

令和 4 年 6 月 18 日現在

機関番号：53101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01670

研究課題名（和文）疲労軽減を狙った小型船舶スカイフックキャビンの操作性を回復するAI×VR

研究課題名（英文）AI x VR system to restore operability of small boats with skyhook cabins aimed at reducing fatigue

研究代表者

外山 茂浩（Toyama, Shigehiro）

長岡工業高等専門学校・電子制御工学科・教授

研究者番号：60342507

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：各種VR技術活用を検討した結果、バーチャルグリッドを導入した操船支援システムを開発した。操船者の視野にある水面にバーチャルグリッドを重ねて表示することで、操船者が船体姿勢に関する情報を直感的に把握することを支援する。ISO9241-11に定義されるユーザビリティに基づき、被験者10名に対して操船シミュレータを用いた模擬操船実験を実施することで操作性を評価した。その結果、開発した操船支援システムにより操作性が10%改善することが明らかとなった。バーチャルグリッドにより、船体姿勢を把握しやすいと回答した被験者が大半であったことから、バーチャルグリッド提示の基本的な有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、中・大型船舶におけるAISを利用した次世代型航行支援システムが整備・運用されてきており、これらの船舶の海難事故は減少傾向にある。その一方で、プレジャーボートに代表される小型船舶においては、全海難事故の78%を占め、その割合は増加の一途を辿っている。事故原因としては、見張不十分、操船不適切等のヒューマンエラーによるものが全体の70%を占めている。そこで、本研究は、疲労を軽減するための防振キャビンにおいても視覚刺激等のVR技術により操作性を向上させる操船支援システムを提案している。疲労を原因とするヒューマンエラーの減少によって、小型船舶の海難事故減少を狙っている。

研究成果の概要（英文）：A handling support system of small boats with the virtual grid technology is suggested after studying the use of various VR technologies. The virtual grid technology superimposes the virtual grid on the water surface in the operator's field of view to help them intuitively grasp information about the attitude of small boats. Some experimental results show that the developed handling support system can be used to support operation of small boats. Also, the results show that the developed handling support system can improve operability by 10%. The most subjects responded that the virtual grid made it easier to grasp the small boat's attitude. From these results, the basic effectiveness of the virtual grid system is confirmed.

研究分野：人間工学

キーワード：安全工学 小型船舶 事故 ヒューマンエラー 操作性 バーチャルリアリティ

1. 研究開始当初の背景

近年、中・大型船舶における AIS（船舶自動識別システム）を利用した次世代型航行支援システムが整備・運用されてきており、これらの船舶の海難事故は減少傾向にある。その一方で、プレジャーボートに代表される小型船舶においては、全海難事故の 78%を占め、その割合は増加の一途を辿っている[1]。事故原因としては、見張不十分、操船不適切等のヒューマンエラーによるものが全体の 70%を占めている[1]。それに対して、我が国の平成 29 年度の方針[2]としては、小型船舶の操船者の安全意識を高めることに加え、安全に運航できる環境の整備及び救助体制の強化とされているだけで、ヒューマンエラーに対する根本的な解決策が見受けられない。中・大型船舶のヒューマンエラーの対応策について、安全管理、リスクマネジメントに関する研究[3]などが精力的に行われている。また、船底に装備したフィンを適宜制御し船体振動そのものを抑制することで、ヒューマンエラーを誘発する疲労軽減を狙う研究がなされてきた。しかし、本申請課題のように小型船舶を対象に、操船者の疲労・ヒューマンエラーを招く船体振動伝達の低減方法については未だ明らかにされていない。なぜなら操船者は自動車[4]と同様に、座席をインタフェースとして横加速度等の有益な船体運動情報を感じ、それをフィードバックすることで操船しているからである。したがって、疲労軽減を狙って船体振動の伝達を低減すれば、座席というインタフェースからの有益な情報が失われるので操作性は著しく低下する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、疲労軽減を狙って仮想実現するスカイフックキャビンにおいて、振動伝達が失われた横加速度等の有益な船体情報を、別途センサーで測定した後、バーチャルリアリティとして操船者へ提示することで操作性の回復、改善を図ることにある。具体的には、視覚刺激、前庭電気刺激、触覚刺激、聴覚刺激等の VR 技術を活用した操船支援システムを開発することによって操作性の回復、改善を狙う。

