

## 米内浄水場における緩速ろ過法による浄水処理方法の研究 ～緩速ろ過池清掃ロボットの可能性を探る～

(地域創生特別プログラム (ものづくり系)) ○澤口翔, 小山猛

### 1. 緒言

上下水道は重要な社会基盤の 1 つであり、浄水場は上水を供給する不可欠な施設である。浄水場における浄水処理方法の 1 つに緩速ろ過がある。これは約 200 年前に開発された歴史あるろ過法であるが、環境面や経済面で負担が小さいことから近年見直されており、盛岡市でも米内浄水場において 3 基を運用している。

我々はこの緩速ろ過池を清掃する水中ロボットの開発を目指している。昨年度までに実機開発、水底における円滑な移動、厳寒期における移動を実現しており、残る課題として、本ロボットによる生物膜の回収を目指した。

### 2. 緩速ろ過



図 1 米内浄水場の緩速ろ過池

図 1 に実験対象である盛岡市米内浄水場の緩速ろ過池（長さ 36.9m×幅 29.4m×深さ 1.3m（砂面まで））を示す。浄水場における浄水処理方法は主に 4 つあり、それらの種類と浄水量の割合(%)は消毒のみ 16%，緩速ろ過 4%，急速ろ過 78%，膜ろ過 2% である[1]。緩速ろ過は薬品処理しないため環境負荷が低い、電力をほとんど使用しないため長期的維持管理コストが安いなどの長所があり、浄水量の割合は低いものの簡易水道を含めた小規模施設を中心に全国で今なお多数稼働している。

緩速ろ過は水深 1m ほどのろ過池の底にある砂層や砂利層に原水を通すことで浄水を得る処理方法である。砂層表層に存在する藻類や微生物などの粘質膜(生物膜)による生物学的作用、微生物による酸化作用、砂層によるろ過沈殿作用などの複合的作用により、にごり、アンモニア、マンガン、かび臭などを除去する[2]。

緩速ろ過における問題点は、長期間のろ過により清掃作業が必要になることと厳寒期において清掃作業が困難となることである。藻類の繁殖や微生物の増殖によりろ過能力は向上するが、長期間のろ過はそれらの過度な繁殖を招き、砂層表層の目詰まりを起こすことでろ過能力が低下する。目詰まり解消には 2～3 ヶ月毎に生物膜を除去(清掃)する必要がある。しかし、清掃はろ過池の水を空にして主に人力で行なうため 10 人程度で数日間かかり、その間は浄水を得られないなど、経済面、肉体面、運用面

で大きな負担となっている。厳寒期は藻類の繁殖は抑えられるが、結氷により清掃できないという問題もある。ろ過池に水を入れたまま清掃することができれば、清掃作業の負担軽減や浄水の安定供給に貢献可能である。

### 3. 緩速ろ過池清掃ロボットの開発と残っている課題

本研究では、すでに開発中の養殖用水槽底掃除ロボット[3]をベースにして緩速ろ過池清掃ロボットの開発を目指している。図2と表1に開発中の緩速ろ過池清掃ロボット実機の外観と仕様を示す。これは自律型水中ロボット(Autonomous Underwater Vehicle : AUV)であり、オープンフレーム構造のアルミニウム製ボディ、その上部に設置した2基の移動用推進器(スラスター)、バッテリーや制御装置を内蔵した防水容器、水底を向いた生物膜吸込み口、生物膜回収用タンクからなり、本 AUV の底面に平らなソリを取付けることで水底の砂面における円滑な移動を実現した。ろ過池の寸法は既知であるため本 AUV には位置検出用センサーも壁衝突を検出するセンサーも用いておらず、予め記述した動きを繰り返すシーケンス制御を施した。

