

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7206234号
(P7206234)

(45)発行日 令和5年1月17日(2023.1.17)

(24)登録日 令和5年1月6日(2023.1.6)

(51)国際特許分類		F I		
G 0 1 B	11/30 (2006.01)	G 0 1 B	11/30	A
G 0 1 N	21/892 (2006.01)	G 0 1 N	21/892	Z
G 0 1 N	21/88 (2006.01)	G 0 1 N	21/88	Z

請求項の数 9 (全21頁)

(21)出願番号	特願2020-61297(P2020-61297)	(73)特許権者	000004064 日本碍子株式会社 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号
(22)出願日	令和2年3月30日(2020.3.30)	(74)代理人	110000523 アクセス国際弁理士法人
(65)公開番号	特開2021-162348(P2021-162348 A)	(72)発明者	寺拝 貴史 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
(43)公開日	令和3年10月11日(2021.10.11)	(72)発明者	佐藤 祥弘 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
審査請求日	令和3年10月18日(2021.10.18)	審査官	眞岩 久恵

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 セラミックス製の円柱状ハニカム構造体の検査方法及び検査装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第一底面、第二底面、及び側面を有するセラミックス製の円柱状ハニカム構造体を用意する工程と、

円柱状ハニカム構造体を回転ステージに載置する工程であって、前記第一底面を上側にして、前記第一底面の重心と回転ステージの回転軸の距離が0.5mm以下になるように載置する工程と、

回転ステージに載置されている円柱状ハニカム構造体の側面に対して波長が300~500nmの光を照射する工程と、

画素分解能が1~25μm/pixであるラインセンサカメラの絞り値Fを8~16の範囲に設定し、被写界深度を0.5~5mmに調節して、前記光が前記側面に対して照射されている状態で、円柱状ハニカム構造体を前記回転軸の周りで回転させながら前記側面からの反射光をラインセンサカメラで繰り返し撮影する工程と、

前記反射光をラインセンサカメラで撮影する工程の結果に基づき、前記側面全体の検査画像を生成する工程と、

検査画像に基づいて前記側面の欠陥の有無を判別する工程と、
を含む円柱状ハニカム構造体の検査方法。

【請求項2】

検査画像に基づいて前記側面の欠陥の有無を判別する工程は、幅が5~25μmのクラックの有無を判別することを含む請求項1に記載の検査方法。

【請求項 3】

回転ステージは x y z 方向に移動可能であり、
 円柱状八ニカム構造体を回転ステージに載置する工程は、
 前記第一底面の重心の位置をエリアカメラを用いて計測する工程と、
 計測された前記第一底面の重心の位置に基づき、回転ステージの回転軸を前記第一底面の重心の位置の直下に移動させる工程と、
 回転ステージを円柱状八ニカム構造体に対して相対的に上昇させて、前記第二底面の側から円柱状八ニカム構造体を持ち上げる工程と、
 を含む請求項 1 又は 2 に記載の検査方法。

【請求項 4】

前記側面からの反射光をラインセンサカメラで繰り返し撮影する工程を実施中、変位計を用いて、前記側面の何れかの地点の法線方向における当該地点と変位計の間の距離を連続的に計測し、円柱状八ニカム構造体が一回転する間の当該距離の変化量が被写界深度を超えるか否かを判定する工程と、

被写界深度を超えた場合には、被写界深度を超えた状態で撮影された前記側面の部分の少なくとも一部が、被写界深度の範囲内に入るように撮影距離を調整した上で、円柱状八ニカム構造体を回転軸の周りで再度回転させながら、少なくとも当該部分をラインセンサカメラで撮影する工程を含む請求項 1 ~ 3 の何れか一項に記載の検査方法。

【請求項 5】

変位計は、円柱状八ニカム構造体の側面の下半分の何れかの地点の法線方向における当該地点と変位計の間の距離を計測する請求項 4 に記載の検査方法。

【請求項 6】

前記側面からの反射光をラインセンサカメラで繰り返し撮影する工程は、円柱状八ニカム構造体を 1 0 0 ~ 1 0 0 0 m m / 秒の平均周速度で回転させながら行う請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載の検査方法。

【請求項 7】

前記光が照射されている円柱状八ニカム構造体の側面の照度が 5 0 万 1 x 以上である請求項 1 ~ 6 の何れか一項に記載の検査方法。

【請求項 8】

円柱状八ニカム構造体の側面に対して照射される光は、長手方向が円柱状八ニカム構造体の中心軸方向に平行な方向に延びるライン照明によって照射される請求項 1 ~ 7 の何れか一項に記載の検査方法。

【請求項 9】

x y z 方向に移動可能な回転ステージと、
 円柱状八ニカム構造体の側面に対して光を照射するための光照射器と、
 円柱状八ニカム構造体の側面からの反射光を撮影するためのラインセンサカメラと、
 検査画像を表示可能な画面と、
 を備えた請求項 1 ~ 8 の何れか一項に記載の検査方法を実施するための検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明はセラミックス製の円柱状八ニカム構造体の検査方法及び検査装置に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

セラミックス製の円柱状八ニカム構造体は、耐熱性、耐熱衝撃性、耐酸化性といった点で優れていることから、内燃機関、ボイラー等からの排ガス中に含まれる粒子状物質を捕集するフィルタや、排ガス浄化用触媒の触媒担体として広く用いられている。

【0 0 0 3】

一般に、セラミックス製の円柱状八ニカム構造体は、側面と、当該側面の内周側に配置され、第一底面から第二底面に向かって高さ方向に延びる複数のセルを区画形成する複数

10

20

30

40

50

の隔壁を備える。セラミックス製の円柱状八ニカム構造体は、例えば、その構成材料となるセラミックス原料の粉体を有機バインダー、水等とともに混練することにより得られる粘土状の坯土を押出成形法によって成形して円柱状八ニカム成形体を得る工程と、円柱状八ニカム成形体を焼成する工程を経て製造される。

【0004】

焼成後、円柱状八ニカム構造体の側面にはクラックが発生していたり、異物が付着していたりする等の欠陥が生じることがある。クラックの発生及び異物の付着は、円柱状八ニカム構造体の強度低下、円柱状八ニカム構造体をフィルタに用いた場合の濾過性能の低下、及び、触媒担体に用いた場合の排ガス浄化性能の低下等を招来する可能性がある。そこで、円柱状八ニカム構造体の側面における欠陥の有無を検査する必要がある。

10

【0005】

円柱状八ニカム構造体の側面の検査方法としては、ラインセンサカメラにより円柱状八ニカム構造体を回転させながら側面を撮像し、欠陥の有無を検査する方法が知られている。特許文献1（国際公開第2017/061318号）には、照射方向が異なる2つの照明光を用いた撮像と、当該撮像結果に基づいて生成される2つの判定用画像の対比という簡便な手法で、八ニカム構造体の側面に形成されるクラックの有無を判定することが可能な表面検査方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

20

【文献】国際公開第2017/061318号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献1の表面検査方法によれば、照射方向が異なる2つの照明光を用いて八ニカム構造体の側面に対して撮像を行い、当該撮像結果に基づいて生成される2つの判定用画像を対比することで、クラックと品質上問題のないうねり（表面起伏）を区別し、過剰検出を防止することができる。しかしながら、特許文献1の技術は微細なクラックに対する検討が不十分である。このため、セラミックス製の円柱状八ニカム構造体の側面における微細な欠陥（例：幅が5～25 μ m程度のクラック）の有無を迅速に検査可能な検査方法が提供されることが望ましい。

30

【0008】

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、一実施形態において、セラミックス製の円柱状八ニカム構造体の側面における微細な欠陥の有無を迅速に検査可能な検査方法を提供することを課題とする。また、本発明は別の一実施形態において、そのような検査方法の実施に好適な検査装置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】

【0009】

微細な欠陥を検出するためには画素分解能の細かいカメラを用いることが必要であるが、円柱状八ニカム構造体の外形は、数学的に完全な円柱ではなく、寸法誤差が生じ得る。このため、円柱状八ニカム構造体を回転させながら側面全体をラインセンサカメラで検査すると、カメラと円柱状八ニカム構造体の距離が微妙に変化する。距離の変動が被写界深度を超えると合焦画像が得られなくなる。そこで、寸法誤差に対応するために被写界深度を大きくする必要があるが、被写界深度を大きくするためにF値（絞り値）を大きくすると、エアリーディスク径が大きくなり、検査精度が低下するという問題がある。

40

【0010】

本発明者はこの問題に対処するべく鋭意検討したところ、F値（絞り値）を大きくしつつ、被写体である円柱状八ニカム構造体に短波長の光を照射し、その反射光を撮影することで、寸法誤差に対応可能な被写界深度を得ながらも微細なクラックが検出可能であることが分かった。本発明は上記知見に基づき完成したものであり、以下に例示される。

50

【 0 0 1 1 】

[1]

