

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6445274号
(P6445274)

(45) 発行日 平成30年12月26日 (2018. 12. 26)

(24) 登録日 平成30年12月7日 (2018. 12. 7)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 1 N 29/04	(2006. 01)	GO 1 N	29/04
B 6 4 C 1/00	(2006. 01)	B 6 4 C	1/00
B 6 4 C 1/06	(2006. 01)	B 6 4 C	1/06
B 6 4 F 5/40	(2017. 01)	B 6 4 F	5/40

請求項の数 8 外国語出願 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2014-163995 (P2014-163995)	(73) 特許権者	500520743
(22) 出願日	平成26年8月12日 (2014. 8. 12)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公開番号	特開2015-42978 (P2015-42978A)		The Boeing Company
(43) 公開日	平成27年3月5日 (2015. 3. 5)		アメリカ合衆国、60606-2016
審査請求日	平成29年8月2日 (2017. 8. 2)		イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(31) 優先権主張番号	13/975, 599	(74) 代理人	100086380
(32) 優先日	平成25年8月26日 (2013. 8. 26)		弁理士 吉田 稔
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100103078
			弁理士 田中 達也
		(74) 代理人	100130650
			弁理士 鈴木 泰光
		(74) 代理人	100135389
			弁理士 臼井 尚

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スtringの非破壊検査のための装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

支持構造体と、

前記支持構造体に枢動自在かつ摺動自在に結合された第1大シャフトと、

前記第1大シャフトの一端に取り付けられた第1可撓性継手と、

前記第1可撓性継手に取り付けられた第1トランスデューサホルダーと、

前記第1トランスデューサホルダーによって保持された第1トランスデューサアレイと

、
前記第1トランスデューサホルダーに取り付けられた第1センタリング機構と、を備えた装置であって、前記第1センタリング機構が、

前記第1トランスデューサホルダーによって両端を支持された第1および第2小シャフトと、

前記第1および第2小シャフトにそれぞれ摺動自在に結合された第1および第2 枢動 / 摺動機構と、

前記第1および第2 枢動 / 摺動機構にそれぞれ枢結された第1および第2の4リンクセンタリングガイドアセンブリと、を含む、装置。

【請求項 2】

前記第1 枢動 / 摺動機構が第1ベアリングと第1枢支ピンとを含み、かつ前記第2 枢動 / 摺動機構が第2ベアリングと第2枢支ピンとを含み、前記第1および第2小シャフトが前記第1および第2ベアリング内でそれぞれ摺動自在であり、かつ前記第1および第2の

4リンクセンタリングガイドアセンブリが前記第1および第2枢支ピンにそれぞれ枢結された、請求項1に記載の装置。

【請求項3】

前記第1および第2の4リンクセンタリングガイドアセンブリの各々が、前記第1および第2枢動/摺動機構にそれぞれ枢結された第1および第2上部センタリングガイドと、前記第1および第2上部センタリングガイドにそれぞれ枢結され、かつ相互に枢結された第1および第2下部センタリングガイドとを含む、請求項1に記載の装置。

【請求項4】

前記第1トランスデューサアレイが前記第1および第2の4リンクセンタリングガイドアセンブリの間に配置された、請求項1に記載の装置。

10

【請求項5】

前記支持構造体に枢動自在かつ摺動自在に結合された第2大シャフトと、前記第2大シャフトの一端に取り付けられた第2可撓性継手と、前記第2可撓性継手に取り付けられた第2トランスデューサホルダーと、前記第2トランスデューサホルダーによって保持された第2トランスデューサアレイと、前記第2トランスデューサホルダーに取り付けられた第2センタリング機構と、をさらに備えており、

前記第2センタリング機構が、

前記第2トランスデューサホルダーによって両端を支持された第1および第2小シャフトと、

20

前記第2トランスデューサホルダーの第1および第2小シャフトにそれぞれ摺動自在に結合された第1および第2枢動/摺動機構と、

前記第2センタリング機構の第1および第2枢動/摺動機構にそれぞれ枢結された第1および第2の4リンクセンタリングガイドアセンブリと、を含む、請求項1に記載の装置。

【請求項6】

前記第1トランスデューサアレイが凹状湾曲形状を有し、前記第2トランスデューサアレイが直線状であり、かつ前記第1および第2トランスデューサアレイは、前記第1トランスデューサアレイが補剛材の下部外側曲面に対向したときに、前記第2トランスデューサアレイが補剛材の側面に対向するように配設された、請求項5に記載の装置。

30

【請求項7】

前記第1および第2トランスデューサアレイの各々が凹状湾曲形状を有し、かつ前記第1および第2トランスデューサアレイは、前記第1トランスデューサアレイが補剛材の第1下部外側曲面に対向したときに、前記第2トランスデューサアレイが補剛材の第2下部外側曲面に対向するように配設された、請求項5に記載の装置。

【請求項8】

前記第1および第2トランスデューサアレイの各々が直線状であり、かつ前記第1および第2トランスデューサアレイは、前記第1トランスデューサアレイが補剛材の第1側面に対向したときに、前記第2トランスデューサアレイが補剛材の第2側面に対向するように配設された、請求項5に記載の装置。

40

以上

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、一般的に非破壊検査設備および方法に関し、さらに詳しくは、複合材料製の構造体を検査するための方法および装置に関する。

【背景技術】

【0002】

構造体の非破壊検査は、構造体を損傷することなく、あるいは構造体を大幅に分解する

50

必要なく、構造体を徹底的に調べることを含む。非破壊検査は航空機産業界で通常、構造体にどんな種類でも内部または外部の損傷または欠陥が無いか、航空機の構造体を検査するために使用される。非破壊検査はまた、航空機の構造部品の初期製作中にも使用される。それは、部品が正しく製作されたこと、および異物が部品内に埋め込まれていないことを確実にするために使用される。検査は、構造体の製造中および/または構造体が運航を始めた後に実行することができる。

【0003】

非破壊検査(NDI)は航空機の補剛複合部品に実行されることもある。補剛部品の補剛材は、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)のような複合材料で作ることができる。複合胴体に取り付けられた複合ストリングは、そのような補剛材の一例にすぎない。

10

【0004】

補剛部品の品質は、超音波試験によって非破壊的に決定することができる。補剛部品は、それぞれの超音波トランスデューサアレイを保持する1つ以上のシューを含むプローブによって、超音波検査することができる。NDI実行中に、シューは補剛部品のそれぞれの外面に圧接され、トランスデューサは(例えば水を用いて)補剛部品に音響結合され、プローブは補剛部品の長さに沿って漸次移動する。プローブが移動するにつれて、トランスデューサアレイはパルス/エコーモードで動作してパルス超音波を発生し、それは補剛部品に伝搬する。反射した超音波はトランスデューサアレイに戻ってそれにより検出され、補剛部品における亀裂、孔隙、層間剥離等の存在を示すデータを提供する。トランスデューサアレイによって取得されたデータは一般的にコンピュータシステムによって処理され、処理されたデータは、コンピュータモニタを介してユーザに提示することができる。データ取得装置およびデータ処理ソフトウェアは、検査中の構造体、例えばハットストリングの画像表現としてデータを、有資格検査員による検査を可能にするように検査に対応する色および/またはグラフィカルデータを補足して、コンピュータモニタ上に表示するなど、検査データの収集および表示のために使用することができる。

20

【0005】

典型的なNDIプローブは、検査を受ける表面に近接して配置されるセンシング素子、例えば超音波トランスデューサを有する。多くの場合、被検査部品は異なる形状および向きの複数の表面を有し、複数のトランスデューサアレイを使用する必要がある。これは、構造体の検査をより迅速かつ効率的に進め、それによって検査に関連するコストを低減することを可能にする。通常、異なる構造体は、トランスデューサの位置合わせ(構造体の表面に対する位置および向き)および構造体全体の走査範囲を達成するように特別に設計された、それぞれのトランスデューサアレイを使用して検査される。

30

【0006】

航空宇宙産業は、熟練工による手作業製造から自動機械の使用に移行してきた。これは、複合構造体の非破壊検査の分野では特にあてはまる。手動および半自動検査技術に代わるものとして、自動検査システムが開発されてきた。そのようなシステムは通常、NDIエンドエフェクタ(end effector)を被検査部品に沿って走査するマニピュレータ(例えばオーバヘッドガントリ、多軸スキャナ、またはロボット)を使用する。パルスエコー超音波検査のような片側検査法の場合、6自由度を有する単腕ロボット装置はロボットアームの端部に取り付けられたパルスエコー超音波検査装置のようなNDIエンドエフェクタを配置かつ移動させるために使用される。被検査部品は、軸線を中心に回転可能なホルダーに装着することができる。したがって、合計して8自由度は部品の完全な検査を可能にする。8自由度は、被検査部品のデジタルモデルから生成される軌跡に従って、ロボット制御装置によって制御される。

40

【0007】

両コーナー部が丸みを帯びた台形状の外形を有する胴体および主翼ボックスの補剛材(「ハットストリング(hat stringers)」としても知られる)を検査するために、様々なシステムが使用されてきた。一部のシステムは、コーナー部およびコーナー部をつなぐ中央キャップ部をそれぞれ検査するために使用される3つのトランスデューサを有する。各ト

50

ランスデューサは、それ自体の超音波セットアップ技術およびそれ自体のNDI要件を有しており、該要件は満たされなければならない。3つのランスデューサアレイからのデータを継ぎ合せて、連続C走査データ画面を提供する必要がある。ストリングキャップを検査するためのそのような3ランスデューサシステムは大型、高価、かつ複雑な構成を有し、丸みを帯びたキャップストリングの検査に最適ではない。

【0008】

上述のシステムはさらに、下部外側曲面(LOR)およびストリング側面(SS)のNDI用に4つのランスデューサアレイを装備することができる。そのような7ランスデューサシステムでは、ロボットは、キャップおよびコーナー部を走査する3つのランスデューサアレイを位置合わせされた状態に維持するが、LORおよびSS用の他のランスデューサアレイは、それらの位置決めを妨げる多くの寸法因子の影響を受ける。それらは、次のような変動要素、すなわちストリングの高さ、ストリングの厚さ、胴体プライドロップ(fuselage ply drops)、非対称ストリング断面、およびプロセス上の問題による不規則な表面状態(多孔性、樹脂気泡等)に適應することができなければならない。LORおよびSSランスデューサアレイが、上記の変数に適切に順應することができなければ、再走査を実行することが必要になる。

