

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：51601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04326

研究課題名(和文) LEDを装備した覆蓋緩速ろ過池の開発

研究課題名(英文) Treatment effect of a slow sand filter with a cover equipped with blue LED

研究代表者

高荒 智子 (Takaara, Tomoko)

福島工業高等専門学校・都市システム工学科・准教授

研究者番号：80455112

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：緩速ろ過方式は、維持管理のためのコストが比較的安く、良質な原水に対応した処理方式であるため安定した処理が見込める特徴がある。しかし、処理は自然条件の影響を受けることから、ろ過池の管理は技術者の経験をもとに行われる場合もある。本研究では、安全の強化と維持管理の軽減を目的としたLED装備覆蓋緩速ろ過について検討を行った。緩速ろ過池に青色LEDによる光を照射することで、Melosiraが優占する生物ろ過膜を形成でき、藻類による濁質補足の機能によるろ過閉塞を軽減させることを確認した。ろ過膜中の藻類の細胞密度の調整には、青色LEDの照射条件をコントロールすることで可能であり、適切な照射条件も提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で検討したLED装備覆蓋緩速ろ過池は、小規模浄水場の安全性の強化と、維持管理しやすい施設を目指すものである。生物ろ過膜中の藻類の増殖を青色LEDでコントロールすることで、ろ過閉塞の発生を抑制できることを確認した。技術者不足が進む水処理業界において、地方の安定した浄水場運転の一助となるものである。

研究成果の概要(英文)：The slow sand filtration method is adopted in small water purification plants because it has low maintenance costs and can be operated stably. However, because it is affected by natural conditions, the method of maintaining the sand filter is sometimes determined based on the engineer's experience. This study investigated "LED-equipped cover-cover slow sand filtration" to strengthen the sand filter's safety and reduce the maintenance burden. This technology can form a biofilter with filamentous algae as the dominant species by irradiating the slow sand filtration basin with blue LED light. We confirmed that clogging of the sand filter can be reduced by utilizing the algae's turbidity-trapping function. The cell density of the algae in the biofilter can be adjusted by controlling the irradiation conditions of the blue LED.

研究分野：水処理工学

キーワード：緩速ろ過 藻類 LED 生物ろ過膜 覆蓋 浄水場

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

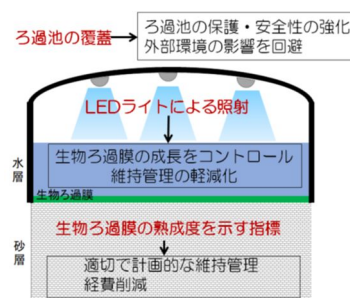
### 1. 研究開始当初の背景

緩速ろ過方式を採用している浄水場は、2016年時点で39%を占めている。緩速ろ過方式を採用する浄水場は小規模であるため、技術者不足や経費削減を理由に無人で運転している場合も多い。さらに、緩速ろ過方式の維持管理の中でも、定期的に行われるろ過砂の掻き取り作業は、人材・費用・労力ともに負担が大きい。

また、緩速ろ過池の除去性能は、一般的には生物ろ過膜が成熟することによって発揮されるが、生物ろ過膜の成長は、自然条件や原水水質の影響を受けやすい。季節によって変化するろ過池の管理は、現場の技術者が経験をもとに進めている場合も多い。人材不足による技術継承が難しい中で、今後も緩速ろ過による安定した水供給を継続していくために、経験による技術力に頼らない生物ろ過膜の維持管理方法が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究は、緩速ろ過池の安全性の強化と維持管理軽減のためのLED装備覆蓋緩速ろ過の開発を目的としている。これは、ろ過池に蓋を設けることで緩速ろ過池を保護し、蓋の内側に設置した発光ダイオード(LED)の照明を用いて生物ろ過膜の成長をコントロールすることで、ろ過閉塞の発生抑制を図るものである。ろ過継続時間の延長が図れることで、維持管理の上で大きな負担となっている掻き取り作業の回数を減らすことが期待できる。



