



Title	ゴルフボールを回収する水中ロボットの製作
Author(s)	高橋, 奏美
Citation	平成29年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2018
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/68109">https://hdl.handle.net/11094/68109</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 平成 29 年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

ふりがな 氏 名	たかはし かなみ 高橋 奏美	学部 学科	工学部 地球総合工学科	学年	3 年
ふりがな 共 同 研究者氏名	なべしま りか 鍋島 里佳	学部 学科	工学部 地球総合工学科	学年	3 年
	やまぞえ あい 山添 愛		工学部 地球総合工学科		3 年
					年
アドバイザー教員 氏名	鈴木 博善	所属	工学研究科		
研究課題名	ゴルフボールを回収する水中ロボットの製作				
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。(先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。)				
<p>1. 研究背景・目的</p> <p>ゴルフコースの難易度を調整したり、散水用の貯水池として利用したりするために、池のあるゴルフ場が数多くある。ゴルフコースの池の仕様には特に決まりはなく、自然の地形を利用したものもあれば人工のものもあり、様々な広さ、水深を持っている。この池にゴルフボールを打ち込むゴルファーは、少なからず存在するが、池に打ち込んで拾うことのできないゴルフボールは回収を諦めて帰るため、池の底にはゴルフボールが溜まっている。</p> <p>このゴルフボールに注目し、ビジネスに成功したものもいる<sup>1)</sup>。彼らは、池に沈んだゴルフボールを回収し、中古品として売って利益を得ている。ゴルフボールの回収にはダイバーを雇い、あるいは自ら潜水し、手作業で拾い集めるという方法をとっている。</p> <p>一方で、池に打ち込んだゴルフボールを諦めきれず、回収しようとしたゴルファーが溺死するという水難事故も報告されている<sup>2)</sup>。</p> <p>したがって、ロボットなどを使用して、池の中に存在するゴルフボールを回収することができれば、ビジネス的に成立やすくなるであろうし、ゴルフ場にそのようなロボットを配置しておけば、ゴルフボールを回収したいゴルファーは、ゴルフボールのために危険な目に合うこともなくなる可能性もある。</p> <p>このような状況の中、私たちは水中ロボットを使用したゴルフボールの回収にチャレンジすることにした。本論では、これについて報告する。</p> <p>2. ゴルフボールの密度について</p> <p>水中ロボットで水底からゴルフボールを回収するにあたり、まず、ゴルフボールの密度を計測することにした。ゴルフボールは、水に沈むのであるから、その密度は水より大きいことには、疑いの余地はない。水中ロボットでの回収を考えているため、水中ロボット装着するスラストの上昇推力で、ゴルフボールを揚収できるかどうかを判断するためである。</p> <p>ゴルフボールの直径を測定したところ、平均 4.2cm であった。体積は、ゴルフボールを凹凸のない</p>					

球形として計算すると、 $41.1\text{cm}^3$ となる。ゴルフボールの質量を測定したところ、平均して  $45.5\text{g}$  であった。以上から、ゴルフボールの密度は  $1.11\text{g/cm}^3$ であることがわかった。

水温にもよるが、水を  $1.0\text{g/cm}^3$ とすると、ゴルフボールの比重は 1.11 となる。この比重の値から、水中のゴルフボールを拾い、水面まで持ち上げるためにあまり上昇推力、あるいはエネルギーが要らないということがわかった。

### 3. 機体の製作

ロボット本体は、水中ロボット教育を行っている AUVSI 財団の「sea perch」プログラムを基にして作成することにした<sup>3)</sup>。作成したロボットの外観を図 1 に示す。

図に示すように、この水中ロボットは、信号線や動力線を曳引する、いわゆる Remotely Operated Vehicle (ROV) と呼ばれるタイプの水中ロボットである。一般に ROV は、不測の事態が起きてロボットが浮上できなくなったとしても、これらの線を手繰り寄せてロボットを回収できる。

さらに、ゴルフボールを自動で探索し、回収するような水中ロボット（これはいわゆる Autonomous Underwater Vehicle; AUV と呼ばれる）の開発も可能であろうが、これは、非常に高価となるため、今回は、研究対象とせず、人間が水中カメラで周辺状況を確認しながら、コントローラで操縦することとした。これにより、安価な水中ロボット開発が可能であると考えたからである。完成したロボットの大きさは、長さ 30cm、幅 20cm、高さ 30cm、の直方体に収まる程度である。

