

令和 3 年 10 月 18 日現在

機関番号：54102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02056

研究課題名(和文) 船舶環境における疲労削減を目的としたサイボーグスーツの開発

研究課題名(英文) Development of the cyborg suit to reduce crew's physical fatigue on a marine craft

研究代表者

坂牧 孝規 (Sakamaki, Takanori)

鳥羽商船高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：80256627

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,830,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、船舶環境における操船者の疲労削減に特化して、船舶動揺に対する操船者の姿勢維持運動を外部から力を加え制御することで、操船者の肉体的疲労を削減するサイボーグスーツの実現を目指した。

本研究では、EAM(Electro Attractive Material)ブレーキデバイスを用い、下肢の姿勢動揺を支持するため、膝関節および足首の動きを制御するためのアクチュエータの開発、サイボーグスーツ制御機構開発のための姿勢動揺の解析、陸上において船舶動揺を再現する評価装置の開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究におけるサイボーグスーツの制御機構の開発を通じ、船舶環境の動揺を原因とする生体の姿勢動揺に加えて、姿勢制御のための筋肉の動作や、船外の風景の動きを視覚的に捉えることにより生じる姿勢動揺のメカニズムを解明することができた。また、湿度の高い環境下でも安全に動作し、狭い船舶内でも利用可能なアクチュエータを開発することができた。

本研究成果は、乗船者以外の日常生活における疲労削減を目的とした姿勢維持支援システムへの応用・展開が考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop the cyborg suit for the reduction of crew's physical fatigue on a marine craft. It aims to support the standing postural motion of human against ship motion.

We developed two types of actuators to control the motions of knee joint and ankle, using EAM (Electro Attractive Material) device. We investigated the behavior of the human postural motions against the motion of marine craft using surface electromyogram. We developed the motion system, which is able to simulate the floor motion on a ship, to evaluate the cyborg suit.

研究分野：生体工学

キーワード：労働安全衛生 船舶動揺 疲労 サイボーグスーツ 姿勢制御

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

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。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。一方、船舶に乗船すると、ほとんどの人たちは疲労を感じる。船舶事故の原因の90%は人的要因によるものとされている。疲労は見張り不十分などのヒューマンエラーが原因の一つと考えられており、船舶職員の疲労の適切な対応策が求められている。

乗船者の疲労に関する研究では、アンケートにより評価した乗船者の疲労の自覚症状と船舶動揺、海況等の関係の調査が行われている。しかし、これらの先行研究では、船舶動揺に対する乗船者の身体運動を考慮しておらず、また、乗船者の疲労を主観的なアンケート調査により捉えているのみである。乗船者の疲労への対策が求められる一方で、その発生メカニズムの詳細については明らかとなっていなかった。このため、客船および商船の居住性に関する国際規格においても、生体に対する影響については明確な基準が定められていないのが現状である。

一般に、疲労は、過度の肉体的・精神的活動の結果として生じる機能低下状態を表すと定義される。我々は、乗船者の肉体的疲労に注目し、先行研究として、乗船者の姿勢維持の動作に伴う立位姿勢動揺、およびエネルギー消費量の解析を行った。これら研究により、

乗船者が、船舶動揺に対し、陸上とは明らかに異なる姿勢維持動作を行っていること、
姿勢維持動作による運動負荷が、陸上での踏み台昇降運動に相当すること、
立位姿勢時の乗船者のエネルギー消費量の7割は、腰部における前後方向の回転運動である縦揺れ(Pitch)と体表面積で予測可能であり、体表面積に比べて腰部の縦揺れがエネルギー消費量に影響を及ぼすこと、
姿勢維持には、主に下肢の筋肉が用いられている可能性が高いこと、
視覚の影響による姿勢動揺は、エネルギー消費量として検出できないこと、
がわかった。以上より、船舶動揺に対し乗船者が継続して行う姿勢維持動作が、肉体的疲労の大きな原因の一つであることが解明された。

そこで、乗船者が船舶動揺に対して継続的に行っている姿勢維持運動を、外部から力を加え制御することが可能となれば、操船者の肉体的疲労を削減することができる可能性があると考えられる。医療の分野では、身体機能を改善・補助・拡張・再生を目的としたサイボーグ型ロボットや、介護・物流における動作補助を目的としたマッスルスーツが存在する。しかし、これらは、船舶動揺など常時生体に動揺が加わるような環境を考慮しておらず、また操船者などの労働環境を配慮した装置ではない。

