

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-155394

(P2007-155394A)

(43) 公開日 平成19年6月21日(2007.6.21)

(51) Int. Cl.

G 2 1 C 17/06 (2006.01)

F I

G 2 1 C 17/06

M

テーマコード (参考)

2 G O 7 5

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2005-348151 (P2005-348151)

(22) 出願日 平成17年12月1日 (2005.12.1)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(71) 出願人 390014568

東芝プラントシステム株式会社

東京都大田区蒲田五丁目37番1号

(74) 代理人 100078765

弁理士 波多野 久

(74) 代理人 100078802

弁理士 関口 俊三

(72) 発明者 相川 徹郎

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

最終頁に続く

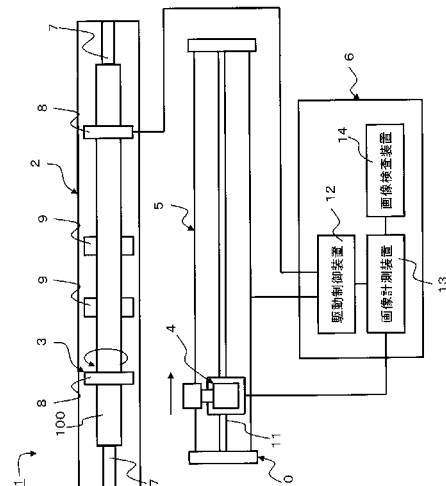
(54) 【発明の名称】 燃料棒検査装置

(57) 【要約】

【課題】 駆動装置の精度に依存せずに、安価で容易に燃料棒全体を高精度に検査できる燃料棒検査装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 被検査体である燃料棒100を撮影する検査ヘッド4と、燃料棒100または検査ヘッド4を移動させる移動手段と、検査ヘッド4で撮影した燃料棒100の外観画像から外観寸法検査または欠陥検査をする燃料棒検査制御装置6とを有する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被検査体である燃料棒を撮影する検査ヘッドと、
燃料棒または検査ヘッドを移動させる移動手段と、
検査ヘッドで撮影した燃料棒の外観画像から外観寸法検査をする燃料棒検査制御装置とを有することを特徴とする燃料棒検査装置。

【請求項 2】

被検査体である燃料棒を撮影する検査ヘッドと、
燃料棒または検査ヘッドを移動させる移動手段と、
検査ヘッドで撮影した燃料棒の外観画像から欠陥検査をする燃料棒検査制御装置とを有 10
することを特徴とする燃料棒検査装置。

【請求項 3】

前記移動手段は、燃料棒または検査ヘッドを燃料棒の軸廻りに回転させる回転装置であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の燃料棒検査装置。

【請求項 4】

前記移動手段は、燃料棒または検査ヘッドを燃料棒の長手方向に沿って移動させる移動装置であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の燃料棒検査装置。

【請求項 5】

前記移動手段は、燃料棒を軸廻りに回転させる回転装置と、検査ヘッドを燃料棒の長手方向に沿って移動させる移動装置とを有する請求項 1 または 2 記載の燃料棒検査装置。 20

【請求項 6】

前記移動手段は、燃料棒を軸廻りに回転させる回転装置と、燃料棒を燃料棒の長手方向に沿って移動させる移動装置とを有する請求項 1 または 2 記載の燃料棒検査装置。

【請求項 7】

前記移動手段は、検査ヘッドを燃料棒の軸廻りに回転させる回転装置と、燃料棒を燃料棒の長手方向に沿って移動させる移動装置とを有する請求項 1 または 2 記載の燃料棒検査装置。

【請求項 8】

前記移動手段は、検査ヘッドを燃料棒の軸廻りに回転させる回転装置と、検査ヘッドを燃料棒の長手方向に沿って移動させる移動装置とを有する請求項 1 または 2 記載の燃料棒検査装置。 30

【請求項 9】

被検査体である燃料棒の周囲において燃料棒の長手方向の所定の位置における全外周を撮影可能な位置に設置された複数の検査ヘッドと、
燃料棒または複数の検査ヘッドを燃料棒の長手方向に沿って移動させる移動装置と、
検査ヘッドで撮影した燃料棒の外観画像から外観寸法検査をする燃料棒検査制御装置とを有することを特徴とする燃料棒検査装置。

【請求項 10】

被検査体である燃料棒の周囲において燃料棒の長手方向の所定の位置における全外周を撮影可能な位置に設置された複数の検査ヘッドと、 40
燃料棒または複数の検査ヘッドを燃料棒の長手方向に沿って移動させる移動装置と、
検査ヘッドで撮影した燃料棒の外観画像から欠陥検査をする燃料棒検査制御装置とを有することを特徴とする燃料棒検査装置。

【請求項 11】

燃料棒に照明を照らす複数の照明装置を備え、前記複数の照明装置の ON・OFF 切り替えにより照明を照らす位置を変えながら複数の検査ヘッドにて燃料棒を撮影することを特徴とする請求項 9 または 10 記載の燃料棒検査装置。

【請求項 12】

検査ヘッドが燃料棒からの光を平行光に変換するレンズを備えたことを特徴とする請求項 1～11 のいずれか記載の燃料棒検査装置。 50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、燃料棒集合体に収納される燃料棒を検査する燃料棒検査装置に関する。

【背景技術】

【0002】

燃料棒は、長さ約4mの被覆管内に燃料ペレットを封入し、被覆管の両端に端栓を溶接し密閉したものである。この燃料棒は、幾つかの製造工程を経て作られるため、製造工程の途中で被覆管の外表面を損傷してしまう可能性がある。このような損傷の有無は、安全性を確保するために厳正な検査を行う必要がある。

10

【0003】

従来の燃料棒の外観検査においては、検査員による目視検査や渦流法を用いた検査などが行われている。目視検査には、検査員の目で直接観察して判定を行う直接目視と、TVカメラで撮影した映像をモニタ上に映し出して検査する間接目視の方法とがある。

【0004】

一般的に目視検査では、検査を行う人間の観察力や判断力などに依存する割合が高いため、検査員の熟練度により検査結果にバラツキが生じてしまうことが指摘されている。また、同一検査員による目視検査においても、長時間による目視検査により疲労を伴う場合、検査結果に影響を及ぼす可能性がある。

【0005】

20

特に燃料棒のような長尺円筒形状の被検体を検査する場合、直接目視検査に要する時間および検査員の疲労の程度は甚大である。このため、検査員の体調などにより検査結果が左右されてしまうことがあり、また、TVカメラなどによる間接目視検査においても、微細な傷をモニタ上で視認できるように拡大撮影する必要があるため、直接目視と同様の問題が生じることとなる。

