

令和 4 年 8 月 30 日現在

機関番号：32428

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13951

研究課題名(和文) AIを用いた操船者の肉体的疲労を対象とした遠隔アラームシステム

研究課題名(英文) Remote alarm system of physical fatigue for ship operators using artificial intelligence

研究代表者

土井根 礼音(DOINE, Renon)

東都大学・幕張ヒューマンケア学部・助教

研究者番号：20784424

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：船舶事故原因の79%は人的要因によるものと報告されており、その原因の一つには疲労がある。本研究の目的は、操船の妨げになることなく、遠隔で操船者の肉体的疲労度を測定し、肉体的疲労度が危険領域に達した際にアラームを発信する、人工知能を用いた操船者の肉体的疲労を対象とした遠隔アラームシステムの開発である。本研究では、生体の肉体的疲労度をエネルギー消費量として捉え、操船者の肉体的疲労度の予測に有効な指標を検討した。AIを用いた操船者の肉体的疲労度の予測には、腰部の動揺と重心動揺が重要な指標である可能性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本は海上貿易が盛んである一方、船舶事故の防止が課題となっている。操船者の腰部の動揺や重心動揺により、操船者の肉体的疲労度を早期に予測し、スマートデバイスへのアラーム発信が可能となれば、操船を妨げることなく、船舶事故を未然に防ぐことが可能となる。また本技術と、既に他の研究グループにおいて開発されているスマートデバイスを用いた精神的疲労の計測システムを組み合わせることで、教育機関における学生の疲労度やストレス状態のモニタリングなどへの応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：Human errors account for 74% of marine accidents. Fatigue of ship operators is the primary reason of the accidents. The purpose of this study is to develop the remote alarm system of human physical fatigue for ship operators using artificial intelligence. The remote alarm system consists some smart watch, some smart phone and a network server. Physical fatigue was evaluated by the energy expenditure. We investigated the effective indicators for artificial intelligence that predict physical fatigue of ship operators. From this study, it was clarified that waist motion and the motion of center of gravity caused by visual information were the effective indicators.

研究分野：医用工学

キーワード：疲労 機械学習

1. 研究開始当初の背景

日本の輸出入を合わせた貿易量は、年間 9 億トン以上であり、その 99.7%が船舶を用いた海上貿易によるものである。全世界の海上貿易量は、約 55 億トンであることから、日本だけで世界貿易量の 6 分の 1 を占めている。日本は海上貿易が盛んである一方、平成 26 年に海上保安庁が認知した台風・異常気象下以外の船舶事故隻数は 2,095 隻であり、船舶事故の防止が課題となっている^[1]。船舶事故の原因の 79%は、その場の判断や行動等を誤った人的要因によるものと報告されている^[1]。海上貿易に関わる船員は、世界で約 120 万人、その内、船長、機関長、航海士、機関士などの船舶職員が約 40 万人、甲板員や機関員などの部員が約 80 万人となっている^[2]。操船者のヒューマンエラーの原因の一つには、疲労があげられる^[3]。しかしながら、船舶は他の乗り物に比べて低い周波数帯域の 6 自由度の動揺が発生する特殊な環境下であり (図 1)、動揺に再現性がない。また生体信号のモニタリングは、操船の妨げになる可能性がある。このため、本研究ではこれまでに再現性のある動揺を発生させることが可能な簡易型動揺装置を開発しているが、加えて操船作業を妨げることなくリアルタイムに肉体的疲労度を計測し、操船者の肉体的疲労をモニタリング可能なシステムの開発が課題となっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、AI を用いた操船者の肉体的疲労を対象とした遠隔アラームシステム (以降、遠隔アラームシステム) の開発である。遠隔アラームシステムは、IoT のコンセプトを船舶環境に応用し、操船者に取り付けたスマートデバイスから得られる情報を元に AI を用いて肉体的疲労度を評価し、ネットワークを介して遠隔地の管理者にアラーム発信する。

新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、予定していた遠隔アラームシステムの検証実験を実施することは叶わなかったが、本研究では、遠隔アラームシステムを構成する装置の準備、および過去に実施した実験データを用いて操船者の肉体的疲労度の予測に有効な指標の検討を行った。