2. 研究の目的

本研究は、船舶環境における操船者の疲労削減に特化して、船舶動揺に対する操船者の姿勢維持

運動を外部から力を加え制御することで、操船者の肉体的疲労を削減するサイボーグスーツの実現を目指した。本研究では、アクチュエータの開発、制御機構実現のための生体の姿勢維持状態の分析および制御機構の開発、評価装置の開発を目的とした(図1)。

3. 研究の方法

本研究では、以下の装置の開発を行うことを目指した。

(1) アクチュエータの開発

サイボーグスーツを制御するためのアクチュエータは、乗船者の船舶動揺に対する姿勢動揺を抑制することを目的とする。このため、アクチュエータは、パワーアシストではなく、姿勢動揺にブレーキをかける機能の開発を行った。本研究では、EAM(Electro Attractive Material)プレーキデバイスを用いた膝関節、および足関節の制御を想定した小型のアクチュエータを開発した。

(2) 制御機構の開発

申請者らの先行研究で明らかになった船舶動揺に対する生体の姿勢制御メカニズムに基づき、姿勢動揺の解析を行い、姿勢動揺の制御手法の開発を目指した。

(3) 評価装置の開発

本研究を実施するためには、実際の船舶動揺と同等の動揺を、陸上に於いて再現できる環境が必要となる。本研究では、これまでに試作した簡易型動揺装置を基に、評価装置を開発した。

4. 研究成果

(1) アクチュエータの開発^{1,2)}

EAM(Electro Attractive Material)は、シリコンゴム中に分極しやすい微粒子を分散させたシート状の機能性材料である。EAMプレーキデバイスは、EAMを円形の電極ではさみシャフトを通すことで、電圧で抵抗トルクを調節する(図1)。本研究では、サイボーグスーツのアクチュエータとして展開可能な膝関節の動きを制御するためのアクチュエータ(図2)と、足首の動きを制御するためのアクチュエータ(図3)の開発を行った。

