

令和 4 年 6 月 5 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：18H03280

研究課題名（和文）高齢操船者のヒューマンエラーを予防するAR操船支援システムの開発

研究課題名（英文）Development of AR Ship-maneuvering Assistance System to Prevent Human Errors by Elderly Ship Operator

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・教授

研究者番号：30353337

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、高齢操船者によるヒューマンエラーを原因とする小型船舶の衝突海難事故を減らすことを目指し、高齢者への効果的な触覚・視線情報を支援するシステムの検討および開発を行うことを目的としている。ヒューマンエラーを予防するため、以下の3つのシステムを提案した。1つ目に、ハンガー反射を用いた身体能力の補完支援デバイス。2つ目に、視線移動による操船者の負荷を軽減させるため、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）を用いたサポート情報の視覚提示の方法。3つ目に、運転操作の維持が困難になり得る異常を検知した際に警告等を通知し、正常な操船状態に復帰を促すシステム。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、高齢ドライバーによる自動車事故が社会問題化し、加齢による機能低下が自動車の運転能力に与える影響について重要な示唆が得られている。具体的には、加齢によって感覚・認知・運動機能が低下することにより、ヒューマンエラーを誘発するとされている。本研究の特徴は、高齢操船者の認知機能の低下、反応動作の衰え、視野狭窄の要因に着目している点である。本研究で提案する支援システムは、高齢操船者の実質的な身体能力の改善を目的とし、小型船舶のヒューマンエラーに対する根本的な解決策を導く学際的研究課題であり、交通安全、ヒューマンエラー等に対する新たな学術分野の創成が期待される。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to investigate and develop an effective tactile and gaze information support system for elderly people with the aim of reducing the number of small vessel collisions and maritime accidents caused by human error by elderly boat operators. To prevent human error, the following three systems were proposed: First, a device to assist in supplementing physical abilities using the hanger reflex. Second, a method of visual presentation of support information using a head-mounted display (HMD) to reduce the load on the operator caused by eye movement. Third, a system that notifies the operator of warnings, when it detects an abnormality that could make it difficult to maintain operational control, and encourages the operator to return to normal ship-maneuvering conditions.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：ヒューマンエラー ハンガー反射 ハプティクス HMD Unity

1. 研究開始当初の背景

我が国は四方を海に囲まれ、海運、漁業、マリレジャーなど幅広い分野にわたり、多種多様な活動が行われている。特に沿岸海域では、1日平均約5000隻もの船舶が通航しており、船舶事故発生率の蓋然性が非常に高い。海難事故がひとたび発生すれば、尊い人命、財産が失われる可能性が高いだけでなく、油の流出による海洋汚染などの被害も甚大なものとなる。海難事故を防止するため、ソフト面では海上交通安全の法案整備など、ハード面ではAIS(自動船舶識別システム)を活用した効率的な交通整理手法の導入といった安全策が強化された結果、海難事故全体の件数は年々減少傾向にある。その一方、65歳以上の高齢操船者による事故割合は、過去5年でほぼ1.5倍に増加しており、今後も増加傾向が予測されている。船舶種類別の海難事故件数の割合は、過去5年間の平均でプレジャーボートや漁船などの小型船舶が76%を占め、事故種類別では衝突事故が最も高い。そして衝突事故の要因の約80%が「見張り不十分」や「操船不適切」等のヒューマンエラーに起因するものとされている。また海難事故には至らないものの、海難を引き起こす可能性のある状況が多数発生していることは(いわゆるヒヤリ・ハット事例として)よく知られており、海難審判所や海上保安庁の統計データより遥かに多くのヒューマンエラーが発生していると考えられる。ヒューマンエラーによる海難事故を防止するために、全世界で自動航行船の研究が行われているが、船舶は航空機や鉄道、自動車等の他の交通分野に比べ、人間(操船者)の専門知識や高度な操船技術、経験に基づく行動がより多く必要とされるため、完全自動化までにはまだ長い年月がかかることが予想される。したがって、現時点で衝突事故を減少させるには、船舶運航におけるヒューマンエラーを理解し、それらを効果的に抑制する対策を行う必要がある。特に事故割合が増加している高齢操船者の操舵特性を明らかにし、事故発生の過程や背後関係を分析した上で安全対策を講じることが、海難事故の防止に最も効果が高いと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、高齢操船者によるヒューマンエラーを原因とする小型船舶の衝突海難事故を減らすことを目指すものである。ヒューマンエラーを防止するため、高齢者への効果的な触覚・視線情報を支援するシステムの検討および開発を行うことを目的としている。このようなヒューマンエラーに着目した海難事故の分析に関しては、すでに多くの先行研究がなされている。例えば操船者の見張り作業において、自船の周りに複数の船舶が存在する場合、作業すべき優先順位の判断ミスによって「見落とし」や「気づき遅れ」といったエラーを引き起こすことが分かっている。しかしながら、これまで高齢操船者をターゲットに絞ったヒューマンエラーに関する研究は数少ない。自動車の運転では一般ドライバー、いわゆる「非職業人」が圧倒的多数を占めるのに比べ、船舶の運航は操船を職業とする「職業人」の比率が高く、高度な操船技術が必要とされることから、加齢とヒューマンエラーとの関係に焦点が当てられることが少なかったためと考えられる。その一方で近年、高齢ドライバーによる自動車事故が社会問題化し、加齢による機能低下が自動車の運転能力に与える影響について重要な示唆が得られている。具体的には、加齢によって感覚・認知・運動機能が低下することにより、運転に必要な知覚・認知、状況判断・操作決定の能力が衰え、ヒューマンエラーを誘発するとされている。

