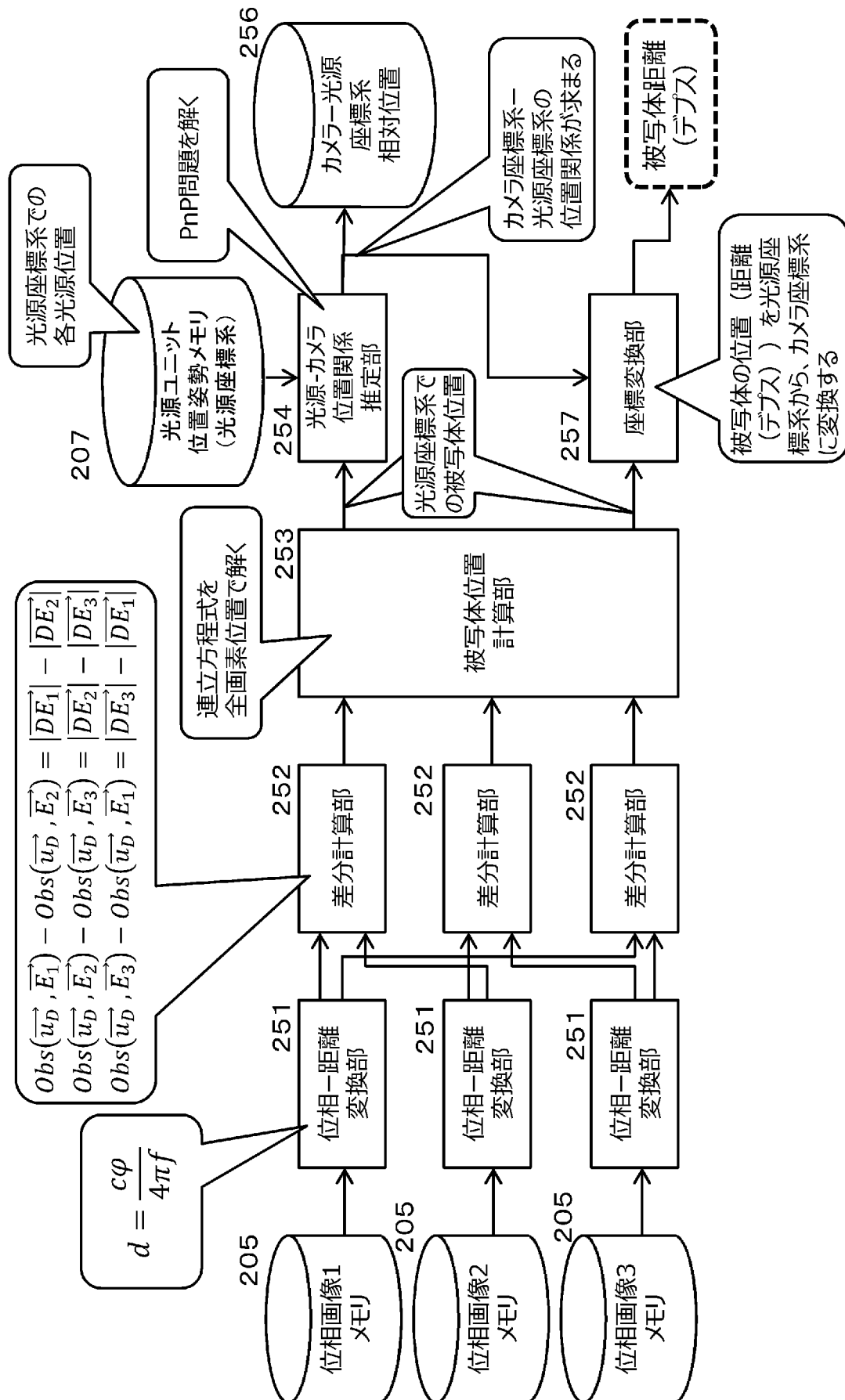
$$\begin{aligned} Obs(\vec{u_D}, \vec{E_1}) - Obs(\vec{u_D}, \vec{E_2}) &= |\vec{DE_1}| - |\vec{DE_2}| \\ Obs(\vec{u_D}, \vec{E_2}) - Obs(\vec{u_D}, \vec{E_3}) &= |\vec{DE_2}| - |\vec{DE_3}| \\ Obs(\vec{u_D}, \vec{E_3}) - Obs(\vec{u_D}, \vec{E_1}) &= |\vec{DE_3}| - |\vec{DE_1}| \end{aligned}$$

(S3) 上記式を解くことで光源座標系での複数の被写体位置 $\vec{LD_k}$ と、対応する画素位置 $\vec{u_k}$ を求める

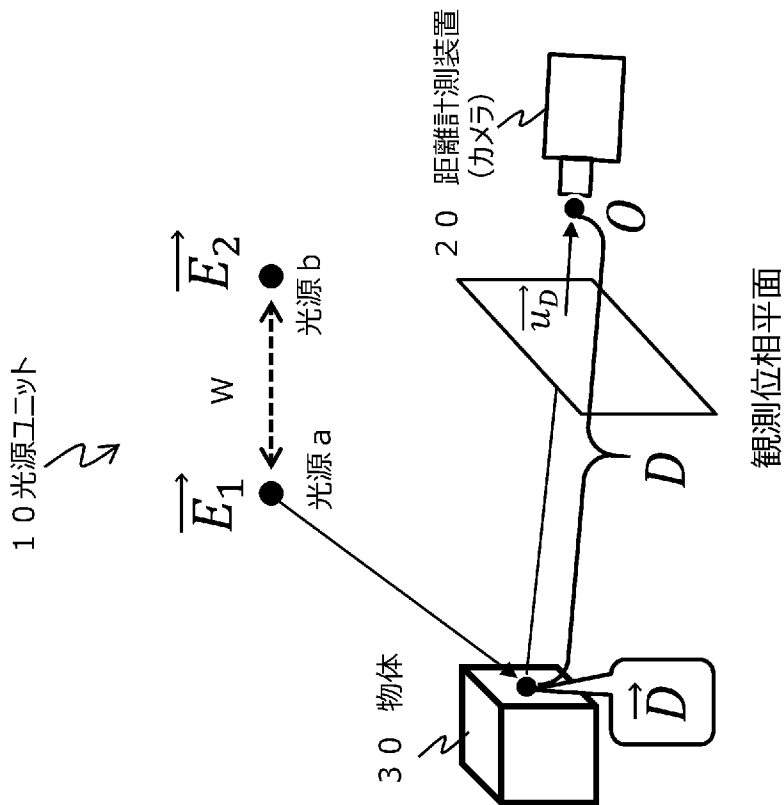
[図19]



[図20]



[図21]



(1) 距離 (デプス) 算出処理手順

(S1) 各光源からの距離情報の取得

$$\begin{aligned} Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_1) &= |\vec{OD}| + |\vec{DE}_1| + C \\ Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_2) &= |\vec{OD}| + |\vec{DE}_2| + C \end{aligned}$$

ただし C はオフセット

(S2) 距離の差分を算出

$$Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_1) - Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_2) = |\vec{DE}_1| - |\vec{DE}_2|$$

→ オフセット C を消去できた形

(S3) 距離 D 算出

$\vec{OD}$ 方向の単位ベクトル $\vec{d}$ を求め、求めたい被写体である物体 30 の点の距離を D として、以下の式を得る

$$\vec{OD} = D\vec{d}$$

上記式と、上記 (S2) で示す差分算出式を用いて物体 30 までの距離 D を算出する。

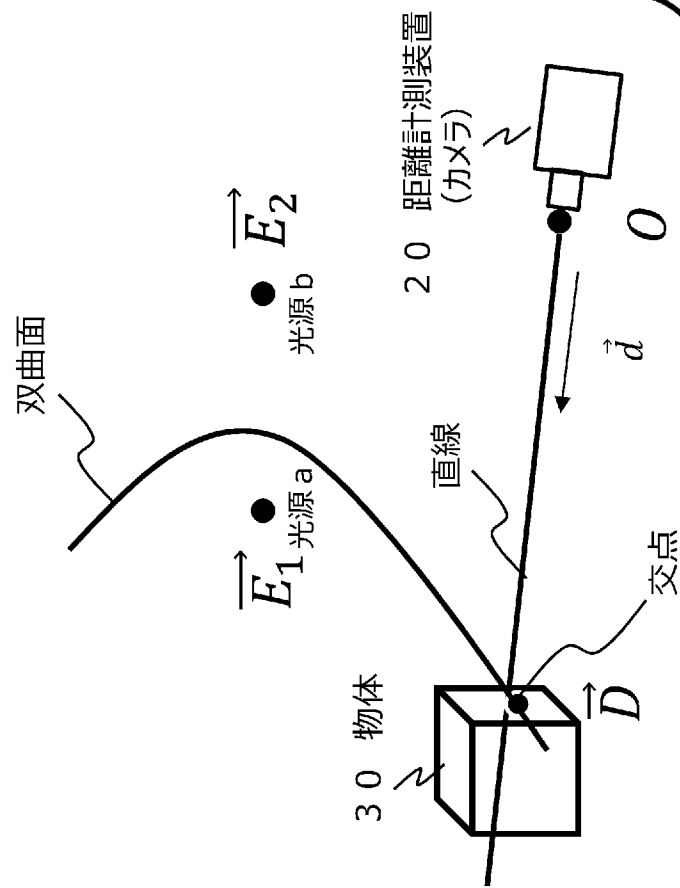
[図22]

