

(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2012-24920

(P2012-24920A)

(43) 公開日 平成24年2月9日(2012.2.9)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 2 5 J 9/06 (2006.01)	B 2 5 J 9/06 B	2 F 0 6 2
G 0 1 B 5/008 (2006.01)	G 0 1 B 5/008	2 F 0 6 9
G 0 1 B 21/00 (2006.01)	G 0 1 B 21/00 E	3 C 0 2 9
B 2 3 Q 17/00 (2006.01)	B 2 3 Q 17/00 A	3 C 7 0 7

審査請求 有 請求項の数 36 O L (全 139 頁)

(21) 出願番号	特願2011-168620 (P2011-168620)	(71) 出願人	508373981
(22) 出願日	平成23年8月1日 (2011.8.1)		3ディー スキャナーズ リミテッド
(62) 分割の表示	特願2006-506197 (P2006-506197) の分割		イギリス, SE1 6LN ロンドン, ロ ンドン ロード 90, サウス バンク テクノパーク
原出願日	平成16年4月26日 (2004.4.26)	(74) 代理人	100094112
(31) 優先権主張番号	0309662.5		弁理士 岡部 譲
(32) 優先日	平成15年4月28日 (2003.4.28)	(74) 代理人	100064447
(33) 優先権主張国	英国 (GB)		弁理士 岡部 正夫
(31) 優先権主張番号	0312963.2	(74) 代理人	100101498
(32) 優先日	平成15年6月5日 (2003.6.5)		弁理士 越智 隆夫
(33) 優先権主張国	英国 (GB)	(74) 代理人	100107401
(31) 優先権主張番号	0327503.9		弁理士 高橋 誠一郎
(32) 優先日	平成15年11月26日 (2003.11.26)	(74) 代理人	100106183
(33) 優先権主張国	英国 (GB)		弁理士 吉澤 弘司

最終頁に続く

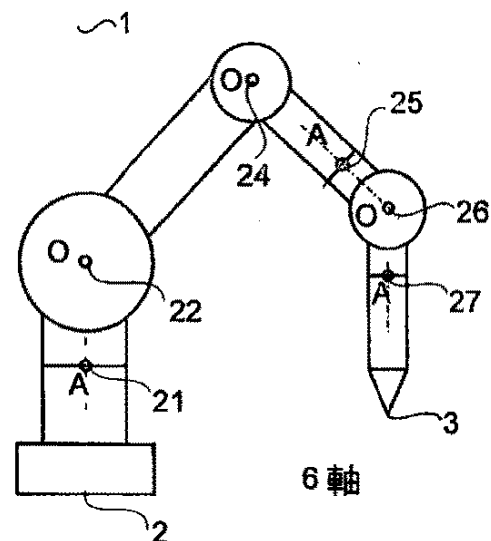
(54) 【発明の名称】 外骨格を有するCMMアーム

(57) 【要約】

【課題】 外骨格および伝達手段を有するCMMアームを提供する

【解決手段】 ベース端及びプローブ端を有する内部CMMアームと、複数の伝達手段を介して内部CMMアームを駆動する外骨格とを備える、外骨格を有するCMMアームの装置が提供される。1つ又は複数の接触プローブ、光学プローブ、及び工具が、プローブ端に取り付けられる。外骨格を有するCMMアームは、手動操作可能な実施形態及び自動実施形態で提供される。外骨格を有するCMMアームは、高精度測定のため、又は高精度動作を行うために動作可能である。外骨格を有するCMMアームの動作の方法が提供される。

【選択図】 図1 A



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ベース端、反対側のブローブ端、及び前記ベース端と前記ブローブ端との間の 2 つ以上の回転移動軸により分離される 3 つ以上のセグメントを有し、前記回転移動軸の少なくとも 2 つは平行ではない、可動部材と、

ベース端、反対側のブローブ端、及び前記ベース端と前記ブローブ端との間の 2 つ以上の回転移動軸により分離される 3 つ以上のセグメントを有し、前記回転移動軸の少なくとも 2 つは平行ではない、可動位置報告デバイスであって、前記ブローブ端の位置および向きを報告する可動位置報告デバイスと、

前記可動部材の前記セグメントを前記可動位置報告デバイスの前記セグメントに接続する伝達手段であって、前記可動部材との該伝達手段の接点が、前記ブローブ端と前記ベース端に最も近い前記回転移動軸との間のいずれかにある、伝達手段とを備え、前記可動部材の回転移動軸のそれぞれと、前記可動位置報告デバイスの対応する回転移動軸とは共通し、前記可動部の移動により、前記可動位置報告デバイスが移動される装置。

10

【請求項 2】

前記伝達手段は、前記可動部材の前記ブローブ端セグメントと前記可動位置報告デバイスの前記ブローブ端セグメントとの間に配設された請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記伝達手段は、前記可動部材の前記セグメントと前記可動位置報告デバイスの前記セグメントとを接続する個別伝達手段を複数、含む請求項 1 に記載の装置。

20

【請求項 4】

前記個別伝達手段の全てが、前記可動部材の前記セグメントに対して前記可動位置報告デバイスの前記セグメントの移動を許容しない程度の剛性を有する請求項 3 に記載の装置。

【請求項 5】

前記個別伝達手段の全てが、前記可動部材の前記セグメントに対して前記可動位置報告デバイスの前記セグメントの移動を許容する程度の剛性を有する請求項 3 に記載の装置。

【請求項 6】

前記個別伝達手段の少なくとも 1 つは、前記可動部材の前記セグメントに対して前記可動位置報告デバイスの前記セグメントの移動を許容しない程度の剛性を有し、前記個別伝達手段の少なくとも 1 つは、前記可動部材の前記セグメントに対して前記可動位置報告デバイスの前記セグメントの移動を許容する程度の剛性を有する請求項 3 に記載の装置。

30

【請求項 7】

前記可動部材の前記セグメントに対して前記可動位置報告デバイスの前記セグメントの移動を許容する程度の剛性を有する個別伝達手段は 2 つであり、前記可動部材の前記セグメントに対して前記可動位置報告デバイスの前記セグメントの移動を許容する程度の剛性を有する個別伝達手段の 1 つは、前記可動部材の前記ブローブ端セグメントと前記可動位置報告デバイスの前記ブローブ端セグメントとの間に配設された請求項 5 に記載の装置。

【請求項 8】

前記可動部材と前記可動位置報告デバイスとの間にある、前記可動部材の前記セグメントに対して前記可動位置報告デバイスの前記セグメントの移動を許容する程度の剛性を有する個別伝達手段は 3 つである請求項 5 に記載の装置。

40

【請求項 9】

前記 3 つの、前記可動部材の前記セグメントに対して前記可動位置報告デバイスの前記セグメントの移動を許容する程度の剛性を有する個別伝達手段は、

肘の前記ベース端側、

手首の前記ベース端側、及び

前記ブローブ端の前記ベース端側

に配設された請求項 8 に記載の装置。

50

【請求項 10】

前記可動部材の前記セグメントに対して前記可動位置報告デバイスの前記セグメントの移動を許容しない程度の剛性を有する個別伝達手段の数は1つであり、前記可動部材の前記セグメントに対して前記可動位置報告デバイスの前記セグメントの移動を許容しない程度の剛性を有する伝達手段は、前記可動部材の前記ブローブ端セグメントと前記可動位置報告デバイスの前記ブローブ端セグメントとの間に配設された請求項6に記載の装置。

【請求項 11】

前記セグメントの自動回転を止める拘束手段をさらに備える請求項1ないし10のいずれか1項に記載の装置。

【請求項 12】

前記可動部材の前記ベース端及び前記可動位置報告デバイスの前記ベース端は、互いに固定して取り付けられる請求項1ないし11のいずれか1項に記載の装置。

【請求項 13】

前記可動位置報告デバイスの回転移動軸の数は6つである請求項1ないし12のいずれか1項に記載の装置。

【請求項 14】

前記ベース端から前記ブローブ端まで列挙される前記可動位置報告デバイスの前記回転移動軸のタイプはA O O A O Aであり、Aは隣接する2つのセグメントの共通する軸について回転し得る、同軸回転移動軸を示し、Oは隣接する2つのセグメントの間のヒンジとして回転し得る、ヒンジ式回転移動軸を示す請求項13に記載の装置。

【請求項 15】

前記可動位置報告デバイスの移動軸の数は7つである請求項1ないし12のいずれか1項に記載の装置。

【請求項 16】

前記ベース端から前記ブローブ端まで列挙される前記可動位置報告デバイスの前記回転移動軸のタイプはA O A O A O Aであり、Aは隣接する2つのセグメントの共通する軸について回転し得る、同軸回転移動軸であり、Oは隣接する2つのセグメントの間のヒンジとして回転し得る、ヒンジ式回転移動軸を示す請求項15に記載の装置。

【請求項 17】

前記可動部材及び前記可動位置報告デバイスが同じ数のセグメント及び移動の回転軸を有する請求項1ないし16のいずれか1項に記載の装置。

【請求項 18】

前記可動部材及び前記可動位置報告デバイスが、同一のセグメント長さ、及び同一の回転軸移動の中心を有する請求項13ないし17のいずれか1項に記載の装置。

【請求項 19】

前記可動部材及び前記可動位置報告デバイスのそれぞれの前記セグメントが同軸上若しくは略同軸上にある請求項18に記載の装置。

【請求項 20】

前記可動部材が前記可動位置報告デバイスの外部にある請求項1ないし19のいずれか1項に記載の装置。

【請求項 21】

前記可動部材の構造が開放する請求項20に記載の装置。

【請求項 22】

前記可動部材の構造が前記可動位置報告デバイスを囲む請求項20に記載の装置。

【請求項 23】

前記可動部材が前記可動位置報告デバイスから取り外し可能である請求項1ないし22のいずれか1項に記載の装置。

【請求項 24】

前記可動部材上にハードリミット手段をさらに備え、前記ハードリミット手段は、前記可動位置報告デバイスが前記可動位置報告デバイスの関節の固有の限界点と接触すること

10

20

30

40

50

を防止する請求項 1 ないし 2 3 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 2 5】

前記可動部材は手動操作可能である請求項 1 ないし 2 4 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 2 6】

前記可動部材はロボットである請求項 1 ないし 2 5 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 2 7】

前記可動位置報告デバイスは C M M アームである、請求項 1 ないし 2 6 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 2 8】

前記可動部材の前記プローブ端を前記可動部材の前記ベース端に対して移動させるコントローラをさらに備える請求項 1 ないし 2 7 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 2 9】

単一ユニットであり、且つ可搬式である請求項 2 8 に記載の装置。

【請求項 3 0】

前記可動位置報告デバイスに配置されてプローブデータを収集する 1 つ又は複数のプローブをさらに備える請求項 1 ないし 2 9 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 3 1】

前記可動部材に配置されてプローブデータを収集する 1 つ又は複数のプローブをさらに備える請求項 1 ないし 3 0 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 3 2】

可動位置報告デバイスを自動位置決めする方法であって、
コントローラが駆動手段に駆動トルクを発生させるステップと、
前記駆動トルクが可動部材に加えられて、該可動部材を移動させるステップと、
前記可動部材が伝達手段を移動させるステップと、
前記伝達手段が前記可動位置報告デバイスに力を加えて、前記可動位置報告デバイスを移動させるステップと
を含み、前記可動部材及び前記可動位置報告デバイスは両方とも、ベース端、反対側のプローブ端、及び前記ベース端と前記プローブ端との間の 2 つ以上の回転移動軸により分離される 3 つ以上のセグメントを有し、前記回転移動軸の少なくとも 2 つは平行ではなく、前記可動部材の回転移動軸のそれぞれと、前記可動位置報告デバイスの対応する回転移動軸とは共通し、前記可動部材との前記伝達手段の接触場所は、前記ベース端に最も近い前記回転移動軸と、前記プローブ端と、の間のどこかにあり、前記可動位置報告デバイスは前記プローブ端の位置および向きを報告する方法。

【請求項 3 3】

可動位置報告デバイスを手動位置決めする方法であって、
作業者が可動部材を移動させるステップと、
前記可動部材が伝達手段を移動させるステップと、
前記伝達手段が前記可動位置報告デバイスに力を加えて、前記可動位置報告デバイスを移動させるステップと

を含み、前記可動部材及び前記可動位置報告デバイスは両方とも、ベース端、反対側のプローブ端、及び前記ベース端と前記プローブ端との間の 2 つ以上の回転移動軸により分離される 3 つ以上のセグメントを有し、前記回転移動軸の少なくとも 2 つは平行ではなく、前記可動部材の回転移動軸のそれぞれと、前記可動位置報告デバイスの対応する回転移動軸とは共通し、前記可動部材との前記伝達手段の接触場所は、前記ベース端に最も近い前記回転移動軸と、前記プローブ端と、の間のどこかにあり、前記可動位置報告デバイスは前記プローブ端の位置および向きを報告する方法。

【請求項 3 4】

物体のデータを求めるために、可動位置報告デバイスに配置されたプローブを備えるとともに、前記プローブ端の位置および向きを報告する前記可動位置報告デバイスを位置決めする方法であって、

10

20

30

40

50

コントローラが駆動手段に駆動トルクを発生させるステップと、
前記駆動トルクが可動部材に加えられて、該可動部材を移動させるステップと、
前記可動部材が伝達手段を移動させるステップと、
前記伝達手段が前記可動位置報告デバイスに力を加えて、前記可動位置報告デバイスを移動させるステップと、
前記プローブが前記物体のデータを収集するステップと、
データプロセッサが前記可動位置報告デバイスから位置を受け取るステップと、
前記データプロセッサが前記プローブから前記データを受け取るステップと
を含み、

前記可動部材の回転移動軸のそれぞれと、前記可動位置報告デバイスの対応する回転移動軸とは共通する方法。 10

【請求項 35】

ベース端、反対側のプローブ端、及び前記ベース端と前記プローブ端との間の2つ以上の回転移動軸により分離される3つ以上のセグメントを有し、前記回転移動軸の少なくとも2つは平行ではない、可動部材と、

ベース端、反対側のプローブ端、及び前記ベース端と前記プローブ端との間の2つ以上の回転移動軸により分離される3つ以上のセグメントを有し、前記回転移動軸の少なくとも2つは平行ではない、可動位置報告デバイスであって、前記プローブ端の位置および向きを報告する可動位置報告デバイスと、

前記可動部材の前記セグメントを前記可動位置報告デバイスの前記セグメントに接続する伝達手段であって、前記可動部材との該伝達手段の接点が、前記プローブ端と前記ベース端に最も近い前記回転移動軸との間のいずれかにある伝達手段とを備え、前記可動部材の回転移動軸のそれぞれと、前記可動位置報告デバイスの対応する回転移動軸とは共通する装置を用いて、物体のデータを求める方法であって、 20

コントローラが駆動手段に駆動トルクを発生させるステップと、
前記駆動トルクが可動部材に加えられて、該可動部材を移動させるステップと、
前記可動部材が伝達手段に力を印加し、該伝達手段を移動させるステップと、
前記伝達手段が前記可動位置報告デバイスに力を加えて、前記可動位置報告デバイスを移動させるステップと、

前記プローブが前記物体データを測定し、同時に前記可能位置報告デバイスに同期信号を送るステップと、 30

前記可動位置報告デバイスが前記同期信号に基づき前記可動位置報告デバイスの位置を計算するステップと、

データプロセッサが前記可動位置報告デバイスの位置のデータを受け取るステップと、
前記データプロセッサが前記プローブから前記物体のデータを受け取るステップと
を含む方法。

【請求項 36】

ベース端、反対側のプローブ端、及び前記ベース端と前記プローブ端との間の2つ以上の回転移動軸により分離される3つ以上のセグメントを有し、前記回転移動軸の少なくとも2つは平行ではない、可動部材と、 40

ベース端、反対側のプローブ端、及び前記ベース端と前記プローブ端との間の2つ以上の回転移動軸により分離される3つ以上のセグメントを有し、前記回転移動軸の少なくとも2つは平行ではない、可動位置報告デバイスであって、前記プローブ端の位置および向きを報告する可動位置報告デバイスと、

前記可動部材の前記セグメントを前記可動位置報告デバイスの前記セグメントに接続する伝達手段であって、前記可動部材との該伝達手段の接点が、前記プローブ端と前記ベース端に最も近い前記回転移動軸との間のいずれかにある伝達手段とを備え、前記可動部材の回転移動軸のそれぞれと、前記可動位置報告デバイスの対応する回転移動軸とは共通する装置を用いて、物体のデータを求める方法であって、

前記可動位置報告デバイスの時計と前記プローブの時計とを同期させるステップと、 50

コントローラが駆動手段に駆動トルクを発生させるステップと、
前記駆動トルクが可動部材に加えられて、該可動部材を移動させるステップと、
前記可動部材が伝達手段に力を加えて、該伝達手段を移動させるステップと、
前記伝達手段が前記可動位置報告デバイスに力を加えて、前記可動位置報告デバイスを移動させるステップと、

前記プローブが、前記物体のデータを測定し、該データに、該プローブ内の時計によってタイムスタンプするステップと、

前記データプロセッサが前記可動位置報告デバイスから、可動位置報告デバイスの時計によってタイムスタンプされた、可動位置報告デバイスの位置のデータを受け取るステップと、

前記データプロセッサが前記プローブから前記タイムスタンプされたデータを受け取るステップと

を含む方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

〔発明の分野〕

本発明は、高精度な測定及び動作を行うための外骨格を有するCMMアームに関する装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

〔発明の背景〕

既存の自動測定法

中型から大型のサイズの物体を自動測定するには、 $0.05\text{ mm} (+/- 2\text{ シグマ})$ 、通常は $0.025\text{ mm} (+/- 2\text{ シグマ})$ 以上の測定機精度が必要である。「シグマ」とは、1標準偏差を意味する。自動測定は現在、主に2つの方法、(i) 3つ以上の軸を有する大型で高価な従来のコンピュータ数値制御座標測定機(CNC CMM)、(ii) 自動車生産ラインの終端にある専用セルに通常は位置付けられる、静的光学プローブの剛性構造、で行われている。従来のCMMでは、光学プローブが静止物体の周りを極めて制御された方法で移動して、正確なデータを生成する。第2の場合では、光学プローブ及び物体の両方が静止しており、位置決めが較正されることにより正確なデータが可能になる。従来のCMMのほとんどは、移動ブリッジ又は水平アームの構造であり、Zeiss (ドイツ)、Hexagon Brown&Sharpe (スウェーデン)、及びLK (英国)を含む企業がこれらを生産している。従来のCMMに取り付けられる機械式タッチプローブは、Renishaw (英国)を含む企業により供給されている。従来のCMMに取り付けられる光学プローブは、Metriss (ベルギー)を含む企業により供給されている。Renishaw Autojoint等の自動プローブマウントは、高精度まで再現可能であり、自動プローブ交換のためのプローブラックとともに供給される。静的光学プローブの剛構造は、Perceptron (米国)により供給されている。従来のCMM及び静的光学プローブの両方が、以下の欠点を有する。すなわち、従来のCMM及び静的光学プローブは、生産ラインにおいて、通常は測定のためだけに用いられて生産作業には用いられないセル空間を使い切り、通常はラインの終端に設置され、下流のプロセスにデータを供給することができず、高価であり、投資回収を考えても正当化し難い。さらに、光学プローブの剛構造は、生産ラインにおいて急速に変化するモデルに対応する柔軟性がない。既存の高精度測定システムの欠点により、今日では、従来のプロセスよりも高速、高性能、且つ安価であるが高精度位置決めを必要とするロボットを用いる効率的な生産プロセスを、生産ラインで利用することはできない。

【0003】

ロボット自動測定

1960年代以来、各企業により、短いサイクルタイム及び再現性を必要とする用途のために、重いロボットアームが開発されてきた。しかしながら、主に温度、磨耗、及び振

10

20

30

40

50

動の問題から、これらのロボットアームの精度は低い。ロボットは、自動測定用のプローブを担持するために用いられてきた。ロボットアームは、特に自動車産業において、ほとんどの自動測定の厳しい要件を満たすのに十分な精度を有さない。ロボットアームの高い再現性により、「準静的な」測定は自動車産業が少なからず取り入れる解決手段となった。「準静的な」測定では、プローブは或る位置から次の位置へ移動し、静止しているかゆっくりと移動している場合にのみデータを取る。測定は、接触プローブ又は非接触プローブのいずれでも行うことができる。ロボットアームの測定プローブは、通常は10mm/秒～200mm/秒(但し、それよりも速くても遅くてもよい)の速度で移動しながら、物体の表面から3次元データを取るが、精度は低い。ロボットアームを生産する企業には、Fanuc(日本)及びKuka(ドイツ)が含まれる。Perceptron及びLMI-Diffracto(米国)は、ロボットアーム及び光学プローブを用いる解決手段を提供している。3D Scanners及びKukaは、フランクフルトでのユーロモールド(Euromold)2001見本市において、リアルタイム光学検査による解決手段を示したが、その精度は0.5～1mmのオーダーであった。標準的な産業ロボットの熱成長は、リーチ1メートル当たり1の温度上昇につき約10ミクロンであり、500ミクロンを超える誤差は、生産ライン状態で記録され得る。LMI-Diffractoは、Kukaにより供給されている、それぞれが光学プローブを担持する標準的な産業ロボットを4つ備える自動生産ライン設備を有し、このロボットは熱成長が補償されるため、生産ライン状態の熱誤差が100ミクロン未満に減る可能性がある。Perceptronに譲渡されたGreerによる米国特許第6,078,846号では、ロボットの熱成長の補償は、光学プローブにより固定アーチファクトを測定することにより実行される。光学プローブは、ロボットが移動間で静止している間に測定を行う。誤差マッピングがロボットの精度を高めた。Krypton(オランダ)製又はNorthern Digital(カナダ)製のものの等の写真測量システムを用いて測定を行いながら、計画的な移動のプログラムの間ロボットを揺動させる(dancing)ことを含む、いくつかの手法がある。続いて、測定値を用いて誤差マップが作成される。荷重の誤差補償は、サーボにより用いられる電力を測定して、アームにかかる荷重を自動的に計算することにより、すでに行われている。複数のタイプの誤差補償を用いた場合でも、自動車生産ラインで多く見られるタイプ及びリーチのロボットでは0.2mm(+/-2シグマ)の精度しか得られなかった。走査中にプローブと物体との間で相対移動が行われる走査プローブを担持するロボットアームに関する問題は、システムが有用となるのに十分な精度を有さないことである。

10

20

30

40

50

【0004】

追跡

Long他による米国特許第6,166,811号では、プローブに取り付けられた写真測量標的を写真測量システムによりリアルタイムで追跡する、物体の走査の精度を高めるための写真測量システムが開示されている。この方法には多くの欠点がある。第1に、プローブと写真測量用カメラとの間に、複数の明瞭な視線が維持される必要がある。実際には、写真測量用カメラからプローブ上の写真測量標的までの視線は、プログラムされたロボットの移動及び/又は物体の走査に必要なプローブの向きのプログラムされた変化により、遮られることが多い。これにより、システムの適用性は大きな制約を受けるため、システムは多くの用途で役に立たなくなってしまう。第2に、環境照明状態をほぼ理想的な状態に保たなければならず、そうしなければ写真測量システムの精度が低下するか、又はシステムの機能が停止する。実際には、これは設定が困難であり、その場所での他の照明要件と相容れない場合が多い。第3に、写真測量システムは、この用途で十分な精度を提供するのに必要な分解能及び速度の両方を有さない場合が多い。第4に、写真測量用カメラ及びロボットは、互いに対してしっかりと取り付けられなければならない。これには、所望の精度を得るために寸法の大きい剛構造が必要となる場合が多い。写真測定技術をロボット測定システムに組み込むことに関する主な問題は、得られるシステムが有用となるほど十分に小型且つ堅牢ではないことである。

【0005】

Leica Geosystemsは、6自由度のレーザトラッカLTD800を供給している。これは

、1秒間に最高1000回の測定で、1つの視線で35mの範囲にわたって位置及び向きを測定することができる。その精度は、ゆっくりと移動する標的の場合は50ミクロンのオーダーである。その価格は、130,000USドルを超える。ロボット測定に関するその制限の多くは、写真測定の制限と同様である。レーザトラッカ技術をロボット測定システムに組み込むことに関する主な問題は、高価であり、追跡されるプローブの向きが制限され、得られるシステムが有用となるほど十分に小型且つ堅牢ではないことである。

【0006】

ロボットコントローラ及びプログラミング

ロボットアームのコントローラは、当業者には十分に理解されている。標準的な参考文献は、Richard P Paulによる「Robot Manipulators, Mathematics Programming and Control」である。Adept Technologies (米国)は、6軸ロボットコントローラを8,500USドルの価格から供給している。動きのシーケンスをオフラインで生成し、続いてそれを後で実行するためにロボットコントローラに伝達するロボットのプログラミングに利用可能な製品は数多くあるが、一例はTenomatix (米国)のEmWorkplaceである。HA Shlatter AG (スイス)に譲渡されたRichterによる特許出願GB 2036376Aでは、ロボットに取り付けられたデバイスをユーザが保持してロボットを手動でガイドすることにより、プログラミングが行われ、デバイスはユーザが意図したロボットの方向を検知する歪みゲージを備える。

【0007】

手動CMMアーム

1970年代以来、各企業は手動操作可能なCMMアームを製造しており、これは、主に手動CMMアームのリーチに応じて0.025mm(+/-2シグマ)~0.005mm(+/-2シグマ)の測定精度を、接触プローブを用いて近年達成している。手動CMMアームの精度は、さらなる開発によりさらに高まると予測される。これらの手動CMMアームはすでに、多くの測定要件を満たすのに十分な精度を有しており、測定市場における成長部門である。手動CMMアームは、アクセスが困難な領域に到達することができる柔軟性を有する。手動CMMアームは、多くの用途で満足できる精度を有するが、自動化はされず、特に半熟練の作業者が必要であるため操作費用が高く、人間の作業者では人的ミスが起こりやすい。手動CMMアームを生産する企業としては、Cimcore (米国)、Faro Technologies (米国)、Romer (フランス)、Zett Mess Technik (ドイツ)、及びOGP (英国)が挙げられる。例として、Eatonによる米国特許第3,994,798号、Faro Technologiesに譲渡されたRaabによる米国特許第5,402,582号、Eatonによる米国特許第5,829,148号、及びFaro Technologiesに譲渡されたRaabによる米国特許第6,366,831号は、手動CMMアームに関する背景情報を開示している。手動CMMアームの継手に軸受を設けることは既知であり、Faro Technologiesに譲渡されたRaabによる米国特許出願第2002/0087233号は、軸受に関する背景情報を開示している。手動CMMアームの設計は、通常、継手1の中心からプローブ先端までのリーチが約2メートルに制限されるが、これは、それよりも長いとアームを用いるのに2人の作業が必要だからである。手動CMMアームは、長くなるほど精度が低下する。概して、モジュール式の手動CMMアーム設計で、他の全ての要素が同じである場合、精度はやはり長さに反比例する。Raabによる米国特許第6,366,831号では、現場において、手動CMMアームは通常、ロボットアームの10倍以上の絶対位置精度を有すると開示されている。ロボットにおいて継手の位置ずれを含む不正確を引き起こす要因のいくつかは、米国特許第6,366,831号で言及されている。Faro Technologies及びRomerにより製造されるもの等の手動CMMアームは、概して、1人の人間が両手で操作する。作業者の手はそれぞれ、手で把持される手動CMMアームの部分に、異なる6自由度の作用を与える。用途によっては、片手しか必要としない熟練作業者もいる。手動CMMアームは、作業者がループを完結させる、閉ループ式で制御される機構である。このような制御は熟練を要する作業であり、作業者は、2つの手のみを用いて、重力の影響下で様々な異なる空間レイアウトで6つ又は7つのアーム自由軸を制御する必要がある。作業者が手動

10

20

30

40

50

CMMアームの操作を誤り、手動CMMアームの一部又は全部が、衝突するか又は作業者が押さえるまで重力により加速することはよくある。データの取り込み中に、作業者が手動CMMアームに可変の、場合によっては過剰な力及びトルクを加えることにより、手動CMMアームが出力する測定データの精度が低下することもある。

【0008】

補償デバイス及び保持デバイス

手動CMMアームは通常、上腕に持ち上げ力を与えて釣り合いを取る傾向があるトルクを上腕に与える、第2の継手に内蔵される補償デバイスを有する。手動CMMアームの補償デバイスは、Raab他による米国特許第6,298,569号、Raab他による米国特許第6,253,458号、及びRaab他による米国特許出願第2003/0167647号に開示されており、これらはすべてFaro Technologiesに譲渡されている。これは、アームが軽く作業者にとって持ち上げやすくなっているため、使用時の疲労が少ないことを意味する。これは、手動CMMアームを介して伝達されるトルクがより大きいことも意味し、要件として、手動CMMアームは、必要な精度を得るためにこのような補償デバイスを有さない場合よりも重く設計されなければならない。ロボットの消費電力並びにモータのパワー、サイズ、及び重量を減らすために、ロボットを補償することが標準的な慣行である。第2003/0167647号では、垂下した向きで用いる場合、加工ばね補償デバイスを取り外し、反転させ、再び配置して、アームを補償することができるが、この手順は、工場内で行われなければならないため、ユーザにとって不都合である。手動CMMアームの中には、アームの1つ又は複数の軸を任意の空間的向きにロックする保持デバイスを有するものがあり、このような保持デバイスは、測定セットごとにアームを下に置く必要をなくす。Cimcore（米国）製の3000シリーズ手動CMMアームでは、軸2（第1の直交ヒンジ軸）にある補償デバイスに摺動ペグ固定具（sliding peg fixing）が取り付けられており、ペグが穴に滑り込むと、軸2が通る補償デバイスがロックされる。複数の軸上の空気ブレーキは、Zett Mess Technik GmbHに譲渡されたNietzによるPCT/EP01/01570に開示されており、Zett MessのAMPG-P手動CMMアーム製品の軸1～4に設けられている。空気ブレーキは、無線遠隔制御スイッチにより解除することができ、空気ブレーキはディスクに作用する。空気ブレーキ及びディスクは、手動CMMアームに直接取り付けられ、手動CMMアームの重量を増し、手動CMMアームの軸受にモーメントを伝えることにより、その精度及び有用性を低下させる。

【0009】

手動CMMアームの光学プローブ

手動CMMアームの光学プローブは、本発明の発明者であるCramptonにより、WO9705449を含むいくつかの特許出願に開示された。手動CMMアームの光学プローブは、特に、3D Scanners、Romer、Faro Technologies、Perceptron、Steinbichler（ドイツ）、Pulstec（日本）、及びKreon（フランス）により提供又は開発されている。光学プローブは、概して、手動CMMアームの側部にずらして取り付けられるか、又は手動CMMアームのプローブ端に取り付けられる。大別すると3つのタイプの光学プローブ、すなわちポイント光学プローブ、ライン光学プローブ、及びエリア光学プローブがある。今のところ、ポイント光学プローブ、ライン光学プローブ、及びエリア光学プローブに関する精度を測定すべき方法を規定する測定精度標準はない。市場は、実用的な方法で精度を確かめて光学プローブのタイプ間を比較することを可能にする標準試験を行うことができないという状況にある。光学プローブは、主にその測定範囲が短いことから、高精度になってきている。概して、光学プローブは、20～40mmのオーダの測定範囲にわたって測定データを収集する。これは、手動CMMアームの端から離れている場合が多い。最も優れた手動CMMアームを最も優れた光学プローブと組み合わせた場合の精度は、すでに0.050mm（+/-2シグマ）よりも高精度であり、測定範囲が短ければ0.010mm（+/-2シグマ）よりも、さらには0.002mm（+/-2シグマ）よりも高精度になり得る。

【0010】

手動 C M M アームの光学プローブの同期化及び補間

手動 C M M アーム及び光学プローブを備えるシステムでは、それぞれからの測定値が合成されて、出力測定データが与えられる。本発明の発明者であるCramptonによるW O 9 7 0 5 4 4 9 に開示されているように、手動 C M M アーム及び光学プローブを備えるシステムの測定精度は、手動 C M M アームからの測定と光学プローブからの測定のタイミングを同期させることにより高まる。代替的に、W O 9 7 0 5 4 4 9 にさらに開示されているように、手動 C M M アーム及び光学プローブを備えるシステムの測定精度は、手動 C M M アームからの各測定値にタイムスタンプし、光学プローブからの各測定値にタイムスタンプし、その後、2つの測定値セットを補間して組み合わせた測定値セットを提供するプロセスを用いることにより高まる。しかしながら、場合によっては、システムに混乱が起こり、いずれかのデバイスからの1つ又は複数の測定値が失われる。この状況では、後半の補間プロセスが複雑になり得る。

10

【 0 0 1 1 】

ロボット及び手動 C M M アームの較正及び位置合わせ

Shellによる米国特許第 5 , 6 8 7 , 2 9 3 号に開示されているように、ロボットは、基準球体と、ロボットに取り付けられている先端が球状のプローブとを用いて、種々のロボット空間レイアウトで先端が球状のプローブを基準球体に複数回接触させることにより、較正することができる。6軸ロボットの実施形態の39パラメータキネマティックモデルが開示されている。ロボットに対する光学プローブの位置合わせは、De Smetによる米国特許第 6 , 3 2 1 , 1 3 7 号 (B 1) に開示されている。手動 C M M アームを手動で較正する方法は、Faro Technologiesに譲渡されたRaabによる米国特許第 5 , 4 0 2 , 5 8 2 号に開示されている。手動 C M M アームは、出荷前に製造業者により較正される。Faro Technologiesを含むいくつかの供給業者は、手動 C M M アームの較正は同じまま、ユーザがプローブを交換するたびに簡単にプローブ較正を行うことができるようにしている。OGP UKは、極性 (Polar) 手動 C M M アームを供給し、ユーザが簡単な手順で極性アーム及びプローブを合わせて完全に較正することができるようにしており、この手順は、アームを様々な空間レイアウトで動かしながら、極性アームの球状プローブが置かれる複数の円錐を有する基準アーチファクトを用いて行われる。これらの6軸極性アームには39パラメータ運動力学 (kinematic) モデルが用いられる。手動 C M M アームの完全且つ高精度な手動較正は、通常は500の別個のポイントが数時間かかるプロセスで記録される、骨の折れるプロセスである。各ポイントで人的ミスが起こりやすい。異なる作業者が異なる場所で手動 C M M アームを保持し、異なるグリップを介して異なるトルクを付与し、異なるパターンの荷重及び曲げモーメントをアームに加えるため、異なる撓み及び端部傾斜が生じる。手動で較正される手動 C M M アームは、各作業者の持ち方及び使用の仕方に応じて異なった機能をするようになる。各空間的向きでどのような持ち方をしても、再現可能なパターンの荷重及び曲げモーメント下にあるような手動 C M M アームが必要である。異なる作業者が用いる場合に生じる荷重及び曲げモーメントが同じパターンであるような、手動 C M M アームを手動で較正する方法が必要である。その較正の再現性及び精度を高め、特に現在の手動プロセスで実用的又は費用効果的であるよりも多くのポイントを記録することを可能にする、手動 C M M アームを自動で較正する方法が必要である。手動 C M M アームに対する光学プローブの位置合わせ (較正又は適格化 (qualification)) としても知られる) は、本発明の発明者であるCramptonによるW O 9 7 0 5 4 4 9 号に開示されている。

20

30

40

【 0 0 1 2 】

ロボット及び測定デバイスの取り付け

Tounai他による米国特許第 5 , 3 9 2 , 3 8 4 に開示されているように、6軸関節測定デバイスの先端は、ロボットを較正するためにロボットの先端に取り付けられる。Faro Technologiesに譲渡されたRaabによる米国特許第 6 , 5 3 5 , 7 9 4 号に開示されているように、6軸関節測定デバイスの先端は、誤差マップを生成するためにロボットの先端に取り付けられる。Bieg他による米国特許第 6 , 5 1 9 , 8 6 0 号に開示されているように

50

、 3 軸関節測定デバイスの先端は、ロボット又は機械の空間性能を測定するためにロボット又は機械の先端に取り付けられる。これらの開示はいずれも、物体を測定するためには用いられていない。WahrburgによるWO 98 / 27887に開示されているように、外科ロボット及び多継手センサアームがベースに取り付けられる。多継手センサアームを手動で用いて患者の測定が行われ、これらの測定に基づいてロボットプログラムが生成され、ロボットが外科的介入を実行する。この開示では、測定は自動化されていない。従来技術の2つのアイテムが、曲げによる撓み及び／又は熱膨張を受けやすいロボットアームの端点の位置及び／又は向きを測定するデバイスを開示している。Flemmingによる米国特許第4, 119, 212号に開示されているように、両端にしっかりと取り付けられた平面ゴニオメータを有する単純な膝継手を用いて、移動セグメントの端の場所が監視される。このデバイスは、平面での動作に制限され、面外の曲げは測定されない。したがって、このデバイスは、3D空間での位置及び向きを測定することができない。Slocumによる米国特許第4, 606, 696号に開示されているように、ロボットアームの端の位置及び向きを測定するデバイスは、回転軸受及びリニア軸受により繋がれる多数の測定リンクと、回転角及び直線移動を測定する測定デバイスとを備える。測定リンクは、ロボットアームの両端点にピン留めされるだけでなく、少なくとも1つの中間ヒンジ継手でロボットアームにしっかりとピン留めされる。この手法には、6軸ロボットに対して12個の高精度な回転及び直線測定デバイスが必要である。12個の測定デバイスからの誤差が積み重なるため、この手法を6軸ロボットの高精度な3D測定デバイスに発展させることが果たしてできるかどうかは疑わしくなる。付加的な回転及び直線測定デバイスが必要なく、それらに関連する誤差が積み重ならない、より単純でより堅牢なシステムが必要である。米国特許第4, 119, 212号及び米国特許第4, 606, 696号はいずれも、ロボットアームの各端に測定デバイスをしっかりと取り付けを必要とする。プローブ端へのしっかりとした取り付けは、ロボットアームの端の位置を正確に測定するのに必須である。ロボットアームを用いてCMMアームを位置決めする場合、プローブ端へのしっかりとした取り付けは必要なく、望ましくもない。米国特許第4, 119, 212号及び米国特許第4, 606, 696号はいずれも、デバイスにおいて較正情報を用いる手段を提供していない。これらはいずれも、デバイスを座標測定機として用いることを提案していない。較正情報を用いなければ、デバイスが現在の用途で必要とされるほど高精度になり得るかどうかは疑わしい。

【0013】

他の背景

GoochによるPCT / GB 01 / 01590に開示されているように、ロボットのプローブ端に光学プローブ及び工具の両方が取り付けられるロボットが示され、このロボットを用いて、光学プローブでの測定及び工具での作業を選択的に行うことができる。しかしながら、測定精度を得るために、上述の欠点の全てを有する光学追跡システムが用いられる。GoochによるPCT / GB 01 / 01590にさらに開示されているように、ロボットは、移動式であり、例えばレール上に取り付けられて、測定中の大きな物体の周りにアクセスできるようにする。このさらなる開示も、光学追跡の欠点を有する。Faroのアームを利用する手動罫書き (marking out) システム及びKuka製の産業ロボットを利用するロボット罫書きシステムが、GoochによるPCT / GB 01 / 03865に開示されている。これら2つのシステムは、高精度であるか又は自動化されているが、両方を兼ね備えてはいない。手動CMMアームに取り付けられた非接触センサによる、回転テーブル上の物体の手動走査は、本発明の発明者であるCramptonにより、WO 97 05449に開示されている。大きな物体のフライス削り (milling) は、標準的な5軸又は6軸の産業ロボットにより実行されているが、得られる物体は、標準的な産業ロボットの精度が限られているため高精度ではなく、通常は、種々の向きからの切削が行われる手仕上げが必要である。大きな物体のフライス削りは、Mecof spa (イタリア) により製造されるもの等の大型の5軸マシニングセンターと、Zeiss製及びLK Tool製のもの等の大型の5軸水平アームCMMとで、正確に行われることが普通である。加工され得る物体の種類は、直交座標型機

械 (Cartesian machine type) により制限され、例えば、水平アームはコーナの周りを曲がることができない。Delcam (英国) は、5 軸及び 6 軸の産業ロボット用のフライス削りプログラムを生成することが可能な、Power Shape と呼ばれるソフトウェアを提供している。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

精度の必要性

ユーザは、自身の手動 CMM アームからさらに高い精度を得ることを望んでいる。作業者が手動 CMM アームに過大な応力を加えること、種々のハンドグリップ位置からアームに加わるモーメントにばらつきがあること、及び組み込まれている釣合い重りが軸受にモーメントを与えることから、手動 CMM アームにおいてかなりの誤差が生じる。CMM アームに対する荷重が持ち方の影響を受けず、かなり精度が高い、より再現性が高い手動 CMM アームが必要である。人的ミスをなくすように自動化された、より精度が高い較正プロセスがさらに必要である。

10

【0015】

自動化の必要性

光学プローブを有する手動 CMM アームは、通常は連続で長時間用いられる。この時間の大半の間、作業者は、自身から離れた場所にある、多くの場合は不便な場所にある手動 CMM アームを保持する。離れて支持される重量は、長い手動 CMM アームの場合は数キロプログラムであり得る。これは重労働であり、多くの作業者を、特に体が小さい人ほど疲労させる。作業者の疲労は一般的な問題であり、これは、病気、機能喪失、又は傷害に至る可能性がある。手動 CMM アームを用いて行われる作業の大半は、一度しか光学検査を必要としない独特な構成部品に対するものである。多くの場合、検査される表面は、直接アクセス可能ではなく、アームを操作できるように作業者が上る一時的なガントリが必要である。走査中にプローブと物体との間で相対移動が行われる、走査プローブを担持する手動 CMM アームに関する問題は、これらが十分な精度を有していても、システムは自動的に動作することができないため、システムの使用に疲労が伴い、作業者のミス又は手動 CMM アームへの過大な応力により、不正確なデータが出力され得ることである。

20

【0016】

アクセス性の必要性

測定すべき物体の形状と、可動部材上のプローブへのそのアクセス性は、用途ごとに異なる。物体の形状のより大きな範囲にアクセスするのに十分な柔軟性を有する CMM ほど、有用性が高い。実際には、硬質セグメントにより隔てられた一連の好ましくは 6 つ又は 7 つの継手を備える関節アーム CMM は、直交軸構成の CMM よりも柔軟性が高いことが、一般的に分かっている。技術の現状では、直交軸構成の自動 CMM は、自動関節ロボットアームよりも精度が数オーダ高いことも、一般的に分かっている。直交軸構成の自動 CMM は、自動関節アームロボットよりも組み立てライン等の製造環境への配置に適していないことも、一般的に分かっている。問題は、関節式であり十分な精度を有する自動 CMM 機が利用可能ではないことである。

30

40

【0017】

可搬性の必要性

1990 年代半ばに十分な精度を有するようになって以来、約 5,000 程度の可搬式手動 CMM アームが購入されていることが示すように、可搬式手動 CMM アームに対する需要は大きい。それに対応して、可搬式自動 CMM アームも必要とされているが、現在は存在していない。

【0018】

堅牢性の必要性

手動 CMM アームは、より高精度になるとともに堅牢性が低下してきている。手動 CMM アームの既存の設計は、使用及び輸送の際に衝撃、モーメント、及び酷使 (abuse: 手

50

荒な扱い)を受けやすい、精密測定システムを有する。輸送ケースの既存の設計は単純であるため、手動ＣＭＭアームは、特に衝撃により損傷を受ける。堅牢な可搬式手動ＣＭＭアームと、輸送時の衝撃から手動ＣＭＭアームに加わる力及びモーメントを最小限に抑える輸送ケースとが必要である。

【課題を解決するための手段】

【００１９】

〔発明の概要〕

従来技術では、Flemmingが、平面内でのみ使用可能であり面外の曲げを考慮に入っていない、測定アームが取り付けられたロボットアームを開示している。Slocumは、３Ｄ空間内で動作するロボットアームのための測定デバイスを開示している。これは、６軸ロボットに対して１２個の回転及び直線測定デバイスを必要とし、複雑であり、製造費用が高く、誤差の積み重ねにより精度が制限される。

10

【００２０】

したがって、本発明の目的の１つは、３Ｄ空間で動作し、且つ軸ごとに１つの測定デバイスしか必要としない、すなわち、６軸ＣＭＭアームには６つの角度エンコーダ、７軸ＣＭＭアームには７つの角度エンコーダしか必要としない、外骨格及び伝達手段を有するＣＭＭアームを提供することである。これにより、Slocumのデバイスよりも著しく堅牢且つ高精度であり、Flemmingのデバイスでの制限である３Ｄ空間で動作することができる、外骨格を有するＣＭＭアームが得られる。手動動作及び自動の両方の実施形態を有する、外骨格を有するＣＭＭアームを提供することが、本発明のさらなる目的である。別の目的は、データを収集できる外骨格を有するＣＭＭアームを提供することである。さらに別の目的は、作業を行うことができる外骨格を有するＣＭＭアームを提供することである。

20

【００２１】

本発明の第１の実施形態では、可搬式ロボットＣＭＭアームが、物体の測定を実行することができるように伝達手段を介して内部ＣＭＭアームを支持及び操作する、自動外骨格を備える。ロボットＣＭＭアーム及び内部ＣＭＭアームは、ベースにしっかりと取り付けられる。外骨格及び内部ＣＭＭアームは、同じ数の軸と、ほぼ同じ継手軸の向き及び継手中心とを有する。ロボットＣＭＭアームは、６つ又は７つの軸を有することが好ましい。外骨格が内部ＣＭＭアームの駆動及び支持の両方を行うように、外骨格と内部ＣＭＭアームとの間には伝達手段がある。伝達手段は、非硬質であり、内部ＣＭＭアームのプロープ端は、外骨格のプロープ端に対してわずかに移動することができる。この第１の実施形態は、ロボットアームのプロープ端と測定デバイスのプロープ端とをしっかりと取り付ける必要があるSlocum及びFlemmingのデバイスとは基本的に異なる。内部ＣＭＭアームのプロープ端には、少なくとも１つのプロープが取り付けられる。内部ＣＭＭアームからの位置及びプロープからの測定値が組み合わせられ、その組み合わせの曖昧性による精度不良を回避するために、新規の体系的に変化する同期ラベル及び同期方法が提案される。ロボットＣＭＭアームのベースには、制御ボックスが組み込まれる。スリップリングが、軸方向の軸(axial axes)上での無限回転を可能にする。ロボットＣＭＭアームは通常、２０～３０ｋｇの重量があり、可搬式であるため、測定される物体の方へ移動させることができる。物体のデータを測定するためにロボットＣＭＭアームを位置決めする方法を提供することが、この第１の実施形態のさらなる目的である。このロボットＣＭＭアームの発明は、新規の構造と、いずれのロボット、手動ＣＭＭアーム、又は従来のＣＭＭも可能ではない新規の能力を有する。

30

40

【００２２】

本発明の第２の実施形態では、産業ロボットＣＭＭアームが、内部ＣＭＭアームを囲む外骨格を備える。産業ロボットＣＭＭアームには、フライス削り等の作業を行うための工具を取り付けることができる。外骨格及び内部ＣＭＭアームは、プロープ端でしっかりと取り付けられることにより、内部ＣＭＭアームが工具の位置を測定して、以前のロボットのいずれよりも高精度に空間内で工具をガイドすることができる。

【００２３】

50

第3の実施形態では、能動支持ロボットＣＭＭアームが、正確な測定のために外骨格から内部ＣＭＭアームを支持し且つ移動させる、能動伝達手段を備える。外骨格は、内部ＣＭＭアームを揺動させて、内部ＣＭＭアームの重量を減らすとともに、内部ＣＭＭアームに対する力及びモーメントを大幅に減らす。伝達手段は非硬質であり、内部ＣＭＭアームのプローブ端は、外骨格のプローブ端に対してわずかに移動することができる。これは、能動支持ロボットＣＭＭアームが、他のタイプのロボットＣＭＭアームよりも高精度であることを意味する。さらなる変更形態では、内部ＣＭＭアームと外骨格との間に空気軸受が設けられる。

【0024】

第4の実施形態では、量を計測する方法、量をモデリングする方法、量を分析する方法、量を可視化する方法、及び結果を製造プロセスにフィードバックする方法が開示される。量測定プローブが、ロボットＣＭＭアームのプローブ端に取り付けられる。測定された量を測定中の物体のＣＡＤモデルと組み合わせる手段が設けられる。

【0025】

第5の実施形態では、移動式ロボットＣＭＭアームに関する方法及び装置が開示される。ロボットＣＭＭアームが、電気車両に組み込まれた格納可能な足を有する三脚に取り付けられ、或る測定位置から次の測定位置へ移動させられる。これは、車両又は航空機等の大きな物体を自動的に走査するために通常は用いられ、現在用いられている大型の水平タイプ又はブリッジタイプのＣＭＭよりも低価格で柔軟性が高い代替物となる。

【0026】

第6の実施形態では、変位可能な外骨格を有するロボットＣＭＭアームの実施形態が開示される。内部ＣＭＭアームは、外骨格から変位し、ロボットプログラムを生成するために手動で用いられる。内部ＣＭＭアームが外骨格に戻されると、ロボットがロボットプログラムを自動的に実行する。ロボットプログラムを生成するための内部ＣＭＭアームの手動操作は、教示ペンダントの使用等の従来の方法よりも高速且つ有用であるという利点を有する。

【0027】

第7の実施形態では、結合されたＣＭＭアーム及びロボットを備えるロボットＣＭＭアームが開示される。ＣＭＭアームは、少なくとも2つの位置、すなわちプローブ端と中間位置とにおいて、ロボットにより支持される。この実施形態は、ＣＭＭアーム付近からの熱源を移動させるという利点を有する。

【0028】

第8の実施形態では、外骨格を有する手動ＣＭＭアームが開示される。内部ＣＭＭアームは、外骨格により支持及び駆動され、外骨格はさらに作業者により支持及び移動される。現在の手動ＣＭＭアームは、作業者が同じアームで操作するように、測定機能、自立機能、及び堅牢性機能を組み合わせる。この第8の実施形態は、測定機能を内部ＣＭＭアームに与え、作業者が操作するための支持機能及び堅牢性機能を外骨格に与える。どのような方法で作業者が外骨格を持っても、内部ＣＭＭアームは各空間位置で常に全く同じように支持されるため、内部ＣＭＭアームに対する荷重が再現可能であり、較正プロセス中の荷重と同じである。この荷重パターンの再現性は、外骨格を有する手動ＣＭＭアームが、いかなる既存の手動ＣＭＭアームデバイスよりも高精度なデバイスであることを意味する。作業者が無線送信機を有するボタンユニットを外骨格の好都合な場所に取り付けるように、可撓性ボタン手段が設けられ、無線受信機がシステムに組み込まれる。望ましくない衝撃及び荷重から内部ＣＭＭアームを守るために、バンプストップ手段が外骨格に設けられる。打撃からプローブを保護し、接触プローブに対する荷重の一部を補償するために、プローブカバーが設けられる。外骨格を有する手動ＣＭＭアームと比較して、より小型であり、特に手首及びプローブ領域における操作が改善されているが、依然として著しく高い精度を有する、部分外骨格を有する複数の手動ＣＭＭアームが開示される。外骨格と複数の異なる接触プローブ及び非接触プローブとを有する手動ＣＭＭアームを用いるための、測定方法が提供される。外骨格を有する手動ＣＭＭアームのための自動較正装置及び方

10

20

30

40

50

法が開示される。輸送中に外骨格を有する手動ＣＭＭアームに加わる衝撃荷重の大きさを最小にするために、荷重分散機構を有する輸送ケースが提供される。

【００２９】

第９の実施形態では、保持外骨格を有する手動ＣＭＭアームが開示される。外骨格における１つ又は複数の継手は、ブレーキによりロックすることができる。これは、作業者が動作の途中で中断する必要がある場合に、アームがどの位置にあってもロックすることができるため、アームを停止位置に戻す必要がなくなることを意味する。以前のブレーキシステムは、ＣＭＭアームに対して作用し、ＣＭＭアームに荷重を加えていたが、この実施形態は、内部ＣＭＭアームにいかなる荷重も加えずに、外骨格に対して作用するという利点を有する。

10

【００３０】

第１０の実施形態では、本発明の内骨格を有する手動ＣＭＭアームの実施形態が開示される。ＣＭＭアームは、支持内骨格の外部にある。以前のデバイスでは、カウンターバランス機能は、Romer及びCimcoreのデバイスのようにアームと平行でアームの外部にあったか、又はアームに曲げモーメントが加わるようにアームに埋め込まれていた。本発明は、ＣＭＭアームの内側に補償機能を隠すとともに、アームに曲げモーメントを加えずに補償する。

【００３１】

第１１の実施形態では、内骨格を有するロボットＣＭＭアームが開示される。このＣＭＭアームは、支持及び駆動ロボット内骨格の外部にある。第１の利点は、外部ＣＭＭアームが全てのドライブ（drives：駆動機構）を隠すため、アクセスが限られている用途に適したアームが提供されることである。第２の利点は、外部ＣＭＭアームがより大きな断面を有し、且つあまり曲がらないため、より高精度になることである。

20

【００３２】

次に、本発明の実施形態を、添付図面を参照して例としてのみ説明する。

【図面の簡単な説明】

【００３３】

【図１Ａ】本発明の第１の実施形態による６軸ロボットＣＭＭアームの概略図である。

【図１Ｂ】７軸ロボットＣＭＭの概略図である。

【図１Ｃ】ロボットＣＭＭアームシステムのレイアウトである。

30

【図２】外骨格及び内部ＣＭＭアームの継手及びセグメントの概略図である。

【図３】ロボットＣＭＭアームのリーチの概略図である。

【図４】光学プローブを有するロボットＣＭＭアームの仮想リーチの概略図である。

【図５Ａ】長いＣＭＭセグメントの概略図である。

【図５Ｂ】短いＣＭＭセグメントの概略図である。

【図５Ｃ１】ＣＭＭセグメント８の概略図である。

【図５Ｃ２】カンチレバー直交継手及びインライン直交継手のオプションの概略図である。

【図５Ｄ】ベースの概略図である。

【図５Ｅ】別個に取り付けられる別個のベースセグメントのレイアウトである。

40

【図５Ｆ】同じ表面に取り付けられる別個のベースセグメントのレイアウトである。

【図５Ｇ】表面に取り付けられる外骨格ベースのレイアウトである。

【図５Ｈ】一般的なベースのレイアウトである。

【図６】スタンドの概略図である。

【図７Ａ】防振テーブルに取り付けられるロボットＣＭＭアームのレイアウトである。

【図７Ｂ】床置き式ロボットＣＭＭアームのレイアウトである。

【図７Ｃ】床に埋め込まれた定盤に取り付けられるロボットＣＭＭアームのレイアウトである。

【図７Ｄ】直線状のレールに取り付けられるロボットＣＭＭアームのレイアウトである。

【図７Ｅ】水平レールに取り付けられる２つの独立したロボットＣＭＭアームのレイアウト

50

トである。

【図 7 F】垂直軸に取り付けられる、水平移動するロボット C M M アームのレイアウトである。

【図 7 G】移動多アームベースに取り付けられる 2 つのロボット C M M アームのレイアウトである。

【図 7 H】物体に取り付けられるロボット C M M アームのレイアウトである。

【図 7 I】加工機に隣接して取り付けられるロボット C M M アームの平面図である。

【図 7 J】複数の処理機間に取り付けられるロボット C M M アームのレイアウトである。

【図 7 K】複数の作業領域間に取り付けられるロボット C M M アームのレイアウトである。

10

【図 7 L】物体上方のブリッジ上にあるロボット C M M アームのレイアウトである。

【図 7 M】回転テーブルに載置された物体に隣接するロボット C M M アームのレイアウトである。

【図 7 N】直線状テーブルに載置された物体に隣接するロボット C M M アームのレイアウトである。

【図 8 A】壁に取り付けられるロボット C M M アームのレイアウトである。

【図 8 B】ガントリに取り付けられるロボット C M M アームのレイアウトである。

【図 8 C】傾斜プラットフォームに取り付けられるロボット C M M アームのレイアウトである。

【図 8 D】水平アーム C M M に取り付けられるロボット C M M アームのレイアウトである。

20

【図 8 E】移動ブリッジ C M M に取り付けられるロボット C M M アームのレイアウトである。

【図 8 F】回転ウェッジに取り付けられるロボット C M M アームのレイアウトである。

【図 9】写真測量トラックを伴うロボット C M M アームのレイアウトである。

【図 10】ロボティック C M M アームシステムの詳細なレイアウトである。

【図 11 A】ロボティック C M M アームのアーキテクチャの図である。

【図 11 B】ロボティック C M M アームの代替的なアーキテクチャの図である。

【図 12 A】エンコーダの概略図である。

【図 12 B】デュアルパターンエンコーダの概略図である。

30

【図 12 C】デュアルパターンエンコーダマッピング装置の概略図である。

【図 12 D】軸及びパターン中心の概略図である。

【図 13 A】強制空気循環の概略図である。

【図 13 B】高慣性のロボット C M M アーム及び低慣性のロボット C M M アームの概略図である。

【図 14】全ての伝達手段の場所の概略図である。

【図 15】セグメント 8 の伝達手段の場所の概略図である。

【図 16】回転抑制手段の概略図である。

【図 17】半径方向伝達手段の 2 つの断面図である。

【図 18】ねじれ方向伝達手段の 2 つの断面図である。

40

【図 19】補償デバイスの概略図である。

【図 20】軸方向継手におけるハードリミット及びリミットスイッチの概略図である。

【図 21 A】直交継手におけるハードリミットの概略図である。

【図 21 B】直交継手におけるハードリミットの概略図である。

【図 21 C】ロボット C M M アーム及び手動 C M M アームの軸間距離の概略的な比較である。

【図 22】軸受の概略図である。

【図 23】内部 C M M アームのプロープ端の図及び断面図である。

【図 24】プロープ端に取り付けられるタッチトリガプロープの長手方向断面図である。

【図 25】プロープ端に取り付けられる光学プロープの長手方向断面図である。

50

- 【図 2 6】光学プローブ及びブラケットの図である。
- 【図 2 7 A】プローブのアーキテクチャの図である。
- 【図 2 7 B】3 本のケーブルに接続されたプローブ及びプローブボックスの概略図である。
- 【図 2 7 C】プローブボックスに繋がった 1 本のケーブルがロボット C M M アームの外部に延びる、プローブのレイアウトである。
- 【図 2 7 D】プローブボックスがロボット C M M アームに接続される、プローブのレイアウトである。
- 【図 2 8】ストライププローブの原理の 2 方向からの概略図である。
- 【図 2 9】ストライププローブ走査の概略図である。 10
- 【図 3 0】ストライプの測定領域の概略図である。
- 【図 3 1】ストライプのパッチの概略図である。
- 【図 3 2】複数の重なったパッチの概略図である。
- 【図 3 3 A】2 視野ストライププローブの概略図である。
- 【図 3 3 B】段付き物体を走査する 2 視野ストライププローブの概略図である。
- 【図 3 4 A】2 ストライププローブの概略図である。
- 【図 3 4 B】段付き物体の垂直壁を走査する 2 ストライププローブの概略図である。
- 【図 3 5】ラップトップコンピュータ用のプラットフォームの概略図である。
- 【図 3 6】ペンダントの概略図である。
- 【図 3 7】作業者が装着したヘッドセットの概略図である。 20
- 【図 3 8 A】ロボット C M M アームのボタンのレイアウトである。
- 【図 3 8 B】フットスイッチのレイアウトである。
- 【図 3 8 C】ストラップを有する遠隔制御器のレイアウトである。
- 【図 3 9】座標系のレイアウトである。
- 【図 4 0】制御 P C B のアーキテクチャの図である。
- 【図 4 1 A】継手 P C B のアーキテクチャの図である。
- 【図 4 1 B】継手 P C B における位置平均化の図である。
- 【図 4 1 C】エンコードカウンタ及びトリガパルスのタイミング図である。
- 【図 4 1 D】位置平均化プロセスのフローチャートである。
- 【図 4 1 E】歪みゲージシステムの図である。 30
- 【図 4 2】プローブをマスターとして用いる同期化プロセスのフローチャートである。
- 【図 4 3 A】プローブ測定のタイミング図である。
- 【図 4 3 B】プローブ測定のタイミング図である。
- 【図 4 3 C】プローブ測定のタイミング図である。
- 【図 4 4】トリガされたプローブ測定の遅延を示すタイミング図である。
- 【図 4 5】プローブをスレーブとして用いる同期化プロセスのフローチャートである。
- 【図 4 6】タイムスタンプ測定プロセスのフローチャートである。
- 【図 4 7】リッジ付きアーチファクトを走査するプローブの概略図である。
- 【図 4 8】リッジ付きアーチファクトの + X 走査及び - X 走査の図である。
- 【図 4 9】較正機器のレイアウトである。 40
- 【図 5 0】較正用アーチファクトの図である。
- 【図 5 1 A】較正用アーチファクトの位置決めのための場所図である。
- 【図 5 1 B】回転軸を有する較正機器のレイアウトである。
- 【図 5 2】測定プロセスのフローチャートである。
- 【図 5 3】本発明の第 2 の実施形態による産業ロボット C M M アームの概略図である。
- 【図 5 4】ハイブリッド 6 / 7 軸産業ロボット C M M アームの図である。
- 【図 5 5】複数ロボット C M M アームセルにおけるグローバル座標系アーチファクトの概略図である。
- 【図 5 6】特徴検査プロセスのフローチャートである。
- 【図 5 7】表面検査プロセスのフローチャートである。 50

- 【図 5 8】工具動作プロセスのフローチャートである。
- 【図 5 9 A】検査及び工具調整プロセスのフローチャートである。
- 【図 5 9 B】構成部品調整プロセスのフローチャートである。
- 【図 6 0】本発明の第 3 の実施形態による能動支持ロボット C M M アームの概略図である。
- 【図 6 1】能動軸方向支持部を有する半径方向能動伝達手段の図である。
- 【図 6 2】能動軸方向及び半径方向支持部を有するねじれ方向能動伝達手段の概略図である。
- 【図 6 3】能動半径方向支持部を有する能動伝達手段の図である。
- 【図 6 4】能動支持部制御システムの概略図である。
- 【図 6 5】能動支持部を用いた制御ループの概略図である。
- 【図 6 6】本発明の第 4 の実施形態による量測定プロセスのフローチャートである。
- 【図 6 7】量モデリングプロセスのフローチャートである。
- 【図 6 8】量分析、可視化、及びフィードバックプロセスのフローチャートである。
- 【図 6 9】本発明の第 5 の実施形態による移動式ロボット C M M アームの図である。
- 【図 7 0】移動式ロボット C M M アーム設備の床配置図である。
- 【図 7 1】基準円錐設置の図である。
- 【図 7 2】基準円錐位置、標的位置、及びテープ位置に関するデータ構造である。
- 【図 7 3】移動式ロボット C M M アーム準備プロセスのフローチャートである。
- 【図 7 4】移動式ロボット C M M アーム測定プロセスのフローチャートである。
- 【図 7 5】本発明の第 6 の実施形態による、変位可能な外骨格を有するロボット C M M アームの図である。
- 【図 7 6】スロット付き管状ロボットセグメントの図である。
- 【図 7 7】割軸受伝達手段の図である。
- 【図 7 8】変位可能な外骨格を有するロボット C M M アームの測定プロセスのフローチャートである。
- 【図 7 9】結合されたロボット C M M アームの概略図である。
- 【図 8 0 A】外骨格を有する手動 C M M アームシステムのレイアウトである。
- 【図 8 0 B】外骨格が静止している手動 C M M アームの概略図である。
- 【図 8 1】プローブカバーの概略図である。
- 【図 8 2 A】光学プローブカバーの概略図である。
- 【図 8 2 B】ハンドルとしての光学プローブカバーの概略図である。
- 【図 8 3 A】部分外骨格の概略図である。
- 【図 8 3 B】延長部分外骨格の概略図である。
- 【図 8 3 C】種々の内部 C M M 及び外骨格継手位置を有する保護延長部分外骨格の概略図である。
- 【図 8 3 D】手動接触測定プロセスのフローチャートである。
- 【図 8 3 E】自動接触測定プロセスのフローチャートである。
- 【図 8 3 F】非接触走査プロセスのフローチャートである。
- 【図 8 3 G】接触走査プロセスのフローチャートである。
- 【図 8 3 H】モジュラーロボティック校正リグの概略図である。
- 【図 8 3 I】外部ロボット校正リグの概略図である。
- 【図 8 4】輸送ケースの概略図である。
- 【図 8 5】外骨格を有する手動 C M M アームシステムのレイアウトである。
- 【図 8 6 A】力を示す、非支持手動 C M M アームの図である。
- 【図 8 6 B】力を示す、外骨格を有する手動 C M M アームの図である。
- 【図 8 6 C】力を示す、外骨格を有する手動 C M M アームの図である。
- 【図 8 7】ロボット外骨格及び外部 C M M アームの継手及びセグメントの概略図である。
- 【発明を実施するための最良の形態】
- 【 0 0 3 4 】

10

20

30

40

50

[好ましい実施形態の形態]

[第 1 の実施形態]

可搬式ロボット CMM アーム

本発明の外骨格を有する CMM アームの第 1 の実施形態は、可搬式ロボット CMM アームである。この可搬式ロボット CMM アームの実施形態は、外骨格によりガイドされる内部 CMM アームを備える。外骨格は、高精度な測定ができるように、伝達手段を介して内部 CMM アームを支持及び操作する。本発明は、多くのロボット CMM アームの関節アームレイアウトで具現することができる。本発明の第 1 の実施形態によるロボット CMM アームには、2 つの好ましいレイアウト、すなわち、6 つの継手を有する 6 軸型及び 7 つの継手を有する 7 軸型がある。

10

【 0 0 3 5 】

ロボット CMM アームの継手及びセグメントのレイアウト

図 1 A 及び図 1 B は、本発明の第 1 の実施形態によるロボット CMM アーム 1 の好ましい 6 軸レイアウト及び 7 軸レイアウトそれぞれを示す図である。関節ロボット CMM アーム 1 は、ベース端 2 及びプローブ端 3 を有し、2 端間に一連のセグメント及び回転継手を備える。2 つのタイプの継手、軸方向継手及び直交継手がある。軸方向継手（図 1 A、図 1 B では「A」と記す）は、その 2 つの隣接するセグメントの共通軸を中心に回転する。直交継手（図 1 A 及び図 1 B では「O」と記す）は、その 2 つの隣接するセグメント間のヒンジとして回転する。図 1 A では、継手のタイプは、ベース端 2 からプローブ端 3 まで順に、A O O A O A であり、これらはそれぞれ継手中心 2 1、2 2、2 4、2 5、2 6、及び 2 7 を指す。図 1 B では、継手のタイプは、ベース端 2 からプローブ端 3 まで順に、A O A O A O A であり、これらはそれぞれ継手中心 2 1、2 2、2 3、2 4、2 5、2 6、及び 2 7 を指す。6 軸レイアウトは、7 軸レイアウトよりも低費用であるという利点を有する。7 軸レイアウトは、6 軸レイアウトよりも複雑な物体へのアクセスの柔軟性が高いという利点を有する。

