

# プロペラ式湖水浄化装置による 水質改善メカニズムと今後の展望

Water quality improvement mechanism by propeller type lake water purificator and  
Outlook for future research and development

研究第二部 主任研究員 木村文宣  
研究第二部 上席主任研究員 塩見裕亮  
研究第二部 上席主任研究員 豊村馨一郎  
研究第二部長 工藤勝弘

当財団では、プロペラ式湖水浄化装置がアオコ発生に対して抑制効果を発現している事例に着目し、その効果発現メカニズムを明らかにするとともに、本装置の設置基準や効果評価方法を確立することを目的に平成26年より調査研究を開始し、その結果は平成27年に発足した「プロペラ式湖水浄化装置応用技術研究会」において議論している。本研究では、プロペラ式湖水浄化装置によるアオコ発生に対する除去及び抑制のメカニズムを把握するため、Aダムにおいて平成28年度に実証実験を行った。本報は、平成28年度の実証実験結果から、プロペラ式湖水浄化装置によるアオコ発生に対する除去及び抑制のメカニズムについて考察したものである。

**キーワード：アオコ、水質保全対策、プロペラ式湖水浄化装置、効果発現メカニズム**

In 2015, we launched a study group on application technology of propeller type lake water purificator for elucidating the mechanism of suppressing Cyanobacteria by a propeller type lake water purificator, and preparing a manual for installation of a propeller type lake water purificator to pay attention to a case where a propeller type lake water purificator manifests an inhibitory effect on Cyanobacteria. Our study group conducted a demonstration experiment at A Dam in 2016 to elucidate the mechanism of suppressing Cyanobacteria by a propeller type lake water purificator. This report presumes the mechanism of suppression of Cyanobacteria by the propeller type lake water purificator for using the result of the demonstration experiment and the field survey, and considers the contents of research needed to obtain more detailed knowledge.

**Key words : Cyanobacteria, water quality improvement measures, propeller type lake water purificator, effect mechanism**

## 1. はじめに

富栄養化の進行したダム貯水池では、貯水池内の水環境条件（水温、光、滞留時間等）が適合すると、特定の藻類が異常増殖し、各種の水質問題を引き起こす場合がある。その中でも藍藻類に由来する代表的な水質問題として、アオコによる景観障害やカビ臭による異臭味障害がある。

アオコ発生現象は、景観障害として認識されるほか、集積した藻類が腐敗し、悪臭を放つ場合もある。カビ臭発生現象は、湖面近くで異臭を感じるだけでなく、上水道施設等では異臭を除去するために活性炭吸着処理やオゾン処理等を行う必要があり、水道事業者やエンドユーザーである国民に経済的な負担を強いる問題

である。

平成23年に実施されたアンケート（直轄：95ダム、水機構：22ダム、都道府県：125ダムの管理者を対象）では、約1/4のダムにおいて富栄養化問題に起因する水質問題が生じていた<sup>1)</sup>。富栄養化問題に起因する水質問題のうち、アオコや淡水赤潮による景観障害が63%、カビ臭や生臭さ臭による異臭味障害が27%となっている（図-1参照）。

以上の結果は、平成14年に全国423のダム管理所（国土交通省・水資源機構・都道府県管理ダム）を対象に実施されたアンケート調査<sup>2)</sup>でも同様の傾向が報告されていることから、全国のダム貯水池で発生する水質問題のうち、富栄養化現象に係る問題はその他の水質問題に比べて多く、その中でもアオコによる景観障害

やカビ臭による異臭味問題は深刻な社会問題として長年にわたり根強く残っている問題といえよう。

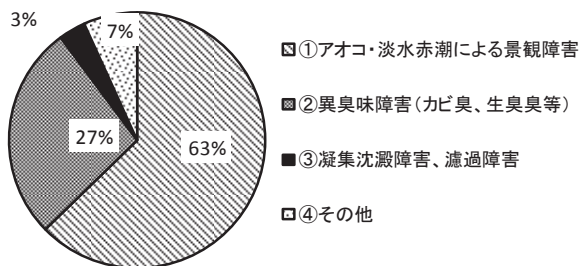


図-1 アンケート結果(富栄養化に係る水質問題を抱えるダム貯水池における具体的な問題の内訳)

### (1) 散気式曝気循環装置によるアオコ対策

水質問題への対応として最も代表的な対策であり多くのダム貯水池で効果を発現している対策として「散気式曝気循環装置」がある。

散気式曝気循環装置は、コンプレッサーから散気管を通じて送られた空気を水深20m程度～湖底より吐出し、貯水池中～下層の低水温の水塊を貯水池表層まで吐出空気を用いて連行することで、貯水池内の水温鉛直分布を一様にし、鉛直方向の水循環を促進させる装置である。これにより、藍藻類の鉛直方向の移動範囲が広がり光抑制効果が発現すること、表層付近の水温が増殖に適合した水温以下になること、等により藍藻類の異常増殖が抑制されている<sup>3) 4) 5) 6)</sup>。

しかし、水深の浅い貯水池や貯水池横断方向に浅い部分が多く点在する貯水池では、散気式曝気循環装置による鉛直循環が藻類の増殖抑制に必要な鉛直混合深度を確保できないために、十分な効果発現ができない場合も見受けられる。

### (2) プロペラ式湖水浄化装置によるアオコ対策

このように、散気式曝気循環装置が得意としない特性を有するダム貯水池におけるアオコ対策として近年注目されている対策が「プロペラ式湖水浄化装置」である。本装置は、表層に浮かべたプロペラ装置を稼働することで表層付近の湖水を吸引し、送水管を通じて貯水池深部へ移送する構造を有している。これにより、表層付近で発生したアオコの原因となる藍藻類は、低水温で且つ光の届かない貯水池中～底層部へ移送されることにより、貯水池表層付近のアオコ現象が抑制されているようである。また、本装置は散気式曝気循環装置よりも初期費用、維持管理費の両面で経済的に優位という評価もあり、近年、導入実績が増えつつある。

本装置による水質改善メカニズムについては、近年、小河内貯水池等において流動の面からの解析が行われ<sup>7) 8) 9)</sup>、本装置の稼働による詳細な流動特性が解明さ

れつつある。一方、藻類の生理生態に着目した解析に関しては、耐暗性に関する室内実験<sup>10)</sup>や加圧によるエアロトープの変化に関する室内実験<sup>11) 12) 13) 14)</sup>等はあるものの、現地における装置稼働に伴う藻類の消長、貯水池内での装置稼働に伴う藻類移送が藻類に与える影響等についての知見は殆どない。

当財団では、これらのプロペラ式湖水浄化装置に係る現状を踏まえ、本装置による水質改善メカニズムを解明し、本装置の設置基準及び効果評価方法等を取りまとめることを目的に平成26年度より調査研究に着手し、これまでにプロペラ式湖水浄化装置の導入されているダム貯水池における水質データ等を取得・解析する等を行ってきた。平成28年にはダム貯水池に試験的に本装置を設置し、装置稼働前後の変化をモニタリングしてデータ解析を行った。なお、これら調査研究結果については、平成27年に発足した「プロペラ式湖水浄化装置応用技術研究会」において議論を行っている。

本報は、このうち平成28年に実施した現地での試験運用の概要とそこでの調査データから得られた知見について取りまとめ、メカニズム解明のために必要と考えられる視点等について考察したものである。

## 2. プロペラ式湖水浄化装置の概要

### (1) 構造

プロペラ式湖水浄化装置は、①プロペラ、モータおよびフロートを含む駆動部本体、②送水管と吐出口、駆動部本体、③送水管を支える係留ワイヤーおよび操作制御盤(陸上施設)から構成される(図-2参照)。