3. 研究の方法

遠隔アラームシステムのコンセプトを図 2 に示す。操船者の腰に設置した iPhone により、加速度・角速度データを計測し、ネットワークを介してサーバーにリアルタイムに記録する。操船者のエネルギー消費量は、機械学習を用いて操船者の身長や体重等の体格及び腰の加速度・角速度データから予測する。操船者のエネルギー消費量がある閾値を超え肉体的疲労の危険領域に達したとき、操船者の腕に取り付けた Apple Watch にアラームを発信し、操船者に知らせる。操船者の肉体的疲労度及びアラームはネットワークを介して管理者用パソコンに通知する仕組みを構築し、複数人の操船者の疲労度を遠隔地の管理者がリアルタイムにモニタリング可能となる。本研究では、遠隔アラームシステムを構成する Apple Watch, iPhone, および検証用のモーションセンサを準備するとともに、操船者の肉体的疲労度を予測するための機械学習の学習データとして有効な指標の検討を行った。

操船者の肉体的疲労は、船舶動揺や視覚情報により生じる立位姿勢動揺 (立位姿勢時の身体動揺) が原因と考えられる。一般に生体は、視覚、平衡感覚、体性感覚に基づき、立位姿勢を調節している。本研究では、操船者の肉体的疲労度を予測するための機械学習の学習データとして有効な立位姿勢動揺の評価指標として、①小型船舶上で計測した乗船者の身体の加速度・角加速度と表面筋電位、および②視覚情報として波浪映像を提示した際の生体の重心動揺について検討を行った。有効な評価指標を検討するためのデータは、鳥羽商船高等専門学校生命倫理委員会規則に則り、同校が所有する小型船舶と操船シミュレータを用いて収集している。実験協力者には実験開始前に実験内容の説明を行い、実験への参加について同意を得ている。

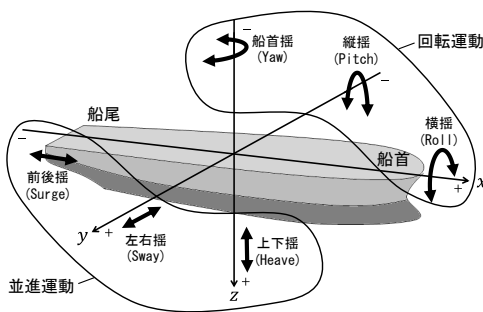


図 1 船舶動揺の種類と名称^[4]

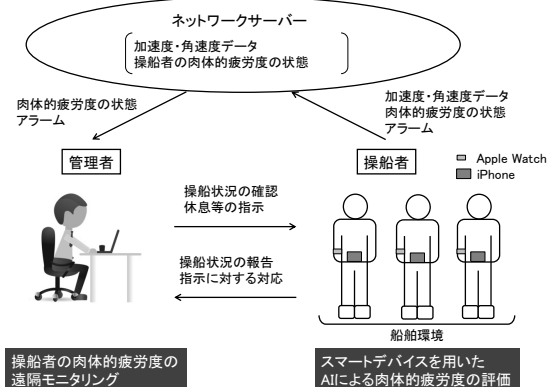


図 2 AI を用いた操船者の肉体的疲労を対象とした遠隔アラームシステム

(1)乗船者の身体の加速度・角加速度と表面筋電位

小型船舶の乗船者8名の立位姿勢動揺を頭部・腰部の加速度・角加速度、および頸部傍脊柱筋(左右)、腰部傍脊柱筋(左右)、外側広筋(左右)、ヒラメ筋(左右)の表面筋電位として計測し、エネルギー消費量に影響するパラメータの解析を行った(図3, 4)。乗船者が立位姿勢時の10分間を対象とし、加速度・角加速度の大きさを実効値、表面筋電位の大きさを積分筋電図として評価した。エネルギー消費量に影響するパラメータの解析は、エネルギー消費量を目的変数とし、従属変数を船舶の床、頭部・腰部の6自由度の加速度・角加速度の実効値、および頸部傍脊柱筋(左右)、腰部傍脊柱筋(左右)、外側広筋(左右)、ヒラメ筋(左右)の積分筋電図、生体の特徴を表す体重、体表面積とする重回帰分析により行った。

