

明 細 書

発明の名称： 拡張現実による機械締結作業方法

技術分野

[0001] 本発明は、拡張現実による機械締結作業方法に関する。

背景技術

[0002] 拡張現実 (Augmented Reality) は、人間やカメラが知覚する現実空間に、サーバ (コンピュータ) 等に構成される 3D-CAD データや CG (Computer Graphics) 等の技術で構築される仮想空間を重ねて、人が知覚する空間を拡張する (拡張現実空間) 技術である。

[0003] 従来では、工具や計測器を経由して取得したボルトやフランジ等の締め付けに関する情報と、作業に供した工具および計測器データや作業員等の ID 情報とを関連付けてトレーサビリティを確保することで高品質な作業管理を実現する作業管理システムが知られている (例えば、特許文献 1 参照)。

なお、トレーサビリティ (又は「追跡可能性」ともいう) とは、物品の流通経路を生産段階から最終消費段階あるいは廃棄段階まで追跡が可能であることを意味する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献 1：特許第 5 0 6 5 8 5 1 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献 1 に記載の作業管理システムは、フランジ締め付けに関わる個々のボルト締結作業データについて、それを設定、計測した締め付け工具や計測器や用いられたボルト等のトレーサビリティを確保することができ、人為的な誤りによる設定締め付けトルクの目標値又は設定締め付け代の目標値の入力ミスや、実測締め付けトルク値や実測締め付け代の記載ミスを防止する

ことが可能なシステムである。

[0006] しかしながら、特許文献1に記載の作業管理システムは、フランジ締め付けに関わる全てのボルトにRFICタグを備える必要がある。さらに、これらのボルトに備えられるRFICタグの情報を送受信するためには、これらのボルトを把持するヘッド部にまで延伸したアンテナを有する締結工具を準備する必要があるため、その運用コストが大きくなる懸念がある。

[0007] そこで、本発明は、締結部にRFICタグ等の識別標識の付加や、締結部と締結工具との間のデータの送受信を必要とせず、拡張現実を利用して、ある作業者が実施した機械締結作業の内容を記録してトレーサビリティを確保することにより、別の作業者への引継ぎ等を促進する、運用コストの小さい、高品質な機械締結作業方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 上記課題を解決するために、代表的な本発明の機械締結作業方法の1つは、現実空間に仮想空間を重ねて生成した拡張現実空間を用いる第1作業者による機械締結作業方法であって、前記現実空間は、機械締結部と、前記機械締結部に被せられる工具と、を含み、前記仮想空間は、前記機械締結部を模擬する機械締結部仮想体と、前記工具を模擬する工具仮想体と、を含み、前記拡張現実空間において、前記機械締結部と、前記機械締結部仮想体と、が一对一に対応するとともに、前記工具と、前記工具仮想体と、が一对一に対応しており、前記拡張現実空間を生成する拡張現実システムは、前記現実空間を撮影するカメラと、前記カメラと接続され、前記カメラによって撮影された画像を解析し、拡張現実空間を生成するように構成されたサーバと、前記機械締結部の締緩時に観察される締緩情報を取得して前記サーバに送受信する前記工具と、を有しており、前記機械締結作業方法は、前記工具が前記機械締結部を締緩する前記締緩情報を検知した時に、前記機械締結部に一对一に対応する前記機械締結部仮想体を確定し、前記仮想空間に確定した前記機械締結部仮想体を出現するステップとを含む。

発明の効果

[0009] 本発明によれば、締結部にＲＦＩＣタグ等の識別標識の付加や、締結部と締結工具との間のデータの送受信を必要とせず、拡張現実を利用して、ある作業者が実施した機械締結作業の内容を記録してトレーサビリティを確保することにより、別の作業者への引継ぎ等を促進する、運用コストの小さい、高品質な機械締結作業方法を提供することができる。

上記した以外の課題、構成及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]図1は、本発明の実施形態に係る、拡張現実による機械締結作業方法に係わるシステム構成の模式図である。

[図2]図2は、本発明の実施形態に係る、拡張現実による機械締結作業方法における組立作業を示す組立図である。

[図3]図3は、本発明の実施形態に係る、部品を基盤に取り付ける作業を指示する作業指示書の一例を示す図である。

[図4]図4は、本発明の実施形態に係る、機械締結作業に供されるボルトの位置を代表する代表点を示す模式図である。

[図5]図5は、本発明の実施形態に係る、ソケットを備える工具でボルトを締結する際の工具の代表点からボルトの代表点までの関係を示す模式図である。

[図6]図6は、本発明の実施形態に係る、工具でボルトを締め付ける際に観察される締め付けトルクの推移を示す模式図である。

[図7]図7は、本発明の実施形態に係る、本発明による拡張現実による機械締結作業方法を説明するフローチャート（パート1）を示す図である。

[図8]図8は、本発明の実施形態に係る、本発明による拡張現実による機械締結作業方法を説明するフローチャート（パート2）を示す図である。

[図9]図9は、本発明の実施形態に係る、本発明による拡張現実による機械締結作業方法を説明するフローチャート（パート3）を示す図である。

[図10]図10は、本発明の実施形態に係る、本発明による拡張現実による機

械締結作業方法を説明するフローチャート（パート４）を示す図である。

[図11]図１１は、本発明の実施形態に係る、本発明による拡張現実による機械締結作業方法を説明するフローチャート（パート５）を示す図である。

[図12]図１２は、本発明の実施形態に係る、本発明による拡張現実による機械締結作業方法を説明するフローチャート（パート６）を示す図である。

[図13]図１３は、本発明の実施形態に係る、第１作業者が所定の位置に挿入されたボルトを仮締めした様子を示す模式図である。

[図14]図１４は、本発明の実施形態に係る、第１作業者のボルト締め付け作業を記録するデータ表であって、ボルト締め付け作業前のデータ表である。

[図15]図１５は、本発明の実施形態に係る、仮想空間に工具を模擬する工具仮想体を出現する様子を示す模式図である。

[図16]図１６は、本発明の実施形態に係る、仮想空間に、ボルトを模擬するボルト仮想体を出現する様子を示す模式図である。

[図17]図１７は、本発明の実施形態に係る、第１作業者のボルト締め付け作業を記録するデータ表であって、ボルトを締め付け作業後のデータ表である。

[図18]図１８は、本発明の実施形態に係る、第１作業者が全てのボルトを締め付けた後に拡張現実空間に表示される画像であって、締め付けたボルトと、これらの締め付けられたボルトの近傍に表示された締め付け作業完了情報と、を含む画像をキャプチャした模式図である。

[図19]図１９は、本発明の実施形態に係る、第１作業者の締め付け作業に基づき作成された第２作業者に締め付け作業を指示する作業指示書（作業マニュアル）である。

[図20]図２０は、本発明の実施形態に係る、第２作業者の透過型スクリーンに表示される拡張現実空間の画像であって、第２作業者がこれから締め付けるボルトの位置を示す模式図である。

[図21]図２１は、本発明の実施形態に係る、第２作業者の透過型スクリーンに表示される拡張現実空間の画像（図５）に基づいて、第２作業者が所定の

位置に挿入したボルトを仮締めした様子を示す模式図である。

[図22]図22は、本発明の実施形態に係る、第2作業者が工具でボルトを締め付ける際に、工具で締結されているボルトを仮想空間において特定する手順を示す模式図である。

[図23]図23は、本発明の実施形態に係る、第2作業者のボルト締め付け作業を記録するデータ表であって、ボルトを締め付け作業後のデータ表である。

[図24]図24は、本発明の実施形態に係る、第2作業者が全てのボルトを締め付けた後に拡張現実空間に表示される画像であって、締め付けたボルトと、これらの締め付けられたボルトの近傍に表示された締め付け作業完了情報と、を含む画像をキャプチャした模式図である。

[図25]図25は、本発明の実施形態に係る、拡張現実による機械締結作業方法における機能を実施するように構成されたコンピュータシステムのブロック図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、図面を参照して、本発明の実施形態について説明する。なお、この実施形態により本発明が限定されるものではない。また、図面の記載において、同一部分には同一の符号を付して示している。

[0012] 上述したように、本発明は、拡張現実を利用して、作業者がボルト等を締め付けたり、緩めたりする機械締結に係わる作業内容を記録したり、ある作業者が作業した内容を別の作業者が作業できるように作業指示を出すとともに、作業指示された作業内容が確実に実施されたことを容易に確認して保存できる方法に関する。

[0013] 本明細書での現実空間とは、作業者が自らの視覚で得た像、または、カメラ10が撮影した像が置かれる空間を意味するものである。また、本明細書での仮想空間とは、3D-CADやCGなどデジタル情報で構築されたサーバ（コンピュータ）内の空間を意味するものである。