10

【0009】

補剛材の再走査を低減または排除して、1回の連続NDI手順で丸みを帯びたキャップ補剛材を検査するための自己位置合わせ自動システムを提供することは、有益であろう。

【発明の概要】

20

【0010】

以下で詳細に開示する対象は、丸みを帯びたキャップを有する中空長尺構造体(以下、「丸みを帯びた構造体」)の長さに沿ったセンサ群の移動に連動する、NDIセンサの自己位置合わせのための手段を有するマルチセンサNDIシステムに向けられる。例証のために、NDIセンサがそれぞれの超音波ランスデューサアレイであり、かつ丸みを帯びた構造体が胴体に取り付けられる丸みを帯びたキャップストリングである実施形態について記載する。しかし、本書の教示は、他の丸みを帯びた構造体および複合材料のNDIに適した他の種類のセンサにも適用される。

【0011】

丸みを帯びた形状を有する胴体ストリングのような大半径の複合構造体(例えば黒鉛エポキシ製)のNDIのための装置を提供する。本書に開示する実施形態によると、装置は、丸みを帯びたキャップストリングのいわゆる「キャップ」を完全に網羅する円筒状集束を備えた大半径湾曲超音波ランスデューサアレイ(例えば64ランスデューサ素子)を含む。このランスデューサアレイは、最適セットアップのためにストリングの高さおよび軸線方向の調節を行う。この最適セットアップおよび時間補正利得を使用することによって、セットアップを調整または変更することなく、複合ストリングの丸みを帯びたキャップを非破壊検査することができる。特に、装置の設計は、1つのセットアップを使用して、プライが(例えば5つから12のプライに)変化する丸みを帯びたキャップストリングのキャップを走査することを可能にする。これは、キャップのNDIのために利得を調整しあるいは複数のNDI手順を有する必要をなくす。また、ストリングのキャップを検査するときにランスデューサの数を3から1に低減させる。一実施例によると、このプローブは、ストリングに対するランスデューサアレイの法線性を維持するために、厳密な位置合わせのためのステンレス鋼の機械的摺動体を利用する。このプローブはまた、バブラ構成への水の流入を低減するために低減水コラムを有する。このプローブ構成は、複合部品の走査を容易にするために、どの向きにでも使用することができる。このプローブは、複合構造体を回転させる必要なく、ストリングのNDIを可能にする。

30

40

【0012】

丸みを帯びたキャップストリングの上部キャップ曲面(UCR)のNDIのための大半径凹状湾曲ランスデューサアレイを有することに加えて、本書に開示する実施形態はさらに、下部外側曲面(LOR)のNDIのための2つの小半径凸状湾曲ランスデューサ

50

アレイ、およびストリング側面（SS）のNDIのための2つの直線トランスデューサアレイを備える。5つのトランスデューサアレイは、トランスデューサアレイの位置決め（すなわち位置および向き）の適切な調整を容易にするそれぞれの応従性アセンブリによって支持される。それぞれのトランスデューサアレイおよびそれらの応従性支持装置を本書ではトランスデューサアセンブリという。UCRトランスデューサアセンブリはヨークに枢結され、次にヨークは主構造板に取り付けられる。LORおよびSSトランスデューサアセンブリは主構造板のそれぞれのコーナー部に装着される。ヨークおよび主構造板は両方ともロボットインタフェース板／アセンブリに接続される。

【0013】

丸みを帯びたキャップストリングのNDI中に、ロボットはUCRトランスデューサアレイを位置合わせされた状態に維持する。本書に開示するLORおよびSSトランスデューサアセンブリは、ストリングの寸法、胴体ブライドロップ、非対称ストリング断面、およびプロセス上の問題による不規則な表面状態（多孔性、樹脂気泡等）における上述した変動に適応することができる。さらに詳しくは、LORおよびSSトランスデューサアセンブリは、LORおよびSSトランスデューサアレイが上述した変動に適応することを可能にする、内蔵センタリング機構を含む。

【0014】

本書に開示する対象の一態様は、支持構造体と、支持構造体に枢動自在かつ摺動自在に結合された大シャフト（主シャフト）と、大シャフトの一端に取り付けられた可撓性継手と、可撓性継手に取り付けられたトランスデューサホルダーと、トランスデューサホルダーによって保持されたトランスデューサアレイと、トランスデューサホルダーに取り付けられたセンタリング機構とを備えた装置である。

【0015】

一つの実例によると、センタリング機構は、トランスデューサホルダーによって両端を支持された第1および第2小シャフト（副シャフト）と、第1および第2小シャフトにそれぞれ摺動自在に結合された第1および第2枢動／摺動機構と、第1および第2枢動／摺動機構にそれぞれ枢結された第1および第2の4リンクセンタリングガイドアセンブリとを含む。第1枢動／摺動機構は第1ベアリングと第1枢支ピンとを含む一方、第2枢動／摺動機構は第2ベアリングと第2枢支ピンとを含み第1および第2小シャフトはそれぞれ第1および第2ベアリング内で摺動自在であり、かつ第1および第2の4リンクセンタリングガイドアセンブリは第1および第2枢支ピンにそれぞれ枢結される。第1および第2の4リンクセンタリングガイドアセンブリの各々は、第1および第2枢動／摺動機構にそれぞれ枢結された第1および第2上部センタリングガイドと、第1および第2上部センタリングガイドにそれぞれ枢結されかつ相互に枢結された第1および第2下部センタリングガイドとを含む。センタリング機構はさらに、第1および第2下部センタリングガイドに転動自在に結合されたそれぞれの複数の転動要素を含む。トランスデューサアレイは、第1および第2の4リンクセンタリングガイドアセンブリの間に配置される。装置はさらに、前記支持構造体に枢動自在かつ摺動自在に結合された第2大シャフト（主シャフト）と、前記第2大シャフトの一端に取り付けられた第2可撓性継手と、前記第2可撓性継手に取り付けられた第2トランスデューサホルダーと、前記第2トランスデューサホルダーによって保持された第2トランスデューサアレイと、前記第2トランスデューサホルダーに取り付けられた第2センタリング機構とを含むことができる。装置は、前記第1トランスデューサアレイが凹状湾曲形状を有し、前記第2トランスデューサアレイが直線状であり、かつ前記第1トランスデューサアレイが補剛材の下部外側曲面に対向したときに前記第2トランスデューサアレイが補剛材の側面に対向するように、前記第1および第2トランスデューサアレイが配設されて成る装置であることが有利である。装置は、前記第1および第2トランスデューサアレイの各々が凹状湾曲形状を有し、かつ前記第1トランスデューサアレイが補剛材の第1下部外側曲面に対向したときに前記第2トランスデューサアレイが補剛材の第2下部外側曲面に対向するように、前記第1および第2トランスデューサアレイが配設されて成る装置であることが有利である。装置は、前記第1および第2トラ

10

20

30

40

50

ンスデューサアレイの各々が直線状であり、かつ前記第1トランスデューサアレイが補剛材の第1側面に対向したときに前記第2トランスデューサアレイが補剛材の第2側面に対向するように、前記第1および第2トランスデューサアレイが配設されて成る装置であることが有利である。

【0016】

開示する対象の別の態様は、軸線を有する第1支持構造体であって、軸線に対し垂直に配置された平板および平板に固定結合されかつ矩形のそれぞれのコーナー部に配置された第1ないし第4スリーブを含む第1支持構造体と、第1ないし第4スリーブにそれぞれ着座する第1ないし第4ベアリングと、第1ないし第4ベアリングにそれぞれ枢動自在かつ変位自在に結合された第1ないし第4大シャフト（主シャフト）と、第1ないし第4大シャフトのそれぞれの端にそれぞれ取り付けられた第1ないし第4可撓性継手と、第1ないし第4可撓性継手にそれぞれ取り付けられた第1ないし第4トランスデューサホルダーと、第1ないし第4トランスデューサホルダーにそれぞれ取り付けられた第1ないし第4トランスデューサアレイと、第1ないし第4トランスデューサホルダーにそれぞれ取り付けられた第1ないし第4センタリング機構とを備えた装置である。

10

【0017】

一つの実例によると、第1ないし第4センタリング機構の各々は、第1ないし第4トランスデューサホルダーのそれぞれによって両端を支持された第1および第2小シャフト（副シャフト）と、第1および第2小シャフトにそれぞれ摺動自在に結合された第1および第2枢動/摺動機構と、第1および第2枢動/摺動機構にそれぞれ枢結された第1および第2の4リンクセンタリングガイドアセンブリとを含む。第1枢動/摺動機構の各々は第1ベアリングおよび第1枢支ピンをそれぞれ含み、第2枢動/摺動機構の各々は第2ベアリングおよび第2枢支ピンをそれぞれ含み、第1および第2小シャフトは第1および第2ベアリング内でそれぞれ摺動自在であり、かつ第1および第2の4リンクセンタリングガイドアセンブリは第1および第2枢支ピンにそれぞれ枢結される。第1および第2の4リンクセンタリングガイドアセンブリの各々は、第1および第2枢動/摺動機構にそれぞれ枢結された第1および第2上部センタリングガイドと、第1および第2上部センタリングガイドにそれぞれ枢結されかつ相互に枢結された第1および第2下部センタリングガイドとを含む。第1ないし第4トランスデューサアレイは、それぞれの第1および第2の4リンクセンタリングガイドアセンブリの間にそれぞれ配置することができる。

20

30

【0018】

第1および第2トランスデューサアレイの各々は凹状湾曲形状を有し、第3および第4トランスデューサアレイの各々は直線状であり、第1ないし第4トランスデューサアレイは、第1トランスデューサアレイが補剛材の第1外側曲面に対向したときに、第2トランスデューサアレイが補剛材の第2外側曲面に対向し、第3トランスデューサアレイが補剛材の第1側に対向し、かつ第4トランスデューサアレイが補剛材の第2側に対向するように、配設される。