(A) 双曲面と直線の交点を求める連立方程式

(=光源 a, b の位置 $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$ を焦点とする
双曲面 (の片側) を表す)

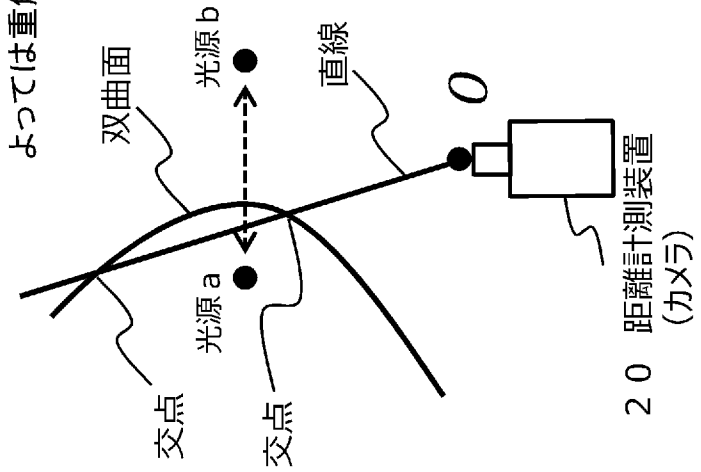
$$\left\{ \begin{array}{l} Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_1) - Obs(\vec{u}_D, \vec{E}_2) = |\overrightarrow{DE_1}| - |\overrightarrow{DE_2}| \\ \overrightarrow{OD} = D\vec{d} \end{array} \right. \Leftrightarrow (= \text{直線を表す})$$

