

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6540261号
(P6540261)

(45) 発行日 令和1年7月10日(2019.7.10)

(24) 登録日 令和1年6月21日(2019.6.21)

(51) Int.Cl.		F I			
GO 1 P	3/36	(2006.01)	GO 1 P	3/36	C
HO 4 N	5/235	(2006.01)	HO 4 N	5/235	4 0 0
HO 4 N	5/238	(2006.01)	HO 4 N	5/238	

請求項の数 3 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2015-123230 (P2015-123230)
 (22) 出願日 平成27年6月18日 (2015.6.18)
 (65) 公開番号 特開2017-9354 (P2017-9354A)
 (43) 公開日 平成29年1月12日 (2017.1.12)
 審査請求日 平成30年5月17日 (2018.5.17)

(73) 特許権者 000001247
 株式会社ジェイテクト
 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号
 (74) 代理人 110000394
 特許業務法人岡田国際特許事務所
 (72) 発明者 春山 朋彦
 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号
 株式会社ジェイテクト内
 審査官 森 雅之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高速度撮像システム及び高速度撮像方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

運動している撮像対象物に向けられた高速度撮像手段と、
 前記撮像対象物に照射光を照射する光源と、
 前記高速度撮像手段が撮像した画像を処理する画像処理手段と、を有する高速度撮像システムであって、

前記高速度撮像手段は、第1所定時間の間隔にて次々と画像を撮像し、撮像した前記画像を前記画像処理手段に出力し、

前記光源は、パルス光源であり、前記高速度撮像手段が各画像を撮像している露光時間内において、異なる出力強度で複数の照射光を、前記露光時間よりも短い第2所定時間の間隔で照射し、

前記画像処理手段は、

前記高速度撮像手段から前記画像を取り込み、

複数の前記画像の中の1つの画像と、当該画像の1つ後の画像と、に相互相関関数を適用して前記撮像対象物を含む領域を検索し、検索した前記領域の移動距離を求め、求めた移動距離と、前記第1所定時間と、に基づいて前記撮像対象物の移動速度である第1移動速度を求め、

前記画像に撮像されている前記撮像対象物であって前記光源からの異なるそれぞれの出力強度の照射光に応じたそれぞれの輝度範囲の輝度を有する複数の前記撮像対象物を前記画像の中から抽出し、抽出したそれぞれの前記撮像対象物の輝度中心位置から求めた移動

距離と、前記第 2 所定時間と、に基づいて前記撮像対象物の移動速度である第 2 移動速度を求め、

所定条件を満足する場合は、前記第 2 移動速度を前記撮像対象物の移動速度と判定し、前記所定条件を満足しない場合は、前記第 1 移動速度を前記撮像対象物の移動速度と判定する、

高速度撮像システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の高速度撮像システムであって、

前記所定条件を満足する場合は、

求めた前記第 2 移動速度が第 1 所定速度未満である場合、

求めた前記第 2 移動速度が前記第 1 所定速度よりも高い第 2 所定速度以上である場合、

前記画像中に前記撮像対象物に加えて前記撮像対象物に近似する物体である撮像対象近似物体が撮像されていて前記相互相関関数にて前記撮像対象物と前記撮像対象近似物体とが区別できない場合、

の少なくとも 1 つが成立している場合である、

高速度撮像システム。

【請求項 3】

運動する撮像対象物に向けられて第 1 所定時間の間隔にて次々と画像を撮像し、撮像した前記画像を画像処理手段に出力する高速度撮像手段と、

前記撮像対象物に向けられた光源と、

前記高速度撮像手段が撮像した画像を取り込んで前記撮像対象物の移動速度を求める画像処理手段と、を用いた高速度撮像方法であって、

前記高速度撮像手段にて画像の撮像を開始する撮像開始ステップと、

前記高速度撮像手段にて前記画像を撮像するとともに、各画像を撮像している露光時間内において、前記光源から、異なる出力強度で複数の照射光を、前記露光時間よりも短い第 2 所定時間の間隔で照射する撮像ステップと、

前記高速度撮像手段が撮像した画像を前記高速度撮像手段から前記画像処理手段へと出力して、前記画像処理手段にて前記画像を取り込む画像転送ステップと、

前記画像処理手段にて、取り込んだ前記画像に撮像されている前記撮像対象物であって前記光源の異なる出力強度の照射光に応じた異なる輝度の複数の前記撮像対象物を前記画像の中から抽出する撮像対象物抽出ステップと、

前記画像処理手段にて、複数の前記画像の中の 1 つの画像と、当該画像の 1 つ後の画像と、に相互相関関数を適用して前記撮像対象物を含む領域を検索し、検索した前記領域の移動距離を求め、求めた移動距離と、前記第 1 所定時間と、に基づいて前記撮像対象物の移動速度である第 1 移動速度を求める第 1 移動速度算出ステップと、

前記画像処理手段にて、前記画像に撮像されている前記撮像対象物であって前記光源からの異なるそれぞれの出力強度の照射光に応じたそれぞれの輝度範囲の輝度を有する複数の前記撮像対象物を前記画像の中から抽出し、抽出したそれぞれの前記撮像対象物の輝度中心位置から求めた移動距離と、前記第 2 所定時間と、に基づいて前記撮像対象物の移動速度である第 2 移動速度を求める第 2 移動速度算出ステップと、

前記画像処理手段にて、所定条件を満足する場合は、前記第 2 移動速度を前記撮像対象物の移動速度と判定し、前記所定条件を満足しない場合は、前記第 1 移動速度を前記撮像対象物の移動速度と判定する移動速度判定ステップと、を有する、

高速度撮像方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高速移動する撮像対象物を撮像する高速度撮像システム及び高速度撮像方法

10

20

30

40

50

に関する。

【背景技術】

【0002】

高速移動する撮像対象物を撮像する場合には、フレームレート（1秒間に撮像できる画像の数 [fps]）が高い撮像装置（いわゆるハイスピードカメラ）が利用される。撮像対象物の移動速度が速くなるほど、撮像装置のフレームレートを高くしなければならないが、フレームレートの上限は、当該撮像装置で決まってしまう。フレームレートの上限を超える速度で移動する撮像対象物を撮像した場合、像がぶれてしまうので適切に撮像することができない。