#### 3.1. 水中ロボットの骨組みと搭載装置等の固定方法

水中ロボットの主要な骨組みには、直径  $2.2\text{cm}$  の塩化ビニル管を用いた。その他のフレームなどの部品や搭載機器の配置には作りやすさとメンテナンス性の良さから、結束バンドを用いることにした。水中ロボットに搭載する装置やフレームによっては、その固定位置に多少のズレも許容できないものもある。このような装置やフレームは、ボルトとナットを使用して固定することにした。

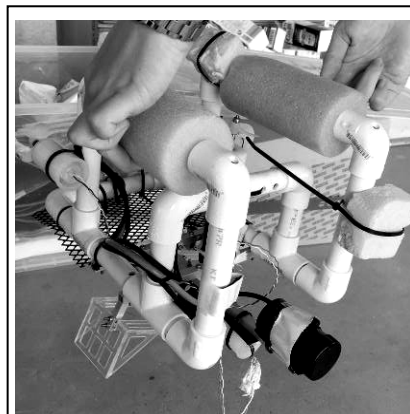


図 1 ロボット本体

#### 3.2. モータの防水方法とスラスタの作成

スラスタ用のモータとして、719RE385 モータ（12VDC モータ）を使用した。モータをビニールテープで巻いてカメラのフィルムケースに入れ、ケース内をグリスで充填することにより防水を試みた。（図 2）

ところが、マニュアル<sup>3)</sup>に記述されるモータの防水使用する高粘度のグリスが入手できなかったため、自動車表面に塗布する防水ワックスを使用することにした。これを用いて作成した防水モータを実際に水に浸してみると、フィルムケースに開けたモータのシャフトを出している穴と、配線を出している穴から、液体状のワックスが漏出した。これは、自動車用防水ワックスが圧力によって液化化する性質を持つことによる現象であることがわかった。ケースから漏れ出たワックスの分量だけ水が浸入するため、自動車用防水ワックスでは防水できない可能性があることと、漏れ出たワックスにより環境汚染が懸念されることから、不採用とした。

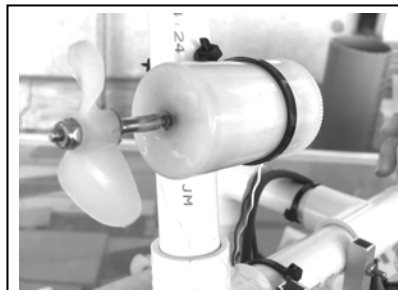


図 2 スラスタ

他にグリスの代わりに使用できるものを考えた。保湿のために使われるワセリンは、水を通さないことで保湿することから、防水効果を発揮できるのではと推測された。実際にフィルムケース内にワセリンを充填して水中に投入し、モータを作動させたところ、液体化することなく、防水効果を発揮することがわかった。さらに、ワセリンは入手しやすく、酸化しにくいいため劣化スピードが遅いという利点もある。熱によって柔らかくなるという難点は、水中で使用するため影響がないと考え、防水グリスとしてワセリンを採用することにした。

以上のように作成した防水モータに、プロペラを装着し、スラスタを構成した。このスラスタを、図 3 に示すように、前後方向 2 機、上下方向に 1 機取り付け、前進・後退、旋回、上昇・下降の動きができるようにした。