(B 1) 双曲面と直線の交点算出例 1

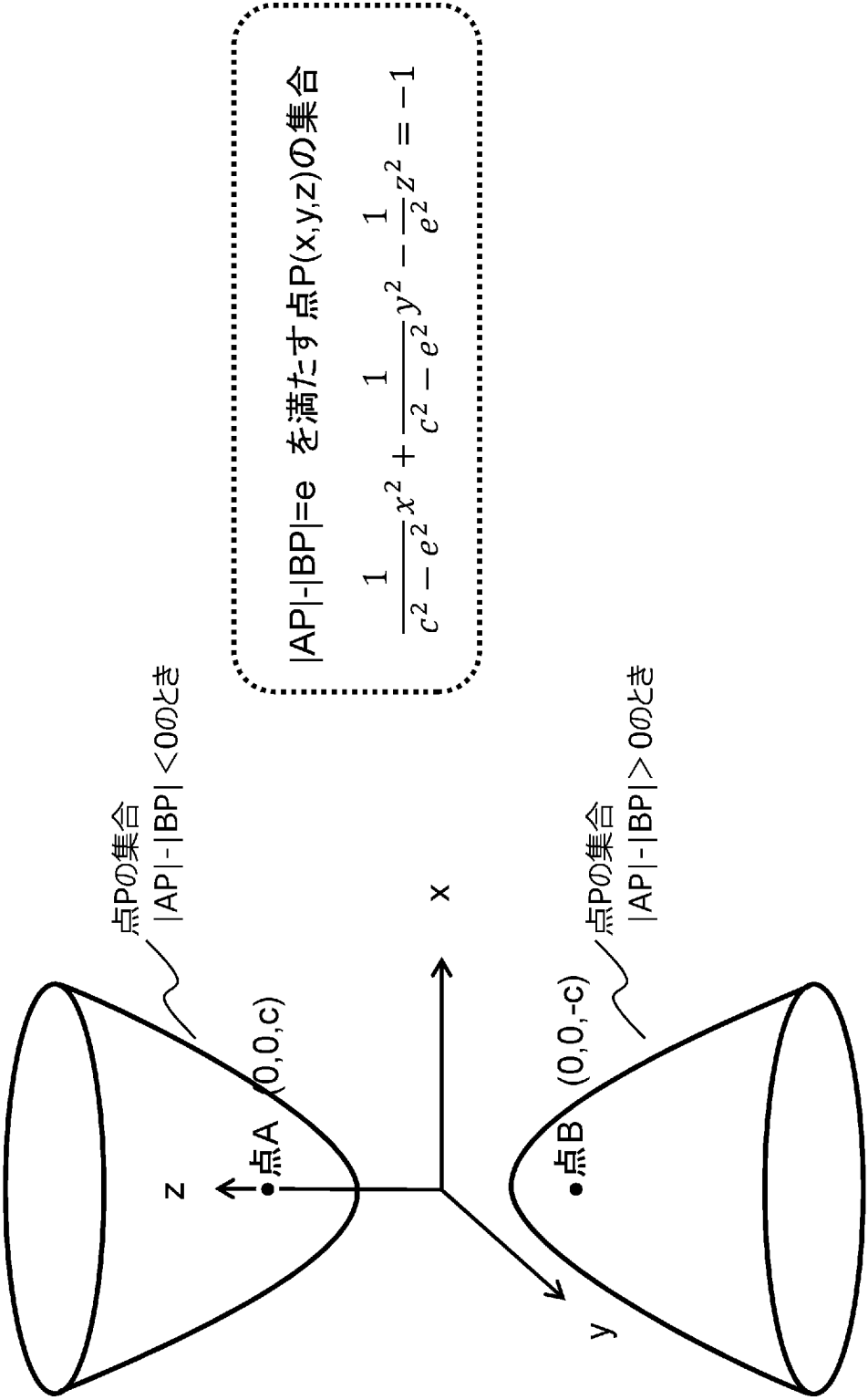


(B 2) 双曲面と直線の交点算出例 2

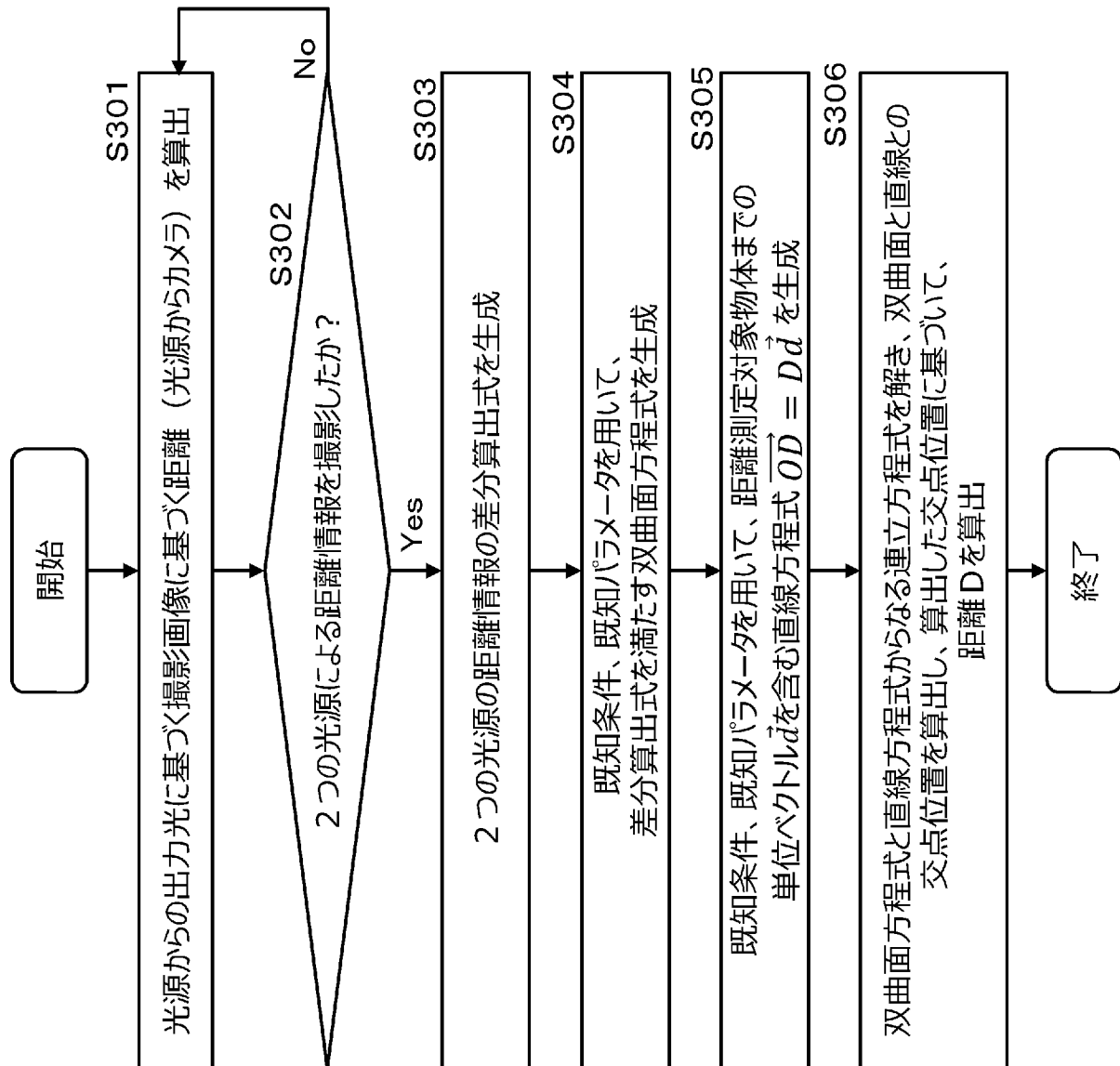
光源とカメラの配置によって重解が生じる



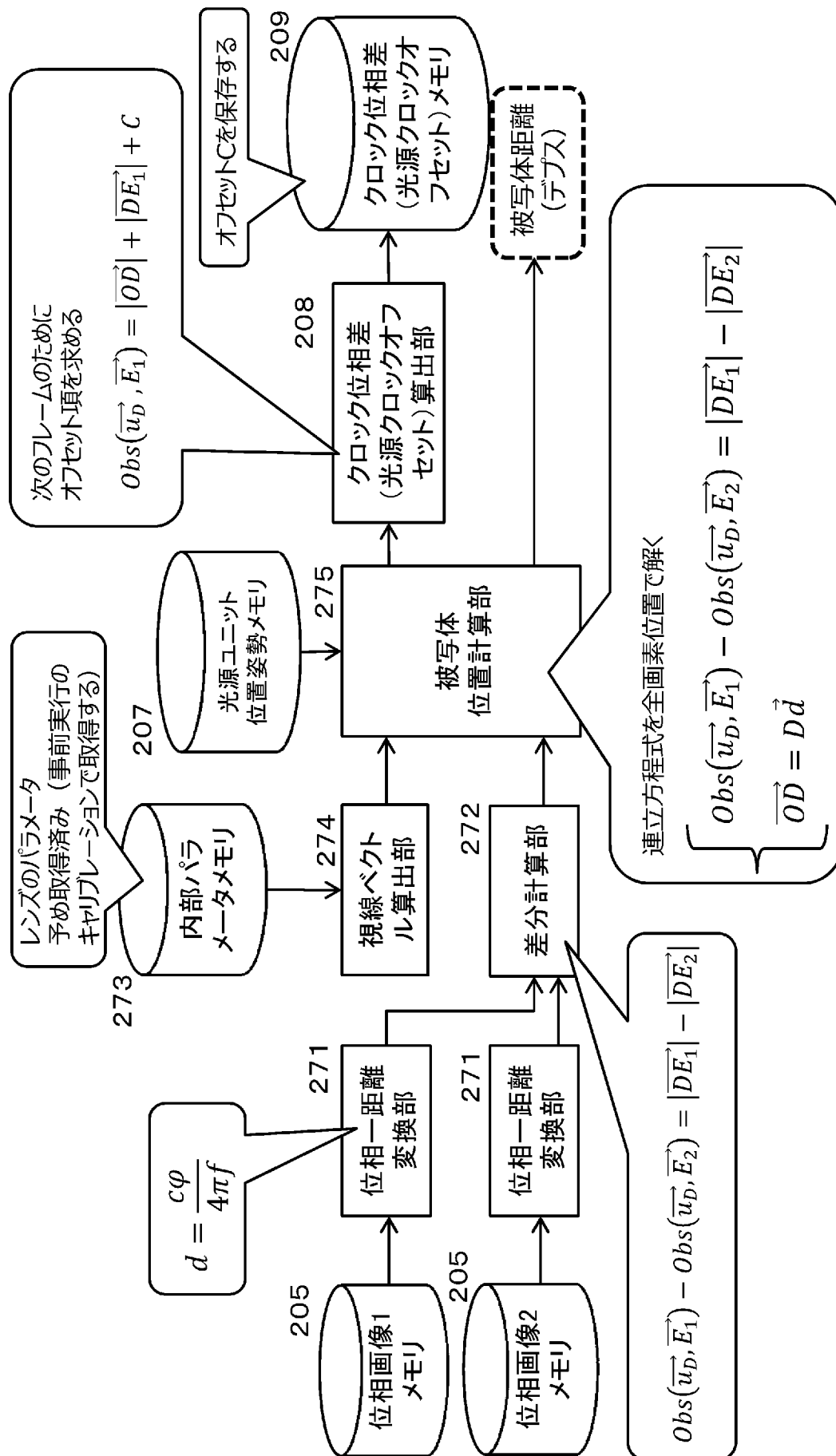
[図23]



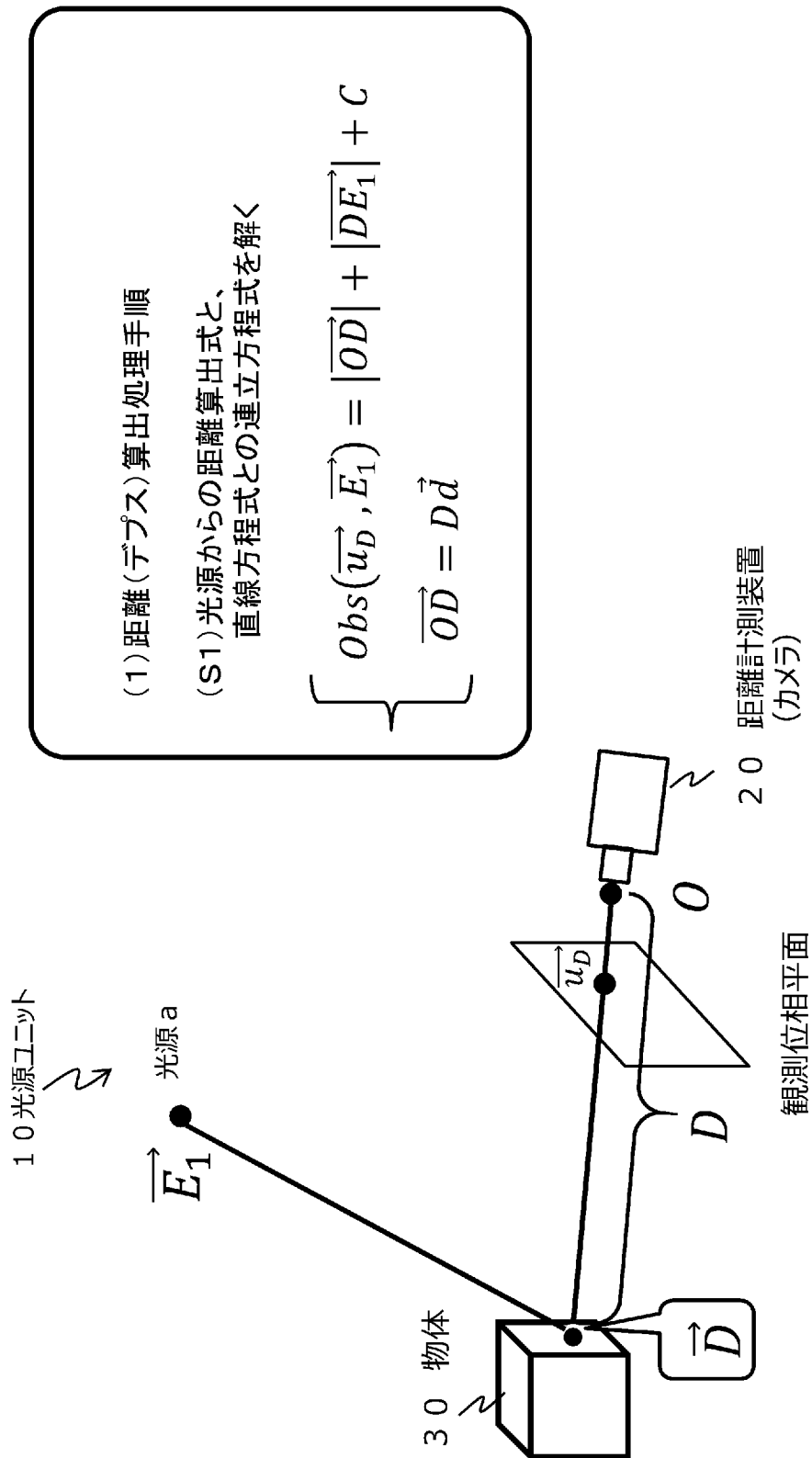
[図24]



