

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 17 日現在

機関番号：11401

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21700143

研究課題名（和文）安心・安全な複合現実感システムのための生体影響評価法に関する研究

研究課題名（英文）Study on the biological evaluation for secure and safe Mixed Reality system

研究代表者

中島 佐和子（NAKAJIMA SAWAKO）

秋田大学・ベンチャーインキュベーションセンター・助教

研究者番号：40453542

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、生体影響の少ない複合現実感技術の開発を通じて、実社会への導入を目指すことである。運転支援のための HUD 型複合現実感技術に対し、虚像解像度や虚像と実像の焦点位置合せの改良を行なった結果、乗り物酔いの感受性分布の上位 20~40% に位置する被験者に対しても、10 分程度の使用に際しては甚大な生体影響を生じなかった。また、映画字幕提示のための HMD 型複合現実感技術による実験からも同様な有用性を確認し、身体機能の多様性と適用条件の拡張性の観点から複合現実感技術の可能性を広げる試みを実施した。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study is to introduce the Mixed Reality technologies to the human society by developing the technology of diminishing the biological effect such as cybersickness derived from these new technologies. After improvement of the resolution and the focus of virtual image of a driver assistant system using HUD, severe biological effect was not seen to the extent of 10 min use of this MR system even for the subjects who lies within the range of 20-40 % from top of the susceptibility distribution to motionsickness. The evaluation of a cinema subtitle system using HMD also suggested the usefulness without severe biological effect within a 10 min use. According to these results, the possibility of the Mixed Reality was discussed in view of its adaptability to the physical and psychological variety of human characteristics and its extensibility to the various situations in daily life.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
2011 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：バーチャルリアリティ、拡張現実感、ディスプレイ、動揺病、運転支援、映画字幕、生体情報、ヒューマンインターフェース

1. 研究開始当初の背景

近年、スマートフォンやタブレット端末などの情報機器の普及と併せて、複合現実感（拡張現実感）の実用化の動きが急速に高まっている。複合現実感（MR：Mixed Reality）とは、実環境と仮想環境の情報を巧みに重ね合わせることで、人間にとって理解しやすい情報を提示し、外科手術や複雑な組み立て作業などを支援するヒューマンインターフェース技術である。HMD（Head-Mounted Display）や HUD（Head-Up Display）など、医療、福祉、交通、教育や芸術などの様々な分野において複合現実感技術の導入が期待される一方で、こうした人工的な情報をユーザーに対して安心安全に提示するにはどのようにしたら良いかという生体影響評価の視点からの議論も不可欠になっている。VR・MR酔いや錯誤など、肝心の身体への安全性や安定性という点での技術的な不透明性が、こうした新しい技術の実用性を制約していることは否めない。人間と機械の接点で生じるこうした現象を定量的に認識し、かつそれを機器設計やデザインに積極的に活かす試みが、これからのヒューマンインターフェース開発に求められる重要事項の一つになると考えられる。

MR 環境では、実環境と仮想環境の情報の中に、視覚や前庭感覚の時間ずれや空間ずれがあると、人間はそこに違和感を生じ、長時間の使用で身体的・精神的なストレスにつながる恐れがある。こうした人工環境において生じる「酔い」の現象は、動揺病に似た症状である MR 酔いとして知られている。従来、画像の人工現実感による生体影響評価の研究では、主に、HMD や没入型ディスプレイなどを用いた仮想環境（VR 環境）での情報提示を問題としたものが多く、比較的安定した画像提示環境下での評価に重点がおかれてきた。その中でも、シミュレータの分野では、モーションベースなどを用いることにより動的な環境を積極的に考慮した研究例もある。しかし、それらの多くは、シミュレータとしての VR 環境を想定したものであり、振動や揺れのある運転環境に MR 技術を導入し、仮想環境と実環境を重ね合わせるといふ MR 特有の条件下で生じる時間ずれや空間ずれを、定量的に評価した研究は皆無に等しい。また、本分野では、日々進化する機器設計や画像コンテンツの複雑性と予測し難い身体の柔軟性が、ガイドラインの制定を困難にしているという問題もあった。