第一底面、第二底面、及び側面を有するセラミックス製の円柱状ハニカム構造体を用意する工程と、

円柱状ハニカム構造体を回転ステージに載置する工程であって、前記第一底面を上側にし、前記第一底面の重心と回転ステージの回転軸の距離が 0.5 mm 以下になるように載置する工程と、

回転ステージに載置されている円柱状ハニカム構造体の側面に対して波長が 300 ~ 500 nm の光を照射する工程と、

画素分解能が 1 ~ 25 $\mu\text{m} / \text{pix}$ であるラインセンサカメラの被写界深度を 0.5 ~ 5 mm に調節して、前記光が前記側面に対して照射されている状態で、円柱状ハニカム構造体を前記回転軸の周りで回転させながら前記側面からの反射光をラインセンサカメラで繰り返し撮影する工程と、

前記反射光をラインセンサカメラで撮影する工程の結果に基づき、前記側面全体の検査画像を生成する工程と、

検査画像に基づいて前記側面の欠陥の有無を判別する工程と、
を含む円柱状ハニカム構造体の検査方法。

10

[2]

前記側面からの反射光をラインセンサカメラで繰り返し撮影する工程は、ラインセンサカメラの絞り値 F を 8 ~ 16 の範囲に設定して行う [1] に記載の検査方法。

20

[3]

検査画像に基づいて前記側面の欠陥の有無を判別する工程は、幅が 5 ~ 25 μm のクラックの有無を判別することを含む [1] 又は [2] に記載の検査方法。

[4]

回転ステージは x y z 方向に移動可能であり、
円柱状ハニカム構造体を回転ステージに載置する工程は、
前記第一底面の重心の位置をエリアカメラを用いて計測する工程と、
計測された前記第一底面の重心の位置に基づき、回転ステージの回転軸を前記第一底面の重心の位置の直下に移動させる工程と、

回転ステージを円柱状ハニカム構造体に対して相対的に上昇させて、前記第二底面の側から円柱状ハニカム構造体を持ち上げる工程と、
を含む [1] ~ [3] の何れか一項に記載の検査方法。

30

[5]

前記側面からの反射光をラインセンサカメラで繰り返し撮影する工程を実施中、変位計を用いて、前記側面の何れかの地点の法線方向における当該地点と変位計の間の距離を連続的に計測し、円柱状ハニカム構造体が一回転する間の当該距離の変化量が被写界深度を超えるか否かを判定する工程と、

被写界深度を超えた場合には、被写界深度を超えた状態で撮影された前記側面の部分の少なくとも一部が、被写界深度の範囲内に入るように撮影距離を調整した上で、円柱状ハニカム構造体を回転軸の周りで再度回転させながら、少なくとも当該部分をラインセンサカメラで撮影する工程を含む [1] ~ [4] の何れか一項に記載の検査方法。

40

[6]

変位計は、円柱状ハニカム構造体の側面の下半分の何れかの地点の法線方向における当該地点と変位計の間の距離を計測する [5] に記載の検査方法。

[7]

前記側面からの反射光をラインセンサカメラで繰り返し撮影する工程は、円柱状ハニカム構造体を 100 ~ 1000 mm / 秒の平均周速度で回転させながら行う [1] ~ [6] の何れか一項に記載の検査方法。

[8]

前記光が照射されている円柱状ハニカム構造体の側面の照度が 50 万 lx 以上である [

50

1] ~ [7] の何れか一項に記載の検査方法。

[9]

円柱状八ニカム構造体の側面に対して照射される光は、長手方向が円柱状八ニカム構造体の中心軸方向に平行な方向に延びるライン照明によって照射される [1] ~ [8] の何れか一項に記載の検査方法。

[10]

x y z 方向に移動可能な回転ステージと、
円柱状八ニカム構造体の側面に対して光を照射するための光照射器と、
円柱状八ニカム構造体の側面からの反射光を撮影するためのラインセンサカメラと、
検査画像を表示可能な画面と、

10

を備えた [1] ~ [9] の何れか一項に記載の検査方法を実施するための検査装置。

【発明の効果】

【0012】

本発明の一実施形態によれば、セラミックス製の円柱状八ニカム構造体の側面における微細な欠陥（例：幅が 5 ~ 25 μm 程度のクラック）の有無を迅速に検査することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】ウォールスルー型の柱状八ニカム構造体を模式的に示す斜視図である。

【図2】ウォールスルー型の柱状八ニカム構造体をセルの延びる方向に平行な断面で観察したときの模式的な断面図である。

20

【図3】ウォールフロー型の柱状八ニカム構造体を模式的に示す斜視図である。

【図4】ウォールフロー型の柱状八ニカム構造体をセルの延びる方向に平行な断面で観察したときの模式的な断面図である。

【図5】本発明の一実施形態に係る検査装置の構成を説明するための模式的な側面図である。

【図6A】エリアカメラによる第一底面の撮影結果に基づき、第一底面の重心Oの位置が計測される様子を示す模式図である。

【図6B】計測された第一底面の重心Oの位置に基づき、回転ステージの回転軸Aが第一底面の重心Oの位置の直下に移動したときの様子を示す模式図である。

30

【図6C】回転ステージが円柱状八ニカム構造体に対して相対的に上昇し、第二底面の側から円柱状八ニカム構造体を持ち上げている様子を示す模式図である。

【図6D】回転ステージによって持ち上げられた円柱状八ニカム構造体が、所定の検査中心Cまで移動したとき様子を示す模式図である。

【図7】幅が 10 μm 程度の微細クラックの顕微鏡写真の模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

次に本発明の実施形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。本発明は以下の実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、当業者の通常の知識に基づいて、適宜設計の変更、改良等が加えられることが理解されるべきである。

40

【0015】

(1. 円柱状八ニカム構造体)

本発明に係る検査方法は一実施形態において、第一底面、第二底面、及び側面を有するセラミックス製の円柱状八ニカム構造体を検査対象とする。円柱状八ニカム構造体を構成するセラミックスとしては、限定的ではないが、例えば、コージェライト、ムライト、ジルコン、チタン酸アルミニウム、炭化珪素、珪素 - 炭化珪素複合材、窒化珪素、ジルコニア、スピネル、インディアライト、サフィリン、コランダム、チタニアからなる群から選ばれる少なくとも1種を含有するセラミックスであることが好ましい。そして、これらのセラミックスは、1種を単独で含有するものでもよいし、2種以上を同時に含有するものであってもよい。

50

【 0 0 1 6 】

図 1 及び図 2 には、ウォールスルー型の自動車用排ガスフィルタ及びノ又は触媒担体として適用可能な円柱状ハニカム構造体 (1 0 0) の模式的な斜視図及び断面図がそれぞれ例示されている。この円柱状ハニカム構造体 (1 0 0) は、外周側壁 (1 0 2) と、外周側壁 (1 0 2) の内周側に配設され、第一底面 (1 0 4) から第二底面 (1 0 6) まで流体の流路を形成する複数のセル (1 0 8) を区画形成する隔壁 (1 1 2) とを備える。外周側壁 (1 0 2) の外表面が円柱状ハニカム構造体 (1 0 0) の側面 (1 0 3) を形成する。この円柱状ハニカム構造体 (1 0 0) においては、各セル (1 0 8) の両端が開口しており、第一底面 (1 0 4) から一つのセル (1 0 8) に流入した排ガスは、当該セルを通過する間に浄化され、第二底面 (1 0 6) から流出する。なお、ここでは第一底面 (1 0 4) を排ガスの上流側とし、第二底面 (1 0 6) を排ガスの下流側としたが、第一底面及び第二底面の区別は便宜上のものであり、第二底面 (1 0 6) を排ガスの上流側とし、第一底面 (1 0 4) を排ガスの下流側としてもよい。

10

【 0 0 1 7 】

図 3 及び図 4 には、ウォールフロー型の自動車用排ガスフィルタ及びノ又は触媒担体として適用可能な円柱状ハニカム構造体 (2 0 0) の模式的な斜視図及び断面図がそれぞれ例示されている。この円柱状ハニカム構造体 (2 0 0) は、外周側壁 (2 0 2) と、外周側壁 (2 0 2) の内周側に配設され、第一底面 (2 0 4) から第二底面 (2 0 6) まで流体の流路を形成する複数のセル (2 0 8 a、2 0 8 b) を区画形成する隔壁 (2 1 2) とを備える。外周側壁 (2 0 2) の外表面が円柱状ハニカム構造体 (2 0 0) の側面 (2 0 3) を形成する。

20

【 0 0 1 8 】

円柱状ハニカム構造体 (2 0 0) において、複数のセル (2 0 8 a、2 0 8 b) は、外周側壁 (2 0 2) の内側に配設され、第一底面 (2 0 4) から第二底面 (2 0 6) まで延び、第一底面 (2 0 4) が開口して第二底面 (2 0 6) が目封止された複数の第 1 セル (2 0 8 a) と、外周側壁 (2 0 2) の内側に配設され、第一底面 (2 0 4) から第二底面 (2 0 6) まで延び、第一底面 (2 0 4) が目封止されて第二底面 (2 0 6) が開口する複数の第 2 セル (2 0 8 b) に分類することができる。そして、この円柱状ハニカム構造体 (2 0 0) においては、第 1 セル (2 0 8 a) 及び第 2 セル (2 0 8 b) が隔壁 (2 1 2) を挟んで交互に隣接配置されている。

