

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7332015号
(P7332015)

(45)発行日 令和5年8月23日(2023.8.23)

(24)登録日 令和5年8月15日(2023.8.15)

(51)国際特許分類	F I		
E 0 4 G 21/16 (2006.01)	E 0 4 G 21/16	E S W	
E 0 4 F 13/02 (2006.01)	E 0 4 F 13/02	B	
B 2 5 J 13/08 (2006.01)	B 2 5 J 13/08	A	

請求項の数 5 (全17頁)

(21)出願番号	特願2022-147879(P2022-147879)	(73)特許権者	000000549
(22)出願日	令和4年9月16日(2022.9.16)		株式会社大林組
(62)分割の表示	特願2018-189408(P2018-189408)		東京都港区港南二丁目15番2号
)の分割	(74)代理人	110000176
原出願日	平成30年10月4日(2018.10.4)		弁理士法人一色国際特許事務所
(65)公開番号	特開2022-176229(P2022-176229)	(72)発明者	池田 雄一
	A)		東京都清瀬市下清戸4丁目640番地
(43)公開日	令和4年11月25日(2022.11.25)		株式会社大林組技術研究所内
審査請求日	令和4年9月16日(2022.9.16)	審査官	山口 敦司

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 建築作業装置および建築作業方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

建築仕上げに係る作業に用いるエンドエフェクタを備えた多関節構造のロボットアームと、該ロボットアームの動作を制御するアーム制御装置と、を備える建築作業装置であって、

前記アーム制御装置が、

作業対象面を設定された建築部材の設計情報と、前記作業対象面に対して実施する作業内容とに基づいて作成されるジョブファイルに従い、前記ロボットアームを動作させるアーム動作指令部と、

前記建築部材について、前記設計情報と現実の表面形状に係る計測データとに基づいて作成した設計上の3次元形状モデルと現実の3次元形状モデルとを利用して、位置及び姿勢に係る施工誤差を検出する施工誤差検出部と、

該施工誤差検出部にて検出された前記建築部材の施工誤差に基づいて、前記ジョブファイルを修正するジョブファイル修正部と、

を備えることを特徴とする建築作業装置。

【請求項2】

請求項1に記載の建築作業装置において、

前記施工誤差検出部が、前記設計上の3次元形状モデルと前記現実の3次元形状モデルから、各々に外接するバウンディングボックスを設定し、設定した2つのバウンディングボックスを用いて、位置及び姿勢に係る施工誤差を検出することを特徴とする建築作業装

置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の建築作業装置において、
前記エンドエフェクタに、前記作業対象面を吹付け材で被覆する吹付け手段が備えられることを特徴とする建築作業装置。

【請求項 4】

請求項 1 から 3 の何れか一項に記載の建築作業装置を用いた建築作業方法であって、
前記作業対象面が設定された前記建築部材について、前記設計情報と前記計測データとに基づいて、位置及び姿勢に係る施工誤差を検出する施工誤差検出工程と、

該施工誤差検出工程で検出された前記建築部材の施工誤差に基づいて、前記ジョブファイルを修正するジョブファイル修正工程と、

該ジョブファイル修正工程で修正された前記ジョブファイルに基づいて前記ロボットアームを動作させ、前記作業対象面に対して建築仕上げに係る作業を実施する作業実施工程と、

を備えることを特徴とする建築作業方法。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の建築作業方法において、

前記施工誤差検出工程では、前記設計情報と前記計測データとに基づいて、前記建築部材に係る設計上の 3 次元形状モデルと現実の 3 次元形状モデルとを作成するとともに、各々に外接するバウンディングボックスを設定し、

設定した 2 つのバウンディングボックスを用いて、前記建築部材の施工誤差を検出することを特徴とする建築作業方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、建築部材の表面に設定された作業対象面に、ロボットアームを利用して建築仕上げ作業を実施するための、建築作業装置および建築作業方法に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、柱や梁等の建築部材の表面に対する吹付け作業を、建設作業ロボットを用いて実施する場合、ロボットアームのエンドエフェクタに吹付け手段を採用し、ロボットアームの動作により吹付作業を実施する。一般に、ロボットアームの動作指令にはジョブファイルが用いられ、ジョブファイルには、建築物の設計情報から取得した施工対象となる建築部材の位置情報に基づいて、ロボットアームの軌道に係る情報が記述される。

【0003】

このため、現実の建築部材に施工誤差が生じている場合、吹付け作業後における建築部材の表面には、仕上がりに吹付け残しや吹付ムラが生じやすく、建築仕上げの施工精度に多大な影響を及ぼしかねない。

【0004】

このような中、例えば特許文献 1 には、地下埋設物等の防護対象物について施工誤差を検出するべく、バックホウに備えるバケットの爪先を現実の防護対象物に接触させ、接触した時の爪先の位置座標と 3 次元設計データにおける防護対象物の位置座標とに基づいて差分を算出し、両者の間に差異があった場合に 3 次元設計データを修正する方法が開示されている。

【0005】

また、特許文献 2 では、天井や壁における BIM データで指定された位置に孔を開けるロボット穿孔装置であって、当該装置にレーザータータルステーション等の電子測定デバイスを搭載し、現実の建物と BIM データとの間に差がある場合には、現実の建物の寸法を BIM データに反映させる点が開示されている。

【先行技術文献】

10

20

30

40

50

【特許文献】

【0006】

【文献】特開2017-155563号公報

特開2017-537808号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献1に記載された方法では、現実の位置を確認したい対象物が、例えば地中配管や共同溝等の線状構造物の場合には効率よく3次元設計データを修正できるが、対象物が梁や壁体等の広い表面積を有するものである場合には、その位置や姿勢を検出するには多大な手間を要する。

10

【0008】

また、特許文献2には、現実の建物の寸法をBIMデータに反映させる思想が開示されているが、具体的な方法について記載されていないだけでなく、建築物の建築部材ごとで現実の位置や姿勢を検出することまで考慮されていない。

【0009】

本発明は、かかる課題に鑑みなされたものであって、その主な目的は、ロボットアームを利用した作業対象面に対する種々の建築仕上げに係る作業を、建築部材に生じた施工誤差の影響を最小限に抑えて高い精度をもって実施することが可能な、建築作業装置および建築作業方法を提供することである。

20

【課題を解決するための手段】

【0010】

かかる目的を達成するため本発明の建築作業装置は、建築仕上げに係る作業に用いるエンドエフェクタを備えた多関節構造のロボットアームと、該ロボットアームの動作を制御するアーム制御装置と、を備える建築作業装置であって、前記アーム制御装置が、作業対象面を設定された建築部材の設計情報と、前記作業対象面に対して実施する作業内容とに基づいて作成されるジョブファイルに従い、前記ロボットアームを動作させるアーム動作指令部と、前記建築部材について、前記設計情報と現実の表面形状に係る計測データとに基づいて作成した設計上の3次元形状モデルと現実の3次元形状モデルとを利用して、位置及び姿勢に係る施工誤差を検出する施工誤差検出部と、該施工誤差検出部にて検出された前記建築部材の施工誤差に基づいて、前記ジョブファイルを修正するジョブファイル修正部と、を備えることを特徴とする。