そこで、研究代表者はこれまでに、実用化の期待が高まる HUD を用いた MR ディスプレイからなるドライバー支援技術を具体例として取り上げ、振動や揺れのある実環境において生じる実像と虚像（センサ像）の間の MR ずれ（画像処理などが原因で実像に対し虚像が僅かに遅れて提示されることにより、身体

の動きに伴い両者の間のずれが空間的に広がって知覚される現象）の生体影響評価を行ってきた。これは、夜間や濃霧などの視界の悪い状況において見えにくい障害物などを仮想情報として強調させて提示する複合現実感技術である。この MR ディスプレイを用いて、運転環境などの実際の振動条件下を想定した 10 分間の MR ずれによる生体影響を、心理および生理学的な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、正弦波状の身体加振刺激を提示したところ、特に 0.2 から 0.4 Hz 近傍の低周波な MR ずれが平衡機能の不安定化（図 1）や呼吸や発汗などの増加による精神的なストレスを生じさせるなど、MR 酔いの兆候を引き起こすことが示された。また、生体影響の加振周波数依存性の実測データに基づき、生体影響の少ない複合現実感機器を開発するための基本となる仮説設定を行った。これは、視運動刺激に対して生じる自己運動感覚（バクシオン）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）などの生理的要因と MR ディスプレイの遅延時間による物理的要因の両方を考慮した、生体影響の生成モデル（図 2）である。若年層から高齢者まで、可変する身体と機械の関係性に対して柔軟なモデルとなるように、身体と機械の

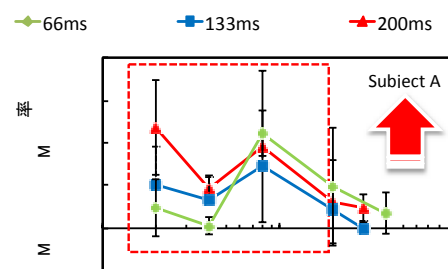


図 1 運転支援の複合現実感技術における生体影響評価の一例（重心動揺量の変化率）

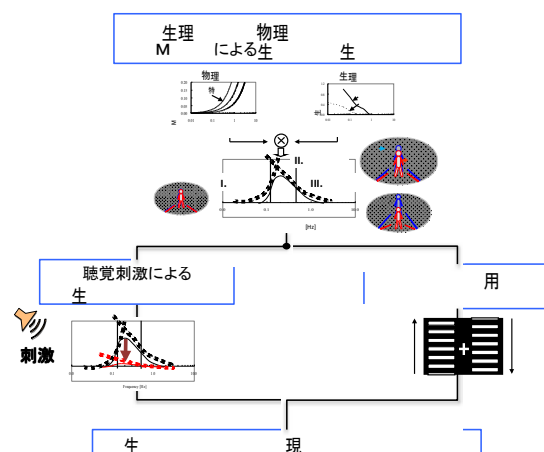


図 2 これまでの研究背景

両方を含めた系として、複合現実感機器の設計に活かすことを意図したものである。さらに、生体影響の軽減策と実環境での利用に適した生体影響評価指標の構築を、本仮説に基づき統一的に提案することにより、身体への親和性に優れた生体影響の少ない安心安全な MR 機器の開発を進めてきた。しかし、研究を進める過程で、生体影響の少ない MR 機器開発を具体的に実現するためには、これまでに提案してきた手法をさらに実用的な技術とした上で、支援領域の拡大を行う必要がある。特に、様々な身体特性を有する利用者への対応や、実環境の複雑さへの適応という観点を解決できなければ、幅広い領域で利用価値の高い情報支援機器となることが期待できない。

2. 研究の目的

そこで、本研究では、特に“身体機能の多様性”と“適用条件の拡張性”の2点に焦点を当て安心・安全な支援技術を目指すことで、MR ディスプレイによる情報提示の可能性を広げることが目的とした。