【0006】

一方、渦流法を用いた検査方法は、J E A G 4 2 0 4により指針化されている。しかし、渦流法による検査では、金属表面の渦電流の変化、すなわちインピーダンス変化を捉える必要があるため、燃料棒表面にプローブ（センサ）を接触あるいは近接させて傷の有無を検査しなければならない。このため、燃料棒付近における空間的な制約が問題となる。

30

【0007】

また、使用済燃料棒においては放射線の放出があり、M O X（混合酸化物）燃料については新燃料棒の時点で既に放射線の放出があるため、放射線被ばく防護の観点から検査員が近づくことができず、遠隔非接触で検査を行う必要がある。

【0008】

これらの問題を解決する非接触の燃料棒検査装置が、特許文献1にて提案されている。特許文献1によれば、駆動装置にて燃料棒もしくはカメラを移動させて燃料棒の全面を順次カメラで撮影していき、撮影した複数の画像をつなぎ合わせた展開画像を作成する。この展開画像に画像処理を施し、燃料棒表面の欠陥を自動検出する。

【特許文献1】特開2005-164301号公報

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

燃料棒を撮影した複数の画像をつなぎ合わせる方法では、駆動装置の移動制御情報を基に画像のつなぎ合わせを行っているため、画像のつなぎ合わせを正確に行うには、駆動装置の移動精度や、駆動時の機器の位置ずれなどを含めた精度を、画像の画素分解能よりも高精度にする必要がある。

【0010】

また、燃料棒の検査においては微細な欠陥を検出するため、画像の画素分解能を高精度にする必要があり、燃料棒を撮影した複数の画像をつなぎ合わせる方法では、移動制御が

50

高く高価な駆動装置を用いなければならず、要求される精度によっては実現し難いことが想定される。

【0011】

さらに、燃料棒を撮影した複数の画像をつなぎ合わせる方法では、駆動装置の移動精度に見合う精度で各機器を設置する必要があるため、機器の設置作業には相当な時間と高度な技術力が必要とされる。

【0012】

本発明は、上記の問題点を鑑みなされたものであり、駆動装置の精度に依存せずに、安価で容易に燃料棒全体を高精度に効率よく検査できる燃料棒検査装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記課題を解決するために、本発明に係る燃料棒検査装置は、請求項1及び2に記載したように、被検査体である燃料棒を撮影する検査ヘッドと、燃料棒または検査ヘッドを移動させる移動手段と、検査ヘッドで撮影した燃料棒の外観画像から外観寸法検査または欠陥検査をする燃料棒検査制御装置とを有することを特徴とする。

【0014】

また、請求項9及び10に記載したように、被検査体である燃料棒の周囲において燃料棒の長手方向の所定の位置における全外周を撮影可能な位置に設置された複数の検査ヘッドと、燃料棒または複数の検査ヘッドを燃料棒の長手方向に沿って移動させる移動装置と、検査ヘッドで撮影した燃料棒の外観画像から外観寸法検査または欠陥検査をする燃料棒検査制御装置とを有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0015】

本発明に係る燃料棒検査装置によると、燃料棒検査を行う際に、駆動装置の精度に依存せず高精度に、安価に、且つ効率よく行うことが可能になった。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

本発明に係る燃料棒検査装置の実施形態について、添付図面に基づいて説明する。

【0017】

〔第1実施形態〕

図1～図9は、本発明に係る燃料棒検査装置の第1実施形態について示す図である。

【0018】

図1に示すように、第1実施形態の燃料棒検査装置1は、被検査体である燃料棒100を保持する燃料棒保持装置2と、燃料棒100を軸廻りに回転させる回転装置3（移動手段）と、燃料棒100を撮影する検査ヘッド4及び燃料棒100を燃料棒100の長手方向において相対移動させる移動装置5（移動手段）と、回転装置3による回転駆動や移動装置5による移動駆動の制御や、検査ヘッド4で撮影した燃料棒100の外観画像から外観寸法検査及び欠陥検査を行う燃料棒検査制御装置6とから構成される。

【0019】

燃料棒保持装置2は、燃料棒100を例えば両端から挟み込むようにして両持ち保持する燃料棒保持部7を有する。

【0020】

回転装置3は、燃料棒100を軸周りに回転させる回転駆動装置（図示せず）を内蔵する回転駆動部8と、回転駆動部8による燃料棒100の回転を案内する回転ガイド部9とを有する。

【0021】

検査ヘッド4は、被検査体である燃料棒100に光（照明）を照射する照明装置（図示せず）や、燃料棒100の外観を撮影する光学レンズ及びカメラ（図示せず）で構成される。

10

20

30

40

50

【0022】

移動装置5は、検査ヘッド4を燃料棒100の長手方向に沿って移動させる平行移動駆動部10を有する。平行移動駆動部10は、検査ヘッド4の移動を案内する平行移動ガイド部11を有し、内蔵する移動駆動装置（図示せず）により検査ヘッド4を平行移動ガイド部11に沿って移動させる。

【0023】

検査ヘッド4は、平行移動駆動部10の平行移動ガイド部11に、検査ヘッド4が移動する際にカメラが常に燃料棒100と対面するように設置される。また、検査ヘッド4のカメラの水平方向または垂直方向を燃料棒100の長手方向と平行にして設置することで、撮影画像において燃料棒100の長手方向が水平方向または垂直方向になるようにする 10

【0024】

燃料棒検査制御装置6は、回転装置3の回転駆動や移動装置5の平行移動駆動を制御する駆動制御装置12と、検査ヘッド4で撮影された燃料棒100の外観画像から回転装置3及び移動装置5の移動情報を画像処理にて画像計測する画像計測装置13と、検査ヘッド4の外観画像から画像処理にて外観寸法検査および欠陥検査を行う画像検査装置14とから構成される。

【0025】

燃料棒検査装置1は、燃料棒100を回転装置3により回転させつつ、検査ヘッド4を移動装置5で燃料棒100の長手方向に沿って移動させて、燃料棒100の外観画像を撮影する。 20

【0026】

図2に、検査ヘッド4のカメラの水平方向を燃料棒100の長手方向に一致させた場合の、燃料棒100の外観画像P1を示す。

【0027】

外観画像P1を撮影する際に、外観画像P1における燃料棒100の上縁101及び下縁102が検査ヘッド4のカメラの撮影範囲内に収まるように検査ヘッド4の光学レンズを選定するとともに、検査ヘッド4と燃料棒100との相対距離を調整する。

