(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第7313079号
(P7313079)
(45)発行日　令和5年7月24日(2023.7.24)　(24)登録日　令和5年7月13日(2023.7.13)

(51)Int.Cl.　FI
G06F 3/01 (2006.01)　G06F 3/01 560

請求項の数 20　(全 22 頁)

(21)出願番号　特願2021-545197(P2021-545197)
(86)(22)出願日　令和2年8月26日(2020.8.26)
(86)国際出願番号　PCT/JP2020/032185
(87)国際公開番号　WO2021/049296
(87)国際公開日　令和3年3月18日(2021.3.18)
審査請求日　令和4年1月21日(2022.1.21)
(31)優先権主張番号　特願2019-163973(P2019-163973)
(32)優先日　令和1年9月9日(2019.9.9)
(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)

(73)特許権者　503360115
国立研究開発法人科学技術振興機構
埼玉県川口市本町四丁目１番８号
(74)代理人　100105924
弁理士　森下　賢樹
(72)発明者　堀江　新
東京都目黒区駒場４－６－１　東京大学先端科学技術研究センター内
(72)発明者　稲見　昌彦
東京都目黒区駒場４－６－１　東京大学先端科学技術研究センター内

審査官　征矢　崇

最終頁に続く

(54)【発明の名称】力覚提示装置及び力覚提示方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

人の皮膚に力学的分布を形成することによって力覚を提示する力覚提示装置であって、

複数の刺激素子と、制御部とを備え、

前記複数の刺激素子の各々は、前記人の皮膚に刺激を与え、

前記制御部は、目的とする力覚を発生させる力学的分布を皮膚に形成するように前記複数の刺激素子を制御し、

隣接する前記刺激素子間の間隔は、空間的に連続な力覚を提示可能な間隔であり、

前記力覚は、前記人の自己運動感覚を発生させ、

前記力学的分布は、ひずみエネルギー密度分布であり、

前記刺激素子は、回転運動によって皮膚に刺激を与える回転刺激素子であり、

前記回転刺激素子は、その回転軸に垂直な面で皮膚に接触して当該皮膚を捻ることにより、当該皮膚にひずみエネルギー密度分布を形成することを特徴とする力覚提示装置。

【請求項２】

目的とする力覚と当該力覚を発生させるひずみエネルギー密度分布との関係を記憶する記憶部と、力覚指示部と、をさらに備え、

前記制御部は、前記力覚指示部から目的とする力覚が指示されたときに、前記記憶部に記憶された当該力覚を発生させるひずみエネルギー密度分布を皮膚に形成するように前記回転刺激素子を制御することを特徴とする請求項１に記載の力覚提示装置。

【請求項３】

前記制御部は、目的とする力覚を発生させるひずみエネルギー密度分布を計算して、当該ひずみエネルギー密度分布を形成する刺激を皮膚に与えるように前記複数の回転刺激素子を制御することを特徴とする請求項１又は２に記載の力覚提示装置。

【請求項４】

提示された力覚と当該力覚を発生させるひずみエネルギー密度分布との関係を学習する学習部をさらに備えることを特徴とする請求項２に記載の力覚提示装置。

【請求項５】

前記回転刺激素子は、背部又は臀部を含む身体部位に力覚を提示することを特徴とする請求項１から４のいずれかに記載の力覚提示装置。

【請求項６】

前記回転刺激素子は、手又は足を含む身体部位に力覚を提示し、

前記制御部は、前記身体部位を動かした際に生じる皮膚の伸びに応じたひずみエネルギー密度分布を皮膚に形成するように回転刺激素子を制御することを特徴とする請求項１から４のいずれかに記載の力覚提示装置。

【請求項７】

前記制御部は、目的とする力覚が大きければ大きいほど、ひずみエネルギー密度が大きくなるように前記回転刺激素子を制御することを特徴とする請求項１から６のいずれかに記載の力覚提示装置。

【請求項８】

前記制御部は、前記回転刺激素子の回転角度及び回転方向を制御することを特徴とする請求項１から７のいずれかに記載の力覚提示装置。

【請求項９】

前記制御部は、目的とする力覚が大きければ大きいほど、前記回転刺激素子の回転角度が大きくなるように前記回転刺激素子を制御することを特徴とする請求項８に記載の力覚提示装置。

【請求項１０】

前記回転刺激素子のうち複数の回転刺激素子からなる組が回転刺激素子ユニットにまとめられることを特徴とする請求項９に記載の力覚提示装置。

【請求項１１】

前記回転刺激素子ユニットは２軸のジンバルを備えることを特徴とする請求項１０に記載の力覚提示装置。

【請求項１２】

前記制御部は、刺激を付与するための刺激付与点を前記人の皮膚上で移動し、当該刺激付与点からの距離が小さければ小さいほど、前記回転刺激素子の回転角度が大きくなるように前記回転刺激素子を制御することを特徴とする請求項１０または１１に記載の力覚提示装置。

【請求項１３】

隣接する前記回転刺激素子間の間隔は、当該隣接する回転刺激素子によって提示される力覚の範囲が重なりを持つような間隔であることを特徴とする請求項１から１２のいずれかに記載の力覚提示装置。

【請求項１４】

力学的変化検知部と、力学的分布計算部と、を備え、

前記力学的変化検知部は、前記人の運動による前記人の皮膚の力学的変化を検知し、

前記力学的分布計算部は、前記力学的変化検知部が検知した前記人の皮膚のひずみエネルギー密度分布の変化から、当該力学的変化を発生させる皮膚のひずみエネルギー密度分布を計算し、

前記制御部は、前記力学的分布計算部が計算したひずみエネルギー密度分布を皮膚に形成するように前記複数の回転刺激素子を制御することを特徴とする請求項１に記載の力覚提示装置。

【請求項１５】

前記複数の回転刺激素子の各々は、前記力学的変化検知部を備えることを特徴とする請求項１４に記載の力覚提示装置。

【請求項１６】

前記力学的変化検知部は、前記回転刺激素子と独立に備えられたセンサであることを特徴とする請求項１４に記載の力覚提示装置。

【請求項１７】

前記人から見た主観映像を撮影するカメラと、前記人の皮膚の力学的変化と前記主観映像の変化との関係を算出する映像同期部と、を備え、

前記力学的分布計算部は、前記映像同期部が算出した前記人の皮膚の力学的変化と前記主観映像の変化との関係に基づいて、前記主観映像が変化したときの前記人の皮膚の力学的変化から、当該力学的変化を発生させる皮膚のひずみエネルギー密度分布を計算することを特徴とする請求項１４に記載の力覚提示装置。

【請求項１８】

人の皮膚に力学的分布を形成することによって力覚を提示する力覚提示方法であって、

前記力覚と当該力覚を発生させる力学的分布との関係を決定するステップと、

当該力覚を発生させる力学的分布を皮膚に形成するように皮膚の複数の箇所に刺激を与えるステップと、を備え、

刺激を与えられる皮膚の隣接する箇所間の間隔は、空間的に連続な力覚を生成可能な間隔であり、

前記力覚は、前記人の自己運動感覚を発生させ、

前記力学的分布は、ひずみエネルギー密度分布であり、

前記ひずみエネルギー密度分布は、回転運動によって皮膚に刺激を与える回転刺激素子によって、当該回転刺激素子の回転軸に垂直な面で皮膚に接触して当該皮膚を捻ることにより、当該皮膚に形成されることを特徴とする力覚提示方法。

【請求項１９】

前記人の運動による前記人の皮膚の力学的変化を検知するステップと、

検知した前記人の皮膚の力学的変化から、当該力学的変化を発生させる皮膚のエネルギー密度分布を計算するステップと、

計算したエネルギー密度分布を前記人の皮膚に形成するように皮膚の複数の箇所に刺激を与えるステップと、を備える請求項１８に記載の力覚提示方法。

【請求項２０】

前記人から見た主観映像を撮影するステップと、前記人の皮膚の力学的変化と前記主観映像の変化との関係を算出するステップと、を備え、

前記力学的変化を発生させる皮膚のエネルギー密度分布を計算するステップは、前記算出した前記人の皮膚の力学的変化と前記主観映像の変化との関係に基づいて、前記主観映像が変化したときの前記人の皮膚の力学的変化から、当該力学的変化を発生させる皮膚のエネルギー密度分布を計算することを特徴とする請求項１９に記載の力覚提示方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、人の皮膚に刺激を与えることによって力覚を提示する力覚提示装置及び力覚提示方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

