

ウルトラファインバブルを用いた水質浄化技術の開発 (西の湖における水質改善実証モデル事業)

Development of Water Purification Technology Using Ultrafine Bubbles (Demonstration Model Project for Water Quality Improvement in Lake Nishinoko)

大山 将^{*1} 松生 隆司^{*2} 竹中 夏子^{*2}
Sho Oyama Takashi Matsuike Natsuko Takenaka

要旨

ウルトラファインバブル (Ultrafine Bubble ; UFB) は直径 $1\mu\text{m}$ 未満の目に見えない泡であり、環境、農業、食品、水産、医療等をはじめとする各方面で研究開発・応用化が進んでいる。筆者らはこれまで、油汚染レキの洗浄 (炭酸ガス UFB)、シールド分野における自然由来ヒ素含有泥水の酸化促進 (酸素 UFB)、閉鎖性水域における自然由来ヒ素含有浚渫泥土の酸化促進 (オゾン・酸素 UFB) などへの適用を検討してきた。

滋賀県近江八幡市に位置する琵琶湖最大の内湖である「西の湖」で令和4年度および令和5年度に実施された滋賀県の水質改善実証モデル事業において、高濃度の酸素を湖底に供給する手段 (装置) として「酸素 UFB 発生装置」を適用し、酸素が過飽和に溶解した湖水と酸素 UFB が混在した「高濃度酸素水」の噴流を試験水域の湖底に常時供給することで、水質改善や底質改善等の効果を検証する機会を得た。本報告では、水質改善実証モデル事業で適用した酸素 UFB 発生装置等の設備について紹介し、底質改善等検証の結果の一部について報告する。

キーワード：ウルトラファインバブル 西の湖 底質改善 酸素供給 ヒメタニシ

1. はじめに

ウルトラファインバブル (Ultrafine Bubble ; UFB) は直径 $1\mu\text{m}$ 未満¹⁾の目に見えない泡であり、目視が可能なマイクロバブル (直径 $1\sim 100\mu\text{m}$ ¹⁾の白濁した泡) を含めたファインバブルの活用について、環境、農業、食品、水産、医療等をはじめとする各方面で研究開発・応用化が進んでいる²⁾。筆者らは土木・環境分野における UFB の活用を模索してきており、これまで、油汚染レキの洗浄 (炭酸ガス UFB)、シールド分野における自然由来ヒ素含有泥水の酸化促進 (酸素 UFB)³⁾、閉鎖性水域における自然由来ヒ素含有浚渫泥土の酸化促進 (オゾン・酸素 UFB)⁴⁾ などへの適用を検討してきた。

滋賀県近江八幡市に位置する琵琶湖最大の内湖である「西の湖」では近年アオコの発生が頻繁に見られ、水質の悪化が顕著となっている状況を踏まえ、高濃度の酸素を湖底に供給し、アオコの発生要因の一つであるりん (P) が湖底から溶出することを抑制する実証試験を実施し、アオコの発生抑制や水質および底質の改善効果を検証することを目的とした滋賀県の水質改善実証モデル事業が令和4年度および令和5年度に実施された^{5) 6)}。

筆者らは本モデル事業に参画し、高濃度の酸素を湖底に供給する手段 (装置) として「酸素 UFB 発生装置」を適用した。酸素が過飽和に溶解した湖水と酸素 UFB が混在した「高濃度酸素水」の噴流を試験水域の湖底に常時供給する

ことで、水質改善や底質改善等の効果を検証する機会を得た。本報告では、水質改善実証モデル事業で適用した酸素 UFB 発生装置等の設備について紹介し、底質改善等検証の結果の一部について報告する。

2. 水質改善実証モデル事業の概要

業務名：

令和4年度 西の湖における水質改善実証モデル事業
委託

令和5年度 西の湖における水質改善実証モデル事業
(琵琶湖保全再生等推進費) 委託

発注者：滋賀県 琵琶湖環境部 琵琶湖保全再生課

業務場所：西の湖湾奥部 (滋賀県近江八幡市、図1)

工 期：

令和4年度：令和4年5月23日～令和5年2月10日

令和5年度：令和5年5月2日～令和6年2月9日

主な業務内容：

- ①酸素供給装置の設置および維持管理
- ②酸素供給装置による水質等改善効果の確認
(酸素供給影響範囲調査 (令和4年度のみ)、水質調査、底質調査、アオコ等植物プランクトンの発生状況調査、底生生物調査 (令和5年度のみ) など)
- ③調査の取りまとめ
(調査データ整理、比較、考察など)

*1 技術研究所 *2 環境エンジニアリング本部 環境技術部



図1 西の湖（地理院地図 GSI Maps(国土地理院)を加工）

3. 西の湖の状況および事業の経緯^{5) 7)}

西の湖の諸元は湖面積 2.85 km²、平均水深 1.5m、総貯水容量約 428 万 m³、滞留時間約 19 日である。ヨシ群落は近畿地方で最大級の 109 ha に及び、ラムサール条約湿地に登録されるとともに、ヨシ群落保全地域に選定されている。

琵琶湖の内湖である西の湖においても琵琶湖全体の計画との整合をとりつつ、「西の湖水質保全委員会」等によって水環境の改善目標が定められ、湖底浚渫、水質保全池の整備、汚濁負荷量削減（下水道整備等）、農業排水対策、湖底耕耘といった対策が進められてきた。この結果、西の湖の水質はおおむね安定して推移していたが、平成 27 年頃から一部の水質項目の悪化が始まった。また、近年はアオコの発生が毎年見られるようになり、魚類の異臭、貝類の減少、水道水の異臭発生、湖水の透明度低下といった問題が新たに生じている。