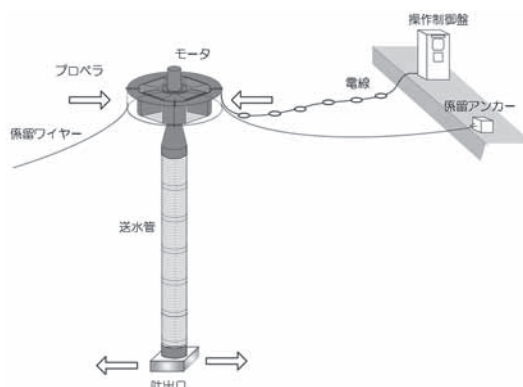


図-2 プロペラ式湖水浄化装置の構造

湖面に設置した状態では、①の駆動部本体のみが見える形となる(図-3参照)。また、陸上部に設置される操作制御盤は、幅0.8m、高さ2.1m、奥行き0.5m程度の大きさであり、図-4に示すように野外に直接設

置することも可能である。



図-3 駆動部本体 外観



図-4 操作制御盤 外観

## (2) 想定される水質改善メカニズム

プロベラ式湖水浄化装置による水質改善メカニズムは、以下と想定されている(図-5参照)。

- ①の流れでアオコが装置に吸引される。
- ②の送水管によりアオコが深部へ移送され放出される。放出されたアオコの一部は深部の低水温で活性を失い死滅し沈降する、あるいは深部で水圧を受けることによりエアロトープが破壊され比重が大きくなることにより沈降する(④)。
- ③深部で吐出された水は温かく軽いため、周囲の水と混合しながら上昇する。
- ④上昇した水は、等水温層で水平方向へ貫入する(イントリュージョン)。
- ⑤イントリュージョンした水は、その先で上向き

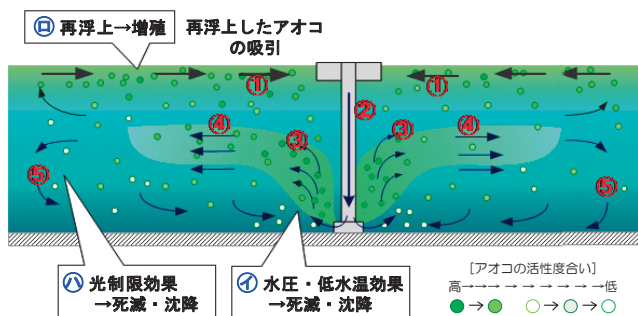


図-5 想定される効果発現メカニズム

流れと下向きの流れに分離し、大きな対流を形成する。

なお、②の過程で沈降せずに浮上したアオコは、④及び⑤の過程で浮上・沈降に分かれる。このうち浮上したアオコは表層付近で増殖するが、再び①の過程において装置へ吸引されるため、表層付近のアオコは漸減する。

## (3) 導入実績

プロベラ式湖水浄化装置の全国での導入実績(平成28年度末時点)を表-1に示す。

表-1 プロベラ式湖水浄化装置の導入実績

設置時期	設置場所	管理者	基数	貯水量 (m <sup>3</sup> )	出力 (kW)	吐出力 (m <sup>3</sup> /hr)	設置目的
2002/3	佐賀県 天ヶ瀬ダム	佐賀県多久市	1	532,000	3.7	900	貧酸素対策
2003/7	東京都 東京湾	東京都	1	—	7.5	1,600	貧酸素対策 (試験運転)
2003/8	佐賀県 竜門ダム	佐賀県	1	2,350,000	7.5	1,100	アオコ対策 (試験運転)
2004/7	東京都 小河内ダム	東京都水道局	2	189,100,000	11	2,000	アオコ対策 上流部を分画
2004/7	山口県 島地川ダム	国土交通省	1	20,600,000	5.5	1,800	アオコ対策 上下流を分画
2004/8	熊本県 市房ダム	熊本県	1	40,200,000	5.5	1,800	アオコ対策 (試験運転)
2005/3	佐賀県 矢管ダム	佐賀県	1	1,390,000	11	2,000	アオコ対策
2006/3	鹿児島県 池田湖	鹿児島県	1	1,400,000,000	5.5	1,800	貧酸素対策 (試験運転)
2006/8	大阪府 関西空港閉鎖湾	関西空港事務所	1	1,000,000 (推定)	7.5	2,800	貧酸素対策 (試験運転)
2006/11	鹿児島県 輝北ダム	九州農政局	2	6,350,000	7.5 5.5	2,800 1,800	アオコ対策
2006/11	鹿児島県 中岳ダム	九州農政局	2	4,250,000	11	2,800	アオコ対策
2007/10	佐賀県 中木庭ダム	佐賀県	1	6,300,000	7.5	3,000	冷水対策
2007/12	青森県 久吉ダム	青森県	1	6,730,000	7.5	1,500	攪拌混合
2008/2	山口県 島地川ダム	国土交通省	1	20,600,000	5.5	1,800	アオコ対策 上流部を分画
2008/3	佐賀県 神籠池	九州農政局	1	285,000	3.7	1,000	アオコ対策
2009/3	福岡県 ます淵ダム	福岡県	1	13,400,000	5.5	2,000	冷水対策
2009/3	鹿児島県 須野ダム	鹿児島県	1	950,000	3.7	1,800	貧酸素対策
2009/6	岡山県 千屋ダム	岡山県	1	28,000,000	5.5	1,700	アオコ対策
2009/9	神戸市 千疋ダム	神戸市水道局	1	11,700,000	11	3,400	貧酸素対策
2011/8	佐賀県 井手口川ダム	佐賀県	1	2,180,000	5.5	2,800	アオコ対策
2012/1	神戸市 千疋ダム	神戸市水道局	1	11,700,000	11	3,400	貧酸素対策
2012/2	山口県 見島ダム	山口県	1	125,000	1.5	914	アオコ対策
2012/6	北海道 瀬川ダム	北海道開発局	1	15,300,000	2.2	1,000	貧酸素対策
2013/2	鹿児島県 谷川内ダム	九州農政局	1	2,170,000	3.7	2,800	アオコ対策
2014/2	熊本県 大切畑ダム	熊本県	1	851,000	3.7	2,250	貧酸素対策
2014/12	高知県 東谷川ダム	高知県	1	730,000	0.9	220	貧酸素対策
2015/7	大分県 芦川ダム	大分県	2	27,500,000	15	3,000	アオコ対策
2016/3	大分県 芦川ダム	大分県	2	27,500,000	7.5	4,000	アオコ対策
2017/2	鹿児島県 竹山ダム	鹿児島県	2	2,207,000	3.7	2,600	アオコ対策
2017/3	広島県 本庄ダム	呉市役所	1	2,000,000	2.2	1,000	アオコ対策
2017/3	広島県 本庄ダム	呉市役所	1	2,000,000	7.5	4,245	アオコ対策

※千疋ダムはプロベラ式深層曝気装置

プロベラ式湖水浄化装置の導入実績は、以上に示したようにアオコ抑制対策としての事例が多いが、それ以外にも底層嫌気化対策(表層付近の好気水を本装置により深層部へ移送することにより、深層部を嫌気状態から好気状態へ改善する)としても活用される場合がある。なお、本報では、アオコ対策としての本装置の効果についてのみ着目する。

### 3. A ダムにおける実証実験

本研究では、アオコが発生するダム貯水池であるAダムにおいて平成28年度にプロペラ式湖水浄化装置を試験的に設置して実証実験を行い、その効果についてのモニタリング調査を実施した。

#### (1) 実証実験フィールドの概要

実証実験を行ったAダムは、N川水系A川に昭和60年に建設された総貯水容量3,080万m<sup>3</sup>、湛水面積1.09km<sup>2</sup>の多目的ダムである。貯水池は急峻な地形を蛇行しながら流下する河川を堰き止めて作られており、大きな支川等の合流はない。湛水区間内の河床勾配はほぼ一定であり、常時満水位では貯水池中流部に位置するK橋より上流側が水深20m以下となる。