バーチャルリアリティやテレプレゼンスなどでは、使用者に高臨場感を与える必要があるため、力の感覚を提示できることが望ましい。例えばエンターテインメント施設やフライトシミュレータに使われるモーションプラットフォームは、使用者を動かしたり傾けたりすることにより、あたかも自分が運動している、あるいは自分が空間的に変位しているかのような感覚を使用者に与える（例えば、特許文献１を参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特表２０１６－５３３５３４
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
このようにモーションプラットフォームは、実際の運動を再現することにより、前庭感覚及び座面や背面から及ぼされる力覚を実現し、使用者に自分が運動しているような感覚を与える。しかしながら、目的とする運動と同様の運動を再現する必要があることから、再現可能な運動が筐体の機械的特性に大きく依存し、表現できる運動が限られるという問題がある。さらにモーションプラットフォームは大型かつ高価であり、既存の椅子に取り付けられないなどといった課題もある。
【０００５】
モーションプラットフォームのように実際に人を動かしたり傾けたりすることなく、例えば使用者の皮膚に刺激を与えることにより、三次元的な運動に伴う運動感覚などの力覚を提示することができれば、上記の課題の解決に大きく貢献できることが期待される。
【０００６】
本発明は、以上のような課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、人の皮膚に刺激を与えることによって、人に自分が運動しているような感覚を発生させる力覚を提示することにある。
【課題を解決するための手段】
【０００７】
上記課題を解決するために、本発明のある態様の装置は、人の皮膚に力学的分布を形成することによって力覚を提示する力覚提示装置である。この装置は、複数の刺激素子と、制御部とを備える。複数の刺激素子の各々は、人の皮膚に刺激を与える。制御部は、目的とする力覚を発生させる力学的分布を皮膚に形成するように複数の刺激素子を制御する。隣接する刺激素子間の間隔は、空間的に連続な力覚を提示可能な間隔である。力覚は、人の自己運動感覚を発生させる。
【０００８】
力覚提示装置は、目的とする力覚と当該力覚を発生させる力学的分布との関係を記憶する記憶部と、力覚指示部と、をさらに備えてよい。制御部は、力覚指示部から目的とする力覚が指示されたときに、記憶部に記憶された当該力覚を発生させる力学的分布を皮膚に形成するように刺激素子を制御してよい。
【０００９】
制御部は、目的とする力覚を発生させる力学的分布を計算して、当該力学的分布を形成する刺激を皮膚に与えるように、刺激素子を制御してもよい。
【００１０】
力覚提示装置は、提示された力覚と当該力覚を発生させる力学的分布との関係を学習する学習部をさらに備えてもよい。
【００１１】
刺激素子は、背部又は臀部を含む身体部位に力覚を提示してもよい。
【００１２】
刺激素子は、手又は足を含む身体部位に力覚を提示てもよい。このとき制御部は、当該身体部位を動かした際に生じる皮膚の伸びに応じた力学的分布を皮膚に形成するように刺激素子を制御してもよい。
【００１３】
力学的分布は、ひずみエネルギー密度分布であってもよい。
【００１４】
制御部は、目的とする力覚が大きければ大きいほど、ひずみエネルギー密度が大きくなるように前記刺激素子を制御してもよい。

【００１５】
刺激素子は、回転運動によって皮膚に刺激を与えてもよい。以下、このような刺激素子を「回転刺激素子」と呼ぶこともある。このとき制御部は、刺激素子の回転角度及び回転方向を制御してもよい。
【００１６】
制御部は、目的とする力覚が大きければ大きいほど、刺激素子の回転角度が大きくなるように刺激素子を制御してもよい。
【００１７】
刺激素子のうち複数の刺激素子からなる組が、刺激素子ユニットにまとめられてもよい。
【００１８】
刺激素子ユニットは、２軸のジンバルを備えてもよい。
【００１９】
制御部は、刺激を付与するための刺激付与点を人の皮膚上で移動してもよい。そして制御部は、刺激付与点からの距離が小さければ小さいほど、刺激素子の回転角度が大きくなるように刺激素子を制御してもよい。
【００２０】
力学的分布は、ひずみの分布であってもよい。このときひずみは、主ひずみ又は相当ひずみであってもよい。
【００２１】
力学的分布は、力の分布であってもよい。このとき力は、せん断力又は垂直抗力であってもよい。
【００２２】
力学的分布は、応力の分布であってもよい。このとき応力は、圧力、主応力又はミーゼス応力のいずれかであってもよい。
【００２３】
隣接する刺激素子間の間隔は、当該隣接する刺激素子によって提示される力覚の範囲が重なりを持つような間隔であってもよい。
【００２４】
力覚提示装置は、力学的変化検知部と、力学的分布計算部と、を備えてよい。力学的変化検知部は、人の運動による人の皮膚の力学的変化を検知する。力学的分布計算部は、力学的変化検知部が検知した人の皮膚の力学的分布の変化から、当該力学的変化を発生させる皮膚の力学的分布を計算する。制御部は、力学的分布計算部が計算した力学的分布を皮膚に形成するように複数の刺激素子を制御する。
【００２５】
複数の刺激素子の各々は、力学的変化検知部を備えてもよい。
【００２６】
力学的変化検知部は、刺激素子と独立に備えられたセンサであってよい。
【００２７】
力覚提示装置は、人から見た主観映像を撮影するカメラと、人の皮膚の力学的変化と主観映像の変化との関係を算出する映像同期部と、を備えてもよい。力学的分布計算部は、映像同期部が算出した人の皮膚の力学的変化と主観映像の変化との関係に基づいて、主観映像が変化したときの人の皮膚の力学的変化から、当該力学的変化を発生させる皮膚の力学的分布を計算してもよい。
【００２８】
本発明のさらに別の態様は、人の皮膚に力学的分布を形成することによって力覚を提示する力覚提示方法である。この方法は、力覚と当該力覚を発生させる力学的分布との関係を決定するステップと、当該力覚を発生させる力学的分布を皮膚に形成するように皮膚の複数の箇所に刺激を与えるステップと、を備える。刺激を与えられる皮膚の隣接する箇所間の間隔は、空間的に連続な力覚を生成可能な間隔である。力覚は、人の自己運動感覚を

発生させる。

【００２９】

力覚提示方法における力学的分布は、ひずみエネルギー密度分布であってよい。

【００３０】

力覚提示方法は、人の運動による人の皮膚の力学的変化を検知するステップと、検知した人の皮膚の力学的変化から、当該力学的変化を発生させる皮膚の力学的分布を計算するステップと、計算した力学的分布を人の皮膚に形成するように皮膚の複数の箇所に刺激を与えるステップと、を備えてもよい。

【００３１】

前述の力覚提示方法は、人から見た主観映像を撮影するステップと、人の皮膚の力学的変化と主観映像の変化との関係を算出するステップと、を備えてもよい。このとき力学的変化を発生させる皮膚の力学的分布を計算するステップは、算出した人の皮膚の力学的変化と主観映像の変化との関係に基づいて、主観映像が変化したときの人の皮膚の力学的変化から、当該力学的変化を発生させる皮膚の力学的分布を計算してもよい。

【００３２】

なお、以上の構成要素の任意の組合せ、本発明の表現を装置、方法、システム、記録媒体、コンピュータプログラムなどの間で変換したものもまた、本発明の態様として有効である。

【発明の効果】

【００３３】

本発明によれば、人の皮膚に刺激を与えることによって、人に自分が運動しているような感覚を発生させる力覚を提示することができる。

【図面の簡単な説明】

【００３４】

【図１】第１実施の形態に係る力覚提示装置の機能ブロック図である。

【図２】第２実施の形態に係る力覚提示装置の機能ブロック図である。

【図３】第４実施の形態に係る力覚提示装置の機能ブロック図である。

【図４】第５実施の形態に係る力覚提示装置の模式図である。

【図５】第７実施の形態に係る力覚提示装置の写真である。

【図６】刺激素子ユニットの写真である。

【図７】第１０実施の形態に係る力覚提示方法のフロー図である。

【図８】第１１実施の形態に係る力覚提示装置の機能ブロック図である。

【図９】第１２実施の形態に係る力覚提示装置の機能ブロック図である。

【図１０】第１３実施の形態に係る力覚提示装置の機能ブロック図である。

【図１１】第１４実施の形態に係る力覚提示装置の機能ブロック図である。

【図１２】第１５実施の形態に係る力覚提示方法のフロー図である。

【図１３】第１６実施の形態に係る力覚提示方法のフロー図である。

【発明を実施するための形態】

【００３５】

以下、本発明を好適な実施の形態をもとに各図面を参照しながら説明する。実施の形態及び変形例では、同一又は同等の構成要素、ステップ、部材には同一の符号を付するものとし、適宜重複した説明は省略する。また、各図面における部材の寸法は、理解を容易にするために適宜拡大、縮小して示す。また、各図面において実施の形態を説明する上で重要でない部材の一部は省略して表示する。また、第１、第２などの序数を含む用語が多様な構成要素を説明するために用いられるが、こうした用語は一つの構成要素を他の構成要素から区別する目的でのみ用いられ、この用語によって構成要素が限定されるものではない。

【００３６】

具体的な実施の形態を説明する前に、基礎となる知見を説明する。本発明者は、研究の結果、人の臀部の皮膚にせん断変形（皮膚の方向に沿った変形）を加えることにより、乗

り物に乗ったときに誘発される加速感覚や、起伏を乗り越えた際の上下方向の運動感覚を再現できることを見出した。

【００３７】

例えば自動車のシートに腰掛けた状態で、加速又は減速したりステアリングを切ったりすると、運転者の臀部の一部は、前後や左右の方向にせん断変形する。本発明者はこの現象に着目し、シートに前後及び左右に運動する接触子を設けて、被験者の臀部にせん断変形を与えるだけで、被験者の前後及び左右方向の加速感覚を誘発して再現できることを見出した。

