

(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
2014 年 12 月 18 日(18.12.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/199869 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 25/72 (2006.01) *G01J 5/48* (2006.01)
G01J 5/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/064688
- (22) 国際出願日: 2014 年 6 月 3 日(03.06.2014)
- (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 2013-123696 2013 年 6 月 12 日(12.06.2013) JP
- (71) 出願人: 株式会社日立ハイテクノロジーズ(HITA-
CHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目 2 4
番 1 4 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 吉武 康裕(YOSHITAKE, Yasuhiro); 〒
3690395 埼玉県児玉郡上里町嘉美 1 6 0 0 番地
株式会社日立ハイテクファインシステムズ内

Saitama (JP). 笹澤 秀明(SASAZAWA, Hideaki); 〒
3690395 埼玉県児玉郡上里町嘉美 1 6 0 0 番地
株式会社日立ハイテクファインシステムズ内
Saitama (JP).

(74) 代理人: 筒井 大和(TSUTSUI, Yamato); 〒1600022
東京都新宿区新宿 2 丁目 3 番 1 0 号 新宿御苑
ビル 3 階 筒井国際特許事務所 Tokyo (JP).

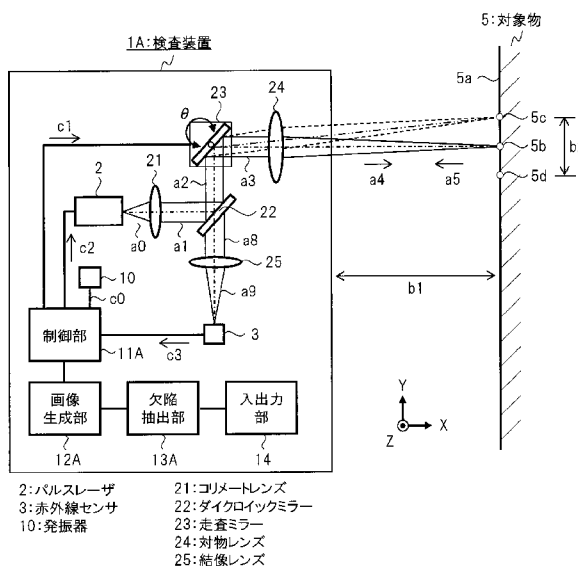
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, 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.

[続葉有]

(54) Title: INFRARED INSPECTION DEVICE

(54) 発明の名称: 赤外線検査装置

[図1]



2:パルスレーザ
3:赤外線センサ
10:発振器
21:コリメートレンズ
22:ダイクロックミラー
23:走査ミラー
24:対物レンズ
25:結像レンズ

1A: Inspection device	13A: Defect extraction unit
2: Pulsed laser	14: I/O unit
3: Infrared sensor	21: Collimating lens
5: Subject	22: Dichroic mirror
10: Oscillator	23: Scanning mirror
11A: Control unit	24: Objective lens
12A: Image generation unit	25: Imaging lens

(57) Abstract: A technology is provided that is capable of enhancing, in measurements and inspections using infrared radiation, the accuracy of temperature-difference measurements near the surface of a structure and the accuracy of inspections of the status of defects, deterioration, and the like. An inspection device (1A) has a pulsed laser (2) for irradiating a pulsed laser onto a subject (5); a scanning mirror (23) for scanning the subject (5); an infrared sensor (3) for detecting infrared radiation originating from the subject (5); a control unit (11A) for controlling the irradiation of the pulsed laser (2), the angle of the scanning mirror (23), and the detection of the infrared sensor (3) so that the temperature variation corresponding to the irradiation and non-irradiation of the laser light is measured multiple times for each measured point; an image generation unit (12A) for generating an image including the temperature difference distribution of the area of the subject (5) on the basis of the measured temperature difference values and the scanning mirror angles; and a defect extraction unit (13A) for identifying and extracting defective or degraded portions using the image.

(57) 要約:

[続葉有]



(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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

赤外線を用いた計測及び検査に関し、構造物の表面付近における温度差の計測の精度、及び欠陥や劣化等の状態の検査の精度を向上させることができる技術を提供する。検査装置 1 A は、対象物 5 に対しパルス状のレーザを照射するパルスレーザ 2 と、対象物 5 上を走査するための走査ミラー 2 3 と、対象物 5 から生じる赤外線を検出する赤外線センサ 3 と、被計測点ごとにレーザ光の照射有無に応じた温度差の計測を複数回行うように、パルスレーザ 2 の照射、走査ミラー 2 3 の角度、及び赤外線センサ 3 の検出を制御する制御部 1 1 A と、温度差の計測値及び走査ミラーの角度に基づき、対象物 5 の領域の温度差の分布を含む画像を生成する画像生成部 1 2 A と、画像を用いて欠陥または劣化の部分を判定して抽出する欠陥抽出部 1 3 A とを有する。

明 細 書

発明の名称：赤外線検査装置

技術分野

[0001] 本発明は、赤外線を用いた計測及び検査の技術に関する。また本発明は、赤外線の検出により構造物等の対象物の表面や内部における温度または応力の状態を計測し、欠陥や劣化等の状態を検査する装置に関する。

背景技術

[0002] ビル、橋梁、及びトンネル等の社会インフラの構造物の検査用に好適な技術として、赤外線センサ等を用いた検査技術がある。この技術は、構造物の表面から発せられる赤外線の検出により、構造物の表面付近の温度差または応力変動の状態を計測及び検査する。この技術は、応力に変化がある場合には温度にも変化が現れる現象、言い換えると、応力変化と温度差が相関する原理を利用している。当該現象は、一般的に熱弾性効果と呼ばれ、下記の式（１）で表される。式（１）で、 ΔT は温度変化、 K は熱弾性係数、 T は絶対温度、 $\Delta \sigma$ は対象物の主応力和の変動である。

[0003] $\Delta T = -K \times T \times \Delta \sigma$. . . 式（１）

[0004] 上記原理は、計測及び検査の対象物である構造物に対して一定の応力変化を与えて当該応力変化が他とは異なる箇所を欠陥として検出する手法に応用されている。当該欠陥は、剥がれ、ひび、内部の割れ、等である。当該欠陥の検出の手法としては、例えば局所的に温度差が大きい箇所や小さい箇所を欠陥として判定及び抽出する。

[0005] 上記手法による計測及び検査においては、アクティブに応力変化を生じさせるために、対象物に対して外部から温度変化を生じさせる手段が講じられる。当該手段として、対象物の表面に対してランプ光を照明する手段や、レーザー光を照射する手段が挙げられる。

[0006] 上記赤外線及び熱弾性効果等を用いた計測及び検査に関する先行技術例として、特開昭６２－９８２４３号公報（特許文献１）、非特許文献１、及び

特許第 3 7 7 6 7 9 4 号（特許文献 2）が挙げられる。

[0007] 特許文献 1 は、外壁等の対象物にレーザ光を照射し、照射前後で熱吸収に伴う膨張により応力変化を生じさせ、この時に生じる温度差分布を赤外線カメラで撮像することにより、剥がれ等の欠陥を検出する装置について記載されている。また特許文献 1 は、レーザ光を走査して照射する方法について簡単に言及している。

[0008] 非特許文献 1 は、加熱ランプにより周期的に対象を加熱し、熱吸収で生じた応力に伴う温度変化を赤外線カメラで計測することにより、内部の割れ等の欠陥を検出する装置が記載されている。

[0009] 特許文献 2 は、対象物であるコンクリートのトンネル壁面に対し、車両等の移動体に搭載されたランプで照射し、赤外線ラインカメラで撮像することにより、トンネル壁面の内部の欠陥を検出する装置が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0010] 特許文献 1：特開昭 6 2－9 8 2 4 3 号公報

特許文献 2：特許第 3 7 7 6 7 9 4 号

非特許文献

[0011] 非特許文献 1：JFE 技報 No. 27, pp9-14, 2011, 「高精度赤外線サーモグラフィを活用した各種測定技術（温度・応力・疲労・亀裂）とその応用」

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] 上記赤外線及び熱弾性効果等を用いた計測及び検査に関する先行技術例では、構造物の表面付近の温度差の計測の精度、及び欠陥や劣化等の状態の検査の精度に関して課題がある。

[0013] 特許文献 1 による装置は、被計測点 1 点あたり 1 回の赤外線の計測であるため、計測値の誤差などにより、計測及び検査の精度に課題がある。また特許文献 2 による装置は、対象物に対する車両の移動により、被計測点 1 点あ

たり 1 回の計測になるので、計測及び検査の精度に課題がある。

[0014] また非特許文献 1 による装置は、被計測面に温度変化及び応力変化を与える手段として、加熱ないし照明による被計測面のエネルギーの空間的な分布が不均一であるため、計測及び検査の精度に課題がある。

[0015] 本発明の目的は、上記赤外線及び熱弾性効果等を用いた計測及び検査に関して、構造物の表面付近における温度差の計測の精度、及び欠陥や劣化等の状態の検査の精度を向上させることができる技術を提供することである。

課題を解決するための手段

[0016] 本発明のうち代表的な実施の形態は、赤外線を用いて対象物の計測及び欠陥等の状態の検査を行う装置である赤外線検査装置であって、以下に示す構成を有することを特徴とする。

[0017] (1) 一実施の形態の赤外線検査装置は、対象物の表面の被計測点に対してレーザ光を少なくとも照射有無の 2 つの状態では照射するレーザ部と、前記レーザ光の照射に関して前記対象物の表面を少なくとも第 1 方向に走査するための走査ミラーを含む光学系と、前記レーザ光の照射により前記対象物の表面の被計測点から生じる赤外線を、少なくとも 1 点で検出する赤外線センサと、前記レーザ光の照射有無の 2 つの状態の時に前記赤外線センサの赤外線の検出を行い、かつ前記被計測点ごとに前記 2 つの状態の時の赤外線の検出の信号の差分である温度差の計測を複数回行うように、前記レーザ部のレーザ光の照射有無、前記走査ミラーの角度、及び前記赤外線センサの赤外線の検出のタイミングを制御する制御部と、前記温度差の計測値、及び前記走査ミラーの角度に基づき、前記対象物の表面の領域における複数の各々の被計測点の温度差の分布を含む画像を生成する画像生成部と、を有する。

[0018] (2) 一実施の形態の赤外線検査装置は、対象物の表面の被計測点に対してレーザ光を少なくとも照射有無の 2 つの状態では照射するレーザ部と、前記レーザ光の照射に関して前記対象物の表面を少なくとも第 1 方向に走査するための走査ミラーを含む光学系と、前記レーザ光の照射により前記対象物の表面の被計測点から生じる赤外線を、線または面の領域で検出することに

より画像を撮像する赤外線カメラと、前記赤外線カメラの画像単位で、前記レーザ部により前記レーザ光を照射無しの状態に制御して前記照射無しの状態の時に前記赤外線カメラで赤外線を検出する第1の画像と、前記レーザ部により前記レーザ光を照射有りの状態に制御して前記照射有りの状態の時に前記赤外線カメラで赤外線を検出する第2の画像との2つの状態の画像を撮像するように、前記レーザ部のレーザ光の照射有無、前記走査ミラーの角度、及び前記赤外線カメラの赤外線の検出のタイミングを制御する制御部と、前記第1の画像の前記照射無しの状態の時の前記赤外線の検出による計測値と、前記第2の画像の前記照射有りの状態の時の前記赤外線の検出による計測値との差分による温度差の計測値に基づき、前記対象物の表面の線または面の領域における複数の被計測点の温度差の分布を含む画像を生成する画像生成部と、を有する。

[0019] (3) 一実施の形態の赤外線検査装置は、移動体に搭載される赤外線検査装置であって、前記移動体の移動量または位置を検出するセンサ部と、固定の対象物の表面の被計測点に対してレーザ光を少なくとも照射有無の2つの状態で照射するレーザ部と、前記レーザ光の照射に関して前記対象物の表面の複数の各々の被計測点に対して照射するために少なくとも第1方向に走査するための走査ミラーを含む光学系と、前記レーザ光の照射により前記対象物の表面の被計測点から生じる赤外線を少なくとも1点で検出する赤外線センサと、前記レーザ光の照射有無の2つの状態の時に前記赤外線センサの赤外線の検出を行い、かつ前記対象物の表面の複数の各々の被計測点ごとに前記走査ミラーの角度を切り替えながら前記2つの状態の時の赤外線の検出の信号の差分である温度差の計測を複数回行うように、前記センサ部の検出、前記レーザ部のレーザ光の照射有無、前記走査ミラーの角度、及び前記赤外線センサの赤外線の検出のタイミングを制御する制御部と、前記センサ部の検出情報と、前記温度差の計測値とに基づき、前記対象物の表面の複数の各々の被計測点に関する温度差の分布を算出する算出部と、を有する。

[0020] (4) 上記(1)～(3)の赤外線検査装置は、更に、前記温度差の分

布の画像または温度差の分布を用いて欠陥または劣化の部分を判定して抽出する欠陥抽出部を有する。

発明の効果

[0021] 本発明のうち代表的な実施の形態によれば、赤外線及び熱弾性効果等を用いた計測及び検査に関して、構造物の表面付近における温度差の計測の精度、及び欠陥や劣化等の状態の検査の精度を向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]本発明の実施の形態1の赤外線検査装置及び対象物を含む構成を示す図である。

[図2]実施の形態1の赤外線検査装置による制御を示すタイミング図である。

[図3]実施の形態1における被計測面及び走査の様子を概略的に示す図である。

[図4] (a) は、実施の形態1における温度差データに基づく欠陥判定例を示し、(b) は、実施の形態3における温度差データに基づく欠陥判定例を示す図である。

[図5] (a) は、実施の形態1における温度差画像の例を示し、(b) は、欠陥抽出結果の画像の例を示す図である。

[図6]本発明の実施の形態2の赤外線検査装置及び対象物を含む構成を示す図である。

[図7]実施の形態2の赤外線検査装置による制御を示すタイミング図である。

[図8]本発明の実施の形態3の赤外線検査装置、車両、及び対象物を含む構成を示す図である。

[図9]実施の形態3における車両の走行に伴う複数の被計測点を示す図である。

[図10]実施の形態3の赤外線検査装置による制御を示すタイミング図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお実施の

