

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6935334号
(P6935334)

(45) 発行日 令和3年9月15日 (2021.9.15)

(24) 登録日 令和3年8月27日 (2021.8.27)

(51) Int. Cl.

F I

F O 4 B 23/12 (2006.01)

F O 4 B 23/12

F O 4 C 11/00 (2006.01)

F O 4 C 11/00

C

A 6 1 F 2/74 (2006.01)

A 6 1 F 2/74

A 6 1 F 2/54 (2006.01)

A 6 1 F 2/54

B 2 5 J 15/10 (2006.01)

B 2 5 J 15/10

請求項の数 15 (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2017-557107 (P2017-557107)
 (86) (22) 出願日 平成28年4月29日 (2016.4.29)
 (65) 公表番号 特表2018-527496 (P2018-527496A)
 (43) 公表日 平成30年9月20日 (2018.9.20)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2016/059678
 (87) 国際公開番号 W02016/174241
 (87) 国際公開日 平成28年11月3日 (2016.11.3)
 審査請求日 平成31年4月17日 (2019.4.17)
 (31) 優先権主張番号 1507399.2
 (32) 優先日 平成27年4月30日 (2015.4.30)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 英国 (GB)

(73) 特許権者 517376724
 ハイファイブプロ エーエス
 ノルウェー国オスロ O 2 8 0 ・ ネドレ ウ
 ラーン テラッセ 2 1 ビー
 (74) 代理人 110001379
 特許業務法人 大島特許事務所
 (72) 発明者 ポイルテルス、ヨセフス・マルティノス・
 マリア
 ノルウェー国ファベルグ 2 6 2 0 ・ ガウダ
 ルスベゲン 5 2 5
 審査官 松浦 久夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 人工手用の油圧ポンプアセンブリ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

油圧ポンプアセンブリ (7 2) であって、
 低圧油圧ポンプ (7 4) と、
 高圧油圧ポンプ (7 6) と、
 当該油圧ポンプアセンブリの軸に沿って延在する駆動シャフトアセンブリとを含み、
 前記低圧油圧ポンプ及び前記高圧油圧ポンプの両油圧ポンプは、前記駆動シャフトア
 センブリによって同時に回転するように前記駆動シャフトアセンブリに結合されており、
 当該油圧ポンプアセンブリは、人工手内に設けられた油圧回路を駆動するためのもので
 あり、前記人工手の手の平ユニット (1 2) 内に設けられたポンプチャンバ (8 0) 内に
 収容される単一ユニットとして構成された、
 ことを特徴とする油圧ポンプアセンブリ。

【請求項 2】

前記低圧油圧ポンプ (7 4) は、0 k P a から最大で 1 0 0 0 - 1 5 0 0 k P a の圧力
 で動作させることができるように構成されており、

前記高圧油圧ポンプ (7 6) は、0 - 5 0 0 0 k P a の圧力で動作させることができる
 ように構成されたことを特徴とする請求項 1 に記載の油圧ポンプアセンブリ。

【請求項 3】

当該油圧ポンプアセンブリ (7 2) の一方の端部に、シール、またはシールを保持する
 ための溝を有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の油圧ポンプアセンブリ (7

10

20

2)。

【請求項4】

当該油圧ポンプアセンブリは、角柱状形状を有し、その角柱状形状に対応する形状を有するポンプチャンバ(80)内に収容されるように構成されるか、

または、

当該油圧ポンプアセンブリは、円筒状形状を有し、その円筒状形状に対応する形状を有するポンプチャンバ(80)内に収容されるように構成される、

ことを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の油圧ポンプアセンブリ。

【請求項5】

前記両油圧ポンプ(74、76)間に、前記駆動シャフトアセンブリ用の油圧軸シールを有しており、

前記油圧ポンプアセンブリを形成する部材であるポンププレートを含み、

前記両油圧ポンプ(74、76)の前記ポンププレート間にはシールを有していないことを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の油圧ポンプアセンブリ。

【請求項6】

前記駆動シャフトアセンブリは、該アセンブリを回転させるための単一のモータ(68)に連結されるように構成されたことを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の油圧ポンプアセンブリ。

【請求項7】

前記駆動シャフトアセンブリは、前記両油圧ポンプ(74、76)の一方のポンプを貫通して他方のポンプに達するシャフト(78)を有し、

前記両油圧ポンプの前記一方のポンプが当該油圧ポンプアセンブリ(72)の前記軸の一方の端部に設けられ、前記他方のポンプが前記軸の他方の端部に設けられ、前記シャフト(78)は、前記軸に対して平行に延在しており、

前記シャフト(78)は、前記低圧油圧ポンプを駆動する低圧部分と、前記高圧油圧ポンプを駆動する高圧部分との2つの部分に分割されており、かつ、前記2つの部分間に軸方向遊びが設けられている、

ことを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の油圧ポンプアセンブリ。

【請求項8】

前記シャフト(78)は、円筒状形状を有する当該油圧ポンプアセンブリ(72)の中心に沿って延在する、

ことを特徴とする請求項7に記載の油圧ポンプアセンブリ。

【請求項9】

前記両油圧ポンプ(74、76)がギアポンプを含むことを特徴とする請求項1ないし8のいずれかに記載の油圧ポンプアセンブリ。

【請求項10】

前記油圧ポンプアセンブリを形成する部材であるポンププレートを含み、

当該油圧ポンプアセンブリ(72)は、複数の前記ポンププレートを互いに組み合わせ、組み合わせた前記複数のポンププレートを当該油圧ポンプアセンブリ(72)の長さ方向に貫通させたボルト(102)で固定することにより組み立てられ、

当該油圧ポンプアセンブリ(72)は、最初は大きめの寸法に製造され、その後に、既知または呼び寸法を有するポンプチャンバ(80)内に収容できる寸法まで小さくなるように加工される、

ことを特徴とする請求項1ないし9のいずれかに記載の油圧ポンプアセンブリ。

【請求項11】

上記の請求項1ないし10のいずれかに記載の油圧ポンプアセンブリ(72)を含み、油圧回路及び前記油圧ポンプアセンブリを収容するための密封された筐体を形成する手の平ユニット本体部を含み、

前記油圧ポンプアセンブリを駆動するための可変速及び/または可逆モータを含み、

手の平ユニット本体部(70)と、

10

20

30

40

50

前記手の平ユニット本体部により保持されたモータ（６８）と、

前記手の平ユニット本体部により保持され、かつ前記モータ（６８）によって同時に駆動される低圧油圧ポンプ（７４）及び高圧油圧ポンプ（７６）を含む油圧ポンプアセンブリ（７２）と、

前記手の平ユニット本体部（７０）により保持され、かつ前記低圧油圧ポンプ及び前記高圧油圧ポンプの両油圧ポンプに接続された油圧回路とを備え、

前記油圧回路は、

前記両油圧ポンプの各吐出側を、前記人工手用の１または複数の油圧アクチュエータに接続する低圧形態と、

前記低圧油圧ポンプの吐出側と前記油圧アクチュエータとの接続を遮断し、油圧流体を前記低圧油圧ポンプの吸込側に再循環させるとともに、前記高圧油圧ポンプの吐出側と前記油圧アクチュエータとの接続を維持する高圧形態とを有し、

指を閉じる把持動作中に、油圧系内の圧力が増加して予め定められた閾値を超えたときに、前記低圧形態から前記高圧形態に自動的に切り替えるように構成される、

ことを特徴とする人工手用の手の平ユニット。

【請求項１２】

人工手であって、

上記の請求項１１に記載の手の平ユニット（１２）と、

人工指（１６、１８、１４）と

を含み、

前記人工指（１６、１８、１４）は、前記手の平ユニット（１２）の前記油圧アクチュエータによって駆動されるように前記油圧アクチュエータに機械的に接続される、

ことを特徴とする人工手。

【請求項１３】

指節機構と組み合わされた、上記の請求項１１または１２に記載の手の平ユニットまたは人工手であって、

前記指節機構は、

前記人工手の手の平ユニット（１２）に回転可能に結合されるように構成された下側指節（４４）と、

前記下側指節（４４）に回転可能に結合された上側指節（４８）と、

前記下側指節（４４）を前記手の平ユニット（１２）に対して回転させるために、前記下側指節に対してモーメントを加えるための下側指節回転機構と、

前記上側指節（４８）を前記下側指節（４４）に対して回転させるために、前記上側指節に対してモーメントを加えるための上側指節回転機構と、

受けている運動抵抗がより小さい指節に対して優先的に運動を提供するために、前記下側指節回転機構及び前記上側指節回転機構によって加えられるモーメントの大きさを、前記上側指節（４８）及び／または前記下側指節（４４）の回転に抵抗する外力の大きさにしたがって機械的に調節するための力バランス調節機構とを備え、

前記下側指節回転機構及び前記上側指節回転機構は、使用時には、前記手の平ユニット（１２）に設けられた単一のアクチュエータから加えられる力によって機械的に駆動されるように構成されたことを特徴とする手の平ユニットまたは人工手。

【請求項１４】

請求項１ないし１０のいずれかに記載の油圧ポンプアセンブリの製造方法であって、

前記油圧ポンプアセンブリを形成する部材であるポンププレートを準備するステップと

、
複数の前記ポンププレートを他の構成要素と組み合わせて、低圧油圧ポンプ（７４）、高圧油圧ポンプ（７６）、及び駆動シャフトアセンブリを含む油圧ポンプアセンブリ（７２）であって、前記駆動シャフトアセンブリが該油圧ポンプアセンブリの軸に沿って延在し、前記両油圧ポンプが前記油圧ポンプアセンブリの回転によって同時に回転するように、前記低圧油圧ポンプ（７４）及び高圧油圧ポンプ（７６）が前記駆動シャフトアセンブリ

10

20

30

40

50

に結合された該油圧ポンプアセンブリを作製するステップと、

組み合わせた前記複数のポンププレートを、単一ユニットとしてポンプチャンバ(80)内に収容できる寸法に加工するステップと
を有することを特徴とする方法。

【請求項15】

組み合わせた前記複数のポンププレートを、前記油圧ポンプアセンブリ(72)の長さ方向に貫通させたボルト(102)で固定するステップをさらに有することを特徴とする請求項14に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、例えば失われた手の代わりに使用される義手などの人工手用の油圧ポンプアセンブリに関する。この油圧ポンプアセンブリは、人工手の手の平ユニット内に組み込むことができる。

【背景技術】

【0002】

義手としての使用だけでなく、人間の手の細かい動作を模倣することができるロボット工学的装置及び自動ハンドリング装置に関連した、人工手(artificial hand)の改良についての継続的な需要が存在する。この数十年で、ユーザの残肢内の随意収縮筋からの筋電信号または電位を用いて手の動きを制御する筋電義手に関して大きな進歩が見られた。筋電信号を受信するために、1または複数のセンサが皮膚の表面に配置される。しばらく前に、ドイツ国ドゥーダーシュタット所在のオットーボック・ヘルスケア社(Otto Bock HealthCare Deutschland GmbH、www.ottobock-group.com)が、筋電義手の分野における標準となる手首コネクタを開発した。また、体の動きにより駆動される電気機械式スイッチを使用して、義手を制御する装置も存在する。

20

【0003】

擬人的な義手に関連する最新技術についてのレビューは、「Mechanical design and performance specifications of anthropomorphic prosthetic hand: A review, Joseph T. Belter et al, JRRD, volume 50, number 5, 2013, pages 599-618」に見ることができる。このレビューに記載されているように、多数の企業がこの分野で活動しており、市場に市販製品を提供している。これらの市販製品は、義手の各指を様々な程度の自由度で駆動するために、電動モータと機械的結合部品との様々な組み合わせを使用する。これらの市販の義手は、ある場合では、義手として使用するのに適切なレベルの細かい動作を提供することができるが、一般的に、過度の重量に起因してユーザが不快に感じるという問題や、装置構造が複雑で高価であるという問題があった。

30

【0004】

また、油圧駆動式の義手が提案されているが、現在まで、市販製品の存在は知られていない。「フルイドハンド(Fluid hand)」として知られている義手が、プロトタイプとしてカールスルーエ工科大学(Karlsruhe Institute of Technology)により開発されており、ドイツ国ハイデルベルクの整形外科大学病院でテストされている。この油圧駆動式の義手は、市販の電気機械式の義手とは別のタイプの自由度の高い指の動き(すなわち、細かい動き)を提供するべく、指の内部で小型の油圧系を使用している。しかしながら、この「フルイドハンド」は、比較的低い圧力(9~10 bar、すなわち900~1000 kPa)で動作するため、把持力が比較的低いという問題があった。また、この「フルイドハンド」は、ダメージに対して脆弱なホース(チューブ)及びカップリング(結合部品)を義手の外側に設置して使用するため、義手として毎日使用するのに十分な頑丈さを有していないという問題もある。また、油圧流