【００３８】

また、自動車に乗って段差や起伏を乗り越えると、身体が上下方向に運動して変位する。こうした上下運動の感覚も、皮膚のせん断変形により再現できることが分かった。例えば臀部がシートの座面から鉛直方向に運動すると、坐骨付近に分布していた圧力分布のピークは、尾てい骨の方向に変位する。本発明者はこの現象に着目し、圧力分布のピーク位置の変位を臀部の皮膚のせん断変形によって提示するだけで、座面からの突き上げに伴う感覚の誘発が可能となることを見出した。さらに本発明者は、起伏を乗り越えた際に生じる進行方向へのせん断力を臀部に提示するだけで、起伏を乗り越えたという感覚を誘発して再現できることをも見出した。

【００３９】

このような感覚が誘発される理由を発明者は次のように考えている。先ず、こうしたせん断力が皮膚に与えられると、皮膚には、単位体積あたりの力学的量の分布、例えばひずみエネルギーの分布（以下、「ひずみエネルギー密度分布」という）が形成される。すなわち、人がシートなどに接触した状態で運動すると、皮膚の各箇所にひずみが発生する。このひずみのエネルギー密度の時間的及び空間的な分布は、当該運動の種類、大きさ、方向などの特性を反映したものであると考えられる。力覚を司っている皮膚内部の機械受容器は、このひずみエネルギー密度分布によってニューロン発火の頻度が決定される。従って、人の皮膚に刺激を与えることによって、様々な運動に対応するひずみエネルギー密度分布を皮膚に形成すれば、実際にその人を動かさなくても、その人に自分がそのような運動をしているという感覚を誘発できると考えられる。

【００４０】

刺激を与える皮膚の部位は、臀部に限られず、背部、腹部、頭部、腕、手首あるいは足など、目的とする運動に対応するひずみエネルギー密度分布が形成されるための部位であれば、いずれであってもよい。また、目的とする運動に対応する力学的量の分布（以下、「力学的分布」と呼ぶ）は、ひずみエネルギー密度分布に限られず、ひずみ（例えば、主ひずみや相当ひずみなど）の分布、力（例えば、せん断力や垂直抗力など）の分布、応力（すなわち、単位面積あたりの力。例えば、圧力、主応力、ミーゼス応力など）の分布なども含む。

【００４１】

以下本明細書では、人が、あたかも自分が運動している、あるいは自分が空間的に変位しているかのように感じる感覚を「自己運動感覚」と呼ぶ。この自己運動感覚は、例えば乗り物に乗っているときのような、実際に自分が運動しているときに感じる運動感覚に限られない。例えば皮膚に接触した物体が運動しているときは、自分がその物体に対して相対運動しているように感じる。このような感覚、すなわち実際には自分が運動していないときに感じる運動感覚も、自己運動感覚に含まれるものとする。

本明細書において、「力覚を提示する」とは、人が感じる力の感覚について、当該力の大きさと方向を提示することをいう。

【００４２】

［第１実施の形態］

図１に、第１実施の形態に係る力覚提示装置１の機能ブロックを示す。力覚提示装置１は、人の皮膚Ｓに力学的分布を形成することによって力覚を提示する。力覚提示装置１は、ｎ個の刺激素子１１、１２、…、１ｎと、制御部２０と、を備える（ｎは２以上の整数

）。

【００４３】

刺激素子１１、１２、…、１ｎの各々は、人の皮膚Ｓに刺激を与える。刺激素子１１、１２、…、１ｎが皮膚Ｓに刺激を与える方法は、回転運動、せん断方向への引っ張り、圧迫、吸引などの力学的方法であってよい。刺激素子１１、１２、…、１ｎは、各々が単体で力覚を提示できるものであってもよい。あるいは、複数の刺激が共同して所定の力学的分布を形成することによって初めて力覚を提示できるものであってもよい。

【００４４】

制御部２０は、目的とする力覚を発生させる力学的分布を皮膚Ｓに形成するように刺激素子１１、１２、…、１ｎを制御する。制御部２０は、既知のコンピュータのハードウェア及びソフトウェアを用いて構成されてよい。制御部２０が刺激素子１１、１２、…、１ｎを制御する方法は、制御部２０の内部に記憶されたデータベース等に基づくものであってもよく、外部からの入力に基づくものであってもよく、あるいは機械学習などの学習に基づくものであってもよい。

【００４５】

隣接する刺激素子間の間隔は、空間的に連続な力覚を提示可能な間隔である。刺激素子間の間隔が離れすぎていると、力覚が空間的に不連続となってしまう。この場合、目的とする力覚を発生させる力学的分布を皮膚に形成することができない。隣接する刺激素子間の間隔は、例えば、当該隣接する刺激素子によって提示される力覚の範囲が重なりを持つような間隔であってよい。あるいは、隣接する刺激素子間の間隔は、当該皮膚の領域における二点弁別閾の範囲内にある間隔であってもよい。

【００４６】

力覚は、人の自己運動感覚を発生させる。すなわち、力覚提示装置１によって提示される力覚によって、人は、あたかも自分が運動している、あるいは自分が空間的に変位しているかのような感覚を覚える。前述のようにこの感覚は、実際に自分が運動しているときに感じる運動感覚であってもよいし、実際には自分が運動していないときに感じる運動感覚であってもよい。

【００４７】

本実施の形態によれば、人の皮膚に刺激を与えることによって、人に自分が運動しているような感覚を発生させる力覚を提示する装置を実現することができる。

【００４８】

［第２実施の形態］

図２に、第２実施の形態に係る力覚提示装置２の機能ブロックを示す。力覚提示装置２も、人の皮膚Ｓに力学的分布を形成することによって力覚を提示する。力覚提示装置２は、ｎ個の刺激素子１１、１２、…、１ｎと、制御部２０と、記憶部３０と、力覚指示部４０と、を備える（ｎは２以上の整数）。すなわち、力覚提示装置２は、図１の力覚提示装置１の構成に加えて、記憶部３０と、力覚指示部４０と、を備える。

【００４９】

刺激素子１１、１２、…、１ｎの構成と動作は、力覚提示装置１のものと共通であるので、説明を省略する。記憶部３０は、目的とする力覚を発生させる力学的分布及び当該力学的分布を形成するための各刺激素子の制御方法を記憶する。例えば記憶部３０は、目的とする力覚を発生させるためには、どのような力学的量が、時間的及び空間的に皮膚Ｓにどのように分布していればよいかを、データベースとして記憶する。なお、例えばひずみエネルギー密度分布のような力学的分布の場合、これを直接測定する装置は知られていないが、以下のようにシミュレーションを用いて計算することができる。シミュレーションは、例えば人体の有限要素モデルに基づく有限要素解析が有効である。シミュレーションでは、提示したい力覚を引き起こす物理的状況を入力とする。例えば自動車を運転中の自己運動感覚を誘発したい場合は、当該自動車の加速度を入力とする。このとき、予め定められたパラメータとして、人の体重や皮膚の弾性を定義しておくことによって、自動車の加速度に応じた皮膚の変形を解くことができる。これにより、ひずみエネルギー密度分布

を計算するためのモデルを得ることができる。得られたモデルの妥当性は、例えば以下のようにして検証することができる。すなわち、試験者が、例えば市販の加速度センサと面圧分布測定シートとを搭載した自動車を運転しながら、自らの臀部や背部の面圧を測定する。この測定結果を、モデルから計算された面圧と比較すれば、モデルがどの程度妥当であるかを検証できる。比較の結果、実測値とモデルからの計算値の差が大きかった場合は、改めてシミュレーションを行い、モデルを改良することもできる。

【００５０】

力覚指示部４０は、目的とする力覚を発生させることを制御部２０に指示する。制御部２０は、力覚指示部４０から目的とする力覚が指示されたときに、記憶部３０に記憶された当該力覚を発生させる力学的分布を皮膚Ｓに形成するように刺激素子１１、１２、…、１ｎを制御する。

【００５１】

本実施の形態によれば、目的とする力覚と当該力覚を発生させる力学的分布との関係を記憶部３０に記憶させておくことにより、所望のタイミングで所望の力覚を提示することができる。

【００５２】

［第３実施の形態］

図１において、制御部２０は、目的とする力覚を発生させる力学的分布を計算して、当該力学的分布を形成する刺激を皮膚Ｓに与えるように刺激素子１１、１２、…、１ｎを制御してもよい。人の背中にローラーを転がした力覚を提示する場合のように、力学的分布を比較的単純なモデルによって計算できる場合には、わざわざ第２実施の形態のように、力学的分布を人体の有限要素モデルに基づく有限要素解析によって計算して記憶させておく必要はなくなり、ハードウェア資源の節約になる。

【００５３】

本実施の形態によれば、目的とする力覚を発生させる力学的分布を計算することにより、所望の力覚を提示することができる。

【００５４】

［第４実施の形態］

図３に第４実施の形態に係る力覚提示装置３の機能ブロックを示す。力覚提示装置３もまた、人の皮膚Ｓに力学的分布を形成することによって力覚を提示する。力覚提示装置３は、ｎ個の刺激素子１１、１２、…、１ｎと、制御部２０と、記憶部３０と、力覚指示部４０と、学習部５０と、を備える（ｎは２以上の整数）。すなわち、力覚提示装置２は、図２の力覚提示装置２の構成に加えて、学習部５０を備える。刺激素子１１、１２、…、１ｎ、制御部２０及び力覚指示部４０の構成と動作は、力覚提示装置２のものと共通であるので、説明を省略する。