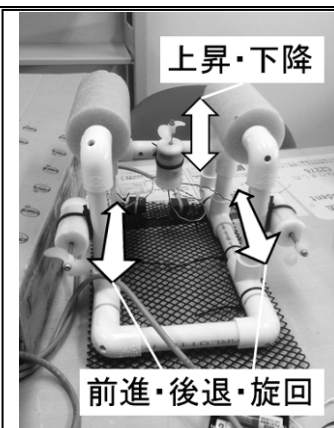


図 3 スラスタ位置

### 3.3. ゴルフボールキャッチの機構

ゴルフボールをキャッチする機構としては 4 案を考えた。これらは、ゴルフボールを保持した後に水平方向の重心位置が変化しないように、

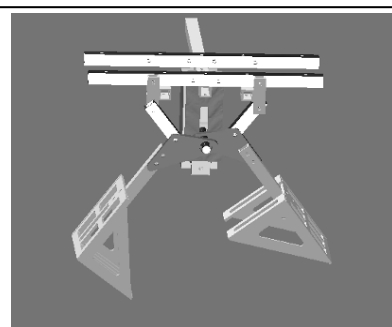


図 4 ボールキャッチ機構 1

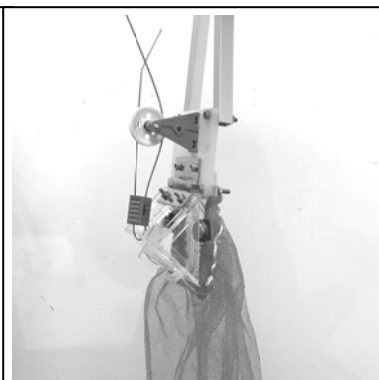


図 5 ボールキャッチ機構 2

機体の下面に取り付けることを前提とした。第 1 案 (図 4) は、回転運動を直線往復運動に変換するリンク機構を設計し、UFO キャッチャーのようにハンドを開け閉めしてボールをキャッチするというものである。ただし、これの駆動には、スラスタとは別のもう一つのモータを防水して使用する。第 2 案 (図 5) は、出入り口が四辺形の可動蓋付き網袋の中に、ゴルフボールを回収しようとするというものである。蓋にはワイヤを取り付け、ワイヤを巻き取って蓋を開け、蓋の前にボールがあるときにワイヤを開放すると、蓋と網袋の口に取り付けた磁石による力で勢いよく網袋に向かって閉まり、網袋にゴルフボールを入れるという仕組みである。第 3 案 (図 6) は、シジミ漁やアサリ漁の要領で、ロボットの下面に目の荒い金網製の笊を取り付け、地面に引きずって、掘るようにロボットを推進させ、笊にゴルフボールをためるというものである。第 4 案 (図 7) は、回転する水車のようなものでボールを巻き込んで回収するというものである。

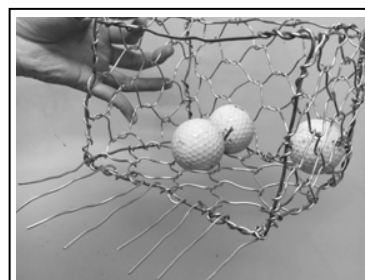


図 6 ボールキャッチ機構 3

第 1 案については、ゴルフボールを 1 つ掴むことができる工作物ができた。第 2 案の試作では、蓋と網袋の口にゴルフボールが挟まってしまい、ゴルフボールを回収することができなかった。これはワイヤが想定したように作動せず、蓋を閉鎖できなかったことによる。第 3 案と第 4 案は、大幅な重心移動が発生する恐れがあり、今回使用する機体では姿勢制御が難しく、回収には不向きであることがわかった。これらより、本研究では、第 1 案の方法でゴルフボールを回収することにし、後述の水槽試験では、この装置を水中ロボットに装備して使用することにした。

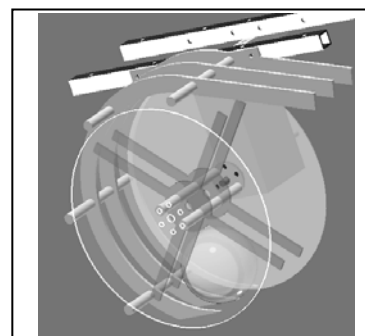


図 7 ボールキャッチ機構 4

### 3.4. 装置の配置、配線と操縦方法

本研究で使用する水中ロボットには、水中カメラを 2 台使用することにした。前方監視用と、下方監視用である。これらは、移動時の前方の観察およびゴルフボールの発見のため、ゴルフボールを回収時に回収装置を含む回収装置付近の様子を観察するという役割を有する。これらカメラは、それぞれ、ケーブルを介してノートパソコンに接続し、パソコン画面でリアルタイムの水中映像を確認しながら操縦できるようにした。

