

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：56302

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25871046

研究課題名(和文) 機関室ウォークスルーシミュレータの開発と船員教育での応用

研究課題名(英文) Development of Engine Room Walkthrough Simulators for Marine Educations

研究代表者

向瀬 紀一郎(MUKOSE, Kiichiro)

弓削商船高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：60408721

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：日本の貿易の99.7%を担う海運業で活躍する、船舶職員の教育訓練システムを、より効果的かつ効率的なものへと発展させることを目的とし、新しい教材の開発に取り組んだ。海事教育機関の運用する練習船内部の実写画像を収集し、その画像データと仮想現実感(VR)技術によって、船内を歩き回るかのような体験を再現するシミュレータを開発し、インターネットで公開した。これによって、船舶職員を目指す学生たちが寮や自宅から、練習船実習の予習復習を自由に試すことのできる環境を実現した。

研究成果の概要(英文)：An interactive and realistic e-learning system has been developed to enhance and enrich the maritime education, by using the Virtual Reality (VR) technology and photographic images of a training ship of a maritime college. The new e-learning system can reproduce a walkthrough experience vividly in one's computer display, as if one is participating in the maritime training on the ship. The new system also has been opened to the public on the World Wide Web, and anyone can look into the training ship by using the system. Any students of the maritime college can prepare and review their trainings anywhere and anytime, and learn about the maritime technologies actively, by using the new e-learning system.

研究分野：海事教育

キーワード：海事教育 eラーニング 仮想現実感

1. 研究開始当初の背景

(1) 弓削商船高等専門学校の商船学科では、外航船の船舶職員として国際的な物流を担うことのできる人材の育成を目的とし、船舶の運航や船用機関の取扱いに関する高度な専門知識の教育や、実践的な技術の訓練が行われている。その一環として各学年に対して、練習船「弓削丸」を活用した校内練習船実習を、教室における授業の進度にあわせて実施し、知識の定着や技術の習熟に役立てている。これらの教育訓練は、STCW 条約(船員の訓練及び資格証明並びに当直の基準に関する国際条約)に基づいて実施されている。この条約は、船員の能力不足に起因する海難事故を防止するため、船員の知識や技術の基準を国際的に規定している。これは 1967 年に発生した大型タンカー「トリキヤニオン号」の事故が国際的な環境破壊を引き起こしたことへの反省から制定されたものである。

(2) しかし、校内練習船実習には多くの準備と費用が必要である。本来であれば、個々の学生の興味や能力のレベルに応じた十分な実習時間を、それぞれの学生に柔軟に与えることが理想的であろうが、現実にはその機会は限られたものとなっており、またタイトなスケジュールに沿って実施されざるを得ない。したがって実際の練習船実習では、特別に意欲の高い学生に対して、その興味を満たしきれない実習となってしまうことがあり、また同級生よりも理解の遅い学生に対して、疎外感を持たせる実習となってしまうこともある。練習船実習を補強するものとなる新たな学習機会の提供が求められている。

(3) STCW 条約も、技術の進歩に応じて、改訂が進められてきている。それに伴って現在、条約締結国では、シミュレータを援用した新しい海事教育システムの構築が急速に進められてきている。

2. 研究の目的

この研究の目的は、校内練習船実習を補強する、類似した体験を手軽に得ることのできる低コストの教材を、シミュレーション技術を応用して開発し、学生たちの個々のニーズに応じて、実習の機会に加えて与えることにある。この新しい教材によって、実習の教育効果を飛躍的に高めることができるであろうと思われる。

3. 研究の方法

(1) 船員の教育訓練の助けとなる新しい教材の開発においては、仮想現実感(Virtual Reality, VR)技術が応用された。この技術は近年において著しく発達してきており、たとえば医師の訓練などの分野においては、既に VR 技術の有用性が確認され、応用が広がってきている。VR 技術に基づく様々な応用の一つであるウォークスルーシステムは、特に

