

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2020

課題番号：18H05783・19K20975

研究課題名（和文）自律型水中ロボット教材によるSTEM教育活動の教育効果測定

研究課題名（英文）Measuring the Educational Effect of STEM Education Using an Autonomous Underwater Robot Teaching Material

研究代表者

山縣 広和 (Yamagata, Hirokazu)

東京大学・生産技術研究所・特任研究員

研究者番号：90826265

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000 円

研究成果の概要（和文）：近年重要視されている包括的な理系教育の手段であるSTEM学習を主軸において水中ロボットによる教育活動を行なった。教材には筆者がオープンソースで開発しているMark3TMを改造して用いた。教育効果の検証を行うために、例年実施している水中ロボットコンベンションinJAMSTEC'19において専用の部門を配置して参加者を募集した。当該の部門には社会人から高校生まで幅広い参加者が得られた。また、参加者に対してアンケートを実施した結果、教育効果の存在を示唆する結果を得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

科学教育をいわゆる暗記科目から思考力を養うところにシフトしていくことがSTEM教育の役割である。今回の研究によって得られた知見は、従来から研究してきた水中ロボット教材Mark3TMが力学を起点とした学習だけでなく、情報教育にまで応用できることを示唆している。これは、Mark3TMがSTEM学習用の教材として十分に優れるということを示している。海に囲まれ、STEM教育の質向上を求める我が国において、これらの成果が得られたことは教育対象者の質向上に資すると思われる。

研究成果の概要（英文）：An educational activity using an underwater robot was carried out, focusing on STEM learning as a means of comprehensive science education. We modified Mark3TM, which is developed by the author as an open source platform, and used it as a teaching material. In order to verify the effectiveness of the education, a special section was set up at the Underwater Robot Convention in JAMSTEC'19, which is held every year, and participants were invited. A wide range of participants, from working people to high school students, participated in this section. As a result of the questionnaire to the participants, we obtained the result which suggested the existence of educational effect.

研究分野：水中工学, STEM教育

キーワード：STEM 水中ロボット AUV

1. 研究開始当初の背景

高等教育を受ける以前に科学的に現象をとらえる視点と解決する技術を育むことは我が国において重要な課題と言える。例えば、欧米諸国においては STEM(Science, Technology, Engineering, Mathematics)や MINT(Mathematics, Information science, Natural Science, Technology)といった包括的な科学的工学的教育がその責を担っている。

我が国においても、“いきるちから”教育を根本に置いたプログラミング教育の学習指導要領追加や STEM 教育学会の発足が 2017 年に行われるなど、徐々にその機運が高まりを見せている。この統合的教育を効果的に行うためには、この 4 要素の中心に存在して各学問間の行き来を可能にして効力を発揮する、コアとなる学習項目と教材が重要と考えられる。例えば Design Based Science のような実課題をコアとして用意し、その解決を図る中で実践的かつ網羅的な科学知識の学習を行う手法は有効とされている[1]。

他方教材に目を向ければ、上記 STEM の 4 要素を兼ね備えて興味を想起する対象にロボットが挙げられる。実際に STEM や MINT などが提唱される時期とは関係なく、我が国において同様の教育内容を提唱してロボット教材を活用した教育事例は多く存在している[2][3]。

しかし、これらの教材にはロボットアームならば腕、タイヤ・クローラロボットならば実存する車両のように学習者が経験的に観察・連想する対象がしばしば存在する。ゆえにこれらの観察を事前に行った学習者が素朴概念を基盤に教材を捉え、科学的視点ではなく技術に軸足を置いた感覚的な改造に終始する可能性は否定できない。すなわちロボット教材そのものを端的にコアと置くことは学習内容の観点からもその妥当性に疑問が残る。

2. 研究の目的

本研究の大目標は、STEM 学習と強固に結びついた教材として水中ロボットを提案することである。そこで筆者らは水中ロボットが力の釣り合いについて可視化できることに着目し、図 1 のような教材を開発した。そして、この教材を用いて技術的試行錯誤の中で力学的な検討をコアとして要求する環境を構築し教育効果を確認してきた[4][5]。また、応用事例として本教材を水中ロボットコンベンション in JAMSTEC (以降：水中ロボコン)という、NPO 法人日本水中ロボネットが毎年実施している水中ロボット競技会、高校生による水中洞窟調査などにも活用し、力学的教育についての効果を確認してきた[6]。