【0028】

また、検査ヘッド4の光学レンズとして、燃料棒100からの光を平行光に変換するテレセントリックレンズを用いることで、近くの物体は大きく撮影され、遠くのものは小さく撮影されるといった距離への依存性がなくなる。 30

【0029】

これにより、回転装置3による燃料棒100の回転時や、移動装置5による検査ヘッド4の移動時に各装置間に位置ずれなどが発生し、燃料棒100と検査ヘッド4との距離が変わった場合でも、一定の燃料棒100が検査ヘッド4のカメラに撮影される際の撮影範囲を一定に確保でき、燃料棒100を一定の画素分解能で撮影できる。

【0030】

すなわち、燃料棒検査制御装置6に燃料棒100及び検査ヘッド4間の距離を計測する3次元計測を設置する必要がなくなった分、処理が簡素化される。また、3次元計測を必要としないことから3次元計測時の計測誤差を省くことができ、検査性能を向上させることが可能となる。 40

【0031】

次に、燃料棒検査装置1を用いて燃料棒100の検査を行う際の手順を説明する。

【0032】

燃料棒100は、燃料棒保持装置2の燃料棒保持部7に、軸廻りにおいて回転自在に保持される。また、検査ヘッド4は、移動装置5の平行移動ガイド部11に移動自在に設置される。

【0033】

回転装置3は、駆動制御装置12で制御されて燃料棒100を回転させる。また、検査 50

ヘッド4は、駆動制御装置12に制御されて燃料棒100の長手方向に沿って移動しながら燃料棒100の外観画像を連続的に撮影する。このとき、回転装置3の回転及び移動装置5の移動は、連続する外観画像の一部が重なり合うように駆動制御装置12で制御される。

【0034】

まず、検査ヘッド4を定位置に静止させて燃料棒100を軸廻りに回転させながら、燃料棒100の撮影を行う。

【0035】

画像計測装置13では、検査ヘッド4により連続的に撮影した外観画像から、回転装置3により回転させた燃料棒100の回転角度と回転時の燃料棒100の位置ずれとを、画像処理にて計測する。 10

【0036】

図3及び図4に示す外観画像P2及びP3は、連続的に撮影された2枚の外観画像を示していて、位置合わせの際の目安となり得る特徴的構造位置104が撮影されている。外観画像P2及びP3から、燃料棒100の回転時に燃料棒100の位置ずれが発生し、燃料棒100の撮影位置が画像垂直方向及び水平方向にずれていることがわかる。

【0037】

まず、燃料棒100の垂直方向の位置ずれを補正する。画像計測装置13は、線分を検出する手法として一般的に用いられるハフ変換等の画像処理を行って、外観画像における燃料棒100の上縁101、下縁102を抽出し、上縁101、下縁102から外観画像 20
における燃料棒100の長手方向の中央線103を求める。この中央線103の位置を一致させるように外観画像P2またはP3を垂直方向に移動させることで、燃料棒100の垂直方向の位置ずれを補正することができる。

【0038】

次に、燃料棒100の水平方向の位置ずれを補正する。画像計測装置13は、中央線103を頂点として、外観画像における燃料棒100の上縁101、下縁102間を円柱展開する。図5及び図6に、燃料棒100の外観画像P2及びP3をそれぞれ展開した円柱展開画像P4及びP5を示している。

【0039】

画像計測装置13は、この円柱展開画像P4及びP5において、例えば特徴的構造位置 30
104に基づいてマッチング処理を実行し、円柱展開画像P4及びP5間の位置合わせを行い、図7に示すような円柱展開画像P4及びP5の合成画像P6を作成し、画像間の垂直ずれ量D1と水平ずれ量D2とを求める。

【0040】

画像計測装置13は、垂直ずれ量D1から燃料棒100の回転角度を計算するとともに、水平ずれ量D2から燃料棒100の水平方向の位置ずれを補正する。また、画像計測装置13は、円柱展開画像P4及びP5を合成させて、図8に示すような周方向展開画像P7を作成する。なお、周方向展開画像とは、燃料棒100を複数の周方向から連続的に撮影した画像を合成して、燃料棒100の全外周分の展開画像としたものである。

【0041】

外観画像P1及びP2にはハレーション領域（白く飽和した領域）が発生する可能性がある。すなわち、燃料棒100のような円柱をカメラで撮影した場合、撮影した画像の一定の位置にハレーション領域（白く飽和した領域）が発生し、画像検査が不可能なことがある。 40

【0042】

しかしながら、燃料棒100を周方向の異なった角度から撮影した複数の円柱展開画像を利用して、ハレーション領域を除いた周方向展開画像を作成することができる。すなわち、周方向展開画像P7を作成する際にハレーション領域を除いて円柱展開画像P4及びP5を合成することで、ハレーション領域のない周方向展開画像P7を作成することができる。 50

【0043】

また、外観画像P2及びP3および円柱展開画像P4及びP5を拡大した後で、中央線103の計測やマッチング処理を行うことで、1画素以下の計測値が得られ高精度な位置ずれ補正や回転角度計測が可能となる。

【0044】

周方向展開画像P7を得るために、燃料棒100を軸廻りに1周以上回転させるか、または、画像計測装置13で計算した回転角度が1周以上になるまで順次繰り返す。

【0045】

次に、移動装置5にて検査ヘッド4を燃料棒100の長手方向に沿って移動させる。移動装置5は、検査ヘッド4により撮影された連続する外観画像の一部が燃料棒100の長手方向において重なり合うように、駆動制御装置12で制御される。 10

【0046】

移動装置5により検査ヘッド4を移動させた後、検査ヘッド4を静止させ、回転装置3にて燃料棒100を回転させ周方向展開画像を作成する処理を行う。得られた周方向展開画像は、燃料棒100の撮影位置が画像の垂直方向と水平方向においてずれる。

【0047】

垂直方向のずれは、検査ヘッド4の移動時に発生した検査ヘッド4の位置ずれによるもので、水平方向のずれは、検査ヘッド4の位置ずれと検査ヘッド4の移動によるものである。

【0048】

図9に示した周方向展開画像P8は、検査ヘッド4を燃料棒100の長手方向に沿って移動させるとともに燃料棒100を軸廻りに回転させて得られたものである。画像計測装置13は、図9に示すように、周方向展開画像P7とP8間でマッチング処理を実行し、画像間の位置合わせを行って水平ずれ量D3を求める。そして、画像計測装置13は、検査ヘッド4の位置ずれを含めた検査ヘッド4の移動量を水平ずれ量D3から計算する。 20