入り組んだ構造を持つ船舶における実習の補強という目的において有用である。

ウォークスルーシステムは、コンピュータで構築された偽りの世界(仮想空間)の中に入り込んで歩き回るかのような感覚を、人間に与えることを目的としたシミュレーションシステムである。その仮想空間の視覚的な提示においては、コンピュータグラフィックス(CG)技術が利用されることが多い。仮想空間の中にあるべき様々な仮想的な物体の、位置や形状などに関する 3次元の座標のデータを、予めコンピュータに入力しておくことができているならば、任意の視点から仮想空間を眺めたときの視界を、コンピュータによってレンダリング(描画)し、提示することによって、人間に視覚的な現実感を与えることができる。建築デザインや建築設計などの分野におけるウォークスルーシステムでは、CG が利用されている。

しかしながら、船舶の構造は、一般の建築物に比べてはるかに複雑であり、その空間を正確に再現できるほどの座標データを予めコンピュータに入力しようとすれば、そのデータ量は膨大なものとなり、高度な専門技術者による長時間の作業が必要となってしまう。また、複雑な仮想空間について、十分な現実感を得られる程度に高精度なレンダリングを行うには、大きな計算コストが必要となってしまう。利用者からの入力に応じたインタラクティブ(双方向的)なシミュレーションを、リアルタイム(即時)に実行しようと望むならば、高性能なコンピュータが各利用者の手元に必要となってしまう。結果として、システムは低コストのものではなくなってしまう。

そこで本研究では、仮想空間を構成する素材に現実空間の実写画像を利用する手法が選ばれた。この手法であれば、仮想空間の自由度が制限されるという欠点もあるが、現実空間に近い光景を低コストで仮想空間に再現することができる。

本研究では、船舶の中を歩き回るかのような現実感を、インターネットを通じて、家庭用のパソコンの画面で再現することのできるウォークスルーシステムを、実写画像と VR 技術によって開発した。

(2) 機関室ウォークスルーシステムの開発に際しては、弓削商船高等専門学校の運用する練習船「弓削丸」の、機関室の中の光景が計 2016 枚の写真に撮影された。

機関室内を歩き回るかのような体験を得ることのできるウォークスルーシステムを構築するため、機関室内の通路上に平均 60cm の間隔で設定した 72 個所の点を視点とし、それぞれの視点から写真が撮影された。この 60cm という間隔は、成人男性の平均的な歩幅を参考に設定された。

それぞれの視点から任意の方向の光景を自由に再現することのできるシステムを構築

するため、各視点について前後左右上下の全立体角（4 ステラジアン）をカバーする実写画像が準備された。機関室内の各視点から、全立体角を30分割する方向について、30枚の写真が撮影され、その複数の画像が変形され合成されることにより、視点ごとに1枚のパノラマ画像とされた。

機関室内の写真は、三脚に据えたジンバル雲台に載せたデジタルカメラによって撮影された。ジンバル雲台は、二つの回転軸をもち、全立体角の方向にカメラを回転させることのできる装置である。二つの回転軸の両方が、カメラのレンズの光学的な節点を貫くように、正確に位置を調整したジンバル雲台とカメラを用いて、視点を動かさずに複数の方向の写真を撮影した。このような精密かつ多数の撮影によって、高精細な画像データが合成されるよう工夫した。

(3) 操舵室ウォークスルーシステムの開発に際しては、「弓削丸」の操舵室の中の光景が、自動回転ジンバルとレールシステムによって撮影された。自動化されたワークフローによって、機関室よりも高密度に、20cmの間隔の視点からの撮影が実施され、それぞれの視点ごとに全立体角パノラマ画像が合成された。この高密度な視点によって、ウォークスルーシステムがより高い現実感を提供できるものとなるよう工夫した。