他方、学習指導要領におけるプログラミング教育の導入が行われており、プログラミング・AI 教育に近年注目が高まりつつある状況にある。STEM 教育にはプログラミング教育の要素を内包するので、本教材においてもその活用可能性を検討する必要があると考えられる。そこで、本研究では水中ロボットを用いたプログラム教育を試験的に実施し、教育効果の検証をすることを目的とした。

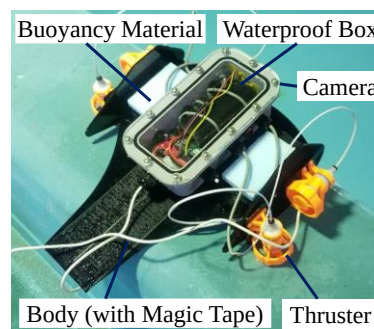


図 1：水中ロボット教材

引用文献

- [1] David Fortus, R. Charles Dershimier, Joseph Krajcik, Ronald W. Marx, Rachel Mamlok-Naaman, “Design-based science and student learning”, Journal of Research in Science Teaching, vol. 41, Issue 10, pp. 1081–1110, 2004.
- [2] Wei-hsing Wang, “A mini experiment of offering STEM education to several age groups through the use of robots”, Integrated STEM Education Conference, vol.2016, No. ISEC, pp.120-127, 2016.
- [3] 坂本弘志, 針谷安男, 古平真一郎, 山本利一”技術科必修授業向け『ロボコン題材』学習プログラム”, 宇都宮大学教育学部教育実践総合 センター紀要, Vol. 31, pp. 221–228, 2008.
- [4] 山縣広和, 森田寿郎, 初歩的な力学的内容の習得を目的とした水中ロボットの開発, 日本ロボット学会誌, Vol.33, No.3, pp.181-188, 2015.
- [5] Yamagata Hirokazu, Morita Toshio, ” Contest Design Which Applying Modeling Based on Control Engineering by Educational Underwater Robot for STEM Learning” , Journal of Robotics and Mechatronics Vol.29 No.6 pp.957-968 2017.
- [6] TEPIA チャレンジ助成事業, <https://www.tepia.jp/tcs/news/347>.

3. 研究の方法

今回は試験的実施であるため、学習上の達成目標はあえて設定しなかった。また、幅広い参加者を集めるために必ずしも AI 技術を必要としない課題を設定し、イベントとして実施することが最適であると考えた。そこで、2019 年に実施された水中ロボットコンベンション in JAMSTEC'19 で新部門 (AI チャレンジ部門) を設立した。

課題には、対象に近づくような動作を要求することで外部から機能確認ができる物体認識系で検討し、風船割りを競技に設定した。図 2 のように風船が水中で広範囲に配置されている。ロボットはスタート地点から自律行動させるものとし、制限時間内に割った風船の色と数に応じて得点が得られる。風船は図 3 のように 3 色あり、色によって高さや配点が異なる。水中での色の見え方は、図 4 のように距離と色の違いにより大きく異なる。よって、色認識のような従来手法では、風船の色の特定をするために一定の距離に接近するか、推定した距離に応じた色の補正を行うなどの工夫が必要になる。よって、単純に色だけに頼らない手法として、従来手法に替わりニューラルネットなどの AI 技術が選択肢になりうると予想した。

公平を期すため、風船を割るために用いる手段は事前に各チームに 1 本ずつ支給する専用の針のみとする。また、競技時間は 4 分間とする。

採点は下記の 4 項目で行なった。

- ・重量点 20 点満点
- ・プレゼンテーション点 20 点満点
- ・実地デモ点 20 点満点
- ・競技点 40 点満点

重量点は機体の空中重量によって決まり、軽量であるほど大きくなる。プレゼンテーション点はポスター形式で機体について説明してもらい、ポスターの構成、わかりやすさ、話しやすさ、質疑応答、技術内容をもとに採点される。実地デモは実際のコースで機体を動作させつつアルゴリズムの説明をする。話し方、わかりやすさ、質疑応答、ロボットの準備状況などが評価される。競技点は上記の風船割り競技での得点順位に応じて与えられる。