【0049】

また、画像計測装置13は、周方向展開画像P8に対応した外観画像から求めた燃料棒100の中央線を水平ずれ量D3の分だけシフトさせ、この中央線と周方向展開画像P7の外観画像から求めた中央線103が交わるように垂直方向にシフトさせる。これにより、検査ヘッド4の移動時の垂直方向の位置ずれを補正することが可能である。 30

【0050】

この際、画像計測装置13は、図9のP8のP7に対して画像垂直方向にはみ出た領域R1を、周方向において一回転させた位置にはめ合わせて、図10に示すような周方向展開画像P7とP8とを合成した周方向展開画像P9を作成する。

【0051】

そして、周方向展開画像を作成する処理を、駆動制御装置12にて移動装置5を制御して燃料棒100の両端部間繰り返すか、または、画像計測装置13で計算した移動量が燃料棒100の両端部間の長さになるまで順次繰り返す。

【0052】

これにより、回転装置3の回転精度と移動装置5の移動精度とが外観画像の画素分解能よりも低い場合や、移動時に機器の位置ずれが発生した場合においても、外観画像の画素分解能と同等以上の精度で外観画像の位置合わせや位置補正が可能となる。 40

【0053】

次に、画像検査装置14が、周方向展開画像を作成する処理で得られた外観画像及び展開画像に画像処理を施し、外観寸法検査と欠陥検査とを行う。

【0054】

始めに外観寸法検査について説明する。画像検査装置14は、燃料棒100の位置ずれを補正した後の外観画像における燃料棒100の上縁101及び下縁102の位置を、燃料棒100の回転角度により、図11に示すように3次元空間(x, y, z)にプロットする。 50

【0055】

画像検査装置14は、図12に示すように、3次元空間にプロットしたデータについて、検査ヘッド4の位置ずれを補正した後の検査ヘッド4の移動量D4を基に合成する。この合成を燃料棒100の一方の端から他方の端まで繰り返すことにより、図13に示すように、燃料棒100の3次元形状を復元することができる。

【0056】

画像検査装置14では、この3次元の外観形状を用いて、例えば燃料棒の長さD5、直径L、曲がりD6などの寸法を計測し、寸法が規定内であるかの寸法検査を行う。

【0057】

次に欠陥検査について図14のフローチャートに基づいて説明する。画像検査装置14は、展開画像に画像処理を施し燃料棒100の外観に発生した欠陥を認識し検出する。 10

【0058】

画像検査装置14は、まず欠陥の輪郭線を求めるために濃淡（階調）の変化量を求める微分処理（S1）を施す。そして、画像検査装置14は、微分処理によって求められた微分成分の大きさが予め設定された閾値以上である（S2）場合は、その領域を抽出する2値化処理（S3）を行う。

【0059】

2値化処理にて抽出した領域は、欠陥の輪郭線であるため輪郭線で囲まれた領域を欠陥領域とする閉領域埋込み処理（S4）を行う。

【0060】

閉領域埋込み処理にて抽出された領域の面積が予め設定された閾値以上である（S5）場合には、この抽出された領域を欠陥領域として選択する欠陥領域選択処理（S6）を実行する。このようにして、画像検査装置14は欠陥領域を抽出する。 20

【0061】

第1実施形態の燃料棒検査装置1によれば、外観画像から駆動装置の移動量および各機器の位置ずれを補正することにより、外観画像の画素分解能よりも位置精度の低い駆動装置を用いた場合においても、外観画像の画素分解能と同じ精度で燃料棒の外観寸法検査と欠陥検査を行うことが可能となる。

【0062】

また、燃料棒100の軸廻りの回転時、あるいは検査ヘッド4の燃料棒100の長手方向に沿った移動時に、各機器に位置ずれが発生した場合でも、外観画像の画素分解能と同じ精度で燃料棒の外観寸法検査と欠陥検査を行うことが可能となる。 30

【0063】

〔第2実施形態〕

本発明に係る燃料棒検査装置の第2実施形態について図15に基づいて説明する。なお、第1実施形態と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0064】

第2実施形態の燃料棒検査装置1Aは、第1実施形態の燃料棒検査装置1において、検査ヘッド4の代わりに燃料棒100を燃料棒100の長手方向に沿って移動させるようにしたものである。 40

【0065】

すなわち、図15に示すように、燃料棒検査装置1Aは、燃料棒100を保持する燃料棒保持装置2Aと、燃料棒100を軸廻りに回転させる回転装置3（移動手段）と、燃料棒100を撮影する検査ヘッド4及び燃料棒100を燃料棒100の長手方向に沿って相対移動させる移動装置5Aと、回転装置3の回転駆動や移動装置5Aの移動駆動の制御や、検査ヘッド4で撮影した燃料棒100の外観画像から外観寸法検査及び欠陥検査を行う燃料棒検査制御装置6とから構成される。

【0066】

燃料棒保持装置2Aは、燃料棒100を保持する燃料棒保持部7を有する。

【0067】

回転装置 3 は、燃料棒 100 を軸廻りに回転させる駆動装置（図示せず）を内蔵する回転駆動部 8 と、回転駆動部 8 による燃料棒 100 の回転を案内する回転ガイド部 9 とを有する。

【0068】

移動装置 5 A は、燃料棒 100 を長手方向に沿って移動させる平行移動駆動部 15 を有する。平行移動駆動部 15 は、燃料棒 100 を保持する燃料棒保持装置 2 A の移動を、燃料棒 100 の長手方向に沿って案内する平行移動ガイド部 16 を有し、内蔵する駆動装置（図示せず）により燃料棒保持装置 2 A を平行移動ガイド部 16 に沿って移動させる。

【0069】

燃料棒検査制御装置 6 は、第 1 実施形態の場合と同様に、回転装置 3 の回転駆動や移動装置 5 A の水平駆動を制御する駆動制御装置 12 と、検査ヘッド 4 で撮影された燃料棒 100 の外観画像から回転装置 3 及び移動装置 5 A の移動情報を画像処理にて画像計測する画像計測装置 13 と、検査ヘッド 4 の外観画像から画像処理にて外観寸法検査および欠陥検査を行う画像検査装置 14 とから構成される。

【0070】

第 2 実施形態の燃料棒検査装置 1 A は、燃料棒 100 を軸廻りに回転させる回転装置 3、及び、燃料棒 100 を保持した燃料棒保持装置 2 A を燃料棒 100 の長手方向に沿って移動させる移動装置 5 A を用いるとともに、検査ヘッド 4 をカメラが燃料棒 100 に常に対面する位置に固定して、燃料棒 100 の外観画像を撮影する。