【0003】

例えば特許文献1には、フレームレート、単位撮影時間内（1回の露光時間内）の照射光の照射回数（露光回数）、露光時間、の少なくともいずれかを、単位撮影時間ごとに複数回変更できる変更手段を備えた撮像装置が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2004-064661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に記載の撮像装置では、単位撮影時間内（1回の露光時間内）で、複数回の照射光の照射を行うことで、1枚の画像内に、移動している撮像対象物を複数回撮像できる。従って、撮像装置のフレームレートの上限を超える速度で移動する撮像対象物をぶれずに撮像することができるものと推測される。しかし、複数回照射する照射光の輝度が同一であるので、例えばn回目の照射時の像と、n+1回目の照射時の像が重なってしまった場合等では、n回目の照射時の像とn+1回目の照射時の像とを適切に分離することができない。従って、像が重なってしまった場合等では、撮像対象物の移動速度を適切に計測することが困難となる。

【0006】

本発明は、このような点に鑑みて創案されたものであり、1回の露光時間内に複数回の照射光の照射を行って、1枚の画像内に、移動している撮像対象物を複数回撮像して、撮像装置のフレームレートの上限を超える速度で移動する撮像対象物を撮像できるとともに、各照射時の像を適切に分離することが可能であり、撮像対象物の移動速度をより正確に計測することができる高速度撮像システム及び高速度撮像方法を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題を解決するため、本発明に係る高速度撮像システム及び高速度撮像方法は、次の手段をとる。まず、本発明の第1の発明は、運動している撮像対象物に向けられた高速度撮像手段と、前記撮像対象物に照射光を照射する光源と、前記高速度撮像手段が撮像した画像を処理する画像処理手段と、を有する高速度撮像システムである。前記高速度撮像手段は、第1所定時間の間隔にて次々と画像を撮像し、撮像した前記画像を前記画像処理手段に出力し、前記光源は、パルス光源であり、前記高速度撮像手段が各画像を撮像している露光時間内において、異なる出力強度で複数の照射光を、前記露光時間よりも短い第2所定時間の間隔で照射する。そして、前記画像処理手段は、前記高速度撮像手段から前記画像を取り込み、前記画像に撮像されている前記撮像対象物であって前記光源の異なる出力強度の照射光に応じた異なる輝度の複数の前記撮像対象物を前記画像の中から抽出し、それぞれの輝度の前記撮像対象物の位置から求めた移動距離と、前記第2所定時間と、に基づいて前記撮像対象物の移動速度を求める。

【0008】

10

20

30

40

50

次に、本発明の第2の発明は、運動している撮像対象物に向けられた高速度撮像手段と、前記撮像対象物に照射光を照射する光源と、前記高速度撮像手段が撮像した画像を処理する画像処理手段と、を有する高速度撮像システムである。前記高速度撮像手段は、第1所定時間の間隔にて次々と画像を撮像し、撮像した前記画像を前記画像処理手段に出力し、前記光源は、パルス光源であり、前記高速度撮像手段が各画像を撮像している露光時間内において、異なる出力強度で複数の照射光を、前記露光時間よりも短い第2所定時間の間隔で照射する。そして、前記画像処理手段は、前記高速度撮像手段から前記画像を取り込み、複数の前記画像の中の1つの画像と、当該画像の1つ後の画像と、に相互相関関数を適用して、前記撮像対象物の移動距離を求め、求めた移動距離と、前記第1所定時間と、に基づいて前記撮像対象物の移動速度である第1移動速度を求め、前記画像に撮像されている前記撮像対象物であって前記光源の異なる出力強度の照射光に応じた異なる輝度の複数の前記撮像対象物を前記画像の中から抽出し、それぞれの輝度の前記撮像対象物の位置から求めた移動距離と、前記第2所定時間と、に基づいて前記撮像対象物の移動速度である第2移動速度を求め、所定条件を満足する場合は、前記第2移動速度を前記撮像対象物の移動速度と判定し、前記所定条件を満足しない場合は、前記第1移動速度を前記撮像対象物の移動速度と判定する。

10

【0009】

次に、本発明の第3の発明は、上記第2の発明に係る高速度撮像システムであって、前記所定条件を満足する場合は、求めた前記第2移動速度が第1所定速度未満である場合、求めた第2移動速度が前記第1所定速度よりも高い第2所定速度以上である場合、前記画像中に前記撮像対象物に加えて前記撮像対象物に近似する物体である撮像対象近似物体が撮像されていて前記相互相関関数にて前記撮像対象物と前記撮像対象近似物体とが区別できない場合、の少なくとも1つが成立している場合である。

20

【0010】

次に、本発明の第4の発明は、運動する撮像対象物に向けられて第1所定時間の間隔にて次々と画像を撮像し、撮像した前記画像を画像処理手段に出力する高速度撮像手段と、前記撮像対象物に向けられた光源と、前記高速度撮像手段が撮像した画像を取り込んで前記撮像対象物の移動速度を求める画像処理手段と、を用いた高速度撮像方法であって、前記高速度撮像手段にて画像の撮像を開始する撮像開始ステップと、前記高速度撮像手段にて前記画像を撮像するとともに、各画像を撮像している露光時間内において、前記光源から、異なる出力強度で複数の照射光を、前記露光時間よりも短い第2所定時間の間隔で照射する撮像ステップと、前記高速度撮像手段が撮像した画像を前記高速度撮像手段から前記画像処理手段へと出力して、前記画像処理手段にて前記画像を取り込む画像転送ステップと、前記画像処理手段にて、取り込んだ前記画像に撮像されている前記撮像対象物であって前記光源の異なる出力強度の照射光に応じた異なる輝度の複数の前記撮像対象物を前記画像の中から抽出する撮像対象物抽出ステップと、前記画像処理手段にて、抽出したそれぞれの輝度の前記撮像対象物の位置から求めた移動距離と、前記第2所定時間と、に基づいて前記撮像対象物の移動速度を求める移動速度算出ステップと、を有する。

30

【発明の効果】

【0011】

第1の発明によれば、1回の露光時間内に、第2所定時間の間隔で、異なる出力強度で複数回の照射光の照射を行う。これにより、1枚の画像内に、移動している撮像対象物を複数回撮像し、撮像装置のフレームレートの上限を超える速度で移動する撮像対象物を撮像できる。また、照射光の照射毎に異なる輝度の像を撮像する。従って、例えば照射光の出力強度に対応する輝度範囲を設定し、輝度範囲毎の像を抽出することで、像が重なっていても、各照射時の像を適切に分離することが可能であり、撮像対象物の移動速度をより正確に計測することができる。