上記の背景の下、ヒューマンエラーを予防することを目的として3つのシステムを提案する。開発するシステムの1つ目として、ハンガー反射を用いた身体能力の補完支援を提案する。2つ

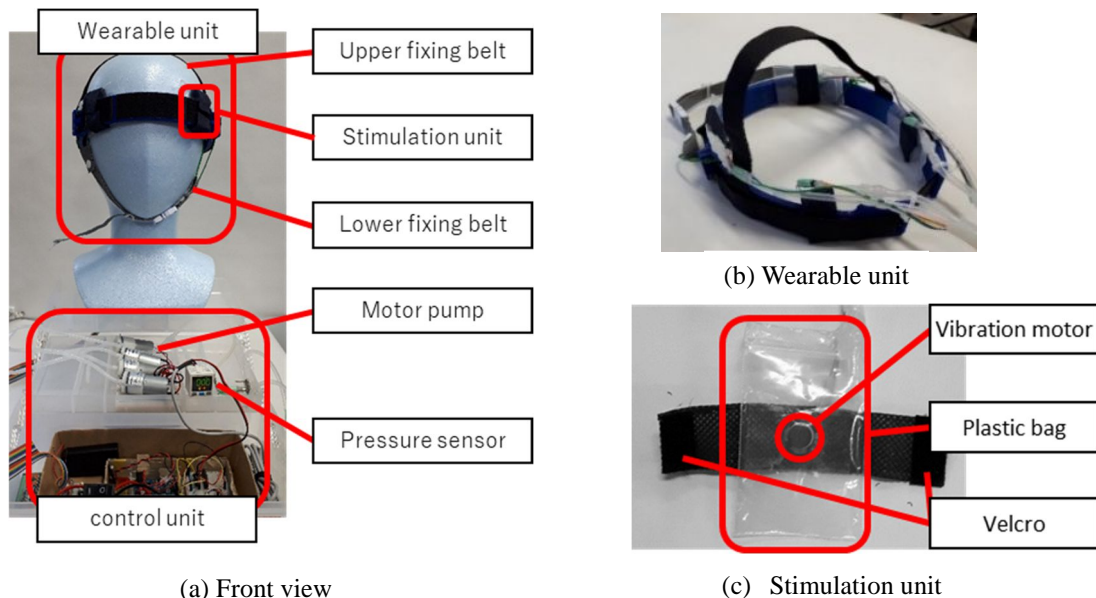


Figure 1 Hanger Reflector Device

目に、視線移動による操船者の負荷を軽減させるため、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いたサポート情報の視覚提示の方法を提案する。3 つ目に、運転操作の維持が困難になり得る異常を検知した際に警告等を通知し、正常な操船状態に復帰を促すシステムを提案する。

