

下肢部駆動による身体運動感覚の生成に関する研究

池井研究室

12889538 増田 幸矩

1. 序論

近年、情報通信技術の中で、五感情報を活用するインタフェースに期待が高まっている。特に、身体運動感覚とその他の五感情報の統合により高品質な情報伝達が可能となり、臨場感体験による産業応用やQOLの向上に貢献出来ると考えられる。

またそれにより、身体運動に関するプレゼンス、及び五感追体験(バーチャル旅行体験)を生成するために、身体運動生成装置の一部として踵駆動装置を構成する。可動椅子及び下肢部駆動並進機構とともに用いて、着座したまま歩行感覚を生成する手法を探求する。

2. 身体運動感覚とその提示システム

2.1 身体運動感覚

身体運動を知覚するための感覚は複合的であり、頭部の重力や加速度運動に関する前庭感覚、および筋肉や関節に関する固有感覚はその主要な要素である。これらの感覚は、筋肉や関節の活動と重力や身体の加速度などの状態を総合して、空間中での身体の運動状態、体躯と四肢等の位置関係などの情報を与えている。

2.2 身体運動感覚の提示システム

身体運動提示システムの一般的な例としては、ビークル等のシミュレータ[1,2]による間接的運動提示がある。また、身体運動として下肢を対象とするVRインタフェースとしてはロコモーションインタフェースが挙げられる。

3. システム構成

3.1 下肢部駆動装置の構成

本研究で構築した下肢部駆動機構(Copernicus)は、2次

元平面運動を足先に生成する構成である(図1)。本デバイスは、天板が2次元に並進運動することで身体運動に関する部分的な感覚、例えばユーザの脚の運動および地面の運動を表現する。通常、ユーザは座席に座り、足裏を天板に設置する。天板寸法は、x方向550mm、y方向460mmであり、可動範囲は約±85mmである。モータのトルクT(Nm)、

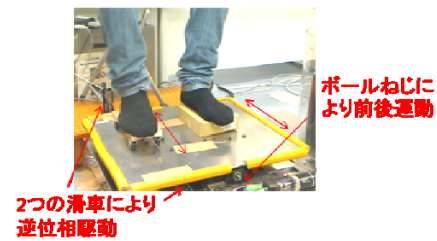


図1 下肢部駆動装置

減速比R、軸方向の外部荷重P(N)、ボールねじの効率 η 、ボールねじのリードL(m)とすると、 $TR=PL/2\pi\eta$ (Nm)であり、モータの最大連続トルク 170×10^{-3} Nm から、軸方向出力は約 127 kg となっている。

3.2 踵駆動装置の構成

下肢踵部を鉛直方向に持ち上げるため、回転板を揺動駆動する装置(図1)を構成した。両足踵部をつま先付近を中心として回転する板により、鉛直方向に運動させる。ステッピングモータによる回転角度はおおよそ 70° であり、足首の回転範囲を包含する。回転板の最大トルクは288Nm、最大回転速度は8.69rad/sであり、分解能は 3.49×10^{-4} rad。

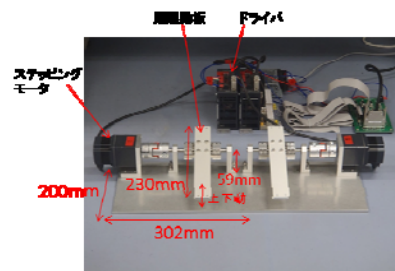


図2 踵駆動装置

4. 下肢部駆動装置による身体運動感覚の提示

4.1 コケルニクスによる歩行表現

公開展示の結果を受けて、コケルニクス単体の身体運動感覚の表現の改善のために、まず歩行表現について検討した。コケルニクス単体での歩行表現で、どのような要素が歩行感覚を強めるものとなっているか以下の実験で調査した。

