

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：53101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350487

研究課題名(和文) 分数階微積分モデルの感覚情報フィードバックによる小型船舶用操舵支援システムの構築

研究課題名(英文) Development of supporting system for pleasure boat maneuvering by fractional calculus model based feeling feedback information

研究代表者

池田 富士雄 (Ikeda, Fujio)

長岡工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：30353337

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：自動車では、ドライバは視覚、筋肉刺激、運動刺激の情報を得て操縦している。一方船舶では、視覚情報以外のフィードバックが乏しいため、経験の浅い操船者の操舵事故が起こりやすい。本研究では熟練者の操舵モデルによるビギナーへの支援システムを構築することにより操船事故を減らすことを目的としている。この熟練者モデルを求めるため、一つ目に、操船シミュレータを用いて、操船に対する人間機械系モデルを作成し、ヒトによって制御される小型船舶運動の安定性解析を行った。二つ目に、ドライビングシミュレータを用いて車両を運転する際の体感情報と視覚情報の有無による、運転操作の違いを評価した。

研究成果の概要(英文)：Human drives a car with getting information of sight, muscle stimulation and motion of a car. On the other hand, human only get the information of sight when operates a ship. The shortage of information causes maritime accidents by inexperienced pilots. This study aims to reduce the maritime accident of the beginner pilots by developing support system which consists of an expert steering model. First we studied stability analyses of the pleasure boat controlled by human models in view of pass following for the target course along maneuvering the ship. Second we evaluated the difference of driving operation property between having information of feeling and sight or not.

研究分野：制御工学

 キーワード：分数階微積分 小型船舶 エキスパートパイロット ビギナーパイロット 操船シミュレータ ドライ
 ビングシミュレータ

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、マリナーレジャーの普及に伴う経験の浅い操船者 (ビギナーパイロット) の増加により、海難事故が増加の一途を続けている。事故増加の主な原因の一つとして、操舵系のダイナミクスが複雑な非線形特性を有するため、パイロットが判断を見誤り、操舵ミスを引き起こしていることが挙げられる。しかしながら小型船舶は AIS 搭載の対象外であるため、AIS に代わる操船支援システムの開発が強く求められている。

ビギナーパイロットの操舵ミスを減らす解決策の一つとして、操舵の際に得られる情報量を車輦運転者 (ドライバ) 並に引き上げる事が考えられる。車輦運転においてドライバは「視覚情報」に加えて、ステアリングから腕に伝わる「筋肉刺激」や、体全体に伝わる車輦運動の前後左右およびヨー運動の加速感などの「運動刺激」を得ながら操縦している。一方、パイロットが船体から受ける感覚情報は非常に乏しく、ほぼ「視覚情報」のみに頼らざるを得ない。そこで、筋肉刺激および運動刺激を擬似的に与えることにより、これまでは長年の経験で得ていた熟練者 (エキスパートパイロット) の操縦スキルを、速やかに体得することが可能となると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、ビギナーパイロットによる操船事故を減らすため、熟練操船者 (エキスパートパイロット) の操舵モデルを求め、パイロットへ感覚情報を支援するシステムを構築することを目指している。ビギナーパイロットにとって、特に習得が困難と考えられるのは以下の2点である。一つ目は、操舵系および船体の運動特性が、ともに複雑な非線形特性を有していること。二つ目は、パイロットの腕に伝わる「筋肉刺激」および、船体から伝わる「運動刺激」のフィードバック情報がそれぞれ著しく乏しいことである。

そこで新たに、エキスパートの操舵モデルを構築し、ビギナーにとって習得が困難かつ不足する感覚情報を補うことにより、操舵ミスを減らすことができると考えられる。この熟練者モデルを求めるため、一つ目に、小型船舶を操舵する人間の操舵特性を明らかにすることを目的とする。二つ目に、人が自動車を運転する際の体感情報と視覚情報の有無による、運転操作特性の違いを明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

一つ目の目的の、小型船舶を操舵する人間の操舵特性を明らかにするために、操船シミュレータを用いて、操船に対する人間機械系モデルを作成し、パイロットによって制御される小型船舶運動の安定性解析を行った。

二つ目の目的の、人が自動車を運転する際の体感情報と視覚情報の有無による、運転操作特性の違いを明らかにするため、ドライビングシミュレータを用いて車両を運転する際の体感・視覚情報の有無による、運転操作の違いを評価した。