40

【0012】

第2の発明によれば、第1の発明と同じ構成で第2移動速度を求め、相互相関関数を用いた(既存の)構成で第1移動速度を求める。そして条件に応じて、第1移動速度を撮像

50

対象物の移動速度とするか、第2移動速度を撮像対象物の移動速度とするか、を切り替える。第2移動速度は第1発明と同じ構成で求めているので、撮像装置のフレームレートの上限を超える速度で移動する撮像対象物を撮像可能であり、像が重なっていても、各照射時の像を適切に分離することが可能であり、撮像対象物の移動速度をより正確に計測することができる。また第1移動速度のほうが第2移動速度よりも撮像対象物の移動速度として適切である場合（所定条件を満足しない場合）は、第1移動速度を撮像対象物の移動速度とすることができる。

【0013】

第3の発明によれば、第1移動速度のほうが第2移動速度よりも撮像対象物の移動速度として適切である場合（所定条件を満足しない場合）を、適切に判断することができる。

10

【0014】

第4の発明によれば、1枚の画像内に、移動している撮像対象物を複数回撮像し、撮像装置のフレームレートの上限を超える速度で移動する撮像対象物を撮像可能であり、かつ、像が重なっていても、各照射時の像を適切に分離可能で、撮像対象物の移動速度をより正確に計測することができる高速度撮像方法を適切に実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】第1の実施の形態の高速度撮像システムの全体構成を説明する斜視図である。

【図2】撮像装置のフレームレート及び露光タイミングと、光源からの照射光の照射タイミング及び照射出力強度との関係を示すタイミングチャートである。

20

【図3】画像処理装置の処理手順の例を説明するフローチャートである。

【図4】画像G[m]と、1つ後の画像G[m+1]と、に相互相関関数を適用して第1移動速度を求める例を説明する図である。

【図5】画像G[m]中において、異なる出力強度の照射光にて撮像対象物が撮像されている例を説明する図である。

【図6】図6中から第1輝度範囲の撮像対象物を抽出し、抽出した撮像対象物の輝度中心位置を求める様子を説明する図である。

【図7】図6中から第2輝度範囲の撮像対象物を抽出し、抽出した撮像対象物の輝度中心位置を求める様子を説明する図である。

【図8】第2の実施の形態の高速度撮像システムの全体構成を説明する斜視図である。

30

【図9】第1撮像装置と第2撮像装置のフレームレート及び露光タイミングと、光源からの照射光の照射タイミング及び照射出力強度との関係を示すタイミングチャートである。

【図10】第1撮像装置からの画像G1[m]と、第1撮像装置からの1つ後の画像G1[m+1]と、の例を説明する図である。

【図11】第2撮像装置からの画像G2[m]と、第2撮像装置からの1つ後の画像G2[m+1]と、の例を説明する図である。

【図12】第1撮像装置からの画像G1[m]と、第2撮像装置からの画像G2[m]と、の例を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

40

以下、第1の実施の形態の高速度撮像システム及び高速度撮像方法と、第2の実施の形態の高速度撮像システム及び高速度撮像方法を、図面を用いて順に説明する。またX軸、Y軸、Z軸が記載されている図では、X軸とY軸とZ軸は互いに直交しており、光軸JZ方向はZ軸方向とされている。また撮像対象物W1の移動方向は、X軸とY軸を含むXY平面内である。また本実施の形態の説明では、撮像装置10から撮像対象物W1を見た場合、撮像対象物W1が左から右に向かって移動している例で説明する。

【0017】

[第1の実施の形態の高速度撮像システム1の全体構成(図1)]

第1の実施の形態の高速度撮像システム1は、図1に示すように、撮像装置10(高速度撮像手段に相当)、光源30、画像処理装置40(画像処理手段に相当)等にて構成さ

50

れている。撮像装置 10 の光軸 J Z の方向は、高速移動する撮像対象物 W 1 の方向に向けられている。

【 0 0 1 8 】

撮像装置 10 は、いわゆるハイスピードカメラであり、撮像装置 10 の光軸 J Z は撮像対象物 W 1 に向けられている。撮像装置 10 は、画像処理装置 40 からの制御信号に基づいて撮像エリア A 1 内を第 1 所定時間の間隔で撮像した画像を次々と作成し、作成した画像を画像処理装置 40 に出力する。撮像装置 10 のフレームレートは、例えば数 1000 [f p s] ~ 約 10000 [f p s] である。撮像装置 10 の撮像素子は、CCD でもよいし CMOS でもよく、カラーでも白黒でもよい。本実施の形態では、撮像装置 10 の撮像素子は、白黒の CMOS イメージセンサを用いている。

10

【 0 0 1 9 】

光源 30 は、例えばレーザー光源またはメタルハライド光源であり、撮像エリア A 1 の方向（撮像対象物 W 1 の方向）に照射光を照射する。光源 30 は、画像処理装置 40 からの制御信号に基づいて、撮像装置 10 が撮像する各画像の露光時間よりも短い第 2 所定時間の間隔で、異なる出力強度の複数の照射光（パルス光）を出力する。

【 0 0 2 0 】

画像処理装置 40 は、例えばパーソナルコンピュータであり、撮像装置 10 に露光タイミング信号を出力し、光源 30 に照射タイミング信号及び照射出力強度信号を出力して（図 2 参照）、撮像装置 10 による各画像の撮像と、光源 30 からの各照射光の照射とを同期させている。また画像処理装置 40 は、撮像装置 10 から出力された画像を取り込み、

20

【 0 0 2 1 】

[撮像装置 10 のフレームレート及び露光タイミングと、光源 30 の照射タイミング及び照射出力強度と、の関係（図 2）]

図 2 に示す露光タイミングは、画像処理装置 40 から撮像装置 10 へ出力される露光タイミング信号の例である。露光タイミング信号は、第 1 所定時間 T 1 の間隔で出力される。例えば撮像装置 10 は、図 2 中の時刻 t 1 a で（露光タイミング信号の立上りで）撮像を開始し、露光時間 S 1（第 1 所定時間 T 1 > 露光時間 S 1）の間で露光を行う。そして撮像装置 10 は、図 2 中の時刻 t 1 h で露光を終了した後、画像 G 1 [1] を作成する。同様にして撮像装置 10 は、画像 G 1 [2] 等を次々と作成する。

