

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5420405号
(P5420405)

(45) 発行日 平成26年2月19日(2014.2.19)

(24) 登録日 平成25年11月29日(2013.11.29)

(51) Int.Cl.

B25J 3/00 (2006.01)

F 1

B25J 3/00

Z

請求項の数 24 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2009-520827 (P2009-520827)
 (86) (22) 出願日 平成19年7月17日 (2007.7.17)
 (65) 公表番号 特表2009-543706 (P2009-543706A)
 (43) 公表日 平成21年12月10日 (2009.12.10)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2007/016336
 (87) 國際公開番号 WO2008/094191
 (87) 國際公開日 平成20年8月7日 (2008.8.7)
 審査請求日 平成22年7月15日 (2010.7.15)
 (31) 優先権主張番号 60/831,476
 (32) 優先日 平成18年7月17日 (2006.7.17)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 11/879,448
 (32) 優先日 平成19年7月16日 (2007.7.16)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 503455363
 レイセオン カンパニー
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 O
 2451 ウォルサム ウィンター スト
 リート 870
 (74) 代理人 100140109
 弁理士 小野 新次郎
 (74) 代理人 100075270
 弁理士 小林 泰
 (74) 代理人 100080137
 弁理士 千葉 昭男
 (74) 代理人 100096013
 弁理士 富田 博行
 (74) 代理人 100101373
 弁理士 竹内 茂雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ロボット骨組、外骨格構造体、装着式のロボットシステム、人体と協調して装着式のロボット骨組を同時に動かす方法、装着式の人間の外骨格を人体の動きと協調して動かせるようにする方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも人体の一部分に近似し、少なくとも人体の一部分に連結可能である形状にされ、前記人体による動きを模倣するように構成されたロボット骨組(100)であって、前記ロボット骨組はロボット変位装置を備え、前記ロボット変位装置は、

力センサと前記人体の四肢との間の調整可能な制御する界接面の力の状態の関係を感じし、前記人体の四肢の適切な形状に沿って前記ロボット骨組に取り付けられた複数の力センサ(110、120、130、140)であって、力センサの少なくとも1つが足と強力に接触している関係で接触可能なセンサであり、また力の信号を出力する、複数の力センサ(110、120、130、140)と、

前記センサから前記力の信号を受信し、前記ロボット骨組の関節位置を検出し、前記ロボット骨組(100)の位置に対する重力の力および前記ロボット骨組(100)の位置に対する重力の方向を計算し、前記人体に掛かるロボット骨組(100)の力およびロボット骨組(100)により人体に掛かる計算された力に対抗するのに必要な関節の回転力を計算し、ロボット骨組(100)と人体の四肢との間の制御する界接面の力の状態の関係を維持し、作動信号を発生して送信するように構成される、前記ロボット骨組に取り付けられた中央制御ユニット(160)と、

前記中央制御ユニット(160)からの前記送信された作動信号を継続的に受信し、前記制御する力の状態の関係を維持するために、前記ロボット骨組(100)により前記人体に掛かる力に対抗するように前記ロボット骨組(100)の関節構成要素に掛かる計算

10

20

された関節の回転力を作用させるように構成される、前記ロボット骨組(100)に取り付けられた駆動システム(150)とを備え、

前記中央制御ユニット(160)は、力および可動性を最適化するために、動作中に前記ロボット変位装置の荷重支持部分と非荷重支持部分との間の滑り利得方式を、以下の式1

$$K_j(s_i) = K_{LOW} + (K_{HIGH} - K_{LOW}) f(s_i) \quad (\text{式1})$$

式1中、j=FまたはSであり、力/モーメント(F)利得、「向きK」(S)、およびi=RまたはL(右または左の脚)を示し、式中、K_{HIGH}、K_{LOW}は利得の上下の限界値である。

を使用することにより、実施するように構成される、ロボット骨組(100)。

10

【請求項2】

前記複数のセンサの少なくとも1つが、前記人体の四肢上の接触位置に隣接して非接触の関係で配置される、請求項1に記載のロボット骨組。

【請求項3】

前記複数の力センサの少なくとも1つが、前記人体の足の底部分と強力に接触している関係で配設されている、請求項1に記載のロボット骨組。

【請求項4】

前記複数のセンサが、前記ロボット骨組上の股関節部および肩の位置の近傍に配置された力センサをさらに含み、前記複数の力センサが、複数軸における前記人体の動きの複数の方向を同時に感知可能である、請求項1に記載のロボット骨組。

20

【請求項5】

前記駆動システムが、複数方向および複数軸において前記ロボット骨組を変位させるように同時作動が可能である、前記ロボット骨組上の複数の位置に配置された複数の駆動機構をさらに含む、請求項1に記載のロボット骨組。

【請求項6】

前記力センサが、人間以外の接触によって起動可能である、請求項1に記載のロボット骨組。

【請求項7】

前記駆動システム(150)が、
ピストン、チャンバに流体を供給するように前記チャンバに連結された少なくとも1つの流体口、および通気口を有するチャンバであって、前記ピストンおよび前記少なくとも1つの流体口が、前記チャンバに可変圧力を与えるように構成され、前記ピストンおよび前記流体が、前記チャンバの燃焼部における燃焼からエネルギーを与るために少なくとも部分的に前記燃焼を容易にするように構成されたチャンバと、

30

前記チャンバ内の前記燃焼を制御する制御器と、

前記チャンバと流体連通した高速応答構成要素であって、前記チャンバの前記燃焼部に隣接して配置され、前記チャンバ内における前記燃焼から前記エネルギーの一部を引き出すように構成された高速応答構成要素と、を備える内部燃焼(IC)機関によって動力を供給される、請求項1に記載のロボット骨組。

【請求項8】

40

動力源からの動力をすべての前記力センサよりも少ない群へと導くように構成される制御システムをさらに備えた、請求項1に記載のロボット骨組。

【請求項9】

前記中央制御ユニット(160)は、通信装置からのリモート信号を受信するように構成される、請求項1に記載のロボット骨組。

【請求項10】

人体への取付け用の可動式の外骨格構造体であって、

前記人体に対して応答して動くように構成された外骨格構造体と、

複数のセンサと前記人体との間の調整可能な制御する界面の力の状態を検出するように前記外骨格構造体に取り付けられた感知手段であって、前記センサの少なくとも1つが

50

人体の四股に強力に接触している関係にある、感知手段と、

前記外骨格構造体の関節位置を検出し、前記外骨格構造体の位置での重力の方向および力を計算し、前記外骨格構造体と前記人体との間の制御する界接面の力の状態の関係を維持するために、前記人体に掛かる前記外骨格構造体の力を計算し且つ前記外骨格構造体によって前記人体に作用する前記計算された力に対抗するのに必要な関節の回転力を計算するように前記外骨格構造体に取り付けられた計算手段と、

重力の方向および力に対する前記制御する界接面の力の状態を持続することに基づいて、前記外骨格構造体により前記人体に掛かる力に対抗するために、前記外骨格構造体の関節構成要素に掛かる前記計算された関節の回転力を掛けることにより、前記人体の空間的および時間的な動きを模倣するように構成された、前記外骨格構造体に取り付けられた変位システムと、を備え、

前記計算手段は、力および可動性を最適化するために、動作中に前記可動式の外骨格構造体の荷重支持部分と非荷重支持部分との間の滑り利得方式を、以下の式2

$$K_j(s_i) = K_{LOW} + (K_{HIGH} - K_{LOW}) f(s_i) \quad (\text{式2})$$

式2中、 $j = F$ または S であり、力／モーメント(F)利得、「向き K 」(S)、および $i = R$ または L (右または左の脚)を示し、式中、 K_{HIGH} 、 K_{LOW} は利得の上下の限界値である、