【0071】

そして、第 1 実施形態の場合と同様に、撮影された外観画像から燃料棒検査制御装置 6 にて燃料棒 100 の外観寸法検査、欠陥検査を行う。

【0072】

第 2 実施形態の燃料棒検査装置 1 A によれば、回転装置 3 と移動装置 5 A とを用いて燃料棒を回転及び平行移動させることにより、外観画像の画素分解能よりも位置精度の低い駆動装置を用いた場合においても、外観画像の画素分解能と同じ精度で燃料棒の外観寸法検査と欠陥検査を行うことが可能となる。

【0073】

〔第 3 実施形態〕

次に、本発明に係る燃料棒検査装置の第 3 実施形態について図 16 及び図 17 に基づいて説明する。なお、第 1 実施形態及び第 2 実施形態と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0074】

第 3 実施形態の燃料棒検査装置 1 B は、第 2 実施形態の燃料棒検査装置 1 A において、燃料棒 100 を軸廻りに回転させる代わりに、検査ヘッド 4 を燃料棒 100 の軸廻りに回転させるようにしたものである。

【0075】

すなわち、図 16 に示すように、燃料棒検査装置 1 B は、燃料棒 100 を固定した状態で保持する燃料棒保持装置 2 B と、燃料棒保持装置 2 B を燃料棒 100 の長手方向に沿って移動させる移動装置 5 B（移動手段）と、被検査体である燃料棒 100 を撮影する検査ヘッド 4 と、検査ヘッド 4 を燃料棒 100 の周囲において燃料棒 100 の軸廻りに回転させる検査ヘッド回転装置 17（移動手段）と、検査ヘッド回転装置 17 の回転や移動装置 5 B の移動の制御や、検査ヘッド 4 で撮影した燃料棒 100 の外観画像から外観寸法検査及び欠陥検査を行う燃料棒検査制御装置 6 とから構成される。

【0076】

燃料棒保持装置 2 B は、燃料棒 100 を保持する燃料棒保持部 7 を有する。

【0077】

移動装置 5 B は、燃料棒保持装置 2 B を燃料棒 100 の長手方向に沿って移動させる平行移動駆動部 15 を有する。平行移動駆動部 15 は、燃料棒 100 を保持する燃料棒保持装置 2 B の移動を、燃料棒 100 の長手方向に沿って案内する平行移動ガイド部 16 を有

し、内蔵する駆動モータ（図示せず）により燃料棒保持装置 2 B を平行移動ガイド部 1 6 に沿って平行移動させる。

【0078】

検査ヘッド回転装置 1 7 は、図 1 7 に示すように、燃料棒 1 0 0 の長手方向を中心軸とした円環状に形成され、燃料棒 1 0 0 の長手方向を回転軸として回転する。また、検査ヘッド回転装置 1 7 の外周上に、検査ヘッド 4 が検査ヘッド回転装置 1 7 の回転の際に常に燃料棒 1 0 0 と対面するように設置される。

【0079】

燃料棒検査制御装置 6 は、検査ヘッド回転装置 1 7 の回転駆動や移動装置 5 B の平行移動駆動を制御する駆動制御装置 1 2 と、検査ヘッド 4 で撮影された燃料棒 1 0 0 の外観画像から検査ヘッド回転装置 1 7 及び移動装置 5 B の移動情報を画像処理にて画像計測する画像計測装置 1 3 と、検査ヘッド 4 の外観画像から画像処理にて外観寸法検査および欠陥検査を行う画像検査装置 1 4 とから構成される。 10

【0080】

第 3 実施形態の燃料棒検査装置 1 B は、検査ヘッド回転装置 1 7 を用いて、検査ヘッド 4 を燃料棒 1 0 0 の中心軸を回転軸として回転させ、移動装置 5 B を用いて燃料棒保持装置 2 B に保持された燃料棒 1 0 0 を長手方向に沿って移動させて、燃料棒 1 0 0 の全検査面の外観画像を撮影する。

【0081】

そして、第 1 実施形態の場合と同様に、撮影された外観画像から燃料棒制御装置 4 にて燃料棒 1 0 0 の外観寸法検査、欠陥検査を行う。 20

【0082】

第 3 実施形態によれば、燃料棒 1 0 0 を長手方向に沿って移動させ、検査ヘッド 4 を燃料棒 1 0 0 の長手方向を回転軸として回転させることにより、外観画像の画素分解能よりも位置精度の低い駆動装置を用いた場合においても、外観画像の画素分解能と同じ精度で燃料棒の外観寸法検査と欠陥検査を行うことが可能となる。

【0083】

なお、第 3 実施形態では、燃料棒保持装置 2 B を燃料棒 1 0 0 の長手方向に沿って移動させたが、検査ヘッド 4 を移動させるようにしてもよい。

【0084】

〔第 4 実施形態〕 30

次に、本発明に係る燃料棒検査装置の第 4 実施形態について図 1 8 及び図 1 9 に基づいて説明する。なお、第 1 実施形態～第 3 実施形態と同一の構成には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0085】

第 4 実施形態の燃料棒検査装置 1 C は、第 3 実施形態の燃料棒検査装置 1 B において、検査ヘッド 4 を燃料棒 1 0 0 の長手方向を回転軸として回転させる代わりに、燃料棒 1 0 0 の周囲に複数の検査ヘッド 4 A ～ 4 D を設けたものである。

【0086】

すなわち、図 1 8 に示すように、燃料棒検査装置 1 C は、燃料棒 1 0 0 を固定した状態で保持する燃料棒保持装置 2 C と、燃料棒 1 0 0 を長手方向に沿って移動させる移動装置 5 C（移動手段）と、被検査体である燃料棒 1 0 0 を撮影する複数の検査ヘッド 4 と、移動装置 5 C の移動の制御や、検査ヘッド 4 A ～ 4 D で撮影した燃料棒 1 0 0 の外観画像から外観寸法検査及び欠陥検査を行う燃料棒検査制御装置 6 とから構成される。 40

【0087】

燃料棒保持装置 2 C は、燃料棒 1 0 0 を保持する燃料棒保持部 7 を有する。

【0088】

移動装置 5 C は、燃料棒保持装置 2 を燃料棒 1 0 0 の長手方向に沿って移動させる平行移動駆動部 1 5 を有する。平行移動駆動部 1 5 は、燃料棒 1 0 0 を保持する燃料棒保持装置 2 C の移動を、燃料棒 1 0 0 の長手方向に沿って案内する平行移動ガイド部 1 6 を有し 50