(4) 機関室や操舵室の光景を撮影した全立体角パノラマ画像が配置された仮想空間を眺めた視界の画像を、利用者の選んだ視点と方向についてリアルタイムにレンダリングし表示するプログラムが実装され、ウォークスルーシステム（図1）として構築された。プログラムの実装においては、プログラミング言語「ActionScript」を用いてコーディングし、「Adobe Flash」規格のコンテンツの再生に対応したWWWブラウザのウィンドウ内で実行可能なリッチインターネットアプリケーションとした。

視点ごとのパノラマ画像は、さらに変形と切り分けにより、各視点につき6枚ずつの立方体パノラマ画像へと変換されている。この6枚のパノラマ画像を前後左右上下に配置した立方体を仮想空間内に構築し、その中心から任意の方向や画角の視界の画像をレンダリングし表示するプログラムを作成した。レンダリングの視界は、システムの利用者のマウス入力によってインタラクティブ（双方向的）に変化するものとした。すなわち、利用者が画面をドラッグすれば、視野の方向が変化し、利用者がマウスのホイールを回転させれば、視野の画角が変化するものとした。これにより利用者は、まるで船内に立って周囲の風景を自由に眺めるかのような体験を得ることができるようになった。視界を足元に向ければ、船の右舷や左舷が視界に対してどの方向にあるかを示すマークが、実写画像

の床の上に置かれているかのように重畳表示されるものとし、利用者が迷うことなく複雑な船内を移動できるよう工夫した。

利用者がキーボード入力より、前後左右への移動を命じれば、視点の位置関係に関する配列を参照し、命令に応じた新しい視点の座標を中心として、その新しい視点からのパノラマ画像の立方体を仮想空間内に配置するものとした。このようにして、視点の座標とパノラマ画像を次々と切り替えることにより、利用者は、まるで仮想空間内を歩き回るかのような体験を得られるよう工夫した。

床に並んでいるかのように、パノラマ画像に重畳して提示される半透明のマークの一つを、利用者がマウス入力によってクリックすれば、選択された新しい視点へと直線的にジャンプできるものとした。なおジャンプの際には、加速と減速を伴う滑らかなアニメーションによって、視点移動の状況を直感的に表示するよう工夫した。

開発したシステムを、WWWを通じて利用した際、多量の画像データの転送時間が動作のボトルネックとなることが判明した。この問題に対応するため画像データを二段階の解像度に分けて準備した。利用者が新しい視点に移動した際、まず解像度の低い画像のデータが転送されて表示され、その後その利用者が同じ視点に留まるならば、追って解像度の高い画像が転送されて表示されるよう、プログラムを工夫した。



図1 ウォークスルーシステムの表示

(5) ウォークスルーシステムには、その教育効果を向上させる目的で、練習船内の様々な機器や装置についての説明を表示する機能も追加実装された。説明の表示は、機器名を説明するアノテーションと、機器の諸元や役割等を説明するキャプション、および図表を含むドキュメントの3種類に分けられる。これらの教育用コンテンツは、機関室内および操舵室内の主な機器（主機や操舵スタンドなど）について説明するものとした。

このシステムのアノテーションは、各機器の名称を表す英文の文字列（たとえば主機を表す「M/E」等）であり、対応する機器の位置において、半透明の3次元の文字列としてパノラマ画像に重畳されて表示される。

システムの利用者がマウス入力により、画面上のアノテーションをポイントすると、キャプションが表示される。このシステムのキャプションは、各機器の詳細な諸元や役割等を説明する和文の文字列である。

さらにシステムの利用者がマウス入力により、画面上のアノテーションをクリックすると、新しいウィンドウやタブ（挙動はWWWブラウザの設定による）にてドキュメントが表示される。このドキュメントは、各機器の使い方や仕組みについて説明する、図表を含むコンテンツである。

(6) 練習船内の構造は複雑であるため、一部の機器については、写真によっても、現場においても、全体の形状を把握することが困難である。そのような機器については、それぞれに最適な手法を選択的に援用することによって、データの充実が図られた。