【0019】

装置はさらに、第1支持構造体の第2支持構造板に固定結合された第2支持構造体と、第2支持構造体に枢結された第5トランスデューサホルダーと、第5トランスデューサホルダーによって保持された第5トランスデューサアレイとを備えることができ、第5トランスデューサアレイは、第1トランスデューサアレイが補剛材の第1外側曲面に対向したときに、補剛材の丸みを帯びたキャップの検査（interrogation）を可能にする十分な長さの凹状湾曲形状を有する。

40

【0020】

さらなる態様は、外板構造体と、外板構造体に取り付けられた補剛材であって、複合材料から作られ、キャップと、キャップに接続された第1および第2側面と、第1および第2側面にそれぞれ接続された第1および第2下部外側曲面とを含む補剛材と、アームを備えたマニピュレータと、アームに結合された超音波検査プローブとを備えたシステムである。超音波検査プローブは、マニピュレータのアームに結合されたプローブ支持構造体で

50

あって、平板および平板に固定結合されかつ矩形のそれぞれのコーナー部に配置された第1ないし第4支持要素を含むプローブ支持構造体と、第1ないし第4支持要素に枢動自在かつ変位自在に結合された第1ないし第4トランスデューサアセンブリとを含み、第1ないし第4トランスデューサアセンブリの各々は、それぞれのトランスデューサホルダーと、それぞれのトランスデューサホルダーによって保持されたそれぞれのトランスデューサアレイと、それぞれのトランスデューサホルダーに取り付けられたそれぞれのセンタリング機構と、を含む。第1および第2トランスデューサアセンブリのトランスデューサアレイは凹状湾曲形状を有し、補剛材の第1および第2下部外側曲面にそれぞれ音響結合される一方、第3および第4トランスデューサアセンブリのトランスデューサアレイは直線状であり、補剛材の第1および第2側面にそれぞれ音響結合される。

10

【0021】

前段落に記載したシステムはさらに、プローブ支持構造体に枢結された第5トランスデューサアセンブリを備えることができ、第5トランスデューサアセンブリは前記補剛材の丸みを帯びたキャップに音響結合されたトランスデューサアレイを含み、第5トランスデューサアレイは、補剛材の第1側面またはその付近から補剛材の第2側面またはその付近まで、丸みを帯びたキャップの検査を可能にする十分な長さの凹状湾曲形状を有する。

【0022】

さらに別の態様は、外板構造体と、外板構造体に取り付けられた補剛材であって、複合材料から作られ、かつ丸みを帯びたキャップと、丸みを帯びたキャップに接続された第1および第2側面と、第1および第2側面にそれぞれ接続された第1および第2下部外側曲面とを含む補剛材と、アームを含むマニピュレータと、アームに結合された超音波検査プローブとを備えたシステムである。超音波検査プローブは、マニピュレータのアームに結合されたプローブ支持構造体と、プローブ支持構造体に枢結された第1トランスデューサアセンブリとを含み、第1トランスデューサアセンブリは、補剛材の丸みを帯びたキャップに音響結合された第1トランスデューサアレイを含む。第1トランスデューサアレイは、補剛材の第1側面またはその付近から補剛材の第2側面またはその付近まで、丸みを帯びたキャップの検査を可能にする十分な長さの凹状湾曲形状を有する。一実施例では、プローブ支持構造体は、マニピュレータのアームに結合された主構造板と、主構造板に取り付けられたヨークとを含み、第1トランスデューサアレイはヨークに枢結される。

20

【0023】

システムはさらに、プローブ支持構造体に枢動自在かつ摺動自在に結合された大シャフト(主シャフト)と、大シャフトの一端に取り付けられた可撓性継手と、可撓性継手に取り付けられたトランスデューサホルダーと、トランスデューサホルダーによって保持された第2トランスデューサアレイと、トランスデューサホルダーに取り付けられたセンタリング機構とを含む第2トランスデューサアセンブリを備えることができる。一実施例では、センタリング機構は、トランスデューサホルダーによって両端を支持された第1および第2小シャフト(副シャフト)と、第1および第2小シャフトにそれぞれ摺動自在に結合された第1および第2枢動/摺動機構と、第1および第2枢動/摺動機構にそれぞれ枢結された第1および第2の4リンクセンタリングガイドアセンブリとを含む。枢動/摺動機構は第1ベアリングおよび第1枢支ピンを含むことができ、前記第2枢動/摺動機構は第2ベアリングおよび第2枢支ピンを含むことができ、前記第1および第2小シャフトは前記第1および第2ベアリング内でそれぞれ摺動自在であり、かつ前記第1および第2の4リンクセンタリングガイドアセンブリは前記第1および第2枢支ピンに枢結される。前記第1および第2の4リンクセンタリングガイドアセンブリの各々は、前記第1および第2枢動/摺動機構にそれぞれ枢結された第1および第2上部センタリングガイドと、前記第1および第2上部センタリングガイドにそれぞれ枢結され、かつ相互に枢結された第1および第2下部センタリングガイドとを含むことができる。第2トランスデューサアレイは凹状湾曲形状を有し、かつ補剛材の第1下部外側曲面に音響結合することができ、あるいは第2トランスデューサアレイは直線状であり、かつ補剛材の第1側面に音響結合することができる。丸みを帯びたキャップ、補剛材の側面および下部外側曲面のNDIのために

30

40

50

、合計して5つのトランスデューサアレイを設けることができる。

【0024】

丸みを帯びたキャップ補剛材のNDIのためのシステムおよび方法の他の態様を以下に記載する。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】外板に取り付けられた台形ストリングを含む構造体の斜視図である。

【図2】一実施形態に係る丸みを帯びたキャップ補剛材に着座したNDIプローブのデジタルモデルから抽出された概要を表す図である。

【図3】図2を抽出したのと同じデジタルモデルをプローブの下の視点から見た図である

10

。【図4】補剛材の側面のNDI用のそれぞれの直線状トランスデューサアレイを柔軟に支持する第1対のトランスデューサアセンブリを含む、図2に描かれたNDIプローブの一端を示す立面図である。

【図5】補剛材の下部外側曲面のNDI用のそれぞれの湾曲トランスデューサアレイを柔軟に支持する第2対のトランスデューサアセンブリを含む、図2に描かれたNDIプローブの他端を示す立面図である。

【図6】図5に提示されたのと同じ立面図に、図2に描かれた丸みを帯びたキャップ補剛材を加えて示す図である。

【図7A】図2に描かれた実施形態に係るSSトランスデューサアセンブリの下部を1つの視点から見た図である。

20

【図7B】図2に描かれた実施形態に係るSSトランスデューサアセンブリの下部を別の視点から見た図である。

【図8】図2に描かれた実施形態に係るLORトランスデューサアセンブリを表す図である。

【図9】図2に描かれた実施形態に係る、ヨークに枢結されたUCRトランスデューサアセンブリを表す図である。

【図10】図2に描かれたUCRトランスデューサアセンブリの下部筐体(図3参照)が省かれた状態を表す図である。

【図11】図10に示された構造体の断面図である。

30

【図12】リニア位置センサの上面図であり、プローブ支持構造体に対するトランスデューサアセンブリの変位を検出するために、4つのそのようなリニア位置センサがプローブ支持構造体に取り付けられる。

【図13A】図12に描かれたリニア位置センサと連動して使用されるピンアクチュエータの立面図である。

【図13B】図13Aに描かれたピンアクチュエータの断面図である。

【図14】ロボットによって担持されデータ収集システムと通信するプローブを含む、本発明の一実施形態に係る非破壊検査システムの斜視図である。

【図15】航空機の製造およびサービス方法のフローチャートである。

【図16】航空機のシステムを示すブロック図である。

40

【発明を実施するための態様】

【0026】

以下で図面を参照しながら説明する。異なる図における同様の要素には、同一参照番号が付されている。

【0027】

以下で、航空機の胴体用の丸みを帯びたキャップ複合ストリングを検査するための非破壊検査装置および方法の実施形態について説明する。しかし、本書で開示する装置および方法は、丸みを帯びたキャップを有する他の長尺複合補剛材を含め、非破壊検査を必要とする同様の用途にも使用することができる。

【0028】

50

ハットストリングを検査するには、通常、パルスエコー超音波（PEU）検査のような片側検査技術が要求される。しかし、ハットストリングの形状は検査を複雑にする。本書に開示するハットストリング検査装置は、断面で見たときに丸みを帯びた外形を有するハットストリングにパルスエコー検査を実行することができる。開示する実施形態は、シングルパス検査(single-pass inspection)を可能にするためにハットストリングの両側面および頂部を走査するように構成される。トランスデューサアレイは、ハットストリング全体の完全な検査を確実にするように、戦略的に配置されかつ方向付けられる。トランスデューサホルダーとも呼ばれる検査センサのための支持構造体は、ハットストリングの意図された形状および大きさに相応してトランスデューサアレイが特定の配置および向きを取るように製作することができる。

10

【0029】

図1は、2つのハットストリング110を持つ構造体の斜視図である。構造体は、構造体全体を補剛するために個々のまたは接続されたハットストリング110が取り付けられた外板112を含む。各ハットストリング110は、それぞれコーナー部124および126でキャップ114につながる傾斜した側面116および118を含む台形の構造体である。各ハットストリング110は、それぞれのコーナー部128および130でハットストリングの傾斜した側面につながるフランジ120および122で、外板112に固定される。図1に示す構造を有するハットストリングを検査するために、7個1組のトランスデューサアレイを使用する1つの手法が公知である。1つは中央キャップ部分114を検査し、2つは傾斜側面116および118を検査し、2つはキャップコーナー部124および126を検査し、2つはコーナー部128および130を検査する。本書で使用する場合、用語「コーナー部」とはアール面を指すことを理解されたい。中央キャップ部分114は、キャップコーナー部124および126をつなぐ平坦面とすることができる。