20

【 0 0 3 6 】

図 1 B の好ましい 7 軸ロボット CMM アーム 1 は、本発明のロボット CMM アーム 1 のこの第 1 の実施形態で説明されているが、本発明は、この継手レイアウト又は図 1 A の好ましい 6 軸レイアウトに限定されず、軸受は 7 つよりも多くても少なくてもよい。単純な用途では、3 つの継手で十分であり得る。本発明は、回転移動軸のみに限定されない。以下で開示されるように、本発明は、ベース端 2 を取り付けることが好ましい 1 つ又は複数の直線移動軸を備えていてもよい。

30

【 0 0 3 7 】

図 1 c は、ケーブル 1 5 2 によりラップトップコンピュータ 1 5 1 に接続されるロボット CMM アーム 1 を備える、ロボット CMM アームシステム 1 5 0 を示す。ロボット CMM アーム 1 は、ベース端 2 及びプローブ端 3 を有する。ロボット CMM アーム 1 は表面 7 に取り付けられる。ロボット CMM アーム 1 のプローブ端 3 には、プローブ 9 0 が取り付けられる。ロボット CMM アーム 1 のプローブ端 3 付近には、光学プローブ 9 1 も取り付けられる。ロボット CMM アーム 1 は、ベース 4、内部 CMM アーム 5、外骨格 6、及び伝達手段 1 0 を備える。測定される物体 9 は、表面 7 に配置される。

40

【 0 0 3 8 】

図 2 は、ロボット CMM アーム 1 の 2 つの主要部品、すなわち、内部 CMM アーム 5 及び外骨格 6 を示し、これらは、共通のベース 4 と、共通の継手中心 2 1、2 2、2 3、2 4、2 5、2 6、及び 2 7 とを共有する。内部 CMM アーム 5 は、本明細書中でそれぞれ CMM セグメント 2 ~ 8 と呼ばれる、セグメント 3 2、3 3、3 4、3 5、3 6、3 7、及び 3 8 を備える。CMM セグメント 8 3 8 は、ロボット CMM アーム 1 のプローブ端 3 に達する。共通のベース 4 は、CMM セグメント 3 1 と呼ばれる。内部 CMM アーム 5 はさらに、本明細書中でそれぞれ CMM 継手 1 ~ 7 と呼ばれる、継手 5 1、5 2、5 3、5 4、5 5、5 6、5 7 を備える。外骨格 6 は、本明細書中でそれぞれ外骨格セグメント 2 ~ 8 と呼ばれる、セグメント 4 2、4 3、4 4、4 5、4 6、4 7、及び 4 8 を備え

50

る。外骨格セグメント 8 4 8 は、ロボット CMM アーム 1 のプローブ端 3 まで達しない。共通のベース 4 は、外骨格セグメント 4 1 と呼ばれる。外骨格 6 はさらに、本明細書中でそれぞれ外骨格継手 1 ~ 7 と呼ばれる、継手 6 1、6 2、6 3、6 4、6 5、6 6、及び 6 7 を備える。ロボット CMM アーム 1 はさらに、本明細書中でそれぞれ伝達手段 2 ~ 8 と呼ばれる、伝達手段 7 2、7 3、7 4、7 5、7 6、7 7、及び 7 8 を備え、これらは内部 CMM アーム 5 を外骨格 6 に取り付ける。伝達手段 2 7 2 は、CMM セグメント 2 3 2 を外骨格セグメント 2 4 2 に取り付ける。伝達手段 3 7 3 は、CMM セグメント 3 3 3 を外骨格セグメント 3 4 3 に取り付け、伝達手段 4 7 4、5 7 5、6 7 6、7 7 7、及び 8 7 8 に関しても同様である。

【0039】

10

内部 CMM アームの継手及びセグメントのレイアウト

ロボット CMM アーム 1 の内部 CMM アーム 5 のセグメント及び継手は、概して以下のように命名及びレイアウトされる。

【0040】

セグメント	名称	場所の説明	比較長さ
CMMセグメント 1	ベース	ベース端及び継手 1 間	短い
CMMセグメント 2	肩	継手 1 及び継手 2 間	短い
CMMセグメント 3	上腕	継手 2 及び継手 3 間	長い
CMMセグメント 4	肘	継手 3 及び継手 4 間	短い
CMMセグメント 5	下腕	継手 4 及び継手 5 間	長い
CMMセグメント 6	手	継手 5 及び継手 6 間	短い
CMMセグメント 7	手首	継手 6 及び継手 7 間	短い
CMMセグメント 8	プローブ	継手 7 及びプローブ端間	短い

20

【0041】

継手	名称	タイプ	回転
CMM継手 1	ベース	軸方向	$> 360^\circ$
CMM継手 2	肩	直交	$> 180^\circ$
CMM継手 3	肘上 (Pre-elbow)	軸方向	$> 360^\circ$
CMM継手 4	肘	直交	$> 180^\circ$
CMM継手 5	手首上 (Pre-wrist)	軸方向	$> 360^\circ$
CMM継手 6	手首	直交	$> 180^\circ$
CMM継手 7	センサ	軸方向	$> 360^\circ$

30

【0042】

次に図 3 を参照すると、ロボット CMM アーム 1 のリーチ 8 0 は、CMM 継手 3 ~ 7 がこの距離を最大にするように回転する場合の、継手中心 2 2 2 から CMM セグメント 8 3 8 のプローブ端 3 までであると定義される。ロボット CMM アーム 1 のリーチ 8 0 の大部分は、CMM セグメント 3 3 3 の長さ及び CMM セグメント 5 3 5 の長さの和から成る。

40

【0043】

次に図 4 を参照すると、光学プローブ 9 1 が CMM セグメント 8 3 8 に取り付けられている場合、リーチ 8 0 は、CMM セグメント 8 3 8 のプローブ端 3 と測定が行われ得る測定深さの光学測定中点 8 2 との間の距離である仮想リーチ 8 1 だけ増加する。

【0044】

各 CMM セグメントは高い剛性を有する。内部 CMM アーム 5 に対して少しでも荷重があると、セグメントの曲げ又はねじれが生じ、内部 CMM アーム 5 の精度を低下させることになる。重力は持続的な荷重源であり、重力の影響は、ロボット CMM アーム 1 の空間的向きが異なれば異なる。通常の使用時におけるロボット CMM アームの長い CMM セグ

50

メントの典型的な最大角度ねじれ傾斜 (maximum angular torsional slope) は 0 . 2 5 秒角であるが、特に C M M セグメントの長さに応じて、それよりも大きくても小さくてもよい。通常の使用時におけるロボット C M M アームの長い C M M セグメントの典型的な最大角度曲げ傾斜 (maximum angular bending slope) は 0 . 5 秒角であるが、長い C M M セグメントの材料、長さ、及び直径に応じて、それよりも大きくても小さくてもよい。

【 0 0 4 5 】

各 C M M セグメントは、1 つ又は複数の重要なアイテムを備える。

【 0 0 4 6 】

セグメント	アイテム	継手	説明	
CMMセグメント 1	ベース	1	加工した航空機用アルミニウム	10
CMMセグメント 2	肩	1、2	加工した航空機用アルミニウム	
CMMセグメント 3	ハウジング	2	加工した航空機用アルミニウム	
	リンク	0	炭素繊維織物	
	ハウジング	3	加工した航空機用アルミニウム	
CMMセグメント 4	肘	3、4	加工した航空機用アルミニウム	
CMMセグメント 5	ハウジング	4	加工した航空機用アルミニウム	
	リンク	0	炭素繊維織物	
	ハウジング	5	加工した航空機用アルミニウム	
CMMセグメント 6	手	5、6	加工した航空機用アルミニウム	
CMMセグメント 7	手首	6、7	加工した航空機用アルミニウム	20
CMMセグメント 8	プローブ	7	加工した航空機用アルミニウム	

【 0 0 4 7 】

次に図 5 A を参照すると、C M M セグメント 3 3 3、5 3 5 は、それぞれ 1 つの継手を収容する 2 つの端ハウジング 1 0 0 と 1 0 1 との間に、直径 1 0 8 及び肉厚 1 0 9 を有するリンク部材 1 0 2 を備える。次に図 5 B を参照すると、C M M セグメント 2 3 2、4 3 4、6 3 6、及び 7 3 7 は、各端に 1 つずつ 2 つの継手を収容するダブルハウジング 1 0 3 を備える。次に図 5 C 1 を参照すると、C M M セグメント 8 3 8 は、一端に C M M 継手 7 5 7 を収容するプローブ端ハウジング 1 0 5 を備え、他端には、プローブ端 3 で終端するプローブ 9 0 が取り付けられる C M M プローブ取り付け手段 3 9 がある。C M M 継手 2 5 2、4 5 4、6 5 6 に直交継手を設ける種々のオプションがあることが理解されるであろう。次に図 5 C 2 を参照すると、カンチレバーオプション及びインラインオプションが、C M M 継手 2 5 2 に関して示される。C M M 継手 2 5 2、4 5 4、6 5 6 の好ましいオプションはインライン (in-line: 直列) である。ロボット C M M アーム 1 の範囲は、これらの継手オプションのいずれにも限定されず、任意の他の設計の直交継手を含むことができる。

【 0 0 4 8 】

外骨格の継手及びセグメントのレイアウト

ロボット C M M アーム 1 の外骨格 6 のセグメント及び継手は、概して以下のように命名及びレイアウトされる。

【 0 0 4 9 】

セグメント	名称	場所の説明	比較長さ
外骨格セグメント 1	ベース	ベース端及び継手 1 間	短い
外骨格セグメント 2	肩	継手 1 及び継手 2 間	短い
外骨格セグメント 3	上腕	継手 2 及び継手 3 間	長い
外骨格セグメント 4	肘	継手 3 及び継手 4 間	短い
外骨格セグメント 5	下腕	継手 4 及び継手 5 間	長い
外骨格セグメント 6	手	継手 5 及び継手 6 間	短い
外骨格セグメント 7	手首	継手 6 及び継手 7 間	短い
外骨格セグメント 8	プローブ	継手 7 から延びる	短い

10

【 0 0 5 0 】

継手	名称	タイプ	回転	ブレーキ
外骨格継手 1	ベース	軸方向	> 3 6 0 °	ブレーキなし
外骨格継手 2	肩	直交	> 1 8 0 °	ブレーキあり
外骨格継手 3	肘上	軸方向	> 3 6 0 °	ブレーキあり
外骨格継手 4	肘	直交	> 1 8 0 °	ブレーキあり
外骨格継手 5	手首上	軸方向	> 3 6 0 °	ブレーキあり
外骨格継手 6	手首	直交	> 1 8 0 °	ブレーキあり
外骨格継手 7	センサ	軸方向	> 3 6 0 °	ブレーキあり

20

【 0 0 5 1 】

各外骨格セグメントは、1 つ又は複数の重要なアイテムを備える。

【 0 0 5 2 】

セグメント	アイテム	継手	説明
外骨格セグメント 1	ベース	1	加工した航空機用アルミニウム
外骨格セグメント 2	肩	1、2	加工した航空機用アルミニウム
外骨格セグメント 3	ハウジング	2	加工した航空機用アルミニウム
	リンク	0	アルミニウム管
	ハウジング	3	加工した航空機用アルミニウム
外骨格セグメント 4	肘	3、4	加工した航空機用アルミニウム
外骨格セグメント 5	ハウジング	4	加工した航空機用アルミニウム
	リンク	0	アルミニウム管
	ハウジング	5	加工した航空機用アルミニウム
外骨格セグメント 6	手	5、6	加工した航空機用アルミニウム
外骨格セグメント 7	手首	6、7	加工した航空機用アルミニウム
CMMセグメント 8	プローブ	7	加工した航空機用アルミニウム

30

【 0 0 5 3 】

ベースのレイアウト

次に図 5 D を参照すると、ベース 4 は、標準 3 . 5 インチの強力ねじ (heavy duty thread) 1 1 6 によって取り付け板 8 に螺入される、軸受中心 2 1 を有する C M M 継手 1 5 1 を収容する C M M セグメント 1 3 1 と、ボルト 1 0 6 によって C M M セグメント 3 1 にしっかりと取り付けられる、継手中心 2 1 を有する外骨格継手 1 6 1 を収容する外骨格セグメント 1 4 1 とを備える。取り付け板 8 は、取り付けボルト 1 0 7 等の取り付け手段 1 0 4 によって表面 7 に取り付けられる。内部 C M M アーム 5 及び外骨格 6 の両方が、ベースセグメント 3 1、4 1 をそれぞれ有する。この第 1 の実施形態では、外骨格セグメント 1 4 1 は、座ぐり穴用ボルト (counter-bored bolts) 1 0 6 により C M M セグメント 1 3 1 にしっかりと取り付けられる。次に図 5 E を参照すると、本発明の口

40

50

ロボットＣＭＭアーム１の別の実施形態では、ＣＭＭセグメント１ ３ １が外骨格セグメント１ ４ １に取り付けられないように、ＣＭＭセグメント１ ３ １は第１の表面７ ａに取り付けることができ、外骨格セグメント１ ４ １は第２の表面７ ｂに取り付けることができる。次に図５Ｆを参照すると、本発明のロボットＣＭＭアーム１のさらなる実施形態では、ＣＭＭセグメント１ ３ １及び外骨格セグメント１ ４ １の両方を、同じ表面７に独立して取り付けることができる。表面７とベース２との間にベース延長セクションを設けることにより、ＣＭＭ継手１ ５ １を表面７からさらに高い位置に上昇させることができる。このようなベース延長セクションは、通常は 0.075 ppm/ という低い熱膨張率を有する炭素繊維織物から成る軽量管に基づいていることが好ましい。これは、表面７に対するベース延長管を有するロボットＣＭＭアーム１の測定が、温度の変化に大きな影響を受けないことを意味する。次に図５Ｇを参照すると、本発明のロボットＣＭＭアーム１のさらなる実施形態では、ＣＭＭセグメント１ ３ １を、表面７に取り付けられた外骨格セグメント１ ４ １にしっかりと、又は移動可能に（flexibly）取り付けることができる。次に図５Ｈを参照すると、本発明のロボットＣＭＭアームのさらなる実施形態では、ＣＭＭセグメント１ ３ １及び外骨格セグメント１ ４ １は、表面７に取り付けられた同じベースアイテム４であってもよく、ＣＭＭセグメント２ ３ ２及び外骨格セグメント２ ４ ２の両方が、それぞれＣＭＭ継手１ ５ １及び外骨格継手１ ６ １を介してこれに取り付けられる。いかなるベース取り付け形態があってもよいことが、本発明のロボットＣＭＭアームの目的である。

10

20

【００５４】

ロボットＣＭＭアームのリーチ

本発明のロボットＣＭＭアーム１は、この第１の実施形態では、種々のリーチを有する或る範囲の可搬式ロボットＣＭＭアームとして提供される。可搬式ロボットＣＭＭアームのリーチ８０は、 0.6 m から 3 m まで様々である。本発明の範囲は、この範囲内のリーチに限定されず、リーチ８０は、 0.6 m よりも短くてもよく、又は 3 m よりも長くてもよい。

【００５５】

内部ＣＭＭアームの構造

剛性及び質量

本発明の目的の１つは、内部ＣＭＭアーム５の質量を最小にすることである。これによりさらに、剛性が低くてよく、内部ＣＭＭアーム５を動かす原動力も少なくてもよい。可搬式ロボットＣＭＭアーム１の質量を最小にすることができ、それによりロボットＣＭＭアーム１の可搬性がより高まる。有益な相乗効果があり、内部ＣＭＭアーム５から質量を 100 g 除去するごとに、ロボットＣＭＭアーム１の設計から約 $250 \sim 400 \text{ g}$ を除去することができることが、経験により示されている。中程度のリーチを有する内部ＣＭＭアーム５の移動部品の典型的な重量は、 $2.5 \sim 4 \text{ kg}$ である。内部ＣＭＭアーム５に対する、特に内部ＣＭＭアームの継手５ １～５ ７に対する応力を最小にするために、外骨格６が内部ＣＭＭアーム５を支持及び駆動する。使用時には、外骨格６に対する荷重は、重力及び伝達手段１０を介して伝達される荷重だけであるべきである。外骨格６は、内部ＣＭＭアーム５を常に同じ場所で支持するため、同じ空間的向きで再現可能に荷重が与えられる。比較すると、技術水準の手動ＣＭＭアームは、付加的な応力が作業員により加えられるような設計になっており、この応力は、内部ＣＭＭアーム５に対する応力よりも著しく高い上に、作業員が把持する位置及び把持の仕方に応じて、異なる荷重場所及び荷重方向で加えられる。これは、内部ＣＭＭアーム５が、同様のリーチを有する手動ＣＭＭアームほど高い剛性を必要とせず、より軽量であることを意味する。

30

40

【００５６】

リンク部材の直径及び厚さ

リンク部材の直径１０８が大きいほど、剛性及び精度が高くなる。材料科学の進歩に伴い、より高剛性且つ軽量の新たな材料が利用可能になるにつれて、アームの剛性対重量比は大きくなっている。内部ＣＭＭアーム５は、上腕及び下腕、すなわちＣＭＭセグメント

50

3 3 3、CMMセグメント5 3 5に、2つの長いリンク部材1 0 2を有する。内部CMMアーム5のリンク部材直径1 0 8は、4 0 mm ~ 7 0 mmの範囲である。本発明のロボットCMMアーム1の範囲は、このリンク部材直径に制限されず、7 0 mmよりも長い、又は4 0 mmよりも短いリンク部材直径を用いてもよい。作業者による操作中には、技術水準の手動CMMアームに対する力及びトルクは、特に、その時点の継手角度と、補償デバイスと、加速度と、作業者により誘発される力及びトルクとの組み合わせに関連する重力から生じる。作業者は、いずれのリンクにも曲げ力を加え得る。この理由から、手動CMMアームは通常、両方のセグメントで同じリンク直径を有する。外骨格6は、内部CMMアーム5の全てのセグメント3 2 ~ 3 8をほぼ等しく支持する。この理由から、この第1の実施形態の内部CMMアーム5は、セグメント3 3 及び3 5の両方で同じリンク部材直径1 0 8を有する。本発明のロボットCMMアームの範囲は、均一なリンク部材直径に制限されず、リンク部材直径は異なってもよい。リンク部材1 0 2は、本質的には、継手又は伝達手段によりいずれかの端で支持される単純なビームである。主な撓みモードは、水平である場合の重力下で生じる。リンク部材1 0 2に対して望ましくないモーメントが何もないと仮定すると、リンク部材1 0 2の撓みは、リンク部材の厚さ1 0 9とは主に無関係である。リンク部材の厚さは非常に薄くすることができ、これが内部CMMアーム5の質量を最小にするという目的と一致していることになる。内部CMMアームのリンク部材厚さ1 0 9は、セグメント3 3 及び3 5の両方で1 mm ~ 1 . 5 mmであることが好ましい。リーチが長いアームほど、リンク部材厚さ1 0 9及び/又はリンク部材直径1 0 8は通常、剛性を維持するために増加する。リンク部材の直径及び厚さは、種々の設計仕様及び製造制約のために設計プロセスにおいて最適化されるパラメータである。

10

20

【0 0 5 7】

形状

外骨格セグメント2 4 2 ~ 8 4 8は、組み立て中に内部CMMアームセグメントに被さる (pass down over)。内部CMMアームのCMMセグメント3 2 ~ 3 8の形状は、できる限り小さい最大半径方向寸法を有するように制約される。最大半径方向寸法を小さくすることにより、外骨格セグメント2 4 2 ~ 8 4 8のサイズを小さくすることができ、これにより、本発明のロボットCMMアームが小さくなり、その用途がより柔軟になる。

【0 0 5 8】

30

外骨格構造

性能

ロボットCMMアーム1が可搬式であり、その重量が最小であることが、この第1の実施形態の目的の1つである。この目的は、サイクルタイムを最小にするとともに、それに対応して継手においてより大きな角加速度を得るという要件と両立できない。最大角速度及び最大角加速度に関する性能は、リーチが長いロボットCMMアーム1よりもリーチが短いロボットCMMアームの方が高い。最大継手角速度は通常、2 0 ° / 秒 ~ 4 0 0 ° / 秒の範囲である。外骨格継手1 6 1 ~ 4 6 4は、トルクがより大きいため、外骨格継手5 6 5 ~ 7 6 7よりも小さい最大角速度を有する。リーチ8 0が3 mと長く、ロボットCMMアームの重量が3 5 k g未満である場合、継手2は通常、2 0 ° / 秒の最大角速度を有し得る。リーチ8 0が1 m未満と短く、ロボットCMMアームの重量が約2 0 k gである場合、継手7は、4 0 0 ° / 秒の最大角速度を有し得る。本発明のロボットCMMアームの範囲は、この範囲の最大角速度に制限されず、継手の最大角速度は、4 0 0 ° / 秒よりも大きくてもよく、又は2 0 ° / 秒よりも小さくてもよい。

40

【0 0 5 9】

質量及び剛性

支持機能及び駆動機能を果たすには高剛性が必要ないため、外骨格構造は内部CMMアームよりも剛性が低い。したがって、外骨格構造は軽量であり、ロボットCMMアームの可搬性がより高くなる。所与の性能基準に対して、任意の移動セグメントの質量を減らすと、あまり強力な駆動システムが必要なく、したがって軽量になるという好循環がある。

50

或る範囲の可搬式ロボットＣＭＭアームの通常の質量は、１ｍのリーチの場合１８ｋｇから３ｍのリーチの場合３５ｋｇまで様々である。本発明のロボットＣＭＭアームの範囲は、この範囲の質量に制限されず、最大質量は、３５ｋｇよりも重くてもよく、又は１８ｋｇよりも軽くてもよい。

【００６０】

形状

外骨格構造は小型であり、内部ＣＭＭアームに近接している。これは、ロボットＣＭＭアームが、車内等の測定が困難な領域にアクセスできることを意味する。したがって、ロボットＣＭＭアームは、カーシートを元の位置にあるままで測定することができず、まず車両から取り外さなければならない場合等、物体の大掛かりな準備なしには取り組むことができない用途に適用することができる。外骨格セグメント４２～４８は、内部ＣＭＭアームセグメント３２～３８が使用中に有害な固体、液体、又はガスに曝されないよう保護するために、密閉形状を形成する。外骨格セグメント４２～４８は、内部ＣＭＭアームセグメント３２～３８の上から嵌まるように中空である。外骨格の形状は、ロボットＣＭＭアームを手動で使用可能にする機能も果たし、衝突の場合に内部ＣＭＭアームの部品を保護する。外骨格構造の部品は、美的理由から非機能的な表面形状を有する。外骨格の形状を決定する最大要因の１つは、モータ及びギヤボックス駆動要素のサイズ及び場所である。

10

【００６１】

材料

内部ＣＭＭアームの材料

ハウジング１００、１０１、１０３、１０５は、航空機用アルミニウムでできており、アルミニウムは陽極酸化される。リンク部材１０２は、ゼロに近い熱膨張率、高剛性、及び低密度を提供する、Toray T700等の炭素繊維織物－エポキシ複合材料からできている薄肉管から成る。リンク部材１０２は、当業者により十分に理解されるように、精密治具で支持しながら、エポキシ等の接着剤により端ハウジング１００、１０１に取り付けることができる。

20

【００６２】

外骨格の材料

継手ハウジングアイテムは、航空機用アルミニウムでできている。アルミニウムは陽極酸化される。リンクアイテムは、炭素繊維の精密成形品から成る。リンクアイテムは、精密治具で支持しながら、エポキシ等の接着剤により継手ハウジングアイテムに取り付けられる。

30

【００６３】

ロボットＣＭＭアームの取り付け

本発明の目的の１つは、使用対象の用途に合うように、複数の異なる取り付け手段を用いて、ロボットＣＭＭアームを複数の異なる構造に種々の向きで取り付けることができることである。

【００６４】

取り付け手段

表面７へのロボットＣＭＭアーム１の取り付けは、ボルト１０７によるボルト締め、磁氣的取り付け（magnetic mounting：磁着）、真空取り付け、及びクランピングを含む多くの手段１０４により行うことができる。用いる取り付け手段１０４は、ロボットＣＭＭアーム１の動作中に取り付け板８と表面７との間に移動をもたらすことにより、ロボットＣＭＭアーム１の精度を低下させないように、十分な剛性を有する。

40

【００６５】

垂直なロボットＣＭＭアームの向きを有する水平表面

図６を参照すると、ロボットＣＭＭアーム１は通常、標準３．５インチ×８ねじ１１６を用いて可搬式スタンド１１０の水平取り付け表面１１２に取り付けられる。スタンド１１０は、ロックすることができる３つの車輪１１１を有する。スタンド１０は格納可能な

50

足 1 1 3 を有する。スタンド 1 1 0 は、転倒を避けるために大きな設置面積を有する。手動 C M M アームのアーム荷重の一部を作業者の足が受けることにより、スタンド 1 1 0 に対するトルクが減るため、その設置面積は対応する手動 C M M アームの設置面積よりも大きい。ロボット C M M アーム 1 は対応する手動 C M M アームよりも重いため、スタンド 1 1 0 の質量は、対応する手動 C M M アームスタンドの質量よりも重い。スタンド 1 1 0 は、ロボット C M M アームのベースを昇降させるための伸張可能な垂直部材 1 1 5 を有する。スタンド 1 1 0 は、剛性の高い床表面上で用いられなければならない、カーペット又は圧縮可能な床仕上げ材の上で用いてはならない。スタンド 1 1 0 は、ロボット C M M アームの動力学により揺動されないように、重いことが好ましい。スタンドに取り付けられる可搬式ロボット C M M アームの制御により、スタンド 1 1 0 の揺動及び精度の低下を避けるために、角加速度及び角速度が制限される。リーチが短いロボット C M M アームのスタンド 1 1 0 の一例は、重量が約 1 0 0 k g で、Brunson Instrument Company (米国) により製造される、短いリーチ及び中程度のリーチに適したスタンド番号 2 3 1 - 0 である。付加的な重りをスタンド 1 1 0 のベースにしっかりと取り付けて、その安定性を高めてもよい。リーチが長いロボット C M M アームには、より大きく頑丈なスタンドが必要である。図 7 A を参照すると、ロボット C M M アーム 1 は、支持体 1 2 2 の上に配置されている防振手段 1 2 1 によって床 1 1 9 に伝わる振動から隔離することができる、光学台又は花崗岩ブロック等の安定したテーブル 1 2 0 に、しっかりと取り付けることができる。図 7 B を参照すると、ロボット C M M アーム 1 は、床 1 1 9 に直接取り付けてもよい。図 7 C を参照すると、ロボット C M M アーム 1 は、床 1 1 9 に取り付けられた定盤 1 2 3 に取り付けられてもよい。図 7 D の平面図を参照すると、ロボット C M M アーム 1 は、レール軸 1 2 4 に取り付けられ、レール軸 1 2 4 上で床 1 1 9 を移動する。ロボット C M M アーム 1 は、レール軸 1 2 4 に沿って 3 つの異なる位置 A、B、C で示される。これは、ロボット C M M アーム 1 がはるかに大きな体積の大きな物体 9 を測定できることを意味する。第 2 のロボット C M M アーム 1 が第 2 のレール軸 1 2 4 に取り付けられ、2 つの異なる位置 D 及び E で示される。2 つのレール軸は平行であることが好ましい。これは、2 つのロボット C M M アーム 1 が独立して移動して、自転車、自動車、又は大型車両等の大きな物体 9 の両側で測定を行うことができることを意味する。レール軸 1 2 4 は直線状であることが好ましい。レール軸 1 2 4 は、取り外し及び異なる場所に設置し直すことができるように、床 1 1 9 の上に取り付けられることが好ましい。代替的に、レール軸 1 2 4 は、床 1 1 9 に永久的に埋め込まれてもよい。レール軸 1 2 4 は、手動式、好ましくはボタンを介した手動の作動に応じたモータ駆動式、又は好ましくは C N C 駆動式であり得る。ロボット C M M アーム 1 は、レール軸 1 2 4 に沿った並進中は静止中ほど安定しない。ロボット C M M アーム 1 は、レール軸 1 2 4 に沿った並進中は測定を行わず、その代わりに、レール軸 1 2 4 を用いてロボット C M M アーム 1 を、A から B を経由して C へ等、或る測定場所から別の測定場所へ移動させることが好ましい。しかしながら、ロボット C M M アームは、レール軸 1 2 4 に沿った並進中に測定を行ってもよいが、精度は通常は低下する。この状況は、レール軸 1 2 4 が、ロボット C M M アーム 1 が取り付けられる大型機械の一部である場合に起こる可能性が最も高い。次に図 7 E を参照すると、2 つのロボット C M M アーム 1 を、同じレール軸 1 2 4 に取り付け、独立して移動させることができる。レール軸 1 2 4 に沿った各ロボット C M M アーム 1 の移動は、手動式、好ましくはボタンを介した手動の作動に応じたモータ駆動式、又は好ましくは C N C 駆動式であり得る。適した用途は、設計室での自動車プロトタイプの測定である。これは、2 つのレール軸 1 2 4 それぞれの上を 2 つずつが独立して移動する 4 つのロボット C M M アーム 1 を有する測定設備の生産力が、各レール軸 1 2 4 上にロボット C M M アームが 1 つしかない測定設備の生産力の 2 倍であり得ることを意味する。次に図 7 F を参照すると、ロボット C M M アーム 1 は、ロボット C M M アーム 1 のベースを垂直方向に上下移動させることができる垂直軸 1 3 3 に取り付けられる。垂直軸 1 3 3 は、レール軸 1 2 4 上で水平方向に移動することができる。垂直軸 1 3 3 は、手動式、好ましくはボタンを介した手動の作動に応じたモータ駆動式、又は好ましくは C N C 駆動式であり得る。垂直軸 1 3 3 は、図 7 D に示すツイン対向

10

20

30

40

50

ロボットＣＭＭアーム構成の一方又は両方のロボットＣＭＭアーム１に対して設けてもよく、又は垂直軸１３３は、図７Ｅに示すロボットＣＭＭアーム構成の一方又は両方のアームに対して設けてもよい。次に図７Ｇを参照すると、２つのロボットＣＭＭアームが、レール軸１２４上を移動する移動多アームベース１３４に取り付けられる。作業範囲（working volume）におけるロボット間の到達不可能なギャップをなくするのに十分な作業重複となるように、２つのロボットＣＭＭアームは、適当な距離Ｓだけ離れている。これは、２つの独立したロボットＣＭＭアーム１の代わりに移動多アームベース１３４を１つだけ必要とする低費用で単純な設備により、高い生産力を得ることができることを意味する。先に開示したように、短いロボットＣＭＭアームの方が、長いＣＭＭアームよりも高精度である。水平レール１２４及び垂直軸１３３それぞれが、又はこれらの組み合わせが、より短いロボットＣＭＭアームを用いることができることを意味することが、この実施形態の目的の１つである。これは、水平レール１２４及び垂直軸１３３がロボットＣＭＭアームよりも長い距離にわたってより高精度であるため、水平レール１２４及び垂直軸１３３を個別に又は組み合わせて用いることにより、測定設備の総合精度が高まることを意味する。当業者は、ロボットＣＭＭアームの長さ、水平軸、及び垂直軸の仕様を最適化して、精度を最大にすることができる。次に図７Ｈを参照すると、ロボットＣＭＭアーム１は、測定すべき物体９に取り付けられる。アダプタ１３６が用いられる。このような物体９の一例は、腐食している表面領域又はその付近を測定されているガスパイプラインのパイプの一部である。この例では、パイプ付近に十分な安定性を有する一時的構造を設けるよりも、ロボットＣＭＭアーム１をパイプに取り付ける方が容易且つ安価である。アダプタ１３６は、ロボットＣＭＭアーム１の取り付け及び取り外しを容易にするために磁気的に取り付けられてもよく、又は任意の他の取り付け手段１０４を用いてもよい。物体９によっては、アダプタ１３６が必要なく、ロボットＣＭＭアーム１を物体９に直接取り付けられてもよい。次に図７Ｉを参照すると、ロボットＣＭＭアーム１は、物体９が載置される加工機１３７に隣接して取り付けられる。加工機１３７は、自動引き戸１３９を有する筐体１３８により囲まれる。ロボットＣＭＭアーム１は、加工機１３７における物体９を測定することができる。加工機１３７には筐体１３８及び引き戸１３９が必要であるが、それは、加工中にロボットＣＭＭアームにとって有害であり得る環境汚染物質が筐体内に含まれるからである。加工機１３７によっては、ロボットＣＭＭアーム１にとって有害な環境汚染物質を発生させず、引き戸１３９を有する筐体１３８を必要としないものもある。リーチ８０が短い小型のロボットＣＭＭアーム１は、ロボットＣＭＭアーム１が物体９に近く、物体９に届く範囲内にあるように、加工機１３７に直接取り付けることができる。加工機１３７が有害な環境汚染物質を発生させる場合、加工機１３７に取り付けられたロボットＣＭＭアーム１を保護するために、引き戸が必要である。次に図７Ｊを参照すると、ロボットＣＭＭアーム１が４つの加工機１３７それぞれに載置された物体９を測定できるように、ロボットＣＭＭアーム１は、４つの加工機１３７間に取り付けられる。ロボットＣＭＭアーム１の周りには、いかなる数の加工機１３７を配置してもよい。次に図７Ｋを参照すると、ロボットＣＭＭアーム１は、３つの作業領域間１４２間に取り付けられる。各作業領域は１つの物体９を含み得る。作業領域１４２は常に、物体９なし、測定すべき物体９、測定中の物体９、測定済みの物体９、又は作業領域１４２へ、若しくは作業領域１４２から移送中の物体９、のいずれかを含み得る。ロボットＣＭＭアーム１の周りにはいかなる数の作業領域１４２があってもよい。作業領域１４２にある物体９は、ロボットＣＭＭアーム座標系３６３に対して既知の位置及び向きで治具に正確に位置付けることができる。代替的に、物体９は、人間の目で物体を床上の印と位置合わせすること等、何らかの手段によりおおよその位置付けを行ってもよい。物体９は、当業者に既知の任意の方法により作業領域に位置付けることができる。各作業領域にある各物体９は、異なる部品番号を有する異なる部品であってもよく、又は各物体は同じ部品番号を有する同じ部品であってもよい。ロボットＣＭＭアーム１の周りにいくつかの作業領域１４２があることの１つの利点は、自動測定のために工作物を一晩中載せたままにすることができるため、ロボットＣＭＭアーム１の利用率が高くなることである。第２の利点は、第１の作業領域１４２に

10

20

30

40

50

において測定済みの物体 9 を未測定の物体 9 と交換し、その間にロボット C M M アーム 1 は第 1 の作業領域 1 4 2 において別の物体 9 を測定していることにより、ロボット C M M アーム 1 を完全に利用し続けることにある。次に図 7 L を参照すると、ロボット C M M アーム 1 は、物体 9 が配置される作業領域 1 4 2 を横断する低く堅牢なブリッジ 1 1 8 に取り付けられる。ロボット C M M アーム 1 及びブリッジ 1 1 8 は、ロボット C M M アーム 1 のプローブ端 3 に取り付けられたプローブ 9 0 により、物体 9 の上側全体に対して動作を行うことができるように設計される。物体 9 は、ブリッジ 1 1 8 の下に嵌まっても依然としてその任意の領域に対して動作を行うことができるように、比較的平坦でなければならない。ロボット C M M アーム 1 が移動する際に大きな撓みがないように、ブリッジ 1 1 8 は剛性且つ堅牢であり、床 1 1 9 にしっかりと取り付けられる。ロボット C M M アーム 1 がブリッジに取り付けられるこの実施形態の主な応用分野は、シート金属の光学検査である。第 1 のステップにおいて、シート金属アイテムであり得る物体 9 は、プレス成形等の上流のプロセスを受ける。第 2 のステップにおいて、物体 9 は、作業領域 1 4 2 に手動で移送されて配置される。代替的に、自動コンベヤ又はマテハンロボット等の機構が、作業領域 1 4 2 にあるシート金属を自動で配置してもよい。第 3 のステップにおいて、物体 9 は、ロボット C M M アーム 1 に取り付けられている少なくとも 1 つのプローブ 9 0 により検査される。第 4 のステップにおいて、検査プロセスからデータが出力される。データは、検査プロセスで取り込まれたデータを理想的な物体 9 の C A D モデルと自動比較することにより作成することができる。データ出力は、統計的データであっても完全な検査データであってもよい。第 5 のステップにおいて、物体 9 は、手動又は自動で作業場から取り除かれる。オプションのステップでは、データ出力を用いて、上流のプロセスを制御するパラメータの変更が、直接又はプロセス統計の収集及び分析を経て行われる。代替的なオプションのステップでは、データ出力を用いて、上流のプロセスで用いられる工具類 (tooling) が物理的に変更される。さらなる実施形態では、ロボット C M M アーム 1 を移動させて大きな物体 9 を検査するために、直線状のレール 1 2 4 がブリッジ 1 1 8 の上部

に設けられる。代替的な実施形態では、ロボット C M M アーム 1 は、ブリッジ 1 1 8 に取り付けられる代わりに、作業領域 1 4 2 の片側に取り付けられてロボット C M M アーム 1 を作業領域 1 4 2 の中央の上に位置決めする、突出支持体の端に取り付けられる。

【 0 0 6 6 】

変位可能な物体及び移動する物体

ロボット C M M アーム 1 は、物体変位手段上に配置される物体 9 に対して動作を行うことができ、物体 9 は、動作中に少なくとも一度変位させられることが、本発明のさらなる目的である。次に図 7 M を参照すると、ロボット C M M アーム 1 は、物体 9 が軸 A を中心に回転しながら位置付けられる回転テーブル 8 2 0 に隣接して取り付けられる。回転テーブル 8 2 0 は、手動で回転させて、クランプ 8 2 2 により新たな位置にロックすることができる。代替的に、回転テーブル 8 2 0 は、モータ又はサーボドライブ等の電動機構 8 2 1 により回転させてもよい。回転テーブル 8 2 0 の自動回転は、ロボット C M M アームシステム 1 5 0 か、又はボタン又はスレーブ制御手段を介した手動の作動等の任意の他の手段により、制御することができる。回転テーブル 8 2 0 の軸 A には通常、エンコーダ等の角度位置記録デバイス 8 2 3 が取り付けられる。通常のプロセスでは、回転テーブルを 9 0 ° 間隔で 4 つの位置に移動させることにより、物体 9 を 4 回変位させて、ロボット C M M アーム 1 が物体 9 の全象限に対して動作を行うようにアクセスできるようにする。この実施形態では、ロボット C M M アーム 1 は、物体 9 の移動中は測定等の動作を実行しない。回転テーブル 8 2 0 上で物体 9 を回転させることの利点は、ロボット C M M アーム 1 のリーチ 8 0 よりも大きな物体 9 0 に対して動作を行うことができることであり、これは、幅広の物体又は背の高い物体に特に適している。回転テーブル 8 2 0 上で物体 9 を回転させることの第 2 の利点は、各部分にアクセスしにくい複雑な物体 9 の場合、ロボット C M M アーム 1 に種々のアクセス向きが与えられることである。次に図 7 N を参照すると、ロボット C M M アーム 1 は、物体 9 が軸 B に沿って直線変位して位置付けられる、リニアテ

ーブル 8 2 4 に隣接して取り付けられる。リニアテーブル 8 2 4 は、回転テーブル 8 2 0 と同様の位置測定可能性、制御可能性、及び利点を有する。他の実施形態では、2 つ以上の軸を有する多軸テーブルを用いて、物体を変位させることができる。各タイプのテーブル軸又は軸の組み合わせは、異なる種類の物体のサイズ及び形状にとって異なる利点を有することが、当業者には理解されるであろう。さらなる実施形態では、ロボット C M M アーム 1 は固定されており、物体 9 を移動させながら非接触測定等の動作又は工具を用いた接触動作を実行する。さらなる実施形態では、非接触測定等の動作又は工具を用いた接触動作が行われている間、ロボット C M M アーム 1 及び物体 9 の両方が同時に移動する。ロボット C M M アーム 1 及び物体 9 の両方が床に対して移動する場合、座標系を物体座標系等の共通の座標系に変換するために、さらなる制御アルゴリズムが必要である。全ての実施形態において、物体 9 は、物体 9 とテーブルとの間の相対移動をなくすために、テーブルに、クランプされるか又は他の方法で載置されてもよく、又は載置されなくてもよい。物体 9 が動作中に移動する全てのテーブルの実施形態において、テーブルは高精度でなければならない。必要なサイズ及び精度のテーブルは、通常は高価なアイテムである。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 7 】

他のロボット C M M アームの向き

用途によっては、ロボット C M M アーム 1 は、水平表面ではなく、且つロボット C M M アーム 1 がほぼ垂直に直立しない向きに取り付けられる。図 8 A を参照すると、ロボット C M M アーム 1 は、壁 1 2 5 に対して直角に取り付けられる。図 8 B を参照すると、ロボット C M M アーム 1 は、ガントリ 1 2 6 から支持される。代替的に、ロボット C M M アーム 1 は、天井から支持されてもよい。図 8 C を参照すると、ロボット C M M アーム 1 は、垂直線に対して 60 ° の表面を有するプラットフォーム 1 2 7 に取り付けられる。図 8 D 及び図 8 E を参照すると、ロボット C M M アーム 1 は、自動車企業で用いられるような従来の大型 3 軸 C M M に取り付けられる。水平アーム C M M 1 2 8 及び移動ブリッジ C M M 1 2 9 を含む、多くのタイプの従来の 3 軸 C M M がある。ロボット C M M アーム 1 はかなりの質量を有し、通常はその精度及びアームのリーチに応じて 1 8 ~ 3 2 k g の重量があると予測されるが、それよりも重くても軽くてもよい。従来の C M M に取り付ける場合、本発明に基づいた軽量のロボット C M M アームは、実質的に 1 2 k g 未満の質量を有するように設計することができる。ロボット C M M アーム 1 が従来の C M M に取り付けられる自動車用途の場合、図 8 E に示すように、ロボット C M M アームは、移動ブリッジ C M M 1 2 9 に取り付けられて、ブリッジ 1 3 1 の垂直柱 1 3 0 から垂直下方に支持されることが好ましい。このモードでは、移動ブリッジ C M M 1 2 9 の移動とロボット C M M アーム 1 の移動との組み合わせにより、ロボット C M M アーム 1 は、測定中の物体 9 の全部品にアクセスすることができる。本発明の範囲は、3 つの直線軸を有するブリッジタイプの従来の 3 軸 C M M 1 3 1 の垂直柱 1 3 0 から、又は同様に 3 つの直線軸を有する水平アーム C M M 1 2 8 の水平アーム 1 3 2 から、垂直下方に取り付けられるロボット C M M アーム 1 に限定されない。ロボット C M M アーム 1 は、任意数の軸を有する任意の向きの、任意の実質的に従来の C M M から取り付けることができる。次に図 8 F を参照すると、ロボット C M M アーム 1 は、垂直回転軸 B に対して角度 A で、回転ウェッジベース 1 3 5 に取り付けられる。

【 0 0 6 8 】

本発明の範囲は、図 7 A ~ 図 7 G 及び図 8 A ~ 図 8 F に示すロボット C M M アームの設置の実施形態に限定されない。本発明の目的の 1 つは、ロボット C M M アーム 1 を任意の向きで自由空間に取り付けることができることである。ロボット C M M アーム 1 を固定構造又は可動構造から取り付けることができることが、本発明のさらなる目的である。ロボット C M M アーム 1 を任意の移動構造に取り付けて、ロボット C M M アームを 6 自由度で並進させるか又は方向付けることができることが、本発明のさらなる目的である。移動構造は、測定中又は測定間のいつでも移動させることができる。ロボット C M M アーム 1 を、任意の数量及び任意の配置で設備に設けることができることが、本発明のさらなる目的

である。

【0069】

硬質及び非硬質の取り付け台

ロボットＣＭＭアーム１は、測定中の物体９に対して硬質である表面７に取り付けられることが好ましい。場合によっては、ロボットＣＭＭアーム１と測定中の物体９との間には、大型の機械が近くで動作して床に振動を伝えることにより引き起こされるような、連続する相対移動があり得る。又は、ロボットＣＭＭアーム１と測定中の物体９との間には、大型トラックが通り過ぎること、又は測定中の物体が偶発的な打撃を受けることにより引き起こされるような、不定期の相対移動があり得る。又は、ロボットＣＭＭアーム１と測定中の物体９との間には、ロボットＣＭＭアームが取り付けられるとともに物体が載置される構造の熱膨張により引き起こされるような、低速の相対移動があり得る。ロボットＣＭＭアーム１のベース端４とロボットＣＭＭアーム１が測定中の物体９との間の相対移動の事例を示す図９を参照すると、６自由度の相対移動を、独立した測定デバイスにより測定することができる。このような独立した測定デバイスの例は、Leica製のレーザトラッカ及び好ましくはKrypton製の写真測量トラッカ１４０である。ロボットＣＭＭアーム１及び写真測量トラッカ１４０は、定盤１２３に取り付けられる。物体９は、床１１９に載せられ、物体９が定盤１２３に対して大きな相対移動をするように移動させられる。写真測量標的１４１は、最低３つで好ましくは４つ以上の標的が、測定プロセス中のいつでも写真測量トラッカ１４０に見えるように、物体９に取り付けられる。写真測量トラッカ１４０による相対移動の測定は、ロボットＣＭＭアーム１の測定と時間的に同期することが重要である。時間同期は、測定デバイスを同時にトリガすること、後で処理するために共通のクロックにより全測定にタイムスタンプ（time stamping:時刻記録）することを含む、当業者には一般に既知の任意の方法により行うことができる。このような処理は、相対移動測定及びロボットＣＭＭアームの測定が同時に行われない場合の時間的補間を含み得る。ロボットＣＭＭアーム１の測定値に対して写真測量トラッカ１４０の測定値を校正するプロセスは、当業者には既知である。その結果、物体９の測定値は、ロボットＣＭＭアーム１と物体９との間の測定された相対移動に関して補正される。

10

20

【0070】

ロボットＣＭＭアームの範囲

ロボットＣＭＭアーム１のリーチ８０は、用途に応じて異なる。この第１の実施形態のロボットＣＭＭアーム１は、種々のリーチ８０を有する或る範囲の可搬式ロボットＣＭＭアーム１として提供される。例示的な理由のみから、これらのリーチ８０は、０．５ｍ～５ｍであり得るが、構成部品購入者が要望する可能性が最も高いのは１ｍ～１．５ｍのリーチ８０であり、自動車関係の購入者が最も要望するのは２ｍ～３．５ｍのリーチ８０であり、航空宇宙関係の購入者が最も要望するのは２．５ｍ～５ｍのリーチ８０である。本発明のロボットＣＭＭアーム１のリーチ８０は、この開示に制限されない。ロボットＣＭＭアームのリーチ８０は、上記の範囲より長くても短くてもよい。ロボット外骨格を用いて内部ＣＭＭアームを支持することは、ロボットＣＭＭアームが手動ＣＭＭアームの事実上の限界である２ｍよりも長いリーチを有することができることを意味する。これは、２ｍよりも長いリーチを必要とする用途（このような用途のための手動ＣＭＭアームで実用可能なものは供給されていない）が、ロボットＣＭＭアームにより実行できることを意味する。ロボットＣＭＭアーム１のこの第１の実施形態は、可搬式システムであり、ロボットＣＭＭアーム１の重量を制限するために、大きな角速度及び角加速度用には設計されない。ロボットＣＭＭアーム１の他の実施形態は、はるかに大きな角速度及び角加速度用に設計することができる。この範囲のロボットＣＭＭアーム１全てで同じ駆動系要素を保持するために、この第１の実施形態では、リーチが長いほど受け入れられる最大角速度は小さい。この範囲内での重要な違いは、様々なリンク１０２の長さである。可搬式ロボットＣＭＭアームには、２つ以上の範囲、例えば、０．６～１．２ｍ及び１．５～３ｍのリーチ８０があってもよい。

30

40

【0071】

50

ロボットCMMアームシステムの概説

次に図10を参照すると、ロボットCMMアームシステム150のこの第1の実施形態のアーキテクチャが記載されている。ロボットCMMアーム1のベース4には、制御ボックス159が取り付けられる。電源コネクタ195に接続された電源ケーブル155によって、電力が供給される。電源スイッチ156及びパワーLED157が設けられる。特に、プローブボックスを介してプローブボックス295をアームケーブル296に接続するために、インタフェースコネクタ194が設けられる。ラップトップコンピュータ151が、ラップトップ通信ケーブル152によってラップトップコネクタ197に接続される。ペンダント153が、ペンダント通信ケーブル154によってペンダントコネクタ198に接続される。ネットワーク200が、ネットワークコネクタ199を介して接続される。ペンダント153及びラップトップコンピュータ151はいずれも、バッテリー163、164によってしばらくの間動作することができる。ペンダントバッテリー163は、電気接点328を有する充電ポイント158にペンダントを配置することにより充電され、ペンダントが充電ポイントに正しく配置されると、自動的に電源接続が確立される。ラップトップバッテリー164は、商用電源から充電される。タッチトリガプローブ92は、ロボットCMMアーム1に取り付けられている場合、自動電源接続160及びトリガ接続を確立する。光学プローブ91は、ロボットCMMアーム1に取り付けられている場合、自動電源接続160、トリガ接続161、及び通信接続162を確立する。

10

【0072】

次に図11Aを参照して、ロボットCMMアーム1の内部アーキテクチャを説明する。制御PCB172が、接地ライン165及び+5ボルトパワーレール166に接続される。各外骨格継手161~767をそれぞれが駆動する7つのモータ176が、モータケーブル196によって7つの増幅器175に接続され、制御PCB172から増幅器175へ出力される7つの+/-10V制御信号168によって駆動される。制御PCB172は、シリアルバス169によって7つの継手PCB173に接続される。制御PCB172は、ラップトップコンピュータ151及びペンダント153とそれぞれ通信するために、2つのさらなる通信接続152及び154を有する。+24ボルトパワーレール167は、増幅器175に電力を供給する。電源ユニット171が、電源ケーブル155、バッテリー170、接地165、及びパワーレール166、167に接続される。少なくとも1つの継手PCB173が、電源160、トリガ161、及び適用可能な場合は通信162によってプローブ90に接続される。7つのモータ176全てが、継手PCB173からの信号により駆動されるブレーキ177を有する。内部CMMアーム5は、継手PCB173に取り付けられた7つのCMMエンコーダ178を備える。外骨格6を駆動する7つのモータ176に取り付けられる7つのエンコーダ179が、継手PCB173に接続される。内部CMMアーム5に取り付けられる熱電対180が、各継手PCB173に接続される。内部CMMアーム5に取り付けられる歪みゲージ181が、各継手PCB173に接続される。2つのリミットスイッチ182が、各継手PCB182に接続される。2つの作業ボタン183が、第7の継手の継手PCB173に接続される。タッチセンサ184が、各継手PCB173に接続される。各継手PCB173は、接地ライン165及び+5ボルトパワーレール166に接続される。トリガバス174が、各継手PCB173及び制御PCB172に接続され、7つのCMMエンコーダ178をラッチするために用いられる。

20

30

40

【0073】

次に図11Bを参照して、ケーブル配線が少なく、無限に回転する軸方向継手が可能であり、より軽量、安価、且つ堅牢である、ロボットCMMアーム1の内部アーキテクチャの代替的なシステムの実施形態を説明する。制御PCB172及び4つの継手PCB173が、各軸方向CMM継手151、353、555、757に位置する4つのスリップリングユニット188を通るバス193によって、直列に接続される。1つ~3つの継手が各継手PCB173により駆動され、制御PCB172も1つ又は複数の継手を駆動することができる。各スリップリングユニット188は、28本分の配線容量を有す

50

るが、線(wires)の数は28本よりも多くても少なくてもよい。バス193も28本の線を有する。バス193のこれら28本の線は、内部CMMアーム5、外骨格6、及びプローブ90において継手中心21の後に位置付けられる構成部品の全機能のための、電圧、接地、シリアルバス、制御バス、及び信号線を保持する。制御バス394は、バス193に組み込まれ、5本の線を用いる。制御バス394は、専用であってもよく、又はCANバス等標準のものであってもよい。CANバスは、高速低レイテンシ制御バスである。CANバス及び関連する回路は、7軸を駆動する場合に限界がある。制御をより高速にする解決手段は、2つのCANバスを用いて、第1のCANバスで4軸を駆動し、第2のCANバスで3軸を駆動することである。余分な5本の線を犠牲にして2つのCANバスを用いることにより、高速の1ミリ秒のサーボループが可能となる。インテリジェント駆動増幅器175が、各モータ176の隣に位置付けられ、制御バス394並びに24Vパワー及び0V接地によって継手PCB173又は制御PCB172に接続される。インテリジェント駆動増幅器175の例は、Maxon Motor(米国)により供給されているEPS24/1及び24/5である。代替的に、インテリジェント駆動増幅器の機能は、継手PCB173及び制御PCB172に組み込むことができる。サーボループを閉じることを含む制御機能は、制御部395で行われる。制御部395は、Trio Motion Technology(英国)により供給されているPCI208である。PCI208は、高速サーボ制御を可能にする2つの制御バス394出力を有する。これらの制御バス394出力は、CANバス標準である。CANバスの5~10本の線は、通常はモータ176から制御部395までの全域にわたって直接配線される7つのモータ/エンコーダそれぞれのための約10本の線の代わりとなる。スリップリング188における線の本数は、サイズ及び重量等の実用上の考慮事項により制限されるため、制御バス394を用いてアーム内の線の本数を約60本減らすことにより、軸方向CMM継手151、353、555、757に無限回転を与えるスリップリング188の使用が可能となる。バス193は、接触式又は非接触式であり得る1つ又は複数のプローブ90に電力、信号、及び通信を提供し、プローブ90の中では、ストライププローブ97が最も一般的に用いられる。第三者が独自に開発したプローブ90をロボットCMMアーム1に取り付ける場合、本発明の目的の1つは、バス193を介してインタフェースコネクタ194から外ヘスルーチャネルを設けることである。このように、第三者プローブ90の提供者は、ロボットCMMアームシステム150の配線仕様制限内で要求される、電力、接地、信号、及びバスのいかなる組み合わせについても、スルーチャネルを用いることができる。スルーチャネルに設けられる線の典型的な数は9本であるが、9本より少なくても多くてもよい。インタフェースコネクタ194もまた、ロボットCMMアーム1とプローブ90とを同期させるための同期化信号接続を提供することができる。

10

20

30

40

50

【0074】

本発明の範囲は、この第1の実施形態に開示されるロボットCMMアームシステム150のアーキテクチャに限定されず、ロボットCMMアームシステム150の技術的効果を有する全てのアーキテクチャを含む。例えば、さらなる実施形態では、制御ボックス159は、ロボットCMMアーム1から分離されて、ケーブルによってロボットCMMアームのベース4に接続される。ロボットCMMアームが可搬式にされる場合、制御ボックス159内のアイテムにより、ベース4に無理なく嵌まらないほど制御ボックス159を大きくする必要があるようなロボットCMMアームには、このアーキテクチャが必要であり得る。可搬式ロボットCMMアームは、別個の制御ボックス159の製造費用及び設置面積を増やすことのない単一ユニットであるため、第1の実施形態のアーキテクチャは好ましい。さらに別の実施形態では、ラップトップコンピュータ151の代わりにフルサイズのパーソナルコンピュータを用い、制御PCB172は、パーソナルコンピュータのPCIバス等の標準バスに取り付けられる。代替的に、ラック内のいくつかのコンピュータのネットワークが用いられる。さらなる実施形態では、ペンダントは供給されず、ラップトップコンピュータ151を用いてロボットCMMアーム1が制御される。さらなる実施形態では、制御部395により駆動される1つ又は複数の外部軸をロボットCMMアーム1に

接続するためのコネクタが供給される。このような外部軸の例は、直線状レール又はターンテーブルである。

【 0 0 7 5 】

内部 C M M アームのエンコーダ

内部 C M M アーム 5 は、各 C M M 継手 5 1 ~ 5 7 に角度エンコーダ 1 7 8 を備える。本発明の範囲は、角度エンコーダ又は任意の特定の設計の角度エンコーダに限定されず、いかなる高精度な形態の角度測定デバイスを利用してもよい。角度エンコーダの分解能及び精度は、エンコーダの直径、印刷可能なエッジの数、エッジの直線性、読み取りヘッドの直線性、補間の量、及びエンコーダの不規則性を含む、いくつかの要因により制限される。ロボット C M M アーム 1 の精度を最適化するために、内部 C M M アーム 5 の先端 (tip end) 3 側よりも、ベース端 2 側により高精度な角度エンコーダを有することが望ましい。これは、2 1、2 2 等のベース端継手がわずかに回転すると、先端 3 が大きく移動するからである。一方、2 5、2 6、又は 2 7 等の先端 3 の継手がわずかに回転すると、先端 3 はわずかに移動する。他の因子が全て制御されている場合、所与の継手回転に対する先端の移動は、先端 3 からの継手の距離に比例する。内部 C M M アーム 5 は、Renishaw又はMicro-E Systems (米国) により製造されているもの等の C M M エンコーダ 1 7 8 を用いる。C M M エンコーダ 1 7 8 からプローブ端 3 までの距離が長いため、内部 C M M アーム 5 のベース端 2 側の C M M 継手 2 1、2 2 は大径のエンコーダを有する。エンコーダ 1 7 8 からプローブ端 3 までの距離が中程度であるため、内部 C M M アーム 5 の肘における中間継手 2 3 及び 2 4 は中径のエンコーダを有する。エンコーダ 1 7 8 からプローブ端 3 までの距離が短いため、内部 C M M アーム 5 の手首における遠位の継手 2 5 ~ 2 7 は小径のエンコーダを有する。エンコーダの直径が小さいほど、完全に伸ばした状態で作業者により保持されるアームの重量が減り、小型になり、取り扱いやすくなる。光学プローブ 9 1 により仮想リーチ 8 1 が長くなる場合、アームのプローブ端側の継手 2 3 ~ 2 7 に高分解能のエンコーダを有することが重要であり得る。角度エンコーダの背景となる技術が向上し、所与の精度を有する角度エンコーダの直径及び重量が減ることが予測される。次に図 1 2 A を参照すると、内部 C M M アームエンコーダ 1 7 8 は、2 0 ミクロンのスケールピッチを有する Renishaw RESR 角度エンコーダ 1 8 5 を備え、この角度エンコーダ 1 8 5 は、継手ごとに 1 つ又は複数の Renishaw RGH 2 0 読み取りヘッド 1 8 6 とともに用いられる。エンコーダ 1 8 5 ごとに 2 つ以上の読み取りヘッド 1 8 6 が取り付けられる場合、読み取りヘッド 1 8 6 は、図 1 2 に示すように互いに対して 9 0 ° で、又は好ましくは互いに対して 1 8 0 ° で取り付けられるが、読み取りヘッドは互いに対して任意の他の角度であってもよい。C M M 継手 2 3 ~ 2 7 それぞれでは、8 1 9 2 カウントの 5 2 mm 直径 RESR が用いられ、継手ごとに + / - 5 . 6 秒角の見積もり (quoted) 精度を提供する。C M M 継手 2 1 及び 2 2 それぞれでは、2 3 , 6 0 0 カウントの 1 5 0 mm 直径 RESR が用いられ、継手ごとに + / - 1 . 9 秒角の見積もり精度を提供する。各 Renishaw 読み取りヘッド 1 8 6 の出力は、Renishaw RGE インタポレータ 1 8 7 に送られる。各 Renishaw インタポレータ 1 8 7 からの出力は、継手 PCB 1 7 3 に供給される。2 つ以上の読み取りヘッドを用いる利点は 2 つある。第 1 に、エンコーダの偏心取り付け、読み取りヘッドの位置合わせ不良、エッジ印刷の非直線性、読み取りヘッドの非直線性、不規則性、及び他の機械的 / 位置合わせ誤差のいずれかによる誤差を、単純な平均化により改善又は補償することができる。第 2 に、動作時に、同じエンコーダ 1 8 5 に対する 2 つ以上のインタポレータ 1 8 7 からの読み取り値の平均化を、継手 PCB 1 7 3 で行うことができ、エンコーダ精度がいくらか改善される。代替的な実施形態では、角度エンコーダシステムを、エンコーダ、1 つ又は複数の読み取りヘッド、インタポレータ、平均化、及び誤差マッピングを備える単一ユニットとして設け、角度エンコーダシステムから継手 PCB 1 7 3 までの接続を 1 つにすることができる。Renishaw 等の企業が、0 . 1 秒角の精度を有し約 5 0 mm の直径を有するような角度エンコーダシステムを将来提供することが予測される。

【 0 0 7 6 】

デュアルパターンエンコーダ

本発明のロボットCMMアーム1に設けられるエンコーダの精度は、ロボットCMMアーム1の精度の重要な要因である。本発明の目的の1つは、2つの読み取りヘッドを有するシングルパターンエンコーダよりも高精度な、パターンごとに1つの読み取りヘッドを有する新規のデュアルパターンエンコーダを提供することである。次に図12Bを参照すると、デュアルパターンエンコーダ860は、2つの面A、Bそれぞれの円周にエッジパターン862が印刷されたエンコーダディスク861を備え、1つの読み取りヘッド186が面Aのパターン862を読み取り、第2の読み取りヘッド186が面Bのパターン862を読み取り、これら2つの読み取りヘッドは、約180°離れて配置される。次に図12Cを参照すると、Aerotech Inc(米国)により提供されるABR1000等の高精度回転ステージ864と、高精度回転ステージ864の回転部分上にディスク861をクランプする異形ボルト等の回転クランプ機構865と、互いに約180°離れて、且つディスク861の反対側に配置されることにより、パターン862が固定読み取りヘッド186に対して移動すると、第1の読み取りヘッド186が面Aのパターン862を読み取ることができ、第2の読み取りヘッド186が面Bのパターン862を読み取ることができる、2つの固定読み取りヘッド186と、ケーブル868によって高精度回転ステージ864及び読み取りヘッド186に接続されるマッピングシステム866とを備える、デュアルパターンエンコーダマッピング装置863が提供される。高精度回転ステージ864は、デュアルパターンエンコーダ860が果たすと予測される精度よりもはるかに高い精度を有する。マッピングシステム866は、(a)高精度回転ステージ864の移動を制御し、(b)読み取りヘッド186から信号を読み取り、(c)マップ867を出力する。次に図12Dを参照すると、パターンAの中心869、パターンBの中心870、及びデュアルパターンエンコーダ860を保持する継手の軸の回転中心871が表されるディスク861が示されている。マップ867は、デジタルファイルであり、(i)2つのパターン862の互いに対する位置ずれの大きさM、(ii)位置ずれの向き872、(iii)高精度回転ステージ864と各パターン862の印刷されたエッジとの間の角度誤差をマッピングし、且つ少なくとも各パターン862のエッジの印刷の非直線性をカバーする、各パターン862に関する誤差マップ、を提供するマッピング情報を含む。2つのパターン862は、印刷されて、通常は10ミクロンの軸方向位置ずれMと適切に位置合わせされるが、この位置ずれMは、10ミクロンよりも大きくても小さくてもよい。位置ずれMの向き872は、ディスク861上に手動でマーキングされる。面A及びBは、ディスク861上に手動でマーキングされる。位置ずれの向き872は通常、読み取りヘッド186により読み取られるパターン862の絶対基準マークを基準にして分かる。マップ867を生成するプロセスは、当業者には既知である。各パターン862の基準マークは、誤差マップを参照するために提供される。

【0077】

ロボットCMMアーム1には、最大7つのマッピングされるデュアルパターンエンコーダ860を設けることができる。マップ867は、各デュアルパターンエンコーダ860に提供される。エンコーダ校正プロセスにおいて、デュアルパターンエンコーダ860があるロボットCMMアーム1の継手が、通常は5°のステップを用いて一方の回転軸限界から他方の回転軸限界へステップするが、ステップは5°よりも大きくても小さくてもよい。各読み取りヘッド186からの読み取り値が各ステップで取られて、読み取り値のセットが形成される。読み取り値のセットは、マップ867の誤差マップを用いて補正され、補正読み取り値が提供される。当業者には十分に理解されるプロセスにおいて、補正読み取り値は、マップ867における位置ずれ及び位置ずれ向き情報を用いて処理され、パターンAの中心869及びパターンBの中心870に対する継手中心871の位置が計算される。校正後、ロボットCMMアーム1が使用中である場合、パターンAの中心869及びパターンBの中心870に対する継手中心871の補正された位置を用いて、デュアルパターンエンコーダ860からの読み取り値を補正し、ロボットCMMアーム1の精度を高める。校正されたデュアルパターンエンコーダ860は、2つの読み取りヘッドを有

10

20

30

40

50

する同等のシングルパターンエンコーダよりも角度の精度を高めるが、それは (a) 1 つではなく事実上 2 つの独立した誤差マッピングされるエンコーダシステムがあり、これら 2 つのシステムの結果により、1 つのパターンのエンコーダシステムよりも確実な平均が提供され、(b) 継手軸に対してディスク 8 6 1 が非垂直であることによる誤差が、自動的に平均化されるからである。デュアルパターンエンコーダ 8 6 0 は、2 つの読み取りヘッドを有する同等のシングルパターンエンコーダと同じ数の構成部品を有し、同じ重量を有し、同じ体積を占める。代替的な実施形態では、デュアルパターンエンコーダ 8 6 0 には、両方のパターン 8 6 2 が内側放射状パターン及び外側放射状パターンの形態で、ディスク 8 6 1 の同じ面に設けられてもよい。より低費用のデュアルパターンエンコーダ 8 6 0 に関するさらなる実施形態では、パターン 8 6 2 が、ディスク 8 6 1 の製造プロセスにおいて十分に小さい位置ずれ M と位置合わせされる場合、デュアルパターンエンコーダ 8 6 0 をマッピングする追加プロセスを有する必要がなく、それでもロボット C M M 1 の継手に嵌める際のいかなる軸方向位置ずれも自動的に平均化されるという利益が得られる。より高精度なロボット C M M 1 の代替的な実施形態では、2 つのデュアルパターンエンコーダ 8 6 0 が、各継手に設けられ、好ましくは継手中心の両側に位置付けられる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 8 】

外骨格駆動システムの構造

環境放出物

本発明の目的の 1 つは、可搬式ロボット C M M アームは動作が静かであり、オフィス環境で用いることができることである。発生する可聴雑音のレベルは、設計において最小限に抑えることが重要である。本質的に低雑音の、モータを含む駆動システム及び伝動方法が、可聴雑音の発生を最小にするために選択される。基本的に、可聴雑音出力のレベルは、ロボット C M M アームが駆動される速度及び加速度とともに上昇する。多くの用途において、速度及び加速度を小さくしてもサイクルタイムにはほとんど影響を及ぼさない。これは、通常はサイクルタイムの 9 0 % が、遅いプロセスである測定で占められ、速度を上げることによって 1 0 % しか減らすことができないからである。発生する可聴雑音のレベルを最小にすることが重要な使用基準である場合、低速度及び低加速度で静かに走査するように、ユーザが制御システムを設定することができる。ロボット C M M アームは、電磁放射線が少ない駆動システム構成部品を組み込み、且つほとんどの電磁放射線を放出する構成部品の周りに遮蔽を設けることにより、電磁放射線の放出を最小にする。