形態を説明するための全図において同一部には原則として同一符号を付しその繰り返しの説明は省略する。

[0024] <実施の形態 1>

図 1 ～図 5 等を用いて、実施の形態 1 の赤外線検査装置について説明する。図 1 に示す実施の形態 1 の赤外線検査装置である検査装置 1 A は、走査ミラー 2 3 の角度 θ の制御に基づき、パルスレーザ 2 から対象物 5 の被計測面 5 a に対してパルス状のレーザ光を照射して走査することにより被計測面 5 a にアクティブな温度変化による熱応力を与える。検査装置 1 A は、レーザ光の照射有無の時に同期させて赤外線センサ 3 により被計測面 5 a の被計測点からの赤外線を検出する。これにより検査装置 1 A は、被計測面 5 a の温度差ないし温度変化の分布の画像を生成し、当該画像を用いて温度差または応力変動の判定により、剥がれやひび等の欠陥や劣化等の状態を判定して抽出する。

[0025] 実施の形態 1 の検査装置 1 A は、対象物 5 として、ビル、橋梁、及びトンネル等の建造物の表面付近の検査用に好適な構成を有する。検査装置 1 A は、機能として、対象物 5 の表面付近の正常及び欠陥や劣化等の状態を検査し、欠陥や劣化またはその予兆があると判定される部分を抽出し、利用者に対して出力する。

[0026] [赤外線検査装置]

図 1 は、実施の形態 1 の赤外線検査装置である検査装置 1 A とその計測及び検査の対象物 5 とを含む構成を示す。説明上の方向として、図 1 では、水平面を構成する方向である X、Y と、鉛直方向である Z とを示す。なお図 1 等は、実際の距離やサイズ等を捨象して図示している。

[0027] 対象物 5 は、計測及び検査の対象となる固定的な構造物であり、一例として、コンクリート等の材質によるビル等の壁面である。対象物 5 は、被計測面 5 a 及び被計測点 5 b、5 c、5 d を含む。被計測面 5 a は、Y、Z 方向による面である。被計測面 5 a の表面は、材質などに応じて凹凸等の形状を含む。被計測点 5 b、5 c、5 d は、被計測面 5 a の Y 方向の線上における

、計測の対象となる点の例である。被計測面 5 a は、Y 方向の走査及び計測のみの場合は、被計測線となる。

[0028] 検査装置 1 A は、対象物 5 に対して所定の位置及び向きで配置される。b 1 は、検査装置 1 A の端部と対象物 5 の被計測面 5 a との距離を示す。距離 b 1 は、例えば 5 0 m である。b 2 は、走査ミラーによる走査の可能な範囲を示す。検査装置 1 A の光学系の詳細は距離 b 1 及び走査範囲 b 2 等に応じて設計される。なお距離 b 1 に対して走査範囲 b 2 の長さの方が十分に小さい。

[0029] 検査装置 1 A は、パルスレーザ 2、赤外線センサ 3、コリメートレンズ 2 1、ダイクロイックミラー 2 2、走査ミラー 2 3、対物レンズ 2 4、結像レンズ 2 5、発振器 1 0、制御部 1 1 A、画像生成部 1 2 A、欠陥抽出部 1 3 A、及び入出力部 1 4 を有する。

[0030] 制御部 1 1 A、画像生成部 1 2 A、欠陥抽出部 1 3 A、及び入出力部 1 4 等の部位は、例えば CPU、ROM、及び RAM 等を含む回路基板や PC 等により構成でき、ソフトウェアプログラム処理等により機能を実現できる。

[0031] 発振器 1 0 は、基準クロック c 0 を発振する。制御部 1 1 A は、検査装置 1 A の全体を制御する。制御部 1 1 A は、発振器 1 0 からの基準クロック c 0 に基づき、走査ミラー 2 3、パルスレーザ 2、赤外線センサ 3 等の各部を制御する。制御部 1 1 A は、角度制御信号 c 1 により、走査ミラー 2 3 の走査ないし偏向の角度 θ の状態を制御する。制御部 1 1 A は、制御信号 c 2 により、パルスレーザ 2 からのパルス状のレーザ光の発振及び照射の有り（ON）及び無し（OFF）を制御する。制御信号 c 2 は例えば ON 及び OFF のパルスによる信号である。制御部 1 1 A は、赤外線センサ 3 により検出される赤外線の強度の信号 c 3 を読み出し制御して取得する。

[0032] 画像生成部 1 2 A は、制御部 1 1 A を通じて得られる、赤外線センサ 3 による赤外線の計測値を含む情報を用いて、対象物 5 の被計測面 5 a の領域に対応した温度差の分布の画像を生成する処理を行う。当該画像は、被計測点 1 点ごとに、温度差の計測値及びそれに対応付けられた表示用の階調値など

の情報を持つ。画像生成部 1 2 A は、生成した画像を含むデータ情報を検査装置 1 A 内の図示しない記憶装置に記憶する。

[0033] 欠陥抽出部 1 3 A は、画像生成部 1 2 A により生成された温度差の分布の画像を用いて、当該画像の領域の中における正常及び欠陥や劣化等の状態を判定し、欠陥や劣化等と判定される部分を抽出する。そして欠陥抽出部 1 3 A は、欠陥抽出結果を含む画像などの情報を生成し、検査装置 1 A 内の図示しない記憶装置に記憶する。

[0034] 欠陥抽出部 1 3 A は、欠陥判定処理としては、例えば許容範囲の閾値情報を用いて、被計測点の温度差と閾値とを比較し、温度差が閾値による許容範囲内に収まる場合は判定結果を正常とし、収まらない場合は判定結果を欠陥とする。

[0035] 入出力部 1 4 は、利用者による検査装置 1 A の機能の利用のための操作や、設定の操作を受け付け、データ情報の入力及び出力等の処理を行う。入出力部 1 4 は、入力ボタンや表示器などを含む。入出力部 1 4 は、表示器を備える場合、その画面に、温度差の分布の画像や、欠陥抽出結果の画像などを表示する。これにより、利用者は、画面に表示された画像を見て、欠陥部分などの状態の判断や確認ができ、計測及び検査の作業を容易にできる。

[0036] また入出力部 1 4 は、欠陥判定のための許容範囲の閾値情報などの設定情報を利用者により設定可能である。あるいは、検査装置 1 A 内に予め許容範囲の閾値情報が設定されていてもよい。

[0037] パルスレーザ 2 は、制御部 1 1 A からの制御信号 c 2 に応じて、パルス状のレーザ光を発振するレーザ装置である。パルスレーザ 2 は、対象物 5 の被計測面 5 a に対して間欠的にレーザ光を照射する。これにより、温度差の計測及び検査用に、被計測面 5 a に熱応力ないしエネルギーの分布を与える。被計測面 5 a の被計測点ごとに、パルス状のレーザ光の照射の有り（ON）及び無し（OFF）の状態をとるように制御される。

[0038] 赤外線センサ 3 は、ポイントセンサであり、制御部 1 1 A からの読み出し及び検出の制御に応じて、被計測点に対応する赤外線的光をセンサ面に入射

して検出し、当該赤外線強度の信号 c_3 を出力する。赤外線強度は、温度と相関する。温度差 (ΔT) は、前述の熱弾性効果の式 (1) で示すように、応力変動 ($\Delta \sigma$) と相関する。

[0039] コリメートレンズ 21 は、入射光を平行光に変換する。ダイクロイックミラー 22 は、波長分離ミラーである。ダイクロイックミラー 22 は、入射光の所定の波長帯域の成分を反射し、他の波長帯域の成分を透過する。

[0040] 走査ミラー 23 は、Z 方向に延在する回転軸周りに角度 θ で回転する機構を有する。走査ミラー 23 は、制御部 11A からの角度制御信号 c_1 により、Y 方向の走査のための角度 θ が制御されることにより偏向ないし回転する。これにより、走査ミラー 23 は、反射光を、対物レンズ 24 を介して、対象物 5 の被計測面 5a で Y 方向へ線の領域を走査するように照射する。

[0041] 対物レンズ 24 は、入射光を焦点である被計測面 5a の被計測点への集束光に変換する。結像レンズ 25 は、入射光を焦点である赤外線センサ 3 のセンサ面へ結像する。実施の形態 1 の検査装置 1A は、光学系の構成として、結像レンズ 25 と対物レンズ 24 との組み合わせで、対象物 5 の被計測面 5a の被計測点と赤外線センサ 3 のセンサ面とが共役による結像の関係に置かれる。

[0042] [光学系]

検査装置 1A の光学系における光の流れは以下である。パルスレーザ 2 から X 方向へ出射されたパルス状のレーザ光である光 a_0 は、コリメートレンズ 21 により平行光 a_1 となる。平行光 a_1 は、ダイクロイックミラー 22 で Y 方向へ反射される。反射光 a_2 は、走査ミラー 23 で角度 θ の制御状態に応じて X 方向へ反射される。走査ミラー 23 を介した光 a_3 は、対物レンズ 24 により、集束光 a_4 として検査装置 1A の端部から外部へ出射される。

[0043] 集束光 a_4 は、対象物 5 の被計測面 5a 上の被計測点に集光及び照射される。例えば走査ミラー 23 の角度 θ の制御状態として、図 1 に示す状態を基準角度 $\theta_0 = 0$ 度の状態とする。この基準の状態の場合、集束光 a_4 は、被

計測面 5 a 上の被計測点 5 b に集光される。被計測点 5 b は、走査ミラー 2 3 の中心及び対物レンズ 2 4 の主点に対して X 方向で真正面の位置にある基準点を示す。

[0044] 対象物 5 の被計測面 5 a の被計測点 5 b の付近は、照射された集束光 a 4 により熱せられるため温度が上昇し、当該温度に応じた強度の赤外光、特に遠赤外光を発生する。対象物 5 の被計測面 5 a で発生した赤外光である光 a 5 は、集束光 a 4 と同一の光路を X 方向逆向きに進み、検査装置 1 A の端部から対物レンズ 2 4 に入射される。対物レンズ 2 4 に入射された光は、走査ミラー 2 3 で Y 方向へ反射され、所定の波長帯域の光である遠赤外光がダイクロイックミラー 2 2 を透過する。Y 方向においてダイクロイックミラー 2 2 を透過後の光 a 8 は、結像レンズ 2 5 により赤外線センサ 3 のセンサ面に集束光 a 9 として入射する。

[0045] 上記走査の制御として、走査ミラー 2 3 の角度 θ を基準角度 θ_0 に対し増減させることにより、被計測面 5 a における集束光 a 4 が照射される位置は、基準の被計測点 5 b から Y 方向で被計測点 5 c や被計測点 5 d へ移動する。走査範囲 b 2 は、被計測点 5 c と被計測点 5 d との間の長さに対応する。被計測点 5 c は、角度 θ を正方向で最大角度 (θ_1 とする) に増加させた状態に対応する Y 方向正方向の走査の限界の点とする。被計測点 5 d は、角度 θ を負方向で最大角度 (θ_2 とする) に増加させた状態に対応する Y 方向負方向の走査の限界の点とする。なお角度 θ の制御に応じて、被計測点 5 c と被計測点 5 d との間に複数の被計測点をとることができる。

[0046] 上記被計測面 5 a に対するレーザ光に基づく集束光 a 4 の照射による Y 方向の走査の際、走査及び照射される被計測点の位置が Y 方向で移動する。それと共に、被計測面 5 a から発生する赤外光である光 a 5 は、同様に Y 方向で移動する。そのため、上記走査により、被計測面 5 a の Y 方向の線上における赤外光の分布、即ち、空間的な温度分布及び温度差分布が構成される。赤外線センサ 3 は、1 点で検出するポイントセンサであるため、当該分布を時系列上の赤外線の強度の信号 c 3 として検出する。制御部 1 1 A 及び画像

生成部 12A は、赤外線センサ 3 から読み出される赤外線の強度の信号 c3 と、走査時の角度 θ の情報とを用いて、被計測面 5a の Y 方向の線の領域における温度差の分布を把握する。角度 θ と被計測点の位置とが対応関係を持つ。

[0047] [設計例]

検査装置 1A の光学系等の設計例は以下である。パルスレーザ 2 は、対象物 5 や周囲環境の特性などに応じて、レーザ光の波長などが設計される。本例では、対象物 5 の材質がコンクリートである。コンクリートの場合、レーザ光の比較的吸収の大きい波長として、 $1\mu\text{m}$ 帯、波長 $1.5\mu\text{m}$ 帯、波長 $2\mu\text{m}$ 帯などがある。これに対応して、パルスレーザ 2 として、波長 $1\mu\text{m}$ 帯の YAG 固体レーザ（YAG：イットリウム・アルミニウム・ガーネット）や、Yb ファイバレーザ（Yb：イッテルビウム）、波長 $1.5\mu\text{m}$ 帯の Er ファイバレーザ（Er：エルビウム）、波長 $2\mu\text{m}$ 帯の Tm ファイバレーザ（Tm：ツリウム）、等が候補となる。実施の形態 1 では、パルスレーザ 2 として YAG 固体レーザを使用する。YAG 固体レーザは、外部からの入力パルスによって発振可能である。

[0048] ダイクロイックミラー 22 は、本例では波長 $8\mu\text{m}$ 以下を反射し、波長 $8\mu\text{m}$ 以上を透過する機能を持つ。この反射と透過の境界の波長 $8\mu\text{m}$ は、パルスレーザ 2、赤外線センサ 3、及び対象物 5 などの特性に応じて設計される。

[0049] 対象物 5 の表面から発生する赤外光は、様々な波長を持つが、波長 $8\mu\text{m}$ 以上の遠赤外光は、大気による吸収が少ないので検出に好適である。実施の形態 1 では、波長 $8\mu\text{m}$ 以上の赤外線である遠赤外線ないし長波長赤外線を、赤外線センサ 3 で効率的に検出するため、ダイクロイックミラー 22 の透過及び反射の境界として波長 $8\mu\text{m}$ を選択している。