20

【0030】

本書の教示によると、ストリングの傾斜した側面が連続的に湾曲したキャップによって接続されることを意味する、丸みを帯びたキャップを有するストリング（以下、「丸みを帯びたキャップストリング」）を検査する装置を提供する。例えば、連続的に湾曲したキャップの外形は円、楕円、放物線、または他の種類の曲線の一部とすることができる。

【0031】

図2は、一実施形態に係る丸みを帯びたキャップストリング4に着座した超音波検査プローブ18を示す。丸みを帯びたキャップストリング4は外板構造体2（例えば胴体外板）に取り付けられ、それを補剛するように働く。丸みを帯びたキャップストリング4は複合材料で形成され、キャップと、キャップに接続された第1および第2傾斜側面と、第1および第2側面にそれぞれ接続された第1および第2下部外側曲面とを含む。プローブ18は、（説明のために、長尺の丸みを帯びたキャップストリング4が直線状であると想定して）丸みを帯びたキャップストリング4を長手方向に走査するために、コンピュータ制御マニピュレータ（図示せず）のアームに装着することができる。

30

【0032】

図2に示した実施形態によると、超音波検査プローブ18は、マニピュレータアーム（図示せず）に結合されたプローブ支持構造体32と、プローブ支持構造体32に枢動自在かつ変位自在に結合された4つのトランスデューサアセンブリ50a～50dを含む。プローブ支持構造体32は矩形の主構造板34と、それぞれの支持脚38a～38dにある4つの支持スリーブ36a～36dとを含む。支持脚38a～38dはそれぞれの隅梁(corner beams)40によって主構造板34のそれぞれのコーナー部に接続され、かつ複数の（すなわち4つの）側梁(side beams)42によって隣接する支持脚に接続される。主構造板34は、大きい円形中心穴44および4つの小さい円形隅穴46を有する。

40

【0033】

図2に示した実施形態では、主構造板34、支持スリーブ36a～36d、支持脚38a～38d、隅梁40、および側梁42は、単一の部品として一体的に形成される。しかし、プローブ支持構造体32は個別に形成された部品から容易に組み立てることができる

50

【 0 0 3 4 】

図 2 に示す通り、トランスデューサアセンブリ 5 0 a ~ 5 0 d は、それぞれのスリーブベアリング 4 8 によって支持スリーブ 3 6 a ~ 3 6 d に枢動自在かつ変位自在に結合される。トランスデューサアセンブリ 5 0 a および 5 0 b (以下、「SS トランスデューサアセンブリ」) は、丸みを帯びたキャップストリング 4 のそれぞれの傾斜側面を検査するために配置されるそれぞれの直線状トランスデューサアレイ (図 2 には図示せず) を含み、トランスデューサアセンブリ 5 0 c および 5 0 d (以下、「LOR トランスデューサアセンブリ」) は、凹状湾曲形状を有しかつ丸みを帯びたキャップストリング 4 のそれぞれの下部外側曲面を検査するために配置される、それぞれのトランスデューサアレイ (図 2 には図示せず) を含む。そのような検査を容易にするために、検査中は丸みを帯びたキャップストリング 4 からトランスデューサアレイを分離させるそれぞれの水コラム (図 2 には図示せず) に供給される水によって、トランスデューサアレイ 5 0 a ~ 5 0 d は丸みを帯びたキャップストリング 4 の対向部分に音響結合される。

10

【 0 0 3 5 】

プローブ 1 8 はさらに、プローブ支持構造体 3 2 に対して枢動自在なトランスデューサアセンブリ 1 0 0 (以下、「UCR トランスデューサアセンブリ」) を含む。(図 2 には UCR トランスデューサアセンブリ 1 0 0 の一部分だけが示されている)。UCR トランスデューサアセンブリ 1 0 0 は、ストリング 4 の丸みを帯びたキャップとの音響結合が可能であるように配置されるトランスデューサアレイ (図 2 には図示せず) を含む。UCR トランスデューサアレイ 1 0 0 は、ストリング 4 の一方の傾斜側面またはその付近から他方の傾斜側面またはその付近まで、丸みを帯びたキャップの検査を可能にする十分な長さの凹状湾曲形状を有する。

20

【 0 0 3 6 】

図 2 に示す実施形態では、UCR トランスデューサアセンブリ 1 0 0 は支持台 (cradle) 5 2 に枢結される。支持台 5 2 はクロスバー (図 2 には図示せず) に取り付けられ、クロスバーは次に主構造板 3 4 に取り付けられる。(ヨークを形成する支持台およびクロスバーに関するさらなる詳細は、後で図 9 に関連して説明する。)

図 3 は、図 2 が抽出されたのと同じデジタルモデルから作成された、プローブの下の視点から見た別の図である。上述の支持台は図 3 では省略されており、図 3 に示す UCR トランスデューサアセンブリの唯一の構成部品は下部筐体 7 4 である。下部筐体は、検査される丸みを帯びたキャップ補剛材の傾斜側面の角度と一致するように設計された角度に配置された 1 対の転動部材 7 6 および 7 8 を含む。各転動部材 7 6、7 8 はそれぞれ複数のベアリング凹部 (bearing wells) 7 5 を含む。軸を介してベアリング凹部 7 5 に回転自在に装着されるローラーベアリングは図示されない。ローラーベアリングは、プローブが補剛材に沿って移動するときに、丸みを帯びたキャップ補剛材のそれぞれの傾斜側面で平行に転動するように配置される。下部筐体 7 4 の底面は、下部筐体 7 4 が丸みを帯びたキャップストリングに沿って移動することを可能にする、丸みを帯びた形状を有する。下部筐体 7 4 は、ころがりベアリングが補剛材の傾斜側面上を転動するときに上部キャップ曲面を検査するための凹状湾曲トランスデューサアレイ (図 3 には図示せず) の下に位置する水コラム (water column) 8 0 を含む。

30

40

【 0 0 3 7 】

再び図 2 に注意を向けると、トランスデューサアセンブリ 5 0 a ~ 5 0 d の各々は、プローブ支持構造体 3 2 に対してそれ自体の軸線に沿って変位可能でありかつ当該軸線を中心に枢動自在である、それぞれのシャフト 6 0 を含む。各シャフト 6 0 は、それぞれのスリーブベアリング 4 8 内で摺動かつ回転する。シャフト 6 0 は、それぞれの可撓性継手 6 2 およびそれぞれのトランスデューサホルダー 6 4 または 6 6 によって、それぞれのセンタリング機構 6 8 に結合される。各可撓性継手 6 2 は、ばねとして働くつる巻きコイルを中央部に形成するように、アルミニウム管の長さに切り込まれた螺旋状スロットを有するアルミニウムロッドの形をとることができる。継手の中央部分によって可能になる撓みは

50

、取り付けられたシャフト 60 とトランスデューサホルダー 64 または 66 との間の角度、平行、および軸線方向の不整合を許容する。そのような可撓性継手は Lovejoy, Inc. (米国イリノイ州ダウナーズグローブ) から市販されている。

【0038】

トランスデューサアセンブリ 50 a ~ 50 d について、図 4 および図 5 を参照しながら以下でさらに詳しく説明する。図 4 および図 5 は、図 2 に描かれた NDI プロブの両端部の立面図である。プロブの一端(図 4 に示す)には、補剛材の側面の NDI 用のそれぞれの直線状トランスデューサアレイを柔軟に支持する 1 対のトランスデューサアセンブリ 50 a、50 b が装備される。プロブの他端(図 5 に示す)には、補剛材の下部外側半径の NDI 用のそれぞれの凸状湾曲トランスデューサアレイを柔軟に支持する 1 対のトランスデューサアセンブリ 50 c、50 d が装備される。

10

【0039】

図 4 を参照すると、トランスデューサアセンブリ 50 a および 50 b の各々はさらに、それぞれのトランスデューサホルダー 64 を含む。各トランスデューサホルダー 64 は、それぞれの水ノズル接続部 86 と、そこに形成されたそれぞれの水コラム 82 (図 3 に示す)を有するそれぞれのシュー 70 とを含む。図 4 に示す実施形態によると、水ノズル接続部およびシューは、センタリング機構を支持するトランスデューサホルダーの他の部品と共に一体的に形成される。代替的に、機能的に同等の構成を有するトランスデューサホルダーを、個別の構成部品から組み立てることもできる。水ノズル接続部 86 は水コラムと流体連通し、検査中にそれぞれの直線状超音波トランスデューサアレイ 71 を補剛材のそれぞれの傾斜側面に音響結合するために、水コラムへの水の供給を可能にする。直線状トランスデューサアレイ 71 はそれぞれ、シュー 70 の内部に設置される。直線状トランスデューサアレイ 71 の頂部から出る電気ケーブルコネクタ 98 は、それぞれの直線状トランスデューサアレイ 71 からそれぞれの電気ケーブル(図 4 には図示せず)への電氣的接続を容易にする。

20

【0040】

図 5 を参照すると、トランスデューサアセンブリ 50 c および 50 d の各々はさらに、それぞれのトランスデューサホルダー 66 を含む。各トランスデューサホルダー 66 は、それぞれの水ノズル接続部 86 と、そこに形成されたそれぞれの水コラム 84 (図 3 に示す)を有するそれぞれのシュー 72 とを含む。水ノズル接続部 86 は水コラムと流体連通し、検査中にそれぞれの凹状湾曲トランスデューサアレイ(図 5 には図示せず)を補剛材のそれぞれの下部外側曲面に音響結合するために、水コラムへの水の供給を可能にする。キャップおよびキャップ係止部はシュー 72 内に水を含み、水流を低減する。凹状湾曲トランスデューサアレイはそれぞれ、シュー 72 の内部に設置される。シュー 72 の側面から出る電気ケーブルコネクタ 98 は、それぞれの凹状湾曲トランスデューサアレイからそれぞれの電気ケーブル(図 5 には図示せず)への電氣的接続を容易にする。