そこで、西の湖の現状と変遷、これまでの取組みを踏まえて、西の湖における水環境改善対策の基本方針が令和 4 年 3 月に策定された。また、水質改善に向けた西の湖における今後の対策案の一つとして、底泥の堆積や悪化が見られる箇所、底層が貧酸素となっている箇所、アオコが発生しやすい箇所において曝気装置（酸素供給装置）を設置・稼働させ、その効果を検証する方針が示された。令和 4 年度および令和 5 年度の西の湖における水質改善実証モデル事業は、上記の経緯により実施されたものである。

4. 実証試験

4.1 酸素供給装置

4.1.1 酸素 UFB 発生装置

高濃度の酸素を湖底に供給する手段（装置）として、ウルトラファインバブル（UFB）技術を適用した「酸素 UFB

発生装置」を選定した。酸素が過飽和に溶解した水と酸素 UFB（酸素がまだ水に溶解していない 100nm 程度の目に見えない泡）が混在した「高濃度酸素水」を湖底に供給することで、効率的・効果的な酸素供給が可能であると考えた。UFB は 1μm 未満のナノサイズの泡であり、水面に向かって浮上することなく、液中に長期間（数週間～数ヶ月間）留まる性質がある。供給した酸素 UFB も長期間水中に留まり、徐々に水に溶解して溶存酸素となることから、効率的・効果的な酸素供給に寄与するものと考えた。

実際には、閉鎖性水域におけるアオコ等の対策実績が豊富なワイビーエム製「フォームジェット」⁸⁾を「酸素 UFB 発生装置」として使用した。フォームジェットは汎用のポンプを利用して、特殊なボックス（ジェットボックス）内で生じるキャビテーションおよびコアンダ効果を利用して酸素と水を混合攪拌（気液混合）し（写真 1）、酸素を過飽和状態（約 200%程度）まで溶解させると同時に酸素 UFB を発生させる装置である。

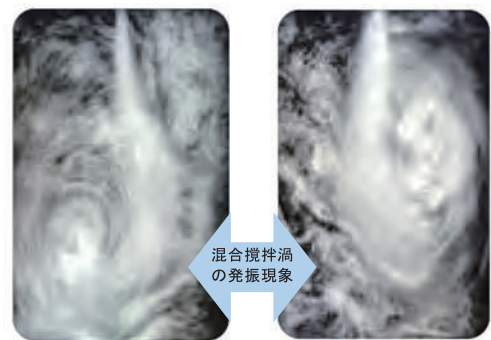


写真1 ジェットボックス内部のキャビテーションおよびコアンダ効果による気液混合状況の例

4.1.2 酸素 UFB 発生装置等の仕様および設置状況

実証試験に使用したフォームジェットおよび付帯設備の仕様（規模）は、流量が 24 m³/h（400 L/min、576 m³/日）クラスの設備（FJL-24-RP-2）を選定した。フォームジェットには過去の実績より気液比 2%程度を標準としてガスを供給するため、酸素ガス発生装置は 400 L/min×0.02=8 L/min の供給能力があるもの（ITO-08-2、IBS 製）を選定した。主な装置等の仕様を以下に示す。

- | | |
|------------------------|---------|
| ・フォームジェット FJL-24-RP-2 | 一式（図2） |
| ・ジェットボックス J/14-S | 1台（写真2） |
| ・陸上ポンプ 60Hz、定格出力 2.2kW | 1台（写真5） |
| ・配管・配線等 | 一式 |
| ・酸素ガス発生装置 ITO-08-2 | 1台（写真3） |
| ・制御盤 | 一式（写真4） |
| ・監視カメラ G-cam02 | 4台（写真5） |

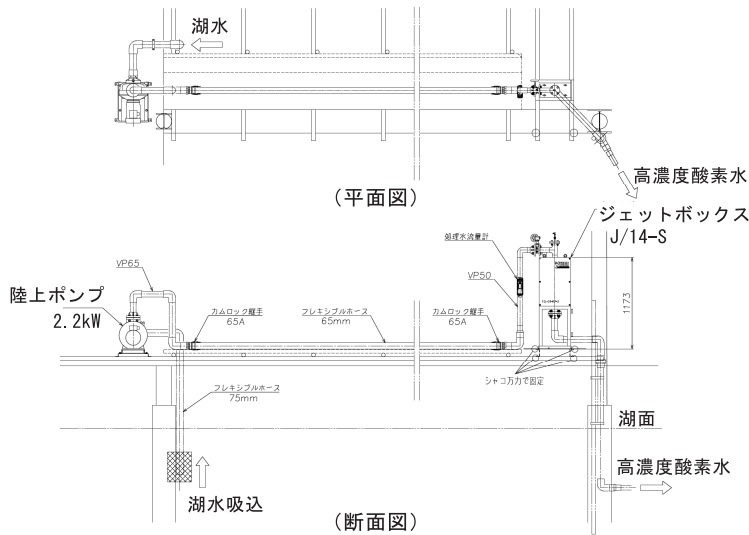


図2 フォームジェットの基本設備配置

4.2 酸素供給効果の確認調査方法

4.2.1 試験区・対照区の設定

酸素 UFB 発生装置を用いて高濃度酸素水を連続的に吐出し、湖底付近に常時酸素を供給した場合の効果を確認するために、水質調査、底質調査、植物プランクトン調査および底生生物調査等の確認調査を実施した。これらの調査については、酸素供給の影響が及ぶ地点として「試験区」、酸素供給の影響が及ばない地点として「対照区」の設定が必要となるが、試験区については高濃度酸素水の吐出方向に向かって 20 m 沖合いの地点を設定し、対照区については吐出位置から 150 m 程度離れた地点（おおむね、北側護岸からの距離が試験区と同程度となる地点）を設定した（図 3）。