機関室内に張り巡らされた配管類の構造については、3次元スキャン技術の援用によって、その大凡の立体形状をデータ化した。これによって、機関室内の配管の構造を、透視するように観察できるよう工夫した（図2）。



図2 配管の3次元形状データ

多くの配管や補機類で囲まれているために全容の把握が難しい主機の形状については、3次元再構成技術の援用によって、3次元点群データとして再現した。これによって、現実では得られない視点から自由に、主機の全容を理解できるよう工夫した（図3）。

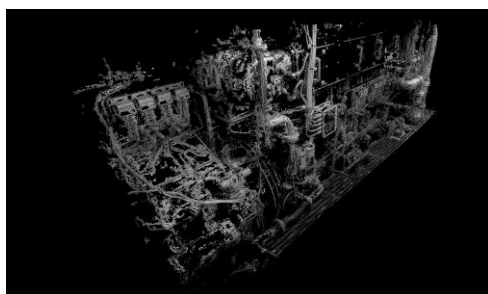


図3 主機の3次元点群データ

(7) 開発した新しいデジタル教材の、学生のニーズとの合致の程度と、教育への適応性を調査する目的で、弓削商船高等専門学校商船学科の学生を対象とし、新しいシステムのデモンストレーションと、無記名のアンケートを実施した。

この調査は、5つの学級（1年生・2年生・3年生・4年生航海コース・4年生機関コース）において、平成26年12月中旬、それぞれ別の日時に50分間ずつの時間をかけて実施した。1年生は42名、2年生は38名、3年生は36名、4年生航海コースは20名、4年生機関コースは17名が、調査に参加した。これは、調査日に欠席した学生を除いた、それぞれの学級の在籍者のほぼ全員に相当する。なお、弓削商船高等専門学校においては、1~3年生は航海系と機関係に分かれることなく基礎知識を教育され、4~5年生は航海コースと機関コースに分かれて専門知識を教育される。また5年生はこのとき、長期の航海実習に参加していたため、今回の調査には参加していない。

アンケートの内容は次の表1のとおりである。それぞれの質問について、-5（否定）から+5（肯定）までの11の選択肢の中から1つを選択してもらう形式で回答を募った。

表1 アンケート調査の内容

| | |
|-----|------------------|
| 質問1 | 教室の授業で活用してほしいか |
| 質問2 | 実習の前の予習に利用したいか |
| 質問3 | 実習の後の復習に利用したいか |
| 質問4 | 操作は簡単か |
| 質問5 | 画面の表示は分かりやすいか |
| 質問6 | 実習の予習・復習に役立つと思うか |
| 質問7 | 機器の説明は分かりやすいか |

4. 研究成果

(1) 精度の高いジンバル雲台を利用した、多数の写真の撮影によって、練習船内の光景を極めて精細にデータ化することに成功した。さらに、ロボット技術を応用した自動回転ジンバルとレールシステムを援用した撮影によって、練習船内の視点を極めて高密度にデータ化することに成功した。また、このような高精細かつ高密度な画像データや3次元データの収集を、高効率かつ低コストに行うことのできるワークフローの確立に成功した。このワークフローは、海事教育機関だけでなく、海運会社や造船会社においても応用可能であると思われる。

船舶において用いられる様々な機器類は、船の建造時に艤装されることが多いが、すでに完成し運用中の船に後から追加で艤装（レトロフィット）される場合も少なくない。たとえばバラスト水処理装置は、2016年から新たに全面義務化されたため、多くの造船会社においてレトロフィットのニーズが発生した。しかし、建造から年月を経て、修繕や改修など

を重ねた船に、加えて新たな装置をレトロフィットしようとする場合、その船の現時点における構造や形状にあわせて、装置と周辺部材を加工しながら据え付ける必要がある。これらの一連の作業には、相応の工数および期間と人件費が必要となり、かつその見積もりが困難であるため、そのスケジュールやコストが問題となることも多い。