を使用することにより、実施するように構成される、外骨格構造体。

【請求項11】

人体の動きを模倣するために実時間で変位させられるように構成された装着式のロボットシステムであって、

少なくとも前記人体の一部分に近似し、少なくとも人体の一部分に連結可能である形状にされたロボット骨組(100)と、

前記人体の四肢と力センサとの間の調整可能な制御する界接面の力の状態の関係の変化を感じるように構成される、前記ロボット骨組に取り付けられた複数の線形および回転の力センサであって、力センサの少なくとも1つが人体と強力に接触している関係である、力センサと、

前記ロボット骨組(100)の関節位置を検出し、前記ロボット骨組(100)の関節位置に対する重力の方向および力を計算し、前記人体に掛かる前記ロボット骨組(100)の力を計算しおよび前記ロボット骨組(100)により前記人体に掛かる前記計算された力に対抗するのに必要な関節の回転力を計算し、前記ロボット骨組(100)と前記人体の四股との間の前記調整可能な制御する界接面の力の状態の関係を維持し、作動信号を送信するように構成される、前記ロボット骨組(100)に取り付けられた中央制御ユニット(160)と、

前記中央制御ユニット(160)から前記作動信号を受信し、駆動機構を起動するように構成される、前記ロボット骨組(100)に取り付けられた作動装置と、

前記調整可能な制御する界接面の力の状態の関係が回復されるまで、前記人体に対して前記ロボット骨組(100)の一部分を変位し、前記ロボット骨組(100)により前記人体に掛かる力に対抗するように前記ロボット骨組の関節構成要素に前記計算された関節の回転力を掛けるように構成される、前記作動装置に連結された駆動機構と、を備え、

前記中央制御ユニットは、力および可動性を最適化するために、動作中に前記装着式のロボットシステムの荷重支持部分と非荷重支持部分との間の滑り利得方式を、以下の式3

$$K_j(s_i) = K_{LOW} + (K_{HIGH} - K_{LOW}) f(s_i) \quad (\text{式3})$$

式3中、 $j = F$ または S であり、力／モーメント(F)利得、「向き K 」(S)、および $i = R$ または L (右または左の脚)を示し、式中、 K_{HIGH} 、 K_{LOW} は利得の上下の限界値である、

を使用することにより、実施するように構成される、装着式のロボットシステム。

【請求項12】

人体(52)と協調して装着式のロボット骨組(100)を同時に動かす方法であって、

10

20

30

40

50

少なくとも前記人体の四肢の近くに配置された前記ロボット骨組上の複数の力センサと前記人体の四肢の近くの接触位置との間の制御する界接面の力の関係を検出するステップであり、少なくとも1つの力センサが四股と強力に接触している関係である、前記検出ステップと、

前記ロボット骨組の関節位置を検出するステップと、

前記装着式のロボット骨組(100)の位置に対する重力の方向を検出するステップと、

前記力センサに対して前記人体(52)の一部分を変位させるステップと、

前記界接面の力の関係の状態における変化を検出するステップと、

前記制御する界接面の力の関係の状態における変化に応答して、前記ロボット骨組により前記人体に掛かる力に対抗する関節の回転力の信号を発生するステップと、

前記装着式のロボット骨組(100)に連結された作動装置システムに前記関節の回転力の信号を送信するステップと、

前記制御する界接面の力の関係が回復されるまで、前記ロボット骨組により人体に掛かる力に対抗するように前記関節の回転力の信号に応答して前記ロボット骨組(100)に連結された変位装置を作動させるステップとを含み、

前記方法が更に、力および可動性を最適化するために、前記装着式のロボットシステム骨組の荷重支持部分と非荷重支持部分との間の滑り利得方式を、以下の式4

$$K_j(s_i) = K_{LOW} + (K_{HIGH} - K_{LOW}) f(s_i) \quad (\text{式4})$$

式4中、 $j = F$ または S であり、力/モーメント(F)利得、「向き K 」(S)、および $i = R$ または L (右または左の脚)を示し、式中、 K_{HIGH} 、 K_{LOW} は利得の上下の限界値である、

を使用することにより、実施するステップを有する、

方法。

【請求項13】

前記力センサが、前記人体(52)の肩および股関節部の近くに配置される、請求項12に記載の方法。

【請求項14】

前記力の関係が、調整可能な近接センサと前記人体(52)の接触位置との間の距離によって定義される、請求項12に記載の方法。

【請求項15】

前記センサが、複数軸における複数方向の動きを感知するように同時作動が可能である、請求項12に記載の方法。

【請求項16】

前記変位装置が、複数方向および複数軸において前記ロボット骨組(100)を変位させるように同時に作動するように構成された、請求項12に記載の方法。

【請求項17】

前記変位装置が、高速応答力変換装置によって動力を供給される、請求項12に記載の方法。

【請求項18】

前記制御する力の状態の関係における変化に対する前記力センサの感度が調整可能である、請求項12に記載の方法。

【請求項19】

装着式の人間の外骨格を人体の動きと協調して動かせるようにする方法であって、人間外骨格を装着するステップと、

前記外骨格に連結された複数の力センサと前記人体の四肢の近くの複数の接触位置との間ににおける力の状態を感知するステップであって、力センサの少なくとも1つが四股と強力に接触している関係である、前記感知ステップと、

前記外骨格の関節位置を検出するステップと、

前記外骨格の一部分に対する重力の方向を計算するステップと、

10

20

30

40

50

外骨格の人間／力の応答値を手動で調整するステップと、
前記力センサに対して前記人体の一部分を変位させるステップと、
前記力の状態における変化で生じる、前記外骨格により前記人体に掛かる力を感知する
ステップと、

前記外骨格の動かない荷重支持部分をロックするステップと、
前記外骨格の動く非荷重支持部分をアンロックするステップと、
前記外骨格により前記人体に掛かる力に対抗し、重力を含む前記力の状態を回復するの
に必要とされる、前記外骨格のアンロックされた非荷重支持部分の関節の回転力を計算す
るステップと、

前記人体に掛かる前記外骨格の力を確実にゼロにするのに必要とされる、前記外骨格の
ロックされた荷重支持部分の関節の回転力を計算するステップと、 10

少なくとも前記計算された関節の回転力からなる信号を発生するステップと、

前記外骨格に連結された作動装置システムに前記信号を送信するステップと、

前記外骨格の前記アンロックされた非荷重支持部分を前記計算された関節の回転力で変
位させるように、前記信号に応答して、前記外骨格に連結された変位装置を作動させるス
テップと、

前記外骨格の前記ロックされた荷重支持部分において前記計算された関節の回転力を維
持するように、前記信号に応答して、前記外骨格に連結された前記変位装置を作動させる
ステップと、

前記人体の動きをまねるように上記のステップを繰り返すステップと
を含む方法。 20

【請求項 2 0】

前記中央制御ユニット(160)が前記ロボット骨組の速度を検出する、請求項1に記載のロボット骨組(100)。

【請求項 2 1】

前記計算手段が、前記外骨格構造体の速度を検出する、請求項10に記載の人体への取
付け用の可動式の外骨格構造体。

【請求項 2 2】

前記中央制御ユニット(160)が前記ロボット骨組の速度を検出する、請求項11に記載の装着式のロボットシステム。 30

【請求項 2 3】

前記ロボット骨組の速度を検出するステップを更に備える、請求項12に記載の装着式
のロボット骨組を同時に動かす方法。

【請求項 2 4】

前記外骨格の速度を検出するステップを更に備える、請求項19に記載の装着式の人間
の外骨格を人体の動きと協調して動かせるようにする方法。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

