

2025 年 1 月 6 日

情報・知能工学専攻		学籍番号	第 183355 号	指導教員	北崎充晃
氏名	中村純也				南哲人

論文内容の要旨（博士）

博士学位論文名	視触覚提示による身体運動を伴わないバーチャル歩行体験の生成
---------	-------------------------------

（要旨 1,200 字程度）

近年、高齢化や疾患、パンデミックなどの社会的制約により、自由に歩行や移動することが困難な人々が増加している。歩行は心身の健康に重要な役割を果たすため、実際の身体運動を伴わずに歩行体験を提供できる解決策が求められている。本研究は、視覚および触覚提示を用いて、身体運動を伴わないバーチャル歩行体験を生成するシステムを開発し、実験を通してその効果を評価した。本研究では、主観視点と三人称視点からの自己身体アバターの観察、歩行時の足への触覚を模した足裏振動刺激、360度動画を用いた写実的なバーチャル環境の導入、観察姿勢の比較を行い、ユーザーにリアルなバーチャル歩行体験を提供する方法を検討した。

まず、アバターの種類（全身アバター、手足のみアバター、アバターなし）と観察視点（主観視点、三人称視点）、および足裏振動の同期性（同期、非同期）が、歩行感覚や遠隔臨場感等に与える効果を評価した。その結果、主観視点での全身アバター提示と足裏振動の同期の組み合わせが、歩行感覚、脚運動感、遠隔臨場感が最も向上し、自己身体アバター観察の効果を明らかにした。手足のみのアバターでもある程度の効果が見られた。一方、三人称視点でのアバター提示は、これらの感覚を低下させる傾向が示された。

また、360度動画と足裏振動によるバーチャル歩行環境においては、振動パターンと視覚的なシーンとの一致性が、歩行に関連する感覚と地面の質感知覚に与える効果を検討した。その結果、振動パターンが視覚的なシーンと一致する場合、屋内の廊下や雪道、砂利道を想定したシーンで、歩行感覚と遠隔臨場感が強化され、地面質感知覚も強化された。一方、振動パターンと視覚シーンが不一致である場合、地面質感の知覚が混乱し、バーチャル歩行体験の効果が低下した。

さらに、360度動画によるバーチャル環境においては、動画中に合成した自己身体アバターの影を動画中の地面に投影することで、遠隔臨場感と脚運動感が向上し、VR酔いの症状、特に吐き気や方向感覚喪失が軽減されることが示された。影の有無は視覚的な手がかりとして機能し、ユーザーの自己認識を高める効果があると示唆された。

また、ユーザーの姿勢（立位、座位、仰向け姿勢）がバーチャル歩行体験に与える効果についても検討した。立位姿勢が実歩行時姿勢の比較対象となり、座位姿勢と仰向け姿勢と比較し、歩行感覚と遠隔臨場感がより強い結果が得られたが、座位姿勢と仰向け姿勢の間の差は小さく、仰向け姿勢でもある程度の歩行体験が得られることが明らかとなった。これは、足裏振動の同期性がユーザーの姿勢に関わらず、効果的に機能したためと考えられた。また、仰向け姿勢でも身体所有感や行為主体感が維持されていることが示唆された。

以上より、視覚的な自己身体の提示、足裏への歩行に同期した振動触覚刺激、適切な視点等の組み合わせにより、身体運動を伴わないバーチャル歩行体験を効果的に生成できることが示された。また、特に主観視点での全身アバターの提示と歩行に同期した足裏振動の同期は、歩行感覚と遠隔臨場感を強く向上させる。また、アバターの影や視覚シーンと一致する振動パターンの提示は、バーチャル環境内でのプレゼンスとリアリティを高め、VR酔いの軽減にも寄与する。これらの知見は、今後のシステム開発・提供に貢献すると考える。

Date of Submission (month day, year) : January 6, 2025

Department of Computer Science and Engineering	Student ID Number	D183355	Supervisors	Kitazaki Michiteru
Applicant's name	Nakamura Junya			Minami Tetsuto

Abstract (Doctor)

Title of Thesis	Generating Virtual Walking Experiences without Body Movement through Visual and Vibro-Tactile Stimuli
-----------------	---

Approx. 800 words

In recent years, there has been an increase in the number of people experiencing difficulties with walking or moving freely. This is due to a number of social factors, including an ageing population, the prevalence of disease, and the impact of pandemics. Walking plays a crucial role in both mental and physical health, so solutions that can provide walking experiences without actual physical movement are needed. In this study, we developed a virtual walking system that does not require limb action, using visual and tactile stimuli, and evaluated its effectiveness through experiments.

We aimed to investigate methods to provide users with realistic virtual walking experiences by combining observation of a self-avatar from first-person and third-person perspectives, foot vibrations simulating footsteps, the introduction of realistic virtual environments using omnidirectional movies, and comparisons of observation postures.

First, we evaluated the effects of avatar type (full-body avatar, hands-and-feet-only avatar, no avatar), observation perspective (first-person perspective, third-person perspective), and synchronization of foot vibrations (synchronous, asynchronous) on sensations of walking, leg action, and telepresence. The results revealed that the combination of presenting a full-body avatar from a first-person perspective and synchronous foot vibrations most effectively enhanced sensations of walking, leg action, and telepresence, highlighting the impact of observing one's own body avatar. The hands-and-feet-only avatar also showed a certain degree of effectiveness. Conversely, presenting the avatar from a third-person perspective did not enhance these sensations and tended to impair sensations of self-motion and telepresence.

Furthermore, in the virtual environment using omnidirectional movies, projecting the cast shadow of the self-avatar onto the ground improved telepresence and leg-action sensations, and reduced symptoms of cybersickness, particularly nausea and disorientation sickness. The presence or absence of the shadow functioned as a visual cue, suggesting it enhances the user's self-recognition.

Additionally, in the virtual walking environment using omnidirectional movies and foot vibrations, we examined the effects of congruency between vibration patterns and visual scenes on walking-related sensations and ground material perceptions. The results indicated that when the vibration pattern matched the visual scene—such as indoor corridors, snowy grounds, and gravel paths—the sensations of walking and telepresence were strengthened, and ground material perception was also enhanced. In contrast, when the vibration pattern and visual scene were incongruent, ground material perception became confused, diminishing the effectiveness of the virtual walking experience.

We also explored the effects of user posture (standing, sitting, lying) on the virtual walking experience. Standing posture yielded stronger results in sensations of walking and telepresence compared to sitting and lying postures. However, the difference between sitting and lying postures was small, clarifying that a certain degree of virtual walking experience could be obtained even in the lying posture. This is considered to be because the synchronization of foot vibrations functioned effectively regardless of the user's posture. It was also suggested that illusory body ownership and sense of agency were maintained even in the lying position.

From the above, it was demonstrated that combining visual presentation of a self-avatar, foot

vibrations synchronized with walking, and appropriate viewpoints effectively generates virtual walking experiences without physical body movement. In particular, presenting a full-body avatar from a first-person perspective and synchronizing foot vibrations significantly enhance sensations of walking and telepresence. Furthermore, incorporating the avatar's cast shadow and scene-congruent vibration patterns enhances presence and realism within the virtual environment and contributes to reducing cybersickness. These findings suggest that our system can provide virtual walking experiences even to users with physical constraints or in situations where physical movement is discouraged.