

垂直降下型湖底泥サンプリング用小型水中ロボットの 要素技術の開発 ～水中モータを用いたスラストモジュールの改良～

Development of fundamental technologies of a vertical descent
type small underwater robot for mud sampling
at the bottom of lakes

～Improvement of the thruster module using
an underwater motor～

○糸井 雄祐*, 情野 瑛*, 高橋 隆行*

○Yusuke Itoi*, Akira Seino*, Takayuki Takahashi*

*福島大学

*Fukushima University

キーワード： 水中ロボット (underwater robot), スラスト (thruster), 水中モータ (underwater motor)

連絡先： 〒 960-1296 福島県福島市金谷川 1 福島大学 共生システム理工学類 高橋研究室
糸井雄祐, Tel.: (024)548-5259, Fax.: (024)548-5259, E-mail: itoi@rb.sss.fukushima-u.ac.jp

1. 緒言

松原湖や猪苗代湖など多くの湖沼が存在している福島県では環境調査が継続的に行われている。また、東京電力福島第一原子力発電所の事故が発生して以降、放射線量の調査として湖底泥の採取による調査が行われている。

湖底泥採取の手法として、水上から採泥器を投下する方法や、潜水土による採泥等の方法が一般的に用いられる。前者の方法では、精確な位置の取得が困難である。また後者の方法では、深い水深での採泥が困難である。そこで本研究室ではこれらの問題を解決するため、水中ロボット (T-TURTLE 2.1 : Thruster-type underwa-

ter robot for lake environmental survey ver.2.1) の開発を行ってきた¹⁾。T-TURTLE 2.1 を Fig. 1(a) に示す。T-TURTLE 2.1 は猪苗代湖での実験により、実際に採泥が可能であることが確認されている。しかしながら、重量が約 70[kg] であり、岸や水上からの投下および回収が困難であるという課題がある。そこで、この問題を解決するために、小型軽量化を目的とした T-TURTLE mini (Fig. 1(b)) の開発を行っている。

T-TURTLE mini では、採泥の際のロボットの位置の微調整や、採泥管を湖底に嵌入および抜去のための推進力 (約 100[N]) を得るために、スラストモジュールを利用する。潜水は水面から

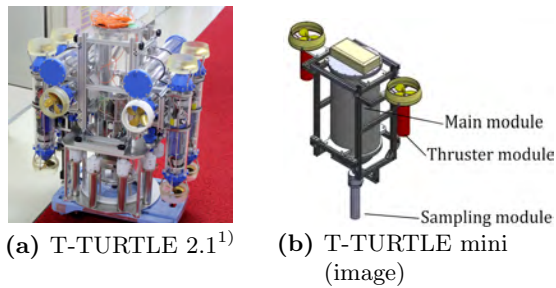


Fig. 1: Underwater robot

投下し、浮上は人力にてロープ等を用いて行う。

T-TURTLE 2.1 に搭載されているスラストモジュール (Fig. 2) は、垂直方向に推力を発生するものが4本、水平方向に推力を発生させるものが2本の計6本搭載されている。1本あたりの重量は、4.38[kg]であるため、スラストモジュールだけで重量の約3分の1を占めていることになる。

そこで棚木ら²⁾は、上記の課題をギアを用いることによって、スラストモジュールの推力を増大し、採泥に必要なスラストモジュールの本数を減らすことによって解決を試みた。開発したスラストモジュールを Fig. 3 に示す。これによって、垂直方向のスラストモジュールを2本に減らすことができ、重量が約9[kg] 軽量化した。

しかし、Fig. 3 のスラストモジュールは、マグネットカップリングやギアで構成されており、サイズと重量が大きいという課題がある。

そこで本研究では、モータを水中で駆動させ、マグネットカップリングやギアを不要とし、小型軽量となるスラストモジュールの改良を目的とし、モータを水中で駆動させた場合の影響について確認を行う。

2. 水中モータを用いたスラストモジュールの提案

本研究では、スラストモジュールの小型軽量化のために、モータを直接水中で駆動させる「水中モータ」を利用したスラストモジュール (Fig. 4) を提案する。水中モータの利用によって、これ