(関連出願)

本願は、その全体がすべての目的について本明細書に援用される、2006年7月17
日出願の米国仮特許出願第60/831,476号、および2007年7月16日出願の
通し番号不明の米国非仮特許出願に対する優先権を主張する。 40

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0002】

人体の形状に近似し、操作者の所定の軌跡の動きに依存することなく、人間の動きを反
映させて、外骨格の骨組の複数の肢部を、人間の操作者による直接的な接触によって、同
時におよびリアルタイムで変位させることができ、装着式の外骨格ロボット変位シ
ステムを開発することが有利であることが認識されている。 50

【0003】

本発明は、少なくとも人体の一部分に近似し、少なくとも人体の一部分に連結可能である形状にされ、人体による動きを模倣するように構成されたロボット骨組に使用されるロボット変位装置を提供する。前記ロボット骨組は、本明細書ではまた、外骨格と称される。この動きを達成するために、装置は、ロボット骨組の骨組の手および足の近くに取り付けられた複数の線形および回転の力センサを用いる。このセンサは、接触関係ならびに変位された非接触関係を含む、センサと人間の操作者の四肢との間ににおける、基準線を制御する界面の力の状態の関係を検出する。次にセンサは、ロボット骨組に組み込まれた計算システムへと力の信号を出力する。センサから出力された力の信号、ならびにロボット骨組に対する重力の力および方向に基づいて、計算システムは、制御する力の状態の関係を維持するのに必要である線形および回転の力を計算する。次に、このシステムは、作動信号を発生して、ロボット骨組に取り付けられた駆動システムに送信する。次に、駆動システムが、制御する力の状態の関係を維持するために、ロボット骨組の一部分を変位させる。代替として、変位は望まれないが、ロボット骨組への荷重が変化した場合、駆動システムは、制御する力の状態の関係を維持するのに必要であるように、ロボット骨組への線形および回転の力を増加させる。

【0004】

本発明の追加の特徴および利点は、発明の特徴を例によって共に示す添付の図面とともに、以下の詳細な説明から明らかとなるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0005】

【図1A】以下の図に表される断面を示した、ロボット骨組、中央制御ユニット、力センサ、および駆動システムの一実施形態の前面図の上部分である。

【図1B】以下の図に表される断面を示した、ロボット骨組、中央制御ユニット、力センサ、および駆動システムの一実施形態の前面図の下部分である。

【図2A】図1Aに示すロボット骨組の側面図である。

【図2B】図1Bに示すロボット骨組の側面図である。

【図3】ロボット骨組の足部分および関連する力センサの一実施形態を示す、図1BのA-A断面を示す図である。

【図4】ロボット骨組の足部分の一実施形態の斜視図である。

【図5】ロボット骨組の足部分の一実施形態の分解斜視図である。

【図6】ロボット骨組の股関節部分および関連する力センサの断面の一実施形態を示す、図1BのB-B断面の図である。

【図7】ロボット骨組の肩部分および関連する力センサの断面の一実施形態を示す、図1AのD-D断面の図である。

【図8】ロボット骨組の手部分および関連する力センサの断面の一実施形態を示す、図1AのC-C断面の図である。

【図9】外骨格制御システムの一実施形態を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0006】

ここで、図面に示される例示的な実施形態が参照され、本明細書においては特定の用語は同じものを説明するために用いられる。いずれにせよ、それによる本発明の範囲の限定は全く意図されないことが理解されよう。当業者または本開示を入手した者が思いつくであろう、本明細書に示される本発明の特徴の変更例およびさらなる修正例、ならびに本明細書に示される本発明の原理の追加の用途は、本発明の範囲内にあると考えられるべきである。

【0007】

本発明は、一般に、装着式のロボット変位システムに関する。より詳細には、本発明は、それを用いる使用者によって掛けられる力に比例して機械的に変位するロボット骨組および作動装置システムに関する。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 8 】

人間およびロボット機械を1つのシステムに一体化することは、生医学、工業、軍事、および航空宇宙の用途に使用可能である援助技術の新世代を創造する無限の機会を与える。人間の構成要素は、進んだ意思決定および感知の機構を与える、その自然であり高度に発達した制御アルゴリズムを付与し、一方で、ロボットの構成要素は、力、正確さ、および速度のような技術的な利点を提供する。

【 0 0 0 9 】

人間の操作者以外の動力源によって駆動される外骨格は、人間の筋力を増幅する一方で、操作者の目的についての人間的制御を維持する、ある種のロボットマニュピュレータである。外骨格の関節システムは、人体のシステムに近似し、あるタイプの人間／外骨格の界接面を介して、人間の操作者の力の振幅および方向の両方に理想的に応答すべきである。10

【 0 0 1 0 】

動力付きの外骨格を製作する実際的な努力は1960年代まで遡るが、構成の研究は、明らかにそのかなり前に始まっていた。以前のプロジェクトは、結果として、油圧技術および電気によって動力を供給される自立式の外骨格の構成となり、不恰好で珍妙な装置として復活した。自動車と同じくらい重いロボットは、おそらく、人が冷蔵庫をまるでそれがジャガイモの袋であるように持ち上げることを可能にしたであろう。しかしながら、複数の肢部を同時に操作する試みは、狂暴で制御不能な動きにつながりかねなかった。それ以来、大部分の開発は、完全なシステムよりもむしろ、外骨格用の構成要素に焦点が置かれてきた。20

【 0 0 1 1 】

ロボットの外骨格の研究努力の一部分は、筋電図計の信号をシステムへの一次指令信号として用いる、神経筋レベルにおけるバイオポート(bioport)を介する人間／外骨格の界接面を開発することに焦点が置かれてきた。このシステムは、脳から筋肉へと送信される信号を監視するために、脚部の皮膚に取り付けられた生体電気センサを使用する。人が立とうまたは歩こうとするとき、脳から筋肉への神経信号が、皮膚の表面に検出可能な電流を発生する。この電流がセンサによって拾われ、神経信号を外骨格の股関節部および膝のところの電気モータを制御する信号に変換するコンピュータへと送られる。しかしながら、人間の操作者が発汗したり、走ったり、跳んだり、および／または横たわったりしている極端な条件の下で作動するとき、生体電気センサの精度は、かなり減少することがある。30

【 0 0 1 2 】

さらなる研究努力は、人間／外骨格の界接面における人間の操作者による直接的な接触の概念を使用する外骨格の制御に焦点が置かれた。この概念の実施を試みる多くの方式は、動的な運動方程式を導き、解くことに依存する軌跡追跡法を使用していた。この方程式の解は、次に、人間の操作者の動きを反映させるのに必要とされる外骨格の所望の軌跡を決定するために使用される。適応性のある要素をしばしば用いる、高利得の位置制御器が、操作者の所定の軌跡を追うために使用される。軌跡追跡法は、2つの主な欠点を有する。第1に、この方法はコンピュータを多用するものである。第2に、この方法は、環境における障害または変化に強くない。外骨格が物体、あるいはその環境または荷重の変化に遭遇した場合、力学および軌跡が再計算されなければならず、さもなければ外骨格は倒れてしまう。40

【 0 0 1 3 】

全体的に図1A - 図2Bおよび2を参照すると、外骨格骨組100は、少なくとも人体の一部分に近似し、少なくとも人体の一部分に連結可能である形状にされ、人体による動きを模倣するように構成される。この動きを達成するために、装置は、中央制御システム160および駆動システム150に作動的に連結された骨組の手110および足120の近くのロボット骨組100に取り付けられた複数の力センサを用いる。力センサは、ロボット骨組100に働く線形または回転の力を検出可能である。本発明の一態様では、力セ50