### 3. 研究の方法

#### (1) 季節変化がろ過池へ与える影響

生物ろ過膜の成長に対する季節別の光の影響を調べるために、ベンチスケールのろ過装置を作成し、実際の浄水場にてろ過実験を実施した。光条件は、「太陽光」「遮光」「青色LED」とし、ろ過速度や砂層厚さは水道施設設計指針に従った。ろ過閉塞が確認できるまでろ過を連続実施し、累積ろ過水量を用いて評価した。

#### (2) 生物ろ過膜の構成微生物とろ過閉塞の関係

(1)のろ過実験を通して、各条件でのろ過閉塞の発生と生物ろ過膜の関係を考察した。生物ろ過膜の評価は、藻類と細菌類の構成種と細胞数に関して行い、それぞれの測定は顕微鏡観察と細菌叢解析より行った。

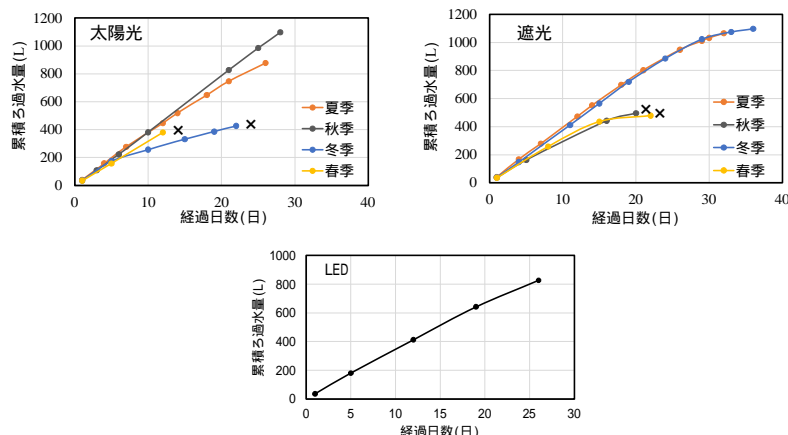
#### (3) 青色LEDの照射条件の検討

ろ過水量をより安定的に得ることができる効果的な青色LEDの照射方法を検討するためのろ過実験も行った。実験にはベンチスケールのろ過装置を用いて、砂層表面の位置での光量子束密度が約  $290 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  になるように青色LEDによる光照射を行った。常時照射と12時間明暗の2条件での比較実験とし、ろ過閉塞の兆候が表れる14日間のろ過実験を実施した。

### 4. 研究成果

#### (1) 季節変化がろ過池へ与える影響

光の有無にかかわらず、春季には早い段階でろ過水量の減少がみられた。遮光条件では秋季、太陽光条件では冬季においてもろ過水量が同様に減少し、ろ過閉塞が発生した。このため、緩速ろ過池におけるろ過閉塞は、季節や光条件によって発生することが確認された。一方、太陽光と遮光の条件でろ過閉塞の発生が確認された春季において、青色LED装備覆蓋緩速ろ過を実施したところ、ろ過池の閉塞を防ぎながら安定したろ過水量を確保することができた。



(2) 生物ろ過膜の構成微生物とろ過閉塞の関係

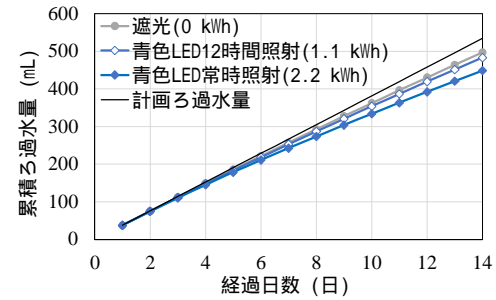
各季節の生物ろ過膜中の藻類の増殖速度の結果より、太陽光の条件におけるろ過閉塞(春季と冬季)は、過剰な藻類増殖が原因と考えられ、生物ろ過膜中の藻類の増殖がろ過閉塞を促進させることが確認された。一般的な緩速ろ過池では光がろ過池に入射する環境であるため、光強度が強い季節は藻類の過剰な増殖によつてろ過閉塞が発生しやすい状況にあると考えられる。