[0050] 距離 b1 及び走査範囲 b2 等の設計に応じて、赤外線センサ 3 のセンサ面のサイズは、 1mm 程度である。

[0051] [走査及び変形例]

図 1 に示す実施の形態 1 の検査装置 1 A の構成では、被計測面 5 a のレーザ光の照射及び走査の制御は、走査ミラー 2 3 の角度 θ により Y 方向の走査のみ制御される。これにより、1 回の走査で被計測面 5 a の Y 方向の 1 次元の線の領域における温度差の分布を計測及び検査できる。更に、検査装置 1 A は、光学系を Z 方向で平行移動させる機構を持たせ、これにより照射位置を Z 方向へ平行移動可能としてもよい。これにより複数回の Y 方向の走査の繰り返しを制御することにより、2 次元の面の領域における温度差の分布を計測及び検査できる。

[0052] 実施の形態 1 の変形例として、図 1 の走査ミラー 2 3 及び制御部 1 1 A は、Y 方向の走査に限らず、以下のように、他の方向での走査が可能な構成としてもよい。実施の形態 1 の第 1 の変形例として、検査装置 1 A は、走査ミラー 2 3 が、回転軸を Y 方向として、Z 方向の走査のための角度 ϕ が制御される構成としてもよい。

[0053] 第 2 の変形例として、検査装置 1 A は、Y 方向の走査の角度 θ が制御可能な第 1 の走査ミラー 2 3 と、Z 方向の走査の角度 ϕ が制御可能な第 2 の走査ミラー 2 3 との両方を備えた構成としてもよい。制御部 1 1 A は、上記 2 つの走査ミラー 2 3 を個別的に制御する。これにより被計測面 5 a で Y 方向及び Z 方向の両方の走査による計測及び検査ができる。

[0054] 第 3 の変形例として、検査装置 1 A は、1 つの走査ミラー 2 3 として、Y 方向の走査の角度 θ と Z 方向の走査の角度 ϕ との両方を同時に制御可能な構成としてもよい。これにより、被計測面 5 a で 2 次元の面の領域での Y 方向及び Z 方向の自在な走査による温度差の分布の計測及び検査ができる。

[0055] [走査及び被計測面]

図 3 は、補足として、走査ミラー 2 3 の角度 θ 等の制御による被計測面 5 a での走査の様子について、Y, Z 方向の平面で簡略的に示す。被計測面 5 a において、3 0 0 の丸印は、複数の各々の被計測点またはその候補の点を示す。3 0 1 は、走査ミラー 2 3 の角度 θ の制御による Y 方向の走査を示す。3 0 2 は、走査ミラー 2 3 の角度 ϕ の制御による Z 方向の走査を示す。被

計測点 5 b は、基準角度 $\theta_0 = 0$ 度の状態に対応した基準点を示す。なお図示左方向を Y 方向正方向、角度 θ 正方向とし、図示右方向を Y 方向負方向、角度 θ 負方向としている。なお角度 θ 等の取り方は一例であって限定しない。例えば角度 θ を基準角度 θ_0 から正方向または負方向の一方のみに偏向するように制御してもよい。

[0056] 走査ミラー 23 の角度 θ の制御により、301 のように Y 方向の線の領域を走査し、当該線上にある複数の被計測点 300 を計測できる。同様に、走査ミラー 23 の角度 ϕ の制御により、302 のように Z 方向の線の領域を走査し、当該線上にある複数の被計測点 300 を計測できる。

[0057] [制御方式]

図 2 は、実施の形態 1 の検査装置 1 A による制御方式として、制御の各信号のタイミング図を示す。

[0058] (a) は、発振器 10 から制御部 11 A へ与えられる基準クロック c_0 を示す。201 は基準クロック c_0 における 1 クロックパルスを示す。制御部 11 A は、(a) の基準クロック c_0 に基づき、(b) のパルスレーザ 2 の発振及び照射、(c) の赤外線センサ 3 の検出及び読み出し、及び (d) の走査ミラー 23 の角度 θ の切り替えのタイミングを制御する。

[0059] (b) は、制御信号 c_2 に対応する、パルスレーザ 2 のパルス状のレーザ光の発振及び照射の有り (ON) 及び無し (OFF) の制御を示す。202 は ON 状態の 1 パルスを示す。ON 状態のパルス 202 の間は OFF 状態を示す。制御信号 c_2 の ON 時には、パルスレーザ 2 の熱励起により、短い幅のパルス 202 によるレーザ光が出射される。(b) の ON のパルス 202 は、(a) の基準クロック c_0 の 4 回のクロックパルス 201 に対して 1 回のパルス 202 の割合で同期して出射される。

[0060] (c) は、赤外線センサ 3 の検出及び読み出しの制御を示す。203 及び 204 は、それぞれ 1 つの計測値の検出及び読み出しのパルスを示す。(c) の赤外線センサ 3 の赤外線の検出ないし計測は、(b) のパルスレーザ 2 の照射の無し (OFF) 及び有り (ON) の状態に同期したタイミングで行

われるように制御される。制御部 11A は、基準クロック c_0 に基づく各信号により当該同期を制御する。

[0061] 203 は、(b) のレーザ光のパルス 202 の照射無し (OFF) の時の検出及び読み出しのパルスであり、204 は、(b) のレーザ光のパルス 202 の照射有り (ON) の時の検出及び読み出しのパルスである。(c) のパルス 203 及び 204 は、(a) の基準クロック c_0 の 2 回のクロックパルス 201 に対して 1 回の割合で検出及び読み出しが行われる。制御部 11A は、赤外線センサ 3 から当該パルス 203 及び 204 に従い、赤外線の強度の計測値の信号 c_3 を読み出す。

[0062] s ($s_1 \sim s_8$ 等) は、レーザ光の照射の前後のパルス 203 及び 204 のタイミングに対応した赤外線センサ 3 の計測値を示す。 d ($d_1 \sim d_4$ 等) は、赤外線センサ 3 の計測値 s の差分による温度差 (ΔT) を示す。温度差 d は、照射無し (OFF) の時の計測値 s と、照射有り (ON) の時の計測値 s との差分値である。例えばパルス 203 の時の計測値 s_1 と、次のパルス 204 の時の計測値 s_2 との差分が、温度差 d_1 として得られる。 v ($v_1 \sim v_3$ 等) は、複数の温度差 d ($d_1 \sim d_4$ 等) の平均値による温度差を示す。例えば、4 個の温度差 $d_1 \sim d_4$ の平均値が温度差 v_2 である。

[0063] (d) は、角度制御信号 c_1 に対応する、走査ミラー 23 の角度 θ の偏向の制御を示す。縦軸は角度 θ である。206 は、時刻 $t_2 \sim t_3$ の時間 212 において、基準の被計測点 5b の位置に対応させて、角度 θ を基準角度 θ_0 である 0 度にする信号及び状態を示す。1 つの角度 θ の状態及び時間において、1 つの被計測点 5b について、(b) の 4 回のパルス 202、及び (c) の 8 回のパルスの計測値 s により、4 回の温度差 d の計測が行われる。そして 4 個の温度差 d ($d_1 \sim d_4$) の平均値による温度差 v_2 が得られる。

[0064] 制御部 11A は、(d) の走査ミラー 23 の角度 θ の制御として、(b) の 4 回のパルス 202 に対して 1 回の割合で、基準クロック c_0 のクロックパルス 201 に同期させたタイミングで、単位量 (θ_u) を増減するように

切り替える。この角度 θ の切り替えは、 t_1 , t_2 , t_3 で示すように、(a)の1つのクロックパルス201のタイミングで行われる。このクロックパルス201のタイミングは、(b)のONのパルス202に対応した(c)のパルス204と、(b)のOFF状態に対応した(c)のパルス203との中間のタイミングである。

[0065] θ_u は、角度 θ の増減の単位量を示す。205は、時刻 $t_1 \sim t_2$ の時間211で、角度 θ を基準角度 θ_0 に対して負方向で1単位量小さい角度($-\theta_u$)で制御する状態を示す。この状態では、温度差 v_1 が得られる。207は、時刻 $t_3 \sim t_4$ の時間213で、角度 θ を基準角度 θ_0 に対して正方向で1単位量大きい角度($+\theta_u$)で制御する状態を示す。この状態では、温度差 v_3 が得られる。図示する以外の角度状態についても同様である。

[0066] 制御部11Aによる(b)のパルスレーザ2及び(c)の赤外線センサ3の制御により、(b)のパルス202のON及びOFFの2つの状態に対応した、(c)のパルス203及び204のタイミングで、赤外線の計測値 s が得られる。制御部11Aは、計測値 s に対応する赤外線の強度の信号 c_3 を赤外線センサ3から読み出して取得する。

[0067] 画像生成部12Aは、レーザ光の照射の有無の状態に対応する計測値 s の差分から温度差 d を算出する。画像生成部12Aは、1つの角度 θ の状態に対応した被計測点1点あたり複数の温度差 d を平均化した温度差 v を算出する。画像生成部12Aは、被計測面5aにおける線の領域で被計測点ごとの温度差 v を同様に得る。これにより、画像生成部12Aは、被計測面5aの領域に対応した温度差の分布の画像を生成する。画像生成部12Aは、上記計測値 s 及び温度差 d の情報と、走査ミラー23の角度 θ の情報とを組み合わせ、角度 θ から被計測面5aでの走査及び被計測点の位置を把握し、温度差の分布の画像を生成する。

[0068] [温度差画像及び欠陥判定]

図4(a)は、実施の形態1における画像生成部12Aによる温度差の分布の画像のうちの一部のデータ、及び欠陥抽出部13Aによる欠陥判定処理

の例を示す。温度差のデータにおいて、横軸は、被計測面 5 a の Y 方向の位置における複数の被計測点である点 A ～点 I 等を示す。縦軸は、被計測点における温度差 (ΔT) の計測値、特に前述の平均値による温度差 v を示す。

[0069] 4 0 1 は、欠陥判定のための設定情報として、許容範囲を示し、 h_1 は下限の閾値、 h_2 は上限の閾値を示す。例えば 4 0 2 で示す点 A ～点 D は、許容範囲 4 0 1 内に収まっており、4 0 3 で示す点 E ～点 I は、閾値 h_1 より小さく許容範囲 4 0 1 外になっている。欠陥抽出部 1 3 A は、上記温度差の値と閾値とを比較し、許容範囲 4 0 1 内であれば正常、許容範囲 4 0 1 外であれば欠陥や劣化等と判定する。

[0070] 欠陥や劣化等と判定された点 E ～点 I を含む 4 0 3 の領域は、温度差及び応力変動が小さいので、当該領域付近で剥がれ等が発生している状態または発生の可能性が高いことを表している。逆に、温度差が閾値 h_2 を超える状態になった場合、温度差及び応力変動が大きいので、当該領域付近でひび等で応力集中が発生している状態または発生の可能性が高いことを表している。

[0071] 図 5 (a) は、画像生成部 1 2 A で生成された温度差の分布の画像 5 0 1 の例を簡略的に示す。画像 5 0 1 は、対象物 5 の被計測面 5 a がコンクリートのタイル等で構成されている場合に対応した温度差の分布の画像を示す。例えば Y, Z 方向の被計測面 5 a に対し、検査装置 1 A の位置により Z 方向の位置を変えながら、前述の Y 方向の走査を複数回同様に繰り返すことで、Y, Z 方向の 2 次元の画像 5 0 1 を生成した例である。なお実際の画像は、被計測点に対応した画素ごとに温度差 d の値またはそれに対応付けられた階調値などを持つ。なお画像生成部 1 2 A は、計測値に対して表示用の画像処理を行うことにより、利用者が目視確認しやすい表示用の画像を生成してもよい。

[0072] 画像 5 0 1 の中の一部の領域 5 0 3 は、一部のタイルに対応するが、当該領域 5 0 3 の周辺の領域よりも温度差が小さい。これにより、図 4 (a) の例のように、当該領域 5 0 3 は、温度差が許容範囲 4 0 1 外になることで、

欠陥として抽出される。欠陥抽出部 13A は、図 4 (a) のような閾値比較や、画像内の値の相対的な比較などの処理により、欠陥部分を判定及び抽出する。

[0073] 図 5 (b) の画像 502 は、図 5 (a) の画像 501 に基づき、欠陥抽出部 13A により判定及び抽出された欠陥部分の領域 504 を含む画像 502 を示す。欠陥部分の領域 504 は、領域 503 と対応している。この場合、温度差 (ΔT) と応力 ($\Delta \sigma$) の関係から、領域 504 では応力ないし応力変動が小さいことを示している。即ち、当該領域 504 は剥がれ等が発生しやすいことを示している。逆に、ひび等の場合、応力集中が起きるため、温度差は周辺よりも大きくなる。この場合も上記同様に抽出が可能である。

[0074] [効果等]

以上のように、実施の形態 1 の検査装置 1A は、計測及び検査用の加熱に関する空間的及び時間的な均一性、被計測点 1 点あたり複数回の赤外線及び温度差の計測、パルスレーザ 2 と赤外線センサ 3 の同期制御によるパルス状のレーザ光の照射の前後の温度差の計測、等の構成を有する。これにより実施の形態 1 は、赤外線及び熱弾性効果等を用いた計測及び検査に関して、対象物 5 である構造物の表面付近における温度差の計測の精度、及び欠陥や劣化等の状態の検査の精度を向上させることができる。これにより、対象物 5 の表面付近の欠陥や劣化等の状態やその予兆を早期に検出できる。例えばビルや橋梁やトンネル等の構造物の安全性維持のための施策を早期に確実に実現可能となる。

[0075] 実施の形態 1 の検査装置 1A は、パルスレーザ 2 及び走査ミラー 23 により対象物 5 の被計測面 5a の領域をレーザ光の集束光 a4 で走査しながら赤外線センサ 3 により被計測点 1 点あたり複数回の赤外線及び温度差を計測する。そして検査装置 1A は、これら複数の温度差 d の計測値の平均化による温度差 v の分布の画像を得る。これにより計測の誤差が低減される。例えば 1 点ごとに 4 個の温度差 d の平均値を用いることで、計測誤差を $1/2$ に減少できる。これにより、検査装置 1A は、1 点あたり 1 回の計測を行う先行