40

50

体の漏出に関する重大なリスクがある。

【 0 0 0 5 】

油圧系の使用についてのさらなる提案は、下記の特許文献に見ることができる。特許文献 1 には、高圧低容量油圧系を使用して各指関節を個々に駆動する、メソフルイディック (mesofluidic) 駆動式の指が開示されている。しかし、この提案には、「フルイドハンド」と同様の問題が存在すると考えられる。

【 0 0 0 6 】

特許文献 2 には、油圧系を機械式指関節とともに使用することが提案されている。指は、いくつかの市販されている電気機械式義手と同様の方法で、腱ケーブルにより駆動され、一对のメソフルイディック油圧ピストンによって、各指関節の動作を制御する。このシステムは、完全油圧式義手に関する問題のいくつかは解決するが、依然として問題は残る。生成可能な把持力は油圧システムの性質に起因して制限され、各指用に複数の油圧ピストンが必要となるために複雑さが非常に増加し、これにより、製造コスト及び油漏れのリスクが高くなる。

【 0 0 0 7 】

油圧要素と機械要素との組み合わせの別の例は、特許文献 3 に見ることができる。特許文献 3 には、単一の油圧ピストンにより駆動される腱ケーブル駆動型の機械式指関節を指毎に有する義手が開示されている。指の素早い動きと高い把持力との両方を可能にするために、特許文献 3 では、油圧要素の高圧動作及び低圧動作の可能性を提供する 2 つの油圧ポンプを使用することを提案している。高圧油圧ポンプによる指の動きの制御を可能にするために、低圧油圧ポンプは、クラッチ及び遮断バルブによってモータ / 油圧から切り離される。このシステムは、把持力が所定の閾値を超えた場合に、上記の切り離しを自動的に行うように構成されている。したがって、この義手は、まず、指を素早く動作させて低い把持力で物体と接触させ、その後、把持力を高めるために、ゆっくりとした高圧の動作に切り替える。加えて、各指を駆動する様々なピストンは全て互いに結合されており、各油圧ピストンの圧力は均一に維持される。これにより、被把持物体から各指が受ける抵抗に応じて、各指を互いに異なる程度で閉じることができる。また、全ての指が閉じて物体に接触するまで、被把持物体には最大把持力は加わらない。

【 0 0 0 8 】

特許文献 3 に開示されている義手は、他の既知の油圧駆動式の義手と比べて大幅な進歩を示すと考えられるが、潜在的な問題が依然として存在する。特許文献 3 の義手は、比較的分厚くかつ複雑であり、また、依然として指の動きの制御における大幅な進歩をユーザに提供しない。したがって、このタイプの義手に関する改良が依然として求められている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 9 】

【 特許文献 1 】 米国特許公開第 2 0 1 2 / 2 0 3 3 5 8 号明細書

【 特許文献 2 】 米国特許第 8 9 5 1 3 0 3 号明細書

【 特許文献 3 】 国際公開第 W O 2 0 1 1 / 0 7 2 7 5 0 号

【 発明の概要 】

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

第 1 の態様から見れば、本発明は、油圧ポンプアセンブリであって、低圧油圧ポンプと、高圧油圧ポンプと、当該油圧ポンプアセンブリの軸に沿って延在する駆動シャフトアセンブリとを含み、低圧油圧ポンプ及び高圧油圧ポンプの両油圧ポンプは、駆動シャフトアセンブリによって同時に回転するように構成されており、当該油圧ポンプアセンブリは、油圧ポンプチャンバ内に収容される単一ユニットとして構成された油圧ポンプアセンブリを提供する。

【 0 0 1 1 】

有利なことに、油圧ポンプアセンブリは、人工手内に設けられた油圧回路を駆動するためのものであり、人工手の手の平ユニット内に設けられた油圧ポンプチャンバ内に收容されるように構成されている。好適な実施形態は、本明細書に説明される油圧ポンプアセンブリを含む手の平ユニットの形態を取り得る。従来技術において人工手に低圧ポンプ及び高圧ポンプを使用することが提案されているが、今までのところ、本明細書に説明されるように構成された油圧ポンプアセンブリを使用することは提案されていない。本発明に係るポンプアセンブリは、従来の装置、特に完全に別個の2つのポンプを使用する装置と比べて、小型化及び軽量化が可能となる。直感に反するが、両方のポンプを同時に回転させることにより、高圧ポンプのみが必要とされる場合でも、一見、非効率な構成に見えるにも関わらず、動作音をより静かにすることができ、また、他の改善を提供することもできる。例えば、特許文献3のシステムに見られるように、単一のモータで複数のポンプを駆動するための複雑なクラッチ及び/またはギア構造を避けることが可能となる。

10

【0012】

高圧油圧ポンプは、低圧油圧ポンプよりも高圧で動作するように構成されており、有利なことに、両油圧ポンプは、両油圧ポンプの継続使用中に低圧動作から高圧動作に切り替える油圧回路とともに使用することができるよう、圧力のクロスオーバを有するように構成されている。例えば、低圧油圧ポンプは、0 kPa (0 bar) から最大で1000 - 1500 kPa (10 - 15 bar) の圧力で動作させることができ、高圧油圧ポンプは、0 - 4000 kPa (0 - 40 bar)、あるいは最大で5000 kPa (50 bar) またはそれ以上の圧力で動作させることができる。この好適な構成により、高圧油圧ポンプは、低圧のときでさえ、常に、油圧流体を油圧回路に送達することができる。高圧ポンプは、比較的低容量で動作するように構成され、低圧ポンプは、比較的高容量で動作するように構成され得る。これにより、物体を把持するときの人間の手の自然な動きを模倣した、素早いかつ低把持力の動作と、ゆっくりとしたかつ高把持力の動作とが可能となる。

20

【0013】

油圧ポンプアセンブリは、ポンプチャンバ内に收容され、好ましくは、その一方の端部に、シール、またはシールを保持するための溝を有する。これにより、手の平ユニットのポンプチャンバ内で油圧ポンプアセンブリを完全に密封することができる。シールは、例えば、Oリング型シールであり得る。油圧ポンプアセンブリは、角柱状形状を有し、その角柱状形状に対応する形状を有するポンプチャンバ内に收容されるように構成され得る。好適な構成では、製造及び組み立てを容易にし、かつシール性を高めるために、円筒形状が用いられる。

30

【0014】

手の平ユニットのポンプチャンバ内で油圧ポンプアセンブリを完全に密封することにより、ポンプアセンブリの2つの部分(低圧ポンプ及び高圧ポンプ)の間で必要とされるシールを省略することが可能となる。油漏れは内部でしか生じないので、問題が生じないためである。ポンプの小型化及び軽量化の利点は、内部で油漏れが生じる恐れがあるという不利な点を上回る。上述したように、ポンプの小型化及び軽量化は、人工手において最も重要である。ある例では、油圧ポンプアセンブリは、両油圧ポンプ間にシャフト用の油圧軸シールを有しており、両油圧ポンプのポンププレート間にはシールを有していない。

40

【0015】

駆動シャフトアセンブリは、該アセンブリを回転させるための単一のモータに接続されるように構成される。好ましくは、駆動シャフトアセンブリは、両油圧ポンプの一方のポンプを貫通して他方のポンプに達するシャフトを含む。したがって、油圧ポンプアセンブリの一方のポンプは、油圧ポンプアセンブリの軸の一方の端部に設けられ、他方のポンプは、油圧ポンプアセンブリの軸の一方の端部に設けられ、シャフトは、油圧ポンプアセンブリの軸と平行に延在する。油圧ポンプアセンブリが、角柱状の形状を有する場合、油圧ポンプアセンブリの軸は、角柱の中心に沿って延在する。また、例えば、油圧ポンプアセンブリが、円筒状の形状を有する場合、油圧ポンプアセンブリの軸は、円筒の中心に沿っ

50

て延在する。

【0016】

シャフトは、低圧油圧ポンプを駆動する低圧部分と、高圧油圧ポンプを駆動する高圧部分との2つの部分に分割されており、2つの部分間に軸方向遊びが設けられている。この構成は、油圧ポンプの機械要素を軸方向に互いに分離できるという利点を有する。

【0017】

油圧ポンプアセンブリの両油圧ポンプはギアポンプを含み得る。ある好適な構成では、高圧油圧ポンプは、ストレートギアを使用したギアポンプであり、低圧油圧ポンプは、ヘリカルギアを使用したギアポンプである。これにより、同一の油圧ポンプアセンブリ内に高圧油圧ポンプと低圧油圧ポンプを形成する効果的な方法が提供される。

10

【0018】

好適な実施形態では、油圧ポンプアセンブリは、複数のポンププレート相互に組み合わせ、組み合わせた複数のポンププレートを油圧ポンプアセンブリの長さ方向に貫通させたボルトで固定することにより組み立てられる。なお、シャフトは、油圧ポンプアセンブリの長さに沿って、組み合わせた複数のポンププレートを貫通していることが好ましい。

【0019】

シンプルな構成では、油圧ポンプアセンブリは、2つの油圧ポンプ、すなわち低圧ポンプ及び高圧ポンプだけを含む。しかしながら、1つ以上の中間圧力ポンプを含む3つ以上の油圧ポンプを含み、段階的な圧力及びそれに対応する段階的な容量の油圧流体を提供するように構成することも可能である。圧力の範囲を増加させることにより、油圧ポンプによって制御されるアクチュエータの動きの範囲を増大させることができる。これにより、本システムが、低圧高容量動作から高圧低容量動作に、中間圧力及び容量を介して、スムーズに移行することが可能となる。

20

【0020】

有利なことに、ポンプアセンブリは、最初は大きめの寸法に製造され、その後、既知または呼び寸法を有する油圧ポンプチャンバ内に収容できる寸法まで小さくなるように加工される。これにより、ポンプアセンブリの外形寸法の精度を向上させることができる。したがって、ポンプアセンブリをポンプチャンバ内に精度良く収容することができる。この製造方法は、それ自体が新規で進歩的であると考えられる。したがって、さらなる態様では、本発明は、油圧ポンプアセンブリの製造方法であって、複数のポンププレートを他の構成要素と組み合わせ、低圧油圧ポンプ、高圧油圧ポンプ、及び駆動シャフトアセンブリを含む油圧ポンプアセンブリであって、駆動シャフトアセンブリが該油圧ポンプアセンブリの軸に沿って延在し、両油圧ポンプが油圧ポンプアセンブリの回転によって同時に回転するように構成された該油圧ポンプアセンブリを作製するステップと、組み合わせた複数のポンププレートを、単一ユニットとして油圧ポンプチャンバ内に収容できる寸法に加工するステップとを有する方法を提供する。この方法は、組み合わせた複数のポンププレートを、油圧ポンプアセンブリの長さ方向に貫通させたボルトで固定するステップをさらに有する。有利なことに、この方法は、第1の態様及びその好適な/任意選択の特徴に関連して上述した上記の特徴を有するポンプアセンブリを提供する。

30

【0021】

上述したように、ポンプアセンブリは、人工手用の手の平ユニットの一部として含まれ得る。人工手用の手の平ユニットは、後述する手の平ユニットであり得る。この手の平ユニットは、人工指と組み合わせ、人工手（義手）を構成することができる。

40

【0022】

一例では、手の平ユニットは、手の平ユニット本体部と、手の平ユニット本体部により保持されたモータと、手の平ユニット本体部により保持され、かつモータによって同時に駆動される低圧油圧ポンプ及び高圧油圧ポンプを含む油圧ポンプアセンブリと、手の平ユニット本体部により保持され、かつ低圧油圧ポンプ及び高圧油圧ポンプの両油圧ポンプに接続された油圧回路とを備え、油圧回路は、両油圧ポンプの各吐出側を、人工手用の1または複数の油圧アクチュエータに接続する低圧形態と、低圧油圧ポンプの吐出側と油圧ア

50

クチュエータとの接続を遮断し、油圧流体を低圧油圧ポンプの吸込側に再循環させるとともに、高圧油圧ポンプの吐出側と油圧アクチュエータとの接続を維持する高圧形態とを有し、指を閉じる把持動作中に、油圧系内の圧力が増加して予め定められた閾値を超えたときに、低圧形態から高圧形態に自動的に切り替えるように構成されている。