ここで、新たな機器をレトロフィットされる予定の船の構造や形状を、定期検査等の機会を利用して、あらかじめ精密かつ短時間に調査し、そのデータに基づいて機器と周辺部材を最適化し、効率的な施工計画を策定することができれば、船内での据付工事に要する期間の劇的な短縮が実現する。本研究で実現された、船内の構造や形状に関する多量のデータを高効率かつ低コストに収集するワークフローは、このような場面において、産業界へ新しいシーズを提供するものとなる。

(2) 高効率かつ低コストに収集したデータによって、機関室ウォークスルーシステムと操舵室ウォークスルーシステムの開発に成功した。このシステムはインターネットで公開され、また利用方法に関する英文での説明文も付属され、海外からでも自由に利用できるものとなっている。プログラムの開発においても様々な工夫がなされ、低コストな IT 環境（安価なコンピュータや低速なネットワーク回線）でも利用できるものとなっている。これによって、船舶職員を目指す各地の学生たちが寮や自宅から、あるいは海や船に興味を持つ一般の国民が日本中から、あるいは世界中から、家庭用のパソコンとインターネットを使って、自由に利用できるシステムの実現に成功した。これは、日本の貿易の 99.7% を担い日本の経済を支える海運業への認知の拡大や、船舶職員を志す人材の拡大に、大いに貢献するものと思われる。

(3) 多量の画像データと特別なプログラムによって、練習船の内部を自由に歩き回るかのような、非常に高い現実感を伴う体験を、コンピュータのディスプレイ上で提供する、海事教育のための特別なデジタル教材の開発に成功した。また、多くのアノテーション、キャプション、およびドキュメントを作成しシームレスに統合することにより、教育効果の高いデジタル教材とすることに成功した。この新しい教材は、海事教育システムにおいて重要な位置を占める練習船実習を、効率的に補強するものとなり、学生たちに自主的な学習の機会を提供し、かつ十分な学習の機会を提供するものとなる。すなわち、本研究において実現された機関室ウォークスルーシステムと操舵室ウォークスルーシステムは、世界各国の海事教育システムにおけるアクティブラーニングの強化に、大いに寄与するものとなる。

(4) 海事教育の現場において、新しいデジタル教材の大規模なデモンストレーションとアンケート調査の実施に成功した。アンケート（表 1）への回答を集計し、それぞれの肯定度（-5 から+5 までの範囲の数値）の平均値を計算した結果を、次の図 4~9 のグラフに示す。それぞれのグラフは、質問番号（角度軸）ごとの肯定度の平均値（放射軸）を表している。今回のアンケートに対しては、総じて肯定的な回答を得られていたため、グラフは肯定度（放射軸）を 0（中立）から+5（肯定）までの範囲について描いたものとなっている。以下、全学年の平均値（図 4）と、1 年生（図 5）、2 年生（図 6）、3 年生（図 7）、4 年生航海コース（図 8）、4 年生機関コース（図 9）のそれぞれの学級毎の回答の平均値を、それぞれ個別のグラフに示す。