【 0 0 7 9 】

熱移動

本発明の目的の 1 つは、外骨格 6 のモータ 1 7 6 及び他の駆動構成部品から内部 C M M アーム 5 への熱移動を最小にして、比較的安定した均一な温度によって内部 C M M アーム 5 の精度を高めることである。以下のことが開示される。

- 伝導による熱移動をなくすために、外骨格のモータ 1 7 6 から内部 C M M アーム 5 まで有意な直接伝熱リンクはない。伝達手段 1 0 は小さく、その材料の熱伝導率は小さい。制御ボックス 1 5 9 内の高温アイテムのいずれも、ロボット C M M アームのベース 4 に直接取り付けられない。これは、制御ボックス 1 5 9 内の高温アイテムとロボット C M M アームのベース 4 との間に伝導がないことを意味する。

- 内部 C M M アームセグメント 3 2 ~ 3 8 は、モータ 1 7 6 から内部 C M M アーム 5 への放射による熱移動を最小にするために被覆される。

- モータは、十分な通気が確保され、且つヒートシンクが設けられることにより、対流により熱移動を最大にして動作温度を最小にする。動作中の継手の角速度は、モータ 1 7 6 の過熱を避けるようにプログラムされる。

- 次に図 1 3 A を参照すると、内部 C M M アームセグメント 3 2 ~ 3 8 と外骨格セグメント 2 4 2 ~ 8 4 8 との間には、導管 1 8 9 がある。ベース 4 に配置された大型フィルタ 1 9 1 を有する低能力ファン (low-capacity fan) 1 9 0 が空気 1 9 2 を吸い込み、内部 C M M アーム 5 と外骨格 6 との間の導管 1 8 9 に沿って吹き出す。空気 1 9 2 の大部分は、内部 C M M アームセグメント 3 8 と外骨格セグメント 8 4 8 との間の先端 3 から出

る。この強制空気循環は、対流により効率的な冷却をもたらす。ファン１９０は、オフィス環境で静かに動作するように選択される。フィルタ１９１は、大型且つ効である。オフィス環境で動作する場合、フィルタ１９１は交換又は洗浄が５年間不要であるべきである。ファン１９０により吸い込まれる空気１９２の一部は、制御ボックスを通過して制御ボックス１５９の通気孔３５３から出る。この空気循環により、制御ＰＣＢ１７２、ＰＳＵ１７１、及び増幅器１７５を含む制御アイテムから熱が除去される。

【００８０】

外骨格駆動システム

ロボットＣＭＭアーム１は、エンコーダを有するブラシＤＣサーボモータである電気モータ１７６により駆動される。本発明の駆動システムは、いかなる種類の電気モータにも限定されず、油圧又は空気圧を含む或る範囲の種々のパワーシステムにより駆動することができる。油圧及び空気圧は、エンコーダを有する電気モータよりもロボットＣＭＭアームに振動を伝えにくい。電気モータ１７６は、ＡＣ又はＤＣサーボモータ、ステッパモータ、又は他の形態のモータであり得る。モータ１７６は、ブラシモータであってもブラシレスモータであってもよい。電気モータ１７６及びエンコーダ１７９がループを閉じる高速制御ループが提供され、この高速ループは、ロボットＣＭＭアーム１内にうまく組み込まれる。接触測定を行う場合、内部ＣＭＭアーム５の端にある硬質プローブは、接触が行われると動きを止めるが、ロボットＣＭＭアームは動き続ける。接触測定の場合、ＣＭＭエンコーダ１７８を用いて高速制御ループの外部で低レベル又は高レベルのループを閉じる高精度制御ループが提供される。製造費用を削減し、ロボットＣＭＭアームの重量を減らし、且つより小型の構造を生産するために、ＣＭＭエンコーダ１７８を位置フィードバックに用いることができ、その場合、外骨格エンコーダ１７９は必要ない。製造費用をさらに削減するために、制御ループにおいて位置検知を全く用いずに、ステッパモータを開ループ形式で用いることができる。用途によっては、ロボットＣＭＭアームの加速度は小さくてよく、あまり強力な駆動システムを必要としない。大きな加速度を必要とし、より強力な駆動システムを必要とする用途もある。自動車生産ラインの用途では、車体による衝撃に耐える頑丈なロボットＣＭＭアーム１が必要である。内部ＣＭＭアーム５があることにより、ほとんどの用途では、ドライブレイン要素のバックラッシュを少なくすることは必須ではない。ベルトドライブ等、低費用及び低質量のドライブレイン構成部品を用いることができる。この実施形態では、１つのモータ１７６が各継手６１～６７の駆動に用いられる。

【００８１】

ロボット動力学

ロボットＣＭＭアームの慣性モーメントをできる限り最小にすることが有益であることは、当業者には理解されるであろう。継手の角加速度及び最大角速度を規定する所与の性能仕様に関して、別のロボットＣＭＭアームよりも慣性モーメントが小さいロボットＣＭＭアームは、プロセスを行うのにより小さいエネルギーを用いる。モータ等の駆動ユニットは、質量の集中により重くなる傾向がある。（ａ）駆動ユニットをできる限りロボットＣＭＭアームのベース端の近くに配置すること、（ｂ）駆動ユニットの質量を減らすこと、（ｃ）ロボットＣＭＭアームのセグメントの質量を減らすこと、が有益である。１つの駆動ユニットをロボットＣＭＭアームのベース端の近くに移動させる際、移動させた駆動ユニットとベースとの間にある駆動ユニットは、ベース端の近くに移動させた駆動ユニットを動かすのにそれほど激しく働く必要がないため、これら前者の駆動ユニットの仕様を減らすことが可能である。仕様を減らした駆動ユニットはそれぞれ、軽量になるため、他のあまり高性能ではない（less performant）駆動ユニットが他の場所で必要となる場合がある。１つの駆動ユニットをベース端の近くに移動させることによる別の利益は、外骨格セグメントに対する応力が減ることで外骨格セグメントをより軽量に設計することができることによってもたらされる。したがって、１つの駆動ユニットのみをベース端の近くに移動させることから複合的な利点を得られることが分かり得る。本発明の目的の１つは、駆動ユニットをできる限りベース端の近くに位置決めすることを含む手段により、規定

された仕様に関してロボットＣＭＭアームの重量及びエネルギー消費を最小にするように、ロボットＣＭＭアームを最適化することである。

【００８２】

次に図１３Ｂを参照すると、ロボットＣＭＭアーム１の高慣性実施形態では、継手中心３２３、５２５、及びそれらのモータ１７６は、継手中心３２３、５２５及びそれらのモータ１７６がベース端２の近くにあるロボットＣＭＭアーム１の低慣性実施形態と比較して、ベース端２から離れている。モータは、継手中心に隣接している必要はない。代替的な実施形態では、継手中心３２３、５２５はベース端２から離れており、モータ１７６はベース端２の近くにあり、トルク伝達手段が、外骨格セグメント３４３、５４５に沿ってモータ１７６から継手中心３２３、５２５にモータトルクを伝達する。ドライブをベース端の近くに位置決めすることにより通常達成される削減は、ロボットＣＭＭアームの質量では１ｋｇを超え、電力消費では１０％を超える。

10

【００８３】

伝達手段

この第１の実施形態では、外骨格６のベース４１は、内部ＣＭＭアーム５のベース３１にしっかりと取り付けられることにより、２つのベース４１と３１との間で大きな相対移動がなく、力及びトルクがこのしっかりとした取り付け部分を通して伝達される。各ＣＭＭセグメント３２～３８ごとにゼロ、１つ、又は２つ以上であり得る、複数の伝達手段７２～７８が設けられる。伝達手段７２～７８はそれぞれ、対応する外骨格セグメント４２～４８及び対応するＣＭＭセグメント３２～３８と物理的に接触する。動作中、ＣＭＭ継手５１～５７及び継手６１～６７の中心及び軸は、実質的に同じ位置にある。これらの継手中心及び軸のわずかな位置ずれを生じさせる要因には、以下のものが含まれる。

20

- 外骨格セグメント２４２～８４８とは異なるＣＭＭセグメント２３２～８３８の歪み

- 伝達手段２７２～８７８の弾性変形。この第１の実施形態では、伝達手段２７２～８７８の全てが弾性手段を備え、全てが内部ＣＭＭアーム５及び外骨格６にしっかりと取り付けられるわけではない。この第１の実施形態では、内部ＣＭＭアーム５と外骨格６との間でしっかりと取り付けられるのは、ベース端２だけである。特に、プローブ端３における内部ＣＭＭアーム５と外骨格６との間は、しっかりと取り付けられない。

- 目下説明されるような、セグメントの自動回転

30

- 製造公差及び組み立て公差の増大による位置ずれ。

【００８４】

伝達手段の好ましい配置

個別の又は連続する伝達手段１０の数、場所、及びタイプの選択及び設計には、考慮に入れるべき要因が数多くあることは、当業者には理解されるであろう。伝達手段１０の配置は、６軸ロボットＣＭＭアーム１と７軸ロボットＣＭＭアーム１とは異なる。伝達手段１０の配置は、リーチが短いロボットＣＭＭアーム１とリーチが長いロボットＣＭＭアーム１とは異なる。伝達手段１０の配置は、継手の種々の位置及び順序を含む種々の継手配置ごとに様々である。

【００８５】

伝達手段の数

ロボットＣＭＭアームの長さ全体にわたって、１つの個別の伝達手段から連続する接点（contact）まで、いかなる数の伝達手段を用いてもよい。

【００８６】

１つの伝達手段：プローブ９０の位置決め及び方向付けを行うために、伝達手段が１つしかない場合、それは、ＣＭＭセグメント８３８と外骨格セグメント８４８との間の伝達手段８７８でなければならない。しかしながら、６軸又は７軸のアームは冗長性を有するため、この場合、肘は重力又は慣性加速下で自由に動く。この自由な動きにより、ＣＭＭ継手４５４が外骨格継手４６４に衝突する第２の「不測（inadvertent）」伝達手段が生じる。

40

50

【 0 0 8 7 】

2つの伝達手段：説明したように、第1の伝達手段は伝達手段8 7 8でなければならない。第2の伝達手段は、肘を制御するために、CMMセグメント3 3 3の継手中心2 2 2端とCMMセグメント6 3 6の継手中心6 2 6端との間に配置されなければならない。第2の伝達手段が継手中心2 2 2側にある場合、外骨格6のドライブは、アームの大部分の重量が支持される第1の伝達手段までの全域にわたって重く強力である必要がある。これにより、必要なロボットCMMアーム1よりもはるかに重量が大きくなる。第2の伝達手段が継手中心4 2 4から離れている場合、肘の重量を持ち上げるために、内部CMMアーム5には大きな曲げモーメントが必要となる。これにより、ロボットCMMアームの精度が低下するか、又はCMMセグメント3 3 3を補強するかなりの追加重量が必要となる。

10

【 0 0 8 8 】

3つの伝達手段：硬質ベース接続部に加えた3つの伝達手段が、ロボットCMMアーム1の第1の実施形態の伝達手段の好ましい数である。3つの伝達手段は、継手中心4 2 4の前でこの近くに位置付けられるもの、継手中心6 2 6の前でこの近くに位置付けられるもの、及びプロープ端3の前にある伝達手段8 7 8である。伝達手段のこの配置は、以下の利点を有する。

- 長いセグメントであるCMMセグメント3 3 3、5 3 5は、いずれかの端付近で単に支持され、これにより、重力下でのビームの撓みが減る
- モータ及びギヤボックスのパワー及び重量が最小になることにより、ロボットCMMアーム1の重量が最小になる
- 伝達手段の数量が最適化され、費用、重量、及び複雑性がそれ以上増さない。

20

【 0 0 8 9 】

4つ～7つの伝達手段：4つ～7つの伝達手段10を有するロボットCMMアーム1の設計上の複雑性は、伝達手段を追加するごとに増す。伝達手段が互いに不利に作用して、内部CMMアーム5に望ましくないモーメントを加える可能性が高くなる。

【 0 0 9 0 】

連続伝達手段：内部CMMアーム5と外骨格6との間に、連続弾性媒体を設けることができる。CMMアーム5と外骨格6との間の介在体積部分(intermediate volume)には、一定量の小さなゴム球を充填することができ、これらのゴム球は、互いに接着し、種々の空間的向きで介在体積部分から流れ落ちたり流れ回ったりしないように、接着剤で被覆される。介在体積部分には、空気のポケットがプラスチックシートに閉じ込められたバブルラップ等の材料を充填してもよい。媒体は、内部CMMアーム5に伝達される力及びトルクを最小にするように指定されてもよい。媒体は、内部CMMアーム5の継手と外骨格6の継手との位置ずれを最小にするように指定されてもよい。媒体は、3つの構成部品方向、すなわち半径方向(radial)、軸方向(axial)、及びねじれ方向(torsional)で所望の弾性を示すように指定されてもよい。媒体は、介在体積部分全体で連続していてもよく、又は個別の伝達手段に似せるように不連続であってもよい。連続媒体は、不連続な特性を示してもよく、例えば、中間堆積部分の種々の領域における半径方向、軸方向、及びねじれ方向の弾性は、おそらく実質的に異なり得る。

30

40

【 0 0 9 1 】

非駆動セグメントの自動回転

再び図2を参照すると、7軸ロボットCMMアーム1には、1つ又は複数のセグメントが駆動要素からの原動力を用いずに重力下で自動回転し得る事例が4つある。継手とその後の従動回転に必要な角度に対して90°の向きにあり得る場合、これによって継手がロックされることにより、CMMアームが損傷を受けるか、又はCMMアームの校正が失敗するため、このようなCMMセグメントの自動回転は望ましくない。

【 0 0 9 2 】

事例1：直交ヒンジ継手2 2 2が直線状である場合、自動回転が起こり得る。自動回転は、CMMセグメント2 3 2、3 3 3がCMM継手1 5 1と3 5 3との間で一

50

緒に回転することを伴う。ロボット CMM アームは通常、垂直の向きに取り付けられ、重力により加速される偏心質量はないため、これが起こる可能性は低い。

【 0 0 9 3 】

事例 2：直交ヒンジ継手 4 2 4 が直線状である場合、自動回転が起こり得る。自動回転は、CMM セグメント 4 3 4、5 3 5 が CMM 継手 3 5 3 と 5 5 5 との間で一緒に回転することを伴う。CMM セグメント 4 3 4、5 3 5 に、重力により加速される軸外重心 (off-axis center of gravity) があり、直交ヒンジ継手 4 2 4 が垂直の向きにない場合、これが起こる可能性が高い。

【 0 0 9 4 】

事例 3：直交ヒンジ継手 6 2 6 が直線状である場合、自動回転が起こり得る。自動回転は、CMM セグメント 6 3 6、7 3 7 が CMM セグメント 5 5 5 と 7 5 7 との間で一緒に回転することを伴う。CMM セグメント 6 3 6、7 3 7 に、重力により加速される軸外重心があり、直交ヒンジ継手 6 2 6 が垂直の向きにない場合、これが起こる可能性が高い。事例 1、2、及び 3 は、重複した伝動手段に組み込まれた回転抑制要素又は個別の回転抑制手段 9 4 0 により、防止することができる。

【 0 0 9 5 】

事例 4：CMM セグメント 8 が軸外重心を有し、伝達手段により駆動されない場合、自動回転が起こり得る。しかしながら、伝達手段 8 7 8 は必須であり、ねじれ方向ドライブ (Torsional drive) を与えるため、事例 4 は無視することができる。

【 0 0 9 6 】

直交ヒンジ継手のロック

直交ヒンジ継手がロックし、重力、位置ずれ、及び酷使による荷重 (abuse loads) の影響により、望ましくない力、モーメント、又はトルクが内部 CMM アーム 5 に加わり得る、ロボット CMM アーム 1 の空間的向きの事例が複数ある。以下は、3 つの例示的なロックの事例である。

【 0 0 9 7 】

ロック事例 1：直交ヒンジ継手 2 2 2、4 2 4、6 2 6 が直線状であり、その軸が水平である。ベース軸が垂直である場合、アームは垂直である。位置ずれがあると、曲げモーメントが伝達手段によって内部 CMM アーム 5 に加えられ得る。酷使による荷重があると、曲げモーメントが伝達手段によって内部 CMM アーム 5 に加えられ得る。伝達手段の綿密な設計及び外骨格の剛性により、この影響を最小にするか又はなくすことができる。

【 0 0 9 8 】

ロック事例 2：直交ヒンジ継手 4 2 4、6 2 6 が直線状であり、その軸が垂直である。継手 2 2 2 の後のロボット CMM アーム 1 のセグメントが水平である場合、CMM セグメント 3 3 3 ~ 8 3 8 が、重力下で水平になっており 2 つ以上の場所で支持される 1 つの剛性の「ロックされた」ビームを形成するという状況になる。各端で支持されている場合、「ロックされた」ビームは中央で大きく撓む。3 つ以上の場所で支持されている場合、曲げモーメントが生じてさらに悪い撓みが示される可能性が高い。位置ずれがあると、曲げモーメントが伝達手段によって内部 CMM アーム 5 に加えられ得る。酷使による荷重があると、曲げモーメントが伝達手段によって内部 CMM アーム 5 に加えられ得る。これは、内部 CMM アーム 5 に対する望ましくない力及びモーメントに関して考えられる最悪の空間的向きである。伝達手段の綿密な設計及び外骨格の剛性により、この影響を最小にするか又はなくすことができる。代替的に、測定中はロボット CMM アーム 1 をこのロック事例 2 の空間的向きに移動させないという処置を取ってもよい。例えば、継手 3 2 3、7 2 7 が 90° 回転すると、アームは同じ空間的向きのままであり、直交ヒンジ継手 4 2 4、6 2 6 の両方が重力に対してロック解除され、望ましくないモーメントが除去され、アームが測定に適した状態になる。

【 0 0 9 9 】

ロック事例 3：直交ヒンジ継手 6 2 6 は、直線状であり、その軸が垂直である。これ

10

20

30

40

50

は、ロック事例 2 の副次的事例である。撓みはより小さい。ロック事例 3 は、ロック事例 2 と同様な方法で解決することができる。

【0100】

上記の例示的なロック事例又は任意の他のロック事例における CMM 継手 2 3 2、4 3 4、6 3 6 のいずれのロックも、1. 外骨格 6 に硬質のストップを配置して、継手が 180° に達するのを防ぐこと、2. ロボット CMM をロックが行われる空間的向きに移動させないこと、によって回避することができる。

【0101】

伝達手段の好ましい配置

次に図 14 を参照して、ロボット CMM アーム 1 の伝達手段の好ましい配置を説明する。ロボット CMM アーム 1 は、継手 2 から先が水平な空間的向きで静止している。3 つの伝達手段 3 7 3、5 7 5、8 7 8 が設けられる。伝達手段 3 7 3 は、継手中心 3 2 3 の直前に位置付けられる。伝達手段 5 7 5 は、継手中心 5 2 5 の直前に位置付けられる。継手手段 8 7 8 は、継手中心 7 2 7 の後に位置付けられる。回転抑制手段 9 4 0 が、継手中心 2 2 2、4 2 4、6 2 6 に隣接して設けられる。

【0102】

次に図 15 を参照して、伝達手段 8 7 8 の場所を説明する。CMM セグメント 8 3 8 及び CMM セグメント 8 3 8 にしっかりと取り付けられた標準的なプローブ 9 0 が、重心 CG 8 において伝達手段 8 7 8 によって支持されることにより、CMM 継手 7 5 7 にその結果加わる力又はトルクは無視できる程度となる。重心 CG 8 は、CMM セグメント 8 3 8 にしっかりと取り付けられた標準的なプローブ 9 0 と組み合わせた CMM セグメント 8 3 8 の重心である。本発明のロボット CMM アーム 1 の目的の 1 つが、内部 CMM アーム 5 の継手に対する力及びトルクを減らすことにより精度を最大にすることであるため、これは望ましい状態である。実際には、種々の質量、重心位置、及び慣性モーメントを有する光学プローブ 9 1 を含むプローブ 9 0 は、ロボット CMM アーム 1 のプローブ端 2 に取り付けられる。理想的な状況では、全てのプローブ 9 0 が、CMM セグメント 3 8 に取り付けられると、プローブ 9 0 と CMM セグメント 8 3 8 との組み合わせの重心の位置が伝達手段 8 7 8 の中心で CMM セグメント 3 8 の軸上に合わせられるように設計される。このように、追加の質量が伝達手段 8 7 8 を介して外骨格 6 により完全に支持されるため、重心 CG 8 を中心に高質量のプローブ 9 0 を取り付けてもロボット CMM アームの精度は低下しない。

【0103】

次に図 16 を参照して、回転抑制手段 9 4 0 を説明する。回転抑制手段 9 4 0 は、ピン 9 4 1 及び埋め込まれたゴムリング 9 4 2 を備える。ピン 9 4 1 は、内部 CMM アーム 5 にしっかりと取り付けられ、CMM 継手 2 5 2 の軸から突出する。リング 9 4 2 は、外骨格 6 にしっかりと埋め込まれ、外骨格継手 2 6 2 の軸と整列する。ピン 9 4 1 の外径は、リング 9 4 2 の内径よりもかなり小さいため、CMM 継手 2 5 2 及び外骨格継手 2 6 2 が位置合わせされると、ピン 9 4 1 とリング 9 4 2 との間には均一な半径方向のエアギャップができる。回転抑制手段 9 4 0 の目的は、CMM 継手 2 5 2 が直線状である場合の CMM セグメント 2、3 の自動回転 R を防止することである。自動回転 R が始まって、ピン 9 4 1 が継手中心 2 2 2 の軸の周りを揺動してリング 9 4 2 と衝突することにより、すぐに停止される。エアギャップは、ロボット CMM アームの通常の動きで維持され、望ましくない力又はトルクがリング 9 4 2 及びピン 9 4 1 を介して内部 CMM アーム 5 に加えられるのを防止する。

【0104】

次に図 17 を参照すると、伝達手段 3 7 3 の原理が、長手方向断面 A A 及び軸方向断面 B B で示されている。伝達手段 3 7 3 の伝動は半径方向である。CMM セグメント 3 3 3 は、外骨格セグメント 3 4 3 からの伝達手段 3 7 3 を介した半径方向力により移動する。伝達手段 3 7 3 は、120° 間隔で外骨格セグメント 3 4 3 の内側にしっかりと取り付けられる 3 つの伝達ブロック 2 0 1 を備える。伝達ブロック 2 0 1 は、アル

ミニウム等の軽量材料でできている。3つの伝達ブロック201の内面には2つの層、すなわち、ネオプレン等の弾性材料層203と、CMMセグメント333と接触するPTFE等の低摩擦材料層202とが接着される。低摩擦材料層202がCMMセグメント333と外骨格セグメント343との間で軸方向に滑ることを可能にするため、伝達手段373は軸方向力を伝達しない。弾性材料層203は、伝達手段373が所定位置に組み立てられると常に圧縮された状態になる。弾性材料層203は、通常の使用中に急速に剛性が増すか、又はかなりの距離を圧縮することなく、設計弾性範囲内に留まることを可能にする、断面積、厚さ、及び剛性の組み合わせを有する。弾性材料層203は、その場所での内部CMMアーム5及び外骨格6の酷使による荷重下での位置ずれよりもはるかに広く、これにより、内部CMMアームが大きな力又はトルクを受けないよう保護する。弾性材料層203の剛性は、最大重量を支持する場合に著しく圧縮するような低さである。断面積、厚さ、及び合成の仕様は、酷使による荷重下での外骨格の位置ずれ公差の増大及び撓みを含む多くの因子を正確にモデリングすることを必要とする既知の手順であることが、当業者には理解されるであろう。低摩擦材料202を用いることによる利益は、摩擦により熱が発生しないことである。これは、必要な駆動力が最小になり、摩擦による「ホット」スポットによる熱歪みをなくすことにより、内部CMMアーム5の精度が維持されることを意味する。自動回転を防止するために2つのバンプストップ209が設けられる。バンプストップは、CMMセグメント333に取り付けられる。通常の動作時には、バンプストップ209と伝達ブロック201との間にエアギャップがある。バンプストップ209は、衝撃を低減するためのゴム引き表面を有する。自動回転が始まっても、バンプストップ209が伝達ブロック201に衝突することにより、すぐに停止される。伝達手段575は、半径方向伝動のために同様に配置される。

10

20

30

40

50

【0105】

伝達手段878の伝動は、ねじれ方向及び半径方向である。伝動手段87は、2つの隣接するユニットであるねじれ方向ドライブ及び半径方向ドライブを備える。半径方向ドライブは、図17のものと同様である。次に図18を参照すると、伝達手段878のねじれ方向ドライブが、長手方向断面AA及び軸方向断面BBで示されている。CMMセグメント838は、外骨格セグメント848からの伝達手段878を介したトルクにより移動する。伝達手段878は、CMMセグメント838に接着されるカラー204を備える。カラー204はさらに、120°離れて半径方向外方に延びるとともに長手方向に延びる3つの従動フランジ209を備える。120°離れた3つのスロット付き伝達ブロック205が、従動フランジを駆動する。各スロット付き伝達ブロック205は、スロット付き伝達ブロック205のスロットの2つの駆動面に接着される弾性材料203のパッドを2つ備える。スロット付き伝達ブロック205は、座金207を用いてボルト206で外骨格セグメント848に取り付けられる。スロット付き伝達ブロック205、カラー204、及び座金207は、アルミニウム等の軽量材料でできている。弾性材料203は、従動フランジ209と接触するPTFE等の外側低摩擦材料層202を有する。低摩擦材料層202がCMMセグメント838と外骨格セグメント848との間で軸方向に滑ることを可能にするため、伝達手段878は軸方向力を伝達しない。低摩擦材料層202はCMMセグメント838と外骨格セグメント848との間で半径方向にいくらか滑ることを可能にするが、従動フランジ209が120°離れて配置され、互いに反応してCMMセグメント838と外骨格セグメント848との間で半径方向移動が生じた場合にそれを補正する力を提供するため、伝達手段878は半径方向力を部分的に伝達する。弾性材料層203は、伝達手段878が所定位置に組み立てられると常に圧縮された状態になる。弾性材料層203は、通常的使用中に急速に剛性が増すか、又はかなりの距離を圧縮することなく、設計弾性範囲内に留まることを可能にする、断面積、厚さ、及び剛性の組み合わせを有する。本発明の背景の原理をより分かりやすく開示するために個別に説明した2つの隣接するねじれ方向ドライブ及び半径方向ドライブよりも軽量で小型なユニットとして、統合ねじれ方向・半径方向ドライブを設けてもよいことは、当業者には理解されるであろう。

【 0 1 0 6 】

概要

外骨格 6 は、広範囲の伝達手段 10 を用いて内部 C M M アーム 5 に力及びトルクを伝達することができ、伝達手段 10 は、全てが内部 C M M アーム 5 に対する力及びトルクを最小にする目的を達成し、それによりロボット C M M アーム 1 の精度を最大にすることが、当業者には理解されるであろう。本発明のロボット C M M アーム 1 の範囲は、開示された好ましい伝達手段 10 の配置に限定されず、ロボット C M M アーム 1 が自動的に駆動され、且つ高精度であるように、外骨格 6 から内部 C M M アーム 5 に力及びトルクを伝達する全ての伝達手段 10 に対応する。例えば、代替的な実施形態では、個別の伝達手段 10 の数は 2 つ以上であってもよく、連続伝達手段を用いてもよく、個別の手段と連続手段との組み合わせを用いてもよい。本発明のロボット C M M アーム 1 の範囲は、弾性伝達手段に限定されない。さらなる実施形態では、外骨格 6 から内部 C M M アーム 5 に伝達される力及びトルクがロボット C M M アーム 1 の精度に影響を及ぼさないように、伝達手段 10 は、内部 C M M アーム 5 及び外骨格 6 の 1 つ又は複数の場所にしっかりと取り付けられることができる。市場に登場するさらなる装置が、内部 C M M アームと外骨格との組み合わせを有すると思われ、またロボット C M M アームではなく従来型のロボットであると主張され得ることが、当業者にはさらに理解されるであろう。本発明の範囲は、C M M の軸受及びセグメントに対する力及びトルクを低減するという技術的效果を有する全ての装置を対象とする。

10

【 0 1 0 7 】

ロボット C M M アームの比較

内部 C M M アームの比較

補償デバイスが内部 C M M アーム 5 において用いられる場合、継手において応力が増加し、継手を通して応力が作用して曲げモーメントも誘導する場合があり、応力及び曲げモーメントの両方が、精度を低下させるか、又は重量を増して対抗する必要がある。本発明のロボット C M M アーム 1 の内部 C M M アーム 5 の継手は通常、手動 C M M アームよりも長いサイクルで用いられるが、それは、ロボット C M M アームが、保守期間及び運転停止を除いて最大で 1 日 24 時間、一年中用いられ得るからである。継手が高い応力を有し、連続的に用いられる場合、補償デバイスはより多くの熱を発生し、アームのその継手の温度は、使用率が低い場合よりも高くなる。これにより、アームの精度不良を悪化させる可能性がある。内部 C M M アーム 5 のその継手の軸受は、はるかに長い寿命サイクルにするために剛性に設計する必要がある。軸受の緩みは、内部 C M M アーム 5 の精度不良の重大な原因であり、補償することができない。外骨格 6 が、外部補償デバイスとなるように内部 C M M アーム 5 を保持することが、本発明の目的の 1 つである。この外部補償は、運動中の内部 C M M アーム 5 に対する力及びトルクのほとんどを最小にし、内部補償デバイスの欠点をなくす。これは、内部 C M M アーム 5 が補償デバイスを必要とせず、ロボット C M M アーム 1 が補償デバイスなしでより軽量に、単純に、且つ製造費用が安くなることを意味する。本発明の範囲は、内部 C M M アーム 5 に補償デバイスがないロボット C M M アーム 1 に限定されず、内部 C M M アーム 5 に補償デバイスがあるロボット C M M アーム 1 も含む。

20

30

40

【 0 1 0 8 】

外骨格補償デバイス

ロボット C M M アーム 1 は、そのベース 4 にいかなる向きで取り付けられてもよい。垂直方向上方又は下方であるベース向きで、外骨格 6 は、外骨格 6 及び内部 C M M アーム 5 の両方の重量を補償する補償デバイスを外骨格継手 2 62 に有することが好ましい。補償デバイスは、電圧、空気圧、又は油圧等の電源から直接電力を消費しないデバイスである。これは、外骨格継手 2 62 の駆動システムをあまり強力でなく、重量が軽く、且つデューティサイクルの大半でエネルギー消費が少ないものとするができることを意味する。ロボット C M M アーム 1 の通常の設計では、補償デバイスがあることにより、電力消費を 10 ~ 25 % 減らすことができ、ロボット C M M アームの重量を 5 ~ 12 % 減らす

50

ことができる。

【0109】

次に図19を参照すると、ロボットCMMアーム1のベース4は、垂直上方に取り付けられ、補償デバイス210の適用方向(direction of application)Aは、外骨格6の外骨格セグメント343を重力に逆らって垂直位置に向けて上方に持ち上げるための方向である。補償デバイス210は、外骨格継手262の軸の一端に配置される。ロボットCMMアーム1のベース4が垂直下方に取り付けられる場合、例えば移動ブリッジ3軸CMM129の柱から垂下する場合、補償デバイス210の適用方向は、外骨格6の外骨格セグメント343を重力に逆らって水平位置に向けて上方に持ち上げるための方向である。好ましくは、1つの補償デバイス210が、外骨格継手262にトルクを与えるように作用する。補償デバイス210は、加工されたコイルばねであることが好ましい。補償デバイス210は、外骨格継手262を外骨格継手262の任意の向きに回転させるのに必要な最大トルクを最小にするための最適値に設定される。この補償デバイス210は、外骨格継手262を駆動するためにより小型且つ軽量の駆動システムを設けることができることを意味する。理想的な状況では、補償デバイス210は、外骨格継手262に曲げモーメントが加わらないようにするために、外骨格継手262の中心に直接作用するべきである。本発明のロボットCMMアームでは、内部CMMアーム5のCMM継手2は、外骨格継手262の中央に配置される。したがって、補償デバイス210は、偏心して配置され、外骨格継手262に曲げモーメントを加える。外骨格6、特に外骨格継手262の周りの構成部品の構造は、補償デバイス210からの曲げモーメントに対抗し、且つ外骨格6の曲げを所望の限度内に保つのに十分な剛性を有する。外骨格継手262のトルク補償の方向は、ロボットCMMアームのベース4の向きが垂直上方である場合と垂直下方である場合とで逆である。設けられた補償デバイス210は、ロボットCMMアーム1のベース4の向きが方向転換すると、逆方向にそのトルクを加えるように反転させることができる。本発明のさらなる実施形態では、補償デバイス210はさらにダンパ211を備える。

10

20

【0110】

代替的な実施形態では、アームに対して2つの補償デバイス210の選択が与えられ、第1の選択は、ロボットCMMアーム1が垂直上方のベース4の向きを有する場合用であり、第2の選択は、ロボットCMMアーム1が垂直下方のベース4の向きを有する場合用である。適当な補償デバイス210が、ロボットCMMアーム1のベース4の向きに合わせて嵌められる。さらなる実施形態では、ロボットCMMアーム1の設置中に手動で設定される、2つの異なる向きのための手動設定を有する補償デバイス210が設けられる。本発明の代替的な実施形態では、外骨格継手262の両側に配置され、且つほぼ同じトルクに設定される2つの補償デバイス210が設けられることにより、外骨格継手262にわたる曲げモーメントは無視できる程度となる。

30

【0111】

ロボットCMMアームのベースが水平に取り付けられる場合、例えば壁に取り付けられる場合等、他のベースの向きでは、有用であり得るように用途が制限されない限り、継手2には補償デバイス210がないことが好ましい。代替的な実施形態では、本発明のロボットCMMアームは、外骨格6に補償デバイス210が全くななくても機能することができる。

40

【0112】

継手リミット

本発明のロボットCMMアーム1のこの第1の実施形態は、軸方向継手は無限回転し、各直交継手の回転に対してはハードリミットがある。継手ハードリミットは、継手が継手ハードリミットの方に回転しないようにする物理的なストップである。内部CMMアーム5の電子部品(electronics)及び外骨格6の駆動システムの両方に供給することができる電力及び信号を、スリップリングを介して内部CMMアーム5に伝えることが、本発明の目的の1つである。6軸ロボットCMMアーム1では、3つの軸方向の軸が無限に回

50

転し、7軸ロボットCMMアーム1では、4つの軸方向の軸が無限に回転する。これは、各軸方向継手の領域において360°にわたってケーブルの連続的な巻き付け及び巻取りを行う必要がないため、アームがより堅牢になることを意味する。

【0113】

内部CMM継手のハードリミット

この第1の実施形態では、内部CMMアーム5には継手ハードリミットが組み込まれていない。軸方向継手は無限に回転することができる。通常の動作時に外骨格6が内部CMMアーム5を継手ハードリミットに押し付けることができないように、固有の(inherent)直交継手リミットは全て、外骨格6の継手ハードリミットをわずかに超えている。内部CMMアーム5が外骨格6により支持されない場合に、組み立て中の損傷を回避するために、単純なゴムストップが位置付けられる。これらのゴムストップは、ロボットCMMアーム1が組み立てられると、動作時には用いられない。

10

【0114】

外骨格継手リミット

この第1の実施形態では、各外骨格継手262、464、666は、第1及び第2の継手ハードリミットを有する。各継手ハードリミットは、いかなる衝撃も和らげるように、少なくとも1つの衝撃側に取り付けられるゴムでできたショックアブソーバ要素を有する、機械的なストップであることが好ましい。直交継手に関与する衝撃が考慮される、大きなサイズの本発明のロボットCMMアーム1では、衝撃を吸収するように配置された部分的に予め皺加工した(pre-crumpled)管を軸方向に圧縮することにより、衝撃エネルギーを散逸させる。予め皺加工することにより、剛体への衝撃による初期の高い衝撃応力をなくすることができる。衝撃後、管は単純に交換される。管は、長さ100mmで、純アルミニウムでできており、直径7mm、肉厚1.5mmで、直径9.5mmの治具内で5%予圧縮されることにより、ロボットCMMアーム1の直交継手の10mm穴に嵌まるようにすることが好ましい。吸収すべき衝撃エネルギーの量が異なる、種々のサイズのロボットCMMアームに関して、これらの仕様の調整が行われる。材料の皺加工ではなく剪断による等、塑性変形又は他のモードで衝撃エネルギーを吸収する任意の他の適した方法も同様に用いることができることが、理解されるであろう。この第1の実施形態では、各外骨格継手262、464、666は、第1及び第2の継手ソフトリミットを有する。各継手ソフトリミットは、リミットスイッチ182であることが好ましい。

20

30

【0115】

最適なベースの向き方向(orientation direction)

ロボットCMMアーム1のベース4には、最適な向き方向が記されていることが好ましい。ベースの最適な向き方向は、本発明のロボットCMMアームを用いるべき作業領域の中心に向かってベース4が向けられるべき方向である。無限回転しない実施形態の最適な向きでは、外骨格継手161は、ハードリミットに衝突する前に両側に同じ量だけ回転することができる。

【0116】

外骨格継手1のリミット

この第1の実施形態では、外骨格継手161は軸方向継手である。無限回転しない実施形態の場合、ハードリミットが必要である。図20を参照すると、第1の物理的継手リミットと第2の物理的継手リミットとの間の外骨格161の総角回転は、630°である。外骨格継手161の第1の継手ハードリミット対222A、222B及び第2の継手ハードリミット対223A、223Bは、ベースの最適な向き方向221に対して315°の等しい角度に設定される。継手ハードリミット222A、223Aは、外骨格セグメント242とともに回転する。継手ハードリミット222B及び223B外骨格継手141とともに静止したままである。継手ハードリミット222B及び223Bはそれぞれ、衝撃面に取り付けられるゴムショックアブソーバ要素224を有する。2つの継手ソフトリミットスイッチ182が、継手がハードリミットに到達する直前にリミットスイッチに接触するように位置決めされる。さらなる実施形態では、継手回転ハードリミット

40

50

2 2 2 A 及び 2 2 3 A が外骨格セグメント 2 4 2 に対して作業者により動かされて、外骨格継手 1 6 1 の代替的な総角回転を 3 9 0 ° にするように、措置が取られる。代替的な実施形態では、外骨格継手 1 6 1 の角回転は、6 3 0 ° よりも大きくても小さくてもよい。最大総角回転まで複数の継手リミット設定があり得る。外骨格継手 3 6 3、5 6 5、7 6 7 に対しても同様の継手ハードリミット手段が設けられる。外骨格継手 2 6 2 ~ 7 6 7 に対しても同様の継手ソフトリミットスイッチ 1 8 2 が設けられる。

【0 1 1 7】

外骨格継手 2 のリミット

この第 1 の実施形態では、外骨格継手 2 6 2 は直交継手である。図 2 1 A、図 2 1 B を参照すると、外骨格継手 2 6 2 の角回転は 1 8 5 ° であることが好ましい。図 2 1 B を参照すると、外骨格セグメント 3 4 3 が垂直上方から 5 ° 進んで、第 1 の継手ハードリミット対 2 2 5 A、2 2 5 B がゴムパッド 2 2 4 を介して接触することで、外骨格継手 2 6 2 の回転が始まる。図 2 1 A を参照すると、外骨格セグメント 3 4 3 が垂直下方にきて、第 2 の継手ハードリミット対 2 2 6 A、2 2 6 B がゴムパッド 2 2 4 を介して接触することで、外骨格継手 2 6 2 の回転が終わる。ロボット C M M アームのベース 4 が垂直上方の向きである場合、外骨格継手 2 6 2 の補償デバイス 2 1 0 は、外骨格セグメント 3 4 3 を第 1 の継手ハードリミット対 2 2 5 A、2 2 5 B に向かって上方に回転させるように作用する。ロボット C M M アームのベースが垂直下方の向きである場合（図 2 1 A、2 2 B には示さず）、外骨格セグメント 2 6 2 の補償デバイス 2 1 0 は、外骨格セグメント 3 4 3 を第 2 の継手ハードリミット対 2 2 6 A、2 2 6 B に向かって回転させるように作用する。外骨格継手 4 6 4、6 6 6 に対しても同様の継手ハードリミット手段が設けられる。図 2 1 C を参照すると、インライン直交継手を有するロボット C M M アーム 1 の配置の場合、ロボット C M M アーム 1 の軸間距離 S R が、外骨格 7 9 0 を有さない同等であるが従来の手動 C M M アームの軸間距離 S M よりも大きい。ロボット C M M アーム 1 では、C M M セグメント 2 3 2、3 3 3 が外骨格セグメント 2 4 2、3 4 3 の内側に示されている。C M M セグメント 2 3 2、3 3 3 が互いに平行な向きである場合の C M M セグメント 2 3 2、3 3 3 の軸間の軸間距離 S R は、外骨格 7 9 0 を有さない同等であるが従来の手動 C M M アームの対応する C M M セグメント 2 3 2、3 3 3 の軸間距離 S M よりも大きく、それは、外骨格 6 の外骨格セグメント 2 4 2、3 4 3 のための空間が必要だからである。

【0 1 1 8】

継手ブレーキ

本発明のロボット C M M アーム 1 は、重力に逆らって作業者により支持されない。駆動システムへの電源が切断された場合、ブレーキ 1 7 7 がなければ、ロボット C M M アーム 1 は重力により落下し、損傷を受けるか、1 つ又は複数の人又は物体を損傷させる場合がある。この第 1 の実施形態では、外骨格継手 1 6 1 ~ 7 6 7 は全て、電源切断の場合に自動的に適用されるフェールセーフブレーキ 1 7 7 を有する。このように、外骨格継手 1 6 1 ~ 7 6 7 は全て、電源切断の場合にロックされ、このロックは、ベース取り付け向きがどの向きであっても、またロボットアームの空間レイアウトがどうであっても機能する。ロボット C M M アーム 1 のベースが垂直上方又は垂直下方にのみ取り付けられるべきである代替的な実施形態では、外骨格継手 1 6 1 はブレーキ 1 7 7 を有さない。この場合、外骨格継手 1 6 1 は一定の向きを有し、重力の作用によって外骨格継手 1 6 1 が加速されることはない。代替的な実施形態では、重力下での手首において可能なモーメント及び移動は非常に小さいため、動外骨格継手 5 6 5 ~ 7 6 7 にはブレーキが設けられない。これは、手首設計がより小型であり、ロボット C M M アーム 1 がより軽量であるという利点を有する。

【0 1 1 9】

継手の軸受

C M M 継手 1 5 1 7 5 7 の軸受は、高精度なロボット C M M アーム 1 を提供するのに重要なアイテムである。C M M エンコーダ 1 7 8 は、各継手の角度を示すことができ

るが、CMMエンコーダ178は、CMM継手151757の軸受により導入される誤差を測定することができない。CMM継手151757の軸受及びそれらの配置は、重量及び継手サイズを最小にしつつ剛性を最大にし、且つ軸受の振動音(rumble)を最小にするものでなければならない。内部CMMアーム5のCMM継手151757では、低摩擦軸受を用いて、特に高いデューティサイクルの場合、内部CMMアーム5が暖まる量を最小にする。外骨格がアームの重量のほとんどを補償するため、内部CMMアーム5の軸受に対する応力は通常、手動CMMアームの場合よりも小さい。次に図22を参照すると、Barden Corp(米国)製のプレストレスセラミック円錐ころ軸受230の対が、軸方向継手であるCMM継手353及び直交継手であるCMM継手454に設けられる。円錐ころ軸受230は、高剛性及び小型性を提供する。円錐ころ軸受230は、所定のトルクをナット231に加えることによりプレストレスをかけられる。軸受230は、締め込み嵌めを用いてハウジング100及び103に嵌め込まれ、これは、軸受を挿入前にまず-45に冷却して、室温で強力な締め込み嵌めを行う、焼嵌め(thermal shrink-fit)プロセスを用いて行われる。同様の配置では、プレストレス円錐ころ軸受230は、各CMM継手151~757に設けられる。本発明に軸受配置を提供する方法は数多くある。本発明の範囲は、焼嵌めによる締め込み嵌め(thermal interference shrink-fit)によるプレストレス円錐ころ軸受の使用に限定されない。少なくとも軽量、低摩擦、及び高剛性という要件を満たす、任意のタイプの軸受及び軸受を嵌めて調整する方法を用いることができる。外骨格継手151~757の軸受は、精度に関してはロボットCMMアーム1の重要なアイテムではないが、ロボットCMMアーム1の設計寿命よりも長い寿命を有することにより、高い交換費用が回避される。

【0120】

衝撃保護

ロボットCMMアーム1は可搬式である。ロボットCMMアーム1は、動作中、取り付け中、取り外し中、及び輸送中に衝撃を受けることが予測される。ロボットCMMアーム1の形状の突出した側面(aspects)には、打撃を吸収するためにプラスチックでできたバンパッドが取り付けられる。動作中、衝撃時に動きを停止させることにより衝撃からの損傷を最小にするために、軸追従誤差が監視される。ロボットCMMアーム1は、まず、制御PCB172によって、輸送のために特別に指定された空間レイアウトに動かされてから電源が落とされ、その間にブレーキ177が作動する。輸送のために特別に指定された空間レイアウトは、アームの寸法をできる限り小型にすることで硬質ケースのサイズを最小にするような空間レイアウトである。再び図21Cを参照すると、直交継手が隣接するセグメントを水平の向きにすることを可能にする空間レイアウトが、硬質ケースのサイズの最小化には有用である。取り扱い中、モータ176のブレーキ177は作動しており、これによりロボットCMMアーム1は硬質デバイスとなる。これにより、ロボットCMMアーム1の部品が取り扱い中に回転しないため、ロボットCMMアーム1が取り扱いやすくなる。

【0121】

組み立てプロセス

ロボットCMMアーム1を組み立てるプロセスを提供することが、本発明の目的の1つである。外骨格6を嵌める前にまず内部CMMアーム5を組み立て、校正し、試験することから、最小限のステップで最高品質を得ることに基づいた生産力に関する利点が得られる。外骨格6を内部CMMアーム5から取り外すことが容易且つ迅速にできることから、整備に関する利点も得られる。

【0122】

ロボットCMMアーム1の組み立てに好ましい「ソックス」プロセスの第1のステップにおいて、内部CMMアーム5及び外骨格6それぞれを、互いに分離されている間にかなりの程度まで組み立てる。第2のステップにおいて、外骨格6をブローブ端からベース端まで内部CMMアーム5の上にソックスのように通す。この組み立てプロセスは、内部CMMアーム5を円錐のように設計し、外骨格6を内側が中空の円錐として設計することが

、事実上必要である。伝達手段 10 は、外骨格 6 を内部 CMM アーム 5 の上に通す前又は通した後に位置決めされ得る。

【0123】

ロボット CMM アーム 1 の組み立ての「挿入」プロセスの第 1 のステップにおいて、内部 CMM アーム 5 及び外骨格 6 それぞれを、分離されている間にかなりの程度まで組み立てる。第 2 のステップにおいて、外骨格 6 を開く。第 3 のステップにおいて、内部 CMM アーム 5 を開いた外骨格 6 に挿入する。第 4 のステップにおいて、内部 CMM アーム 5 の上で外骨格 6 を閉じる。

【0124】

ロボット CMM アーム 1 の組み立ての「被覆」プロセスの第 1 のステップにおいて、内部 CMM アーム 5 及び外骨格 6 それぞれを、分離されている間にかなりの程度まで組み立てる。第 2 のステップにおいて、外骨格 6 で内部 CMM アーム 5 の周りを被覆する。挿入プロセス及び被覆プロセスはいずれも、外骨格継手等のアイテムが開裂することを必要とする。このような設計は、構成部品の数及び複雑性が増すという点でいくつかの欠点を有する。

10

【0125】

ロボット CMM アーム 1 の組み立ての「組み付け (built around)」プロセスの第 1 のステップにおいて、内部 CMM アーム 5 をかなりの程度まで組み立てる。第 2 のステップにおいて、外骨格 6 の構成部品又はサブアセンブリを、内部 CMM アーム 5 の周りに 1 つずつ組み付ける。「組み上げ (built over)」プロセスの第 1 のステップにおいて、ロボット CMM アーム 1 を組み立てるために、内部 CMM アーム 5 をかなりの程度まで組み立てる。第 2 のステップにおいて、外骨格 6 の構成部品又はサブアセンブリを内部 CMM アーム 5 の上に 1 つずつ通す。これらの組み付け (built) プロセスは、内部 CMM アーム 5 へのアクセスを可能にするために外骨格 6 を分解しなければならないため、ロボット CMM アームの運用性が低下する。

20

【0126】

本発明の範囲は、開示された組み立てプロセスに限定されず、手動又は自動の、ロボット CMM アーム 1 を組み立てるため又は分解するための任意のプロセスに及ぶ。ロボット CMM アーム 1 の完全な製造及び組み立てスケジュールには多くの他のステップがあり、これらのプロセスがここで開示されている組み立てプロセスステップの前、間、及び後に行われることが、当業者には理解されるであろう。

30

【0127】

プローブ及び工具

取り付け

ロボット CMM アーム 1 は、ベース端 2 及びプローブ端 3 を有する。ロボット CMM アーム 1 は、好ましくは CMM 継手 7 57 の後でそのプローブ端 3 に取り付けられる、1 つ又は複数の測定プローブ 90 又は工具 98 を備えることができる。測定プローブ 90 は、手動で取り外すことも自動で取り外すこともできる。自動取り外しは、2 つ以上のプローブ 90 用の場所を有するラック等のプローブ交換システム、及びプローブ 90 を繰り返し可能に解除及びロックする高精度取り付け機構により行われることが好ましい。ロボット CMM アーム 1 は、1 つ又は複数の高精度取り付け機構を有することができる。

40

【0128】

次に図 23 を参照すると、この第 1 の実施形態では、プローブ取り付け手段 240 が、CMM 継手 7 57 の後で本発明のロボット CMM アーム 1 のプローブ端 3 に設けられて、3 つのプローブ取り付け手段 240、すなわち第 1 のプローブ取り付け手段 244、第 2 のプローブ取り付け手段 247、及び第 3 のプローブ取り付け手段 251 のうち 2 つを用いて最大 2 つのプローブ 90 が取り付けられる。第 1 のプローブ取り付け手段 244 は、第 1 の取り付け面 242 からの M8 × 1.5 雌ねじ 241 と電気接点手段 243 とを備える。第 2 のプローブ取り付け手段 247 は、第 2 の取り付け面 246 からの M20 雄ねじ 245 を備える。第 3 のプローブ取り付け手段 251 は、M30 雌ねじ 248 と、12

50

0°間隔で3つの精密溝249を有する第3の取り付け面250とを備え、埋設(recessed)プローブコネクタ255が第3の取り付け面250に配置される。埋設プローブコネクタ255を用いることができない場合にプローブ90を接続するために、さらに別の埋設プローブコネクタ258がCMMセグメント838に配置される。コネクタ255及び258は機械的及び電氣的に同一である。

【0129】

次に図24を参照すると、Renishaw TP20プローブ体93が、第1のプローブ取り付け手段244を用いて、第1の取り付け面242に接触するまでプローブ体93をねじ241に螺入することにより、CMMセグメント838に取り付けられる。Renishaw TP20プローブ体93と電気接点手段243との間には電気接点10が形成される。Renishaw TP20プローブモジュール94が、マグネティックキネマティックマウントを用いてRenishaw TP20プローブ体93に取り付けられる。

【0130】

次に図25を参照すると、固体接触プローブ95が、第2のプローブ取り付け手段247を用いて、第2の取り付け面246に接触するまで固体接触プローブ95をねじ245に螺合することにより、CMMセグメント838に取り付けられる。固体接触プローブ95を取り付けるためには、Renishaw TP20プローブ体93を取り外す必要はないが、まずマグネティックキネマティックマウントにあるRenishaw TP20プローブモジュール94を持ち上げて外す必要がある。これは、固体接触プローブ9520を取り外すたびに、Renishaw TP20プローブ体93でロボットCMMアーム1を再校正する必要がないことを意味する。3つのシリンダ252が120°間隔で位置付けられているブラケット253に取り付けられた光学プローブ91が、固体接触プローブ95の上に通した後で、第3のプローブ取り付け手段251に取り付けられる。ブラケット253の内径は固体接触プローブ95の外径よりも大きいため、固体接触プローブ95とブラケット253の間には隙間がある。これは、最初に固体接触プローブ95を取り外すことなく光学プローブ91を取り外すことができることを意味し、光学プローブ91を取り外すたびに、固体接触プローブ95でロボットCMMアーム1を再校正する必要がないという利点を有する。同様に、固体接触プローブ95又はRenishaw TP20プローブ体93は、光学プローブ91を再位置合わせせずに取り外すことができる。30光学プローブ91は、CMMセグメント838から距離「d」だけずれた重心96を有する。光学プローブ91の一例は、3D Scanners(英国)製のModel Maker X70である。次に図26を参照すると、ブラケット253は、ブラケットコネクタ256を有し、ケーブル257がブラケットコネクタ256と光学プローブ91とを接続する。ブラケット253の3つのシリンダ252は、精密溝249内に収まり、ねじ248に螺合するナット254により所定位置に保持される。ブラケット253の3つのシリンダ252が精密溝249内に収まり、ナット254により所定位置に保持されると、ブラケットコネクタ256は埋設プローブコネクタ255内に収まる。ブラケット253の場所、したがって光学プローブ91の場所は、CMMセグメント838に対して、0.02540~0.05mm(+/-2シグマ)のオーダの精度まで、位置及び向きを再現可能である。ブラケットは、120°間隔で3つの異なる向きに位置決めすることができるが、1つの好ましい位置のみで、埋設プローブコネクタ255との自動接続を形成することができる。さらなる実施形態では、2組以上の3つの精密溝249が面250に設けられる。これは、精密溝249が2組あると、ブラケット253を60°間隔で6つの異なる向きに向けることができることを意味する。

【0131】

この第1の実施形態では、各プローブ90の重心がほぼCMMセグメント838の軸上にあることにより、CMM継手757を回転させる力が最小になるとともに、CMM継手757に対する曲げモーメントが最小になるが、ずらしたプローブが重心に対して最悪の位置を向いていることにより生じる最大許容トルクまでこの第1の実施形態が十分50

に動作可能であるように、プローブの重心 96 を CMM 継手 757 の軸からずらすこともできる。

【0132】

代替的な実施形態では、プローブ 90 を、ベース端セグメント、プローブ端セグメント、及びそれらの間の任意のセグメントを含むロボット CMM アーム 1 のいずれのセグメントに取り付けてもよい。1 つ又は複数のさらなる継手が、ロボット CMM アームのセグメントのマウントとプローブとの間に設けられる。

【0133】

さらなる実施形態では、自動プローブ交換のために、Renishaw 製の Auto joint 等の作動式 (actuated) キネマティックマウントが設けられる。さらなる実施形態では、10
プローブ端の軸の側部にずらしてさらなるプローブを取り付けるために、側部取り付け手段が設けられる。プローブ取り付け手段の任意の設計、及び任意の実現可能な位置でのプローブ取り付け手段の任意の組み合わせを、代替的な実施形態で提供することができることは、当業者には理解されるであろう。

【0134】

複数のプローブの使用

測定用途では、同時使用又は一度に 1 つの使用のための 2 用途 (dual use) 用の 2 つの
プローブ 90 が、ロボット CMM アーム 1 に取り付けられることが有用であることが多い。本発明は、ロボット CMM アームに 1 つ又は 2 つのプローブが取り付けられることに限定されず、複数のプローブを含むことができる。20

【0135】

2 用途プローブの一例は、車体座標系における自動車部品の工具の 3D 走査を行うために、接触プローブ 95 及び光学プローブ 91 がロボット CMM アーム 1 に取り付けられる場合である。接触プローブ 95 は、車体座標系に対する既知の位置 / 向きでツーリングボール又はツーリング円錐 (tooling cones) 等の基準アーチファクトを用いて、測定すべき物体を参照するのに有用である。光学プローブ 91 は、物体 9 の表面のデータを収集する。

【0136】

本発明のロボット CMM アームのこの第 1 の実施形態では、複数のプローブがロボット CMM アームのプローブ端に取り付けられ、プローブの取り付け又は取り外しを必要とせず
30
にこれらを選択的に用いてその機能を果たすことができる、ロボット CMM アームの多目的プローブ使用のための措置が取られる。これは、自動測定サイクルの時間が節約され、プローブ交換システムの費用及び予測される不都合も手動介入も必要ないことを意味する。さらなる実施形態では、取り付けられた複数のプローブ 90 を、それらの機能を果たすために同時に用いてもよい。さらなる実施形態では、取り付けられた複数のプローブのうち少なくとも 2 つのプローブの組み合わせを、それらの機能を果たすために同時に用いてもよい。

【0137】

プローブのタイプ

ロボット CMM アームに取り付けることができる寸法測定用の接触測定プローブのタイプは数多くあり、40

- 固体タッチ接触 (solid touch contact) プローブ 95、
- Renishaw TP6 及び Renishaw TP20 等、物体と接触すると電気信号を発する少なくとも 1 つのスイッチを有するタッチトリガ接触プローブ、
- Renishaw TP200 等、少なくとも 1 つの歪みゲージを有する力覚 (force sensing) プローブ、

- プローブが導電性の物体と接触すると回路が形成され、物体とロボット CMM アームとがケーブルにより接続される、電気接触プローブ、

なお、上記の固体、タッチ、電気接触、及び力接触測定プローブは、球形、先鋭形、平坦形、又はカスタム形等の種々の形状の先端を有する。カスタム形の一例は、曲管の測定に 50

用いられるV字溝を有する接触測定プローブである。カスタム形のさらなる例は、シート金属の縁の測定用の、2つの直交曲面を有する接触測定プローブである。

- 超音波等の肉厚測定プローブ、
 - コーティング厚等の他の寸法量を測定するための接触測定プローブ
- が含まれるが、これらに限定されない。

【0138】

ロボットCMMアームに取り付けることができる寸法測定用の非接触測定プローブのタイプは数多くあり、

- ポイントトリガプローブ
 - ポイント距離測定プローブ
 - 全タイプのストライププローブ
 - 全タイプのエリアプローブ
 - ロボットCMMアームのプローブ端と管の表面との間にある空気層、ガス層、又は液体層を通して信号を送る、超音波等の肉厚プローブ
- が含まれるが、これらに限定されない。

10

【0139】

非接触光学プローブは、単色光又は白色光を用いることができる。レーザからの単色光の場合、レーザのパワーは、目に安全であり、作業者がレーザ保護眼鏡かけなくてもよいように低いことが好ましく、又はロボットの作業領域に安全ガードが必要である。

20

【0140】

ロボットCMMアームに取り付けることができる非寸法量測定用の接触及び非接触測定プローブのタイプは数多くあり、

- 温度、
 - 表面粗さ、
 - 色、
 - 振動、
 - 硬度、
 - 圧力、
 - 密度、
 - 溶接部、接着部の傷、含有物の検出
- が含まれるが、これらに限定されない。

30

【0141】

工具

ロボットCMMアーム1に取り付けることができる工具98は数多くあり、

- ペン又はパブルジェットプリンタヘッド等の罫書きデバイスでの罫書き。罫書き中の物体上に置かれる印の場所は、CADシステム等の3Dソフトウェアを用いて準備プロセスにおいて決定される。場所は、物体を作成する元となった、物体のCAD設計モデル、又は実際の物体のリバースエンジニアリングモデル、又は別の同様の物体のリバースエンジニアリングモデルのいずれかである、物体のモデルを用いて決定される。3Dソフトウェアの作業者は、3Dソフトウェアツールを用いて、必要な印の場所をデジタル定義する。

代替的に、必要な印の場所は、インタラクティブなデータ取得プロセスにおいて別の同様の物体から測定することができる。航空宇宙産業における嵌め合い部品の組み立てプロセス等の嵌め合い部品の組み立てプロセスでは、ドリル穴の中心等の必要な印の場所は、雄型部品から測定してから雌型部品にマーキングしてもよく、又は雌型部品から測定してから雄型部品にマーキングしてもよい。3Dソフトウェアは、罫書きデバイスが取り付けられるロボットCMMアーム1の経路プログラムを生成する。経路プログラムがロボットCMMアーム1に対して自動的に実行されると、罫書きデバイスが物体の所望の場所にマーキングする。ロボットCMMアーム1は、産業ロボットよりも正確に罫書きを行うことができ、従来のCMMよりも柔軟性があるため、罫書きに関する実用性が高い。さらに、ロボットCMMアームを罫書きに用いることにより、罫書き用固定具が必要なくなる。

40

50

- エアブラシ、カラーバブルジェットプリンタヘッドアセンブリを含むバブルジェットプリンタヘッドアセンブリ等の塗料塗布デバイスでの塗装
- 切削、研削、穿孔、鍛打、接着、溶接、フライス削り
- ステッカーの貼り付け

が含まれるが、これらに限定されない。工具 98 は、静止していてもよく、又は並進要素又は回転要素を有し、且つアームに沿って電力を供給される電動工具であってもよい。

【0142】

プローブの質量

接触プローブの通常の重量は、50 ~ 200 g である。光学プローブの通常の重量は、100 ~ 2000 g である。プローブの組み合わせの重量は、3 kg を超え得る。

10

【0143】

プローブのアーキテクチャ及びアイデンティティ

プローブ 90 の複雑性及びパワーは、プローブによって大きく異なる。本発明のロボット CMM アーム 1 に取り付けられるように設けられる光学プローブ 91 のアーキテクチャを説明する。次に図 27A を参照すると、光学プローブ 91 は、プローブケーブル 259 又はブラケットケーブル 257 のためのプローブコネクタ 260 を有する。プローブ PCB 270 には、プローブスタティックメモリ 261、プローブプロセッサ 266、プローブバスコントローラ 267、プローブ無線ユニット 268、及びプローブ検知デバイス 269 が設けられる。プローブスタティックメモリ 261 には、プローブプログラム 272 及びプローブアイデンティティ 271 が常駐しており、プローブアイデンティティ 271 は、プローブアイデンティティ番号 262、プローブ校正データ 263、プローブ位置合わせデータ 264、及びプローブ情報 265 を含む。プローブ校正データ 263 は、プローブ 91 が取り付けられるものに関係なく測定を行うための、プローブ 91 の校正に関するデータである。プローブ位置合わせデータ 264 は、ロボット CMM アーム 1 とのプローブ 91 の位置合わせに関するデータである。プローブ情報 265 は、プローブのタイプ、プローブの重量、取り付け基準点に対するプローブの重心位置及び慣性モーメント、最新校正日、製造日、製造業者、精度、並びに製造番号を含み得るが、これらに限定されない。この第 1 の実施形態では、いかなるプローブ 90 も内部に記憶されたプローブアイデンティティ 271 を有する。プローブアイデンティティ 271 は、プローブ 90 がロボット CMM アーム 1 に取り付けられた後で読み取ることができる。プローブアイデンティティ 271 は、有線接続に沿って読み取ってもよく、又は無線接続により読み取ってもよい。これは、プローブ 90 が校正されるたびに、プローブ校正データ 263 がプローブ 90 に伴うため、組織の IT システムにおいてプローブ校正データ 263 が紛失したり、古いプローブ構成データ 263 と誤って交換されたりする可能性が減ることを意味する。プローブプログラム 272 は、ラップトップコンピュータ 151 から自動的に、さらにはラップトップコンピュータ 151 又はプローブ無線ユニット 268 を介してインターネット又はイントラネット上で遠隔に更新することができる。この第 1 の実施形態ではさらに、デジタルアイデンティティが記憶されていない単純なプローブ 90 も用いることができる。プローブのデジタルアイデンティティは、プローブスタティックメモリ 261 に記憶されることに限定されない。プローブのデジタルアイデンティティは、電力を用いずにプローブ 90 の設計寿命よりも長い寿命を有するいかなる形態のデジタルメモリにも記憶することができる。プローブプロセッサ 266 によってプローブセンサ 269 からの生データの処理が行われ、ラップトップコンピュータ 151 によってさらに処理される。プローブのアーキテクチャによっては、プローブプロセッサ 266 がほとんど又は全ての処理を行う。ほとんど又は全ての処理がラップトップコンピュータ 151 によって行われるプローブのアーキテクチャもある。

20

30

40

【0144】

プローブ接続及びプローブケーブル

市場で入手可能なほとんどのプローブ、特に光学プローブ 91 は、専用接続を有するが、ローカライザにインタフェースするためにカスタムの光学プローブ 91 が開発されるこ

50

とが多い。第1のプローブ取り付け手段244は、広範囲のRenishawプローブとの自動電気接点を有するRenishaw M8×1.5mmねじ穴を提供する。第2のプローブ取り付け手段247は、標準的なねじを提供するが、電気接点は提供しない。第3のプローブ取り付け手段251は、埋設プローブコネクタ255を介した専用の機械的取り付け・自動電気接続機構(arrangement)を提供するが、これは、第3のプローブ取り付け手段251の設計の知的所有者に許可された場合のみ用いることができる。プローブの手動接続は、短いプローブケーブル259をCMMセグメント838に配置された付加的な埋設プローブコネクタ258に差し込むことにより、行うことができる。好ましくない実施形態では、プローブケーブル259を、ロボットCMMアーム1の外部に引き下ろして、ロボットCMMアーム1のベース4のインタフェースポート194に接続することができる。配線は常に関節アームロボットの問題であり、継手の周りでの適切な引き回しの措置が取られていないロボットCMMアームのプローブ端からケーブルを引くことは望ましくないことが、当業者には分かるであろう。インタフェースポート194のコネクタ及び接続は、埋設プローブコネクタ255及びさらなる埋設プローブコネクタ258のものと同一であることが好ましい。プローブの電気接続手段234、255、258、及び194は、以下の、電源、接地、トリガ、及びデータのうちの1つ又は複数を提供する。次に図27Bを参照すると、さらなる実施形態では、3つのプローブコネクタ260がプローブ90に設けられる。3つのプローブケーブル259が、プローブ90を、プローブの電気接続手段258を介してロボットCMMアーム1に、ラップトップコンピュータ151に、且つプローブ制御ボックス295に接続する。プローブ制御ボックス295が必要とされるのは、プローブ90のサイズ及び重量を最小にする必要があり、プローブ90からプローブ制御ボックス295へアイテムを移動させることが実用的である場合である。次に図27Cを参照すると、さらなる実施形態では、プローブケーブル259がプローブ90のプローブコネクタ260に接続し、ロボットCMMアームの外側に沿ってプローブ制御ボックス295まで引かれる。プローブボックス・ラップトップコンピュータ間ケーブル297が、プローブ制御ボックス295をラップトップコンピュータ151に接続する。プローブボックス・アーム間ケーブル296が、プローブ制御ボックス295をロボットCMMアーム1のインタフェースコネクタ194に接続する。次に図27Dを参照すると、プローブ制御ボックス295をロボットCMMアーム1にインタフェースさせるための好ましい実施形態が示されている。プローブケーブル259が、プローブ90のプローブコネクタ260と、ロボットCMMアーム1の埋設プローブコネクタ258とに接続する。プローブボックス・アーム間ケーブル296が、プローブ制御ボックス295をロボットCMMアーム1のインタフェースコネクタ194に接続する。本発明の範囲は、開示されたプローブの電気接続及びケーブルに限定されず、全タイプのプローブ有線接続及び無線接続を含む。例えば、プローブ90は、IEEE802.11b(WiFi)等の無線接続によってラップトップコンピュータ151に直接データを送ることができる。