なお、令和 5 年度に実施した底生生物調査については、試験区をさらに 10 m 沖合いの地点（沖合い 30 m 地点）、対照区にはさらに西に 5m 離れた地点を設定し、底質調査で繰り返し採泥する影響を受けないように配慮した。

4.2.2 確認調査地点の測位方法

水質調査等の確認調査は西の湖の湖面で測定・試料採取等を実施したが、湖面における調査ポイントの測位は、RTK-GPS 測位技術を用いた。

高精度（cm 級）の GNSS レシーバーと Android™用アプリを使用して RTK 基準局を構築し、RTK 移動局から基準局へのアクセスをサポートした。

具体的には、起工測量の結果に基づき、艇庫の屋根に基準点（BM）を設定して GNSS アンテナ（ANN-MB-00、u-blox 製）を設置し、GNSS レシーバー（DG-PR01RWS、Drogger 製）を装着して、Android™用無償提供アプリの Drogger-GPS を使用して RTK 基準局を構築した（写真 6）。同様に GNSS アンテナおよび GNSS レシーバーを調査用ボートに搭載して、Drogger-GPS を用いて RTK 移動局として設定するとともに、測定ポイントまで誘導を行った（図 4）。



写真2 フォームジェット（ジェットボックス）



写真3 酸素ガス発生装置



写真4 制御盤



写真5 陸上ポンプと監視カメラ



図3 実証試験における調査地点の設定（西の湖湾奥部）

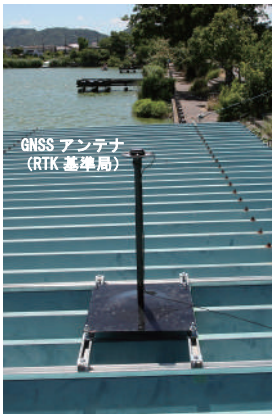


写真6 艇庫屋根の基準局

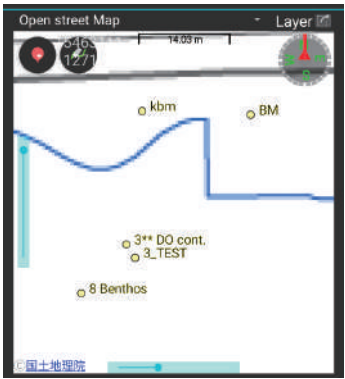


図4 アプリ画面例
(マップ上ポイント表示)

4.2.3 確認調査項目と試験方法

実証試験で実施した水質調査等の確認調査の項目(抜粋)と試験方法を表1に示す。

4.3 酸素 UFB 発生装置の稼働状況

令和4年度業務では、酸素 UFB 発生装置等の艇庫への搬入・設置後、令和4年7月6日より連続試運転を開始し、7月11日より実証試験(本格運転)を開始した。12月1日9時30分に装置を停止させるまで、累計82,345.9 m³(連続試運転を含めると累計84,821.1 m³)の高濃度酸素水を湖底に向けて供給した。

その後、令和4年12月3日より自主調査として酸素 UFB 発生装置を再設置して、令和5年5月21日まで装置を稼働させた(令和4年12月29日から令和5年1月3日までの年末年始は装置を停止)。自主調査時には累計101,592.6 m³の高濃度酸素水を湖底に向けて供給した。

表1 確認調査項目(抜粋)と試験方法

項目	試験方法
【水質調査】	
DO(溶存酸素)	JIS K0102 32.4
COD(化学的酸素要求量)	JIS K0102 17
SS(浮遊物質)	S46環境庁告示第59号付表9
TOC(全有機体炭素)	JIS K0102 22.1
DOC(溶存性有機体炭素)	JIS K0102 22.1
T-N(窒素含有量)	JIS K0102 45.6
NO3-N(硝酸性窒素)	JIS K0102 43.2.6
NO2-N(亜硝酸性窒素)	JIS K0102 43.1.3
NH4-N(アンモニア性窒素)	JIS K0102 42.6
T-P(りん含有量)	JIS K0102 46.3.4
PO4-P(りん酸態りん)	JIS K0102 46.1.1
重合りん酸態りん(ポリりん酸)	JIS K0102 46.2
溶解性鉄含有量	JIS K0102 57.4
溶解性マンガン含有量	JIS K0102 56.4
pH(水素イオン濃度)	JIS K0102 12.1
透視度	JIS K0102 9
クロロフィル-a	上水試験方法 IV-2 25
フェオフィチン	上水試験方法 IV-2 25
ジェオスミン	H15厚生労働省告示261号別表第25
2-メチルイソボルネオール	H15厚生労働省告示261号別表第25
【底質調査】	
色相	湖沼底質環境・調査手引き(案)
臭気	湖沼底質環境・調査手引き(案)
含水率	底質調査方法 II 4.1
強熱減量	底質調査方法 II 4.2
TOC(全有機体炭素)	底質調査方法 II 4.10
T-N含有量	底質調査方法 II 4.8.1.1
T-P含有量	底質調査方法 II 4.9.1
粒度組成	JIS A 1204
硫化物	底質調査方法 II 4.6
酸化還元電位	底質調査方法 II 4.5
T-N ※間隙水 IN ※間隙水	底質調査方法 I 8. (参考)間隙水の抽出方法 JIS K0102 45.6、43.2.6、43.1.3、42.6
T-P ※間隙水 IP ※間隙水	底質調査方法 I 8. (参考)間隙水の抽出方法 JIS K0102 46.3.4、46.1.1
【植物プランクトン調査】	
植物プランクトン同定・個体数カウント	上水試験方法 VI-3 2.2.2
【底生生物調査】	
底生生物同定・個体数カウント	平成28年度版河川水辺の国勢調査 基本調査マニュアル【河川版】 III 底生動物調査編



