

# 下肢部振動付与と聴覚刺激による歩行運動の表現に関する研究

池井研究室 12889507 奥屋 裕次郎

## 1. はじめに

近年、情報通信技術の進展に伴い、遠隔地間の臨場感体験への要求が高まっている。人間の五感に情報をフィードバックすることにより、体験者自身の身体の運動感覚を表現することが可能であると考えられ、また身体の運動感覚を表現することにより、遠隔操作や高品質で豊かな五感の体験が可能になると考えられる。

そこで本研究では、表現対象を**歩行運動**に着目し、聴覚と触覚刺激を統合提示することで、歩行運動感覚を体験者に想起させることを目的とする。

## 2. 歩行運動感覚生成の作業仮説

歩行運動とは、通常人間の無意識化で行われる随意的な運動である。また、人間の下肢関節部には関節の角度・角速度変化を検知するゴルジ腱器官が存在することが知られており、それら深部感覚器官が歩容の状態を求心性の感覚として伝達している。本研究では、皮膚感覚に振動刺激を提示することにより、下肢関節部の関節角度・角速度、また接地時の衝撃を表現する。本研究での歩行感覚表現の概要を図1に示す。

体験者に身体の運動感覚を想起させるためには、下肢部振動付与により、機械的刺激として受容される皮膚感覚を、深部感覚(自己受容感覚)の情報として知覚させる必要がある。歩行運動は、高次の随意性は必ずしも高

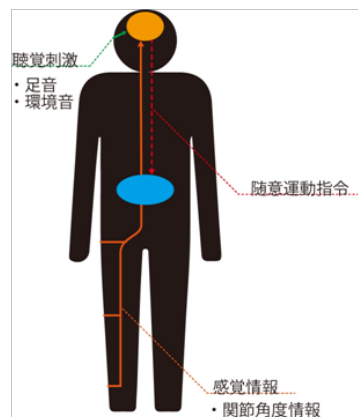


図1 歩行感覚表現の概要

くないため、疑似的な随意運動としての認知傾向を生成することが可能と考えられる。また、聴覚刺激として接地時の足音や、外界の音場を提示することにより、体験者に異なる空間への深い没入感を促すことが可能であると考えられる。

本研究では、下肢部への振動付与と聴覚刺激を時空間的に一致させ、統合提示することで、体験者の身体を動かさずして能動的な運動表現を行えるのではないか。という仮説の上で研究を進める。

## 3. システムの概要

本研究では、触覚刺激として下肢関節部への振動付与、また聴覚刺激として立体音響を提示する。振動提示には、音響帯域での振動提示に特化された広帯域トランスデューサ(16-15,000Hz)を用いる。出力制御には、制御PCに設置したDAボード、及びその出力を増幅するアンプユニット(図2)を用い、16chの振動駆動が可能となっている。

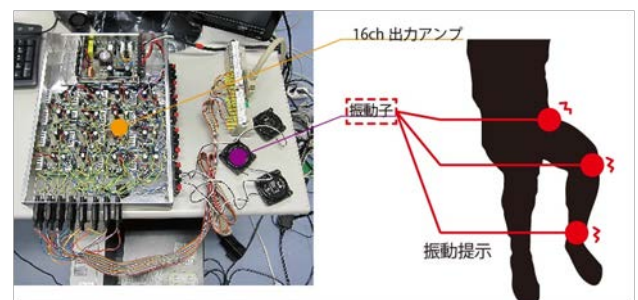


図2 振動提示システムの概要

また、同振動子を有する足裏振動提示装置を用い、足裏へ接地時の衝撃を模擬した表現を行う。足裏振動提示装置は、研究室の同輩が歩行感覚表現に関する研究で設計・制作したものである。