30

【0041】

再び図 2 を参照すると、トランスデューサアセンブリ 50 a および 50 b の各々はさらに、それぞれのトランスデューサホルダー 64 に取り付けられたそれぞれのセンタリング機構 68 を含む。図 4、図 7 A、および図 7 B に示す実施例によると、各センタリング機構 68 は、トランスデューサホルダー 64 のそれぞれの相互に対向するクロス部材によって両端を支持された第 1 および第 2 小シャフト(副シャフト) 90 と、第 1 および第 2 小シャフト 90 にそれぞれ摺動自在に結合された第 1 および第 2 枢動/摺動機構 88 と、第 1 および第 2 枢動/摺動機構 88 にそれぞれ枢結された第 1 および第 2 の 4 リンク(94 a、94 b、96 a、96 b)センタリングガイドアセンブリとを含む。加えて、それぞれのトランスデューサホルダー 64 の最上部横部材とそれぞれの枢動/摺動機構 88 との間に延びるシャフト 90 の部分は、枢動/摺動機構 88 をトランスデューサホルダー 64 の最上部横部材から遠ざけるように付勢するそれぞれの圧縮ばね 92 によって包囲される。

40

【0042】

50

図7Aおよび図7Bに最も分かり易く示す通り、各枢動/摺動機構88は、ベアリング102と、枢支ピン106と、ベアリング102および枢支ピン106の一端の両方を支持するベアリング支持体104とを含む。さらに詳しくは、ベアリング支持体104には、2つの部分、すなわち比較的大きい直径を有しベアリング102が着座する第1部分と、それぞれの小シャフト90を通すために比較的小さい直径を有する第2部分とを有する、第1の円筒状穴が作製される。ベアリング支持体104はさらに、それぞれの枢支ピン106の一端を受容する第2円筒状穴を含む。一実施例では、枢支ピン106の軸線は、シャフト90の軸線に対し垂直である。この構成では、各ベアリング102はそれぞれのシャフト90に変位自在に結合され、枢動/摺動機構88がシャフト90に沿って上下に摺動することを可能にする。

10

【0043】

補剛材側面を検査するための直線状トランスデューサアレイを担持するトランスデューサアセンブリの下部を示す図7Aおよび図7Bに関連して、枢動/摺動機構88を説明したが、下部外側曲面を検査するための凸状湾曲トランスデューサアレイを担持するトランスデューサアセンブリに組み込まれた枢動/摺動機構も同じ構成を有することができる。

【0044】

図7Aおよび図7Bはまた、直線状トランスデューサアレイを担持するトランスデューサアセンブリの4リンクセンタリングガイドアセンブリの構造をも示す。下部外側曲面を検査するための凸状湾曲トランスデューサアレイを担持するトランスデューサアセンブリの4リンクセンタリングガイドアセンブリの構造は類似しているが、同一ではない。各トランスデューサアセンブリは2つの4リンクセンタリングガイドアセンブリを有する。プローブの四隅にある4つのトランスデューサアセンブリ用の4リンクセンタリングガイドアセンブリは、走査中にプローブが補剛材の長さに沿って移動しているときに、同じ原理で動作する。

20

【0045】

各4リンクセンタリングガイドアセンブリは、1対の上部センタリングガイド94a、94bおよび1対の下部センタリングガイド96a、96bを含む。上部センタリングガイド94a、94bの上端はそれぞれの枢支ピン106に枢結される(図7B参照)。上部センタリングガイド94a、94bの下端はそれぞれ下部センタリングガイド96a、96bの上端に枢結される(図7A参照)。下部センタリングガイド96a、96bの下端は相互に枢結される(図7A参照)。各直線状トランスデューサアレイ71は、それぞれのトランスデューサアセンブリの第1および第2の4リンクセンタリングガイドアセンブリの間に配置される。これらの枢結は、下部センタリングガイド94aおよび94bの間の角度が補剛材フランジと補剛材の両側の傾斜側面との間の角度と一致する、調整可能な四辺形のセンタリング構造体をもたらし、トランスデューサアレイが二等分角と位置合わせすることを可能にする。センタリング機構はさらに、第1および第2下部センタリングガイド96aおよび96bに転動自在に結合されたそれぞれの複数の転動要素140を含む(図7A参照)。センタリング機構は、プローブが補剛材の長さに沿って移動中にストリングの角度および/または厚さが変化する状況で、個別の角度位置合わせを達成する。

30

40

【0046】

図4に戻ると、枢動/摺動機構88の動作は、ストリング側面角度に対する胴体IMLの可変性に備えるものである。胴体は一定半径の構造体ではないので、これは胴体の可変半径を考慮に入れている。それは胴体構造の長さに沿っても可変である。枢動/摺動機構によるセンタリングの動作はまた、SSトランスデューサアセンブリ50aおよび50bの場合、各直線状トランスデューサアレイをそれぞれのストリングの側面上で正しい位置に維持する。この機構はまた、図6に示す通り、優れたデータ収集を確実にするように、LORトランスデューサアセンブリ50cおよび50dの各凹状湾曲トランスデューサアレイを、補剛材のそれぞれの下部外側曲面と位置合わせされた状態に維持する。

【0047】

50

図 8 は、図 2 に描かれた実施形態に係る L O R トランスデューサアセンブリ 5 0 c を示す。L O R トランスデューサアセンブリ 5 0 c は、プローブ支持構造体 3 2 (図 2 に示す) に対してそれ自体の軸線に沿って変位可能かつそれ自体の軸線を中心に枢動可能であるシャフト 6 0 を含む。シャフト 6 0 はスリーブベアリング 4 8 内で摺動かつ回転する。シャフト 6 0 の回転は、軸回転限度 (例えば $\pm 5 \sim 10$ 度) に達するとプローブ支持構造体 3 2 (図 2 参照) に衝突するキーパ (keeper) 1 2 2 によって制限される。シャフト 6 0 は、可撓性継手 6 2 およびトランスデューサホルダー 6 6 によって、1 対の 4 リンク (9 4 a、9 4 b、9 6 a、9 6 b) センタリングガイドアセンブリに結合される。可撓性継手 6 2 によって可能になる撓みは、シャフト 6 0 とトランスデューサホルダー 6 6 との間の角度、平行、および軸線方向の不整合を許容する。

10

【 0 0 4 8 】

再び図 2 を参照すると、各シャフト 6 0 の軸線方向変位は、それぞれの支持脚 3 8 a ~ 3 8 d に固定されたそれぞれのリニア位置センサ 1 2 4 によって測定される。リニア位置センサ 1 2 4 はソフト電位差計 (soft potentiometer) の形を取ることができる。付属部品 1 2 0 に形成された穴にねじ込まれた圧力接点を有するそれぞれの付属部品 1 2 0 は、それぞれのシャフト 6 0 の上端に取り付けられる。各リニア位置センサ 1 2 4 は、それぞれの付属部品 1 2 0 の圧力接点が移動した距離を検知する。

【 0 0 4 9 】

図 1 2 に示す通り、リニア位置センサ 1 2 4 は、ポリエステル基板 1 2 6 上に 2 つの抵抗出力チャンネルおよび 1 つの電流コレクタを持つ 3 線システムである。圧力接点を頂上回路 1 2 8 に押し当てることによって、リニア位置センサ 1 2 4 は、圧力接点の線形位置を示す電気出力を生成する。圧力接点はシャフトに固定されるので、センサ出力はシャフトの軸線方向の変位をも示す。

20

【 0 0 5 0 】

一実施形態によると、圧力接点は、図 1 3 A および 1 3 B に示すピンアクチュエータ 1 5 0 の形を取る。ピンアクチュエータ 1 5 0 は、雄ねじ 1 5 4 および円筒形の穴 1 5 6 を有する筐体を含む。ピンは、穴 1 5 6 内で摺動自在のプラグ 1 6 0、および筐体から突出してリニア位置センサと接触する丸みを帯びた先端 1 5 2 を含む。シャフトが軸線方向に変位すると丸みを帯びた先端 1 5 2 は、頂上回路 1 2 8 に当接し (図 1 2 参照)、シャフトの軸線方向増分変位を示すセンサ出力信号を生成する。各シャフト 6 0 (図 2 参照) の軸線方向変位は、このようにして検出することができる。

30

【 0 0 5 1 】

セットアップ中に、各シャフトの一部を包囲するそれぞれのばね (図示せず) の圧力は、リニア位置センサの出力に応じて調整することができる。各ばねは、各シャフトの最適なセッティングおよび位置、すなわちストリング上のプローブの位置が得られるように、異なるばね定数および長さのものを選択することができる。

【 0 0 5 2 】

ストリングの傾斜側面および下部外側曲面を検査することに加えて、図 2 に示すプローブ 1 8 は同時に、ストリングの丸みを帯びたキャップを検査することができる。図 9 は、一実施形態に係る U C R トランスデューサアセンブリの様々な構成部品を示す。U C R トランスデューサアセンブリは、クロスバー 5 4 に取り付けられた支持台 5 2 を含むヨーク 5 6 によって支持される。ヨーク 5 6 (図 9 に示す) および主構造板 3 4 (図 2 に示す) は両方とも、ロボットインタフェース板 / アセンブリ (図示せず) に接続される。ロボットインタフェース板 / アセンブリは、ロボットエンドエフェクタ (後で図 1 4 に関連して説明する) の遠位端に配置される。

40

【 0 0 5 3 】

U C R トランスデューサアセンブリは、ストリングのキャップを横切って摺動するために、それぞれの内面にローラーベアリングを有する下部筐体 7 4 (前に図 5 に関連して説明した) を含む。U C R トランスデューサアセンブリはさらに、下部筐体 7 4 に結合された上部筐体 (部品 1 0 8 および 1 1 0) を含む。上部筐体は、下部筐体 7 4 から上方に突