図5 酸素 UFB 装置稼働期間における西の湖の水位変動(艇庫内における水位測定結果)

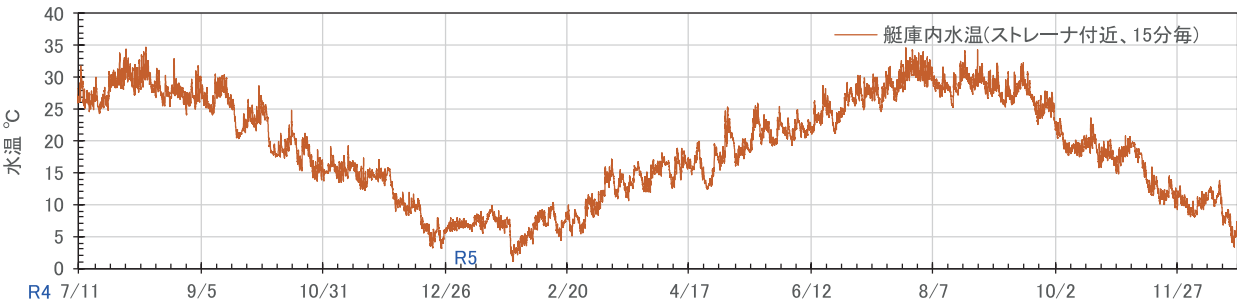


図6 酸素 UFB 装置稼働期間における西の湖の水温変動(艇庫内における水温測定結果)

令和5年5月22日から12月22日まで令和5年度業務として酸素UFB発生装置を稼働させ、136,081.1m³の高濃度酸素水を湖底に向けて供給した。

西の湖の水位は琵琶湖の水位や長命寺川下流渡合橋の樋門の開閉状況、大雨・台風等の天候に応じて変動するが、酸素UFB装置稼働期間中には基準水位（標高84.371m）と比較して-0.39～+0.46mと0.85mの範囲で変動した（図5）。

また、湖水の水温は、酸素UFB装置稼働期間中には1.1～34.7℃の範囲で変動した（図6）。

酸素UFB発生装置として採用した「フォームジェット」は、上記の水位や水温の変動に対して特に不具合を発生することなく安定して稼働した。最終的な実績として、令和4年7月から令和5年12月までの18ヶ月間、酸素UFB発生装置を24時間連続的に稼働させ、累計322,494.8m³の高濃度酸素水を湖底に供給することができた。

4.4 確認調査結果

酸素UFB発生装置を用いて高濃度酸素水を連続的に吐出し、湖底付近に常時酸素を供給した場合の効果を確認するために実施した水質調査、底質調査、植物プランクトン調査および底生生物調査等の確認調査の結果について、その一部を報告する。

4.4.1 酸素供給影響範囲の面的調査

試験区を含む18地点において溶存酸素（DO）・水温の鉛直分布を測定する「面的調査」を令和4年度に令和4年8月23日と10月18日の2回実施した。結果の一例を示す。

図7は全ての測定地点でデータが取得できた最深の水深0.7mにおけるDO分布のコンター図（測定日R4.8.23）である。なお、測定日における水深0.7mの標高は、高濃度酸素水吐出口中心部の標高とほぼ同じ高さであった。