図-6 Aダム貯水池平面図

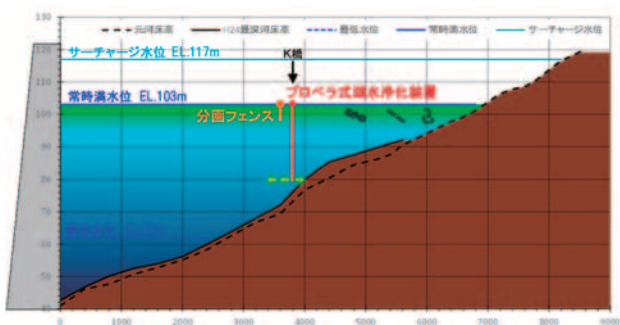


図-7 Aダム貯水池縦断面図

Aダムの貯水池平面図を図-6、縦断面図を図-7に示す。

Aダムでは、以前よりアオコによる景観障害が問題となっており(記録として残っているのは平成19年以降)、毎年7月～11月に貯水池全面がアオコ状態となっていた(図-8参照)。アオコ発生状況は、貯水池上流部がより深刻であり、国立環境研究所の提唱する「アオコレベル」に当てはめると、貯水池下流部ではレベル2～3、貯水池上流部ではレベル3～4、酷いところはレベル5に達する。

アオコの主な原因藻類は藍藻類のミクロキスティス属であったが、平成26年からはアナベナ属の出現もみられるようになり、貯水池内ではジオスミンが検出され(最大濃度1,210ng/L)、下流で合流する本川・N川においても19ng/Lのジオスミンが確認された。

年	1月		2月		3月		4月		5月		6月		7月		8月		9月		10月		11月		12月	
	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
平成19年 (2007年)														■	■	■								
平成20年 (2008年)														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
アオコ原因種特定調査(8/13採水):Microcystis属																								
平成21年 (2009年)														■										
平成22年 (2010年)														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
アオコ原因種特定調査(8/4採水):Anabaena属																								
平成23年 (2011年)														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
植物プランクトン調査(9/14採水):Volvox属																								
平成24年 (2012年)														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
植物プランクトン調査(11/8採水):Fragilaria属																								
平成25年 (2013年)														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
水質異常発生の確認なし																								
平成26年 (2014年)														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
平成27年 (2015年)														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
平成28年 (2015年)														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■ : 10,000細胞/mL以上  
 ■ : 1,000～10,000細胞/mL  
 ■ : 100～1,000細胞/mL  
 ■ : 10～100細胞/mL  
 ■ : 10細胞/mL未満  
 ■ : アオコ発生(藻類調査なし、事務所記録)  
 ※H25以前は管理所の目視確認による記録、H26～28は毎月のプランクトン調査結果より整理

図-8 Aダムにおけるこれまでのアオコ発生状況

実証実験にあたり、プロペラ式湖水浄化装置はK橋直下に設置した。装置は、実証実験終了後に撤去する必要があることから、係留は陸上部の仮設アンカーのみとし、水中部は吐出部を湖底に固定せず駆動部から送水管(φ1000mm)を通じて垂下する形状とした(図-6,7,9参照)。なお、吐出部が湖底に接触することを避けるため、湖底と1.5m程度の離隔を確保した。その結果、吐出水深は概ね27.8mとなった。

また、今回は装置付近にアオコを集積させ、アオコを効率よく吸引させることを目的に、装置直下に分画フェンス(スカート長5m)を併せて設置した(図-6,7,10参照)。なお、プロペラ式湖水浄化装置と分画フェンスをセットで設置している事例は、千屋ダム<sup>2)</sup>、小河内ダム<sup>7)</sup>等比較的多くみられるものであり、何れも装置によるアオコ吸引効率を高めることを目的に設置されているようである。

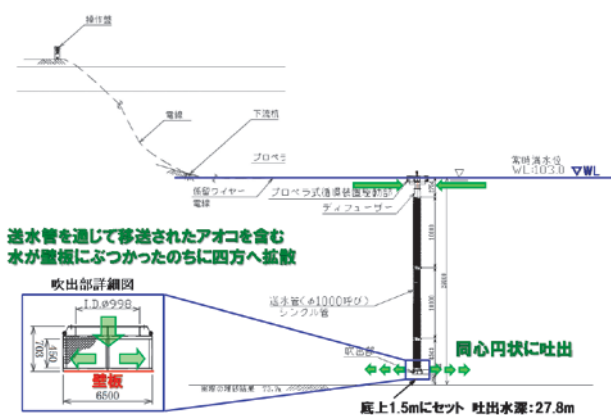


図-9 装置設置状況 詳細図



図-10 装置設置状況写真

プロペラ式湖水浄化装置の操作制御盤は、装置付近で且つ電源（電力会社の送電線）の確保が容易な位置を現地で確認し、設置した。

プロペラ式湖水浄化装置は、平成28年7月5日に稼働を開始し、同年11月11日に停止した。その間、装置による効果を確認することを目的に、9月2日～25日間は稼働を一時的に停止した。

また、分画フェンスについては平成28年6月25日に設置し、実証実験終了時まで位置変更等することなく継続運用を行った。

## (2) モニタリング調査概要

### a) 調査日

実証実験に際してのモニタリング調査は、7月5日～10月13日間に計12回実施した。特に装置稼働前～稼働直後にあたる7月5日～13日間は、調査間隔を密に設定した(図-12参照)。

### b) 調査地点

貯水池全体の状況を把握することを目的として図-11に示すNo.1,2,3,4,5,11の6地点(7月12日調査はNo.1,5のみ)に設定した。また、装置近傍の状況を詳細に把握するため、装置上下流10～50m間は10mピッチ、その他100m, 200m, 300m(上流側のみ)地点にお

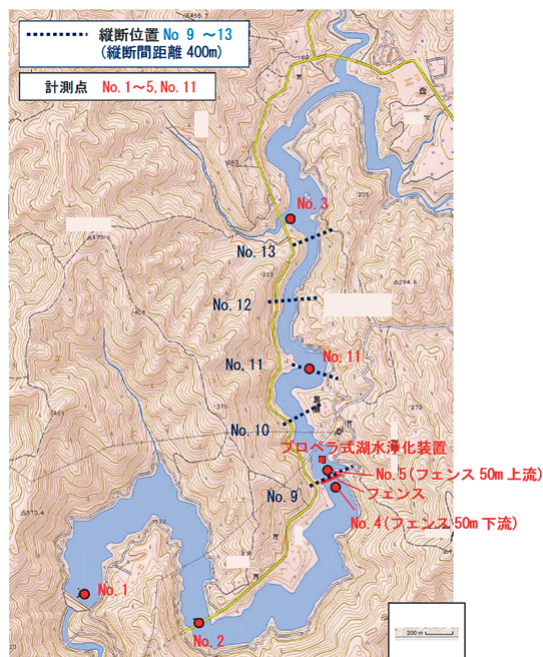


図-11 モニタリング調査位置図

いても調査を実施(7月5,6,20日、8月3日、9月26,27日に実施)した(図-11参照)。

### c) 調査項目

各地点において水温、濁度、DO、クロロフィルa、透明度を計測した。なお、水温、濁度、DO、蛍光量の計測には、JFEアドバンテック社のRINKO-Profile ASTD102を使用し、表層より0.1mピッチで湖底+1mまで計測した。

今回の調査結果を踏まえた現象解析にあたっては、以上のモニタリング調査に加え、ダム管理所から提供頂いたダム管理データ(貯水位、流入量、放流量等)及び定期水質調査データ、ダムサイト地点における水質自動監視装置(水温鉛直分布)による計測データも活用した。