、内蔵する駆動モータ（図示せず）により燃料棒保持装置 2 C を平行移動ガイド部 1 6 に沿って平行移動させる。

【0089】

また、図 1 9 に示すように、複数の、例えば 4 体の検査ヘッド 4 A ～ 4 D を、検査ヘッド 4 A ～ 4 D により燃料棒 1 0 0 の長手方向の所定の位置において全周囲を撮影できるように、燃料棒 1 0 0 の周囲を取り囲むように設置する。このとき、検査ヘッド 4 A ～ 4 D は、各々が燃料棒 1 0 0 に対して等距離となる位置に設置されるとよい。そして、移動装置 5 C により燃料棒保持装置 2 に保持された燃料棒 1 0 0 を長手方向に沿って移動させながら、燃料棒 1 0 0 全体の外観画像を撮影する。

【0090】

10

第 4 実施形態では、4 台の検査ヘッド 4 A ～ 4 D を使用しているが、3 台以上の検査ヘッドを設置すれば全検査面の外観画像が得られ、欠陥検査が可能である。

【0091】

第 4 実施形態の燃料棒検査装置 1 C は、周方向に対して燃料棒 1 0 0 が曲がった場合でも、曲がり D 6 の寸法検査が可能である。

【0092】

ここで、第 1 実施形態～第 3 実施形態では、周方向展開画像の作成時にハレーションが発生した箇所を、燃料棒 1 0 0、または検査ヘッド 4 を回転させて得られた外観画像から補うことができるが、第 4 実施形態では、燃料棒 1 0 0、検査ヘッド 4 A ～ 4 D が共に回転しないために、ハレーション領域を補うことが不可能である。

20

【0093】

そこで、第 4 実施形態では、各検査ヘッド 4 A ～ 4 D が備えた照明装置を切り替えて外観画像を撮影する。

【0094】

すなわち、検査ヘッド 4 A で撮影する際には、始めに検査ヘッド 4 A の証明を ON にし、その他の検査ヘッド 4 B ～ 4 D の照明を OFF にして、外観画像を撮影する。次に、検査ヘッド 1 7 C の照明を ON にし、その他の検査ヘッド 4 A、4 B、4 D の照明を OFF にして、外観画像を撮影する。最後に、検査ヘッド 4 D の照明を ON にし、その他の検査ヘッド 4 A ～ 4 C の照明を OFF にして検査ヘッド 4 A で外観画像を撮影する。

【0095】

30

そして、検査ヘッド 4 B ～ 4 D で撮影する際にも、同様の手法を用いて、燃料棒 1 0 0 の外観画像を撮影する。

【0096】

このように照明を切り替えることで、ハレーションが発生する箇所を変更することができる。証明を切り替えて撮影された外観画像を用いて、相互にハレーション領域を補うことで、ハレーション領域のない外観画像を作成することができる。

【0097】

検査ヘッド 4 B ～ 4 D についても同様に証明を切り替えて外観画像を撮影し、外観画像から燃料棒 1 0 0 の外観寸法検査及び欠陥検査を行う。

【0098】

40

第 4 実施形態によれば、燃料棒 1 0 0 を長手方向に沿って移動するとともに燃料棒の周囲に複数の検査ヘッド 4 A ～ 4 D を設置し、燃料棒検査の際の回転移動を省略することにより、回転時の機器の位置ずれと回転角度を計測する必要がなくなり燃料棒検査の処理を簡素化できる。

【0099】

なお、第 4 実施形態では、燃料棒保持装置 2 C を燃料棒 1 0 0 の長手方向に沿って移動させたが、複数の検査ヘッド 4 A ～ 4 D を移動させるようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0100】

【図 1】本発明に係る燃料棒検査装置の第 1 実施形態を示す構成図。

50

- 【図 2】第 1 実施形態における燃料棒の外観画像を示す図。
 【図 3】第 1 実施形態における燃料棒の外観画像を示す図。
 【図 4】第 1 実施形態における燃料棒の外観画像を示す図。
 【図 5】第 1 実施形態における燃料棒の円柱展開画像を示す図。
 【図 6】第 1 実施形態における燃料棒の円柱展開画像を示す図。
 【図 7】第 1 実施形態における燃料棒の周方向展開画像を示す図。
 【図 8】第 1 実施形態における燃料棒の周方向展開画像を示す図。
 【図 9】第 1 実施形態における燃料棒の周方向展開画像を示す図。
 【図 10】第 1 実施形態における燃料棒の周方向展開画像を示す図。
 【図 11】第 1 実施形態における外観寸法検査を示す説明図。
 【図 12】第 1 実施形態における外観寸法検査を示す説明図。
 【図 13】第 1 実施形態における外観寸法検査を示す説明図。
 【図 14】第 1 実施形態における欠陥検査のフローチャート。
 【図 15】本発明に係る燃料棒検査装置の第 2 実施形態を示す構成図。
 【図 16】本発明に係る燃料棒検査装置の第 3 実施形態を示す構成図。
 【図 17】第 3 実施形態における検査ヘッド回転装置を示す説明図。
 【図 18】本発明に係る燃料棒検査装置の第 4 実施形態を示す構成図。
 【図 19】第 4 実施形態における複数の検査ヘッドを示す説明図。

10

【符号の説明】

20

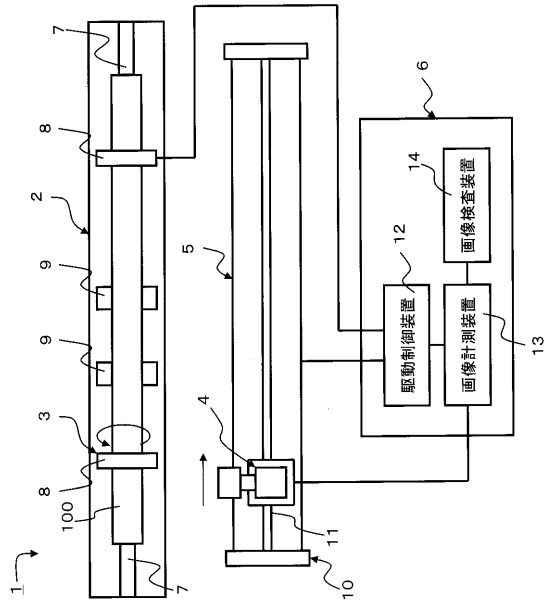
【0101】

- 1、1A～1C 燃料棒検査装置
 2、2A～2C 燃料棒保持装置
 3 回転装置
 4、4A～4D 検査ヘッド
 5、5A～5C 移動装置
 6 燃料棒検査制御装置
 7 燃料棒保持部
 8 回転駆動部
 9 回転ガイド部
 10、15 平行移動駆動部
 11、16 平行移動ガイド部
 12 駆動制御装置
 13 画像計測装置
 14 画像検査装置
 17 検査ヘッド回転装置
 100 外観画像における燃料棒
 101 外観画像における燃料棒の上縁
 102 外観画像における燃料棒の下縁
 103 外観画像における燃料棒の中央線
 104 外観画像における燃料棒の特徴的構造位置
 P1～P9 画像