3. 研究の方法

(1) 近赤外線分光法を用いた平衡感覚の定量評価

VR 技術による仮想的な平衡感覚を定量的に評価するために、NIRS（Near-infrared spectroscopy, 近赤外線分光法）により計測した脳領域の反応から平衡感覚の推定を試みた。平衡感覚に関わる小脳は NIRS でも計測が難しいため、脊髄に伝わる神経インパルスを発生させ、運動の実行を制御する一次運動野を計測する。測定実験には、生体組織への高い透過性がある近赤外線を用いることで血液中のヘモグロビン（hemoglobin : Hb）濃度の変化を計測する functional NIRS 装置（Spectratech Inc, OEG-17APD）、センサーパレット、スチュワートプラットフォーム（COSMATE, 6 軸モーションベース MB-150）を使用する。被験者が着座したスチュワートプラットフォームをロール方向に 4, 8, 12 deg とそれぞれ傾斜させることで平衡感覚の変化を与え、その時の一次運動野の光路長依存ヘモグロビン変化量を計測し学習用データセットとする。学習用データセットに対して LSM（Least Squares Method, 最小二乗法）を用いて線形回帰モデルを作成し、二乗平均平方根誤差（RMSE）を算出した。しかし、十分な推定精度が得られなかったことから、ニューラルネットワークを用いた非線形モデルによる推定を試みる。

(2) バーチャルグリッドを用いた操船支援システムの開発

視覚刺激、前庭電気刺激、触覚刺激、聴覚刺激等の VR 技術を活用し、上述の平衡感覚の変化を評価した結果、視覚刺激が効果的であることが分かった。小型船舶の「周辺視野」には建物などの目印が無く、周辺視野が変化しないため、速度を感じにくい状態となっている。そこで、目印となるように海面上に仮想的な基盤状の模様（バーチャルグリッド、図 1）を貼り付け視覚刺激を与えることを考えた。本研究では、バーチャルグリッドを海面上に仮想提示する操船支援システムをゲーム開発プラットフォーム Unity により開発し（図 2）、操作性がどの程度改善されるのかを操船シミュレータを用いて評価を行った。操作性は、ISO 9241-11 に定義されるユーザビリティを用いて定義し、「実験コースをなるべく早く安全に航行する」というタスクに対して有効性、効率、満足度の 3 項目を評価した。



図 1 バーチャルグリッドの仮想提示

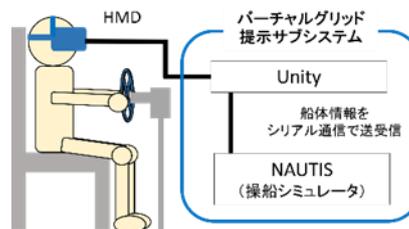


図 2 操船支援システムの概要

4. 研究成果

(1) 近赤外線分光法を用いた平衡感覚の定量評価

① 光路長依存ヘモグロビン変化量

それぞれの傾斜方向・角度に対する光路長依存ヘモグロビン変化量を図3に示す。この図からわかるように、傾斜角度が大きくなるにつれて光路長依存ヘモグロビン変化量が大きくなることが分かった。

② ニューラルネットワークによる平衡感覚の推定

図3に示すような4, 8, 12 deg の学習用データセットに対して傾斜角を推定するニューラルネットワークモデルを学習した。その推定精度を表1に示す。どの傾斜角でもRMSEが1以下であるため、良好な学習結果を確認した。



図3 傾斜に対する光路長依存ヘモグロビン変化量

表1 被験者Aの角度別推定精度

		①~④					
傾斜角		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	RMSE
左	4deg	4.51	4.00	3.21	4.60	4.28	0.514
	8deg	7.52	8.05	7.54	9.78	8.77	0.917
	12deg	12.36	11.36	12.44	12.15	11.27	0.508
右	4deg	4.31	3.78	4.36	4.08	4.12	0.243
	8deg	8.02	7.78	8.05	8.29	8.22	0.192
	12deg	12.211	12.334	11.197	11.896	12.101	0.405

(2) バーチャルグリッドを用いた操船支援システムの開発

18~20歳の男女10人が被験者として参加した。実験コースとして図4に示すスラロームコースを設定した。被験者はグリッド表示のない場合とある場合のそれぞれ3回ずつ実験コースを航行し、操船の直後、表2に示す9つの質問に対して1~5の5段階で主観的な回答を行ってもらった。

