

## 論文の内容の要旨

論文題目 複合現実感における生体影響とその軽減策に関する研究

氏 名 中島 佐和子

本論文では、医療、介護、交通など様々な分野における作業支援技術として浸透しつつある複合現実感（MR：Mixed Reality）技術が生体影響の少ないヒューマン・インターフェースとして社会に受け入れられるようにするための設計指針を示している。特に、幅広い一般ユーザへの支援技術としての発展が期待できる自動車の運転支援として開発された HUD（Head-Up-Display）を用いた光学式 MR ディスプレイを研究の対象として、振動や揺れの生じる MR 環境下での生体影響評価を定量的に行い、悪影響を軽減する方法を提案した。そのため、まず、テストコースでの実車による官能評価を行い、走行時などの振動環境下において生じる MR 環境特有の感覚統合不一致の現象を把握した。その現象を再現できるように実験室内にシミュレータを構築し、感覚統合不一致、すなわち振動や揺れの起こる環境下で生じる実像と虚像（センサ像）の間の時空間的な MR ずれが、どのような生体影響に繋がるかを調べた。その結果、その MR 時間ずれが 0.2 Hz 付近で酔いや錯誤などを誘発することが示され、それらを誘発する要因を認知科学的な観点からモデル化するとともに、酔いや錯誤を軽減させる一つの方法や簡便に生体影響を評価する方法を提案した。本研究で取り組んだ課題を整理すると以下の三点になる。

- ① MR ずれの生体影響評価とその生成モデルの構築
- ② 異種感覚刺激による生体影響の軽減策の提案
- ③ 動的錯視を利用した新しい評価指標の提案

以下に本論文の内容をまとめる。

第 1 章では、複合現実感への期待と人工現実感による生体影響に関する過去の研究の流れを述べた。

第 2 章では、本研究に関連した従来の研究を紹介し、人工現実感技術の生体影響に関する現状をまとめ、その中での本研究の位置づけを述べた。第一に、これまでの研究をサーベイし、振動や揺れの生じる MR 環境下での生体影響評価に関する研究は皆無に近いことから、本研究で問題とする MR 環境下での生体影響評価はそれ自体が新しい試み

であることを示した。第二に、特に振動環境下での生体影響評価を進めるにあたって、評価指針となる生体影響の周波数応答特性の重要性を示した。第三に、従来の評価指標を概説し、MR 環境下での生体影響においては多角的で定量的な評価が重要であることを述べた上で、運動残効などの動的錯視と動揺病の関係について報告されていた従来知見に新たに注目した。

第3章では、振動や揺れの生じる MR 環境下での生体影響評価を行うことを目的に、複合現実感を車両に応用させたドライバー支援のための MR ディスプレイを具体的に取り上げ、運転環境などの実際の振動条件下で生じる時空間的な MR ずれによる生体影響を従来用いられてきた評価指標から多角的に計測した。運転環境での振動条件に基づき、身体加振刺激を 0.1 から 2.0 Hz で提示したところ、4つの周波数条件の中では特に 0.2 Hz の低周波な加振刺激による MR ずれが平衡機能の不安定化（重心動揺量の増加）や、呼吸（呼吸周波数）や発汗（発汗量の変動幅）などの増加による精神的なストレスを生じるなど、動揺病のような MR 酔いの兆候を引き起こすことが示された。さらに、本章では、計測された生体影響の周波数応答特性に基づき、視運動刺激に対して生じる自己運動感覚（ベクシオン）や姿勢制御、または動的環境下における固視機能としての前庭動眼反射（VOR : Vestibulo-Ocular Reflex）などの生理的要因と、MR ディスプレイの遅延時間という物理的要因の両方を考慮した生体影響の生成仮説を提案した。

第4章では、第3章で提案した MR ずれによる生体影響の生成モデルに基づいた、生体影響の軽減策の提案を行った。生成モデルの一要因である MR ずれ刺激に対応する身体特性をターゲットとして、感覚提示方法を工夫することにより生体影響の生じる要因を制御できるような異種感覚刺激の検討を行った。異種感覚刺激としては、MR 環境下でも利用しやすい聴覚刺激に着目し、特に MR ずれにより誘因される平衡機能の不安定化を制御することが可能かどうかを確認する実験を行った。

重心動揺量の計測時に 56 dB(A)のホワイトノイズを 30 秒間提示させたところ、第3章で計測された 0.2 Hz の加振刺激による MR ずれによって生じる重心動揺量（COP の軌跡長と外周面積）の増加を減少させることができた。聴覚刺激による平衡機能の不安定化の制御に関する実験は、0.2 Hz 加振条件だけでなく 2.0 Hz 加振条件においても同様に行い、得られた結果を聴覚刺激による生体影響制御の周波数応答特性として評価した。この結果を、第3章で提案した MR ずれによる生体影響生成モデルにさらに組み込むことにより、軽減策を考慮した生成モデルとして改良した。これにより、異種感覚刺激を利用した軽減効果を推定できるような、MR 環境下において生じる生体影響のモデルとしてよりよい汎用的なものとなるように工夫した。

第5章では、振動や揺れの生じる MR 環境下での生体影響評価に適した新しい評価指標を提案することを目的に、運動残効を利用した評価指標の有用性の検討を行った。運動残効を利用することができれば、パソコンなどを利用した装置による非接触な計測が可能となるため、計測時の身体拘束や計測手順の煩雑さによる計測対象や計測条件への

制限を少なくさせることができる。また、従来の知見により動揺病の感受性との関係性が報告されていることから、検出感度の観点からも期待できるため、動揺病の評価指標として、重心動揺量などの従来指標に対する代行が可能かどうかを調べるための基礎実験を行った。その結果、加振刺激による周波数応答特性を比較すると、重心動揺量で得られた実測値や従来の動揺病発生率に関する周波数応答特性とも同様な傾向を示すことがわかった。

また、運動残効に関する最近の脳科学的な知見を踏まえ、聴覚刺激による運動残効の制御がMR酔いの早期軽減につながる可能性を考慮し、聴覚刺激による運動残効の制御効果を調べた。その結果、聴覚刺激として90 dB(A)のホワイトノイズを短時間(0.5 s)与えることにより加振刺激により増加した運動残効の持続時間が減少されることが示唆された。

以上より、生理的要因に基づいた生体影響評価と異種感覚を利用した軽減策の提案を定量的に示すことにより、将来の安心・安全なMR機器の設計に向けた基盤づくりに貢献できたと考えている。

本研究で得られた成果は、最終的には「身体への親和性の高いMR機器」を実現するための各要素としてまとめることができる。このようなMR機器開発を通じて、一般ユーザだけではなく、加齢により視力の衰えた高齢者などの安全運転などにも役立つような、ヒトの多様性を考慮した支援を可能にするMR機器としても展開できると考えている。