30

【0011】

本発明の建築作業装置は、前記施工誤差検出部が、前記設計上の3次元形状モデルと前記現実の3次元形状モデルから、各々に外接するバウンディングボックスを設定し、設定した2つのバウンディングボックスを用いて、位置及び姿勢に係る施工誤差を検出することを特徴とする。

【0012】

本発明の建築作業装置は、前記エンドエフェクタに、前記作業対象面を吹付け材で被覆する吹付け手段が備えられることを特徴とする。

40

【0013】

本発明の建築作業装置を用いた建築作業方法は、前記作業対象面が設定された前記建築部材について、前記設計情報と前記計測データとに基づいて、位置及び姿勢に係る施工誤差を検出する施工誤差検出工程と、該施工誤差検出工程で検出された前記建築部材の施工誤差に基づいて、前記ジョブファイルを修正するジョブファイル修正工程と、該ジョブファイル修正工程で修正された前記ジョブファイルに基づいて前記ロボットアームを動作させ、前記作業対象面に対して建築仕上げに係る作業を実施する作業実施工程と、を備えることを特徴とする。

【0014】

本発明の建築作業装置を用いた建築作業方法は、前記施工誤差検出工程では、前記設計

50

情報と前記計測データとに基づいて、前記建築部材に係る設計上の3次元形状モデルと現実の3次元形状モデルとを作成するとともに、各々に外接するバウンディングボックスを設定し、設定した2つのバウンディングボックスを用いて、前記建築部材の施工誤差を検出することを特徴とする。

【0015】

本発明の建築作業装置および建築作業方法によれば、作業対象面が設定された梁や柱、壁等の建築部材について、設計情報と現実との間に生じた施工誤差を検出し、この施工誤差をロボットアームの動作指令に用いるジョブファイルに反映する。これにより、ロボットアームの動作を、作業対象面が設定された建築部材における現実の位置および姿勢に対応させることができ、建築部材が有する施工誤差の影響を最小限に抑えつつ、高い精度を

10

【0016】

また、作業対象面が設定された建築部材について、ジョブファイルに反映させる施工誤差が、位置だけでなく姿勢にも及ぶことから、ロボットアームのエンドエフェクタに吹付け手段を設置すると、作業対象面に対する吹付け手段の吹付け開始位置や終了位置、移動変更位置の位置出しや向きに係る精度が高まる。これにより、広範囲にわたる作業対象面に対して吹付け作業を連続的に実施する場合にも、吹付け残しや吹付けムラが生じにくく、施工精度を向上することが可能となる。

【0017】

さらに、建築物全体ではなく作業対象面が設定された建築部材についてのみ施工誤差を検出するから、必要とする計測データも作業対象面が設定された現実の建築部材を含む周辺のみでよいため、計測作業及び施工誤差の検出作業に多大な手間を有することがなく、作業性を大幅に向上できるとともに、工期短縮および工費削減に寄与することが可能となる。

20

【0018】

また、作業対象面が設定された建築部材について施工誤差を検出する際には、設計情報と計測データとに基づいて、建築部材に係る設計上の3次元形状モデルと現実の3次元形状モデルを作成し、設計上及び現実の3次元形状モデル各々で外接するバウンディングボックスを設定すればよい。このため、特別な画像処理装置を用いることなく、簡略な方法によりかつ自動的に、建築部材の施工誤差を検出することが可能となる。

30

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、作業対象面が設定された建築部材について位置および姿勢に係る施工誤差を検出し、これをロボットアームの動作指令に用いるジョブファイルに反映するため、作業対象面を設定された建築部材に生じている施工誤差の影響を最小限に抑えることができ、高い精度をもってロボットアームを利用した作業対象面に対する建築仕上げに係る作業を実施することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】本実施の形態における建築作業装置により吹付け作業を実施している様子を示す図である。

40

【図2】本実施の形態におけるエンドエフェクタとして吹付け手段を採用した場合の建築作業装置を示す図である。

【図3】本実施の形態における建築作業装置が作業対象面近傍へ移動する様子を示す図である。

【図4】本実施の形態における建築作業装置を用いた建築作業方法のフロー図である。

【図5】本実施の形態における点群モデルに基づく天井梁の、現実の3次元形状モデルに設定したバウンディングボックスを示す図である。

【図6】本実施の形態におけるBIMモデルに基づく天井梁の、設計上の3次元形状モデルに設定したバウンディングボックスを示す図である。

50

【図 7】本実施の形態における天井梁の現実及び設計上の 3 次元形状モデル各々に設定したバウンディングボックスの X Y 平面を示す図である。

【図 8】本実施の形態における天井梁の 3 次元形状モデル (X 軸方向に延在する場合) における姿勢誤差のイメージを示す図である。

【図 9】本実施の形態における天井梁の 3 次元形状モデル (Y 軸方向に延在する場合) における姿勢誤差のイメージを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 1 】

本発明は、建築部材に設定された作業対象面に対してロボットアームを利用して建築仕上げに係る作業を実施する場合、特に吹付け等の連続的な作業に好適な、建築作業装置および建築作業方法である。

10

【 0 0 2 2 】

本実施の形態では、建築物を構成する建築部材として天井梁を、また、ロボットアームを利用して実施する建築仕上げ作業として吹付け作業をそれぞれ採用し、天井梁の表面に設定された作業対象面を耐火被覆材で被覆する場合を事例に挙げ、以下に図 1 ~ 図 9 を用いて建築作業装置および建築作業方法の詳細を説明する。

【 0 0 2 3 】

建築作業装置 1 は、図 1 で示すように、建築物 1 0 0 を構成する天井梁 1 0 1 の表面に設定された作業対象面 1 0 2 を吹付け材 C で被覆する装置であり、図 2 で示すように、ロボットアーム A と、ロボットアーム A を支持する走行部 B と、走行部 B に搭載されたアーム制御装置 6 を備える。

20

【 0 0 2 4 】

ロボットアーム A は、図 2 で示すように、多関節構造のマニピュレータ 3 と、マニピュレータ 3 の先端部分にエンドエフェクタとして装着されている吹付け手段 2 とを備え、吹付け手段 2 は、吹付け材 C を作業対象面 1 0 2 に吹付けるためのガンヘッド 2 1 を胴部先端に備えるとともに、胴部中間部に吹付け材 C の供給ホースが連結される連結部 2 2 とを備える。

【 0 0 2 5 】

また、マニピュレータ 3 は、本実施の形態において 6 軸多関節ロボットを採用しており、後述するアーム制御装置 6 に格納されたジョブファイル 6 4 1 に基づいて作動し、その動作により吹付け手段 2 に備えたガンヘッド 2 1 の位置や向きを制御するものである。