30

【 0 0 2 2 】

また図 2 に示す照射出力強度は、画像処理装置 40 から光源 30 へ出力される照射出力強度信号の例である。照射出力強度信号は、照射光の異なる出力強度を示しており、強 B H の場合に照射された照射光は高い（明るい）出力強度で照射され、弱 B L の場合に照射された照射光は低い（暗い）出力強度で照射される。また図 2 に示す照射タイミングは、画像処理装置 40 から光源 30 へ出力される照射タイミング信号の例である。照射タイミング信号は、露光タイミング信号と同期して出力され、光源 30 は、時刻 t 1 a から遅れ時間 D T 1 が経過後の時刻 t 1 c から時刻 t 1 d の間で高出力強度（照射出力強度 = 強 B H）の照射光 H を照射する。また光源 30 は、時刻 t 1 c から第 2 所定時間 T 2 が経過後の時刻 t 1 e から時刻 t 1 f の間では低出力強度（照射出力強度 = 弱 B L）の照射光 L を照射する。もちろん、照射タイミング（時刻 t 1 c ~ 時刻 t 1 f）は、露光タイミング（時刻 t 1 a ~ 時刻 t 1 h）内にある。また図 2 中の照射出力強度は、時刻 t 1 c ~ 時刻 t 1 d の照射タイミング信号の出力中では「強 B H」であればよく、時刻 t 1 e ~ 時刻 t 1 f の照射タイミング信号の出力中では「弱 B L」であればよい。画像処理装置 40 は、時刻 t 1 d ~ 時刻 t 1 e の間において照射出力強度を強 B H から弱 B L に切り替え、時刻 t 1 f ~ 時刻 t 2 c の間において照射出力強度を弱 B L から強 B H に切り替える。

40

【 0 0 2 3 】

[画像処理装置 40 の処理手順（図 3 ~ 図 7）]

次に図 3 に示すフローチャートを用いて、画像処理装置 40 の処理手順の例を説明する。画像処理装置 40 は、ユーザから起動されて撮像対象物 W 1 の移動速度の計測の実行が

50

指示されると、図3に示す処理を開始し、ステップS10に進む。

【0024】

ステップS10にて画像処理装置40は、ユーザからの撮像条件の入力を待つ。撮像条件の入力は、例えば、フレームレート(fps)の数値または第1所定時間 $[T1]$ 、1回の露光中における照射光の照射回数 $[k]$ 、1回の露光中の各照射光の強度(例えば $k=2$ の場合、1回目:強、2回目:弱等)、作成する画像の枚数 $[n]$ 、等がある。

【0025】

ステップS20にて画像処理装置40は、ユーザからの撮像条件の入力が完了したと判定した場合(Yes)はステップS30に進み、ユーザからの撮像条件の入力がまだ完了していないと判定した場合(No)はステップS10に戻る。

10

【0026】

ステップS30に進んだ場合、画像処理装置40は、ユーザから撮像開始指示の入力があつたか否かを判定し、撮像開始指示があつた場合(Yes)はステップS40に進み、撮像開始指示がない場合(No)はステップS30に戻って撮像開始指示を待つ。ステップS30は、撮像装置にて画像の撮像を開始する撮像開始ステップに相当している。

【0027】

ステップS40に進んだ場合、画像処理装置40は、図2に示す露光タイミング信号を撮像装置10に出力し、図2に示す照射出力強度信号及び照射タイミング信号を光源30に出力する。また画像処理装置40は、これら露光タイミング信号、照射出力強度信号、照射タイミング信号を、図2に示すように同期させて出力する。図2に示す露光タイミング信号における第1所定時間 $T1$ は、ユーザから入力されたフレームレート(fps)の数値または第1所定時間 $[T1]$ に基づいて設定される。また図2に示す照射タイミング信号における第2所定時間 $T2$ は、ユーザから入力されたフレームレート(fps)の数値または第1所定時間 $[T1]$ に基づいて設定される露光時間 $S1$ に応じて設定される。また露光タイミング信号のパルス数は、ユーザから入力された、作成する画像の枚数 $[n]$ に基づいて設定される。また照射タイミング信号のパルス数は、ユーザから入力された、作成する画像の枚数 $[n]$ と、1回の露光中における照射光の照射回数 $[k]$ と、に基づいて設定される。

20

【0028】

そして撮像装置10は、入力された露光タイミング信号に基づいて第1所定時間 $T1$ の間隔にて次々と画像 $G[1]$ ~画像 $G[n]$ を撮像する(画像の枚数 $=n$ より)。また光源30は、入力された照射出力強度信号及び照射タイミング信号に基づいて各画像の露光時間 $S1$ 中において、高出力強度の照射光 H と低出力強度の照射光 L とを第2所定時間 $T2$ の間隔にて照射する。ステップS40は、撮像装置にて画像を撮像するとともに、各画像を撮像している露光時間内において、光源30から、異なる出力強度で複数の照射光を、露光時間 $S1$ よりも短い第2所定時間 $T2$ の間隔で照射する撮像ステップに相当している。

30

【0029】

ステップS50にて、撮像装置10は、撮像した複数の画像を、画像処理装置40に向けて出力し、画像処理装置40は、撮像装置10から、複数の画像(画像 $G[1]$ ~画像 $G[n]$)を取り込む。ステップS50は、撮像装置10が撮像した画像を撮像装置10から画像処理装置40へと出力して、画像処理装置40にて画像を取り込む画像転送ステップに相当している。

40

【0030】

ステップS60にて画像処理装置40は、 n 枚の画像中の m 番目の画像 $G[m]$ と、 $m+1$ 番目の画像 $G[m+1]$ と、に相互相関関数を適用して撮像対象物の移動速度である第1移動速度を算出してステップS70に進む。例えば図4は、 m 番目の画像 $G[m]$ の例と、 $m+1$ 番目の画像 $G[m+1]$ の例と、を示している。この図4を用いて、ステップS60における画像処理装置40の具体的な処理の例を以下に説明する。

【0031】

50

図4における画像G[m]には、例えばエリアZ[m]H内に、高出力強度の照射光Hによる高輝度範囲となる第1輝度範囲の輝度を有する撮像対象物W1(H)が撮像されている。また画像G[m]には、例えばエリアZ[m]L内に、低出力強度の照射光Lによる低輝度範囲となる第2輝度範囲の輝度を有する撮像対象物W1(L)が撮像されている。同様に、画像G[m+1]には、例えばエリアZ[m+1]H内に、第1輝度範囲の輝度を有する撮像対象物W1(H)が撮像されている。また画像G[m+1]には、例えばエリアZ[m+1]L内に、第2輝度範囲の輝度を有する撮像対象物W1(L)が撮像されている。