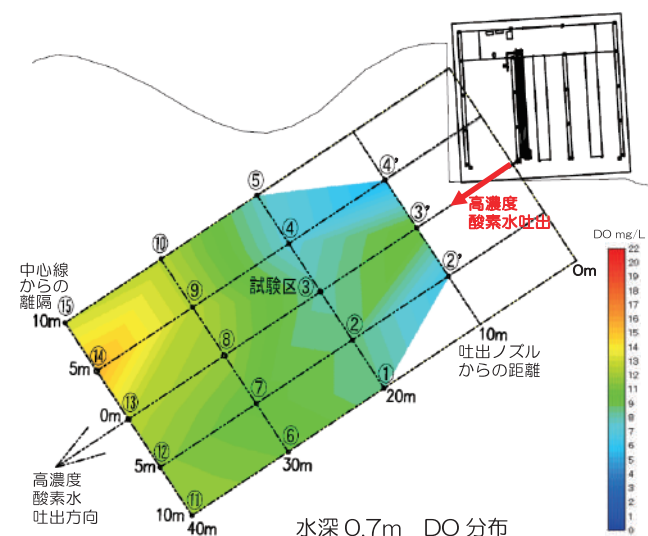


図7 酸素供給影響範囲の面的調査結果（R4.8.23）

コンター図からは③'地点～③地点にかけてDOが9～11mg/L程度の緑色の帯が形成されていることが判読できる。また、②'地点、④'地点のDOが6～7mg/L程度であること、吐出された高濃度酸素水は渦を巻く様に周りの水塊を巻き込みながら直進するため、吐出直後のDO（実測ベースでは13～14mg/L程度）から若干DO値が下がるものの、吐出された高濃度酸素水は連続的に遠方に供給されていることが確認できた。なお、流速がほとんどなくなると考えられる⑬地点（吐出口から40m沖合い）での当日の流向・流速測定の結果は⑬地点から⑮地点方向（北西方向）に流れていたことから、⑭地点付近のDO値が周辺と比較してやや高い値となったものと推定された。以上の結果から、酸素UFB発生装置を用いた高濃度酸素水の吐出による酸素供給の影響（効果）は、今回の装置規模では40m程度沖合いまで及んでいるものと考えられた。

4.4.2 溶存酸素（DO）の鉛直分布

溶存酸素（DO）・水温の鉛直分布を試験区および対照区において測定した（令和5年度）。試験区ではおおむね表層と底層のDO・水温にあまり差が無い状態であったが、対照区では令和5年6月20日および7月18日の結果では表層と底層のDO・水温にやや大きな差があること（表層＞底層）が確認された（図8）。7月18日については試験区においても表層と底層のDOで4.1mg/L、水温で2.8℃の差が見られ

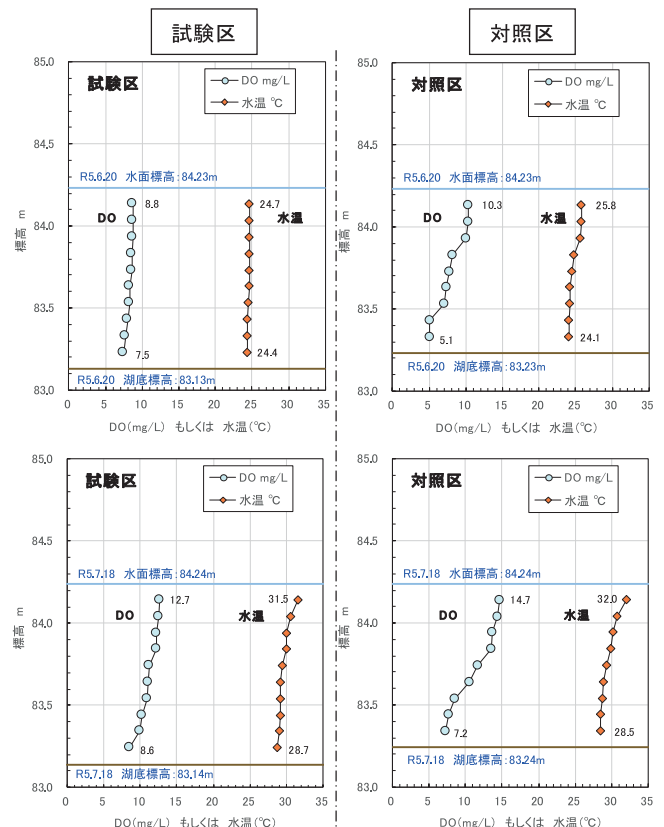


図8 溶存酸素（DO）鉛直分布調査結果の一例

たが、対照区では DO で 7.5 mg/L、水温で 3.5℃の差となっており、酸素 UFB 発生装置を用いた高濃度酸素水の吐出による酸素供給により表層と底層の DO の差が縮小され、均質化される効果を示しているものと考えられた。

4.4.3 底質試料の物理的性状の変化

底質調査の採泥作業は不攪乱柱状採泥器（HR 型、離合社製）を使用して実施した。酸素供給による底質試料の性状の変化を確認するため、表面から 5 cm までの表層試料を底質試料として採取した。

①粒度組成の推移

試験区の底質試料は酸素供給開始前（R4.6.29）から砂分（75 μ m～2 mm）が 5.1%含まれていたが、シルト分（5～75 μ m）42.7%、粘土分（5 μ m 以下）52.2%と細粒分が 94.9%であった。酸素供給開始後には、砂分は 5.1%（R4.6.29）→20.2%（R5.11.29）と酸素供給を通じて明確に増加傾向を示した（図 9）。粒度分布を示す粒径加積曲線においても、0.075 mm（75 μ m）、0.106mm（106 μ m）および 0.25mm（250 μ m）の各プロットは酸素供給前（●）と比較して下側にシフト（75～250 μ m の細砂が増加）しており、酸素供給による底質表層の粒度分布の改善効果である細砂分の増加が明確に判読できる（図 10）。

対照区の底質試料は酸素供給開始前（R4.6.29）には砂分は 0.6%とほとんど含まれず、シルト分 45.5%、粘土分 53.9%と細粒分が 99.4%と大部分を占めていた。砂分は 0.6%（R4.6.29）→1.2%（R5.11.29）と酸素供給を通じてほぼ横這いであり、シルト分、粘土分の割合に変動はあったが、底質表層の粒度組成はほとんど変化していないと判断できる（図 9）。粒径加積曲線においても、0.075 mm（75 μ m）以下のシルト分、粘土分に変動が見られるが、粒度分布の大きな変化は見受けられなかった（図 10）。