(1) 小型船舶の安定性解析

操船における人間機械系モデルを考えるために、図1のようなほぼ直線とみなせる目標コースを与えた場合を考える。

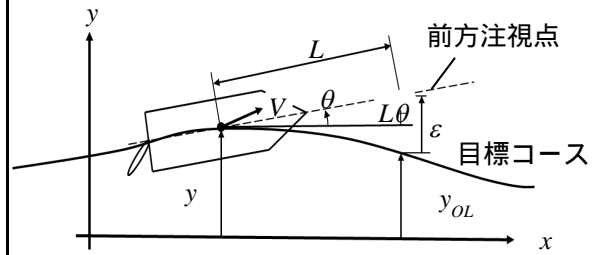


図1 安定性解析の目標コース

ここで L は前方注視点距離、 y_{OL} は前方注視点での目標コースの横変位、 y は船舶の横変位、 θ は回頭角である。このとき前方注視点における目標コースからのずれは次式のようになる。

$$\epsilon = y_{OL} - (y + L\theta) \quad (1)$$

以上のような目標コースに対する船舶の運動 y の関係をブロック線図で表すと図2のように表される。

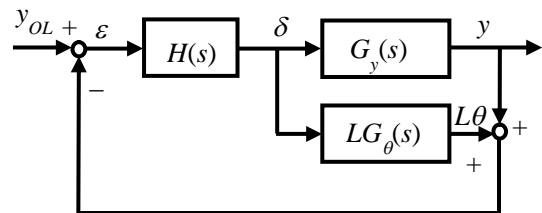


図2 船舶運動のブロック線図

ここで、 $G_y(s)$ 、 $G_\theta(s)$ は船舶の伝達関数、 $H(s)$ は人間の伝達関数である。人間の伝達関数、すなわち人の制御動作はむだ時間を含む比例動作を基本とし、これにごく弱い微分動作あるいは積分動作を加えた程度と考えられ、代表的な伝達関数は次式で表される。

$$H(s) = h \cdot \left(\tau_D s + 1 + \frac{1}{\tau_I s} \right) \cdot e^{-\tau_L s} \quad (2)$$

本研究ではさらに、次式で表されるような微分積分の階数 (ラプラス変数 s の次数) を分數に拡張した分數階微積分モデルを考える。

$$H_f(s) = h \cdot \left(\tau_D s^q + 1 + \frac{1}{\tau_I s^p} \right) \cdot e^{-\tau_L s} \quad (3)$$

ただし q, p はそれぞれ分数階微分・積分の回数を表す。これらの操舵モデルを用いて、熟練度が高く、操舵ミスが少ない操舵モデルの実現を目指した制御系設計を行い、安定性の解析を行った。

(2) 体感・視覚情報の有無による、運転操作の評価

運転操作の特性を評価するために、図3に示すドライビングシミュレータを用いた実験を行った。



図3 ドライビングシミュレータ

本シミュレータは、モニターに運転席からの景色を再現した映像を映し、座席下にある6軸モーションプラットフォームがモニターの映像に合わせて動くことで車両の運転状態を擬似的に再現する。自動車運転の熟練度別に、合計25名の被験者で実験を行った。実験コースは図4のような3車線で大きく蛇行したコースを、画面上の指示に従い車線変更を行いながら指定速度50km/hで走行してもらった。



図4 設定コースの外観

体感情報の有無は、6軸モーションプラットフォームの動作特性を一般車両と同程度に設定した場合と、動作を停止した場合で行った。視覚情報の有無は、コースの左右に建物などの有無とした。

運転操作特性の違いについて、「平均操舵角」、「平均操舵角速度」、「平均速度」、「ドライバの満足度」の4つの観点で評価を行った。平均操舵角および平均操舵角速度は、ステアリングの切れ角および角速度の平均値を表し、この値が小さいほど効率よくスムーズな運転が出来ていると言える。平均速度は実験中に指定した速度と比較して指示通りの運転が出来ているかを評価する。ドライバの満

足度は、実験終了後に操作感などに関するアンケート調査を行い、ドライバの満足感を評価した。

4. 研究成果

(1) 小型船舶の安定性解析

目標コースの横変位 y_{OL} から船舶の横変位 y までの閉ループ伝達関数は次のように表される。

$$G(s) = \frac{b_1 s H(s) + b_0 H(s)}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + (a_{11} + a_{12} H(s)) s + a_0 H(s)} \quad (4)$$

ここで、分母多項式、分子多項式の係数は、それぞれ以下のように表される。

$$a_3 = ml$$

$$a_2 = I f_R V + m(l_R^2 f_R V - l_H c)$$

$$a_{11} = m l_R f_R V^2 + (l_R - l_H) f_R V c$$

$$a_{12} = (I - L m l_R) f_R V^2$$

$$a_0 = (l_R - l_H) f_R V^2 c$$

$$b_1 = I f_R V^2$$

$$b_0 = L(l_R - l_H) f_R V^2 c$$

式(2)および(3)の比例ゲイン h をはじめとする人間の動特性パラメータを種々変更し、船速 V 、前方注視点距離 L を変化させたときの安定領域の結果を図5に示す。船速 V は通常運航速度とみなせる 6.8m/s ($=13.3\text{kt}$) $\sim 8.8\text{m/s}$ ($=17.1\text{kt}$) とし、比例ゲイン h は $0.001\sim 1\text{ rad/m}$ 、前方注視点距離 L は $1\sim 500\text{ m}$ としている。図5のグラフは安定領域の上限を示しており、それより下の範囲が安定領域である。また、一番低い船速である 6.8m/s では式(4)の特性根の実部が全て正となり安定領域が存在しなかった。図5より、前方注視点距離が長いほど比例ゲインの上限が減少し、安定領域が縮小していることが分かった。