【0032】

画像処理装置40は、画像G[m]と画像G[m+1]とに、相互相関関数を適用して、撮像対象物を含む領域を検索する。相互相関関数は、既存の技術であって、ある領域(ある輝度パターンの領域)と同じ領域が、どこにあるかを探し出す関数である。例えば図4のG[m]中におけるエリアZ[m]Hと同じ輝度パターンの領域が、図4のG[m+1]中のどこにあるか、を探し出す(この場合、G[m+1]中のエリアZ[m+1]Hの位置にある、と探し出す)。そして画像処理装置40は、第1所定時間T1にて、画像G[m]中のエリアZ[m]Hが、画像G[m+1]中のエリアZ[m+1]Hに移動したと判定し、移動距離を求める。そして画像処理装置40は、求めた移動距離と、画像G[m]と画像G[m+1]との時間間隔である第1所定時間T1と、に基づいて、相互相関関数を用いて求めた撮像対象物の移動速度である第1移動速度を算出する。

【0033】

フローチャートの説明に戻り、ステップS70にて画像処理装置40は、n枚の画像中のm番目の画像G[m]の中から、高出力強度の照射光Hによる高輝度範囲となる第1輝度範囲の輝度を有する撮像対象物と、低出力強度の照射光Lによる低輝度範囲となる第2輝度範囲の輝度を有する撮像対象物と、を抽出する。そして画像処理装置40は、抽出した第1輝度範囲の撮像対象物と、抽出した第2輝度範囲の撮像対象物と、第2所定時間T2と、に基づいて、撮像対象物の移動速度である第2移動速度を算出してステップS80に進む。例えば図5は、m番目の画像G[m]の例を示している。この図5を用いて、ステップS70における画像処理装置40の具体的な処理の例を以下に説明する。なおステップS70は、撮像対象物抽出ステップと、移動速度算出ステップと、に相当している。撮像対象物抽出ステップは、取り込んだ画像に撮像されている撮像対象物であって光源の異なる出力強度の照射光に応じた異なる輝度の複数の撮像対象物を画像の中から抽出するステップである。また移動速度算出ステップは、抽出したそれぞれの輝度の撮像対象物の位置から求めた移動距離と、第2所定時間T2と、に基づいて撮像対象物の移動速度を求めるステップである。

【0034】

図5における画像G[m]には、高出力強度の照射光Hによる高輝度範囲となる第1輝度範囲の輝度を有する撮像対象物W1(H)と、低出力強度の照射光Lによる低輝度範囲となる第2輝度範囲の輝度を有する撮像対象物W1(L)と、が撮像されている。画像処理装置40は、図5に示す画像G[m]を用いて、第1輝度範囲の輝度を有する撮像対象物W1(H)が撮像されている画像G[m]H(図6参照)を作成する。また画像処理装置40は、図5に示す画像G[m]を用いて、第2輝度範囲の輝度を有する撮像対象物W1(L)が撮像されている画像G[m]L(図7参照)を作成する。

【0035】

画像処理装置40は、作成した画像G[m]Hの中から第1輝度範囲(照射光Hに応じた輝度範囲)の輝度を有する撮像対象物W1(H)を抽出し、抽出した撮像対象物W1(H)の輝度中心位置P[XH(m)、YH(m)]の座標を求める。また画像処理装置40は、作成した画像G[m]Lの中から第2輝度範囲(照射光Lに応じた輝度範囲)の輝度を有する撮像対象物W1(L)を抽出し、抽出した撮像対象物W1(L)の輝度中心位置P[XL(m)、YL(m)]の座標を求める。そして画像処理装置40は、輝度中心位置P[XH(m)、YH(m)]と、輝度中心位置P[XL(m)、YL(m)]と、

10

20

30

40

50

から移動距離を求め、求めた移動距離と、第2所定時間 T_2 と、に基づいて撮像対象物の移動速度である第2移動速度を算出する。

【0036】

フローチャートの説明に戻り、ステップS80にて画像処理装置40は、所定条件を満足するか否かを判定し、所定条件を満足する場合(Yes)はステップS90Aに進み、所定条件を満足しない場合(No)はステップS90Bに進む。

【0037】

ここで、所定条件を満足する場合とは、以下の(1)~(3)の少なくとも1つが成立している場合である。

(1)ステップS70にて求めた第2移動速度が、第1所定速度未満である場合。例えば、図4の画像G[m]中の撮像対象物 $W_1(H)$ と、図4の画像G[m+1]中の撮像対象物 $W_1(H)$ とが重なる場合。第1所定速度は適宜設定される。

(2)ステップS70にて求めた第2移動速度が、第1所定速度よりも高い第2所定速度以上である場合。例えば、図4の画像G[m]中の撮像対象物 $W_1(H)$ と、図4の画像G[m+1]中の撮像対象物 $W_1(H)$ との間の距離が、相互相関関数の検索範囲を超える距離の場合、または移動速度が非常に速く、画像G[m+1]中に撮像対象物 $W_1(H)$ が撮像されていない場合。第2所定速度は適宜設定される。

(3)図4の画像G[m]中と、図4の画像G[m+1]中に、撮像対象物に近似する物体である撮像対象近似物体が撮像されていて、相互相関関数にて撮像対象物と撮像対象近似物体とが区別できない場合。例えば玉軸受の複数の鋼球の中の1つ、液体中の複数の泡の中の1つを撮像対象物とした場合、撮像対象物と撮像対象物近似物体とを区別できない場合がある。

【0038】

ステップS90Aに進んだ場合、画像処理装置40は、ステップS70にて算出した第2移動速度が撮像対象物の移動速度である、と判断して処理を終了する。

【0039】

ステップS90Bに進んだ場合、画像処理装置40は、ステップS60にて算出した第1移動速度が撮像対象物の移動速度である、と判断して処理を終了する。

【0040】

また図3に示すフローチャートから、ステップS60、S80、S90Bを省略して、所定条件にかかわらず、ステップS70にて求めた第2移動速度を撮像対象物の移動速度としてもよい。

【0041】

以上、本実施の形態にて説明した高速度撮像システム1は、1回の露光時間内に、第2所定時間の間隔で、異なる出力強度で複数回の照射光の照射を行う。これにより、1枚の画像内に、移動している撮像対象物を複数回撮像し、撮像装置のフレームレートの上限を超える速度で移動する撮像対象物を撮像できる。また、図6中の輝度中心位置 $P[XH(m), YH(m)]$ と、図7中の輝度中心位置 $P[XL(m), YL(m)]$ は、共通の画像G[m]から求められた位置であるので、ステップS60等のように異なる画像から求めた位置と比較して、その間の距離を、より正確に表している。従って、第2移動速度をより正確に求めることができる。また、異なる出力強度の照射光を用いることで、図6及び図7に示すように、各照射光を照射した場合における撮像対象物を適切に分離することができる。例えば、図5において撮像対象物 $W_1(H)$ と撮像対象物 $W_1(L)$ とが重なっていても、撮像対象物 $W_1(H)$ と撮像対象物 $W_1(L)$ とを適切に分離することができる。つまり、撮像対象物 $W_1(H)$ と撮像対象物 $W_1(L)$ とが重なっていても、撮像対象物 $W_1(H)$ と撮像対象物 $W_1(L)$ との距離を適切に求めることができるので、より正確に第2移動速度を算出することができる。