大会の実施前には、競技課題の説明と基礎的な知識の共有のために 3 回の事前講習会を行った。初回の事前講習会後は、質問対応用の HP を常時開設して技術的な問題への対応を行った。

初回は 2019 年 6 月 15 日で、AI 技術の重要性と水中ロボットのハードウェアに関する内容の講習を行った。第 2 回は 7 月 15 日で、実際のプールに風船を設置し、学習データの取得や走行テストを実施させた。第 3 回は 8 月 2 日に実施し、参加者に発生したトラブルの対応を行った。本番は 8 月 23 日～25 日であった。競技に用いるロボットについては 6 月末より順次希望者に教材を配布し、事前に組み立てさせた。

大会期間中に参加者の作業を記録し、終了後にアンケートを取って教育効果を検討した。

4. 研究成果

AI チャレンジ部門には表 1 のように全 7 チームが参加した。内訳は社会人 2 チーム、大学 3 チーム、高等専門学校と高等学校からの参加が各 1 チームである。この内大会当日に機体が稼働したチームは 5 チームで、動作しなかったチームは高等専門学

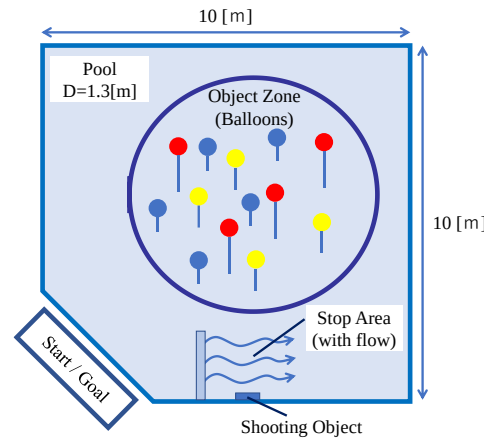


図 2：競技コースの概観

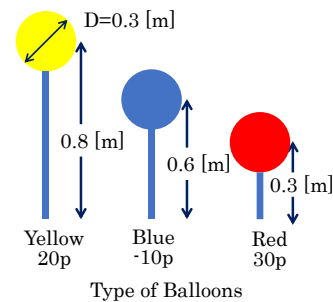


図 3：風船の配置高さや配点

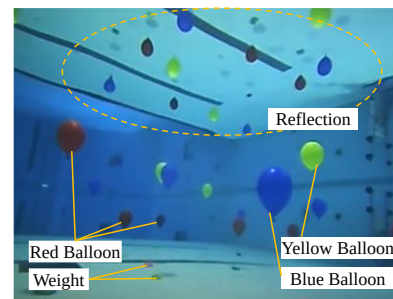


図 4：コースと風船

表 1：参加チームの内訳

	チーム名	区分
1	サラダボウル	社会人
2	県立横須賀高校 73 期	高校
3	数の子ライダー	高専
4	水中ロボット研究会	大学
5	BSC ドローン LAB	社会人
6	東工大ロボット技術研究会 アクア研	大学
7	豊橋技科大 コンピュータクラブ	大学

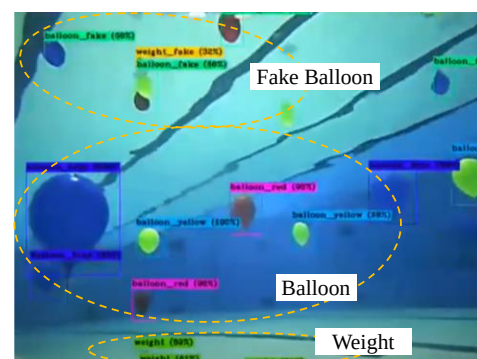


図 5：YOLOv3-Tiny による物体認識

校と高等学校からの参加チームであった。

参加チームが用いたアルゴリズムは、その多くが OpenCV を利用した色検出やエッジ検出と Hough 変換を利用した形状の抽出など従来の手法であったが、YOLOv3-Tiny や InceptionV3 など、AI 技術を用いたチームの参加も見られた。図 5 にサラダボウルが YOLOv3-Tiny を用いて行なった物体認識状況を挙げる。