②含水率・湿潤密度・乾燥密度・間隙比の推移

底質試料の含水率・湿潤密度・乾燥密度・間隙比の推移を図 11 に示す。

試験区底質試料の含水率は当初の 80.8%（R4.6.29）から酸素供給とともに低下傾向を示し、最終的には 65.0%（R5.11.29）と 15.8%の低下を確認した。固形分あたりの水分を示す含水比で示すと 421%から 186%への 235%の低下であり、大きな低下であることがわかる。

一方、対照区の含水率は 79.2%（R4.6.29）→76.7%（R4.6.29）と 2.5%の低下であり、大きな変化は見られなかった。同様に固形分あたりの水分を示す含水比で示すと 381%から 329%への 52%の低下であった。

底質試料の湿潤密度は 100 mL メスシリンダーを使用し、体積・質量を測定して求めた。湿潤密度と含水率から乾燥密度を算出し、粒度試験で測定される土粒子密度と乾燥密

度から間隙比を算出した。

試験区底質試料の湿潤密度は当初の 1.149 g/cm³（R4.6.29）から酸素供給を通じて増加し、おおむね 1.20～1.22

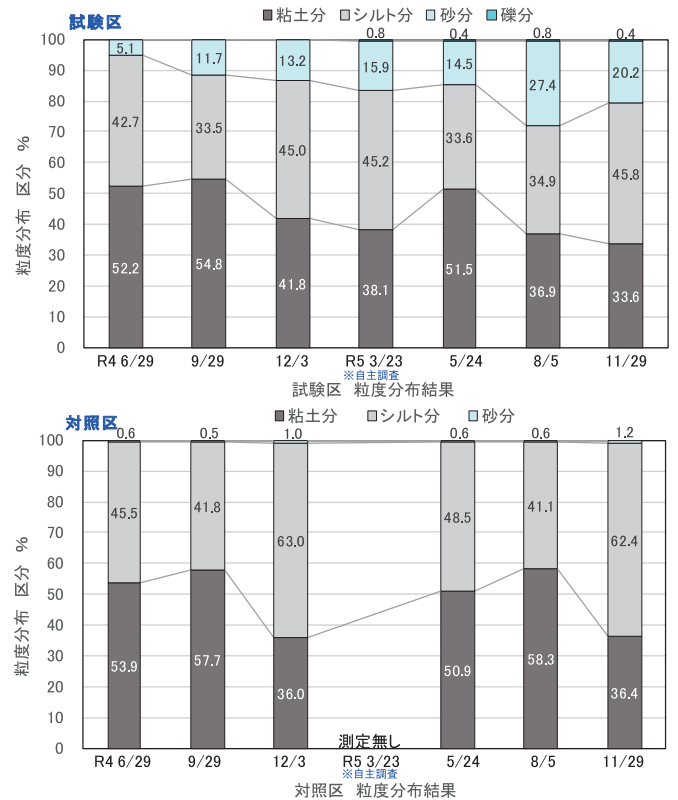


図 9 底質試料の粒度区分の推移

（上：試験区、下：対照区）

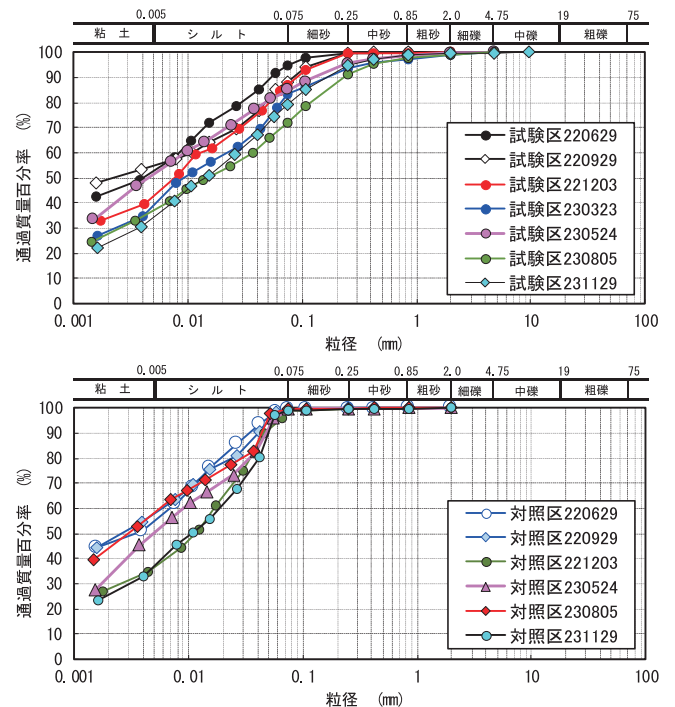


図 10 底質試料の粒径加積曲線の推移

（上：試験区、下：対照区）

g/cm³ の範囲で推移した。乾燥密度も当初の 0.221 g/cm³ (R4.6.29) から 0.419 g/cm³ (R5.11.29) まで増加した。間隙比は当初は 9.97 (R4.6.29) と対照区の 9.17 よりも高い値であったが、酸素供給を通じて低下し、最終的には 5.07 (R5.11.29) まで低下した。