## (3) 調査結果

### a) 水温

何れの測定地点においても、装置稼働前にはEL.78m付近に存在していた水温躍層が装置稼働後に徐々に低下していき、最終的には装置吐出標高であるEL.73m前後となった。装置を一時停止した期間を挟む調査結果を比較したが、停止期間にEL.73m付近の水温躍層が深度方向に上下するような変化は確認されなかった(図-13参照)。

なお、ダムサイトに設置されている自動水質観測装置で計測されている水温鉛直データをみると(図-14参照)、プロペラ式湖水浄化装置の稼働に伴い水温躍

層がEL.78mからEL.73mへ低下し、一時停止期間にもその水温躍層が維持されていた。

### b) クロロフィルa

一部の調査を除き、クロロフィルaの最大値が10  $\mu$ g/L以下の範囲で変動しているため、装置稼働前後の明確な変化は読み取れない。しかし、装置稼働前はフェンスの上流側 (No.1,2,4) と下流側 (No.5) でクロロフィルaの値に違いは見られないが、装置稼働後はフェンス上流側に比べてフェンス下流側のクロロフィルaが若干小さくなっているようである。また、装置稼働期間については、吸い込んだ表層水の吐出標高EL.73m付近で若干クロロフィルaの上昇が確認された (図-15 参照)。

### c) DO

表層付近のDOについては、調査日によるばらつきが大きく傾向の違い等は確認できなかった。

一方、表層水の吐出標高付近では、装置稼働後にDOの上昇が確認された (図-16 参照)。

### d) 濁度

装置稼働前後で濁度に明確な変化は確認できなかった。中層付近に一時的に濁度上昇している層が縦断的に確認されたが、これは出水による流入濁水を捕捉したものと想定される。なお、多くの調査日、調査地点において底層で濁度が上昇しているが、これは計測時に機器が着底することにより底泥を巻き上げたものと考えられる (図-17 参照)。

### e) 透明度

装置稼働によりフェンス上下流共に透明度の上昇がみられ、特にその傾向はフェンス下流の方が顕著に表れている (図-18 参照)。

### f) アオコ発生状況

ダム管理所が実施しているダムサイト地点での藻類調査のうち平成26～28年の3ヶ年について確認した。その結果、平成26,27年にはアオコの原因となる藍藻類が多く確認されていたが、プロペラ式湖水浄化装置を稼働した平成28年については極めて微量の確認に留まっていた (図-19 参照)。

なお、アオコ発生に影響を及ぼすと考えられる気象条件として入手可能であった気温、降水量、日射量について平成26～28年の傾向を比較すると (図-20 参照)、平成28年はアオコが大発生した平成26年よりもアオコ発生に適した環境条件であった。

しかし、実際のアオコ発生は平成26年に比べて平成28年は極めて微量の発生に留まっていたことを考慮すると、装置稼働が何らかの好影響を及ぼしていたことが推察される。

### g) 総括

今回実施したプロペラ式湖水浄化装置の実証実験とモニタリング調査等より得られた結果を以下にまとめる。

- ・プロペラ式湖水浄化装置の稼働により、水温躍層は吸引された表層水が吐出される標高付近まで低下する。
- ・装置稼働が水温躍層に及ぼす影響は、ダムサイト付近まで到達しており、3週間程度装置を停止しても水温躍層は維持される。

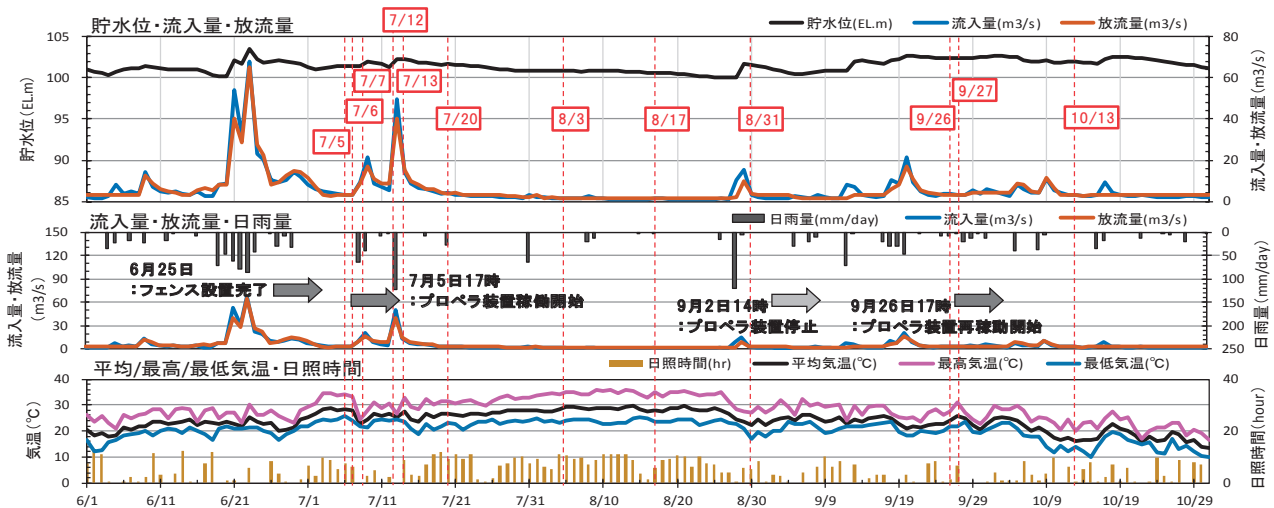


図-12 実証実験期間中のモニタリング調査日程と流況との関係

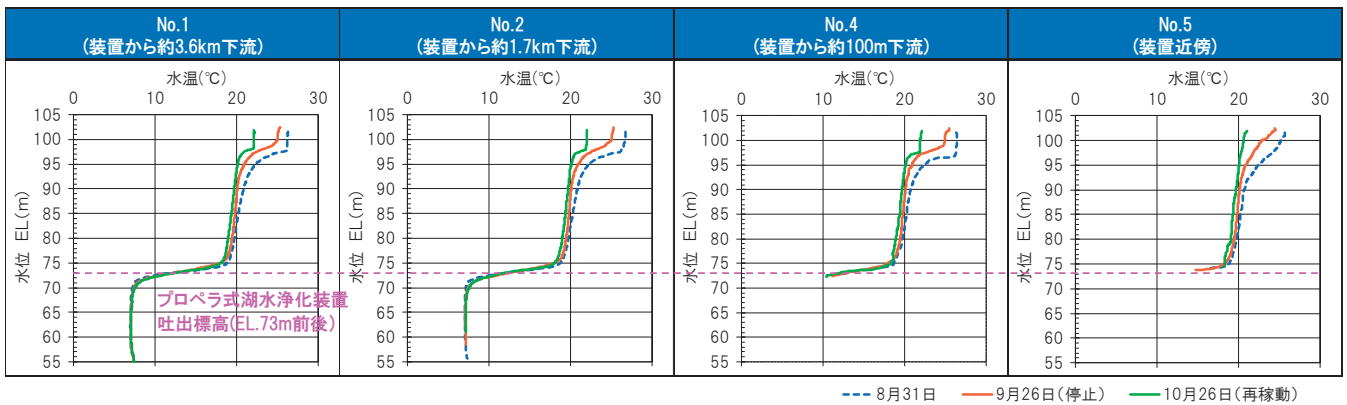
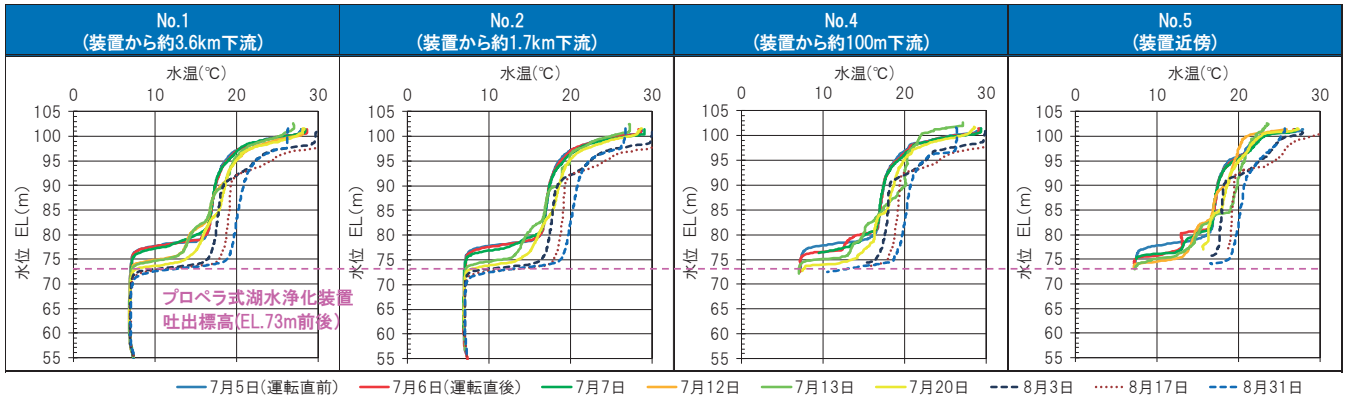