【００５５】

学習部５０は、人に提示された力覚と当該力覚を発生させた力学的分布との関係を学習する。提示された力覚とは人に与えられた力の大きさと方向のことであり、力学的分布は実施の形態２に記載したように有限要素解析などのシミュレーションで推定する。学習は、既知のＡＩにより行われてよい。ＡＩの具体的な手法は特に限定されないが、例えば畳み込みニューラルネットワーク（Ｃｏｎｖｏｌｕｔｉｏｎａｌ Ｎｅｕｒａｌ Ｎｅｔｗｏｒｋ：ＣＮＮ）、再帰形ニューラルネットワーク（Ｒｅｃｕｒｒｅｎｔ Ｎｅｕｒａｌ Ｎｅｔｗｏｒｋ：ＲＮＮ）、ＬＳＴＭネットワーク（Ｌｏｎｇ Ｓｈｏｒｔ Ｔｅｒｍ Ｍｅｍｏｒｙ：ＬＳＴＭ）などのニューラルネットワークを用いてもよく、この場合入力層を共通にした上で計算モデルごとに異なるニューラルネットワークを混在させてもよい。本実施の形態では、提示された力覚と当該力覚を発生させる力学的分布との組を大量に用意し、これらを学習データとしてＡＩに学習させる。これによりＡＩは、所望の力覚を入力したときに、当該力覚を発生させる力学的分布を計算して出力することができる。

【００５６】

記憶部３０は、学習部５０の学習結果を記憶する。制御部２０は、力覚指示部４０から

目的とする力覚が指示されたときに、記憶部３０に記憶された学習結果に基づいて、当該力覚を発生させる力学的分布を皮膚Ｓに形成するように刺激素子１１、１２、…、１ｎを制御する。

【００５７】

［第５実施の形態］

図４に、第５実施の形態に係る力覚提示装置４の模式図を示す。本実施の形態では、刺激素子１１、１２、…、１ｎは、背部又は臀部を含む身体部位に力覚を提示する。本発明者は、人の特に背部や臀部に力学的分布を形成することによって、より自由度の高い、解像度に優れた力覚を、身体の大面積で実現できることを見出した。従って、背部又は臀部を含む身体部位に力覚を提示すれば、より複雑な運動に対応した自己運動感覚を誘発できると考えられる。さらに本実施の形態は、刺激素子１１、１２、…、１ｎを既存の椅子などに取り付けることによって実現できる。これは、サイズやコストの面で大きなメリットとなる。

【００５８】

本実施の形態によれば、複雑な運動に対応した自己運動感覚を低コストで提示することができる。

【００５９】

［第６実施の形態］

力学的分布は、ひずみエネルギー密度分布であってよい。本発明者は、様々な力学的分布の中でも、特にひずみエネルギー密度分布を形成することにより、自己運動感覚を誘発できることを見出した。近年の研究によれば、人の皮膚内に存在する機械受容器のニューロン発火の頻度には、ひずみエネルギー密度に比例するものがあることが確認されている。例えば、人が「強い力を受けた」と感じるのは、機械受容器のニューロン発火が高い頻度で発生しているときに相当する。従って、感覚をコントロールするためには、ニューロン発火の頻度をコントロールすることが重要であると考えられる。このように考えると、自己運動感覚の誘発する場合も、ひずみエネルギー密度分布の形成が特に重要であることが分かる。

【００６０】

さらに、制御部２０は、目的とする力覚が大きければ大きいほど、ひずみエネルギー密度が大きくなるように刺激素子１１、１２、…、１ｎを制御してもよい。本発明者は、目的とする力覚の大きさと、ひずみエネルギー密度とは正の相関を持つことが多いことを見出した。従って、目的とする力覚が大きければ大きいほど、ひずみエネルギー密度が大きくなるように刺激素子１１、１２、…、１ｎを制御することにより、自己運動感覚を誘発できると考えられる。

【００６１】

［第７実施の形態］

刺激素子１１、１２、…、１ｎは、回転運動によって皮膚に刺激を与えてよい。このとき制御部２０は、刺激素子１１、１２、…、１ｎの回転角度及び回転方向を制御してもよい。

【００６２】

特に図４のように背部や臀部の広い範囲にわたって力覚を提示する装置の場合、皮膚に与える刺激は、吸引、電気刺激、温度刺激、圧迫、又は皮膚のせん断方向に沿った並進運動などによるものではなく、回転運動によるものであることが望ましい。その理由は以下の通りである。１つには、図４のような形態では、刺激は衣服を介して皮膚に与えられることが前提となる。この場合、例えば吸引、電気刺激又は温度刺激などによる刺激は直接適用することができない。２つには、圧迫による刺激は、椅子にかけた使用者の姿勢をずらす原因となるので、適切な力学的分布を皮膚に形成することの妨げとなる。さらに３つには、皮膚のせん断方向に沿った並進運動による刺激を与えようとした場合、動力源となるモータの回転運動を並進運動に変換する必要がある。このため機構が複雑となり、図４のような刺激素子を密に並べた形態には適用が難しいという問題が発生する。この点、回

転運動による刺激付与は、上記のような問題を伴うことなく、実施の形態に適用することができる。

【００６３】

本発明者は、刺激素子１１、１２、…、１ｎの回転角度及び回転方向を適切に制御することにより、自己運動感覚を発生させる力学的分布を皮膚に形成できることを実験的に確かめた。この場合、回転角度だけでなく、当該回転角度に到達するまでの時間を制御のパラメータに含めてもよい。

【００６４】

なお本実施の形態では、回転運動による刺激は、捻りそのものの方向を力覚として提示することが目的ではなく、刺激点付近のひずみエネルギー密度を励起させることが目的である点に注意する。実際に実験を行うと、刺激素子単体の回転方向が知覚されることはなく、複数の刺激素子が共同して所定のひずみエネルギー密度分布を形成することによって初めて力覚を提示することができる。

【００６５】

本実施の形態によれば、例えば乗り物に乗っているときのような、実際に自分が運動しているときに感じる運動感覚を発生させることもできる一方、例えば背中に密着した物体に対して自分が相対運動しているように感じる感覚、すなわち実際には自分が運動していないときに感じる運動感覚を発生させることもできる。

【００６６】

制御部２０は、目的とする力覚が大きければ大きいほど、刺激素子１１、１２、…、１ｎの回転角度が大きくなるように刺激素子１１、１２、…、１ｎを制御してもよい。本発明者は、目的とする力覚の大きさと、ひずみエネルギー密度とは正の相関を持つことが多いことを見出した。さらにひずみエネルギー密度と、刺激素子１１、１２、…、１ｎの回転角度ともまた正の相関を持つことも分かる。従って、目的とする力覚が大きければ大きいほど、刺激素子１１、１２、…、１ｎの回転角度が大きくなるように刺激素子１１、１２、…、１ｎを制御することにより、自己運動感覚を誘発することができる。

【００６７】

図５に、第７実施の形態に係る力覚提示装置５を写真で示す。刺激素子１１、１２、…、１ｎは、計２４個の刺激素子から構成される。すなわちｎ＝２４である。これらの刺激素子うち４つの刺激素子からなる組が、１つの刺激素子ユニットにまとめられる。刺激素子ユニットは正方形であり、刺激素子ユニットの四隅に、それぞれ刺激素子が配置される。図５には、刺激素子１１、１２、１３及び１４が刺激素子ユニット６０にまとめられた状態が示されている。６個の刺激素子ユニットが、椅子７０の背もたれ８０に、横２個、縦３個でアレイ状に配置される。すなわち刺激素子１１、１２、…、１２４は、椅子７０の背もたれ８０に、横４個、縦６個でアレイ状に配置される。隣接する刺激素子間の間隔は、５５ｍｍである。これは、人の背部における２点弁別閾が約４０ｍｍであるのに対し、空間的に連続な力覚を生成可能な間隔が約５５ｍｍであることが実験的に検証されたことによる。椅子７０の背もたれ８０は平面ではなく、緩やかな曲面を描くため、背もたれ８０の左右の刺激素子が中央に向かって傾斜するようマウントが調整されている。

【００６８】

刺激素子１１、１２、…、１２４の各々は、直径２０ｍｍ、厚さ５ｍｍの円盤状である。刺激素子１１、１２、…、１２４は、硬すぎると体に馴染まず、刺激素子１１、１２、…、１２４のエッジが接触することによる痛みや、刺激素子１１、１２、…、１２４と衣服との間の滑りが生じやすくなる。逆に刺激素子１１、１２、…、１２４が柔らかすぎると、回転力を伝えにくくなる。これらの特徴を考慮し、刺激素子１１、１２、…、１２４の素材として、適切なクロロプレンゴムスポンジが使用されている。

【００６９】

刺激素子１１、１２、…、１２４を回転させるためのアクチュエータには、小型のサーボモーターが使用される。このサーボモーターの出力可能な最大のトルクは０．２Ｎ・ｍであるが、これは背部の皮膚を変形させるのに十分である。刺激素子１１、１２、…、１

