

### Motion-Less VRの提案と基礎評価

望月, 典樹 / MOCHIZUKI, Noriki

---

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

87

(発行年 / Year)

2022-09-15

(学位授与番号 / Degree Number)

32675乙第253号

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2022-09-15

(学位名 / Degree Name)

博士 (工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00025870>

博士学位論文  
論文内容の要旨および審査結果の要旨

論文題目	Motion-Less VR の提案と基礎評価
氏名	望月 典樹
学位の種類	博士（工学）
学位番号	第 253 号
学位授与年月日	2022 年 9 月 15 日
学位授与の要件	法政大学学位規則第 5 条第 1 項第 2 号該当者（乙）
論文審査委員	主 査 中村 壮亮 准教授 副 査 チャピ ゲンツィ 教授 副 査 小林 一行 教授 副 査 伊藤 一之 教授

1. 論文内容の要旨

VR (Virtual Reality) は「見かけは現実ではないが、実質的には、現実であること」であり、近年 VR 技術は様々な場面での応用が期待されている。本論文では、VR の理想形として「様々なバーチャル環境において、様々な体格のバーチャル身体を用いて、リアル環境と同様の運動が実行できる」という要件を設定し、この実現に向けた検討を行った。

はじめに、「様々な体格のバーチャル身体を用いて、リアル環境と同様の運動が実行できる」という点に着目し、現行の VR システムの方式において、身体定位に関する脳内モデルである身体図式をリアル身体から自身と形状の異なるバーチャル身体のものへと更新可能であるかを確認した。具体的には、身体図式の更新に関して、その有効性の確認、基礎特性の導出とその評価、運動時における評価、触力覚提示による影響の評価を行った。結果として、リアル身体での運動の結果をバーチャル身体の運動に反映する現行の VR システムの方式では、任意の身体図式へ完全に更新することはできず、さらに更新後の身体形状によっては特定の運動が実行できなくなるという問題も生じることから、「様々な体格のバーチャル身体を用いて、リアル環境と同様の運動が実行できる」という要件を満たすことは困難であるという結論に至った。

他方、「様々なバーチャル環境において、リアル環境と同様の運動が実行できる」という要件に関しては、歩行に伴う移動を打ち消すロコモーションインタフェースに外骨格型の力覚提示装置を組み合わせることで、現行の VR システムの方式においてもある程度までは実現可能である。しかしながら、バーチャル環境とのインタラクション時の反力を受けつつ、身体の位置移動が生じないようにするためには、反力を身体の別部位で受ける必要がある。その場合、身体の一部は装置に固定されることとなるため、ユーザの実行できる運動が制限されるといった問題が生じる。

これらを受けて、本論文では VR の理想形を実現し得る VR システムの方式を提案し、検討を行った。提案方式はリアル身体での運動を必要としないことから「Motion-Less VR」と命名した。提案方式はリアル身体の運動の抑制、ユーザからの運動意図の取得、バーチャル身体の運動の生成、ユーザへの運動感覚の提示の機能から構成される。モーションキャ

ブチャを用いた現行の VR システムでは、運動出力と感覚入力の際にリアル環境での身体運動を必要とするため、前述の通りリアル環境による空間的・物理的な制約を受けることとなる。一方、提案システムはリアル環境を介さずにユーザとシステムの間で情報の入出力が可能であるため、VR の理想形を実現し得ると考えられる。

これらを踏まえた本論文の構成は以下の通りである。

第 1 章では、初めに VR の定義を行い、VR の成立に必要な要素を挙げた上で、VR を実現するシステムの構成について述べた。続いて、これまでの VR システムの変遷を説明した後、応用例を以って VR の社会的なニーズを提示した。次に、SF 作品で登場する VR システムを取り上げ、VR の理想形には「様々なバーチャル環境において、様々な体格のバーチャル身体を用いて、リアル環境と同様の運動が実行できる」という要件を満たす必要があることを示した。最後に、この要件の実現を目指すことを研究目的として述べた。