図-13 モニタリング調査結果 水温  
(上段：稼働前～稼働～一時停止前 / 下段：一次停止前～停止～再稼働後)

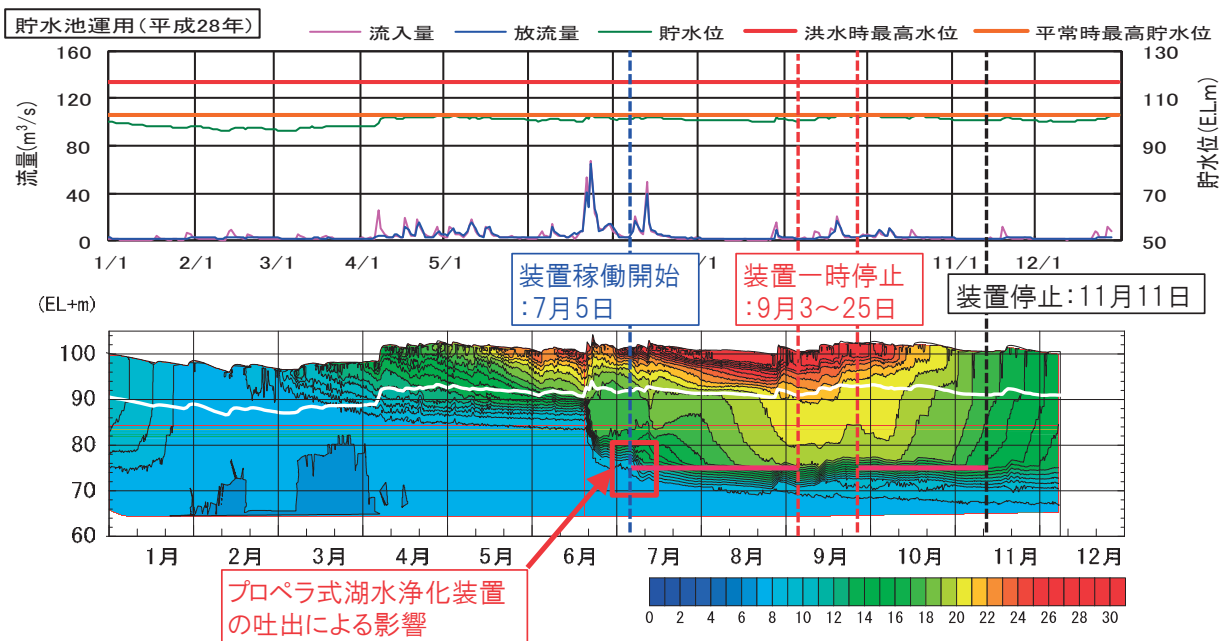


図-14 水質自動監視装置 (ダムサイト地点) による水温鉛直分布の推移

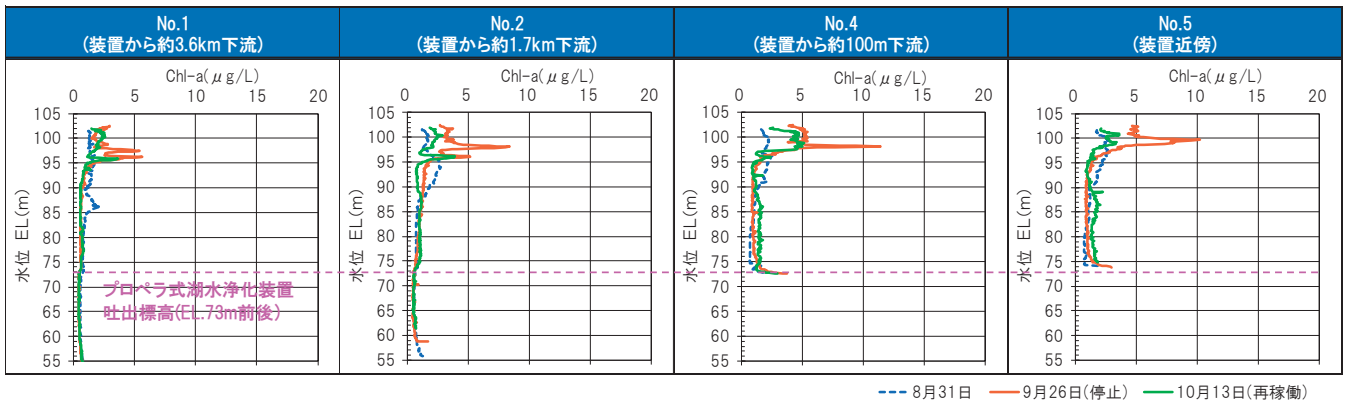
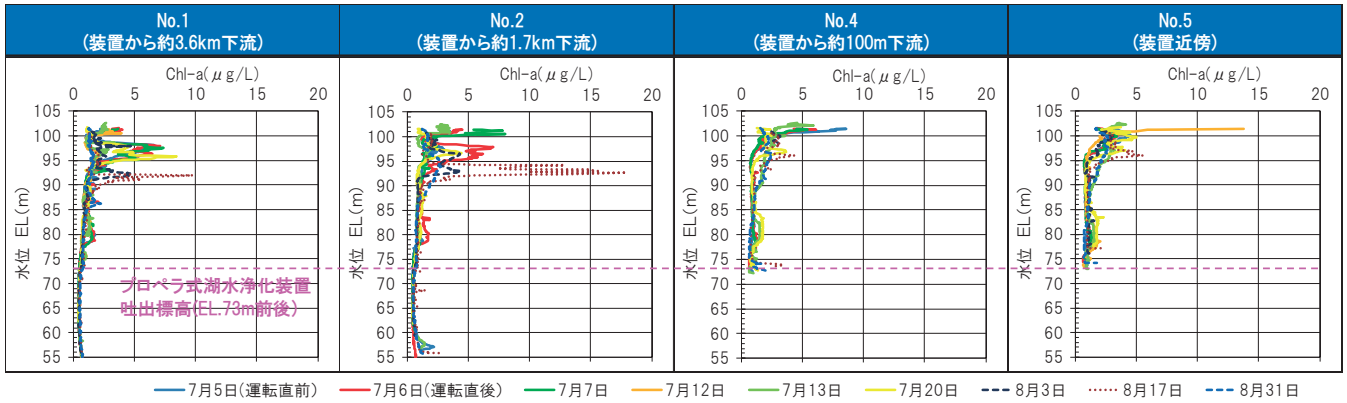