技術例に対して、赤外線及び温度差の計測を高精度にできる。

[0076] また実施の形態 1 の検査装置 1 A は、パルス状のレーザ光の照射による集束光 a 4 によって対象物 5 の被計測面 5 a の領域が空間的及び時間的に均一に走査される。よって、検査装置 1 A は、先行技術例のランプ一括照射などの構成に比べ、被計測面 5 a の領域における熱応力ないしエネルギーの空間的な分布の状態における均一性が高くなる。これにより検査装置 1 A は、先行技術例に比べ、赤外線センサ 3 による温度差の分布の計測の精度が高くなる。その結果、被計測面 5 a の温度差の分布の画像からの剥がれやひび等の欠陥抽出の精度が高くなる。

[0077] なお実施の形態 1 に対して前述の先行技術例による構成と比較すると以下である。特許文献 1 による装置では、1 点あたり 1 回のレーザ照射の前後の温度差の計測では誤差が生じる。またレーザによる被計測面の走査の前後に温度を計測することを考えた場合、走査の開始点と終了点とでは時間差がある。そのため、走査の間の熱拡散により、走査の開始点と終了点とでは、応力変化量が異なる。この結果、赤外線の検出時には、走査の開始点と終了点とでは、温度の傾斜が誤差として生じる。これにより温度差に基づき欠陥を検出する際の精度が低下する。

[0078] また特許文献 2 による装置では、車両の走行時における対象物の被計測点に対するランプ照射が 1 回だけになるので、1 点あたり 1 回の計測になる。これにより上記同様に温度差の計測に誤差が生じ、精度が低下する。

[0079] 非特許文献 1 による装置では、加熱ランプによる周期的加熱と連動して赤外線カメラで計測する。そのため、特許文献 1 による装置に比べ、温度差の計測の精度は向上するが、加熱ランプで対象物の全面を照明する時の照度分布の不均一性により、対象物の面に均一な応力変化を与えることはできない。この結果、計測及び欠陥検出の精度が低下する。

[0080] <実施の形態 2>

次に、図 6～図 7 を用いて、実施の形態 2 の赤外線検査装置について説明する。図 6 に示す実施の形態 2 の赤外線検査装置である検査装置 1 B は、前

述の実施の形態 1 の検査装置 1 A に対して異なる要素として、2 次元の面の領域で赤外線を検出する撮像が可能な赤外線カメラ 4 を導入した。実施の形態 2 の検査装置 1 B は、前述の図 1 のダイクロイックミラー 2 2 とその Y 方向に設置された結像レンズ 2 5 及び赤外線センサ 3 を無くし、代わりに、対物レンズ 2 4 と対象物 5 との間にダイクロイックミラー 2 7 を設置した。そしてダイクロイックミラー 2 7 の反射方向である Y 方向に望遠レンズ 2 8 を介して赤外線カメラ 4 を設置した。

[0081] 〔赤外線検査装置〕

図 6 は、実施の形態 2 の検査装置 1 B 及び対象物 5 を含む構成を示す。実施の形態 2 の検査装置 1 B は、パルスレーザ 2、赤外線カメラ 4、コリメートレンズ 2 1、反射ミラー 2 9、走査ミラー 2 3 B、対物レンズ 2 4、ダイクロイックミラー 2 7、望遠レンズ 2 8、制御部 1 1 B、画像生成部 1 2 B、欠陥抽出部 1 3 B、及び入出力部 1 4 を有する。

[0082] 対象物 5 の被計測面 5 a は、Y、Z 方向による面の領域を含む。R は、被計測点 5 b と被計測点 5 c との長さに対応する、半角分の撮像範囲を示す。走査範囲 b 2 は、 $2 \times R$ である。L は、走査ミラー 2 3 B の中心ないし回転軸と、対象物 5 の被計測面 5 a の基準の被計測点 5 b との距離を示す。

[0083] 赤外線カメラ 4 は、撮像レンズないしセンサ面に赤外線を入射して赤外線の強度の分布を画像として撮像する。赤外線カメラ 4 のセンサ面は、X、Z 方向による 2 次元の面であり、複数の画素の配列を含む。赤外線カメラ 4 のセンサ面における 1 点の計測に対応する画素のサイズは $10 \mu\text{m}$ 程度である。赤外線カメラ 4 からの読み出し出力の信号 c 4 は、赤外線の強度の分布を含む 2 次元の撮像の画像の信号である。

[0084] 赤外線カメラ 4 は、画像単位で撮像及び読み出しが制御可能な構成である。そのため、実施の形態 2 では、制御部 1 1 B により、赤外線カメラ 4 の画像単位の読み出しに対応させて、赤外線による温度差の計測を制御する。制御部 1 1 B は、赤外線カメラ 4 から、当該画像ごとの信号 c 4 を読み出し制御する。

- [0085] 制御部 11B は、赤外線カメラ 4 からの読み出しの信号 c 4 を基準クロックとして用いて、走査ミラー 23B、及びパルスレーザ 2 等を制御する。制御部 11B は、角度制御信号 c 1 により、走査ミラー 23B の Y 方向の走査のための角度 θ 、及び Z 方向の走査のための角度 ϕ の両方を制御する。制御部 11B は、制御信号 c 2 により、実施の形態 1 と同様にパルスレーザ 2 を制御する。制御部 11B からの走査ミラー 23B 及びパルスレーザ 2 の制御により、被計測面 5a における 2 次元の面の領域が走査され、熱応力が与えられる。検査装置 1B は、制御部 11B の制御に基づき、パルスレーザ 2 からのレーザ光の照射有り（ON）の時の画像と、照射無し（OFF）の時の画像とを撮像する。
- [0086] 画像生成部 12B は、制御部 11B から、赤外線カメラ 4 からの赤外線の強度の信号 c 4 を得て、被計測面 5a の面の領域における温度差の分布の画像を生成する処理を行う。画像生成部 12B は、レーザ光の照射有り（ON）の時の画像と、照射無し（OFF）の時の画像との差分により、温度差の分布の画像を生成する。
- [0087] 欠陥抽出部 13B は、実施の形態 1 と同様に、温度差の分布の画像を用いて、正常及び欠陥や劣化等の状態を判定し抽出する処理を行い、その結果を入出力部 14 を通じて利用者に対して出力する。
- [0088] 反射ミラー 29 は、図 1 のダイクロイックミラー 22 の位置に配置され、X 方向からの光 a 1 を Y 方向へ反射する。なおパルスレーザ 2 から Y 方向へ出射する配置とする場合は反射ミラー 29 を省略できる。
- [0089] 走査ミラー 23B は、制御部 11B からの角度制御信号 c 1 に従い、Y 方向の走査のための角度 θ と、Z 方向の走査のための角度 ϕ との両方が同時に制御可能な構成である。被計測面 5a における 2 次元の面の領域の走査の様子は、前述の図 3 と同様である。実施の形態 2 では、被計測面 5a における 2 次元の面の走査に対応させて、赤外線カメラ 4 の 2 次元のセンサ面において赤外線の強度の分布を撮像する。
- [0090] ダイクロイックミラー 27 は、実施の形態 1 のダイクロイックミラー 22

とは逆に、波長 $8\ \mu\text{m}$ 以下の光を透過し、波長 $8\ \mu\text{m}$ 以上の光を反射する機能を持つ波長分離ミラーである。ダイクロイックミラー 27 により、パルスレーザ 2 からのレーザ光を透過し、対象物 5 からの赤外線的光を反射する。

[0091] 望遠レンズ 28 は、赤外線カメラ 4 と共に設置される結像レンズである。実施の形態 2 の光学系の構成では、1 つの結像レンズである望遠レンズ 28 により、対象物 5 の被計測点と赤外線カメラ 4 の撮像レンズないしセンサ面とが共役による結像の関係に置かれる。

[0092] 実施の形態 2 の検査装置 1 B の光学系における光の流れは以下である。パルスレーザ 2 から出射されたパルス状のレーザ光である光 a_0 は、コリメートレンズ 21 を介して平行光 a_1 となり、反射ミラー 29 で Y 方向へ反射される。反射光 a_2 は、走査ミラー 23 B において角度 θ 及び角度 ϕ の制御状態に応じて X 方向へ反射される。走査ミラー 23 B で反射された光 a_3 は、対物レンズ 24 を介して集束光 a_{11} となり、ダイクロイックミラー 27 へ入射される。

[0093] ダイクロイックミラー 27 は、集束光 a_{11} における波長 $8\ \mu\text{m}$ 以下の光を透過する。ダイクロイックミラー 27 を透過した集束光 a_{12} は、検査装置 1 B の端部から外部へ出射され、対象物 5 の被計測面 5 a の被計測点に照射される。被計測面 5 a の被計測点から生じた赤外線的光 a_{13} は、X 方向の光路を戻り、検査装置 1 B の端部から入射され、ダイクロイックミラー 27 で波長 $8\ \mu\text{m}$ 以上の光である遠赤外光が Y 方向へ反射される。

[0094] ダイクロイックミラー 27 で反射された光 a_{14} は、望遠レンズ 28 に入射され、望遠レンズ 28 を介した光 a_{15} は、赤外線カメラ 4 の撮像レンズないしセンサ面に結像される。そして赤外線カメラ 4 により被計測面 5 a の面の領域の赤外線の強度が撮像される。

[0095] 対象物 5 の被計測面 5 a における走査範囲 b_2 は、赤外線カメラ 4 のセンサ面の大きさと望遠レンズ 28 の倍率とで決まる。走査ミラー 23 B の角度 θ の最大偏向角度 (θ_{max} とする) は、半角分の撮像範囲 R と合うように、下記の式 (2) で決まる。 R/L は十分に小さいので、角度 θ_{max} は、 $R/2L$

で求められる。

[0096] $\theta_{\max} = (1/2) \times \arctan(R/L) \div R/2L$. . . 式(2)

[0097] 実施の形態2での赤外線カメラ4のセンサ面の画素のサイズは $10\mu\text{m}$ 程度であり、実施の形態1の赤外線センサ3のセンサ面のサイズは 1mm 程度である。実施の形態2の画素のサイズは、実施の形態1のセンサ面のサイズに比べて約 $1/100$ の細かさである。従って、走査範囲 b_2 が一定である場合、赤外線カメラ4の使用により、実施の形態1に比べ、 100 倍の精緻な空間分解能が得られる。即ち、実施の形態2によれば、より微小な欠陥を抽出可能である。

[0098] [制御方式]

図7は、実施の形態2の検査装置1Bにおける制御のタイミング図を示す。F1、F2は、それぞれ赤外線カメラ4による1画像の撮像に対応した時間を示す。なお図7では、説明を簡単にするため、被計測面5aにおける1画像の走査及び撮像に関して、Y方向の1つの線の走査による6個の被計測点に対応した6個の画素の計測の部分のみを示す。当該面の領域内におけるY方向及びZ方向の他の複数の線についても同様に繰り返して走査及び撮像の制御が行われることにより、2次元の面の領域の撮像の画像が得られる。

[0099] (a)は、制御の基準となる、赤外線カメラ4の検出及び読み出しの信号c4に対応した、画素の検出及び読み出しのクロックを示す。701は、1画素の検出及び読み出しに対応する1クロックパルスを示す。実施の形態2では、赤外線カメラ4の撮像の画像の各画素の感度を一定にする必要があるため、赤外線カメラ4の画素蓄積時間となる読み出しのクロック701を常に一定とする。これにより、被計測面5aのレーザ光の走査及び照射の空間的な均一性を確保する。これに対応して、検査装置1Bは、(a)の赤外線カメラ4のクロックを、全体の制御の基準クロックとして用いる。

[0100] (b)は、(a)の赤外線カメラ4のクロックの周波数を倍にしたクロックである倍波クロックを示す。制御部11Bは、内部で、(a)のクロックパルス701の倍波として(b)のクロックパルス702を生成する。(b

）の倍波のクロックパルス 702 は、（c）の照射制御の信号 703、及び（e）の走査ミラー 23B の角度 θ の制御の信号 705 の切り替えのタイミングを与える。

[0101] （c）は、（d）のパルスレーザ 2 の照射の ON 及び OFF の状態を画像単位で制御するための照射制御の信号 703 である。制御部 11B は、（a）、（b）の信号に基づき、内部で（c）の照射制御の信号 703 を生成する。信号 703 は、制御信号 c2 に含まれる。信号 703 は、F1 及び時刻 $t_1 \sim t_2$ で示す、第 1 の画像の撮像に対応する時間ではオフ状態にされ、F2 及び時刻 $t_2 \sim t_3$ で示す、第 2 の画像の撮像に対応する時間ではオン状態にされる。F1 のオフ状態では、赤外線カメラ 4 の撮像の全画素の検出及び読み出しの間、（d）のレーザ光の照射の ON 及び OFF は行われない。次の F2 のオン状態では、赤外線カメラ 4 の撮像の全画素の検出及び読み出しの間、（d）のレーザ光の照射の有り（ON）及び無し（OFF）の繰り返しが行われる。

[0102] （d）は、パルスレーザ 2 の照射の ON 及び OFF の制御信号を示す。704 は、照射有り（ON）の状態のパルスを示す。（d）のパルス 704 は、（c）の照射制御の信号 703 がオン状態の時のみ、（a）のクロックパルス 701 と同期させて出射される。（d）の例では Y 方向の 1 つの線の走査による 6 個の被計測点の計測に対応した 6 個のパルス 704 のみの場合を示す。

[0103] （e）は、走査ミラー 23B の角度 θ の制御の信号 705 を示す。（e）の信号 705 は、（a）の読み出しのクロック 701 に対して半周期ずれたタイミングで、かつ（b）の倍波のクロックパルス 702 のタイミングで角度を切り替えるように同期させて制御される。（e）の例では、Y 方向の 1 つの線の 6 個の被計測点に対応して 6 つの角度状態の切り替えを示す。

[0104] 実施の形態 2 の検査装置 1B では、温度差の計測は、レーザ光の照射のオン及びオフ状態に対応した、F1、F2 のような前後の画像間における時間的に離れた計測点を使用する。（a）における s1 等は、赤外線カメラ 4 の