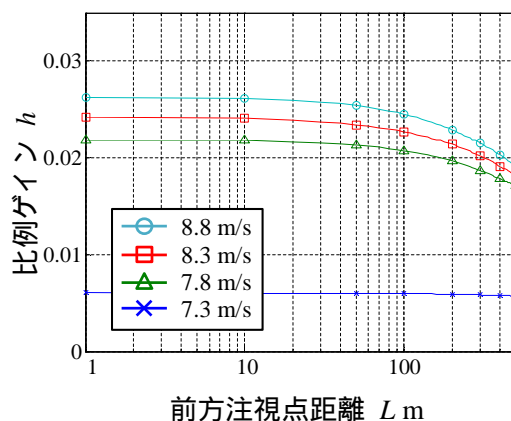


図5 安定領域の解析結果

(2) 体感・視覚情報の有無による、運転操作の評価

一例として全被験者に関する平均操舵角の結果を図6に示す。これより体感情報があった場合、約10%程度操作の効率が上昇して

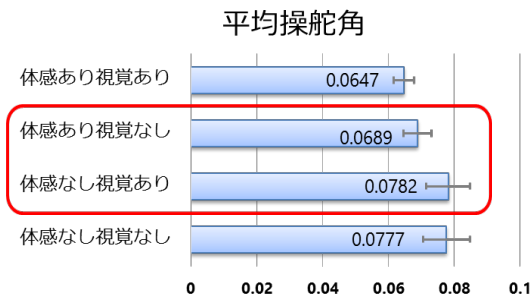


図 6 被験者全体の平均操舵角

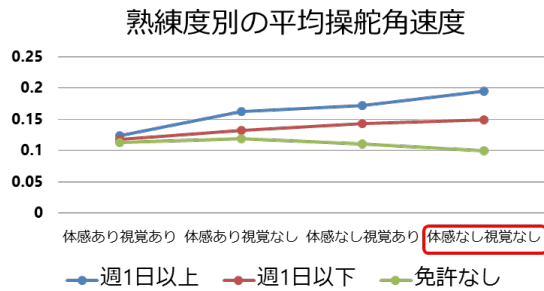


図 7 熟練度別の平均操舵角速度

おり、体感情報が有意に影響を与えていることが分かった。また熟練度別での平均操舵角速度の結果を図 7 に示す。これより熟練度の低い免許なしおよび週 1 日以下のドライバでは、体感情報の有無は大きな影響を与えていないことが分かる。一方でエキスパートに相当する週 1 日以上運転するドライバでは、体感情報があるときに比べ、ないときの角速度が 1.5 倍程度大きく、より多くの操作を行っている。これより、エキスパートになるほど、体感情報を意識した操作をしていることが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

(1) Kohei Iihama, Shigehiro Toyama, Fujio Ikeda, Hiroaki Seta and Nobuo Ezaki: Usability Evaluation of Steering System for Pleasure Boat with Eye Tracking Device, Transactions on GIGAKU, 査読有, Vol.2, No.1, 2014, pp.02013/1-8.

〔学会発表〕(計 6 件)

(1) Fujio Ikeda, Shigehiro Toyama, Hiroaki Seta and Sota Ishizuki: A Study of Steering System Algorithm of Pleasure Boat based on Stability Analysis of Human-Machine System Model, The 13th International Conference on Motion and Vibration Control, 2016.7.4, Southampton (United Kingdom), Accepted

(2) 石月創太, 外山茂浩, 池田富士雄, 瀬田広明: 操船におけるヒト・小型船舶系モデルに基づいた電子制御操舵アルゴリズムの検討, 第 14 回運動と振動の制御シンポジウム, C302,

2015.6.24, 栃木県総合文化センター (栃木県・宇都宮市)

(3) 石月創太, 外山茂浩, 池田富士雄, 瀬田広明: 小型船舶用電子制御操舵系における制御アルゴリズムに関する研究, 日本機械学会北陸信越支部第 52 期総会講演会, 1401, 2015.3.7, 新潟工科大学 (新潟県・柏崎市)

(4) 山口裕之, 外山茂浩, 池田富士雄, 瀬田広明: 小型船舶用操舵機構の操作性評価に関する研究, シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2014, C-2, 2014.10.30, アオーレ長岡 (新潟県・長岡市)

(5) 石月創太, 外山茂浩, 池田富士雄, 瀬田広明: ヒトに制御される小型船舶運動の安定性解析, シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2014, C-4, 2014.10.30, アオーレ長岡 (新潟県・長岡市)

(6) Kohei Iihama, Shigehiro Tomoya, Fujio Ikeda, Hiroaki Seta and, Nobuo Ezaki: Usability Evaluation of Steering System for Pleasure Boat with Eye Tracking Device, The 2nd International GIGAKU Conference in Nagaoka, SO-11, 2013.6.22, 長岡技術科学大学 (新潟県・長岡市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田富士雄 (IKEDA, Fujio)

長岡工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号: 30353337

(2) 研究分担者

外山茂浩 (TOYAMA, Shigehiro)

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: 60342507

(3) 連携研究者

瀬田広明 (SETA, Hiroaki)

鳥羽商船工業高等専門学校・商船学科・准教授

研究者番号: 20311037