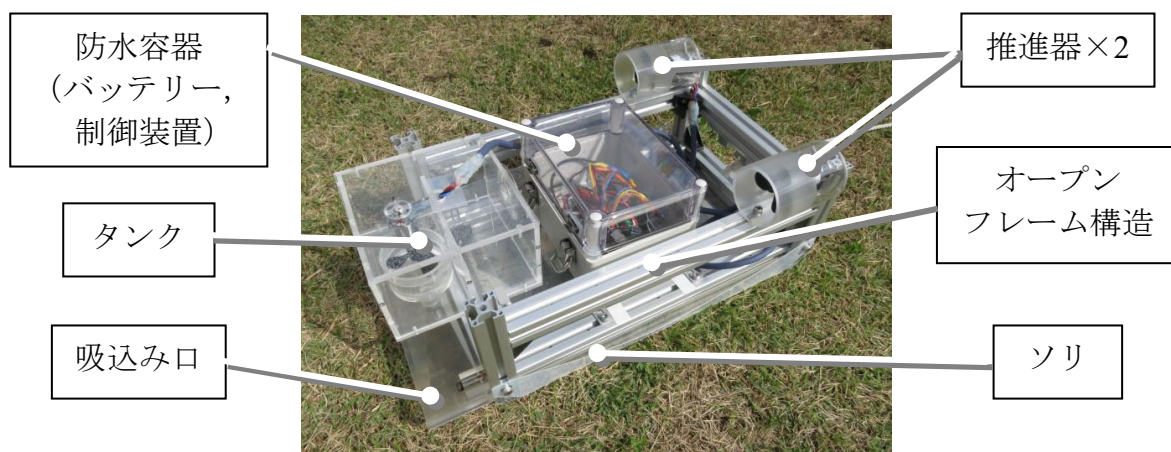


図2 緩速ろ過池清掃ロボットの外観

表1 緩速ろ過池清掃ロボットの仕様

|          |                                    |
|----------|------------------------------------|
| 寸法       | 長さ 0.53m×幅 0.34m×高さ 0.22m          |
| 乾燥重量     | 6.6 kg                             |
| アクチュエーター | 推進器：ブラシレスモーター×2<br>吸込み：ブラシレスモーター×1 |
| 制御装置     | Arduino Uno Rev.3×1                |
| バッテリー    | Ni-MH バッテリー(7.2V, 4500mAh)×1       |

本研究の目標である緩速ろ過池清掃ロボットを開発するためには、ろ過池における移動と生物膜の回収を実現する必要がある。昨年度までに実機開発、水底における円滑な移動、厳寒期における移動を実現しており[4][5]、今年度は生物膜の回収を課題とした。生物膜は水底に張り付いているため、回収するためには生物膜を水底から剥離させる「かき回し」が必要である。本稿では「かき回し」と「回収」を目指した。

#### 4. 実験、結果と考察

生物膜かき回しのためクマデ型の部品を製作し、AUV にけん引させた(図 3). AUV とクマデを軸でつなぎ、軸の両端ではピッチ方向と軸回りの自由度を持たせたため、クマデの姿勢や砂面の凹凸に合わせることが可能であった. 図 4 にクマデ通過前後の水底のようすを示す. 実験前は水底を黒色の生物膜が覆っているが、実験後ではクマデの通過した部分だけ灰色の砂面が見えており、生物膜をかき回すことができた. しかし、生物膜の張り付きが強い部分では十分な成果を得られず、広範囲の実験に向けて課題が残った.



図 3 クマデを取り付けた AUV



(a) 実験前



(b) 実験後

図 4 かき回し実験の結果 (矢印はクマデの移動方向を示す)

盛岡市上下水道局ではエキスパンドメタルを用いた新たなかき回し手法を検討しており、これが大きな成果を得ている[6]. そこで、回収実験におけるかき回しにはこの手法を用いることとした. エキスパンドメタルでかき回した後、ろ過池には大小に粉碎した生物膜が水中を漂い、煙幕のようになった. この煙幕は発生後 10 分経っても完全には納まらなかったため、本 AUV に袋状のアミを取り付けて水底を移動させることで、粉碎した生物膜を水中で回収することを目指した.

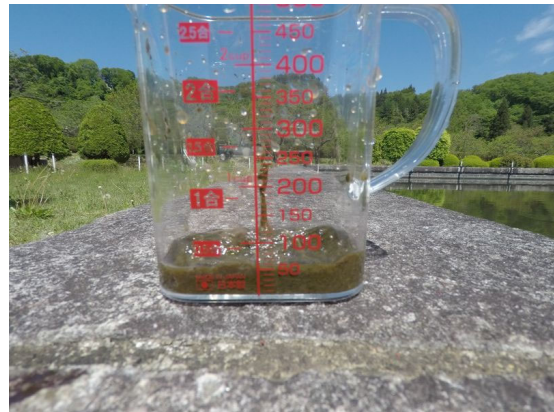
まず、直径約 300mm の丸型の虫取りアミを人力で操作し、生物膜を回収する試行実験を行なった. アミを水底から 100mm 程度に保ち、ろ過池の長辺 36.9m ほどを移動した. 回収した生物膜を観察し、重量や容積を測定した. 図 5 に結果を示す. 虫取