3. 研究の方法

3.1 ハンガー反射を用いた身体能力の補完支援

開発したハンガー反射装置を図 1 に示す。本装置は装着者の頭部を圧迫、振動させることでハンガー反射を誘発させることが可能なウェアラブルデバイスとした。図 1(a) に示す通り、装着ユニットと制御ユニットからなる。図 1(b) の装着ユニットは 3D プリンタで製作したフレームに 4 点の刺激ユニット、上部固定ベルト、下部固定ベルトが取り付けられている。フレームは伸縮させることで装着者の頭の大きさに合わせることが可能である。形状や大きさを変えていくつか製作し、適切なフレームに改良を行った。上部・下部固定ベルトは、外部刺激を与えた際に刺激位置がずれてしまうことを防ぐためのものである。フレームと同様に伸縮させることで頭の大きさに合わせることができる。図 1(c) に刺激ユニットの構成を示す。刺激ユニットに取り付けられているポリ袋は制御ユニットのモータポンプから空気を送り込み、頭部を圧迫することでハンガー反射を誘発させる。圧力センサを用いて制御することで所望の圧力を発生できる。応答速度を上げるためにモータポンプを 1 個から 4 個に増やした。中央に取り付けた振動モータはハンガー反射の補助として用いる。振動モータにより頭部を振動させることにより、ハンガー反射の効果の増大および、反応が表れにくい人に対しても、最低限の方向提示の効果を狙った。圧迫刺激と振動刺激の刺激方法を図 2 に示す。左旋回時の図 2(a) では ① と ② の位置を圧迫し、振動刺激として ③ の位置を振動させる。同様、右旋回時の図 2(b) では ② と ③ の位置を圧迫し、④ の位置を振動させる。

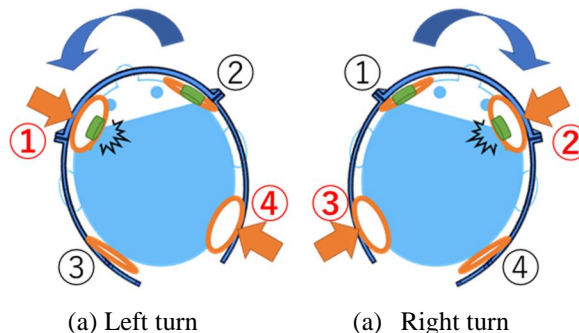


Figure 2 Stimulation position and method

3.2 ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いたサポート情報の視覚提示

3D のシミュレーション環境を作成するため、ゲームエンジンの Unity (Unity Technologies) を用いて自動車運転の仮想空間を作成した。仮想空間上で HMD を再現し、その仮想環境である HMD 上にて表示を行った。HMD のモデルには MOVERIO BT-300 (EPSON) を採用した。再現方法としては、2.5m 先に 40 型のディスプレイの大きさの表示域を用意し、図 3 のような表示を行った。図の黒丸部分のような三角形を視線方向の遠方から観測者へ向かうように流した。表示には視覚誘導性自己運動感覚(ベクション)と呼ばれる現象を用いた表示を行った。ベクション



Figure 3 Driver's view wearing HMD

とは、実際に運動していない人間が視覚情報により運動しているように感じる現象である。実際に日常でおこるベクションの一例として、トレインイリュージョンと呼ばれる現象は、乗っている別の列車が動きだしたとき自分の乗っている列車が動き出したように感じる現象である。具体的な実験環境としては、勾配のある一周 3750m の周回コースを作成した。実験の際、被験者は VR 用ヘッドマウントディスプレイである Rift (Oculus) を着用し、VR での操作を体験する。