【0023】

上記の構成は、素早い低圧動作とゆっくりとした高圧動作との両方を効率的に制御することができる手の平ユニットを提供する。この手の平ユニットは、本システム内での圧力増加に応答して低い把持力から高い把持力に自動的に切り替えることができる。すなわち、本システムは、有利なことに、人工手が物体を把持したときにその物体から受ける抵抗に対して自動的に応答することができる。本システムは、特許文献3に開示されたシステムとは異なり、高圧ポンプだけで駆動するときに低圧ポンプとの接続を遮断するための機械クラッチ及び追加的な遮断バルブを必要としない。直感に反するが、本システムは、低圧ポンプを再循環モードで継続的に動作させたときに、低圧ポンプをモータ及び油圧回路から完全に切り離した場合と比べて、より静かに、かつより効果的に動作することができる。機械クラッチを使用しないことにより、本システムの小型化、軽量化、及び使用される部品数の削減が可能となるとともに、信頼性が向上する。とりわけ、義手に関しては、小型化及び軽量化は重要である。これにより、体が小さい切断患者が、義手を効果的に使用することができ、患者の快適さを高め、義手を効果的に使用可能な患者の年齢及び体の大きさの幅を広げることができるからである。

【0024】

本システム内の圧力が増加して予め定められた閾値を超えたときに、低圧形態から高圧形態に切り替えるために、油圧回路は、圧力制御機構を含んでいる。圧力制御機構は、例えば、手を閉じる動作中に、本システム内の圧力が増加して予め定められた閾値を超えたときに開くように構成された圧力制御バルブであり得る。閾値は、例えば、10～15 bar、すなわち1000～1500 kPaであり得る。

【0025】

ある例では、低圧油圧ポンプの吐出側は、低圧油圧ポンプから高圧油圧ポンプに向かう流れを許す一方向バルブを介して、高圧油圧ポンプの吐出側に接続されており、低圧油圧ポンプの吐出側は、圧力調節バルブを介して、低圧油圧ポンプの吸込側に接続されている。この構成により、低圧ポンプの吐出側の圧力が増加して閾値を超えたときには、圧力制御バルブが開いて、油圧流体が低圧ポンプの吐出側から低圧ポンプの吸込側に再循環することを可能にするとともに、高圧ポンプの吐出側の圧力が高くなることに起因して一方向バルブは閉じる。これは、必要であれば高圧ポンプの吐出側と油圧アクチュエータとの接続は維持されるが、低圧ポンプは再循環モードの動作に切り替えられることを意味する。

【0026】

一方向バルブは、例えば指を開く動作中に油圧流体が油圧回路を逆方向に流れることを可能にするために、開状態に維持できるように構成されていることが好ましい。一方向バルブは、電磁制御バルブであり得る。手の平ユニットは、電磁制御バルブを制御するための、例えばマイクロプロセッサなどの制御装置を含み得る。この制御装置は、例えば指を開く動作を行うために油圧流体が油圧回路を逆方向に流れることを必要とするときに、電磁制御バルブを開状態に保持するのに使用することができる。

【0027】

モータは、可変速モータであり得る。これにより、単一のセンサ入力のみに基づいて、油圧ポンプから送り出される油圧流体の量を制御することが可能となる。したがって、複数のセンサ及び/または複雑なマイクロプロセッサルーチンを必要とすることなく、人工手の各指の動作速度を完全に制御することができる。可変速モータを、低圧及び高圧の2つの駆動圧力を有する油圧回路とともに使用することは、それ自体が新規で進歩的であると考えられる。したがって、第2の態様では、本発明は、人工手の手の平ユニットであって、手の平ユニット本体部と、手の平ユニット本体部により保持されたモータと、手の平ユニット本体部により保持され、かつモータによって同時に駆動される低圧油圧ポンプ及

び高圧油圧ポンプを含む油圧ポンプアセンブリと、手の平ユニット本体部により保持され、かつ低圧油圧ポンプ及び高圧油圧ポンプの両油圧ポンプに接続された油圧回路とを備え、モータが可変速モータである手の平ユニットを提供する。これにより、例えば特許文献3に開示されているような従来の油圧式人工手では不可能な、上記の利点が得られる。この態様の手の平ユニットは、他の態様の特徴、並びに本明細書に記載された任意選択の特徴及び好適な特徴と組み合わせることができる。

【0028】

また、モータとして可逆モータを使用することができ、これにより、油圧ポンプを順方向または逆方向に動作させて手の開閉動作を制御することが可能となる。したがって、別の例では、手の平ユニットは、手の平ユニット本体部と、手の平ユニット本体部により保持されたモータと、手の平ユニット本体部により保持され、かつモータによって同時に駆動される低圧油圧ポンプ及び高圧油圧ポンプを含む油圧ポンプアセンブリと、手の平ユニット本体部により保持され、かつ低圧油圧ポンプ及び高圧油圧ポンプの両油圧ポンプに接続された油圧回路とを備え、モータが可逆モータである手の平ユニットを提供する。この態様の手の平ユニットは、他の態様の特徴、並びに本明細書に記載された任意選択の特徴及び好適な特徴と組み合わせることができる。モータは、可変速及び可逆の両方の機能を有することが好ましい。

【0029】

通常は、例えば親指と他の1本以上の指の制御を可能にするために、手の平ユニットは、複数の油圧アクチュエータを備えている。油圧回路は、複数の油圧アクチュエータ内、好ましくは全てのアクチュエータ内の油圧流体の圧力を均一にするために、各油圧アクチュエータの圧力側及び吸込側が互いに接続されるように構成されていることが好ましい。これにより、人工手の各指の適応的な動作が可能となる。人工手の各指で物体を把持するとき、物体から抵抗を受けた指は動作を停止するが、他の指は物体から抵抗を受けるまで、すなわち把持が完成するまで動作を継続するためである。

【0030】

好適な実施形態では、油圧アクチュエータの数は、人工手の指の数よりも少ない。当然ながら、人工手は、一般的には、1本の親指と、4本の他の指とを有するように構成されている。したがって、油圧アクチュエータの数は、5つ未満であり得る。人工手の各指に対して専用の油圧アクチュエータを設けないことは、それ自体が新規で進歩的であると考えられる。したがって、第4の態様では、本発明は、人工手の手の平ユニットであって、手の平ユニット本体部と、手の平ユニット本体部により保持されたモータと、手の平ユニット本体部により保持され、かつモータによって同時に駆動される低圧油圧ポンプ及び高圧油圧ポンプを含む油圧ポンプアセンブリと、手の平ユニット本体部により保持され、かつ低圧油圧ポンプ及び高圧油圧ポンプの両油圧ポンプに接続された油圧回路とを備え、油圧回路が、人工手の各指を動作させるための油圧アクチュエータを含み、油圧アクチュエータの数が人工手の指の数よりも少ない手の平ユニットを提供する。この態様の手の平ユニットは、他の態様の特征、並びに本明細書に記載された任意選択の特徴及び好適な特徴と組み合わせることができる。

【0031】

手の平ユニットは、小指専用の油圧アクチュエータを備えておらず、かつ、任意選択で薬指専用の油圧アクチュエータも備えていないことが好ましい。いくつかの例では、専用の油圧アクチュエータを有していない指は、それに隣接し、かつ専用の油圧アクチュエータを有している指に弾性的に結合されている。例えば、小指及び薬指が、専用の油圧アクチュエータを有している中指に弾性的に結合されている。好適な構成では、手の平ユニットは、親指、人差し指、及び中指の各指用の3つの油圧アクチュエータを含む。この構成は、各指が専用の油圧アクチュエータを有している特許文献3に開示されている従来技術とは対照的である。小指及び任意選択で薬指が専用の油圧アクチュエータを有していなくても、把持パターンに関しては大きく不利な点はなく、人工手のサイズ、重量、及び複雑さの低減という利点を上回る不利な点はないことが見出された。油圧アクチュエータは、

油圧シリンダであり得る。

【 0 0 3 2 】

好適な実施形態では、手の平ユニットは、親指用の油圧シリンダと、他の指用の複数の油圧シリンダとを有しており、親指用の油圧シリンダのボアサイズは、他の指用の複数の油圧シリンダのボアサイズよりも大きい。各ボアサイズは、親指から加えられる力と、他の指から加えられる力とのバランスが取られるように設定されることが好ましい。これは、人工手の各指を閉じて物体を把持するときに、親指から加えられる力と、他の指から加えられる力とのバランスを取ることができることを意味する。

【 0 0 3 3 】

手の平ユニット本体部は、油圧回路及び油圧ポンプアセンブリを収容するための密封された筐体を形成し得る。モータも、手の平ユニット内に収容することが好ましい。手の平ユニット本体部は、単一部材から形成されることが好ましく、好ましい例では、3D印刷により作製される。手の平ユニットのこの構成は、それ自体が新規で進歩的であると考えられる。したがって、第7の態様では、本発明は、人工手の手の平ユニットであって、手の平ユニット本体部と、手の平ユニット本体部により保持されたモータと、手の平ユニット本体部により保持され、かつモータによって同時に駆動される油圧ポンプアセンブリと、手の平ユニット本体部により保持された油圧回路とを備え、手の平ユニット本体部は、油圧回路及び油圧ポンプアセンブリを含む全ての油圧部品を収容するための密封された筐体を形成し、手の平ユニット本体部は、単一部材から形成され、好ましくは3D印刷により作製される手の平ユニットを提供する。この態様の手の平ユニットは、他の態様の特徴、並びに本明細書に記載された任意選択の特徴及び好適な特徴と組み合わせることができる。例えば、油圧ポンプアセンブリは、低圧油圧ポンプと高圧油圧ポンプとを含み、両油圧ポンプは、モータにより同時に駆動される。

【 0 0 3 4 】

油圧回路のための全ての油圧接続は、手の平ユニット本体部を構成する単一部材内に設けられた流路により形成されることが好ましい。この油圧接続は、油圧ポンプ及び油圧アクチュエータ間の接続、並びに上記した様々なバルブ（存在する場合）のための接続を含む。この構成は、3D印刷と組み合わせた場合に特に有効である。3D印刷を使用すると、非常に複雑な形状を様々な内部特徴とともに形成することが可能になるからである。手の平ユニット内の様々な部品間の油圧接続を保つことにより、全ての油圧要素を完全に密封することが容易となる。これにより、この油圧系を頑丈にすることができ、損傷及び油漏れのリスクをなくすることができる。

【 0 0 3 5 】

油圧回路は、モータの停止時に油圧アクチュエータ内の油圧を保持するためのロックバルブを含み得る。有利なことに、このことにより、手の平ユニットが、モータを継続的に駆動する必要なく、人工指の各指を固定された把持位置に維持することが可能となる。

【 0 0 3 6 】

手の平ユニットは、EMGセンサなどの筋電センサからの入力に基づいて動作するように構成されることが好ましい。好適な実施形態では、ユーザの筋肉における張力の大きさが、モータ速度の制御に使用される。これは、単一のセンサによって、人工手の把持を十分に制御できることを意味する。これにより、複雑なプログラマブルマイクロプロセッサが必要となるのを避けることができる。ある好適な例では、手の平ユニットは、一方は手を開くのに用いられ、他方は手を閉じるのに用いられる2つのEMGセンサからの入力に基づいて動作するように構成される。

【 0 0 3 7 】

手の平ユニットは、手首コネクタを含み得る。特に、迅速接続型手首コネクタを使用することが好ましい。オートロック社製の迅速接続型手首コネクタが使用され得る。このタイプの標準型コネクタは、既存の義手ユーザが、本発明の人工手を試すのを容易にすることができる。

【 0 0 3 8 】

10

20

30

40

50

本発明はさらに、上述した手の平ユニットと、人工指とを含む人工手に拡張される。この人工手は、義手であり得、そのため、装飾手袋を含み得る。人工指の各指を全て油圧式にすることも可能であるが、上記した理由により、それは不利だと考えられる。したがって、各指は、専用の油圧要素を有するのではなく、手の平ユニット内に設けられた油圧アクチュエータにより駆動されるように構成された機械式継手を有することが好ましい。機械的人工指と油圧式手の平ユニットとのこの組み合わせは、小型軽量化のための最適な構成を提供すると考えられる。現在、このような油圧要素及び機械要素を組み合わせた人工手は、市販されていない。

【0039】

上記した全ての態様の手の平ユニットは、人工手用の指節機構、好ましくは適応的把持 (adaptive grip)、すなわち被把持物体に適応する指節動作を提供する指節機構と組み合わせることができる。また、上記した手の平ユニットは、人工手用の指節機構、及び指節機構を駆動する油圧アクチュエータと組み合わせることができる。

【0040】

1つの可能な指節機構は、人工手の手の平ユニットに回転可能に結合されるように構成された下側指節と、下側指節に回転可能に結合された上側指節と、下側指節を手の平ユニットに対して回転させるために、下側指節に対してモーメントを加えるための下側指節回転機構と、上側指節を下側指節に対して回転させるために、上側指節に対してモーメントを加えるための上側指節回転機構と、受けている運動抵抗がより小さい指節に対して優先的に運動を提供するために、下側指節回転機構及び上側指節回転機構によって加えられるモーメントの大きさを、上側指節及び/または下側指節の回転に抵抗する外力の大きさにしたがって機械的に調節するための力バランス調節機構とを備え、下側指節回転機構及び上側指節回転機構は、使用時には、手の平ユニットに設けられた単一のアクチュエータから加えられる力によって機械的に駆動されるように構成された指節機構である。

