

平成30年6月27日現在

機関番号：53101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02984

研究課題名(和文) 小型船舶における操船者の疲労軽減を狙ったスカイフックキャビンの仮想実現

研究課題名(英文) Virtual realization of sky-hook cabin to suppress fatigue of operators in pleasure boats

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) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：高速・高精度のモータ制御でスカイフックキャビンを仮想実現し、操船者への船体振動伝達を低減し疲労軽減を図る。一方、振動伝達低減によって失われる横加速度等の有益な船体情報は別途センサで測定し、前庭電気刺激、視覚刺激を利用して操船者に平衡感覚として提示。本来の操作性回復を図る。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うことを目的に研究を行った。操作性回復のため操船者に平衡感覚を人為的に付加する手段として、前庭電気刺激、視覚刺激や体性感覚刺激の基礎特性を評価した。また、船体の揺動運動を再現できる簡易操船シミュレータを開発し、再現揺動に対する操作性、疲労の評価を行った。

研究成果の概要(英文)：Sky-hook cabin system with high-speed and highly precise motor control can reduce hull vibration transmission to ship operators and their fatigue. In order to recovery original operability in sky-hook cabin system, some useful hull information lost by vibration transmission reduction, such as the lateral acceleration, is artificially reproduced by a galvanic vestibular stimulation, a visual stimulation and a somatosensory sensation. Such concept could lead marine accidents caused by human error to decreasing. A simplified ship simulator with a Stewart platform was developed. And each basic characteristics for the galvanic vestibular stimulation, the visual stimulation and the somatosensory sensation were evaluated.

研究分野：制御工学、メカトロニクス

キーワード：安全工学 小型船舶 事故 疲労 ヒューマンエラー

### 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、海難事故が増加の一途を続けている。その原因としては、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約 8 割を占めている。それに対して、我が国の方針としては、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としては、安全管理、リスクマネジメントに関する研究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に関する研究はこれまでに見受けられない。なぜなら操船者は自動車と同様に、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。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

高速・高精度のモータ制御でスカイフックキャabinを仮想実現し、操船者への船体振動伝達を低減し疲労軽減を図る。一方、振動伝達低減によって失われる横加速度等の有益な船体情報は別途センサで測定し、前庭電気刺激、視覚刺激を利用して操船者に平衡感覚として提示。本来の操作性回復を図る。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う。

### 3. 研究の方法

- (1) 船体揺動を再現する操船シミュレータの開発
- (2) 頸部浅層筋・筋電位を用いた前庭電気刺激による提示加速度の定量化
- (3) 視覚刺激によるベクシオン効果の基礎特性評価
- (4) 体性感覚を刺激するパラレルリンクメカニズムの開発
- (5) 再現揺動に対する操作性、疲労の評価

### 4. 研究成果

- (1) 船体揺動を再現する操船シミュレータの開発  
船体の揺動運動は、一般に 6 自由度を有することが知られており、それらの運動を再現

するスチュワートプラットフォームを組み入れた操船シミュレータを開発した(図 1)。本シミュレータは、操船シミュレーションソフトウェア NAUTIS (図 2) とスチュワートプラットフォーム MB-150 (図 3)、制御用 PC 等から構成されている。図 4 は、システムの構成図を示している。操船シミュレーションソフトウェア NAUTIS がインストールされている PC には船舶のプロペラの回転数を操るスロットルレバーや、舵輪の回転数を操る操舵機構が接続されている。またモニタを 3 台用意し、視野角を広くとれるよう設計している。また PC とスチュワートプラットフォームの接続にはそれぞれ RS-232C の規格に従ったクロスケーブルを用いて接続している。



Fig. 1 Ship simulator

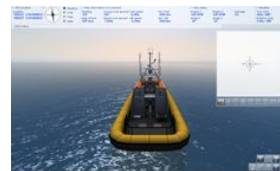


Fig. 2 Ship simulation



Fig. 3 Stewart platform software (Vstep, NAUTIS) (COSMATE, MB-150)