表2 満足度を問うアンケート項目

Q1. 素早い航行ができた。
Q2. 安全な航行ができた。
Q3. ハンドル角を把握しながら航行できた。
Q4. 実験中に不快感を感じなかった。
Q5. 思った通りの航行ができた。
Q6. 船の旋回度合いを把握しやすかった。
Q7. 船体速度を把握しやすかった。
Q8. 船体姿勢を把握しやすかった。
Q9. 周囲の船の様子が見えやすかった。

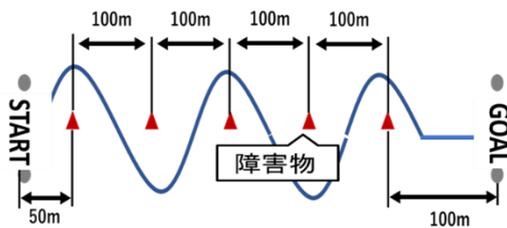


図4 実験コース

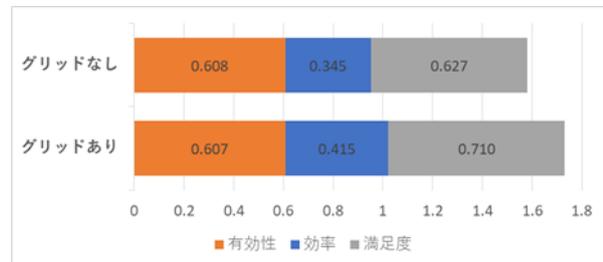


図5 操作性の評価グラフ

被験者10名の条件ごとの有効性、効率、満足度の積み上げグラフを図5に示す。有効性は変化が見られなかったが、一方で効率と満足度はバーチャルグリッドがない場合と比較して高い評価が得られた。効率の評価値が高いのはグリッドによって、船体姿勢角の中でヨー角を正しく把握でき、少ないハンドル操作回数でコースを航行できたからだと考えられる。結果として、操作性は10%程度改善できることが分かった。また、バーチャルグリッドの格子幅等のパラメータをAI等によって最適化すれば、更なる操作性改善の可能性を明らかにした。

5. 結言

バーチャルグリッドを導入した操船支援システムを開発した。操船者の視野における水面上にバーチャルグリッドを重ねて表示することで、操船者が船体姿勢に関する情報を直感的に把握することを支援する。ISO9241-11 に定義されるユーザビリティに基づき、被験者 10 名に対して操船シミュレータを用いた模擬操船実験を実施することで操作性を評価した。その結果、開発した操船支援システムにより操作性が 10%程度改善できることが明らかとなった。バーチャルグリッドにより、船体姿勢を把握しやすいと回答した被験者が大半であったことから、バーチャルグリッド提示の基本的な有効性を確認した。バーチャルグリッドの格子幅等のパラメータを AI 等によって最適化すれば、更なる操作性改善の可能性を明らかにした。

<引用文献>

- [1] 内閣府編, 第 1 章 海難等の動向, 平成 29 年版 交通安全白書, 2017.
- [2] 内閣府編, 第 2 章 海上交通安全施策の現況「第 5 節 小型船舶の安全対策の充実」, 平成 29 年版 交通安全白書, 2017.
- [3] 内野, 小林, 船舶操縦におけるワークロードとヒューマンエラーの発生, 日本航海学会論文集 (126), 65-72, 2012.
- [4] 福間, 花典, 佐藤, 森眞, 林, ドライビングフィーリング評価のための車両・ドライバ挙動のパラメータ化に関する検討, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム J94-D(4), 750-754, 2011.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 11件）

