

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04580

研究課題名（和文）相互テレグジスタンスを目指した遠隔操船システムの研究開発

研究課題名（英文）Development of remote ship maneuvering system for mutual teleexistence

研究代表者

岡崎 忠胤 (Okazaki, Tadatsugi)

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号：70392686

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、操船に2名の人間を介在させるという従来船舶のコンセプトを崩さず、音声認識システムを用いて船上の航海士と陸上の操舵手が連携できる遠隔操船システムを開発した。システムでは、船陸間通信に遅延が問題となったため、通信遅延発生時の操船を補間する自律操船機能をシステムに付加することで問題を解決した。船上の航海士は、操舵手と音声認識システムを用いた連携をすることで、船橋に操舵手が存在していることを意識することができ、陸側の操舵手は、船橋の状況を再現するVR操船シミュレータから操舵することで、自分が船橋にいる感覚で操舵ができるシステムとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

船員不足を背景に欧米を中心に無人運航船の研究が盛んに行われているが、本研究では、船舶運航の安全は航海士により保たれているとの考えに基づき、少ない船上の人間を陸からサポートする遠隔操船システムの研究開発を行った。そして、船上の航海士がストレスなく陸上の操舵手と連携して操船するために必要な機能と性能を示した。この成果は、遠隔操船システムの研究開発のみならず、人間と連携する自律操船システムの研究開発に役立つと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have developed a remote ship maneuvering system without breaking the conventional ship maneuvering concept of having two people intervene in maneuvering. The system was configured so that the officer on board and the helmsman on land could cooperate using a voice recognition system. In the system, there was a problem of delay in ship-land communication, so we solved the problem by adding an autonomous ship maneuvering function that interpolates the maneuvering when communication delay occurs. The navigator on board was able to recognize the existence of the helmsman on the bridge by being able to cooperate with the helmsman using the voice recognition system. The helmsman on the land side was able to steer as if he were on the bridge by steering from a VR ship maneuvering simulator that reproduces the situation of the bridge.

研究分野：システム工学

キーワード：遠隔操船 自律航行

### 1. 研究開始当初の背景

船員不足等の問題に対し自律航行船のコンセプトがロールスロイス等から提案され、欧州を中心に自律船の研究が行われていたが、想定外事象への対応や船舶の周囲の見張りに関しては、船橋にいる航海士の能力を超えるシステムは登場していなかった。従来、航海中の船橋では航海士と操舵手の2名が配置され、航海士が操舵手に操舵号令を発し、操舵手はその指示に従って操船する。この2名による作業が、ヒューマンエラーを防止し安全な船舶運航を担保してきた。そこで本研究では、操船に2名の人間を介在させるという従来のコンセプトを崩さずに、船橋の航海士と陸上の操舵手が操船する遠隔操船システムの研究開発を試みた。しかし、船陸間通信には通信容量および速度の制限がある。そのため、あたかも船橋に操舵手が存在しているかのように航海士が操船を行うためには、遠隔操船システムには航海士と操舵手の相互情報を予測し航海士の指令に即座に応答する自律システムが必要となる。例えば、航海士が「舵を右10度」と指令した後、船陸間通信を経て操舵手の操作により舵が右10度となるまでには、大きなタイムラグが生じてしまう。そこで本研究では、航海士の通信遅延に対する許容限界を検討し、通信遅延のために操舵が遅れ航海士への負担が増加することを回避するために、自律機能をバランス良く付加する遠隔操船システムの研究開発を実施した。

### 2. 研究の目的

本研究では、相互レイゲジスタンス（航海士が陸で操作している操舵手があたかも船橋に存在するかのように感じ、操舵手自身もあたかも船橋に居るかのように感じる）を目指した遠隔操船システムの開発を目的とした。開発する遠隔操船システムの概要図を Fig.1 に示す。一般的なマスタ・スレーブシステムの観点で遠隔操船システムを考えると、Fig.1 に示す陸上の操舵手がマスタシステムを利用し、船橋の航海士がスレーブシステムを利用することとなる。しかし操船は船橋にいる航海士が操舵手に号令を出して実施されるので、運用上のマスタは船橋の航海士でありスレーブが陸上の操舵手となる。そのため遠隔操船システムは、情報伝達の信号経路が双方向に入り組んだ形となる。一方、船陸間通信には制限があるため、マスタ・スレーブシステムの双方に自律機能を組み込むことになる。この自律機能はシステム上の下位制御機能となり、航海士の指令や操舵手の操作が上位制御となる。そして、人間の操作と自律機能による制御ではサンプリングレートが異なるため、自律機能の操作から人の操作へ違和感なくシフトさせるには多くの研究課題があった。