第 2 章では、「様々な体格のバーチャル身体を用いて、リアル環境と同様の運動が実行できる」という要件について実現可能性の検討を行った。具体的には、様々な体格のバーチャル身体での運動を実現するためには、身体定位に関与する脳内モデルである身体図式を変更する必要があるということから、現行の VR システムの方式において身体図式を更新する手法に着目し、要件を真に満たしうるかを各種実験により精査した。結果として、身体図式の更新には限界があり、現行の VR システムの方式では「様々な体格のバーチャル身体を用いて、リアル環境と同様の運動が実行できる」という要件を満たすことが困難であるという結論に至った。

第 3 章では、まず「様々なバーチャル環境において、リアル環境と同様の運動が実行できる」という要件に関して、既存技術での限界を述べた。その上で、第 2 章の結論と併せて、現行の VR システムの方式では VR の理想形を満たすことが困難であることを説明した。これを受けて、VR の理想形を究極的には実現し得るシステムの方式を提案した。具体的に、提案方式はリアル身体の運動の抑制、ユーザからの運動意図の取得、バーチャル身体の運動の生成、ユーザへの運動感覚の提示の機能から構成されることを説明し、その基礎的なシステム構成についても述べた。なお、基礎的なシステムの構成は、リアル身体を機械的に固定した状態で、ユーザが運動を行おうとして生じた関節トルクを運動意図として取得し、力学計算によってバーチャル身体の運動の生成を行い、その結果を視覚や深部感覚に提示するというものである。

第 4 章では、示指三関節の屈伸運動、(深部感覚提示を含む)手首関節での二軸性運動、上肢での水平 2 自由度運動に関して、第 3 章で述べた基礎的なシステムの実装と評価を行い、各身体部位における提案方式の実現可能性の確認をそれぞれ行った。

第 5 章では、結論として、本研究のまとめを述べ、さらに提案方式の今後の課題と展望を、リアル身体の運動の抑制、ユーザからの運動意図の取得、バーチャル身体の運動の生成、ユーザへの運動感覚の提示といった機能別に示した。

## 2. 審査結果の要旨

本論文では、リアル身体での運動を伴わない VR システムの方式として「Motion-less VR」を提案し、様々な部位に対する基礎システムを実装評価した。口頭試問を含む審査の結果、下記の点において新規性と工学的有効性を確認した。

### 1. バーチャル身体の運動の正確性向上

身体固定下において能動運動を再現する VR システムは研究事例が殆どなく、固定具への負荷に比例した関節角速度を提示するといった力学的な厳密性を欠くものが近年提案されているのみである。これに対して Motion-Less VR では、身体を骨と関節で構成された剛体リンクで表現し、関節に粘弾性をも付与した、厳密なモデルを採用した。そして、当該モデルにおいて順動力学計算に基づき、バーチャル身体の運動を厳密に計算した。

### 2. 各部位での実現可能性の基礎検証

VR システムの新方式である Motion-Less VR を示指三関節の屈伸運動、(深部感覚提示を含む) 手首関節での二軸性運動、上肢での水平 2 自由度運動に関して適用し、実現可能性を評価した。

### 3. 移動と外力提示の両立可能性

既存の VR システムでは、再現度の高い移動と外力提示が共存できないことが課題である。これは、外力提示には外骨格型装置などの環境固定された装置が必要である一方、環境固定された装置を装着する場合には移動ができないことによる。これに対し、原理的には Motion-less VR は環境固定された外骨格型の構造を持ちつつも、リアル身体での運動を伴わずとも移動した感覚を得ることが出来るため、これらを両立できる可能性がある。

### 4. システムの省スペース化

モーションキャプチャなどを用いたリアル空間で実際に移動・運動する VR システムと比べ、リアル身体での運動を伴わないため、Motion-less VR では大幅な省スペース化が見込める。これにより、生活空間も含め、導入可能な施設の増加が期待できる。

以上、本論文で提案された VR システムの方式である「Motion-less VR」は、既存手法と比較してより自然なバーチャル身体の運動を実現しており、バーチャル身体を自身の身体と感じる要件である身体所有感や運動主体感が高いものである。また、移動と外力提示の両立可能性やシステムの省スペース化といった点でも工学に資するところが大きい。よって、本審査小委員会は全会一致をもって提出論文が博士(工学)の学位に値するという結論に達した。

(報告様式Ⅲ)