りアミで生物膜を回収できることを確認した．生物膜はアミの水底に近い部分に付着しており，水面に近い部分には少なかった．測定した生物膜の重量は 65g，容積は 50cc(水分を含む)であった．ここで使用したアミの直径が 300mm でありろ過池の幅が 29.4m であることから，ろ過池全面で回収できる生物膜は重量 6.5 kg，容積 5000cc と推測した．この量の生物膜を本 AUV に格納することは難しいため，清掃途中で陸上へ排出するか回収タンクを拡大する必要がある，現状の AUV によるろ過池全面の生物膜回収は困難であることがわかった．



(a) アミに付着した生物膜



(b) 計量

図 5 生物膜回収の試行実験結果

次に，試行実験の結果からアミ開口部の形状(以下，アミ形状)によって生物膜の付着面積や水の抵抗がかわると仮定し，さまざまなアミ形状における生物膜の付着面積，重量，容積，水の抵抗の大きさを比較した．図 6 に実験のようす，図 7 に実験に用いたアミ形状を示す．アミ形状は頂点が水面に近くなる三角形△，その逆の三角形▽，縦長の四角形□，横長の四角形■の 4 種類とし，それぞれ記号を用いて標記する．丸形○は予備実験において△や□より劣ったため，実験から除外した．表 2 に実験結果を示す．全ての調査項目について，△が最もよい結果を示した．よって，本 AUV へ装備するアミ形状に△を採用した．



図 6 実験のようす



図 7 アミ形状(左から○，△，□，▽，■)

表 2 アミ形状による生物膜回収結果

| 調査項目      |      | 評価  |     |     |    |
|-----------|------|-----|-----|-----|----|
|           |      | 良い  | ←   | →   | 悪い |
| 付着面積      | 大←→小 | △   | ▽   | ■   | □  |
| 重量        | 大←→小 | △   | □   | ■   | ▽  |
| 容積        | 大←→小 | △=□ |     | ■   | ▽  |
| 水の抵抗(大きさ) | 小←→大 | △   | ▽   | □=■ |    |
| 水の抵抗(変化率) | 小←→大 | △   | ▽=□ |     | ■  |

さらに、本 AUV にアミを取付け(図 8)、ろ過池における回収実験を行なった。生物膜を回収することはできたが、アミに対する水の抵抗が AUV の姿勢を不安定にしたため、十分な成果を得ることができなかった。詳細については学会にて発表する予定である。

## 5. 結言

緩速ろ過池清掃ロボットの開発を目指し、生物膜のかき回しと回収を実現した。かき回しに対してはクマデの有効性を確認した。回収に対しては効率の良いアミ形状を明らかにし、AUV へ取付けて実験を行なった。今後の課題は、ろ過池全面の清掃を目指し、AUV の走行安定性を向上させて設定通りの経路を走行させることである。

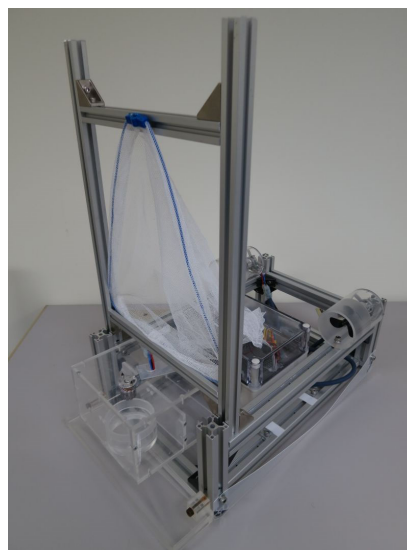


図 8 アミを取付けた AUV

## 参考文献

- [1] 水道技術研究センター：全国の浄水場数及び計画浄水量，水道ホットニュース，第 683 号(2019)．
- [2] 和田洋六：造水の技術[増補版]，地人書館(2004)．
- [3] T. Koyama and T. Yonekura：Development and Experimental Results of Underwater Robot for Land Aquaculture Use, Proc. of 2018 OCEANS – MTS/IEEE Kobe, DVD, Vehicle design 2 (2018)．
- [4] 小山猛，米倉達郎，澤口翔，北村憲一，蛇口卓也，三浦孝洋，「緩速ろ過池清掃ロボットによる生物膜かき回しと厳寒期の移動」，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019(robomech2019)，2A2-I08 (2019)．
- [5] 小山猛，米倉達郎，澤口翔，北村憲一，蛇口卓也，三浦孝洋，「水中ロボットを用いた緩速ろ過池運用の高度化-緩速ろ過池清掃ロボットの開発と実地実験-」，令和元年度水道研究発表会講演集，pp.350-351 (2019)．
- [6] 北村憲一，伊藤健一，「緩速ろ過システムの安定化と効率化-エキスパンドメタルによる新たな掻き取り手法への取組み(I)-」，令和元年度水道研究発表会講演集，pp.348-349 (2019)．