【0041】

この構成により、手の平ユニットに設けられた単一のアクチュエータのみにより、指節機構に対して単一の力を加え、各指節を適応的把持のために制御することができる。ある指節が受ける抵抗が増加したとき、力バランス調節機構は、他の指節に、指節機構に提供される力のうちの大きな割合を提供し、より多く回転させるように、力の分布を調節する。このようにして、被把持物体が不規則な形状を有する場合でも、例えば人工手の指節を物体の周りに閉じて物体を把持するときに、両方の指節が動いて物体と接触することが可能となる。この指節機構は、指節の回転に対する抵抗が存在しない場合は、例えば指節機構を使用して手を閉じて挟み把持 (pincer grip) の形態にするように、動きのデフォルトパターンが設定される。また、第1指節が被把持物体または運動に対する他の抵抗源と接触した場合、その指節に提供される力の割合を、残りの指節に提供される力の量と比べて減少させる。これにより、両方の指節を、それらが受ける運動抵抗に抗して、略同一の圧力で閉じることができる。したがって、指節機構は全ての指節を用いて把持を形成するので、人の手と同様な強固な把持を実現することができる。また、これは、上記の指節機構を使用して各指節の運動に対して選択的に抵抗を加えることにより、ユーザが非常に容易に、人工手の必要とされる把持パターンまたは形態を「形成」できることを意味する。

【0042】

本発明に係る指節機構は、適応機能を有する従来の指節機構とは異なり、複数のアクチュエータや複雑なマイクロプロセッサ制御を必要としない。その代わりに、単一のアクチュエータが使用される。加えて、単一のアクチュエータ入力及び腱式接続を使用する従来の指節機構とは対照的に、上側指節及び下側指節の運動の相対的程度は固定されておらず、ギア機構などによって変化させることができる。また、本発明に係る指節機構は、より頑丈な構造を可能にし、特に、ばね復帰式の構造を導入することを可能にする。したがって、この指節機構は、外力に応答して動作し、指節を閉方向に弾性的に動かすように構成される。これにより、指節機構及び人工手に組み込まれる他の要素が損傷するリスクを最

10

20

30

40

50

小限に抑えることができる。

【 0 0 4 3 】

本明細書で使用する、「上側指節」という用語は、人工指の遠位端側、すなわち指先側の指節を指し、「下側指節」という用語は、人工指の近位端側、すなわち手の平側の指節を指す。上側及び下側という用語は、指節機構の他の部品において同様に使用される。この指節機構は、人工手の各指の基礎をなす。

【 0 0 4 4 】

指節機構の可動指節は2つだけであり得る。この場合、上側指節は遠位側指節であり、各指の先端とともに動く。なお、後述する回転機構及び力バランス制御機構を追加することにより、下側指節と上側指節との間にさらなる指節を設けて、3つの指節を有するように拡張することも可能である。この場合、指節機構は、下側指節と、下側指節の上端に回転可能に結合された第1の上側指節と、第1の指節の上端に回転可能に結合された第2の上側指節とを有する。また、指節機構は、第2の上側指節に対してモーメントを加える追加的な回転機構と、追加的な下側プーリと、下側プーリ及び下側プーリに設けられた第1のクラッチ機構と相互作用する第1の上側プーリと、第1の上側プーリに設けられ第2の上側プーリと相互作用する第2のクラッチ機構と、第2の上側指節の適応的運動のためのさらなるシステムを形成するための他の繰り返し要素とを有する。上記の構成により3つの指節が人の指のように動くことが可能となり、これにより、指のより自然な適応的運動が可能となる。

【 0 0 4 5 】

必要とされる適応的把持を生成するために、力バランス制御機構は、下側指節回転機構及び上側指節回転機構によって加えられるモーメントの大きさを、上側指節及び/または下側指節の回転に抵抗する外力の大きさにしたがって機械的に調節する。この結果、上記の2つの回転機構は、受けている運動抵抗がより小さい指節に対して、優先的に運動を提供する。このことは、同一の指における第1の指節が受ける運動抵抗が、第2の指節よりも大きい場合には、第2の指節を回転させるために加えられる力を増加させ、第1の指節が受ける運動抵抗が、第2の指節よりも小さい場合には、第2の指節を回転させるために加えられる力を減少させることにより実現される。第1の指節は上側指節であり、第2の指節は下側指節であり得る。あるいは、その逆であってもよい。本明細書では、前者が例示的な実施形態として用いられる。人間の手の外観に類似した、人工手に必要とされる一般的な形状を有するため、遠位端には、機構を配置するためのより多くのスペースが存在する。また、一般的に、指節の回転させるために加えられる力の量を、指節の回転に抵抗する力の量に応じて調節するためには、より複雑な機構が必要とされるので、上記の第2の指節として下側指節を用いる構成により、人工手の外観に悪影響を及ぼすことなく、より容易に設計することが可能となる。したがって、指節機構をこのように構成することは、若干有利である。

【 0 0 4 6 】

力バランス調節機構は、第2の指節を回転させるための様々な量の力を伝達するためのクラッチを含み、クラッチは、第1の指節が受ける運動抵抗の大きさにしたがって、力の量を調節するように制御される。このような方法でクラッチを使用することにより、一方の指節を動かすのに使用される力の、他方の指節を動かすのに使用される力に対する割合を効果的に制御することが可能となる。クラッチを制御するために、力バランス調節機構は、クラッチ制御装置を含み得る。クラッチ制御装置は、第1の指節が受ける運動抵抗の大きさにしたがって動作する機械式デバイスであることが好ましい。本発明に係る指節機構では、上側指節回転機構及び下側指節回転機構は機械的に駆動されるので、指節の動きに対する抵抗が増加すると、各回転機構の力も増加し、例えば、回転機構の要素のトルク、張力、圧縮、及び/または変形が増加する。クラッチ制御装置は、このタイプの力により動作されることが好ましい。一例では、第1の指節を回転させるための指節回転機構はケーブルにより駆動され、第1の指節の回転に対する抵抗が増加したときにケーブルの張力が増加するように構成される。この場合、クラッチ制御装置は、例えばケーブルがV字

状に架け渡されたレバーなどの、ケーブルの張力にしたがって動作する機械式デバイスを含み得る。この構成により、レバーはケーブルの張力によって引っ張られるので、第1の指節の動きに対する抵抗にしたがってレバーを移動させることが可能となる。当然ながら、他の機構を使用することも可能である。

【0047】

クラッチは、第1の指節の回転に使用される力の量に対する、第2の指節の回転に使用される力の量を制御可能な任意の機構であり得る。クラッチは、必要とされる力のバランスを効果的に提供することができるように、例えば上述したように運動抵抗が存在しない場合に挟み把持を提供することができるように、力のバランスを調節するための調節/校正機構を含むことが好ましい。当業者には、クラッチを実施することができる様々な方法が存在することは明らかであろう。好適な実施形態では、バンドブレーキが使用される。これにより、軽量で小型化が容易なクラッチを提供することが見出された。このことは重要な利点である。上述したように、人工手または義手にとっては、サイズ及び重量は重要だからである。バンドブレーキなどのクラッチは、クラッチ制御装置としての上述したレバー・ケーブル構造と組み合わせられる。この場合、レバーは、ケーブルの張力の増加にしたがって、バンドブレーキを締め付けるのに使用される。これも、小型で軽量の解決策を提供するとともに、頑丈であり、人工指内への実装が容易な機構であることが見出された。バンドブレーキは、クラッチ制御装置（例えば、上述したレバー）により行われる調節とは独立的に、バンドブレーキの緊張を調節する例えばスクリュース式調節器などの、上述した調節/校正機構を含み得る。

【0048】

上側指節回転機構及び下側指節回転機構は、プーリ・ケーブルシステムを含み得る。1つの可能性は、手の平ユニットに設けられたアクチュエータから張力を受けて、その張力を、下側指節を回転させるように構成された下側プーリに伝達するためのメインケーブルと、下側プーリに接続され、下側プーリの回転運動を、上側指節を回転させるように構成された上側プーリに伝達するように構成された第2のケーブルとを含む。メインケーブル及び第2のケーブルは、下側プーリの周りに巻回されるか、または他の方法により下側プーリに結合される、単一のケーブルとして構成することもできる。しかしながら、メインケーブル及び第2のケーブルは、下側プーリから個別に切り離すことができるように、別々のケーブルを使用することが有利である。このようにすると、装置の組み立てが容易になり、また、メンテナンスなどのために、個々の部品を取り外すのが容易になるためである。ケーブル及びプーリをこのように使用すると、指節を閉位置に向けて自由に変位させることができ、機構を損傷させるリスクを伴わずにケーブルの緩みを形成することができるので有利である。これは、人工手を構成するために手の平ユニットにケーブル及びプーリを設置したときに、指節が衝撃に起因する損傷に対して耐性を有することを意味する。

【0049】

上記のようなプーリを使用することにより、力バランス調節機構は、下側プーリの回転により回転する下側指節が受ける運動抵抗にしたがって、上側プーリ及び上側指節間で伝達される力の量を調節するか、または、上側プーリの回転により回転する上側指節が受ける運動抵抗にしたがって、下側プーリ及び下側指節間で伝達される力の量を調節するように構成されている。上述したように、力バランス調節機構は指節機構の下側端部に配置することが有利であると考えられている。そのため、さらなる詳細は、下側プーリに焦点を合わせたシステムに関して説明する。逆の構成も可能であることを理解されたい。

【0050】

力バランス調節機構が、下側指節を回転させるために下側プーリから下側指節に伝達される力を調節するように構成されている場合、メインケーブル及び第2のケーブルの張力は、両ケーブルの下側プーリに対する接続部により互いにリンクされている。また、上側プーリは、上側指節に結合されており、上側指節とともに回転することができる。したがって、上側指節は、上側プーリの回転により駆動され、上側プーリと同じ程度で回転することができる。また、下側プーリは、力バランス調節装置のクラッチを介して下側指節に

接続され、カバランス調節装置により下側プーリからの回転力の一部を下側指節に伝達するように構成されている。クラッチは、上述したとおりである。したがって、ある例では、クラッチ制御装置としてのレバーが設けられ、第2のケーブルが下側プーリ及び上側プーリ間でレバーにV字状に架け渡されており、上側指節が受ける運動抵抗が増加すると、第2のケーブルの張力が増加してレバーを引っ張り、クラッチによって下側プーリ及び下側指節間で伝達される力を増加させるように構成されている。この場合、カバランス調節機構は、下側プーリ及び下側指節間で伝達される力の量を制御するように構成された、クラッチとしてのバンドブレーキと、バンドブレーキを締め付けるためのレバーとを含み得る。有利なことに、バンドブレーキ及び下側プーリは、下側指節の下側端部に位置する比較的大きな「指関節」内に收容することができる。また、レバー及びV字状ケーブルは、上側プーリに向かって延びる下側指節内に配置され、上側プーリは、下側指節と上側指節とを連結する比較的小さな「指関節」内に收容される。この指節機構は、従来の人工手と比べて大型化することなく、上記の構成要素を含むことができる。すなわち、患者の手の指節のサイズに概ね一致させることができる。

10

【0051】

指節は、中空の指節様の形状に形成されたハウジング要素を含み得る。好適な例では、3D印刷された金属合金、例えば3D印刷されたチタンを使用して指節が形成される。これにより、必要とされる構造強度が得られるだけでなく、複雑な形状を形成することが可能となり、指節機構の製造、及び様々な機械部品を一体化するときの追加的な加工の必要性を最小限に抑えることができる。

20

【0052】

複数の上記の指節機構が、手の平ユニットに取り付けられる。手の平ユニットは、指節機構用のアクチュエータを有しており、このアクチュエータは、例えば指節機構のメインケーブルに張力を加えるか、または他の方法で指節を回転させるように構成されている。機械式の人工指と、油圧式の手の平ユニットとの組み合わせは、サイズ及び重量を最小化するための最適な構成を提供する。油圧式要素と機械式要素とのこのような組み合わせを用いた人工手は、現在市販されていない。

【0053】

各指節機構は、使用時に、各指節を開位置に向けて付勢するばねのための取り付け部を有することが好ましい。ばねは、取り付け部と、それに対応する人工手の手の平ユニットの取り付け部との間に配置され得る。ばねは、指節を閉位置に向けて弾性的に付勢し、指節に対して加えられる力が解放されたときに、指節を開位置に復帰させることを可能にする。したがって、指節は、衝撃または他の外力に応じて自由に閉じることができ、その後、外力が取り除かれたときに、開位置（または関連するアクチュエータにより設定された位置）に戻るよう構成されている。