30

【 0 0 1 9 】

円柱状ハニカム構造体 (2 0 0) の上流側の第一底面 (2 0 4) にスス等の粒子状物質を含む排ガスが供給されると、排ガスは第 1 セル (2 0 8 a) に導入されて第 1 セル (2 0 8 a) 内を下流に向かって進む。第 1 セル (2 0 8 a) は下流側の第二底面 (2 0 6) が目封止されているため、排ガスは第 1 セル (2 0 8 a) と第 2 セル (2 0 8 b) を区画する多孔質の隔壁 (2 1 2) を透過して第 2 セル (2 0 8 b) に流入する。粒子状物質は隔壁 (2 1 2) を通過できないため、第 1 セル (2 0 8 a) 内に捕集され、堆積する。粒子状物質が除去された後、第 2 セル (2 0 8 b) に流入した清浄な排ガスは第 2 セル (2 0 8 b) 内を下流に向かって進み、下流側の第二底面 (2 0 6) から流出する。なお、ここでは第一底面 (2 0 4) を排ガスの上流側とし、第二底面 (2 0 6) を排ガスの下流側としたが、第一底面及び第二底面の区別は便宜上のものであり、第二底面 (2 0 6) を排ガスの上流側とし、第一底面 (2 0 4) を排ガスの下流側としてもよい。

40

【 0 0 2 0 】

円柱状ハニカム構造体の各底面は円形であり、その直径は、特に制限はないが、例えば、50 ~ 400 mm とすることができ、典型的には 50 ~ 200 mm とすることができる。

【 0 0 2 1 】

セルの流路方向に垂直な断面におけるセルの形状に制限はないが、四角形、六角形、八角形、又はこれらの組み合わせであることが好ましい。これらのなかでも、正方形及び六角形が好ましい。セル形状をこのようにすることにより、柱状ハニカム構造体に流体を流したときの圧力損失が小さくなり、触媒の浄化性能が優れたものとなる。

50

【 0 0 2 2 】

セル密度（単位断面積当たりのセルの数）についても特に制限はなく、例えば6～2000セル/平方インチ（0.9～311セル/cm²）とすることができる。ここで、セル密度は、一方の底面におけるセルの数（目封止されたセルも算入する。）を、外周側壁を除く当該底面の面積で割ることにより算出される。

【 0 0 2 3 】

隔壁（112）の厚みについても特に制限はないが、例えば50μm～330μmとすることができる。

【 0 0 2 4 】

円柱状八ニカム構造体の高さ（第一底面から第二底面までの長さ）についても特に制限はないが、例えば40mm～300mmとすることができる。

10

【 0 0 2 5 】

円柱状八ニカム構造体は、公知の作製方法によって作製可能であるが以下に例示的に説明する。まず、セラミックス原料、分散媒、造孔材及びバインダーを含有する原料組成物を混練して坏土を形成した後、坏土を押出成形することにより所望の円柱状八ニカム成形体を作製する。その後、円柱状八ニカム成形体に対して乾燥、脱脂及び焼成を実施することで円柱状八ニカム構造体を作製される。目封止部を形成する場合は、円柱状八ニカム成形体を乾燥した後、円柱状八ニカム成形体の両底面に所定の目封止部を形成した上で目封止部を乾燥する。その後、目封止部を形成した円柱状八ニカム成形体に対して脱脂及び焼成を実施することで円柱状八ニカム構造体を作製される。

20

【 0 0 2 6 】

円柱状八ニカム構造体の用途は特に制限はない。例示的には、ヒートシンク、フィルタ（例：GPF、DPF）、触媒担体、摺動部品、ノズル、熱交換器、電気絶縁用部材及び半導体製造装置用部品といった種々の産業用途に使用される。

【 0 0 2 7 】

（ 2 . 検査方法及び検査装置 ）

本発明の一実施形態によれば、第一底面、第二底面、及び側面を有するセラミックス製の円柱状八ニカム構造体の検査方法が提供される。また、本発明の一実施形態によれば、当該検査方法を実施するのに好適な検査装置が提供される。

【 0 0 2 8 】

2 - 1 . 検査装置の概要

図5には、本発明の一実施形態に係る検査方法を実施するのに好適な検査装置（500）の構成を説明するための模式的な側面図が示されている。検査装置（500）は一実施形態において、円柱状八ニカム構造体（550）を載置するためのx y z方向に移動可能な回転ステージ（510）と、円柱状八ニカム構造体（550）の側面（553）に対して光を照射するための光照射器（520）と、円柱状八ニカム構造体（550）の側面（553）からの反射光を撮影するためのラインセンサカメラ（530）と、検査画像を表示可能な画面（540）と、を備えることができる。

30

【 0 0 2 9 】

検査装置（500）は一実施形態において、回転ステージ（510）に載置されている円柱状八ニカム構造体（550）の側面（553）に対して光を照射可能な光照射器（520）を備えることができる。

40

【 0 0 3 0 】

検査装置（500）は一実施形態において、回転ステージ（510）に載置された円柱状八ニカム構造体（550）の第一底面（551）を上方から撮影可能なエリアカメラ（560）を備えることができる。

【 0 0 3 1 】

検査装置（500）は一実施形態において、回転ステージ（510）に載置された円柱状八ニカム構造体（550）の第一底面（551）に上方から光を照射可能な光照射器（580）を備えることができる。

50

【 0 0 3 2 】

検査装置(500)は一実施形態において、回転ステージ(510)に載置された円柱状八ニカム構造体(550)の側面(553)の何れかの地点の法線方向における当該地点との距離を計測することができる変位計(585)を備えることができる。

【 0 0 3 3 】

検査装置(500)は一実施形態において、ラインセンサカメラ(530)を載置してx方向に移動可能なXステージ(532)を有することができる。

【 0 0 3 4 】

検査装置(500)は一実施形態において、制御装置(570)を備えることができる。制御装置(570)は、検査装置(500)を構成する各機器の動作を制御することができるように構成されている。制御装置(570)が行うことのできる制御の内容を下記に例示する。

制御装置(570)は、ラインセンサカメラ(530)の操作条件(カメラの各種条件設定、撮影の開始及び停止等)を制御するように構成可能である。

制御装置(570)は、ラインセンサカメラ(530)により得られた画像データに基づいて検査画像を画面(540)に表示できるように構成可能である。

制御装置(570)は、ラインセンサカメラ(530)により得られた画像に対して画像処理を行い、その処理結果に基づいて欠陥の有無を判定することができるように構成可能である。

制御装置(570)は、回転ステージ(510)の各種操作条件(回転の開始、停止、回転速度等)を制御することができるように構成可能である。

制御装置(570)は、エリアカメラ(560)の撮影結果に基づき回転ステージ(510)の位置を計測でき、回転ステージ(510)のxyz方向の移動を制御することができるように構成可能である。

制御装置(570)は、光照射器(520、580)の各種操作条件(ON/OFF及び出力等)を制御することができるように構成可能である。

制御装置(570)は、変位計(585)の各種操作条件(ON/OFF等)を制御することができるように構成可能である。

制御装置(570)は、Xステージ(532)のx方向の移動を制御することができるように構成可能である。

【 0 0 3 5 】

検査装置(500)は、制御装置(570)で実行される各種制御を行うための指示及び/又は条件を入力するための入力部(572)を有することができる。入力部(572)は、例えば、キーボード、タッチパネル、テンキー、及びマウス等で構成することができる。入力部(572)で入力される指示及び/又は条件は、画面(540)に表示されるように構成することもできる。

【 0 0 3 6 】

2-2. 円柱状八ニカム構造体の載置工程

本発明の一実施形態に係る検査方法においては、円柱状八ニカム構造体(550)を回転ステージ(510)に載置する工程が実施される。円柱状八ニカム構造体(550)は、その一方の底面が回転ステージ(510)の載置面(512)に接触するように載置される。回転ステージ(510)に円柱状八ニカム構造体(550)を載置する際、上側の底面を第一底面(551)とすると、第一底面(551)の重心Oと回転ステージ(510)の回転軸Aの距離が0.5mm以下、好ましくは0.2mm以下、より好ましくは0.1mm以下になるように載置することが望ましい。これにより、円柱状八ニカム構造体(550)が回転ステージ(510)の上で回転する際、偏心が少なくなり被写体距離が安定するという利点が得られるので、被写界深度を過度に大きくしなくてもラインセンサカメラ(530)によって側面(553)を撮影する際にピントを合わせることができる。

【 0 0 3 7 】

回転ステージ(510)は、円柱状八ニカム構造体(550)を載置可能な水平な載置

面(512)を有する。回転ステージ(510)の載置面(512)は、円柱状ハニカム構造体(550)の底面(551、552)のサイズよりも小さいことが好ましい。これは、ラインセンサカメラ(530)による撮影の際に回転ステージ(510)の像が映り込まないようにするためである。