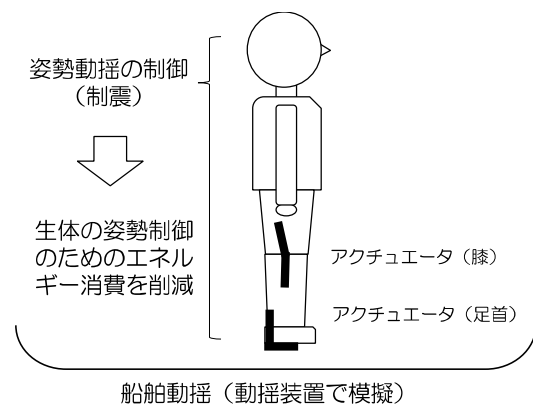


図1 サイボーグスーツの概念図

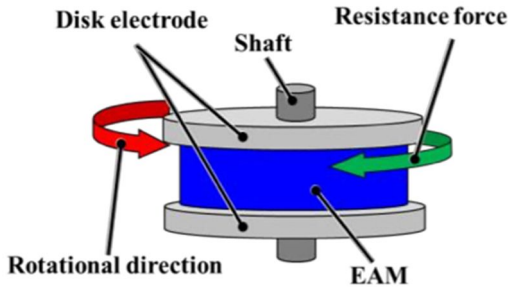


図1 EAM ブレーキデバイス



図2 膝関節用アクチュエータ

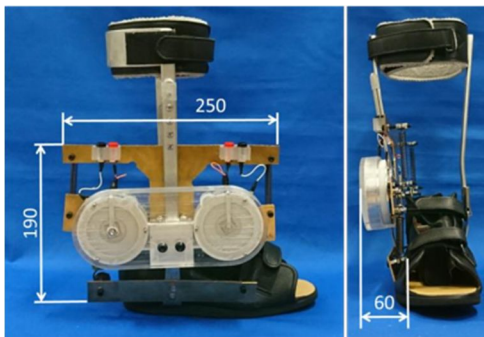


図3 足関節用アクチュエータ

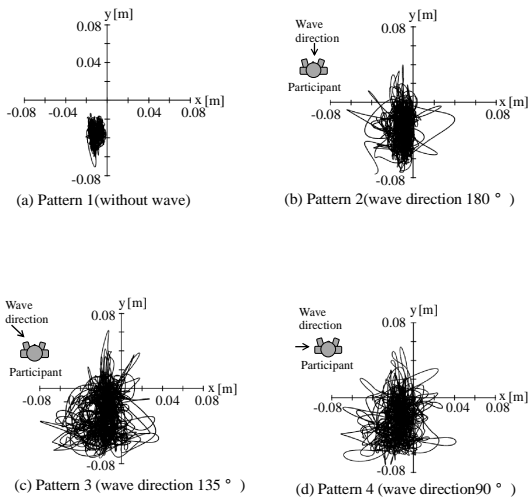


図4 生体の重心動揺の軌跡

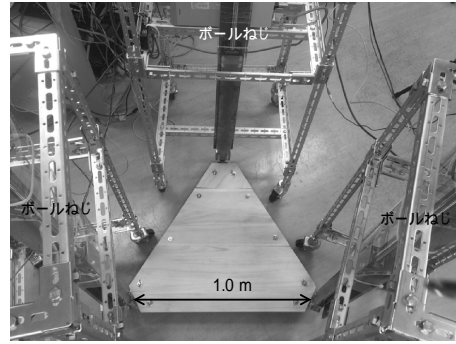
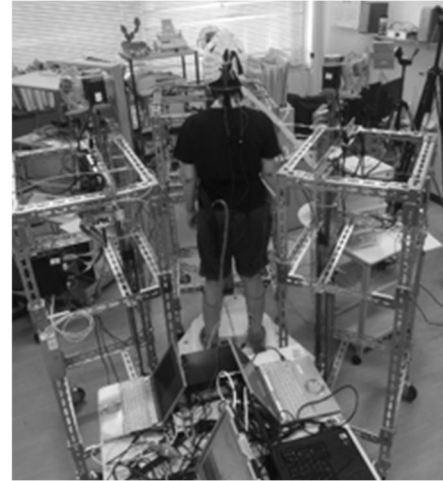


図6 評価装置（動揺装置）



(2)制御機構の開発^{3,4,5,6}

我々の研究から船舶動揺に対する生体の姿勢維持は、主に生体の腰部の縦揺れ (pitch) が生体のエネルギー消費量に影響を及ぼすことがわかっている。サイボーグスーツの制御機構の実現のために、船舶動揺に対して生体が姿勢維持のために用いている筋肉の動作、および生体の姿勢維持に伴う生体の重心移動について解析を行った。

筋肉の動作の解析は、小型船舶の乗船者の頸部傍脊柱筋、腰部傍脊柱筋、外側広筋、ヒラメ筋の表面筋電図を計測することによって行った。実験データの解析により、小型船舶走行時の立位姿勢の乗船者は、船舶動揺に対して、主にヒラメ筋や外側広筋などの下肢の筋肉を用いて、姿勢制御を行っている可能性が高いことがわかった。

操船シミュレータを用い、波向き映像の差異が、生体の立位姿勢動揺に与える影響について、生体の重心動揺を計測し解析を行った。本研究において、生体の重心動揺を前後・左右方向に分解し、左右方向の軌跡長に対する前後方向の軌跡長の比と、その回帰直線の傾きから、生体の立位姿勢動揺を評価する指標を考案し、生体には操船シミュレータの映像が示す波向きおよび船体傾斜に応じた立位姿勢動揺が発生していることを確認した (図4)。これは、平衡感覚や体性感覚への刺激がない環境においても、視覚刺激の差異に応じて、生体に立位姿勢動揺が発生することを示している。このため、視覚により船舶動揺を捉えることが出来ない船内などの環境下においては、視覚で捉えた動揺と平衡感覚や体性感覚で捉えた動揺が異なることが生じ、生体自身の姿勢制御に混乱を起こしている可能性があることが示唆された。これは、生体が動揺の発生を視覚により予測し姿勢を制御

していることを示すことにつながり、サイボーグスーツにおいては、生体の持つ姿勢制御に連動する制御アルゴリズムが、安全性確保の観点で極めて重要であることがわかった。

サイボーグスーツは、下肢の筋肉の動作を支持することを目的に、先ず、膝関節の制御を主眼に置き、関節の動きと、足裏に取り付けた圧センサで計測する重心動揺から生体の動揺を把握し、膝関節用アクチュエータ動作の制御を行う機能の開発を目指した。制御機能の開発については、本研究期間終了後も継続して行う予定である。

(3) 評価装置の開発

評価装置は、並進運動の上下揺れ (Heave)、回転運動の横揺れ (Roll)、縦揺れ (Pitch) の動きを、一辺 1.0m の正三角形の板に発生させる。動揺は、板の各頂点が台車の上に垂直に立てられたボールねじに接続され、AC サーボモータを用いて、ボールねじの回転を制御することで調整される (図 5)。開発装置には、新たに開発した誤動作防止のための自動停止装置が取り付けられ、事故防止が図られている。