ンサの感度は調整可能である。たとえば、センサは、所定のレベルを超える力がセンサに掛けられたときにのみ応答するように構成可能である。

【0014】

本明細書に使用される「界接面の力の状態の関係」(IFSR)は、その近似的な人間の解剖学的構造に対する外骨格の構成要素の好ましい位置関係に関するものである。たとえば、本発明の一実施形態では、着用者の手首は、動いていないとき、外骨格の前腕／手首の対応する部分と強力に接触していなくてもよい。この場合、使用者は、動きが望まれる（腕を上げるか、または腕を脇に押す）ときに、外骨格に対して力を掛ける必要がある。この動きの結果、IFSRの非接触状態が、外骨格と使用者の手首との間の物理的接触の状態へと変化する。外骨格は、「脇に寄る」適切な動きによって、この接触に反応する。この反応は、手首／前腕の動きが完了するまで、多数回連続して繰り返されてよい。この点において、力の状態の関係は、再び、非接触位置において安定し、動きが停止される。

10

【0015】

別の実施形態では、使用者の足がセンサの上に立ち、その結果、所与の力が掛けられてよい。このIFSRは、足とセンサとの間の実際の接触に基づく。使用者が足を上げると、非接触関係が起こる。次に、外骨格は、足とその関連する外骨格の構成要素との間の荷重の掛かった接触を回復する努力に応答する。したがって、この場合、IFSRは、使用者の足が外骨格と強力に接触している接触関係にある。

【0016】

20

センサは、センサと人間の操作者の四肢との間において、基準線を制御する界接面の力の状態の関係を検出することができる。次にセンサは、ロボット骨組100に一体化された中央制御ユニットおよび計算システム160へ、力の信号を出力する。センサから出力された力の信号ならびにロボット骨組100に対する重力の力および方向に基づいて、それが接触関係であるかまたは非接触関係であるかにかかわりなく、計算システム160は、制御する力の状態の関係を維持するのに必要とされる線形および回転の力を計算する。次に、このシステムは、作動信号を発生して、ロボット骨組100に取り付けられた駆動システム150に送信する。次に、駆動システム150は、制御する力の状態の関係を維持するために、ロボット骨組100の一部分を変位させる。代替として、変位は望まれないが、ロボット骨組100に掛かる荷重が変化した場合、駆動システム150は、動作が完了するまで、制御する力の状態の関係を維持するのに必要であるように、ロボット骨組100に掛かる線形および回転の力を増加または減少させる。

30

【0017】

より一般には、本発明は、着用者が、通常不可能であろう、または、さもなければ行うのにかなりの時間およびエネルギーを消費しなければならないであろう活動を行うことができるようになる。このシステムは、軍人、建築作業員、警察官、医療従事者、および人体の機能を援助する、または人体の形状を修正する他の人々によって着用可能である。装着式の骨組は、危険または有害な作業において必要とされる人員の数を縮小し、そのような仕事を行うときに入員によって経験される身体的なストレスを低減することが可能である。装着式の骨組は、また、放射線、ガス、化学物質または生物兵器への暴露にかかる可能性のある用途に特化した作業用に構成可能である。装着式の骨組は、また、身体的に障害のある人が、座る、立つまたは歩くといった、そうでなければ不可能な作業を行うのを援助するのに使用可能である。変位装置は、小さい動きおよび力を、制御された大きい動きおよび力に增幅する動力增幅器として働くことができる。骨組上の様々な位置にセンサおよび制御装置を戦略的に配置することによって、非常に小さい量の力しか掛けられない人が、骨組の動きを制御できるようになる。さらに、身体的に障害のある人が、動力源につながれることなく、動きの自由を与えられることができる。動力中断のような安全装置が、骨組の意図しない動き、および骨組を装着している人へのなんらかの損害を防止するようにシステムに組み込み可能である。本発明の例示的な実施形態に関連した主題は、各特許および／または特許出願がその全体において本明細書に引用により援用される、米

40

50

国特許第6,957,631号および第7,066,116号、ならびに米国特許出願第11/292,908号、第11/293,413号、第60/904,245号、第60/904,246号、および第11/293,726号に見出されるであろう。

【0018】

本発明のより詳細な態様によると、図1A-図2Bは、ロボット骨組100に取り付けられ、手110および足120の近くで人間の操作者に隣接または接触して配設された複数のセンサを用いるロボット変位装置を含むシステムを示す。別の態様では、センサは、股関節部130および肩140の近くで人間の操作者に隣接または接触して配設される。センサ110、120、130および140は、複数軸における人間の操作者の動きの複数方向を同時に検出することができる。図3から8を概ね参照して、本発明の例示的な一実施形態では、人間の操作者は、ロボット骨組100の足部分101の中に、操作者の足が対応する力センサ120と接触するように操作者の足を配置することによって、ロボット変位装置に入ることができる。人間の操作者の各部分は、また、ロボット骨組100の様々な位置に配設された力センサと接触する。たとえば、図6は、ロボット骨組の股関節部の部分102および対応する力センサ130を示す。操作者52は、腰回りの帯103または他の適切な連結装置によって骨組100に連結されてよい。図7に示されるように、操作者52は、さらに、肩の帯104によってロボット骨組100に連結される。一態様では、力センサ140は、操作者の肩領域の近くのロボット骨組100に取り付けられる。さらに、図8に示されるように、操作者53の手は、ロボット骨組100に連結された取手105を持てる。力センサ110は、取手105とロボット骨組100との間に配設される。本明細書ではロボット骨組100上の特定の位置に配設された力センサを述べているが、力センサは、ロボット変位装置の正しい作動を容易にするために、ロボット骨組100の多くの位置に戦略的に配置可能であることを理解されたい。

【0019】

本発明の一態様では、システムに掛かる操作者の力の測定と同時に、中央制御ユニット160は、ロボット骨組の現在の関節位置および速度、ならびに骨組の位置に対する重力の力および重力の方向を検出することができる。次に、操作者の動きに応答する、外骨格の所望の関節位置および速度の値が計算される。その後、ロボット骨組100上の複数の位置に配置された複数の駆動機構を含むことのある、装置の駆動システム150は、ロボット骨組100を変位させるように操作者の動きと協調して働く。例示的な一実施形態では、駆動機構は、ロボット骨組100の関節106の近傍に配設され、所望の変位を生じるためにロボット骨組100の部材上で線形または回転の力を生じるように構成されてよい。操作者の動きに基づいて、外骨格の骨組100は、複数方向に、および複数軸において変位可能である。中央制御ユニット160は、また、燃料保管装置、動力発生センタおよび/または信号発生/処理センタとして働くことができる。外骨格の実際の動きは、ロボット骨組100の変位を起こすように、調節弁を介して油圧液を送達することによって達成可能である。本明細書には油圧液作動装置システムについて特に参照されているが、外骨格の各部分を動かすことのできる任意の作動装置システムが、本明細書において使用を考慮されることを理解されたい。

【0020】

さらなる実施形態では、中央制御ユニット160は、人間の操作者に及ぼされる外骨格構造体100の力、およびまた、ロボット骨組100によって人間の操作者に及ぼされる計算された力に対抗するのに必要とされる駆動システム150の関節回転力を計算することができる。その後、駆動システム150は、ロボット構造体100によって人間の操作者に及ぼされた力に対抗するように、ロボット骨組100の関節構成要素に計算された回転力を及ぼす。たとえば、ロボット骨組100の操作者は、ロボット骨組100の背中に掛けられた荷重を有することがある。この荷重は、そうでなければロボット骨組100および人間の操作者を下および/または後ろに引くであろう、ロボット骨組100に対するモーメントの力を生じことがある。本発明の一実施形態では、中央制御ユニット160は、ロボット骨組100を直立位置に保持するために、ロボット骨組100に外部的に掛