図-15 モニタリング調査結果 クロロフィルa  
 (上段：稼働前～稼働～一時停止前 / 下段：一次停止前～停止～再稼働後)

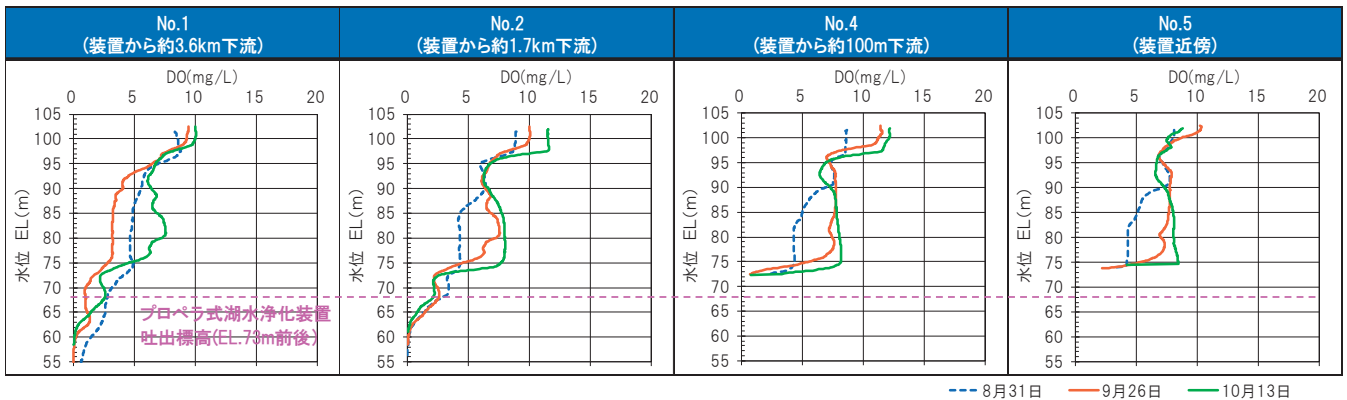
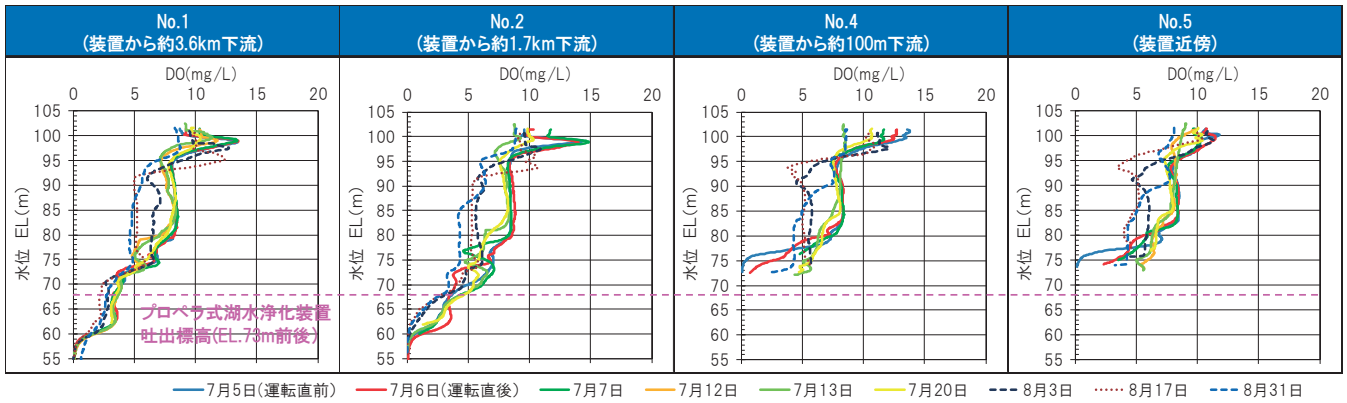
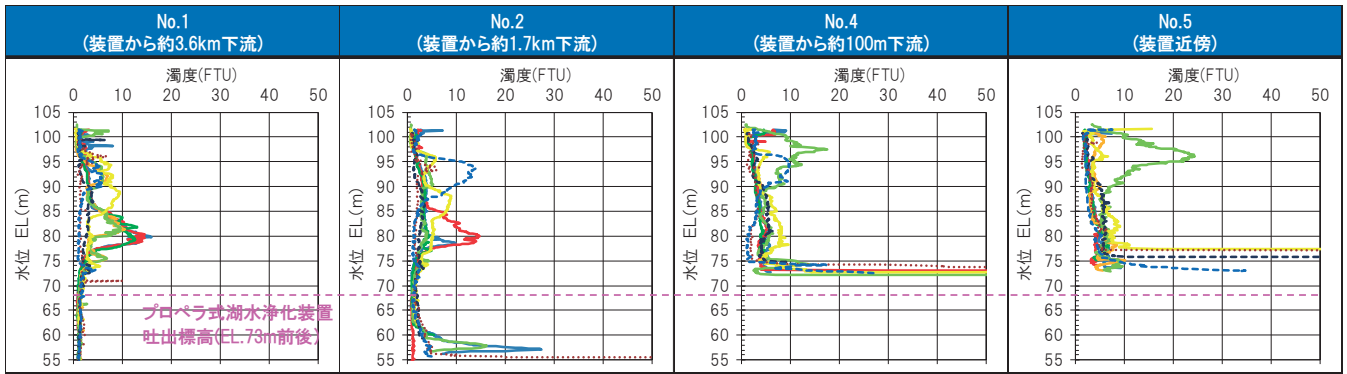
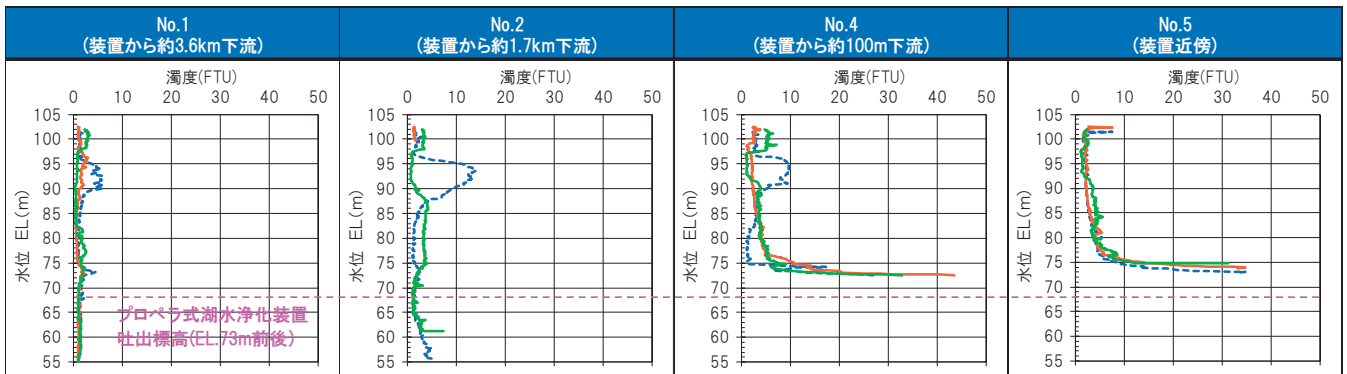


図-16 モニタリング調査結果 DO  
 (上段：稼働前～稼働～一時停止前 / 下段：一次停止前～停止～再稼働後)



— 7月5日(運転直前) — 7月6日(運転直後) — 7月7日 — 7月12日 — 7月13日 — 7月20日 — - - - 8月3日 - - - - 8月17日 - - - - 8月31日