【0038】

回転ステージ(510)は、鉛直方向に延びる回転軸Aを有するステージ(510a)を有している。回転ステージ(510)は、サーボモータ等の駆動手段によって所定の回転速度で回転可能に構成されている。サーボモータは、回転ステージ(510)の回転角度等の変位量を検出するためのエンコーダを搭載することができる。

【0039】

また、回転ステージ(510)は、モータ等の駆動手段によってx y方向(一般には水平方向)及びz方向(一般には鉛直方向)に移動可能に構成されている。より具体的には、回転ステージ(510)は水平移動を可能とするXステージ(510b)及びYステージ(510c)、並びに、鉛直移動を可能とするZステージ(510d)を有する。Xステージ、Yステージ及びZステージはそれぞれ独立にモータ等の駆動手段により移動可能である。例示的には、Xステージ、Yステージ、及びZステージはそれぞれロボシリンダー等の電動アクチュエータを用いて構成することができる。電動アクチュエータはリニアガイド、ボールねじ、及びサーボモータ等で構成することができる。サーボモータは、各ステージの変位量を検出するためのエンコーダを搭載することができる。

【0040】

回転ステージ(510)に円柱状ハニカム構造体(550)を載置する際の位置決めを正確に実施するため、円柱状ハニカム構造体(550)を回転ステージ(510)に載置する工程においては、円柱状ハニカム構造体(550)の第一底面(551)の上方に設置したエリアカメラ(560)を使用して、以下の位置決め操作を実施することが好ましい。

【0041】

位置決め操作は一実施形態において、

第一底面(551)の重心Oの位置をエリアカメラ(560)を用いて計測する工程と、計測された第一底面(551)の重心Oの位置に基づき、回転ステージ(510)の回転軸Aを前記第一底面の重心Oの位置の直下に移動させる工程と、

回転ステージ(510)を円柱状ハニカム構造体(550)に対して相対的に上昇させて、第二底面(552)の側から円柱状ハニカム構造体(550)を持ち上げる工程と、を含む。

【0042】

図6A～図6Dには、位置決め操作の手順の例が模式的に示されている。まず、円柱状ハニカム構造体(550)を、架台(590)に載置する。架台(590)は円柱状ハニカム構造体(550)を載置可能な水平な載置面(591)を有している。載置面(591)は開口部(592)を有しており、開口部(592)の下方には回転ステージ(510)が配置されている。

【0043】

架台(590)に載置された円柱状ハニカム構造体(550)の上側の底面である第一底面(551)を、第一底面(551)の上方に設置されたエリアカメラ(560)により撮影する。制御装置(570)は、エリアカメラ(560)による第一底面(551)の撮影結果に基づき、第一底面(551)の重心Oの位置(典型的には、x y座標の値)を計測する(図6A)。第一底面(551)の重心Oの位置は、例えば、第一底面(551)を構成する全画素の座標の値の算術平均を求め、重心を決定する方法や、第一底面(551)の外周輪郭に対して円フィッティングを行い、その円の中心を重心とすることで決定する方法などによって特定可能である。

【0044】

制御装置(570)は、回転ステージ(510)の回転軸Aの位置(典型的には、x y

10

20

30

40

50

座標の値)を計測することができるように構成されている。制御装置(570)は、計測された第一底面(551)の重心Oの位置に基づき、回転ステージ(510)の回転軸Aを前記第一底面の重心Oの位置の直下に移動させることができる(図6B)。

【0045】

制御装置(570)は、回転軸Aが第一底面(551)の重心Oの位置の直下に移動した回転ステージ(510)をz方向に移動させることができる。従って、回転ステージ(510)を円柱状ハニカム構造体(550)に対して相対的に上昇させることができ、これにより、第二底面(552)の側から円柱状ハニカム構造体(550)を持ち上げることができる(図6C)。当該操作により、第一底面(551)の重心Oと回転ステージ(510)の回転軸Aの位置を高精度に一致させることが可能である。

10

【0046】

更に、回転ステージ(510)によって持ち上げられた円柱状ハニカム構造体(550)は、ラインセンサカメラ(530)の光軸中心上に回転軸Aおよび重心Oがくるように、所定の検査中心Cまで円柱状ハニカム構造体(550)を移動させることが好ましい(図6D)。例えば、検査中心Cを予め定めたx-y座標系における $(x, y) = (0, 0)$ の座標値とし、第一底面(551)の重心Oが当該x-y座標系で $(x, y) = (0, 0)$ の位置に来るように、制御装置(570)は円柱状ハニカム構造体(550)を移動させることができる。

【0047】

エリアカメラ(560)は、位置決め精度を高めるため、回転ステージ(510)の載置面(512)の法線方向が撮影方向と平行になるよう設置することが好ましい。エリアカメラ(560)としては、限定的ではないが、例えば、モノクロの200万画素以上の性能をもつエリアカメラを使用することができる。

20

【0048】

位置決め精度を高めるため、エリアカメラ(560)による第一底面(551)の撮影は、第一底面(551)の上方に設置される光照射器(580)から、第一底面(551)に対して光を照射しながら実施することが好ましい。更に、位置決め精度を高めるためには、光照射器(580)からの光はエリアカメラ(560)で撮影される第一底面(551)に対して等方的に照射されることが好ましい。例えば、光照射器(580)としてリング照明又は同軸照明等を用いて、第一底面(551)の直上から光を照射する方法が好ましい。

30

【0049】

光照射器(580)の光源としては、特に制限はないが、LED、白熱電球、ハロゲンランプ等が挙げられる。照射する光の波長についても、エリアカメラ(560)が受光感度を有する波長であれば特に制限はない。従って、白色光を照射することも可能である。照射する光の出力についても特に制限はないが、位置決め精度を高めるため、第一底面(551)の照度が2000lx以上、好ましくは5000lx以上となるような出力で光を照射することができる。

【0050】

2-3. 側面に対する光の照射工程

40

本発明の一実施形態に係る検査方法においては、回転ステージ(510)に載置されている円柱状ハニカム構造体(550)、好ましくは位置決め操作が完了した円柱状ハニカム構造体(550)の側面(553)に対して波長が300~500nmの光を照射する工程が実施される。このような短波長の光を側面(553)に照射することで、側面(553)からの反射光をラインセンサカメラ(530)で撮影するときのエアーディスク径を小さくすることができる。側面(553)に対して照射する光の波長の上限は好ましくは500nm以下であり、より好ましくは450nm以下であり、更により好ましくは400nm以下である。但し、側面(553)に対して照射する光の波長が短すぎるとラインセンサカメラの感度が不足して十分な明るさの画像が得られない。このことから、側面(553)に対して照射する光の波長の下限は好ましくは300nm以上であり、より

50

好ましくは350nm以上であり、更により好ましくは400nm以上である。

【0051】

検査装置(500)は一実施形態において、そのような短波長の光を回転ステージ(510)に載置されている円柱状ハニカム構造体(550)の側面(553)に対して照射可能な光照射器(520)を備えている。光照射器(520)の光源としては、特に制限はないが、例えば、LED、ハロゲンランプ等が挙げられる。

【0052】

微細な欠陥(例：幅が5~25 μ m程度のクラック)を検出しやすくするという観点から、光照射器(520)は、ラインセンサカメラ(530)によって撮影される円柱状ハニカム構造体(550)の側面(553)の部分の高い照度で照らすことが好ましい。具体的には、円柱状ハニカム構造体(550)の側面(553)の照度が50万1x以上、好ましくは55万1x以上、より好ましくは60万1x以上となるように、照射する光の強度を調節することが望ましい。照射光が照射されている円柱状ハニカム構造体(550)の側面(553)の照度には特段の上限はないが、経済性の観点からは、円柱状ハニカム構造体(550)の側面(553)の照度は100万1x以下とすることが好ましい。

【0053】

円柱状ハニカム構造体(550)の側面(553)はラインセンサカメラ(530)によって撮影される。従って、ラインセンサカメラ(530)によって円柱状ハニカム構造体(550)の側面(553)を撮影する際、一回の撮影で撮影可能な範囲は、円柱状ハニカム構造体(550)の中心軸方向に直線状に延びる細長い範囲となるのが通常である。このため、光照射器(520)はライン照明とすることが照度を高くする上で効率的であり好ましい。具体的には、円柱状ハニカム構造体(550)の側面(553)に対して照射される光は、長手方向が円柱状ハニカム構造体(550)の中心軸方向に平行な方向に延びるライン照明によって照射することが好ましい。そして、ライン照明は、ラインセンサカメラ(530)による撮影範囲を照らすように光の照射方向を設定することが好ましい。