10

20

30

40

50

けられる力に対抗するように構成される。しかしながら、中央制御システム 160 は、任意の所望される（たとえば、うつ伏せになった、かがんでいる、および／または座っている）位置にロボット骨組 100 を保持するように構成されてよいことを理解されたい。

【0021】

本発明の一態様では、ロボット変位装置の制御ユニット 160 は、すべてのセンサよりも少ない群から、またはその群へと動力を導くように構成可能である。これによって、装置が、着用者が所望する作動モードを最適化するために、ロボット骨組 100 の一定の部分を本質的に「シャットダウン」できるようにする。本発明のさらに別の態様では、制御システム 160 は、さらに、遠隔観察装置からの作動モードでの自動切換を容易にするために、通信装置からのリモート信号を受信するように構成される。たとえば、遠隔観察装置は、ロボット変位装置に停止するように、またはロボット変位装置自体を起動させ、それによって、遠隔観察装置によって指定された位置へ、または所定の位置へと移動するように命令（すなわち、センサからのすべての指令信号を無効化）する制御信号を制御システム 160 に送信することができる。10

【0022】

図 1A - 図 2B を概ね参考すると、本発明の一実施形態では、ロボット骨組 100 の動きは、特に油圧管路および弁を有する、ロボット骨組の関節 106 の近傍に配設された駆動システム 150 によって達成される。駆動システム 150 内のシリンダ（図示せず）は、ロボット骨組の相対位置を調整するように伸張または収縮可能である。油圧液管路および駆動機構は、内部燃焼（IC）機関または他の動力変換装置によって、加圧または駆動されることができる。動力変換装置の一例は、一次ピストンを有するチャンバ、高速応答構成要素、およびチャンバに動作可能に相互接続された制御器を備えた機関を含む。チャンバは、また、チャンバに流体を供給する少なくとも 1 つの流体口と通気口とを含むことができる。流体口と組み合わさった一次ピストンは、チャンバに可変圧力を与え、チャンバの燃焼部にエネルギーを生じるために少なくとも部分的に燃焼を容易にするように構成される。一次ピストンは、チャンバ内で往復運動するように構成可能である。制御器は、チャンバ内の燃焼を制御するように構成可能である。高速応答構成要素は、高速応答構成要素がチャンバの燃焼部分に隣接して置かれるようにチャンバと流体連通することができる。システムは、駆動システム 150 および動力変換装置 180 が、ロボット骨組 100 の各関節に配置され、中央制御ユニット 130 からの信号によって制御されるように構成可能である。また、ロボット骨組を装着する人の安全を守るように、動力中断のような安全装置が含まれることができる。20

【0023】

図 9 に概ね示される例示的な別の実施形態では、ロボット骨組の制御を与える一方で、ロボット骨組の操作者によってロボット骨組自体に掛けられる相互作用の力を最小にする、制御システムおよび計算手段のブロック図が示される。計算手段によって用いられる測定された入力パラメータは、30

1. ロボット関節角度のベクトル 200、
2. ロボット関節速度のベクトル 210、
3. 測定された関節トルクのベクトル 220、
4. 重力のベクトル g_{230} （典型的に、外骨格に取り付けられたある基準の骨組において、たとえば骨盤に取り付けられた慣性測定ユニットを使用して測定される）、40
5. 操作者と外骨格との間の相互作用から生じる、 F ベクトル 240 として示される力およびモーメントを含むことができる。相互作用の力およびモーメントのベクトル F は、たとえば、以下のような位置で測定される。

【0024】

- (i) 操作者および外骨格の足の間、操作者に取り付けられた骨盤のハーネスの間、
- (ii) 外骨格の骨盤と操作者に取り付けられた骨盤のハーネスとの間、
- (iii) 外骨格の脊柱構造体と操作者に取り付けられた肩のハーネスとの間、
- (iv) 操作者の手および／または手首と外骨格の腕との間、および

1020304050

(v)他の位置も可能である。

【0025】

一実施形態において、足センサに基づいた制御では、重力補償を含む制御則が、所望の結果をもたらす所望のトルクコマンド($J^T 220$)を計算するのに用いられる。より具体的には、所望の結果は、自然で直観的な制御を達成する一方で、操作者と外骨格との間の相互作用の力を、システムによって運搬されるペイロードの重量より、(地面に立っている間、操作者の足によって支持されなければならない操作者自身の重量の成分を除いて)数倍少なく保つ。一様では、足センサに基づいた制御に適するこのような一制御則は、以下のように、

左の脚部には、

10

【0026】

【数1】

$$\tau_d = \hat{g}(\theta) + K_s(s_L, s_R) J^T K_f(s_L, s_R) (F_{\text{filtered}} - s_L \cdot m_p g_{\text{foot}})$$

(1)

右の脚部には、

【0027】

【数2】

$$\tau_d = \hat{g}(\theta) + K_s(s_L, s_R) J^T K_f(s_L, s_R) (F_{\text{filtered}} - s_R \cdot m_p g_{\text{foot}})$$

(2)

20

と書き込み可能である。上記の式で用いられる関数および記号は、以下の段落で定義される。

【0028】

上記の方程式1および2を参照し、図9に概ね示されるように、 $J^T 260$ は、ある基準のシステム(たとえば足の力/モーメントセンサ)に対する別の基準のシステム(たとえば骨盤に取り付けられた基準のシステム)の変位速度および角速度と、外骨格の関節速度 210 とを関連づける、それ自体がヤコビ行列式を有する外骨格関節角度 200 の関数である転置ヤコビ行列である。

30

【0029】

項 $g()$ 280 は、重力補償トルクのコマンドに対応する。この重力補償コマンドは、定常状態の重量補償を与えるフィードフォワードコマンドであり、ペイロードおよび外骨格が、制御ループの力/モーメントセンサに基づくポートを使用することなく支持されることができるようになる。このコマンドはまた、関節トルクセンサの較正の利得およびゼロオフセットの自動的なフィールド内検証を実施するのに使用可能である。重力補償トルクコマンド $g()$ 280 は、重力が存在する際の全体的な外骨格およびペイロードの構成、リンクおよびペイロードの質量特性、外骨格と地面との間の相互作用の力およびモーメント、ならびに操作者と外骨格との間の力/モーメントの相互作用に依存する。

40

【0030】

$F_{\text{filtered}} 290$ は、右足または左足の力/モーメントセンサによって測定された低域フィルタ済みの力およびモーメントのベクトルであり、制御システムの入力パラメータとして用いられる。実際は、システムの応答性を増すため、および同時にシステムの安定性を維持するために、いくつかの非線形の、力学的に調整された低域フィルタのパラメータが使用される。この概念の多くの異なる実施例が可能である。

【0031】

項 $m_p g_{\text{foot}}$ 270 は、基準の右足または左足の力/モーメントセンサの骨組における操作者の重量に近い量である。腕、骨盤、または背中に取り付けられたロードセルの場合、この値は、概ね、ゼロまたは別の所望の目標とされる力/モーメント(たとえば外

50

骨格によって人に及ぼされる前方への押しになる可能性のある値)に設定される。

【0032】

S_L 300 および S_R 310 として示されるパラメータは、計算手段によって使用されなければならない、外骨格と操作者との間の所望の力を計算するために用いられる基準化係数である。複数の異なる関数がこの目的のために使用されてよく、外骨格を制御するのに用いられるいくつかの例が以下に説明される。