また、本明細書での機械締結は、六角ボルトによる締結、六角穴付きボルト

トによる締結、リベットによる締結などを含む。六角ボルトによる締結を例に挙げて、本発明を実施する形態を説明する。

＜システム構成＞

[0014] まず、図 1 を参照して、本発明の実施形態に係る、拡張現実による機械締結作業方法に係わるシステム構成について説明する。

[0015] 図 1 は、拡張現実による機械締結作業方法に係わるシステム 100 の構成の模式図である。このシステム 100 は、作業者が身に着けるウェアラブル装置 7 と、トルク情報等を送受信できる通信機能を有する工具 RTn と、設計図面や作業指示書などが格納されるネットワークサーバ 26 と、前述した各種機器等が接続されるネットワーク 5 と、から構成される。

[0016] [ウェアラブル装置 7]

ウェアラブル装置 7 は、作業者が身に着ける機器である。このウェアラブル装置 7 は、例えば作業者が頭に装着する機器である場合には、ヘッドギアなどと称される。ウェアラブル装置 7 は、作業者の視点で映像を取得するカメラ 10 と、カメラ 10 で撮影した画像等を画像処理するとともにネットワーク 5 と通信する機能を有する拡張現実サーバ 12 と、作業者の視界を形成する透過型スクリーン（透過型スクリーン）14 と、から構成される。

[0017] ウェアラブル装置 7 が備える透過型スクリーン 14 は、作業者が視界を確保できるように透過性を備える。カメラ 10 は、作業者が透過型スクリーン 14 越しに視覚で捉える像とほぼ同じ像を撮影することができる。拡張現実サーバ 12 は、カメラ 10 が撮影した現実空間の映像に、拡張現実サーバ 12 が創る仮想空間の映像を重ねた拡張現実空間の映像を、この透過型スクリーン 14 に投影することができる。

[0018] ウェアラブル装置 7 が備える拡張現実サーバ 12 は、拡張現実を創生するアプリケーションソフトや各種データを保管するメモリ領域と、作業者がウェアラブル装置 7 を介して示す要求事項を処理する処理部と、ネットワーク 5 とのデータを送受信する通信部を有するコンピュータである。

[0019] 拡張現実サーバ 12 は、カメラ 10 が撮影した現実空間（実体）情報を画

像解析して、後述する工具 $R T n$ およびソケット $R T S n$ に対応する工具仮想体 $I T m$ や、ボルト $R B n$ に対応するボルト仮想体 $I B n$ などを生成するとともに仮想空間に出現させたり、仮想空間に出現させた物体を現実空間に重ね合わせて拡張現実空間を創出したり、仮想空間で工具仮想体 $I T m$ とボルト仮想体 $I B n$ との干渉（当たり）を判定したりする機能を備える。

[0020] 拡張現実サーバ12は、作業者がボルト締め付け作業を実施するに際して、各ボルトの位置情報や、工具を起点にボルトが位置する方向を示す方向情報などを取得し、格納する。例えば、拡張現実サーバ12は、作業員に教示する各ボルトを締める際に供される締め付け順番、締め付け下限トルク、締め付け目標トルク、締め付け上限トルクのデータや、作業員が実際にボルトを締めつけた際に観察される締め付け完了トルクや締め付け日時などの情報を取得して保管してもよい。

[0021] さらに、拡張現実サーバ12は、第1作業者の作業内容を保存し、第1作業者の作業内容を第2作業者に教示する時に提供される作業マニュアルを作成して、透過型スクリーン14に掲出して第2作業者に作業内容を指示するとともに、第2作業者による締め付け作業結果（締め付け完了トルク、作業日時等の情報）を取得して保管する機能を備えてもよい。

[0022] また、拡張現実サーバ12は、ネットワークサーバ26に格納された任意の情報をネットワーク5を経由して取得して、透過型スクリーン14に投影して作業員に情報を通知してもよい。

なお、拡張現実サーバ12は、カメラ10と一体に構成してもよく、ネットワーク5を介して、拡張現実サーバ12が有するメモリ領域や処理部を、ウェアラブル装置7から離れた場所に設けてもよい。

[工具 $R T n$]

[0023] 工具 $R T n$ は、ボルト、ネジ、リベット等の機械締結部を締めたり緩めたりする工具である。以下では、これらの機械締結部を締め付けたり、または、緩めたりする動作を「締緩」と記す場合がある。

なお、この工具 $R T n$ の「 n 」は、工具の用途ごとの種類や、ボルト等の

機械的締結部のサイズ等によって準備される複数の種類があることを示す添え字である。また、本明細書では、説明の便宜上、機械締結部がボルトやリベットの場合を例示するが、本発明に係る機械締結部はこれに限定されず、釘、ダボなど、任意の締め具であってもよい。

[0024] 工具 $R T n$ は、作業者が把持する握り部を含む工具柄部 $R T E n$ と、工具柄部 $R T E n$ に接続する工具ヘッド部 $R T H n$ と、工具 $R T n$ が機械締結部を締緩した締緩情報をネットワーク 5 に送受信するとともに、作業者に締緩に係る情報を表示する通信表示部 $R T T$ とを有する。

機械締結部がボルトやネジの場合、締緩情報は、ボルト（ネジ） $R B n$ を締める際に観察される締め付け開始時から締め付け完了時までの締め付けトルク情報（締め付けトルクが生じる時刻歴データ等を含む）や、既に締め付けられたボルトを緩めるときに計測される残留トルク情報である。

また、機械締結部がリベットの場合、締緩情報は、リベットを打つリベッターが把持したリベットのシャフトが破断した時の情報であってもよい。

[0025] 機械締結部がボルトの場合、工具ヘッド部 $R H T n$ は、ボルトサイズやボルト種別に対応する各種ソケット $R T S n$ を工具 $R T n$ のヘッド部 $R T H n$ に装着できるトルクレンチであってもよく、スパナ形状やモンキレンチ形状など様々なトルクレンチ形状であってもよい。また、機械締結部がリベットの場合、工具ヘッド部 $R H T n$ は、リベットを把持するノーズハウジングを含む部位であってもよい。

[0026] 工具 $R T n$ に併設される通信表示部 $R T T$ の表示部は、締め付け目標トルク値（ $T r_S e t$ ）を作業者に教示し、作業者がボルトを目標トルク値（ $T r_S e t$ ）以上かつ締め付け上限トルク値（ $T r_M a x$ ）以下で締め付けられたこと、および、所定の締め付けトルク値で締め付け作業が完了した情報等を作業者に伝達する機能を備える。こられの情報は、透過型スクリーン 14 に表示したり、作業者の手首等に備える別のウェアラブル端末の表示部に表示したりすることなどの構成も可能である。

また、機械締結部がリベットの場合、通信表示部 $R T T$ は、リベットを把

持するノーズハウジングに接続するとともに、具柄部 RTE_n に相当するハンドルに備えられるトリガーの ON/OFF 信号を送受信するように構成されてもよい。

[ネットワークサーバ26]

[0027] ネットワークサーバ26は、製造物（例えば、鉄道車両や自動車など）の製作内容が示される製作作業指示書や、保守作業の内容が示される保守作業指示書などを格納するサーバである。また、拡張現実サーバ12の要求に応じて、ネットワークサーバ26は、格納されているデータの中から、必要なデータのみを抽出して拡張現実サーバ12に提供する機能を備える。

[0028] また、ネットワークサーバ26は、カメラ10が撮影した基盤および部品（例えば、図2に示す基盤 $RD2$ 及び部品 $RD1$ ）や、工具 RT_n やソケット RTS_n 等の画像にエッジ処理等の画像解析を施すことで締め付け対象物から特徴点を抽出して、この特徴点に現実空間原点 $RO(0, 0, 0)$ を割り当てたり、現実空間に対応する仮想空間に、現実空間原点に一対一に対応する仮想空間原点 $IO(0, 0, 0)$ を生成したりする機能を備える。

なお、ここでの画像解析は、例えば、キャニー法、2次の手法、閾値処理及び連続処理、畳み込みニューラルネットワークによる処理など、任意の手法であってもよい。

[0029] また、ネットワークサーバ26は、カメラ10が撮影した画像を解析して、工具 RT_n およびソケット RTS_n 等の主要寸法等の寸法情報を取得したり、工具 RT_n およびソケット RTS_n 等の現実空間における位置情報（例えば、3次元的な位置を示す座標）を取得したり、現実空間原点 RO と一対一に対応する仮想空間原点 IO を基準に、現実空間の位置情報および寸法情報を、仮想空間に転記したりする機能を備える。

[0030] また、ネットワークサーバ26は、工具 RT_n およびソケット RTS_n 等に添付されたQRコード（登録商標）等の目印を画像解析するとともに、目印に格納された情報を読み取って、上述した寸法情報や位置情報を取得する構成も可能である。

なお、上述した拡張現実サーバ１２の機能（処理）の一部、または、その殆ど全てをネットワークサーバ２６の機能（処理）に置き換えることができる。このため、説明の便宜上、これ以降の説明では、拡張現実サーバ１２の機能（処理）とネットワークサーバ２６の機能（処理）とを区別せずに、拡張現実サーバ１２またはネットワークサーバ２６のいずれかの機能（処理）として、単に、サーバの機能（処理）として記載する。