(2)視覚情報として波浪映像を提示した際の生体の重心動揺

生体の立位姿勢動揺は、バランス Wii ボードを用いて重心動揺として解析した。実験は、8名に対し操船シミュレータを用いて実施した(図5)。操船シミュレータは、船舶の操舵室を模擬する形で航海計器を配置し、海上や港湾などの航行状況をスクリーンに投影し、操船訓練を行うための装置である。実験協力者に表1に示す4つの条件の波浪映像を提示した際の重心動揺を計測し、視覚情報が生体の立位姿勢動揺に与える影響の解析を行った。条件1は波のない映像、条件2~4は波の向きを180°、135°、90°と変えた映像とした(図6)。重心動揺は、各実験協力者について、32秒ごとの総軌跡長および左右方向の軌跡長に対する左右方向の軌跡長の比(AP/ML)を算出し、実験協力者8名の平均値を求めることにより評価した。



図3 小型船舶における実験風景

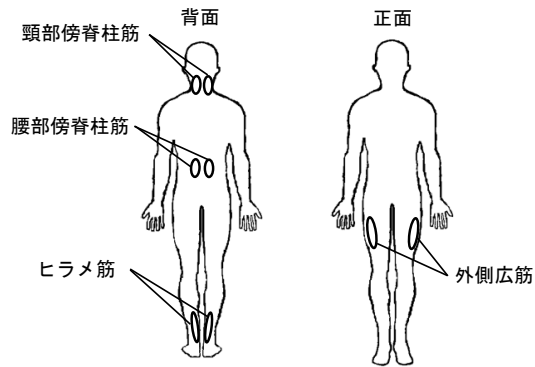


図4 表面筋電位の計測部位



図5 操船シミュレータを用いた実験風景

表1 船舶と波の条件

		条件1	条件2	条件3	条件4
船舶	針路 [°]	0	0	0	0
	速度 [kn]	0	15	15	15
波	波の向き [°]	0	180	135	90
	波高 [m]	0	3	3	3
	周期 [s]	0	8	8	8

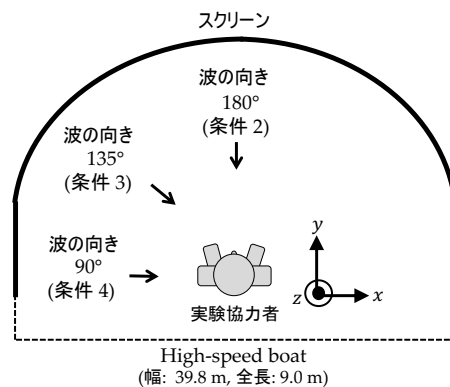


図6 実験協力者と波の向き

4. 研究成果

(1) 乗船者の身体の加速度・角加速度と表面筋電位

エネルギー消費量を目的変数とし、従属変数を船舶の床、頭部・腰部の6自由度の加速度・角加速度の実効値、体重とした重回帰分析の結果を表2に示す。重回帰式のあてはまりの良さを表す自由度調整済み決定係数は0.71であった。エネルギー消費量に影響を与える因子は、乗船者の腰部の前後方向の回転運動である pitch 方向の動揺であることが明らかとなった^[5, 6, 8]。エネルギー消費量を目的変数とし、従属変数を頸部傍脊柱筋(左右)、腰部傍脊柱筋(左右)、外側広筋(左右)、ヒラメ筋(左右)の積分筋電図、体表面積とする重回帰分析の結果を表3に示す。自由度調整済み決定係数は0.98であった。エネルギー消費量に影響を与える因子は、乗船者の腰部の筋活動であることが明らかとなった^[10]。

(2) 視覚情報として波浪映像を提示した際の生体の重心動揺

実験協力者8名の重心動揺の総軌跡長の平均値を図7に、重心動揺の軌跡長の比(AP/ML)の平均値を図8に示す。重心動揺の総軌跡長より、波のない映像を提示した場合(条件1)に比べて、波浪映像を提示した場合(条件2-4)に、実験協力者に重心動揺が発生していることがわかった。さらに、重心動揺の軌跡長の比から、実験協力者に提示する波の向きに左右方向の成分が含まれる場合(条件3-4)は、実験協力者に左右方向の重心動揺が生じる傾向にあることがわかった。視覚で捉えた波の向きに応じて、実験協力者に立位姿勢動揺が生じることが明らかとなった。