【0054】

光照射器(520)としてライン照明が使用される場合、光照射器(520)は、図5に示すように、ラインセンサカメラ(530)によって円柱状ハニカム構造体(550)の側面(553)を撮影する際の撮影範囲の中心に対して対称な位置(典型的には左右位置)に一对以上配置し、撮影範囲に対して同時に光を照射することが好ましい。つまり、各対の光照射器(520)は、照射角度 θ_1 、 θ_2 (撮影範囲の中心に位置する側面地点の法線Nに対する照明光の光軸中心の角度)が同じ角度($\theta_1 = \theta_2$)又は近傍($|\theta_1 - \theta_2| = 0 \sim 10^\circ$)となるように側面(553)の法線Nに対称に配置することが好ましい。これは、光を側面に対して均一に照射することで検査精度を高めるという理由による。照射角度 θ_1 、 θ_2 は、限定的ではないが、例えば、 $5^\circ \sim 30^\circ$ の範囲とすることができ、更には、各対の光照射器(520)は、照射距離及び光の強度も同程度(例：対を構成する一方の光照射器の照射距離に対する他方の光照射器の照射距離の比が0.9~1.1であり、対を構成する一方の光照射器の光の強度に対する他方の光照射器の光の強度の比が0.9~1.1であり)であることが好ましい。

【0055】

2-4. 撮影工程

本発明の一実施形態に係る検査方法においては、光照射器(520)からの光が円柱状ハニカム構造体(550)の側面(553)に対して照射されている状態で、円柱状ハニカム構造体(550)を回転ステージ(510)の回転軸Aの周りで回転させながら側面(553)からの反射光をラインセンサカメラ(530)で繰り返し撮影する工程が実施される。

【0056】

ラインセンサカメラ(530)による繰り返しの撮影により得られた画像データは、当該画像データが撮影された側面(553)の部分の位置データと関連付けて制御装置(5

10

20

30

40

50

70)内の記憶装置に格納することができる。例えば、回転ステージ(510)の回転動作が開始されると、回転ステージ(510)に搭載されたエンコーダが所定の時間間隔でパルス(エンコーダパルス)を発する。当該エンコーダパルスは、制御部(570)に受け渡される。制御部(570)は、このエンコーダパルスを受け取るタイミングと同期させて撮影を実行するよう、ラインセンサカメラ(530)に対し撮影指示を与える。このようにエンコーダパルスが発せられるタイミングにて撮影がなされることにより、個々の撮影時の画像データとエンコーダパルスのパルス値のデータセットを生成することが可能である。パルス値に基づき、画像データに対応する側面(553)の部分の位置を特定することが可能であるので、画像データと位置データを関連付けることが可能である。

【0057】

ラインセンサカメラ(530)による撮影方向Dは、限定的ではないが、検査精度を高めるといふ観点から、側面(553)のある地点の法線Nの方向又は法線Nの方向の近傍とすることが好ましい。例えば、一度のシャッター開閉で撮影される撮影範囲の中心に位置する側面地点の法線Nと撮影方向Dがなす角度は $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ とすることができ、 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ とすることが好ましい。

【0058】

ラインセンサカメラ(530)としては、一列の画素が直線状に並んでいる1ラインカメラでもよいが、高い検査精度、高い感度及び検査の迅速性の観点からは、複数列の画素が直線状に並んでいるマルチラインカメラ又はTDIラインカメラを使用することが好ましい。また、ラインセンサカメラ(530)としては、カラー及びモノクロの何れのカメラでもよいが、高い感度を得られる観点からは、モノクロカメラが好ましい。

【0059】

ラインセンサカメラ(530)は、一列又は複数列の画素が直線状に並んでいる。従って、画素の並んでいる長手方向を、円柱状八ニカム構造体(550)の中心軸の延びる方向と平行にして撮影することで、撮影範囲において合焦する位置が均一化しやすい。従って、円柱状八ニカム構造体(550)を回転ステージ(510)の回転軸Aの周りで回転させながらラインセンサカメラ(530)で繰り返し撮影することで、ピントが合った側面全体の画像を生成することが容易となる。

【0060】

ラインセンサカメラ(530)で一度のシャッター開閉で撮影する側面(553)の範囲は、円柱状八ニカム構造体(550)の高さ全体とすることが、検査の迅速性から好ましい。ラインセンサカメラ(530)で一度に撮影する側面(553)の範囲が、円柱状八ニカム構造体(550)の高さ全体であれば、円柱状八ニカム構造体(550)を一回転させるだけで側面全体の検査画像を生成することが可能である。

【0061】

円柱状八ニカム構造体(550)を回転ステージ(510)の回転軸Aの周りで回転させながら側面(553)からの反射光をラインセンサカメラ(530)で繰り返し撮影する工程は、検査画像にブレが生じないようにしながらも、迅速に検査ができるように、側面(553)の周速度を設定することが好ましい。限定的ではないが、当該撮影工程は一実施形態において、円柱状八ニカム構造体(550)を $100 \sim 1000 \text{ mm/秒}$ の平均周速度で回転させながら行うことができる。検査の迅速性に鑑みれば、平均周速度の下限は 100 mm/秒 以上であることが好ましく、 200 mm/秒 以上であることがより好ましく、 314 mm/秒 以上であることが更により好ましい。一方で、ラインセンサカメラ(530)のシャッター速度は、例えば、 $10 \text{ マイクロ秒} \sim 100 \text{ ミリ秒}$ に設定することが可能であるところ、平均周速度が高すぎると、シャッター速度が周速度に対して遅くなり、検査画像にブレが生じやすくなる。このことから、平均周速度の上限は 1000 mm/秒 以下であることが好ましく、 800 mm/秒 以下であることがより好ましく、 700 mm/秒 以下であることが更により好ましい。

【0062】

また、微細な欠陥を高精度に検出するためには、画素分解能が細かいカメラを使用する

10

20

30

40

50

ことが好ましいところ、ラインセンサカメラは解像度が高く、高精細な検査画像を得ることができるという利点がある。具体的には、画素分解能が1～25 μm / pixelのラインセンサカメラを使用することが好ましい。ここで、ラインセンサカメラの画素分解能は次式で求められる。

画素分解能 = (一度のシャッターの開閉で撮影される視野の長手方向の長さ) ÷ (ラインセンサカメラの長手方向の画素数)

検査精度を高めるといふ観点から、画素分解能は25 μm / pixel以下(25 μm / pixelであるかそれよりも細かい)であることが好ましく、20 μm / pixel以下(20 μm / pixelであるかそれよりも細かい)であることがより好ましく、15 μm / pixel以下(15 μm / pixelであるかそれよりも細かい)であることが更により好ましく、10 μm / pixel以下(10 μm / pixelであるかそれよりも細かい)であることが更により好ましい。画素分解能の下限は特に設定されないが、入手の容易性なラインセンサで得られる視野との兼ね合いからは、1 μm / pixel以上(1 μm / pixelであるかそれよりも粗い)であるのが通常であり、5 μm / pixel以上(5 μm / pixelであるかそれよりも粗い)であるのが典型的である。

10

【0063】

しかしながら、先述したように、円柱状八ニカム構造体は寸法誤差があるため、円柱状八ニカム構造体(550)を回転ステージ(510)の回転軸Aの周りで回転させると、ラインセンサカメラ(530)と側面(553)の間の距離が微妙に変動する。微細な欠陥(例：幅が5～25 μm程度のクラック)を高精度に検出するためには、当該距離の変動を考慮する必要がある。

20

【0064】

工業的に生産される円柱状八ニカム構造体の寸法誤差を考慮すると、被写界深度を0.5～5 mmに調節して撮影することが望ましい。被写界深度が当該範囲であれば、円柱状八ニカム構造体(550)を回転ステージ(510)の回転軸Aの周りで回転させながらラインセンサカメラ(530)で繰り返し撮影することで、ピントが合った側面全体の画像を得ることが容易となる。寸法誤差を考慮すると、被写界深度の下限は、0.5 mm以上であることが好ましく、1 mm以上であることがより好ましく、3 mm以上であることが更により好ましい。但し、被写界深度を大きくしようとすると倍率を落とす、もしくは、絞りを大きく絞るなどの必要があり、所望の画像が得られなくなる。そのため、被写界深度の上限は、5 mm以下であることが好ましく、3 mm以下であることがより好ましく、2 mm以下であることが更により好ましい。

30

【0065】

被写界深度は、次式によって求められる。

【数1】

$$\text{前方被写界深度(mm)} = \frac{\text{許容錯乱円径(mm)} \times \text{F値} \times \text{被写体距離(mm)}^2}{\text{焦点距離(mm)}^2 + \text{許容錯乱円径(mm)} \times \text{F値} \times \text{被写体距離(mm)}}$$

40

$$\text{後方被写界深度(mm)} = \frac{\text{許容錯乱円径(mm)} \times \text{F値} \times \text{被写体距離(mm)}^2}{\text{焦点距離(mm)}^2 - \text{許容錯乱円径(mm)} \times \text{F値} \times \text{被写体距離(mm)}}$$

$$\text{被写界深度} = \text{前方被写界深度} + \text{後方被写界深度}$$

【0066】

式中、許容錯乱円径は、“画素ピッチ”又は“エアリーディスク径”の大きい方を意味する。絞り値はF値とも呼ばれ、レンズの焦点距離を有効口径で割った値である。従って、被写界深度を大きくするには、F値(絞り値)を大きくすればよい。しかしながら、エアリ