また、上述したように、機械締結部は、ボルト、ネジ、リベットなどがあるが、以下に、代表的な機械締結部としてリベットを例に挙げて、実施するための形態を説明する。

<作業内容>

[0031] 次に、図２を参照して、本発明の実施形態に係る、拡張現実による機械締結作業方法における組立作業について説明する。

[0032] 図２は、本発明の実施形態に係る拡張現実による機械締結作業方法における組立作業２００の一例を示す組立図である。ここでの組立作業２００は、現実空間において、図２に示す部品ＲＤ２を４本のボルトＲＢ１～ＲＢ４（以下、ＲＢ n （ $n=1\sim4$ ）、または、単にＲＢ n と記す）で基盤ＲＤ１に固定する作業である。この基盤ＲＤ１は、部品ＲＤ２を貫通したボルトＲＢ n が螺合するネジ溝を有するネジ穴ＲＱ１～ＲＱ４と、を有する。また、部品ＲＤ２は、その４隅にボルトＲＢ n が垂直方向に貫通する貫通孔ＲＰ１～ＲＰ４を備える。

[0033] 次に、図３を参照して、本発明の実施形態に係る、部品を基盤に取り付ける作業を指示する作業指示書について説明する。

[0034] 図３は、部品を基盤に取り付ける作業を指示する作業指示書３６０の一例を示す図である。図３に示すように、作業指示書３６０には、例えば、図番、図面名称、部品名称、材質、ボルトサイズ、ボルト首下長さ、ボルト材質、規定締め付けトルク値（下限値、目標値、上限値等）、ボルト本数、工具およびソケット種別などの情報が管理されている。あらかじめ、ボルト位置やボルトの周囲や手前にある障害物等の情報を入手した場合には、ボルトＲ

B_nと、ボルトR B_nに供されるソケットR T S_nとの対応関係を図3に示される作業指示書360に表記してもよい。

なお、図3では、図2に示す締め付け作業に供されるソケットは、ボルトR B₁、R B₂、R B₄は、50mmのソケット長(D21)のソケットR T S₁で締め付けられ、ボルトR B₃は80mmのソケット長(D22)のソケットR T S₂で締め付けられる場合を例とした。

＜ボルト位置を示す代表点の定義＞

[0035] 次に、図4を参照して、本発明の実施形態に係る、機械締結作業に供されるボルトの位置を代表する代表点について説明する。

図4は、機械締結作業に供されるボルトの位置を代表する代表点を示す模式図である。六角ボルトを例に挙げて、機械締結作業に供されるボルトの位置を代表する代表点の位置を説明する。六角ボルトは、ソケットR T S_nが被せられる頭部aと、頭部aに接続する円筒部bと、円筒部bに接続するネジ部cと、からなる。ボルトR B_nの位置を示すボルト位置(座標)O R B_nは、頭部aと円筒部bとが接続する面と、ボルトR B_nの軸R zと、が交差する点とする。

[0036] 上述した現実空間のボルトR B_nの位置を示すボルト位置O R B_nは、仮想空間に形成される仮想ボルトI B_nの位置を示す仮想ボルト位置O I B_nに一対一対応する。

その後、現実空間のボルトR B_nが差し込まれていない状態の部品R D₁のボルト孔R P_nにボルト仮想体I B_nを重ねて表示した場合(拡張現実空間、図14参照)に、ボルト仮想体I B_nの位置O I B_nが部品R D₁の表面に表示され、作業者がボルトR B_nが施工された状態を容易に把握できる効果を得られる。

なお、六角ボルトを例に挙げてボルト位置の定義の仕方を説明したが、六角ボルトに代えて六角穴付きボルトやネジの場合であっても、ボルトの位置を示す代表位置を上述した位置とすれば、同様の効果を得ることができる。

＜締め付け状態の工具とソケットとボルトの位置関係の説明＞

[0037] 次に、図5を参照して、本発明の実施形態に係る、ソケットを備える工具でボルトを締結する際の工具の代表点からボルトの代表点までの関係について説明する。

[0038] 図5は、ソケットを備える工具でボルトを締結する際の工具の代表点からボルトの代表点までの関係を示す模式図である。より具体的には、図5は、工具ヘッド RTH_n と、工具柄部 $RTEn$ とから構成される工具 RT_n を用いて、部品 RD_2 を基盤 RD_1 に締め付けるボルト RB_n を規定の締め付け目標トルク(Tr_Set)で締め付ける作業が完了した時の模式図である。

[0039] ボルト RB_n の代表位置(座標) ORB_n を、紙面内で水平方向の x 軸と紙面の法線方向の y 軸とがなす $x-y$ 平面に直行する態様で配置すると、 z 軸(紙面内で鉛直方向の軸)に、工具ヘッド RTH の位置(座標) $ORTH_n$ と、円筒状のソケット $RTSn$ の軸と、が重なる。

[0040] 工具ヘッド RTH_n の厚み(z 方向の寸法)を $D1_n$ とし、ソケット $RTSn$ の z 軸に沿う高さ寸法を $D2_n$ とすると、工具ヘッド RTH_n の代表位置(座標) $ORTH_n$ からボルト RB_n の位置 ORB_n までの工具寸法 $h1$ (以下、単に、寸法 $h1$ と記す場合がある)は、工具ヘッド厚さ寸法 $D1_n$ とソケット長寸法 $D2_n$ との和となる。

なお、図5に示す工具ヘッド RTH_n の側面と、ソケット $RTSn$ の側面には、カメラ10によって撮影された後に画像解析に供される目印が添付されている。

<工具 RT_n が観察するボルト締め付けトルクが生じる様子の説明>

[0041] 次に、図6を参照し、本発明の実施形態に係る、工具でボルトを締め付ける際に観察される締め付けトルクの推移について説明する。

[0042] 図6は、工具でボルトを締め付ける際に観察される締め付けトルク値(以下、単にトルクと記す場合がある)の推移を示す模式図である。一般に、ボルトは過剰な締め付けによるボルト破断や、締め付け不足による緩みが生じないように、ボルトに生じる軸力で、ボルトの締め付け状態を管理すること

が望ましい。しかしながら、ボルトの軸力を直接観察することは容易でないため、ボルトの軸力に代えて、ボルトの軸力に比例する締め付けトルクでボルトの締め付け状態を管理する。

[0043] 図6の横軸は時間を表す軸であり、その縦軸はボルトRB_nを工具RT_nで締め付ける際に工具RT_nが計測する締め付けトルクを表す軸である。工具RTに備えられる表示通信部RTTは、上述したネットワーク（例えば、図1に示すネットワーク5）を介してネットワークサーバ（例えば、図1に示すネットワークサーバ26）に、ボルトRB_nを工具RT_nで締め付ける時に取得される締め付けトルク情報（締め付けトルクの時刻歴データ、および、締め付けトルクなど）を送受信する。

[0044] 工具RT_nでボルトRB_nを締め付け始めると、工具RT_nは、締め付け開始時刻t_Bに、締め付け開始トルクTr_Bを観察する。その後、工具RT_nを戻して（ラッチェットの戻し動作）、再度、工具RT_nでボルトRB_nを締め付けるため、締め付けトルクが観察される傾斜部と、戻し動作時に観察される締め付けトルクが観察されない水平部と、が交互に観察される。

[0045] 特に、締め付け開始トルクTr_Bを観察する時の傾斜部の傾き（例えば、工具柄部RTE_nが掃く角度に対するトルク値の上昇率）が所定の傾きを超えた場合、ネットワークサーバ（例えば、図1に示すネットワークサーバ26又は拡張現実サーバ12）は、ボルトRB_nにかじり（つまり、ボルトRB_nのネジ山と、基盤RD1のネジ穴RQ_nとの摩擦熱により、ネジ山の表面がネジ穴に溶融（溶着）し、ボルトRB_nが動かなくなること）、いわゆる「焼き付き」現象が生じたと判断すると、作業者に締め付け箇所の点検等を透過型スクリーン14を介して指示することもできる。上述したかじり（焼き付き）は、図7～図12で説明するフローチャートのステップ150およびステップ390で検出される。これらのステップを含むことによって、ボルトのかじりを早期に検出して、所定の品質を備える締結作業を実現することができる。

[0046] ボルト $R B_n$ は、所定の軸力が得られる締め付け目標トルク $T r_S e t$ と、この締め付け目標トルク $T r_S e t$ を基準に締め付けトルクの不足側に許容できる下限の締め付け下限トルク $T r_M i n$ と、締め付けトルクの過剰側に許容できる上限の締め付け上限トルク $T r_M a x$ とが設定される。一般に、締め付け下限トルク $T r_M i n$ および締め付け上限トルク $T r_M a x$ は、使用環境等を考慮して決められてもよい。