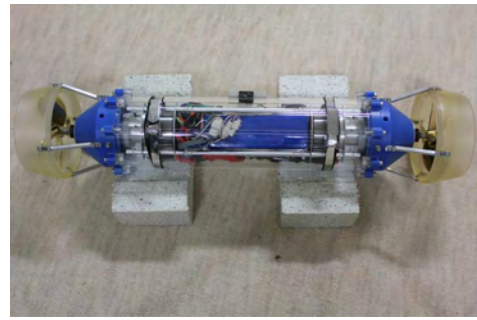


Fig. 2: Thruster module of T-TURTLE2.1¹⁾

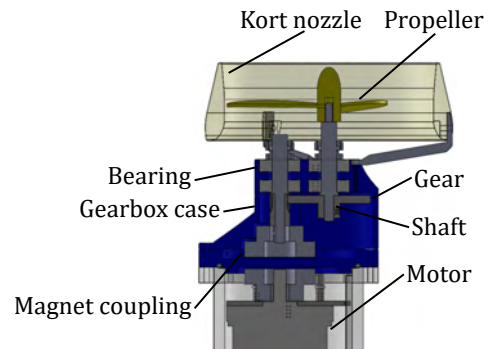


Fig. 3: Structure of thruster module²⁾

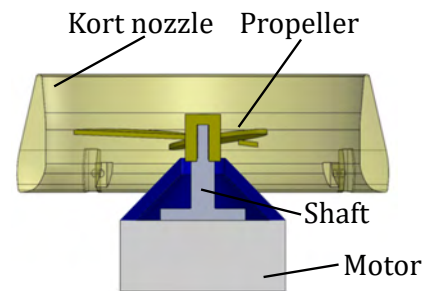


Fig. 4: Structure of thruster module to propose

まで用いていた、マグネットカップリングやギアが不要となり、大幅な軽量化が期待できる。

提案するスラストモジュールに用いる水中モータを選定する。まず、棚木ら²⁾が開発したスラストモジュールで使用されていたモータ (Maxon motor 製 EC60flat 411678³⁾: Fig. 5, Table 1) が水中で駆動できるか考える。このモータは駆動させるためにホールセンサが基板についており、防水処理が施されていない。そのため、水中での駆動は不可能であると考えられる。そこで、水中で駆動できるモータ (iFlight 製 eX8108-105KV⁴⁾) を選定した。選定したモータを Fig. 6 に、仕様を Table 2 に示す。



Fig. 5: Previous motor used for T-TURTLE 2.1 (EC60flat)³⁾



Fig. 6: Selected motor (eX8108-105KV)⁴⁾

Table 1: Specifications of the EC60flat

Item	Value
Nominal voltage	24[V]
No load current	0.419[A]
Max. continuous current	5.47[A]
Motor size	$\phi 68[\text{mm}] \times 51.1[\text{mm}]$
Weight	470[g]

Table 2: Specifications of the eX8108-105KV

Item	Value
No load current	0.6[A]/22.2[V]
Motor size	$\phi 87[\text{mm}] \times 24.5[\text{mm}]$
Weight	230[g]

3. 水中でモータを駆動させた場合の影響

プロペラとモータ間の距離が近い場合に、水流がモータにあたることによって、推力とモータの回転抵抗が変化する可能性がある。そのため実験を行い確認する。推力は、Fig. 7に示すように、デジタルフォースゲージ (イマダ社製 ZTS-500N) を用いて測定を行い、確認を行う。