対照区底質試料の湿潤密度は当初の 1.125 g/cm³ (R4.6.29) から最終の 1.120 g/cm³ (R5.11.29) まで大局的には横這いで推移した。乾燥密度は当初の 0.234 g/cm³ (R4.6.29) から 0.261g/cm³ (R5.11.29)、間隙比は 9.17 (R4.6.29) から 8.63 (R5.11.29) と、湿潤密度と同様に大局的にはほぼ横這いで推移した。

酸素 UFB 発生装置を用いた高濃度酸素水の吐出による酸素供給を通じて、試験区の底質表層は経時的に含水率（含水比）が低下し、湿潤密度・乾燥密度が増加し、間隙比が低下した（図 11）。粒度分布も砂分（細砂分）が増加していることから（図 9、図 10）、酸素供給により底質表層の物理的性状が明確に変化している（砂っぽくなっている）ことが確認された。また、酸素供給の継続により、底質表層の性状改質効果が維持されるものと考えられた。

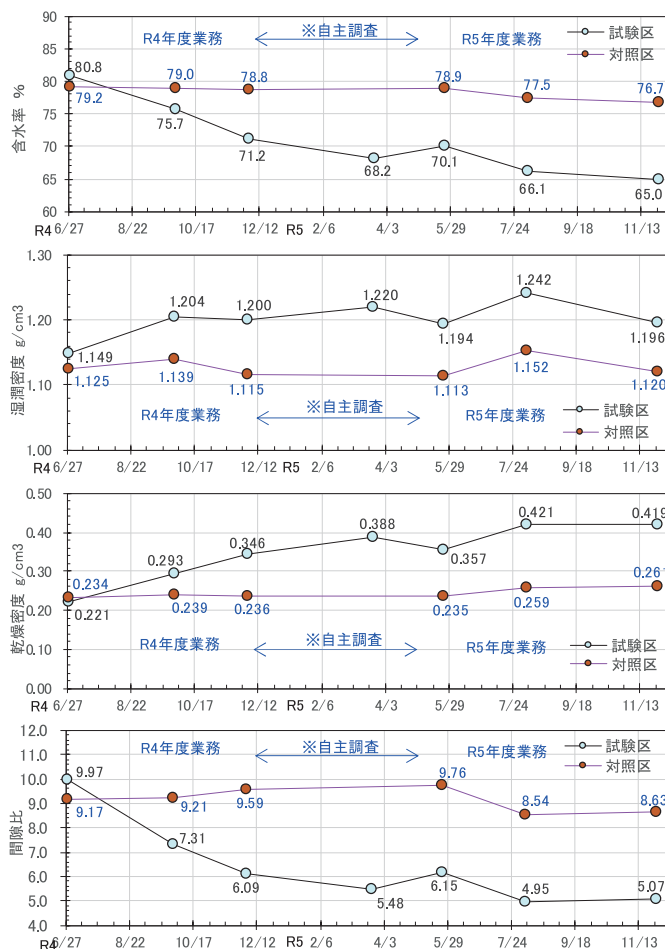


図 11 底質試料の各項目の推移

（上から含水率・湿潤密度・乾燥密度・間隙比）

4.4.4 底生生物の確認状況について

底生生物調査は滋賀県水産試験場が実施している「西の湖の水草、貝類、プランクトンモニタリング結果」⁹⁾を参考に、調査対象となっている貝類を含め、個体の分類と測定を行った。採泥作業はエクマンバージ採泥器（小型（ウエイト付）、採泥面積：0.02 m²、離合社製）を使用し、1回の調査で5回/箇所での採泥を行った（採泥面積：0.1 m²）。

令和5年5月24日および8月5日の調査では、試験区・対照区ともにエラミミズやユリミミズといったミズミミズ科の個体やユスリカ属やカユスリカ属などのユスリカ科の個体が確認された（写真7）。これらは「とてもきたない水」（水質階級Ⅳ）の指標生物¹⁰⁾を含んでおり、対照区の方で多くの個体数および湿重量が確認された。

令和5年11月29日の最終調査（写真8）においても、対照区ではミズミミズ科やユスリカ科といった「とてもきたない水」（水質階級Ⅳ）の指標生物を含む個体のみが確認された。一方、試験区ではユスリカ科の個体に加えて、ヒメタニシが1個体（2.853 g）確認された（10 個/m²、28.53 g/m²）。

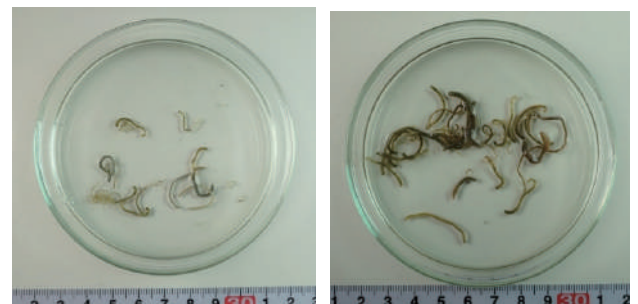


写真7 底生生物の状況（R5.5.24）

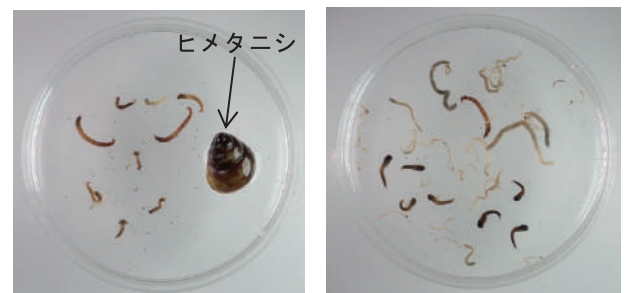


写真8 底生生物の状況（R5.11.29）

タニシ類は「きたない水」（水質階級Ⅲ）の指標生物¹⁰⁾であるが、ヒメタニシは西の湖において平成29年以降減少し、令和元年以降ほとんど見られなくなっている^{5) 7)}こと、底生生物調査の試験区（調査地点）は高濃度酸素水の吐出方向に向かって30 m沖合いの地点（底質調査等の試験区よ