＜第1作業者の作業内容を記録して、作成された作業手順（マニュアル）を第2作業者へ教示する方法＞

[0047] 次に、図7から図12を参照して、本発明による拡張現実による機械締結作業方法について説明する。

図7から図12は、本発明による拡張現実による機械締結作業方法を説明するフローチャートのパート1からパート6を示す図である。また、ステップ10（S10）からステップ220（S220）までが第1作業者の作業に係わるものであり、ステップ230（S230）からステップ460（S460）までが、第1作業者の作業内容を教示された第2作業者の作業に係わるものである。

[0048] 本発明の実施形態に係る拡張現実による機械締結作業方法では、3D-CADモデルなどの仮想空間の情報がない場合に、第1作業者の作業内容を拡張現実空間に記録（トレーサビリティ確保）して、この第1作業者の作業記録に基づいて第2作業者に向けた作業手順（マニュアル）を作成し、作成された作業手順を、拡張現実空間を介して第2作業者に教示することができる。

具体的には、本発明による拡張現実による機械締結作業方法は、拡張現実サーバ12（例えば、図1に示す拡張現実サーバ12又はネットワークサーバ26）が、第1作業者の作業内容を保存した後、この保存された情報を利用して作業手順（マニュアル）を作成し、作成された作業手順を第2作業者が装着したウェアラブル装置7を介して、第2作業者に教示する方法である。

以下、図2に示す組立て作業を例に挙げ、図7～図12のフローチャートを参照して、拡張現実による機械締結作業方法を構成する各ステップの内容を説明する。

＜第1作業者による締め付け作業＞

[0049] ステップ10 (S10) : 拡張現実による機械締結作業 (方法) を開始する。

[0050] ステップ20 (S20) : 第1作業者は、組立図 (図2) および作業指示書 (図3) 等から組み立て作業内容を把握する。

[0051] ステップ30 (S30) : 第1作業者は、把握した作業内容に基づき、部品RD2を基盤RD1に位置決めした後、図13に示すように、ボルトRB n ($n=1\sim4$) を部品RD2の貫通孔RP n ($n=1\sim4$) に差し込んだ後、基盤RD1のネジ穴RQ n ($n=1\sim4$) に手締め (仮締め) する。

なお、ボルトRB n ($n=1\sim4$) は、仮締めの状態なので、ボルトRB n ($n=1\sim4$) の頭部aは、部品RD2の上面から浮いている状態となっている。

[0052] ステップ40 (S40) : 第1作業者は、ウェアラブル装置7を装着して、電源をONして拡張空間生成アプリケーションソフトを起動する。

[0053] ステップ50 (S50) : サーバは、第1作業者の作業内容を記録する記録表を作成する。この記録表は、第1作業者がボルトを締め付ける作業前のデータ表である (図14参照)。

このデータ表は、締め付け作業の対象のボルトRB n ($n=1\sim4$) に対して、ボルトの代表点 (図4のORB n ($n=1\sim4$)) の位置座標 (X, Y, Z) と、工具RT n 上の一点 (工具ヘッド代表位置ORTH n) に始点を持ち、工具RT n から見てボルトRB n ($n=1\sim4$) が存在する方向を示す単位方向ベクトル (i_n, j_n, k_n) ($n=1\sim4$ 、以下単に、方向ベクトルと記す場合がある) と、ボルトRB n ($n=1\sim4$) の締め付けトルク下限値Tr_Min (Nm) と、締め付け目標トルク値Tr_Set (Nm) と、締め付けトルク上限値Tr_Max (Nm) と、実際に締め付け

られたトルク値 (T_{r_rslt}) と、ボルト RB_n ($n=1\sim 4$) を締め付ける順番 (Seq) と、作業日と、作業時刻と、を記載する欄を備える。

なお、 $S50$ の時点では、このデータ表 (図14) には、作業指示書 (図3) などから得たボルト RB_n ($n=1\sim 4$) の締め付けトルク下限値 T_{r_Min} (Nm) と、締め付け目標トルク値 T_{r_Set} (Nm) と、締め付けトルク上限値 T_{r_Max} (Nm) のみが記されている。

[0054] ステップ60 ($S60$) : サーバは、カメラ10が捕捉した作業対象物 (図13に示すボルト RB_n ($n=1\sim 4$) で仮り締めされた基盤 $RD1$ と部品 $RD2$) を画像処理して、作業対象物の特徴点を見出したのち、この特徴点に現実空間原点 RO を配置する。

[0055] ステップ70 ($S70$) : サーバは、仮想空間に、現実空間原点 RO に一対一に対応する仮想空間原点 IO を配置する。

[0056] ステップ80 ($S80$) からステップ200 ($S200$) までは、第1作業者が4本のボルト RB_n ($n=1\sim 4$) を締め付けるループ作業である。第1作業者は、ボルト RB_n ($n=1\sim 4$) を締め付ける順番を、部品 $RD2$ の大きさや特徴を基に自らの経験に基づいて決定してもよく、ボルトを締め付ける順番を記した作業要領書 (図示せず) などを参照して決定してもよい。

ステップ90 ($S90$) : 第1作業者は、ソケット RTS_n を装着した工具 RT_n を仮締めされたボルト $RB1$ の頭部 a に掛ける。

あらかじめ、ボルト RB_n とソケット RTS_n との対応が把握できており、この対応情報が図3に示す作業指示書に記載されている場合は、 $S90$ の後に、第1作業者が正しいソケット RTS_n を選択して、ボルト RB_n を締め付けようとしているのか否かを判断するフローを追加してもよい。

[0057] ステップ100 ($S100$) : サーバは、カメラ10が取得した画像から工具基準面 TSP 内にある工具ヘッド位置 $ORTH_n$ を把握する。

[0058] ステップ110 ($S110$) : サーバは、工具基準面 TSP に含まれる工具ヘッド位置 $ORTH_n$ を始点に、工具基準面 TSP のカメラ10に視認され

ない側の空間に向けて、工具基準面 TSP の単位法線ベクトル NV を生成し、単位法線ベクトル NV の座標 (i_n, j_n, k_n) ($n = 1 \sim 4$)を記録する。

単位法線ベクトル NV は、工具基準面 TSP の一方の面とその他方の面のいずれか面の側に存在するボルト RB_n ($n = 1 \sim 4$)の位置する方向を示す。このため、以下、単位法線ベクトル NV を、単に方向ベクトル NV と記す。

[0059] ステップ120 (S120) : サーバは、仮想空間に、工具ヘッド RTH_n とソケット RTS_n を画像分析して工具仮想体 IT_m を生成する。

[0060] ステップ130 (S130) : サーバは、方向ベクトル NV の始点の工具ヘッド位置 $ORTH_n$ から方向ベクトル NV に沿って、工具仮想体 IT_m を出現させる。

[0061] 次に、図15を参照して、ステップ90からステップ120までの記載したサーバの動作（仮想空間に、工具 RT_n を模擬する工具仮想体 IT_m を出現させる手順）を詳述する。図15は、本発明の実施形態に係る、仮想空間に工具を模擬する工具仮想体を出現する様子を示す模式図である。

なお、実際には、 Z_m 軸上に存在する IT_m は、工具ヘッド RTH_n 及びソケット RTS_n に重なっているが、説明を分かりやすくするため、図15及び後述する図16、図17において、 IT_m と、工具ヘッド RTH_n 及びソケット RTS_n とを分離して記述した。

[0062] まず、第1作業者は、透過型スクリーン14越しにボルト RB_1 に掛けられたソケット RTS_n を有する工具 RT_n を視認する。このとき、カメラ10も、第1作業者が視認した像を捕捉する。

なお、カメラ10が工具ヘッド RTH_n の特徴を把握しやすくするためには、工具ヘッド RTH_n にカメラ10が捕捉しやすい特徴を有するキャップ等を被せてもよい。

[0063] サーバは、カメラ10が捕捉した工具 RT_n の工具ヘッド RTH_n を画像処理して、仮想空間に工具基準面 TSP を生成する。また、これに合わせて

、サーバは、工具基準面 TSP に含まれる工具ヘッド位置座標 $ORTH_n$ を仮想空間に転記して、仮想空間に工具ヘッド位置 $OITH_n$ を生成する。

サーバは、仮想空間の工具ヘッド位置 $OITH_n$ を始点として、工具基準面 TSP のカメラ 10 に視認されない側の空間に向く法線方向に単位法線ベクトル（方向ベクトル） NV を生成し方向ベクトル NV の座標 (i_n, j_n, k_n) ($n=1\sim 4$) を記録する。

[0064] また、サーバは、画像処理によって得た円筒状のソケット RTS_n の外径 OR と、画像処理で得た工具ヘッド厚さ寸法 $D1_n$ とソケット長寸法 $D2_n$ の和の寸法 $h1$ とから、仮想空間に、外径 RO と軸方向の長さ $h1$ を有する円筒の工具仮想体 IT_m を生成する。