２４は、回転角度３０度、回転速度６０度／秒で回転するように制御される。

【００７０】

ある実施の形態では、前述の刺激素子ユニットは２軸のジンバルを備えてよい。図６に、互いに直行するｘ軸およびｙ軸の２軸のジンバルを備える刺激素子ユニット６１を写真で示す。図示されるように、刺激素子ユニット６１は、ｘ軸およびｙ軸の周りに独立して自由に回転することができる。

【００７１】

本実施の形態によれば、刺激素子ユニット６１が身体の凹凸に沿って回転することができるので、身体表面へのフィットが改善され、回転刺激の伝達効率を向上することができる。

【００７２】

［第８実施の形態］

力学的分布は、ひずみエネルギー密度分布の他、以下のようなものであってもよい。例えば、力学的分布はひずみの分布であり、このひずみは主ひずみ又は相当ひずみであってもよい。あるいは、力学的分布は力の分布であり、この力はせん断力又は垂直抗力であってもよい。さらに、力学的分布は応力の分布であり、この応力は、圧力、主応力又はミーゼス応力のいずれかであってもよい。

【００７３】

［第９実施の形態］

図１～３において、隣接する刺激素子間の間隔は、当該隣接する刺激素子によって提示される力覚の範囲が重なりを持つような間隔であってよい。本発明者は、隣接する刺激素子間の間隔をこのように設けることによって、空間的に連続な力覚をより確実に提示できることを見出した。

【００７４】

［第１０実施の形態］

図７に第１０実施の形態に係る力覚提示方法のフローを示す。この力覚提示方法は、提示する力覚と力学的分布との関係を決定するステップＳ１と、皮膚の複数の箇所に刺激を与えるステップとＳ２と、を備える。刺激を与えられる皮膚の隣接する箇所間の間隔は、空間的に連続な力覚を生成可能な間隔である。力覚は、人の自己運動感覚を発生させる。

【００７５】

ステップＳ１で、本力覚提示方法は、提示する力覚と当該力覚を発生させる力学的分布との関係を決定する。提示する力覚と当該力覚を発生させる力学的分布との関係の決定は、記憶手段等に記憶されたデータベース等に基づくものであってもよく、外部からの入力に基づくものであってもよく、あるいは機械学習などの学習に基づくものであってもよい。

【００７６】

ステップＳ２で、本力覚提示方法は、当該力覚を発生させる力学的分布を皮膚に形成するように皮膚の複数の箇所に刺激を与える。刺激を与える方法は、回転運動、せん断方向への引っ張り、圧迫、吸引などの運動学的方法であってよい。刺激は、各々が単体で力覚を提示することができるものによって与えられてもよい。あるいは、複数が共同して所定の力学的分布を形成することによって初めて力覚を提示することができるものによって与えられてもよい。

【００７７】

刺激を与えられる皮膚の隣接する箇所間の間隔は、例えば、当該隣接する箇所に提示される力覚の範囲が重なりを持つような間隔であってよい。あるいは、刺激を与えられる皮膚の隣接する箇所間の間隔は、当該皮膚の領域における二点弁別閾の範囲内にある間隔であってもよい。

【００７８】

力覚が発生させる自己運動感覚は、実際に自分が運動しているときに感じる運動感覚であってもよいし、実際には自分が運動していないときに感じる運動感覚であってもよい。

【００７９】
力学的分布は、ひずみエネルギー密度分布であってもよい。
【００８０】
本実施の形態によれば、人の皮膚に刺激を与えることによって、人に自分が運動しているような感覚を発生させる力覚を提示することができる。
【００８１】
［第１１実施の形態］
図８に第１１実施の形態に係る力覚提示装置６の機能ブロックを示す。力覚提示装置６は、人の運動による皮膚Ｓの力学的分布を計測するとともに、人の皮膚Ｓに力学的分布を形成することによって力覚を提示する。力覚提示装置６は、ｎ個の刺激素子１１、１２、…、１ｎと、ｎ個の力学的変化検知部１１ｓ、１２ｓ、…、１ｎｓと、制御部２０と、力学的分布計算部９０と、を備える（ｎは２以上の整数）。すなわち力覚提示装置６は、図１の力覚提示装置１の構成に追加して、ｎ個の力学的変化検知部１１ｓ、１２ｓ、…、１ｎｓを備える。力学的変化検知部１１ｓ、１２ｓ、…、１ｎｓ以外の構成で、力覚提示装置１と共通するものについては、詳しい説明を省略する。
【００８２】
力学的変化検知部１１ｓ、１２ｓ、…、１ｎｓの各々は、人の運動による当該人の皮膚Ｓの力学的変化を検知し、検知結果を力学的分布計算部９０に送信する。
【００８３】
力学的分布計算部９０は、力学的変化検知部１１ｓ、１２ｓ、…、１ｎｓが検知した前記人の皮膚の力学的変化から、当該力学的変化を発生させる皮膚の力学的分布を計算し、計算結果を制御部に送信する。この力学的分布は、ひずみエネルギー密度分布、ひずみの分布、力の分布または応力の分布などであってよい。
【００８４】
制御部２０は、力学的分布計算部９０から受信した皮膚の力学的分布を刺激素子毎に再現する。あるいは制御部２０は、力学的分布計算部９０が計算した力学的分布を皮膚に形成するように刺激素子１１、１２、…、１ｎを制御する。隣接する刺激素子間の間隔は、空間的に連続な力覚を提示可能な間隔である。力覚は、人の自己運動感覚を発生させるものである。
【００８５】
力覚提示装置６の具体的な使用例は、例えば以下の通りである。力覚提示装置６は、刺激素子を背もたれや座布団に備えた形態で構成する。使用者は、力覚提示装置６をドライブや遊園地などに持参する。使用者は、力覚提示装置６を自動車や遊具の座席にセットし、映像を撮影しながら自らの背中や臀部の力学的分布を計算する。使用者は帰宅後に、映像とともに力覚提示装置６から力覚を提示されることにより、高い臨場感で体験を追想することができる。
【００８６】
刺激素子が回転運動によって皮膚に刺激を与える場合、回転させたときの回転角と、そのときの電流値を計測することで、皮膚の力学的変化と力との関係が得られるので、例えば皮膚の硬さなども計測できる。さらにこれらの刺激素子を並べることにより、例えば皮膚の弾性の分布を計測することもできる。あるいは、刺激素子接触子が皮膚の面に対して垂直に圧力及ぼすものであれば、そのときの電流値を計測することで、圧力や皮膚の弾性の分布を得ることができる。
【００８７】
本実施の形態によれば、力学的変化検知部により実際の人の運動による皮膚の力学的変化を検知した後、この力学的変化を発生させる皮膚の力学的分布を計算する。これにより、当該実際の運動の感覚を再現する力覚を与えることができる。
【００８８】
［第１２実施の形態］
図９に第１２実施の形態に係る力覚提示装置６の機能ブロックを示す。力覚提示装置７

は、人の運動による皮膚Ｓの力学的分布を計測するとともに、人の皮膚Ｓに力学的分布を形成することによって力覚を提示する。力覚提示装置７は、ｎ個の刺激素子１１、１２、…、１ｎと、制御部２０と、力学的分布計算部９０と、を備える（ｎは２以上の整数）。力覚提示装置７の刺激素子１１、１２、…、１ｎは、前述の力学的変化検知部を備える。以下に示す通り、本実施の形態の刺激素子は、皮膚Ｓに対する刺激付与手段として機能するとともに、人の実際の運動に伴う皮膚Ｓの力学的変化を検知する検知手段（センサ）としても機能する。

【００８９】

この実施の形態では、刺激素子１１、１２、…、１ｎの各々は、力学的変化検知部を備えている。すなわち刺激素子１１、１２、…、１ｎは、人の運動による当該人の皮膚Ｓの力学的変化を検知するとともに、当該人の皮膚に刺激を与える。換言すれば、刺激素子は力学的変化検知部を兼ねている。従って刺激素子１１、１２、…、１ｎは、前述の実施の形態のように皮膚Ｓに対する刺激付与手段として機能するとともに、人の実際の運動に伴う皮膚Ｓの力学的変化を検知する検知手段（センサ）としても機能する。刺激素子１１、１２、…、１ｎが検知する皮膚Ｓの力学的変化は、刺激素子１１、１２、…、１ｎが皮膚Ｓに刺激を与える方法に依存する。例えば、刺激素子１１、１２、…、１ｎが回転運動によって皮膚Ｓに刺激を与える場合は、刺激素子１１、１２、…、１ｎは、人の運動に伴う皮膚Ｓの力学的変化として、皮膚Ｓの回転を検知する。あるいは、刺激素子１１、１２、…、１ｎがせん断方向への引っ張りによって皮膚Ｓに刺激を与える場合は、刺激素子１１、１２、…、１ｎは、人の運動に伴う皮膚Ｓの力学的変化として、皮膚Ｓのせん断方向への伸び又は縮みを検知する。あるいは、刺激素子１１、１２、…、１ｎが圧迫又は吸引によって皮膚Ｓに刺激を与える場合は、刺激素子１１、１２、…、１ｎは、人の運動に伴う皮膚Ｓの力学的変化として、皮膚Ｓが圧迫又は吸引されることに起因する皮膚Ｓのゆがみを検知し、制御部２０はこれを記憶する。