はじめに、交通分野と映画分野の異なる2つの分野における複合現実感技術の可能性に着目し、各分野でのヒヤリング調査を通じて複合現実感技術に共通して求められる要素を確認する。次に、具体的に運転支援を目的としたHUD型複合現実感ディスプレイを取り上げ、自動車開発現場との連携を通じて、これまでに提案した生体影響の生成仮説に基づき、ディスプレイの設計をどの程度改良すれば実用的なものとして支援工学の発展に繋がるか、また、どの部分を補えば総合的な情報提示能力が高まるかという観点から、複合現実感ディスプレイの改良を行う。この過程を通じて、実世界を意識したMRの生体影響評価を定量的かつ総合的に実施できる新しい実験システムを構築する。その上で、このシステムを用いて、乗り物酔いの感受性に着目した生体影響評価実験を行い、HUD型複合現実感技術の実用化に向けた課題の把握や許容範囲を推定する。さらにその結果をもとに、最後に、映画字幕提示を目的としたHMD型複合現実感ディスプレイの有用性に関する評価実験を実施することで、身体機能の多様性と適用条件の拡張性の観点から、実社会への導入を目指した生体影響の少ない複合現実感技術の機器設計に関する課題や可能性をまとめる。

3. 研究の方法

研究成果4-(2)で使用した、運転支援を目的としたHUD型複合現実感ディスプレイ(図3)の生体影響評価実験に用いたシステムを

以下に示す。実験システムは、MR ディスプレイ、着座式の人体加振装置、振動波形発生器、大型スクリーン(130 inch)、プロジェクタ、2D ドライビングシミュレータなどから構成される。CCD カメラ経由のスクリーン映像

(虚像)は、ハーフミラー上(被験者の0.65 m前方)で再びスクリーンの実像と一致するように映像重畳装置側で電子的に拡大縮小させ、また、虚像の刺激強度(明るさ)に関しても実像と同程度になるように映像重畳装置側で設定した。刺激提示時間は10分間であり、その間、被験者は2Dのドライビングシミュレータを行うと同時にピッチ方向に正弦波状の加振刺激を提示される。提示する加振刺激は、周波数が0.1、0.4、1.0 Hz、振幅が0.675 deg(被験者の頭部位置に生じる変位量)のピッチ方向の正弦波に設定した。被験者の視点からスクリーンまでの距離を約400 cm、実像の視野角を 36.6×28.8 deg、虚像の視野角を 17.1×5.7 degとした。走行時を想定し、身体が振動する動的環境における実像と虚像のMRずれの生体影響を評価するために、実像のみ提示した条件A(MRずれなし)と実像にカメラからの虚像を加えた条件B(MRずれあり)の2つの条件で実験を行った。MRずれによる生体影響の程度は、条件Bを基準として条件Aでの結果を規格化(自律神経系と平衡機能系の評価項目)および差分(主観疲労系の評価項目)した値で評価した。

4. 研究成果

(1) 複合現実感技術の実社会への導入に際する課題の抽出(“身体の高多様性”への対応)

高度道路交通システム(ITS)の発展が著しい運転支援産業と、情報保障と文化的生活を支える映画やテレビなどの文化芸術産業の異なる2つの分野において、複合現実感技術の可能性を探る調査を実施した。その結果、人々の日常生活に深く関わる複合現実感技術に期待される要素の一つとして、多様な身体機能を有するユーザに対応できる柔軟性にあることを確認した。特に、少子高齢化の加速する日本社会では、一般ユーザから高齢者や障害を有する人々まで、知覚機能も運動機能もさまざまな人々が存在する。そのような多様な人々が生活する社会において、複合現実感がどのようにして、新しい活動や交流の形成を促すかに期待が集まっている。安心安全な複合現実感技術を考えた場合、生体影響の感受性(酔い易さ)の多様性にどの程度対応できるかという点が、このような柔軟性の確保に繋がる一つの切り口になるだろうと考えた。そこで本研究では、これまでにやってきた生体影響評価方法を発展させ、乗り



図3 運転支援を目的とした HUD型複合現実感技術

物酔いし易いと考えられる被験者を酔い易さの全体分布から抽出することで、複合現実感技術の実社会への導入に際する課題と可能性を把握することとした。

(2) 運転支援を目的とした HUD 型複合現実感評価ディスプレイの改良と乗り物酔い感受性の高い被験者を対象とした生体影響評価

次に、これまでに開発してきた運転支援を目的とした HUD 型複合現実感ディスプレイの改良を行った。複合現実感技術と実環境を含めた現実世界には多様なパラメタが存在し、その一つ一つが複雑に関係しながら人間の知覚や認識や生体反応に寄与する。本研究では、自動車会社との連携を通じて、新しい技術と実環境を含めた系に存在する多様なパラメタの中から、より重要度の高い要素を抽出する作業を実施した。従来の HUD 型複合現実感ディスプレイ及び身体加振装置とその生体影響評価システムを用いて、振動や揺れのある実環境を想定し、0.1 から 1.0 Hz までのピッチ方向の正弦波振動を身体に加えることで、複合現実感ディスプレイの視認性評価を実施した。その結果、これまでに重視してきた下記の I と併せて 3 つのディスプレイ設計要素が生体影響との関係において重要であると考えに至った。