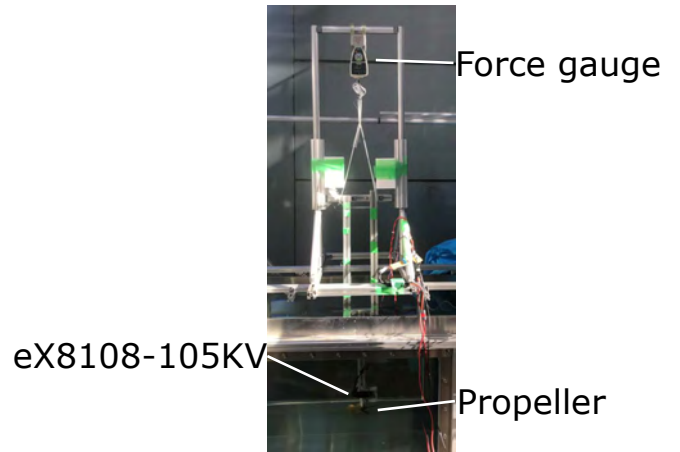


Fig. 7: Experimental setup

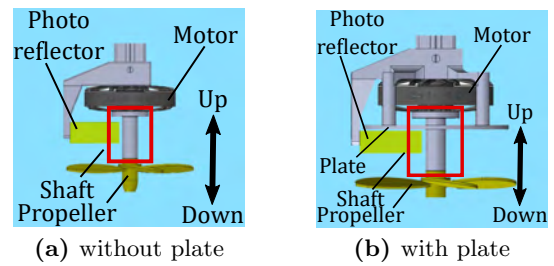


Fig. 8: The images of the motor and propeller part

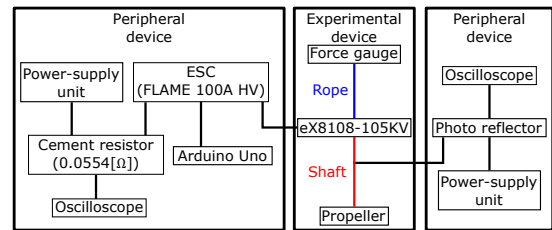


Fig. 9: Block diagram of the experimental setup

モータの回転抵抗の測定方法として、2つの方法があげられる。1つ目は、モータに流れる電流からモータの回転抵抗を求める方法である。モータの回転抵抗は、モータに流れる電流とモータのトルク定数により決まる。そのため、モータに流れる電流値が測定できればトルクを算出することができる。この方法は、モータに流れる電流を測定できるモータドライバが必要となる。本研究ではモータドライバ (Maxon motor 製 ESCON module 50/4) を使用し、予備実験を行った。結果として、eX8108-105KV で回転数を上げる際に、モータに流れる電流がモータドライバの最大電流を上回ってしまうために、回転数

を広範囲にしたときの測定が不可能であった。2つ目は、モータとモータドライバの間に抵抗を入れ、抵抗間の電圧から算出する方法である。この方法で得られる電流値は、電源装置からモータドライバ間に流れる電流の大きさである。予備実験により、モータの回転抵抗が増加すれば、電流値も増加をすることを確認した。そのため、この値でモータの回転抵抗の確認を行う。

実験装置のモータ付近のイメージ図を Fig. 8 に、実験装置全体のブロック図を Fig. 9 に示す。推力は、Fig. 7 に示すように、シャフトを取り付けた eX8108-105KV にプロペラ (RABOESCH 社製 147-37) を取り付け、デジタルフォースゲージの真下になるように、吊り下げ、測定を行う。さらに、モータドライバである ESC (FLAME 100A HV) に接続した Arduino Uno を用いて eX8108-105KV の回転数を上げていき、フォトリフレクタを用いて回転数を計測する。そして、フォースゲージにより回転数ごとの推力の測定を行う同時に ESC に接続したセメント抵抗間の電圧値をオシロスコープにより測定し、電流値を算出する。

まず、モータにあてる水流の方向と強さを変更するために、Table 3 に示す実験条件で実験を行う。Fig. 8(a) に示すプロペラとモータ間の距離 (赤く囲った箇所) を 40, 60, 80[mm], プロペラの取り付け方向 (正しい方向を表とする), モータの回転方向を変更し、水流がモータにあたる上方向 (アップ) とあたらない下方向 (ダウン) とし水流の方向を変え、実験を行った。試行は各条件でそれぞれ 3 回行った。

推力、電流の測定結果を Fig. 10, Fig. 11 に示す。Fig. 10 の No.1, No.2, No.3 の推力の値から、水流の向きによる水流の強さにより推力は変化するが、プロペラとモータの距離を変えてもプロペラの推力の変化はなかった。Fig. 11 の No.1, No.2, No.3 の電流値から、推力の結果と同様に水流の向きによる水流の強さにより電流値は変化するが、プロペラとモータの距離を変