【００９０】

刺激素子１１、１２、…、１ｎが、人の運動による皮膚Ｓの力学的変化を検知する原理は以下の通りである。前述の実施の形態に係る力覚提示装置の刺激素子１１、１２、…、１ｎが、ある自己運動感覚を誘発する力学的分布を形成する刺激を、皮膚Ｓに与えたとする。このとき、この力覚提示装置を身に着けた使用者が実際にその運動を行った場合、刺激素子１１、１２、…、１ｎの各々は、皮膚Ｓに与えるべき刺激と逆向きの作用を受ける、あるいは当該逆向きの作用に起因する逆起電力を発生すると考えられる。こうした逆向きの作用や逆起電力を測定することにより、刺激素子１１、１２、…、１ｎは、人の実際の運動による皮膚Ｓの力学的変化をすることができる。

【００９１】

本実施の形態によれば、刺激素子が力学的変化検知部を兼ねているので、少ない部品数で、コンパクトかつ安価に力覚提示装置を実現することができる。

【００９２】

［第１３実施の形態］

図１０に第１３実施の形態に係る力覚提示装置８の機能ブロックを示す。力覚提示装置８もまた、人の運動による皮膚Ｓの力学的分布を計測するとともに、人の皮膚Ｓに力学的分布を形成することによって力覚を提示する。力覚提示装置７は、ｎ個の刺激素子１１、１２、…、１ｎと、ｎ個のセンサ１１ｓｓ、１２ｓｓ、…、１ｎｓｓと、制御部２０と、力学的分布計算部９０と、を備える（ｎは２以上の整数）。

【００９３】

センサ１１ｓｓ、１２ｓｓ、…、１ｎｓｓの各々は、人の運動による当該人の皮膚Ｓの力学的変化を検知し、検知結果を力学的分布計算部９０に送信する。

【００９４】

センサ１１ｓｓ、１２ｓｓ、…、１ｎｓｓは、例えば速度センサ、加速度センサまたは圧力センサなど、人の運動による皮膚の力学的変化を検知できる任意の好適なセンサであってよい。図９の力覚提示装置７では、刺激素子が力学的変化検知部を兼ねていた。これ

に対し力覚提示装置８の力学的変化検知部は、刺激素子ユニットと独立に設けられたセンサによって実現される。

【００９５】

本実施の形態によれば、任意の好適なセンサを用いて皮膚の力学的変化を検知できるので、より精度の高い高性能の力覚提示装置を実現することができる。

【００９６】

［第１４実施の形態］

図１１に第１４実施の形態に係る力覚提示装置９の機能ブロックを示す。力覚提示装置９もまた、人の運動による皮膚Ｓの力学的分布を計測するとともに、人の皮膚Ｓに力学的分布を形成することによって力覚を提示する。力覚提示装置８は、ｎ個の刺激素子１１、１２、…、１ｎと、ｎ個の力学的変化検知部１１ｓ、１２ｓ、…、１ｎｓと、制御部２０と、力学的分布計算部９０と、カメラ１００と、映像同期部１１０と、を備える（ｎは２以上の整数）。すなわち力覚提示装置９は、図８の力覚提示装置６の構成に追加して、カメラ１００と、映像同期部１１０と、を備える。カメラ１００および映像同期部１１０以外の構成で、力覚提示装置６と共通するものについては、詳しい説明を省略する。

【００９７】

力学的変化検知部１１ｓ、１２ｓ、…、１ｎｓは、人の運動に伴う皮膚Ｓの力学的変化を検知し、検知結果を映像同期部１１０に送信する。カメラ１００は、カメラを操作する人から見た主観映像、すなわち当該人の視点で撮影された映像を撮影し、その映像を映像同期部１１０に送信する。映像同期部１１０は、人の皮膚の力学的変化と主観映像の変化との関係を算出する。すなわち映像同期部１１０によって、主観映像がある変化をしたとき、それに伴って人の皮膚がどのような力学的変化をするのかが算出される。例えば、主観映像内の周りの景色に対して自分が加速度運動したとき皮膚がどのような力学的変化をするか、主観映像内の周りの景色に対して自分が傾いたとき皮膚がどのような力学的変化をするか、といった具合である。映像同期部１１０は、算出した人の皮膚の力学的変化と主観映像の変化との関係を力学的分布計算部９０に送信する。

【００９８】

力学的分布計算部９０は、映像同期部１１０が算出した人の皮膚の力学的変化と主観映像の変化との関係に基づいて、主観映像が変化したときの人の皮膚の力学的変化から、当該力学的変化を発生させる皮膚の力学的分布を計算する。これにより力覚提示装置７は、カメラを操作する人の視点から見た映像が変化したときに当該人が感じる自己運動感覚を発生させる力覚を提示する。

【００９９】

本実施の形態によれば、映像と同期したよりリアルな自己運動感覚を提示することができる。

【０１００】

［第１５実施の形態］

図１２に第１５実施の形態に係る力覚提示方法のフローを示す。この力覚提示方法は、人の運動による皮膚の力学的変化を検知するステップＳ３と、当該力学的変化を発生させる皮膚の力学的分布を計算ステップとＳ４と、皮膚の複数の箇所に刺激を与えるステップＳ５と、を備える。刺激を与えられる皮膚の隣接する箇所間の間隔は、空間的に連続な力覚を生成可能な間隔である。力覚は、人の自己運動感覚を発生させる。

【０１０１】

ステップＳ３で本力覚提示方法は、センサ等を用いて、人の運動による前記人の皮膚の力学的変化を検知する。運動による皮膚の力学的変化は、皮膚の回転、皮膚のせん断方向への伸び又は縮み、圧迫又は吸引されることによる皮膚のゆがみなどであってよい。

【０１０２】

ステップＳ４で本力覚提示方法は、ステップＳ３で検知した人の皮膚の力学的変化から、当該力学的変化を発生させる皮膚の力学的分布を計算する。

【０１０３】

ステップＳ５で本力覚提示方法は、ステップ３で検知した力学的変化を再現する。あるいはステップＳ５で本力覚提示方法は、ステップＳ４で計算した力学的分布を皮膚に形成するように皮膚の複数の箇所に刺激を与える。

【０１０４】

本実施の形態によれば、実際の人の運動による皮膚の力学的変化を検知し、この力学的変化を発生させる皮膚の力学的分布を計算することができる。これにより、当該実際の運動の感覚を再現する力覚を与えることができる。

【０１０５】

［第１６実施の形態］

図１３に第１６実施の形態に係る力覚提示方法のフローを示す。この力覚提示方法は、人の運動による皮膚の力学的変化を検知するステップＳ３と、主観映像を撮影するステップＳ６と、皮膚の力学的変化と主観映像の変化との関係を算出するステップＳ７と、力学的変化を発生させる皮膚の力学的分布を計算ステップとＳ４と、皮膚の複数の箇所に刺激を与えるステップＳ５と、を備える。すなわちこの方法は、図１２の方法に追加して、ステップＳ６と、ステップＳ７と、を備える。ステップＳ６およびステップＳ７以外の処理で、図１２の方法と共通するものについては、詳しい説明を省略する。

【０１０６】

ステップＳ３で本力覚提示方法は、センサ等を用いて、人の運動による前記人の皮膚の力学的変化を検知する。

【０１０７】

ステップＳ６で本力覚提示方法は、カメラ等を用いて、当該カメラを操作する人から見た主観映像、すなわち当該人の視点で撮影された映像を撮影する。

【０１０８】

ステップＳ７で本力覚提示方法は、当該カメラを撮影した人の皮膚の力学的変化と主観映像の変化との関係を算出する。すなわちステップＳ７の処理によって、主観映像がある変化をしたとき、それに伴って人の皮膚がどのような力学的変化をするのかが算出される。例えば、主観映像内の周りの景色に対して自分が加速度運動したとき皮膚がどのような力学的変化をするか、主観映像内の周りの景色に対して自分が傾いたとき皮膚がどのような力学的変化をするか、といった具合である。

【０１０９】

ステップＳ４で本力覚提示方法は、算出した前記人の皮膚の力学的変化と前記主観映像の変化との関係に基づいて、前記主観映像が変化したときの前記人の皮膚の力学的変化から、当該力学的変化を発生させる皮膚の力学的分布を計算する。

【０１１０】

ステップＳ５で本力覚提示方法は、ステップＳ４で計算した力学的分布を前記人の皮膚に形成するように皮膚の複数の箇所に刺激を与える。

【０１１１】

本実施の形態によれば、映像と同期したよりリアルな自己運動感覚を提示することができる。

【０１１２】

［第１７実施の形態］

前述の実施の形態では、刺激素子は、背中や臀部など比較的動きの少ない身体部位に刺激を与えるものの例を示した。しかしこれに限られず、刺激素子は、手や足など動きの大きい身体部位に刺激を与えてもよい。このとき制御部は、当該身体部位を動かした際に生じる皮膚の伸びに応じた力学的分布を皮膚に形成するように刺激素子を制御してもよい。