50

出したフランジにねじ結合されたボルト 1 4 2 によって、下部筐体に対して横方向に移動させることができる。

【 0 0 5 4 】

図 1 0 および図 1 1 に最も分かり易く示す通り凸状湾曲トランスデューサアレイ 1 1 2 は、それぞれのスライダ 1 3 4 および 1 3 6 によってそれぞれ上部筐体部品 1 0 8 および 1 1 0 に対して相対的に摺動自在である、2つの治具構成部品 1 1 4 および 1 1 6 の間でそれらに取り付けられる。これは、トランスデューサアレイ 1 1 2 の垂直方向の位置の調整を可能にする。ステンレス鋼のスライダは、低ヒステリシスおよび正確な位置合わせをもたらすために使用される。上部筐体部品 1 0 8 および 1 1 0 の下方部分は、上部筐体部品 1 1 0 に形成されたマニホールド 1 4 0 によって水供給源に接続された水コラム 1 3 8 を形成する。ストリングの丸みを帯びたキャップの検査中に、トランスデューサアレイ 1 1 2 は、水が充満している水コラム 1 3 8 中に突出する。

10

【 0 0 5 5 】

図 1 1 に示す実施形態によると、トランスデューサアレイ 1 1 2 の垂直方向の位置は、上部筐体部品 1 1 0 に形成されたネジなし穴内のネジなし部分および治具構成部品 1 1 6 に形成されたネジ穴内のネジ部分を有するボルト 1 3 0 を回すことによって、手動で調整することができる。

【 0 0 5 6 】

代替実施形態によると、トランスデューサアレイ 1 1 2 の垂直方向の位置の調整は、ボルト 1 3 0 をモータ駆動リードネジ(motor-driven lead screw)と交換することによって自動化することができる。モータ駆動リードネジの一例は米国特許第8,082,793号に開示されている。

20

【 0 0 5 7 】

一実施例によると、ストリングの丸みを帯びたキャップのNDI用の凸状湾曲トランスデューサアレイは、円筒状フォーカスを持つ2インチ64要素の湾曲アレイとすることができる。ストリング側面のNDI用の直線状トランスデューサアレイは、16要素のフラットリニアアレイとすることができる。ストリングの下部外側曲面のNDI用の凹状湾曲トランスデューサアレイは、10.2mmの半径および90度の角度を有する16要素の曲面アレイとすることができる。最初の2種類のアレイはGE Inspection Technologiesから市販されている。3番目の種類のアレイはOlympusから市販されている。

30

【 0 0 5 8 】

図 1 4 は、構造体 2 0 (例えば胴体)を検査するための検査システムを示す。検査システムは、ロボット 1 0 と、データ収集システム 1 4 と、ロボットアーム 1 2 の端部に配置されかつデータ収集システム 1 4 と通信するロボットエンドエフェクタ 1 6 に装着されたプローブ 1 8 とを備える(換言すると、プローブ 1 8 はロボットエンドエフェクタ 1 6 によってロボットアーム 1 2 に結合される)。プローブ 1 8 が構造体 2 0 に沿って移動するにつれて、データは処理のためにデータ収集システム 1 4 に送信される。通常、ロボット 1 0 は自動的に制御されて、プローブ 1 8 を構造体 2 0 に近接して移動させる一方、データ収集システム 1 4 は構造体 2 0 の表面の画像を生成してプローブの応答をマッピングする。ロボット 1 0 は、構造体の傷または欠陥の検出が必須である様々な産業界、例えば航空機、自動車、または建築産業界で、任意の数の構造体を検査するために使用することができる。特に、プローブ 1 8 が図 2 に示すタイプである場合、ロボット 1 0 は、図 1 および図 2 に示すタイプの補剛材を検査するために使用することができる。

40

【 0 0 5 9 】

ロボット 1 0 は多軸運動能力を有し、ソフトウェア支援を使用して、部品の測定および検査に使用される三次元プロファイルを生成する。特に、図 1 4 に示すロボット 1 0 は基台 2 8、カルーセル(carrousel) 2 2、揺動体 2 4、ロボットアーム 1 2、およびエンドエフェクタ 1 6 を含み、これらの構成部品は複数のピボット 2 6 により回転自在に結合される。これらの構成部品の組合せにより幾つかの自由度がもたらされ、それにより今度はプローブ 1 8 を様々な位置および様々な方向に移動させることが可能になる。ロボット

50

10は、ピボット26の各々における、またはそれに関連付けられる、1つ以上の位置センサ30を含み、位置センサは、プローブ18を正確に位置決めするために、位置データ(三次元空間におけるX、Y、およびZ)をデータ収集システム14に提供する。その一例を米国特許第7,448,271号に見ることができる。例えば図14に示すロボット10は6つのピボット26を含み、各ピボットは、プローブ18の三次元位置を包括的に定義する位置符号器30を含む。プローブ18は構造体20を表すNDIデータを提供する。したがってロボット10は、構造体20の検査中に収集した位置データおよびNDIデータを使用して、欠陥の正確な位置を提供する。

【0060】

図2に示すプローブと共に使用することのできるロボット10の一例として、Kuka Roboter GmbH(ドイツ国アウグスブルグ)社製のKR 150型ロボットがあるが、プローブ18を担持しかつデータ収集システム14と通信することのできる任意のロボットまたは他のコンピュータを使用することができる。さらに、ロボット10は、位置データを収集するために任意の数のセンサ30(例えば1つ以上)を含むことができ、センサ30は、プローブ18の近接位置など、様々な位置に配置することができる。

【0061】

データ収集システム14は、位置センサ30およびプローブ18によって収集されたデータに基づいて、複雑な形状の構造体20のAスキャン、Bスキャン、およびCスキャンの画像を含め、様々な画像を生成することが可能である。さらに、データ収集システム14は、位置センサ30およびプローブ18によって収集されたデータに基づいて、三次元点群を生成することが可能である。こうして、位置データストリームをNDIデータストリームにマッピングし、点群を生成することができる。NDIデータは、数ある情報の中でも、特に構造体20における欠陥、異常、または他の不完全さに関するデータを含むことができる。

【0062】

データ収集システム14は通常、構造体20の欠陥をディスプレイ上に提示することができるように、画像作成ソフトウェアの制御下で動作するプロセッサまたは同様のコンピューティング装置を含む。プロセッサは、位置センサ30およびプローブ18によって生成されたデータを処理しかつモニタまたは他の表示装置のようなディスプレイに示される走査データの画像を作成することのできる、デスクトップ、ラップトップ、またはポータブル処理装置のようなコンピュータによって具現化することができる。データ収集システム14はデータの画像を生成し、かつ事前に作成された画像をユーザに格納および編集させることもできる。したがって、画像の永久記録を、将来使用するためまたは記録保持のために管理することができる。しかし、データ収集システムは、技術者がデータに基づいて傷の特徴を明らかにしたり、その位置を突き止めるために使用することのできる位置データおよびNDIデータを、数学的に収集かつ解析することができるので、データ収集システム14は画像を生成する必要がないことを理解されたい。

【0063】

ロボット10は通常、位置センサ30およびプローブ18によって蓄積されたデータを処理しかつ処理されたデータを表示するために、データ収集システム14と通信する。多くの場合、通信ケーブル(図14には図示せず)は、ロボット10とデータ収集システム14との間でデータを伝達する。他の実施形態では、データは、ロボット10とデータ収集システム14との間で無線通信を介して伝達することができる。ロボット10はプロセッサに直接接続することができ、あるいはネットワークを介するなど、間接的に接続することができる。さらなる実施形態では、データ収集システム14は、ロボット10に近接して配置することができるので、ロボットとデータ収集システムとの間の遠隔接続は必要ない。さらに、データがロボットによって収集されかつ処理されるように、データ収集システム14をロボット10と一体化することができることを理解されたい。

【0064】

リニアデカルト軸線プラットフォーム、回転軸線プラットフォーム、および平行運動学を使

10

20

30

40

50

用するスチュワート（Stewart）プラットホームの組合せを含め、他の種類のエンドエフェクタ位置決めシステムを使用してもよい。特定の例としてガントリ、他の種類のロボット、軌条上ロボット（robots on rail）、ポストミル型プラットホーム、およびスチュワートプラットホーム（例えば六脚）が挙げられる。これらの例の各々において、エンドエフェクタ位置決めシステムは、性能要件（例えば角度、速度、加速度、剛性、移動範囲、実用性、迅速解放結合）を満たしながら、選択されたエンドエフェクタを、その機能を実施する位置に、またはその機能を実施する経路に沿って送達するように構成される。

【0065】

上に開示したシステムおよび方法は、図16に示す航空機202の部品を検査するために、図15に示す航空機の製造およびサービス方法200で使用することができる。製造準備中に、例示的方法200は、航空機202の仕様および設計204、ならびに資材調達206を含むことができる。製造中に、航空機の202の構成部品および部分アセンブリの製造208、ならびにシステム統合210が行われる。その後、航空機202は就航214するために、認証および納品212を経る。顧客による運航中に、航空機202は定期的保守点検216（改修、再構成、改造等を含むことができる）が計画される。

10

【0066】

方法200のプロセスの各々は、システム構築業者、第三者、および/または事業者（例えば顧客）によって実行または実施することができる。本記述において、システム構築業者は非限定的に任意の数の航空機製造者および主要システム下請業者を含むことができ、第三者は非限定的に任意の数の納入業者、下請業者、および供給業者を含むことができ、かつ事業者は航空会社、リース会社、軍隊、サービス機関等を含むことができる。

20

【0067】

図16に示す通り、例示的方法200によって製造された航空機202は、複数のシステム220および内装222を備えた機体218（例えば胴体、フレーム、補剛材、主翼ボックス等を含む）を含むことができる。高レベルシステム220の例として、推進システム224、電気系統226、油圧系226、および環境管理システム230の1つ以上が含まれる。任意の数の他のシステムを含めることができる。航空宇宙例を示したが、本書に開示した原理は、自動車業界のような他の産業に適用することができる。

【0068】

本書で具現化した装置および方法は、製造およびサービス方法200の任意の1つ以上の段階で使用することができる。例えば、製造プロセス208中に製造されまたは組み立てられた構成部品または部分アセンブリは、本書に開示した検査システムを用いて検査することができる。また、航空機202の組立を実質的に促進し、あるいはコストを低減することによって、1つ以上の装置の実施形態、方法の実施形態、またはそれらの組合せを、例えば製造段階208および210で利用することができる。同様に、例えば航空機202が運用されている間に、かつ非限定的に保守点検216中に、装置の実施形態、方法の実施形態、またはそれらの組合せの1つ以上を利用することができる。