【0033】

左足および右足の重量配分係数 (S_L 300 および S_R 310) は、関節トルクを基準化する測定基準を与えるように、どちらの足が地面上にあるか、または両足が地面上にある場合はそれぞれの足の相対的な重量に依存して、足センサを使用してそれ計算される。以下に説明される単純な計算は、それぞれの標示された足センサの示度(正数は重力の方向に押す力を意味する)を取り、それを、左および右両方の標示された足センサの示度の合計で割ることからなる。値が負数になった場合(機械が反応できるより速く足を持ち上げたときなど)には、それはゼロに等しく設定される。値がプラス1より大きくなつた場合、それは1に等しく設定される。たとえば、 S_L が1に等しいおよび S_R がゼロに等しいとき、人はその左足で立っており、右足は上がっている。 $S_R = 0.5$ および $S_L = 0.5$ のとき、人は両方の足に等しく体重を掛けている。 S_R 足す S_L は、必ずしも厳密に1に等しくはなく(この計算における分子および分母は両方とも標示された値を使用することに注意)、他の公式も可能であるが、相対的な(常に正の)大きさは、動作を制御する関節トルクを基準化するための有用な手段を与える。

【0034】

上述の特徴を有するいくつかの関数が、基準化係数である S_L および S_R を計算するために使用されてよい。外骨格システムがおよそ水平面で作動される特定の場合では、基準のセンサの骨組で測定されるx軸に沿った力の成分は、基準の足の骨組における重力ベクトルの向きと一致する。

【0035】

方程式3として以下に示される次のアルゴリズムが、基準化係数を計算するのに用いられてよい。

【0036】

【数3】

$$S_L = \begin{cases} 0 & \text{if } F_{x,L} < 0 \\ \frac{F_{x,L}}{F_{x,L} + F_{x,R}} & \text{if } \frac{F_{x,L}}{F_{x,L} + F_{x,R}} \leq 1 \\ 1 & \text{if } \frac{F_{x,L}}{F_{x,L} + F_{x,R}} > 1 \end{cases} \quad \text{and} \quad S_R = \begin{cases} 0 & \text{if } F_{x,R} < 0 \\ \frac{F_{x,R}}{F_{x,L} + F_{x,R}} & \text{if } \frac{F_{x,R}}{F_{x,L} + F_{x,R}} \leq 1 \\ 1 & \text{if } \frac{F_{x,R}}{F_{x,L} + F_{x,R}} > 1 \end{cases}$$

(3)

外骨格の脚部、ならびに体全体の外骨格システムでは、力モーメントセンサによって感知された力の所望の成分の基準化係数が、足センサの基準の骨組で測定された重力ベクトルに沿って左右の足センサによって測定された力の成分の標示された値を使用して概算可能である。

【0037】

【数4】

$$\hat{\mathbf{g}}_L = \mathbf{g}_L / \|\mathbf{g}_L\| \quad (4) \quad \hat{\mathbf{g}}_R = \mathbf{g}_R / \|\mathbf{g}_R\| \quad (5)$$

この目的では、単位重力ベクトル

【0038】

10

20

30

40

50

【数5】

$$\hat{\mathbf{g}}_{imu} = \mathbf{g}_{imu} / \|\mathbf{g}_{imu}\|$$

は、評価された回転行列を用いて基準の足センサの骨組において表された慣性測定単位(IMUM)の座標系である。このベクトルは、ロボットの運動回路およびロボットの関節角度に依存する。左右の脚の重力ベクトルの計算は、それぞれ方程式4および5において上記に示される。

【0039】

基準化係数 S_L および S_R を計算するのに用いられる力の成分は、上記で定義された方程式の組によって説明されるやり方と同様のやり方で獲得可能であるが、このとき、スカラ $F_{x,L}$ および $F_{x,R}$ は

【0040】

【数6】

$$\mathbf{F}_{PE,L}^T \hat{\mathbf{g}}_L$$

および

【0041】

【数7】

$$\mathbf{F}_{PE,R}^T \hat{\mathbf{g}}_R$$

10

によってそれぞれ置き換えられ、式中、 $\mathbf{F}_{PE,L}$ および $\mathbf{F}_{PE,R}$ は、人と外骨格との間のそれぞれ基準の左右の足センサの骨組における力の3つの成分である。基準の骨盤の骨組における重力ベクトルを表した場合、およびまた、基準の骨盤の骨組における相互作用力を表した場合、同じ結果が獲得可能である。

【0042】

2つの連続する帰還利得の行列が、この開示で説明される実施形態において使用可能である。これらは、向き K 、 K_S 320 および力 / モーメント帰還利得行列 K_F 330 である。一実施形態では、向き K および力 / モーメント帰還行列が対角である。さらに、 K_S 320 の対角の各要素は、ゼロに等しいか、または値において実質的に等しい。向き K の帰還利得行列の特徴によって、基本的に、制御システムが起動されるかまたは（たとえば要素がゼロであるとき）オフにされ、包括的な利得スカラ値が適用されることができるようになる。別の態様では、力 / モーメントの利得行列が対角である。しかしながら、対角のすべての要素が、かなり異なる値を有してもよい。

20

【0043】

本発明の別の実施形態では、装置の安定性および力を最適化するために、滑り利得方式が実施されてよい。高利得は、たやすい可動性および物体の操作のために望まれる。システムの非荷重支持部分に使用される。しかしながら、高利得の結果、力が不十分になる。低利得は、重いペイロードの下での不安定さを防ぐために望まれ、システムの荷重支持部分に使用される。しかしながら、低利得の結果、可動性および速度が減少する。作動の際に、システムの荷重支持部分と非荷重支持部分との間で、利得を滑らせることによって、装置は、力および可動性を最適化する。歩行サイクルの片方の脚部または2つの脚部での支持部分、ならびにこのサイクルの揺動期におけるシステムの性能を改善するため、滑り利得アルゴリズムが、以下のように、制御利得を計算するために実施可能であり、

$$K_j(s_i) = K_{low} + (K_{high} - K_{low}) f(s_i)$$

(5)

30

式中、 $j = F$ または S であり、力 / モーメント (F) 利得、「向き K 」 (S)、および $i = R$ または L (右または左の脚) を示し、式中、 K_{high} 、 K_{low} は利得の上下の限界値である。 s (すなわち以前に定義された基準化係数 S_L または S_R) が 0 から 1 へと変化するにつれて、関数 $f(s)$ は 1 から 0 へと単調に変化する。このような滑り利得アルゴリズムの一例が図7に示され、下記に方程式6として示される。

40

50

$$\text{Slide Gain} = K_{HIGH} + S_L * (K_{LOW} - K_{HIGH}) / (\text{thresh} +)$$

(6)

左脚の滑り利得は方程式 6 で上記に示される。しかしながら、同様の式 (S_L を S_R によって置き換える) が、右脚に使用されてもよい。 thresh はこれを超えると利得が一定となる値であり、 S_L は約 10^{-3} から 10^{-6} の小さい数であり得る。

【 0 0 4 4 】

滑り利得方式が実施可能である一例は、ロボット装置の変位が望まれる場合の制御する界接面の力の状態の関係における変化を感知することを含む。その後、システムは、外骨格の動かない荷重支持部分をロックし、外骨格の動く非荷重支持部分をアンロックする。
続いて、制御システムは、重力を含む、以前に感知された制御する界接面の力の状態の関係を回復するために必要である、外骨格のアンロックされた非荷重支持部分の関節の回転力を計算する。システムはまた、人体に掛かる外骨格の力が確実にゼロになるのに必要とされる、外骨格のロックされた荷重支持部分の関節の回転力を計算する。制御システムは、信号を発生して、装置の作動装置の構成要素に送信し、計算された関節の回転力で、外骨格のアンロックされた非荷重支持部分を変位させる。制御システムはまた、外骨格のロックされた荷重支持部分における計算された関節の回転力を維持するように、外骨格に連結された変位装置を作動させる。外骨格の関節がロックまたはアンロックされる角度は、上述の計算された利得の関数である。