1. 発表者名 Shigehiro Toyama, Mizuki Okonogi, Yasuko Tsuchida, Kenji Kamimura and Fujio Ikeda
2. 発表標題 Linear Regression Models of Sense of Balance with Near-infrared Spectroscopy
3. 学会等名 The 5th International Conference on "Science of Technology Innovation" 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 原祥平, 上村健二, 外山茂浩
2. 発表標題 視覚誘導性自己運動を活用した小型船舶における加速度提示
3. 学会等名 第26回高専シンポジウムオンライン
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田辺愛菜, 小此鬼瑞季, 外山茂浩, 上村健二, 土田泰子
2. 発表標題 近赤外線分光法による脳機能面からの平衡感覚の評価
3. 学会等名 第26回高専シンポジウムオンライン
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大谷佳輔, 外山茂浩, 上村健二, 池田富士雄
2. 発表標題 前庭電気刺激を用いた操船支援システムの開発
3. 学会等名 第26回高専シンポジウムオンライン
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤井海成, 大谷佳輔, 外山茂浩, 上村健二
2. 発表標題 GVSとベクシヨンの組合せによる加速度知覚強化
3. 学会等名 第26回高専シンポジウムオンライン
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keisuke Otani, Shigehiro Toyama, Kenji Kamimura, Fujio Ikeda
2. 発表標題 Smart Maneuvering Assist System by Galvanic Vestibular Stimulation
3. 学会等名 ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems 2019, Asian CHI Symposium, (2019), No.14. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mizuki Okonogi, Yasuko Tsuchida, Shigehiro Toyama and Kenji Kamimura
2. 発表標題 Evaluation of Sense of Balance by Brain Function Analysis with NIRS
3. 学会等名 The 4th International Conference on "Science of Technology Innovation" 2019, (2019), STI-9-41. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shouhei HARA, Tetsuya TAKAMATSU, Kenji KAMIMURA, Sigehiro TOYAMA
2. 発表標題 Presentation of lateral acceleration with visually induced illusion of self-motion
3. 学会等名 The 4th International Conference on "Science of Technology Innovation" 2019, (2019), STI-9-61. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keisuke Otani, Yuki Nakamura, Shigehiro Toyama, Kenji Kamimura and Fujio Ikeda
2. 発表標題 Haptics Interface for Smart Assist Maneuvering System
3. 学会等名 The 4th International Conference on "Science of Technology Innovation" 2019, (2019), STI-9-40. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小此鬼瑞季, 土田泰子, 外山茂浩, 上村健二
2. 発表標題 近赤外線分光法を用いた脳機能分析による平衡感覚の評価
3. 学会等名 令和元年度(第29回)電気学会東京支部新潟支所研究発表会予稿集、(2019)、NGT-19-080.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keisuke Otani, Kazu Irisawa, Shigehiro Toyama, Kenji Kamimura and Fujio Ikeda
2. 発表標題 Reproducibility of Acceleration Sensation by Galvanic Vestibular Stimulation for Smart Assist Maneuvering System
3. 学会等名 The 6th International Conference on Smart Systems Engineering, (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuya Kawamata, Shigehiro Toyama, Kenji Kamimura and Fujio Ikeda
2. 発表標題 Operability evaluation for Smart Maneuvering System with simplified ship simulator
3. 学会等名 The 6th International Conference on Smart Systems Engineering, (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Nakamura, Keisuke Ohtani, Shigehiro Toyama, Kenji Kamimura and Fujio Ikeda
2. 発表標題 Haptics Interface for Smart Assist Maneuvering System
3. 学会等名 The 6th International Conference on Smart Systems Engineering, (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 etsuya Takamatsu, Kenji Kamimura, Shigehiro Toyama
2. 発表標題 vection Stimulation for Smart Assist Maneuvering System
3. 学会等名 The 6th International Conference on Smart Systems Engineering, (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shigehiro Toyama, Aina Tanabe, Mizuki Okonogi, Yasuko Tsuchida, Masaki Wada, Kenji Kamimura and Fujio Ikeda
2. 発表標題 Neural Network Model of Sense of Balance with Near-infrared Spectroscopy Signals
3. 学会等名 The 9th International Conference on Smart Systems Engineering 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Fujita, Shigehiro Toyama, Yasuko Tsuchida, Kenji Kamimura and Fujio Ikeda
2. 発表標題 Evaluation of brain's sense of balance by measuring motor cortex using NIRS
3. 学会等名 The 6th International Conference on "Science of Technology Innovation 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林みう、外山茂浩、上村健二、池田富士雄
2. 発表標題 バーチャルグリッドを用いた操船支援システムの開発
3. 学会等名 第27回 高専シンポジウムオンライン
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田悠生、土田泰子、外山茂浩、上村健二、池田富士雄
2. 発表標題 近赤外線分光法を用いた脳機能面からの平衡感覚の評価
3. 学会等名 第27回 高専シンポジウムオンライン
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	池田 富士雄 (Ikeda Fujio) (30353337)	長岡工業高等専門学校・機械工学科・教授 (53101)	
研究分担者	酒井 一樹 (Sakai Kazuki) (40824298)	長岡工業高等専門学校・電子制御工学科・助教 (53101)	
研究分担者	上村 健二 (Kamimura Kenji) (80708090)	長岡工業高等専門学校・電子制御工学科・准教授 (53101)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	宮崎 敏昌 (Miyazaki Toshimasa) (90321413)	長岡技術科学大学・工学研究科・教授 (13102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関