30

【 0 0 2 6 】

ロボットアーム A を支持する走行部 B は、少なくともベース部 4 と、ベース部 4 が上面に設置されている走行台車 5 とを備えている。ベース部 4 は、その上面内でロボットアーム A を回転自在に支持するものであり、走行台車 5 は、少なくとも走行手段 5 1 とアウトリガ装置 5 2 を備え、建築物 1 0 0 の床面を自在に走行できるとともに、所定位置に建築作業装置 1 を据え付けることが可能な構造を有している。

【 0 0 2 7 】

また、走行台車 5 にはアーム制御装置 6 が備えられており、アーム制御装置 6 は、演算処理装置 6 1、入力部 6 2、出力部 6 3 及び記憶部 6 4 等を備えた、いわゆるノート型パソコンやタブレット端末等の端末装置である。

40

【 0 0 2 8 】

演算処理装置 6 1 は、CPU、GPU、ROM、RAM 及びハードウェアインタフェース等を有するコンピュータであり、建築作業装置 1 が所定位置に据え付けられた後、ロボットアーム A を利用して作業対象面 1 0 2 に吹付け作業を実施する際、ロボットアーム A をジョブファイル 6 4 1 に基づいて制御する制御盤として機能するアーム動作指令部 6 1 1 を備える。また、詳細は後述するが、施工誤差検出部 6 1 2 と、ジョブファイル修正部 6 1 3 を備える。

【 0 0 2 9 】

入力部 6 2 は、スイッチ、キーボード等の入力装置であり、出力部 6 3 は、画面表示を

50

行うディスプレイ等の出力装置である。また、記憶部 6 4 は、半導体メモリ又はハードディスクドライブ等からなる記憶装置であり、演算処理装置 6 1 によって実行可能なプログラムが格納されているとともに、少なくとも、ロボットアーム A の動作指令に用いるジョブファイル 6 4 1 と、建築物 1 0 0 の B I M データが格納されている。

【 0 0 3 0 】

なお、B I M データは、建築物 1 0 0 の設計図等の設計情報が格納され、コンピュータ上に現実と同じ建築物 1 0 0 の 3 次元形状モデルを再現するために用いるデータである。また、建築作業装置 1 の走行部 B の詳細は、例えば、特願 2 0 1 8 - 1 4 6 1 7 2 号の吹付け装置に備えた走行部を参照されたい。

【 0 0 3 1 】

上記の構成を有する建築作業装置 1 は、走行部 B の平面視重心をロボットアーム A のホームポジション P として設定し、待避時において、ホームポジション P にロボットアーム A を位置させた状態で、図 3 で示すような、建築物 1 0 0 の屋内に設置したロボットステーション S に配置しておく。

【 0 0 3 2 】

そして、吹付け作業の開始時には建築作業装置 1 を、ロボットステーション S から作業対象面 1 0 2 近傍に設定された目標位置 G に向けて走行手段 5 1 を介して走行させる。また、目標位置 G 近傍で進行方向が目標向きとなるように方向転換させ、目標位置 G を中心とする許容値範囲内に位置決めする。こうして所定位置に位置決めされた建築作業装置 1 は、図 2 で示すように、アウトリガ装置 5 2 により据え付けられるとともに、ロボットアーム A を支持するベース部 4 を所定の高さ位置に配置するよう、高さが調整される。

【 0 0 3 3 】

この後、ロボットアーム A は、走行部 B の平面視位置、停止時の進行方向、姿勢角およびベース部 4 の高さ位置を基準として、マニピュレータ 3 を作動させ、吹付け手段 2 におけるガンヘッド 2 1 より吹き付け材を噴射して、吹付け材 C で天井梁 1 0 1 を被覆する。

【 0 0 3 4 】

上記のロボットアーム A による吹付け作業は、前述したアーム制御装置 6 の演算処理装置 6 1 に備えたアーム動作指令部 6 1 1 による動作指示によりマニピュレータ 3 が作動することで、吹付け手段 2 のガンヘッド 2 1 が、所定の吹付け開始位置に配置されるとともに、作業対象面 1 0 2 に対する向き及び距離を保持した状態でセットされる。

【 0 0 3 5 】

また、このセット位置から、同じくアーム動作指令部 6 1 1 による動作指示によりマニピュレータ 3 が作動し、吹付け手段 2 のガンヘッド 2 1 を少なくとも横方向及び縦方向に移動させつつ吹付け材 C を吐出することで、広範囲にわたる作業対象面 1 0 2 に対して連続的に吹付け作業を実施する。

【 0 0 3 6 】

このようなアーム動作指令部 6 1 1 によるマニピュレータ 3 に対する動作指示は、前述したジョブファイル 6 4 1 に基づいて行われる。ジョブファイル 6 4 1 とは、ロボットアーム A の予定する軌道上におけるいくつかの位置座標と、その位置座標間を補完する補完方法が記述されたロボットのプログラム言語と、により構成されるものである。本実施の形態では吹付け作業を行うことから、少なくともジョブファイル 6 4 1 には上記の情報に加えて、吹付け作業時における吹付け手段 2 のガンヘッド 2 1 の向きに係る情報も記述しておく。

【 0 0 3 7 】

これにより、アーム制御装置 6 の演算処理装置 6 1 において、アーム動作指令部 6 1 1 が記憶部 6 4 に格納したジョブファイル 6 4 1 を読み込むと、マニピュレータ 3 は、吹付け手段 2 のガンヘッド 2 1 がジョブファイル 6 4 1 に規定された上向きや下向きもしくは水平向き等の吹付向きで、直線や円弧など線形を描いて吹き付け材を吐出しつつ、ジョブファイル 6 4 1 に規定された位置座標間を移動するように、作動する。

【 0 0 3 8 】

10

20

30

40

50

ところで、ジョブファイル 6 4 1 に記述されるロボットアーム A の予定する軌道上における複数の位置座標やガンヘッド 2 1 の向きに係る情報は、上述した建築物 1 0 0 の BIM データに格納されている設計情報に基づいて設定される。なお、ロボットアーム A の予定する軌道上における複数の位置座標とは、例えば、吹付け開始位置、横移動（水平移動）もしくは縦移動（鉛直移動）等の移動変更点、吹付け終了位置等の位置座標を指す。

【 0 0 3 9 】

このため、作業対象面 1 0 2 を備える現実の天井梁 1 0 1 が、図 3 で示すように、BIM データに格納されている設計情報との間に位置や姿勢に施工誤差を生じている場合、吹付け開始位置や吹付け終了位置のズレに伴う吹付け残しや、ガンヘッド 2 1 と作業対象面 1 0 2 との距離や吹付け向きに齟齬が生じることによる吹付けムラが生じる。