一部のチームは AI 技術を導入したことからも、今回の課題は AI 技術を使う動機付けになったと思われる。他方、豊橋技科大学コンピュータクラブのように動作戦略の工夫や、東京工業大学ロボット技術研究会アクア研のようにセンサフュージョンにより、誤検出を低減する方策を選出したチームもあった。ここから今回の課題には解選択の多様性があることがわかる。

幅広い年齢層のチームが参加したことから、今回の課題は広い年齢層にとって魅力的だったことがわかる。これは、画像認識技術等の学習が専門課程まで行われないため、興味を有する参加者は自主学習していることが要因にあると考える。しかし、今回は AI 技術の導入を要求していなかったことに注意が必要である。AI 技術を活用したチームが 2 チームのみであったことから、仮に導入を強制した場合に参加チーム数は減少した可能性がある。

AI 技術の導入を促しつつ、参加チーム数を維持するためには、事前講習会において AI 技術の重要性を更に強調し、課題達成方法を意図的に誘導すること、AI の導入が有利になるように課題を修正することなどが考えられる。

前者は参加者の取る手法が収斂し、自発性、多様性を失う可能性があるため、今後は後者を検討したい。例えば、開始から終了まで常時潜航することを要求して、上からのアプローチをさせにくくするような方法があり得る。

また、実地デモの配点が競技点の半分と少なく、技術的評価（実地デモ点）と競技（競技点）のバランスも改善の余地がある。富士通 BSC ドローン LAB とサラダボウルでは同じ数の風船を割っているものの、それが実地デモ中か、競技中かで得点が大幅に変わっている。実践において成果を出すべき競技中に得点できなかったことは事実であるが、教育的観点からは不公平感が残る。実地デモをこのまま残しつつ、競技回数を増やすなど、各回の得点と稼働率を評価する仕組みを検討しうる。

本研究では、水中ロボットを用いた AI 教育の可能性を検証するために、筆者らが毎年実施している水中ロボット競技会にて試験的に課題を設定した。その結果、水中ロボットを用いた AI 教育は可能であるという示唆を得た。よって、STEM 教育用教材として、水中ロボット教材の利用が可能であることがわかった。一方で、その効果を高めるためには競技会の課題設定、事前教育など多くの検討すべき点あることが判明した。今後はカリキュラム調整を行いつつ、実用可能範囲の拡大と教育効果の向上を図っていく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yamagata Hirokazu	4. 巻 54
2. 論文標題 Use of Underwater Robots and Its Impact in STEM Education	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Marine Engineering	6. 最初と最後の頁 848～853
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5988/jime.54.848	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

1. 著者名 浅川賢一，山縣広和	4. 巻 90
2. 論文標題 小型ROVを使った教育活動（特集 船舶海洋分野におけるドローンの活用）	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Kanrin : bulletin of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers	6. 最初と最後の頁 33-36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 —

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 2件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山縣広和，巻俊宏
2. 発表標題 直観的な学習を目的とした水中ロボット教材の ロボットコンテストにおける効果検証
3. 学会等名 日本STEM教育学会 第1回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山縣広和
2. 発表標題 水中ロボットによるSTEM学習活動の効果検証
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山縣広和, 吉田弘, 巻俊宏
2. 発表標題 水中ロボット競技会におけるAI 教育事例
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 山縣広和	4. 発行年 2019年
2. 出版社 オーム社	5. 総ページ数 4
3. 書名 ロボコンマガジン No.122 「水中ロボコン入門」	

1. 著者名 山縣広和	4. 発行年 2019年
2. 出版社 オーム社	5. 総ページ数 4
3. 書名 ロボコンマガジン No.123 「水中ロボコン入門」	

1. 著者名 山縣広和	4. 発行年 2019年
2. 出版社 オーム社	5. 総ページ数 4
3. 書名 ロボコンマガジン No.124 「水中ロボコン入門」	

〔産業財産権〕

〔その他〕

Educational ROV Mark3
<http://edurov-mark3.com/>
 水中ロボットコンペション in JAMSTEC 2019
<http://jam19.underwaterrobonet.org/>

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