【０１１３】

本実施の形態によれば、例えば椅子に着座して静止しているユーザに対し、あたかも自分の手足を動かしているかのような自己運動感覚を与えることができる。

【０１１４】

［第１８実施の形態］

刺激素子は、当該刺激素子を装着した人に対して、例えば触れられる、なぞられる、掴まれる、小動物が身体上を駆け回るといった動きを伴う、あるいは空間的な流れを伴う感覚を与えてもよい。このとき刺激素子ユニット内の回転刺激素子は、以下のように制御される。すなわち、先ず刺激素子を装着した人に刺激を付与するための刺激付与点が与えられ、この刺激付与点が当該人の皮膚上で移動させられる。そして各刺激素子は、刺激付与点に近いものほど回転角度が大きくなるように、刺激付与点から遠いものほど回転角度が小さくなるように制御される。具体的には制御部は、刺激を付与するための刺激付与点を人の皮膚上で移動し、当該刺激付与点からの距離が小さければ小さいほど、刺激素子の回転角度が大きくなるように刺激素子を制御する。このような制御を行うことにより、あたかも刺激付与点が滑らかに動いた、あるいは流れたかのような運動感覚をユーザに与えることができる。刺激付与点と刺激素子との距離と、当該刺激素子の回転角度との関係を適切に定義することにより、触れられる、なぞられる、掴まれる、小動物が身体上を駆け回るといった所望の空間的な流れを伴う感覚を人に与えることができる。

【０１１５】

以上、本発明の実施の形態について詳細に説明した。これらの実施の形態は例示であり、いろいろな変形及び変更が本発明の特許請求の範囲内で可能なこと、またそうした変形例及び変更も本発明の特許請求の範囲にあることは当業者に理解されるところである。従って、本明細書での記述及び図面は限定的ではなく例証的に扱われるべきものである。

【０１１６】

［変形例］

以下、変形例について説明する。変形例の図面及び説明では、実施の形態と同一又は同等の構成要素、部材には、同一の符号を付する。実施の形態と重複する説明を適宜省略し、第１実施の形態と相違する構成について重点的に説明する。

【０１１７】

実施の形態では、刺激素子ユニットは、横方向に２個、縦方向に２個の刺激素子を備えた正方形状のものを例示した。しかしこれに限られず、例えば、刺激素子ユニットは、横方向に３個、縦方向に３個の刺激素子を備えるものや、横方向に４個、縦方向に４個の刺激素子を備えるものであってもよい。あるいは刺激素子ユニットは、横方向に２個、縦方向に３個の刺激素子を備える長方形状のものであってもよい。本変形によれば、構成の自由度を高めることができる。

【０１１８】

実施の形態では、力覚提示装置を単体で使用する例を示した。しかしこれに限られず、複数の力覚提示装置を、身体の異なる箇所に組み合わせて使用してもよい。また、画像が表示されるＨＭＤ（ヘッドマウントディスプレイ）等を、力覚提示装置と組み合わせて使用してもよい。これにより、より臨場感の高い自己運動感覚を与えることができる。

【０１１９】

これらの各変形例は実施の形態と同様の作用、効果を奏する。

【０１２０】

上述した各実施の形態と変形例の任意の組み合わせもまた本発明の実施の形態として有用である。組み合わせによって生じる新たな実施の形態は、組み合わされる各実施の形態及び変形例それぞれの効果をあわせもつ。

【産業上の利用可能性】

【０１２１】

本発明は、人の皮膚に刺激を与えることによって力覚を提示する力覚提示装置及び力覚提示方法に利用可能である。

【符号の説明】

【０１２２】

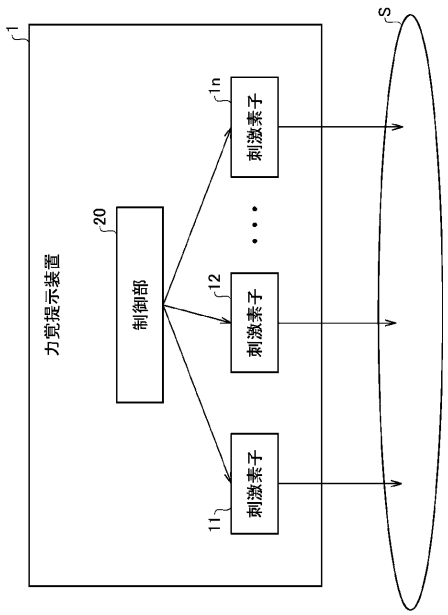
１・・力覚提示装置

２・・力覚提示装置

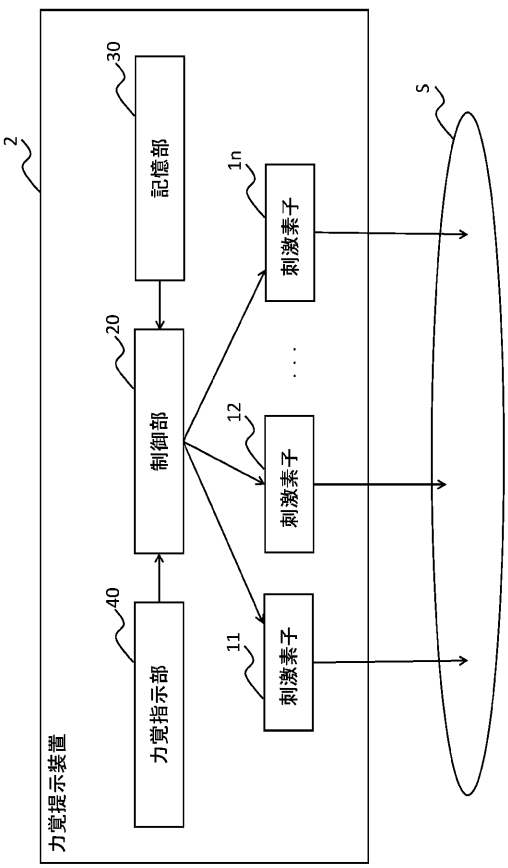
３・・力覚提示装置

４・・力覚提示装置
５・・力覚提示装置
６・・力覚提示装置
７・・力覚提示装置
８・・力覚提示装置
９・・力覚提示装置
１１・・刺激素子
１２・・刺激素子
１３・・刺激素子
１４・・刺激素子
１ｎ・・刺激素子
２０・・制御部
３０・・記憶部
４０・・力覚指示部
５０・・学習部
６０・・刺激素子ユニット
６１・・刺激素子ユニット
７０・・椅子
８０・・背もたれ
９０・・力学的分布計算部
１００・・カメラ
１１０・・映像同期部
Ｓ・・皮膚
Ｓ１・・力覚と力学的分布との関係を決定するステップ
Ｓ２・・皮膚の複数の箇所に刺激を与えるステップ
Ｓ３・・人の運動による皮膚の力学的変化を検知するステップ
Ｓ４・・当該力学的変化を発生させる皮膚の力学的分布を計算するステップ
Ｓ５・・皮膚の複数の箇所に刺激を与えるステップ
Ｓ６・・主観映像を撮影するステップ
Ｓ７・・皮膚の力学的変化と主観映像の変化との関係を算出するステップ