【 0 0 4 0 】

そこで、アーム制御装置 6 の演算処理装置 6 1 に、前述の施工誤差検出部 6 1 2 を備え、作業対象面 1 0 2 を備える天井梁 1 0 1 の重心位置及び姿勢について、施工誤差（重心の位置誤差及び姿勢誤差）を検出する。詳細は後述するが、施工誤差検出部 6 1 2 には、計測データ処理部 6 1 2 1 と設計情報処理部 6 1 2 2 と誤差算出部 6 1 2 3 とを備える。

【 0 0 4 1 】

また、アーム制御装置 6 の演算処理装置 6 1 に、ジョブファイル修正部 6 1 3 を備え、施工誤差検出部 6 1 2 にて検出した施工誤差の数値に応じて、ジョブファイル修正部 6 1 3 にて、ジョブファイル 6 4 1 を修正する。

【 0 0 4 2 】

建築作業装置を用いた建築作業方法

以下に、上記の建築作業装置 1 を用いた、ジョブファイル 6 4 1 の修正手順を含む建築作業方法の詳細を、天井梁 1 0 1 に設定された作業対象面 1 0 2 を吹付け材 C で被覆する場合を事例に挙げ、図 4 のフローに沿って説明する。

【 0 0 4 3 】

作業対象面を有する建築部材の特定：STEP 1

まず、建築物 1 0 0 において、ロボットアーム A に備えた吹付け手段 2 にて吹付け作業を実施しようとする、作業対象面 1 0 2 が設定された天井梁 1 0 1 を特定する。

【 0 0 4 4 】

次の施工誤差検出工程では、この特定した天井梁 1 0 1 について、現実の表面形状に係る計測データを取得して天井梁 1 0 1 の現実の 3 次元形状モデルを作成し、図 5 で示すようなバウンディングボックス B p を設定するとともに、BIM データの設計情報に基づいて天井梁 1 0 1 の設計上の 3 次元形状モデルを作成し、図 6 で示すようなバウンディングボックス B b を設定する。そして、これら 2 つのバウンディングボックス B p、B b を用いて、天井梁 1 0 1 について位置及び姿勢に係る施工誤差を算出する。

【 0 0 4 5 】

以降、天井梁 1 0 1 の現実の 3 次元形状モデルに設定したバウンディングボックス B p を、現実のバウンディングボックス B p と称す。また、天井梁 1 0 1 の設計上の 3 次元形状モデルに設定したバウンディングボックス B b を、設計上のバウンディングボックス B b と称す。

【 0 0 4 6 】

なお、バウンディングボックス B p、B b は、天井梁 1 0 1 の 3 次元形状モデルにおけるワールド座標系上の X 軸、Y 軸、Z 軸の各軸方向の最小長さを直方体で表したものであり、3 次元形状モデルに外接する大きさの箱を指す。

【 0 0 4 7 】

したがって、図 6 で示す BIM データの設計情報に基づく天井梁 1 0 1 の 3 次元形状モデルは、梁長さが X 軸に平行、梁幅が Y 軸に平行、梁成が Z 軸に平行な姿勢であるため、設計上のバウンディングボックス B b は 3 次元形状モデルの外形に沿った大きさに設定される。一方、図 5 で示す計測データに基づく天井梁 1 0 1 の 3 次元形状モデルは、X 軸、Y 軸、Z 軸のいずれにも平行な面を有しない。このため、現実のバウンディングボックス

10

20

30

40

50

B p は 3 次元形状モデルに外接するのみで外形に沿っておらず、その大きさ及び形状が、設計上のバウンディングボックス B b と相違することとなる。

【 0 0 4 8 】

施工誤差検出工程： S T E P 2 ~ 1 1

< 計測データに基づく建築部材の処理： S T E P 2 ~ 5 >

天井梁 1 0 1 の表面およびその周辺にあらかじめ計測点を複数設定したうえで、点群モデル作成装置にて計測点各々の位置を計測して点群データを得る。次に、これら複数の計測点から天井梁 1 0 1 の表面形状に係る点群モデルを作成する。また、天井梁 1 0 1 に何らかの部材が付設されている場合には、これら付設部材も併せて計測点を設定して点群モデルを作成し、作成した点群モデルは、アーム制御装置 6 の記憶部 6 4 に格納する。

10

【 0 0 4 9 】

なお、計測点の位置は、所定の位置に原点が設定され、水平方向に X 軸及び Y 軸を有し、鉛直方向に Z 軸を有するアーム制御装置 6 上の 3 次元空間全体を定義するワールド座標系上で表すことにより、点群モデルを現実の 3 次元形状モデルとしてワールド座標系上に作成することができる。

【 0 0 5 0 】

また、天井梁 1 0 1 の表面形状を、ワールド座標系上で点群データよりなる点群モデルとして出力させるための点群モデル作成装置および方法は、例えば、特開 2 0 1 7 - 1 5 0 9 7 7 号公報を参照されたい。

【 0 0 5 1 】

次に、演算処理装置 6 1 の計測データ処理部 6 1 2 1 にて、記憶部 6 4 に格納した天井梁 1 0 1 を含む作業周辺領域の点群モデルについて以下の処理を行う。

20

【 0 0 5 2 】

まず、天井梁 1 0 1 を含む作業周辺領域の点群モデルから、天井梁 1 0 1 以外の点群データを除去するノイズ処理を行い、天井梁 1 0 1 のみの点群モデルを作成する。このとき、天井梁 1 0 1 に付設部材が存在していた場合には、付設部材に係る点群データもノイズ処理により除去する。

【 0 0 5 3 】

次に、天井梁 1 0 1 のみの点群モデル（天井梁 1 0 1 の現実の 3 次元形状モデル）に対して、図 5 及び図 7 で示すようなバウンディングボックス B p を設定し、現実のバウンディングボックス B p の、重心（ x_p 、 y_p 、 z_p ）、及び頂点間における 3 方向の距離（ X_p 、 Y_p 、 Z_p ）、つまりボックスサイズを取得し、アーム制御装置 6 の記憶部 6 4 に格納する。

30

【 0 0 5 4 】

< 設計情報に基づく建築部材の処理： S T E P 6 ~ 8 >

S T E P 1 で特定した天井梁 1 0 1 について、演算処理装置 6 1 の設計情報処理部 6 1 2 2 にて、記憶部 6 4 に格納した B I M データを用いて、以下の処理を行う。

【 0 0 5 5 】

まず、B I M データに格納されている建築物 1 0 0 の設計情報から天井梁 1 0 1 を含む作業周辺領域の 3 次元形状データを抽出し、B I M モデルを設計上の 3 次元形状モデルとしてを作成する。このとき、点群モデルを作成する場合と同様に、天井梁 1 0 1 に何らかの部材が付設されている場合には、これら付設部材も併せて計測点を設定して B I M モデルを作成し、作成した B I M モデルは、アーム制御装置 6 の記憶部 6 4 に格納する。