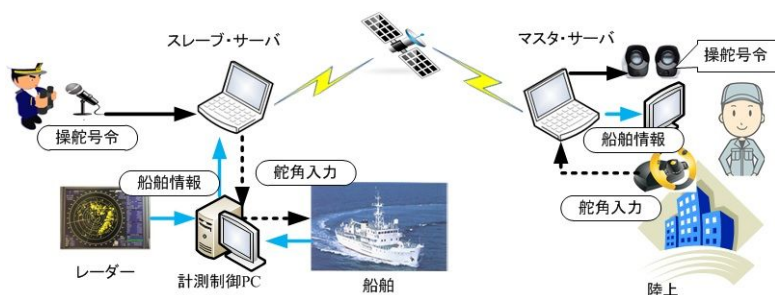


Fig.1 遠隔操船システムの構成概要

### 3. 研究の方法

本研究では、実船実験を行いながら遠隔操船システムの研究開発を行う。そして実船実験データを元に操船シミュレータを開発し、実船実験では実施が困難な評価実験を操船シミュレータで実施し、遠隔操船システムに必要な機能と性能を明らかにする。

実験対象船は、衛星通信設備を装備した東京海洋大学附属練習船汐路丸とする。汐路丸は自動操船が可能な操船制御サーバーを装備しているため、この操船制御サーバーを利用して遠隔操船システムのスレーブシステムを開発する。また遠隔操船を行うマスタシステムは、汐路丸の船内 LAN に VPN 接続が可能な東京海洋大学の先端ナビゲートシステムのネットワークに接続する形で開発する。

船橋のスレーブシステムには、遠隔操船システムの船陸間通信の影響を考慮し操舵手からの操作入力を待たずに航海士の指令に対し自律的に操船する機能を組み込む。そして、船橋のスレーブシステムの自律機能により操船が行われている状態から、マスタシステムから入力される操舵手による操作へ切り替える時、航海士および操舵手に違和感を持たせないように切り替える機能を開発する。なおこの機能を開発するために、操船シミュレータ実験を行い、通信遅延に対する人間のストレスを計測し、計測結果をシステム開発へ反映していく。

一方でマスタ・サーバーでは、陸上の操舵手があたかも船橋にいるように感じながら遠隔操船を行うために、本研究ではヘッドマウントディスプレイを用いた VR システムの研究開発を行う。船橋のスレーブシステムにて、船位、船首方位、船速などのデータをマスタシステムへ送信する機能を開発する。そして、スレーブシステムから受け取った船舶情報を操船シミュレータで再現し、その VR 映像を操舵手へ提供する機能を開発する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 遠隔操船システムの構築と通信実験

研究方法で示した遠隔操船システムのスレーブシステムとマスタシステムを構築し、実験対象船舶にて、船橋の航海士と陸上の操舵手による針路変更の操舵実験を実施した。実験では、船橋の航海士が操舵号令を発し、スレーブシステムがその発話を音声認識しテキスト化し、衛星通信経由で陸上のマスタシステムへ送信した。そしてマスタシステムが操舵号令を音声化し、操舵手はその操舵号令に従いマスタシステム上で操舵を行った。これに対しマスタシステムは、操舵装置の信号を衛星通信経由で船上のスレーブシステムに送信し、スレーブシステムは、受信した操舵信号を対象船の操船制御サーバーに送信し舵角を制御した。この一連の流れを繰り返すことで針路変更の実験をおこなった。実船実験の結果、操舵号令から舵が動作するまでの平均遅延時間は4.3秒であった。

##### (2) VR 操船シミュレータ

前述の平均遅延時間4.3秒が操船者へストレスを与えるかを調査する評価実験を行った。しかし評価実験は多くの被験者を対象に実施する必要があり、実船での実施が困難となる。そこで本研究では、システムの評価実験が可能なVR操船シミュレータを開発した。開発したVR操船シミュレータでは、ヘッドマウントディスプレイを装着することで、Fig.2に例を示すVR空間の船橋から操舵号令にて操船が可能になるように構築した。評価実験では、被験者が操舵号令を発してから舵角が動き出すまでの遅延時間をランダムに変化させ、被験者の心拍変動よりストレスを計測した。また実験終了後に遅延時間に対するアンケート調査を実施し、遅延時間に対する主観的な限界値も推定した。評価実験では、a)障害物の無い海域での変針とb)他船との衝突を回避するための変針の2種類のシナリオで複数回実施した。実験の結果、障害物の無い海域での変針時で被験者がストレスを感じる閾値は3秒以上であった。一方、他船との衝突を回避するための変針時で被験者がストレスを感じる閾値は2秒以上であった。