30

【0069】

様々な実施形態に関連してNDIプローブを説明したが、本書における教示の範囲から逸脱することなく、様々な変更を施すことができ、かつそれらの要素に代えて均等物を使用することができることを、当業者は理解されるであろう。さらに、本書の教示を特定の状況に適応するために、教示の範囲から逸脱することなく、多くの変形を行うことができる。したがって、特許請求の範囲を本書に開示した特定の実施形態に制限することは意図していない。

40

【 図 1 】

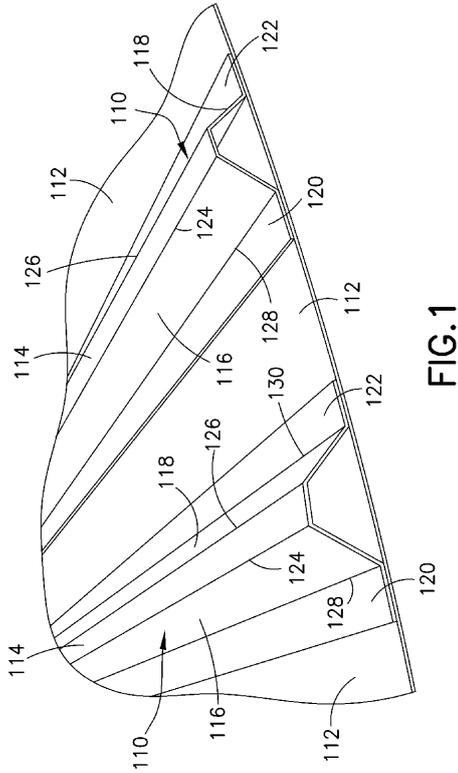


FIG.1

【 図 2 】

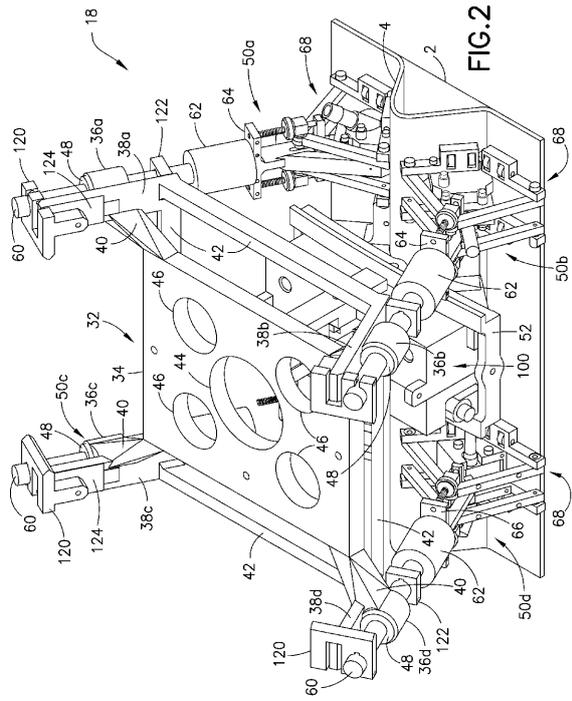


FIG.2

【 図 3 】

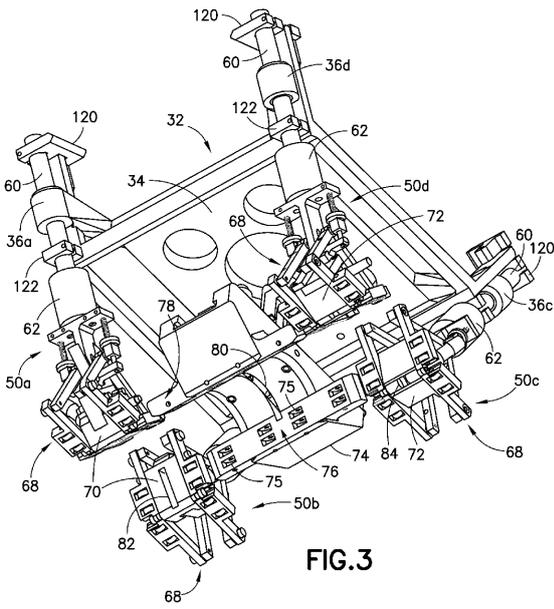


FIG.3

【 図 4 】

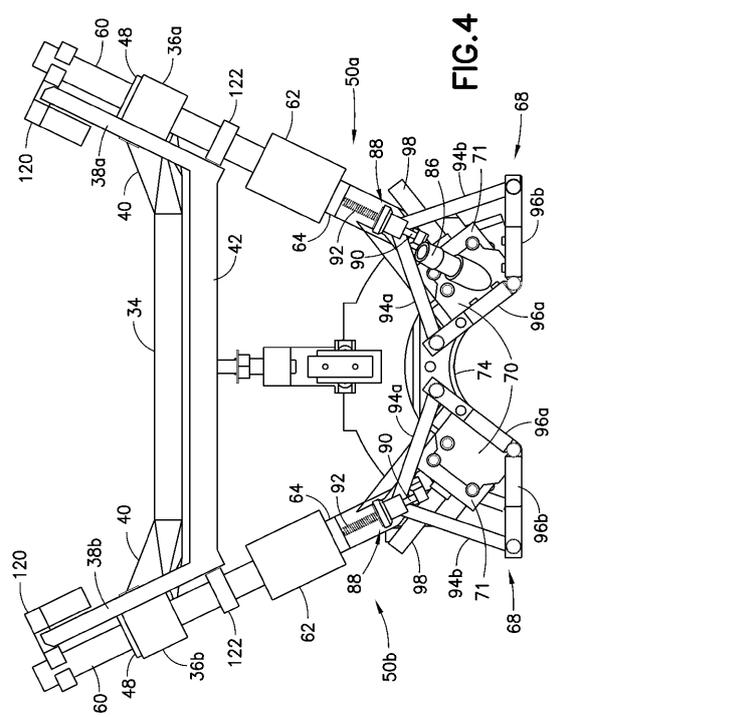


FIG.4

【 図 5 】

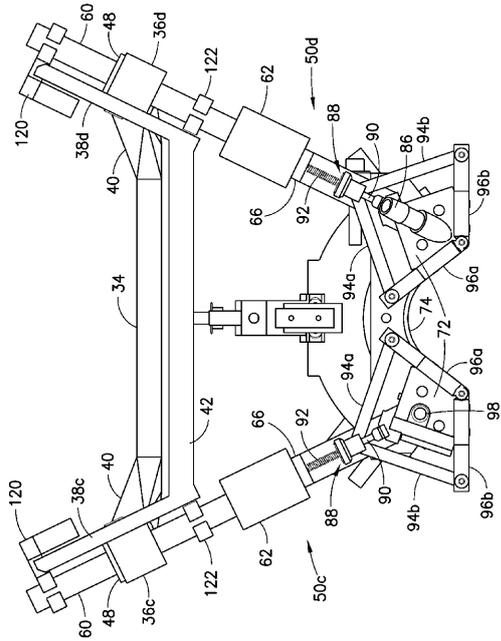


FIG.5

【 図 6 】

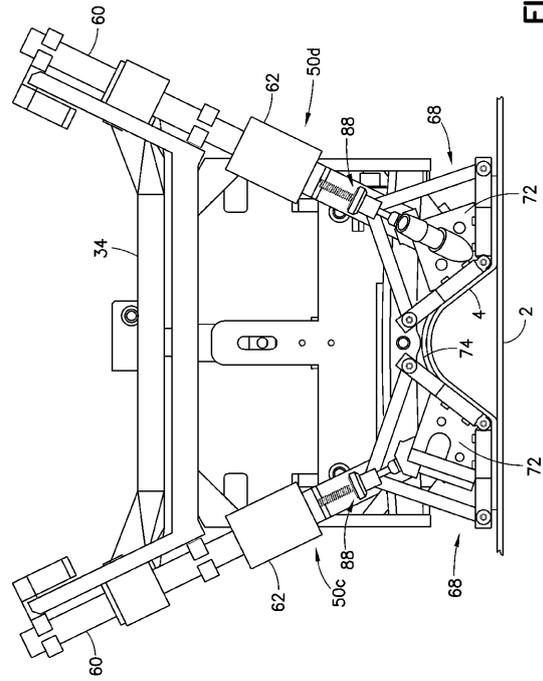


FIG.6

【 図 7 A 】

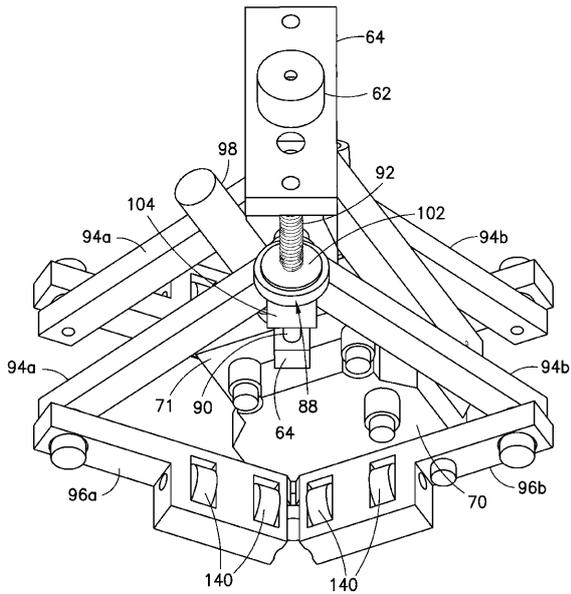


FIG.7A

【 図 7 B 】

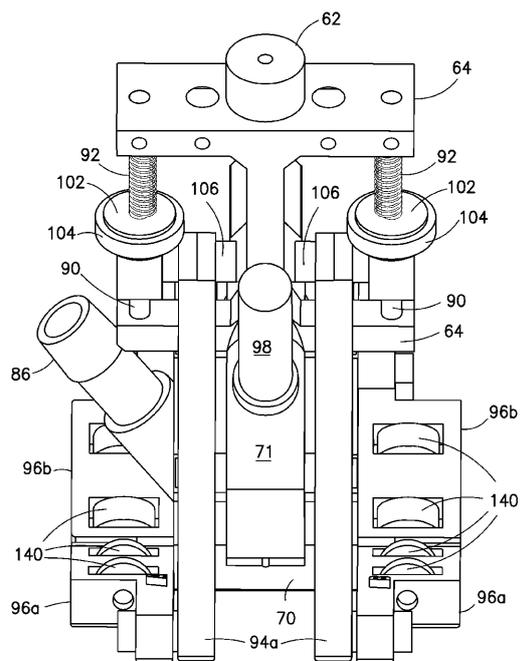


FIG.7B

【 図 8 】

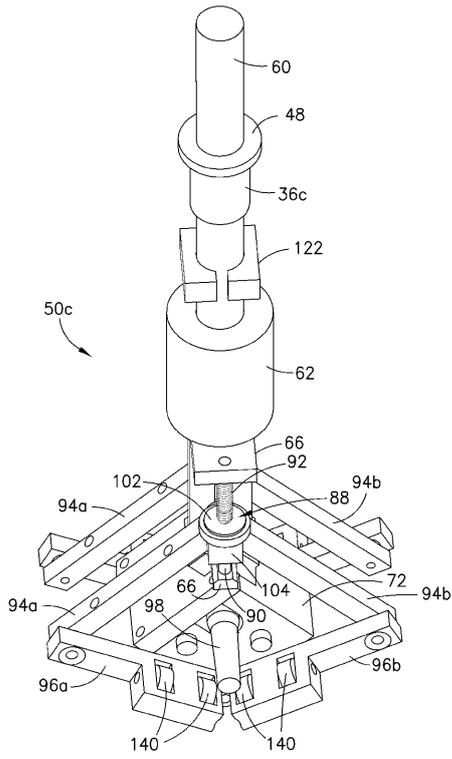


FIG.8

【 図 9 】

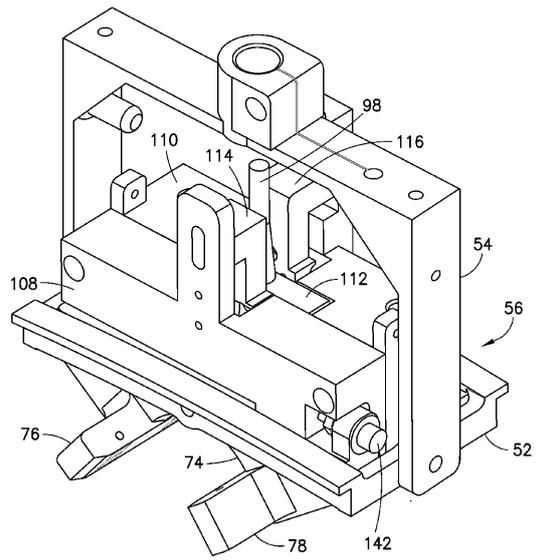


FIG.9

【 図 10 】

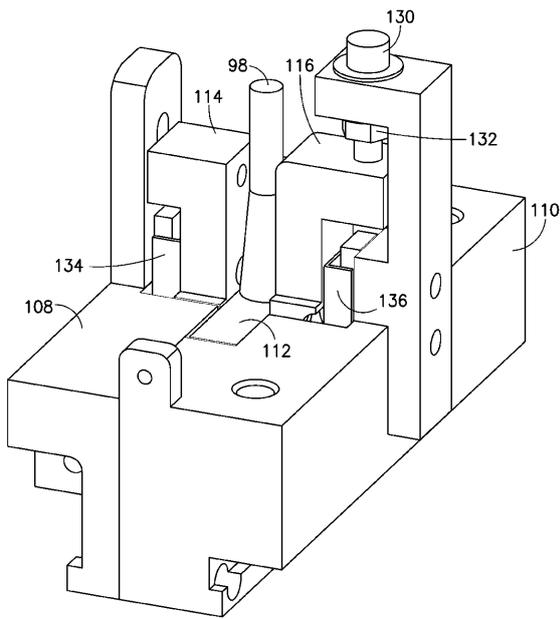


FIG.10

【 図 11 】

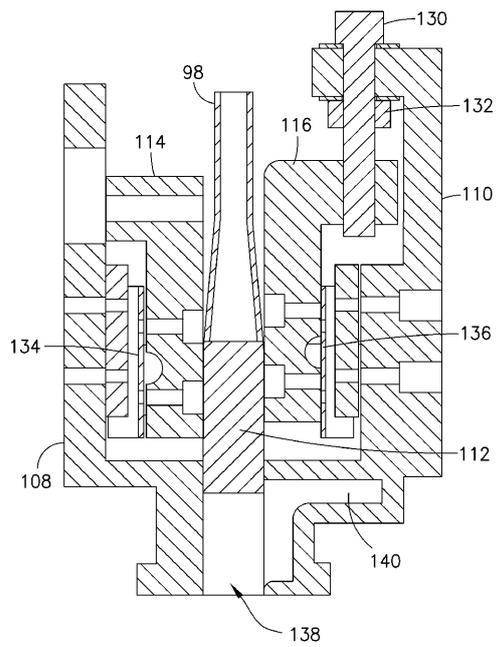