各季節のろ過実験で形成した生物ろ過膜について、細菌類および藻類の多様度指数を算出したところ、細菌類の多様度指数とろ過閉塞の関係は確認されなかった。一方、藻類に関しては、安定したろ過が得られた生物ろ過膜ほど多様度指数が低かった。この時の構成藻類は、*Melosira* が優占しており、*Melosira* による濁質捕捉の機能がろ過に寄与したことが考えられた。

|    | 太陽光  |      | 遮光   |      |
|----|------|------|------|------|
|    | 細菌類  | 藻類   | 細菌類  | 藻類   |
| 夏季 | 0.96 | 0.79 | 0.98 | 0.90 |
| 秋季 | 0.95 | 0.66 | 0.98 | 0.91 |
| 冬季 | 0.98 | 0.87 | 0.99 | 0.83 |
| 春季 | 0.98 | 0.77 | 0.99 | 0.84 |

(3) 青色LEDの照射条件の検討

累積ろ過水量による処理評価では、常時照射の条件よりも12時間明暗の累積ろ過水量が多かった。2つの照射条件で形成された生物ろ過膜を構成する藻類種は、いずれの条件でも *Melosira* が優占している点は共通していた。その存在割合は12時間明暗の条件の方が高く、*Melosira* による濁質捕捉が機能しやすい状況だった。一方、常時照射の条件では、ろ過漏出などの処理障害の原因藻類となる *Nitzschia* や *Fragilaria* が一定の割合で出現した。



12時間明暗

| 綱   | 科       | 種名                             | 細胞密度 (Cell/mL) | 存在割合 (%) |
|-----|---------|--------------------------------|----------------|----------|
| 珪藻綱 | メロシラ科   | <i>Melosira varians</i>        | 280000         | 58.1     |
| 珪藻綱 | ナビクラ科   | <i>Cocconeis placentula</i>    | 23000          | 4.8      |
| 珪藻綱 | アクナンテス科 | <i>Gomphonema lagenula</i>     | 23000          | 4.8      |
| 珪藻綱 | ナビクラ科   | <i>Navicula yuraensis</i>      | 21000          | 4.4      |
| 珪藻綱 | ナビクラ科   | <i>Navicula cryptotenella</i>  | 19000          | 3.9      |
| 藍藻綱 | ユレモ科    | <i>Lyngbya</i> sp.             | 12000          | 2.5      |
| 珪藻綱 | ニッチア科   | <i>Nitzschia amphibia</i>      | 9300           | 1.9      |
| 藍藻綱 | ユレモ科    | <i>Phormidium</i> sp.          | 9000           | 1.9      |
| 珪藻綱 | タラシオシラ科 | <i>Achnanidium japonicum</i>   | 7000           | 1.5      |
| 珪藻綱 | ナビクラ科   | <i>Navicula pseudacceptata</i> | 7000           | 1.5      |

常時照射

| 綱   | 科       | 種名                             | 細胞密度 (Cell/mL) | 存在割合 (%) |
|-----|---------|--------------------------------|----------------|----------|
| 珪藻綱 | メロシラ科   | <i>Melosira varians</i>        | 610000         | 39.3     |
| 珪藻綱 | ニッチア科   | <i>Nitzschia acicularis</i>    | 400000         | 25.8     |
| 珪藻綱 | ディアトマ科  | <i>Fragilaria rumpens</i>      | 280000         | 18.0     |
| 珪藻綱 | ニッチア科   | <i>Nitzschia palea</i>         | 110000         | 7.1      |
| 緑藻綱 | ヒビミドロ科  | <i>Ulothrix</i> sp.            | 36000          | 2.3      |
| 珪藻綱 | ナビクラ科   | <i>Gomphonema parvulum</i>     | 19000          | 1.2      |
| 珪藻綱 | タラシオシラ科 | <i>Cyclotella meneghiniana</i> | 15000          | 1.0      |
| 珪藻綱 | ナビクラ科   | <i>Navicula gregaria</i>       | 15000          | 1.0      |
| 藍藻綱 | ユレモ科    | <i>Oscillatoria</i> sp.        | 12000          | 0.8      |
| 緑藻綱 | カエトフオラ科 | <i>Stigeoclonium</i> sp.       | 12000          | 0.8      |