【0042】

[第2の実施の形態の高速度撮像システム2の全体構成(図8)]

第2の実施の形態の高速度撮像システム2は、図8に示すように、第1撮像装置11(

高速度撮像手段に相当)、第2撮像装置20(高速度撮像手段に相当)、光源30、画像処理装置41(画像処理手段に相当)、ハーフミラー50等にて構成されている。第1撮像装置11の光軸JZは、ハーフミラー50を透過した先に、高速移動する撮像対象物W1が位置する方向に向けられている。第2撮像装置20の光軸JXは、ハーフミラー50の傾斜面50Mにて反射した先に、高速移動する撮像対象物W1が位置する方向に向けられている。第1撮像装置11の撮像エリアと、第2撮像装置20の撮像エリアは、ともに図8中の撮像エリアA1である。以下、第1の実施の形態との相違点について主に説明する。

【0043】

第1撮像装置11と第2撮像装置20は、ともに第1の実施の形態の撮像装置10と同じハイスピードカメラであり、それぞれの光軸の方向は、上記の方向に向けられている。その他の点については第1の実施の形態の撮像装置10と同じであるので説明を省略する。また光源30は、第1の実施の形態にて説明した光源30と同じであるので、説明を省略する。

【0044】

画像処理装置41は、第1の実施の形態の画像処理装置40が出力する各制御信号(図2)に対して、図9に示す各制御信号を出力する点と、撮像した画像の処理が異なる。画像処理装置41は、第1撮像装置11と第2撮像装置20のそれぞれに、それぞれ異なる露光タイミング信号を出力し、光源30に照射タイミング信号及び照射出力強度信号を出力して、第1撮像装置11及び第2撮像装置20による各画像の撮像と、光源30からの各照射光の照射とを同期させている。また画像処理装置41は、第1撮像装置11及び第2撮像装置20から出力された画像を取り込み、後述する処理手順に基づいた処理を実行する。

【0045】

[第1撮像装置11と第2撮像装置20のフレームレート及び露光タイミングと、光源30の照射タイミング及び照射出力強度と、の関係(図9)]

図9に示す露光タイミングにおける「露光1」は画像処理装置41から第1撮像装置11へ出力される露光タイミング信号を示しており、「露光2」は画像処理装置41から第2撮像装置20へ出力される露光タイミング信号を示している。「露光1」については、図2に示す第1の実施の形態と同じである。

【0046】

「露光2」の周期は、「露光1」の周期と同じで、第1所定時間T1の間隔である。また「露光2」の露光時間S2も、「露光1」の露光時間S1と同じである。なお、「露光2」の露光時間S2は、「露光1」における非露光時間S1xを覆う位置とされている。同様に、「露光1」の露光時間S1は、「露光2」における非露光時間S2xを覆う位置とされている。図9に示すように、「露光1」と「露光2」は、重畳時間L12及び重畳時間L21にて露光時間が重なっている。従って、図8に示す撮像エリアA1は、いずれのタイミング(いずれの時刻)であっても、第1撮像装置11と第2撮像装置20の少なくとも一方に撮像されている。「露光1」と「露光2」は、図9に示すように、露光時間S1-重畳時間L21だけ、ずれている。

【0047】

図9に示す照射タイミングにおける「照射」は画像処理装置41から光源30へ出力される照射タイミング信号を示している。図9に示す「照射」は、「露光1」の露光時間S1内、かつ「露光2」の非露光時間S2x内で、異なる出力強度で複数回(この例では2回)の照射が行われる。また、「露光1」の非露光時間S1x内、かつ「露光2」の露光時間S2内でも、異なる出力強度で複数回(この例では2回)の照射が行なわれる。なお図9に示す「照射」の例では、高出力強度で照射する照射光Hと、低出力強度で照射する照射光Lと、が交互に出力されており、全て第2所定時間T2の間隔で出力されている。この「照射」のタイミングに合わせて、照射出力強度が変更されている(照射光Hを出力中は「強BH」、照射光Lを出力中は「弱BL」、となるように変更されている)。

【 0 0 4 8 】

[画像処理装置 4 1 の処理 (図 1 0 ~ 図 1 2)]

画像処理装置 4 1 の処理手順は、図 3 に示す第 1 の実施の形態の処理手順に対して、以下のステップの処理が異なる。

【 0 0 4 9 】

ステップ S 4 0 にて画像処理装置 4 1 は、図 9 に示す露光タイミング信号である「露光 1」を第 1 撮像装置 1 1 に出力し、「露光 2」を第 2 撮像装置 2 0 に出力し、図 9 に示す照射出力強度信号及び照射タイミング信号を光源 3 0 に出力する。また画像処理装置 4 1 は、これらの露光タイミング信号である「露光 1」、「露光 2」、照射出力強度信号、照射タイミング信号を、図 9 に示すように同期させて出力する。

10

【 0 0 5 0 】

ステップ S 5 0 にて、第 1 撮像装置 1 1 は、撮像した複数の画像 (画像 G 1 [1] ~ 画像 G 1 [n]) を、画像処理装置 4 1 に向けて出力し、第 2 撮像装置 2 0 は、撮像した複数の画像 (画像 G 2 [1] ~ 画像 G 2 [n]) を、画像処理装置 4 1 に向けて出力する。画像処理装置 4 1 は、第 1 撮像装置 1 1 から複数の画像 (画像 G 1 [1] ~ 画像 G 1 [n]) を取り込み、第 2 撮像装置 2 0 から複数の画像 (画像 G 2 [1] ~ 画像 G 2 [n]) を取り込む。