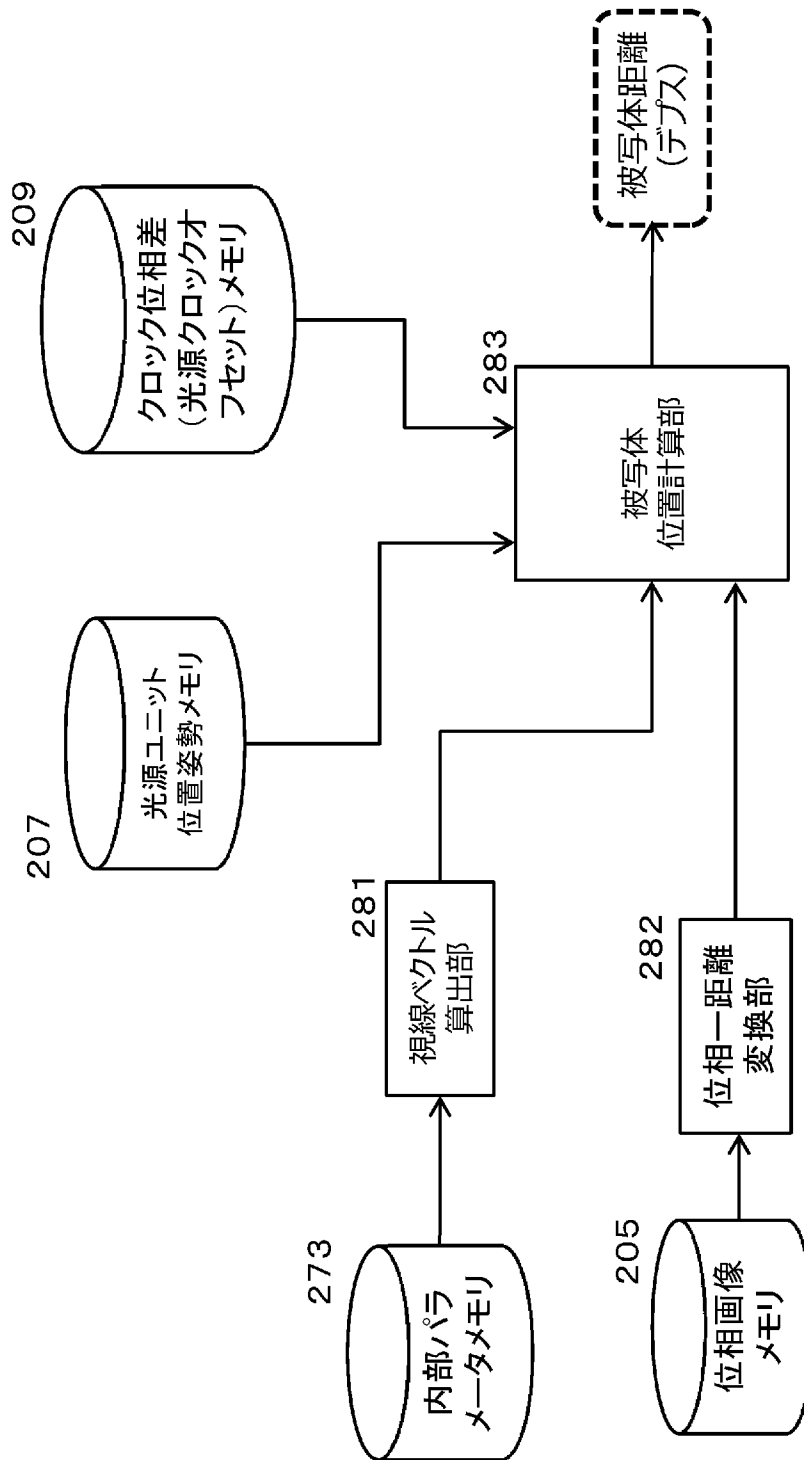
[図25]



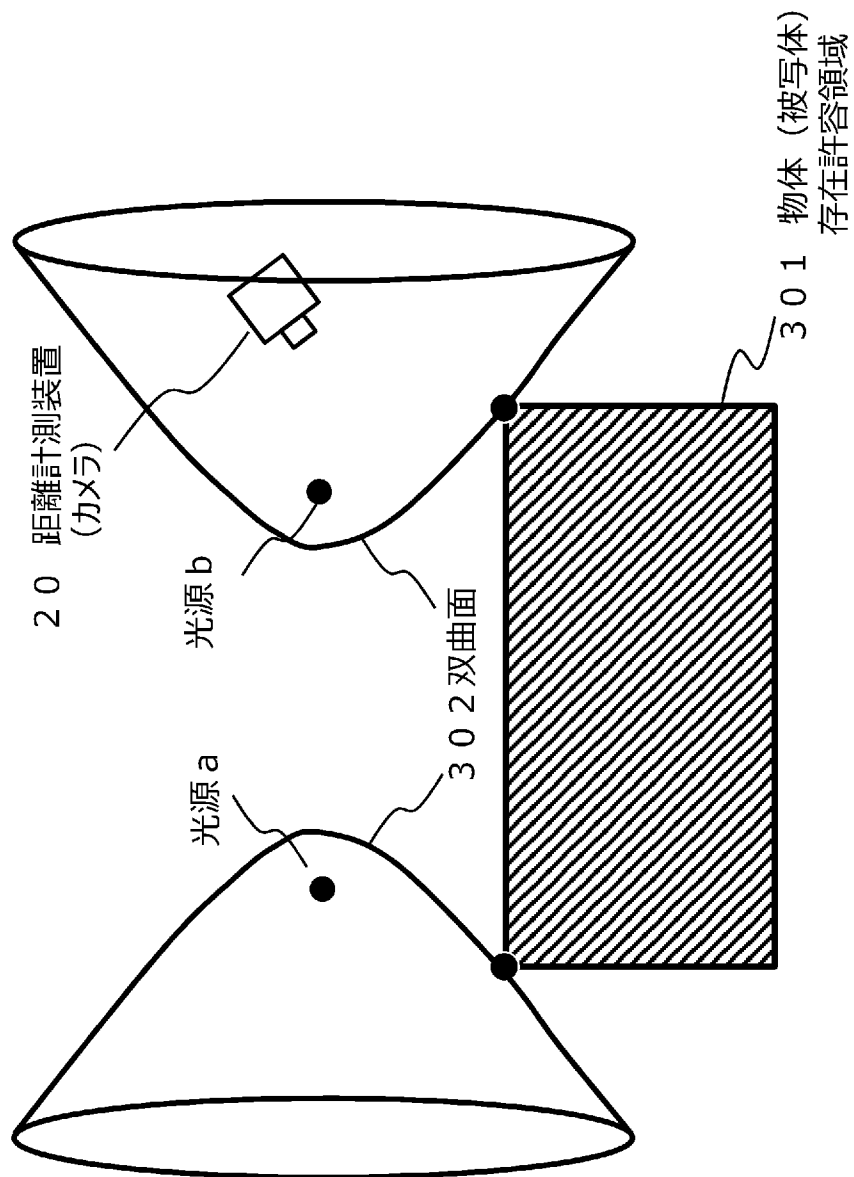
[図26]



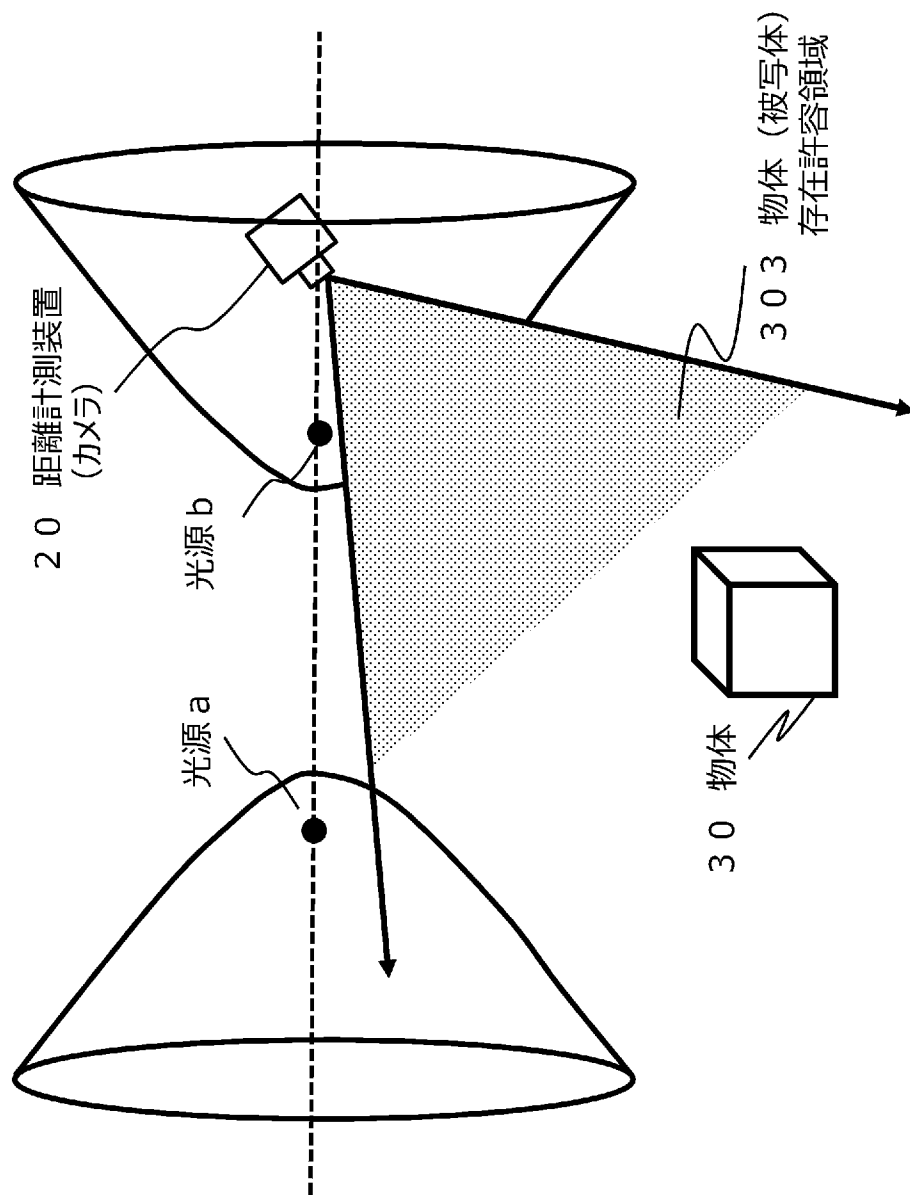
[図27]