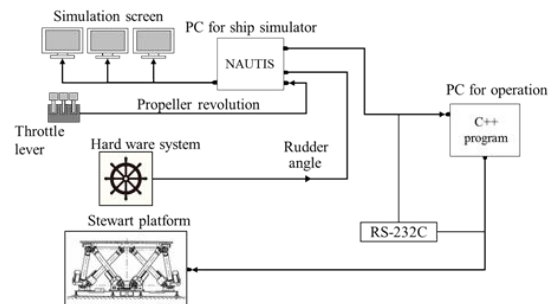


Fig. 4 System configuration of ship simulator to reproduce oscillating motion of pleasure boats

- (2) 頸部浅層筋・筋電位を用いた前庭電気刺激による提示加速度の定量化

操船支援として操縦者に前庭電気刺激を用いて平衡感覚を提示する(図 5)ためには、刺激電流と提示加速度の関係を求める必要があるが、被験者に提示される横加速度を直接測定することはできない。そこで、刺激電流と被験者の頸部浅層筋・筋電位(図 6)の関係、被験者頭部への荷重とその頸部浅層筋・筋電位の関係から、刺激電流とそれにより提示される横加速度の関係を実験により求めた。特に、実装の際に課題となる現象の個人差、再現性について分析したところ、現

象の個人差が大きく、また個人を特定してもその再現性は高くはないことが明らかとなった(図7)。



Fig. 5 Galvanic Vestibular Stimulation

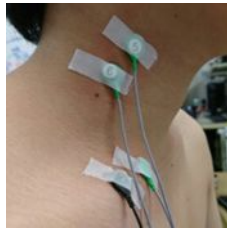


Fig. 6 Measurement of myoelectricity of cervical shallow-layer muscles

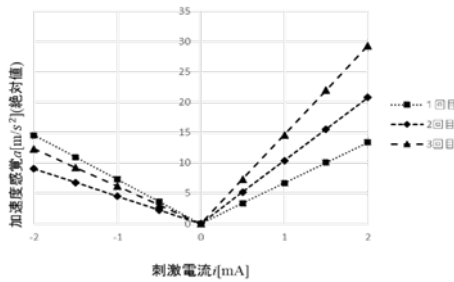


Fig. 7 Daily performance of Galvanic Vestibular Stimulation

(3) 重心揺動実験による視覚刺激によるベクション効果の基礎特性評価

縦縞模様を表示するアンドロイドプログラムをスマートグラスに実装することで構築した操船支援のための視覚刺激提示システムによって、被験者にどの程度の平衡感覚を提示できるか、フォースプレートを用いた重心揺動実験により評価した(図8)。視覚刺激によるベクション効果にはばらつきが大きく、平衡感覚として提示するにはそのばらつきを補正するアルゴリズムが必要となることがわかった(図9)。