- I. 複合現実感ディスプレイの映像遅延特性（画像取得や画像処理を介することにより生じる実像に対する虚像の遅れ時間）と加振周波数（ここでは運転環境を想定し、運転シートに加わる振動周波数）の関係（図 2 上）
- II. 虚像の解像度
- III. 虚像と実像の結像位置の相違

これらの要素は、複合現実感映像の見やすさや錯誤の低減だけでなく提示コンテンツの可能性を広げる要素として、今後の複合現

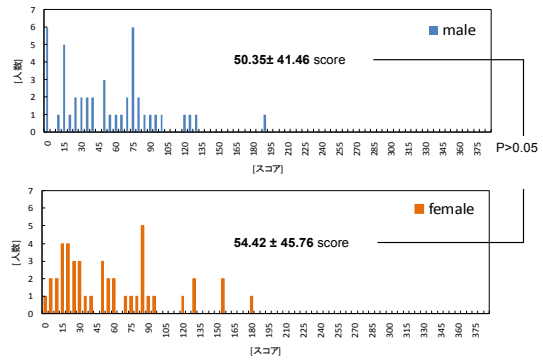


図 4 乗り物酔いアンケート調査結果

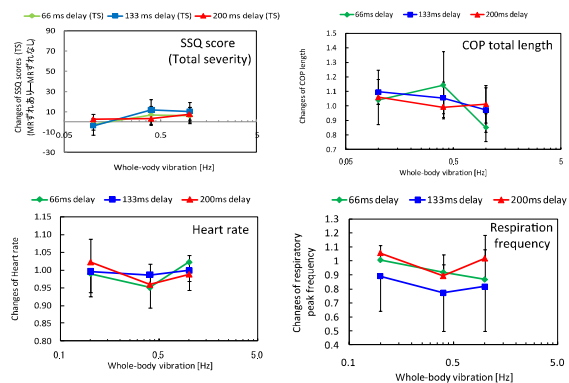


図 5 運転支援のための複合現実感技術による生体影響評価結果（左上：SSQ アンケート、右上：重心動揺量、左下：心拍率、右下：呼吸ピーク周波数）

実感機器全般の発展に関わる重要な要素である。そこで本研究では、視認性実験により得た知見に基づき、上記の (II) 虚像の解像度と (III) 虚像と実像の結像位置合わせを改良し、複合現実感映像の質の向上を行った。これにより、生体影響評価を行う上で十分な映像条件を備えたより実用性の高い評価システムを構築した。

次に、研究対象者の乗り物酔い感受性の高低を見極めるため、従来研究を参考に、82 名（平均年齢 21.5 ± 4.1 歳）へのアンケート調査（無記名・自記式）を実施し、乗り物酔い感受性スコアの全体分布を算出した。なお、乗り物酔い感受性に関するアンケートは、先行研究を参照し、文献 (J. F. Golding, Motion sickness susceptibility questionnaire revised and its relationship to other forms of sickness, Brain research bulletin, vol. 45, no. 5, pp. 507-516, 1998.) に基づき日本語訳を付与することにより対応した。乗り物酔い感受性に関するアンケート調査の結果、全体の平均スコア（標準偏差）は $52.36 (\pm 43.44)$ であった。さらに、これらの全体分布の上位 20~40%程度に位置する集団のスコアを算出したところ 60~85 であ

ったことから、この範囲のスコアに対応する被験者を3名(66.19、82.17、83.82)選別した(図4)。その上で、比較的高いスコアの回答を得たこの3名の被験者を対象に、簡易ドライビングシミュレータ(詳細は実験方法に記載)を用いて、複合現実感システムの生体影響評価実験を行った。身体に加わる加振刺激の周波数を0.1から2.0 Hzとし、また、複合現実感ディスプレイに重畳される仮想映像の遅れ時間を66 ms、133 ms、200 msの3段階に設定した。評価指標を自覚的疲労・自律神経系・平衡機能系に関する下記の5つに絞り込んだ。