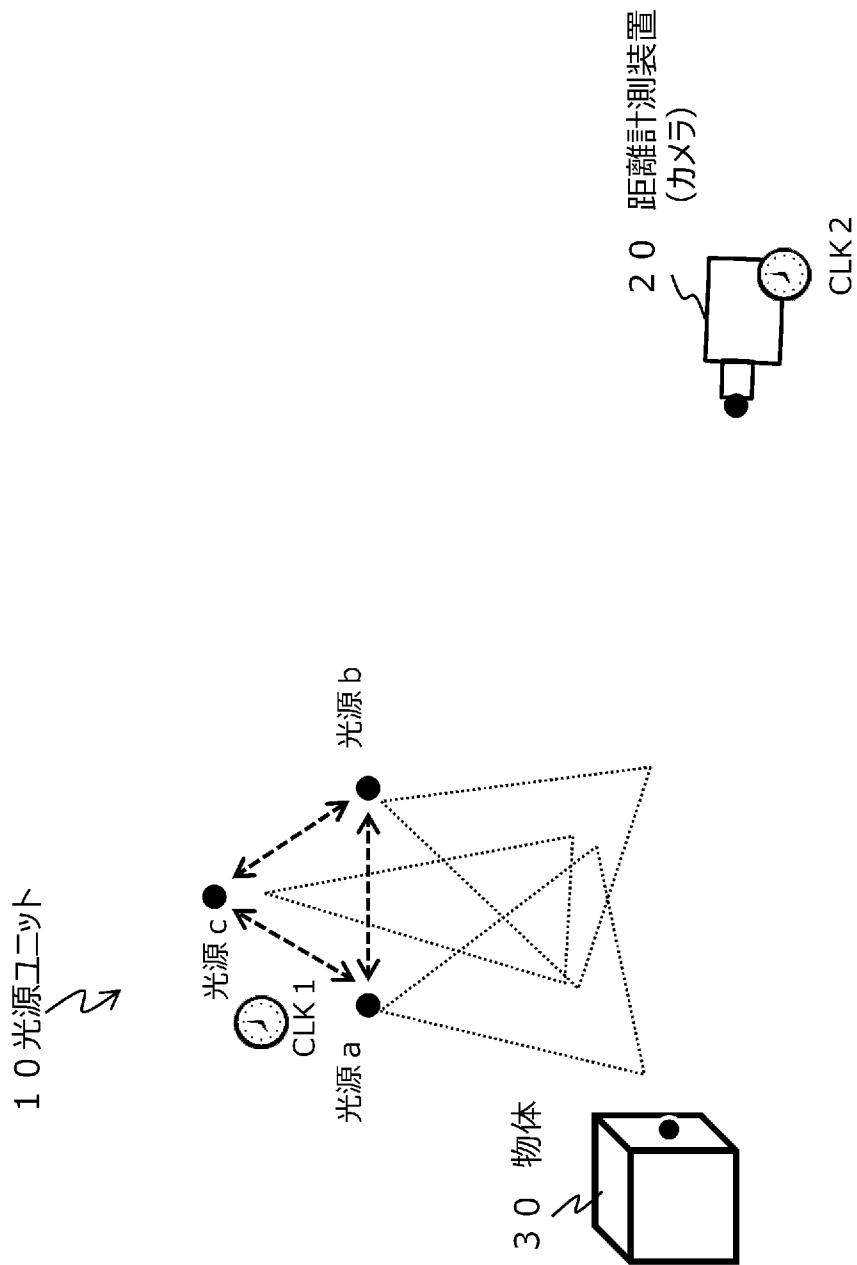
[図28]



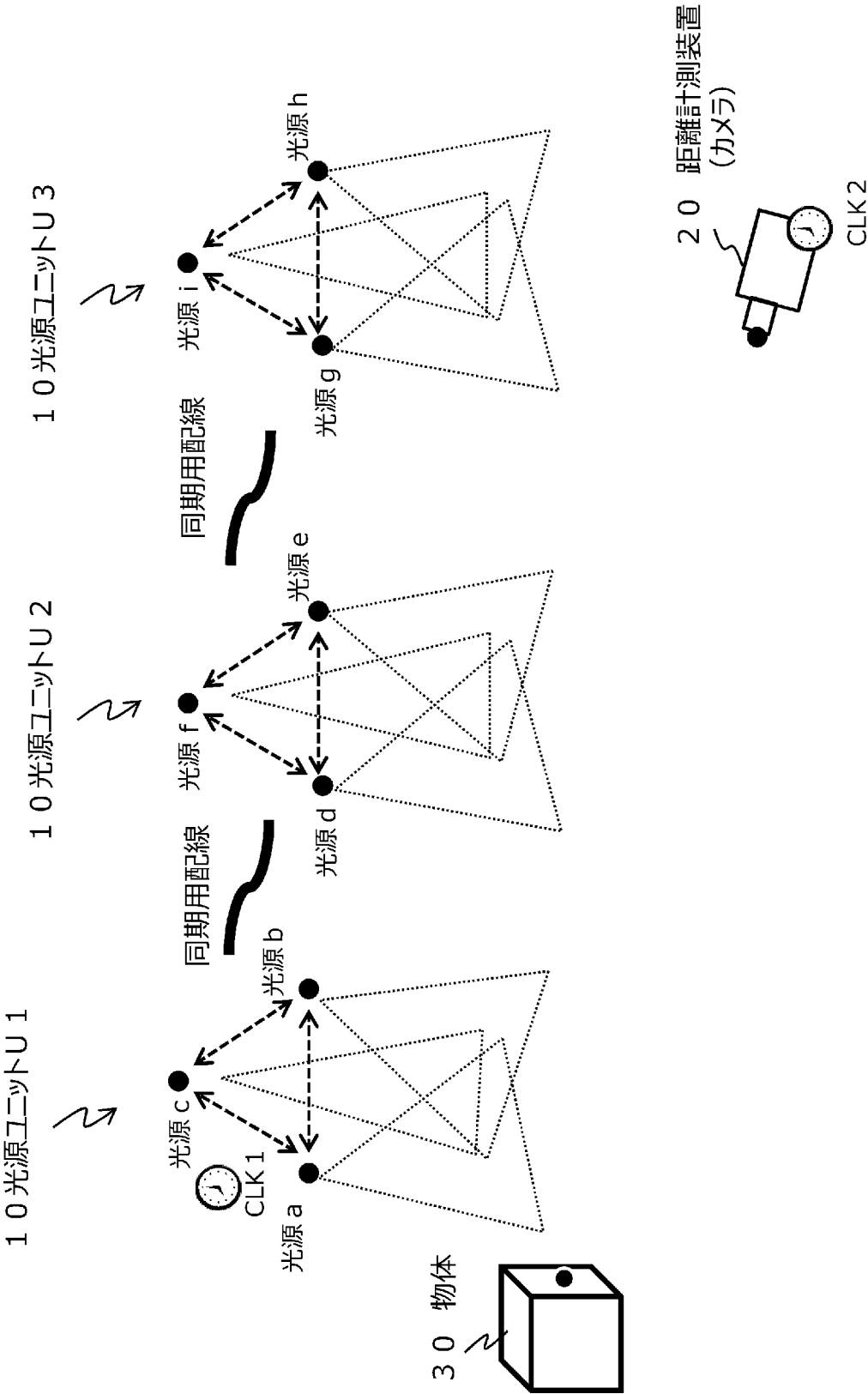
[図29]