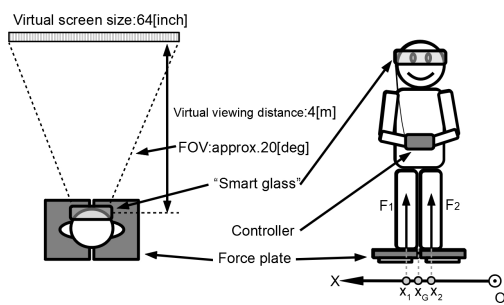


Fig. 8 State of measuring centroid position

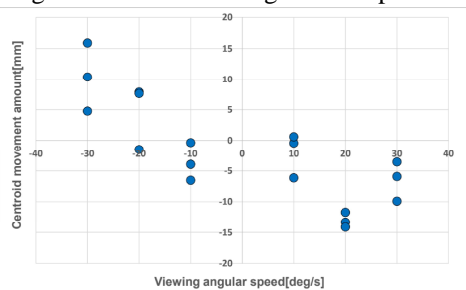


Fig. 9 Angular speed – body sway characteristics

(4) 体性感覚を刺激するパラレルリンクメカニズムの開発

操船者足部に体性感覚刺激を行うことを目的にデルタ型パラレルリンクメカニズムを開発した(図10, 11)。開発当初はリンク間を接続するロッドエンドベアリングにより生じるあそびにより位置決め精度が著しく劣化した。そこで、不要な遊びを低減するために可動プレート部を支持する2つのリンク間に自由度を抑制するロッドを加えるメカニズムを付加し、良好な位置決め精度が得られることを実験で確認した(図12)。

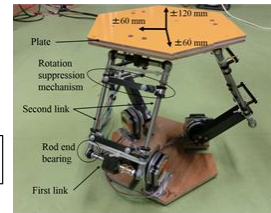
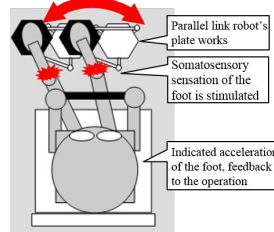


Fig. 10 Somatosensory sensation with parallel link robot as haptics device

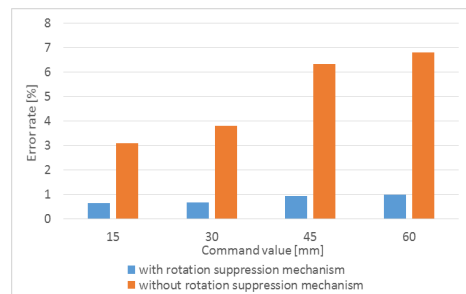


Fig. 12 Position accuracy of developed parallel link robot

(5) 再現揺動に対する操作性、疲労の評価

簡易操船シミュレータにより、ローリング、ピッチング、ヨーイングといった揺動運動を種々組み合わせて再現した操船実験を行った結果、ヨーイング、またはピッチングとローリングを再現した場合に操作性が向上することを確認した(表1)。

Table 1 Usability evaluation

条件	揺動運動組み合わせ	有効性	効率	満足度	総合評価
A	揺動なし	0.848	0.576	0.823	0.749
B	Rolling	0.484	0.643	0.584	0.570
C	Pitching	0.902	0.688	0.623	0.738
D	Yawing	0.877	0.784	0.644	0.768
E	Rolling,Pitching	0.873	0.738	0.661	0.757
F	Rolling, Yawing	0.830	0.617	0.584	0.677
G	Pitching,Yawing	0.773	0.637	0.565	0.658

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計17件)

- [1] 羽龍友紘、外山茂浩、上村健二、池田富士雄、プレジャーボートにおける揺動運動と操作性、疲労の関係、第23回高専シンポジウム in 神戸、(2018)、PH-034.
- [2] 川又一哉、外山茂浩、池田富士雄、小型船舶用電子制御操舵系における全舵輪回転数変更による操作性改善、第23回高専シンポジウム in 神戸、(2018)、PH-036.
- [3] 中村有希、外山茂浩、池田富士雄、上村健二、宮崎敏昌、ハプティクスデバイスとしてのパラレルリンクロボットの開発、第23回高専シンポジウム in 神戸、(2018)、PH-033.
- [4] Yuki Nakamura, Shigehiro Toyama, Fujio Ikeda, Kenji Kamimura and Toshimasa Miyazaki, Development of Parallel Link Robot for Somatosensory Stimulation, 17th International Conference on Control, Automation and Systems, (2017), P00458.
- [5] Kazu Irisawa, Shigehiro Toyama, Kenji Kamimura and Fujio Ikeda, Evaluation of Galvanic Vestibular Stimulation Acceleration Sensation by Myoelectricity of Cervical Shallow-layer Muscles, 17th International Conference on Control, Automation and Systems, (2017), P00457.
- [6] Kazuya Kawamata, Shigehiro Toyama, Fujio Ikeda, Operability with Total Steering Wheel Revolution for Electric Control Steering System of Pleasure Boat, 17th International Conference on Control, Automation and Systems, (2017), P00460.
- [7] Tetsuya Takamatsu, Hiroki Maruta, Kenji Kamimura, Shigehiro Toyama, A study on presentation of lateral acceleration using visually induced illusions of self-motion, 17th International Conference on Control, Automation and Systems, (2017), P00534.
- [8] Tomohiro Haryu, Shigehiro Toyama, Kenji Kamimura, Fujio Ikeda, Operability for Oscillating Motion of the Pleasure Boats, 17th International Conference on Control, Automation and Systems, (2017), P00564.
- [9] Yuki Nakamura, Shigehiro Toyama, Fujio Ikeda, Kenji Kamimura and Toshimasa Miyazaki, Arrangement of Parallel Link Robot for Disturbance Load in Somatosensory Stimulation, The 6th International GIGAKU Conference in Nagaoka (IGCN2017), (2017), RD-029.
- [10] Kazuya Kawamata, Shigehiro Toyama and Fujio Ikeda, Operability of Pleasure Boat with respect to Total Steering Wheel Revolution, The 6th International