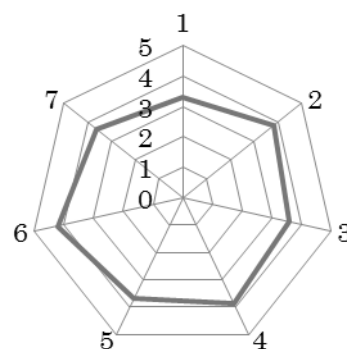


図 4 アンケート結果（全学年）

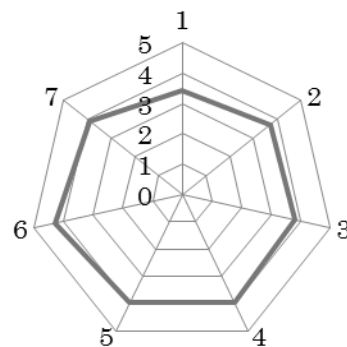


図 5 アンケート結果（1年生）

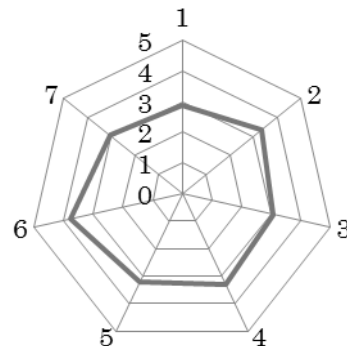


図 6 アンケート結果（2年生）

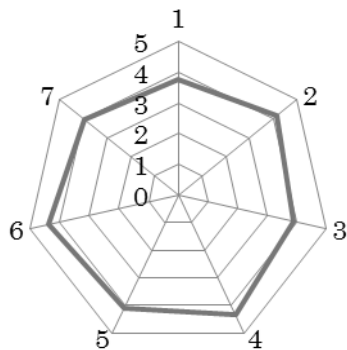


図7 アンケート結果(3年生)

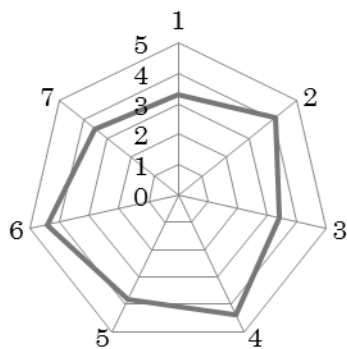


図8 アンケート結果(4年生航海コース)

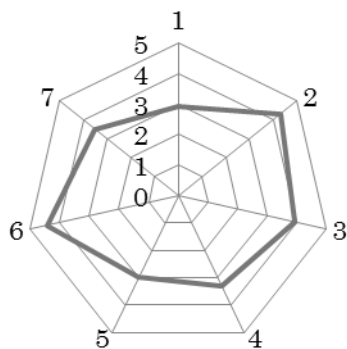


図9 アンケート結果(4年生機関コース)

この大規模なデモンストレーションとアンケート調査の結果、この新しいデジタル教材について学生の多くが、自分たちの学習に役立つと期待していることを確認できた。アンケート結果を細かく分析すると、授業における活用のニーズはやや少なく、実習前の予習のための活用のニーズが特に多いことが明らかとなった。この研究で得られた知見は、日本を含む STCW 条約締結国にて改善の進められている海事教育システムのますますの高度化に、寄与するところ大であろうと思われる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

向瀬紀一郎、渡邊智基、熊川和真、五井和貴、練習船の実写画像からの3次元再構成、弓削商船高等専門学校紀要、査読無、38、2016、13-18

<http://www.yuge.ac.jp/library/>

向瀬紀一郎、市川颯、熊川和真、船舶機関士の安全教育における機関室ウォークスルーシステムの応用、工学教育、査読有、63(5)、2015、40-44

DOI:10.4307/jsee.63.5.59

向瀬紀一郎、市川颯、機関室ウォークスルーシステムによる船員教育、高専教育、査読有、38、2015、49-54

向瀬紀一郎、柏原圭佑、市川颯、金乃寿憲、船用機関システムの仮想現実感技術による可視化、弓削商船高等専門学校紀要、査読無、37、2015、1-7

<http://www.yuge.ac.jp/library/>

向瀬紀一郎、熊川和真、機関室実習の仮想現実感技術による補強、弓削商船高等専門学校紀要、査読無、36、2014、1-7

<http://www.yuge.ac.jp/library/>

〔学会発表〕(計1件)

向瀬紀一郎、仮想現実感技術による練習船機関室実習のための教材開発、平成26年度全国高専教育フォーラム、2014/8/26、ホテル日航金沢(石川県金沢市)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.center.yuge.ac.jp/~mukose/yugeER/>

<http://www.center.yuge.ac.jp/~mukose/yugeWH/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

向瀬 紀一郎 (MUKOSE, Kiichiro)

弓削商船高等専門学校・商船学科・准教授

研究者番号：60408721