4.2 コケルニクス単体の歩行表現検討実験

被験者にはあらかじめメトロノームを用いて、一歩が0.7 sとなるよう歩行させ、これを評価の基準としてコケルニクスの歩行表現がどの程度歩行を感じられるものであるかグラフ尺度で評価させた。刺激の種類として、初期位置を原点として往復運動するものを、両足を揃えて同位相で動かすもの・片足を固定台に乗せもう片方の足を天板に乗せ片足のみ動かすもの・片足を台車に乗せ、左右の足が逆位相で動くものの3種類、振幅の大きさを6 mm, 12 mm, 24 mm, 48 mmの4種類、出戻りの速度比3:4, 1:1, 4:3の3種類、計36種類。被験者は本学学部生、院生の6名。結果の一部を以下に示す。

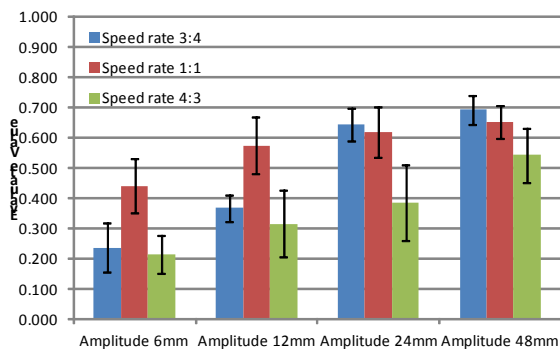


図3 両足逆位相提示

図2は左右それぞれの足が逆位相で動かされた場合のグラフである。振幅が大きくなるにつれて歩行感は増加した。また振幅が大きくなるにつれて速度比が3:4となる場合に歩行感が増加する傾向がある。実際の歩行時において足を踏み出す時の、それまで体重を支えていた足からもう片方の足に重心が移動したあと、足の振り出される速度が徐々に大きくなる[3]。これがコケルニクスの歩行表現において、どちらかの足が原点から膝が前に伸びる方向に動かされた時の減速している状態と、その状態から元の原点の位置に戻そうと動かされた場合の膝が曲がりながら加速している

首都大学東京ヒューマンメカトロニクスシステム学域

状態に対応していると考えられる。この仮説を確かめるため、加速度センサで計測した進行方向の加速度を積分し、速度の変化を求めた結果、足が地面に着く前から減速し始め、着いたと同時に速度が最小となった。速度変化の時間的割合については、最小値から速度最大までと最大値から最小値までで約3:2となり、コケルニクスの表現とおおよそ一致した。

5. 踵駆動装置による歩行表現

公開展示やこれまでの実験を通して、現在のコケルニクスの構成では歩行感覚等の身体運動感覚を表現する上で不十分であると考え、上で示した上下に運動する機構を設計製作した。

制作した装置を用いて歩行を表現するために実際の歩行および走行運動における下肢部(主に踵)の空間軌道をモーションキャプチャ装置とトレッドミルにより計測し、踵駆動装置による歩行運動表現のための基礎データを得る。

このデータをもとに踵駆動装置で表現可能な範囲で、簡易的に歩行表現を行った結果、実際の歩行時には30cm前後上下していた踵が、約10分の1の変位である4cm程の変位でも歩行に近い感覚を得ることができた。

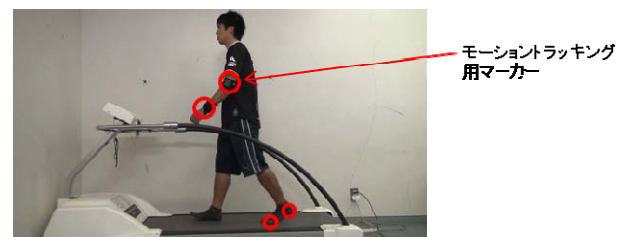


図4 歩行特性調査風景

6. 結論と今後の課題

二次元平面を運動するコケルニクスによる歩行表現は、実際の歩行の速度変化や重心移動に対応付けることで歩行感を増加させることが出来るということが示唆された。

今後の課題として、踵駆動装置単体での歩行表現のさらなる評価を行い、コケルニクスとの連動評価も行う。また、可動椅子や、足裏振動刺激装置といったその他のデバイスとの連動評価も行い、身体運動感覚の統合提示手法を構築していく必要があると考える。