クロックパルス 701 のタイミングでの検出による被計測点に対応した画素の計測値を示す。例えば F1 の画像内の計測値 s_1 と F2 の画像内の計測値 s_1 とは、撮像の画像内の位置、及び被計測面 5a 内の被計測点の位置において対応する。(a) の各クロックパルス 701 での計測値を用いて、例えば、オフ状態の F1 の 1 番目のクロックパルス 701 の時の画素の計測値 s_1 と、それに対応した、オン状態の F2 の 1 番目のクロックパルス 701 の時の画素の計測値 s_1 との差分が、当該画素の被計測点での温度差 d_1 (ΔT) である。同様に、(e) の角度状態に応じた被計測点の画素ごとに温度差が得られる。

[0105] 角度 θ 及び角度 ϕ の制御による 2 次元の面の領域の走査及び計測は、例えば以下になる。まず走査範囲 b_2 の面の領域における最初の Y 方向の 1 つの線における例えば 6 個の被計測点を含む走査が図 7 と同様に行われる。続いて、Z 方向の角度 ϕ を所定単位量増減し、次の Y 方向の 1 つの線の走査が同様に行われる。同様に、Z 方向で角度 ϕ をずらしながら、走査範囲 b_2 のすべての Y 方向の線が走査される。これにより 1 つの画像に対応する時間内において、2 次元の面の領域のすべての被計測点及び画素が計測される。上記画像単位の計測が、図 7 の F1, F2 のように、(c) の照射のオフ及びオンの制御に応じて行われる。

[0106] 上記図 7 の F1, F2 のような制御により、レーザ光の照射有無に応じた 2 つ 1 組の画像が時間的に前後に分けて撮像される。画像生成部 12B は、これらの 2 つ 1 組の画像の差分、各々の画素間の計測値の差分により、温度差 d (ΔT) の分布の画像を生成する。そして欠陥抽出部 13B は、温度差の分布の画像の中から、実施の形態 1 と同様に、欠陥判定処理を行って欠陥部分を抽出し、その結果を含む画像を出力する。

[0107] 更に、実施の形態 2 において、図 7 の F1, F2 のような画像単位の制御を複数回同様に繰り返すことにより、被計測点 1 点につき複数回の計測値を得て、それらの平均値による温度差 v を得るようにしてもよい。

[0108] [効果等]

以上のように、実施の形態 2 の検査装置 1 B によれば、計測及び検査用の加熱に関する空間的及び時間的な均一性、被計測点 1 点あたり複数回の赤外線及び温度差の計測、パルスレーザ 2 と赤外線カメラ 4 の同期制御によるパルス状のレーザ光の照射の前後の温度差の計測、等の構成を有する。これにより実施の形態 2 は、実施の形態 1 と同様に、赤外線及び熱弾性効果等を用いた計測及び検査に関して、対象物 5 である構造物の表面付近における温度差の計測の精度、及び欠陥や劣化等の状態の検査の精度を向上させることができる。

[0109] 実施の形態 2 は、走査ミラー 2 3 B を含む構成により、被計測面 5 a における 2 次元の面の領域で均一なレーザ光の照射による走査を行い、被計測面 5 a における熱応力ないしエネルギーの空間的な分布の状態の均一性が高い。よって、温度差の計測を高精度にできる。また実施の形態 2 は、赤外線カメラ 4 を含む構成により、前述のように、実施の形態 1 に比べて、空間分解能を 100 倍に高くできる。これにより、欠陥抽出を高精度にでき、より微小なひび等の状態を検出しやすい。

[0110] 実施の形態 2 の変形例として、レーザ光による走査の範囲を Y 方向または Z 方向などの 1 次元の線の領域とし、赤外線カメラ 4 による撮像の範囲を 1 次元の線の領域としてもよい。

[0111] <実施の形態 3>

次に、図 8～図 10 を用いて、実施の形態 3 の赤外線検査装置について説明する。図 8 に示す実施の形態 3 の赤外線検査装置である検査装置 1 C は、光学系などの要素については実施の形態 1 と同様であるが、異なる構成として車載の検査装置である。検査装置 1 C は、車両 6 の走行に伴い移動しながら、対象物 5 の被計測面 5 a の複数の被計測点を計測及び検査する。検査装置 1 C は、移動中、固定の位置の被計測点に対して、レーザ光の照射の箇所が移動せずに 1 点あたり複数回の計測がされるように、走査ミラー 2 3 C の回転ないし偏向の角度 θ を制御する。

[0112] [赤外線検査装置]

図8は、実施の形態3の検査装置1C、それを搭載する車両6、及び対象物5を含む構成を示す。検査装置1Cは、車両6の車体に搭載される。車両6は、車輪6aに、少なくとも1つの移動量センサ31が取り付けられている。なお車両6は、他の移動体としてもよい。実施の形態3の検査装置1Cは、車両6と検査装置1Cとを含む全体を検査装置ないし検査システムとして捉えてもよい。

[0113] 実施の形態3の検査装置1Cは、パルスレーザ2、赤外線センサ3、コリメートレンズ21、ダイクロイックミラー22、走査ミラー23C、対物レンズ24、結像レンズ25、移動量センサ31、制御部11C、画像生成部12C、欠陥抽出部13C、及び入出力部14を有する。

[0114] 移動量センサ31は、車両6のY方向の移動量を検出するセンサである。移動量センサ31は、車両6の移動量の検出に応じてパルスの信号c6を発生させて制御部11Cへ与える。移動量センサ31としては、各種の手段が適用可能であるが、実施の形態3ではロータリエンコーダを用いる。ロータリエンコーダにより、車輪6aの回転によるY方向の移動量を算出する。移動量センサ31の他の手段として、GPS等を用いて車両6の位置を把握してもよい。

[0115] 実施の形態3では、制御部11Cは、移動量センサ31のパルスの信号c6を基準クロックとして用いて、走査ミラー23C、パルスレーザ2、及び赤外線センサ3を含む全体を制御する。

[0116] 走査ミラー23Cは、制御部11Cからの角度制御信号c1に従い、Y方向の走査のための角度 θ が制御可能な構成である。A0は、走査ミラー23Cが基準の角度 θ_0 の状態、基準の被計測点5bに対してX方向に真っ直ぐに出射する光路を示す。

[0117] [被計測点]

図9は、実施の形態3の検査装置1Cにおける車両6の移動に伴う被計測面5aのY方向の線上の複数の被計測点5bを計測する様子を概略的に示す。被計測面5aのY方向の線の領域において、飛び飛びに存在する複数の被

計測点 5 b の例を、点 P 1, P 2, ……として示す。また車両 6 の Y 方向への移動による位置を Y 1, Y 2, ……として示す。例えば位置 Y 1 は点 P 1 の位置に対応する。

[0118] 実施の形態 3 では、図 9 のように、被計測面 5 a の Y 方向の線上における所定の間隔の複数の被計測点 5 b {P 1, P 2, ……} が計測及び検査の対象である。k 1 は、車両 6 の側面の検査装置 1 C の端部と被計測面 5 a との距離を示す。k 2 は、被計測面 5 a の Y 方向の線上の隣り合う被計測点 5 b の間隔を示す。

[0119] 検査装置 1 C は、移動中に被計測点 5 b の 1 点を計測する際、当該 1 点に対して、走査ミラー 2 3 C の角度 θ の状態の切り替えにより、レーザ光が複数回照射され複数回の温度差の計測を行うように制御する。例えば点 P 1 に対し、A 1 1 ~ A 1 5 のように、5 回のレーザ光の照射有無による 5 回の温度差の計測が行われる。A 1 1 は、角度 θ が正方向最大角度 (θ_a とする) の状態の時の光路、A 1 3 は、角度 θ が基準の角度 θ_0 の状態の時の光路、A 1 5 は、角度 θ が負方向最大角度 (θ_b とする) の状態の時の光路を示す。他の点 P 2 等に対しても同様に、複数回の温度差の計測が行われる。

[0120] [制御方式]

図 10 は、実施の形態 3 の検査装置 1 C による制御のタイミング図を示す。E 1, E 2 に示す時間は、それぞれ、1 つの被計測点 5 b に関する複数回の計測の時間を示す。

[0121] (a) は、信号 c 6 に対応する移動量センサ 3 1 のパルス 1 0 0 1 を示す。制御部 1 1 C は、(a) の移動量センサ 3 1 のパルス 1 0 0 1 を基準のクロックとして、(b) のパルスレーザ 2 の発振及び照射有無、(c) の赤外線センサ 3 の検出及び読み出し、(d) の走査ミラー 2 3 C の角度 θ の切り替えを制御する。なお図 10 では (a) の移動量センサ 3 1 のパルス 1 0 0 1 を等間隔に示しているが、実際には車両 6 の速度変化に応じて不等間隔に発生する。

[0122] (b) は、パルスレーザ 2 の発振及び照射の有り (ON) 及び無し (OF

F)の制御を示す。1002はON状態のパルスを示す。(b)のパルスレーザ2の制御のパルス1002は、(a)の3番目のパルス1001と同期するように制御される。

[0123] (c)は、赤外線センサ3の検出及び読み出しの制御を示す。1003は、(b)のOFF状態の時に対応したパルス、1004は、(b)のON状態のパルス1002の時に対応したパルスを示す。(c)の赤外線センサ3の制御のパルス1003及び1004は、(a)の1番目及び3番目のパルス1001と同期するように制御される。赤外線センサ3は、実施の形態1と同様に、パルスレーザ2の照射の無し(OFF)及び有り(ON)の2通りの状態の時に発生する赤外線を時間的に連続して検出する。

[0124] (d)は、走査ミラー23Cの角度 θ の制御の信号1005を示す。信号1005は、角度制御信号c1に含まれる。(d)の走査ミラー23Cの角度 θ の制御の信号1005は、(a)の2番目のパルス1001と同期するように制御される。時刻 $t_1 \sim t_2$ で示すE1の時間では、被計測点5bの1点、例えば点P1について、走査の角度 θ を最大(θ_a)と最小(θ_b)との間の5つの状態で切り替えている。次の時刻 $t_3 \sim t_4$ で示すE2の時間では、同様に、Y方向の次の被計測点5bの1点、例えば点P2について、走査の角度 θ を5つの状態で切り替えている。1010は角度 θ の増減の単位量を示す。

[0125] 上記図10のような制御により、車両6の走行中、図8のパルスレーザ2の照射光である集束光a4は、一定期間、対象物5の被計測面5a上の同一の被計測点5bを照射し続けるように走査が制御される。例えばE1の時間では、(b)の5回のパルス1002による集束光a4が点P1に対して照射され、5回の照射有無の状態が発生する。そして、(c)の赤外線センサ3で、s1～s10の10個の計測値により、d1～d5の5個の温度差が得られ、それらの平均値の温度差v1が得られる。

[0126] 画像生成部12Cは、被計測面5aの線上の複数の被計測点5b、例えば点P1、P2等について、移動量センサ31の信号c6と、赤外線センサ3

の検出及び読み出しの信号 c_3 とを用いて、温度差の分布を算出する処理を行う。画像生成部 12C は、移動量センサ 31 により検出する移動量、または当該移動量から算出できる車両 6 の位置情報から、被計測点 5b の位置を把握する。画像生成部 12C は、被計測面 5a の被計測点 5b ごとに、レーザ光の照射有無の時の赤外線センサ 3 による計測値の差分から、被計測点 5b の温度差を算出し、複数の計測値から複数の温度差を算出し、それらの平均値による温度差を算出する。そして、画像生成部 12C は、被計測面 5a の複数の被計測点 5b における温度差の分布を含む画像やグラフ等を作成する。

[0127] 図 4 (b) は、実施の形態 3 における画像生成部 12C による温度差の分布のうちの一部のデータ、及び欠陥抽出部 13C による欠陥判定処理の例を示す。411 は、欠陥判定のための設定情報として、許容範囲を示す。412 で示す点 D は、閾値 h_1 より小さく許容範囲 411 外になっている。413 で示す点 F は、閾値 h_2 より大きく許容範囲 411 外になっている。欠陥抽出部 13C は、上記温度差の値と閾値とを比較し、許容範囲 411 外であれば欠陥や劣化等と判定する。欠陥と判定された点 D は、温度差及び応力変動が閾値よりも小さいので、当該点の付近で剥がれ等の可能性が高いことを表し、点 F の付近はひび等の可能性が高いことを表している。

[0128] [効果等]

以上のように、実施の形態 3 の検査装置 1C は、車両 6 で移動しながら、移動量センサ 31 で移動量を把握しつつ、走査ミラー 23C の角度 θ を制御する構成を有する。これにより実施の形態 3 は、固定の対象物 5 の被計測面 5a 上の複数の被計測点 5b について、1 点あたり複数回温度差を計測する。当該走査ミラー 23 による偏向の制御を行わない場合、被計測点 5b の 1 点あたり 1 回の計測になってしまう。これに対して実施の形態 3 は、1 点あたり複数回の計測を行うことから、当該走査ミラー 23 による偏向の制御を行わない場合などに比べ、被計測点の温度差を高精度に計測できる。その結果、対象物 5 における剥がれやひび等の欠陥やその予兆を高精度に検出でき

る。実施の形態3によれば、対象物5の表面を定点観測するような用途に好適であり、車両6で移動しながらトンネル壁面等の構造物を効率的に計測及び検査できる。

[0129] 以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前述の実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることは言うまでもない。

[0130] 本実施の形態では、欠陥抽出部を検査装置内に設けた場合で説明したが、欠陥抽出をリアルタイムで行う必要が無い場合や、データの容量が多く処理に時間が必要な場合などには、欠陥抽出部を検査装置の外に設けてもよい。