水中ロボットを操縦するためのコントローラは、2 軸ジョイスティック 2 本とタクトスイッチ 1 個で前進、後退、左右旋回、上昇、下降、キャッチャーの開閉を行えるよう設計した。アルディーノとモータドライバを介して、ジョイスティックの傾きによって推進用のモータへの出力を変えられるように回路とプログラムを作成した。

このコントローラと水中ロボットの接続には、長さ 20m の LAN ケーブルを使用した。これは、LAN ケーブルは 8 芯のため、4 個のモータを使うことに最適のため採用した。これと、前述の水中カメラのケーブル 2 本の計 3 本を、約 50cm 毎に結束バンドでまとめ、1 本にしてテザーケーブルとして使用することにした。

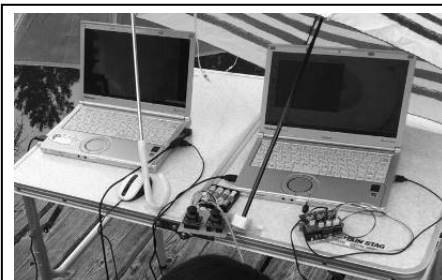


図 8 コントローラと操縦画面

## 4. 水槽試験

### 4.1. 水槽試験 1 回目

長さ 180cm、幅 60cm、高さ 60cm、水深 40cm の水槽を用意した (図 9)。水槽の底には池の底を想定して砂を敷いたバットを設置した。まず、操縦性を上げるために機体全体を沈め、浮力の調整を行った。浮力材 (小さく切ったスタイロフォーム) をバランスよく機体に取り付けたり取り除いたりして、中性浮力に近づけた。次に、砂の上にゴルフボールを設置し、そのボールをロボットで拾い上げるよう操縦した。その結果、ゴルフボールを 1 つずつ回収することに成功した。目的的性能を満たしていることを確認できたため、あとは次の水槽試験に向けて、水中カメラに映る映像を見てゴルフボールを回収する操縦の練習を行った。

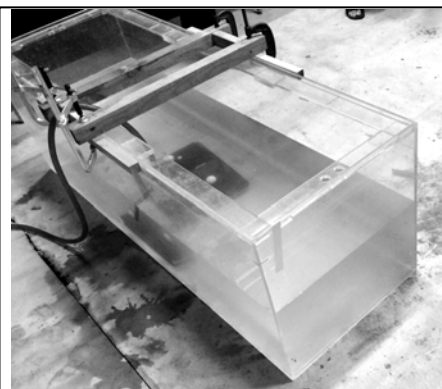


図 9 水槽

### 4.2. 水槽試験 2 回目

2 回目の水槽試験は、より実際のゴルフ場に近い水深の水槽での作動を確認するため、本学にある船舶海洋試験水槽 (図 10) で行った。水深は 4.35m である。回収が不能であった時に備え、接着剤でテグスを取り付けたゴルフボールを使用した。1 回目と同様に浮力調整から始めた。1 回目の状態の機体を配線とともに沈めたところ、テザーケーブルが重く、ロボットが自然と沈んでいってしまった。そこで、テザーケーブルにも適当な間隔で浮力材であるスタイロフォームを取り付けた。ロボットの動作の障害にならないようにテザーケーブルは浮き気味にした。長水槽の中は濁っておらず、動いていないときは水中カメラの画像で周囲の状態がよく観察できた。上昇するために下向きにプロペラを回転させると底に沈んだ砂埃が舞い上がり、周囲が見づらくなることもあった。実験途中でキャッチャー用のモータが動かなくなったため、その日の試験は終了せざるを得



図 10 船舶海洋試験水槽

なかった。

このキャッチャー用モータについては、後日フィルムケースを開け、ワセリンの中からモータを取り出し壊れていないか観察し、導通、動作チェックもしたが、原因を見つけ出せないまま、再び難なく動き出したため、部品を取り換えることなく元の状態に戻した。

## 5. ゴルフ場での運用

茨木カンツリークラブのご協力で、ゴルフ場の池を視察した。ロボット本体（20m の配線も含む）と、コントローラ、発電機（モータとカメラへの電源供給のため）、パソコン 2 台（カメラ 2 台分の画像を映すため）、パソコンを設置するテーブル、雨除けのテント、組み立て・修理用の工具を持参した。現場に到着してから 30 分程度でロボットを水中に入れるまでの準備を完了させた。