(3) 操船者の肉体的疲労度の予測を行うための機械学習に有効なパラメータ

本研究では、AIを用いた操船者の肉体的疲労度を対象とした遠隔アラームシステムの開発を目的とし、遠隔アラームシステムを構成する装置の準備、および過去に実施した実験データを用いた操船者の肉体的疲労度の予測に有効な指標の検討を行った。研究成果(1)(2)より、操船者の肉体的疲労度の予測を行うための機械学習に有効なパラメータは、操船者の腰部の動揺および、重心動揺であることが明らかとなった^[7, 9, 11]。

表2 エネルギー消費量に影響する動揺

変数		標準偏回帰係数	p値
切片		-0.11	1.00
頭部	前後揺れ(surge)	-	0.10
	横揺れ(roll)	-	0.12
	船首揺れ(yaw)	-	0.14
腰部	左右揺れ(sway)	-	0.77
	上下揺れ(heave)	-	0.59
	横揺れ(roll)	-	1.00
	縦揺れ(pitch)	0.48	0.00
船舶の床	前後揺れ(surge)	-	0.37
	船首揺れ(yaw)	-	0.99
体重		0.53	0.00

-: 因子として選択されなかった変数

表3 エネルギー消費量に影響する筋活動

変数	標準偏回帰係数
切片	-0.43
体表面積	0.84
頸部傍脊柱筋(左)	-
腰部傍脊柱筋(左)	-
腰部傍脊柱筋(右)	0.30
外側広筋(左)	-
外側広筋(右)	-
ヒラメ筋(左)	-
ヒラメ筋(右)	-

- 因子として選択されなかった変数

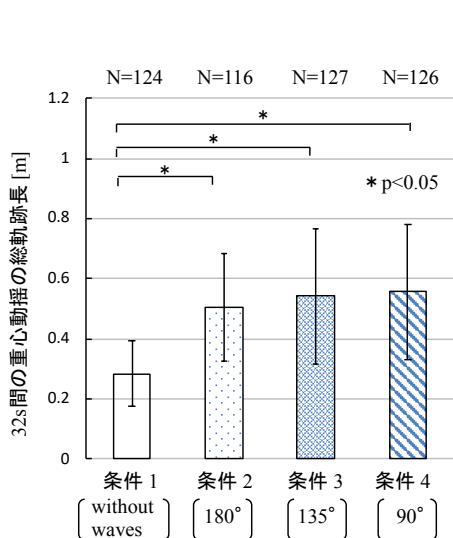


図7 重心動揺の総軌跡長

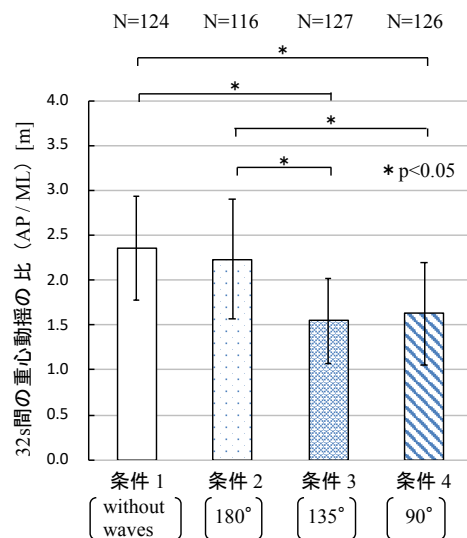


図8 重心動揺の軌跡長の比 (AP/ML)