【 0 0 5 1 】

ステップ S 6 0 にて、画像処理装置 4 1 は、所定の画像に相互相関関数を適用して撮像対象物の移動速度である第 1 移動速度を算出する。第 1 の実施の形態では、撮像装置 1 0 が 1 台であったので、所定の画像は、当該 1 台の撮像装置からの m 番目の画像 G [m] と、m + 1 番目の画像 G [m + 1] であった。しかし、第 2 の実施の形態では、第 1 撮像装置 1 1 と第 2 撮像装置 2 0 との 2 台があるので、所定の画像を、種々の画像とすることができる。図 1 0 は、第 1 撮像装置 1 1 から m 番目の画像 G 1 [m] と、m + 1 番目の画像 G 1 [m + 1] の画像の例を示している。また図 1 1 は、第 2 撮像装置 2 0 から m 番目の画像 G 2 [m] と、m + 1 番目の画像 G 2 [m + 1] の画像の例を示している。これらの中から任意の 2 つの画像を選定し、相互相関関数を適用して撮像対象物の移動速度である第 1 移動速度を算出する。なお相互相関関数を適用した移動速度の算出方法は、第 1 の実施の形態と同じであるので説明を省略する。なお、選択した画像に基づいて、速度算出に用いる時間を変更する。

20

30

【 0 0 5 2 】

ステップ S 7 0 にて、画像処理装置 4 1 は、図 1 2 に示すように、第 1 撮像装置 1 1 からの m 番目の画像 G 1 [m] と、第 2 撮像装置 2 0 からの m 番目の画像 G 2 [m] と、のそれぞれの中から、高出力強度の照射光 H による高輝度範囲となる第 1 輝度範囲の輝度を有する撮像対象物 W 1 (H) と、低出力強度の照射光 L による低輝度範囲となる第 2 輝度範囲の輝度を有する撮像対象物 W 1 (L) と、を抽出する。そして、抽出した第 1 輝度範囲の撮像対象物 W 1 (H) と、抽出した第 2 輝度範囲の撮像対象物 W 1 (L) と、第 2 所定時間 [T 2] と、に基づいて、撮像対象物の移動速度である第 2 移動速度を算出する。なお算出方法は第 1 の実施の形態と同様である。そして、画像 G 1 [m] から算出した第 2 移動速度と、画像 G 2 [m] から算出した第 2 移動速度と、の一方を選択して移動速度としてもよいし、両者の平均を移動速度としてもよい。

40

【 0 0 5 3 】

第 2 の実施の形態では、撮像装置を 2 台にして、撮像エリア A 1 が、いずれのタイミング (いずれの時刻) であっても、第 1 撮像装置 1 1 と第 2 撮像装置 2 0 の少なくとも一方に撮像されているように構成している。従って、撮像対象物の移動速度を、より連続的に求めることができるので、撮像対象物の移動速度に変化があった場合、より滑らかに速度の変化を求めることができる。

【 0 0 5 4 】

本発明の高速度撮像システム 1、2 の構成、構造、形状等、及び制御手段の処理手順等は、本発明の要旨を変更しない範囲で種々の変更、追加、削除が可能である。例えば画像

50

処理装置の処理手順は、図3に示すフローチャートに限定されるものではない。

【0055】

本実施の形態の説明では、1回の露光時間内に、強、弱の2回の照射光を第2所定時間の間隔で照射する例を説明したが、1回の露光時間内に、3回以上、異なる出力強度の照射光を第2所定時間の間隔で照射するようにしてもよい。

【0056】

第2の実施の形態では、第2撮像装置とハーフミラーを追加して、2台の撮像装置とした例を示したが、更に第3撮像装置とハーフミラーを追加して、3台の撮像装置で高速度撮像システムを構成するようにしてもよい。すなわち、2台以上の複数台の撮像装置を有する高速度撮像システムとしてもよい。

10

【0057】

本実施の形態の説明では、1つの光源を用いたが、異なる出力強度のそれぞれの光源を用意して、各出力強度の照射光を照射させるように構成してもよい。

【0058】

また、本実施の形態の説明に用いた数値は一例であり、この数値に限定されるものではない。また、以上()、以下()、より大きい(>)、未満(<)等は、等号を含んでも含まなくてもよい。

【0059】

本実施の形態にて説明した高速度撮像システムは、例えば高速回転している工作機械のスピンドルの軸受の鋼球の移動速度や、潤滑油や冷却水中の泡の移動速度(すなわち、流速)の計測等にも適用することができる。

20

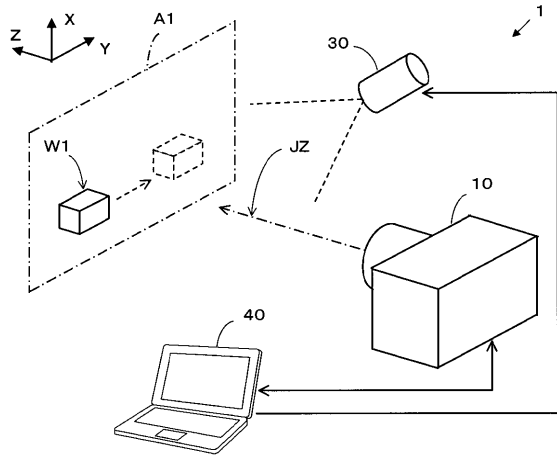
【符号の説明】

【0060】

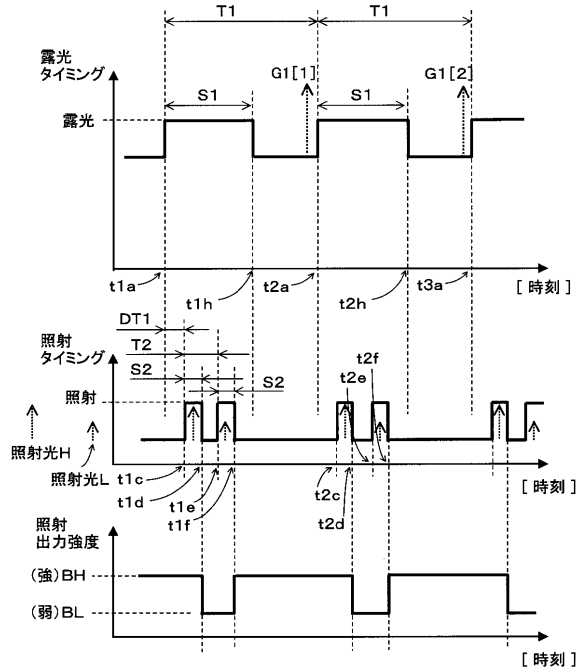
- 1、2 高速度撮像システム
- 10 撮像装置(高速度撮像撮像手段)
- 11 第1撮像装置(高速度撮像撮像手段)
- 20 第2撮像装置(高速度撮像撮像手段)
- 30 光源
- 40、41 画像処理装置(画像処理手段)
- A1 撮像エリア
- T1 第1所定時間
- T2 第2所定時間
- S1、S2 露光時間
- S1x、S2x 非露光時間
- W1 撮像対象物
- JZ、JX (撮像装置の)光軸