5. 主な発表論文等

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

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Tomoko Takaara , Kenichi Kurumada   | 4. 巻<br>15 (19)     |
| 2. 論文標題<br>Optimum Conditions for Enhancing Chitosan-Assisted Coagulation in Drinking Water Treatment | 5. 発行年<br>2023年     |
| 3. 雑誌名<br>Sustainability  | 6. 最初と最後の頁<br>14197 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3390/su151914197   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>-           |

|  |                        |
|--|------------------------|
| 1. 著者名<br>高荒智子, 鶴沼大翔, 緑川愛里, 西山正晃, 渡部徹              | 4. 巻<br>79 (25)        |
| 2. 論文標題<br>緩速ろ過池の生物膜に対する光の影響と青色LED照射によるろ過閉塞の軽減     | 5. 発行年<br>2023年        |
| 3. 雑誌名<br>土木学会論文集G (環境)                            | 6. 最初と最後の頁<br>23-25008 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.2208/jscej.23-25008 | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)             | 国際共著<br>-              |

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>高荒 智子・渡邊 夏実・鶴沼大翔・西山正晃・渡部徹     |
| 2. 発表標題<br>緩速ろ過池における光条件の違いが各季節のろ過池に与える影響 |
| 3. 学会等名<br>第59回環境工学研究フォーラム               |
| 4. 発表年<br>2022年                          |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>緑川愛里・鶴沼大翔・高荒智子・西山正晃・渡部徹 |
| 2. 発表標題<br>緩速ろ過池における光条件と生物ろ過膜の関係   |
| 3. 学会等名<br>令和4年度土木学会東北支部技術研究発表会    |
| 4. 発表年<br>2022年                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>高荒 智子, 渡邊 夏実, 鶴沼 大翔, 西山 正晃, 渡部 徹 |
| 2. 発表標題<br>緩速ろ過池の覆蓋がる層の成熟に与える影響             |
| 3. 学会等名<br>日本水道協会全国会議                       |
| 4. 発表年<br>2022年                             |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>鶴沼 大翔, 渡邊 夏実, 高荒 智子, 西山 正晃, 渡部 徹 |
| 2. 発表標題<br>異なる光条件で緩速ろ過した際のろ過膜と処理水への影響       |
| 3. 学会等名<br>土木学会東北支部技術研究発表会                  |
| 4. 発表年<br>2022年                             |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Tomoko Takaara, Takafumi Yamamoto, Kenichi Kurumada           |
| 2. 発表標題<br>Optimum Condition for Enhancing Chitosan-assisted Aggregation |
| 3. 学会等名<br>The 1st KOSEN Research International Symposium (国際学会)         |
| 4. 発表年<br>2023年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                     | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)              | 備考 |
|-------|---|------------------------------------|----|
| 研究分担者 | 渡部 徹<br><br>(Watanabe Toru)<br><br>(10302192) | 山形大学・農学部・教授<br><br><br><br>(11501) |    |

6. 研究組織（つづき）

|                   | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                           | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                   | 備考 |
|-------------------|---|---|----|
| 研究<br>分<br>担<br>者 | 西山 正晃<br><br>(Nishiyama Masateru)<br><br>(10802928) | 山形大学・農学部・准教授<br><br><br><br><br>(11501) |    |

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1件

|        |              |
|--------|--------------|
| 国際研究集会 | 開催年<br>null年 |
|--------|--------------|

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 |
|---------|---------|
|         |         |