- (I) 自覚的疲労: SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) アンケート
- (II) 自律神経系: 呼吸ピーク周波数、心拍間隔、手掌発汗量
- (III) 平衡機能系: 重心動揺量

実験の結果、自覚的疲労に関する主観アンケートによる評価からは、甚大な生体影響が生じていないことが確認できた。一方、平衡機能系や自律神経系の生理指標については、一部の条件下(加振周波数や映像遅延時間)において、平衡機能の不安定化や呼吸数や発汗量の増加などの生体影響がやや見られたが、いずれも再現性の高い程度に大きな変化は生じなかった(図5)。以上のことから、比較的乗り物酔い感受性の強い人であっても主観的には問題を感じておらず、また、生理的指標においても、条件によってはやや増加するものの大きな影響がある程ではないことから、本複合現実感システムの10分間の使用の範疇においては、多くの人々にとって利用可能なディスプレイとなる可能性を確認することができた。

(3) 映画字幕提示を目的としたHMD型複合現実感ディスプレイの有用性評価(“適用条件の拡張性”への対応)

研究の最終段階には、これまでの研究過程で実施してきた、振動や揺れのある運転環境を模擬したシミュレータ環境における複合現実感ディスプレイによる生体影響評価実験により得た、複合現実情報提示の許容範囲の推定結果を踏まえた上で、実環境における複合現実感ディスプレイの支援領域の拡大を目指すため、映画字幕提示技術としてのHead-Mounted Display (HMD)の可能性と課題に関する評価を行った(図6)。

聴覚障害者や高齢者への音声及び音響情報提示技術として、また、多言語の映画が同時上映される国際映画祭などでの映画鑑賞支援技術として字幕提示技術への期待は高い。そこで本研究では、単眼式の小型軽量HMDを用いた日本映画の字幕鑑賞実験を実施した。被験者からの疲労や使用感に関する主観

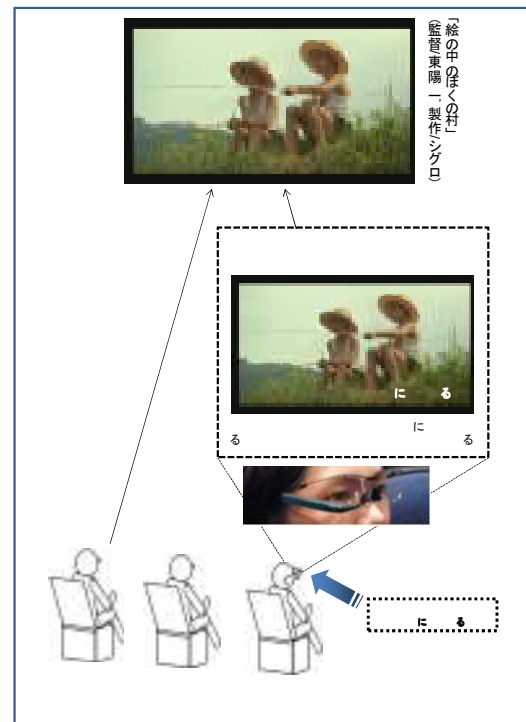


図6 映画字幕提示のための複合現実感

評価の結果からは、運転支援のためのHUD型複合現実感ディスプレイを用いた生体影響評価結果と同様に、10分以内の使用に際しては甚大な影響は生じ難いことを確認することができた。一方、鑑賞者からの具体的なコメントからは、映画コンテンツを投影した前方スクリーン映像とHMD上に投影した字幕との焦点不一致による疲労やストレスについての指摘も多く、運転支援を目的としたHUD型複合現実感ディスプレイの生体影響評価と同様な課題が得られた。また、映画鑑賞中に頭部が動いた場合には、HMD上の字幕も頭部の動きと一致して動くことになり、スクリーン上の映像と異なる座標軸上の字幕を追うことによりストレスが生じるというコメントもあり、ここでも複合現実感特有のずれの問題が生じていた。さらに、HMD上に字幕を投影した場合は通常映画以上に字幕を読んでもらうといった新たな課題も得られた。しかし鑑賞者の印象は概ね良く、上記の点に関する改良の余地はあるものの、聴覚障害者にとって革新的な技術として受けとめられた。ここ数年でHMDの開発や実用化が急速に進む状況を背景に、HMDを用いた字幕提示は複合現実感技術の実社会への具体的な導入場面の一つとなる感触を得ることができた。