引用文献

- 1) 長妻明美, 吉尾雅春, 増田知子, 山本澄子, 安井匡, 三井和幸, 安齊秀伸, 歩行練習に用いる長下肢装具用膝ブレーキデバイスの開発, 16 回日本神経理学療法学会学術大会, p.P-B-10-6, 2018
- 2) 川島源樹, 安齊秀伸, 長妻明美, 三井和幸, EAM ブレーキデバイスを用いた歩行支援機能を有する短下肢装具の開発, 平成 30 年春季フルードパワーシステム講演会講演論文集, pp.32-34, 2018
- 3) 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 巻, pp.39-46, 2019.
- 4) 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 巻, pp.124-132, 2019.
- 5) 土井根礼音, 坂牧孝規, 瀬田広明, 本間章彦, 表面筋電図を用いた小型船舶動揺に対する乗船者の姿勢制御動作の解析, 日本航海学会論文集, Vol.136, pp.128-134, 2017
- 6) 土井根礼音, 坂牧孝規, 瀬田広明, 本間章彦, 操船シミュレータの動画像が生体の立位姿勢動揺に与える影響に関する研究, 日本航海学会論文集, Vol.136, pp.121-127, 2017.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 土井根 礼音, 瀬田 広明, 本間 章彦, 坂牧 孝規	4. 巻 141
2. 論文標題 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	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本航海学会論文集	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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 土井根礼音, 宮脇富士夫, 瀬田広明, 坂牧孝規	4. 巻 140
2. 論文標題 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	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本航海学会論文集	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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 土井根礼音, 坂牧孝規, 瀬田広明, 本間章彦	4. 巻 136
2. 論文標題 操船シミュレータの動画像が生体の立位姿勢動揺に与える影響に関する研究	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本航海学会論文誌	6. 最初と最後の頁 121-127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9749/jin.136.121	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 土井根礼音, 坂牧孝規, 瀬田広明, 本間章彦	4. 巻 136
2. 論文標題 表面筋電図を用いた小型船舶動揺に対する乗船者の姿勢制御動作の解析	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本航海学会論文誌	6. 最初と最後の頁 128-124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9749/jin.136.128	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0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 プログラム・抄録集
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抄録集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長妻明美, 吉尾雅春, 増田知子, 山本澄子, 安井匡, 三井和幸, 安齊秀伸
2. 発表標題 歩行練習に用いる長下肢装具用膝ブレーキの開発及び歩容の比較
3. 学会等名 第58回日本生体医工学会大会プログラム・抄録集
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 日本航海学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土井根礼音, 瀬田広明, 安齊秀伸, 三井和幸, 本間章彦, 坂牧孝規
2. 発表標題 操船シミュレータの波浪画像が生体の立位姿勢動揺に及ぼす影響
3. 学会等名 ライフサポート学会(LIFE2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川島源樹, 安齊秀伸, 長妻明美, 三井和幸
2. 発表標題 EAMブレーキデバイスを用いた歩行支援機能を有する短下肢装具の開発
3. 学会等名 フルードパワーシステム学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長妻明美, 川島源樹, 三井和幸, 安齊秀伸
2. 発表標題 歩行支援機能を有する短下肢装具の開発についての基礎的研究
3. 学会等名 日本生体医工学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川島源樹, 長妻明美, 安齊秀伸, 三井和幸
2. 発表標題 身体の動きを利用した歩行支援機能を有する短下肢装具の開発に関する基礎的研究
3. 学会等名 日本生体医工学会(関東支部若手研究者発表会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂牧孝規, 土井根礼音, 小川伸夫, 瀬田広明, 林浩一, 本間章彦, 三井和幸
2. 発表標題 船舶動揺を模擬する簡易型動揺装置を用いた生体の立位姿勢動揺の解析
3. 学会等名 LIFE2017 講演要旨集 241-242 2017年9月
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川島源樹, 三井和幸, 安齊秀伸, 長妻明美
2. 発表標題 EAMブレーキデバイスを用いた歩行支援機能を有する短下肢装具の開発
3. 学会等名 平成30年春季フルードパワーシステム講演会
4. 発表年 2018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	土井根 礼音 (Doine Renon) (20784424)	東京電機大学・総合研究所・助教 (32657)	
研究分担者	三井 和幸 (Mitsui Kazuyuki) (60209799)	東京電機大学・工学部・教授 (32657)	
研究分担者	小川 伸夫 (Ogawa Nobuo) (60280400)	鳥羽商船高等専門学校・その他部局等・教授 (54102)	

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
連携研究者	瀬田 広明 (Seta Hiroaki) (20311037)	鳥羽商船高等専門学校・その他部局等・准教授 (54102)	
連携研究者	本間 章彦 (Honma Akihiko) (20287428)	東京電機大学・理工学部・教授 (32657)	

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