なお、サーバの画像解析によって、工具ヘッド厚さ寸法 $D1_n$ 、ソケット長寸法 $D2_n$ 、ソケット RTS_n の外径 OR を得ることが難しい場合は、画像解析によって工具ヘッド $ORTH_n$ およびソケット RTS_n の種別を識別してもよい。その後、サーバは、あらかじめサーバに記録されるとともに、画像解析で識別された種別に紐づけられる工具ヘッド厚さ寸法 $D1_n$ 、ソケット長寸法 $D2_n$ 、ソケット RTS_n の外径 OR を取得して、寸法 $h1$ を計算して、工具仮想体 IT_m を生成してもよい。また、後述するステップ 340 でも、同様である。

[0065] 次に、サーバは、工具仮想体代表点 OIT_m を、仮想空間の工具ヘッド位置 $OITH_n$ (=現実空間の工具ヘッド位置 $ORTH_n$) に重ねるとともに、方向ベクトル NV が向く方向に、工具仮想体 OIT_m を出現させる。

[0066] ステップ 140 ($S140$) : 締め付け目標トルク Tr_Set を目指して、第1作業者はソケット RTS_n 付き工具 RT_n でボルト $RB1$ を締め付け（本締め）を開始する。

[0067] ステップ 150 ($S150$) : サーバは、工具 RT_n が計測して締め付け開始トルク Tr_B を受信して、締め付け開始トルク Tr_B を受信した時刻を締め付け開始時刻 t_B として記録する。

[0068] ステップ 160 ($S160$) : 第1作業者は、工具 RT_n が観察する締め

付け完了トルク T_{r_rslt} が、目標トルク T_{r_Set} に近く（例えば、予め設定された所定の範囲以内）、且つ、締め付け下限トルク T_{r_Min} から締め付け上限トルク T_{r_Max} の間であることを確認して、ボルト $B R 1$ の締め付けを完了する。

[0069] ステップ170 (S170) : サーバは、工具 $R T n$ が発信した締め付け完了トルク T_{r_rslt} と、締め付け完了トルク T_{r_rslt} が観察された時刻を締め付け完了時刻 t_E として記録する。

[0070] ステップ180 (S180) : サーバは、工具 $R T n$ で締緩されるボルト $R B n$ に一対一に対応する円筒状のボルト仮想体 $I B 1$ を確定するとともに、方向ベクトル $N V$ に沿う方向にボルト仮想体 $I B 1$ を仮想空間に生成して出現する。

[0071] ステップ190 (S190) : サーバは、現実空間のボルト $R B 1$ に対応する仮想ボルト体 $I B 1$ の代表位置 $O B 1$ の座標 $(x 1, y 1, z 1)$ 、方向ベクトル $N V$ の座標 $(i 1, j 1, z 1)$ 、作業日時、ボルト $R B 1$ の締め付け完了時刻（締め付け完了トルク T_{r_rslt} が観察された時刻）を第1作業表（図14に示すデータ表）に記録する。

ここで、ボルト仮想体 $I B 1$ の座標 $(x 1, y 1, z 1)$ と、工具基準面 $T S P$ に含まれる工具ヘッド位置 $O R T H n$ を始点してボルト仮想体 $I B 1$ が位置する方向を示す方向ベクトル $(i 1, j 1, z 1)$ とは、機械締結部の位置情報である。

この時、ボルト $R B n$ を締め付ける際に供したソケット $R T S n$ の情報も、合わせて、第1作業表に記録してもよい。一般に、ボルト $R B n$ を締め付ける際に選定されるソケット $R T S n$ は、ボルト $R B n$ の位置や、ボルト $R B n$ の手前に十分な空間があることや障害物の有無などによって、選定される。

このため、第1作業者が初めて作業する場合に、ソケット $R T S n$ に係る情報を整理して、あらかじめ第1作業表（図14）や作業仕様書（図3）に記載することが難しい場合がある。このため、第1作業者が選定したソケッ

トRTS_nに係るソケット情報を第1作業表に記録して、第2作業者へ作業内容を伝えるとともに、第2作業者の作業中に適切なソケットRTS_nが選定されたか否かをカメラ10が撮影する画像等によって、例えば、後述するステップ300などのように確認してもよい。

[0072] ステップ200 (S200) : ボルトRB_nの本数に至るループ回数(4回)だけ、S80からS200までの各ステップを繰り返す。

[0073] 次に、図16を参照して、S180からS190までの記載したサーバの動作(ボルト仮想体IB_nの生成と出現、第1作業者による作業をデータ表に記録する手順)を詳述する。図16は、本発明の実施形態に係る、仮想空間に、ボルトを模擬するボルト仮想体を出現する様子を示す模式図である。

[0074] まず、サーバは、図2の組立図、または、図3の作業指示書、または、画像解析によって取得したボルトRB_nのボルトサイズ、ボルト首下長さを把握し、これらに応じた大きさの円筒状のボルト仮想体IB_nを形成する。

なお、サーバは、ボルトサイズ、ボルト首下長さ等を画像解析によって把握することが難しい場合には、サーバに格納される作業指示書(図3)からボルトサイズ、ボルト首下長さを把握して、ボルト仮想体IB_nを形成してもよい。

ボルト仮想体IB_nの全長は、ボルトRB_n($n=1\sim 4$)の頭部aと円頭部bとネジ部cのz軸に沿う寸法の和であり、ボルト仮想体IB_nの外径は、ボルトRB_nの頭部aをz軸方向から見た時の頭部aの外径である。

[0075] サーバは、ボルト仮想体IB_nのz軸方向の寸法を取得したのち、ボルト仮想体IB_nの上端部から頭部aのz軸に沿う寸法だけ下がった位置に、ボルト仮想体代表点OIB_nを配置する。

また、サーバは、締め付け完了トルク $T_{r_rs\,l\,t}$ が観察された時、工具仮想体代表点(IT_m)から、方向ベクトルNVの方向に沿って、工具ヘッド厚さ寸法D1_nとソケット長さ寸法D2_nの和の寸法h1の点に、ボルト仮想体代表点OIB_nが位置するように、円筒状のボルト仮想体IB_nを出現させる。

この時、円筒状の工具仮想体 $I T_m$ と円筒状のボルト仮想体 $I B_n$ は、方向ベクトル NV を含む共通の軸 Z_m 上に、工具仮想体 $I T_m$ およびボルト仮想体 $I B_n$ の各々の軸を配置するとともに、工具仮想体 $I T_m$ の下端部とボルト仮想体 $I B_n$ の上端部とが重なった態様で仮想空間に出現する。

[0076] 締め付け完了トルク T_{r_rslt} が観察された時に、ボルト仮想体代表点 $O I B_n$ を配置するので、手締めによる仮締めされたボルト $R B_n$ が工具 $R T_n$ で本締めされることによる沈み込み寸法を反映した位置である部品 $R D 2$ の上面（ボルトの頭部 a の下面が当接する面）に、ボルト仮想体代表点 $O I B_n$ を配置することができる。

[0077] 上述した特徴を備える方法を利用することにより、第2作業者にボルト位置をボルト仮想体代表点 $O I B_n$ を利用した拡張現実空間でボルト位置を示す際に、ボルト $R B_n$ の位置が部品 $R D 2$ の上面に位置するため、第2作業者は感覚的にボルト締結時の状態を把握しやすく、作業内容を容易に理解できる効果が得られる。

[0078] 次に、図17を参照して、本発明の実施形態に係る、第1作業者のボルト締め付け作業を記録するデータ表について説明する。

図17は、第1作業者が全てのボルト $R B_n$ ($n = 1 \sim 4$) を締め付け完了時（S80からS200のループを4周した時）に、第1作業者の作業に係わる各種データを記録したデータを含むデータ表である。

なお、図17の作業完了後のデータ表は、図14の作業前のデータ表の空欄に、第1作業者がボルト $R B_n$ ($n = 1 \sim 4$) を締め付けることによって記録した各種のデータを追記したものである。

[0079] より具体的には、図17は、現実空間のボルト $R B_n$ ($n = 1 \sim 4$) の位置座標に対応する仮想空間の位置座標であるボルト仮想体代表点 $O I B_n$ の座標 (X_n, Y_n, Z_n) ($n = 1 \sim 4$) と、仮想空間の工具仮想体 $I T_m$ の代表点 $O I T_m$ を始点とする方向ベクトル NV の座標 (i_n, j_n, k_n) ($n = 1 \sim 4$)、締め付け完了トルク (T_{r_rslt}) と、締め付けた順番 (Seq) と、作業日と、作業時刻とを、図14に示すデータ表に追記

したものである。

なお、図17に示すデータ表において、締め付けた順番 (Seq) と、作業日と、作業時刻と、を纏めて「時間情報」と記すようにしてもよい。また、作業時刻は、ボルトRB n ($n=1\sim4$) を締め付けた際にサーバが締め付け完了トルクTr__rsltを受信した時刻t__Eとしているが、ボルト締め付け開始時刻t__Bであってもよい。