30

【0054】

下側指節は、該下側指節を人工手の手の平ユニットのブラケットに取り付けるためのピボット構造を有し得る。ピボット構造は、下側指節回転機構の構成要素、例えば上述した下側プーリ及びクラッチと同一の回転軸に沿って形成されることが好ましい。指節機構は、ピボット機構の結合部を介して、手の平ユニットのブラケットに取り付けられる。有利なことに、各指用の複数の指節機構が、同一の回転軸に沿って配列されたブラケットに取り付けられる。これにより、単一のピンまたはシャフトで手の平ユニットの全ての指に固定することが可能となる。

40

【0055】

本発明の各態様の好適な特徴は、適用可能または適切である限り、本発明の他の態様、及び任意選択で他の態様の好適な特徴と組み合わせることができる。

【0056】

以下、本発明のいくつかの好適な実施形態を、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】

50

【 0 0 5 7 】

【図 1】義手の構成を示す斜視図であり、装飾手袋を除去した状態を示す。また、一本の指は、その内部の詳細が見えるように、部分的に透過的に示されている。

【図 2】図 1 に示した義手の部分切り取り図であり、中指及び親指用の油圧シリンダを通る断面を示している。

【図 3】指機構をより詳細に示す図であり、指の適応的動作を生成するためのクラッチシステムを示している。

【図 4】クラッチシステムの動作の基本原理を示す模式図。

【図 5】手の平ユニットの斜視図であり、その内部のモータ及び油圧ポンプの詳細が見えるように、外側ハウジングは透過的に示されている。

【図 6】手の平ユニットを通る部分断面図であり、高压油圧ポンプ、低压油圧ポンプ、及び親指用の油圧シリンダに隣接するイコライザを示している。

【図 7】別の角度から見た、図 6 と同様の断面図であり、油圧ポンプの圧力チャンネル及び吸込チャンネルが見えるように、油圧ポンプの図示は省略している。

【図 8】手の平ユニットの油圧アセンブリと、親指以外の指の上側部分及び親指の下側部分とを示す斜視図であり、緊急油圧バルブの位置も示している。

【図 9】緊急バルブをより詳細に示す図であり、分かり易くするために、油圧サブアセンブリの外側部分は透過的に示されている。

【図 10】油圧回路図。

【図 11】人差し指及び中指用の油圧シリンダの断面図。

【図 12】人差し指及び中指用の油圧シリンダの斜視図。

【図 13】親指用の油圧シリンダの断面図。

【図 14】親指用の油圧シリンダの斜視図。

【図 15】緊急バルブの断面図。

【図 16】緊急バルブの斜視図。

【図 17】図 5 及び 6 に示したイコライザの断面図。

【図 18】図 5 及び 6 に示したイコライザの斜視図。

【図 19】図 5 及び 6 に示した高压油圧ポンプ及び低压油圧ポンプの断面図。

【図 20】図 5 及び 6 に示した高压油圧ポンプ及び低压油圧ポンプの斜視図。

【図 21】低压動作から高压動作に切り替えるために油流れの方向を変更するための圧力制御バルブの断面図。

【図 22】図 21 に示した圧力制御バルブの斜視図。

【図 23】油圧回路内で使用される電磁制御バルブの断面図。

【図 24】図 23 の電磁制御バルブの斜視図。

【図 25】図 8 に示した油圧サブアセンブリのための 3D 印刷された本体部分を示す図。

【図 26】図 25 に示した本体部分の切り取り図であり、いくつかの油圧接続を示す。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 5 8 】

好適な実施形態として、添付図面は、本発明に係る義手と、その指を動作させるために使用される機構の様々な特徴を示す。しかしながら、これと同一の機構が、例えば遠隔操作やロボット用途などの他の目的のために、同様に良好に使用できることを理解されたい。加えて、添付図面に示すように、この義手の様々な特徴を組み合わせると特定の利益が得られるが、この義手の様々な要素は単独でも利益が得られることに留意されたい。例えば、本明細書で説明した義指（人工指）の構造、本発明に係る手の平ユニットの特定の構造を有する油圧駆動機構だけでなく、別の駆動機構とともに使用した場合でも利益を提供するであろう。同様に、本明細書で説明した手の平ユニット及び／または油圧回路は、別の指機構とともに使用した場合でも利益を提供するであろう。

【 0 0 5 9 】

以下、添付図面をより詳細に参照すると、図 1 は、手の平ユニット 12、親指機構 14、人差し指機構 16、中指機構 18、及び薬指／小指機構 18 の各指機構（指節機構）を

10

20

30

40

50

含む義手の斜視図である。図 2 は、親指 1 4 の線に沿って人差し指 1 6 及び中指 1 8 間で切断した部分断面図である。

【 0 0 6 0 】

この例では、義手は、バッテリー及び 1 または 2 つの筋電図 (E M G) センサとの接続を可能にする、オットーボック (Otto Bock) 社製の標準的な迅速連結型の手首ジョイント 2 2 を備えている。筋電図 (E M G) センサは一般的に、ユーザの脇の下に配置される。当然ながら、必要であれば、別の手首連結システムを使用してもよい。有利なことに、手首ジョイント 2 2 のための連結部 (継手) は、 3 D 印刷される。この標準的な迅速連結型システム 2 2 は、既存の電動義手ユーザが、この義手を試すのを極めて容易にすることができる。

10

【 0 0 6 1 】

人差し指機構 1 6 及び中指機構 1 8 は非常に類似しており、概して、指のサイズのみが異なる。親指機構 1 4 は、人差し指機構 1 6 及び中指機構 1 8 と類似しているが、親指 1 4 が他の指 1 6、1 8、2 0 に対して 9 0 ° の角度をなして開くことを可能にする角度でメインケーブル 3 4 の方を向いているプーリ / ガイド 2 4 をさらに有している。また、当然ながら、親指機構 1 4 は、一般的な親指のサイズ及び寸法を正確に模倣するように構成されている。薬指 / 小指機構 2 0 は、中指機構 1 8 の第 1 指節用の機構に弾性的に結合されており、該機構の動作に効率的に従動する。この例では、コイルばねが使用されており、このコイルばねは、手を開くときの薬指及び小指に対する所定の限度内でのばね付勢動作、及び手を閉じる方向への自由な動き (コイルばねの抵抗を受けるが、移動量は制限されない) を可能にするためのブッシングに好適に取り付けられる。

20

【 0 0 6 2 】

ユーザの E M G センサからの信号を受信するために、マイクロプロセッサ制御装置及びソフトウェアを備えている。これらの制御装置は、手の平ユニット 1 2 内の手首ジョイント 2 2 の裏側 (すなわち、図 2 では手の平ユニット 1 2 の右側) に配置されている。このように構成された義手は、必要であれば単一のセンサ入力だけでも動作可能であり、センサ信号の「強度」だけに基づいて、ユーザにより制御された非常に適応的な把持を実現できることを理解することが重要である (詳細については後述する)。物体の把持に関するユーザのより直感的な動作を可能にする第 2 の E M G センサを使用することが好ましい。この場合、一方のセンサは手を閉じる動作を制御するのに使用され、他方のセンサで手を開く動作を制御する。しかしながら、必要であれば、単一のセンサを、事前に決められた信号とともに使用して、例えば、「ダブルクリック」式の動作によって、手を閉じる動作から手を開く動作に切り替えるようにしてもよい。各指機構 1 4、1 6、1 8 の構造及び動作のさらなる詳細を、図 3 及び 4 を参照して説明する。なお、図 3 及び 4 に関連する参照番号は、見やすいように、図 1 及び 2 では示していない。図 1 及び 2 には、手の平ユニット 1 2 の基本部品がさらに詳細に示されている。手の平ユニット 1 2 の基本部品には、モータ 6 8 を油圧ポンプ (特に図 5 及び 6 に詳細に示す) に接続するベルト 2 8、指機構の基部に連結されており手を開形態になるように付勢する指戻しばね 3 0、指メインケーブル 3 4 を指油圧シリンダ 3 6 に連結する指ピストンコネクタ 3 2、中指用の中指油圧シリンダ 3 6 (図 2 にその断面を示す)、親指用の親指油圧シリンダ 3 8 (図 2 にその断面を示す)、親指ピストンコネクタ 4 0、及び親指戻しばね 4 2 が含まれる。これらの様々な部品の動作及び相互作用は、添付図面を参照して下記に詳細に説明する。

30

40

【 0 0 6 3 】

図 3 及び 4 を参照して、指機構 (指節機構) について詳細に説明する。まず、人差し指機構 1 6 及び中指機構 1 8 の両機構と、親指機構 1 4 とに、同一の基本機能部品が使用されていることに留意されたい。なお、各指の指機構の基本機能部品の寸法は、各指に求められる寸法を実現するために適切に調節されている。したがって、指及び指関節に関する以下の説明は、各指及び各指関節に等しく当てはまるものとする。

【 0 0 6 4 】

以下の説明では、上側指節は、各指の遠位端側 (指先側) の指節であり、下側指節は、

50

各指の近位端側（手の平側）の指節である。上側及び下側という用語は、各指機構の他の部品において同様に使用される。この例では、親指機構 14、人差し指機構 16、及び中指機構 18 の各々は、2つの指節を有している。なお、以下に説明する指機構を繰り返すことにより、3つの指節を有するように拡張し、これによってより自然な指の動きを実現することも可能である。しかしながら、これは、複雑さが増加するだけで、実現されるユーザビリティ及び把持パターンについては大きな利益は得られないと考えられる。

【0065】

図3は、外側ハウジングを有する指機構を詳細に示す。外側ハウジングは、その内側の指機構を示すために、透過的に示されている。図4は、指機構の一部を模式的に示す。図3及び4において、同一の部品には、同一の参照符号が付されている。

10

【0066】

下側指節44は、下側回転軸46に沿って設けられたピボットによって、手の平ユニット12（図3及び4では図示しない）に連結されている。指戻しばね30は、下側指節44を開位置に向けて後退（変位）させるために、下側指節44を、下側回転軸46を中心にして回転させるように配置されている。下側指節44の遠位端部は上側指節48に連結されており、上側指節48は、上側回転軸50に沿って設けられたピボットによって、下側指節44に対して回転することができる。指メインケーブル34は、下側回転軸46に設けられた下側プーリ52に結合されている。したがって、指メインケーブル34に張力を加えることにより、下側プーリ52を回転させることができ、これにより、指を開位置に向けて回転させて、後述する適応的把持（adaptive grip）を実現することができる。

20

【0067】

上側指節48及び下側指節44の両方の回転を可能にすることが重要である。有利なことに、このことは、下側指節44及び上側指節48のいずれか一方に加えられた圧力にตอบสนองすることができる適応的把持を提供するようにして行われる。これは、指機構の各指節間の機械的関係が固定されている従来の様々な構造とは対照的に、上側指節が、下側指節の回転に応じて回転することを必要とする。本発明に係る指機構では、指メインケーブル34は、駆動機構（この例では、指油圧シリンダのピストンコネクタ）により引っ張られたときに下側プーリ52を回転させ、下側プーリ52の回転によって上側プーリ56に接続された第2のケーブル54に張力を加える。上側プーリ56は、上側回転軸50に設けられており、上側プーリ56の回転によって、上側指節48を回転させ（繰り返すが、図中では回転方向は反時計方向である）、閉位置に向けて引っ張ることができるように構成されている。

30

【0068】

必要とされる適応的把持を実現するために、本発明に係る指機構は、ブレーキ/クラッチ構造体58を使用して、第2のケーブル54に加えられた張力にしたがって、下側プーリ52から下側指節44に伝達される回転力を調節する。ブレーキ/クラッチ構造体58は、一方の指節の動作を停止させて、他方の指節を回転させることができるように、本システム内でのある程度の滑りを許容する。ブレーキ/クラッチ構造体58を介して加えられる力の強さは、各指節に加わる力のバランスに応じて変化する。したがって、上側指節48の閉動作に対する抵抗が小さい場合には、下側指節44を閉じる力を減少させ、上側指節48の閉動作に対する抵抗が大きい場合には、下側指節44を閉じる力を増加させる。ブレーキ/クラッチ構造体58及び各プーリは、上側指節48または下側指節44の閉動作に対する抵抗が存在しない場合には、両指節を同程度の回転運動により引っ張って閉じて、挟み把持（pincer grip）パターンを実現するように構成されている。しかしながら、指機構の一方の指節が抵抗を受けている場合、すなわち一方の指節が被把持物体と接触している場合、一方の指節は動作を停止し、指機構の他方の指節に力が優先的に伝達され、他方の指は同様の抵抗を受けるまで回転を続ける。全ての指節が物体と接触すると圧力は増加し、これにより、把持力が増加する。したがって、本発明に係る指機構は、メインケーブル34に対する張力という形態の単一の駆動入力しか必要としないにも関わらず