50

ーディスク径は、エアリーディスク径 = $1.22 \times \lambda \times F$ 値（式中、 λ は光の波長を意味する。）で表されるため、F 値（絞り値）を大きくするとエアリーディスク径が大きくなり、点像がぼけて検査精度が低下するという問題がある。そこで、先述したような短波長の光を円柱状八ニカム構造体の側面に照射し、その反射光を撮影することで、被写界深度を大きくしながらエアリーディスク径を小さくすることが可能となる。

【0067】

波長が 300 ~ 500 nm の光と組み合わせて、適切な被写界深度を得るという観点から、ラインセンサカメラの絞り値 F は、8 ~ 16 の範囲に設定することが好ましい。ラインセンサカメラの絞り値 F は、8 ~ 11 の範囲に設定することがより好ましく、10 ~ 11 の範囲に設定することが更により好ましい。

10

【0068】

被写界深度は、焦点距離にも影響を受ける。上記の式から分かるように、焦点距離は短い方が被写界深度を大きくすることができる。焦点距離はエアリーディスク径に影響を与えることなく調整できる点で有利である。焦点距離は、限定的ではないが、例えば、50 ~ 200 mm とすることができ、100 ~ 150 mm とすることが好ましい。

【0069】

被写界深度は、被写体距離にも影響を受ける。上記の式から分かるように、被写体距離は長い方が被写界深度を大きくすることができるが、被写体距離が長くなると検査画像の解像度が低下する。このため、被写界深度を被写体距離の調整によって制御することは最小限にすることが望ましい。例示的には、被写体距離は 200 mm ~ 400 mm とすることができ、典型的には 250 ~ 300 mm とすることができる。

20

【0070】

図5を参照すると、被写体距離（レンズの前側主点から被写体までの距離）及び/又は撮影距離（被写体からカメラの撮像素子までの距離）は、ラインセンサカメラ（530）を載置する X ステージ（532）を移動させることで調整可能である。被写体距離及び撮影距離の調節手順について以下に例示的に説明する。まず、変位計（585）を用いて、位置決め操作が終了した回転ステージ（510）上の円柱状八ニカム構造体（550）の側面（553）のある地点から当該地点の法線方向の変位計（585）までの距離を測定する。円柱状八ニカム構造体（550）の第一底面（551）の重心 O の位置の座標値は計測済みであるので、制御装置（570）は、当該距離と第一底面（551）の重心 O の位置の座標値に基づき、円柱状八ニカム構造体（550）の測定地点における直径又は半径を計算する。更に、制御装置（570）は、ラインセンサカメラ（530）のレンズの前側主点及び/又は撮像面の位置の座標値と、円柱状八ニカム構造体（550）の直径又は半径の値と、第一底面（551）の重心 O の位置とに基づき、現在の被写体距離及び/又は撮影距離を計算する。制御装置（570）は、計算結果に基づき、所望の被写体距離及び/又は撮影距離が得られるように、X ステージ（532）を制御装置（570）によって移動させる。X ステージ（532）の移動方向は、円柱状八ニカム構造体（550）の側面（553）の法線方向とすることが好ましい。所定の被写体距離及び/又は撮影距離は、例えば、ユーザが入力部（572）を介して入力することができる。所定の被写体距離及び/又は撮影距離が得られた後、当該被写体距離及び/又は撮影距離に対して合焦するように、ラインセンサカメラ（530）による撮影工程を実施することが好ましい。

30

40

【0071】

ラインセンサカメラ（530）の条件設定方法について例示的に説明する。例えば、幅 10 μm のクラックを検出するためには、画素分解能が約 10 $\mu\text{m} / \text{pix}$ の検査画像の条件が必要である。このとき、被写界深度を 1 mm 程度に設定する場合を考える。画素分解能が約 10 $\mu\text{m} / \text{pix}$ の検査画像を得るには画素ピッチは約 5 $\mu\text{m} / \text{pix}$ で倍率が 0.5 倍のレンズが必要である。そして、許容錯乱円径は“画素ピッチ”又は“エアリーディスク径”の大きい方を意味するから、画素ピッチが十分に小さいカメラを使用する場合には、エアリーディスク径を調整すればよいことが分かる。幅 10 μm のクラックを検出することを考えると、例えば許容錯乱円径 = エアリーディスク径は 5 μm に設定すれば精度よ

50

くクラックを検出できる。上述したように、エアリーディスク径はエアリーディスク径 = $1.22 \times \lambda \times F$ 値で表されるから、例えば波長が 380 nm の光を使用する場合、 F 値は 11 を選択すればエアリーディスク径が約 $5 \mu\text{m}$ になることが分かる。このとき、例えば、焦点距離 100 mm 、被写体距離を 300 mm にすれば、被写界深度を 1 mm 程度にすることができることが分かる。

【0072】

先述したように、円柱状八ニカム構造体 (550) は寸法誤差が生じ得る。このため、円柱状八ニカム構造体 (550) を回転ステージ (510) の回転軸 A の周りで一回転させると、被写体距離が変動し得る。被写界深度を、円柱状八ニカム構造体 (550) の通常の寸法誤差に対応できるように設定していたとしても、場合によっては被写体距離の変動が大きくなり、当該距離の変化量が被写界深度を超えることもあり得る。その場合、検査画像中に非合焦部分が発生する。そこで、このような場合に備え、円柱状八ニカム構造体 (550) の側面 (553) からの反射光をラインセンサカメラ (530) で繰り返し撮影する工程を実施中に変位計 (585) を利用した以下の工程を行うことが好ましい。

10

【0073】

本発明に係る円柱状八ニカム構造体の検査方法は一実施形態において、円柱状八ニカム構造体 (550) の側面 (553) からの反射光をラインセンサカメラ (530) で繰り返し撮影する工程を実施中、変位計 (585) を用いて、前記側面 (553) の何れかの地点の法線方向における当該地点と変位計の間の距離を連続的に計測し、円柱状八ニカム構造体 (550) が一回転する間の当該距離の変化量が被写界深度を超えるか否かを判定する工程と、

20

被写界深度を超えた場合には、被写界深度を超えた状態で撮影された前記側面 (553) の部分の少なくとも一部が、被写界深度の範囲内に入るように撮影距離を調整した上で、円柱状八ニカム構造体 (550) を回転軸 A の周りで再度回転させながら、当該部分をラインセンサカメラ (530) で撮影する工程を含む。

【0074】

判定工程は、検査装置 (500) を用いて例えば以下のように実施することができる。

まず、検査装置 (500) の制御装置 (570) は、撮影工程を実施する各種条件に基づき前方被写界深度及び後方被写界深度を計算する。各種条件と被写界深度の関係について予め計算しておき、計算結果を制御装置 (570) の記憶部に登録しておいてもよい。

30

次いで、制御装置 (570) は、円柱状八ニカム構造体 (550) の側面 (553) からの反射光をラインセンサカメラ (530) で繰り返し撮影する工程を実施中、変位計 (585) を用いて計測された側面 (553) のピント面に対する前方への変位及び後方への変位を、当該変位が計測された側面 (553) の地点と関連付けて、それぞれ記憶する。変位が計測された側面 (553) の地点は、エンコーダを用いることにより検出可能である。但し、変位が計測された側面 (553) の地点を特定せず、変位だけ記憶してもよい。

次いで、制御装置 (570) は、前方被写界深度と側面 (553) のピント面に対する前方への変位とを対比することにより判定を実施し、前方への変位が前方被写界深度を超えた状態で撮影された前記側面 (553) の部分を特定する。制御装置 (570) は同様に、後方被写界深度と側面 (553) のピント面に対する後方への変位を対比することにより判定を実施し、後方への変位が後方被写界深度を超えた状態で撮影された前記側面 (553) の部分を特定する。但し、被写界深度を超えた前記側面 (553) の部分の特定は必ずしも行わなくてよい。

40

【0075】

判定工程において、変位計 (585) を用いて、円柱状八ニカム構造体 (550) の側面 (553) のある地点から当該地点の法線方向の変位計 (585) までの距離を求める際、距離を計測する基準となる側面 (553) の当該地点は、円柱状八ニカム構造体 (550) の側面 (553) の下半分の何れかの地点とすることが好ましい。これは以下の理由による。

50

【0076】

先述したように、円柱状八ニカム構造体(550)の位置決め操作は、円柱状八ニカム構造体(550)の上側の第一底面(551)の上方に設置したカメラ(580)を用いて特定した第一底面(551)の重心に基づいて行われる。このため、円柱状八ニカム構造体(550)の直角度が大きい場合には、円柱状八ニカム構造体(550)の下半分は、回転ステージ(510)の回転軸Aとのずれが大きくなる。このため、円柱状八ニカム構造体(550)を回転させると下半分が大きく偏心して変位計の測定値が大きくなる。そこで、変位計の測定値が大きくなりやすい円柱状八ニカム構造体(550)の側面(553)の下半分の何れかの地点から変位計(585)までの距離を計測することによって、判定工程の精度を高めることができる。