Table 3: Experimental conditions (without plate)

No	Distance [mm]	Propeller direction	Motor rotation direction	Water flow direction
1	40, 60, 80	Front	CCW	Down
2	40, 60, 80	Front	CW	Up
3	40, 60, 80	Back	CW	Up

Table 4: Experimental conditions (with plate)

No	Distance [mm]	Propeller direction	Motor rotation direction	Water flow direction
4	40, 60, 80	Front	CW	Up
5	40, 60, 80	Back	CW	Up

えることによるモータの電流値の変化はなかった。以上のことから、プロペラとモータの距離による推力、電流値の影響はないことが確認できた。

次に、Fig. 8(b) のようにモータとプロペラの間を板を取り付け、モータに水流があたらないようにし、モータに水流があたる実験条件である Table 3 の No.2, No.3 の推力、電流値との比較を、上記の実験と同様に (Table 4) に示す条件で行った。試行回数は 3 回行った。

No.2 と No.4 の推力、電流値を比較した結果を Fig. 12, Fig. 13 に示す。そして、No.3, No.5 の推力、電流値の比較した実験結果を Fig. 14, Fig. 15 に示す。Fig. 12, Fig. 13 の No.2 と No.4 の結果より、推力は水流をあたらないようにして変化はなかった。しかし、電流値は水流をあたらないようにすることにより、回転数が 1200 [RPM] のときと比較して約 2 割減少した。Fig. 14, Fig. 15 の No.3 と No.5 の結果より、も同様であった。このことから、実際にモータを水中で駆動させる場合はモータの回転抵抗の増加を防ぐために、モータとプロペラの間に水流を遮断するものを設ける必要がある。