[0080] ステップ210 (S210) : サーバは、ボルトRB n ($n=1\sim4$) の作業時刻から、ボルトRB n ($n=1\sim4$) が締め付けられた順番 (Seq) を把握して上述したデータ表に記録する。また、これに合わせて、サーバは、図14に示されているデータ表のすべての空欄にデータが記載されたことによって、締め付け作業漏れがなく、全ての締め付け対象ボルトRB n ($n=1\sim4$) の締め付け作業が完了したことを再確認する。

さらに、サーバは、ボルトRB n 1の締め付け開始からボルトRB n 4の締め付け完了までに要した時間から、第1作業者の工数を要因に算出できる。

順番 (Seq) は、ボルトRB n ($n=1\sim4$) の締め付けが完了した各ボルトの締め付け完了時刻t__E毎に、順番を記録してもよく、全てのボルトの締め付けが完了した時点で、ボルト締め付け開始時刻t__Bまたはボルト締め付け完了時刻t__Eを抽出して、古い時刻から新しい時刻に並べた順番としてもよい。

[0081] ステップ220 (S220) : 図18に示すように、サーバは、全てのボルトRB n ($n=1\sim4$) を締め付けた後、締め付け作業対象物を含む拡張現実空間で、ボルトRB n ($n=1\sim4$) の近傍に作業結果 (作業者ID、作業日、作業時刻、締め付け完了トルク値Tr__rslt)、作業指示書など) を書き出した画像をキャプチャして保存する。このキャプチャ画像を保存することによって、図17に示した第1作業者のボルト締め付け作業が記録されたデータ表の一部のデータが破損又は喪失した場合であっても、ボルトの締め付け作業に関するエビデンス (トレーサビリティ) を確保すること

ができる。

- [0082] 上述した各ステップを備える機械締結作業方法によって、作業者が実施すべきボルト締結作業が、作業漏れなく確実に作業されたことを確認できるとともに、作業した結果を記録してトレーサビリティ確保できる運用コストの小さい、高品質な機械締結作業方法を提供することができる。

＜第2作業者による締め付け作業＞

- [0083] 次のステップ230以降のステップは、第1作業者の作業内容に基づいて生成された作業指示（マニュアル）によって、作業内容を教示された第2作業者によるボルトの締め付け作業に関するものである。

- [0084] ステップ230（S230）：第1作業者は、ウェアラブル装置7を装着して、電源をONして拡張空間生成アプリケーションソフトを起動する。

- [0085] ステップ240（S240）：サーバは、第1作業者の締め付け作業が完了した時の第1作業表（図17）から、締め付け完了トルク T_{r_rslt} と、作業日と、作業時刻と、のデータを除いた第2作業者のボルト締め付け作業を記録する第2作業表（図19に示すデータ表）を作成する。このとき、第2作業表は第1作業者が締結したボルト RB_n の位置情報を有している。

- [0086] ステップ250（S250）：サーバは、カメラ10が捕捉した作業対象物（図13に示すボルト RB_n （ $n=1\sim4$ ）で仮り締めされた基盤 RD_1 と部品 RD_2 ）を画像処理して、作業対象物の特徴点を見出して現実空間原点 RO を配置する。その後、サーバは、この現実空間原点 RO に一対一対応する仮想空間原点 IO を仮想空間に配置する。

- [0087] ステップ260（S260）：サーバは、第2作業者の作業対象物を含む拡張現実空間に、S210で作成した第2作業表を読み込んで、S250で配置した仮想空間原点 IO を基準に、ボルト仮想体代表点 OIB_n の座標（ X_n, Y_n, Z_n ）（ $n=1\sim4$ ）と、工具仮想体 IT_m の代表点 OIT_m を始点とする方向ベクトル NV の座標（ i_n, j_n, k_n ）（ $n=1\sim4$ ）に基づいて、ボルト仮想体 IB_n （ $n=1\sim4$ ）を、第2作業者の透過型ス

クリーン 14 上の拡張現実空間に出現する。

[0088] 次に、図 20 を参照して、本発明の実施形態に係る、第 2 作業者によるボルトの締め付け作業について説明する。

[0089] 図 20 は、第 2 作業者の透過型スクリーンに表示される拡張現実空間の画像であって、第 2 作業者がこれから締め付けるボルトの位置を示す模式図である。

サーバは、作業が完了した第 1 作業者の作業履歴を記録したデータ表（図 17 に示す第 1 作業表）から、ボルト位置（ X_n , Y_n , Z_n ）と、工具 RB_n からボルト RB_n が位置する方向を示す方向ベクトル $NV(i_n, j_n, k_n)$ と締め付け順番を残して、第 1 作業者が作業した締め付け完了トルク Tr_rslt と作業日と作業時刻のみを消去したデータ表（図 19 に示す第 2 作業表）を作成する。その後、サーバは、この第 2 作業表に基づいて、第 2 作業者の透過型スクリーン 14 に、第 2 作業者がこれから締め付けるボルト位置、ボルト本数、ボルトを締め付ける順番を表示することができる。

その結果、第 2 作業者は、組立図（図 2）や作業指示書（図 3）を一読することなく、短時間で正確に、これから締め付けるボルト位置、ボルト本数、ボルトを締め付ける順番を把握することができる。

[0090] この時、ボルト仮想体 IB_n は、ボルト仮想体 IB_n の代表位置 OIB_n を図 4 に示すボルト代表位置 ORB_n に定義したので、ボルト仮想体 IB_n ($n = 1 \sim 4$) の代表位置 OIB_n が部品 $RD2$ の表面に位置する態様で、第 2 作業者の透過型スクリーン 14 に表示されるため、第 2 作業者はボルト締め付け作業完了後の状態を容易に把握することができる。

[0091] 第 1 作業者の作業履歴を記録した第 1 作業表（図 17）を利用して作成された第 2 作業表の情報を拡張現実空間（例えば、図 1 に示す透過型スクリーン 14）に投影することによって、第 2 作業者にボルト RB_n の締め付け順番を指示することができる。この指示によって、第 2 作業者は、例えば、部品 $RD2$ が基盤 $RD1$ に対して平行度を維持した状態で第 2 作業者が締め付け作業を完了することができ、部品 $RD2$ の形状や取付姿勢などによって位

置決めが難しい場合に、第2作業者が容易に部品RD2を部品RD1に固定することができる。

[0092] 上述したように、ボルトRB n ($n=1\sim4$)の締め付け順番 (Seq) は、締め付けが完了した各ボルトの締め付ける毎に記録した順番としてもよく、全てのボルトの締め付けが完了した時点で、ボルト締め付け開始時刻 $t_{\text{__B}}$ またはボルト締め付け完了時刻 $t_{\text{__E}}$ を抽出して、古い時刻から新しい時刻に並べてボルトの締め付け順番としてもよい。

なお、第2作業者に、第1作業者の作業内容 (締め付けるボルトの位置や、ボルトを締め付ける順番等) を教示する手段は、第2作業者が装着したウェアラブル装置7が備える透過型スクリーン14に限定されず、例えば、作業現場に置かれた大きなスクリーン等に、第1作業者の動作に基づいて作成した作業手順 (マニュアル) を投影することによって、第2作業者に作業手順を教示してもよい。

[0093] 次に、図10に戻り、ステップ270以降のステップについて説明する。

[0094] ステップ270 (S270) : 第2作業者は、透過型スクリーン14を介して指示される作業内容に基づき、部品RD2を基盤RD1に位置決めした後、図20に示されるボルト仮想体IB n ($n=1\sim4$) に重ねる態様で、ボルトRB n ($n=1\sim4$) を部品RD2の貫通孔RP n ($n=1\sim4$) に差し込んだ後、基盤RD1のネジ穴RQ n ($n=1\sim4$) に手締め (仮締め) する。

なお、図21に示すように、ボルトRB n ($n=1\sim4$) は、仮締めの状態なので、ボルトRB n ($n=1\sim4$) の頭部aは、部品RD2の上面から浮いている状態となっている。

[0095] ステップ280 (S280) からステップ430 (S430) までのステップは、第2作業者が4本のボルトRB n ($n=1\sim4$) を締め付ける作業のループ (繰り返し) である。ステップ290 (S290) : 第2作業者は、ソケットRTS n を装着した工具RT n を仮締めされたボルトRB1の頭部aに掛ける。