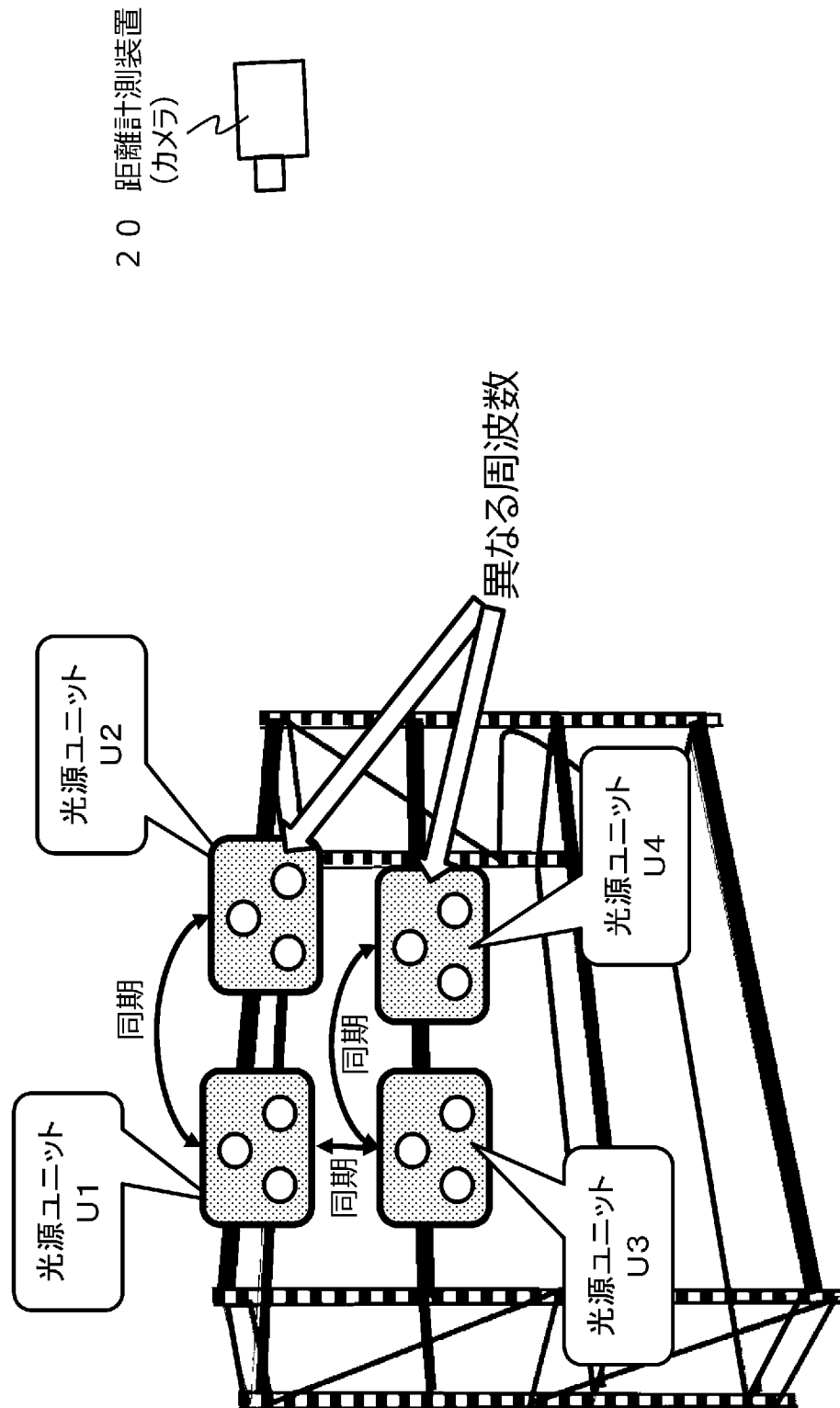
[図30]



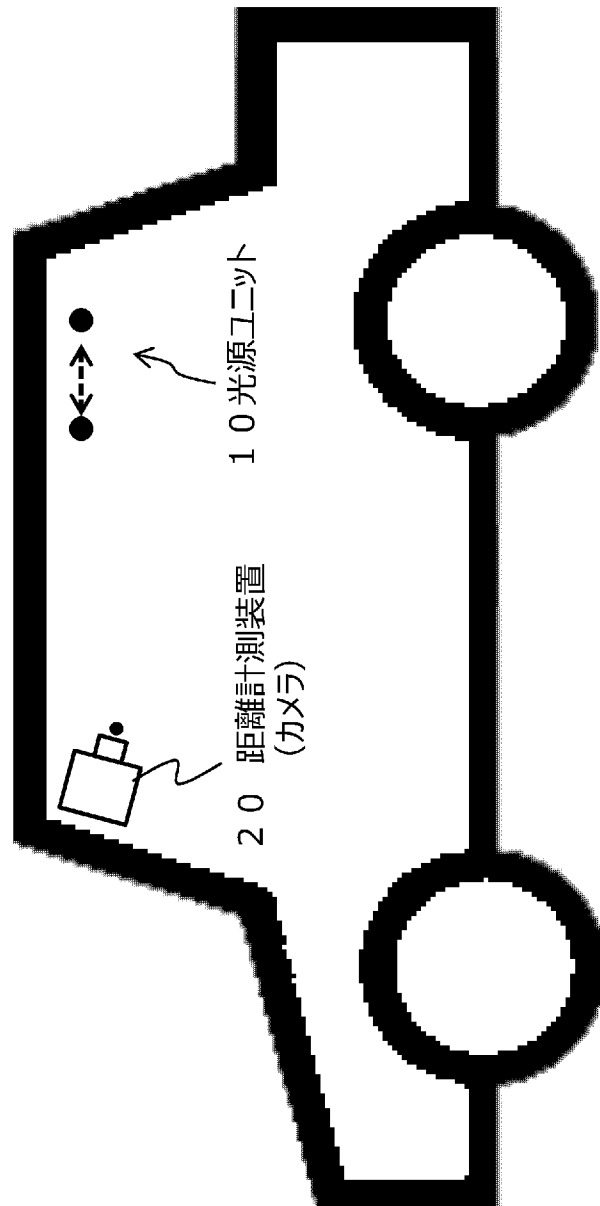
[図31]



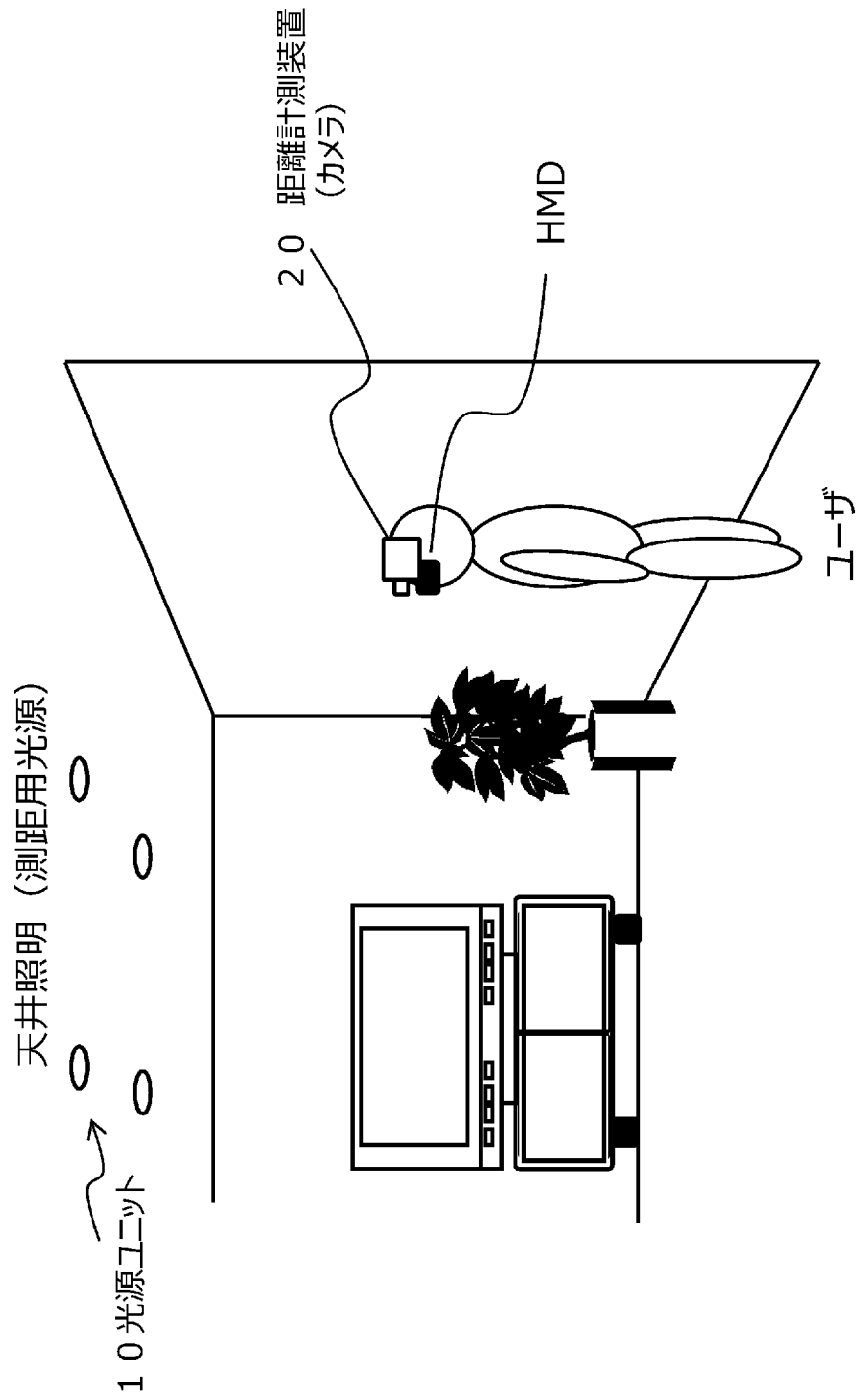
[図32]