FIG.11

【図12】

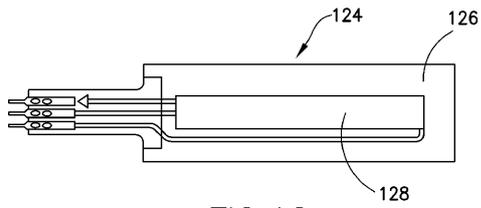


FIG.12

【図13B】

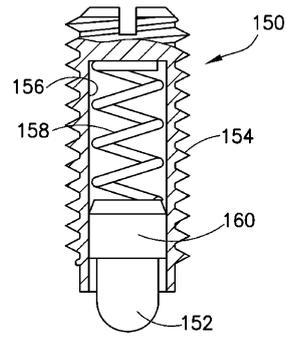


FIG.13B

【図13A】

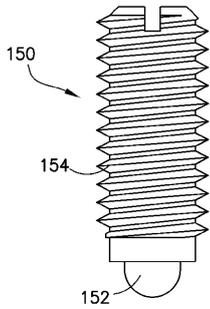


FIG.13A

【図14】

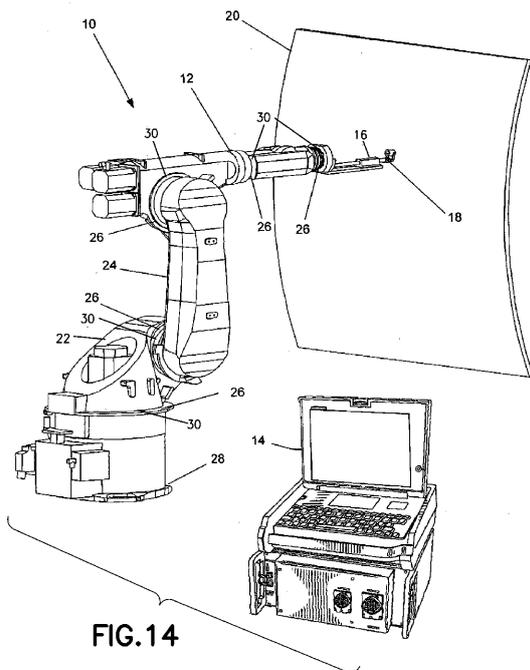


FIG.14

【図15】

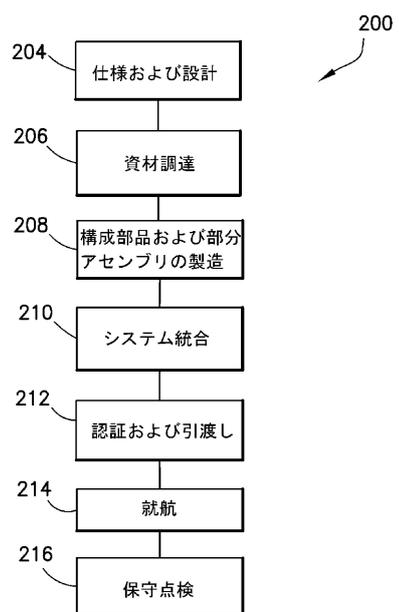


FIG.15

【図16】

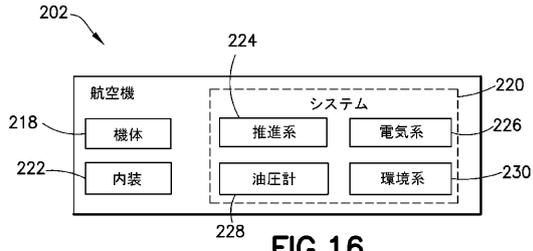


FIG.16

フロントページの続き

(74)代理人 100161274

弁理士 土居 史明

(74)代理人 100168044

弁理士 小淵 景太

(74)代理人 100168099

弁理士 鈴木 伸太郎

(72)発明者 デニス ピー・サール

アメリカ合衆国、イリノイ州 60606-2016、シカゴ、ノース リバーサイド プラザ
100、 ザ・ボーイング・カンパニー内

(72)発明者 ヒエン ティー・ブイ

アメリカ合衆国、イリノイ州 60606-2016、シカゴ、ノース リバーサイド プラザ
100、 ザ・ボーイング・カンパニー内

審査官 小澤 瞬

(56)参考文献 特公昭49-032150(JP, B1)

特開昭61-134660(JP, A)

特表2009-506328(JP, A)

米国特許出願公開第2007/0044562(US, A1)

国際公開第2010/010316(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B64B 1/00 - 1/70

B64C 1/00 - 99/00

B64D 1/00 - 47/08

B64F 1/00 - 5/60

B64G 1/00 - 99/00

G01N 29/00 - 29/52