- [0096] ステップ300 (S300) : サーバは、ソケットRTSnを装着した工具RTnを画像解析して、第2作業者が適切な工具RTnおよびソケットRTSnを選択した否かを判断する。適切な工具RTnおよびソケットRTSnが選定されていなければS290の上位に戻り、適切な工具RTnを選定する。適切な工具RTnおよびソケットRTSnが選定されている場合は、次のステップ300へ進む。
- [0097] ステップ310 (S310) : サーバは、カメラ10が取得した工具RTnおよびソケットRTSnの画像から工具基準面TSP内にある工具ヘッド位置ORTHnに対応する仮想空間の工具ヘッド位置OITHnを把握する。
- [0098] ステップ320 (S320) : サーバは、工具ヘッド位置ORTHnから工具基準面TSPのカメラ10に視認されない側の空間に向く法線方向に方向ベクトルNVを生成し、方向ベクトルNVの座標(i_n 、 j_n 、 k_n) ($n=1\sim4$)を記録する。
- [0099] ステップ330 (S330) : サーバは、仮想空間に、工具ヘッドRTHnとソケットRTSnを画像分析して工具仮想体ITmを生成する。
- [0100] ステップ340 (S340) : サーバは、方向ベクトルNVの始点の工具ヘッド位置ORTHnから方向ベクトルNVに沿って、工具仮想体ITmを出現させる。
- [0101] ステップ340 (S340) からステップ430 (S430) までのステップは、第2作業者が4本のボルトRBn ($n=1\sim4$)を締め付ける作業のループ(繰り返し)である。
- [0102] ステップ350 (S350) : 第2作業者は、ソケットRTSnを装着した工具RTnを仮締めされたボルトRB1の頭部aに掛けて、締め付け目標トルクTr_Setを目指して、ボルトRB1の締め付け(本締め)を開始する。
- [0103] ステップ360 (S360) : サーバは、仮想空間内で、工具仮想体ITmとボルトRB1に一対一対応するボルト仮想体IB1の接触(干渉)の有

無を判定する。サーバは、仮想空間において、工具仮想体 $I T_m$ がボルト仮想体 $I B_1$ に接触していないと判定すれば、本処理は $S 360$ の上位へ戻り、工具仮想体 $I T_m$ がボルト仮想体 $I B_1$ に接触していると判定されれば、本処理はステップ 370 へ進む。

[0104] ステップ 370 ($S 370$) : サーバは、工具 $R T_n$ に締め付けトルクが生じているか否かを判定する。サーバは、工具 $R T_n$ に締め付けトルクが発生していないと判断すれば、 $S 370$ の上位へ戻り、締め付けトルクが発生していると判断すればステップ 380 へ進む。

[0105] ステップ 380 ($S 380$) : 工具仮想体 $I T_m$ がボルト仮想体 $I B_1$ に接触する条件 ($S 360$) の下、工具 $R T_n$ に締め付けトルクが生じている ($S 370$) ので、サーバは、ボルト仮想体 $I B_1$ に一対一対応するボルト $R B_1$ が締め付けられていると判断する。

[0106] 次に、図 22 を参照して、 $S 350$ から $S 380$ までの過程を詳細に説明する。図 22 は、第 2 作業者が工具でボルトを締め付ける際に、工具で締結されているボルトを仮想空間において特定する手順を示す模式図である。

[0107] まず、サーバは、カメラ 10 が捕捉したソケット $R T S_n$ を備える工具ヘッド $R T H_n$ の画像を解析して、工具ヘッド厚さ寸法 $D 1_n$ とソケット長さ寸法 $D 2_n$ を把握した後、 $h 1$ 寸法および外径 $O R$ を取得する。その後、サーバは、カメラ 10 が工具 $R T_n$ を捕捉すると工具 $R T_n$ の工具基準面 $R T S$ を把握して、工具基準面 $R T S$ に含まれる仮想工具ヘッド代表点 $O I T H_n$ (= 工具仮想体代表点 $O I T_m$) から $h 1$ 寸法および外径 $O R$ を反映した工具仮想体 $I T_m$ を仮想空間に出現させる。

[0108] 現実空間でソケット $R T S_n$ を装着した工具 $R T_n$ をボルト $R B_1$ の頭部 a に掛けた時、仮想空間では工具仮想体 $I T_m$ がボルト仮想体 $I B_1$ の上方に位置するが、両者の一部が重なっている (接触、あるいは、干渉している) 状態であり、工具 $R T_n$ に締め付け完了トルク $T r_r s l t$ が観察される時には、工具仮想体 $I T_m$ はボルト仮想体 $I B_1$ に確実に重なっている (接触、あるいは、干渉している) 状態となる。

[0109] なお、仮想空間で、工具仮想体 $I T_m$ がボルト仮想体 $I B_1$ に接触（干渉、重なり）していることを判定する方法は、以下に示す複数の方法がある。

（１）工具仮想体 $I T_m$ と、ボルト仮想体 $I B_1$ との接触（干渉、重なり）による判定。

（２）工具仮想体 $I T_m$ の代表点 $O I T_m$ と、ボルト仮想体 $I B_1$ の代表点 $O I B_1$ と、の距離が所定の値（この場合、 h_1 ）より小さいことを判断する距離による判定。

（３）（２）の判定に、工具仮想体 $I T_m$ の軸の方向と、ボルト仮想体 $I B_1$ の軸の方向と、の一致または不一致の判定を加えた距離と、工具仮想体 $I T_m$ およびボルト仮想体 $I B_1$ の向き（方向）による判定。

[0110] さらに、工具仮想体 $I T_m$ がボルト仮想体 $I B_1$ に接触している条件下で、工具 $R T_n$ に締め付けトルク（図 6 の $T r_B$ から $T r_Max$ の範囲のトルク）が観察されていることを加えて、ボルト仮想体 $I B_1$ に一対一対応する現実空間のボルト $R B_1$ を確定している。

[0111] このステップにより、例えば、接触判定のみで判断すると、第 2 作業者がボルト $R B_n$ （ $n = 2 \sim 4$ のいずれいか一つ）に、工具 $R T_n$ を掛けた直後に、誤りに気付いて、ボルト $R B_1$ に工具 $R T_n$ を掛け替えた場合など、先に工具 $R T_n$ が掛けられたボルト $R B_n$ が締め付けられていると、誤って判断される可能性がある。このため、接触判定（S360）にトルク発生条件（S370）を併用することによって、トルクが発生していないボルト $R B_n$ が締め付けられていると誤って判断されることを抑制することができる。

[0112] ステップ 390（S390）：サーバは、工具 $R T_n$ が計測して締め付け開始トルク $T r_B$ を受信して、締め付け開始トルク $T r_B$ を受信した時刻を締め付け開始時刻 t_B として記録する。

[0113] ステップ 400（S400）：第 2 作業者は、工具 $R T_n$ が観察する締め付け完了トルク $T r_r s l t$ が、目標トルク $T r_S e t$ に近く（例えば、予め設定された所定の範囲以内）、且つ、締め付け下限トルク $T r_M i n$ から締め付け上限トルク $T r_M a x$ の間であることを確認して、ボルト

BR1の締め付けを完了する。

- [0114] ステップ410 (S410) : サーバは、工具RTnが発信した締め付け完了トルクTr__rsltと、締め付け完了トルクTr__rsltが観察された時刻を締め付け完了時刻t__Eとして記録する。
- [0115] ステップ420 (S420) : サーバは、現実空間のボルトRB1に対応する仮想ボルト体IB1の代表位置IOB1の座標(x1, y1, z1)、方向ベクトルNV(i1, j1, z1)、作業日時、ボルトRB1の締め付け完了時刻(締め付け完了トルクTr__rsltが観察された時刻)をデータ表(例えば、図23に示すデータ表)に記録する。
- [0116] ステップ430 (S430) : ボルトRBnの本数に至るループ回数(4回)だけ、S280からS430までの各ステップを繰り返す。
- [0117] ステップ440 (S440) : サーバは、図23のデータ表の空欄が全て埋まることによって、計画された締め付け作業すべき全てのボルトRBn(n=1~4)の締め付け作業が完了したことを再確認する。
- [0118] ステップ450 (S450) : サーバは、全てのボルトRBn(n=1~4)を締め付けた後、締め付け作業対象物を含む拡張現実空間で、ボルトRBn(n=1~4)の近傍に作業結果(作業者ID、作業日、作業時刻、締め付け完了トルク値Tr__rslt)、作業指示書など)を書き出した画像をキャプチャして保存する。
- ここでキャプチャした画像(例えば、図24参照)を保存することによって、図23に示す第2作業者のボルト締め付け作業が記録されたデータ表の一部のデータが破損又は喪失した場合であっても、ボルトの締め付け作業に関するエビデンス(トレーサビリティ)を確保することができる。
- [0119] ステップ460 (S460) : 第2作業者による締め付け作業を終了する。
- [0120] 以上説明した実施形態により、拡張現実を利用して、ある作業者が実施した機械締結作業の内容を記録してトレーサビリティを確保することにより、別の作業者への引継ぎ等を促進する、運用コストの小さい、高品質な機械締

結作業方法を提供することができる。

[0121] また、以上説明した実施形態では、本発明の実施形態に係る拡張現実による機械締結方法を説明したが、本発明の実施形態はこれに限定されず、例えばコンピュータープログラムや装置等によって実施されてもよい。