実際の提示付与の様子を図3に示す。

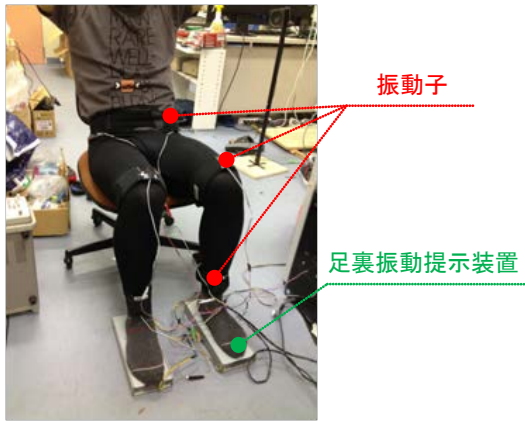


図3 振動提示の様子

## 4. 歩行感覚表現の手法

### 4.1. 振動提示による歩行運動の表現

人間の歩行運動では、“片側の足が接地して再び地面に接地するまで”の時間を歩行周期と定義されている。歩行周期の中には、立脚期(足が地面に接地している間)と遊脚期(足が滞空している間)の2つのフェイズがあることが知られており、振動提示によって歩行運動を表現する際には、それら2つの相を表現することが必要であると考えられる。本研究では、下肢部振動付与により、以下の2つの表現を行う。

- ① 接地時の床反力による衝撃
- ② 下肢関節部の回転角度・角速度

①で立脚相、②で遊脚相の表現を行うことで、歩行周期中の下肢の運動を表現することが可能であると考えられる。①の表現に関しては、足が地面に接地する際、発生した振動が膝関節まで伝搬することが関連研究により明示されているため、適切な振動提示を行うことにより、模擬できると考えられる。②の表現については、先行研究がないため、提示箇所と提示波形についてより吟味して行う必要がある。

### 4.2. 下肢関節部の触感覚特性の調査

下肢関節部へ振動付与を行うにあたり、下肢関節部の触感覚特性を調査する必要がある。そのため、骨盤・膝関節・足首部に着目し、卒論時に

以下のような基礎調査を行った。

- I. 骨盤・膝関節・足首の感覚強度の調査
- II. 下肢触覚の時間分解能の特性の調査

これらの基礎調査から、振動提示に用いる周波数は50-250Hz程度が適しており、また2点間への刺激立ち上がり時間差20msが立ち上がり時間差を知覚する域値ということが示唆された。

### 4.3. 歩行中の下肢関節の角度変化の計測

下肢関節部の運動を振動で表現するにあたり、人間の歩行中における関節角度の状態を計測した。計測には3つのポテンシオメータを用い、骨盤・膝関節・足首に装着した状態で、歩行中の角度変化を計測した。その様子を図4に示す。

歩行中の下肢関節は周期的に運動しており、遊脚相での膝関節の角度変化が最も大きく、40度程度後方に回転する。ゆえに、遊脚期における下肢関節部の運動表現では、膝蓋骨付近に振動提示を行うことが効果的であると考えられる。

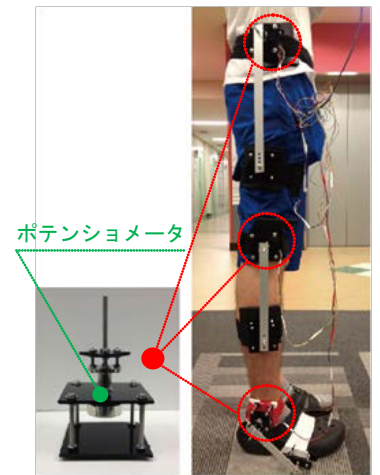


図4 下肢関節の角度計測

## 5. 今後の展望

現在、膝関節への振動提示に際して、膝蓋骨の振動提示箇所による歩行感覚想起度の定性評価を行っている。現段階の評価では、接地時の衝撃を模擬する際には、膝蓋骨付近の脛骨前面に低周波の振動刺激。膝関節の回転運動を模擬する際には、膝蓋骨付近の大腿骨側面に高周波の振動提示が、歩行感覚表現において適していると示唆された。

今後は、歩行周期に合わせて、2つの表現を含めた振動刺激による歩行感覚想起度の評価を行い、聴覚刺激と統合することで、最適な歩行運動感覚表現の手法を探究する。