【 0 0 4 5 】

さらに図 9 を参照すると、最終的な計算されたトルク $\tau_d 220$ は、計算された速度の利得 $K_v 360$ および位置の利得 $K_p 370$ に対する、所望のロボットの関節速度 $\dot{\theta}_d 340$ および所望の関節位置 $\theta_d 350$ を計算するために用いられる。次に、前記値は、ロボットシステム 100 の中央制御ユニット 160 に送信され、センサと人体の四肢と間ににおける、制御する界接面の力の状態の関係を維持するために実施される。

【 0 0 4 6 】

上記の用途に加えて、本発明は、操作者を固定動力源または制御源につなぐことなく、強度、スタミナ、および精度の強化を必要とする多くの用途において使用可能である。

装着式の人間外骨格が人体の動きと協調して動くのを可能にする方法が、本明細書に考慮および開示される。本方法は、人間の外骨格を装着するステップと、外骨格に連結された複数の力センサと人体の四肢の近くの接触位置との間ににおける力の状態を感知するステップとを含む。さらに、本方法は、外骨格の一部分に対する重力の方向を計算するステップと、外骨格の人間 / 力の応答値を手動で調整するステップとを含む。さらに、本方法は、力センサに対して人体の一部分を変位させるステップと、力の状態における変化を感知するステップとを含む。本方法はまた、外骨格の動かない荷重支持部分をロックするステップと、外骨格の動く非荷重支持部分をアンロックするステップと、重力を含む力の状態を回復するのに必要とされる、外骨格のアンロックされた非荷重支持部分の関節の回転力を計算するステップと、人体に掛かる外骨格の力が確実にゼロになるのに必要とされる、外骨格のロックされた荷重支持部分の関節の回転力を計算するステップと、少なくとも計算された関節の回転力からなる信号を発生するステップと、を含む。さらに、本方法は、前記外骨格に連結された作動装置システムに前記信号を送信するステップと、外骨格のアンロックされた非荷重支持部分を計算された関節の回転力で変位させるように、前記信号に応答して、外骨格に連結された変位装置を作動させるステップと、を含む。さらに、本方法は、外骨格のロックされた荷重支持部分において、計算された関節の回転力を維持するように、前記信号に応答して、外骨格に連結された変位装置を作動させるステップと、人体の動きを模倣するように上記のステップを繰り返すステップと、を含む。

【 0 0 4 7 】

上述の構成は、本発明の原理のための用途を例示するものであることを理解されたい。請求項に述べられた本発明の原理および概念から逸脱することなく、多くの修正例が実施可能であることが、当業者には明らかであろう。