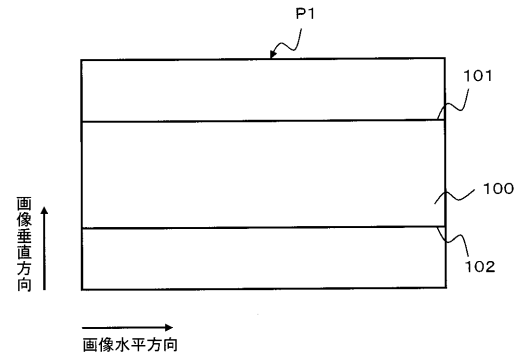
30

40

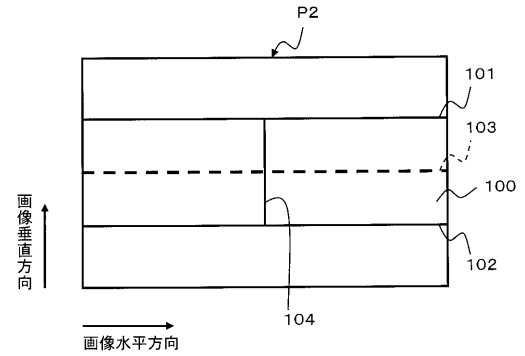
【図 1】



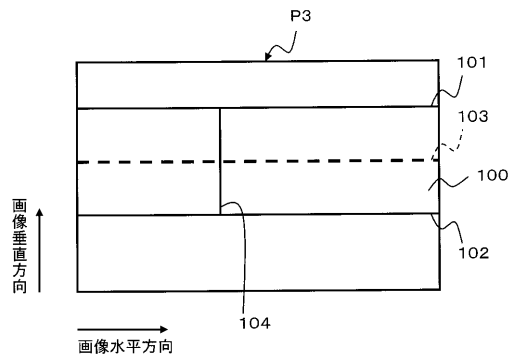
【図 2】



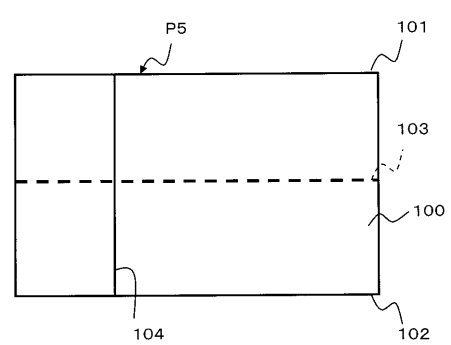
【図 3】



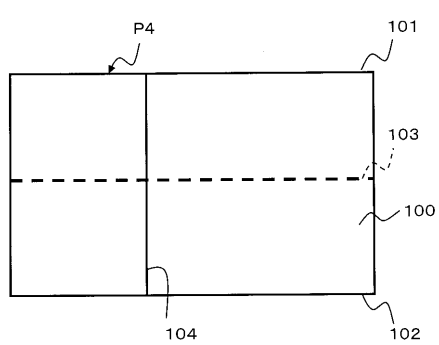
【図 4】



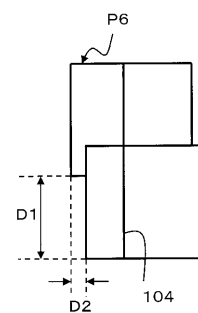
【図 6】



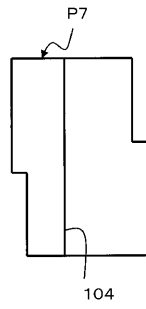
【図 5】



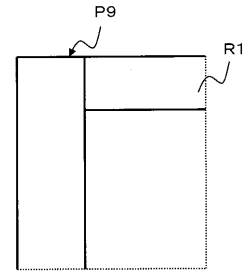
【図 7】



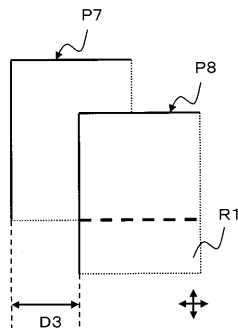
【図 8】



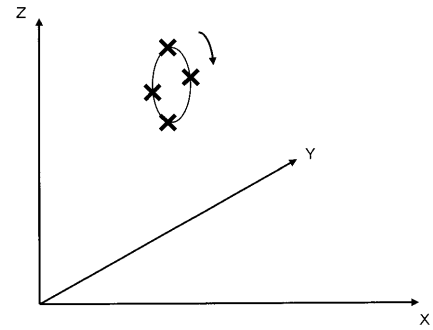
【図 10】



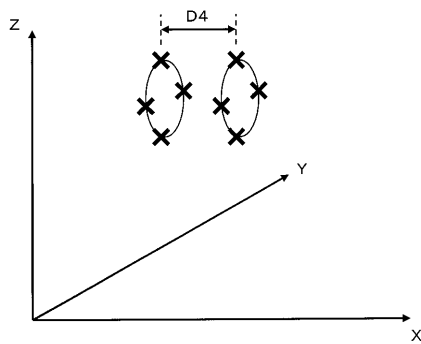
【図 9】



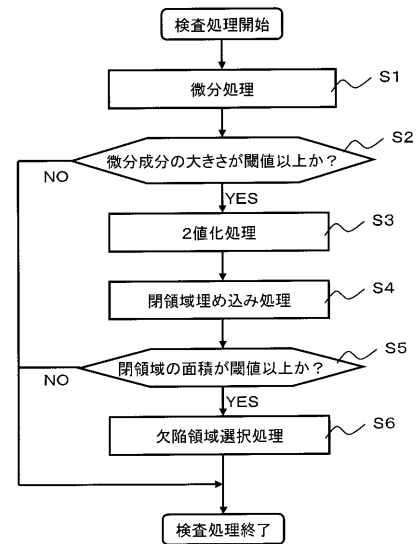
【図 11】