30

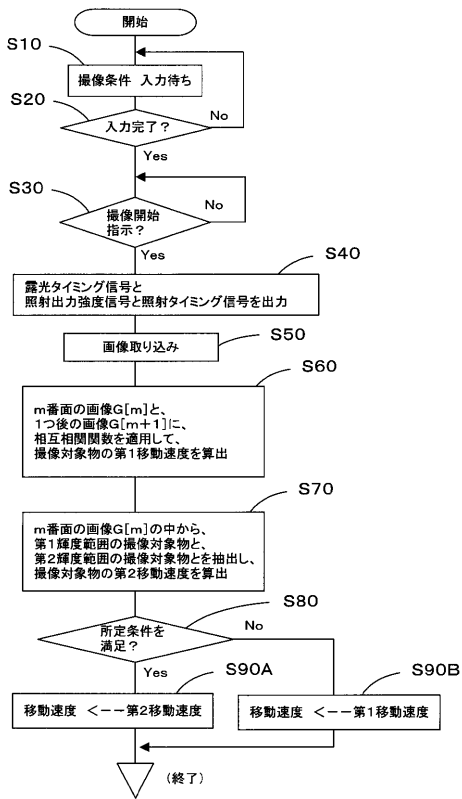
【図1】



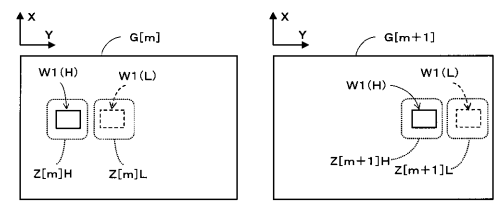
【図2】



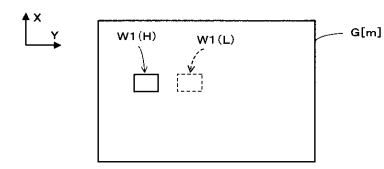
【図3】



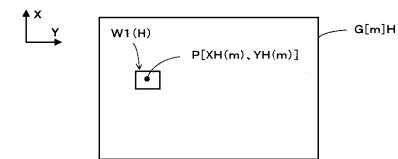
【図4】



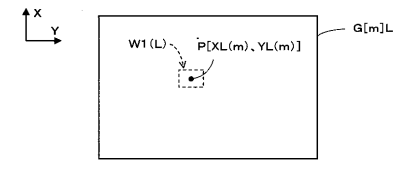
【図5】



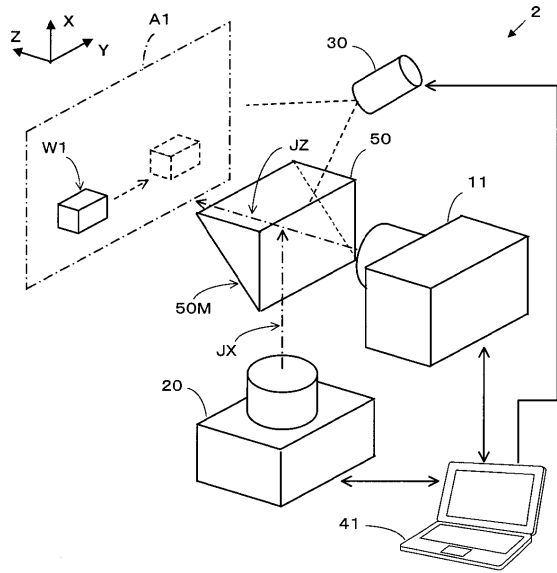
【図6】



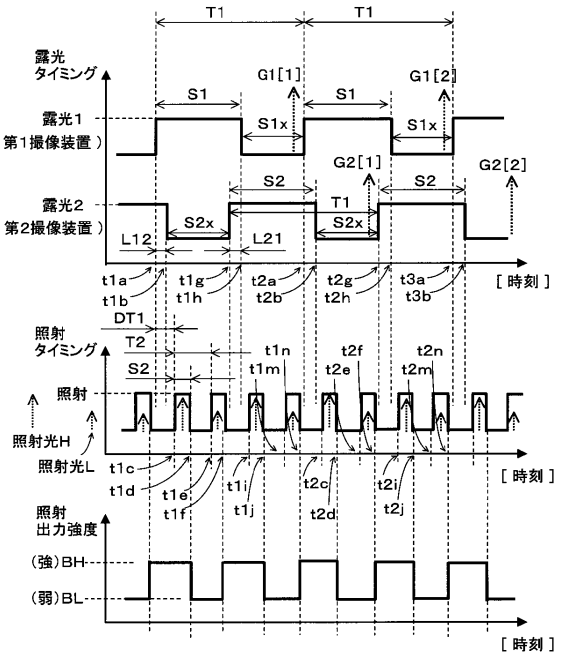
【図7】



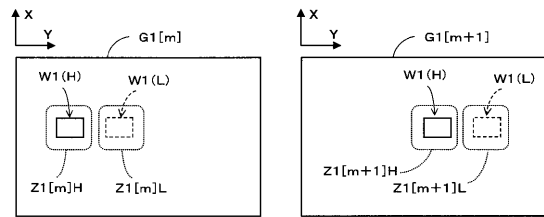
【図8】



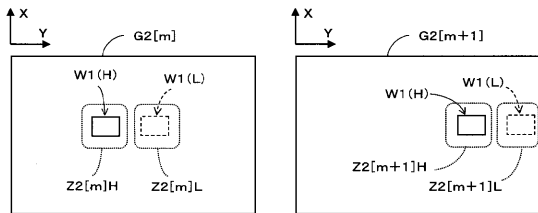
【図9】



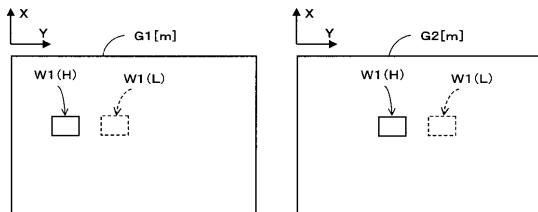
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭63-298065(JP,A)
特許第3559816(JP,B2)
特公昭61-38824(JP,B2)
国際公開第2008/156022(WO,A1)
特許第4822004(JP,B2)
韓国公開特許第2012-0138376(KR,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01P
H04N5