40

【 0 0 5 6 】

次に、天井梁 1 0 1 を含む作業周辺領域の B I M モデルから、天井梁 1 0 1 以外の設計情報を除去するノイズ処理を行い、天井梁 1 0 1 のみの B I M モデルを作成する。このとき、天井梁 1 0 1 に付設部材が存在していた場合には、付設部材に係る設計情報もノイズ処理により除去する。

【 0 0 5 7 】

この後、天井梁 1 0 1 のみの B I M モデル（天井梁 1 0 1 の設計上の 3 次元形状モデル

50

）に対して、図 6 及び図 7 で示すようなバウンディングボックス B b を設定し、設計上のバウンディングボックス B b の、重心 (x b、y b、z b)、及び頂点間における 3 方向の距離 (X b、Y b、Z b)、つまりボックスサイズを取得し、アーム制御装置 6 の記憶部 6 4 に格納する。

【 0 0 5 8 】

アーム制御装置 6 の記憶部 6 4 に格納した、上記の現実と設計上の 2 つのバウンディングボックス B p、B b に係る重心の位置座標およびボックスサイズを利用して、演算処理装置 6 1 の誤差算出部 6 1 2 3 にて天井梁 1 0 1 の施工誤差を、以下のとおり算出する。

【 0 0 5 9 】

< 建築部材の施工誤差の算出 : S T E P 9 >

天井梁 1 0 1 の施工誤差のうち重心の位置誤差 (x、y、z) は、現実と設計上の 2 つのバウンディングボックス B p、B b 各々の重心を天井梁 1 0 1 の重心と見做して、以下に示す (1) 式 ~ (3) 式により算出する。算出した天井梁 1 0 1 の重心の位置誤差 (x、y、z) は、アーム制御装置 6 の記憶部 6 4 に格納する。

【 0 0 6 0 】

$$\Delta x = x_p - x_b \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$\Delta y = y_p - y_b \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2)$$

$$\Delta z = z_p - z_b \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (3)$$

【 0 0 6 1 】

< 姿勢誤差の算出の必要性の検討 : S T E P 1 0 >

次に、現実と設計上の 2 つのバウンディングボックス B p、B b のボックスサイズを比較し、天井梁 1 0 1 における姿勢誤差の算出の必要性を検討する。

【 0 0 6 2 】

具体的には、あらかじめ、アーム制御装置 6 の記憶部 6 4 に、現実と設計上の 2 つのバウンディングボックス B p、B b のボックスサイズに差が生じている場合の許容値を格納しておく。なお、ボックスサイズに係る許容値は、天井梁 1 0 1 の大きさやロボットアーム A を用いて実施しようとする作業内容、また出来形に求められる精度等に応じて適宜決定すればよい。

【 0 0 6 3 】

そのうえで、現実のバウンディングボックス B p の 3 方向の距離 (X p、Y p、Z p) と、設計上のバウンディングボックス B b の 3 方向の距離 (X b、Y b、Z b) とを比較し、両者の間に差異が生じない場合には姿勢誤差は無いものと判定し、姿勢誤差を算出する工程を省略する。また、差異がある場合であっても、その差異が上記の許容値に収まる場合には、姿勢誤差の算出は不要と判定し、姿勢誤差を算出する工程を省略する。

【 0 0 6 4 】

一方、両者の間に差異がある場合であって、その差異が上記の許容値を超える場合には、姿勢誤差の算出が必要であると判定し、以下の手順により算出する。

【 0 0 6 5 】

< 姿勢誤差の算出 : S T E P 1 1 >

天井梁 1 0 1 の姿勢誤差の算出方法を説明するに先立ち、姿勢誤差のイメージを図 8 に示すワールド座標系上の天井梁 1 0 1 の 3 次元形状モデルを用いて、以下に説明する。

【 0 0 6 6 】

図 8 (a) を見ると、天井梁 1 0 1 の 3 次元形状モデルは、梁長さが X 軸に平行、梁幅が Y 軸に平行、梁成が Z 軸に平行な姿勢であり、天井梁 1 0 1 は姿勢誤差を生じていない状態にある。一方、天井梁 1 0 1 に鉛直方向に姿勢ズレが生じると、図 8 (b) で示すように X Z 平面上で、天井梁 1 0 1 の 3 次元モデルの軸線 O と X 軸との内角が (Y 軸周

10

20

30

40

50

りの回転)となる。

【0067】

また、水平方向に姿勢ズレが生じていると、図8(c)で示すようにXY平面上で、天井梁101の3次元形状モデルの軸線OとX軸との内角が (Z軸周りの回転)となる。さらに、回転(上向きまたは下向き)による姿勢ズレを生じていると、図8(d)で示すようにYZ平面上で、天井梁101の3次元形状モデルの軸線Oを通過する梁成方向の中心線とZ軸との内角が (X軸周りの回転)となる。

【0068】

そして、前述したように、バウンディングボックスBp、Bb各々は、ワールド座標系上において3次元形状モデルのX軸、Y軸、Z軸の各軸方向の最小長さを直方体で表したものである。そこで、例えば、図7で示すようなXY平面上の、現実のバウンディングボックスBpの対角線とX軸との内角を、水平方向に姿勢ズレが生じている場合の天井梁101の3次元形状モデルの軸線OとX軸との内角と見做し、これを水平方向の誤差とする。

10

【0069】

同様に、XZ平面上の、現実のバウンディングボックスBpの対角線とX軸との内角を、鉛直方向に姿勢ズレが生じている場合の天井梁101の3次元形状モデルの軸線OとX軸との内角と見做し、これを鉛直方向の誤差とする。また、ZY平面上の、現実のバウンディングボックスBpの対角線とZ軸との内角を、回転の姿勢ズレが生じている場合の天井梁101の3次元形状モデルの軸線Oを通過する梁成方向の中心線とZ軸との内角と見做し、これを回転の誤差とする。

20

【0070】

すると、X軸方向に延在する天井梁101の施工誤差のうち姿勢誤差()は、以下に示す(4)式~(6)式により算出することができる。算出した姿勢誤差は、アーム制御装置6の記憶部64に格納する。

【0071】

$$\Delta \theta = \sin^{-1} \left(\frac{Y_p}{\sqrt{Y_p^2 + Z_p^2}} \right) \dots \dots \dots (4)$$

30

$$\Delta \phi = \sin^{-1} \left(\frac{Z_p}{\sqrt{X_p^2 + Z_p^2}} \right) \dots \dots \dots (5)$$

$$\Delta \Psi = \sin^{-1} \left(\frac{Y_p}{\sqrt{X_p^2 + Y_p^2}} \right) \dots \dots \dots (6)$$

【0072】

また、図9で示すように、天井梁101の3次元形状モデルの軸線Oがワールド座標系上でY軸方向に延在する場合は、以下のとおりである。つまり、図9(a)で示すように、天井梁101の3次元形状モデルは、梁幅がX軸に平行、梁長さがY軸に平行、梁成がZ軸に平行な姿勢であり、天井梁101は姿勢誤差を生じていない状態にある。