産業上の利用可能性

[0131] 本発明は、ビル、橋梁、及びトンネル等の社会インフラを含む各種の構造物を対象として、欠陥や劣化等の状態を検査する技術などに利用可能である。

符号の説明

[0132] 1 A, 1 B, 1 C…検査装置、2…パルスレーザ、3…赤外線センサ、4…赤外線カメラ、5…対象物、5 a…被計測面、5 b, 5 c, 5 d…被計測点、6…車両、10…発振器、11 A, 11 B, 11 C…制御部、12 A, 12 B, 12 C…画像生成部、13 A, 13 B, 13 C…欠陥抽出部、14…入出力部、21…コリメートレンズ、22, 27…ダイクロイックミラー、23, 23 B, 23 C…走査ミラー、24…対物レンズ、25…結像レンズ、28…望遠レンズ、29…反射ミラー、31…移動量センサ。

請求の範囲

- [請求項1] 対象物の表面の被計測点に対してレーザ光を少なくとも照射有無の2つの状態で照射するレーザ部と、
前記レーザ光の照射に関して前記対象物の表面を少なくとも第1方向に走査するための走査ミラーを含む光学系と、
前記レーザ光の照射により前記対象物の表面の被計測点から生じる赤外線を少なくとも1点で検出する赤外線センサと、
前記レーザ光の照射有無の2つの状態の時に前記赤外線センサの赤外線の検出を行い、かつ前記被計測点ごとに前記2つの状態の時の赤外線の検出の信号の差分である温度差の計測を複数回行うように、前記レーザ部のレーザ光の照射有無、前記走査ミラーの角度、及び前記赤外線センサの赤外線の検出のタイミングを制御する制御部と、
前記温度差の計測値、及び前記走査ミラーの角度に基づき、前記対象物の表面の領域における複数の各々の被計測点の温度差の分布を含む画像を生成する画像生成部と、
を有する、赤外線検査装置。
- [請求項2] 請求項1記載の赤外線検査装置において、
基準クロックを発生する発振部と、
前記対象物の被計測点に前記レーザ光を集光する対物レンズと、
前記対物レンズとの組合せで前記赤外線センサと前記対象物の被計測点とを共役の関係に結像する結像レンズと、
前記対象物へ照射するためのレーザ光と前記対象物からの赤外線とを波長分離する波長分離ミラーと、
を有し、
前記制御部は、前記基準クロックに基づき、前記レーザ部のレーザ光の照射有無、前記走査ミラーの角度、及び前記赤外線センサの赤外線の検出のタイミングを制御する、赤外線検査装置。
- [請求項3] 請求項1記載の赤外線検査装置において、

前記走査ミラーは、前記レーザ光の照射に関して前記対象物の表面を第1方向に走査するための第1の角度、及び第2方向に走査するための第2の角度が制御され、

前記画像生成部は、前記対象物の表面の2次元の面の領域における複数の被計測点の温度差の分布を含む画像を生成する、赤外線検査装置。

[請求項4] 請求項1～3のいずれか一項に記載の赤外線検査装置において、
更に、前記温度差の分布の画像を用いて欠陥または劣化の部分を判定して抽出する欠陥抽出部を有する、赤外線検査装置。

[請求項5] 対象物の表面の被計測点に対してレーザ光を少なくとも照射有無の2つの状態で照射するレーザ部と、

前記レーザ光の照射に関して前記対象物の表面を少なくとも第1方向に走査するための走査ミラーを含む光学系と、

前記レーザ光の照射により前記対象物の表面の被計測点から生じる赤外線を、線または面の領域で検出することにより画像を撮像する赤外線カメラと、

前記赤外線カメラの画像単位で、前記レーザ部により前記レーザ光を照射無しの状態に制御して前記照射無しの状態の時に前記赤外線カメラで赤外線を検出する第1の画像と、前記レーザ部により前記レーザ光を照射有りの状態に制御して前記照射有りの状態の時に前記赤外線カメラで赤外線を検出する第2の画像との2つの状態の画像を撮像するように、前記レーザ部のレーザ光の照射有無、前記走査ミラーの角度、及び前記赤外線カメラの赤外線の検出のタイミングを制御する制御部と、

前記第1の画像の前記照射無しの状態の時の前記赤外線の検出による計測値と、前記第2の画像の前記照射有りの状態の時の前記赤外線の検出による計測値との差分による温度差の計測値に基づき、前記対象物の表面の線または面の領域における複数の被計測点の温度差の分

布を含む画像を生成する画像生成部と、
を有する、赤外線検査装置。

[請求項6] 請求項5記載の赤外線検査装置において、
前記対象物の被計測点に前記レーザ光を集光する対物レンズと、
前記赤外線カメラと前記対象物の被計測点とを共役の関係に結像する結像レンズと、
前記対象物へ照射するためのレーザ光と前記対象物からの赤外線とを波長分離する波長分離ミラーと、
を有し、
前記制御部は、前記赤外線カメラからの画像単位の読み出しの信号を基準として、前記レーザ部のレーザ光の照射有無、前記走査ミラーの角度、及び前記赤外線カメラの赤外線の検出のタイミングを制御する、赤外線検査装置。

[請求項7] 請求項5記載の赤外線検査装置において、
前記走査ミラーは、前記レーザ光の照射に関して前記対象物の表面を第1方向に走査するための第1の角度、及び第2方向に走査するための第2の角度が制御され、
前記画像生成部は、前記対象物の表面の2次元の面の領域における複数の被計測点の温度差の分布を含む画像を生成する、赤外線検査装置。

[請求項8] 請求項5～7のいずれか一項に記載の赤外線検査装置において、
更に、前記温度差の分布の画像を用いて欠陥または劣化の部分を判定して抽出する欠陥抽出部を有する、赤外線検査装置。

[請求項9] 移動体に搭載される赤外線検査装置であって、
前記移動体の移動量または位置を検出するセンサ部と、
固定の対象物の表面の被計測点に対してレーザ光を少なくとも照射有無の2つの状態で照射するレーザ部と、
前記レーザ光の照射に関して前記対象物の表面の複数の各々の被計

測点に対して照射するために少なくとも第1方向に走査するための走査ミラーを含む光学系と、

前記レーザ光の照射により前記対象物の表面の被計測点から生じる赤外線を少なくとも1点で検出する赤外線センサと、

前記レーザ光の照射有無の2つの状態の時に前記赤外線センサの赤外線の検出を行い、かつ前記対象物の表面の複数の各々の被計測点ごとに前記走査ミラーの角度を切り替えながら前記2つの状態の時の赤外線の検出の信号の差分である温度差の計測を複数回行うように、前記センサ部の検出、前記レーザ部のレーザ光の照射有無、前記走査ミラーの角度、及び前記赤外線センサの赤外線の検出のタイミングを制御する制御部と、

前記センサ部の検出情報と、前記温度差の計測値とに基づき、前記対象物の表面の複数の各々の被計測点に関する温度差の分布を算出する算出部と、

を有する、赤外線検査装置。

[請求項10]

請求項9記載の赤外線検査装置において、

前記対象物の被計測点に前記レーザ光を集光する対物レンズと、

前記対物レンズとの組合せで前記赤外線センサと前記対象物の被計測点とを共役の関係に結像する結像レンズと、

前記対象物へ照射するためのレーザ光と前記対象物からの赤外線とを波長分離する波長分離ミラーと、

を有し、

前記制御部は、前記センサ部による移動量または位置の検出の信号のパルスを基準として、前記レーザ部のレーザ光の発振、前記走査ミラーの角度、及び前記赤外線センサの検出のタイミングを制御する、赤外線検査装置。

[請求項11]

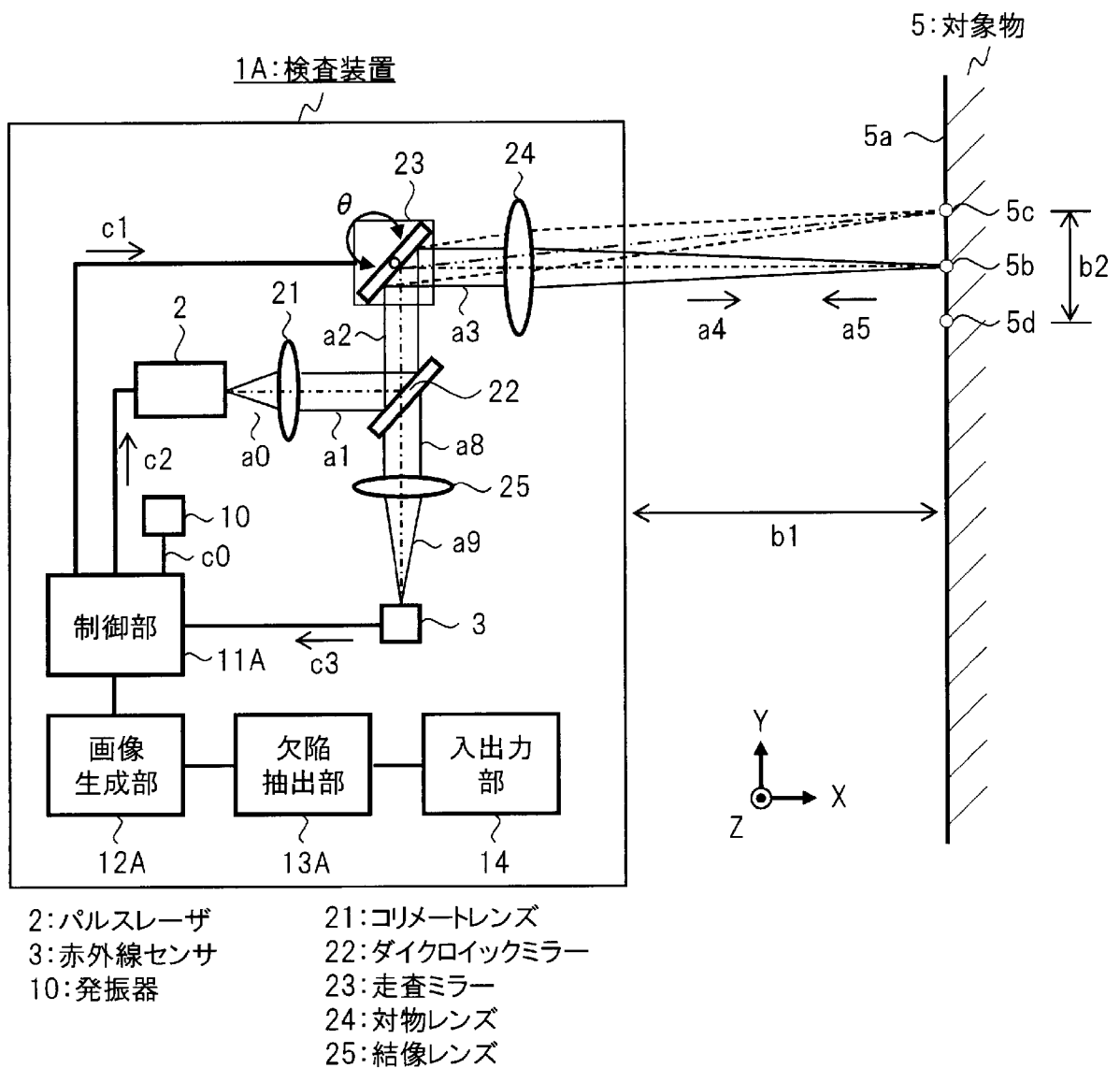
請求項9または10に記載の赤外線検査装置において、

更に、前記温度差の分布を用いて欠陥または劣化の部分を判定して

抽出する欠陥抽出部を有する、赤外線検査装置。

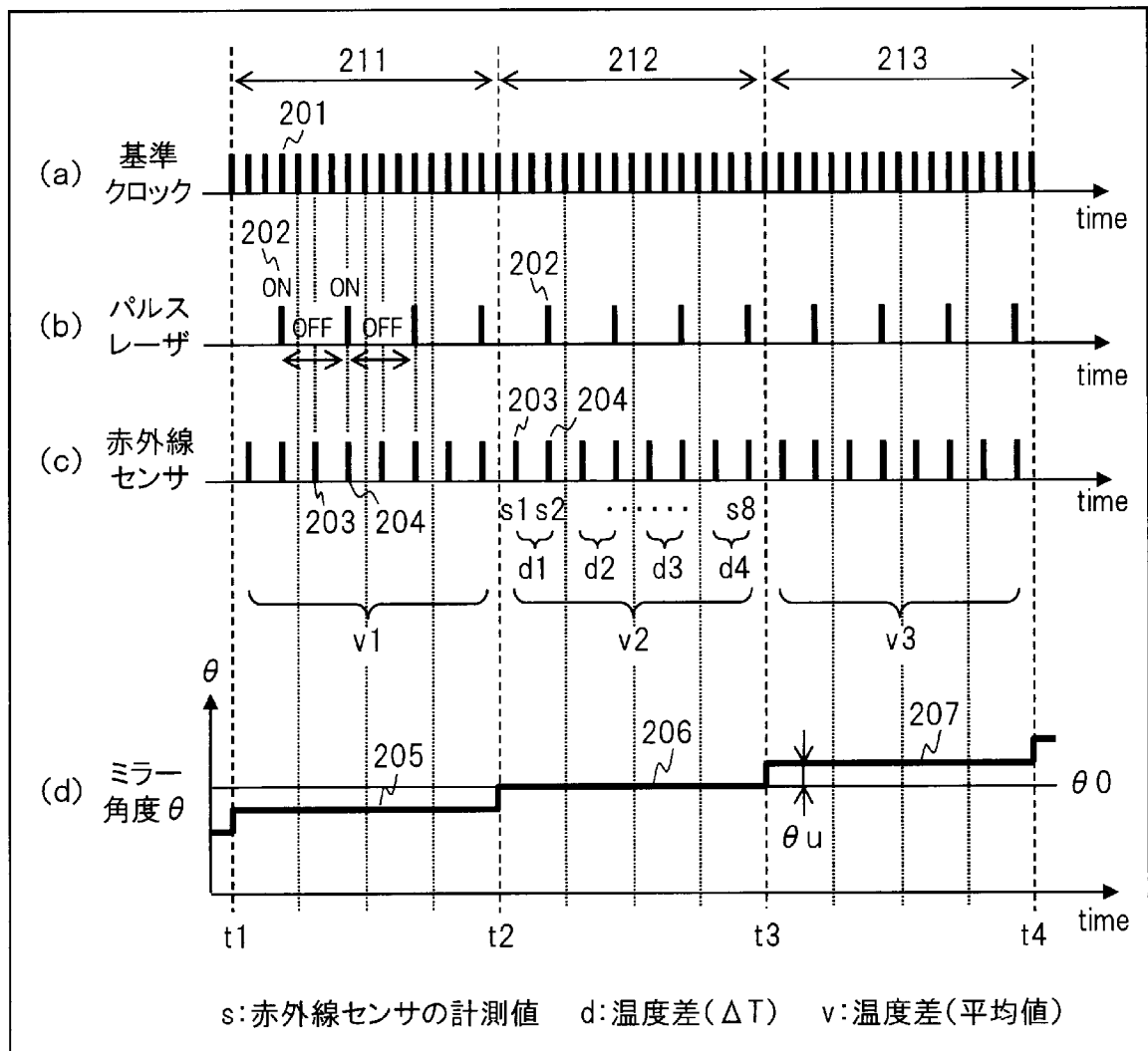
[図1]