[0122] 例えば、本発明に係る実施形態の機能は、ソフトウェアのプログラムコードによっても実現されてもよい。この場合、本発明の機能を実施するためのプログラムコードが記録された記憶媒体が装置やシステムに供給され、当該装置やシステムに搭載されるコンピューティングデバイス（CPU、MPU等）がプログラムコードを読み取って実施してもよい。記憶媒体から読出されたプログラムコードをコンピュータによって実行することで、前述した実施形態の機能が実現されることにより、当該機能を実施するために用いられたプログラムコード、記憶媒体、及びコンピューティングデバイス自体が本発明の構成要素となる。

プログラムコードを記録するための記憶媒体としては、例えばフレキシブルディスク、CD-ROM、DVD-ROM、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、CD-R、磁気テープ、不揮発性メモリカード、ROM等がある。

[0123] 次に、図25を参照して、本発明の実施形態を実施するためのコンピュータシステムについて説明する。図25は、以上説明した、拡張現実による機械締結作業方法における機能を実施するように構成されたコンピュータシステムのブロック図である。

[0124] コンピュータシステム300の主要コンポーネントは、1つ以上のプロセッサ302、メモリ304、端末インターフェース312、ストレージインターフェース314、I/O（入出力）デバイスインターフェース316、及びネットワークインターフェース318を含む。これらのコンポーネントは、メモリバス306、I/Oバス308、バスインターフェースユニット309、及びI/Oバスインターフェースユニット310を介して、相互的に接続されてもよい。

- [0125] コンピュータシステム300は、プロセッサ302と総称される1つ又は複数の汎用プログラマブル中央処理装置(CPU)302A及び302Bを含んでもよい。ある実施形態では、コンピュータシステム300は複数のプロセッサを備えてもよく、また別の実施形態では、コンピュータシステム300は単一のCPUシステムであってもよい。各プロセッサ302は、メモリ304に格納された命令を実行し、オンボードキャッシュを含んでもよい。
- [0126] ある実施形態では、メモリ304は、データ及びプログラムを記憶するためのランダムアクセス半導体メモリ、記憶装置、又は記憶媒体(揮発性又は不揮発性のいずれか)を含んでもよい。メモリ304は、本明細書で説明する機能を実施するプログラム、モジュール、及びデータ構造のすべて又は一部を格納してもよい。例えば、メモリ304は、締結作業管理アプリケーション350を格納していてもよい。ある実施形態では、締結作業管理アプリケーション350は、後述する機能をプロセッサ302上で実行する命令又は記述を含んでもよい。
- [0127] ある実施形態では、締結作業管理アプリケーション350は、プロセッサベースのシステムの代わりに、またはプロセッサベースのシステムに加えて、半導体デバイス、チップ、論理ゲート、回路、回路カード、および/または他の物理ハードウェアデバイスを介してハードウェアで実施されてもよい。ある実施形態では、締結作業管理アプリケーション350は、命令又は記述以外のデータを含んでもよい。ある実施形態では、カメラ、センサ、または他のデータ入力デバイス(図示せず)が、バスインターフェースユニット309、プロセッサ302、またはコンピュータシステム300の他のハードウェアと直接通信するように提供されてもよい。
- [0128] コンピュータシステム300は、プロセッサ302、メモリ304、表示システム324、及びI/Oバスインターフェースユニット310間の通信を行うバスインターフェースユニット309を含んでもよい。I/Oバスインターフェースユニット310は、様々なI/Oユニットとの間でデータを

転送するための I/Oバス 308 と連結していてもよい。I/Oバスインタフェースユニット 310 は、I/Oバス 308 を介して、I/Oプロセッサ (IOP) 又は I/Oアダプタ (IOA) としても知られる複数の I/Oインタフェースユニット 312, 314, 316、及び 318 と通信してもよい。

[0129] 表示システム 324 は、表示コントローラ、表示メモリ、又はその両方を含んでもよい。表示コントローラは、ビデオ、オーディオ、又はその両方のデータを表示装置 326 に提供することができる。また、コンピュータシステム 300 は、データを収集し、プロセッサ 302 に当該データを提供するように構成された 1 つまたは複数のセンサ等のデバイスを含んでもよい。

[0130] 例えば、コンピュータシステム 300 は、心拍数データやストレスレベルデータ等を収集するバイOMETリックセンサ、湿度データ、温度データ、圧力データ等を収集する環境センサ、及び加速度データ、運動データ等を収集するモーションセンサ等を含んでもよい。これ以外のタイプのセンサも使用可能である。表示システム 324 は、単独のディスプレイ画面、テレビ、タブレット、又は携帯型デバイスなどの表示装置 326 に接続されてもよい。

[0131] I/Oインタフェースユニットは、様々なストレージ又は I/Oデバイスと通信する機能を備える。例えば、端末インタフェースユニット 312 は、ビデオ表示装置、スピーカテレビ等のユーザ出力デバイスや、キーボード、マウス、キーパッド、タッチパッド、トラックボール、ボタン、ライトペン、又は他のポインティングデバイス等のユーザ入力デバイスのようなユーザ I/Oデバイス 320 の取り付けが可能である。ユーザは、ユーザインタフェースを使用して、ユーザ入力デバイスを操作することで、ユーザ I/Oデバイス 320 及びコンピュータシステム 300 に対して入力データや指示を入力し、コンピュータシステム 300 からの出力データを受け取ってもよい。ユーザインタフェースは例えば、ユーザ I/Oデバイス 320 を介して、表示装置に表示されたり、スピーカによって再生されたり、プリンタを介して印刷されたりしてもよい。

[0132] ストレージインタフェース 314 は、1つ又は複数のディスクドライブや直接アクセスストレージ装置 322（通常は磁気ディスクドライブストレージ装置であるが、単一のディスクドライブとして見えるように構成されたディスクドライブのレイ又は他のストレージ装置であってもよい）の取り付けが可能である。ある実施形態では、ストレージ装置 322 は、任意の二次記憶装置として実装されてもよい。メモリ 304 の内容は、ストレージ装置 322 に記憶され、必要に応じてストレージ装置 322 から読み出されてもよい。I/O デバイスインタフェース 316 は、プリンタ、ファックスマシン等の他の I/O デバイスに対するインターフェースを提供してもよい。ネットワークインタフェース 318 は、コンピュータシステム 300 と他のデバイスが相互的に通信できるように、通信経路を提供してもよい。この通信経路は、例えば、ネットワーク 330 であってもよい。

[0133] ある実施形態では、コンピュータシステム 300 は、マルチユーザメインフレームコンピュータシステム、シングルユーザシステム、又はサーバコンピュータ等の、直接的ユーザインタフェースを有しない、他のコンピュータシステム（クライアント）からの要求を受信するデバイスであってもよい。他の実施形態では、コンピュータシステム 300 は、デスクトップコンピュータ、携帯型コンピュータ、ノートパソコン、タブレットコンピュータ、ポケットコンピュータ、電話、スマートフォン、又は任意の他の適切な電子機器であってもよい。

[0134] 上述した拡張現実による機械締結作業方法によれば、締結部に R F I C タグ等の識別標識の付加や、締結部と締結工具との間のデータの送受信を必要とせず、拡張現実を利用して、ある作業者が実施した機械締結作業の内容を記録してトレーサビリティを確保することにより、別の作業者への引継ぎ等を促進する、運用コストの小さい、高品質な機械締結作業方法を提供することができる。

符号の説明

[0135] R O…現実空間原点

I O…仮想空間原点

R D 1 …基盤	R D 2 …部品
R P n …貫通孔	R Q n …ネジ穴
R T n …工具（ラチェットレンチ）	R T E n …工具柄部
R T H n …工具ヘッド	O R T H n …工具ヘッド位置（座標）
D 1 n …ヘッド厚さ寸法	R T T …通信表示部
R T S n …ソケット	
D 2 n …ソケット長寸法	O R …ソケット外径
R B n …ボルト	O R B n …ボルト位置（座標）
a …頭部	b …円筒部
c …ネジ部	
t _ B …締め付け開始時刻	T r _ B …締め付け開始トルク
T r _ M i n …締め付け下限トルク	T r _ S e t …締め付け目標トルク
T r _ M a x …締め付け上限トルク	T r _ r s l t …締め付け完了トルク
t _ r s l t …締め付け完了時刻	T S P …工具基準面
I T m …工具仮想体（円筒）	O I T m …工具仮想体代表点（座標）
I B n …ボルト仮想体（円筒）	O I B n …ボルト仮想体代表点（座標）
)	
N V …（単位）方向ベクトル	
5 …ネットワーク	7 …ウェアラブル装置（ヘッドギア）
1 0 …カメラ	1 2 …拡張現実サーバ
1 4 …透過型スクリーン（HMD）	2 6 …ネットワークサーバ