- - - 8月31日 — 9月26日 — 10月13日

図-17 モニタリング調査結果 濁度  
(上段：稼働前～稼働～一時停止前 / 下段：一次停止前～停止～再稼働後)

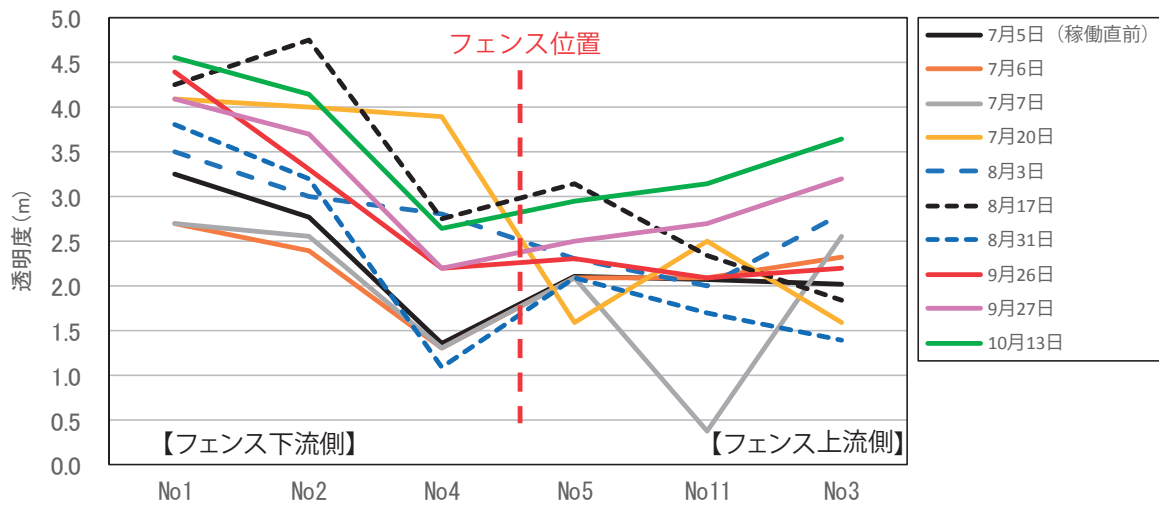


図-18 モニタリング調査結果 透明度

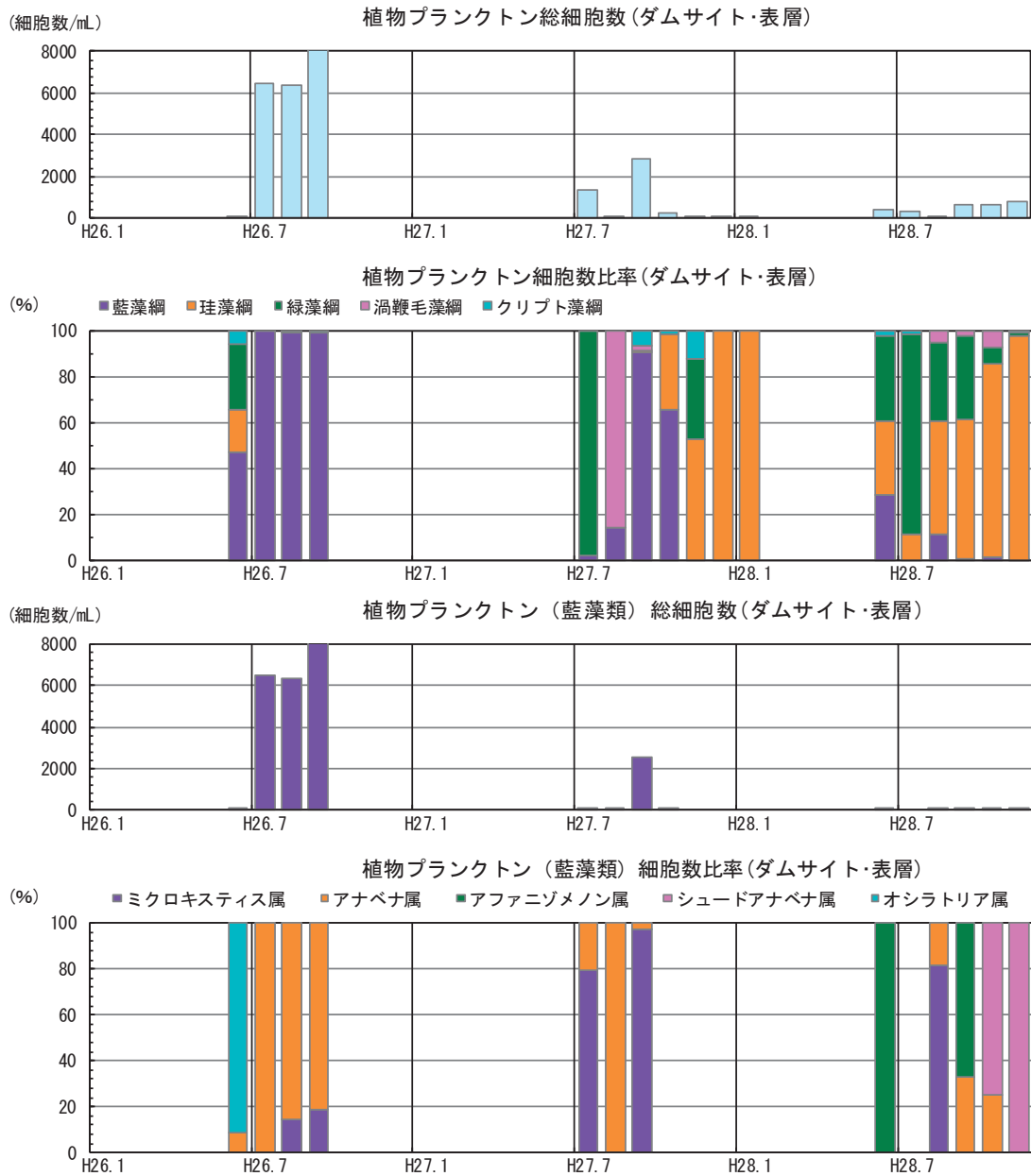


図-19 平成26～28年の藻類発生状況の推移(ダム管理所実施の定期水質調査結果より)

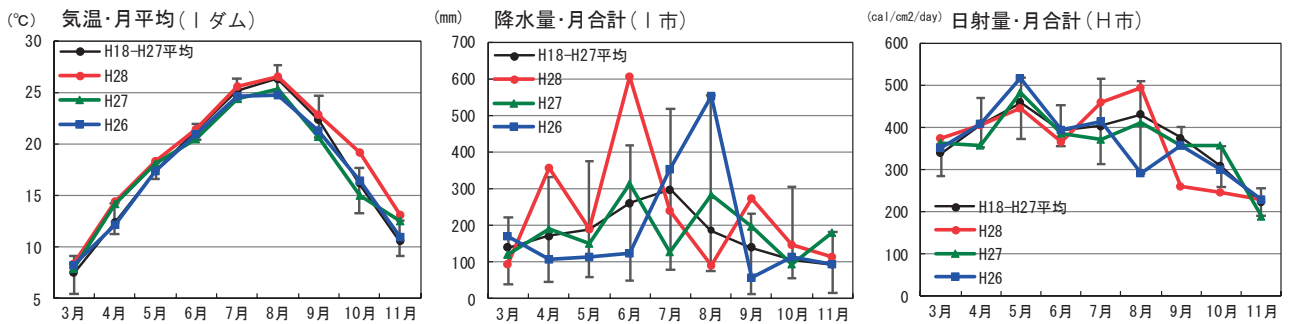


図-20 平成26～28年の気象条件の比較(上段:気温、中段:降水量、下段:日射量)