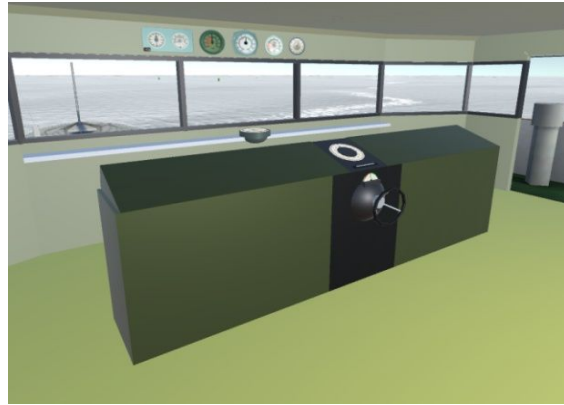


Fig.2 VR空間の船橋

##### (3) スレーブシステムの自律機能の開発

VR操船シミュレータによる遅延時間評価実験の結果より、航海士が通信遅延に対しストレスを感じる閾値を推定できたので、操舵号令から舵が動作するまでの応答時間が閾値を超えないよう、スレーブシステムが陸上からの操舵信号の遅れを検知し自律的に操舵を開始し、陸上からの操舵信号を受信したら陸上の操舵を優先して操舵する自律機能を開発した。自律機能を実装し、遠隔操船システムの自律機能の有り無しの効果を確認するため、対象船舶にて20度変針する実船実験を実施した。実験結果の船首方位と舵角の時系列をFig.3に示す。図中の点線が自律機能なしの結果で、実線が自律機能ありの結果である。参考のため遠隔システムを利用しない通常操船の結果をグレーの太線で併記した。図より明らかな通り、自律機能を採用することで通常操船と差異のない結果が得られた。

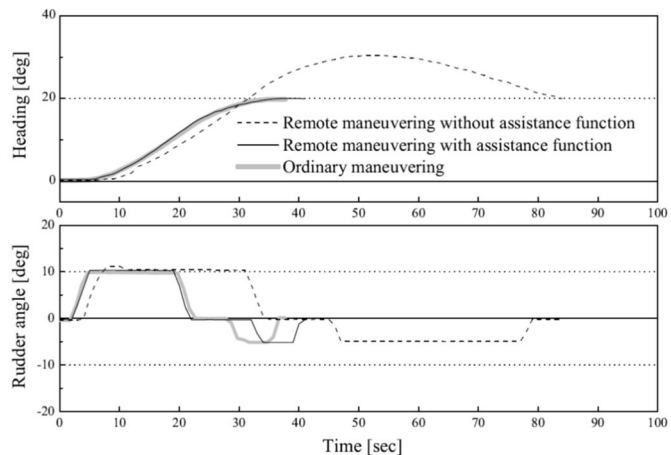


Fig.3 自律機能を用いた遠隔操船システムの変針結果

##### (4) 船舶情報システム

遠隔操船システムのマスタシステムでは、VR操船シミュレータのインターフェースを用いて操舵手へテレイクジスタンスを実現する。VR操船シミュレータにて周囲の船舶を再現するためには、船橋の航海計器で計測した周囲の船舶情報を陸上へ送信する必要がある。しかし、現在周囲の船舶情報を自動で計測できる航海計器は存在しない。そこで本研究では、連続するレーダー画像を機械学習手法で学習し、画像ノイズを除去し移動物体を抽出する方法を開発した。本手法を用いることで、将来のレーダー画像を予測することも可能となった。よって本手法を用いてレーダー画像を処理すれば、周囲の船舶の将来位置情報を陸上のマスタシステムへ送信することが可能となり、周囲の船舶情報についての通信遅延の問題を解決することができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Takenaka M, Nishizaki C, and Okazaki T	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of Ship Collision Prevention Device with Augmented Reality Toolkit	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics 2019	6. 最初と最後の頁 4297-4302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SMC.2019.8914333	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 Okazaki T., Niwa A., and Terayama M	4. 巻 1
2. 論文標題 Influence of System Delay of Remote Control Ships on Mariners	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of System of Systems Engineering Conference 2019	6. 最初と最後の頁 137-142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SYSOSE.2019.8753847	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 Okazaki T., Terayama M., and Nishizaki C.	4. 巻 1
2. 論文標題 Feasibility Study for Predicting Collision Possibility Sea Area for Each Ship by Using Support Vector Machine	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics 2018	6. 最初と最後の頁 791-796
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SMC.2018.00143	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 Niwa A., Okazaki T., Sasaki S., and Mouri T.	4. 巻 1
2. 論文標題 Fundamental Study on Mariner's Allowance for Steering System Delay	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of World Automatic Congress 2018	6. 最初と最後の頁 CD-ROM
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/WAC.2018.8430470	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 Terayama M., Nishizaki C., and Okazaki T.	4. 巻 1
2. 論文標題 Fundamental Study of Traffic Prediction in Tokyo Bay using Machine Learning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of SICE 2020	6. 最初と最後の頁 536-541
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/SICE48898.2020.9240222	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 Ishikawa N., Kashima H., and Okazaki T.	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of a Maneuvering Support System for Ships without Dynamic Positioning Systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics 2020	6. 最初と最後の頁 1785-1790
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SMC42975.2020.9282996	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0件

〔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
---------	---------