10

【0077】

判定工程において、変位計(585)を用いて、円柱状八ニカム構造体(550)の側面(553)のある地点から当該地点の法線方向の変位計(585)までの距離を求める際、距離を計測する基準となる側面(553)の当該地点は、円柱状八ニカム構造体(550)の側面(553)の下端(第二底面(552))を高さ0とし、上端(第一底面(551))を高さHとすると、 $0 \sim 0.2H$ の範囲の何れかの地点とすることがより好ましく、 $0 \sim 0.1H$ の範囲の何れかの地点とすることが更により好ましい。

【0078】

再度の撮影工程は、検査装置(500)を用いて例えば以下のように実施することができる。

20

検査装置(500)の制御装置(570)は、被写界深度を超えた、すなわち、前方被写界深度及び/又は後方被写界深度を超えた状態で撮影された前記側面(553)の部分の少なくとも一部が、被写界深度の範囲内に入るように撮影距離を調整する。次いで、制御装置(570)は、円柱状八ニカム構造体(550)を回転軸Aの周りで再度回転させながら、少なくとも当該部分をラインセンサカメラ(530)で撮影するように検査装置(500)を操作する。この際、撮影範囲は、前記側面(553)全体としてもよい。被写界深度を超えた状態で撮影された前記側面(553)の部分が特定されているときは、当該部分を含むことを条件に撮影範囲を制限してもよい。制御装置(570)は、すべての円柱状八ニカム構造体(550)の側面(553)全体が、被写界深度の範囲内に入った状態で撮影されるまで、撮影距離の調整及び撮影を繰り返すように、検査装置(500)を操作することが好ましい。

30

【0079】

2-5. 画像生成工程

本発明の一実施形態に係る検査方法においては、前記側面(553)からの反射光をラインセンサカメラ(530)で撮影する工程の結果に基づき、前記側面(553)全体の検査画像を生成する工程が実施される。例えば、ラインセンサカメラ(530)で撮影する工程の結果によって得られた画像データに基づいて、制御装置(570)が検査画像の生成を行うように構成可能である。検査画像はLCD、有機ELディスプレイ等の表示装置の画面(540)に表示することができる。

【0080】

検査画像に対しては、次工程における欠陥の判別を容易化するため、必要に応じてフィルタ処理等の画像処理を実行してもよい。フィルタ処理としては、二値化処理、シェーディング補正、収縮膨張処理などが例示される。画像処理は、制御装置(570)が行うように構成可能である。

40

【0081】

撮影開始から終了のタイミングまでの間に取得された多数の画像データは、時系列に沿って配置することで、円柱状八ニカム構造体の側面全体についての検査画像を生成することができる。円柱状八ニカム構造体をラインセンサカメラによって一周分撮影することによって得られる画像データは容量が大きい。このため、撮影工程が終了してから画像処理を実施すると、画像処理に時間を要し、検査速度が低下する。そこで、所定の画像データ

50

量毎（例えば、円柱状八ニカム構造体を一周分撮影する画像データ量の5%～30%毎）に、撮影工程と並行して画像処理を実行することが好ましい。分割して行われた画像処理後の複数の画像データは統合処理してもよい。

【0082】

2-6. 欠陥判別工程

本発明の一実施形態に係る検査方法においては、検査画像に基づいて円柱状八ニカム構造体（550）の側面（553）の欠陥の有無を判別する工程が実施される。欠陥の有無を判別する工程は、目視により検査員が実施してもよいが、予め設定した基準に基づいて制御装置（570）に行わせることもできる。一実施形態において、検査画像に基づいて前記側面（553）の欠陥の有無を判別する工程は、幅が5～25 μm のクラックの有無を判別することを含む。ここで、クラックの幅というのは、一つのクラックにおいて、クラックの長さ方向に直交する方向の長さの最大値を指す。例示的に、幅が10 μm 程度の微細クラックの顕微鏡写真の模式図を図7に示す。

10

【0083】

制御装置（570）によって、幅が5～25 μm のクラックの有無を判別する場合、例えば、クラック等の欠陥が存在する部分とそれ以外の部分を区別可能なように、検査画像を二値化処理し、二値化処理後の検査画像を用いて幅が5～25 μm のクラックの有無を判別する方法が挙げられる。

【0084】

本発明に係る検査方法の一実施形態によれば、得られた検査画像は微細クラックの検出に好適な高い解像度を有することができるため、高い検査精度でこのような微細クラック等の欠陥を検出することが可能である。

20

【符号の説明】

【0085】

- 100 円柱状八ニカム構造体
- 102 外周側壁
- 103 側面
- 104 第一底面
- 106 第二底面
- 108 セル
- 112 隔壁
- 200 円柱状八ニカム構造体
- 202 外周側壁
- 203 側面
- 204 第一底面
- 206 第二底面
- 208 a 第1セル
- 208 b 第2セル
- 212 隔壁
- 500 検査装置
- 510 回転ステージ
- 510 a ステージ
- 510 b Xステージ
- 510 c Yステージ
- 510 d Zステージ
- 512 載置面
- 520 光照射器
- 530 ラインセンサカメラ
- 532 Xステージ
- 540 画面

30

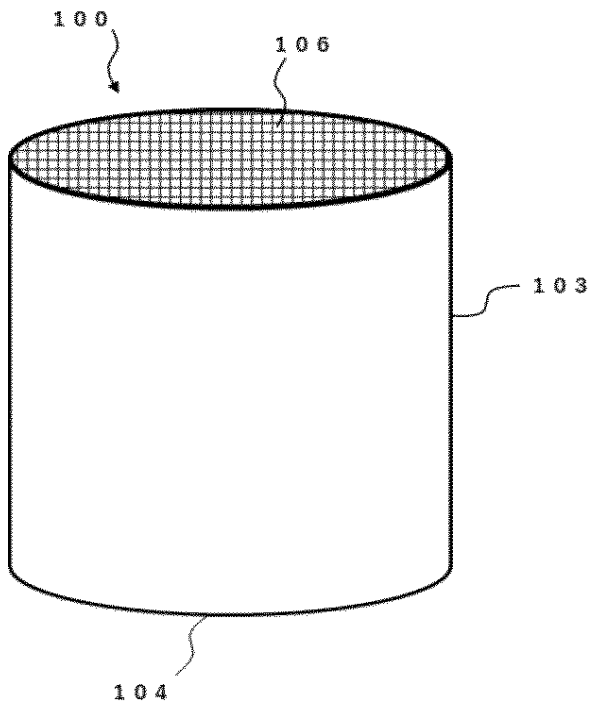
40

50

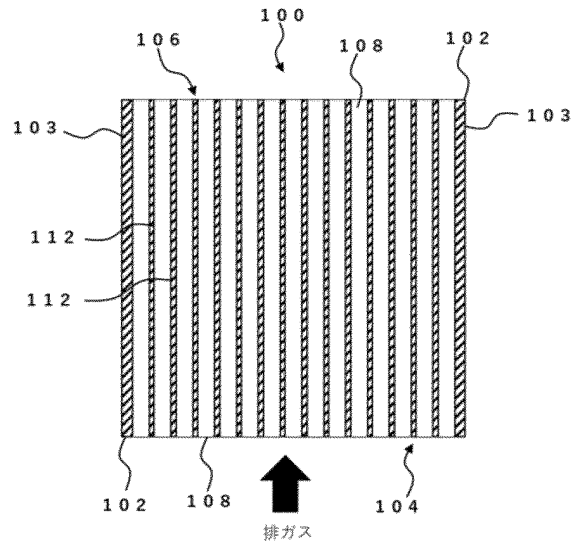
- 5 5 0 円柱状八ニカム構造体
- 5 5 1 第一底面
- 5 5 2 第二底面
- 5 5 3 側面
- 5 6 0 エリアカメラ
- 5 7 0 制御装置
- 5 7 2 入力部
- 5 8 0 光照射器
- 5 8 5 変位計
- 5 9 0 架台
- 5 9 1 載置面
- 5 9 2 開口部