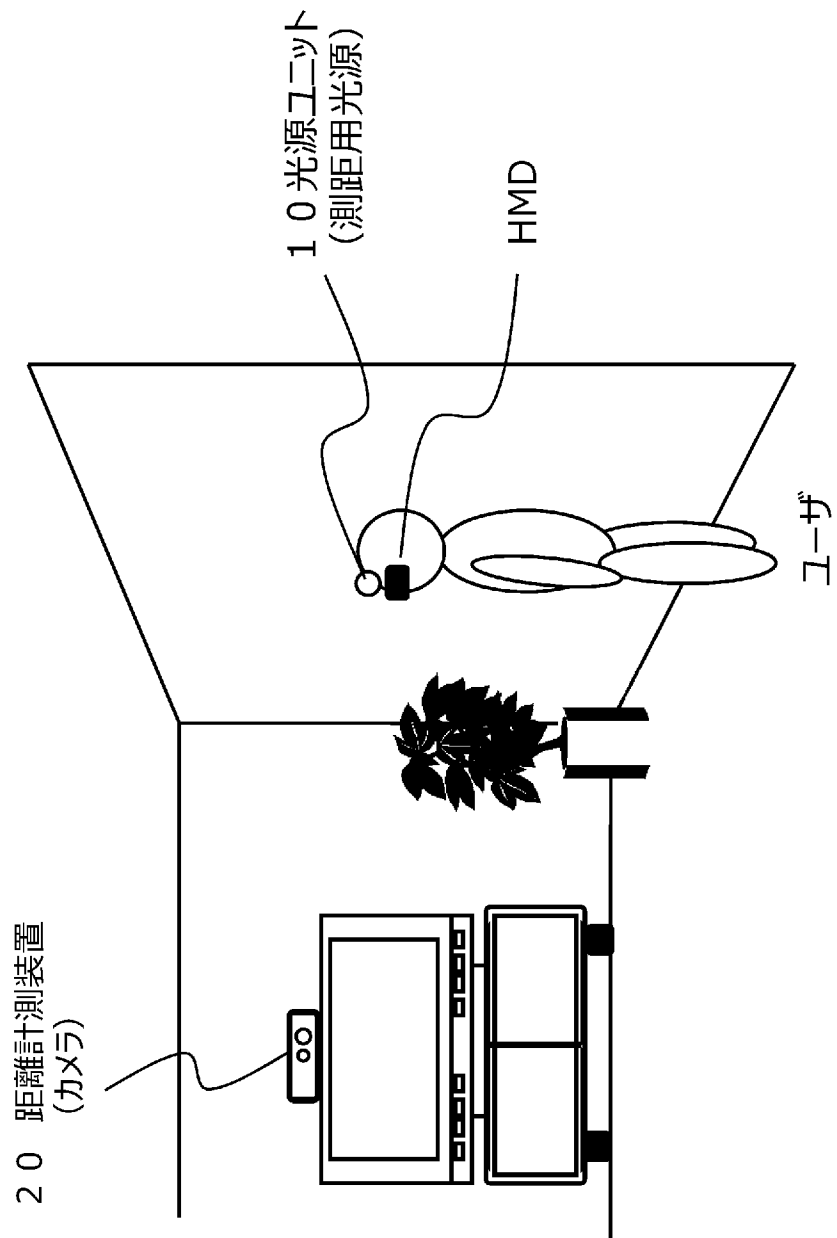
[図33]



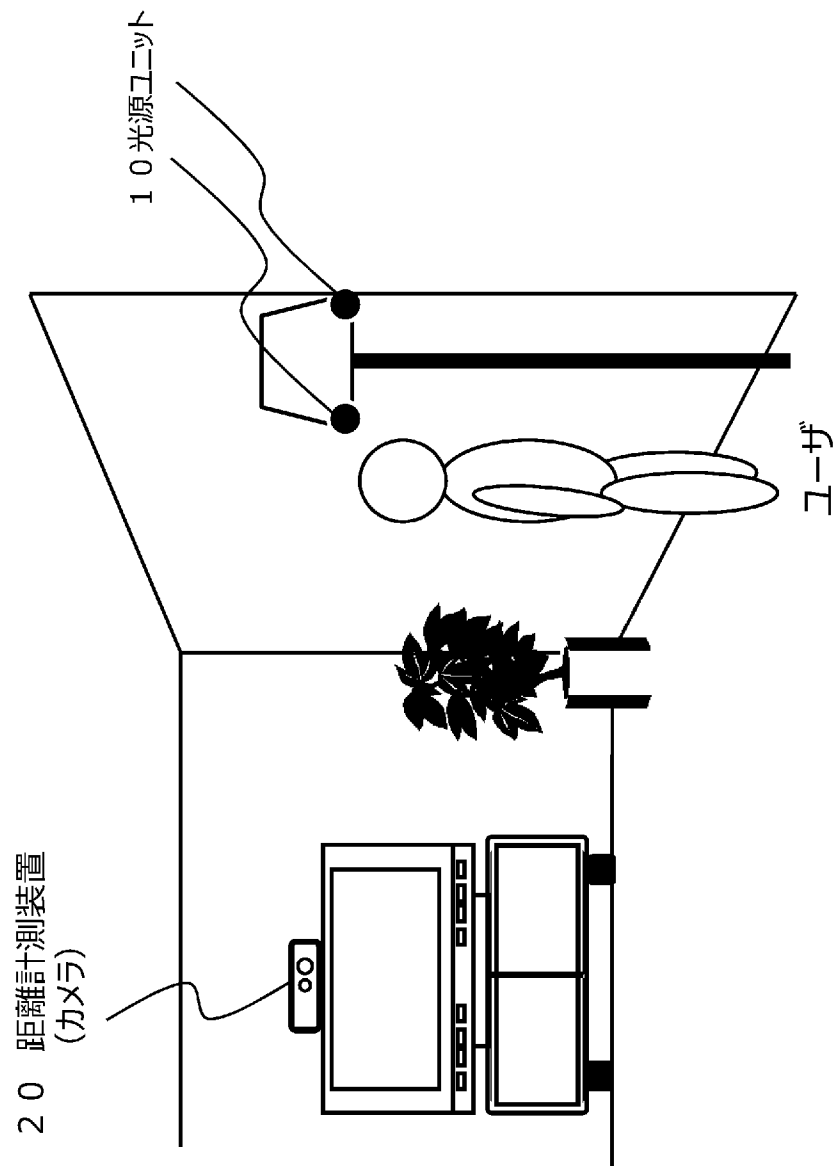
[図34]