3.3 異常を検知した際に警告等を通知し、正常な操船状態に復帰を促すシステム

開発したシミュレータ環境の前面、背面の外観をそれぞれ図 4(a), (b) に示す。本シミュレータは、6 軸モーションシミュレータ (WIZZAPLY、SIMVR 6DOF) (以下 SIMVR)、ハンドルコントローラー (Logicool G29 Driving Force)、モニター、Web カメラ、取り付けフレームにて構成した。モニターは SIMVR の正面に設置し、シミュレーションソフトウェアの映像表示と、音声出力を担う。ドライバはモニターの映像を確認しながら、ハンドルコントローラーの操作で運転制御を行う。またシミュレーションソフトウェアから操作時の振動や旋回の情報 SIMVR に送ることで、実際の操作環境を忠実に再現する。Web カメラは後述する居眠り検知ソフトに用いる。取り付けフレームはハンドルコントローラーとペダルを SIMVR に接続するために設計・製作を行った。アルミフレーム単体ではペダル取り付け部にたわみと振動が発生したため、チェーンでの固定を併用することでたわみと振動の発生を抑えた。シミュレーションソフトウェアはゲームエンジンである Unity (Unity Technologies) を用いて開発を行った。図 5 に操作者から見えるモニター画面の様子を示す。SIMVR を Unity に接続し追尾ターゲットを指定することで、プロ

ジェット内のターゲットの回転や移動などの動きと連動してSIMVRを動作させることが可能となる。居眠りを検知する手法として、カメラで操作者の顔の映像を撮影し、目のアスペクト比の算出から目が閉じていることを検出することで居眠りを検知する方法を用いる。目のアスペクト比を算出するために、汎用目的のクロスプラットフォームソフトウェアライブラリである dlib を使用する。dlib に含まれるランドマーク検出機能を用いることで、入力された顔画像から口や目の角、鼻の先端など 68 個のランドマークの座標を特定することができる。図 6 に dlib によるランドマーク検出の結果を示す。本研究ではカメラで撮影した映像に対しコンピュータビジョンライブラリの OpenCV に含まれる顔検出器を用いることで、顔画像の取得を行う。前節のランドマーク検出により検出された目周辺のランドマークを図 7 に示す。これらのランドマークを用いて、目のアスペクト比(EAR: Eye Aspect Ratio)を(1)式で計算する。



(a) Front view (b) Rear view

Figure 4 Simulator appearance

$$EAR = \frac{\|p_2 - p_6\| + \|p_3 - p_5\|}{2\|p_1 - p_4\|} \quad (1)$$

右目、左目それぞれで計測された EAR の平均値を両目の EAR とした。目の大きさ・形状には個人差が大きいいため、事前に個人の平均値を計測し、そこから算出した閾値を用いて居眠りの検出を行う。EAR の平均値(AES: Average Eye Size)と閾値(TH: Threshold) はそれぞれ(2)式、(3)式によって算出する。

$$AES = \frac{1}{10} \sum_{n=1}^{10} \text{Max EAR}(n) \quad (2)$$

$$TH = \frac{2}{3} AES \quad (3)$$

EAR が閾値 TH を下回った場合、瞬きや目を閉じたと認識する。本システムではまず 10 秒間通常時の EAR を計測し、(2)、(3)式より閾値を算出、設定する。閾値の設定後、再度 EAR の計測を行う。その際、居眠りによって EAR が閾値を下回った状態、または急病による昏倒などにより顔が検出されない状態が 3 秒間続いた場合は、警報音を鳴らし、警告メッセージを表示する。