【0145】

プローブの仕様及び性能

プローブ90の仕様及び性能によって、ロボットCMMアーム1が測定作業においてプローブ90を運ぶ方法は大きく変わる。先に開示したように、本発明のロボットCMMアームで用いることができるプローブ90の一般的タイプは数多くあり、一般的タイプごとに広範な設計がある。ロボットCMMアーム1に取り付けられる好ましい光学プローブ91は、ストライププローブ97である。次に図28を参照すると、ストライププローブ97は、レーザ光源298及び平面生成光学系(optic)299を含み、平面生成光学系299は方向+Zの両側に広がるレーザ光280を投射し、このレーザ光280は平面の三角形部分で概ね表される。ストライププローブ97に近い最小ストライプ長さ284及びストライププローブ97から遠い最大ストライプ長さ285から構成されるポリゴン部分281内で、測定が行われる。最小ストライプ長さ284と最大ストライプ長さ285との間の距離は、被写界深度282である。離隔距離283は、ストライププローブ97か

10

20

30

40

50

らポリゴン部分 281 の中央までの距離である。ストライプブローブ 97 内の検知デバイス 269 が、レンズ 300 を介して或る三角測量角度 286 の視野 302 で、取り込まれるストライプ / 秒で表される走査速度 294 で、レーザ光 280 を集める。次に図 29 を参照すると、ロボット CMM アーム 1 に取り付けられたストライプブローブ 97 は、mm / 秒で表される表面速度 293 で物体 9 に対して方向 X に移動することにより、物体 9 を走査する。投射されたレーザ光 280 により、物体 9 の表面にストライプ 287 が形成される。ストライプ 287 がポリゴン部分 281 内にある場合、測定はストライプ 287 に沿って行われる。次に図 30 を参照すると、物体 9 上のストライプ 287 は、ブローブによる個々の 3D 測定出力に対応する、Y 方向の一連の N 個の小領域 288 に分割される。ストライプ 287 に沿った隣接する小領域 288 間の点間距離 289 は、距離 DY である。次に図 31 を参照すると、物体 9 上の X 方向の一連のストライプ 287 が取り込まれる。平均ストライプ間距離 290 は距離 DX である。一連のストライプ 287 は、走査パッチ 291 を形成する。次に図 32 を参照すると、公称重複距離 292 を有する一連の重複走査パッチ 291 で、物体 9 が走査される。次に図 33 A を参照すると、2 視野 (two-view) ストライプブローブ 301 が、2 つの対向する視野 302、303 を有する 2 つの検知デバイス 269 及びレンズ 300 を備える。次に図 33 B を参照すると、2 視野ストライプブローブ 301 は、段 304 を有する物体 9 を見る。第 1 の視野 302 は、レーザストライプ 280 が物体 9 を照射する場所であるストライプ 287 までクリアな経路を有する。第 2 の視野 303 のストライプ 287 までの経路は、物体 9 の段 304 により遮断され、この場所ではストライプ 287 の像を見ることができない。次に図 34 A を参照すると、2 ストライプブローブ 308 が、中央検知デバイス 269 及び視野 302 を有するレンズ 300 と、ライン 307 で交わる第 1 のレーザ光平面 305 及び第 2 のレーザ光平面 306 を投射する、2 つのレーザ光源 298 及び平面生成光学系 299 とを備える。次に図 34 B を参照すると、2 ストライプブローブ 308 は、ステップ 304 を有する物体 9 を見る。第 1 のレーザ光平面 305 は、物体 9 のステップ 304 の面を照射してストライプ 287 を形成し、視野 302 は、ストライプ 287 までの経路を有する。

【0146】

ブローブの以下のパラメータは、ロボット CMM アーム 1 の少なくともプログラムされた移動に影響を及ぼし、より詳細に開示される。

【0147】

- ストライプ長さ：ストライプブローブ 97 は通常、最大ストライプ長さ 285 により指定される。実際には、実際のストライプ長さは、ストライプブローブ 97 から物体 9 までの距離に応じて変わる。長さ 500 mm の平坦な物体 9 で、ブローブ 97 から 75 mm の所に最大ストライプ長さがあり、重複が最大 25 mm である場合、物体は各パッチ間の間隔が 50 mm の 10 個のパッチで走査することができる。ストライプ長さが長いほど、必要なパッチの数は減る。ストライプ長さは通常、10 mm から 200 mm まで様々であるが、それより長くても短くてもよい。ストライプ長さの重複は通常、主に物体 9 の形状に応じてストライプ長さの 5 % から 50 % まで様々であるが、それより大きくても小さくてもよい。

【0148】

- 平均点間距離：ストライプは、実際には個別の一連の 3D 点としての出力である。ストライプ N における点の通常の数、現在は約 750 個であるが、これは将来増えると予測される。ストライプ長さが 75 mm である場合、ストライプに沿った平均点間距離は 0.1 mm である。細かい特徴を有する物体 9 には、0.01 ~ 0.05 mm 以下のより小さい平均点間距離での走査が必要であり得る。特徴が少ない大きな物体 9 には、0.25 ~ 1 mm 以上のより大きな平均点間距離での走査が必要であり得る。

【0149】

- 走査速度 (ストライプ / 秒)：現在の通常の走査速度 294 は、25 ~ 60 ストライプ / 秒であるが、走査速度は将来速くなると予想される。様々な可能な走査速度がある。

一定走査速度：任意の 2 つのストライプ間の時間は常に同じである。これは、ビデオ

10

20

30

40

50

センサである検知デバイス 269 で一般的である。

2つの択一的な一定走査速度：これは、インタレースビデオセンサである検知デバイス 269 で一般的である。25又は50ストライプ/秒のCCIR速度が一般的である。30又は60ストライプ/秒のNTSC速度が一般的である。走査速度が速いほど、低分解能データが生成される。作業者は、1回ごとに用いる走査速度を選択することができる。

最大走査速度までの任意の一定走査速度：作業者が所望の速度を設定する。

トリガ可変速度：ストライプ間の時間は変わり得る。別の事象によりストライププロープ97がトリガされ得る。

処理可変速度：ストライプ間の時間は変わり得る。各ストライプの処理時間は変わり得る。前のストライプが処理されるまで、次のストライプは取り込まれない。

10

【0150】

- 表面速度：様々な可能な表面速度がある。

一定表面速度：ストライププロープ97は、一定の表面速度293で物体9の上を移動する。ストライププロープ97は、一定の向きであっても向きが変化してもよい。ストライププロープ97は、測定が行われている間は物体に対して移動している。

可変表面速度：表面速度293は走査中に変わる。表面速度を変える方法は数多くあり得る。例えば、表面の或る部分は特徴を有し、その他の部分は平坦である場合、特徴を有する部分をより遅く走査することが望ましいことが多い。

段階的：ストライププロープ97は、ロボットCMMアーム1により位置を移動させられる。各位置で、ストライププロープ97は、測定が行われている間は静止している。段階的走査は、最高精度の測定を行うために用いられる。移動する物体9の場合、ストライププロープ97は、測定が行われている間は物体9に対して一定の位置にある。

20

【0151】

- 平均ストライプ間距離：ロボットCMMアームが30mm/秒の表面速度293でストライプに対して直交する方向に移動している場合、60ストライプ/秒の走査速度では、平均ストライプ間距離290は0.5mmとなる。細かい特徴を有する物体9には、0.05mm以下のより小さい平均ストライプ間隔での走査が必要であり得る。この場合、ロボットCMMアームの速度は3mm/秒に低下させなければならない。特徴が少ない大きな物体9には、1mm以上のより大きな平均ストライプ間距離での走査が必要であり得る。

30

【0152】

- ストライプ間距離の均一性：ロボットCMMアームは、一定の表面速度で走査を行うことができる。手動CMMアームの作業者は、正確で一定の表面速度で走査を行うことができない。これは、ロボットCMMアームが手動CMMアームよりも一様なストライプ間距離を提供することができることを意味する。

【0153】

- 均一なCMM点密度：これはいくつかの用途で望ましい。ロボットCMMアームは、平均ストライプ間距離が平均点間距離と等しいように表面速度を設定することにより、均一な3D点密度を得ることができる。均一な3D点密度は、ストライプに沿って点をサンプリングして、平均点間距離を大きくすることにより得ることもできる。

40

【0154】

- 被写界深度：3D点は、通常は50～200mmの深さである被写界深度282にわたって測定することができる。概して、被写界深度が大きいほど、ストライププロープ97からの3D点の二乗平均(RMS)Zノイズが悪化する。現在のストライププロープは、被写界深度の約1/10,000のRMSを有する。例えば、最大ストライプ長さが70mmで被写界深度が100mmのストライププロープ97は、Z方向に10ミクロンのRMSを有する。

【0155】

- アクセス：ギヤボックスケーシング等のいくつかの物体9では、ロボットCMMアーム

50

1のプローブ90が物体の内側の特徴を走査するためのアクセスが限られる。アクセスは、プローブ90をハウジングに細く貫入させることにより行うことができる。この場合、プローブ90は、できる限り小さくしなければならず、ロボットCMMアーム1のプローブ端3からの管等の延長部に取り付けられ得る。さらに、プローブ90は、延長部の方向から45°又は90°等の角度に向けられ得る。プローブ90を角度の付いた向きで構成することにより、物体9の表面のより大きな量を走査する能力が与えられる。

【0156】

- 離隔：離隔距離283は通常、70～300mmである。理想的には離隔は、(a)ロボットCMMアーム1と物体9との間の衝突の危険性を減らし、且つ(b)スロット等の深い領域への貫入を最大にするために、大きくするべきである。離隔が大きくなると、ロボットCMMアームの仮想リーチ81も大きくなる。ロボットCMMアームの仮想リーチ81が大きくなると、ロボットCMMアームの精度及びプローブ91の精度の両方が低下する。物体9の設計により強制的に決まる表面からのセンサの最大距離が小さい、アクセスが不十分ないくつかの用途では、小さい離隔が望ましい可能性がある。物体9の設計により強制的に決まる表面からのセンサの最小距離が大きい、アクセスが不十分な他の用途では、大きな離隔が望ましい可能性がある。したがって、離隔の選択は精度と用途との妥協である。

【0157】

- 遮断：ロボットCMMアーム1に取り付けられる2視野ストライププローブ301は、1視野のストライププローブ97よりも、遮断をもたらす段又は同様の特徴を有する物体9上のストライプ287からより多くのデータを取り込むという利点を有する。取り込まれた第1のパッチにおいて遮断されていた物体9の表面領域に届くように、或る領域を異なる向きで再走査しなければならない場合が、ストライププローブ97では2視野ストライププローブ301よりも多い。これは、2視野ストライププローブでは総測定時間が減ることを意味する。しかしながら、2視野ストライププローブ301は、ストライププローブ97よりも嵩張り、且つ重い。ロボットCMMアーム1に取り付けられる好ましい2視野ストライプレーザプローブ308は、垂直段壁304のデータを取り込むことができるという点で、ストライププローブ97又は2視野プローブ301に勝る利点を有する。走査方向に直交しない角度に向いた3つ以上のストライプを用いるストライププローブは、1回の直線走査パスで円筒孔の内壁の全域にわたってデータを取り込むことができることが、当業者には理解されるであろう。このようなストライププローブは、視点を増やすために2つ以上のカメラを有する。複数のストライプ及びカメラを用いるストライププローブは、1回の走査パスで垂直壁のより総合的なデータを収集することができるという利点を有するが、ストライプ及びカメラが1つだけのストライププローブは、ロボットCMMが同じ特徴を2回以上走査して走査を完了することを必要とし得る。

【0158】

- 自動化：ロボットCMMアームは、自動化され、24時間以上連続して走査を行うことができる。それに比べて、手動CMMアームの作業者は疲れる。これは、ロボットCMMアームが、作業者により用いられる手動CMMアームよりも多く且つ高品質のデータを物体9から走査することができることを意味する。

【0159】

レーザ光源298は、Toshiba(日本)を含む様々な供給業者から購入することができるような、約660nmの波長を有する30mW出力のレーザダイオードである。光学系300は、Rodenstock(ドイツ)製のLight Penである。センサ269は、チップ又はボードカメラのいずれかとして、Sonyを含む様々な供給業者から購入することができるような、CCDNTSCビデオセンサチップである。本発明の範囲は、この設計の光学プローブに決して限定されず、任意の適当な設計の光学プローブを組み込むことができる。投射光源は、白色光、可視、赤外線、紫外線、部分可視、又は完全可視のレーザ光線等の任意のタイプの光を含み得る。種々の特定波長と、バンドパスフィルタ及び複数のセンサ269により後で微分され得る種々の波長帯とを有する、複数の投射光源を用いるこ

とができる。投影光学系 299 及び結像光学系 300 は静的であっても動的であってもよい。動的光学系は、特にガルバノミラー及び回転ポリゴンマルチミラー (polygonal multi-mirrors) を含む。投射光源のパワーは一定であってもよく、又は変わってもよい。光投射は定常光であってもストロボ光であってもよい。検知デバイス 269 は、特に、CCD 及び CMOS 技術でできたデバイスを含む。検知デバイス 269 は、1D 装置、2D 装置、及び PSD 装置等のアナログデバイスであってもよい。検知デバイス 269 は、1D ピクセルライン又は 2D ピクセルアレイ等のピクセルを有するデジタルデバイスであってもよい。検知デバイス 269 は、種々のフィルファクタを有することができ、マイクロレンズを用いることができる。検知デバイス 269 のシャッタ速度は固定であっても可変であってもよい。ストロボ投光は、シャッタ開放時間の全部又は一部の間、光を点灯することができる。

10

【0160】

電源

この第 1 の実施形態に開示されているロボット CMM アームの電力消費は通常、1kW 未満であり、ほとんどの場合は 2kW 未満である。これは、80 ~ 240V の家庭用 / オフィス用の商用電源を用いることができ、高電圧で動作する三相電源が必要ないことを意味する。標準 IEC ソケット 195 が、ケーブル 155 を介した商用電源接続のために設けられる。腐食したガスパイプの走査等、現場用途では、例えば車両で用いられるタイプの 1 つ又は複数の 24V DC バッテリーにより供給される 24V DC で、ロボット CMM アーム動作に対応する。24V DC ソケット 195 及び長さ 20m の 24V ケーブル 155 が設けられる。充電式バッテリー 170 が、バックアップ電源として設けられて、突然停電した場合にエンコーダ位置のセーブ等のバックアップ活動を行うことを可能にするため、初期化手順を実行する必要なく、商用電源が完全に復旧するとすぐにロボット CMM アームの動作を再開することができる。バッテリー 170 は取り外し可能である。バッテリー 170 用の内蔵充電器が設けられる。

20

【0161】

ロボット CMM アームのケーブル及び PCB の位置

内部ケーブル 165、166、167、169、174、及び 196 は、ロボット CMM アーム 1 に沿って制御ボックス 159 からプローブ端 3 まで延び、継手 PCB 173 とモータ 176 とを接続する。内部ケーブル 165、166、167、169、174、及び 196 は、内部 CMM アーム 5 と外骨格 6 との間に延びる。これは、全てのケーブルがロボット CMM アーム 1 の外面内で保護されることを意味する。継手 PCB 173 は、内部 CMM アーム 5 と外骨格 6 との間に配置される。継手 PCB 173 に対してローカルなデバイス 177 ~ 184 のほとんどが、内部 CMM アーム 5 又は外骨格 6 に取り付けられる。各継手 PCB 173 は、内部 CMM アーム 5 と外骨格 6 との間に延びる線、リボンケーブル、又は円形断面ケーブルにより、ローカルデバイス 177 ~ 184 の少なくとも 1 つに接続される。内部ケーブル 165、166、167、174、及び 196、並びにデバイス 177 ~ 184 を継手 PCB に接続する線は、当該技術分野で一般的に用いられる標準的且つ堅牢な形態のものである。ケーブルのゲージは、重量を減らすために最小限に抑えられる。シリアルケーブル 169 は、IEEE - 1394 ファイアワイヤケーブルである。プローブボックス・アーム間ケーブル 296 は、インタフェースコネクタ 194 を介してロボット CMM アーム 1 により提供される作業に関する、プローブボックス又は他のインタフェースデバイスの特定の要件を満たすために設けられる特注ケーブルである。ラップトップケーブル 152 は、ファイアワイヤコネクタ 197 からのファイアワイヤ IEEE - 1394 ケーブルである。ネットワークコネクタ 199 は、100Mbps イーサネットコネクタであり、標準 CAT5 配線のイーサネットネットワーク 200 に接続する。ペンダント通信ケーブル 154 は、ファイアワイヤコネクタ 198 からのファイアワイヤ IEEE - 1394 ケーブルである。

30

40

【0162】

本発明の範囲は、開示されている内部配線にも、開示されている PCB 構成にも限定さ

50

れない。光学プローブは、処理ユニットに転送すべき出力データの帯域幅が拡大している。I E E E - 1 3 9 4 bファイアワイヤBで指定されているもの等の高帯域幅シリアルケーブルが利用可能であり、これは、光学信号ケーブルを用いると最大3.2GB/秒の帯域幅を有するが、電気信号ケーブルを用いるとそれよりも小さい帯域幅を有する。光学プローブケーブルは、電気ノイズの影響をほとんど受けず、劣化せずに信号を長距離にわたって搬送することができる。これにより、光学信号プローブは、長い距離及びノイズの多い電気モータの近くに引き回されるケーブルの両方を特徴とするロボットの使用に適したものとなる。代替的に、全てのネットワークは、100BaseTイーサネットであってもよく、デバイス相互接続のためにハブ又はスイッチが設けられる。当業者には理解されるように、ロボットCMMアームのPCBの数及び機能は、本発明の技術的効果に影響を及ぼすことなく変えることができる。例えば、7つの継手PCB173の代わりに、ロボットCMMアームの肩、肘、及び手首に位置付けられる3つの継手PCB173を設け、エンコーダ、熱電対、及び2つ以上の継手に関連するドライブ等のデバイスを、1つの継手PCB173に接続してもよい。

10

20

30

40

50

【0163】

ユーザインタフェース

ラップトップPC

次に図35を参照すると、主要ユーザインタフェースとしてラップトップPC151が設けられることが好ましい。ラップトップPC151のために、ロボットCMMアーム1のベース4から離れた場所に調整可能なプラットフォーム310が設けられる。商用電源接続なしで動作するために、ラップトップコンピュータのバッテリー164が設けられる。プラットフォームには、マウス311のための空間が設けられる。本発明は、ラップトップユーザインタフェースに限定されない。完全な個別のPCキャビネットを設けてもよい。個別のLCDスクリーンをそれに接続してもよい。タブレットPCを設けてもよい。1つのロボットCMMアーム1ユニット及びそれに取り付けられた外部ディスプレイに、コンピュータを組み込んでよい。ディスプレイは、タッチセンス機能を有してもよい。2つ以上のロボットCMMアームが1つのセル内で機能する場合、1つのラップトップPCを用いて、セル内のロボットCMMアーム全てを制御することが好ましい。ラップトップコンピュータ151に接続される小型プリンタ312が設けられることが好ましい。小型プリンタ312は、少なくとも測定記録を印刷するために用いられる。プリンタの場所は、ラップトップコンピュータ151の下でプラットフォーム310に設けられる。

【0164】

ペンダント

次に図36を参照すると、ロボットCMMアーム1のローカル制御のために、ハンドヘルドペンダント153が設けられる。ハンドヘルドペンダント153には、ロボットCMMアーム1への有線接続164及び無線接続324の両方が設けられる。商用電源接続なしで動作するために、ペンダント153のバッテリー163が設けられる。充電ポイント158がロボットCMMアーム1に設けられ、そこにペンダント153を充電のために通常は一晚中置いておくことができる。充電ポイント158の特徴は、接続が自動的に形成され、ペンダント電気接点327が充電ポイントの電気接点328と接触するように、ペンダントが受け台の正しい位置及び向きに簡単に配置されることである。ペンダント153は、8インチLCDディスプレイ322を有することが好ましいが、LCDディスプレイ322はそれよりも大きくても小さくてもよい。代替的に、ペンダントにディスプレイを設けなくてもよい。ペンダントには、マイクロプロセッサ323、メモリ325内のMicrosoft Windows CEオペレーティングシステム326、メモリ325内のペンダントソフトウェア330、及び3Dグラフィックスチップ329が設けられる。ペンダントディスプレイ322は、走査されたデータのリアルタイムレンダリング3Dカラーグラフィカル表示を含む、ロボットCMMアーム1の使用からの全ての結果を示す。このようなリアルタイムレンダリングは、教示プログラミングに役立つ。ペンダントは、各軸の2つの移動方向を制御するための複数のボタン320を有する。ボタンは成膜

技術で製造される。３軸ジョイスティック３２１が設けられるが、この軸は３軸よりも多くても少なくともよく、２つ以上のジョイスティック又はトラックボールがあってもよい。ペンダント１５３は、２つの択一的なモード、すなわち、ペンダント１５３がラップトップＰＣ１５１の端末としての役割を果たす端末モードか、又はペンダント１５３がそれ自体のマイクロプロセッサ３２３を用いてアプリケーションソフトウェアを実行するアクティブモードを有する。代替的な実施形態では、ペンダント１５３は設けられないか、又はオプションである。ペンダントのユーザインタフェース機能を実行するために、ラップトップコンピュータのソフトウェアが設けられる。電源が入っていることを示すために、ロボットＣＭＭアーム１及びペンダント１５３に緑色ＬＥＤ１５７が設けられる。さらなる動作情報は全て、ラップトップコンピュータ１５１又はペンダント１５３の表示スクリーンに示される。

10

【０１６５】

ヘッドマウント制御

次に図３７を参照すると、ラップトップコンピュータ１５１と有線又は無線で接触する作業員１１のために、ヘッドセット３４０が設けられる。ヘッドセット３４０は、作業員１１が片目で見ることができるよう配置された、少なくとも８００×６００ピクセルの解像度を有する単眼ディスプレイ３４１を備える。作業員１１は、依然として両目で周囲環境を見回すことができるが、単眼ディスプレイ３４１を見ることができるよう目の目は多少遮られる。より高解像度の単眼ディスプレイ３４１が入手可能になりつつあり、ヘッドセット３４０に組み込むことができる。ヘッドセット３４０は、ヘッドフォン３４３及びマイクロフォン３４２も備える。作業員１１は、小さなコマンド辞書を用いて、マイクロフォン３４２に向かって話すことによりロボットＣＭＭアーム１を制御する。各作業員１１は、ロボットＣＭＭアーム１にコマンドを教えることにより、ラップトップコンピュータ１５１の音声認識ソフトウェアがより高い認識率を示すようにすることが好ましい。ラップトップコンピュータ１５１の音声合成ソフトウェアが、ヘッドフォン３４３を介して作業員１１に音声を返す（voice speech）ことで、閉ループ音声駆動ユーザインタフェースを提供する。

20

【０１６６】

ボタン

次に図３８Ａを参照すると、並行して動作する複数組のボタン１８３が、ロボットＣＭＭアームに固定される。この組は、制御用の一対のボタン１８３であることが好ましい。一対のボタン１８３は、ロボットＣＭＭアームのセグメント８のブローブ端３に配置される。ボタンをＡ及びＢと呼び、Ａはブローブ端に近い方である。Ａは赤色に塗られ、Ｂは緑色に塗られる。ボタン１８３は、中心間が約２５ｍｍであり、直径が１１ｍｍである。ボタン１８３は、偶発的な作動が生じるのを減らすために、凹状にされる。ボタン１８３は、親指又は指紋サイズに合うような大きな直径である。ボタン１８３は、ロボットＣＭＭアーム１の測定の制御及びソフトウェア選択肢の選択に用いられる。外骨格セグメント８４８のブローブ端３の第１の対とは反対側、制御箱１５９上、及び外骨格セグメント５４５の肘と手首との間に、ブローブ端の対と並行して動作する他の対のボタン１８３が設けられる。次に図３８Ｂを参照すると、無線フットスイッチ３５０が設けられる。次に図３８Ｃを参照すると、ボタンを有する無線遠隔制御器３５１が設けられる。無線遠隔制御器３５１は、好ましくはストラップ３５２によって、ロボットＣＭＭアームの作業員１１が選択した場所に装着される。代替的に、作業員１１が遠隔制御器３５１を保持してもよい。本発明は、開示された数のボタン１８３及びそれらの配置（situation）に限定されない。ロボットＣＭＭアームは、いかなるボタンも取り付けられずに、ペンダント１５３又はラップトップコンピュータ１５１等の他の手段を用いて操作されてもよい。制御は、１つのボタン１８３又は各組に３つ以上のボタンで行われてもよい。設けられるボタンは、１組であっても複数組であってもよい。組数及びそれらの場所に影響を及ぼす要因は、ロボットＣＭＭアーム１のリーチ及びロボットＣＭＭアームが用いられる用途を含む。

30

40

50

【 0 1 6 7 】

環境動作

この第 1 の実施形態の可搬式ロボット C M M アーム 1 は、 - 1 0 ~ + 5 0 の温度範囲で動作することができる。ロボット C M M アーム 1 が凍結から直射日光まで様々な状態の屋外で動作している、アラスカのガスパイプライン及びエジプトの墓等の測定用途が想定される。ロボット C M M アームは、耐候性であり、環境シールレベルは I P 6 2 である。ロボット C M M アームの代替的な実施形態は、 I P 6 4 レベルまで保護されることができ、さらには放射性領域等の過酷な環境の専門用途でも特別に保護される。可搬式ロボット C M M アーム 1 は通常、最高 9 0 % の湿度で動作することもできる。

【 0 1 6 8 】

ロボット C M M アームの座標系

次に図 3 9 を参照すると、ロボット C M M アームシステム 1 5 0 には多数の座標系 3 6 0 がある。これらは、

- 物体座標系 3 6 1
- 物体特徴座標系 3 6 2
- ロボット C M M アーム座標系 3 6 3
- プローブ（又は工具）座標系 3 6 4
- 外骨格座標系 3 6 6

を含むが、これらに限定されない。物体 9 上のツーリングボール 3 6 8 又は物体 9 が載置される任意の基準板等、物体 9 に物体座標系 3 6 1 を与えるために用いることができるデータム形体（datum features）がなければ、物体座標系 3 6 1 を知ることはできない。自動車産業において最も一般的に設けられるのは、自動車ラインの物体座標系 3 6 1 である。物体特徴座標系 3 6 2 は、特徴 3 6 5 のために設けられる。多くの場合、物体は、物体特徴座標系 3 6 5 を決定するために用いることができる、物体特徴座標系 3 6 5 のための基準マークを有して製造される。この第 1 の実施形態では、内部 C M M アームベース 3 1 と外骨格ベース 4 1 とがしっかりと接続されているため、内部 C M M アーム座標系としても知られるロボット C M M アーム座標系 3 6 3 と外骨格座標系 3 6 6 とは同一である。直径 2 5 m m の基準ボール 3 6 7 が、ベース 4 にある再現可能な磁氣的マウント 3 6 9 に設けられる。基準ボール 3 6 7 の中心は、ロボット C M M アーム座標系 3 6 3 及び外骨格座標系 3 6 6 のゼロとみなされる。外骨格が内部 C M M アームベース 3 1 とは異なる外骨格ベース 4 1 を有する場合、特に外骨格ベース 4 1 と内部 C M M アームベース 3 1 との間に相対移動がある場合、外骨格座標系 3 6 6 はロボット C M M アーム座標系 3 6 3 とは異なる。この場合、第 2 の基準ボール 3 6 7 が設けられる。ロボット光学の分野では一般的に既知であるように、ロボット C M M アーム 1 のプローブ端 3 に装着されるプローブ 9 0 又は工具 9 8 に、異なる座標系が設けられる。これは、ロボット C M M アームプローブ座標系 3 6 4 と呼ばれる。

【 0 1 6 9 】

次に図 4 0 を参照すると、制御 P C B 1 7 2 はロボット C M M アーム 1 を制御する。外部コネクタ 1 5 6、1 5 7、1 9 4、1 9 5、1 9 7 ~ 1 9 9 は、制御 P C B 1 7 2 に設けられ、制御ボックス 1 5 9 に直接取り付けられる。アームへのインタフェースは、増幅器アナログ出力回路 3 8 3、トリガ回路 3 8 4、ファイアワイヤバスコントローラ 3 8 5、イーサネットバスコントローラ 3 8 6、及び W i F i 無線ユニット 3 8 7 により行われる。D S P プロセッサ 3 8 0 が、メモリ 3 8 1 内の制御ソフトウェア 3 8 2 を実行する。制御ソフトウェアは、メモリ 3 8 1 内の運動学ソフトウェア 3 9 1 及び位置平均化ソフトウェア 3 9 2 にアクセスすることができる。テキストフォーマットのプログラム 3 8 9 が、インタプリタ 3 9 0 により解釈される。ロボット C M M アームインターネットプロトコル（I P）アドレス 3 8 8 が、メモリ 3 8 1 に記憶されている。プローブ位置合わせファイル 2 6 4 が、メモリ 3 8 1 に記憶されている。メモリ 3 8 1 は、十分なスタティックメモリ及びダイナミックメモリから構成される。

【 0 1 7 0 】

継手 P C B

次に図 4 1 A、及び再び図 1 1 を参照すると、継手 P C B 1 7 3 は、

- 複数のローカルデバイス 1 7 7 ~ 1 8 4、9 0、バス 1 6 9、1 7 4、1 6 1、1 6 2、及び電力ライン 1 6 5、1 6 6、1 6 0 の全てを、コネクタ 4 0 0 を介して相互接続する機能、
- エンコーダ 1 7 8 をラッチすることにより、トリガバス 1 7 4 上のトリガ信号に応答する機能
- 複数のセンサ 1 7 8 ~ 1 8 4 からデータを受け取り、データを前処理し、エンコーダカウント等のデータのステータスを保持し、シリアルバス 1 6 9 によって制御 P C B 1 7 2 に前処理済みデータを送る機能
- 制御 P C B 1 7 2 からのステータス要求に応答する機能

10

を有する。継手 P C B 1 7 3 は、D S P プロセッサ 4 0 1、メモリ 4 0 2、メモリ 4 0 2 に常駐する継手ソフトウェア 4 0 5、トリガ回路 3 8 4、ファイアワイヤバスコントローラ 3 8 5、及び R e n i s h a w インタポレータ 1 8 7 の出力に接続するエンコーダインタフェース回路 4 0 3 を備える。R e n i s h a w インタポレータからの補間信号のカウント 4 0 4 は、メモリ 4 0 2 に記憶される。ロボット C M M アーム 1 の位置を求める簡単な動作モードでは、エンコーダ 1 7 8 がラッチされると、1 つの角度位置カウント 4 0 2 が各継手 P C B 1 7 3 から制御 P C B 1 7 2 に送られ、これらのカウント 4 0 2 は、当業者に既知の技法を用いて運動学ソフトウェア 3 9 1 により用いられて、ロボット C M M アーム 1 の位置が計算される。

20

【 0 1 7 1 】

位置平均化

次に図 4 1 B を参照すると、ロボット C M M アーム 1 の位置を求める好ましい動作モードでは、エンコーダクロック 4 0 6 が継手 P C B 1 7 3 に設けられる。エンコーダクロック 4 0 6 は、各エンコーダカウント 4 0 4 が継手 P C B 1 7 3 に到着するとタイムスタンプするために用いられる。好ましくは 2 0 個のエンコーダカウント 4 0 4 が、先入れ先出し (F I F O) ベースでメモリ 4 0 2 に保持されるが、2 0 個よりも多い F I F O カウントを記憶してもよく、又は 2 0 個よりも少ない F I F O カウントを記憶してもよい。トリガパルス T R は、トリガバス 1 7 4 を通って継手 P C B 1 7 3 に到着すると、エンコーダクロック 4 0 6 を用いてタイムスタンプされる。次に図 4 1 C を参照すると、カウント 4 0 4 は、図の時間 t にわたって示される。各カウント $C_n - 9 \sim C_n + 10$ が記録され、2 0 個のタイムスタンプされたカウントがメモリに入る。 C_n の直後に、エンコーダの位置を要求するトリガパルス T R は、継手 P C B 1 7 3 により受け取られた。トリガパルスは、到着時にエンコーダクロック 4 0 6 によりタイムスタンプされた。継手 P C B 1 7 3 は、2 0 個のタイムスタンプされたカウント $C_n x$ とトリガパルス T R を受け取った時刻とを、シリアルバス 1 6 9 に沿って制御 P C B 1 7 2 に送る。次に、図 4 1 D の位置平均化プロセスを参照する。

30

- 第 1 のステップ 4 4 0 において、制御 P C B 1 7 2 の位置平均化ソフトウェア 3 9 2 は、各継手 P C B 1 7 3 から、トリガパルス T R から得られる入力として、エンコーダ 1 7 8 からの 2 0 個のタイムスタンプされたカウントのセットと、トリガパルス T R がそのエンコーダにおいて受け取られた時刻とを受け取る。

40

- 第 2 のステップ 4 4 1 において、位置平均化ソフトウェア 3 9 2 は、各エンコーダの 2 0 カウントを通した時間領域に 1 つのスプラインをフィットし、7 つの C M M エンコーダ 1 7 8 に対して 7 つのスプラインができる。

- 第 3 のステップ 4 4 2 において、位置平均化ソフトウェア 3 9 2 は、各 C M M エンコーダ 1 7 8 の時刻 T R における 1 カウントを補間する。

- 第 4 のステップ 4 4 3 において、7 つの補間されたカウントが、運動学ソフトウェア 3 9 1 に送られ、そこからロボット C M M アーム 1 の位置が求められる。

この位置平均化プロセスは、トリガパルス T R の時点での正確な位置の周囲から平均化及び補間することによりロボット C M M アームの精度を高める 1 つの方法の一例である。本

50

発明は、この位置平均化プロセスに限定されず、トリガパルスＴＲの時刻の前後でより多くの生位置データを取得して処理することにより、ロボットＣＭＭアームの位置をより高精度に求めることができる全てのプロセスを含む。処理の場所は重要ではなく、例えば、エンコーダ１７８、継手ＰＣＢ１７３、制御ＰＣＢ１７２、及びラップトップコンピュータ１５１を含む１つ又は複数の処理場所で行うことができる。位置平均化手段を用いることは、ロボットＣＭＭアーム１の位置が単純なエンコーダの動作の使用よりも高精度に求められることを意味する。

【０１７２】

熱補償

本発明の目的の１つは、熱補償され、温度が変化しても再較正を必要としないロボットＣＭＭアームを提供することである。熱電対１８０は、内部ＣＭＭアーム５のハウジング１００、１０１、１０３のそれぞれのアルミニウムに接着される。ＣＭＭセグメント１３１～８３８は、有限要素ソフトウェアを用いて、温度に対して直線的に膨張／収縮し、振れないように設計される。同様に、ＣＭＭセグメント１３１～８３８は、温度の変化で歪みを引き起こし得る応力を生じさせない既知のプロセス及び材料を用いて製造される。アルミニウムは、温度とともに既知の速度で膨張する。熱電対１８０は、継手ＰＣＢ１７３により１０秒ごとに読み取られ、温度はシリアルバス１６９に沿って制御ＰＣＢ１７２に送られる。次に、内部ＣＭＭアームの４５パラメータ運動学モデルのパラメータのいくつかは、有限要素熱モデリングにより予測される方法で、各ハウジングの熱電対１８０により測定された温度の変化に比例して調整される。アラスカ又は砂漠等におけるような極端な温度に直面した場合、ロボットＣＭＭアームを用いる前に接触又は非接触プローブの位置合わせを行うことが勧められる。

【０１７３】

力及びトルクの監視

測定中に、内部ＣＭＭアーム５は力及びトルクを受ける。次に図４１Ｅを参照すると、ＣＭＭセグメント１３１～８３８に取り付けられた歪みゲージ１８１が、内部ＣＭＭアーム５の歪みを継続的に検知する。各ＣＭＭセグメント１３１～８３８に３つの歪みゲージ１８１が直交して取り付けられる。歪みゲージ１８１は、継手ＰＣＢ１７３に接続される。継手ＰＣＢ１７３は、歪みゲージ１８１から読み取った値を１秒間に５回、制御ＰＣＢ１７２に送る。歪み値が送られるのは、１秒間に５回よりも多くても少なくともよい。各ロボットＣＭＭアームの製造後の設定中に、一連の歪みゲージ試験プログラムが実行され、各歪みゲージから出力される値がプログラムの実行中に監視される。試験プログラムによっては、内部ＣＭＭアーム５に過度歪みを与えるように設計される。用いられる１つの方法は、ＣＭＭセグメント８３８に重いダミープローブ９０を取り付けて、アームを高速に動かすことである。このようにして、歪みゲージ１８１は、最大許容圧縮歪み及び引張歪みで較正される。通常の使用時には、全ての歪みゲージ１８１からの歪みが１秒間に５回監視され、最大許容歪みを超えると、措置が講じられる。措置は、作業員に対してエラーメッセージを生成すること、いくつかの測定をより低速で自動的に繰り返して、歪みレベルを低下させること、許容不可能な歪み及びそれらが生じる条件を記録することを含む。代替的な実施形態では、歪みゲージ１８１は、特定の曲げひずみを測定するために位置付けられるＣＭＭ継手１５１～７５７の軸受に配置される。これらの軸受歪みゲージ１８１は、ＣＭＭセグメント１３１～８３８の歪みゲージ１８１に加えて、又はそれらの代わりに用いることができる。歪み測定の信頼性を高めるために、複数の歪みゲージが各方向に対して設けられ、比較方法及び／又は平均化方法を用いて結果が処理される。本発明の範囲は、特定の場所に配置される特定の数の歪みゲージに限定されない。本発明は、ロボットＣＭＭアーム１における力及びモーメントに関するフィードバックを制御ＰＣＢ１７２に与えることができる任意の歪み測定手段、圧力測定手段、トルク測定手段、又は任意の他の測定手段を、任意の場所に設けることを含む。

【０１７４】

タイミング

測定は、オンザフライで又はロボットＣＭＭアームの静止中に行うことができる。測定がオンザフライで行われている場合に高精度を維持するには、ロボットＣＭＭアーム１の制御ＰＣＢ１７２と光学プローブ９１との間で正確にタイミングをとることが重要である。制御ＰＣＢ１７２と光学プローブ９１との間で正確なタイミングを確保する２つの方法は、同期化及びタイムスタンピングであることが好ましい。本発明の範囲は、これら２つの方法に限定されず、ロボットＣＭＭアーム１の制御ＰＣＢ１７２と光学プローブ９１との間で正確なタイミングを確保する任意の方法を含む。

【０１７５】

同期化

同期方法は、同期測定対を特徴とし、第１の測定はプローブ測定であり、第２の測定は内部ＣＭＭアーム５の位置である。次に図４２のプロセスを参照すると、第１の同期モードで、制御ＰＣＢ１７２及び光学プローブ９１からのデータを同期させる場合、光学プローブ９１がマスターであることが好ましく、制御ＰＣＢ１７２がスレーブである。第１のステップ、ステップ４１０において、光学プローブ９１がトリガバス１７４を介して７つの継手ＰＣＢ１７３に同期信号を送る。同期信号は、１マイクロ秒未満の遅延を有してトリガバス１７４を高速で進む。ステップ４１１において、プローブ測定値及び位置データがラップトップコンピュータ１５１に送られる。継手ＰＣＢ１７３は、エンコーダデータを制御ＰＣＢ１７２に送る。制御ＰＣＢ１７２は、７つのエンコーダ位置を集め、内部ＣＭＭアーム５のプローブ端３の位置を計算し、その位置をラップトップコンピュータ１５１に送る。プローブ９１は、プローブ測定値をラップトップコンピュータ１５１に送る。ステップ４１２において、ラップトップコンピュータ１５１は、プローブ測定値と内部ＣＭＭアーム５の位置とを組み合わせ、測定値を提供する。同期方法及び同期装置が、プローブ測定値及びエンコーダ位置を取り込んで、これらを組み合わせ、正確な測定値を生成することができるという技術的効果を有するならば、同期信号が光学プローブ９１から継手ＰＣＢ１７３に進むのに１マイクロ秒よりも長い遅延がある場合に、この方法は有効である。次に図４３Ａ～図４３Ｃを参照すると、光学プローブ９１がマスターであり、制御ＰＣＢ１７２がスレーブである。次に図４３Ａを参照すると、測定を行うために、動的な光学プローブ９１は２つの条件を満たさなければならない。光を投射しなければならない、集光のためにセンサシャッタを開放しなければならない。図４３Ａのモードでは、レーザがオンである場合に測定が行われる。同期信号は、測定期間Ｐの midpoint である時刻Ｔに、光学プローブ９１から制御ＰＣＢ１７２に送信される。この第１の実施形態では、ロボットＣＭＭアーム１は、時刻Ｔに同期信号を受け取ると、１マイクロ秒未満の再現可能な時間の間、エンコーダをラッチすることができる。次に図４３Ｂを参照すると、測定期間Ｐは、シャッタの開放からレーザのスイッチオフまでである。次に図４３Ｃを参照すると、測定期間Ｐは、シャッタの開放期間である。

【０１７６】

同期化は、制御ＰＣＢ１７２がマスターであり、光学プローブ９１がスレーブである第２の同期モードで行うことができる。このような同期化の一例は、走査モードがアームを規則的な量ずつ移動させて(at regular arm increments)測定することであり、制御ＰＣＢ１７２がマスターである場合である。次に図４４を参照すると、同期信号は、時刻Ｔに制御ＰＣＢ１７２から光学プローブ９１に到着する。Ｔの後の短期間の間に、レーザがオンになるとともにシャッタが開放することが好ましい。図４４の場合、シャッタは、測定期間Ｐを決定し、時刻Ｔの後に t マイクロ秒だけ遅延する中心を有する。他の場合では、レーザが測定期間Ｐを決定するか、又はシャッタとレーザとの組み合わせが測定期間Ｐを決定する。走査の実行中のロボットＣＭＭアーム１の精度を最高にするために、遅延 t が既知であり、この第２の同期モードの全ての測定に対して再現可能であることが重要である。光学プローブ９１によっては、光学プローブ９１による測定ごとに遅延 t が変わるものがある。この場合、光学プローブ９１は、次の同期信号を受け取る前にシリアルバス１６９上で遅延 t の値の変化を伝達する。次に図４５のプロセスを参照すると、第１のステップ４１３において、光学プローブ９１は、遅延 t の値の変化を制御ＰＣＢ１７２に送

る。このステップ 4 1 3 は、遅延 t が変わった場合にのみ実行される。ステップ 4 1 4 において、制御 PCB 1 7 2 は、時刻 T にプローブ同期信号を光学プローブ 9 1 に送る。ステップ 4 1 5 において、制御 PCB 1 7 2 は、時刻 $T + t$ にエンコーダ同期信号を 7 つの継手 PCB 1 7 3 に送る。制御 PCB は、内部クロック等の手段を用いて、プローブ同期信号の後でエンコーダ同期信号を送るのに適切な瞬間を決定する。プローブ 9 0 が、2 つのストライプ 3 0 5、3 0 6 を用いる 2 ストライププローブ 3 0 8 等、多ストライププローブである場合、全てのストライプを同時に照射して同時に、若しくは一度に 1 つのストライプを照射して個別に、又は一度に複数群のストライプを照射して、ストライプからの測定を行うことができる。ストライプが異なる時に照射される場合は常に、プローブ 9 0 がロボット CMM アーム上で移動している場合、各ストライプで個別に同期化が行われる。本発明の目的の 1 つは、第 1 の使用同期モードでは、制御 PCB 1 7 2 がマスターであり、且つプローブ 9 0 がスレーブであり、第 2 の使用同期モードでは、プローブ 9 0 がマスターであり、且つ制御 PCB 1 7 2 がスレーブであることである。

【0177】

タイムスタンピング及び補間

場合によっては、光学プローブ 9 1 と制御 PCB 1 7 2 とを正確に同期させて一対の測定値を生成することは、可能ではない。例えば、同期信号を送る手段又は受け取る手段が設けられない場合、同期化は可能ではない。タイムスタンピングのシナリオでは、2 つの場合、すなわち、(i) 光学プローブ 9 1 及び制御 PCB 1 7 2 が同じ測定速度を有する場合、(i i) 光学プローブ 9 1 及び制御 PCB 1 7 2 が異なる、且つ / 又は可変の測定速度を有する場合がある。

【0178】

(i) の場合、測定は対で行われる。光学プローブ 9 1 の測定速度及び制御 PCB 1 7 2 の測定速度が正確であり、経時的に変動しないことが重要である。光学プローブ 9 1 及び制御 PCB 1 7 2 の 2 つのクロックは、走査の開始時及び終了時に同じ時刻を示すように、正確に動作する。光学プローブ 9 1 及び制御プローブ 1 7 2 の測定は、2 つの隣接する光学測定間及び 2 つの隣接する位置測定間に常に同じ時間間隔 I があるように、同じ速度で行われる。通常の方法は、25 測定 / 秒から 1,000 測定 / 秒まで様々であるが、1,000 回よりも多くてもよく、又は 25 回よりも少なくてもよい。(i i) の場合、測定は、光学プローブ 9 1 から規則的な間隔又は不規則な間隔で、制御 PCB 1 7 2 から同じか又は異なる規則的な間隔又は不規則な間隔で行われる (stream)。

【0179】

次に図 4 6 のプロセスを参照すると、(i) の場合及び (i i) の場合で同じプロセスが用いられる。

- 第 1 のステップ 4 1 6 において、光学プローブ 9 1 及び制御 PCB 1 7 2 の 2 つのクロックが、走査が開始する直前にできる限り密接に同期される。
- ステップ 4 1 7 において、制御 PCB 1 7 2 が光学プローブ 9 1 に走査を開始するよう要求することにより、測定が開始される。
- ステップ 4 1 8 において、制御 PCB 1 7 2 により位置データが取り込まれる。各位置は、制御 PCB 1 7 2 のクロックを用いてタイムスタンプされる。測定値は光学プローブ 9 1 に取り込まれる。各位置は、光学プローブ 9 1 のクロックを用いてタイムスタンプされる。
- ステップ 4 1 9 において、ロボット CMM アーム走査プログラムが停止し、光学プローブ 9 1 に走査を停止するよう要求する。
- ステップ 4 2 0 において、光学プローブ 9 1 及び制御プローブ 1 7 2 の 2 つのクロックが、互いにチェックされる。
- ステップ 4 2 1 において、制御 PCB 1 7 2 は、タイムスタンプされた位置のファイルを出力する。光学プローブ 9 1 は、タイムスタンプされた測定値のファイルを出力する。
- ステップ 4 2 2 において、組み合わせた測定ファイルが、制御 PCB 1 7 2 の位置を補間することにより計算され、各光学プローブ測定に対して内部 CMM アーム 5 がある場所

に関する最良の推定値が提供される。各内部ＣＭＭアーム５の位置は、プローブ端３のＸ、Ｙ、Ｚの位置と、Ｉ、Ｊ、Ｋの向きベクトルを含む。内部ＣＭＭアーム５の位置の補間は、内部ＣＭＭアーム５の位置にわたってポリラインをフィットし、タイムスタンプのタイミング差に比例して３Ｄポリラインに沿って補間することにより行われる。

【０１８０】

本発明の範囲は、図４６におけるタイムスタンピング及び補間のプロセスに限定されず、同じ技術的効果を達成する、タイムスタンピング及び補間を伴う任意のプロセスを含む。例えば、光学プローブ９１及び制御プローブＰＣＢ１７２の２つのクロックを正確に同期させることが不可能な場合、既知のアーチファクトを最初に走査することを伴う方法が用いられる。次に図４７を参照すると、９０°で合わさる２つの平面を有するリッジアーチファクト３７０が、リッジをレーザストライプ２８７とほぼ並行にして位置決めされる。ロボットＣＭＭアーム１に取り付けられた光学プローブ９１により、リッジアーチファクト３７０にわたって２回の走査パスが行われる。第１のパス３７１は＋Ｘ方向であり、第２のパス３７２は－Ｘ方向である。２つのタイムスタンプされたファイルにおけるプローブ測定値及びアーム位置は、２つのクロック間の同期化の推定値を用いて組み合わせられる。次に図４８を参照すると、２つのパス３７１、３７２が比較されると、Ｘ方向の距離としての誤差Ｅが計算される。誤差Ｅを用いて、２つのクロックの同期化の差が正確に求められる。次に、この差は２つのクロック間の同期化の推定値に対する補正率として用いられて、物体９が次に測定される場合に、２つのクロック間が正確に同期される。

【０１８１】

同期パルスラベリング

ロボットＣＭＭアームシステム１５０の同期化には曖昧性があるが、これはリアルタイム同期パルスラベリングという新規プロセスにより解決することができる。場合によっては、システム動作の乱れにより１つ又は複数のデバイスからの１つ又は複数の測定値が失われ、これにより、複数源からの同期測定値を正確にまとめるプロセスに曖昧性が生じ、システムが望ましくない状況になってさらなるデータが失われるか又は不正確に同期されたデータが提供される可能性がある。他の場合では、同期信号源に関して曖昧性があり得る。同期信号発生デバイスからの各同期パルスに同期ラベルを付加することが、本発明の目的の１つである。同期ラベルは、(i) 上記同期信号発生デバイスからの連続同期信号それぞれでインクリメントされる整数、任意選択的に(ii) 上記同期信号発生デバイスの固有のデバイス識別コード、任意選択的に(iii) タイムスタンプを含む。インクリメント整数は、全てのシステムで必要である。インクリメント整数の通常の最小は０であり、通常の最大は２５５である。最大整数に達すると、次のインクリメント整数は最小整数となる。ロボットＣＭＭアームシステム１５０の起動後は、第１の整数出力は０である。同期パルス及び同期ラベルのフォーマットは、当業者により定義されることができる。例えば、同期パルスは、１０マイクロ秒のパルス幅を有する立ち上がりパルスであり、同期ラベルの総ラベル長は１５バイナリビットであり、各ビットは１０マイクロ秒パルスの存非により表される。同期ラベルは、チェックサムビットで符号化される。各同期信号発生デバイスの固有のデバイス識別コードは、複数の同期信号発生デバイスからの同期信号間に曖昧性があり得る場合にのみ必要である。タイムスタンプは、システム開発者がトリガバス(１７４)によってデバイス間のクロック時刻を同期させるのに利用可能なオプションであり、他の目的で用いてもよい。トリガバス(１７４)に接続され、同期ラベルを有する同期信号を発生することができる同期信号発生デバイスはいくつかあり、

光学プローブ(９１)

量測定プローブ(９０)

タッチトリガプローブ(９２)

走査モードのカプローブ(９９)

手動操作されるボタン(１８３)

遠隔制御器(３５１)

制御ＰＣＢ(１７２)

外部制御デバイス

のそれぞれのうち1つ又は複数を含むがこれらに限定されない。トリガバス(174)に接続され、同期ラベルを有する同期信号を受け取ることができる1つ又は複数の同期信号受け取りデバイスもあり、

光学プローブ(91)

量測定プローブ(90)

継手PCB(173)

制御PCB(172)

外部制御デバイス

のそれぞれのうち1つ又は複数を含むがこれらに限定されない。2つ以上のデバイスからの測定データを照合して組み合わせる組み合わせデバイスでもあり得る、少なくとも1つの照合デバイスがある。照合デバイスは、独立デバイスであってもよく、又は同期信号発生デバイス若しくは同期信号受け取りデバイスの一部であってもよい。

【0182】

同期パルスにラベリングするための、新規の同期パルスラベリング方法が開示される。第1のステップにおいて、同期信号発生デバイスが、トリガバスに同期パルスと、それに続く同期ラベルとを発生し、同期ラベルは、(i)同期信号発生デバイスによりインクリメントされる整数、任意選択的に(ii)同期信号発生デバイス識別コード、任意選択的に(iii)同期信号発生デバイスタイムスタンプ、を含む。第2のステップにおいて、同期信号受け取りデバイスが、トリガバス上のトリガパルスと、それに続く同期ラベルとを受け取る。第3のステップにおいて、同期信号発生デバイスは、照合デバイスに対して直接的又は間接的に通信バス上で同期信号発生デバイスデータパケットを発生し、このデータは、少なくとも(i)同期パルスが発生したことを示すコード、(ii)同期信号発生デバイス内で生成されたデータ、同期信号発生デバイスから発生された同期ラベルのコピー、を含み、同期ラベルは、(iii)同期信号発生デバイスのインクリメント整数、(iv)同期信号発生デバイス識別コード、及び任意選択的に(v)同期信号発生デバイスタイムスタンプ、を含む。第4のステップにおいて、同期信号受け取りデバイスは、照合デバイスに対して直接的又は間接的に通信バス上で同期信号受け取りデバイスデータパケットを発生し、このデータは、少なくとも(i)同期パルスが受け取られたことを示すコード、(ii)受け取られた同期ラベルのコピー、(iii)トリガパルスにตอบสนองして同期信号受け取りデバイス内で生成されたデータ、(iv)同期信号受け取りデバイスのインクリメント整数、(v)同期信号受け取りデバイス識別コード、及び任意選択的に(vi)同期信号受け取りデバイスタイムスタンプ、を含む。第5のステップにおいて、照合デバイスは、同期信号発生デバイスデータパケット及び同期信号受け取りデバイスデータパケットを任意の順序で受け取る。第6のステップにおいて、照合デバイスは、同期信号発生デバイスのインクリメント整数が同期信号発生デバイスデータパケット及び同期信号受け取りデバイスデータパケットの両方で同じである場合、同期信号発生デバイスデータパケット及び同期信号受け取りデバイスデータパケットのデータを組み合わせる。

【0183】

この新規の同期ラベル及び同期方法は、開示されている実施形態に限定されず、同期の曖昧性をなくすために体系的に変化するラベルを用いる任意の方法を含む。例えば、代替的な実施形態では、整数範囲は、256より小さくても大きくてもよい。さらなる実施形態では、ラベルは任意の体系的な方法で変えることができる。同期パルスラベリング方法では、ステップ3はステップ2と同時に若しくはステップ2の前に行われてもよく、又はステップ4と同時に若しくはステップ4の前に行われてもよい。

【0184】

測定プログラミング

概して、ロボットをプログラムするには熟練した作業者が必要であり、これが市場においてロボットCMMアーム1を成功させる課題の1つであるため、ロボットCMMアーム1の迅速且つ容易なプログラミングが重要である。ロボットCMMアームプログラム38

10

20

30

40

50

9は、インタプリタ390によってリアルタイムで解釈され、制御ソフトウェア382がプログラム389のコマンドを実行する。プログラム389は、複数の異なる方法で生成することができる。テキストエディタが作業員11に与えられ、それにより、ラップトップコンピュータ151にロボットCMMアームプログラム389を生成し、エディットする。プログラム389は、Tecnomatix製のEMWorkplace等のオフラインプログラミングシステムで生成することができる。プログラム389には、作業員11によって、ペンダント153又はラップトップコンピュータ151を用いたロボットCMMアーム1の遠隔起動を教えることができる。これは、アクセスが困難な場合に、作業員がアクセスしてロボットCMMアームを手動で移動させるためのガントリを設ける必要なく、遠隔で教示を行うことができることを意味する。

10

【0185】

起動チェック

ロボットCMMアーム1は、電源ケーブル155に接続し、スイッチ156を用いてスイッチを入れることにより、電源が入られる。制御PCB172の制御ソフトウェア382は、電源投入時に自動起動する。制御ソフトウェア382の第1のタスクは、一連の起動チェックを行うことである。制御ソフトウェア382は、チェックすることができるロボットCMMアームのハードウェア及びソフトウェアの全側面が正しく動作していることを確認する。継手PCB173の継手ソフトウェア405は、電源投入時に自動起動する。継手ソフトウェア405の第1のタスクは、一連の起動チェックを行うことである。継手ソフトウェア405は、チェックすることができる継手PCB173に接続されたハードウェア及びソフトウェアの全側面が正しく動作していることを確認する。ペンダント153のペンダントソフトウェア330は、ペンダントオペレーティングシステム326の制御下で、電源投入時に自動起動する。ペンダントソフトウェア330の第1のタスクは、一連の起動チェックを行うことである。ペンダントソフトウェア330は、チェックすることができるペンダント153のハードウェア及びソフトウェアの全側面が正しく動作していることを確認する。制御PCB172の直接接続されているハードウェアをチェックした後、制御ソフトウェア382は、それぞれからのシリアルバス169を介したステータス報告を要求することにより、7つの遠隔継手PCB173をチェックする。次に、制御ソフトウェア382は、ロボットCMMアーム1に取り付けることができる任意のプロブ90からのシリアルバス169を介したステータス報告を要求する。内部起動チェックが完了すると、制御ソフトウェア382は、外部バスを介して、フットスイッチ350、遠隔制御器351、ペンダント153、及びラップトップコンピュータ151を含む機器への通信を試みる。全起動チェックが完了すると、制御PCB172の制御ソフトウェア382は命令を待つ。起動チェックは、多くの異なる順序で行うことができ、短時間をかけても長時間をかけてもよいが、起動チェックプロセスの進行中に作業員11が数秒以上待つことは望ましくないことが、当業者には理解されるであろう。

20

30

【0186】

参照

ロボットCMMアームは、その継手角度を常に知っていることが望ましい。これは、アブソリュートエンコーダを用い、起動時に継手PCB173を介してアブソリュートエンコーダに問いかける(interrogating)ことにより行うことができる。インクリメンタルエンコーダを用いる場合、バッテリー170によって電力を維持することが望ましい。しかしながら、制御PCB172が継手角度を知らない場合、参照プロセスが必要である。作業員11は、これを行うことが安全であることをまずチェックした後で、自動参照プロセスを開始する。参照プロセス中、基準位置に達するまで各継手を回転させる。

40

【0187】

較正

自動較成方法及びアーチファクト

当業者に既知であるとともに本発明の背景で言及した、ロボットを較正する方法及び手動CMMアームを較正する方法は、数多くある。次に図49及び図50を参照すると、こ

50

の第 1 の実施形態では、既知の較正アーチファクト 373 を自動測定する較正手法が用いられる。7 軸ロボット CMM アーム 1 には、45 パラメータ運動学較正モデルが採用される。ロボット CMM アーム 1 は、表面 7 にしっかりと取り付けられ、同様に表面 7 にしっかりと取り付けられた較正アーチファクト 373 を測定する。較正アーチファクト 373 は、最大直径 6 mm の 4 つの 90° 円錐 375 を有するブロックから成る。4 つの円錐 375 の 1 つは、ほぼ同一平面上にある他の 3 つの円錐 375 よりも高い位置にある。較正アーチファクト 373 は、保証付きであり (certified)、4 つの円錐 375 間の距離、向きは、正確に分かっている。較正アーチファクト 373 は、剛性であり、低い熱膨張率を有するインパールでできている。アーチファクト 373 は、穴 374 を通して表面 7 に螺入されるボルト 376 によって、表面 7 にしっかりと取り付けられる。別の実施形態では、アーチファクト 373 は、クランピングにより表面 7 にしっかりと取り付けられる。Renishaw タッチトリガプローブであるタッチトリガプローブ 92 が、ロボット CMM アーム 1 に取り付けられる。較正プログラムが作業員 11 により起動されて、制御 PC 172 により実行される。較正プログラムは、4 つの球体 375 それぞれのタッチプローブ測定を 90 回行うことから成る。継手は、360 回のタッチプローブ測定中に可能な限り多く動かされる。これは、測定が、継手角度の幅広い組合せで行われることを意味する。360 回のタッチプローブ測定のいずれも、同一の継手向きを有さない。測定ごとに 7 つのエンコーダ位置が記録される。当業者に既知の最小二乗法を用いて、360 組のエンコーダ位置を用いて運動学モデルの 45 個のパラメータが最適化される。この較正手法を、好ましくは迅速化するために測定回数を減らして用いて、任意の接触プローブ 95 のプローブ座標系 364 をロボット CMM アーム座標系 363 と位置合わせすることができ、この接触プローブ位置合わせプロセス中には、ロボット CMM アームは再較正されないことが好ましいが、再較正されてもよい。次に図 51A を参照すると、さらなる実施形態では、アーチファクト 373 は、ロボット CMM アーム 1 の測定体積内の立方体の 8 つの角に近い 8 つの場所に配置される。各場所において、アーチファクト 373 は、表面 7 に対して、したがってロボット CMM アーム 1 に対して、しっかりと取り付けられる。各場所において、360 回の測定が自動的に行われる。同じ最小二乗法を用いて、8 × 360 組のエンコーダを用いて運動学モデルの 45 個のパラメータが最適化される。これらの較正プロセスは、アーム及び接触プローブを同時に較正する。

【0188】

較正軸

ロボット CMM アーム及び較正アーチファクトの座標系を互いに対して移動させる、1 つ又は複数の個別の移動軸を設けることができる。これらの軸は、手動で制御されてもよく、又は自動的に作動されてもよい。これらは直線軸又は回転軸である。例えば、次に図 51B を参照すると、ロボット CMM アーム 1 は、好ましくは継手中心 121 の軸と一致したサーボ制御回転軸 377 に取り付けることができ、ロボット CMM アームを任意数の角度に回転させて、アーチファクト 373 のさらなる測定が各角度位置で行われることを可能にする。サーボ制御回転軸 377 は、ロボット CMM アーム 1 がサーボ制御回転軸 377 上で揺動することによる誤差を生じさせないように、剛性でなければならない。サーボ制御回転軸 377 を設けることにより、較正プロセス全体を自動化することができる。これは、機器が小型になり、測定体積の種々の位置にアーチファクト 373 を取り付けのための剛構造を構成する必要がないという利点を有する。サーボ制御回転軸 377 の代わりに手動回転軸を設けてもよく、その場合、ロボット CMM アーム 1 のベース向きの定期的な手動再位置決めにより、より単純で可搬性が高い半自動のシステムが得られるという利点がある。

【0189】

測定体積内の較正

ロボット CMM アーム 1 の内部 CMM アーム 5 は、完全に剛性ではない。重力下では、水平の空間的向きにある長い CMM セグメントは一定の量だけ撓む。この撓みは、内部 CMM アーム 5 の角度エンコーダにより測定することができないため、誤差原因となる。こ

これらの誤差は、較正プロセスと、ロボットCMMアームの次の動作における重力下での撓み等の再現可能な誤差を補正するのに用いられる較正データとにより、測定することができる。別の誤差原因は、継手軸受の撓みである。優れた較正プロセスでは、ロボットCMMアーム1は、測定体積の多数の点において測定され、測定体積においてこれが後で用いられる。ロボットCMMアーム1は、測定体積の大部分で冗長性を有する。換言すれば、1つの場所を測定するためにロボットCMMアーム1がとり得る空間的向きは、無限にある。優れた較正プロセスでは、ロボットCMMアーム1は、測定体積の点ごとに多数の空間的向きにされる。妥当な範囲内で、測定される点が多く、且つ各点で測定されるロボットCMMアーム1の空間的向きが多いほど、優れた較正プロセスとなる。ロボットCMMアーム及び較正アーチファクトの座標系を互いに対して移動させる自動較正軸を設けることにより、多数の点を測定する自動プロセスが可能となる。これは、より優れた較正プロセスによりロボットCMMアーム1がより高精度になることを意味する。

10

20

30

40

50

【0190】

本発明の範囲は、開示されている自動較正方法に制限されない。例えば、本発明の範囲は、任意の自動、一部自動、又は手動の構成方法を含む。いかなる接触又は非接触プローブ90を用いてもよい。この方法は可搬式でなくてもよく、ロボットCMMアームの製造現場又はサービスセンターで実行してもよい。代替的に、この方法は可搬式で、ロボットCMMアームを現場で再較正することを可能にすることが有利であり得る。任意の数、タイプ、場所、又は自動化度の移動軸が、ロボットCMMアーム1と較正アーチファクト373との間に相対移動を提供することができる。いかなる数の較正アーチファクト373があってもよい。較正アーチファクト373は、プローブ90が接触しても較正アーチファクト373が変形しない(stiff)ように、固定高さの、又は高さ、向き、及び位置のいずれかを調整可能な柱に取り付けることができる。1つ又は複数の較正アーチファクト373はそれぞれ、接触プローブ90により接触されてもよく、又は非接触プローブ90により接触されずに測定されてもよい。アーチファクトを必要としない方法を用いてもよい。本発明の範囲は、ロボットCMMアーム1の高精度且つ自動的な較正の技術的效果を得る任意の方法を含む。

【0191】

光学プローブの位置合わせ

当業者に既知であるとともに本発明の背景で言及した、手動CMMアームの座標系と光学プローブ91のプローブ座標系364とを位置合わせする方法は、数多くある。ロボットCMMアーム1の座標系363と光学プローブ91の光学プローブ座標系364とを位置合わせする好ましい方法は、ロボットCMMアーム1に取り付けられた光学プローブ91で、多数の異なるプローブ方向及び向きから球体を走査することである。球体は、直径25mmで、保証付きであり、表面仕上げされていることが好ましい。このような球体はRenishawにより供給されている。ストライププローブ97の場合、5つのストライププローブ位置、すなわち、ロボットCMMアーム座標系363の+X、-X、+Y、-Y、-Zが用いられる。各方向で、球体はストライププローブ97により、ストライプ平面280の向きを45°ずつ変えて、結果として各方向から8つの向きで測定される。40個の方向/向きの組み合わせそれぞれにおいて、+X及び-Xがプローブ座標系364にある場合、順方向の+X走査パス及び逆方向の-X走査パスが実行される。得られる80組の光学プローブ測定値及びアーム位置は、当業者に既知の最小二乗アルゴリズムを用いて処理され、ロボットCMMアーム座標系363と光学プローブ座標系364との間の位置合わせ変換マトリックスが生成される。本発明の範囲は、開示されている自動位置合わせ方法に制限されず、ロボットCMMアーム1と光学プローブ91との高精度位置合わせの技術的效果を得る、自動、一部自動、又は手動の位置合わせ方法を含む。

【0192】

物体のデータミング(Datuming)

物体9は、測定前にデータミングされる場合が多い。データミングプロセスでは、ロボットCMMアーム座標系363と物体座標系361との間の変換マトリックスが測定され

る。多くの場合、円錐、ツーリングボール、及び基準面等のデータ形体が、物体 9 の正確な場所に設けられる。物体 9 をロボット C M M アーム 1 に対してデータミングする場合、作業者は、まず、ラップトップコンピュータ 1 5 1 又はペンダント 1 5 4 のロボット C M M アームユーザインタフェースソフトウェアに対して、用いるべきデータミング方法及びその方法を採用するロボット C M M アームを指定する。一般的なデータミング方法は、3 つの直交面、2 つの円錐及び 1 つの平面、3 つのツーリングボールを含む。次に、作業者は、データミング方法を行うのに必要な一連の場所にわたってロボット C M M アームを手動でガイドし、一旦場所に到達すると、制御 P C B 1 7 2 が自動技法を各測定に適用する。