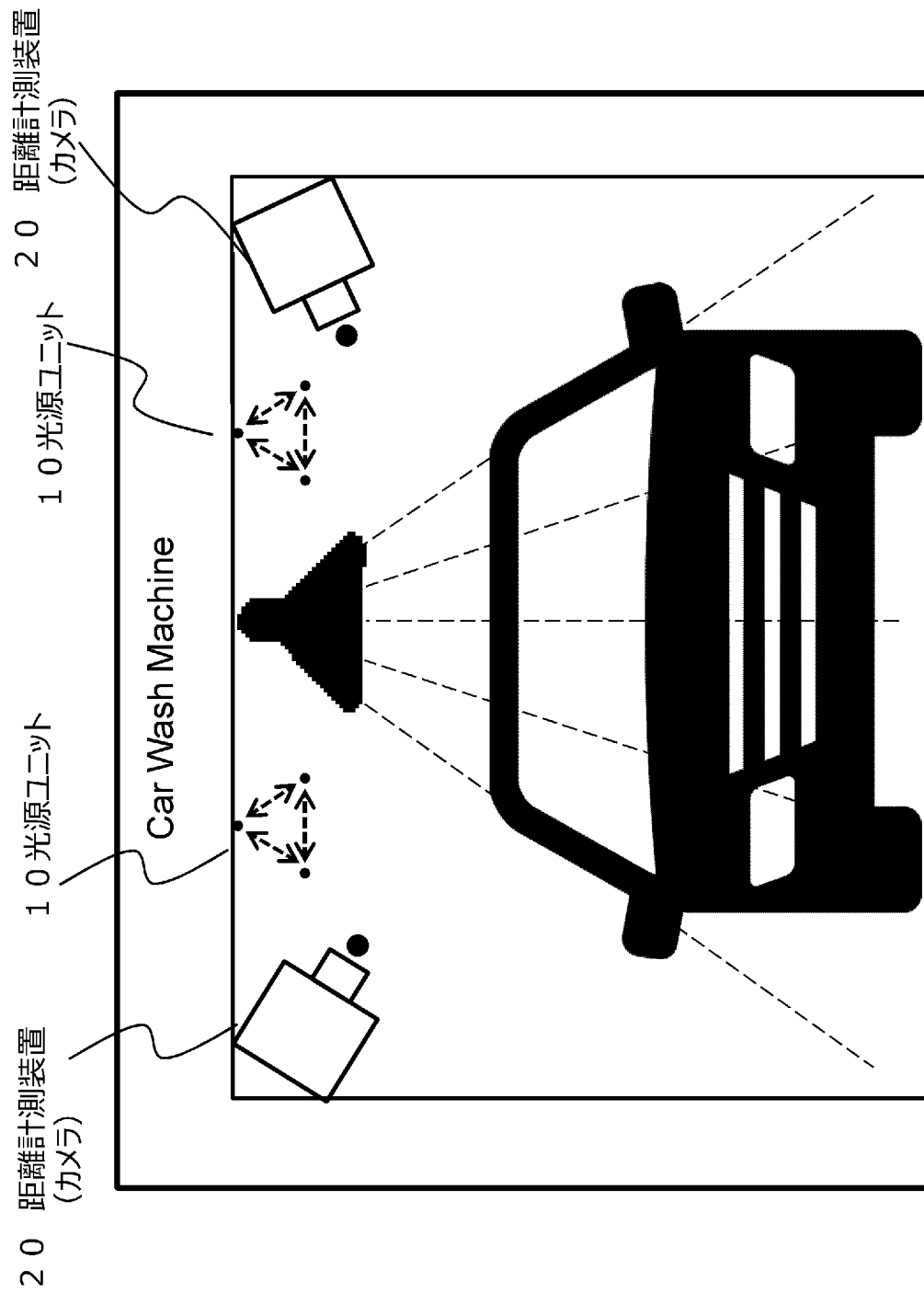
[図35]



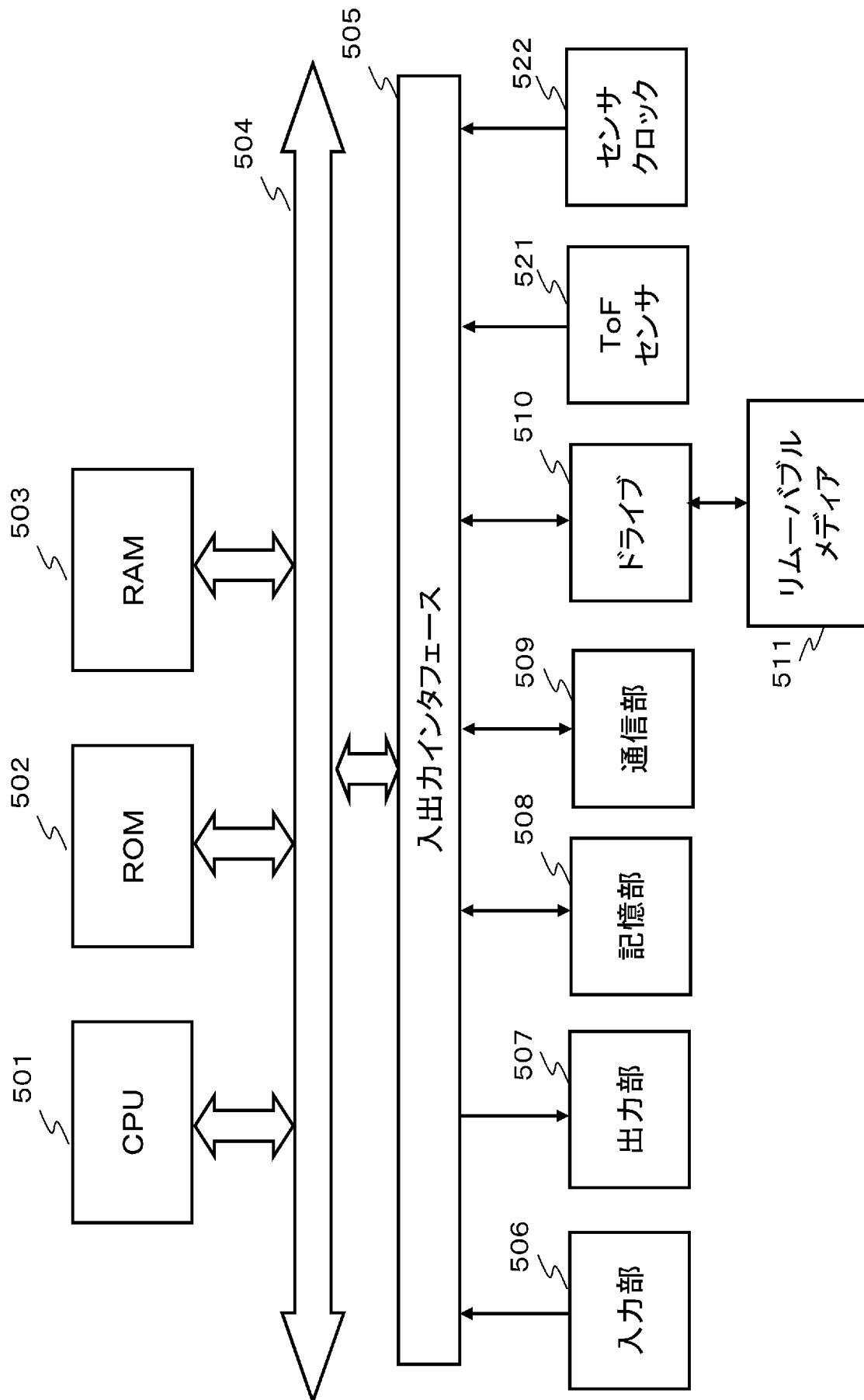
[図36]



[図37]



[図38]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/027353

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01S7/486(2006.01) i, G01S17/46(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)

Int.Cl. G01S7/48-G01S7/51, G01S17/00-G01S17/95

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X <u>Y</u> A	US 2013/0242058 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 19 September 2013, paragraphs [0046], [0049], [0056], [0080], [0088]-[0099], fig. 9-11	1-3 4, 10-15, 17 5-9, 16, 18
<u>Y</u> A	US 2018/0180733 A1 (SMITS, G. D.) 28 June 2018, paragraphs [0133]-[0136], fig. 6A, 6B	5-9, $\frac{4}{16}$, 18



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
04.09.2019

Date of mailing of the international search report
17.09.2019

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/JP2019/027353

C (Continuation). 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 2010-190675 A (TOYOTA MOTOR CORPORATION) 02 September 2010, paragraphs [0022], [0023], [0065], fig. 1	<u>10-15, 17</u> 5-9, 16, 18
A	US 6373428 B1 (MCEWEN, T. E.) 16 April 2002, fig. 1	1-18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2019/027353

US 2013/0242058 A1 19 September 2013	US 9253471 B2	02 February 2016
	KR 10-2013-0106094 A	27 September 2013
US 2018/0180733 A1 28 June 2018	US 10261183 B2	16 April 2019
	WO 2018/125850 A1	05 July 2018
JP 2010-190675 A	02 September 2010	(Family: none)
US 6373428 B1	16 April 2002	(Family: none)

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01S7/486(2006.01)i, G01S17/46(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01S 7/48 - G01S 7/51, G01S 17/00 - G01S 17/95

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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）

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
X Y A	US 2013/0242058 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 2013.09.19 * [0046], [0049], [0056], [0080], [0088]-[0099], 図 9-11 *	1-3 4, 10-15, 17 5-9, 16, 18
Y A	US 2018/0180733 A1 (SMITS, G. D.) 2018.06.28 * [0133]-[0136], 図 6A-6B *	4 5-9, 16, 18

 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

04.09.2019

国際調査報告の発送日

17.09.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

高場 正光

2S

2910

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

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
<u>Y</u> A	JP 2010-190675 A (トヨタ自動車株式会社) 2010.09.02 * [0022]-[0023], [0065], 図 1 *	<u>10-15, 17</u> 5-9, 16, 18
A	US 6373428 B1 (MCEWEN, T. E.) 2002.04.16 * 図 1 *	1-18

US 2013/0242058 A1	2013.09.19	US 9253471 B2	2016.02.02
		KR 10-2013-0106094 A	2013.09.27
US 2018/0180733 A1	2018.06.28	US 10261183 B2	2019.04.16
		WO 2018/125850 A1	2018.07.05
JP 2010-190675 A	2010.09.02	(ファミリーなし)	
US 6373428 B1	2002.04.16	(ファミリーなし)	