40

50

、上側指節 4 8 及び下側指節 4 4 間のトルクのバランスを取ることににより、各指機構 1 6、1 8（同様に、親指機構 1 4）に対して直感的な適応的把持を提供するとともに、フレキシブルさが高い把持パターンを実現することが可能となる。

【 0 0 6 9 】

この例では、ブレーキ/クラッチ構造体 5 8 は、バンドブレーキである。しかしながら、ブレーキ/クラッチ構造体 5 8 として、バンドブレーキの代わりに、クラッチプレートを使用したシステムなどの別の構造を用いてもよいことは明らかであろう。ブレーキ/クラッチ構造体 5 8 は、トルクバランス調節機構 6 0 に接続されている。このトルクバランス調節機構 6 0 は、第 2 のケーブル 5 4 に加わる張力が増加したときに、ブレーキ/クラッチ構造体 5 8 によって、下側プーリ 5 2 及び下側指節 4 4 間で伝達される力を増加させるように構成されている。この例では、トルクバランス調節機構 6 0 は、下側回転軸 4 6 と下側指節 4 4 の本体部とに対して固定されたピボット 6 4 に取り付けられたレバーアーム 6 2 を含む。このことは、図 4 に模式的に示されている。レバーアーム 6 2 の端部は第 2 のケーブル 5 4 と当接しており、第 2 のケーブル 5 4 は、レバーアーム 6 2 の端部のガイド面の周りで向きが変わるようにして、レバーアーム 6 2 に架け渡されている。したがって、第 2 のケーブル 5 4 の張力によって、レバーアーム 6 2 の端部を押す力が生成される。

10

【 0 0 7 0 】

下側プーリ 5 2 がメインケーブル 3 4（図 4 では図示しない）により引っ張られて反時計方向に回転すると、第 2 のケーブル 5 4 に沿って張力が加えられ、これにより、上側プーリ 5 6 も反時計方向に回転にする。上述したように、この回転運動に対する抵抗（運動抵抗）が存在しない場合、ブレーキ/クラッチ構造体 5 8 は、下側指節 4 4 及び上側指節 4 8 の両方を挟み把持パターンが形成されるように回転させる。例えば指先に対して A 方向に加えられた接触力によって、上側指節 4 8 の動きに対する抵抗が存在する場合、第 2 のケーブル 5 4 の張力は増加する。図 4 から理解されるように、この張力の増加によってレバーアーム 6 2 の端部は B 方向に大きな力で押圧され、これにより、レバーアーム 6 2 のピボット 6 4 の周りにモーメントが加えられる。

20

【 0 0 7 1 】

図 3 は、レバーアーム 6 2 と、ブレーキ/クラッチ構造体 5 8（この例ではバンドブレーキ）との間の接続をさらに詳細に示す。レバーアーム 6 2 の動きは、バンドブレーキに加わる力を増加させ、これにより、下側プーリ 5 2 及び下側指節 4 4 間で伝達される力が増加し、下側指節 4 4 が上側指節 4 8 に優先して閉じる傾向が生成される。下側指節 4 4 の運動に対する抵抗（運動抵抗）も存在する場合、この抵抗が増加すると、メインケーブル 3 4 を介して圧力を増加させて最終的には力のバランスを取る。これにより、両指節に圧力を加え、両指節が物体と完全に接触したときの把持力を増加させる。下側指節 4 4 の動きに対する抵抗が、上側指節 4 8 の動きに対する抵抗よりも小さい場合、ブレーキ/クラッチ構造体 5 8 が高い度合いで滑って下側プーリ 5 2 及び下側指節 4 4 間で比較的低い力が伝達されることにより下側指節 4 4 は回転を停止し、一方、上側指節 4 8 は回転を継続する。このように、上記した機構は、各指機構 1 4、1 6、1 8 に対して、必要とされる直感的なかつ適応的な動作を提供する。

30

40

【 0 0 7 2 】

さらに、この義手により提供される把持パターンの適応性は、例えば図 2 の断面図及び図 1 0 の油圧回路図に示すように、2 つの指油圧シリンダ 3 6 及び親指油圧シリンダ 3 8 が互いに等圧で接続されていることに起因する。この結果、個々の指節が受ける抵抗が個々の指機構の閉じるパターンに影響を与えるだけでなく、個々の指機構 1 4、1 6、1 8、2 0 間で抵抗が異なることにより、あらゆる形状の物体を把持するときに、自然な動きで手を閉じることが可能となる。最初の指が（その全ての指節で）物体と接触すると動き及び油圧相互接続が停止する。これは、油圧が増加することなく、油圧流体により、全ての指機構の全ての指節が受ける抵抗が同じになるまで、他の指の指節の動きが継続されることを意味する。全ての指機構の全ての指節が受ける抵抗が同じになると、油圧は増加し

50

、手全体の把持力も増加する。

【 0 0 7 3 】

上述したように、指の動きは、本システムの油圧ポンプを駆動する可変速モータを制御する 1 または 2 つの E M G センサにより制御される。油圧回路及びその可変速モータとの相互作用の詳細は後述する。各指による把持に関しては、重要なのは、ユーザが、義手を開閉するタイミングを選択することができ、かつ各指の指節が上述したように適応的に把持できることである。そのため、ユーザは、所望の把持を実現するために指の動きを止めることができる。また、ユーザは、各指の動きに抵抗するために、義手を物体に対して配置するかまたは自分の他方の手を使用することができ、これにより、各指で必要とされる把持パターンを形成して義手を閉じることができる。従来のシステムの多くとは異なり、義手で所望の把持パターンを形成するために、E M G センサの一連の「クリック」を必要とする複雑なコードシステムを必要としない。その代わりに、あらゆる物体を適応的に把持することができ、また、必要に応じて、指節の動きに対して選択的に抵抗を加えることにより、ユーザは義手で所望の把持パターンを形成することができる。

10

【 0 0 7 4 】

各指の動きの速度及び方向は、電動モータの回転速度及び回転方向により制御される。加えられる圧力は、後述するように 2 つの油圧ポンプ、及び、低圧高容量形態と高圧低容量形態とを自動的に切り替える油圧回路によって制御される。電動モータの回転速度及び回転方向による指の制御は、単一方向に一定速度で回転する電動モータを使用して油圧流体の流れの速度及び方向を制御する「通常（従来）」の油圧系とは異なる。電動モータで油圧アクチュエータの速度及び方向の両方を制御することにより、必要とされるバルブの数を最小限に抑えることができる。これによって油圧システムをよりシンプルにすることができ、この結果、油圧回路を、「通常」の油圧系とは大幅に異なる方法で駆動することが可能となる。このタイプのシステムは、義手に適したシステムである、圧力及び油圧流体の量が比較的低い油圧システムにおいてのみ実現可能であり、油圧が使用される他の分野には適用できないであろう。

20

【 0 0 7 5 】

各指は、油圧系によりロバストに駆動され、かつばね復帰されるので、各指機構を損傷させるリスクを伴うことなく、各指をそれらのニュートラルな位置から変位させることができる。特に、各指はその指機構を損傷させるリスクを伴うことなく、油圧及びばねに抗して動くことにより、ロック及び故意または不慮の衝撃を吸収することができる。これは、指がロックしたときに壊れやすいリードスクリューやウォームギアなどを使用するいくつかの従来技術と比べると非常に有利である。

30

【 0 0 7 6 】

必要とされる強度及び軽さを提供するとともに、必要とされる複雑な形状を実現するために、本デバイスの製造には 3 D 印刷が用いられる。各指の上側指節、下側指節、及び指機構 1 4、1 6、1 8 のための外側ボディは、手の平ユニット 1 2 の構造端部プレートのように、チタンから 3 D 印刷される。手の平ユニット 1 2 の本体部分（詳細については後述する）は、この例では、プラスチックから 3 D 印刷される、しかし、手の平ユニット 1 2 の本体部分は、アルミニウムやチタンから 3 D 印刷した後に、重量を最大限に削減するべく、調節治具を用いて再加工してもよい（例えば、ハニカム型構造のような空隙を形成することにより）。様々なケーブルは、この例では、鉄鋼製である。

40

【 0 0 7 7 】

図 1 の義手は、上述した各指の指機構 1 4、1 6、1 8 の構造から得られる利益を提供するだけでなく、手の平ユニット 1 2 及びその内部部品の構造に関する重要かつ有利な特徴をさらに有する。図 5 - 9 は、これらの部品のさらなる詳細を示す（詳細については後述する）。図 1 0 は、手の平ユニット 1 2 の油圧回路図であり、高圧油圧ポンプ及び低圧油圧ポンプの構造と、（とりわけ、「フルイドハンド」型などの完全油圧式の従来のシステムと比べたときの）油圧回路の単純さを示している。図 1 1 - 1 6 は、本システムの様々な構成要素の詳細を示す。

50

【 0 0 7 8 】

図 5 に示すように、全ての油圧部品及び電動モータ 6 8 は、手の平ユニット 1 2 内に完全に内蔵されており、手の平ユニット本体部 7 0 内に収容されている（詳細については後述する）。他の部品を収容していない状態の手の平ユニット本体部 7 0 が図 2 5 に示されており、その手の平ユニット本体部 7 0 の切り取り内部図が図 2 6 に示されている。上述したように、手の平ユニット本体部 7 0 は、プラスチックから 3 D 印刷される。図 5 では、様々な接続がより詳細に分かるように、手の平ユニット 1 2 の構造端部プレート 6 6 の図示は省略している。また、同じ理由で、手の平ユニット本体部 7 0 は、透過的に示されている。

【 0 0 7 9 】

電動モータ 6 8 は、手の平ユニット 1 2 に沿って（すなわち、手首から指先に向かって）延在するモータ軸を有しており、このモータ軸は、油圧ポンプアセンブリ 7 2 を駆動するポンプ駆動シャフトのシャフト軸と平行に延在している。電動モータ 6 8 は、手の平ユニット 1 2 の手の平ユニット本体部 7 0 の外側に配置されたベルト 2 8 を介して、油圧ポンプアセンブリ 7 2 に接続されており、これにより、組み立て及びメンテナンスのためのアクセスが容易になる。電動モータ 6 8 及び油圧ポンプアセンブリ 7 2 は、手の平ユニット 1 2 における親指の反対側に配置されている。指ピストンコネクタ 3 2 及び親指ピストンコネクタ 4 0 は油圧シリンダ 3 6、3 8 から延出しており、手の平ユニット本体部 7 0 の端部から外側に向かって延びている。油圧シリンダ 3 6、3 8 は、手の平ユニット本体部 7 0 の端部から手の平ユニット本体部 7 0 の内側に向かって延びており、手の平ユニット 1 2 の長さに沿って、モータ軸と平行に延在している。また、図 5 には、2 つの電磁制御バルブ 9 0 の端部が示されている。これらの電磁制御バルブ 9 0 の詳細については、図 1 0、2 3、2 4 を参照して後述する。

【 0 0 8 0 】

手の平ユニット 1 2 の詳細、とりわけ、油圧ポンプアセンブリ 7 2 について、またさらに油圧接続通路及び親指油圧シリンダ 3 8 の一部については、図 6 及び 7 の断面図に見ることができる。油圧ポンプアセンブリ 7 2 は、低圧高容量油圧ポンプ 7 4 及び高圧低容量油圧ポンプ 7 6 の両方を含み、この 2 つの油圧ポンプ 7 4、7 6 は、電動モータ 6 8 で生成された駆動力を同一のシャフト 7 8 を介して受け取る。この 2 つの油圧ポンプ 7 4、7 6 と油圧回路との相互作用は、図 1 0 を参照して後述する。シャフト 7 8 は、高圧低容量油圧ポンプ 7 6 を貫通して低圧高容量油圧ポンプ 7 4 まで延在しており、油圧ポンプ 7 4、7 6 の両方を同時に駆動する。油圧ポンプ 7 4、7 6 は機能的には互いに異なるが、製造及び組み立てを容易にするために、共通のシャフトを有する単一のアセンブリとして構成されている。これにより、軽量化及び小型化を実現することができ、この結果、2 つの油圧ポンプ 7 4、7 6 を、手の平ユニット本体部 7 0 に設けられた単一のポンプチャンバ 8 0 内に設置することが可能となる。低圧高容量油圧ポンプ 7 4 における、高圧低容量油圧ポンプ 7 6 の反対側にはイコライザ 9 2 が配置されている。このイコライザ 9 2 は、2 つの油圧ポンプ 7 4、7 6 ととともに、手の平ユニット本体部 7 0 のポンプチャンバ 8 0 内に収容される。図 1 7 及び 1 8 は、イコライザ 9 2 の拡大図である。イコライザ 9 2 は、ばねにより駆動されて、低圧油圧ポンプ 7 4 及び高圧油圧ポンプ 7 6 の各吸込側に正の油圧を生成する。イコライザ 9 2 は、油圧ポンプ 7 4、7 6 におけるキャビテーションを防止する役割を果たす。また、イコライザ 9 2 は、本システムの容量を変化させる恐れがある各指の油圧シリンダ 3 6、3 8 用のシリンダロッドの動きを補償するために、ポンプチャンバ 8 0 の利用可能な容量を調節する役割を果たす。