【 0 1 9 3 】

特徴及び表面の検査

ロボット C M M アームは測定機である。全てではない多くの測定が、検査のために実行される。ロボット C M M アームは、非プリズム状の物体の特徴及び表面の検査に特に適している。通常検査される物体は、シートメタル、プラスチック、又はガラス繊維でできている物体、及びこれらのアイテムを作製する工具を含む。物体は、例えば、自動車産業、航空宇宙産業、器械産業、及び玩具産業で製造される。物体は通常、スタンピングプロセス、切削プロセス、曲げプロセス、及びパンチングプロセスにより作製される。検査できる物体の特徴の例としては、外角、正方形穴、矩形穴、楕円形穴、円形穴、エッジ外形、及び内角が挙げられる。多くの場合、物体の C A D ファイルを利用可能である。C A D ファイルは、物体の表面及び特徴の正確な 3 D 場所、向き、形状を指定する。物体及びそれを作製するのに用いられる工具の両方を、測定して、C A D ファイルと比較することができる。品質保証目的で測定を記憶してもよい。物体は、接触又は非接触プローブ 9 0 により測定することができる。非接触プローブは、物体に接触しないという利点を有する。C A D ファイルがないか、又は紛失した場合、マスター物体又はマスター工具のリバーエンジニアリングを行って、次の検査で使用するためのマスター C A D ファイルを提供することができる。

【 0 1 9 4 】

制御ソフトウェア

制御ソフトウェア 3 8 2 は、機能及びモード等、様々な手動、半自動、及び自動の使用方法を含む。これら方法のいくつかを以下で開示する。ロボット C M M アームの使用に用いることができる方法は、制御ソフトウェア 3 8 2 によって数多く提供され、本明細書で開示される方法は、ロボット C M M アームの使用に用いることができる全ての方法の例示であることが、当業者には理解されるであろう。制御ソフトウェア 3 8 2 に関して、以下の例示的な方法が挙げられる。

連続走査：制御ソフトウェア 3 8 2 の運動学モジュール 3 9 1 は、ロボット制御に関する当業者に既知の制御アルゴリズムを用いて、プログラム 3 8 9 により要求される経路に沿った外骨格の移動を制御する。これは最も多くの場合に用いられる。

段階的走査：制御ソフトウェア 3 8 2 の運動学モジュール 3 9 1 は、プログラム 3 8 9 において指定された点で停止する、プログラム 3 8 9 により要求される経路に沿った外骨格の段階的移動を制御する。

移行 (transitioning)：移行は、測定が行われていない間に行われる移動である。制御ソフトウェア 3 8 2 の運動学モジュール 3 9 1 は、歪みゲージを監視せずに、プログラム 3 8 9 により要求される移行経路に沿った外骨格の連続移動を制御する。

教示：制御ソフトウェア 3 8 2 の運動学モジュール 3 9 1 は、ペンダント 1 5 3、ヘッドセット 3 4 0、又はラップトップコンピュータ 1 5 1 を介して受け取られる、作業員 1 1 が直接指定した移動コマンドに作用する。

熱監視：制御ソフトウェア 3 8 2 は、熱電対 1 8 0 を監視し、それらの温度に運動学パラメータを適合させる。これは、ロボット C M M アームの温度を種々の環境条件の限度内に保つとともに、デューティサイクルタイムに対する影響を最小にするという利点を有する。

10

20

30

40

50

歪み監視：制御ソフトウェア 382 は、歪みゲージ 181 を監視して、連続走査モードにおいて過剰な歪み値がないかどうかをチェックする。

衝突監視：制御ソフトウェア 382 は、追従誤差を監視し、追従誤差が過大になった場合、緊急停止を適用してエラーメッセージを発する。エラーメッセージには、ラップトップ 151 のラウドスピーカにより、又はヘッドセット 340 を通して発せられる可聴警報が含まれ得る。

座標系のゼロ設定：制御ソフトウェア 382 は、好ましくはタッチトリガプローブ 92 で基準ボール 367 を測定してその中心を見つけ、基準ボール 367 の中心をロボット CMM アーム座標系 363 のゼロ点として用いることにより、ロボット CMM アーム座標系 363 をゼロに設定する。

物体のデータ参照：制御ソフトウェア 382 は、データムによって物体座標系 361 をロボット CMM アーム座標系 363 の基準とする。物体 9 上のデータムをピックアップすべき概ねの場所が制御ソフトウェア 382 に分かっている場合、この機能は自動的である。データムが物体 9 のどこにあるのかを作業員 11 がまずロボット CMM アームに教えなければならない場合、この機能は半自動的である。

特徴の場所：制御ソフトウェア 382 は、物体座標系 361 に対する物体 9 の 1 つ又は複数の特徴の場所を測定する。

寸法測定：制御ソフトウェア 382 は、物体 9 の 1 つ又は複数の特徴の寸法を測定する。当業者には理解されるように、様々なタイプの寸法を測定するために、或る範囲の機能が提供される。

表面測定：制御ソフトウェア 382 は、物体 9 の全部又は一部の表面を測定する。

ソフトウェア参照：制御ソフトウェア 382 は、最小二乗フィッティングのプロセスによって、物体 9 の CAD モデルを物体の測定された表面データの基準とする。

誤差生成：制御ソフトウェア 382 は、物体の表面の測定されたデータを物体 9 の CAD モデルと比較し、個々の誤差及び誤差マップを生成する。

報告生成：制御ソフトウェア 382 は、物体の CAD モデルからの物体 9 の表面の測定データのバリエーションに関する報告及び / 又はパス / フェイルデータを自動的に生成する。

統計的傾向：制御ソフトウェア 382 は、物体座標系 361 に対する物体 9 の 1 つ又は複数の特徴の場所、物体の 1 つ又は複数の特徴の寸法、及び物体の CAD モデルからの物体の表面の測定データのバリエーションに関する、統計的傾向情報をコンパイルする。

【0195】

ロボット CMM アーム測定の方法

次に図 52 を参照すると、第 1 のステップ 431 において、制御 PCB 172 は少なくとも 1 つの増幅器 175 に信号を出力し、少なくとも 1 つの増幅器 175 は少なくとも 1 つのモータ 176 にトルクを出力させる。ステップ 432 において、モータの駆動により、少なくとも 1 つの外骨格セグメント 42 ~ 48 に対してトルクが付与される。ステップ 433 において、少なくとも 1 つの伝達手段 72 ~ 78 が、外骨格セグメント 42 ~ 48 からの力を受け取る。ステップ 434 において、少なくとも 1 つの伝達手段 72 ~ 78 が、少なくとも 1 つの CMM セグメント 32 ~ 38 の重心付近の場所に力を加える。ステップ 435 において、プローブ 90 がデータを測定する。ステップ 436 において、制御 PCB 172 は、継手 PCB 173 からエンコーダデータを受け取る。ステップ 437 において、制御 PCB 172 は、プローブ 90 から測定データを受け取る。同期によるロボット CMM アーム測定の方法では、さらなるステップにおいて、プローブ 90 が同期信号を送る。タイムスタンプによるロボット CMM アーム測定では、プローブ測定値及び位置がタイムスタンプされる。

【0196】

ロボット CMM アームの利点

ここで開示されているロボット CMM アームは、より長いリーチを有してもよく、同等の手動 CMM アームよりも高精度であることが、本発明の目的の 1 つである。第 1 に、ロ

10

20

30

40

50

ロボットＣＭＭアームは、操作することができない作業者ではなく外骨格により支持されるため、２メートルよりも長いリーチを有することができる。第２に、外骨格は、内部ＣＭＭアームに対する力が最小となるように、内部ＣＭＭアームを最適な位置で支持する。第３に、内部ＣＭＭアームは、作業者が操作しにくいと思われる高分解能且つ高精度のより大径のエンコーダを用いる。これら３つの要因の組み合わせにより、手動ＣＭＭアームよりも長いリーチを有し且つ高精度なロボットＣＭＭアームが得られる。これは、顧客がより高い精度を要求する長年の傾向に伴い、所有者にとってロボットＣＭＭアームが手動ＣＭＭアームよりも有用であることを意味する。

【０１９７】

本発明の特徴は、既存のロボットと比較して軽量であることである。通常、重量は、アームのリーチに応じて５ｋｇ～３５ｋｇまで様々である。これは、本発明のロボットＣＭＭアームの小型バージョン及び中型バージョンが、持ち運びに十分な軽さであることを意味する。この第１の実施形態の可搬式ロボットＣＭＭアームは、１つの小型ユニットを備え、１人の人が車輪付きの１つのケースで輸送することができる。スタンドを用いることができ、これは、ロボットＣＭＭアームをロボットのように床にボルト締めする必要がないことを意味する。これは、ロボットＣＭＭアームが迅速に場所移動できることを意味する。

10

【０１９８】

適用性

ロボットＣＭＭアームは、ＣＭＭアームの高精度の利益をロボットの柔軟性及び自動化と組み合わせたものである。これは、ロボットＣＭＭアームが、既存の解決手段では精度、柔軟性、及び自動化のうちの１つ又は複数に劣っている、中程度の精度の測定作業の多くに対処するのに好ましい手段であることを意味する。本発明のロボットＣＭＭアームは、自動且つ高精度である。本発明のロボットＣＭＭアームは、自動車産業での多くの測定要件に適している。本発明のロボットＣＭＭアームは、軽量であり、製造費用が比較的安い。ロボットＣＭＭアームによる自動測定は、測定を不正確にする力及びトルクを加える作業者がいないため、手動ＣＭＭアームの手動操作よりも確実に行われる。生産ラインでは、ロボットＣＭＭアームは、特に２シフトパターン又は３シフトパターンで作業する場合、手動ＣＭＭアームを操作する手動作業者よりも動作費用が安い。本発明は、従来のＣＮＣＣＭＭの汎用用途（general purpose utility）と同様の多くの用途のために汎用測定工具として用いられることが予測される。

20

30

【０１９９】

大別すると２つの測定用途、すなわち、リバーエンジニアリング及び検査がある。本発明のロボットＣＭＭアームは、これらの両方に適用可能だが、リバーエンジニアリングは定期検査と比較すると比較的稀な事象であるため、検査用途での使用の方が多い。本発明の実用性の例として、以下の用途が挙げられる。本発明の用途は、以下に挙げる用途に限定されない。

【０２００】

検査用途

- 自動車ドアの隙間及びバリの測定
- 寸法公差の確認
- 河床分析
- ＶＲシミュレーション
- ツーリング検査
- 試作設計
- 発泡体の開発
- 生産ラインでの車体検査
- シート生産ラインでのシート検査
- 元位置での車の内装
- 取り外したエンジン部品及び元位置でのエンジン部品

40

50

- タービンブレード
- ハウジング及びカウリング
- ガスタンク検査
- ガラス品質分析
- 内装トリム
- 車のプロトタイプ組み立て。パネルが手動で正しい位置に配置されたかどうかの確認
- プレス型
- ブリッジ支持体の走査
- シートメタル構成部品：特徴
- シートメタル構成部品：表面形状
- パイプの外部腐食測定及びパイプの厚さ測定

10

リバースエンジニアリング

- 図面を紛失した場合のスペアの軍用部品
- 自動車設計の粘土スタイリングモデル
- 工業設計モデル
- 表面再構成
- 映画 / 放送 / コンピュータゲームアニメーションのキャラクター又は小道具のモデル
- アーカイブ、探索、再構成、及び保存のための、大型の彫刻、塑像、及びアーチファクト等の貴重な芸術品
- 高速プロトタイピング
- 手動での測定に時間がかかり困難である緻密な物体

20

医療

- 乳房再建
- 脳神経外科手術
- 放射線治療
- ロボット外科手術

その他

- 触覚玩具
- 探索
- 教示

30

【 0 2 0 1 】

いくつかのロボットＣＭＭアームのセルは、自動車ラインにおける静的光学プローブの既存の剛構造よりも優れた設備である。ロボットＣＭＭアームは、ラインを進む種々の車モデルのダイナミックプログラミングにより高い柔軟性を有する。一品生産物体の光学走査では、ロボットＣＭＭアームは、作業による大きな手動労力をなくし、内部ＣＭＭアームに対する力を最小にすることにより寸法精度を最高にする。アクセスしにくい物体を伴う用途では、作業者に手動ＣＭＭアームで物体を測定させるために、通常はガントリが設けられるが、多くの場合、作業者は安全ではなく背中を痛める可能性がある苦しい姿勢になる。本発明のロボットＣＭＭアームを適用することは、ハンドヘルド制御パネルを用いて測定を手動制御できることを意味する。これは、ガントリを設ける必要がなく、作業者が測定のために苦しく危険で不健康な姿勢になる必要がないことを意味する。

40

【 0 2 0 2 】

[第 2 の実施形態]

産業ロボットＣＭＭアーム

この第 2 の実施形態では、ロボットを高精度に移動させるための産業ロボットＣＭＭアームが開示される。この第 2 の実施形態では、共通のベースセグメント 1 及び共通のプローブセグメント 8 を有する 7 軸産業ロボットＣＭＭアームが提供される。共通のプローブセグメントは、重いプローブ又は工具を担持することができ、かなりの力を受け一方で、高精度な位置情報を提供することができる。産業ロボットＣＭＭアームは、既存の産業ロボットよりも優れた再現性を有するだけでなく、約 10 倍精度が高い。次に図 5 3 を参

50

照すると、産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、ＣＭＭセグメント１　３１、伝達手段１　７１、及びロボット外骨格セグメント１　４１を備える共通のベース４を有する。産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、ＣＭＭセグメント８　３８、伝達手段８　７８、及び外骨格セグメント８　４８を備える共通のプロープセグメント８　４５１も有する。実際には、これは、硬質の伝達手段８　７８を提供する。産業ロボットＣＭＭアーム４５０のＣＭＭセグメント２　３２～７　３７は、伝達手段２　７２～７　７２により外骨格セグメント２　４２～７　４７に接続される。伝達手段２　７２～７　７７は、第１の実施形態で開示されたように硬質でないことが好ましい。第１の実施形態の可搬式ロボットＣＭＭアーム１とこの第２の実施形態の産業ロボットＣＭＭアーム４５０との主な違いは、可搬式ロボットＣＭＭアーム１の伝達手段８　７８が硬質ではなく、産業ロボットＣＭＭアーム４５０の伝達手段８　７８が硬質であることである。次に図５４を参照すると、この第２の実施形態のさらなる実施形態では、産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、２つのプロープ９０及び９１を有する。産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、プロープ９０が６つの回転軸を利用して位置決めされ、プロープ９１が７つの回転軸を利用して位置決めされる、ハイブリッド６軸／７軸形式で提供される。ＣＭＭセグメント７　３７／８　３８は、内部に継手を有さない硬質ユニットである。プロープ９０は、測定動作が主にその動作の半径方向とは関係なく行われる、固体プロープ又はタッチトリガプロープ等の軸対称プロープである。これは、プロープ９０が動作可能となるために、その直前の継手が軸方向回転継手である必要がないことを意味する。プロープ９０は、産業ロボットＣＭＭアーム４５０のベース端２との間に６つのＣＭＭ継手１　５１～６　５６を有する。光学プロープ９１は、外骨格継手７　６７の後の外骨格セグメント８　４８にしっかりと取り付けられる。光学プロープ９１は、ストライププロープ９７であることが好ましい。プロープ９１の測定動作は、アームに対するその向き及び半径方向の移動方向の両方に応じて決まる。これは、プロープ９１が容易に動作可能となるために、その直前の継手が軸方向回転継手である必要があることを意味する。光学プロープ９１は、ベース端との間に７つの外骨格継手１　６１～７　６７を有する。ＣＭＭセグメント７／８と外骨格セグメント８　４８との間の外骨格軸受４５２により、軸方向回転が可能となる。外骨格セグメント８　４８に取り付けられるプロープ９１は、モータ１７６により駆動される１つのＣＭＭセグメント７　３７／８　３８の中心線４５３の周りの第７の軸上で回転する。外骨格軸受４５２は、硬質の伝達手段７８としての役割を果たし、中心線４５３に沿って軸方向に力を伝達し、中心線４５３に対して垂直に半径方向力を伝達し、軸受にわたって任意の非回転方向にトルクを伝達する。

【０２０３】

当業者には理解されるように、産業ロボットＣＭＭアーム４５０のこの第２の実施形態は、この第２の実施形態で説明するもの以外の、全てが本発明の同じ技術的効果を有する様々なさらなる実施形態で提供されてもよく、本発明の範囲は、上記に開示された実施形態に限定されない。例えば、この第２の実施形態は、図１Ａのものと同様ではあるが共通のプロープセグメント８を有する、６軸形式で提供されてもよい。図５４の実施形態の場合、この第２の実施形態は、図１Ａのものと同様ではあるが外骨格継手４５２を有する、ハイブリッド５軸／６軸形式で提供されてもよい。

【０２０４】

堅牢性及び材料

産業ロボットＣＭＭアーム４５０の外骨格６は、剛性、強力、且つ堅牢である。外骨格６は、加速度を高め、且つ高い再現性で位置決めするように構成される。車生産ライン等の複雑な環境において、産業ロボットは偶発的に車体と衝突する場合がある。産業ロボットは、このような衝突に耐えるように構成されるが、車体は損傷を受ける。産業ロボットＣＭＭアーム４５０の外骨格６は、交換する必要も大きな修理を受ける必要もなく、自動車生産ラインにおいて車体との衝突に耐えることが可能である。産業ロボットＣＭＭアーム４５０の外骨格６に用いられる材料は、自動車生産ラインにおける産業ロボットで用いられるものと同様である。アルミニウム鋳造がほとんどのセグメントに用いられる。可搬

式ロボットＣＭＭアーム１と比較して、産業ロボットＣＭＭアーム４５０の駆動システムは、より大きな質量の外骨格６を駆動し、その用途に要求されるより大きな加速を行うために、はるかに強力である。産業ロボットＣＭＭアーム４５０の内部ＣＭＭアーム５は、可搬式ロボットＣＭＭアーム１の内部ＣＭＭアーム５と同様に構成される。

【０２０５】

熱環境

産業ロボットＣＭＭアーム４５０を、スイッチが入れられた瞬間から広範囲の静的及び動的熱条件下で高精度に動作させることができることが、この第２の実施形態の目的の１つである。産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、生産環境に配置される。このような生産環境の温度は、温度が制御されるとしても正確には制御されない。温度変化には、１５
10
を超える大きな変化だけでなく１時間に５　を超える急な温度勾配の両方があり得る。さらに、産業ロボットＣＭＭアーム４５０の駆動システムはかなりの熱を発生する。産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、暖機されて熱安定性が得られるのに約１時間の運転を要する。図１３を再び参照すると、空気１９２の流量は、可搬式ロボットＣＭＭアーム１の場合よりもはるかに多くなる。フィルタ１９１は、より多くの空気１９２の流量に対応するためにより大きく、生産環境からの汚れた空気１９２をより良好に浄化することが可能である。別の実施形態では、空気１９２は内部で再循環させることができ、熱交換器と冷却ユニットとの組み合わせをベースに設けて、ベースを冷却する。これにより、外骨格６と内部ＣＭＭアーム５との間の空間に汚れが入ることが防止される。空気１９２の循環により、暖機サイクル中及び連続運転時に内部ＣＭＭアーム５に生じるホットスポットが除去
20
される。これにより、産業ロボットＣＭＭアーム４５０の内部ＣＭＭアーム５は、この熱環境でその精度を維持することができる。これは、産業ロボットＣＭＭアーム４５０が、スイッチが入れられた瞬間から、暖機サイクル中、低いデューティサイクル及び高いデューティサイクルの両方で、且つ通常の実用環境で見られる全ての静的及び動的温度で、高い精度を維持することを意味する。

【０２０６】

用途

本発明の背景で説明したように、産業ロボットは再現可能であるが高精度ではない。これは、産業ロボットには、産業ロボットの精度が十分ではないために現在実施されていない、高精度を必要とする潜在的用途が数多くあることを意味する。産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、これら用途の多くの要件を満たすのに十分な精度、十分な再現性、及び十分な堅牢性を有する。産業ロボットＣＭＭアーム４５０が、共通のプロープセグメント８
30
４５１に取り付けられるプロープ９０及び工具９８の両方を有することができることが、この第２の実施形態のさらなる目的である。これは、産業ロボットＣＭＭアーム４５０が１サイクル中に、工具９８を用いて作業を実行し、プロープ９０を用いて測定を実行する２用途サイクルが提供されることを意味する。可搬式ロボットＣＭＭアーム１は、外骨格６に取り付けられる工具９８及び内部ＣＭＭアーム５に取り付けられるプロープ９０を有することができることも、第１の実施形態のさらなる目的である。これは、可搬式ロボットＣＭＭアーム１が１サイクル中に、工具９８を用いて作業を実行し、プロープ９０を用いて測定を実行する２用途サイクルが提供されることを意味する。これは、ワークステーションにおいて、ロボットＣＭＭアームが、作業を実行するとともにこの作業の結果を測定することができるか、又は１つの場所で作業を実行し、別の場所で測定することができることを意味する。これは、工具９８で作業を実行しているロボットの精度が、以前よりも１桁高まることも意味する。産業ロボットＣＭＭアーム４５０の外骨格６は、その用途に必要な工具を操作するのに十分強力である。産業ロボットＣＭＭアーム４５０の外骨格６は、剛性であり、高い再現性を有する。産業ロボットＣＭＭアーム４５０の外骨格６は、大きな加速度を与える強力な駆動システムを有する。産業ロボットＣＭＭアーム４５０の外骨格６は、現在の範囲の産業ロボットと同様の設計仕様を有するが、本発明により、産業ロボットＣＭＭアーム４５０は産業ロボットよりも約１０～１００倍高い精度を有する。産業ロボットＣＭＭアーム４５０の内部ＣＭＭアーム５は、第１の実施形態の内部
40
50

CMMアーム5と同様であるが、外骨格6と内部CMMアーム7との間の伝達手段10を介して作用する大きな加速度を維持することが可能である。

【0207】

グローバル座標系

2つ以上の産業ロボットCMMアーム450が一緒に共通の物体9に対して作業する場合、ロボットCMMアーム座標系363の基準となるグローバル座標系461を提供することが有用である。このようなグローバル座標系を提供する1つの手段は、グローバル座標系アーチファクトを提供することである。次に図55を参照すると、4つの産業ロボットCMMアーム450が、生産ライン455のセル454に配置される。グローバル座標系461のためのグローバル座標系基準点458を有するアーチファクト剛構造460上に3つの測定球体459を2組備える、グローバル座標系アーチファクト456が設けられる。各産業ロボットCMMアーム450のリーチ457及び場所は、産業ロボットCMMアーム460が少なくとも1組の3つの測定球体459を測定することができ、したがってグローバル座標系461をそのロボットCMMアーム座標系363の基準とすることができるようになってい

10

【0208】

方法

第1の実施形態の可搬式ロボットCMMアーム1は、測定に最も適しているが、この第2の実施形態の産業ロボットCMMアーム450は、産業環境及び測定の両方での、ロボットが担持する工具を伴う高精度ロボット動作に適している。方法は1つ又は複数のステップを含む。制御ソフトウェア382が方法を実行する。この第2の実施形態を用いることができる一般的な方法が開示される。ロボットCMMアーム1に関してすでに説明した例示的な方法は、産業ロボットCMMアーム450に利用可能である。以下のさらなる例示的な方法は、産業ロボットCMMアーム450を用いるために制御ソフトウェア382に提供される。

20

特徴のデータ参照：制御ソフトウェア382は、物体特徴座標系362の特徴を産業ロボットCMMアーム座標系363の基準とする。

30

グローバル参照：グローバル座標系461を産業ロボットCMMアーム座標系363の基準とする。

プローブ参照：制御ソフトウェア382は、プローブ90の測定プローブ座標系364を産業ロボットCMMアーム座標系363の基準とする。

自動工具交換：制御ソフトウェア382は、産業ロボットCMMアーム450の工具98の自動工具交換を手配する。これは、自動工具交換系に産業ロボットCMMアーム450が提供される場合に用いられる。

工具参照：制御ソフトウェア382は、工具98の工具座標系364を産業ロボットCMMアーム座標系363の基準とする。これは、例えば工具を交換した後で用いられる。

40

加工：制御ソフトウェア382は、工具98を用いた物体9の加工を実行する。

工具オフセットの調整：制御ソフトウェア382は、工具98の工具座標系364を調整する。

取り扱い：産業ロボットCMMアームの場所への、及びそこからの物体の輸送。生産ライン上での輸送、パレット上にある間のコンベヤによる輸送、作業による手動の積載を含むがこれらに限定されない、物体を取り扱う手段は数多くある。

載置(mounting)：物体は、他の産業ロボットCMMアーム動作を受ける前に載置することができる。載置は、再現可能であっても再現不可能であってもよい。載置は、物体が移動せずに動作力に耐えるようにしっかりと取り付けられてもよく、又は光学走査の間静止しているだけでもよい。概して、産業ロボットCMMアームは、移動の柔軟性が高く、物

50

体は、残りの動作のためのアクセスを提供するように１つの場所に取り付けられるだけでよい。表面上への物体の再現不可能な配置、パレットへの物体のロック及びその場所でのパレットのロック、生産ライン上に載置される物体、固定具に載置される物体を含むがこれらに限定されない、その場所に物体を載置する手段は数多くある。

【 0 2 0 9 】

特徴検査方法

次に図 5 6 を参照すると、第 1 のステップ 4 7 0 において、物体 9 は、或る場所に到着し、産業ロボット C M M アーム 4 5 0 のリーチ内に取り付けられる。ステップ 4 7 1 において、産業ロボット C M M アーム座標系 3 6 3 は物体座標系 3 6 1 を基準とする。このステップは、物体 9 が産業ロボット C M M アームに対する既知の場所及び向きで精密固定具に載置される場合には必要ない。ステップ 4 7 2 において、産業ロボット C M M アーム 4 5 0 のプローブ 9 0 が、測定プログラム 3 8 9 に従って物体 9 の 1 つ又は複数の特徴 3 6 5 を測定する。ステップ 4 7 3 において、各特徴 3 6 5 の場所及び / 又は寸法が、ステップ 4 7 2 中に収集された測定データから計算される。ステップ 4 7 4 において、各特徴 3 6 5 の場所及び寸法は、通常は C A D モデル及び検査プログラムの形態の各特徴 3 6 5 の設計場所及び設計寸法並びにそれらの公差と比較される。ステップ 4 7 1 の参照プロセスが物体 9 の特徴の測定を伴う場合、ステップ 4 7 1 はこのステップの一部として同時に終了することができる。ステップ 4 7 5 において、測定結果が出力される。ステップ 4 7 6 において、物体 9 はその場所から離れる。

10

【 0 2 1 0 】

表面検査方法

次に図 5 7 を参照すると、第 1 のステップ 4 8 0 において、物体 9 は、或る場所に到着し、産業ロボット C M M アーム 4 5 0 のリーチ内に載置される。ステップ 4 8 1 において、産業ロボット C M M アーム座標系 3 6 3 は物体座標系 3 6 1 を基準とする。ステップ 4 8 2 において、産業ロボット C M M アーム 4 5 0 のプローブ 9 0 が、測定プログラム 3 8 9 に従って物体 9 の表面を測定する。ステップ 4 8 3 において、ステップ 4 8 2 中に収集された表面測定データが前処理される。ステップ 4 8 4 において、物体 9 の前処理済み表面測定データは、設計表面と比較される。ステップ 4 8 5 において、測定結果が出力される。ステップ 4 8 6 において、物体 9 はその場所から離れる。この方法の適用性の一例は、クランクシャフト検査セルにある。未加工のクランクシャフトが、C A D 設計に対して検査されて、成形プロセスで作製されたクランクシャフトが公差範囲内であるかどうかを確認される。

20

30

【 0 2 1 1 】

工具動作方法

次に図 5 8 を参照すると、第 1 のステップ 4 9 0 において、物体 9 は、或る場所に到着し、産業ロボット C M M アーム 4 5 0 のリーチ内に載置される。ステップ 4 9 1 において、産業ロボット C M M アーム座標系 3 6 3 は物体座標系 3 6 1 を基準とする。ステップ 4 9 2 において、産業ロボット C M M アーム 4 5 0 の工具 9 8 が、ロボットプログラム 3 8 9 に従って物体 9 に対する動作を実行する。産業ロボット C M M アーム 4 5 0 は、工具座標系 3 6 4 と産業ロボット C M M アーム座標系 3 6 3 との間の既知の変換を用いて、動作を実行する。ステップ 4 9 3 において、物体 9 はその場所から離れる。

40

【 0 2 1 2 】

動作検査及び工具調整方法

この方法では、少なくとも 1 つの工具 9 8 及び 1 つのプローブ 9 0 が産業ロボット C M M アーム 4 5 0 に取り付けられることが必要である。次に図 5 9 A を参照すると、第 1 のステップ 5 0 0 において、物体 9 は、或る場所に到着し、産業ロボット C M M アーム 4 5 0 のリーチ内に載置される。ステップ 5 0 1 において、産業ロボット C M M アーム座標系 3 6 3 は物体座標系 3 6 1 を基準とする。ステップ 5 0 2 において、産業ロボット C M M アーム 4 5 0 の工具 9 8 が、ロボットプログラム 3 8 9 に従って物体 9 に対する動作を実行する。ステップ 5 0 3 において、産業ロボット C M M アーム 4 5 0 のプローブ 9 0 が、

50

測定プログラム 389 に従って、物体 9 の 1 つ又は複数の加工された特徴 365、又は物体 9 の表面を測定する。ステップ 504 において、各加工された特徴 365 の場所及び / 又は寸法が計算され、且つ / 又はステップ 503 中に収集された測定データから表面前加工が行われる。ステップ 505 において、各加工された特徴 365 及び / 又は表面の場所及び寸法は、各加工された特徴 365 の設計場所及び設計寸法並びにそれらの公差と比較される。ステップ 506 において、工具調整値 (adjustment) がステップ 505 の結果から計算され、その調整値を用いて、工具座標系 364 が調整される。工具座標系 364 の調整は、誤差の変動がある場合にそれを特定して定量化するための統計的に有意な数の同一の動作に基づいて、統計的傾向ベースで実行することができる。ステップ 507 において、測定結果が出力される。ステップ 508 において、物体 9 はその場所から離れる。この方法は、3 つの例示的なモードで用いることができるが、これら 3 つのモードに限定されない。

10

- 検査のみ (ステップ 506 を飛ばす)
- 工具調整のみ (ステップ 507 を飛ばす)
- 工具調整を伴う検査 (ステップ 500 ~ 508 に従って)

【0213】

産業ロボット CMM アーム 450 を用いて、現在達成可能であるよりもはるかに高い精度で測定を行うとともに動作を実行するために用いることができる方法は、他にも数多くあり、本明細書で開示される方法は、産業ロボット CMM アームを用いて以前よりもはるかに高い精度で測定を行うとともに動作を実行するために用いることができる全ての方法の例示であることが、当業者には理解されるであろう。

20

【0214】

生産ライン

産業ロボット CMM アーム 450 は、生産ライン上の任意の適当な場所において単一ユニットとして設置してもよく、又は複数の産業ロボット CMM アーム 450 を、測定作業を行うために 1 つのセル又は複数のセルと一緒に設置してもよい。一例は、自動車生産ラインである。概して、生産ライン上の車は、既知の安定した速度で移動するが、移動物体を測定する場合、精度は低下する。したがって、測定サイクルの間は車が静止しているセルを構成することが好ましい。このようなセルは、代替的に、生産ラインに隣接して配置されて、作製中の物体のうち或る割合の物体をサンプリングすることができる。通常、生産ライン測定用途には、ボディ・イン・ホワイト、モータ部品、後部部品、アンダーボディ、及びパネル固定が含まれる。検査される通常の特徴には、エッジ及び表面の場所、穴の場所、スロットの場所、隙間及びバリの測定が含まれる。表面形状も検査される。生産ラインは通常、生産ライン上のセルにおいて動作のサイクルを開始させる生産ライン制御システムを有する。セルにおける 1 つ又は複数の産業ロボット CMM アーム 450 は、当業者に既知の方法のいずれかによって、生産ライン制御システムとインタフェースすることができる。産業ロボット CMM アーム 450 の制御 PCB 172 は、信号及び情報を受け取り、信号及び情報を返すことができる。生産ライン制御システムから産業ロボット CMM アーム 450 への信号及び情報は通常、例えば、サイクルの開始、サイクルの緊急停止、プログラム番号 XXX の使用、プログラム XXX 自体、測定値 YYY を返す、パラメータの制御、ステータス要求を含む。産業ロボット CMM アーム 450 から生産ライン制御システムへの信号及び情報は通常、例えば、ステータス報告、測定値、測定値報告、フィードバック制御パラメータを含む。産業ロボット CMM アーム 450 は通常、生産ラインの緊急停止回路に配線接続される。産業ロボット CMM アーム 450 からの測定値及びフィードバック制御パラメータを用いてデータをフィードフォワードし、生産ラインの下流の他のプロセスを制御又は適応制御することができる。柔軟性のある生産ラインでの測定の需要により、2 m を超える、場合によっては 3 m を超えるリーチを有する産業ロボット CMM アーム 450 が常に必要とされる。産業ロボット CMM アーム 450 は、測定中の場所へのアクセスを柔軟にするために、最小でも 6 つの軸を有することが好ましい。産業ロボット CMM アーム 450 は、できる限り短時間で場所間を移動するために、迅速

30

40

50

に加速されることができることが好ましい。産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、柔軟性、敏捷性、及び比較的小さい床設置面積を有する。したがって、産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、生産ライン上の作業セル内で、生産要素と並べて、且つ／又は生産要素間に設置することができる。ロボットＣＭＭアームと他のアイテムとの間で衝突が起こらないように注意しなければならない。これは、産業ロボットＣＭＭアーム４５０を生産ラインに沿ったほとんどの場所に挿入することができ、生産ラインの専用測定セルとして貴重な空間を使い果たしてしまわないことを意味する。産業ロボットＣＭＭアーム４５０は高精度で測定を行い、溶接ロボット等の操作型（operational）要素と並べて、又は操作型要素のすぐ上流に位置付けることができる。１つ又は複数の操作型要素は、１つ又は複数の産業ロボットＣＭＭアーム４５０からフィードバックデータを受け取ることができ、それにより、シートメタルアイテム等の物体の実際に測定された位置に適合する、より高精度な動作を行うことができる。これは、より高速、より高性能、又はより安価であるがより高い精度を必要とする、より効率的なプロセスを、生産ラインで用いることができることを意味する。

10

20

30

40

【０２１５】

構成部品調整方法

産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、１つの新車モデルにつき通常は２００～２５０個のプロトタイプが作製されるプロトタイプ生産プロセスに特に適している。生産セルにおいて産業ロボットＣＭＭアーム４５０により総合的な高精度測定が利用可能であることにより、プロトタイプツーリングに対する手法を変更すること、及び／又は既存の手法の精度を高めることが可能となる。例えば、溶接又は接着の前にシートメタル構成部品の位置決め誤差をフィードバックすることにより、シートメタル構成部品を、正しい位置になるまで手動又は自動で調整することができる。これは、本発明のロボットＣＭＭアームが、このようにして、より単純なツーリングを用いることを可能にすることにより、精密プロトタイプ生産ツーリングへの多額の投資を節約できることを意味する。新規の構成部品調整方法が開示される。次に図５９Ｂを参照すると、第１のステップ５１０において、可動の第１の構成部品が第２の構成部品に対して作業者により手動で位置決めされる。ステップ５１１において、産業ロボットＣＭＭアーム４５０が、第１の構成部品及び第２の構成部品の位置及び向きに関する測定データを取り込む。ステップ５１２において、第２の構成部品からの測定データが、第２の構成部品のＣＡＤモデルに登録される。ステップ５１３において、第１の構成部品からの測定データが、第１の構成部品のＣＡＤモデルと比較される。第１の構成部品のＣＡＤモデルは、第２の構成部品のＣＡＤモデルと同じ座標系にあり、第１の構成部品のＣＡＤモデルは、第２の構成部品のＣＡＤモデルに対する理想的な設計位置に位置付けられる。ステップ５１４において、第１の構成部品の理想的なＣＡＤ位置及び向きからの第１の構成部品の実際の位置及び向きの誤差が計算され、作業者が作用を与えることができる有用な情報を提供するように表示される。ステップ５１５において、手動作業者は、表示された誤差を用いて、第１の構成部品の位置及び／又は向きをさらに手動で調整して第１のステップへ移るか、又は第１の構成部品の位置決めの問題がないため停止するかを判定する。ステップ５１６において、手動作業者は、表示された誤差を用いて、第１の構成部品の位置及び／又は向きを手動で調整する。この第７のステップの次に、この発明の第２のステップが続く。産業ロボットＣＭＭアーム４５０を用いて、現在達成可能であるよりもはるかに高い精度で第２の構成部品に対する第１の構成部品の位置決めを補助するために用いることができる手動及び自動の方法は、他にも数多くあり、本明細書で開示される方法は、産業ロボットＣＭＭアーム４５０を用いて以前よりもはるかに高い精度で第２の構成部品に対する第１の構成部品の位置決めを補助するために用いることができる全ての方法の例示であることが、当業者には理解されるであろう。代替的な実施形態では、構成部品調整プロセス全体が自動化されるようにステップ５１０、５１５、及び５１６を自動化することができる。

【０２１６】

本体修理方法

50

産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、車体を歪ませる事故の後での車体修理プロセスに適している。産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、まず、診断動作において、車体の歪みを定量し、どの構成部品の交換が必要であり、ステップ５１１～５１４に対応するかを判定するために用いられる。産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、引き伸ばし、曲げ等の各補正プロセスの後で、理想的な形状からの残りの誤差を測定するために用いられる。これは、ステップ５１１～５１６に対応する。産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、車体パネル等の新たな構成部品を損傷したものと交換する各交換プロセス中に、その新たなパネルの正しい位置合わせを補助するために用いられる。これは、構成部品調整方法のステップ５１０～５１６の全てに対応する。診断動作、補正プロセス、及び交換プロセスは、構成部品調整方法の適用の具体的な例である。本発明の範囲は、車体の修理に限定されず、複雑な形状の任意の物体の修理に適用可能である。本発明は、１つの構成部品のみから成る物体、又は複数の構成部品から成る物体の修理に適用可能である。

10

【０２１７】

加工機

図７Ｊを再び参照すると、産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、１つ又は複数の加工機１３７に取り付けるか、又はそれに隣接させることができる。２つ以上の加工機１３７が１つの生産ラインを形成する場合、高価な動作間での物体９の測定及びパス／フェイル検査により、生産ラインの損失額（wastage value）％を減らすことができる。さらに、産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、測定及びマテリアルハンドリングという２つの機能を提供することができる。用途によっては、産業ロボットＣＭＭアーム４５０は、３つの動作、すなわち、測定動作、工具での材料加工動作、及びマテリアルハンドリング動作を提供することができる。産業ロボットＣＭＭアーム４５０の用途の一例は、タービンプレード生産ラインにある。産業ロボットＣＭＭアーム４５０による光学測定の速度及び精密さが、手動検査と比較してこの用途を費用効果的にする。

20

【０２１８】

生産ライン上で本発明のロボットＣＭＭアームを配設する利点

以下の利点は、例として提供されるものであり、本発明のロボットＣＭＭアームの配設の利点は、これらの利点に限定されない。

- １．ロボットＣＭＭアームは、生産ライン空間を使い果たす専用セルだけではなく、既存のセルのラインに沿った許容可能ないかなる場所にも設置することができる。
- ２．ロボットＣＭＭアームは、表面を検査し、後続のプロセスにデータをフィードフォワードすることができる。
- ３．ロボットＣＭＭアームは、プロセス後又はプロセス中に、表面を検査し、データをフィードバックすることができる。
- ４．ロボットＣＭＭアームは、接合等のプロセスの精度を高めることができる。
- ５．ロボットＣＭＭアームは、製品間の切り換え時間の削減に役立つ。
- ６．ロボットＣＭＭアームは、プロセス及び工具の標準化の生産迅速化に対するあらゆる利点により、世界的に生産ラインにおける共通の工具となることができる。
- ７．ロボットＣＭＭアームは、接合プロセス前にアイテムをより高精度に設定させて、より高精度な接合プロセスを用いることを可能にすることができる。
- ８．ロボットＣＭＭアームは、例えば自動車及び航空宇宙を含む多くの産業において、様々な工具、構成部品の組み立てのためのより高精度な方法を提供することができる。
- ９．ロボットＣＭＭアームは、別のプロセスの前に構成部品の場所を調整する手動作業員に対するリアルタイムのフィードバックループを提供することができる。
- １０．ロボットＣＭＭアームは、接合又は別の組み立てプロセス前に構成部品の場所を自動的に調整する移動可能部材に対するリアルタイムのフィードバックループを提供することができる。
- １１．ロボットＣＭＭアームは、生産ライン基準に自動的にデータミングすることができる。
- １２．ロボットＣＭＭアームは、セルにおける車体ライン座標系等、物体参照データムに

30

40

50

自動的にデータミングすることができる。

13．ロボットCMMアームは、共通の座標系で互いにデータミングすることができる。

14．ロボットCMMアームは、生産ライン制御システムと一体化することができる。

15．ロボットCMMアームは、ツーリング投資額の削減、プロセス速度の上昇、製品品質の向上、及びプロセス精度の向上等の利点を与える異なるツーリング手法の使用を可能にすることができる。

16．ロボットCMMアームは、主生産ラインプロセス及びプロトタイプ生産プロセスを改善することができる。

17．ロボットCMMアームは、自動車パネルの付属品（fixtures）をチェックする必要性をなくすことができる。

18．ロボットCMMアームは、人的ミスをなくすことができる。

19．ロボットCMMアームは、産業ロボットよりも製造費用がわずかながら高いが、その追加費用を超える付加価値を提供する。

20．ロボットCMMアームは、プロセスの精度を高め、2つのステーションを有する場合と比較して、精度があまり高くないツーリングを用いてより効率的なプロセスを可能にし、生産ライン上の空間を節約する。

21．1つのロボットCMMアームが、以下の動作、すなわち、測定、材料加工、マテリアルハンドリングの1つ又は複数を行うことができる。これにより、高精度に測定することができないロボットを超えるさらなる実用性が提供される。

【0219】

フライス盤

複雑な形状をフライス削りすることができる産業ロボットCMMアーム450を提供することが、この実施形態の目的の1つである。標準的なCNC制御システムを用いて、追従誤差の小さい経路が確保される。加工経路は、標準的な7軸CADソフトウェアパッケージから生成される。当業者には既知であるように、CMMエンコーダ178からの精密位置フィードバックを用いて、正確な6DOF位置及び向きが計算され、所望の6DOF位置及び向きでループが閉じられる。これは、産業ロボットCMMアーム450が標準的な産業ロボットよりも高精度に複雑な形状をフライス削りすることができることを意味する。主な利点は、産業ロボットCMMアーム450の加工誤差が、通常は産業ロボットの加工誤差よりも1桁小さいことである。産業ロボットCMMアーム450をフライス削りに用いる別の利点は、不正確なパスによる段等の粗さが手動で平滑化される場合、さらなる手仕上げ動作が必要なくなることである。さらなる利点は、産業ロボットCMMアーム450が、マシニングセンター又は水平アームCMMによりフライス削りすることができない大きな球状形態等の複雑な形状をフライス削りできることである。産業ロボットCMMアーム450は、広範囲の産業において、複雑な形状を高精度に加工するのに適用可能であることが予測される。

【0220】

[第3の実施形態]

この第3の実施形態では、移動させることができる全ての空間レイアウトにおいて、内部CMMアーム5の継手及びセグメントに作用する力及びモーメントを大幅に減らした、能動支持ロボットCMMアームが開示される。

【0221】

第1の実施形態のロボットCMMアームに対する力及びモーメント

ロボットCMMアーム1のいくつかの空間レイアウトでは、内部CMMアーム5にかなりの荷重がかかるため、前述したような（provided）外骨格6の7つの外骨格継手161～767に作用する7つのモータ176の配置は、これら荷重を減らすのに十分な制御出力を提供しない。いくつかの空間レイアウトでは、継手には、その継手よりも先の内部CMMアーム5のセグメントの全重量が作用する。例えば、内部CMMアーム5が垂直な空間レイアウトにある場合、CMMセグメント232～838の合わせた重量はCMM継手151に直接かかる。同様に、CMMセグメント232～838の合わせ

た重量はＣＭＭ継手２ ５２に直接かかり、アームを上ってＣＭＭ継手３ ５３～ＣＭＭ継手７ ５７についても同様である。外骨格の７つの駆動システムは、ＣＭＭ継手の軸受に対するこの荷重を補償することができない。軸方向に配置されるＣＭＭ継手１ ５１、３ ５３、５ ５５、及び７ ５７の場合、内部ＣＭＭアーム５が垂直の空間レイアウトにある場合、これらのＣＭＭ継手に対する荷重は、軸方向ＣＭＭ継手の軸を通る。真交に配置されるＣＭＭ継手２ ５２、４ ５４、及び６ ５６の場合、内部ＣＭＭアーム５が垂直の空間レイアウトにある場合、これらのＣＭＭ継手に対する荷重は、直交ＣＭＭ継手の軸に直交する。ロボットＣＭＭアーム１のいかなる空間的場所でも、ロボットＣＭＭアーム１が固定されているか移動しているかに関係なく、非ゼロの力及び非ゼロのモーメントのネットワーク（network）が外骨格６から内部ＣＭＭアーム５に作用する。これらの力及びモーメントは、内部ＣＭＭアーム５の継手及びセグメントを歪ませることにより、ロボットＣＭＭアーム１の測定の精度を低下させる。

10

20

30

40

50

【０２２２】

能動支持ロボットＣＭＭアーム

この第３の実施形態の能動支持ロボットＣＭＭアームは、内部ＣＭＭアーム５に対する力及びモーメントを検知する歪みゲージと、能動支持制御ソフトウェアを用いて内部ＣＭＭアーム５に対する力及びモーメントに対抗する能動伝達手段とを備える。これは、能動支持ロボットＣＭＭアームの精度が、能動支持ロボットＣＭＭアームと同じリーチを有するロボットＣＭＭアーム１又は産業ロボットＣＭＭアーム４５０の精度よりも高いことを意味する。さらに、能動支持ロボットＣＭＭアームが或る指定された精度まで動作することができるリーチは、第１の実施形態のロボットＣＭＭアーム１及び第２の実施形態の産業ロボットＣＭＭアーム４５０の両方と比較して長い。

【０２２３】

次に図６０を参照すると、能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０は、外骨格６と内部ＣＭＭアーム５との間に設置される能動伝達手段２ ５６２～８ ５６８を備える。歪みゲージ１８１は、先に開示されるとともに、図４１Ｅに示す内部ＣＭＭアーム５に取り付けられる。

【０２２４】

能動伝達手段

各能動伝達手段２ ５６２～８ ５６８は、第１の実施形態で先に開示した伝達手段２ ７２～８ ７８それぞれを通る１つの駆動方向と、内部ＣＭＭアーム５の重量を能動的に支持するための１つ又は複数の能動支持方向とを提供する。伝達手段５６２～５６８は、それぞれのＣＭＭセグメント２ ３２～８ ３８の重心に、又はその付近に位置付けられる。これにより、２つの能動的な力成分、すなわち半径方向及び軸方向に対する各ＣＭＭセグメントの支持負担（task）が減る。各能動伝達手段５６２～５６８は、それぞれのＣＭＭセグメント２ ３２～８ ３８の重心に、又はその付近に位置付けられるため、能動的にモーメントを加える必要はない。

【０２２５】

方向	駆動	能動支持手段
能動伝達手段２ ５６２	ねじれ方向	軸方向、半径方向
能動伝達手段３ ５６３	半径方向	軸方向
能動伝達手段４ ５６４	ねじれ方向	軸方向、半径方向
能動伝達手段５ ５６５	半径方向	軸方向
能動伝達手段６ ５６６	ねじれ方向	軸方向、半径方向
能動伝達手段７ ５６７	半径方向	軸方向
能動伝達手段８ ５６８	ねじれ方向	軸方向、半径方向

【０２２６】

能動伝達手段２ ５６２は、第１の伝達手段であり、重力に対して一定の向きを有する。能動伝達手段２ ５６２内の伝達手段２ ７２は、ねじれ方向であり、半径方向にも軸方向にも能動支持を与えない。能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０のベース向きが垂直である通常の場合、能動伝達手段２ ５６２内で必要とされる能動支持は軸方向のみであ

る。能動支持ロボット CMM アーム 550 のベース向きが水平である場合、能動伝達手段 2562 内で必要とされる能動支持は半径方向のみである。任意の他のベース向きでは、軸方向及び半径方向の両方の能動支持が能動伝達手段 2562 内で必要とされる。

【0227】

能動伝達手段 3563 はいかなる向きにあってもよい。能動伝達手段 3563 内の伝達手段 373 を通る駆動は半径方向である。これは、半径方向の能動支持が能動伝達手段 3563 内では必要ないことを意味する。しかしながら、能動伝達手段 3563 内では軸方向の能動支持が必要である。能動伝達手段 3563 の状況は、能動伝達手段 5565、7567 でも同様である。

【0228】

能動伝達手段 4564 はいかなる向きにあってもよい。能動伝達手段 4564 内の伝達手段 474 を通る駆動はねじれ方向である。これは、半径方向及び軸方向の両方の能動支持が能動伝達手段 4564 内で必要であることを意味する。能動伝達手段 4564 の状況は、能動伝達手段 6566、8568 でも同様である。

【0229】

軸方向能動支持部

能動伝達手段 3563、5565、7567 は、半径方向の駆動及び軸方向の能動支持を与える。次に図 61 を参照すると、能動伝達手段 3563 等の能動伝達手段は、2つの部品、すなわち、先に開示するとともに、図 17 に示す受動半径方向駆動伝達手段 373 と、能動軸方向支持部 3583 とを備える。能動軸方向支持部 3583 は、支持部ギヤボックス 572 手段及び支持部ボールねじ 574 手段を介して、支持部ボールレース 575 を介して内部 CMM アーム 5 の CMM セグメント 333 に取り付けられた CMM セグメント支持部フランジ 570 に軸方向推力を加える、2つの支持部モータ 571 を備える。2つの支持部モータ 571 は、CMM セグメント支持部フランジ 570 に均一な軸方推力を与えるように、互いに対して 180° に配置される。支持部モータ 571 は支持部ギヤボックス 572 にボルト締めされ、支持部ギヤボックス 572 は支持部ブラケット 573 にボルト締めされる。支持部ボールねじ 574 は、支持部ギヤボックス 572 から延び、遠端で支持部ブラケット 573 により支持される。支持部ボールレース 575 は、遠端が支持部ギヤボックス 572 と支持部ブラケット 573 との間に配置される。支持部ブラケット 573 は、弾性材料 203 を介して外骨格セグメント 343 に取り付けられる。支持部エンコーダ 579 が、各支持部モータ 571 に取り付けられる。支持部モータ 571 は、能動支持制御ソフトウェアにより決定されるように、外骨格セグメント 343 と CMM セグメント 333 との間でいずれかの相対方向に軸方向力を加えることができる。例えば、CMM セグメント 333 が垂直上方の空間的向きにある場合、軸方向力、CMM セグメント 333 に対して上向きであり、CMM セグメント 333 に対する下向きの重力に効果的に対抗する。

【0230】

この配置では、受動半径方向駆動伝達手段 373 は、能動軸方向支持部 3583 から CMM セグメント 333 の軸に沿って片側に位置付けられる。本発明の別の実施形態では、受動半径方向駆動伝達手段 373 は、能動軸方向支持部 3583 の反対側に配置される。本発明のさらなる実施形態では、受動半径方向駆動伝達手段 373 及び能動軸方向支持部 3583 は、受動半径方向駆動伝達手段 373 を通る半径方向駆動の作用中心 (centre of effect) と能動軸方向支持部 3583 の作用中心とが同じ場所にあるように一体化してもよい。

【0231】

軸方向 / 半径方向能動支持部

能動伝達手段 4564、6566、8568 は、ねじれ方向駆動、能動軸方向支持、及び能動半径方向支持を与える。次に図 62 を参照すると、能動伝達手段 4564 は、3つの構成部品、すなわち、ねじれ方向伝達手段 474、能動軸方向支持部 4584、及び能動半径方向支持部 4594 を備える。この配置では、能動伝達手段 45

10

20

30

40

50

64のこれら3つの構成部品は、能動支持ロボットCMMアーム550のCMMセグメント434と外骨格セグメント444との間に一列に設けられる。本発明の範囲は、この配置に限定されない。例えば、本発明の別の実施形態では、これら3つの構成部品は他のいかなる順序で設けてもよい。本発明のさらなる実施形態では、これら3つの構成部品は、受動ねじれ方向伝達手段474を通るねじれ駆動の作用中心と能動軸方向支持部4584及び能動半径方向支持部4594の作用中心とが同じ場所にあるように一体化してもよい。本発明の別の実施形態では、これら3つの構成部品のうち2つを一体化してもよい。

【0232】

次に図63を参照すると、能動半径方向支持部4594は、3つのユニット594A、594B、及び594Cを備える。能動半径方向支持部4ユニット594Aは、断面A-A及びB-Bで示される。能動半径方向支持部4ユニット594B及び594Cは、断面B-Bで示される。各能動半径方向支持部4594ユニットにおいて、支持部モータ571が、支持部ギヤボックス572、支持部90°駆動ボックス577、及び支持部ボールねじ574を介して、支持部ボールレース575を介して半径方向支持部ブラケット578に、そして弾性材料203及び低摩擦材料202を介して内部CMMアーム5のCMMセグメント434に、半径方向推力を加える。3つの能動軸方向支持部4ユニット594A、594B、及び594Cは、CMMセグメント434に対して半径方向推力の方向制御を与えるように、互いに対して120°に配置される。支持部モータ571は支持部ギヤボックス572にボルト締めされ、支持部ギヤボックス572は半径方向支持部モータブラケット576にボルト締めされる。支持部ギヤボックス572は、支持部90°駆動ボックス577を駆動する。支持部ボールねじ574は、支持部90°駆動ボックス577から延びる。支持部ボールレース575は、支持部ボールねじ574から推力を受け取り、この推力は、半径方向支持部ブラケット578を介して弾性材料203及び低摩擦材料202を通り、内部CMMアーム5のCMMセグメント434に伝達される。支持部エンコーダ579が、支持部モータ571に取り付けられる。能動半径方向支持部4594の3つのユニット594A、594B、及び594Cは、能動支持制御ソフトウェアにより決定されるように、外骨格セグメント444とCMMセグメント434との間で任意の相対方向に半径方向力を供給することができる。例えば、CMMセグメント434が水平の空間的向きにある場合、半径方向力は、CMMセグメント434に対する重力に逆らって上向きであり、CMMセグメント434に対する下向きの重力に効果的に対抗する。

【0233】

能動伝達手段の数

任意の向きのベースを有する7軸能動支持ロボットCMMアーム550の好ましい実施形態では、11個の能動支持手段、すなわち、能動軸方向支持部2582~8588及び能動半径方向支持部2592、4594、6596、8598がある。ベースが常に垂直である場合、10個の能動支持手段で十分であり、能動半径方向支持部2592は必要ない。任意の向きのベースを有する6軸能動支持ロボットCMMアーム550の実施形態では、能動伝達手段4564がないため、9個の能動支持手段がある。ベースが常に垂直である場合、8個の能動支持手段で十分であり、能動半径方向支持部2592は必要ない。

【0234】

いくつかの能動支持手段は、他のものよりも能動支持ロボットCMMアーム550の全体精度に大きな影響を及ぼす。例えば、プローブ端に近い能動支持手段は、より重いセグメントのための能動支持手段よりも全体精度に影響を及ぼさない。能動支持手段を1つ設けるだけでも、能動支持ロボットCMMアーム550の精度は能動支持手段を全く有さない同様のロボットCMMアーム1の精度よりも高くなる。能動支持ロボットCMMアーム550が1つ又は複数の能動支持手段を有することが、本発明の目的の1つである。

【0235】

概して、能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０における力及びモーメントは、能動伝達手段５６０の数を増やすことにより小さくすることができ、これにより能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０がより高精度になる。例えば、２つ以上の能動伝達手段５６０を設けて、各ＣＭＭセグメントを支持することができる。実際には、能動伝達手段の数を増やすごとに得られる利益は限られている。能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０のさらなる実施形態では、長いＣＭＭセグメント３３３、５３５に２つの能動伝達手段が設けられて、支持を強化する。本発明の範囲は、１つ又は複数の能動伝達手段を有する任意の能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０を含む。

【０２３６】

構成材料

能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０の内部ＣＭＭアーム５及び外骨格６は、熱膨張差を最小にするために同じ材料でできていることが好ましい。ＣＭＭ継手５１～５７の軸と外骨格継手６１～６７の軸とも位置合わせされる。このように、内部ＣＭＭアーム５及び外骨格６の両方が、温度の変化を受けて同じ量だけ長さを変える。

【０２３７】

能動支持制御ソフトウェア

次に図６４を参照すると、能動支持制御ソフトウェア５５２が、制御ＰＣＢ１７２のメモリ３８１に設けられる。能動支持制御ソフトウェア５５２は、各空間レイアウトで外骨格６による内部ＣＭＭアーム５の能動支持を最適化する。支持部モータ５７１は、制御ソフトウェア３８２により決定される制御ＰＣＢ１７２の増幅器アナログ出力回路３８３の出力から、増幅器１７６によって駆動される。各支持部エンコーダ５７９は継手ＰＣＢ１７３に接続し、継手ＰＣＢ１７３は制御ＰＣＢ１７２に接続する。

【０２３８】

次に図６５を参照すると、能動支持制御ソフトウェア５５２は、歪みゲージ１８１、キネマティックソフトウェア３９１、及び制御ソフトウェア３８２からの入力を有する。歪みゲージ１８１は、内部ＣＭＭアーム５に対する力及びモーメントを示す。キネマティックソフトウェア３９１は、能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０の空間レイアウト位置、速度、及び加速度を供給する。制御ソフトウェア３８２は、能動伝達手段２５６２～８

５６８の位置、速度、及び加速度を供給する。能動支持制御ソフトウェア５５２は、出力として、制御ソフトウェア３８２に対する支持部モータ５７１の所望の制御要求を有する。制御ソフトウェア３８２は、外骨格エンコーダ１７９、ＣＭＭエンコーダ１７８、及び支持部エンコーダ５７９の位置を、入力として受け取る。制御ソフトウェア３８２は、増幅器１７５に駆動信号を出力し、モータ１７６及び支持部モータ５７１を駆動させる。制御ソフトウェア３８２は、モータ１７６及び支持部モータ５７１に１つの制御ループを提供し、これにより、調和させることが困難な２つの競合する制御ループがあるという一般的に望ましくない状況を避ける。内部ＣＭＭアーム５における力及びモーメントを測定する歪みゲージ１８１から能動支持制御ソフトウェア５５２への入力と、能動支持制御ソフトウェア５５２からの、外骨格６から内部ＣＭＭアーム５に力及びモーメントを加えることができる能動伝達手段２５６２～８５６８を制御するための出力とを用いて、能動支持制御ソフトウェア５５２によって内部ＣＭＭアーム５に対する力及びモーメントを最小にする、高精度な能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０を提供することが、本発明の目的の１つである。このように、内部ＣＭＭアーム５は、そのベースＣＭＭセグメント１

３１及び能動伝達手段２５６２～８５６８の取り付けによって完全に支持される。能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０に対する力及びモーメントを最小にするために、能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０に能動支持制御ソフトウェアを設ける方法、及び能動支持制御ソフトウェアを主制御ソフトウェア３８２と統合する方法は、数多くあることが、当業者には理解されるであろう。能動支持制御ソフトウェアは、内部ＣＭＭアーム５のプロープ端３に、又はプロープ端３付近に取り付けられる重いプロープ９１を自動的に補償することができ、少なくとも２つの能動伝達手段を設けてＣＭＭセグメント８３８を支持し、ＣＭＭセグメント８３８の重心付近に取り付けられないプロープ９１を補償す

10

20

30

40

50

ることができることが、当業者にはさらに理解されるであろう。

【0239】

伝達手段の空気軸受

空気軸受を用いて、内部ＣＭＭアーム５と外骨格６との間の接触をなくすることができる。図１７を再び参照すると、半径方向伝達手段３　７３において、低摩擦材料２０２の代わりに空気軸受が用いられる。図１８を再び参照すると、ねじれ方向伝達手段４　７４において、弾性材料２０３に加えて空気軸受が用いられる。図６１及び図６３を再び参照すると、能動軸方向支持部５６３及び能動半径方向支持部５９４において、低摩擦材料２０２の代わりに空気軸受が用いられる。空気軸受の空気は、圧縮機により供給して、内部ＣＭＭアーム５と外骨格６との間に延びる可撓管によって空気軸受の場所に導くことができる。空気軸受から出る空気は、能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０を冷却するという二次的な機能を有することができる。空気の一次排気はプローブ端に与えられ、二次排気は各セグメントの空気軸受から適当な距離の場所に与えられる。空気軸受の主な利点は、内部ＣＭＭアーム５と外骨格６との間の摩擦がなくなることである。これにより、一方向に加えられる力が、摩擦から生じる別の方向への望ましくない成分を有さず、これにより、より高精度な能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０が得られることとなる。

10

【0240】

弾性材料、圧力センサ、及び能動支持制御

図１７、図１８、図６１、及び図６３を再び参照すると、能動伝達手段２　５６２～８　５６８の、内部ＣＭＭアーム５と外骨格との間で接触が起こる各部分内に、弾性材料２０３が設けられる。弾性材料２０３は、外骨格６からの力の急上昇を吸収することにより、内部ＣＭＭアーム５を保護する。弾性材料２０３に加わる力は、少なくとも、重力、能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０の移動によるその空間的場所の変化、能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０の慣性加速度、アセンブリの締め込み、熱膨張／熱収縮、及び支持部モータ５７１により生成される。各場所の弾性材料２０３の厚さ、断面積、及び材料弾性率は、綿密に計算されて、能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０の空間能力及び慣性能力（spatial and inertial capabilities）について計算された力の極限を用いて弾性材料２０３の相対膨張／収縮が最適化される。

20

【0241】

代替的な一実施形態では、内部ＣＭＭアーム５に取り付けられた歪みゲージ１８１の代わりに、圧力センサが弾性材料２０３内に配置される。弾性材料２０３に加わる実際の総力は、圧縮力であるか、張力であるか、剪断力であるかに関係なく、各能動伝達手段において測定することができる。能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０の設計に基づいた計算を用いて、能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０の現在の空間的場所及び慣性の状況において各弾性材料に加わるべき理想的な総力が決定される。支持部モータ５７１は、新たな能動支持制御ソフトウェアアルゴリズムにより作動されて、各弾性材料２０３に加わる実際の総力を増減させる。

30

【0242】

環境因子及び動作性能

最高の精度を得るために、能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０は、外部振動がない、熱制御された環境で用いるべきである。最良の結果は、加速により生じる力が比較的小さい場合に比較的小さい速度で測定が行われる場合に得られる。しかしながら、ユーザは自身の機器から高い生産力を得ることを望み、能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０が可能な速度、加速度は重要な因子である。内部ＣＭＭアーム５は、複数の能動伝達手段により支持され、複数の能動伝達手段により支持される内部ＣＭＭアーム５の設計特性は、作業者が加える大きな力及びモーメントを受け得る手動ＣＭＭアーム５の設計特性とは異なり得る。これは、能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０の内部ＣＭＭアーム５の質量／慣性を小さくすることができ、能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０の内部ＣＭＭアーム５が高精度を維持したまま受けることができる対応する加速度を大きくすることができるため、能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０が高い生産力を有する高精度測定装置となること

40

50

を意味する。

【 0 2 4 3 】

本発明の有効性

重力及び慣性力の作用から生じる内部ＣＭＭアーム５に対する力及びモーメントは、能動伝達手段により対抗される。この能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０は、内部ＣＭＭアーム５を支持できるほど効果的であり得るため、そのベースＣＭＭセグメント１ ３ １への取り付け部分における力及びモーメントは、能動伝達手段を設けない場合の対応する力及びモーメントよりも１桁又は数桁小さい。さらに、この能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０は、内部ＣＭＭアーム５を支持できるほど効果的であり得るため、各継手における力及びモーメントは、能動伝達手段を設けない場合の対応する力及びモーメントよりも１桁又は数桁小さい。

10

【 0 2 4 4 】

手動ＣＭＭアームよりも高精度

この第３の実施形態は、内部ＣＭＭアーム５に対する力及びモーメントを、対応するサイズの手動ＣＭＭアームに対する力及びモーメントよりも約１桁まで減らすことを可能にする。これは、能動支持ロボットＣＭＭアーム５５０が、力及びモーメントを無視できる量まで減らすことができない同様のリーチを有する手動ＣＭＭアームよりも、はるかに高精度であり得ることを意味する。力及びモーメントよりが小さいと、内部ＣＭＭアーム５は非常にはるかににより軽量に設計することができる。これは、さらに外骨格６をより軽量化することができ、駆動システムがあまり強力ではないため、駆動システムをより軽量化することができるという二重の有益な効果を有する。

20

【 0 2 4 5 】

代替的な能動支持の方法

能動支持を達成する方法は他にもあり、この実施形態の範囲は、上述の手段に限定されない。例えば、軸方向支持のさらなる実施形態では、１つのモータ５７１を用いて、ベルト等の駆動伝達手段を介して２つの支持部ボールねじ５７４を駆動することができる。軸方向支持又は半径方向支持の代替的な実施形態では、能動伝達手段の位置を知る必要なく、ボイスコイルアクチュエータ等の制御可能なリニアアクチュエータが所望の直線力を与えることができる。エンコーダを有するモータの場合よりも単純な制御ループが提供される。

30

【 0 2 4 6 】

[第４の実施形態]

量の測定

この第４の実施形態では、本発明のさらなる目的、すなわち、量の測定、その量のモデルの構成、及びそのモデルの分析のための、方法及び装置が開示される。適当な接触又は非接触量測定プローブ９０により測定することができる量の例には、温度、表面粗さ、色、振動、硬度、圧力、密度、溶接部、接着部の傷／含有物の検出が含まれるが、これらに限定されない。物体９、又は物体の測定すべき部分が、ロボットＣＭＭアーム１のリーチ内に位置付けられる。物体９をロボットＣＭＭアーム１に接近させてもよく、又はロボットＣＭＭアームを物体に接近させてもよい。量は、ロボットＣＭＭアームの座標系３６３に対して測定される。代替的に、物体座標系３６１を先に開示したように設定してもよく、量は、物体座標系３６１に対して測定される。量測定プローブ９０は、内部ＣＭＭアーム５のプローブ端３に取り付けられるが、外骨格６のプローブ端に取り付けてもよい。内部ＣＭＭアーム５のプローブ端及び外骨格６のプローブ端が共通である場合、量測定プローブは共通のプローブ端に取り付けられる。