40

【0073】

一方、回転(上向きまたは下向き)による姿勢ズレを生じていると、図9(b)で示すようにXZ平面上で、天井梁101の3次元形状モデルの軸線Oを通過する梁成方向の中心線とZ軸との内角が (Y軸周りの回転)となる。また、水平方向に姿勢ズレが生じていると、図9(c)で示すようにXY平面上で、天井梁101の3次元形状モデルの軸線OとY軸との内角が (Z軸周りの回転)となる。さらに、鉛直方向に姿勢ズレが生じていると、図9(d)で示すようにYZ平面上で、天井梁101の3次元形状モデルの

50

軸線OとY軸との内角が (X軸周りの回転) となる。

【 0 0 7 4 】

したがって、X Z 平面上の、現実のバウンディングボックス B p の対角線と Z 軸との内角を、回転の姿勢ズレが生じている場合の天井梁 1 0 1 の 3 次元形状モデルの軸線 O を通過する梁成方向の中心線と Z 軸との内角 と見做し、これを回転の誤差とする。

【 0 0 7 5 】

同様に、X Y 平面上の、現実のバウンディングボックス B p の対角線と Y 軸との内角を、水平方向に姿勢ズレが生じている場合の天井梁 1 0 1 の 3 次元形状モデルの軸線 O と Y 軸との内角 と見做し、これを鉛直方向の誤差とする。また、Y Z 平面上の、現実のバウンディングボックス B p の対角線と Y 軸との内角を、鉛直方向に姿勢ズレが生じている場合の天井梁 1 0 1 の 3 次元形状モデルの軸線 O と Y 軸との内角 と見做し、これを水平方向の誤差とする。

10

【 0 0 7 6 】

すると、Y 軸方向に延在する天井梁 1 0 1 の施工誤差のうち姿勢誤差 () は、以下に示す (7) 式 ~ (9) 式により算出することができる。

【 0 0 7 7 】

$$\Delta \theta = \sin^{-1} \left(\frac{Z_p}{\sqrt{Y_p^2 + Z_p^2}} \right) \dots \dots \dots (7)$$

20

$$\Delta \phi = \sin^{-1} \left(\frac{X_p}{\sqrt{X_p^2 + Z_p^2}} \right) \dots \dots \dots (8)$$

$$\Delta \Psi = \sin^{-1} \left(\frac{X_p}{\sqrt{X_p^2 + Y_p^2}} \right) \dots \dots \dots (9)$$

【 0 0 7 8 】

ジョブファイル修正工程 : S T E P 1 2 ~ 1 3

30

次に、演算処理装置 6 1 のジョブファイル修正部 6 1 3 にて、記憶部 6 4 に格納した天井梁 1 0 1 の施工誤差に基づいて、以下の処理を行う。

【 0 0 7 9 】

まず、重心の位置誤差について、あらかじめ、アーム制御装置 6 の記憶部 6 4 に天井梁 1 0 1 の重心の位置誤差 (x、 y、 z) に係る許容値を格納しておき、上記の施工誤差検出工程で算出した結果と許容値を比較する。なお、重心に係る許容値は、天井梁 1 0 1 の大きさやロボットアーム A を用いて実施しようとする作業内容、また出来形に求められる精度等に応じて適宜決定すればよい。

【 0 0 8 0 】

重心の位置誤差が許容値に収まっている場合には、重心の位置座標に係るジョブファイル 6 4 1 の修正を省略する。一方、重心の位置誤差が許容値を超える場合には、上記の手順にて算出した天井梁 1 0 1 における重心の位置誤差に基づいて、ジョブファイル 6 4 1 を修正する。

40

【 0 0 8 1 】

次に、姿勢誤差について、アーム制御装置 6 の記憶部 6 4 に、上記の施工誤差検出工程で算定された姿勢誤差の算出値が存在するか否かを確認し、存在しない場合には、姿勢誤差に係るジョブファイル 6 4 1 の修正を省略する。

【 0 0 8 2 】

一方、姿勢誤差の算出値が存在する場合には、上記の手順にて算出した天井梁 1 0 1 における姿勢誤差に基づいて、ジョブファイル 6 4 1 を修正する。なお、ジョブファイル 6

50

41の修正は、例えば、ロボットアームAの予定する軌道上における複数の位置座標や吹付け作業時における吹付け手段2のガンヘッド21の向きに係る情報等の修正である。

【0083】

ロボットアームによる作業実施工程：STEP14

この後、建築作業装置1による天井梁101の吹付け作業を開始する。つまり、作業対象面102の近傍に設定された目標位置Gに、建築作業装置1を上述した手順により据え付け、アーム制御装置6の演算処理装置61に備えたアーム動作指令部611にてマニピュレータ3を、記憶部64に格納した修正したジョブファイル641に基づいて動作させる。

【0084】

なお、作業対象面102の近傍に設定された目標位置Gに建築作業装置1を据え付ける作業は、例えば、施工誤差検出工程(STEP2~11)及びジョブファイル修正工程(STEP12~13)を終えた後に実施してもよいし、建築物100から作業対象面102が設定された天井梁101を特定する作業(STEP1)の前後いずれかの時点で رفتてもよい。

【0085】

または、上述した点群モデル作成装置に搭載されている点群モデルを作成する機能を、建築作業装置1に搭載し、建築作業装置1を作業対象面102の近傍に向けて移動させながら、天井梁101の表面形状を計測しつつ(STEP2)、その後の施工誤差検出工程(STEP3~11)及びジョブファイル修正工程(STEP12~13)を実施してもよい。こうすると、建築作業方法をほぼ自動化することができ、建築仕上げに係る作業の大幅な省力化を図ることが可能となる。

【0086】

さらに、作業対象面102が設定された天井梁101が複数ある場合には、複数の天井梁101すべてについてジョブファイル641を修正した後に、ロボットアームAによる吹付け作業を開始してもよいし、複数の天井梁101ごとに施工誤差の検出から吹付け作業の実施に至る一連作業を行い、これを繰り返し実施してもよい。

【0087】

本発明の建築作業装置1および建築作業方法によれば、作業対象面102が設定された天井梁101について、現実と設計情報との間に生じた位置や姿勢に係る施工誤差を検出し、この施工誤差を、ロボットアームAの動作指令に用いるジョブファイル641に反映する。これにより、ロボットアームAの動作を、作業対象面102が設定された天井梁101における現実の位置および姿勢に対応させることができ、天井梁101が有する施工誤差の影響を最小限に抑えつつ、高い精度をもって作業対象面102に対して吹付け作業を実施することが可能となる。