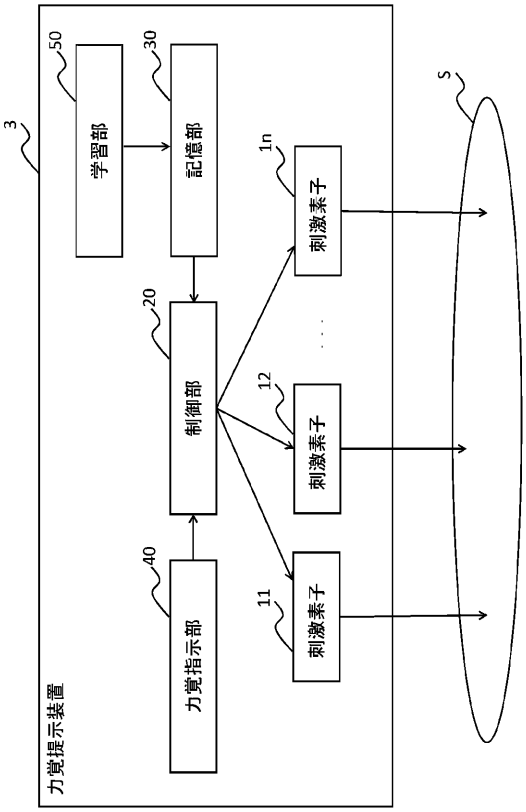
【図１】


1
力覚提示装置
20
制御部
11
刺激素子
12
刺激素子
1n
刺激素子
S

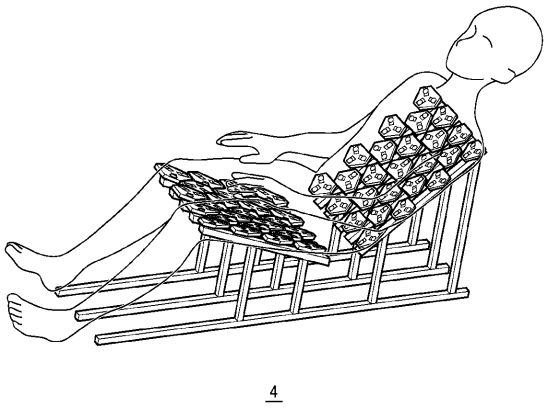
【図２】


2
力覚提示装置
40
力覚指示部
20
制御部
30
記憶部
11
刺激素子
12
刺激素子
1n
刺激素子
S

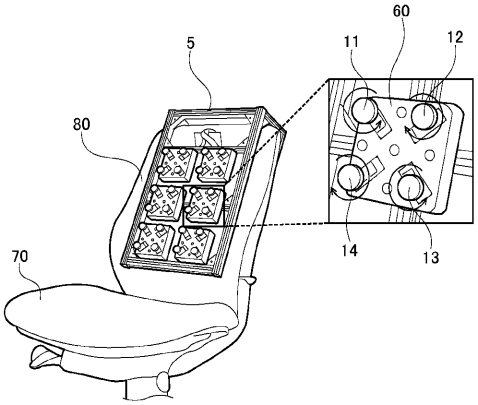
【図３】


3
力覚提示装置
40
力覚指示部
20
制御部
50
学習部
30
記憶部
11
刺激素子
12
刺激素子
1n
刺激素子
S

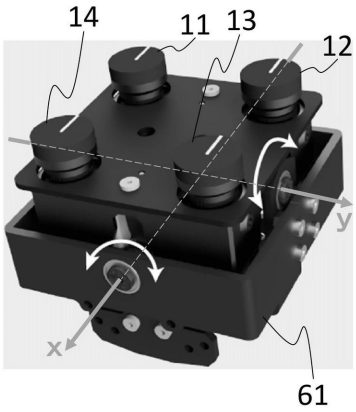
【図４】


4

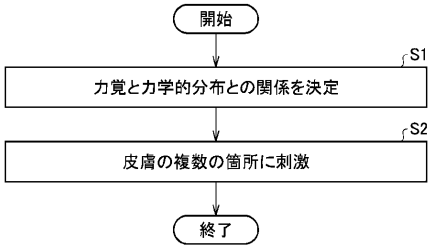
【図５】


5
60
11
12
80
70
14
13

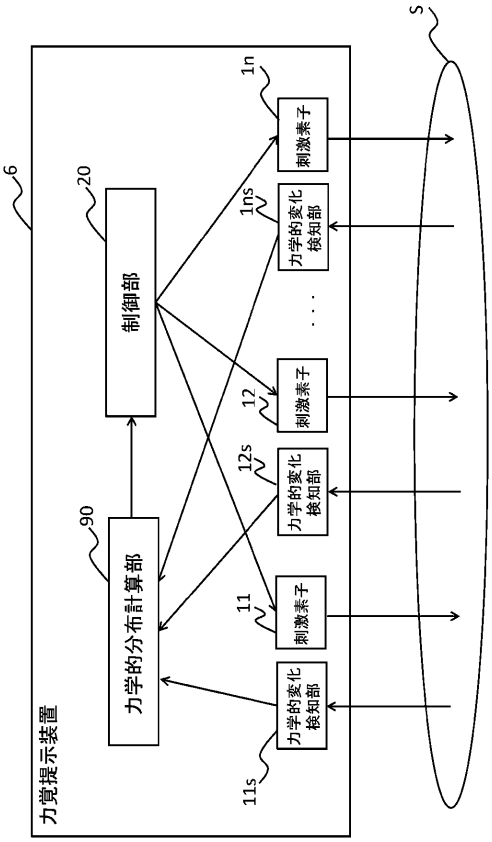
【図６】


14
11
13
12
y
x
61

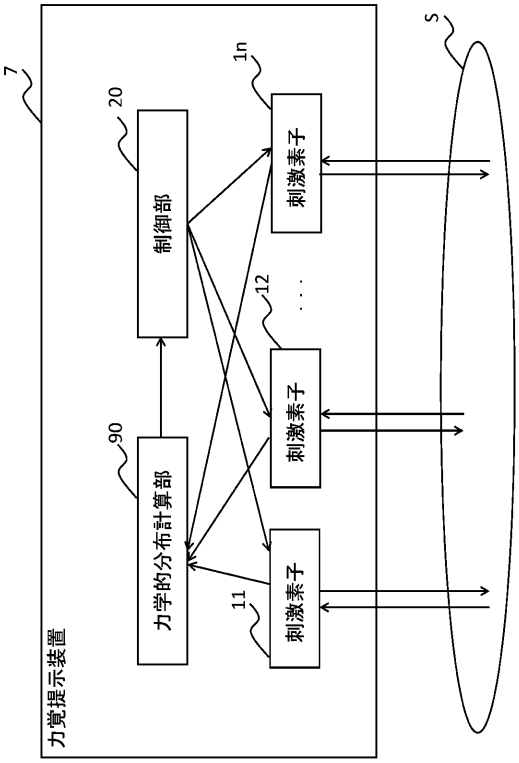
【図７】


開始
S1
力覚と力学的分布との関係を決定
S2
皮膚の複数の箇所に刺激
終了

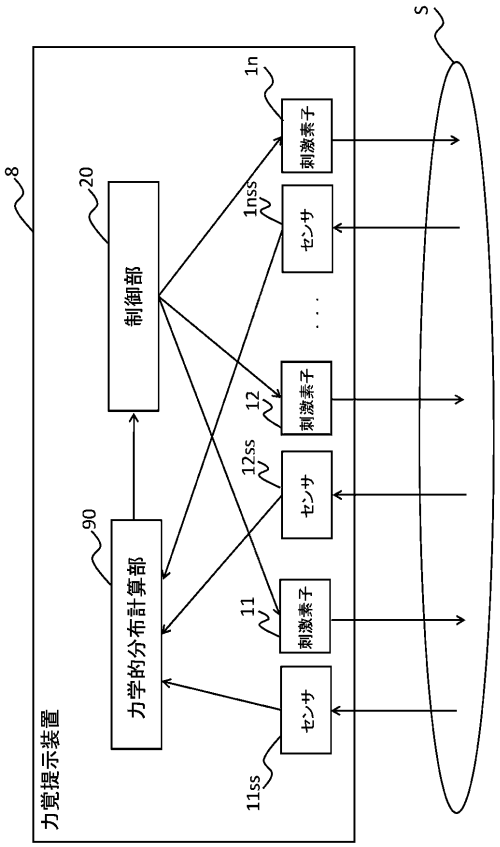
【図８】


6
力覚提示装置
20
制御部
90
力学的分布計算部
11s
力学的変化検知部
11
刺激素子
12s
力学的変化検知部
12
刺激素子
1ns
力学的変化検知部
1n
刺激素子
S

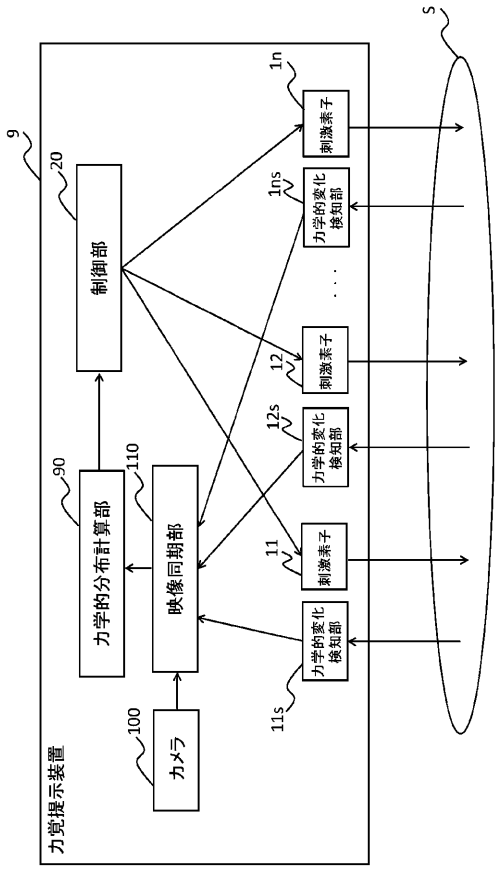
【図９】


7
力覚提示装置
20
制御部
90
力学的分布計算部
11
刺激素子
12
刺激素子
1n
刺激素子
S

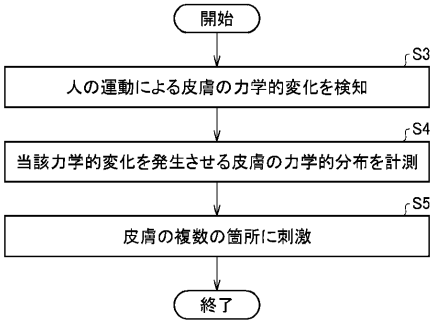
【図１０】



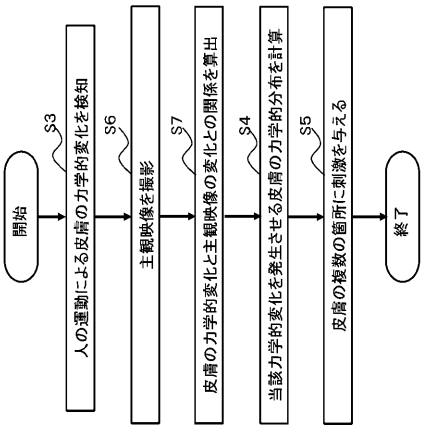
【図１１】



【図１２】



【図１３】



フロントページの続き

(56)参考文献　特表２０１２－５２４３１９（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２００９／０３５１００（WO，Ａ１）
特開２０１８－００８２５０（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－０７７６３１（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０６Ｆ３／０１