40

【 0 2 4 7 】

測定プロセス、タイミング、及び複数のプローブ

測定プロセスは、ロボットＣＭＭアーム１が量測定プローブ９０を物体９に対して移動させて、量測定プローブ９０が測定を行うことにより行われる。先に開示したように、ロボットＣＭＭアームからのＸ座標、Ｙ座標、Ｚ座標、Ｉ座標、Ｊ座標、Ｋ座標における

50

ローブ端の位置 / 向きと、量測定プローブ 90 からの測定値とを同期させるか、これらにタイムスタンプするか、又は時刻ベースで直接若しくは補間により調整することができる。測定は、ロボット CMM アーム 1 の移動の経路に沿って行われる。測定は、連続走査移動中に行われることが好ましく、この場合、量測定プローブ 90 はオンザフライで測定を行う。このオンザフライの測定方法は、測定が比較的短時間で、通常は 100 ミリ秒未満で、多くの場合は数ミリ秒未満で行われる場合の量測定プローブ 90 に適している。代替的に、測定は、段階的に行ってもよく、この場合、ロボット CMM アーム 1 が事実上静止している場合に量測定プローブ 90 が測定を行う。この段階的な測定方法は、測定が比較的長時間で、通常は 100 ミリ秒を超えて、多くの場合は数秒間で行われる場合の量測定プローブ 90 に適している。量測定プローブ 90 は、任意の組み合わせの量及び / 又は寸法測定を行うことができるように、1 つ又は複数の他のプローブ 90 とともにロボット CMM アーム 1 に取り付けることができる。一例は、寸法測定のための非接触光学プローブ 90 と、温度測定のための非接触温度測定プローブとを用いた、パイプの走査である。1 つのプローブ 90 で 2 つ以上の異なる量を測定することも理解されるであろう。接触プローブ 95 の設計に特別な措置がなされていない限り、ロボット CMM アーム 1 の好ましい動作下では 1 つの接触プローブ 95 のみが物体 9 と接触するため、ロボット CMM アーム 1 には接触プローブ 95 を 2 つ取り付けないことが好ましいことも理解されるであろう。取り付けられたプローブ 90 からの測定は、軌道が繰り返されないように、1 つの測定プロセス中に 1 つの測定経路に沿って行われることが好ましい。これは、測定プロセスの時間を最短にすることに関して最も効率的である。全てのプローブ 90 が事実上同じ時刻に同じ速度で測定を行うように、全てのプローブ 90 からの測定を測定プロセス中に同期させることができる。代替的に、取り付けられたプローブ 90 の 1 つ又は複数が、異なる速度で測定を行ってもよい。先に開示したように、各プローブ 90 からの測定は、好ましくは同期化を用いて直接、又は補間によって、アームの位置 / 向きと関連付けることができる。ロボット CMM アーム 1 及び量測定プローブ 90 を含む 1 つ又は複数のプローブからのデータは格納される。

【0248】

量測定プローブの測定場所

量測定プローブ 90 は、複数の異なる実施形態を有する。量測定プローブ 90 は、接触プローブであっても非接触プローブであってもよい。量測定プローブ 90 は、各ロボット CMM アーム位置 / 向きで 1 つ又は複数の測定を行うことができる。量測定プローブ 90 は、1 つ又は複数の異なる量、例えば温度及び圧力を測定することができる。量測定プローブからの 1 つ又は複数の測定場所は、既知であってもよく、又はロボット CMM アーム位置 / 向きとの制約された関係内で分かってもよい。測定場所の例には以下のものが含まれる。

- (a) 1 つの量測定の場所は、量測定プローブの先端にあり得る。
- (b) 1 つの量測定の場所は、量測定プローブの先端から未知の距離及び既知の向きにあり得る。
- (c) 1 つの量測定の場所は、量測定プローブの先端から既知の固定距離及び既知の向きにあり得る。
- (d) 1 つの量測定の場所は、量測定プローブの先端から測定された固定距離及び既知の向きにあり得る。
- (e) 複数の量測定を、投影面に沿って同時に行うことができ、各量測定は、量測定プローブの先端に対して既知の場所にある。
- (f) 複数の量測定を、投影領域において同時に行うことができ、各量測定は、量測定プローブの先端に対して既知の場所にある。
- (g) 複数の量測定を、投影領域において同時に行うことができ、各量測定は、量測定プローブの先端に対して既知の向き及び未知の距離にある。

複数の取り付けられたプローブ 90 は、ロボット CMM アーム座標系 363 に対して異なる測定場所を有することにより、測定プロセスが互いに干渉しないようにすることが好ま

10

20

30

40

50

しい。種々の測定場所は、余計な測定移動を最小にするように近くにあることが好ましい。複数の取り付けられたプローブ90は、ロボットCMMアーム座標系363に対して同じ向きを有して、移動経路計画をより単純にすることが好ましい。取り付けられたプローブ90が3つ以上ある場合、これらのプローブは、全ての測定が同一平面上で行われるように配置されることが好ましい。一点タイプではあるが異なる量を測定するプローブが複数取り付けられる場合、ロボットCMMアームの経路及び向きは、全ての測定の場所が互いに並んだ経路ではなく同じ経路に沿ってあるように決定されることが好ましい。一点タイプで同じ量を測定するプローブが複数取り付けられる場合、ロボットCMMアームの経路及び向きは、全ての測定の場所が互いに並んだ経路にあるように決定されることが好ましく、これにより、複数のほぼ平行な経路に沿って同時に測定を行うことにより、ロボットCMMアームの生産力をより高めることができる。

10

【0249】

量測定プローブの較正及び位置合わせ

量測定プローブ90は、主に量測定プローブの設計により決まる方法により、ロボットCMMアームの座標系に位置合わせされる。量測定プローブの供給業者が、ロボットCMMアーム座標系に対する既知のオフセット／向きでロボットCMMアームに単純に嵌めることができる、明確で十分に正確なプローブデータ配置に、何らかの方法で測定値を前較正することが好ましい。このオフセット／向きは、量測定プローブ較正ファイルとして供給される。較正ファイルの使用により、量測定プローブがロボットCMMアームの座標系に位置合わせされる。量測定プローブの供給業者がこのような前補正を行っていない場合、測定されている量に適した特別な較正治具を構成して、較正プロセスにおいてプローブをプローブデータに較正することができることが理解されるであろう。量測定プローブの供給業者がこのような前補正を提供していない場合、代替的に、測定されている量に適したアーチファクトを設けて、ロボットCMMアームに取り付けられた量測定プローブでアーチファクトの測定を十分な回数行うことを伴う当業者に既知の位置合わせプロセスにより、プローブ座標系をロボットCMMアームの座標系に位置合わせすることが理解されるであろう。

20

【0250】

次に図66の量測定のプロセスを参照する。

- 第1のステップ601において、物体が測定のためにロボットCMMアームのリーチ内にあるように、物体とロボットCMMアームとを互いに対して位置付ける。
- ステップ602において、量測定プローブをロボットCMMアームのプローブ端に取り付ける。
- ステップ603において、量測定プローブ座標系をロボットCMMアーム座標系に位置合わせする。
- ステップ604において、ロボットCMMアームを経路に沿って移動させ、量測定プローブで測定を行う。
- ステップ605において、量測定プローブからの測定値と、ロボットCMMアームからの位置／向きとを記憶する。

30

【0251】

本発明の範囲はこの量測定プロセスに限定されず、このプロセスは例として提供されるものである。

40

【0252】

モデリング

量測定データ及びロボットCMMアーム位置／場所データを取り、それらを組み合わせることで物体の量のモデルを作成する方法が開示される。この方法では、1つ又は複数の量を組み合わせることでモデルにするか、又は個別のモデルとして保持する。すでに開示したように、ロボットCMMアームに対する量測定のために、様々な確定又は不確定の場所があることが理解されるであろう。物体のCADモデルを取り、それを量測定データ及びロボットCMMアーム位置／場所データと組み合わせることで物体の量のモデルを作成する、さらなる方法

50

が開示される。このさらなる方法では、物体のＣＡＤモデルは、量測定データ及びロボットＣＭＭアーム位置／場所データを基準とする。このさらなる方法は、物体のＣＡＤモデルと対応させることにより事前に不確定だった場所を求めるのに適している。例えば、物体のＣＡＤモデルが表面定義を提供し、不確定な場所があるまま測定された量が表面量である場合、その量が物体のＣＡＤ表面と合うまで既知の向きで投射することにより、場所を求めることができる。概して、量は、色等の表面関連量であってもよく、又は溶接部の含有物又は接着部の傷の存在等の内部量であってもよい。

【０２５３】

次に図６７のモデリングのプロセスを参照する。

- 第１のステップ６１１において、時間及び空間の補間手段を用いて、事前に記憶されている量測定値及びロボットＣＭＭアーム場所／向きから、一組の特定位置（located）量測定データを準備する。

10

- ステップ６１２において、モデリング手段を用いて、特定位置量測定データ組を適当なデータ構造モデルに配置する。

- ステップ６１３において、組み合わせ手段を用いて、物体のＣＡＤモデルと特定位置量測定データ構造モデルとを組み合わせ、統合ＣＡＤ・量測定モデルを提供する。

本発明の範囲はこのモデリングプロセスに限定されず、このプロセスは例として提供されるものである。例えば、平坦なシートメタル等の単純な物体では、ステップ６１３を行う必要がない場合がある。さらなる例では、ＣＡＤモデルの代わりにモデルの外部形状を提供してもよい。

20

【０２５４】

分析及び可視化

分析を行って、統合ＣＡＤ・量測定モデルから分析されたデータを求めることができる。例えば、

（ａ）量の最大値及び／又は最小値とそれらの場所とを導出することができる。

（ｂ）値の範囲に従って量に色を割り当てることができ、量の色表示を物体の表面投影にレンダリングすることができる。

（ｃ）物体又は物体の複数領域にパス又はフェイル基準を設定することができ、パス又はフェイルは、その基準に従った量の測定値の分析により決定される。

（ｄ）測定された量の統計データが導出され、測定された量の個々のデータが分離され、これらは、傾向監視及び生産プロセス調整のために生産プロセスにフィードバックするために、生産制御システムに提供される。

30

【０２５５】

分析データ及び／又は統合ＣＡＤ・量測定モデルは、カラーコンピュータディスプレイ上に可視化されることが好ましい。多くの場合、量測定値及び／又は分析データは、ＣＡＤモデルの表面上又は３Ｄボクセルモデル内に表示される。量測定値及び／又は分析データは、没入型３Ｄ可視化技法を用いて可視化することができる。選択される可視化技法は、可視化すべき量が表面量であるか内部量であるかに応じて変わる。選択される可視化技法は、物体のＣＡＤモデル又は３Ｄ走査表面モデルのどちらが利用可能かに応じて変わる。モデルは、全てのタイプのレンダリング及び全てのタイプの３Ｄ表示を含む、当業者に既知の任意の技法又は装置を用いて可視化することができる。

40

【０２５６】

次に図６８の分析、可視化、及びフィードバックのプロセスを参照する。

- ステップ６２１において、分析手段を用いて、統合ＣＡＤ・量測定モデルを分析する。

- ステップ６２２において、分析データを出力する。

- ステップ６２３において、出力された分析データを可視化のために表示する。

- ステップ６２４において、生産プロセスへのフィードバックとして分析データを提供する。

【０２５７】

本発明の範囲は、この分析、可視化、及びフィードバックプロセスに限定されず、この

50

プロセスは例として提供されるものである。例えば、無人自動ラインでは、プロセスを時折目視観察するために表示端末が利用可能ではない場合、ステップ 6 2 3 は通常は含まれない場合がある。

【 0 2 5 8 】

[第 5 の実施形態]

移動式ロボット C M M アーム

この第 5 の実施形態では、移動式ロボット C M M アームの実施形態が開示される。現在、車両等の大きな物体は、2 つの一般的な方法、すなわち、移動ブリッジ C M M 若しくは対向水平アーム C M M 等、車両よりも大きな C M M を用いて、又は車両の周りを移動する測定リーチがより小さい可動機器によって測定される。大型の C M M は、特に自動である場合、多額の資本投資を必要とする。可動機器は、熟練した手作業が必要であり、人的ミスが生じやすい。

10

【 0 2 5 9 】

自動で、高精度で、柔軟性があり、且つ大型の C M M と比較してサイズが小さく安価な、車両等の大きな物体を測定する移動式ロボット C M M アームを提供することが、この第 5 の実施形態の目的の 1 つである。

【 0 2 6 0 】

次に図 6 9 を参照すると、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 が、側面図、端面図、及び下面図で示されている。移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 は、ロボット C M M アーム 1 が取り付けられる車両 7 0 1 から成る。ロボット C M M アーム 1 は、三脚ベース 7 0 4 にしっかりと取り付けられ、三脚ベース 7 0 4 からは、3 つのスパイク付き足 7 0 6 が足下げアクチュエータ (feet lowering actuators) 7 0 7 により下ろされる。スパイク付き足 7 0 6 が下降位置にある場合、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 の総重量は、スパイク付き足 7 0 6 により支持され、高精度測定を行うことができる。車両はさらに、4 つの車輪 7 0 2 と、バッテリー 7 0 5 と、自動充電 / 通信接点 7 1 0 と、車輪を駆動するモータ / ギヤボックスユニット 7 0 3 と、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 の手動設定及び制御のためのペンダント 1 5 3 が接続される制御ユニット 7 0 9 と、テープ追従 / 標的識別センサ 7 0 8 とを備える。次に図 7 0 を参照すると、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 が用いられる車両測定領域の通常の床配置図が示されている。移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 は、テープ 7 1 2 によってレイアウトされた車両 9 の周りのトラックを辿る。テープ 7 1 2 に沿って間隔を置いて、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 が停止して車両を測定すべき場所を示す標的 7 1 4 がある。各標的 7 1 4 は、固有のものであることが好ましく、その場所で用いるべき測定プログラム 3 8 9 を識別することができる。一連の基準円錐 7 1 3 が車両測定領域の床 7 1 8 に設けられ、そこから移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 がその位置を正確に参照することができる。充電 / 通信ステーション 7 1 1 が、電源 7 1 9 からバッテリー 7 0 5 を自動充電するため及び移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 の自動充電 / 通信接点 7 1 0 を介してコンピュータネットワーク 7 2 0 と通信するために設けられる。次に図 7 1 を参照すると、埋設基準円錐 7 1 5 が床 7 1 8 に永久的に位置付けられることができる。取り外し可能な基準円錐 7 1 6 は、床 7 1 8 に仮接着することができる。基準精度を高める必要がある場所には、隆起基準円錐 7 1 7 が設けられる。次に図 7 2 を参照すると、基準円錐 7 1 3 の 3 D 場所は、基準円錐位置配列 7 2 1 に記憶される。標的 7 1 4 の 3 D 場所は、標的位置配列 7 2 2 に記憶される。テープの 3 D ポリラインは、テープポリライン配列 7 2 3 に記憶される。

20

30

40

【 0 2 6 1 】

準備プロセス

基準円錐配列 7 2 1 内の基準円錐 7 1 3 それぞれの正確な場所は、Leica 製又は Faro Technologies 製の光学トラッカ等の高精度 3 D 測定デバイスを用いて測定される。テープポリライン配列 7 2 3 としてのテープ 7 1 2 の経路、及び標的位置配列 7 2 2 としての標的 7 1 4 の場所も測定される。基準円錐配列 7 2 1 は、グローバル座標系 4 6 1 を提供する。これらの測定は、毎年又はレイアウトの変更があるたびに実行するだけでよい。基準円

50

錐の配列 7 2 1、テープ経路の配列 7 2 3、及び標的場所の配列 7 2 2 は、プロセスのシミュレーションも提供することができるオフラインプログラミングシステムに提供される。オフラインプログラミングシステムを用いる作業者が、測定プログラム 3 8 9 を生成する。移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 のバッテリー 7 0 5 は、充電 / 通信ステーション 7 1 1 において充電される。測定プログラム 3 8 9 及び配列 7 2 1、7 2 2、7 2 3 は、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 の制御ユニット 7 0 9 にダウンロードされる。車両であり得る物体 9 は、測定プログラム 3 8 9 を生成するために用いられるプログラム位置に概ね移動される。物体 9 には通常、物体座標系 3 6 1 に対するデータム基準が設けられる。物体 9 の位置は、プログラム位置のわずかな誤差内に調整される。

【 0 2 6 2 】

10

次に図 7 3 の準備プロセスを参照する。

- 第 1 のステップ 7 3 1 において、基準円錐 7 1 3、標的 7 1 4、及びテープ 7 1 2 を測定し、配列 7 2 1、7 2 2、7 2 3 をオフラインプログラミングシステムに提供する。
- ステップ 7 3 2 において、オフラインプログラミングシステムを用いて、測定プログラム 3 8 9 を生成する。
- ステップ 7 3 3 において、バッテリー 7 0 5 を充電する。
- ステップ 7 3 4 において、測定プログラム 3 8 9 を移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 にダウンロードする。
- ステップ 7 3 5 において、物体 9 を概ねの位置に移動させて調整する。

【 0 2 6 3 】

20

このプロセスは、準備プロセスの一例であり、1つの可能な準備プロセスを説明することを意図するが、この実施形態はこの準備プロセスに限定されない。例えば、ステップ 7 3 3 のバッテリーの充電は、プロセスのいかなる時点で行ってもよい。

【 0 2 6 4 】

測定プロセス

作業 1 1 は、測定動作を開始する。移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 は、測定プログラム 3 8 9 を実行する。移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 は、テープ 7 1 2 を辿り、第 1 のプログラムされた標的 7 1 4 に進む。移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 は、停止すると、足下げアクチュエータ 7 0 7 を用いてそのスパイク付き足 7 0 6 を下ろす。移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 は、アームのリーチ内の全ての基準円錐 7 1 3 を測定することにより、グローバル座標系 4 6 1 を移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 の基準とする。標的に対する移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 の位置及び向きの再現性は、5 mm よりも良好であると思われる。基準円錐 7 1 3 の位置を測定するためのプログラムは、基準円錐を測定する前にまず測位する (locate) ための 5 mm を超える範囲内の探索ルーチンを含む。ローカル基準円錐 7 1 3 の位置を用いて、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 の座標系 3 6 3 は、グローバル座標系 4 6 1 を基準とする。移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 は、その場所に対して測定プログラム 3 8 9 を実行する。次に、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 はそのスパイク付き足 7 0 6 を上昇させて、次の場所へ進む。測定プログラム 3 8 9 が終了して、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 が充電 / 通信ステーション 7 1 1 に戻るまで、このプロセスを繰り返す。測定値は、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 から通信ネットワーク 7 2 0 を介して特定のコンピュータへアップロードされる。少なくとも 1 つの標的 7 1 4 の場所で、物体座標系 3 6 1 に対する物体 9 のデータム基準が測定される。これにより、物体座標系 3 6 1 とグローバル座標系 4 6 1 との間に基準が提供される。

30

40

【 0 2 6 5 】

次に図 7 4 の測定プロセスを参照する。

- 第 1 のステップ 7 1 4 において、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 を第 1 の標的へ移動させる。
- ステップ 7 4 2 において、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 を標的上で停止させ、スパイク付き足 7 0 6 を下ろす。

50

- ステップ 7 4 3 において、ローカル基準円錐 7 1 3 を測定することにより、ローカル基準円錐 7 1 3 を移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 の基準とする。
- ステップ 7 4 4 において、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 が、測定プログラム 3 8 9 に従って物体 9 を測定する。
- ステップ 7 4 5 において、スパイク付き足 7 0 6 を上昇させる。
- ステップ 7 4 6 において、プログラムが終了したかどうかを確認する。終了した場合はステップ 7 4 7 へ進む。終了していない場合はステップ 7 4 8 へ進む。
- ステップ 7 4 7 において、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 を次の標的へ移動させる。ステップ 7 4 2 へ進む。
- ステップ 7 4 8 において、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 を充電 / 通信ステーション 7 1 1 へ戻す。
- ステップ 7 4 9 において、測定値をアップロードする。

10

【 0 2 6 6 】

このプロセスは、測定プロセスの一例であり、1つの可能な測定プロセスを説明することを意図するが、この実施形態は、この準備プロセスに限定されない。例えば、測定プロセスの途中にバッテリーを充電する追加ステップが必要な場合がある。

【 0 2 6 7 】

自動ガイド車両の技術分野の当業者には理解されるように、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 は、この用途に必要な機能全てを提供する。例えば、車両 7 0 1 を操縦する車輪角度の自動操作が提供される。テープ追従及び標的認識のアルゴリズムが提供される。基準円錐の場所のマップが提供される。衝突可能性を検出する安全センサが設けられる。可視及び可聴警告システムが設けられる。

20

【 0 2 6 8 】

この第 5 の実施形態の範囲は、開示されている方法及び装置に限定されず、大きな物体の自動的、高精度、且つ柔軟な測定を移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 に提供する全ての方法を含む。例えば、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 は、3 つ、5 つ、又はより多くの車輪を有することができる。三脚ベース 7 0 4 は、4 つ以上のスパイク付き足を有していてもよく、足下げアクチュエータ 7 0 7 はこれらの足それぞれに一定の力を与えることができる。各車輪 7 0 2 は、独立して操縦されてもよい。テープ 7 1 2 及び標的 7 1 4 の代わりに、無線測位システム又は推測航法システムを用いてもよい。基準円錐 7 1 3 の代わりに、ツーリング球体、光学標的、又は任意の他の接触又は非接触基準アーチファクトを用いてもよい。複数の逆バッテリー 7 0 5 を設けてもよい。測定値の処理は、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 又はネットワーク上のコンピュータで行うことができる。車両 7 0 1 は、ロボット C M M アーム 1 及び三脚ベース 7 0 6 と組み合わせて 1 つの自立ユニットにしてもよく、又は車両が三脚ベース 7 0 6 上のロボット C M M アーム 1 を或る位置から別の位置へ牽引してから、測定プロセス中は引き下がっていてもよい。車両 7 0 1 は、バッテリー、永久的に取り付けられたケーブルを巡る電機、レールからの電気、燃料電池、及びガソリン等の可燃物質を含む、様々な動力源の 1 つ又は複数から駆動されて動作することができる。この第 5 の実施形態のさらなる実施形態では、キネマティックマウントが床 7 1 8 にしっかりと固定される。ロボット C M M アーム 1 は、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 により昇降させることができる。移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 は、テープ 7 1 2 を辿り、キネマティックマウントで停止する。ロボット C M M アーム 1 は、キネマティックマウントの上に下ろされる。自動ロック機構が、ロボット C M M アーム 1 を再現可能な位置及び向きに位置付けてロックする。これらのキネマティックマウントの位置の再現性は、10 ミクロンよりも良好である。120°の向きにある 3 つのシリンダ等、当業者に既知のキネマティックマウント方法を用いて、これが達成される。移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 の使用前に、Leica の光学トラッカ等の高精度 3 D 測定デバイスを用いて、床に固定されたキネマティックマウントそれぞれのロボット C M M アーム 1 の位置及び向きがマッピングされる。このように、ロボット C M M アーム 1 は、移動式ロボット C M M アーム 7 0 0 を用いるたびに各場所で基準円錐 7 1 3 を参照する必要なく

30

40

50

、既知のグローバル座標系 4 6 1 にある。

【 0 2 6 9 】

[第 6 の実施形態]

変位可能な外骨格を有するロボット C M M アーム

この第 6 の実施形態では、変位可能な外骨格を有するロボット C M M アームが開示される。ロボット C M M アームのロボットプログラムは、オフラインで生成されてもよく、又は一連のロボット移動をインタラクティブに教示することにより生成してもよいことは、すでに開示されている。ロボット C M M アームのプログラミング方法はいずれも、多くの物体に関して、手動 C M M アームでの物体の手動測定よりもかなり遅い。

【 0 2 7 0 】

外骨格を取り外して第 1 の物体が手動で測定され、さらなる同様の物体全てが外骨格を元に戻して自動的に測定されるように、変位可能な外骨格を有するロボット C M M アームを提供することが、この第 6 の実施形態の目的の 1 つである。

【 0 2 7 1 】

次に図 7 5 を参照すると、変位可能な外骨格を有するロボット C M M アーム 7 5 0 が、外骨格 6 を取り外すか又は後退させて、内部 C M M アーム 5 が手動で動作可能な状態で示されている。次に図 7 6 を参照すると、外骨格セグメント 3 4 3 は、外骨格 6 を変位させる際に C M M セグメント 3 3 3 を外骨格セグメント 3 4 3 から取り出すことができるように、スロットがフライス加工された管として設けられる。C M M セグメント 5 3 5 も同様に、外骨格セグメント 5 4 5 から取り出すことができ、C M M セグメント 8 3 8 も同様に、外骨格セグメント 8 4 8 から取り出すことができる。スロット付きの管は、必要な強度を与えるのに十分な肉厚を有する。次に図 7 7 を参照すると、外骨格セグメント 3 4 3 に取り付けられる伝達手段 3 7 3 は、上部軸受 7 5 1、下部軸受 7 5 2、ヒンジ 7 5 3、及び締結具 7 5 4 を備える割軸受アセンブリとして設けられて、締結具 7 5 4 を外すと C M M セグメント 3 3 3 を取り出すことができる。伝達手段 5 7 5 及び伝達手段 7 7 7 も同様に、割軸受アセンブリとして設けられる。

【 0 2 7 2 】

次に、図 7 8 の変位可能な外骨格を有するロボット C M M アーム 7 5 0 を用いた測定プロセスを参照する。

- ステップ 7 6 0 において、外骨格 6 を内部 C M M アーム 5 から変位させる。変位可能な外骨格を有するロボット C M M アーム 7 5 0 は、(a) 内部 C M M アーム 5 を外骨格 6 から容易に外すことができる、及び (b) 外骨格 6 が内部 C M M アーム 5 のさらなる手動での使用の邪魔にならない、適した空間レイアウトに自動的に移動させられる。伝達手段を手動で外す。内部 C M M アーム 5 を外骨格 6 から取り出す。任意選択的に、外骨格 6 を、例えばヒンジ手段によって内部 C M M アーム 5 から遠くに後退させてもよい。任意選択的に、外骨格 6 を、例えば機械的に外すこと及び電氣的にプラグを抜くによって、取り外してもよい。

- ステップ 7 6 1 において、内部 C M M アーム 5 を用いて物体 9 を手動で測定する。

- ステップ 7 6 2 において、外骨格 6 が後退しているか又は取り外されている場合、外骨格 6 を元に戻し、内部 C M M アーム 5 を外骨格 6 に入れて、伝達手段を締結する。

- ステップ 7 6 3 において、変位可能な外骨格を有するロボット C M M アーム 7 5 0 を用いて、1 つ又は複数の同様の物体 9 を自動的に測定する。

【 0 2 7 3 】

この第 6 の実施形態の範囲は、開示されている方法及び装置に限定されず、変位可能な外骨格を有するロボット C M M アーム 7 5 0 を提供する全ての方法を含む。外骨格の変位は、邪魔にならないような位置決め、取り外し、及び後退といった開示されている手段に限定されず、内部 C M M アームを手動で用いることができるように外骨格を変位させる任意の手段を含む。当業者には理解されるように、変位可能な外骨格を有するロボット C M M アーム 7 5 0 には、手動及び自動の両方で動作可能となるのに必要な全ての機能が設けられる。多くのユーザは、様々な測定すべき物体を有し、手動 C M M アームを用いた測定

10

20

30

40

50

が最も適している物体もあれば、ロボットＣＭＭアームを用いた測定が最も適している物体もある。１つ購入すれば、変位可能な外骨格を有するロボットＣＭＭアーム７５０は、ユーザに手動ＣＭＭアーム及びロボットＣＭＭアームの両方を提供する。変位可能な外骨格を有するロボットＣＭＭアーム７５０は、組み立て、試験、及び修理が容易であることによりさらなる利点を有する。

【０２７４】

[第７の実施形態]

結合ロボットＣＭＭアーム

この第７の実施形態では、結合ＣＭＭアーム及びロボット外骨格を備えるロボットＣＭＭアームを開示する。十分な継手を有するＣＭＭアームは、空間的冗長性を示し、プローブ端の所与の位置及び向きのおとんどで、アームの中間継手が有し得る一続きの異なる位置の組がある。中間継手が重力下又は慣性力下で加速しないようにしながらＣＭＭアームのプローブ端を操作するために、ＣＭＭアームは、少なくとも２つの位置、すなわち、プローブ端付近及び中間位置において、ロボット外骨格により支持されなければならない。次に、結合ロボットＣＭＭアームの特定の実施形態を開示する。次に図７９を参照すると、ＣＭＭアーム５及びロボット外骨格６は、互いに隣接して表面７上に取り付けられて、結合ロボットＣＭＭアーム７８０を形成する。ＣＭＭアーム５とロボット外骨格６とのベース間距離は、ＣＭＭアーム及びロボット外骨格のリーチ並びにその用途の要求にある程度応じて最適化される。ＣＭＭアームは、その最終セグメント３８にプローブ９０を担持する。ＣＭＭアーム５及びロボット外骨格６は、駆動ビーム７７１及び駆動直線軸７７９によって２つの場所で接続される。駆動ビーム７７１は、ロボットグリッパ７７０にしっかりと取り付けられ、ロボットグリッパ７７０がロボット外骨格継手７６７を軸に回転すると、駆動ビーム７７１が円形経路を描くようになっている。駆動ビーム７７１は、回転カラー７７２及び部分的に拘束された自在継手７７８によってＣＭＭセグメント７３７に取り付けられ、ロボット外骨格６がＣＭＭセグメント７３７の位置及び向きを制御できるようになっている。駆動直線軸７７９は、ロボット外骨格セグメント５４５とＣＭＭセグメント５３５との間に取り付けられる。駆動直線軸７７９は、回転カラー７７４及び自在継手７７６によってＣＭＭセグメント５３５に取り付けられる。駆動直線軸７７９は、回転カラー７７５及び自在継手７７７によってロボット外骨格セグメント５３５に取り付けられる。駆動直線軸７７９は、ロボット外骨格６の７つの駆動軸に加えて第８の駆動軸を構成する。駆動直線軸７７９は、当業者に既知の手段を用いたプログラム制御下で、長さを増減させることができる。駆動直線軸７７９の長さを増減させることにより、ＣＭＭ継手４５４におけるＣＭＭアーム５の肘及びそれに関連するセグメントの位置冗長性を抑制することができる。第９の駆動軸である駆動回転軸７７３が、ＣＭＭ継手７５７を駆動し、プローブ９０がＣＭＭセグメント８３８の軸を中心に回転することを可能にする。

【０２７５】

ロボット外骨格６をＣＭＭアーム５と結合して結合ロボットＣＭＭアーム７８０を提供することができる実施形態は、数多くある。この第７の実施形態の範囲は、この第７の実施形態で上記に開示されている結合ロボットＣＭＭアーム７８０に限定されず、伝達手段及び他の手段によるロボット外骨格６及びＣＭＭアーム５の全てのタイプの結合を含む。例えば、さらなる実施形態では、ＣＭＭアーム５及びロボット外骨格６は、３つ以上の場所で接続することができる。空間的冗長性を示すＣＭＭアーム５を有し、且つ中間継手の空間的向きが重要ではない別の実施形態では、ＣＭＭアーム５及びロボット外骨格６は、プローブ端でのみ接続することができる。空間的冗長性を示さないＣＭＭアーム５を有する別の実施形態では、ＣＭＭアーム５及びロボット外骨格６は、プローブ端でのみ接続することができる。

【０２７６】

[第８の実施形態]

外骨格を有する手動ＣＭＭアーム

通常の使用モードでの通常の手動ＣＭＭアームは、以下の力／モーメントの作用を受ける。

- 支持構造にしっかりと取り付けられたベース２から
- 支持構造にしっかりと取り付けられた物体と接触する接触プローブ９５から
- 人間の作業者の左手から
- 人間の作業者の右手から
- 手動ＣＭＭアーム全体に対する重力
- 釣り合いばね（counterbalance spring：カウンターバランススプリング）アタッチメントから

【０２７７】

10

手動ＣＭＭアームに作用して測定誤差につながるわずかな幾何学歪みを引き起こす力／モーメントを含む、測定のための堅牢性を低下させる手動ＣＭＭアームにおける測定誤差の原因は、数多くある。手動ＣＭＭアームの測定誤差の最も重大な原因のいくつかは、

- 原因１：手動ＣＭＭアームが偶発的に落下するか、又は硬い物体にぶつかることによる損傷。第１の損傷モードでは、深刻な損傷の場合、手動ＣＭＭアームを修理及び再校正のために製造業者に送り返す必要がある。第２の損傷モードでは、年月を経た打撃の蓄積が、手動ＣＭＭアームの継手を緩めて精度を低下させる傾向がある。

- 原因２：人間の作業者の左手及び右手から手動ＣＭＭアームに加えられる力及びモーメント。これらの力及びモーメントは、手動ＣＭＭアームの軸受及びセグメントを歪ませ得る。これらの力及びモーメントは、接触プローブ９５が物体又は支持構造と接触する場合に大きくなり得る。軸受及びセグメントの歪みのひどい事例は、ＣＭＭセグメント３ ３ ３～５ ３ ５が一行であり、作業者の手がＣＭＭセグメント３ ３ ３～５ ３ ５及びＣＭＭ継手３ ５ ３及び４ ５ ４にわたって曲げモーメントを加えることで、０．５ｍｍ程度の誤差が生じ得る。

20

- 原因３：内部加工ばね等の補償デバイス２ １ ０がＣＭＭ継手２ ２ ２に組み込まれている場合、ＣＭＭセグメント２ ３ ２とＣＭＭセグメント３ ３ ３との間のＣＭＭ継手２ ２ ２にかかるカウンターバランスモーメントは、セグメント３の垂直向きで約０Ｎｍから、セグメント３の水平向き約１０Ｎｍまでの通常の範囲で可変である。この可変モーメントは、２つの原因、すなわち、ＣＭＭ継手３ ３ ３に対するモーメント、及びＣＭＭ継手２ ５ ２の軸受にモーメントが加わることによる精度不良から、測定誤差を生じさせる。

30

- 原因４：作業者の手からの局所的な非対称熱移動。

- 原因５：手動ＣＭＭアームの有限回転軸がバンプストップに衝突することにより、手動ＣＭＭアームに対する衝撃が生じる。

- 原因６：手動ＣＭＭアームの有限回転軸がバンプストップに当たって曲がることにより、非常に大きい可能性がある曲げモーメントが手動ＣＭＭアームに対して生じる（軸２が１０Ｎｍを超えるトルクを受けることは珍しくない）。

- 原因７：手動ＣＭＭアームがストライププローブ９７を用いた走査等により移動して測定を行う場合、手動ＣＭＭアームの質量及び慣性が動的測定誤差を生じさせる。手動ＣＭＭアームの通常は１０ｋｇの質量の大部分が、再校正する必要なく誤操作に耐えることができる堅牢な手動ＣＭＭアームを形成する必要があることによるものである。

40

- 原因８：接触プローブ９５の先端の接触によりアームに加わる力。このように、かなりの量の手動ＣＭＭアームの重量が、接触プローブ９５に作用する。作業員１１が手動ＣＭＭアームに寄り掛かった場合、作業員の重量の一部も接触プローブ９５に作用し得る。

- 原因９：作業員により保持されている場合の光学プローブ９１に加わる力及びモーメント

- 原因１０：輸送中に加わる衝撃及び振動。多くの場合、輸送ケースの設計は、アームに望ましくない力及びモーメントを加える。

市場には何千もの手動ＣＭＭアームが出回っており、それらの精度は時代を経て高くなりつつある。新たなより高精度なアームにおける主なユーザの問題は、精度と堅牢性とのトレードオフである。手動ＣＭＭアームは、精度が高くなるほど堅牢性が低下する。製造元

50

の較正施設では高精度であるアームが、顧客への輸送中に、又は顧客が短期間使用した後で、精度が低下する場合がある。

【 0 2 7 8 】

この第 8 の実施形態では、これらの測定誤差の原因を劇的に減らすとともに、CMM が作業者により直接保持される同等の手動 CMM アームよりも高精度且つ高堅牢性であるという利点を有する、軽量の内部 CMM アーム及び外骨格を備え、外骨格が作業者により保持される、外骨格を有する手動 CMM アームが開示される。

【 0 2 7 9 】

次に図 8 0 A を参照すると、ケーブル 1 5 2 によりラップトップコンピュータ 1 5 1 に接続される、外骨格を有する手動 CMM アーム 8 0 0 を備える、外骨格を有する手動 CMM アームシステム 8 0 2 が提供される。外骨格を有する手動 CMM アーム 8 0 0 は、ベース端 2 及びプローブ端 3 を有する。外骨格を有する手動 CMM アーム 8 0 0 は、表面 7 に取り付けられる。プローブ 9 0 が、外骨格を有する手動 CMM アーム 8 0 0 のプローブ端 3 に取り付けられる。光学プローブ 9 1 も、外骨格を有する手動 CMM アーム 8 0 0 のプローブ端 3 付近に取り付けられる。作業者ボタン 1 8 3 が、プローブ端 3 に隣接して取り付けられる。外骨格を有する手動 CMM アーム 8 0 0 は、ベース 4、内部 CMM アーム 5、外骨格 8 0 1、外骨格継手 2 6 2 の補償デバイス 2 1 0、及び伝達手段 1 0 を備える。測定されている物体 9 は、表面 7 上に配置される。

【 0 2 8 0 】

外骨格 8 0 1 は軽量であり、伝達手段 1 0 は、内部 CMM アーム 5 に対する応力が最小になるように内部 CMM アーム 5 を支持する。外骨格 8 0 1 は、内部 CMM アーム 5 を保護する。外骨格 8 0 1 は、長いセグメント x x x、x x x の両方での通常は 0 . 1 ~ 5 m m のセグメント撓みに順応するが、セグメント撓みは 5 m m よりも大きくてもよく、又は 0 . 1 m m よりも小さくてもよい。外骨格 8 0 1 が曲がっても、その曲げは剛性の内部 CMM アーム 5 を支持する伝達手段 1 0 によるコンプライアンスにより受け止められる。他の実施形態では、外骨格 8 0 1 は硬質であってもよい。外骨格 8 0 1 は、炭素繊維又は剛性プラスチック等の丈夫で軽い材料でできているが、いかなる機能材料からできていてもよい。外骨格 8 0 1 は、内部 CMM アーム 5 を完全に保護するように内部 CMM アーム 5 を完全に囲むが、他の実施形態では、外骨格 8 0 1 は内部 CMM アーム 5 を部分的に囲むだけでもよい。外骨格 8 0 1 は、作業者により保持されるように人間工学的に設計される。内部 CMM アーム 5 は軽量である。外骨格 8 0 1 により保護されるため、内部 CMM アーム 5 は、使用時の酷使による荷重に耐えるのに十分な強度を有するように設計される必要がない。内部 CMM アーム 5 は、通常の使用及び乱暴な使用 (abusive usage) のための保護、環境シール、人間工学、電子工学、及び装飾といった、外骨格 8 0 1 が扱う機能に関連する余分な重量を含まない。これらの理由から、内部 CMM アーム 5 の単位長さあたりの重量はさらに軽くなる。

【 0 2 8 1 】

本発明の外骨格を有する CMM アームの、第 8 の実施形態の外骨格を有する手動 CMM アーム 8 0 0 は、内部 CMM アーム 5 に取り付けられる光学プローブ 9 1 とともに用いられる。外骨格 8 0 1 は、作業者 1 1 により保持される。光学プローブ 9 1 の設計は、作業者 1 1 により保持されないように外骨格 8 0 1 により保護されるようなものである。このように、作業者は内部 CMM アーム 5 又は光学プローブ 9 1 に応力を直接加えることができず、外骨格を有する手動 CMM アームシステム 8 0 2 は、外骨格を有さない同等の手動 CMM アーム 7 9 0 よりも高精度である。

【 0 2 8 2 】

代替的な一実施形態では、本発明の外骨格を有する手動 CMM アーム 8 0 0 は、内部 CMM アーム 5 に取り付けられる光学接触プローブ 9 0 とともに用いられる。外骨格 8 0 1 は、作業者 1 1 により保持される。このように、作業者は内部 CMM アーム 5 又は光学接触プローブ 9 0 に応力を直接加えることができず、外骨格を有する手動 CMM アームシステム 8 0 2 は、外骨格を有さない同等の手動 CMM アーム 7 9 0 よりも高精度である。

【 0 2 8 3 】

無線ボタンユニット

これまでは、外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 の制御用のボタンは、アーム上からアーム内に配線接続されていた。これにより、ボタンは 1 つ又は複数の固定された場所か、又は、せいぜい、第 7 の軸上若しくはスリッピングを有する回転ボタン上の回転する場所に制限される。外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 の制御に関する新規の一実施形態は、ユーザが制御ボタン 1 8 3 を配置するのに都合がよいと考えるいかなる場所にも、一体型無線ボタンユニット 8 1 4 を設けることである。無線ボタンユニット 8 1 4 は、1 つ又は複数のボタン 1 8 3 と送信機 8 1 5 とを備え、内蔵電池 8 1 6 により電力供給される。無線ボタンユニット 1 8 4 には、無線ボタンユニット用のシートを備えるキャリア 8 4 3 と、外骨格 6 に沿ったほぼすべての場所にキャリアを締め付ける 1 つ又は複数のマジックテープ (velcro strap: ベルクロストラップ) 8 4 4 とが設けられる。外骨格を有する手動 C M M アームシステム 8 0 2 に組み込まれるとともにベース 4 に組み付けられる無線受信機 8 4 7 が設けられる。無線受信機 8 4 7 のためのアンテナ 8 4 8 があってもよいが、なくてもよい。アンテナ 8 4 8 は、外部にあり、且つ / 又は取り外し可能であってもよく、そうでなくてもよい。さらなる一実施形態では、摺動・回転キャリア 8 4 5 が、外骨格 6 の長い円筒状セクションのそれぞれに設けられる。無線ボタンユニット 8 1 4 は、キャリア 8 4 3 又は摺動・回転キャリア 8 4 5 に単純且つ適合的に圧入され、任意の適合キャリアに迅速に位置付けることができるか、又はそこから取り外すことができるようにする。摺動・回転キャリア 8 4 5 は、それに対応する外骨格セクションから通常は取り外されない。摺動・回転キャリアは、単純なブレーキ / リリース制御部 8 4 6 を有する。ブレーキ位置では、摺動・回転キャリアは摺動も回転もできない。リリース位置では、作業者が摺動・回転キャリアを所望の位置に摺動又は回転させることができる。ブレーキ / リリース制御部 8 4 6 は、片手で操作することができる。ボタン 1 8 3 は、適当なシステムハードウェア及びソフトウェアによって、外骨格を有する手動 C M M アームシステム 8 0 2 の任意の機能を制御することができ、外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 がポインタとしての役割を果たし、且つボタン 1 8 3 が選択ボタンとしての役割を果たす場合、この機能にはユーザインタフェースポイント及び選択機能が含まれる。

【 0 2 8 4 】

バンプストップ

次に図 8 0 B を参照すると、外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 には、バンプストップ 8 1 8 が設けられ、バンプストップ 8 1 8 は、ベース端 2 が垂直上方に向いている場合に、継手中心 4 2 4 が最高位の継手中心であり、且つブローブ端 3 がベース 4 に向かって垂下する静止位置にアームが留まって、継手中心 2 2 2 よりも後方のアームのセグメントが重力の作用下で落下しないようにするためのものである。外骨格継手 2 6 2 にあるバンプストップ 8 1 8 は、外骨格継手 2 6 2 が外骨格継手 1 6 1 をわずかに超えた静止角度 R だけ垂直向きを超えた所で、静止部 (rest) を提供することにより、外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 の継手中心 2 2 2 よりも後方にある部分の重心が、継手中心 2 2 2 から上で垂直軸のバンプストップ側に位置するようにする。R の通常の値は 5 ° であるが、それより大きくても小さくてもよい。外骨格 8 0 2 がバンプストップ 8 1 8 に対して静止している場合、C M M 継手 2 5 2 はハードリミットに達するまでかなりの量を自由に回転する。外骨格 8 0 2 内で作用するバンプストップ 8 1 8 の利点は、外骨格 8 0 2 がバンプストップ 8 1 8 に強く押し当てられてバンプストップ 8 1 8 が接触又は曲げモーメントをもたらした場合に、内部 C M M アーム 5 が衝撃を受けないことである。これは、内部 C M M アーム 5 の設計をより軽量にすることができ、外骨格を有する C M M アーム 8 0 0 全体の堅牢性が高まることを意味する。さらに、バンプストップ 8 1 8 に隣接して配置されるか、又は代替的なてこ位置 (position of leverage) に配置される磁石 8 1 7 を、外骨格セグメント 2 4 2 と外骨格セグメント 3 4 3 との間に設けて、磁気吸引力を遮断して継手中心 2 2 2 を回転し始めるための大きな初期力を必要とすることができる。これは、アームが重力下で落下して損傷を受けるように垂直線を超えてア

ムに偶発的に打撃を与えることが、はるかに困難であることを意味する。代替的な一実施形態では、磁石 817 は、パンプストップ及び拘束用磁石という 2 つの目的を果たすことができる。

【0285】

測定誤差の特徴及び低減

外骨格を有する手動 CMM アーム 800 は、本発明において先に開示された手段の利益を含む複数の実施形態で提供され、これらの手段には、1 つ、2 つ、又はそれ以上の読み取りヘッド 186、CMM 温度センサ 180、CMM 歪みゲージ 181、スタンド 110、及び他の取り付け手段、プレストレス軸受、任意のタイプの光学プローブ、フォースプローブ 99 を含む任意のタイプの接触プローブ、任意の数のプローブ、同期化、能動伝達手段、アーム及びそれに取り付けられるプローブを含む機器のいずれか又は全てのためのバッテリー及びバッテリー充電手段、及び外骨格を有する手動 CMM アームシステム 802 が機能することを可能にする任意の設計のシステムアーキテクチャが含まれるが、これらに限定されない。

【0286】

この第 8 の実施形態の外骨格を有する手動 CMM アーム 800 は、以下のものを含む多くの方法で測定誤差の原因を減らす。

原因 1 の低減：外骨格を有する手動 CMM アーム 810 は、妥当な酷使レベルまでの打撃及び落下に耐えるように設計される。外骨格 801 は衝撃の大部分を吸収し、内部 CMM アーム 5 が外骨格 801 により保護され、全衝撃が伝達手段 10 のみを介して伝わる。落下した場合、最も可能性の高い衝撃点はプローブ 90 であり、測定誤差のこの原因を低減するためのさらなる手段は、本開示の以下で開示される。

原因 2 の低減：伝達手段 10 は、重力に抗する最適な支持力のみが外骨格を有する手動 CMM アームシステム 812 の内部 CMM アーム 5 に加わることを確実にする。このように、人間の作業員により加えられるトルクは、内部 CMM アーム 5 に加わることなく外骨格 801 により主に吸収される。これは、CMM セグメント 333、434 が一列であり、作業員の手が外骨格セグメント 343 ~ 545 及び外骨格継手 363 ~ 464 にわたって曲げモーメントを加え、続いてこれらが歪む際に、伝達手段 373 ~ 575 を介して CMM セグメント 333 ~ 535 及び CMM 継手 353 及び 454 にわたって大きな曲げモーメントを加えない場合を含む。それは、これらの伝達手段は、剛性が低く、且つ大きなモーメントを伝えることなく歪みを吸収するからである。

原因 3 の低減：補償デバイス 210 からのカウンターバランストルクは、内部 CMM アーム 5 に加わることなく外骨格 801 に加わる。これは、単純に支持されている CMM セグメント 333 の補償デバイス 210 からのモーメントがないことを意味する。CMM セグメント 333 の撓みは、CMM セグメント 333 にカウンターバランストルクが加わる対応する手動 CMM アームの撓みの約 1/30 である。カウンターバランストルクが CMM セグメント 333 に加わるこのような手動 CMM アームでは、より剛性が高く且つより重い CMM セグメント 333 が必要である。したがって、外骨格を有する手動 CMM アーム 810 は、CMM セグメント 333 にカウンターバランストルクが加わる手動 CMM アームよりも高性能且つ軽量である。

原因 4 の低減：作業員の手は、外骨格を保持するが内部 CMM アームは保持しない。外骨格は、内部 CMM アームから熱的に絶縁されることで、作業員の手を介した局所的な熱移動を著しく低減する。

原因 5 の低減：内部 CMM アームにパンプストップが必要ないように、外骨格にパンプストップがある。作業員が外骨格を有する手動 CMM アーム 810 を移動させ、これがパンプストップに衝突して外骨格 801 が急減速すると、伝達手段 10 が衝撃をさらにある程度吸収することで、内部 CMM アーム 5 の減速レベルを低減する。

原因 6 の低減：内部 CMM アームにパンプストップが必要ないように、外骨格にパンプストップがある。作業員が外骨格を有する手動 CMM アーム 810 を曲げてパンプストップに当たると、外骨格 801 が撓んで全曲げモーメントを吸収するため、内部 CMM アーム

10

20

30

40

50

5 は曲げモーメントを受けない。

原因 7 の低減：外骨格を有する手動 CMM アーム 810 の内部 CMM アーム 5 は、手動 CMM アーム よりもはるかに軽量にすることができる。これにより、その動的走査性能の測定誤差が低減する。

【0287】

プローブ及び光学プローブカバー

次に図 81 を参照すると、外骨格 801 のプローブ端にプローブカバー 803 が取り付けられる。プローブカバー 803 は、下降、変位可能、及び後退という 3 つの使用モードを有する。プローブカバーレバー 805 を用いて、3 つの使用モード間でプローブカバー 803 を移動させる。下降モードでは、プローブカバー 803 は偶発的な打撃の場合にプローブ 90 を保護する。下降モードは、輸送、新たな場所での組み立て、及び光学プローブ 91 の使用時の通常のモードである。変位可能モードでは、プローブカバー 803 はプローブ 90 が接触測定を実行することを可能にするように変位可能である。プローブカバー 803 は、プローブカバーばね 806 に抗して軸方向上方に変位するため、プローブ 90 を覆ってプローブ 90 を側方からの打撃から保護する位置に通常はある。プローブ 90 が物体 9 の上へ軸方向に下降されると、プローブカバーばね 806 が、外骨格を有する手動 CMM アーム 800 の重量の一部を受けることにより、補償器としての役割を果たす。後退モードでは、プローブカバー 803 は後退して、プローブ 90 を完全に露出させたままにする。プローブカバー 803 は、任意のタイプのプローブ 90、特に、取り外し可能なスタイラスを有するか又は有さないタッチトリガプローブ 92、取り外し可能なスタイラスを有するか又は有さないフォースプローブ 99、及び固定接触プローブ 95 を含む、適応しない (uncompliant) か又は脆弱なプローブ 90 とともに用いることができる。プローブカバー 803 は、ほとんどのエンジニアリング材料から作製することができるが、軽量且つ剛性の材料が好ましい。3 つのモード間での保持及び移動を快適にするために、ゴム等の軟質被覆が好ましいであろう。プローブカバー 803 は、プローブ 90 が透けて見えるように透明であってもよい。

原因 8 の低減：プローブカバー 803 は、以下のものを含む多くの方法で測定誤差のこの原因を低減する。下降モード、及び変位可能モードの多くの向きで、プローブカバー 803 は、外骨格 801 を介して外骨格を有する手動 CMM アーム 810 の重量を吸収し、プローブ 90 を打撃から保護する。変位可能モードで測定を行う場合、作業者が外骨格 810 にわずかな圧力を加えることにより、わずかな接触力下でプローブ 90 を物体 9 の表面と接触させる。理想的な接触重量は、10 ~ 30 g の範囲内である。Renishaw TP20 プローブがプローブ 90 として好ましいが、ほとんどのタッチトリガプローブ及び固定プローブを用いることができる。後退可能モードでは、測定誤差は低減しないが、後退したプローブカバー 803 は、外骨格を有する手動 CMM アーム 810 の十分なアクセス (full access) でアクセスしにくい領域の測定を可能にするという利点を有する。

【0288】

次に図 82A を参照すると、光学プローブカバー 804 が開示されている。光学プローブカバー 804 は、外骨格 801 に取り付けられ、光学プローブ 91 を保護するように配置される。光学プローブカバー 804 は、作業者 11 により保持されることができ、光学プローブ 91 に力もモーメントも伝達しない。光学プローブカバー 804 は、偶発的な打撃の場合に光学プローブ 91 を保護する。次に図 82B を参照すると、光学プローブカバー 804 は、作業者 11 による外骨格を有する手動 CMM アーム 800 の操作をより容易にすることができるように、ハンドルとしての第 2 の目的を果たす。光学プローブカバー 804 及びプローブカバー 803 の一方又は両方を、外骨格を有する手動 CMM アーム 800 に設けることができる。光学プローブカバー 804 は、以下のものを含む多くの方法で測定誤差の原因を低減する。

原因 9 の低減：光学プローブカバー 804 は、外骨格を有する手動 CMM アーム 810 の重量を吸収し、作業者により操作されることができる。光学プローブ 91 は、作業者が光学プローブカバー 804 を操作する際に力もモーメントも受けない。

【 0 2 8 9 】

部分外骨格

この第 8 の実施形態のさらなる実施形態では、外骨格 8 0 2 は、C M M セグメントよりも少ない外骨格セグメントを有する部分外骨格であってもよい。次に図 8 3 A を参照すると、3 つの外骨格セグメント 1 4 1 ~ 3 4 3 と 2 つの外骨格継手 1 6 1 及び 2 6 2 とを備える、部分外骨格 8 0 7 が設けられる。この部分外骨格 8 0 7 は、外骨格継手 2 6 2 に、機械加工ばねであることが好ましく且つ部分外骨格 8 0 7 の筐体内に收容される補償デバイス 2 1 0 を有する。これは、外骨格が部分外骨格 8 0 7 である外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 が、カウンターバランスを利用したアームの有用性と、下部セグメントの周りの単一筐体の可搬性の利点とを有し、補償デバイスが C M M セグメント 1 3 1 ~ 3 3 又は C M M 継手 1 5 1 又は 2 5 2 のいずれにもモーメントを加えないことにより、精度の利点と、C M M セグメント 1 3 1 ~ 3 3 の周りにすっきりとコンパクトに嵌まるという美的利点とが得られることを意味する。部分外骨格は、部分外骨格 8 0 7 に限定されず、部分外骨格 8 0 7 よりも少ないセグメント及び / 又は継手、又は多いセグメント及び / 又は継手を備えていてもよい。次に図 8 3 B を参照すると、4 つの外骨格セグメント 1 4 1 ~ 4 4 4 と 2 つの外骨格継手 1 6 1 ~ 3 6 3 とを備える、延長部分外骨格 8 0 8 が設けられる。延長部分外骨格 8 0 8 は、部分外骨格 8 0 7 よりも C M M 継手 4 5 4 の近くで内部 C M M アーム 5 を支持する。これは、延長部分外骨格 8 0 8 では、部分外骨格 8 0 7 の場合よりも C M M セグメント 4 3 4 に対する曲げモーメントが小さく、延長部分外骨格 8 0 8 が肘ですっきりと終端するという美的利点があることを意味する。外骨格継手 3 6 3 は、C M M 継手 3 5 3 とほぼ同じ継手位置を有する。代替的に、外骨格継手 3 6 3 は、肘の近くに設けられて、軸受として伝達手段 4 7 4 と組み合わせられてもよい。しかしながら、C M M 継手 4 5 4 は打撃に曝される。次に図 8 3 C を参照すると、5 つの外骨格セグメント 1 4 1 ~ 5 4 5 と 4 つの外骨格継手 1 6 1 ~ 4 6 4 とを備える、好ましい部分外骨格の一実施形態である保護延長部分外骨格 8 0 9 が設けられる。外骨格セグメント 5 4 5 は、肘を覆う短いセグメントであり、衝撃吸収要素としてバンパ 8 1 9 を收容する。保護延長部分外骨格 8 0 9 は、延長部分外骨格 8 0 8 と同じ C M M 継手 4 5 4 に近い場所で、伝達手段 4 7 4 を介して内部 C M M アーム 5 を支持する。短い外骨格セグメント 5 4 5 は、外骨格継手 4 6 4 を中心に回転する。伝達手段 5 7 5 は、C M M セグメント 5 3 5 に対するいかなる曲げモーメントも最小にするために設けられる。これは、短い外骨格セグメント 5 4 5 及び特にバンパ 8 1 9 が、使用中の打撃、作業者の手からの熱移動、及び肘からの落下等の手荒な使用から、C M M 継手 4 5 4 を保護することを示す。この実施形態の部分外骨格は、開示されている実施形態に限定されず、外骨格 6 の継手及びセグメントの数が内部 C M M アーム 5 の継手及びセグメントの数よりも少ない任意の構成を含むことができる。例えば、部分外骨格は、外骨格セグメント 1 ~ 5 と、外骨格軸受 1 ~ 5 と、肘 C M M 継手 4 の前方及び手首の前方に配置される 2 つの伝達手段 1 0 とを備えていてもよい。C M M 継手 6。このような構成は、外骨格 6 を保持している場合は常に内部 C M M アーム 5 の長さの大部分に対する荷重が再現可能であるように、2 つの長い C M M セグメントを単純に支持するという利点を有する。

【 0 2 9 0 】

継手配分

従来の手動 C M M アームでは、C M M 継手 3 5 3 が C M M 継手 2 5 2 に隣接してではなく C M M 継手 4 5 4 に隣接して設けられるため、作業者が回転するセグメントを保持するという不都合がない。同様に、C M M 継手 5 5 5 は、C M M 継手 4 5 4 に隣接してではなく C M M 継手 6 5 6 に隣接して設けられる。肩 - 肘 - 手首それぞれにおける C M M 継手配分の、従来の手動継手 C M M アームの C M M 継手レイアウトは、6 軸アームでは 2 - 2 - 2 であり、7 軸アームでは 2 - 2 - 3 である。手動 C M M アームのいかなる設計においても、プローブ端よりもベースの近くに質量を移動させることに利点がある。これは、ユーザにとってアームが軽く感じられ、ユーザの疲労が少なくなることを意味する

。各継手には、少なくとも軸受及びエンコーダからの質量がある。外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００、又は部分外骨格８０７、延長部分外骨格８０８、又は保護延長部分外骨格８０９、又は任意の他のタイプの部分外骨格を有するその代替的な実施形態では、図８３Ｃに示すように、ＣＭＭ継手３５３は、ＣＭＭ継手４５４に隣接してではなくＣＭＭ継手２５２に隣接して設けることができる。肩・肘・手首それぞれにおけるＣＭＭ継手配分は、６軸アームでは３－１－２であり、７軸アームでは３－１－３である。外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００では、ＣＭＭ継手５５５は、ＣＭＭ継手４５４に隣接してではなくＣＭＭ継手２５２に隣接して設けることができる。これは、肩・肘・手首それぞれにおけるＣＭＭ継手配分が、６軸アームでは３－２－１であり、７軸アームでは３－２－２であることを意味する。同じアームで、肩・肘・手首それぞれにおける外骨格継手配分は、６軸アームで２－２－２であり、７軸アームで２－２－３である。これは、ＣＭＭ継手配分が外骨格継手配分と異なることを意味し、使用時により軽く感じる外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００の利点を提供する。この実施形態の外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００、及び部分外骨格８０７、延長部分外骨格８０８、又は保護延長部分外骨格８０９、又は任意の他のタイプの部分外骨格を有する実施形態には、移動セグメントごとに１つの伝達手段を設けてもよく、又は移動セグメントごとに伝達手段を設けないか若しくは移動セグメントごとに２つ以上の伝達手段を設けてもよい。

10

【０２９１】

測定方法及び走査方法

硬質の接触プローブ９５がプローブ端３に取り付けられた外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００を用いて、作業者が内部ＣＭＭアーム５又は接触プローブ９５を保持する必要なく手動接触測定を行うための、測定方法が提供される。次に図８３Ｄを参照すると、第１のステップ８８１において、作業者は、外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００の外骨格８０１を把持し、接触プローブ９５が物体９の所望の場所に接触するように移動させる。ステップ８８２において、作業者は作業ボタン１８３を押して測定をトリガする。ステップ８８３において、外骨格を有する手動ＣＭＭアームシステム８０２は、ボタントリガ信号に応答し、接触プローブ９５の位置及び／又は向きを生成する。

20

【０２９２】

フォースプローブ９９がプローブ端３に取り付けられた外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００を用いて、作業者が内部ＣＭＭアーム５又はフォースプローブ９９を保持する必要なく自動接触測定を行うための、測定方法が提供される。次に図８３Ｅを参照すると、第１のステップ８９１において、作業者は、外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００の外骨格８０１を把持し、フォースプローブ９９が物体９の所望の場所に接触するように移動させる。ステップ８９２において、フォースプローブ９９はステップ８８１の接触を検知し、外骨格を有する手動ＣＭＭアームシステム８０２を自動的にトリガする。ステップ８９３において、外骨格を有する手動ＣＭＭアームシステム８０２は、信号に応答し、フォースプローブ９９の位置及び／又は向きを生成する。この方法は、フォースプローブ９９の代わりにタクトリガプローブ９２を用いる場合にも適用可能である。この方法のさらなる利点は、作業者が或る点の測定を行うためにボタンを押す必要がないことである。

30

【０２９３】

光学プローブ９１がプローブ端３に取り付けられた外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００を用いた、作業者が内部ＣＭＭアーム５又は光学プローブ９１を保持する必要のない、非接触走査方法が提供される。次に図８３Ｆを参照すると、第１のステップ９０１において、作業者は外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００の外骨格８０１を把持し、物体９の表面の所望の領域が光学プローブ９１の測定範囲内にくるように移動させる。ステップ９０２において、作業者は、外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００の作業ボタン１８３を押す。ステップ９０３において、外骨格を有する手動ＣＭＭアームシステム８０２は、信号に応答して走査を開始する。ステップ９０４において、作業者は、物体９の表面が光学プローブ９１の測定範囲内にあるように、外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００を物体９に対して移動させる。ステップ９０５において、作業者は外骨格を有する手動Ｃ

40

50

Mアーム 800 の作業ボタン 183 を押す。ステップ 906 において、外骨格を有する手動 CMM アームシステム 802 が信号に応答して走査を停止する。

【0294】

Renishaw MSP-3 等の自動走査機能を有するフォースプローブ 99 がプローブ端 3 に取り付けられた外骨格を有する手動 CMM アーム 800 を用いた、作業者が内部 CMM アーム 5 又はフォースプローブ 99 を保持する必要のない、接触走査方法が提供される。次に図 83G を参照すると、第 1 のステップ 911 において、作業者は外骨格を有する手動 CMM アーム 800 の外骨格 801 を把持し、フォースプローブ 99 が物体 9 の所望の場所に接触するように移動させ、最短時間 T の間接触させたままにする。ステップ 912 において、フォースプローブ 99 は、最短時間 T よりも長い間のステップ 911 の接触を検知すると、自動的に走査を開始する。ステップ 913 において、作業者は、フォースプローブ 99 が走査の継続中は物体 9 の表面と接触したままであるように、外骨格を有する手動 CMM アーム 800 を物体 9 に対して移動させる。ステップ 914 において、作業者は、フォースプローブ 99 が物体 9 の表面と接触しなくなるように、外骨格を有する手動 CMM アーム 800 を物体 9 から離す。ステップ 915 において、フォースプローブ 99 は、ステップ 914 の接触がなくなったことを検知すると、自動的に走査を停止する。この方法のさらなる利点は、作業者が走査プロセス中にボタンを押す必要がないことである。

10

【0295】

手動 CMM アームの自動校正

20

校正プロセスから人的ミスをなくし、自動化に関連する再現性及び費用削減等の利点を提供するように、手動 CMM アームの自動校正のための新規のロボット校正装置が提供される。

【0296】

新規のロボット校正装置のモジュラー実施形態では、駆動ユニットが外骨格を有する手動 CMM アーム 800 に仮嵌めされる。次に図 83H を参照すると、モジュラーロボット校正リグ 920 が、7 つのケーブル 922 で制御ボックス 159 に接続される駆動ユニットモジュール 921 を備える。駆動ユニットモジュール 921 は、クイックフィット (quick-fit) プロセスで外骨格を有する手動 CMM アーム 800 に組み付けられる。駆動ユニットモジュール 921 は、内部 CMM アーム 5 に力及びモーメントが加わらないように、外骨格 801 を駆動する。外骨格 801 の各継手には、少なくとも 2 つの締め付けフランジ 923 が設けられ、継手に隣接して各セグメントに 1 つのフランジ 923 が取り付けられ、駆動ユニットモジュール 921 からのトルクを隣接する外骨格セグメントを介して受け取るとともに分配することが可能である。外骨格を有する手動 CMM アーム 800 とモジュラーロボット校正リグ 920 との組み合わせは、事実上、ロボット CMM アーム 1 の仮の実施形態である。好ましい軸の数は、6 つ又は 7 つであるが、いかなる数の軸を設けてもよい。外骨格を有する手動 CMM アーム 800 及びモジュラーロボット校正リグ 920 の組み合わせは、ロボット CMM アーム 1 の校正に関して先に開示したもの等の校正プロセスを自動的に実行することができる。

30

【0297】

新規のロボット校正装置の代替的な仮の実施形態のロボット CMM アームでは、内部 CMM アーム 5 が、内部 CMM アーム 5 を自動校正するための自動ドライブを有する外骨格 6 により操作される。このように、この装置は、校正のための仮のロボット CMM アーム 1 である。

40

【0298】

新規のロボット校正装置の上記の実施形態のいずれかを用いて、外骨格を有する手動 CMM アーム 800 を校正する方法が提供される。任意選択的な第 1 のステップにおいて、手動外骨格 6 が内部 CMM アーム 5 から取り外される。このステップは、内部 CMM アーム 5 が製造されたばかりであり、手動外骨格 6 がまだ嵌められていない場合には必要ない。第 2 のステップでは、ロボット外骨格 6 が内部 CMM アーム 5 に取り付けられる。取り

50

付けは、「被覆」、「ソックス」、又は「挿入」等の開示されているプロセス、又は任意の他の取り付けプロセスのいずれかにより行うことができる。第3のステップにおいて、先に開示された方法のいずれかにより、較正が自動的に行われる。第4のステップにおいて、ロボット外骨格6が較正された内部ＣＭＭアーム5から取り外される。第4のステップにおいて、手動外骨格6が較正された内部ＣＭＭアーム5に取り付けられて、外骨格を有する較正された手動ＣＭＭアーム800ができる。取り付けは、「被覆」、「ソックス」、又は「挿入」等の開示されているプロセス、又は任意の他の取り付けプロセスのいずれかにより行うことができる。