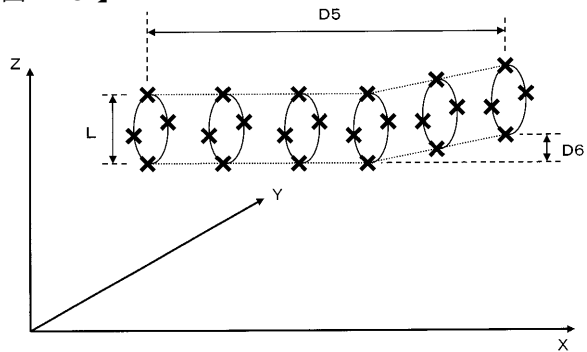
【図 12】



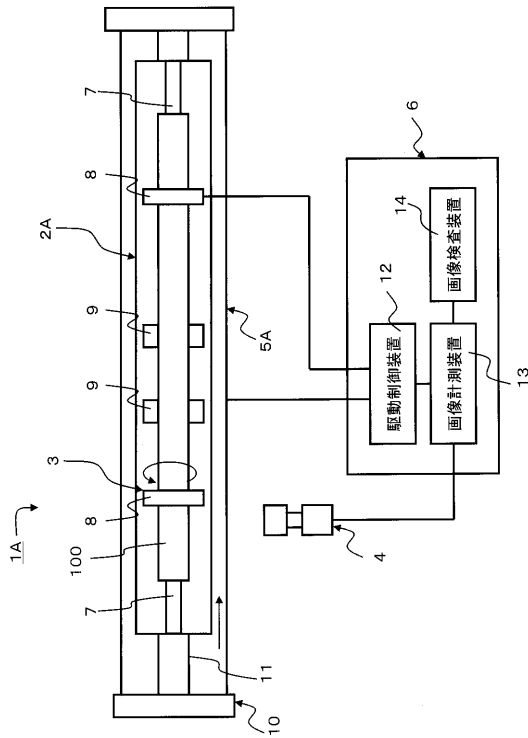
【図 14】



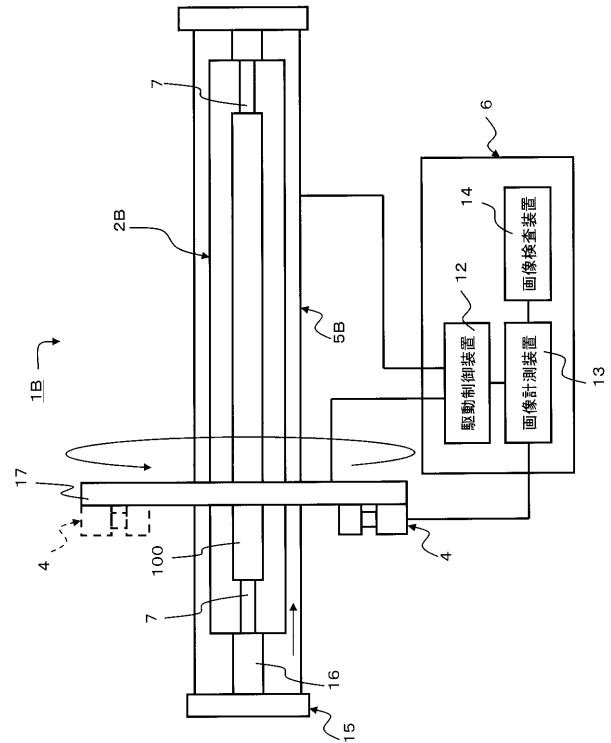
【図 13】



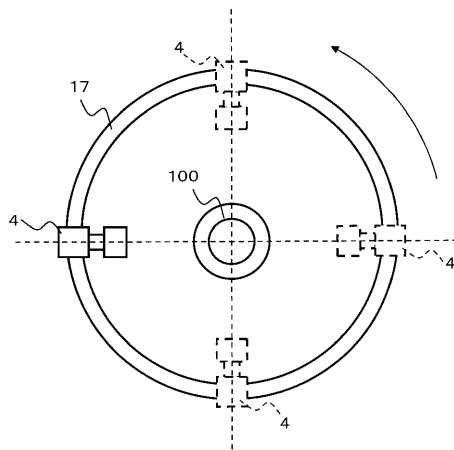
【図 15】



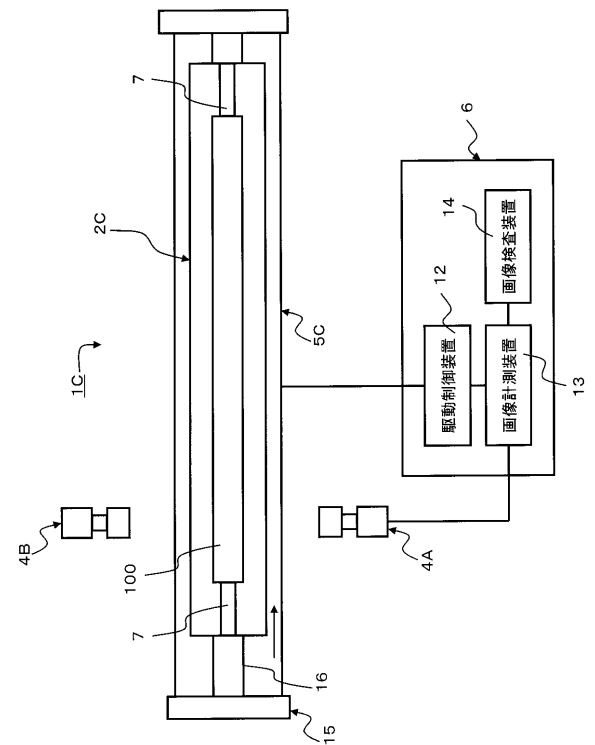
【図 16】



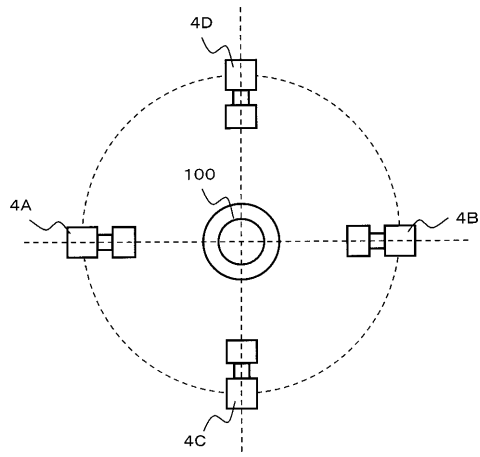
【図 17】



【図 18】



【図 19】



フロントページの続き

- (72)発明者 仏円 隆
東京都大田区蒲田五丁目3 7 番1 号 東芝プラントシステム株式会社内
- (72)発明者 佐藤 美德
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8 番地 株式会社東芝横浜事業所内
- (72)発明者 宇都宮 一博
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8 番地 株式会社東芝横浜事業所内
- Fターム(参考) 2G075 CA38 DA16 FA13 FC14 GA21