- ・表層付近のクロロフィルaは、フェンスによる水塊分離により、フェンス下流側が上流側より低く維持される傾向がある。
- ・吸引された表層水の吐出標高付近では、僅かにクロロフィルaの上昇が見られるが、流下に伴い表層付近までそれが移送される様子は確認されない。

以上より、フェンス上流側の表層付近で装置により吸引されたアオコを含む湖水は、送水管を通じて貯水池下層部に吐出された後、表層に再浮上することなく中層付近に貫入しているようである（図-21参照）。

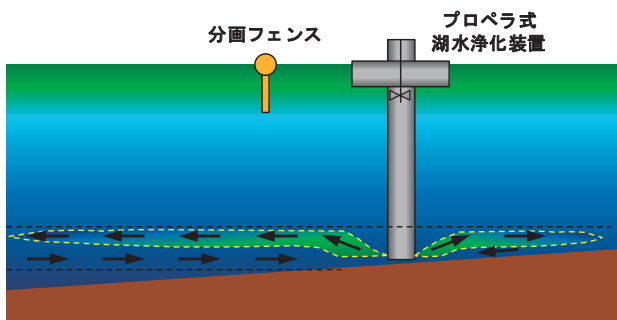


図-7 プロペラ式湖水浄化装置の稼働により生じると想定される水流の概念図

その結果、フェンス下流側では、アオコの流下及び増殖が抑制され、クロロフィルaの低下及び透明度の上昇を引き起こしているものと考えられる。

なお、以上の結果は、平成26年と平成28年の気象条件に大きな違いがなかったことから気象条件がアオコ発生に適さない環境であったために平成28年はアオコ発生が極めて少なかったとは考えにくいこと、今回の実証実験において確認された事項は千屋ダムでの事例で報告されている内容と水温鉛直分布の変化、装置稼働後の藻類消長の点で一致していることを鑑みると、プロペラ式湖水浄化装置によるアオコ発生抑制効果が何らかの形で働いたものと考えられる。

## 4. まとめ

### (1) プロペラ式湖水浄化装置による水質改善メカニズムに関する現時点での見解

プロペラ式湖水浄化装置に関する既往研究結果及び今回のAダムにおける実証実験を総合すると、プロペラ式湖水浄化装置は、表層付近に浮遊・集積しているアオコを効率的に吸引する効果があるものと考えられる。また、吸引されたアオコを含む水は、貯水池下層部で吐出された後、周囲の水と混合しながら水平方向へ拡散しているものと考えられ、これによりアオコの

表層への再浮上が抑制されるとともに、光抑制や水温不適合により増殖が抑制されているものと考えられる。

したがって、アオコの主たる発生源（既往知見によると、日射による太陽光が届き且つ夏季に水温が20℃を超過するシルト質を多く含む底泥範囲と言われている）がある程度限定される貯水池では、その範囲を分画フェンスで囲い、集積したアオコをプロペラ式湖水浄化装置により下層へ移送することで、発生したアオコの除去及びその後の増殖抑制により効果を発現させることが可能と考えられる。

### (2) 今後の課題・展望

これまでの調査研究で最も不明確な点は、プロペラ式湖水浄化装置により下層へ移送されるアオコにどのようなストレスが掛かることで増殖が抑制されているのか、である。

一般的にアオコの増殖には、光・温度・栄養塩が必要とされている。また、アオコは体内にエアロトープ（ガス胞）を有しており、細胞の比重により浮沈を繰り返すことが知られており、エアロトープは浮沈する際に水圧の影響を受けていると考えられている。このうちプロペラ式湖水浄化装置により下層へ移送されるアオコについては、光・温度・水圧に変化が生じているものと考えられ、それが効果発現メカニズム解明のキーポイントであろう。

一方、アオコ発生抑制対策として最も導入実績の多い散気式曝気循環装置は、曝気循環装置によって形成される循環混合層（表層～中・下層に形成される等水温層）間でアオコが浮沈を繰り返すことにより、光・水温等の影響因子に変化が加えられることで効果を発現しているものと考えられるが、水圧に関しては強制的に中・下層へ送り込まれるわけではないため、アオコ抑制の影響因子として寄与度は低いものと考えられる。

これらのアオコ発生抑制に係る影響因子については、現地調査や室内実験によって知見が得られているものもあるが、プロペラ式湖水浄化装置により強制的に貯水池中層へ移送されたアオコについて、各因子の影響程度を定量的に示した知見は少ない。

当研究会では、これらの課題に対しての知見を得るため、平成29年度に現地での実験を実施した。その結果も含めて、今後、プロペラ式湖水浄化装置によるアオコ発生抑制効果について取りまとめ、設置にあたっての標準的な考え方をマニュアルとして公表する予定である。

## 参考文献

- 1) 木村文宣・福井健雄・加藤宏基：水質保全施設の段階的導入による水質改善効果の評価 -千屋ダムの事例-, 平成24年度 水源地環境技術研究所 所報, pp19-28,2013
- 2) 曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル(案),国土交通省 河川局 河川環境課, P2-17,18,19, 2005
- 3) 関根秀明・吉田延雄・梅田信・浅枝隆：曝気式循環施設の理論とその効果に関する考え方, ダム工学, Vol.13 No.1, pp.5-18, 2003
- 4) 古里栄一・浅枝隆・須藤隆一：姉店色素の吸光特性に基づく藍藻類の光学および水理学的発生条件に関する現地データを用いた考察 -アンテナ色素・浮力周波数仮説-, 水環境学会誌, 第26号, pp.285-293, 2003
- 5) 後藤浩一・古里栄一・浅枝隆：曝気循環対策による藍藻類増殖抑制効果に関する研究, 水工学論文集, 52 pp.1297-1302, 2008
- 6) 梅田信・古里栄一・浅枝隆：富栄養化したダム湖におけるアオコ発生指標としての水温成層安定性, ダム工学, 16, pp.269-281, 2006
- 7) 北澤弘美：北田真吾・斉藤滋：佐藤親房・小泉明：小河内貯水池におけるアオコは正抑制対策とその効果, 水道協会雑誌 第77巻 第9号(第888号), pp.10-24, 2008
- 8) 横山勝英：池谷靖史・小泉明・山崎公子・庄司亮：小河内貯水池における表層水移送装置の吐出口周辺の流動構造, 土木学会論文集B1(水工学) Vol.70, No.4, I\_1621-I-1626, 2014
- 9) 上田博茂・横山勝英・小泉明・山崎公子・高橋和彦・松嶋夏希：貯水池の表層水移送装置から放出される温水ブルームの浮上現象に関する研究, 水道協会雑誌 第84巻 第6号(第969号), pp.2-11, 2015
- 10) 古里栄一・浅枝隆・福渡隆：淡水植物プランクトンの耐暗性について, 水環境学会誌, 第24号, 第1号, pp.27-34, 2001
- 11) 古里栄一・藤野毅：浅枝隆・有田正光：物理的処理によるアオコ対策の効果に関する基礎的実験, 水工学論文集, 第54巻, pp.1483-1488, 2010
- 12) 田淵俊雄：高村義親・青山和夫・西岡由紀子・石田光徳：アオコ(藻類)の加圧による沈降特性 -農業用水の送水過程におけるアオコと水質の変化に関する研究(Ⅲ)-, 農業土木論文集, 第148号, pp.59-65, 1990
- 13) 濱田龍寿・遠藤茂勝・小川元：閉鎖性水域における水生微生物の圧力処理について, 海洋開発論文集, 第24巻, pp.1189-1194, 2008
- 14) 濱田龍寿・遠藤茂勝：藍藻の圧力処理における水撃圧の応用について, 環境技術, Vol.37, No.9, pp.47-55, 2008