図 11 茨木カンツリークラブ

実際の池の中でも水中ロボットが動作することがわかった。水中にはゴルフボール以外のもの（砂や藻、コイなど）があり、ゴルフボールを見つけ出すことすら困難であった。カメラの画像からでは、ロボットの向きと、地面からの距離関係がつかみにくいという難点があることがわかった。実際、現場ではカメラの画像だけではなく、人間が上から見ることによって操縦していた。ロボットの現在の向きがわからないことから、旋回しすぎてしまい、テザーケーブルが振れるという問題や、コントローラから離れたところへ進むにつれ、テザーケーブルに引っ張られ、思い通りの操縦ができないという問題も見つかった。

残念ながら、水中での視認性の悪さ、回収装置の不具合で、ゴルフ場でのゴルフボール回収は、かなわなかった。

## 6. 研究成果

本研究では、ゴルフボールを回収する水中ロボットの製作を試み、水槽試験、実際にゴルフ場での運用を試みた。その結果、実験室レベルでのゴルフボール回収に成功した。これらの結果以下の成果が得られた。

- ・自力で水中ロボットの機体の組み立て、ゴルフボールを拾う機構の設計・製作、回路設計・製作、制御を行った。
- ・防水に適したグリスを選定して、モータの防水を可能にした。
- ・試行錯誤の結果、水槽実験では、ゴルフボールを 1 つずつ拾い上げることに成功した。しかし、操縦が難しく、ボールをキャッチするまでに時間がかかった。原因としては、テザーケーブルがロボットの動きを妨げることと、ロボットが前後移動と旋回しかできないこと、地面とロボットの距離関係を一定に保てないことがあげられる。
- ・ゴルフ場の池は、視界が悪いことがわかった。実際にカメラからの映像だけで動かそうとすると、ロボットの向きと池の底からの距離関係がつかみにくいという問題が見つかった。

## 7. 今後の課題

今回の研究により見つかった問題点を解決するために、水中ロボットの機能について、以下の 3 点についての改良が必要と考えられる。

- ・より細かいロボット位置調整を実現するため、横方向に移動できる仕様にする。

- ・ ロボットの動作を妨げない柔軟なテザーケーブルを選定する。
- ・ 操縦画面上から、ロボットの現在の方向がわかるようにする。
- ・ より強いライトにするなど、水中の視界の悪さを改善する、または、音響（ソナー）により、ゴルフボール、水底を検出できるようにする。

## 8. 参考文献

1) <https://virates.com/society/45165348>

2) ”ゴルフ場の池で男性 2 人死亡”.

日本経済新聞 ([https://www.nikkei.com/article/DGXNASFK11025\\_R10C11A5000000/](https://www.nikkei.com/article/DGXNASFK11025_R10C11A5000000/))

3) Seaperch construction manual Version 2016-1

(<http://www.seaperch.org/index>)

## 9. 謝辞

本研究を終えるにあたり、様々な皆様に大変お世話になりました。

まず、茨木カンツリー倶楽部様には、実際にゴルフ場内の池を使用させていただきました。特に、総務部多井様、北本コース様には寒い中、実験に対応いただきました。

茨木市連合自治会会長三宅様には、大阪大学からの依頼を茨木カンツリー倶楽部様にお取次ぎいただきました。

また、大阪大学創造工学センター三宅技術職員には、ロボットの製作場所をお貸しいただきました。

さらに、地球総合工学専攻船舶海洋工学部門事務室星野様およびお父様には、ゴルフボールのご提供および、茨木市連合自治会会長三宅様へのこちらの希望をお取次ぎいただきました。ゴルフボールに関しては、日本船舶海洋工学会関西支部の村木様にもご提供いただきました。

このほか、地球総合工学専攻船舶海洋工学コース海事機械システム工学領域 M2 の井上様は、ゴルフ場訪問の際、機器の運搬にご尽力いただきました。その他、地球総合工学専攻船舶海洋工学部門の先生方、職員の方、大学院生の方にもお世話になりました。

皆さまのご協力により、本研究の成果が得られました。ここに厚く感謝の意を表します。

最後になりましたが、本研究の機会を与えてくださった、大阪大学未来基金の関係各位に深く感謝いたします。