【0088】

また、天井梁101について、重心の位置誤差だけでなく姿勢誤差に係る施工誤差をジョブファイル641に反映させることから、ロボットアームAに吹付け手段2を設置すると、作業対象面102に対する吹付け手段2の吹付け開始位置や終了位置、移動変更位置の位置出しや向きに係る精度が高まる。これにより、広範囲にわたる作業対象面102に対して吹付け作業を連続的に実施する場合にも、吹付け残しや吹付けムラが生じにくく、施工精度を向上することが可能となる。

【0089】

さらに、建築物100全体ではなく作業対象面102が設定された天井梁101についてのみ施工誤差を検出するから、必要とする計測データも作業対象面102が設定された現実の天井梁101を含む周辺のみでよい。このため、計測作業及び施工誤差の検出作業に多大な手間を有することがなく、作業性を大幅に向上できるとともに、工期短縮および工費削減に寄与することが可能となる。

【0090】

また、作業対象面102が設定された天井梁101について施工誤差を検出する際には

10

20

30

40

50

、設計情報と計測データとに基づいて、天井梁 101 に係る設計上の 3 次元形状モデルと現実の 3 次元形状モデルを作成し、設計上および現実の 3 次元形状モデル各々で外接するバウンディングボックス B b、B p を設定すればよい。このため、特別な画像処理装置を用いることなく、簡略な方法により天井梁 101 の施工誤差を算出することが可能となる。

【0091】

本発明の建築作業装置 1 および建築作業装置 1 を用いた建築作業方法は、上記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種々の変更が可能である。

【0092】

例えば、本実施の形態では、作業対象面 102 が設定された建築部材として天井梁 101 を事例に挙げたが、壁や柱床等いずれの建築部材であってもよい。また、エンドエフェクタに吹付け手段 2 を採用し、ロボットアーム A にて吹付け作業を行ったが、必ずしもこれに限定されるものではなく、建築部材の表面を作業対象面 102 とする建築仕上げ作業に係る手段であれば、エンドエフェクタに何れを採用してもよい。

【0093】

また、本実施の形態では、現実の天井梁 101 の表面形状を点群モデル作成装置により計測したが、必ずしもこれに限定するものではなく、3 次元形状データを得られる測定方法であれば、形状計測センサ等いずれの手段を採用してもよい。同様に、作業対象面 102 を有する建築物 100 の設計情報として BIM データを採用したが、例えば 3DCAD データ等いずれのデジタルデータを採用してもよい。

【0094】

さらに、本実施の形態では、ロボットアーム A を走行部 B に対して 1 体のみ搭載したが、ロボットアーム A を複数搭載し、各々の動作指令に用いるジョブファイル 641 を修正する構成としてもよい。

【0095】

また、建築作業装置 1 を作業対象面 102 近傍に移動し据え付けるための走行部 B の制御機能やロボットアーム A を支持するベース部 4 の高さを調整する機能等は、アーム制御装置 6 に走行制御部として併せて備えてもよいし、建築作業装置 1 に別途備えてもよく、建築作業装置 1 を手動で移動させる際には、必ずしも制御機能を備えなくてもよい。

【符号の説明】

【0096】

- 1 建築作業装置
- 2 吹付け手段（エンドエフェクタ）
- 3 マニピュレータ
- 4 ベース部
- 5 走行台車
- 5 1 走行手段
- 5 2 アウトリガ装置
- 6 アーム制御装置
- 6 1 演算処理装置
- 6 1 1 アーム動作指令部
- 6 1 2 施工誤差検出部
- 6 1 2 1 計測データ処理部
- 6 1 2 2 設計情報処理部
- 6 1 2 3 誤差算出部
- 6 1 3 ジョブファイル修正部
- 6 2 入力部
- 6 3 出力部
- 6 4 記憶部
- 6 4 1 ジョブファイル
- A ロボットアーム

10

20

30

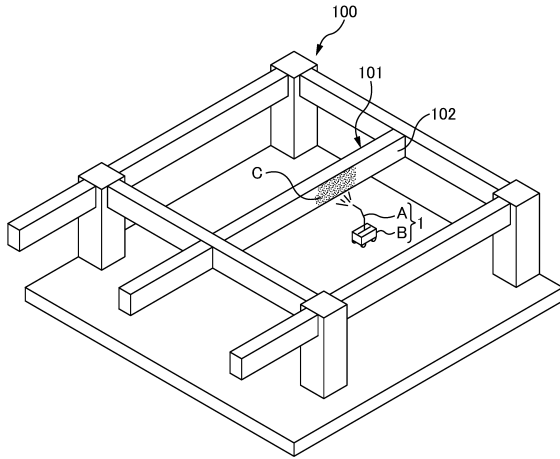
40

50

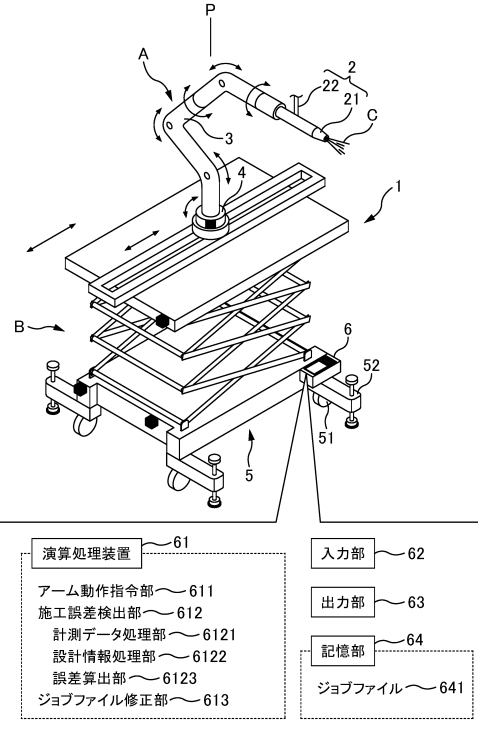
- B 走行部
- C 耐火被覆材（吹付け材）
- P ホームポジション
- S ロボットステーション
- B b 設計上のバウンディングボックス
- B p 現実のバウンディングボックス
- O 3次元形状モデルの軸線