10

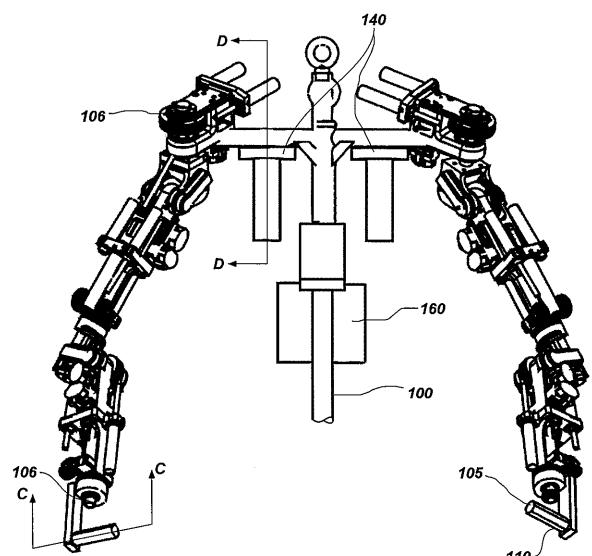
20

30

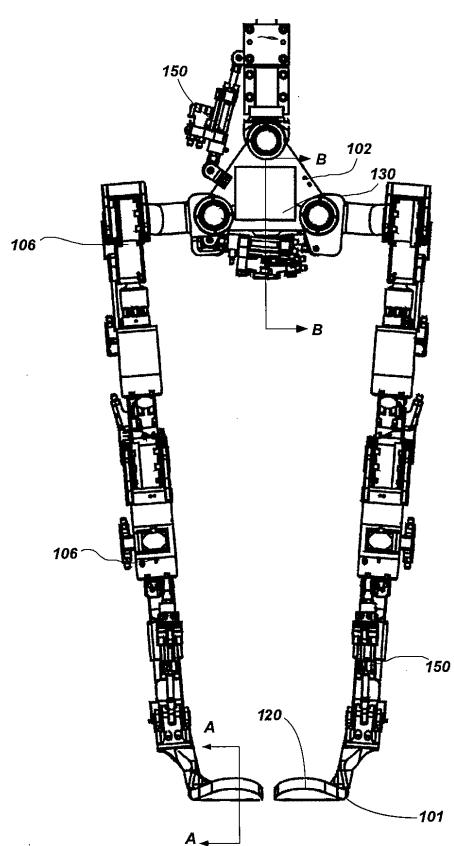
40

50

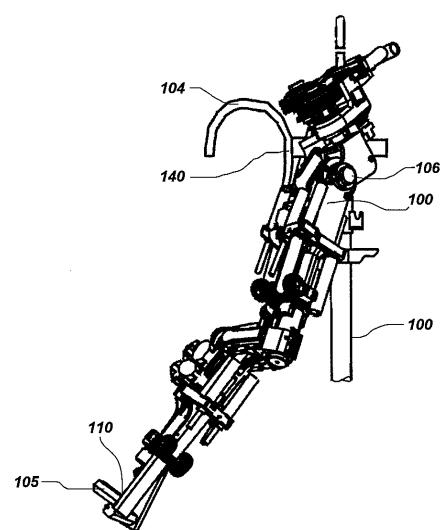
【図1A】



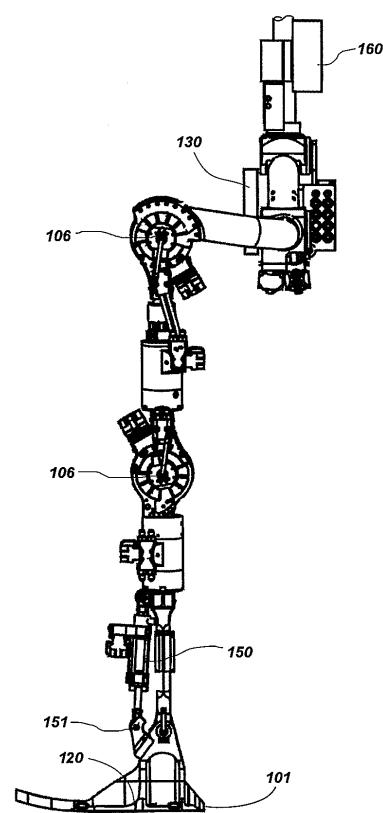
【図1B】



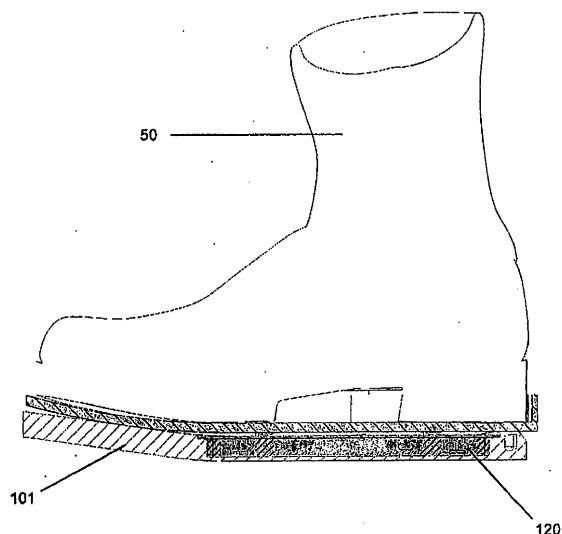
【図2A】



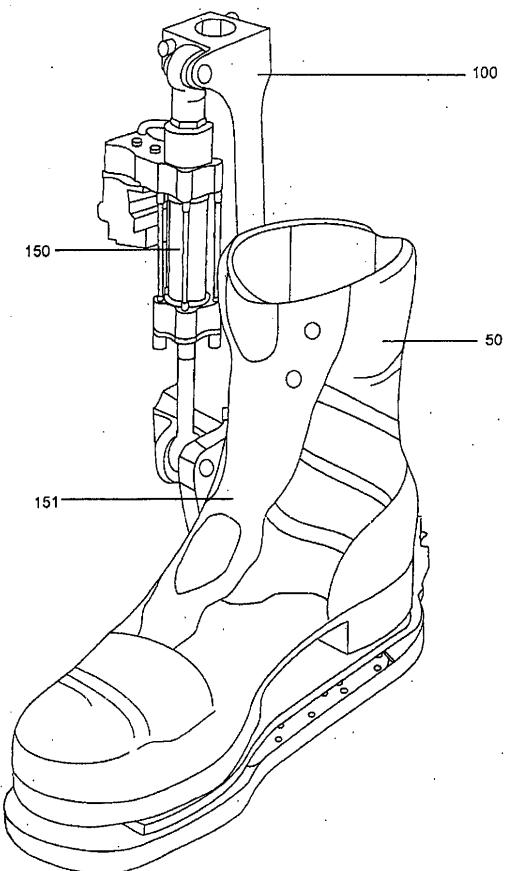
【図2B】



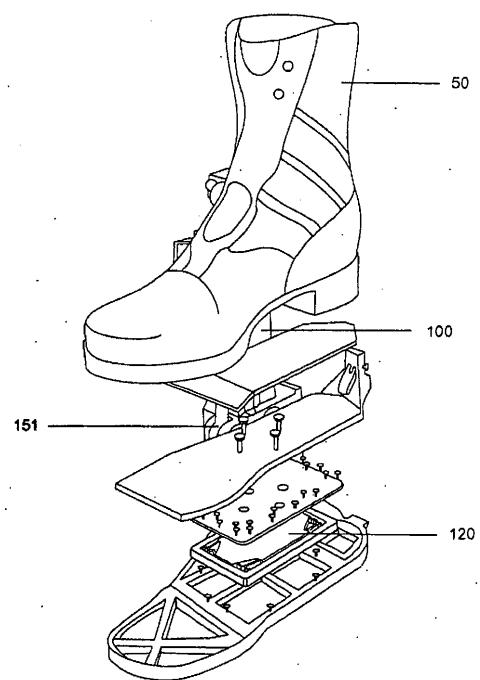
【図3】



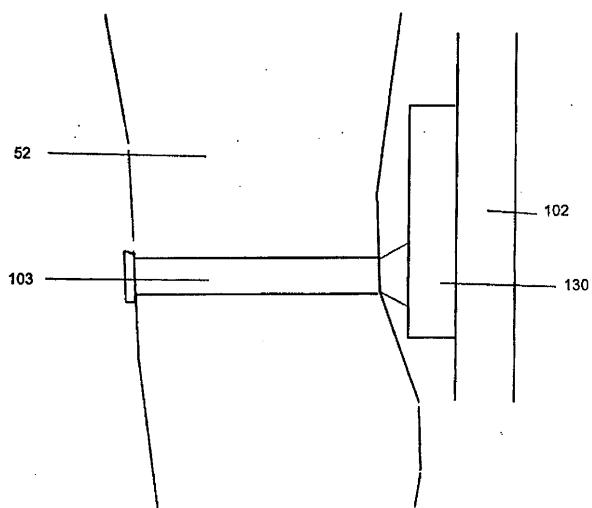
【図4】



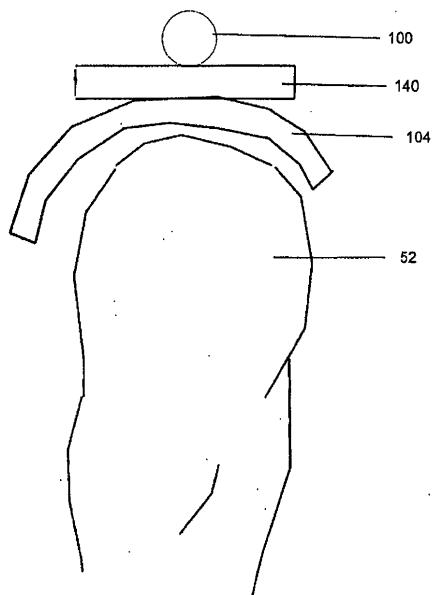
【図5】



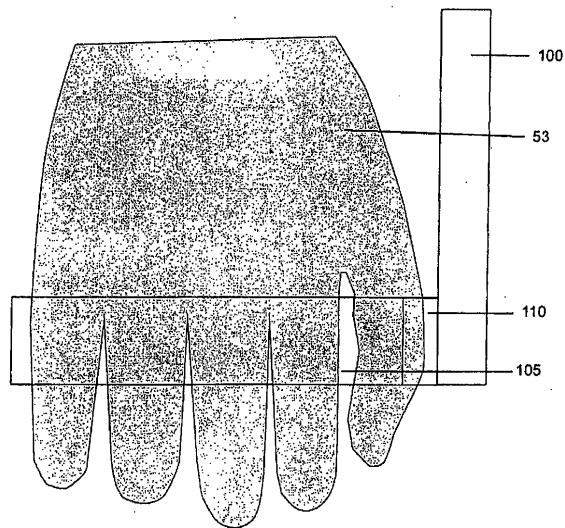
【図6】



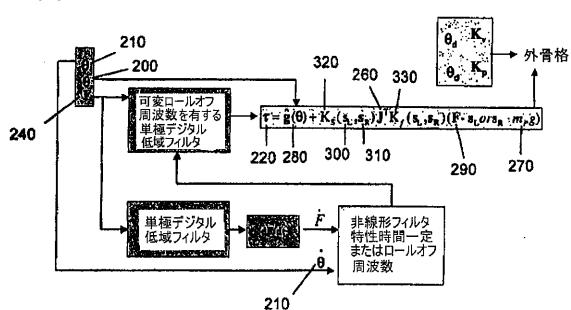
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(74)代理人 100089705

弁理士 社本 一夫

(72)発明者 ジェーコブセン, スティーブン・シー

アメリカ合衆国ユタ州 84102, ソルト・レイク・シティ, サウス 1200 イースト 27

4

(72)発明者 オリバー, マーク

アメリカ合衆国ユタ州 84092, サンディー, サウス 2980 イースト 9638

審査官 金丸 治之

(56)参考文献 特開2004-105261(JP,A)

特開2005-237504(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B25J 3/00