【 0 0 8 1 】

図 2 5 及び 2 6 を再び参照して、手の平ユニット本体部 7 0 は、油圧ポンプ及びイコライザを収容するポンプチャンバ 8 0 に加えて、親指機構及び他の 2 つの指機構のための油圧シリンダ 3 6、3 8 を形成する 3 つの油圧チャンバ 3 6'、3 8' と、2 つの電磁制御バルブ 9 0 を受容するための 2 つの電磁バルブ開口部 8 2 と、圧力制御バルブ 8 6（図 5 では図示しない。詳細については、図 2 1 及び 2 2 を参照して後述する）を受容するため

10

20

30

40

50

の圧力バルブ開口部 8 4 と、電動モータ 6 8 を保持するためのモータチャンバ 8 8 とを含む。とりわけ、図 2 6 の部分切り取り図に、油圧回路が、手の平ユニット本体部 7 0 の一体部分としてどのように形成されているかの一例が示されている。様々な油圧チャンバ間の全ての必要とされる相互接続は、単一ユニット内のチャンバ間の通路として形成される。手の平ユニット本体部 7 0 を 3 D 印刷で作製することにより、過度の費用をかけずに、この複雑な形状を形成することができる。手の平ユニットでは全ての大きな力は軸方向に作用するので、比較的柔らかいプラスチック材料を使用することができ、また、様々な軸方向要素の間の部分は比較的薄く形成することができる。シリンダ内の油圧流体の圧力は半径方向の力を生成するが、これらの力は略対称的に作用するので、比較的脆弱なプラスチック材料でこれらの力に耐えるためには、円形状を用いることが効果的である。また、薄く形成された部分は、半径方向の力が存在しない場合でも屈曲に対して脆弱であり得るが、これは、本システムについての特別なリスクではない。また、上記の構成は、全ての油圧回路を単一のハウジング（手の平ユニット本体部）7 0 内に収容することができ、そのため完全な密封が容易であるという利益を提供する。したがって、本発明に係る手の平ユニット 1 2 は、油圧駆動を用いる従来の義手と比べて頑丈さが向上するとともに、油漏れのリスクを最小限に抑えることが可能となる。

10

【 0 0 8 2 】

2 つの油圧ポンプ 7 4、7 6 の吸込側及び加圧側の両方は、手の平ユニット 1 2 の内部に位置し、図 1 0 に示す油圧回路を形成する手の平ユニット本体部 7 0 を通じて、様々な流路に接続されている。したがって、油（または別の作動流体）は、手の平ユニット本体部 7 0 の外部を通ることなく、油圧ポンプ 7 4、7 6 から上記各バルブに送達される。油圧ポンプ 7 4、7 6 の吸込側及び加圧側は、Ｏリングシールを使用して、外部環境及び全ての油圧系から隔離されている。油圧ポンプ 7 4、7 6 は、このようにして外部環境から隔離されているので、油圧ポンププレート間での油圧シールは必要としない。これは、油漏れは内部だけで生じ、ある程度は無視できるからである。油圧ポンププレートシールの使用が不要となるので小型化することができ、これにより、油圧ポンプアセンブリ 7 2 のより迅速かつより安価な製造が可能となる。

20

【 0 0 8 3 】

同様に、他の油圧部品も、Ｏリングシールまたは同様のシールによって、外部環境から容易に隔離することができる。これにより、油圧システム全体が非常に頑丈になるとともに、油圧システムの組み立て及び維持が容易になる。油圧シリンダ 3 6、3 8 は、手の平ユニット本体部 7 0 の一部として形成されているので、可動部品とともに移動または回転することはない。したがって、油圧シリンダ 3 6、3 8 は、手の平ユニット本体部 7 0 内に設けられた固定流路から、油圧流体を受け取ることができる。各油圧部品は、メンテナンスや修理のために、個別に取り外したり交換したりすることができる。また、手の平ユニット本体部 7 0 により形成された、容易に隔離されたサブアセンブリが存在し、該サブアセンブリは、様々な油圧部品を収容し、任意選択で構造端部プレート 6 6 を含む。整形外科の作業場は、院内でメンテナンスすることを選択するか、または、指または手首コネクタを電動モータとともに取り外し、油圧サブアセンブリをメンテナンスまたは修理のために工場に送り返すことを選択することができる。油圧サブアセンブリは、図 8 に示されている。すでに説明した様々な部品だけでなく、油圧サブアセンブリはまた、緊急バルブを含むことができる。緊急バルブは、図 9 に詳細に示されており、また、図 1 5 及び 1 6 に単独で示されている。

30

40

【 0 0 8 4 】

緊急バルブ 9 4 は、ユーザによって制御される機械式バルブであり、何らかの機械的、油圧的、または電氣的故障が発生した場合に、本システム内の油圧を開放するために開かれる。この緊急バルブ 9 4 は、電磁制御バルブ 9 0 をバイパスして、親指シリンダ 3 6 及び指シリンダ 3 8 の加圧側をイコライザ 9 2 に直接的に接続する。戻しばねが存在するため、本発明に係る義手は、緊急バルブが開かれて油圧流体が本システムから放出されたときに、手が開いた形態に自動的に変化することができる。図 1 5 及び 1 6 は、緊急バルブ

50

の詳細を示す。設置及びシールリング 100 は、手の平ユニット本体部 70 内の所定の位置に固定され、緊急バルブのメインシャフトは、ユーザが所望したときに本システムから圧力を逃がすために、これらのリング 100 に対して摺動することができる。

【0085】

図 10 は、本システムの油圧回路図である。基本的な接続は、上記の説明から明らかであろう。電動モータ 68 は、高容量の低圧油圧ポンプ 74 及び低容量の高圧油圧ポンプ 76 に動力を提供する。これらの油圧ポンプ 74、76 は、人差し指シリンダ 36、中指シリンダ 36、及び親指シリンダ 38 に油圧流体を供給する。人差し指シリンダ 36 及び中指シリンダ 36 は各々、ピストン 96 及びピストンコネクタ 32 を有する。ピストンコネクタ 32 は、図面を参照して上述したように、指機構のためのメインケーブル 34 に結合されている。親指シリンダ 38 は、ピストン 98 及びピストンコネクタ 40 を有する。このピストンコネクタ 40 も、図面を参照して上述したように、指機構のためのメインケーブル 34 に結合されている。図 11 - 14 は、ピストン 98、98 及びピストンコネクタ 32、40 の拡大断面図及び拡大斜視図である。親指のピストン 98 (及びシリンダ 38) の直径は、人差し指・中指のピストン 96 (及びシリンダ 36) の直径よりも若干大きいことに留意されたい。これは、親指と人差し指・中指の 2 本の指との指先が、挟み把持の形に近づいたときに、親指と人差し指・中指との間の力のバランスを取るためである。シリンダ 36、38 は、油圧が開放されたときに、すなわち、シリンダの吸込側及び加圧側間でのピストンに加わる油圧差がなくなったときに、本システムが手を開いたときの静止形態 (at rest configuration) に戻るように、ばね復帰する。イコライザ 92 は、上述した機能を有し、油圧ポンプ 74、76 の吸込側に接続されている。

【0086】

油圧ポンプアセンブリ 72 の構造が、図 19 及び 20 に詳細に示されている。この例では、高圧油圧ポンプ 76 は、ストレートギアを使用したよりギアポンプであり、低圧油圧ポンプ 74 は、ヘリカルギアを使用したギアポンプである。ヘリカルギアは、低圧油圧ポンプ 74 にとって問題となるおそれがある、油圧ポンプから出る音を吸音する。まず、高圧油圧ポンプ 76 を組み立て、次に、高圧油圧ポンプ 76 に低圧油圧ポンプ 74 の軸を連結し、その後、低圧油圧ポンプ 74 を組み立てる。低圧油圧ポンプ 74 の軸は高圧油圧ポンプ 76 の軸に軸方向遊びを有して連結され、これにより、両油圧ポンプに駆動力を伝達する単一のシャフト (駆動シャフトアセンブリ) 78 が形成される。軸方向遊びは、各油圧ポンプにおける各シャフト部分のギアを軸方向において互いに独立的に保ち、使用中に油圧ポンプアセンブリの高圧部分及び低圧部分が相互作用しないようにするために設けられる。

【0087】

全ての油圧ポンププレートは、大きめの寸法 (サイズ) で、例えば、最終的な寸法よりも 1 mm 大きい寸法で製造される。油圧ポンププレートは、油圧ポンプアセンブリ 72 を形成するために、軸ボルト 102 で互いに連結される。ギア及びプレート間の公差を最小限に抑えるために、軸ボルト 102 を固く締め、ギア及びプレートを回転させる。これにより、ギア及びプレート間の遊びを最小限に抑え、内部での油漏れを最小限に抑えることができる。また、これにより、油圧ポンプがシールされていないという事実にも関わらず、油漏れがほとんど生じないことを可能にする。組み立ての完了後、油圧ポンプアセンブリ 72 は、必要とされる最終サイズに加工され、その後、必要とされる O リングシールが取り付けられる。この製造方法により、油圧ポンプアセンブリ 72 を常に、手の平ユニット 12 内のチャンバ 80 に適合する寸法を有するようにすることができる。これにより、安価で迅速な、かつ油圧ポンプ及び外部環境間の高品質のシールを保証する油圧ポンプの製造方法が提供される。

【0088】

図 21 及び 22 は、後述する高圧動作と低圧動作とを切り替えるのに使用される圧力制御バルブ 86 を示す。一般的に、切り替え圧力は、10 ~ 15 bar (バール)、すなわち 1000 ~ 1500 kPa (キロパスカル) に設定される。切り替え圧力は、スクリュ

ー 104 によって調節することができる。予め設定された圧力に達すると、圧力制御バルブ 86 の位置が切り替わり、低圧油圧ポンプ 74 からの油圧流体は方向が変更される（詳細については後述する）。

【0089】

本システムの他の 2 つのバルブは、図 23 及び 24 に示す電磁制御バルブ 90 である。これらのバルブ 90 は、一方向バルブとして動作し、電磁石によって開位置に保持することができる。第 1 の電磁制御バルブ 90 は、油圧ポンプ 74、76 と、人差し指・中指または親指の駆動シリンダ 36、38 との間に接続され、人差し指・中指または親指が所望の位置に位置しているときに、油圧流体が各指の駆動シリンダ 36、38 から流出するのを妨げる機能を有する。したがって、この電磁制御バルブは、指ロックバルブ 90 としての役割を果たし、各指が所望の位置から移動するリスクを伴わずに、電動モータ 68 を停止させることを可能にする。一方向油圧バルブをこのように使用することにより、電池の寿命を節約することができ、また、所望の指位置または物体把持形態を達成したときに義手からノイズが生じることがない。

【0090】

第 2 の電磁制御バルブ 90 は、油圧系の圧力が予め設定された閾値を超えて増加し、圧力制御バルブ 86 が開いたときに、低圧油圧ポンプ 74 及び高圧油圧ポンプ 76 間の流路を閉じる役割を果たす。したがって、この電磁制御バルブ 90 は、圧力保持バルブ 90 としての役割を果たす。図 10 を参照すれば、低圧動作中は、両油圧ポンプ 74、76 がシリンダ 36、38 に接続され、これにより、例えば各指が物体の把持を開始して抵抗が生じるまで、低圧高容量油圧ポンプ 74 によってピストン 96、98 の素早い動作が実施されることが理解できるであろう。上述したように、適応的把持を提供するための各油圧シリンダの相互接続及び各指の構造は、指節及び指がそれらの各部分の動きに対する抵抗が生じるまで適応的に動くことを意味する。各部分の動きに対する抵抗が生じた場合には、油圧系の圧力が増加し、これにより、手の把持力が増加する。予め定められた閾値に達すると、圧力制御バルブ 86 が開き、第 2 の電磁制御バルブ 90 が閉じる。このとき、高圧油圧ポンプ 76 が引き継ぎ、把持力をさらに増加させるために、油圧系の圧力は上記の閾値を超えて、例えば、50 bar すなわち 1500 kPa まで増加する。低圧動作及び高圧動作のこの組み合わせは、最初に指を低把持力で素早く動作させ、その後高圧油圧ポンプ 76 を使用して指の把持力を大幅に増加させることを可能にする。圧力制御バルブ 86 が開かれた後も、低圧油圧ポンプ 74 は継続的に動作し、圧力制御バルブ 86 を通じて油圧流体を単純に再循環させて、低圧油圧ポンプ 74 の吸込側に戻す。