<引用文献>

- [1] 海上保安庁：海難の現況と対策について～大切な命を守るために～（平成26年度版），pp. 9-51, 2015.
- [2] 一般社団法人日本船主協会ホームページ：海と船の Q&A, <https://www.jsanet.or.jp/qanda/index.html>（2017年10月25日）.
- [3] 公益社団法人 日本海難防止協会：海と安全 疲労と海難また幽水. 456, pp.1-10, 1997.
- [4] Japan Captains' Association: A Guide to Ship Handling, p.73, 2008.
- [5] 土井根礼音, 宮脇富士夫, 瀬田広明, 坂牧孝規：小型船舶乗船者の立位姿勢動揺が生体のエネルギー消費量に及ぼす影響, 日本航海学会講演予稿集, 6(2), pp.151-154, 2018.
- [6] 土井根礼音, 宮脇富士夫, 瀬田広明, 本間章彦, 福井康裕, 坂牧孝規：小型船舶乗船者の頭部・腰部動揺とエネルギー消費量を指標とした肉体的疲労評価の基礎的研究, 第58回日本生体医工学会大会プログラム抄録集, P0-M-112, p.86, 2019.
- [7] 土井根礼音, 瀬田広明, 本間章彦, 坂牧孝規：操船シミュレータにおける波向き映像の差異が生体の立位姿勢動揺に与える影響, 日本航海学会論文集, 141, pp.39-46, 2019.
- [8] 土井根礼音, 宮脇富士夫, 瀬田広明, 坂牧孝規：小型船舶における生体の立位姿勢動揺がエネルギー消費量に及ぼす影響, 日本航海学会論文集, 140, pp.124-132, 2019.
- [9] 土井根礼音, 瀬田広明, 本間章彦, 福井康裕, 坂牧孝規：操船シミュレータの波浪映像に対して被訓練者が感じる立位姿勢動揺, 第59回日本生体医工学会大会抄録集, P0-3-081, p.96, 2020.
- [10] 土井根礼音, 坂牧孝規：小型船舶乗船者の姿勢動揺に伴う生体のエネルギー消費量と表面筋電位の解析, 第60回日本生体医工学会プログラム・抄録集, 02-6-2, p.439, 2021.
- [11] Takanori Sakamaki and Renon Doine: Effects of Wave Images on Standing Posture of Ship Crew, Proceedings of ISATE-International Symposium on Advances in Technology Education Conference, pp. 66-71, 2021.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 DOINE Renon, SETA Hiroaki, HOMMA Akihiko, SAKAMAKI Takanori	4. 巻 141
2. 論文標題 Effects of Wave Direction Difference Projected by a Ship Handling Simulator on Human Standing Postural Motion	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Japan Institute of Navigation	6. 最初と最後の頁 39 ~ 46
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.9749/jin.141.39	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 DOINE Renon, MIYAWAKI Fujio, SETA Hiroaki, SAKAMAKI Takanori	4. 巻 140
2. 論文標題 Effects of Standing Postural Motions on Human Energy Expenditures in a Small Marine Craft	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Japan Institute of Navigation	6. 最初と最後の頁 124 ~ 132
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.9749/jin.140.124	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 土井根礼音, 瀬田広明, 本間章彦, 福井康裕, 坂牧孝規
2. 発表標題 操船シミュレータの波浪映像に対して被訓練者が感じる立位姿勢動揺
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土井根礼音, 宮脇富士夫, 瀬田広明, 本間章彦, 福井康裕, 坂牧孝規
2. 発表標題 小型船舶乗船者の頭部・腰部動揺とエネルギー消費量を指標とした肉体的疲労評価の基礎的研究
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土井根礼音, 瀬田広明, 本間章彦, 坂牧孝規
2. 発表標題 操船シミュレータにおける波向き映像の差異が生体の立位姿勢動揺に与える影響
3. 学会等名 日本航海学会第140回講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土井根礼音, 宮脇富士夫, 瀬田広明, 坂牧孝規
2. 発表標題 小型船舶乗船者の立位姿勢動揺が生体のエネルギー消費量に及ぼす影響
3. 学会等名 第139回日本航海学会秋季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土井根礼音, 宮脇富士夫, 瀬田広明, 本間章彦, 福井康裕, 坂牧孝規
2. 発表標題 小型船舶乗船者の頭部・腰部動揺とエネルギー消費量を指標とした肉体的疲労評価の基礎的研究
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土井根礼音, 坂牧孝規
2. 発表標題 小型船舶乗船者の姿勢動揺に伴う生体のエネルギー消費量と表面筋電位の解析
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takanori Sakamaki and Renon Doine
2. 発表標題 Effects of Wave Images on Standing Posture of Ship Crew
3. 学会等名 Proceedings of ISATE-International Symposium on Advances in Technology Education Conference (国際学会)
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------