Figure 5 View from the driver's seat

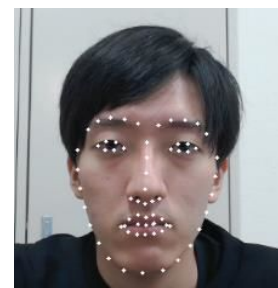


Figure 6 Landmark detection

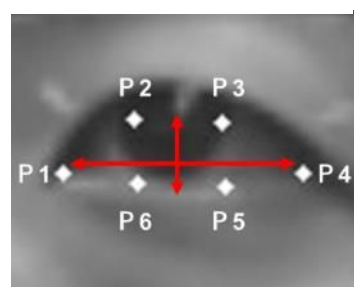


Figure 7 Landmarks of eye

4. 研究成果

4.1 ハンガー反射を用いた身体能力の補完支援 加圧力に対する効果に関する実験結果を図 8 に示す。

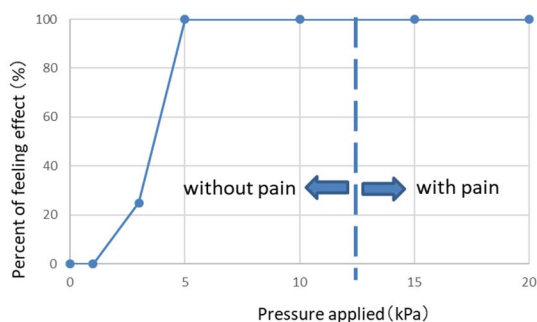


Figure 8 Pressure for hanger reflexion

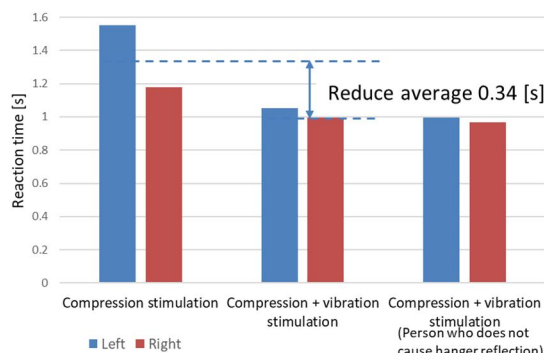


Figure 9 Reaction rate for hanger

3k~5kPa から効果を感じはじめ、圧力が強くなるにつれハンガー反射を大きく感じるようになった。しかし、15kPa からはハンガー反射と共に痛みを伴い、不快に感じるようになった。続いて反応速度に関する実験結果を図 9 に示す。ハンガー反射を感じる被験者に対して、圧迫刺激のみを与えた時の頭部が回転するまでの時間は左右平均 1.36s であった。圧迫刺激に加えて振動刺激を複合させた場合、左右平均 1.02s となり、圧迫刺激のみの結果と比較すると、0.34s 短縮されていることが確認できた。また圧迫刺激のみと比べて複合刺激では、ハンガー反射の効果が大きく感じたという感想を被験者から得られた。ハンガー反射の効果を感じない被験者に対して、圧迫 + 振動の複合刺激を行うと、ハンガー反射を得ることはできなかったが、方向提示を行うことができた。この装置によってハンガー反射の効果の有無にかかわらず、1 秒程度で方向提示、視線誘導を行えることが分かった。

4.2 ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いたサポート情報の視覚提示

Table 1 Experimental results of visual support

Examee	Number of braking times		Average speed	
	2nd lap	3rd lap	2nd lap	3rd lap
A	3	8	48.5km	46.6km
B	5	6	40.6km	37.4km
C	3	6	46.2km	49.3km

視覚提示を行った実験結果を表 1 に示す。表 1 左のブレーキを使用した回数に関して、回数に差はあるが全被験者を通して 2 周目と比較して 3 周目が多くなっている。表示速度の変化に対して車速を調節しようとする意識を生じさせていることが示唆された。表 1 右の平均速度に関して、3 人目の被験者のみに平均速度の上昇が見られたものの、概して大きな変化は見られなかった。今回行った実験では平均速度に大きな変化が現れることはなかったがブレーキの操作回数において有意な変化が見られた。したがって視覚提示によって操作者の恐怖感に影響を与え、認知機能の低下を補う効果が得られることがわかった。