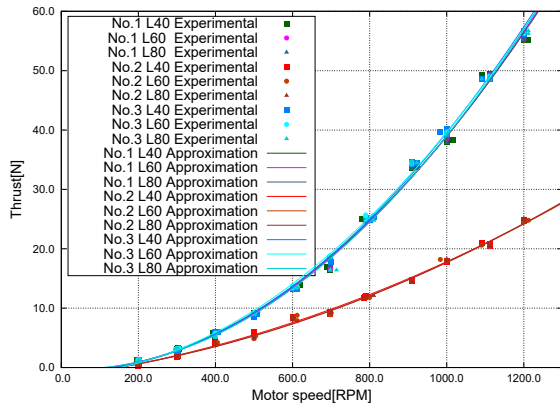


Fig. 10: Experimental results of thrust from No.1 to No.3

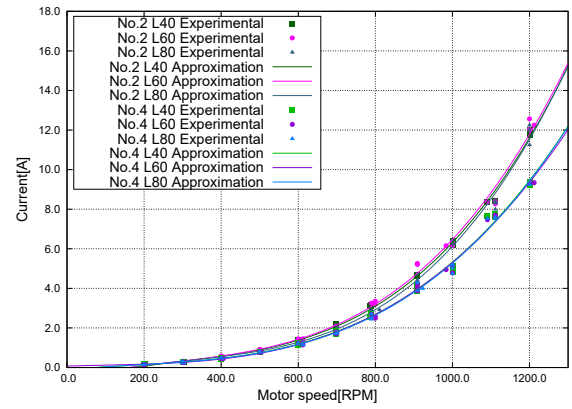


Fig. 13: No.2 and No.4 current comparison results

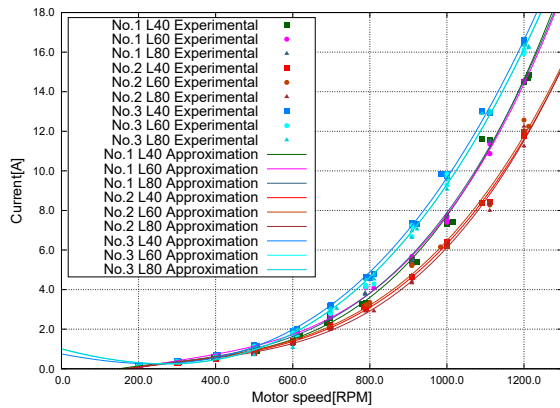


Fig. 11: Experimental results of current from No.1 to No.3

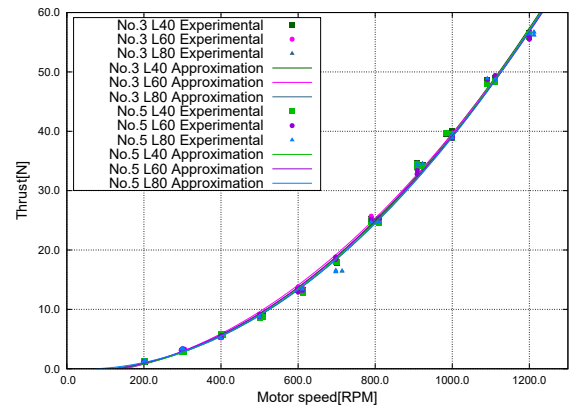


Fig. 14: No.3 and No.5 thrust comparison results

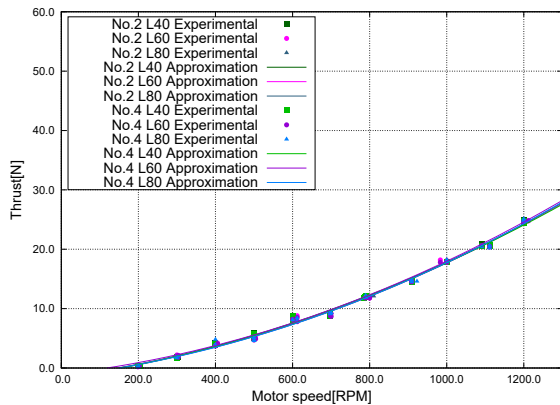


Fig. 12: No.2 and No.4 thrust comparison results

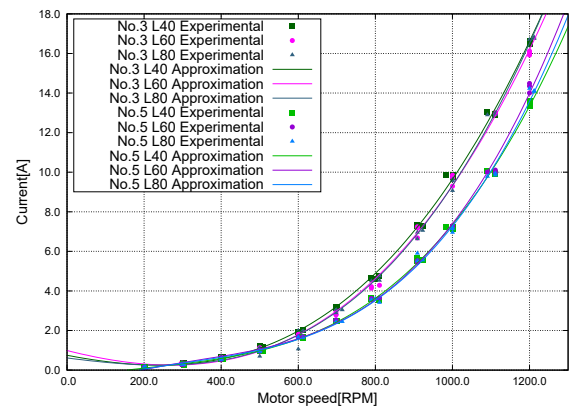


Fig. 15: No.3 and No.5 current comparison results

4. 結言

本論文では T-TURTLE mini のためのモータを水中で駆動させるスラストモジュールの提案を行った。実験により、モータに水流が当たる場合での影響の確認をし、推力は変化しないことが確認でき、モータの回転抵抗は増加するこ

とがが確認できた。

今後は、スラストモジュールを設計する上で必要なバッテリーの容量を求める実験を行う。また、スラストモジュールの設計を行う。

謝辞

本研究の一部は、令和元年度福島県産学連携ロボット研究開発支援事業補助金の支援を受けて行われました。関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 平尾瑞穂, 菅野怜, 棚木瑞輝, カニエテ ルイス, 高橋隆行: 湖沼調査用グライダー型小型水中ロボットの開発ー超音波ガイドを利用した小型位置推定システムの提案ー, 計測自動制御学会東北支部第 312 会研究集会, 資料番号 312-15 (2017)
- 2) 棚木瑞輝, Luis CANETE, 高橋隆行: 湖沼調査用モジュール構造型小型水中ロボットの開発ースラスト用減速機的设计及び三号機の構想ー, ROBOMECH2016, 1P1-16b3 (2016)
- 3) Maxon motor, EC 60 flat ϕ 60 mm brushless 100 Watt, https://www.maxongroup.co.jp/medias/sys_master/root/8833813381150/19-EN-267.pdf, (最終アクセス日: 2019.3.13)
- 4) iFlight, eX8108 105KV Brushless Motor, https://www.iflight-rc.com/index.php?route=product/product&product_id=959&search=eX8108, (最終アクセス日: 2019.3.13)