今後は、“運転支援のためのHUD型複合現実感ディスプレイ”と“映画字幕提示のためのHMD型複合現実感ディスプレイ”の生体影響評価を通じて得た知見を併せて、振動条件

や実像と虚像のずれとの関係を体系的に分析していくことで、複合現実感技術に特有な生体影響を抑える手法を生み出し、新たな視点での機器開発に繋げたいと考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① Sawako Nakajima, Shuchi Ino, Kazuhiko Yamashita, Mitsuru Sato and Akio Kimura, Evaluation of Mixed Reality Sickness by Changing the Time Lag between Real Images and Virtual Images in an Advanced Driver Assistance System, Proceedings of the 11th International Congress of the IUPESM 2009 (WC2009), 査読有, 2009, 426-429.

[学会発表] (計 10 件)

① 「聴覚障害者対応の映画字幕の今日的課題と今後の可能性に関する予備的調査」, 中島佐和子, 水戸部一孝, 鈴木雅史, 吉村昇, 福祉情報工学研究会(WIT), 筑波, 2012. 3. 9.

② 「聴覚障害者のための映画字幕制作に関する基礎的調査」, 中島佐和子, 水戸部一孝, 鈴木雅史, 吉村昇, 電気学会全国大会, 広島, 2012. 3. 23.

③ 「バリアフリー映画における字幕表示の未来」, 中島佐和子, バリアフリーさが映画祭 2010 公開研究会, 佐賀, 2010. 11. 26.

④ 「上肢空間探索課題の習熟度評価を目指した瞬目情報応用に関する予備的検討」, 中島佐和子, 佐藤満, 山近友里恵, 黒木美百, 中野雄太, 小林隆司, 小山博史, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011, 仙台, 2011. 9. 14.

⑤ 「複合現実感を利用したバリアフリーによる楽しい映画鑑賞システムの提案」, 中島佐和子, 井野秀一, 山上徹二郎, 赤松立太, 大和田廣樹, 小山博史, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会, 大阪, 2010. 9.

⑥ 「脳卒中片麻痺患者の移乗支援を目的とした瞬目情報応用に関する基礎的検討」, 中島佐和子, 山近友里恵, 黒木美百, 山田卓也, 伊海友雪, 佐藤満, 泉隆, 小山博史, 大阪, 2010. 9.

⑦ 「安全運転支援のための複合現実感ディスプレイと生体影響評価」, 中島佐和子, 井野秀一, 佐藤満, 山下和彦, 木村彰男, 第 22 回日本機械学会バイオエンジニアリング講演会 2010, 岡山, 2010. 1.

⑧ 「高次脳機能障害を有する脳卒中患者の移乗支援に関する基礎的検討」, 中島佐和子, 山近友里恵, 山田卓也, 伊海友雪, 黒木美百, 井野秀一, 木村彰男, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009, 東京, 2009. 9.

⑨ 「瞬目情報に基づく脳卒中患者の移乗動作改善に関する提案」, 中島佐和子, 山近友里恵, 山田卓也, 伊海友雪, 黒木美百, 井野秀一, 泉隆, 山田深, 大田哲生, 木村彰男, 第 9 回日本 VR 医学会学術大会, 東京, 2009. 9.

⑩ “Evaluation of Mixed Reality Sickness by Changing the Time Lag between Real Images and Virtual Images in an Advanced Driver Assistance System”, Sawako Nakajima, Shuchi Ino, Kazuhiko Yamashita, Mitsuru Sato and Akio Kimura, 11th International Congress of the IUPESM 2009 (WC2009), Munich (Germany), 2009. 9.

[その他]

ホームページ等

<http://kc6.ee.akita-u.ac.jp/member/sawakonakajima/Welcome.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中島 佐和子 (NAKAJIMA SAWAKO)
秋田大学・ベンチャーインキュベーションセンター・助教
研究者番号：40453542

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし