

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：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420863

研究課題名(和文) 体感型機関シミュレータを用いた故障検知能力の革新的向上に関する研究

研究課題名(英文) Study on innovative approach using marine engine plant simulator with hand touching method

研究代表者

井川 博雅 (IKAWA, Hiromasa)

神戸大学・海事科学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20184377

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)：本研究は、機関士の早期故障発見能力の向上を目的とした、体感型機関シミュレータの活用に関するものである。まず国内外におけるシミュレータを用いた、特に五感による故障発見能力の向上につながっている教育システムについて調査した。次に手のひらで配管温度を確認できる模擬配管装置を製作し、これを用いた触手法に関する研究により、実務経験を多く有する被験者ほど推定精度が高く、トレーニングを実施することにより推定精度の向上が期待できることを確認した。さらにこの模擬配管装置を神戸大学海事科学研究科に設置されている船用機関プラントシミュレータに組み込んだ体感型機関シミュレータを開発し、教育・訓練方法を検討した。

研究成果の概要(英文)：This study relates to the utilization of the sensory engine room simulator for the purpose of realizing the improvement in ability for engineers to discovery early troubles. At first, we investigated the method and system for education using engine room simulator by the five senses in particular in the inside and outside the country. Then we made the experimental device which can control the surface temperature of the imitation pipe, and confirmed, in study on the measurement of pipe temperature by hand touching with this device, that the thermometry accuracy was affected by the experience as the marine engineer, and that training improved this accuracy. Moreover we have developed the sensory engine room simulator incorporating the imitation pipe equipment with Marine Engineer Plant Simulator (MEPS) in Kobe University.

研究分野：工学

キーワード：機関管理 体感型シミュレータ 触手法 トレーニング

1. 研究開始当初の背景

シミュレータは船員の教育・訓練の分野に現れた新しい手法であり、2010年に採択、2012年に発行され、2017年に完全施行が予定されているSTWC条約の改正により、その重要性がますます高まることは間違いがない。機関室シミュレータに関しては、これまでに国際海事機関からシミュレータを用いた教育訓練指針のモデルコースが提唱され、国際会議においてはその開発、教育・訓練手法、活用法が検討されるなどシミュレータを用いた教育・訓練効果の向上は著しいが、その活用法や評価法はまだ確立されているとは言い難い。また、臨場感の不足というシミュレータ特有の欠点も指摘されている。

2. 研究の目的

本研究においては、国内外の海事関連教育機関、研究機関、船舶運航会社等に対して、五感を用いたシミュレータによる教育・訓練評価手法ならびに故障診断について調査し、神戸大学の船舶運航シミュレータに配管温度検知訓練機能を付加して、革新的な体感型機関シミュレータを開発し、これを用いた教育・訓練方法を検討することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、国内外のシミュレータ調査を行い、これと併行して模擬配管装置を製作した。完成した模擬配管装置を用いて触手法による配管温度推定精度に及ぼすトレーニング、環境温度、測温部形状の影響を調査するとともに、触手法をシミュレータの訓練に応用すべく、この装置を神戸大学の船用機関プラントシミュレーター(MEPS)に組み込んだ体感型シミュレータを開発した。開発に辺って、過去の実験事例から機関の冷却不良や構成部品の異常発熱など、触手により早期に異常に発見できた可能性のある事例を抽出して、それらを参考にした教育プログラムの構築を試みた。

4. 研究成果

(1) シミュレータの調査

本研究では、国内外の海事関連教育機関、研究機関、船舶運航会社等に対し、アンケートならびにインタビュー、訪問見学等を実施して機関室シミュレータ設備の状況を調査した。調査対象機関を表1に、調査の結果を以下に示す。

使用しているシミュレータの有無とその種類：A)～G)の各機関ともに機関制御室(ECR)では、フルミッション型コンソールや主機関操縦盤等、主機関の操縦部分を実機に沿う形で表現している。機関室側の機関プラントの多くが大型液晶ディスプレイに機器イラストと配管系統図を表現している。

シミュレータを用いて行っている教育・訓練の評価手法：初学者教育の場合には、暖機や冷機などの機関プラントの基本操作を設定したプラント状態から始めるように教育プログラムを構築している。初

表1 調査対象機関

	調査機関	調査年	調査方法
A)	国立大学法人 東京海洋大学 学海洋工学部 船舶機関室 シミュレータセンター	2013.5	訪問見学
B)	川崎汽船株式会社「"K" Line Maritime Academy (Japan) 」	2014.3	訪問見学
C)	Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology(韓 国水産研修院)	2013.10	訪問見学
D)	独立行政法人海技教育機構 海技大学校	2014.9	訪問見学
E)	Maritime Institute Willem Barentsz	2015.11	アンケート、インタビュー
F)	Antwerp Maritime Academy	2015.11	アンケート、インタビュー
G)	Istanbul Technical University	2015.11	アンケート、インタビュー

学者では作業の達成度合いなどを評価している。また実務者訓練の場合には、複数人で作業したり、配置を割り当ててチームを編成して作業したりする、作業場面における判断や機器操作の部分について、判断根拠や操作意図などを評価している。

シミュレータを用いた教育・訓練における故障診断の有無とその方法：多くのシミュレータ機関プラントでは、機器の運転状態は計器類の指示値やエンジンモニターの数値表示によって表現されている。訓練生が故障診断を行う教育・訓練プログラムは上級者向けであり、複数回に分けて操作訓練を実施するなど、機関シミュレータ装置への習熟期間が必要である。調査対象機関D)では、実務経験者の研修を委託されて実施しているが、機関コンソールはフルミッションタイプであり、研修生が機関コンソール上の計器や操作ボタンの位置を覚えることに注視しないよう、インストラクターが適時に訓練生の探すレバーやボタン位置を教示する。このようにシミュレータ毎にレイアウトが異なるため、訓練において機関プラントの状態把握には予備知識や実時間での教育が必要であるといえる。機関プラントの異常有無を発見する訓練実習はかなりの知識のほかに経験から得

る技術が求められる高度プログラムであり、時間を要する。実務者研修において実施されている様子が確認された。

(2) 模擬配管装置の製作

本研究においては、(1)と併行して温度制御可能な模擬配管装置を製作した。

流体温度と配管表面温度の調査: 実験装置の製作に先立ち、配管を流れる流体温度と配管の表面温度を本研究科の練習船深江丸において実測し、比較確認した。測定は深江丸機関室において、主機冷却清水系統、潤滑油系統、海水系統の3系統について、流体温度計が設置されている箇所にて行った。図1に一例として主機冷却清水系統の測定結果を示す。流体温度と配管表面温度の差は1以内であり、非常に小さいことがわかる。また、図には配管表面温度の推定値が示されている。推定値は、流体温度と機関室温度を境界条件として定常一次元の熱通過を考慮して計算したものであるが、実験値を比較よく推定している。他の系統に対しても概ね同様の傾向が得られた。

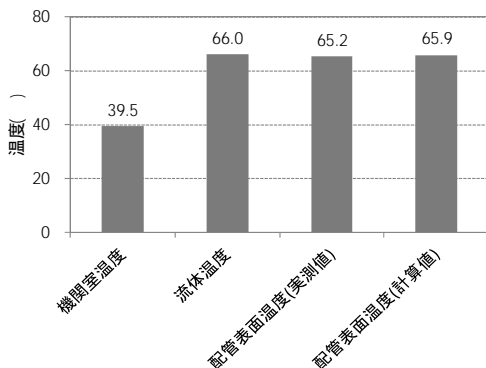


図1 流体温度と配管表面温度

模擬配管装置の製作: 実船を用いることなく研究室にて何時でも簡便に実験が行えるように、任意の配管表面温度が実現できる模擬配管装置を自作した。装置の概要を図2に示す。模擬配管部は厚さ1mmのアルミ板よりなり、測温部中央の熱電対にて温度を測定している。模擬配管部には加熱部と冷却部が設けられており、加熱部にはシートヒータ、冷却部にはペルチェ素子とCPU冷却用の水冷式クーラを用いている。これらの動作をオムロン社製の温度調節器にて制御することで、測温部を任意の温度に設定できる。測温部の中心温度は設定温度にほぼ等しく、同周囲温度は設定温度より±2以内であり、温度分布が平坦であることを確認している。

(3) 模擬配管装置を用いた温度推定精度に関する調査

模擬配管装置の製作後、シミュレータを用いた訓練の構築に資するために、模擬配管装置を用いた触手法の温度推定精度について以下のような関連実験を行った。

温度推定精度に対する経験の影響: 温度推

模擬配管部(アルミ板), シートヒータ, ペルチェ素子, 水冷式クーラ, 熱電対, 温度調節, PC, 測温部

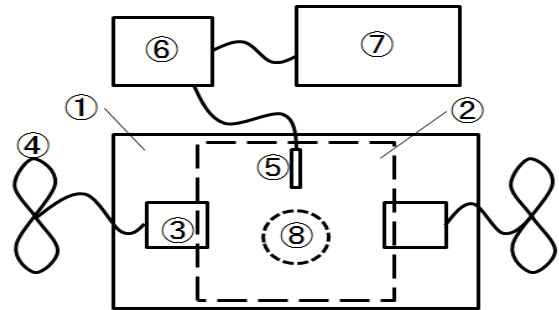


図2 模擬配管装置の概要

定に対する触手法の測温精度を確認するために被験者に40, 60, 55の順に設定した測温部を触手法により測温し、それぞれの推定値を用紙に記入してもらった。被験者数は全体で27名であり、経験の差による影響の調査するために以下の5つのグループに分類した。グループ1は機関士経験者である本研究科練習船深江丸の乗組員、グループ2~5は神戸大学海事科学部の学生で、グループ2は海事技術マネジメント学科(機関コース)第4学年の船員志望者、グループ3は同第4学年の船員以外の志望者、グループ4は同第2学年、グループ5は他学科(学年問わず)である。グループ2, 3は3箇月間、グループ4, 5は第1学年時に1箇月間の航海訓練所における船舶実習を経験している。

推定値がどの程度精確であるかを調べるために、全体及びグループ毎に推定値が実際の温度の±5以内であった回答者の割合を表1に示す。全体的に温度を正しく推定している者の割合(以下正答率)は、40の場合が最も高く、温度が高くなるにつれて低くなる傾向にある。経験の豊富なグループ1では全体的に正答率が高く、船舶実習を3箇月経験しているグループ2, 3がそれに次いで高いことが判る。経験値が同じであると考えられる同グループにおいて高温の正答率に差異が見られる。機関士を志望しているかいないかの意識の差が一因として考えられるが、被験者数が少ないためその原因を論じるには至つ

表2 推定値が±5以内である回答者の割合

設定温度	40°C	55°C	60°C
グループ1	100%	100%	75%
グループ2	75%	75%	75%
グループ3	75%	75%	25%
グループ4	100%	29%	29%
グループ5	83%	50%	17%
全体	88%	60%	40%

ていない。また、経験の少ないグループ4, 5では高い温度における正答率が極めて低くなる事がわかる。

温度推定実験の結果と温度測定に対する意識の関係を調査するために、全被験者に対して触手法による温度測定に関するアンケート調査を行った。その中で、「温度を推定する場合の基準は何か」という設問に対しては、全体の76%が「体温又は風呂」と回答している。この回答はどのグループにおいても40に対する正答率が最も高かった結果に大きく寄与していると考えられる。体温や風呂の温度は、機関士としての経験と関係なく体感する温度であり、経験の高いグループの正答率が何れの温度においても高いという先の結果と併せると、触手法による測温は経験値による影響が大きくトレーニングによる向上が期待できるということがわかる。

温度推定精度に対するトレーニングの効果：実験装置の表面温度を40, 45, 50, 55, 60の5種類のいずれかの温度に無作為に設定し、被験者は触手法による測温を10回行った。正解を提示して誤っていた温度は再び触手して被験者に測温させ、確認させた。以上のトレーニングを間隔別に3グループに分けて行い、それぞれの間隔で6回行った。

グループA：毎日行った(4人)

グループB：1週間に1回行った(12人)

グループC：2週間に1回行った(12人)

温度の設定は60が人間の触っている温度の上限値であること、かつ40未満では被験者が温度を感じる冷覚と温覚が混在すること等を考慮して、実験に用いる温度帯は40~60とした。また、困難度を考慮して5単位で推定する温度を与えた。なお被験者には温度が前述の5種類であることは事前に伝えている。

さらに、トレーニングを6回行った後、1~2箇月の間隔を空けて同じ方法で7回

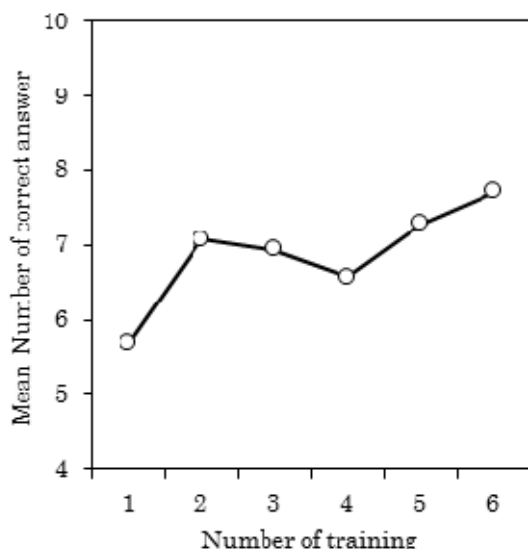


図3 トレーニング回数に対する平均正答数

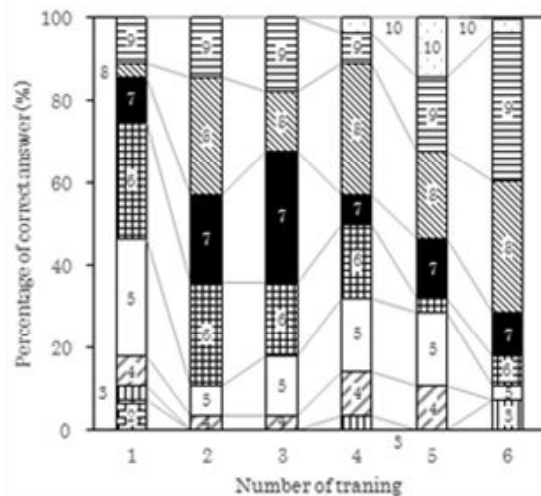


図4 トレーニングによる正答率の推移

目のトレーニング(定着度合い実験)を行った。

被験者の正答数に影響を及ぼす因子を明確にするために実験結果を以下のような手順で解析した。まず、実験回数に対する正答数の傾向を明らかにするために、トレーニングに対する平均正答数の推移と正答率の推移を調べた。前者を図3に、後者を図4に示す。平均正答率は2回目の向上が著しく、6回目でも最も高い値であった。図4中の数字は正答数を示しており、全トレーニング中で0および1は見られなかった。2回目のトレーニングで正答数3問以下の回答率は10.3%から0%に、一方で8問以上の回答率は14.3%から42.9%に増加している。さらに後者は6回目のトレーニングでは71.4%まで増加している。

次に、トレーニング間隔による正答数への影響を確認するために、トレーニング間隔による3つのグループ間の差をt検定した。グループA~C間の差が有意ではなく、設定したトレーニング間隔では正答数に大きく影響しないと判断できる。さらに長期間の間隔が正答数へ及ぼす影響を確認するため、トレーニング7回目と1, 6回目の差をt検定により調べた。トレーニング7回目の平均正答数は6回目よりは低い、1回目よりは高く、それぞれの差が有意であり、トレーニング効果は1~2ヶ月の間は定着されることがわかった。

温度推定に対する環境温度、測定部形状の影響：トレーニング時の周囲環境温度および測温部の形状を変化させて正答数に及ぼす影響を実験的に調査した。トレーニングでは上記にて用いた実験装置の表面温度を35~65の7種類の何れかに設定し、被験者は触手法による測温を10回行い、誤っていた温度に対しては再び触手して被験者に測温させて確認させた。被験者には困難度を考慮して設定温度が5単位であることは伝えているが、温度が前述の7種類であることは伏せてある。

このトレーニングを以下の条件においてそれぞれ 10 回行った。周囲環境温度の効果に関しては、と同じ平板測温部の模擬配管装置を用いて、約 20 (グループ A) と約 34 (グループ B) の 2 種類の周囲環境温度においてトレーニングの効果を検査した。被験者数はそれぞれ 10 名である。さらに、測温部形状の効果に関しては、測温部をより実機に近い半円筒型として平板測温部の場合と比較した。周囲環境温度は 20 である。被験者は上記のグループ A, B それぞれから各 6 名、合計 12 名を選定した。

周囲環境温度の違いが平均正答数に及ぼす影響を比較した結果を図 5 に示す。縦軸は平均正答数、横軸はトレーニングの回数である。黒塗はグループ A、白抜はグループ B である。両者の平均正答数はトレーニング 4, 6, 10 回目にやや差が見られるが、全体的に大きな違いは見られず、2 回目に大きく向上し、6 回目以降は高い値で落ち着く傾向にある。各トレーニング回において、ケース A, B の平均正答数には統計的に有意な差は見られなかった。

また、上記のトレーニングを 10 回経験した者から選定した 12 人の被験者に対して、半円等型測温部を用いて同様のトレーニングを行い、平板状測温部の結果と比較したところ、両者に統計的に有意な差は見られなかった。同時に触手による接触面積を測定した結果、接触面積と平均正答数の強い相関は見られなかったが、触手の部位が被験者によって様々であることがわかった。触手による温度情報は通常温度で得られると言われているが、この温度の密度は指や掌などの部位で異なることが指摘されている。従って、有効な触手部位を調査してトレーニングに取り入れることで、測定精度向上の可能性があると考える。

ただし、(3) で述べた結果は、特に有意な差がないと結論づけたものに関しては、今後被験者数を増やして結果を再確認する必要があると考える。

(4) 体感型シミュレータの構築

(2) で製作した模擬配管装置を MEPS に組み込んで、体感型シミュレータとした。MEPS は、

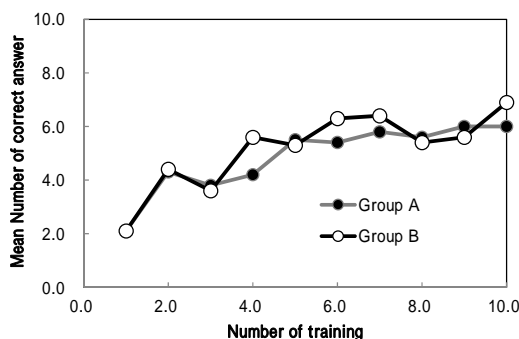


図 5 トレーニング回数に対する平均正答数

神戸大学海事科学研究科に設置された 2 ストロークディーゼルエンジンを搭載するコンテナ船を模した、制御室システム、機関室システム、インストラクターシステムと処理 PC システムから成る部分タスク型の機関シミュレータである。機関室は、3 つのスクリーンからなり、実習生が触れてコントロールできる各機器やパイプラインをスクリーンに投射することによって実現されている。模擬配管装置は、温調器を介して MEPS に接続し、スクリーン上のパイプラインの主要箇所シミュレータの温度情報を外部出力させる手形マーク (ボタン) を付した。訓練生がパイプライン上に表示された手形マークを選択してタッチするとその位置の配管の温度情報が温調器へ出力される。これを受けて模擬配管装置の測定部温度がパイプラインの温度になるように調節される。手形マークの色は選択するまでは肌色であり、模擬配管の温度が選択された配管の温度に達するまでは赤色、達した後は緑色を呈する。図 6 に体感型シミュレータのスクリーン上の手形マークのイメージと体感型シミュレータの概念を示す。測定位置 (手形マークの位置) については、上記 (1) および (3) の結果を踏まえながら、過去の海難事故事例から機関の冷却不良や構成部品の異常発熱など、触手により早期に異常に発見できた可能性のある事例を抽出して検討し、その重要度が高いと考えられる冷却海水や冷却清水、潤滑油系統を中心に主機関および発電機原動機、熱交換器など約 30 か所に配置した。

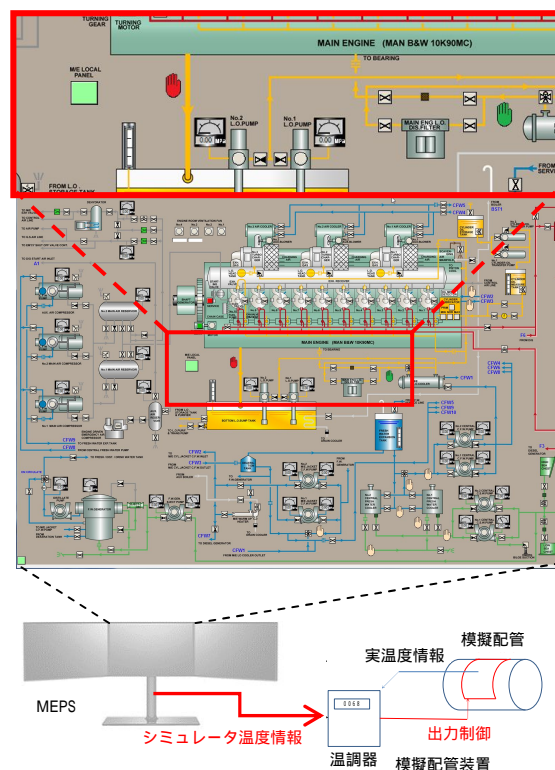


図 6 体感型シミュレータの概念とスクリーンイメージ

(5) 確認実験および模擬配管装置の改良

確認実験：体感型シミュレータの完成後、目標分類学に基づく客観的なトレーニング評価項目を検討し、体感型シミュレータにおける教育シナリオを提案した。体感型シミュレータの性能と教育シナリオの効果を確認するために、神戸大学海事科学研究科練習船深江丸乗組員および同海事科学部学生との協力の下に予備的な確認実験を行った。その結果、触手タイミングによる教育効果に差がないことが示唆されたが、検証にはより多くの被験者を伴う追加実験が必要であると考えた。また、機関士と学生に対するインタビュー調査から、後者は温度そのものを確認するために触っているのに対し、前者は推測した温度変化を確認するために触っているという触手目的の違いが示唆されると共に、模擬配管装置の温度制定時間（特に冷却時間）が長すぎるという不満も明らかになった。

模擬配管装置の改良：上記の不満に対して、模擬配管装置の改良を検討することを目的として、ヒータ寸法および冷却用ペルチェ素子の個数、板厚を変化させた実験を行った。板厚による冷却時間の違いは見られなかった。ヒータの設定温度を15、60、15と変化させた場合の各ヒータ寸法およびペルチェ素子の個数、印加電圧に対する応答特性を図7に示す。ヒータ寸法を100mm×200mmとし、ペルチェ素子の数を4個にした場合で、60から15までの冷却にかかる時間が731秒から131秒にまで短縮できた。

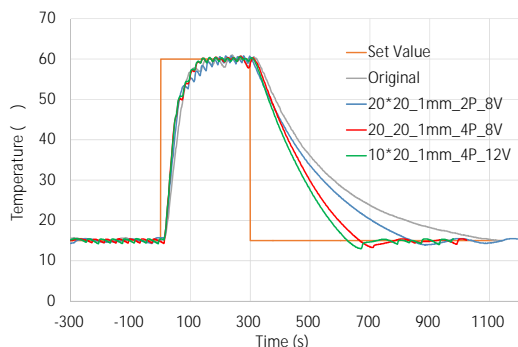


図7 模擬配管装置の温度応答特性の改善

(6) まとめ

模擬配管装置を製作し、触手法による温度推定精度のトレーニング効果を検証するとともに、これを既設の船用機関プラントシミュレータに組み込み、体感型シミュレータを完成させた。体感型シミュレータとしての効果的な教育シナリオの検討とシナリオを用いた検証実験は未だ緒についたばかりであるが、今後さらなるシナリオの改良と検証実験に臨んでいく所存である。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 4 件)

井川 博雅、三輪 誠、こわさない技術としての触手法による配管温度測定に関する研究(第3報)、第85回(平成27年)マリンエンジニアリング学術講演会、2015.10.27、富山国際会議場、(富山県)

井川 博雅、三輪 誠、こわさない技術としての触手法による配管温度測定に関する研究(第2報)、第84回(平成26年)マリンエンジニアリング学術講演会、2014.11.19、海峡メッセ下関、(山口県)

井川 博雅、三輪 誠、Study on the Measurement of Pipe Temperature with Hand Touching Method (1st Report) - Effect of experience and Training、ISME 2014、2014.9.16、哈爾濱(中国)
井川 博雅、こわさない技術としての触手法による配管温度測定に関する研究(第1報)、第83回(平成25年)マリンエンジニアリング学術講演会、2013.9.2、グランシップ静岡、(静岡県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井川 博雅 (IKAWA Hiromasa)
神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授
研究者番号：20184377

(2) 研究分担者

内田 誠 (UCHIDA Makoto)
神戸大学・大学院海事科学研究科・教授
研究者番号：90176694

段 智久 (DAN Tomohisa)
神戸大学・大学院海事科学研究科・教授
研究者番号：80314516

三輪 誠 (MIWA Takashi)
神戸大学・大学院海事科学研究科・講師
研究者番号：30379341

河合和弥 (MAWAI Kazuya)
神戸大学・大学院海事科学研究科・講師
研究者番号：80708165