4.3 異常を検知した際に警告等を通知し、正常な操船状態に復帰を促すシステム

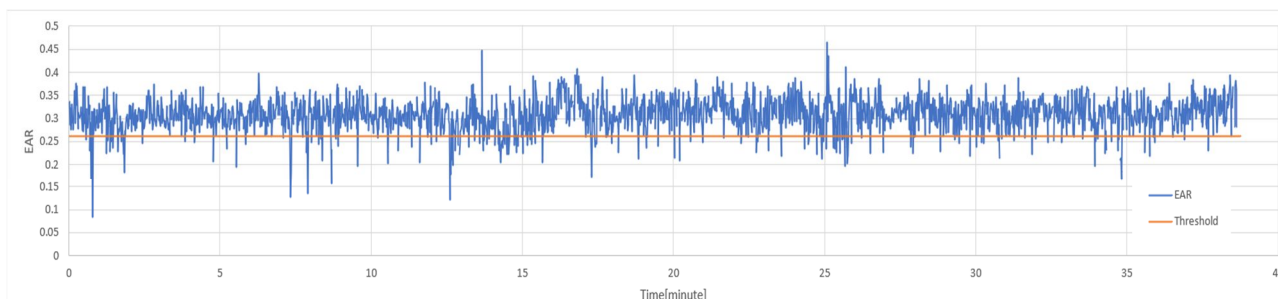


Figure 10 Record of EAR during the experiment

計測実験によって得られた、ある被験者の EAR の時系列グラフを図 10 に示す。横軸は経過時間、縦軸は EAR の値を示す。実験時には居眠り検知ソフトウェアによる居眠りは検知されず、警報音等が鳴ることはなかった。閾値を下回る場面は頻繁に記録されているが、いずれも短時間で終了しているため、居眠りとは判断されなかったと考えられる。実験終了後、被験者に対し実験についてのヒアリングを行った。共通して得られた回答は、「運転実験時に眠気を感じる場面はあるものの居眠り運転にまでは至らない」というものであった。実験環境として、人の出入りがある状況下だったため、運転以外の情報に気を取られ、眠気が改善されてしまう問題点があったのではないかと考えられる。また日常生活において居眠り運転は本来なっていない状態であることから、心理的影響の関与も考えられる。これらの問題点に対して、イヤホンで外界の音を遮断する、照明を消して暗くするなど、より運転中の眠気を強くするような改善が必要と考えられる。実験結果として得られたグラフより、EAR の大小にある個人差だけでなく、EAR の推移の仕方にも個人差が存在することが確認できた。算出された閾値に対して計測される EAR が比較的近い値を取り、大きなブレを持ちながら推移している。そのため EAR が閾値を下回る回数も多くなっている。他の被験者の実験結果の中には EAR のブレが少なく、閾値より高めの値を推移しているものもあり、閾値を下回る回数も少なくなっていた。本研究では個人差を考慮した閾値の設定方法を用いたが、結果の個人差をより小さくするために設定方法に再検討が必要と考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

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 長島春澄, 池田富士雄, 村上祐貴, 外山茂浩
2. 発表標題 MRデバイスを用いたコンクリート補修のための損傷記録システムの開発
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 Shuntaro Hatori, Fujio Ikeda, Yuki Murakami and Shigehiro Toyama
2. 発表標題 Application of mixed reality technology in hammering inspection work
3. 学会等名 The 15th International Conference on Motion and Vibration Control (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuya Oguma, Shota Higuchi, Fujio Ikeda, Yuki Murakami and Shigehiro Toyama
2. 発表標題 Development of automatic tomato-harvesting system using universal vacuum gripper and RGB-D camera
3. 学会等名 The 15th International Conference on Motion and Vibration Control (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金田駿平, 池田富士雄, 外山茂浩
2. 発表標題 ドライバ認知の補助に有効なAR 情報提示手法の検討
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越学生会第49回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長島春澄, 池田富士雄, 外山茂浩
2. 発表標題 手書き風文字生成システムの開発
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越学生会第49回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内系太郎, 池田富士雄, 外山茂浩, 豊永有
2. 発表標題 水田におけるGPS とトラッキングカメラを用いた自己位置推定
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越学生会第49回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大谷俊介, 池田富士雄, 外山茂浩
2. 発表標題 ディープラーニング技術とRGB-Dカメラを用いた自動融雪の高度化
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越支部第57期総会
4. 発表年 2020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 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 小林勇人、池田富士雄、外山茂浩
2. 発表標題 高齢者の操縦ミスを予防するハンガー反射を用いたデバイスの開発
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越学生会第48回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 樋口翔太、池田富士雄、村上祐貴、外山茂浩
2. 発表標題 野菜の自動収穫に向けたディープラーニングによる物体検出
3. 学会等名 日本機械学会北陸信越学生会第48回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019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	井山 徹郎 (Iyama Tetsuro) (00452087)	長岡工業高等専門学校・機械工学科・准教授 (53101)	
研究分担者	外山 茂浩 (Toyama Shigehiro) (60342507)	長岡工業高等専門学校・電子制御工学科・教授 (53101)	

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