図 1



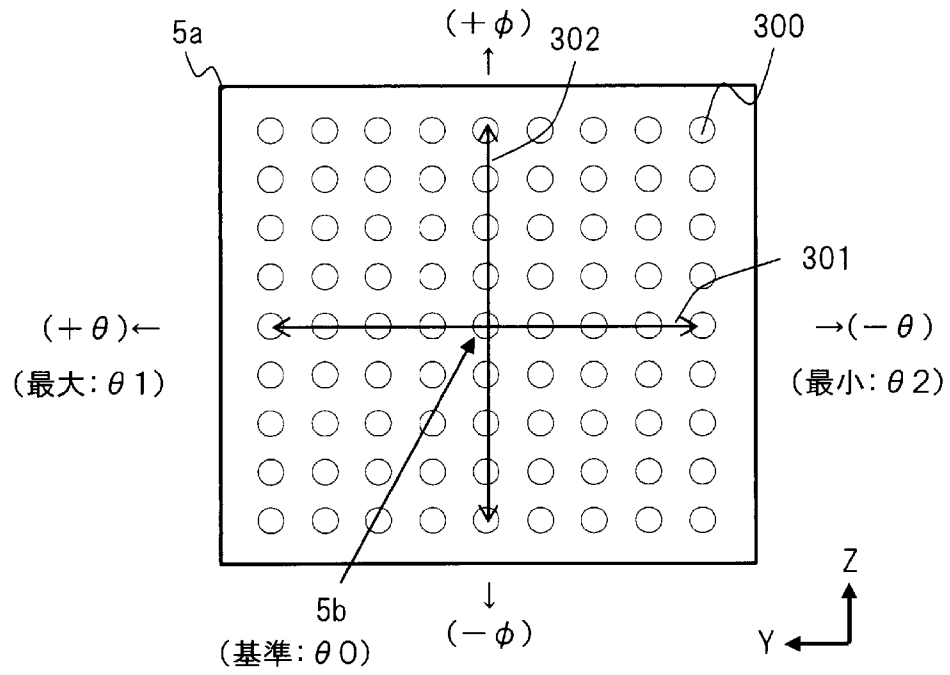
[図2]

図 2

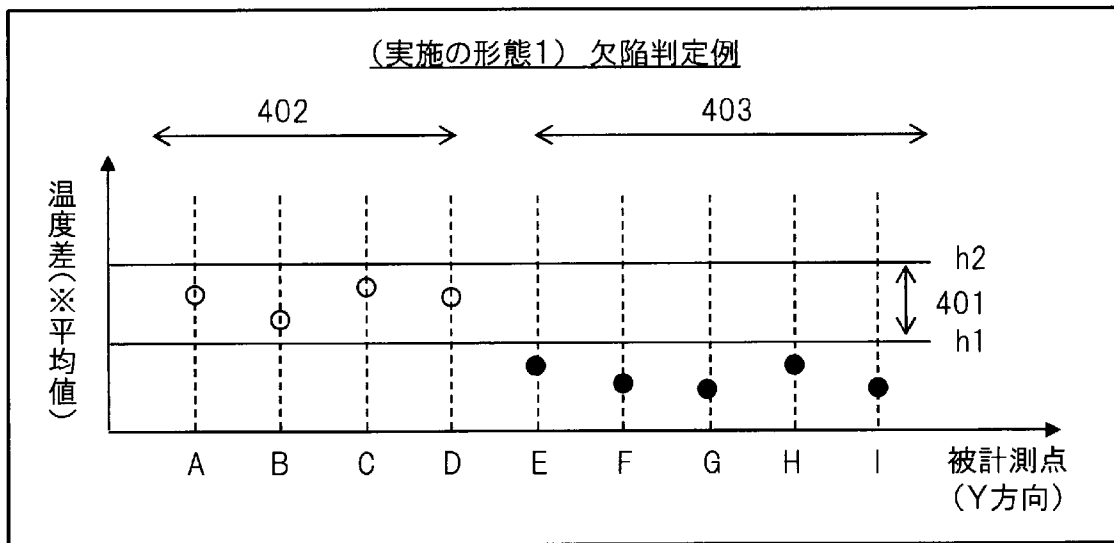


[図3]

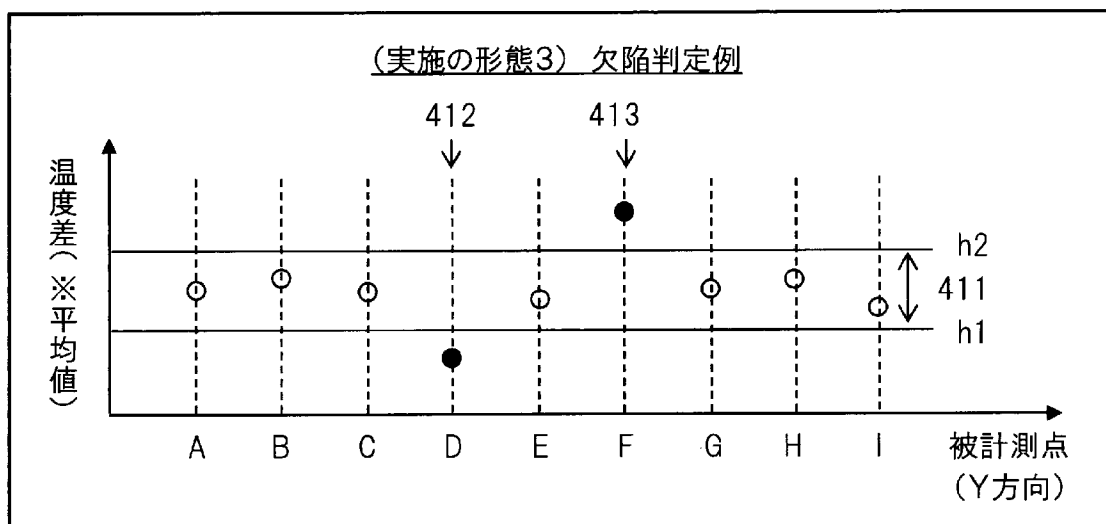
図 3



[図4]

図 4
(a)

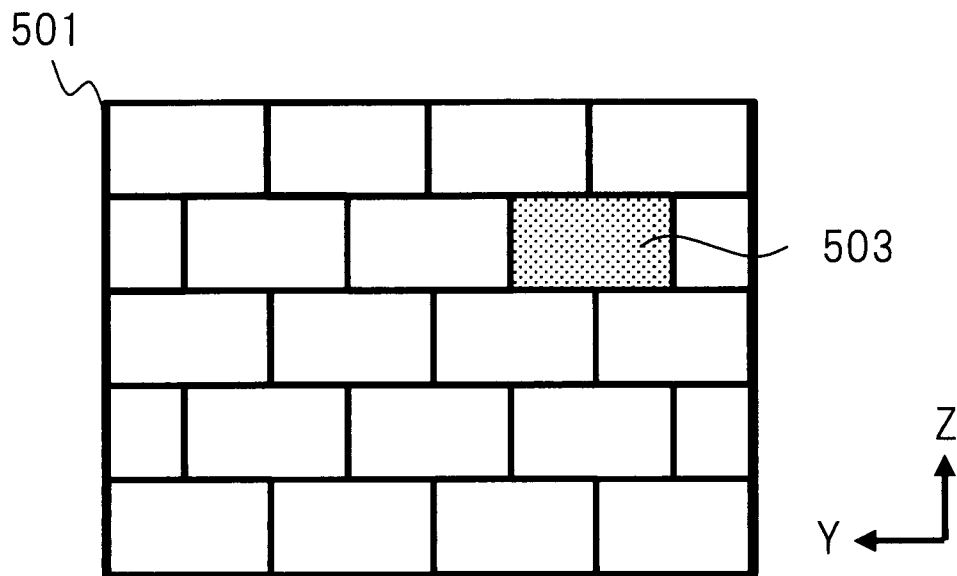
(b)



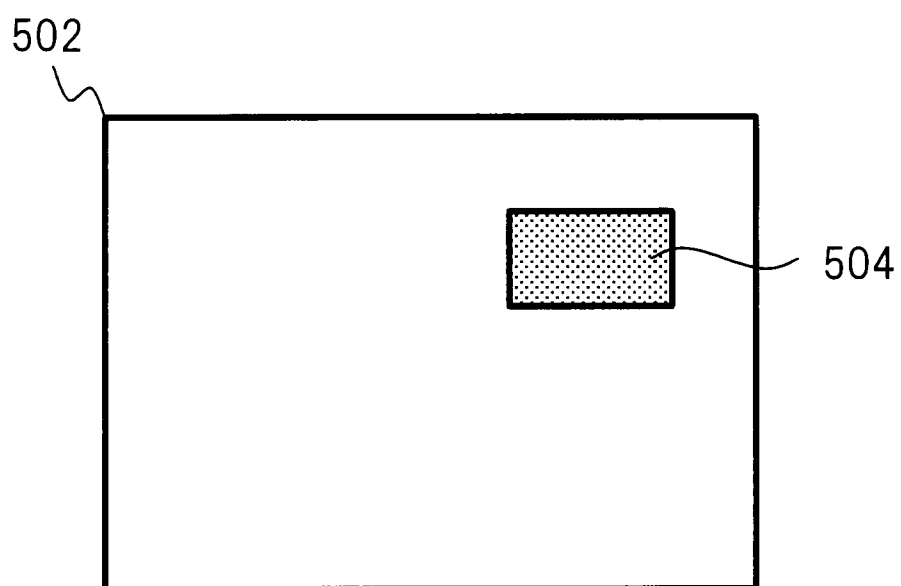
[図5]

図 5

(a)

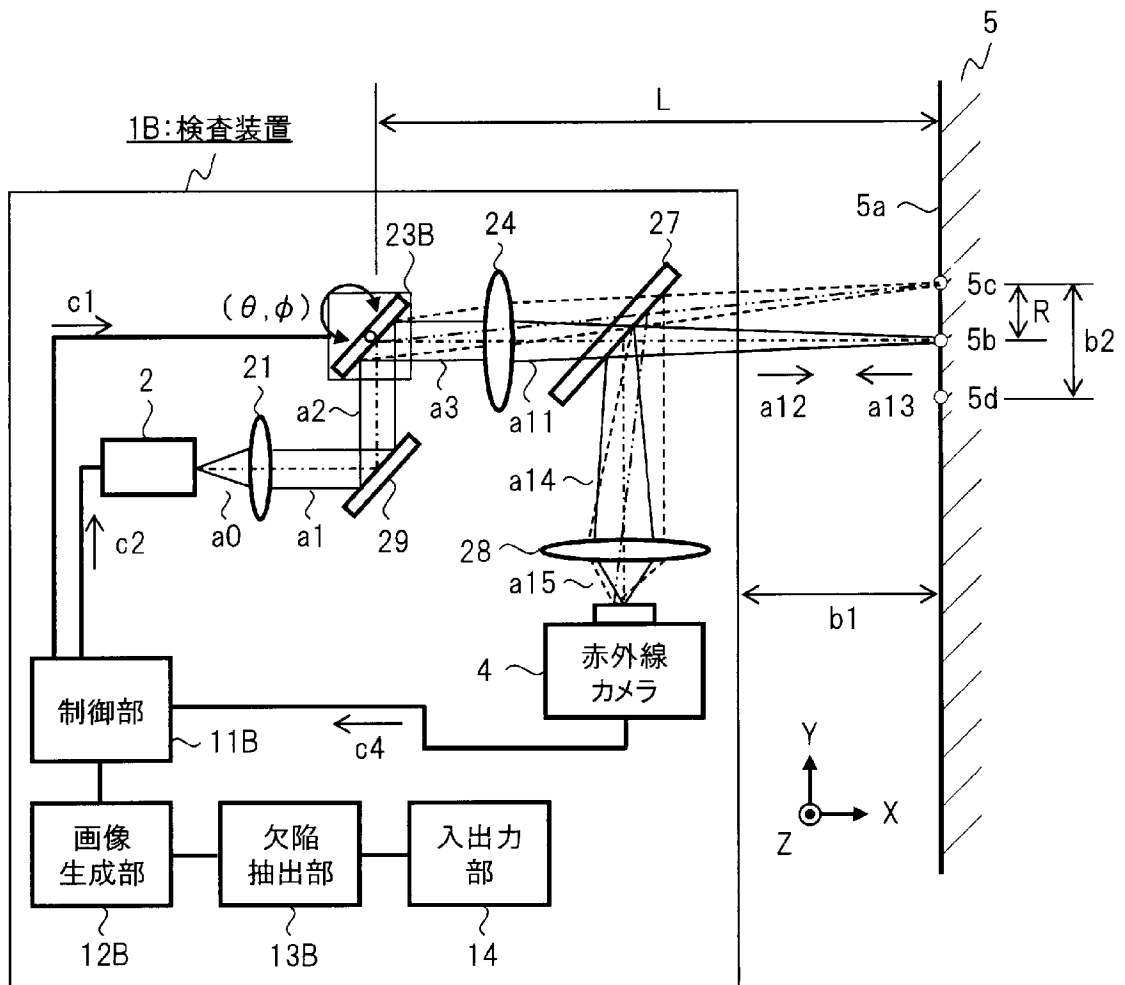


(b)