【0299】

新規のロボット較正装置の好ましい外部実施形態では、手動ＣＭＭアームがロボット外骨格で被覆される。次に図83Iを参照すると、外骨格ロボット較正リグ930が、外骨格を有する手動ＣＭＭアーム800と、外骨格を有する手動ＣＭＭアーム800の既存の外骨格6をさらなる伝達手段10を介して支持するロボット外骨格6とを備える。ロボット外骨格6は、ケーブル922で制御ボックス159に接続される。この実施形態の目立った特徴は、内部ＣＭＭアーム5が2つの外骨格、中間手動外骨格6及び外部ロボット外骨格6を有することである。この実施形態では、外骨格を有する手動ＣＭＭアーム800を支持するのに必要なロボット伝達手段は比較的少数であるが、これは、手動外骨格6がすでに内部ＣＭＭアーム5を最適に支持しており、ロボット伝達手段は、外骨格を有する6軸又は7軸手動ＣＭＭアーム800を任意の向きに移動させるために、それを最低2つの位置で保持すればよいだけだからである。すでに説明したように、駆動システムの嵩高を減らすために、最低3つ又は4つの位置が好ましい。

【0300】

外骨格を有する手動ＣＭＭアーム800とロボット外骨格6との組み合わせは、さらなる軸、さらなるアーチファクト、多数の測定点、及び多数の空間的向きを含み得るロボットＣＭＭアーム1の第1の実施形態を較正するために、先に開示したもの等の較正プロセスを自動的に実行することができる。新規のロボット較正装置のこの統合実施形態は、従来の外骨格を有さない手動ＣＭＭアーム790を較正するために用いることもできる。

【0301】

新規のロボット較正装置の代替的な複合(hybrid)実施形態では、新規のロボット較正装置は、一部ロボット(part-robot)外骨格及び一部モジュール(part module)駆動ユニットを備え、部分外骨格807、延長部分外骨格808、又は保護延長部分外骨格809を有する手動ＣＭＭアームを自動較正するために設けられる。外骨格がある下方の継手は駆動ユニットモジュール921により駆動され、外骨格のない上方の継手は部分外骨格6により駆動される。

【0302】

手動ＣＭＭアームを分解する必要なく、新規のロボット較正装置の上記の実施形態のいずれかを用いて手動ＣＭＭアームを較正するさらなる方法が提供される。このさらなる方法は、外骨格を有する手動ＣＭＭアーム800、外骨格を有さない従来の手動ＣＭＭアーム790、部分外骨格807を有する手動ＣＭＭアーム、延長部分外骨格808を有する手動ＣＭＭアーム、及び保護延長部分外骨格809を有する手動ＣＭＭアームのいずれかを較正するために適用可能である。第1のステップにおいて、駆動装置が手動ＣＭＭアームに取り付けられる。取り付けは、「モジュール取り付け」、「被覆」、「ソックス」、又は「挿入」等の開示されているプロセス、又は任意の他の取り付けプロセスのいずれか又は任意の組み合わせにより行うことができる。第2のステップにおいて、先に開示した方法のいずれかにより、較正が自動的に行われる。第3のステップにおいて、駆動装置が較正された手動ＣＭＭアームから取り外される。このさらなる方法は、手動ＣＭＭアームの分解及び組み立てのステップを必要としないという利点を有する。

【0303】

新規のロボット較正装置の上記の実施形態のいずれかを用いて外骨格を有する手動ＣＭＭアーム800又は内部ＣＭＭアーム5を自動較正する利点は、

- 駆動装置の取り付け及び取り外し以外の手作業がない。これにより費用が削減される。
- 人的ミスがない。これにより精度が高まる。
- 1秒あたりの較正点の取り込み速度が高まる。
- 人間の作業者が疲労する一方で、ロボットにより駆動される装置は疲労することなく動作することができるため、較正プロセスを、同等の手動プロセスの場合よりも長期間行うことができる。
- 同等の手動プロセスの場合よりもはるかに多くの較正点を取ることができる。これにより精度が高まる。

【0304】

いかなる場合も、外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００又は外骨格を有さない手動ＣＭＭアーム７９０は、自動較正のための装置を取り付ける必要性を考慮に入れて設計する必要がある。特に、内部ＣＭＭアーム５は、手動外骨格５を有するかロボット外骨格６を有するかに関係なく、高精度に較正されるように、十分な堅牢性を有する必要がある。内部ＣＭＭアーム５は、手動外骨格６及びロボット外骨格６の両方で同じ場所及びタイプの伝達手段１０で支持されることが好ましい。本発明は、説明した実施形態に限定されず、較正のための手動ＣＭＭアーム又は内部ＣＭＭアームの自動操作の方法全てを含む。

【0305】

輸送ケース

外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００は、可搬式であるため、輸送ケースに入れて輸送されることが多い。内部ＣＭＭアーム５を輸送ケースと直接接続するのは、ベース４だけである。他の全ての場所で、内部ＣＭＭアーム５は、雑音及び振動を吸収するように設計される伝達手段１０によって衝撃及び振動から絶縁される。外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００の質量の大部分が、高密度ベース４にあり、輸送ケースの発泡体との接触表面積は小さい。外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００の接触表面積の大部分が、外骨格８０１の表面であり、この表面に対応する質量及び体積はベースと比較して小さい（low density）。輸送ケースと外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００との間で加速度の差がある衝撃状況では、外骨格８０１の表面付近では衝撃からの力密度が低く、ベース４の表面付近では衝撃からの力密度が高い。衝撃からの力密度は、外骨格８０１の表面よりもベース４の表面付近の方が約５～１００倍の高さであり得る。衝撃を受けている間、ベース４付近の発泡体は、外骨格８０１の表面付近の発泡体の５～１００倍圧縮し得る。この圧縮比は、衝撃力の各方向でのベース４及び外骨格８０１の種々の質量対表面積比に関係する。ベース４及び外骨格８０１には２つの異なる減速度がある。２つの異なる減速度により、外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００の内部で衝撃力及びモーメントが生じ、これが外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００に損傷を与え得る。輸送ケースがその端から落下する場合等、輸送ケースが長手方向下方に向かって衝撃を受け、外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００のベース４が外骨格継手４６４よりも高い位置にある状況では、ベース４の質量が加速し、ベース４と外骨格継手４６４との間の外骨格セグメント２３２～４３４に対する大きな圧縮力を生み出す。輸送ケースがそのベースから落下する場合等、輸送ケースが横方向に衝撃を受け、外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００がほぼ水平である場合、ベース４の質量が外骨格８０１よりもさらに下方に変位し、ベース４が外骨格セグメント２３２とつながった後の領域で、外骨格セグメント２３２～３３３に大きな曲げモーメントを生み出す。

【0306】

次に図８４を参照すると、輸送中に内部ＣＭＭアーム５が受ける衝撃及び振動を減らす、外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００のための輸送ケース８３０が開示される。輸送ケース８３０は、輸送ケース８３０の長辺に沿って上半分と下半分とがヒンジ８３６により取り付けられている。輸送ケース８３０には、発泡体等の梱包材８３１が充填される。梱包材８３１には２つのアーム用切抜部８３７がある。アーム用切抜部８３７はアームに正確に対応し（precise）、梱包材８３１は外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００と接触し、梱包材８３１内の切欠部８３２以外は空隙がない。本発明のこの実施形態では、梱包

10

20

30

40

50

材 8 3 1 との著しく大きな接触表面積を必要な方向に提供する、軽量且つ剛性のスプレッド発泡体 (Spreader form) 8 3 3 が設けられる。外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 のベース 4 は、外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 を輸送ケース 8 3 0 に入れる前、入れている間、又は入れた後に、ボルト 8 3 8 等の固定具によってスプレッド発泡体 8 3 3 に取り付けられる。スプレッド発泡体 8 3 3 は、全方向に梱包材 8 3 1 と接触する大きな表面積を有する。好ましい一実施形態では、スプレッド発泡体 8 3 3 の表面積は、主に 3 つの直交面に配置される。どの方向のスプレッド発泡体 8 3 3 の表面積も、梱包材 8 3 1 の異なる局部撓みから生じる、外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 に損傷を与える力及びモーメントを最小にするように全体が最適化される。どの方向のスプレッド発泡体 8 3 3 の面積の中心も、外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 のベース 4 の質量中心 C g をほぼ通過する。これは、ベース 4 の質量中心 C g とスプレッド発泡体 8 3 3 の面積の中心とが大きくずれているため、衝撃下では、ベースにほとんど又は全く回転慣性が生じないことを意味する。スプレッド発泡体 8 3 3 の代替的な実施形態では、(a) 梱包材 8 3 1 の異なる局部撓みを最小にする場合、及び (b) どの方向のスプレッド発泡体 8 3 3 の面積の中心もベース 4 の質量 C g の中心をほぼ通過する場合、他の形状のスプレッド発泡体 8 3 3 を用いることができる。このように、輸送ケース 8 3 0 に対する衝撃の方向ごとの力密度 (directional force density) は、しっかりと取り付けられたスプレッド板 8 3 3 / ベース 4 及び外骨格 8 0 1 で同じである。ブローブ端 3 の周りの支持領域では、梱包材 8 3 1 は、C M M セグメント 8 3 8、ブローブ端 3、又はブローブ 9 0 のいずれも梱包材 8 3 1 と接触しないように切り取られ得る。これは、C M M セグメント 8 3 8、ブローブ端 3、及びブローブ 9 0 が、元の位置にある場合に伝達手段 1 0 により支持されるからである。外骨格 8 0 1 と接触させない梱包材 8 3 1 の切欠部 8 3 2 を 1 つ又は複数の場所に設けることにより、さらなる最適化を行うことができる。任意選択的に、梱包材 8 3 1 の本体よりも弾性が低い外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 と接触する場所に、局部的に大量な弾性が低い梱包材 8 3 4 を設けてもよい。任意選択的に、梱包材 8 3 1 の本体よりも弾性が高い外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 と接触する場所に、局部的に大量な弾性が高い梱包材 8 3 5 を設けてもよい。衝撃条件下での慣性をモデリングするための 3 D C A D 解析ソフトウェアを当業者が用いて、スプレッド板 8 3 3、切欠部 8 3 2、局部的に大量な弾性が低い梱包材 8 3 4、及び局部的に大量な弾性が高い梱包材 8 3 5 の 1 つ又は複数の組み合わせを最適化することができる。輸送ケース 8 3 0 のサイズを最小にするために、外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 の 2 つの長いセグメントは、外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 が輸送ケース 8 3 0 内にある際には平行又はほぼ平行となる。スプレッド発泡体 8 3 3、切欠部 8 3 2、局部的に大量な弾性が低い梱包材 8 3 4、及び局部的に大量な弾性が高い梱包材 8 3 5 の形状及び位置は、長手方向及び横方向の衝撃の状況に合わせて最適化される。輸送ケース 8 3 0 の外部シェル 8 3 9 は、超高分子量ポリエチレン等の適当な材料でできており、衝撃及び振動を吸収するためにリブ等の形状特徴が設けられる。形状全体は、6 つの直交側面があるものに限定されず、任意の数の側面又は複雑な湾曲形状を有する側面を有することができる。シェル 8 3 9 のサイズ及び形状は、輸送ケース 8 3 0 内の外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 の場所及びレイアウトとともに、任意の点におけるシェル 8 3 9 と外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 との間の距離を画定する。シェル 8 3 9 のサイズ及び形状は、全方向での衝撃に対して梱包材 8 3 1 の撓みを一致させるように最適化される。水分が入らないように、さねはぎ縁部及びネオプレンガスケット等の手段が設けられる。強力ラッチ (heavy duty latches) が設けられる。

原因 1 0 の低減：輸送ケース 8 3 0 は、輸送中の輸送ケース 8 3 0 に対する衝撃から生じる外骨格を有する手動 C M M アーム 8 0 0 に対する力及びモーメントを、衝撃中に均一な力密度を達成することにより、大幅に低減する。

【 0 3 0 7 】

[第 9 の実施形態]

保持外骨格を有する手動 C M M アーム

外骨格を有する手動ＣＭＭアームのさらなる実施形態では、保持手段８１１が設けられる。次に図８５を参照すると、保持外骨格を有する手動ＣＭＭアームシステム８１２が、保持外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８１０の外骨格継手１６１～４６４に設けられるブレーキ８１１等の保持手段を有する。保持手段は、ディスク８１３上で動作する電磁ブレーキであるブレーキ８１１であることが好ましいが、保持手段は、

- 手動操作可能な機械接続部、
- 力作動式機械接続部、
- 電磁力、空気力、及び油圧力を含む任意の力を利用するブレーキ、
- 電磁力、空気力、及び油圧力を含む任意の力を利用するクラッチ

を含む任意の手段により、アームを保持することができる。ブレーキ８１１は、外骨格継手が静止している場合に作動させることができる。代替的にブレーキ８１１は、外骨格継手が移動している場合に作動させることができ、それから外骨格継手が静止するまで制動し、外骨格は静止した点で保持される。ブレーキ８１１が適用される外骨格継手は、外骨格継手１６１～４６４よりも多くても少なくてもよい。ブレーキ８１１は、外骨格８０１に適用され、内部ＣＭＭアーム５には適用されない。これは、内部ＣＭＭアーム５の継手には、ブレーキ８１１の適用によりモーメントが生じることがなく、保持外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８１０が、保持手段を有するが外骨格８０１を有さない同等の手動ＣＭＭアームよりも高精度であることを意味する。ブレーキ８１１は、作業者がスイッチを用いて有線送信又は遠隔無線送信することにより、起動することができる。異なるスイッチで異なるブレーキ８１１の組み合わせを起動することができる。停電の場合、停電時に制動して、保持外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８１０が重力下で落下することを防ぐように、電気作動を用いるブレーキ８１１を実施することができる。代替的な実施形態では、ブレーキ８１１と外骨格継手との間に伝動装置（gearing）を設けて、必要な制動トルク、したがってブレーキの重量を減らすことができる。これは、保持外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８１０を移動させるのに必要な手作業が増えるという欠点を有する。

【０３０８】

[第１０の実施形態]

内骨格を有する手動ＣＭＭアーム

この第１０の実施形態では、内骨格を有する手動ＣＭＭアームが提供される。次に図８６Ａを参照すると、手動ＣＭＭアームの技術水準の一実施形態である、ベース軸が垂直でありＣＭＭセグメント３３３が水平の空間的向きにある、支持部を有さない手動ＣＭＭアームが示されている。この水平の空間的向きでは、ＣＭＭセグメント３３３は、力 F_{n1} でＣＭＭ継手２５２において支持される。内部補償デバイス２１０が、ＣＭＭ継手２５２に設けられ、ＣＭＭセグメント３３３にカウンターバランスモーメント M_n を与えて、ＣＭＭ継手３５３より後の手動ＣＭＭアームの残りの部分の重量の力 F_{n2} を補償する。技術水準では、ＣＭＭセグメント３３３は、図示の水平の空間的向きで１０Nmのオーダの大きな曲げモーメント M_n を受ける。これにより、ＣＭＭセグメント３３３は大きく曲がり、撓みが生じる。撓みは、ＣＭＭエンコーダ１７８によって測定されることができず、その結果速度精度が失われる。撓みは、ＣＭＭセグメント３３３の剛性を高めることにより最小にすることができるが、ＣＭＭセグメント３３３の重量又は断面サイズとともに費用が増大する。次に図８６Ｂを参照すると、外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００が提供され、これも同様に、ベース軸が垂直でありＣＭＭセグメント３３３が水平の空間的向きにある状態で示されている。ＣＭＭセグメント３３３は、ＣＭＭ継手２５２において力 F_{x1} で、伝達手段３７３において力 F_{x2} で単純に支持される。ＣＭＭセグメント３３３に生じる撓みは、重力又は内部ＣＭＭアーム５の残りの部分の重量によるものである。本発明の外骨格を有する手動ＣＭＭアーム８００では、ＣＭＭセグメント３３３の撓みは、図８６Ａの技術水準の手動ＣＭＭアームの撓みの少なくとも１／３０である。次に図８６Ｃを参照すると、内骨格を有する手動ＣＭＭアーム８４０が開示される。外部ＣＭＭアーム８４１は、内骨格８４２の外部にある。内骨格セグメント１４１～３４３は、外部ＣＭＭアーム８４１の内部に配置される。内骨格８

4 2 はさらに、内骨格継手 1 6 1、2 6 2 を備える。内骨格 8 4 2 は、ベース 4 にしっかりと取り付けられ、CMM セグメント 3 3 3 の遠端で伝達手段 3 7 3 とともに外部 CMM アーム 8 4 1 を支持する。内骨格 8 4 2 と外部 CMM アーム 8 4 1 との間には、力を伝える大きな接触はない。内骨格継手 2 6 2 には、補償デバイス 2 1 0 が取り付けられ、補償デバイス 2 1 0 は、加工ばねであることが好ましいが、任意の他のタイプの補償デバイスであってもよく、補償デバイスにはダンパ 2 1 1 を設けることもできる。内骨格セグメント 1 4 1 ~ 3 4 3 は、数 mm のオーダであり得る大きな撓みを示す。撓んだ内骨格セグメントが外部 CMM アームセグメントの内側と接触しない限り、これらの撓みは重要ではない。撓みによって、内骨格継手 1 6 1、2 6 2 は、アームの空間的向きが変わる使用中にベース 4 に対して大きく移動し得る。CMM セグメント 3 3 3 は、CMM 継手 2 5 2 において力 $F_d 1$ で、伝達手段 3 7 3 において力 $F_d 2$ で単純に支持される。内骨格を有する手動 CMM アーム 8 4 0 の CMM セグメント 3 3 3 に生じるあらゆる撓みは、重力又は外部 CMM アーム 8 4 1 の残りの部分の重量によるものである。本発明の内骨格を有する手動 CMM アーム 8 4 0 では、CMM セグメント 3 3 3 の撓みは、図 8 6 A の技術水準の手動 CMM アームの撓みの少なくとも $1/30$ である。本明細書の全開示に基づいて、当業者は内骨格を有する手動 CMM アーム 8 4 0 を提供することができることが、理解されるであろう。

10

【0309】

この第 10 の実施形態のさらなる実施形態では、3 つの外骨格セグメントの代わりに 2 つの外骨格セグメントを備え、ベース 4 の代わりに CMM セグメント 2 2 2 に一端が取り付けられる内骨格 8 4 2 は、より短くなる。内骨格 8 4 2 はまた、伝達手段 3 7 3 とともに CMM セグメント 3 3 3 の遠端を支持する。内骨格 8 4 2 のこの短い実施形態は、2 つの継手の代わりに 1 つの継手、すなわち内骨格継手 2 6 2 を備える。

20

【0310】

[第 11 の実施形態]

内骨格を有するロボット CMM アーム

この第 11 の実施形態では、内骨格を有するロボット CMM アームが提供される。この実施形態の内骨格を有するロボット CMM アームは、内部内骨格によりガイドされる外部 CMM アームを備える。内骨格は、高精度な測定ができるように、伝達手段を介して外部 CMM アームを支持及び操作する。本発明は、内骨格を有する多くのロボット CMM アームの関節アームレイアウトで具現することができる。本発明の第 11 の実施形態による内骨格を有するロボット CMM アームには、2 つの好ましいレイアウト、すなわち、6 つの継手を有する 6 軸型及び 7 つの継手を有する 7 軸型がある。内骨格を有するロボット CMM アームは、移動式であってもよく、又は固定設備で用いられてもよい。この第 11 の実施形態は、事実上、本発明の第 1 の実施形態の逆である。

30

【0311】

次に図 8 7 を参照すると、内骨格を有するロボット CMM アーム 8 5 0 が、外部 CMM アーム 8 4 1 及び内部内骨格 8 5 1 を備える。本明細書の全開示、特に第 1 の実施形態の開示に基づいて、当業者は内骨格を有するロボット CMM アームを提供することができることが、理解されるであろう。

40

【0312】

[さらなる実施形態]

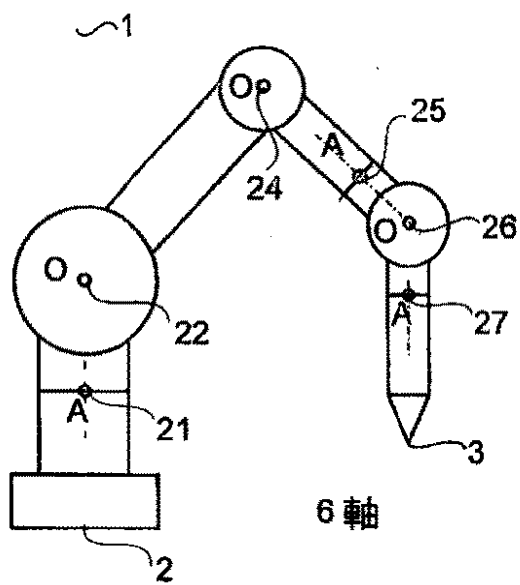
本発明の外骨格を有するこの CMM アームは、開示した実施形態のデバイスに限定されず、

- 外骨格を有する CMM アームのリーチが非常に短いものから非常に長いものまで及ぶ用途、
- ペイロードが数十グラムから数百キログラムまで様々である用途、
- 精度が今日の産業ロボットの中で最高の精度から今日の従来の CMM 機の精度まで及ぶ用途、
- アース上及び空間等の重力の低い環境に配置される用途、

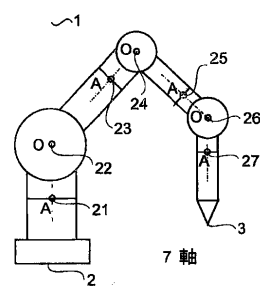
50

- 外部 C M M アームを有する内骨格支持部を有することが好ましい用途、
- 測定される物体が、測定中又は測定間のいつでも 6 自由度で移動でき、外骨格を有する C M M アーム及び物体がそれぞれ、測定中又は測定間に同時に 6 自由度で移動できる用途のための、任意の形態の外骨格デバイスを有する C M M アームを含むことができる。

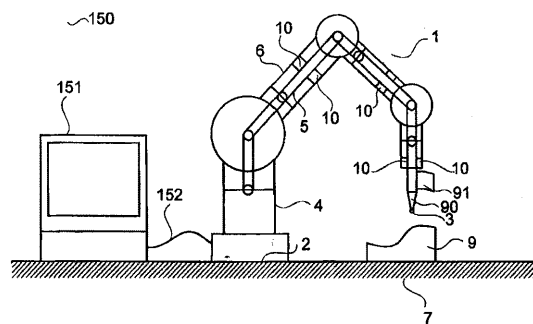
【図 1 A】



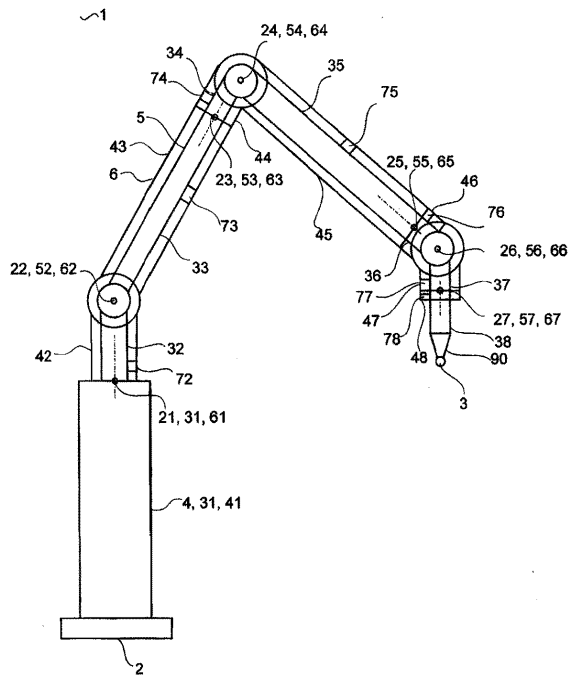
【図 1 B】



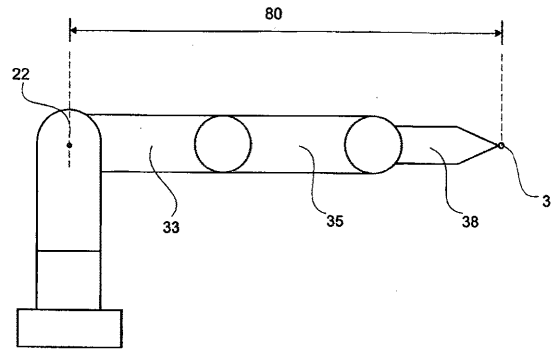
【図 1 C】



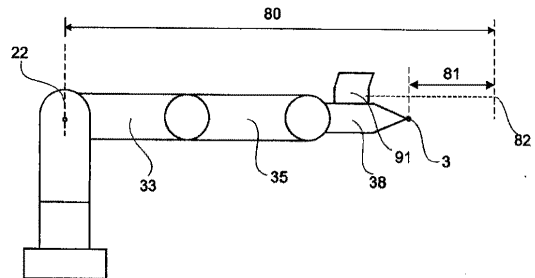
【図 2】



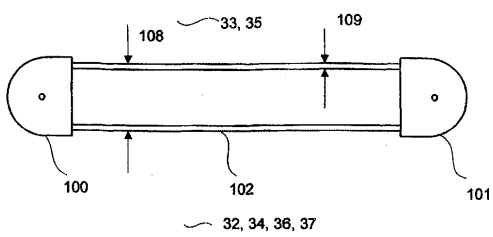
【図 3】



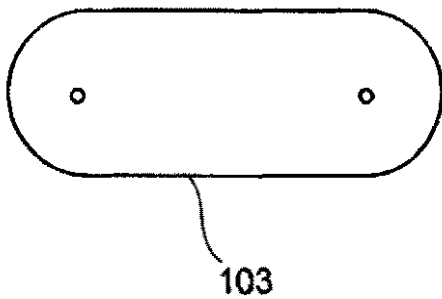
【図 4】



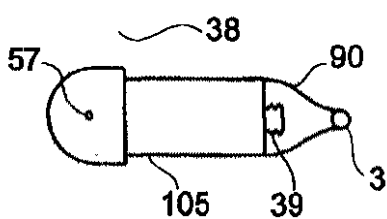
【図 5 A】



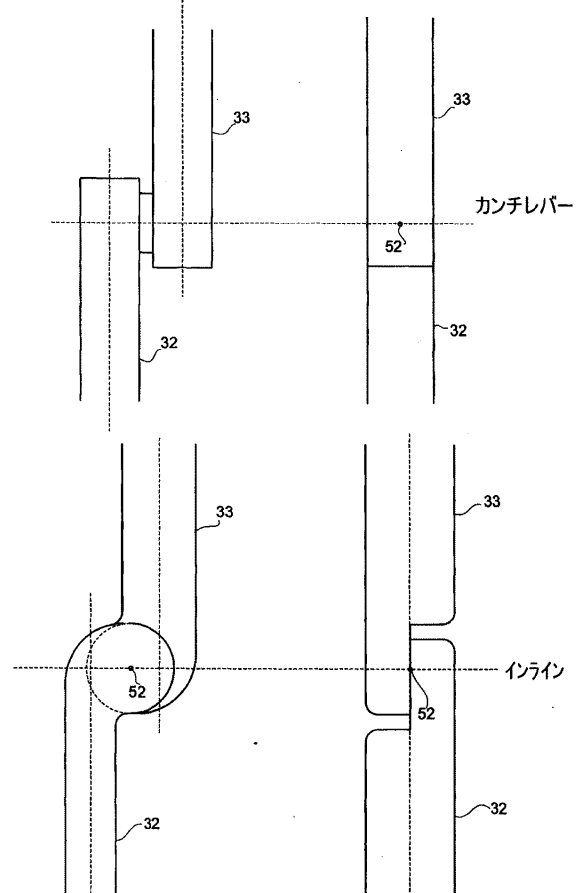
【図 5 B】



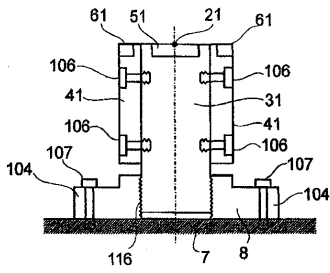
【図 5 C 1】



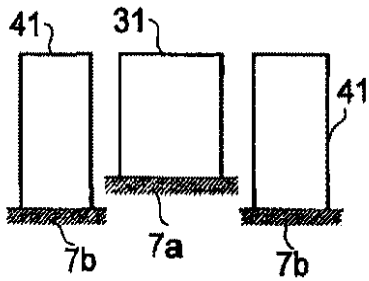
【図 5 C 2】



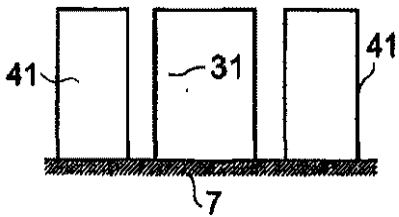
【図 5 D】



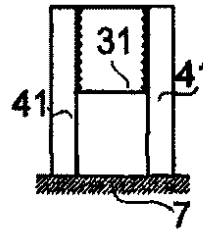
【図 5 E】



【図 5 F】



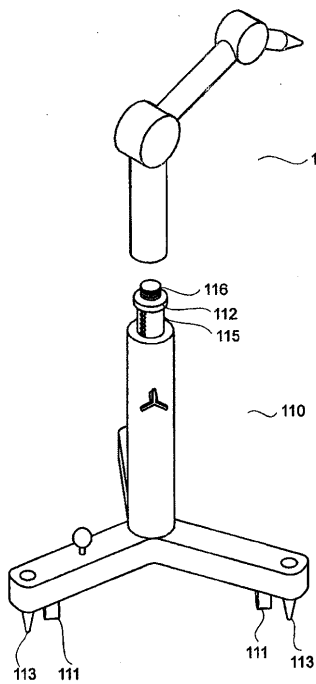
【図 5 G】



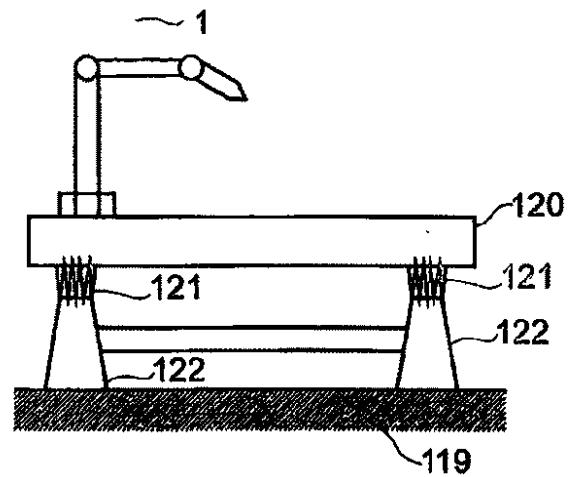
【図 5 H】



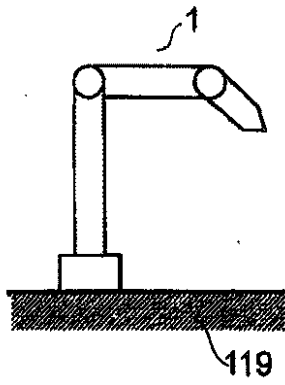
【図 6】



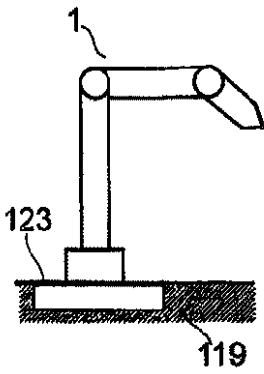
【図 7 A】



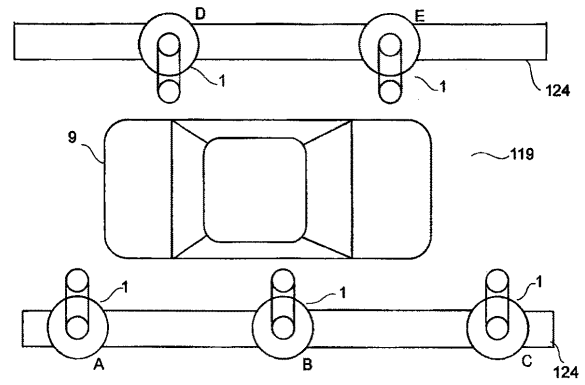
【図 7 B】



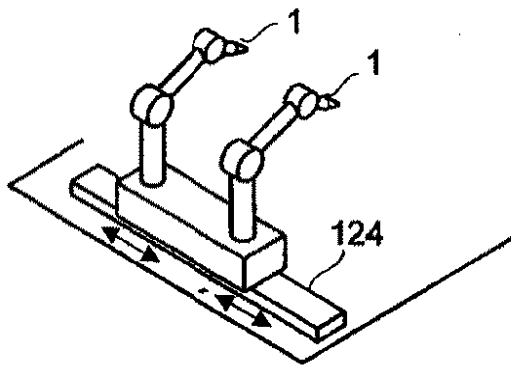
【図 7 C】



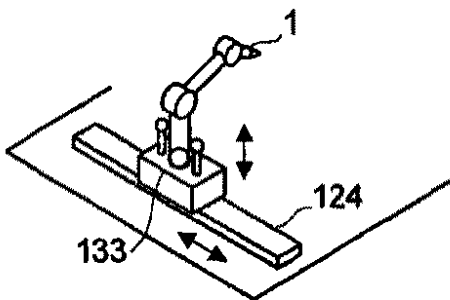
【図 7 D】



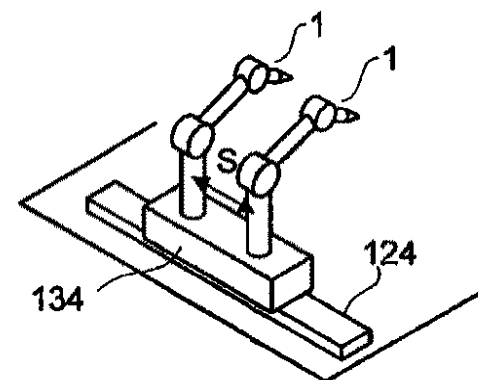
【図 7 E】



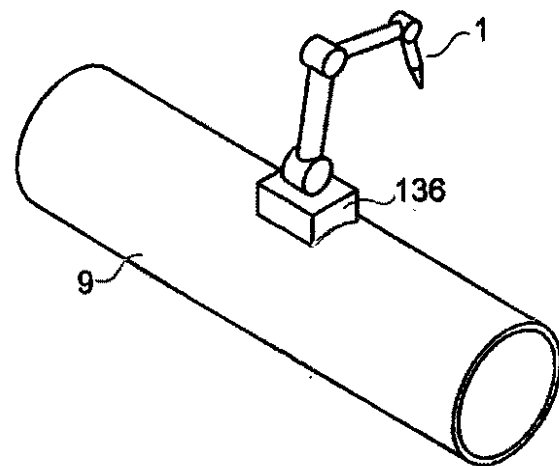
【図 7 F】



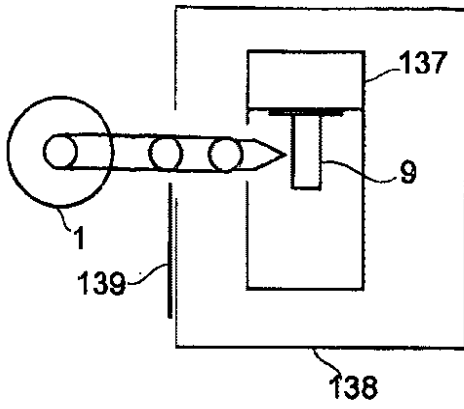
【図 7 G】



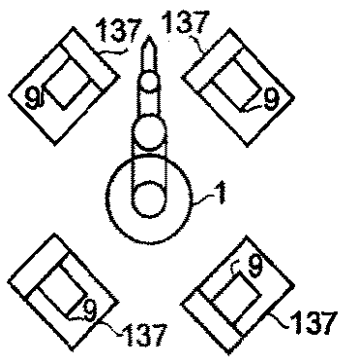
【図 7 H】



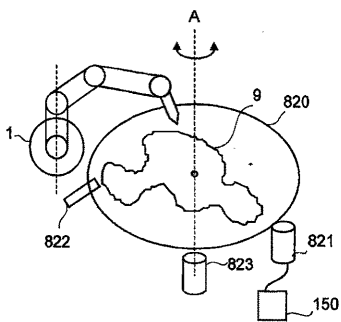
【図 7 I】



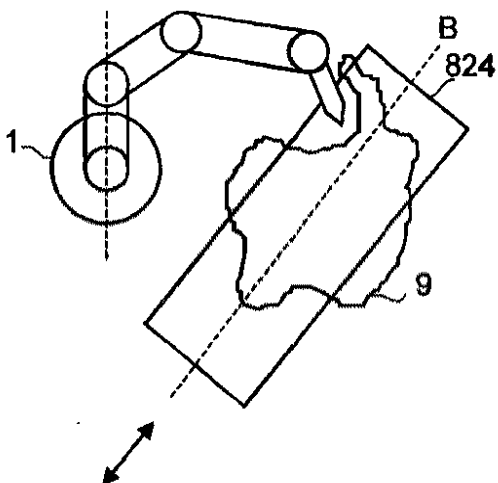
【図 7 J】



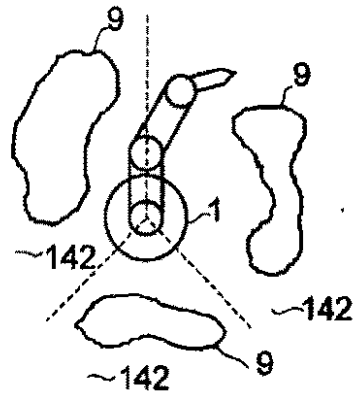
【図 7 M】



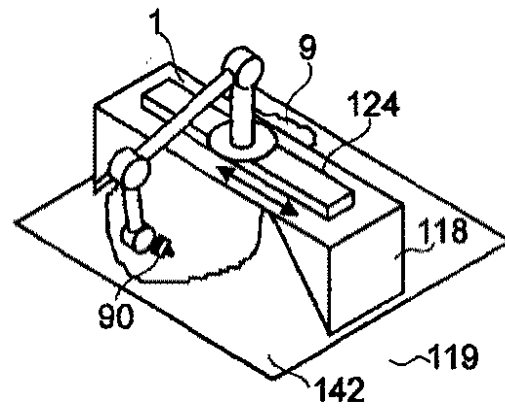
【図 7 N】



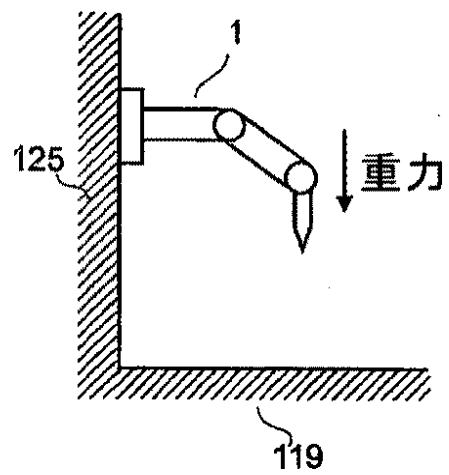
【図 7 K】



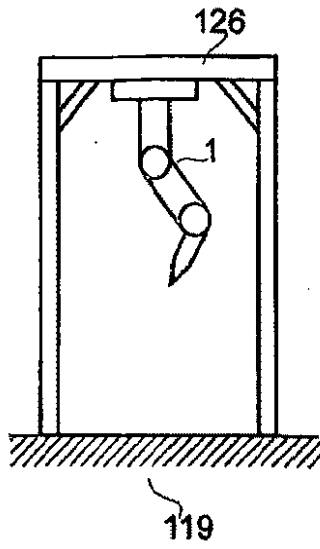
【図 7 L】



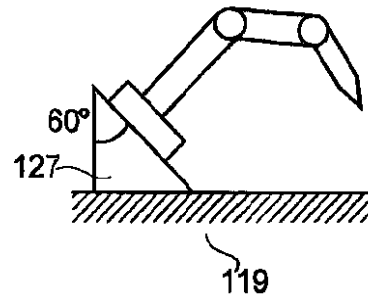
【図 8 A】



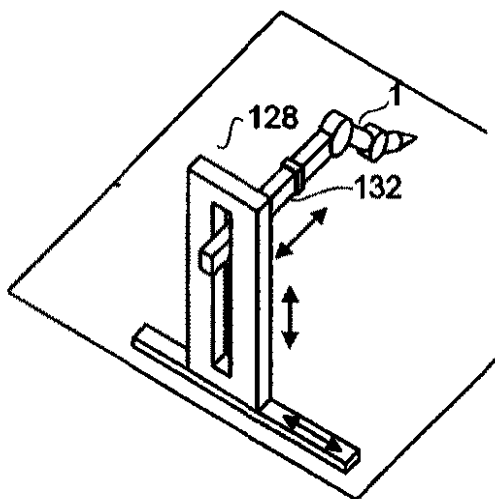
【図 8 B】



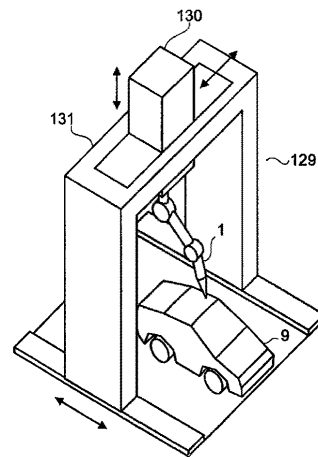
【図 8 C】



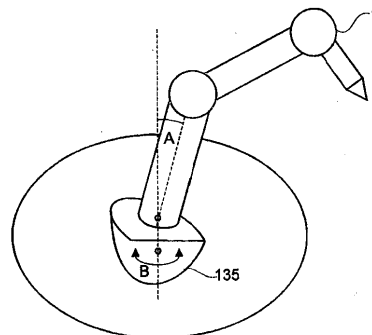
【図 8 D】



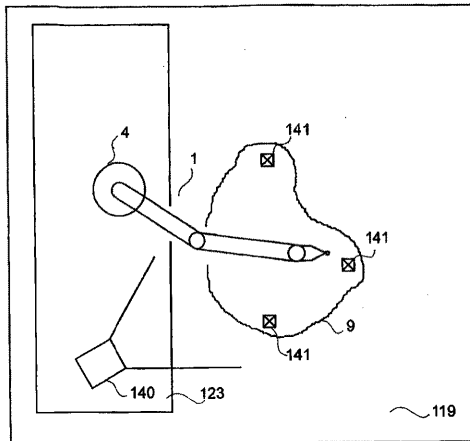
【図 8 E】



【図 8 F】

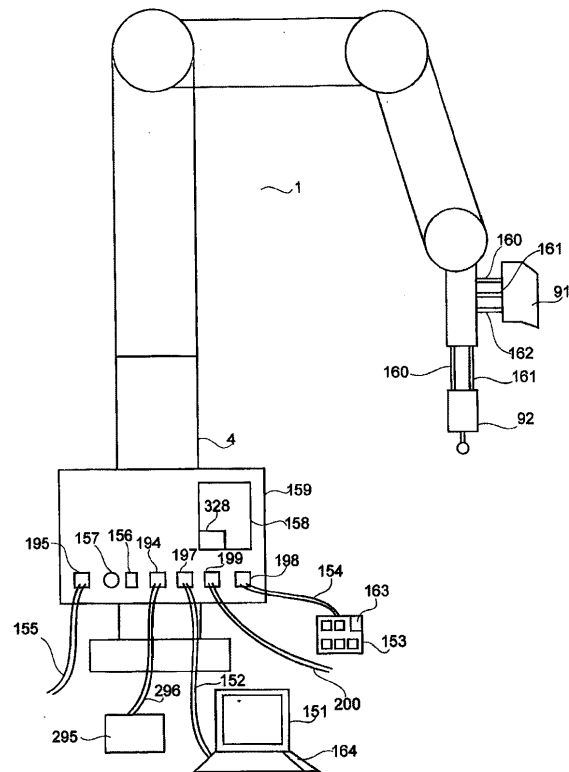


【図 9】

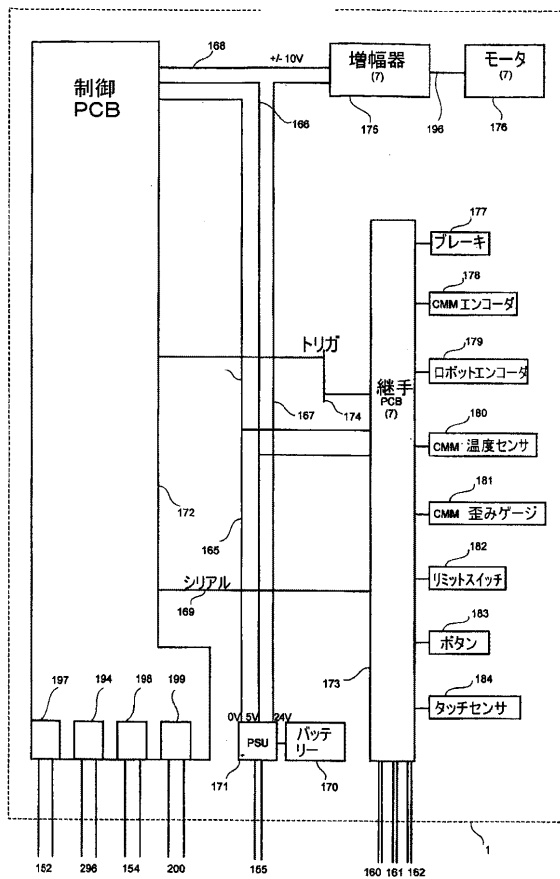


【図 10】

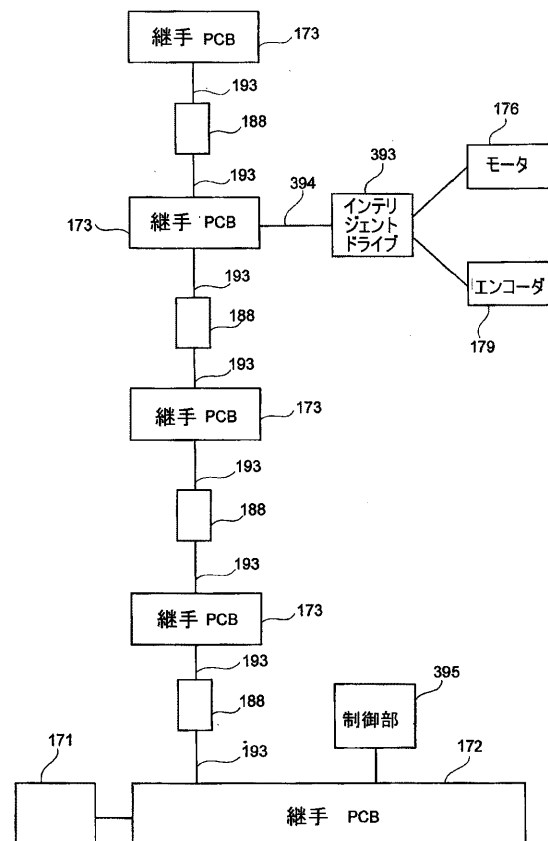
～150



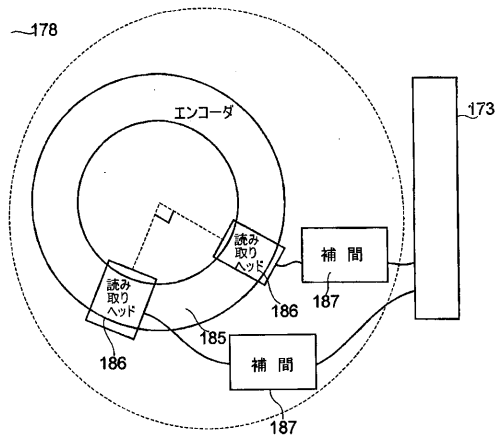
【図 11 A】



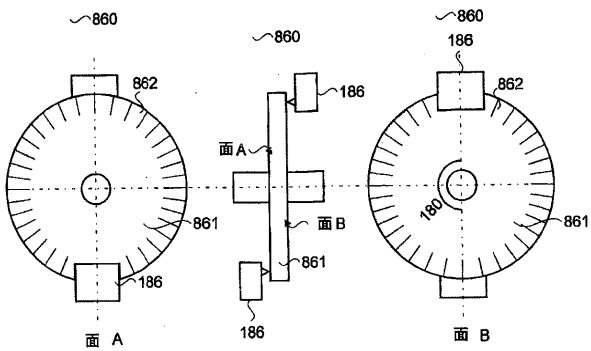
【図 11 B】



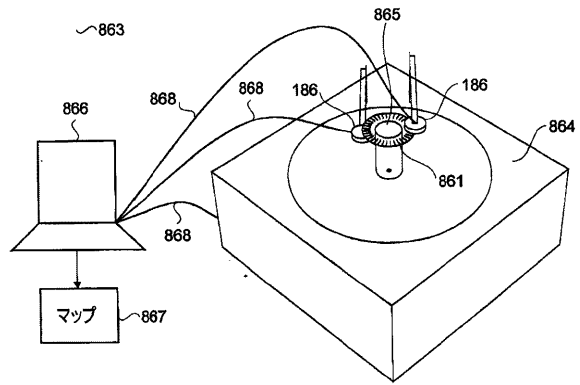
【図 1 2 A】



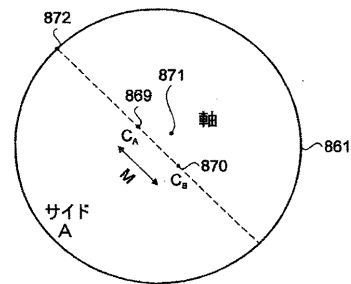
【図 1 2 B】



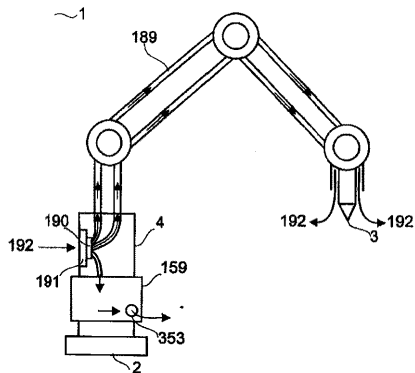
【図 1 2 C】



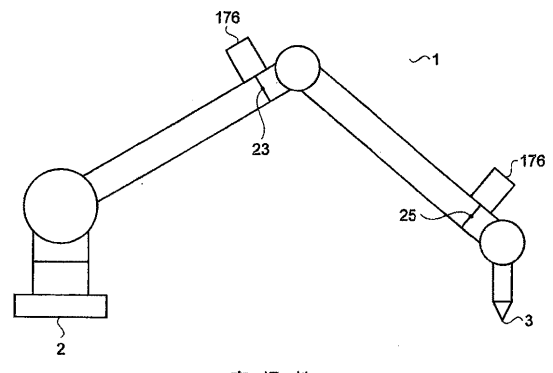
【図 1 2 D】



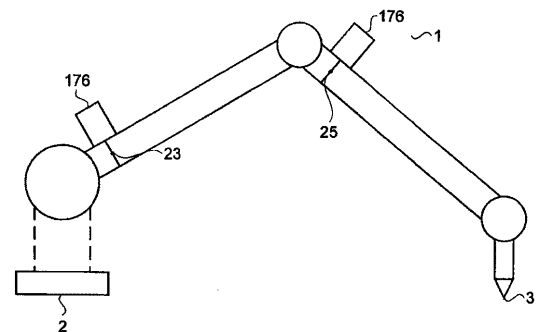
【図 1 3 A】



【図 1 3 B】

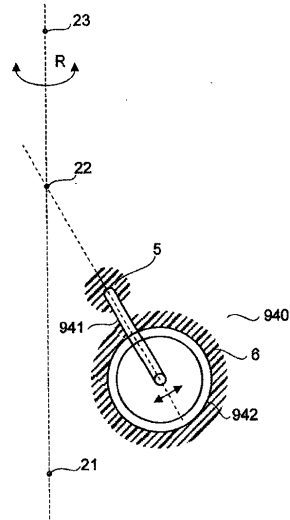
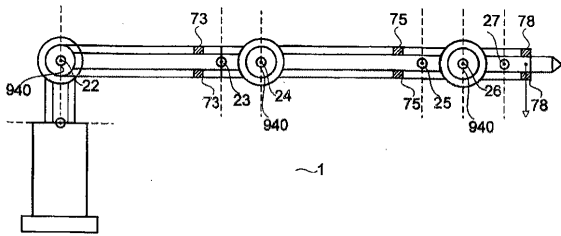


高 慣 性

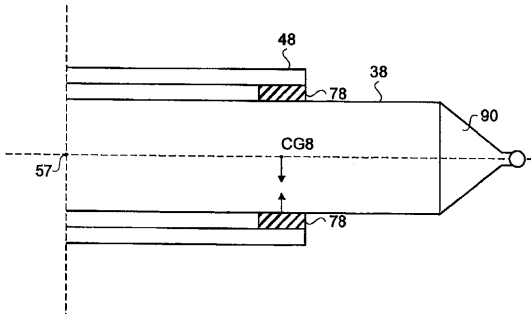


低 慣 性

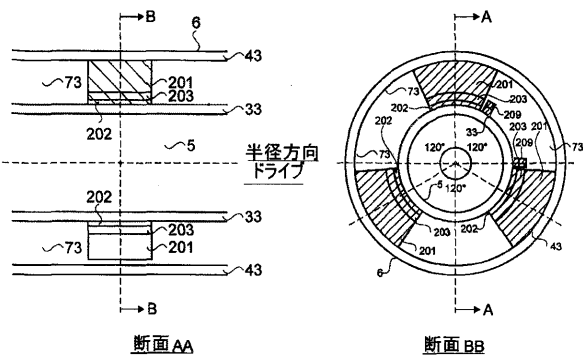
【 図 1 6 】



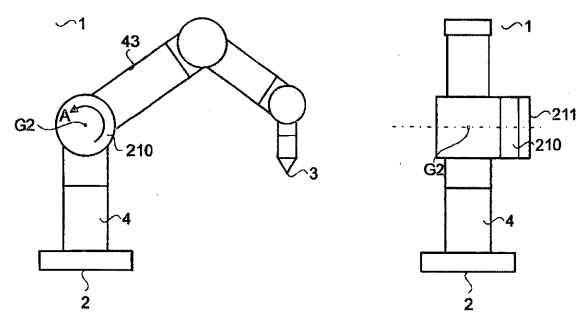
【 図 1 5 】



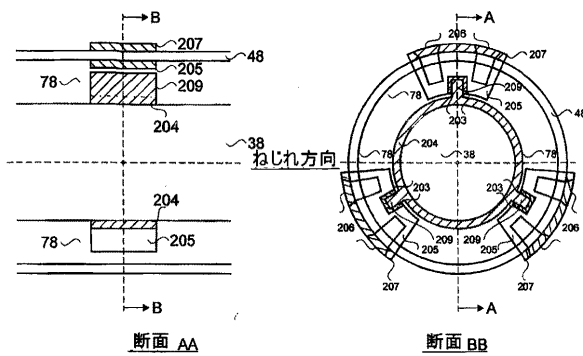
【 図 1 7 】



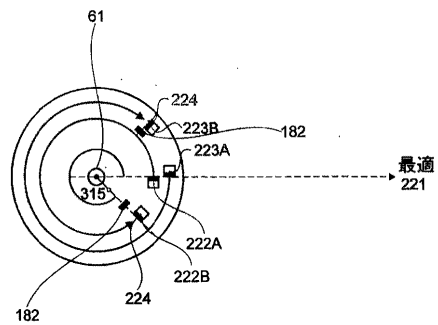
【 ㄨ 1 9 】



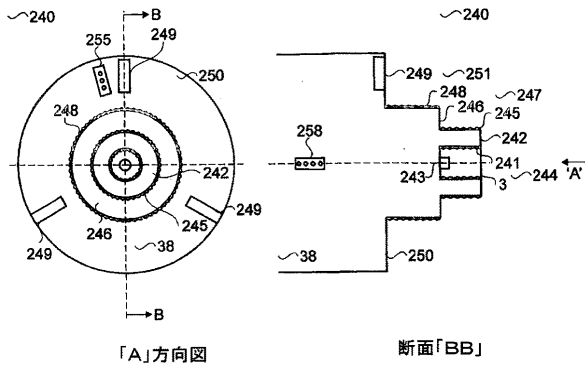
【 図 1 8 】



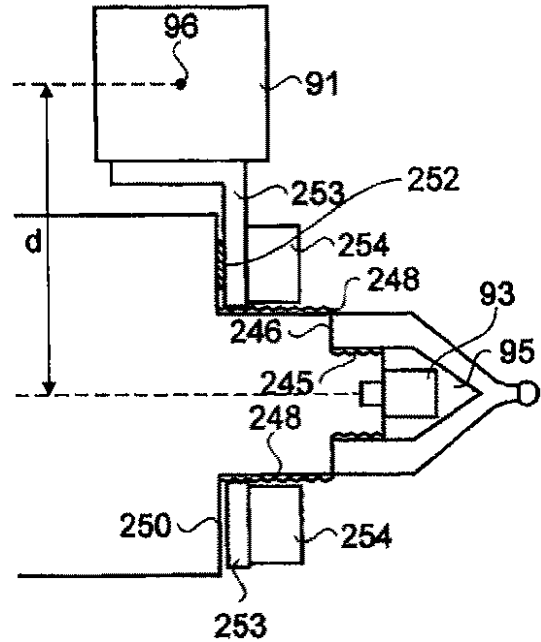
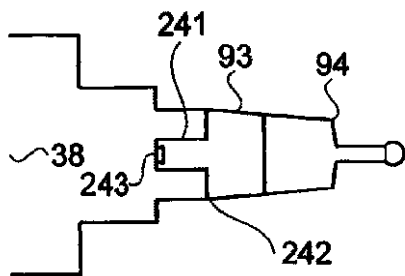
【 ㄨ 2 0 】