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

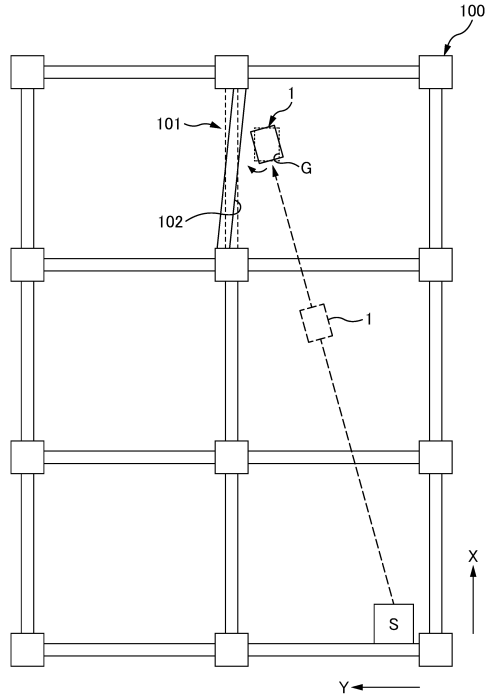
20

30

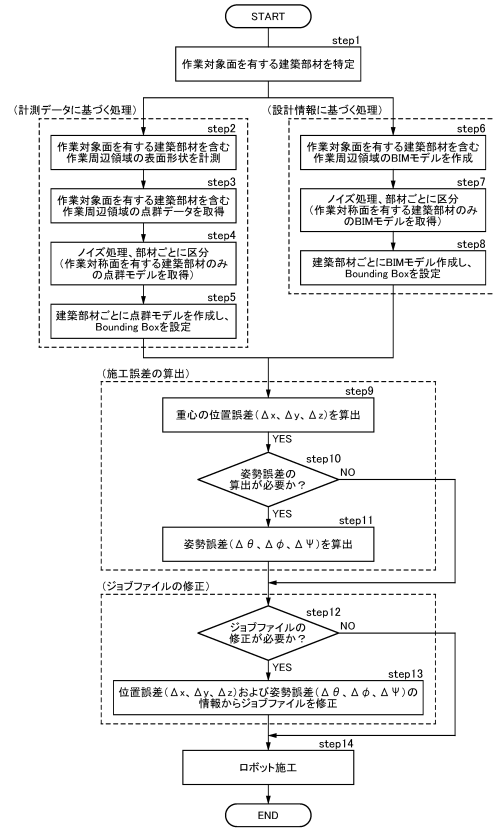
40

50

【図3】



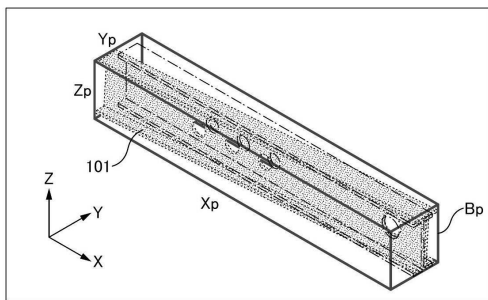
【図4】



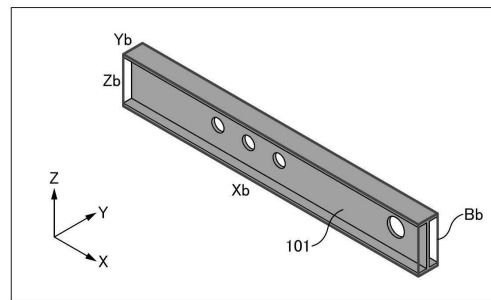
10

20

【図5】



【図6】

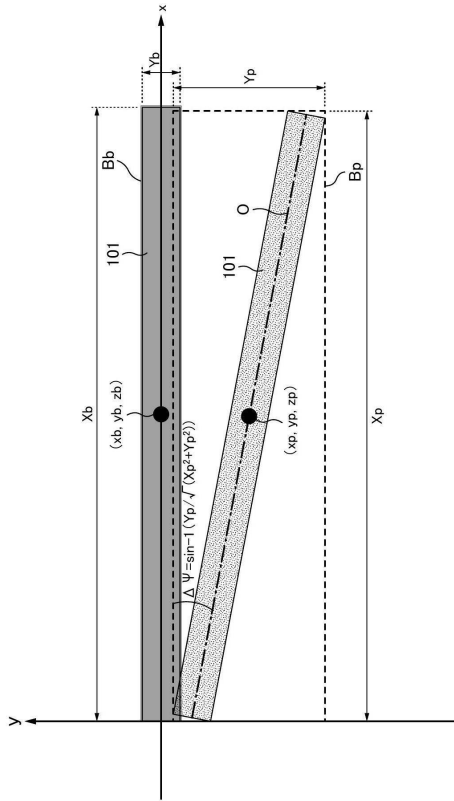


30

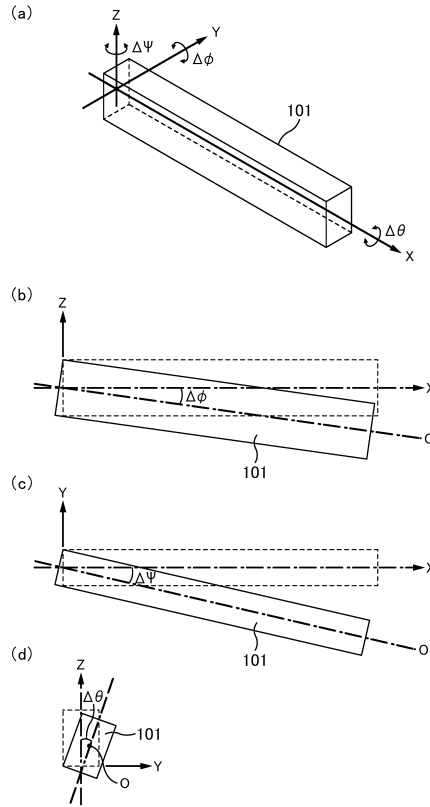
40

50

【 7 】



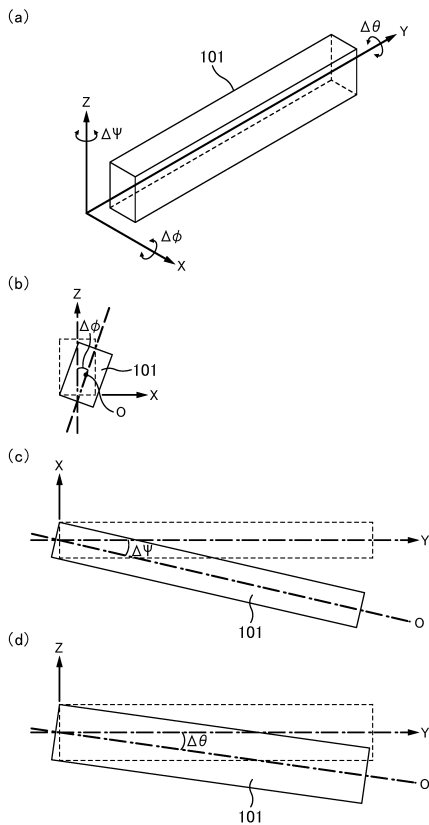
【 8 】



10

20

【 9 】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平5 - 113038 (JP, A)
特開2004 - 243215 (JP, A)
特開平8 - 16225 (JP, A)
特開2003 - 114706 (JP, A)
特開2018 - 144165 (JP, A)
特表2017 - 537808 (JP, A)
特開2018 - 119295 (JP, A)
特開2017 - 155563 (JP, A)
特開2014 - 91925 (JP, A)
特開2014 - 35213 (JP, A)
特開2013 - 32984 (JP, A)
特開2005 - 213972 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
E04G 21 / 16
E04F 13 / 02
B25J 13 / 08