GIGAKU Conference in Nagaoka (IGCN2017), (2017), RD-085.

- [11] 中村有希、外山茂浩、上村健二、池田富士雄、瀬田広明、小型船舶の操作性向上を狙ったパラレルリンクロボットの開発、第22回高専シンポジウム、(2017)。
- [12] 羽龍友紘、外山茂浩、上村健二、池田富士雄、瀬田広明、スチュワートプラットフォームを用いた小型船舶操船シミュレータにおける揺動運動の再現性、第22回高専シンポジウム、(2017)。
- [13] 佐野尚友己、外山茂浩、上村健二、池田富士雄、頸部浅層筋の筋電位を用いたGVS加速度感覚の評価、平成28年度(第26回)電気学会東京支部新潟支所研究発表会、(2016)。
- [14] 川又一哉、外山茂浩、池田富士雄、瀬田広明、生体信号を用いた小型船舶操船時の疲労評価に関する基礎研究、平成28年度(第26回)電気学会東京支部新潟支所研究発表会、(2016)。
- [15] 羽龍友紘、外山茂浩、上村健二、池田富士雄、瀬田広明、プレジャーボートの揺動運動が操作性に与える影響、シンポジウム: スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス2016、(2016)。
- [16] 羽龍友紘、外山茂浩、池田富士雄、小型船舶の揺動運動を再現する操船シミュレータの開発、平成27年度(第25回)電気学会東京支部新潟支所研究発表会、(2016)。
- [17] 小椋金志郎、外山茂浩、上村健二、池田富士雄、前庭電気刺激により提示された加速度感覚の定量化に関する研究、日本機械学会北陸信越支部第53期総会講演会、(2016)。

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

## 6. 研究組織

### (1) 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

### (2) 研究分担者

宮崎 敏昌 (MIYAZAKI, Toshimasa)  
長岡技術科学大学・工学部・准教授  
研究者番号: 90321413

池田 富士雄 (IKEDA, Fujio)

長岡工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号： 3 0 3 5 3 3 3 7

上村 健二 (KAMIMURA, Kenji)  
長岡工業高等専門学校・電子制御工学科・  
准教授

研究者番号： 8 0 7 0 8 0 9 0

工藤 慈 (KUDO, Mitsuru)  
長岡工業高等専門学校・電子制御工学科・  
助教

研究者番号： 6 0 7 5 6 5 8 4

(3)連携研究者

瀬田 広明 (SETA, Hiroaki)  
鳥羽商船高等専門学校・商船学科・准教授  
研究者番号： 2 0 3 1 1 0 3 7

(4)研究協力者

なし