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

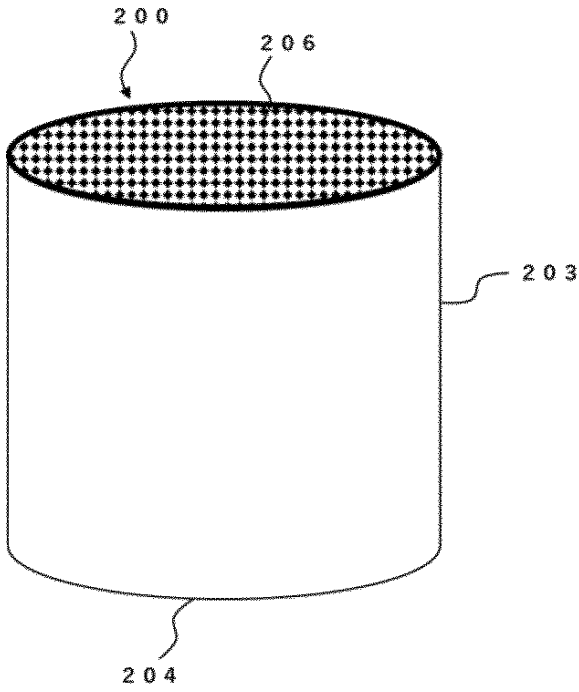
20

30

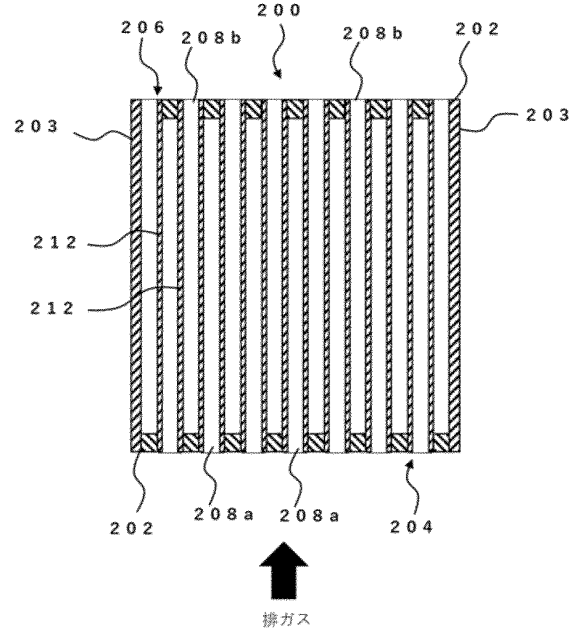
40

50

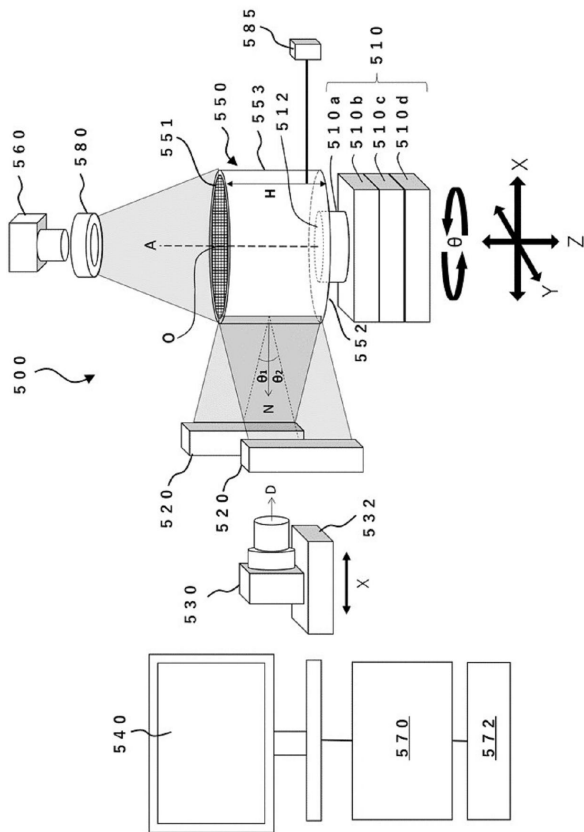
【図3】



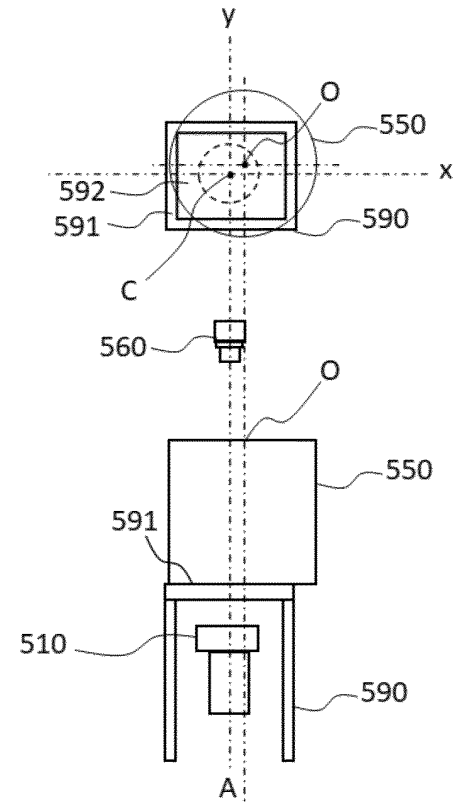
【図4】



【図5】



【図6A】



10

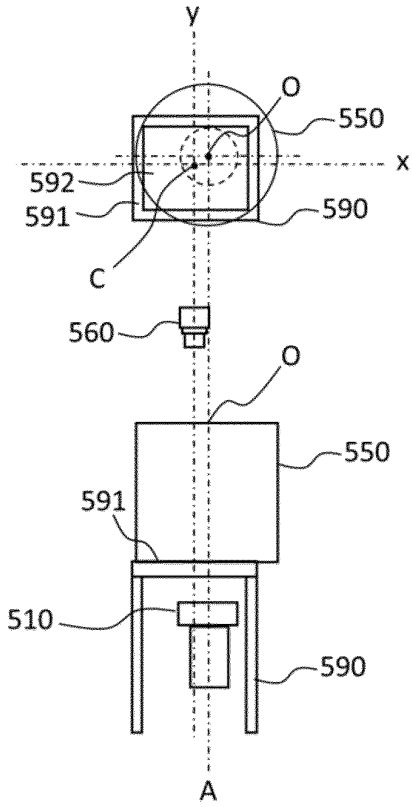
20

30

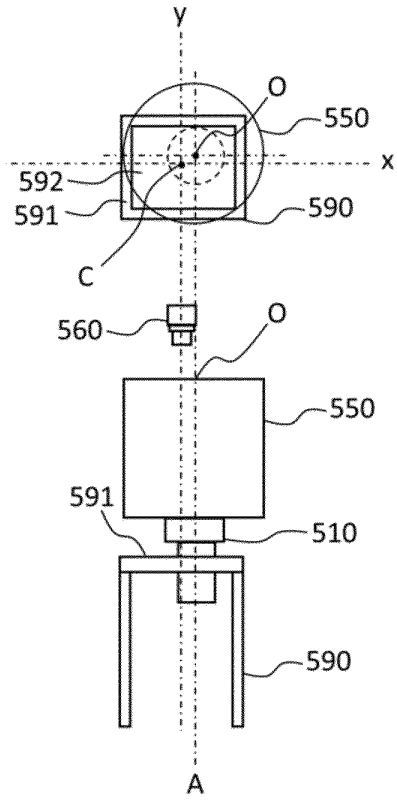
40

50

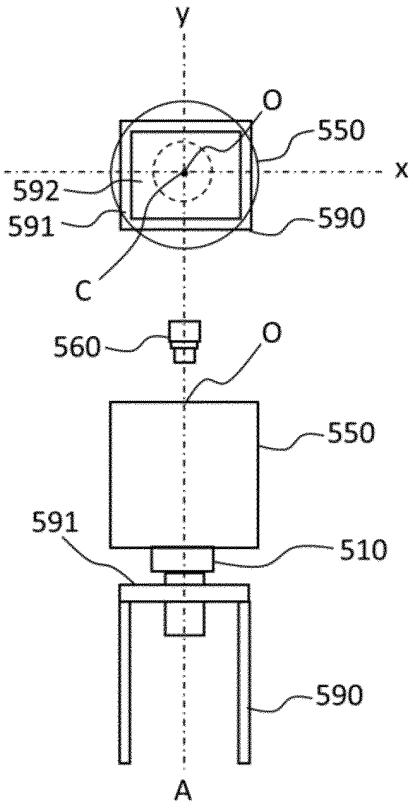
【図 6 B】



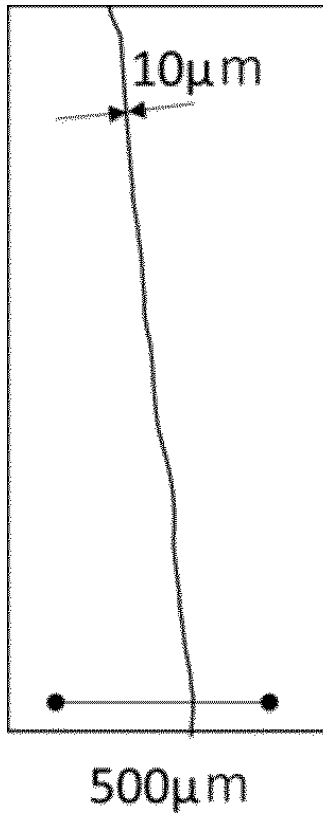
【図 6 C】



【図 6 D】



【図 7】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2007/105825(WO,A1)
特開2008-275496(JP,A)
国際公開第2017/061318(WO,A1)
特開平11-281321(JP,A)
特開2008-241529(JP,A)
- (58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)
- G01B 11/00-11/30
G01N 21/892
G01N 21/88