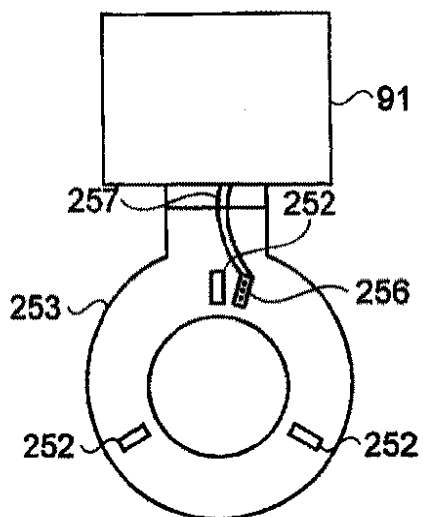
【 図 2 5 】



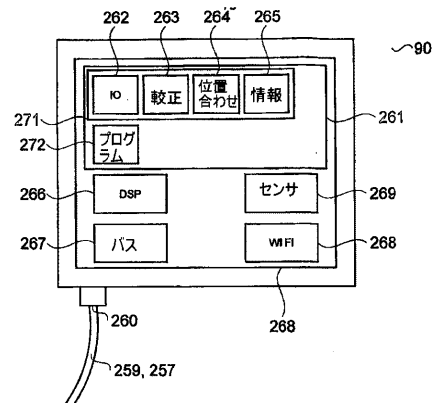
【 図 2 4 】



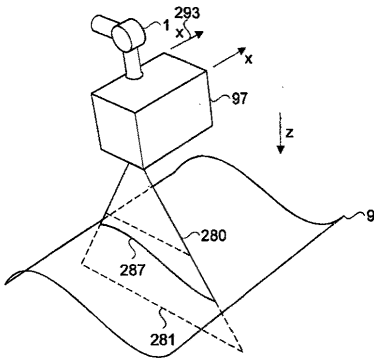
【 図 2 6 】



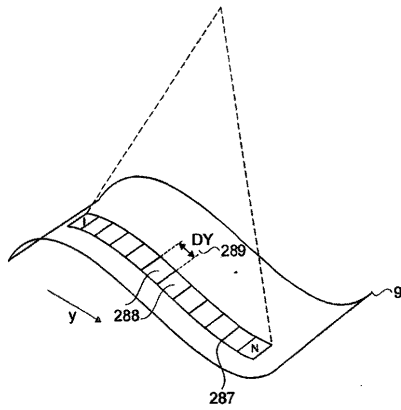
【 図 2 7 A 】



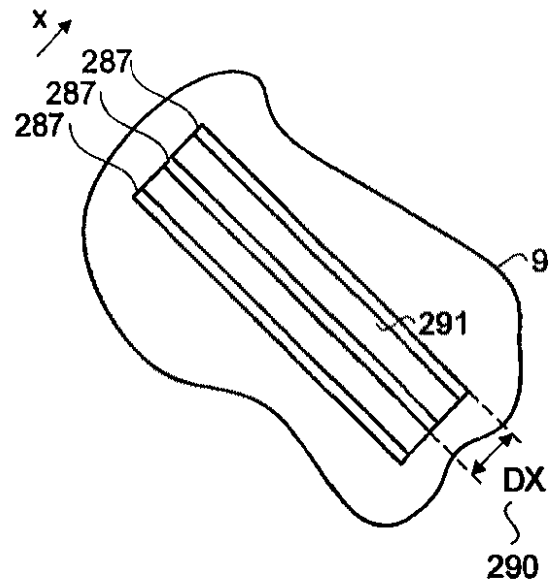
【図 29】



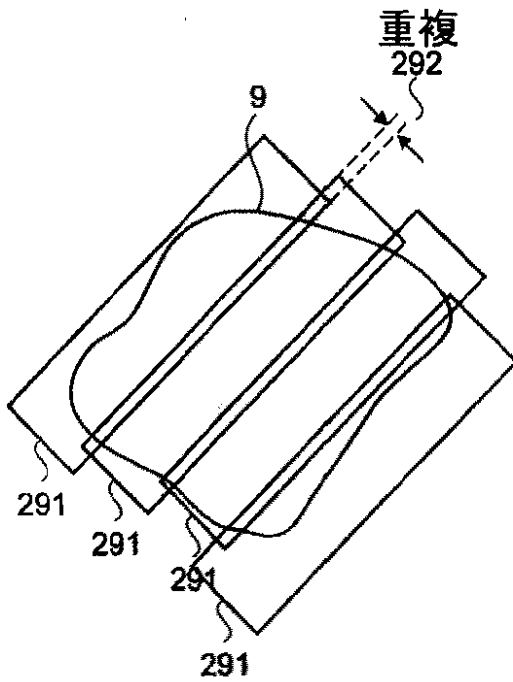
【図 30】



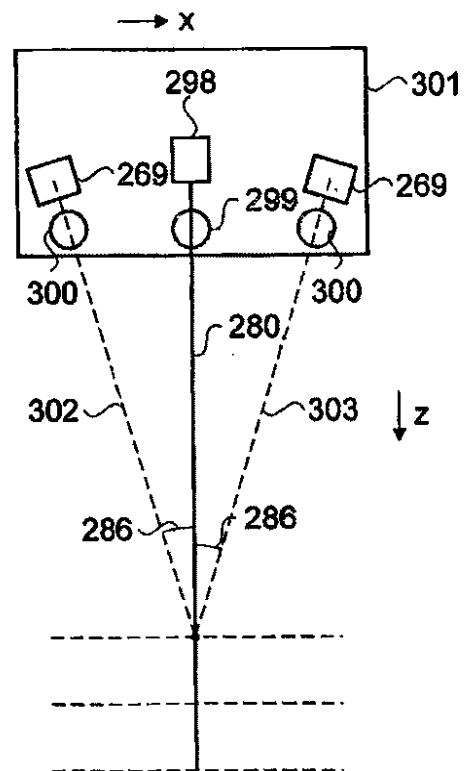
【図 31】



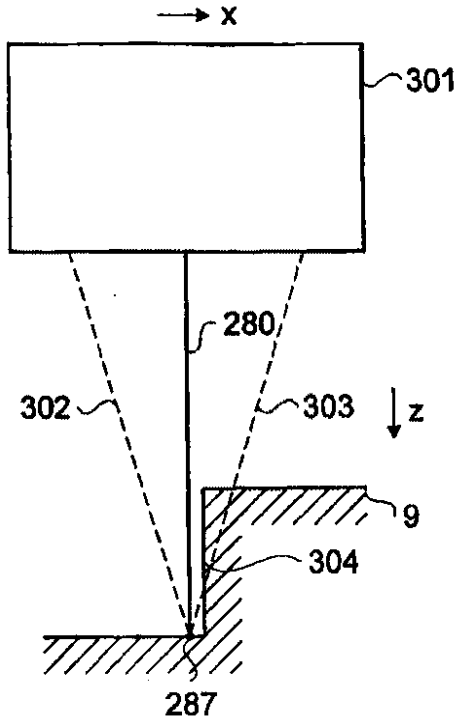
【図 32】



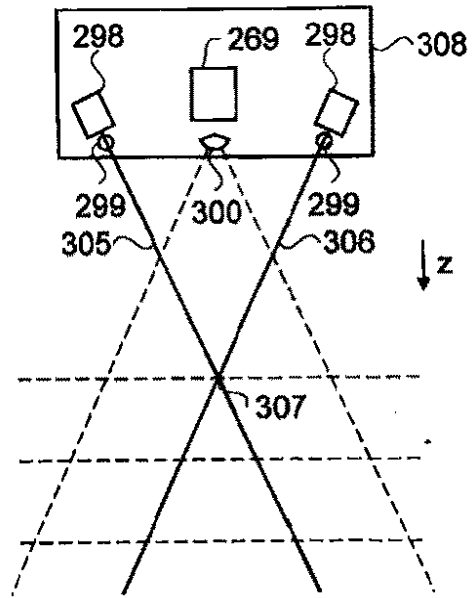
【図 33 A】



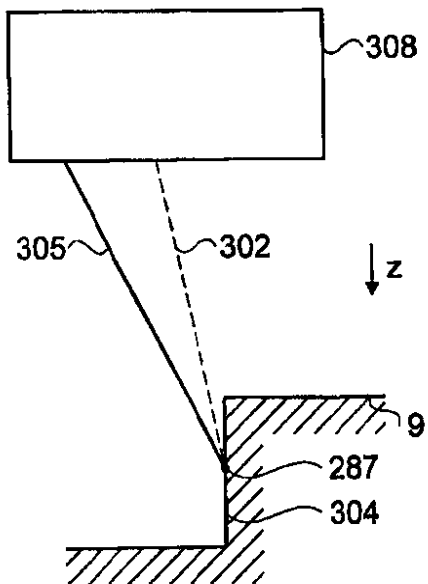
【図 3 3 B】



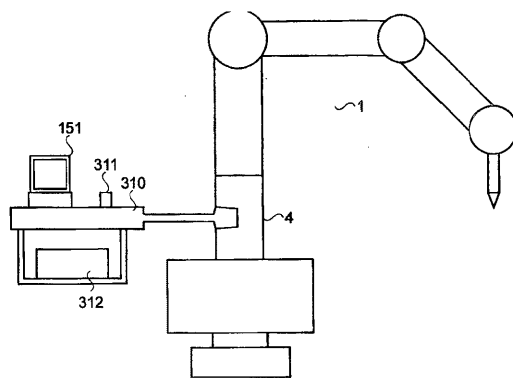
【図 3 4 A】



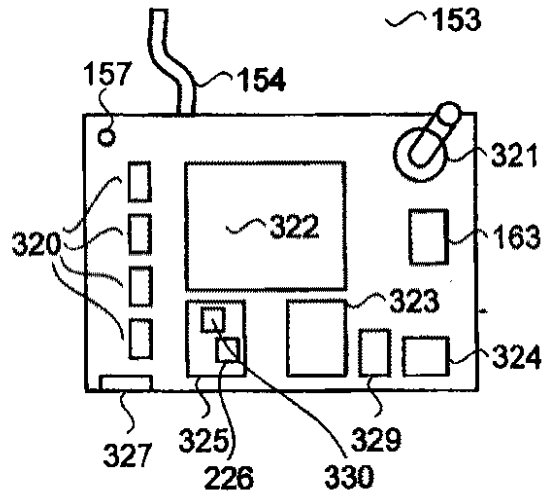
【図 3 4 B】



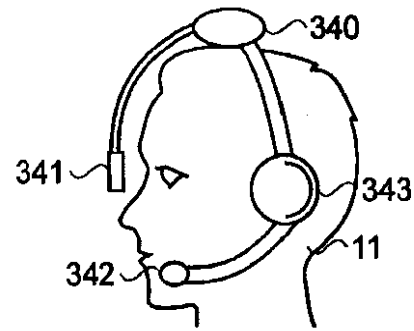
【図 3 5】



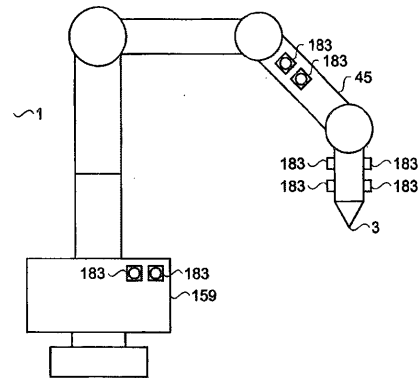
【図 3 6】



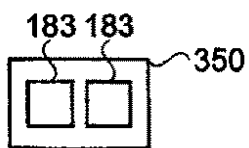
【図 3 7】



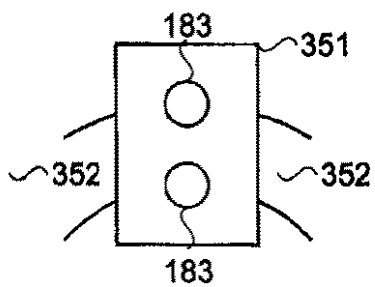
【図 3 8 A】



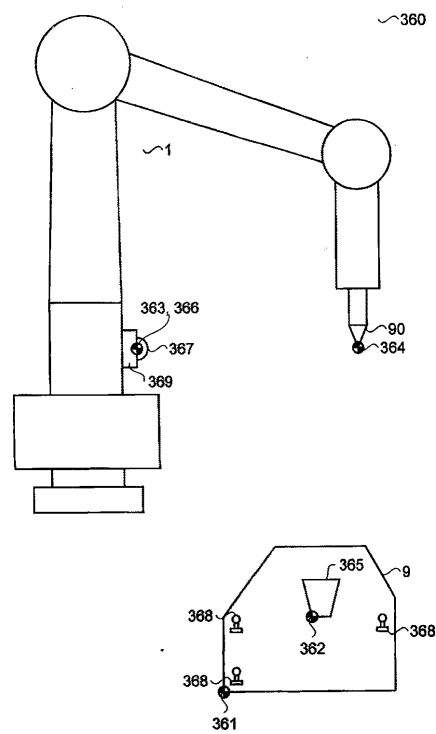
【図 3 8 B】



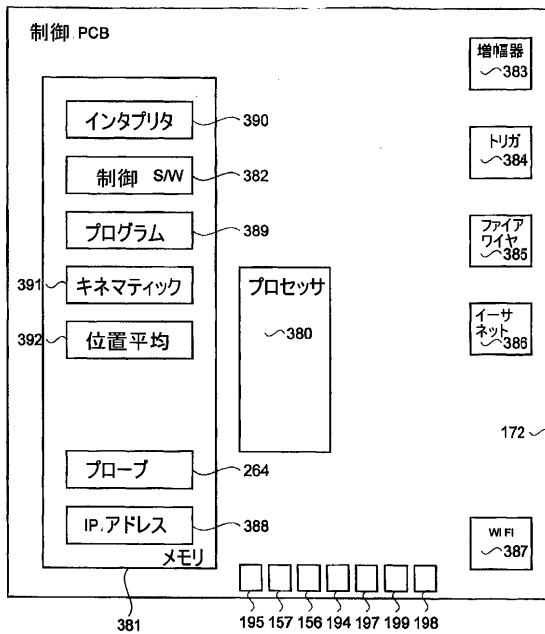
【図 3 8 C】



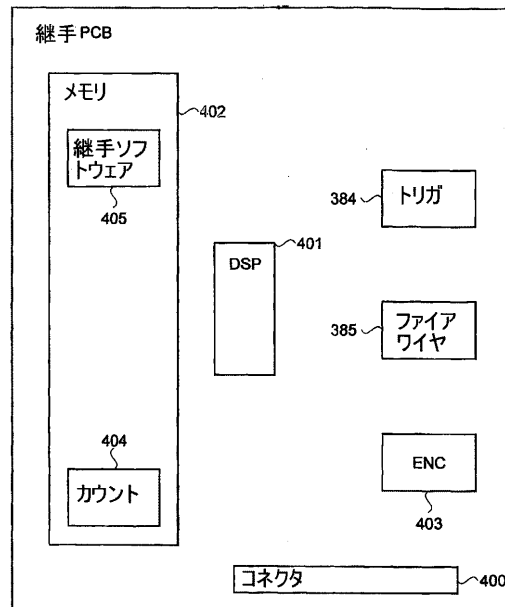
【図 3 9】



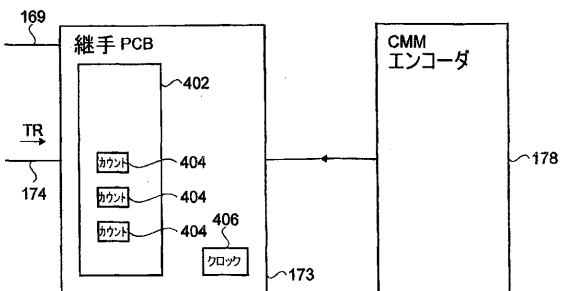
【図 40】



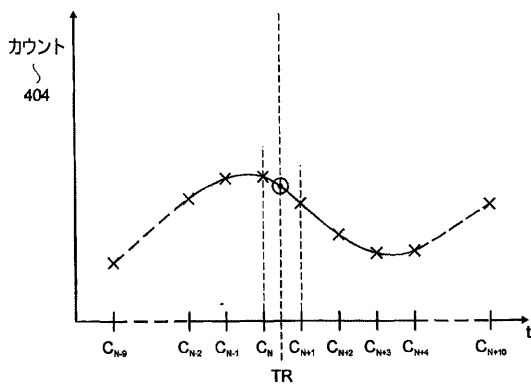
【図 41A】



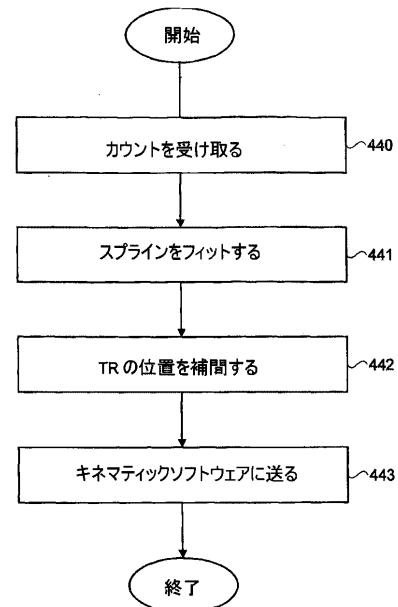
【図 41B】



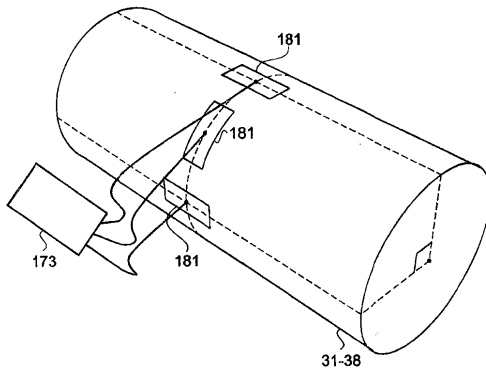
【図 41C】



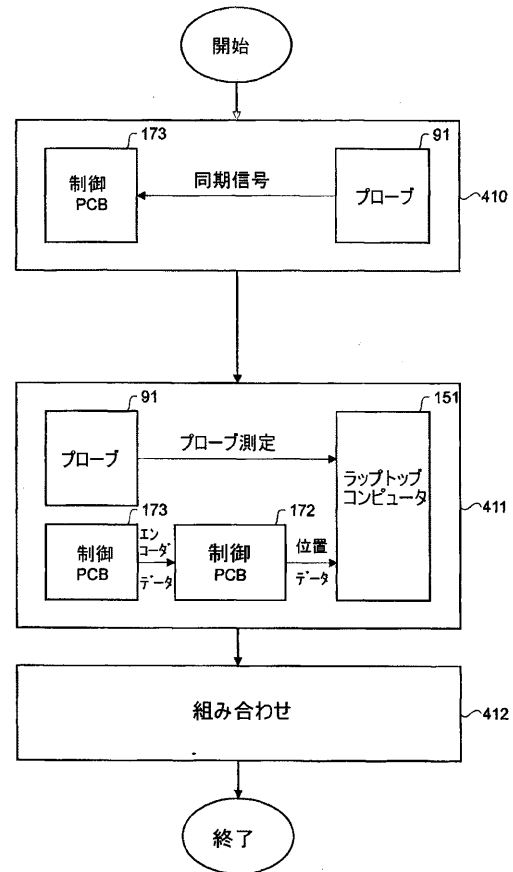
【図 41D】



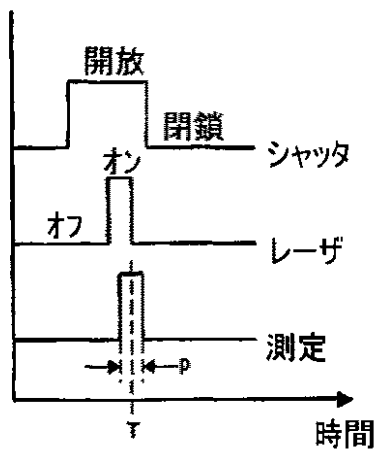
【図 4 1 E】



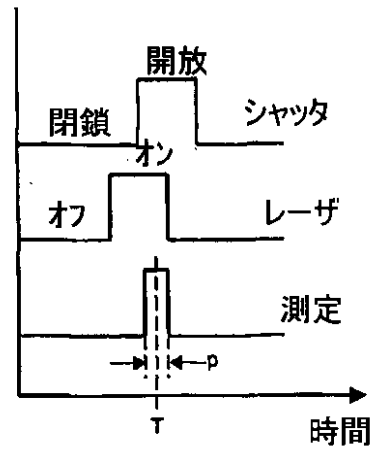
【図 4 2】



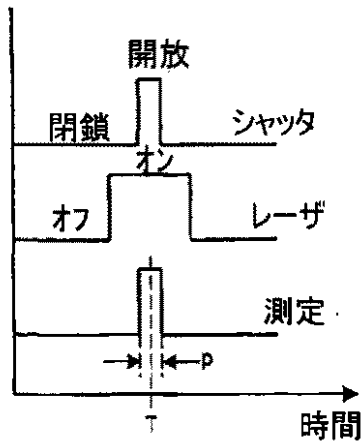
【図 4 3 A】



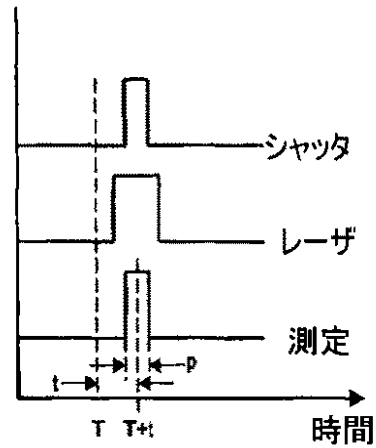
【図 4 3 B】



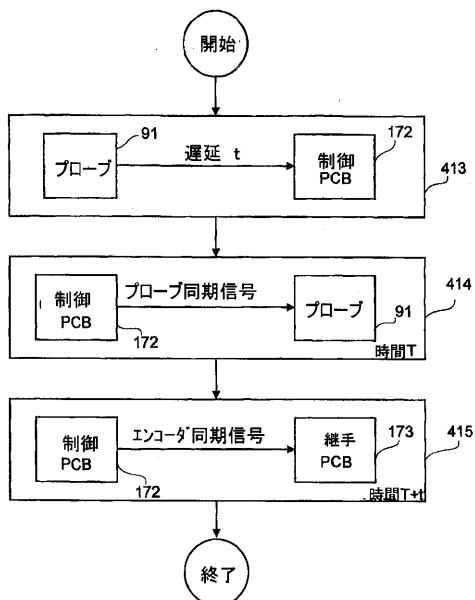
【図 4 3 C】



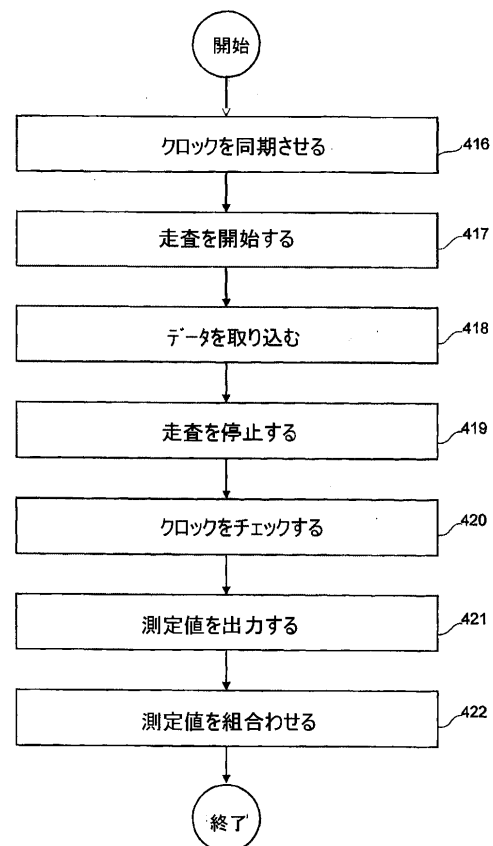
【図 4 4】



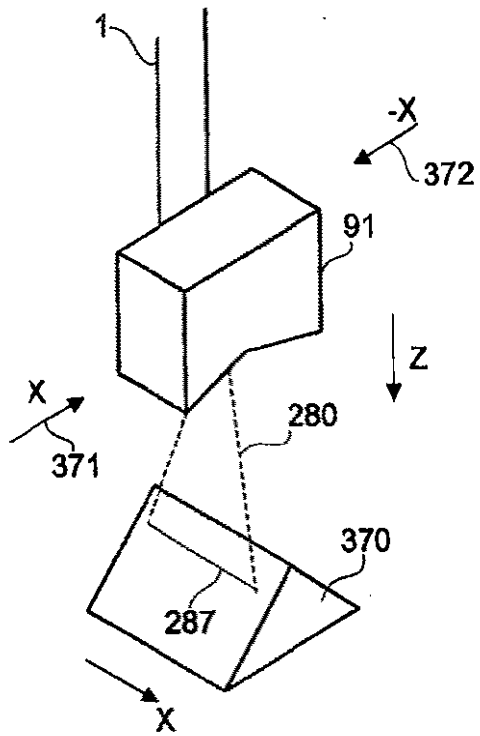
【図 4 5】



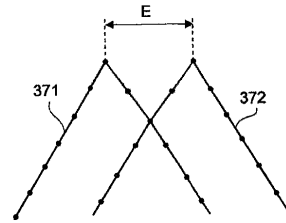
【図 4 6】



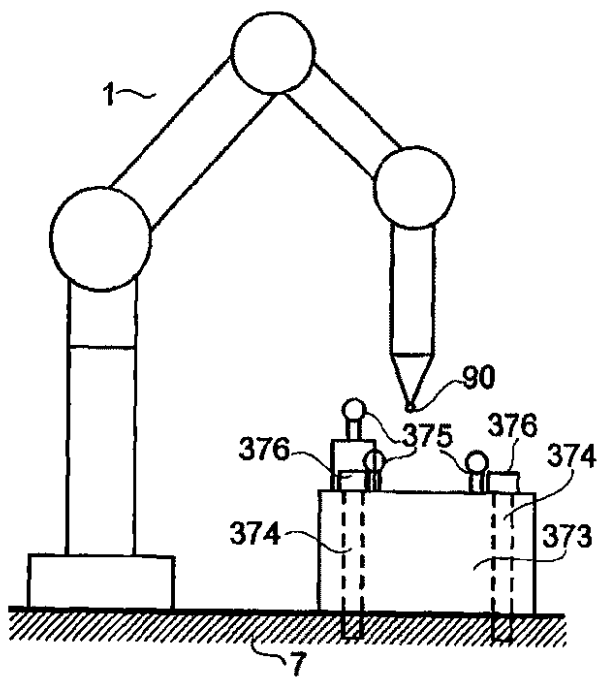
【図 47】



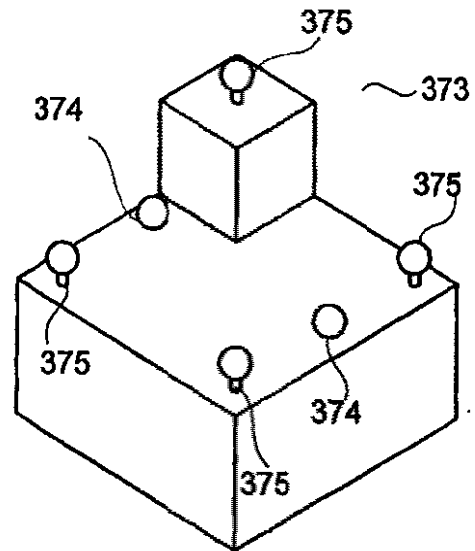
【図 48】



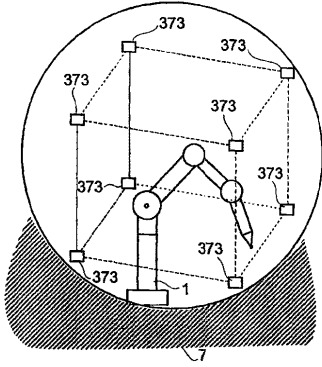
【図 49】



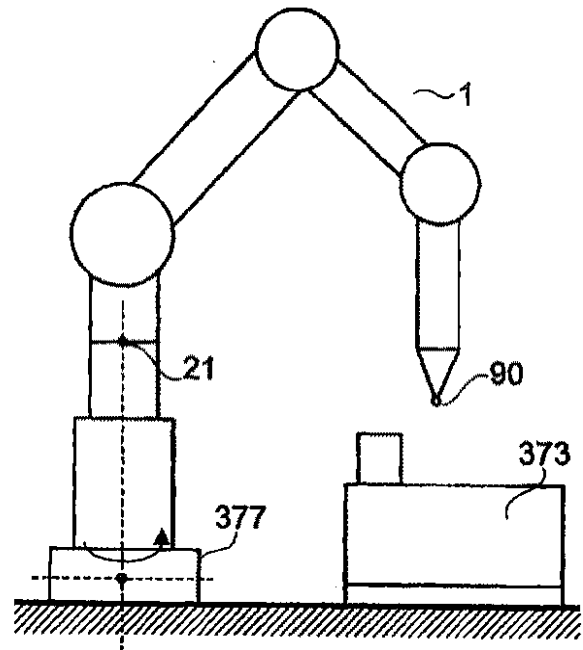
【図 50】



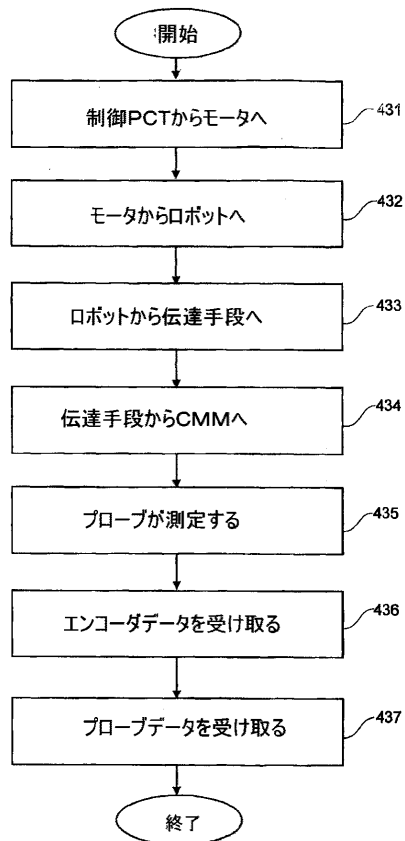
【図 5 1 A】



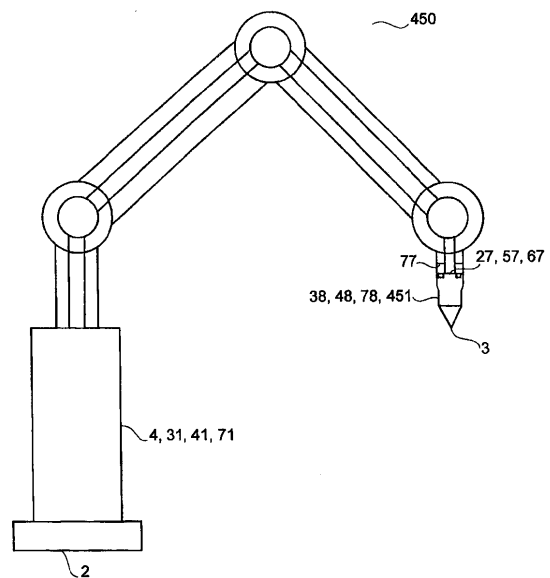
【図 5 1 B】



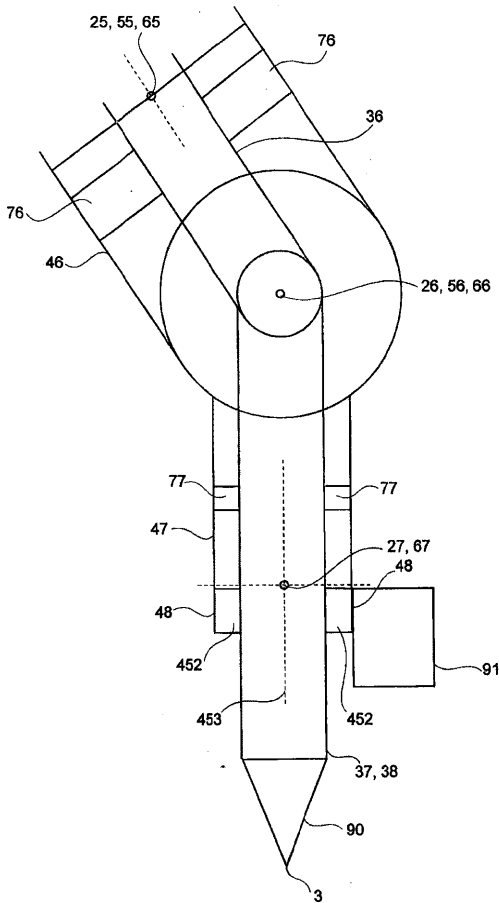
【図 5 2】



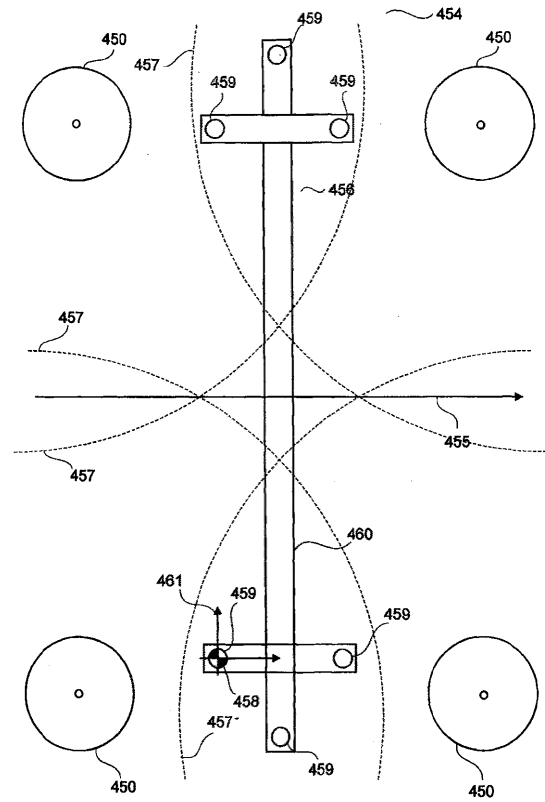
【図 5 3】



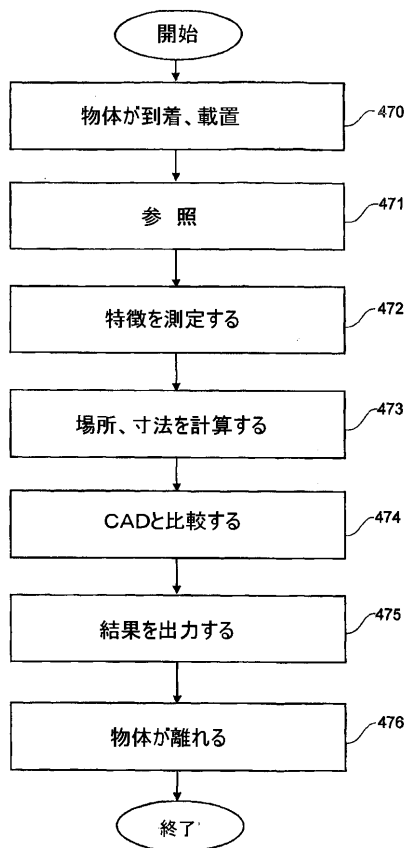
【図 5 4】



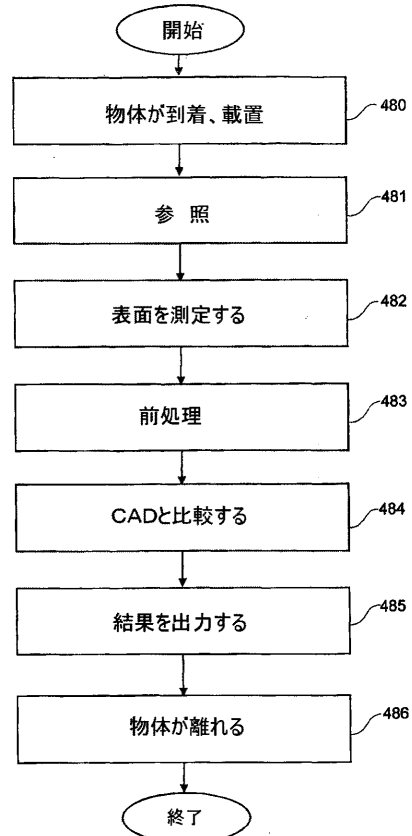
【図 5 5】



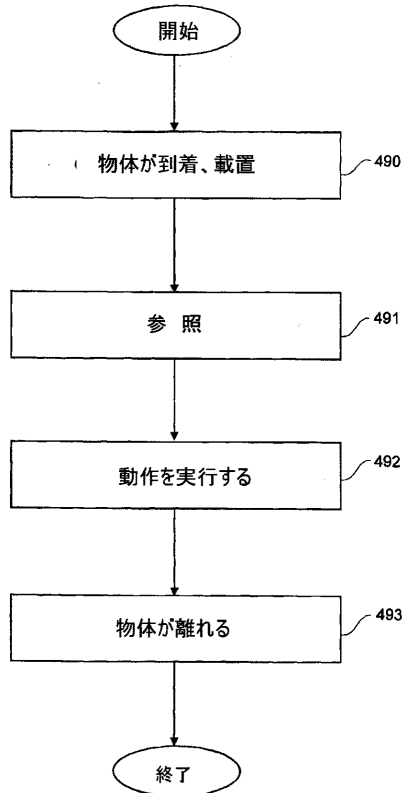
【図 5 6】



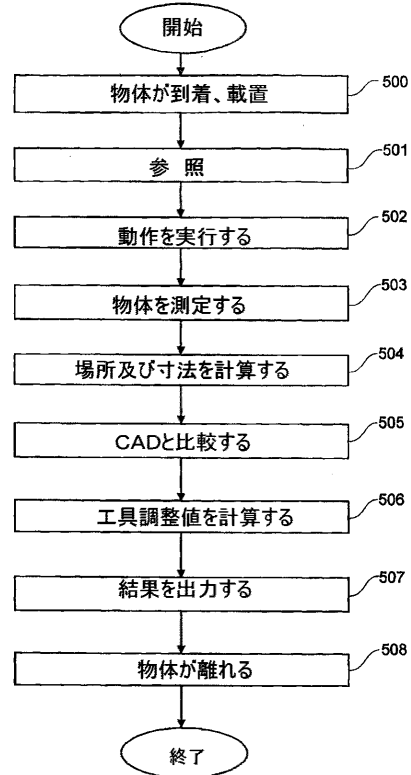
【図 5 7】



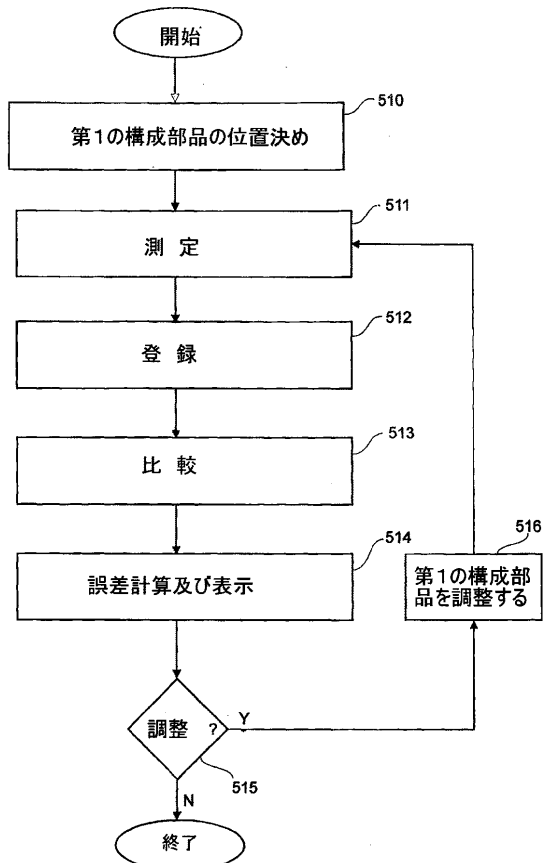
【図 5 8】



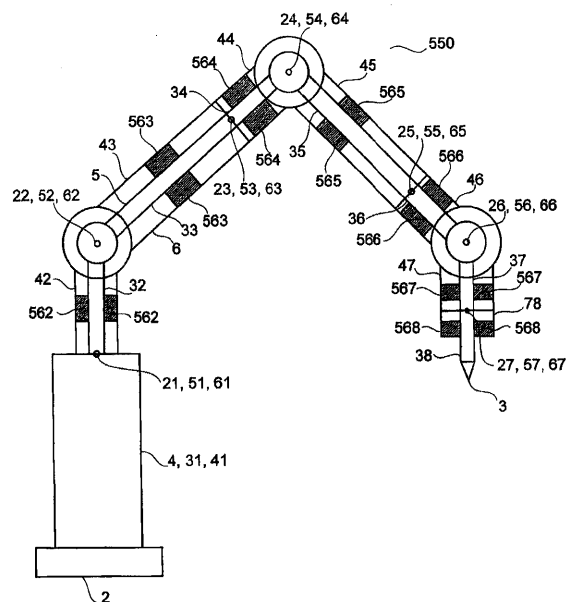
【図 5 9 A】



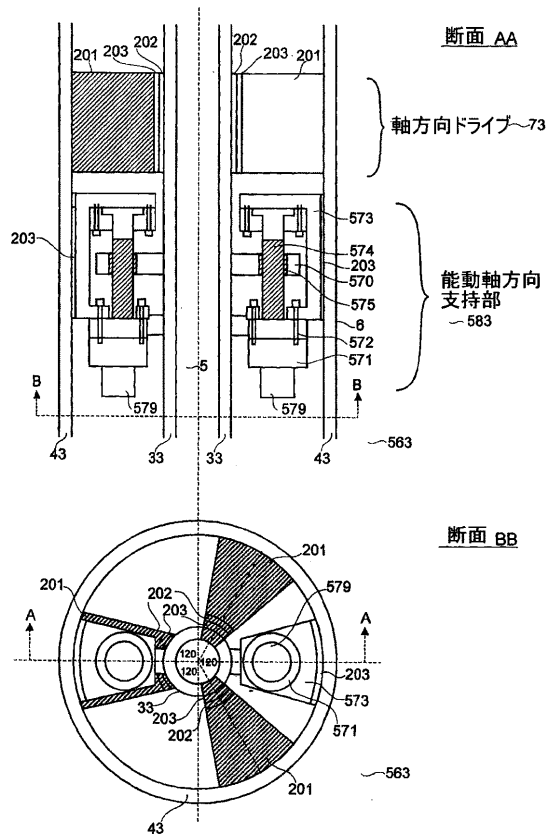
【図 5 9 B】



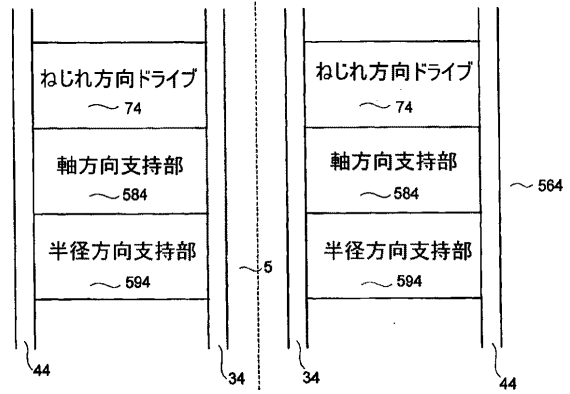
【図 6 0】



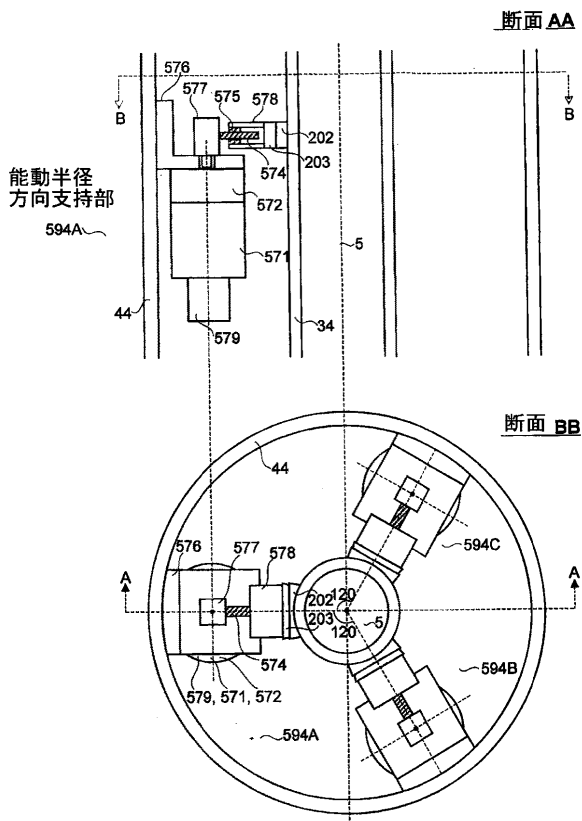
【 図 6 1 】



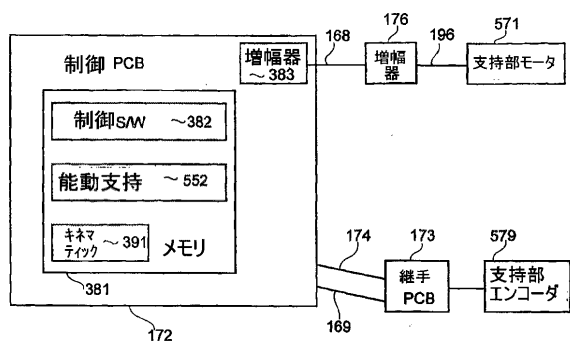
【 図 6 2 】



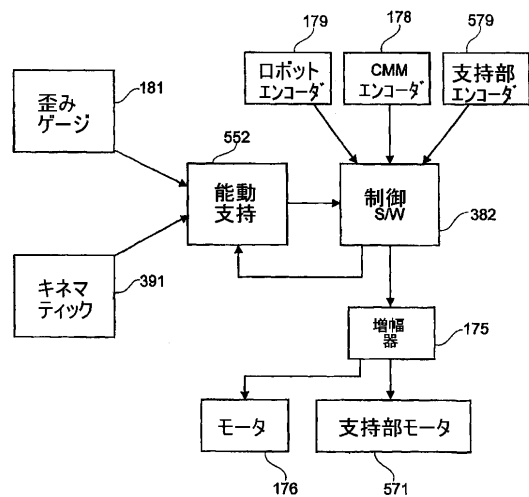
【 図 6 3 】



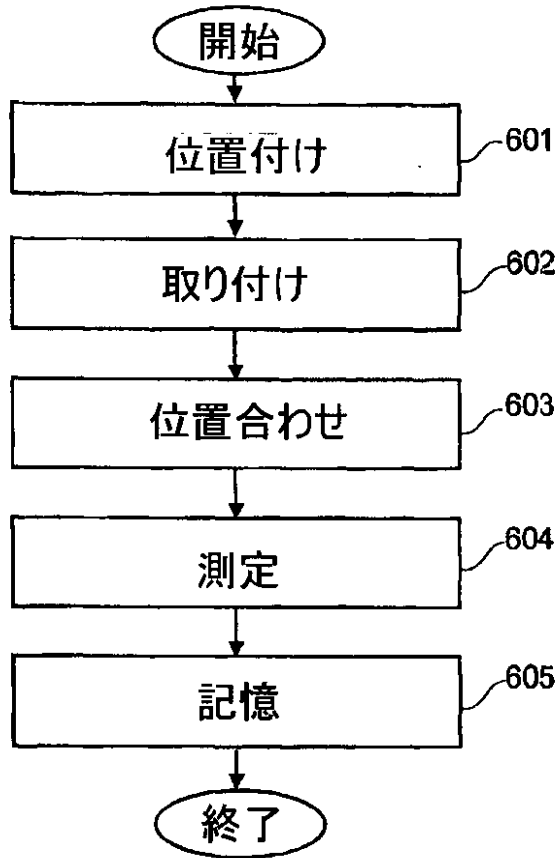
【 図 6 4 】



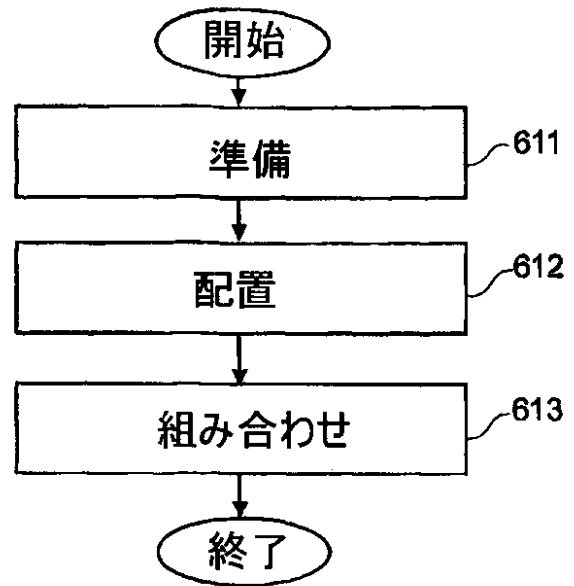
【 図 6 5 】



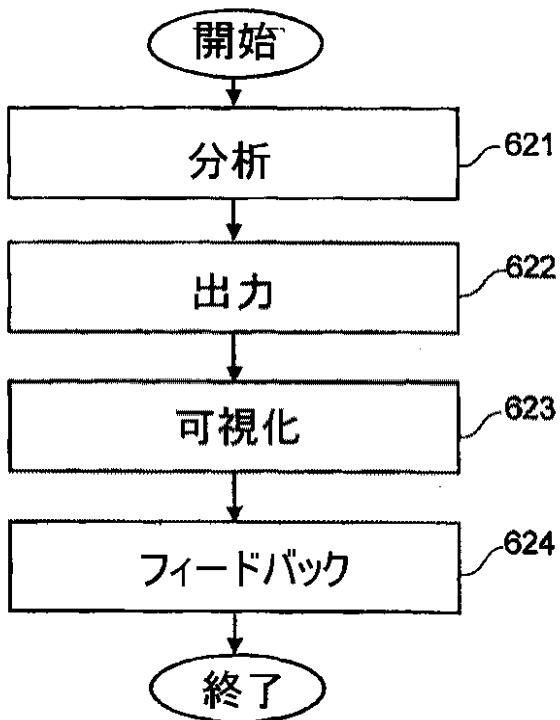
【図 6 6】



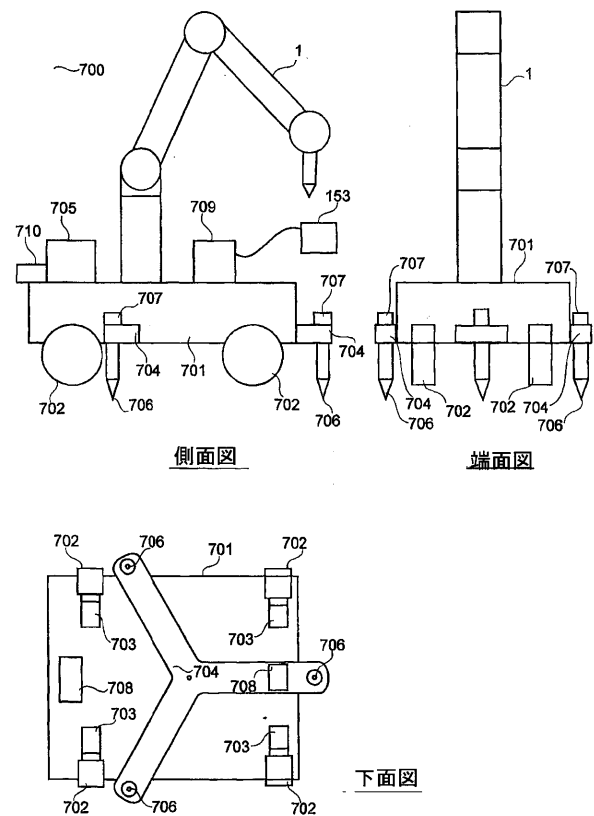
【図 6 7】



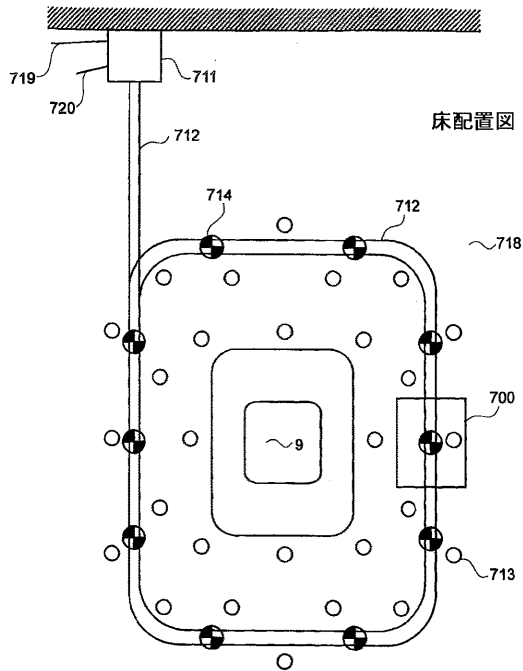
【図 6 8】



【図 6 9】



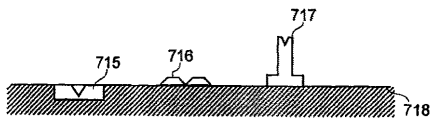
【図 70】



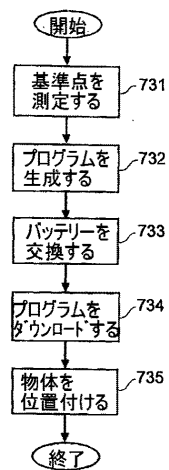
【図 72】

基準円錐		3D 場所	
1		RX1, RY1, RZ1	} ~ 721
2		RX2, RY2, RZ2	
.		.	
N		RXN, RYN, RZN	
標的			
1		TX1, TY1, TZ1	} ~ 722
2		TX2, TY2, TZ2	
.		.	
M		TXNM, TYM, TZM	
テープ			
POLYLINE OF		X1, Y1, Z1	} ~ 723
'P' POINTS		XP, YP, ZP	

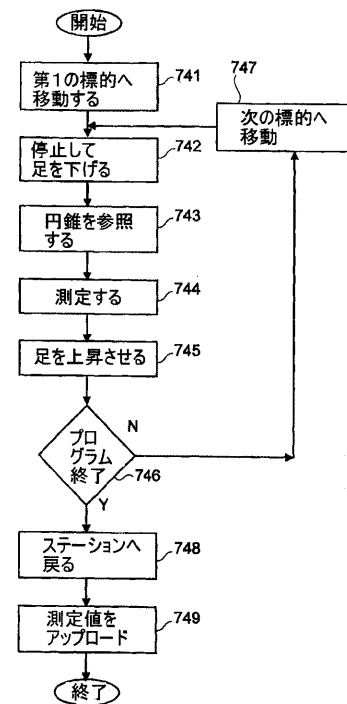
【図 71】



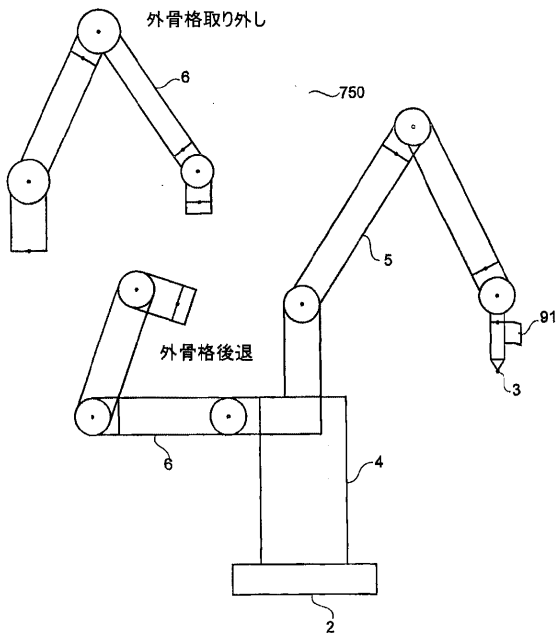
【図 73】



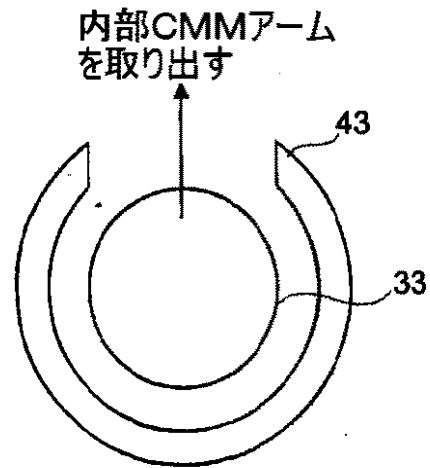
【図 74】



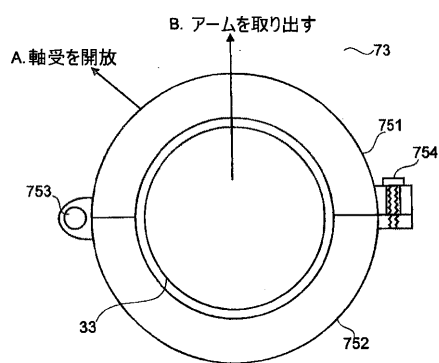
【図 7 5】



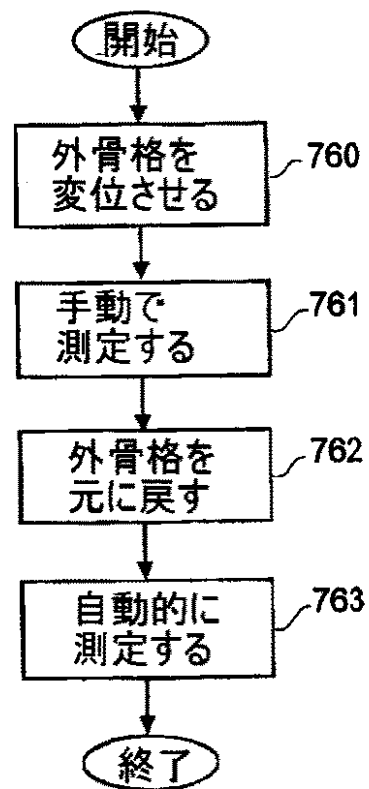
【図 7 6】



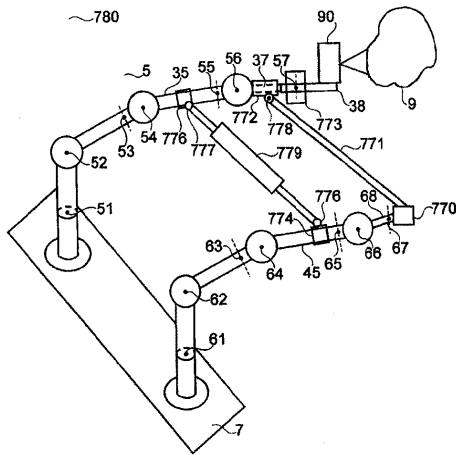
【図 7 7】



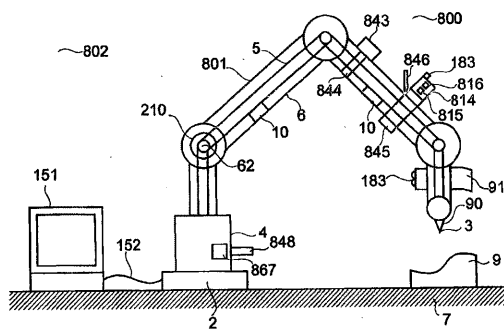
【図 7 8】



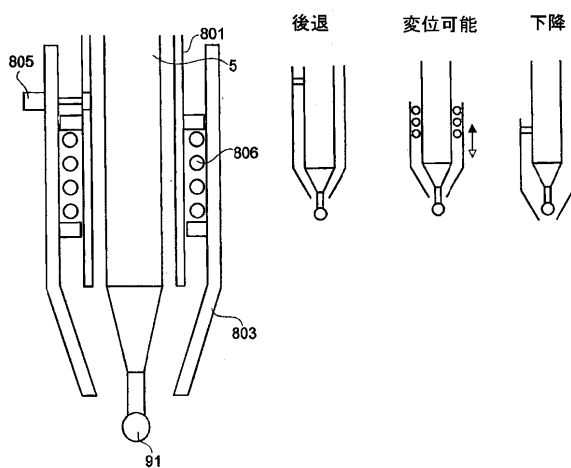
【図 79】



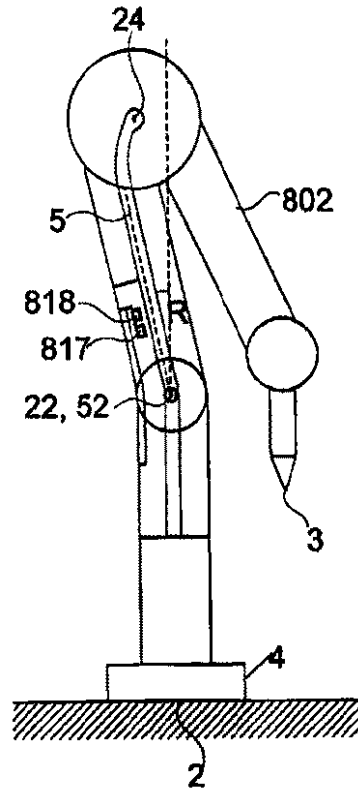
【図 80 A】



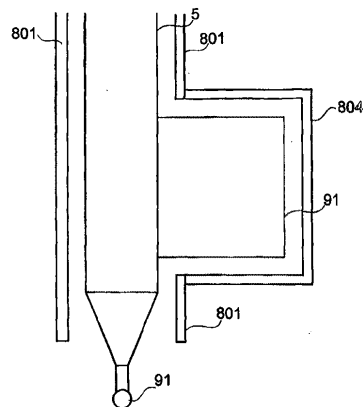
【図 81】



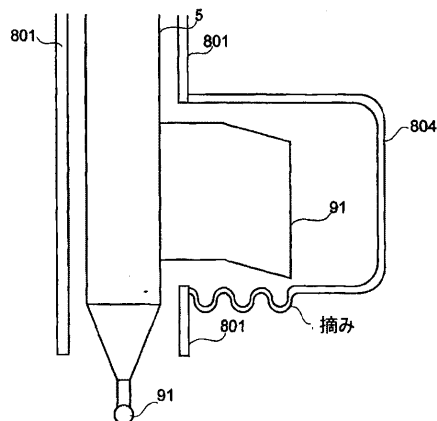
【図 80 B】



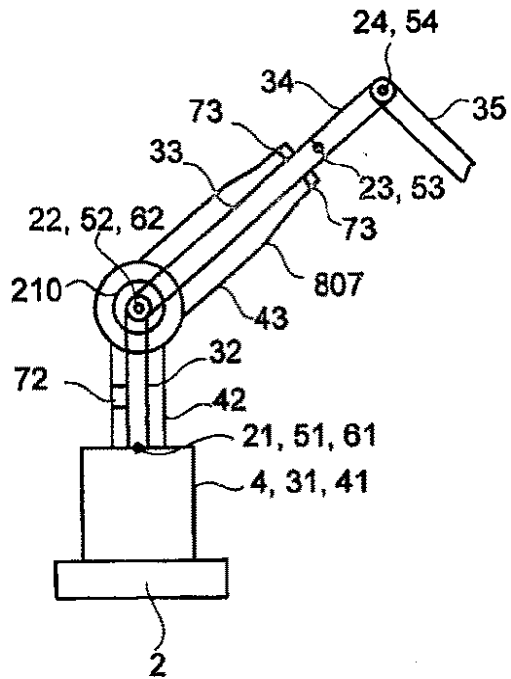
【図 82 A】



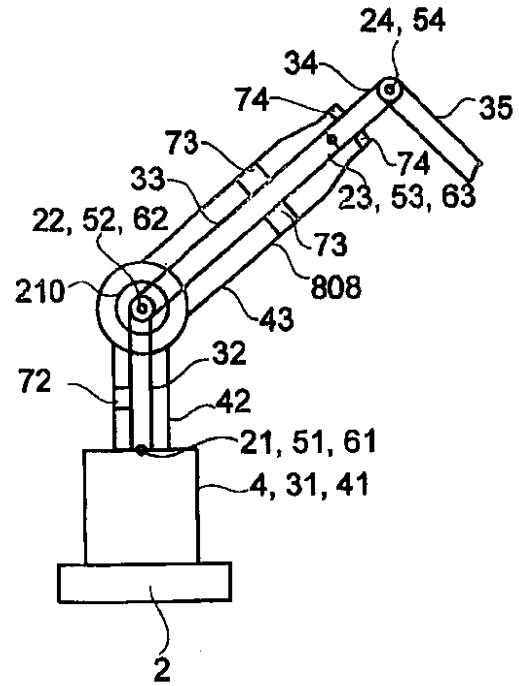
【図 82 B】



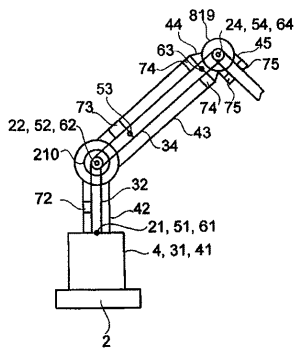
【図 8 3 A】



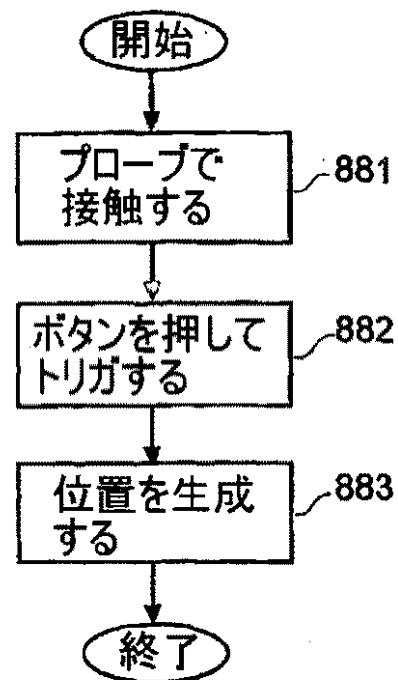
【図 8 3 B】



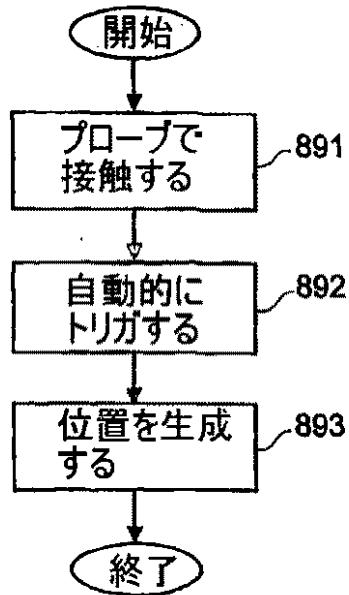
【図 8 3 C】



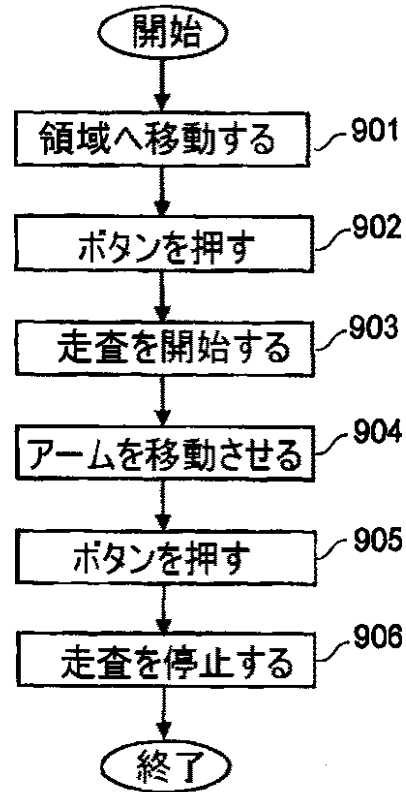
【図 8 3 D】



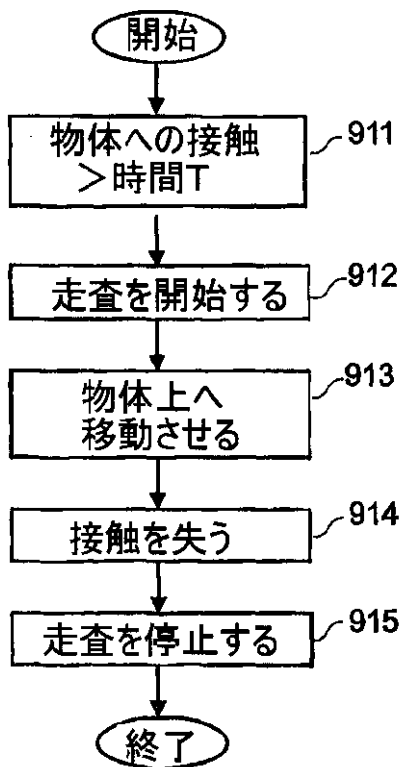
【図 8 3 E】



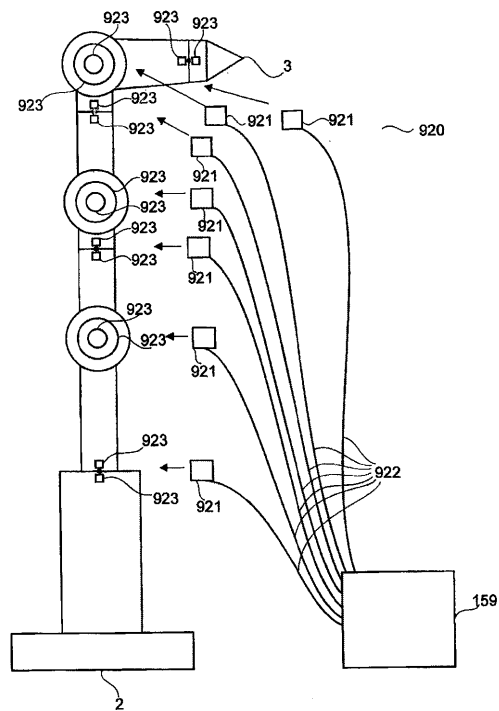
【図 8 3 F】



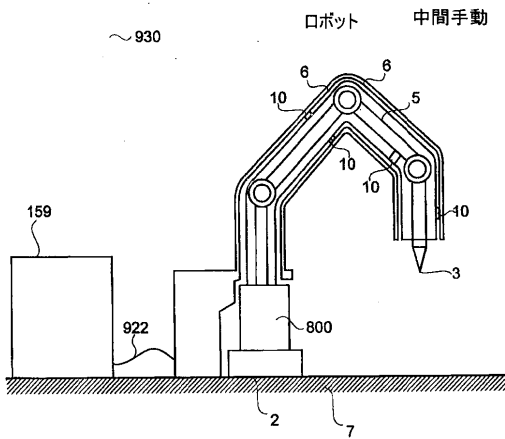
【図 8 3 G】



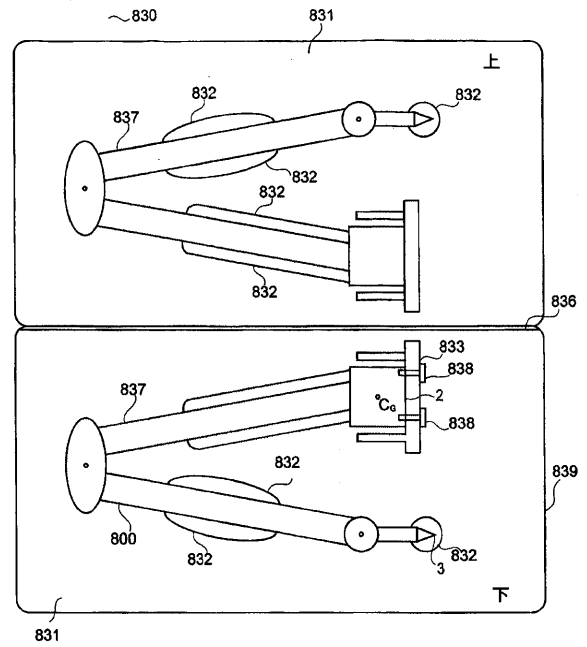
【図 8 3 H】



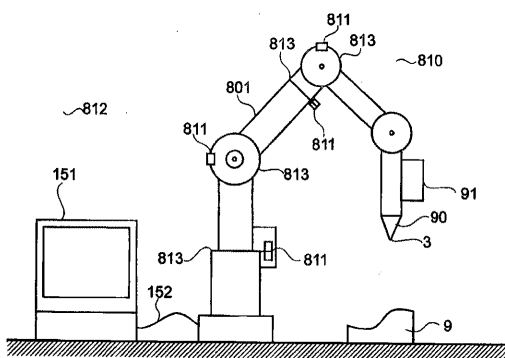
【図 8 3 I】



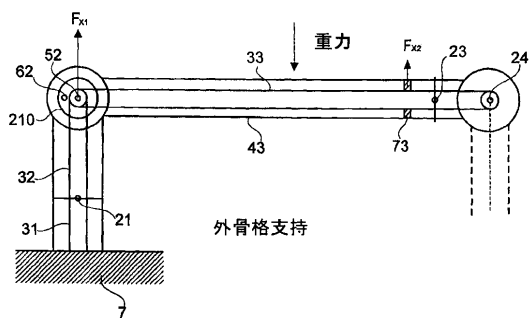
【図 8 4】



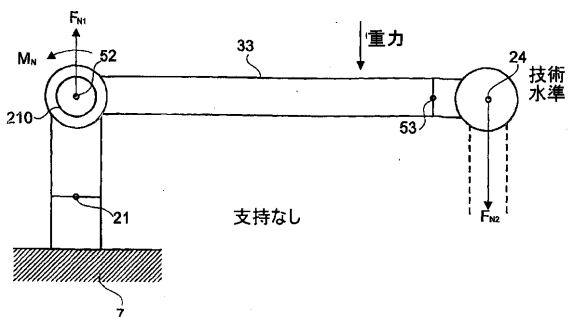
【図 8 5】



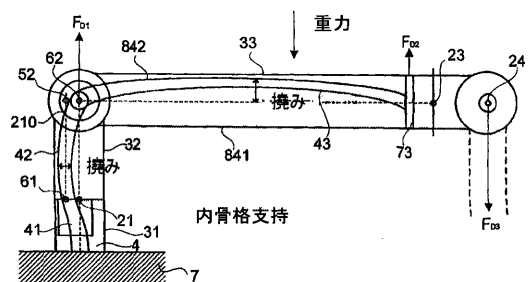
【図 8 6 B】



【図 8 6 A】

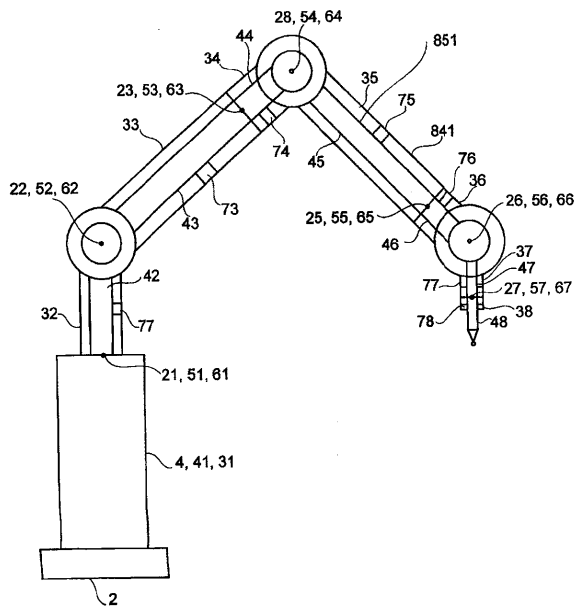


【図 8 6 C】



【図 87】

～ 850



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 0405396.3

(32)優先日 平成16年3月10日(2004.3.10)

(33)優先権主張国 英国(GB)

(特許庁注：以下のものは登録商標)

- 1．バブルジェット
- 2．イーサネット
- 3．WINDOWS
- 4．マジックテープ
- 5．VELCRO

(74)代理人 100120064

弁理士 松井 孝夫

(72)発明者 クランプトン，ステファン，ジェームス

イギリス，E N 7 5 J U ハートフォードシャー，ウォルサム クロス，ゴッフス オーク，ブ
ロードフィールズ 9

Fターム(参考) 2F062 AA01 AA71 EE01 EE62 EE66 FF05

2F069 AA04 AA71 GG01 GG31 GG62 GG65 HH01 HH15 JJ08 JJ10

3C029 EE01

3C707 AS12 AS14 BS10 CU01 CU08 CY04 CY32 HT40 JT08 JU16

KS21 KS36 MT04