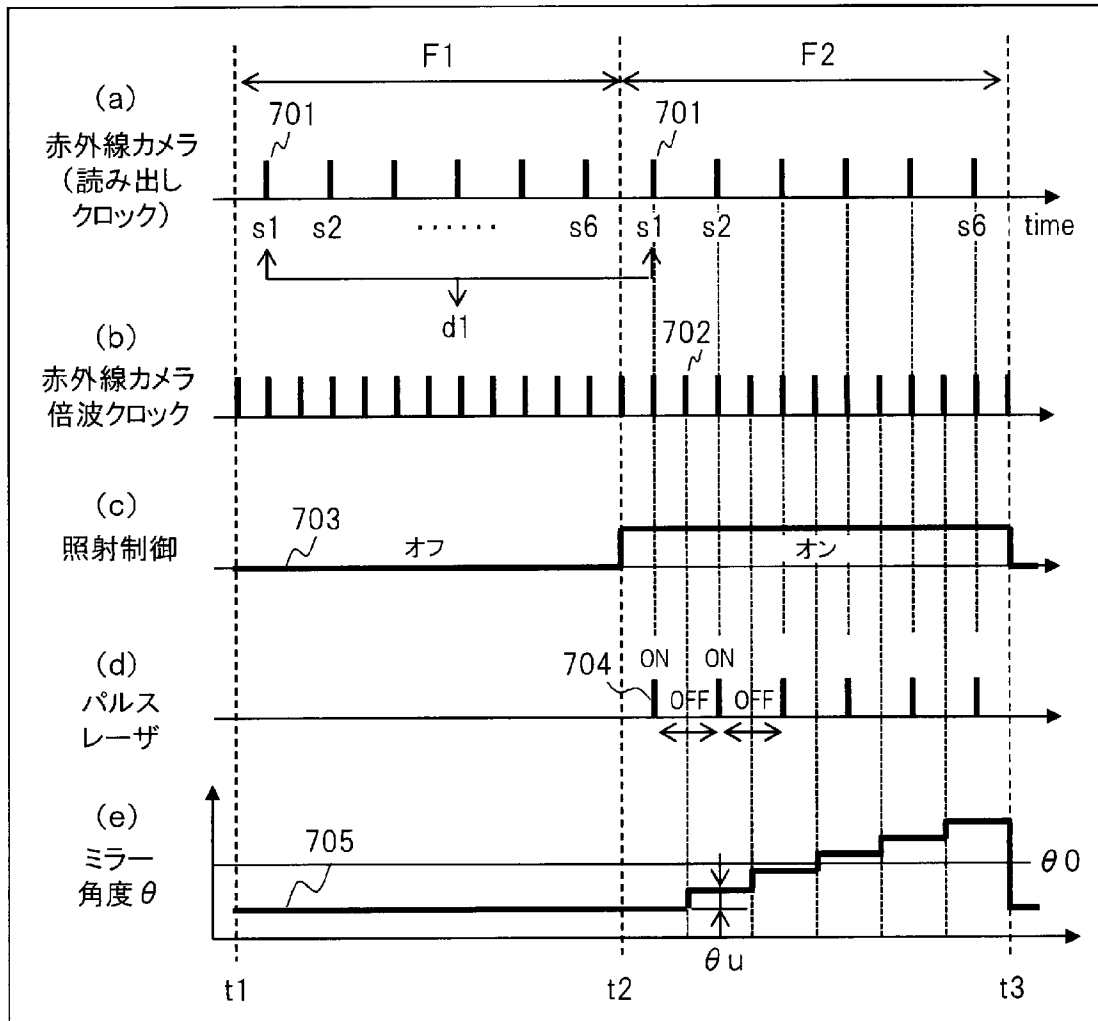
[図6]

図 6



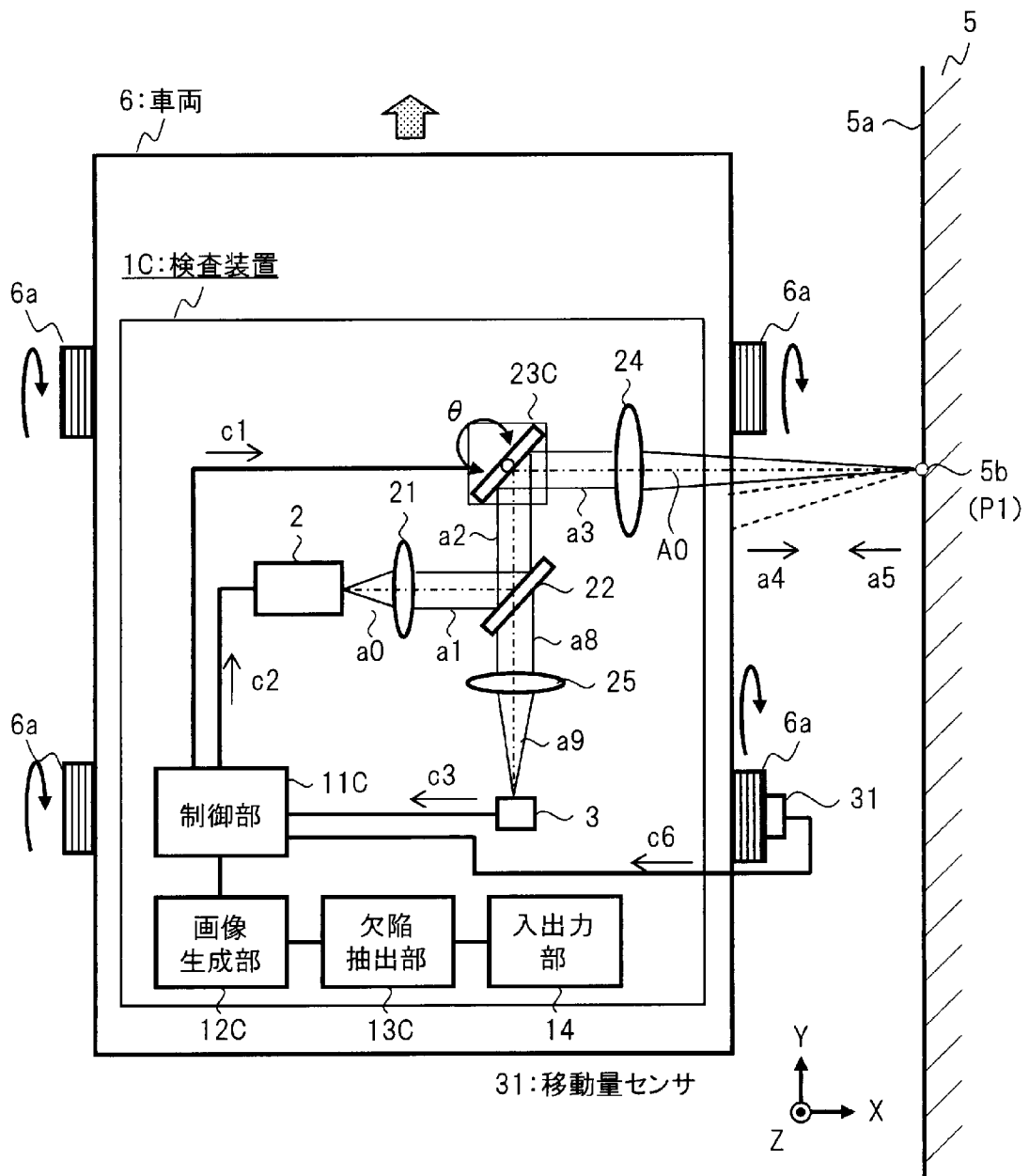
[図7]

図 7



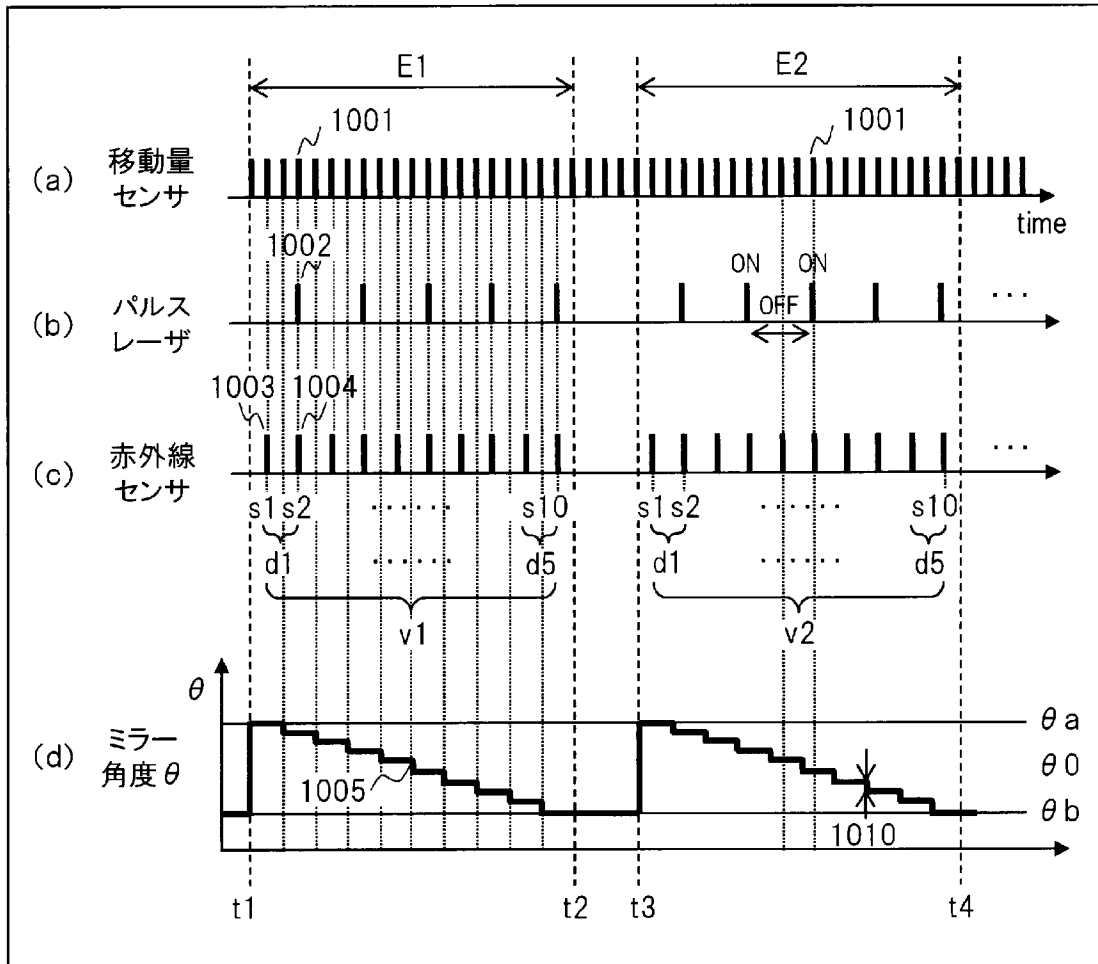
[図8]

図 8



[図10]

図 10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/064688

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N25/72(2006.01)i, G01J5/10(2006.01)i, G01J5/48(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)

G01N25/00-25/72, G01J5/10, G01J5/48

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 62-98243 A (JEOL Ltd.), 07 May 1987 (07.05.1987), page 2, upper left column, line 3 to lower left column, line 9; all drawings (Family: none)	1-9, 11 10
Y A	JP 3-4151 A (Siemens AG.), 10 January 1991 (10.01.1991), page 9, upper left column, line 15 to page 10, upper right column, line 13; page 11, upper left column, line 19 to upper right column, line 11; fig. 1, 2 & US 5118945 A & EP 394932 A2 & DE 3913474 A1 & AT 163762 E & ES 2113849 T	1-9, 11 10

☒ 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
19 August, 2014 (19.08.14)

Date of mailing of the international search report
02 September, 2014 (02.09.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/064688

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 62-126339 A (Komatsu Ltd.), 08 June 1987 (08.06.1987), page 3, upper left column, line 4 to page 4, upper left column, line 19; fig. 6 (Family: none)	1-9, 11 10
Y A	JP 6-94660 A (Kawasaki Steel Corp.), 08 April 1994 (08.04.1994), paragraphs [0007] to [0008] (Family: none)	4, 8, 11 10
Y A	JP 9-311029 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 02 December 1997 (02.12.1997), paragraph [0010]; fig. 1 & US 6271878 B1 & KR 10-0248647 B1 & CN 1210976 A	9, 11 10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01N25/72(2006.01)i, G01J5/10(2006.01)i, G01J5/48(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01N25/00-25/72, G01J5/10, G01J5/48

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

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

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)

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
Y A	JP 62-98243 A（日本電子株式会社）1987.05.07, 第2頁左上欄第3行－左下欄第9行, 全図（ファミリーなし）	1-9, 11 10
Y A	JP 3-4151 A（シーメンス、アクチエンゲゼルシヤフト）1991.01.10, 第9頁左上欄第15行－第10頁右上欄第13行, 第11頁左上欄第19行－右上欄第11行, FIG 1, FIG 2 & US 5118945 A & EP 394932 A2 & DE 3913474 A1 & AT 163762 E & ES 2113849 T	1-9, 11 10

☒ 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

1 9 . 0 8 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 2 . 0 9 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

東松 修太郎

2 J

5 2 6 1

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

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
Y A	JP 62-126339 A (株式会社小松製作所) 1987. 06. 08, 第 3 頁左上欄第 4 行ー第 4 頁左上欄第 1 9 行, 第 6 図 (ファミリーなし)	1-9, 11 10
Y A	JP 6-94660 A (川崎製鉄株式会社) 1994. 04. 08, 【0 0 0 7】ー【0 0 0 8】 (ファミリーなし)	4, 8, 11 10
Y A	JP 9-311029 A (三菱重工業株式会社) 1997. 12. 02, 【0 0 1 0】, 【図 1】 & US 6271878 B1 & KR 10-0248647 B1 & CN 1210976 A	9, 11 10