【0091】

低圧油圧ポンプ 74 からの油圧流体のこの再循環は、図 10 を参照することにより容易に理解できるであろう。圧力制御バルブ 86 が開かれ、第 2 の電磁制御バルブ 90 が閉じると、低圧油圧ポンプ 74 は、図 10 に示すシステムの下側ループにおいて、圧力を発生させることなく油圧流体を再循環させる。このとき、高圧油圧ポンプ 76 は、少量・高圧の油圧流体をシリンダ 38、36 に供給し、これにより、把持力を増加させることができる。

【0092】

また、図 10 に示すように、緊急バルブ 94 は、油圧ポンプ 74、76 の吸込側と、シリンダ 36、38 との間に配置されている。これにより、何らかの油圧的故障、電気的故障、または他のシステム故障が生じた場合に、シリンダ 36、38 から圧力を逃がすことが可能となる。

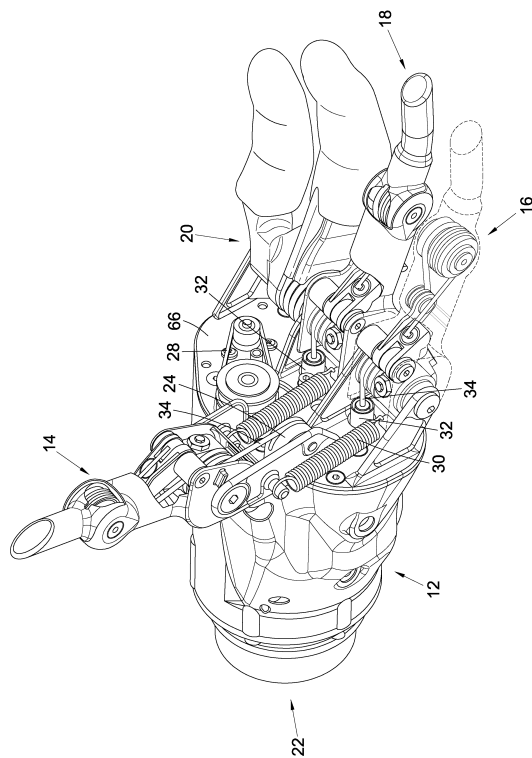
【0093】

上述したように、電動モータ 68 は、EMG センサからの信号にしたがって回転速度を変えて駆動することができる。指を開くためには、電動モータ 68 を逆回転させる。したがって、ユーザは、手を開くときも閉じるときも、指の動きの速度を容易に制御することができる。また、指を開く動作は、シリンダ 36、38 内に設けられたばね、及び、各指と手の平ユニット 12 との間に配置された戻しばね 30、42 によって自然な動きで行わ

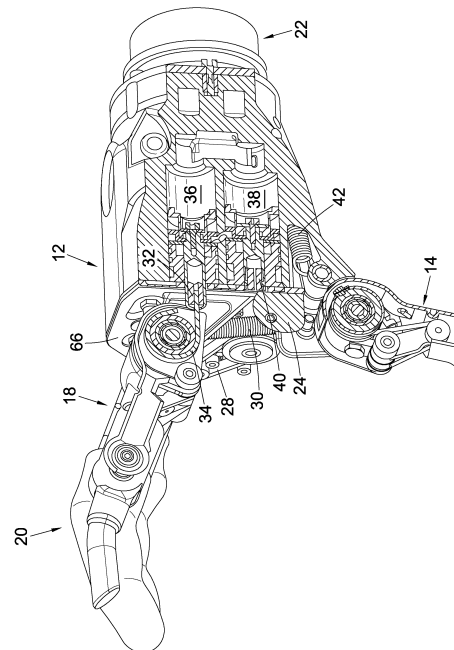
れる。指ロックバルブの役割を果たす電磁制御バルブ 90 の駆動により、指は所定の位置でロックされるので、（上述したようにユーザにより制御された開動作によって）指を開くためには、まず、指のロックを解除し、その後に、指ロックバルブを開状態に保つための小型マイクロプロセッサのルーチンを行う必要がある。まず、高圧油圧ポンプを順方向に駆動して指ロックバルブ 90 を開き、開いた指ロックバルブ 90 を電磁石によって開状態に維持する。次に、油圧ポンプを停止させ、その後、高圧動作時に圧力保持バルブとして機能する第 2 の電磁制御バルブ 90 を開くために、低圧で再び加圧する。開いた第 2 の電磁制御バルブ 90 は、電磁石によって開状態に維持する。両方の電磁制御バルブ 90 を開いた状態で、手を開くべく、逆方向に回転させた電動モータにより油圧ポンプを制御する。このロック解除動作は、1 秒足らずで実施することができ、ユーザが手を開こうとしていることを示す E M G センサからの信号に応答して、マイクロプロセッサにより制御することができる。基本的に、このプロセスは、ユーザからは見えない。

10

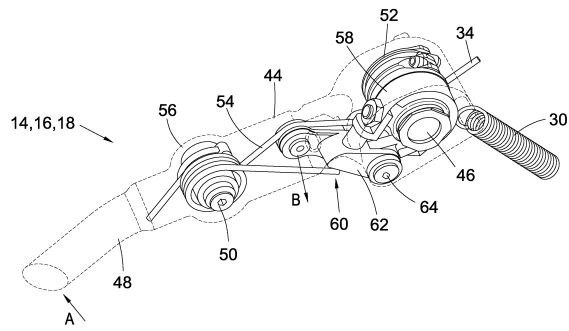
【図 1】



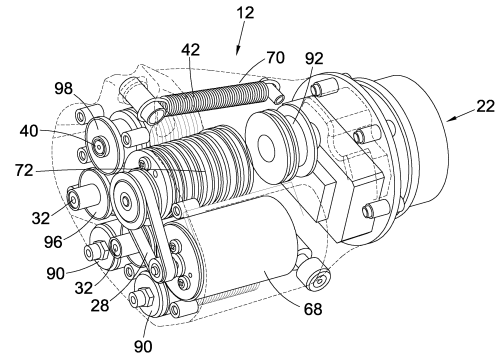
【図 2】



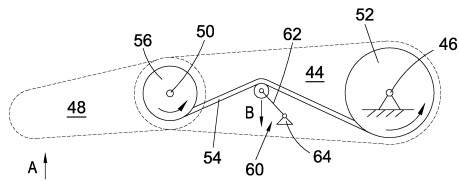
【 図 3 】



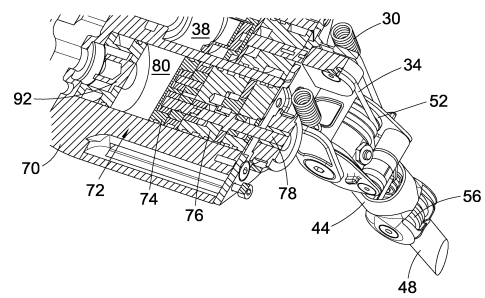
【 図 5 】



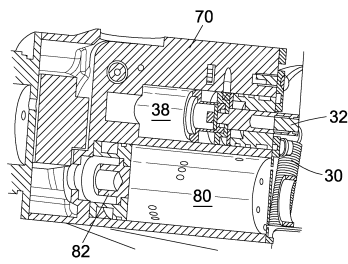
【 図 4 】



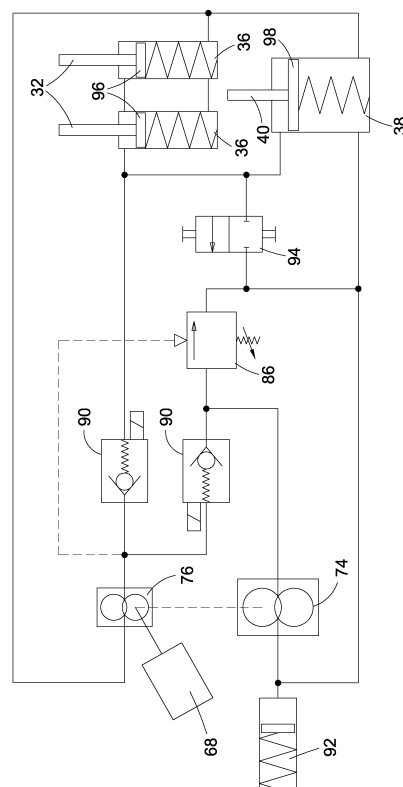
【 図 6 】



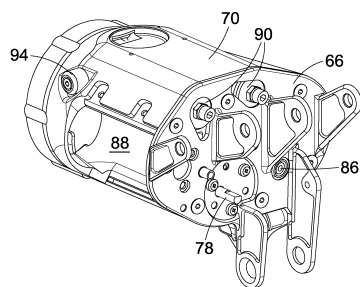
【 図 7 】



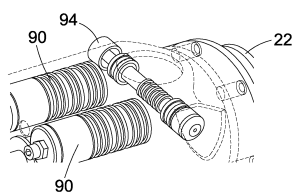
【 図 1 0 】



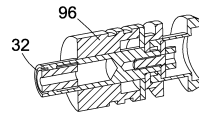
【 図 8 】



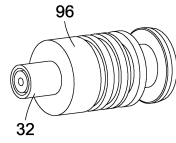
【 図 9 】



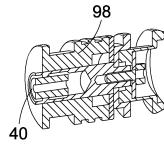
【図 1 1】



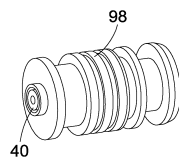
【図 1 2】



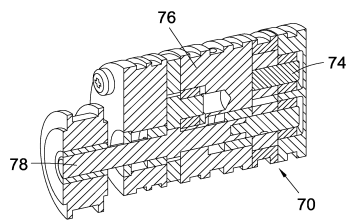
【図 1 3】



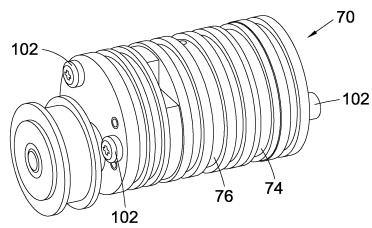
【図 1 4】



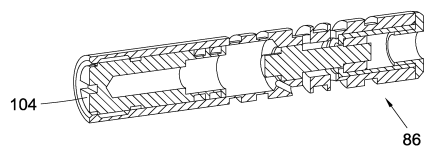
【図 1 9】



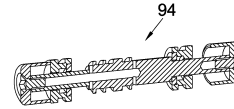
【図 2 0】



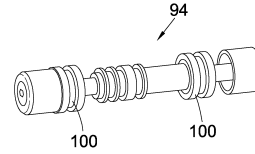
【図 2 1】



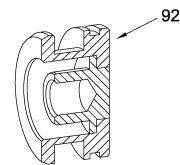
【図 1 5】



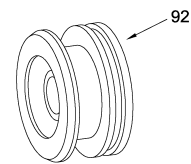
【図 1 6】



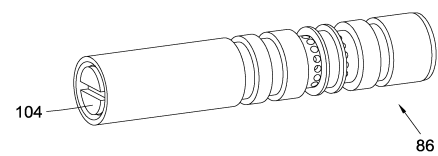
【図 1 7】



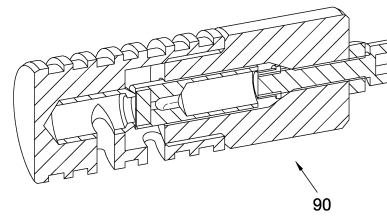
【図 1 8】



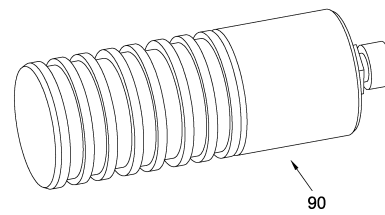
【図 2 2】



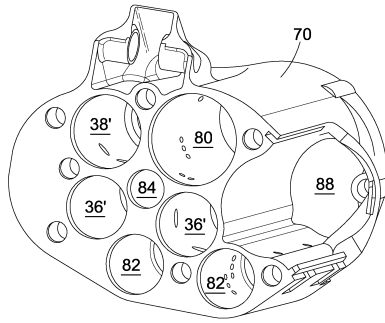
【図 2 3】



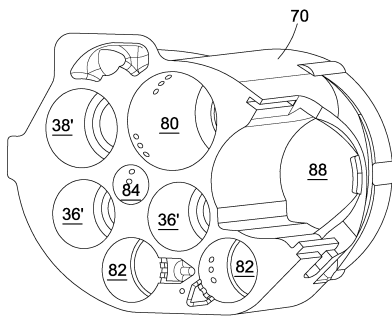
【図 2 4】



【図 25】



【図 26】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2009-236074(JP,A)

米国特許出願公開第2008/0247844(US,A1)

国際公開第2011/072750(WO,A1)

米国特許出願公開第2013/0331949(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

F04B 23/12

F04C 11/00