りさらに 10 m 沖合いの地点)であるにもかかわらずヒメタニシの個体が確認されたことから、酸素 UFB 発生装置を用いた酸素供給の継続により底質表面の性状が改善され(砂っぽい性状に変化し)、その効果を維持していくことで、それまで個体が確認されなかったヒメタニシが底質表面でも確認されるに至ったのではないかと考えられた。

令和 5 年 11 月 29 日の最終調査では、高濃度酸素水の吐出部付近においても、参考として、追加の底生生物調査を実施した(写真 9)。



写真 9 吐出部付近での採泥作業状況 (R5. 11. 29)

その結果、ミズミズ科、ユスリカ科、ヌカカ科の個体に加えて、ヒメタニシが 42 個体 (141.347g ; 420 個/m²、1413.47g/m²)、シジミ 1 個体 (0.838g ; 10 個/m²、8.38g/m²)、テナガエビが 1 個体 (0.407g ; 10 個/m²、4.07g/m²) が確認された(写真 10)。また、重要種であるミドリビル(環境省レッドリスト 2020【その他無脊椎動物】情報不足 (DD))が 2 個体 (0.032g ; 20 個/m²、0.32g/m²) 確認された。

酸素が過飽和に溶解した湖水と酸素 UFB が混在した「高濃度酸素水」の吐出口付近であり、試験区や対照区とは異なった環境ではあるが、良好な環境であればヒメタニシやシジミ等の貝類の個体が多数確認されたことから、底質改善に加えて、水生生物や底生生物の生息にも酸素 UFB 技術が寄与しているものと考えられた。

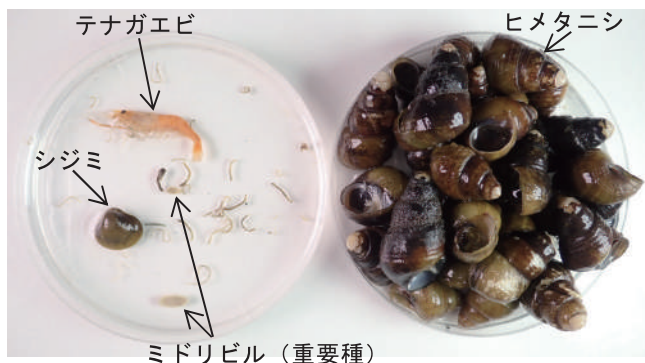


写真 10 吐出部付近で確認されたヒメタニシ等の個体

4.4.5 高濃度酸素水吐出部付近の魚影の状況

酸素 UFB 発生装置を用いた高濃度酸素水の吐出状況は LTE 通信回線に接続可能な監視カメラを使用した常時監視システムにより WEB 上からも適宜監視した。

令和 4 年度業務時から夜間に高濃度酸素水吐出部付近において小魚が集まる模様が監視カメラで観察されていたが、令和 5 年度業務では集まる小魚の数が多くなった様に感じた。令和 4 年度業務時では昼間の監視カメラ映像で魚影が確認できる様なことは無かったが、令和 5 年度業務では昼間でも監視カメラでも魚影が確認できることが多くなり、酸素供給の継続により吐出部付近の魚影が濃くなったものと考えられた(写真 11)。



(R5. 6. 27 17:12)



(R5. 7. 22 2:41)

写真 11 吐出部付近で確認された魚影の状況



(R5. 5. 21 7:25)

写真 12 吐出部付近で確認されたアオサギ

また、高濃度酸素水吐出部に集まる小魚を目的にアオサギやカワセミが飛来する姿も確認され（写真 12）、酸素 UFB による酸素供給が良好な水辺環境の創造にも一役買っているものと考えられた。

5. まとめ

令和 4 年度および令和 5 年度に実施された西の湖における水質改善実証モデル事業に参画し、高濃度の酸素を湖底に供給する手段（装置）として「酸素 UFB 発生装置」を適用した。酸素が過飽和に溶解した湖水と酸素 UFB が混在した「高濃度酸素水」の噴流を試験水域の湖底に常時供給する実証試験を実施し、底質改善等の効果を検証した。自主調査の結果も含めて以下に総括する。

- ・酸素 UFB 発生装置は流量として $24 \text{ m}^3/\text{h}$ ($400 \text{ L}/\text{min}$ 、 $576 \text{ m}^3/\text{日}$) 規模の設備を設置し、気液比 2% 程度で酸素ガスを供給するため、 $8 \text{ L}/\text{min}$ の供給能力がある酸素ガス発生装置を設置した。
- ・連続試運転、実証試験および自主調査を全て含めると、令和 4 年 7 月から令和 5 年 12 月までの 18 ヶ月間、酸素 UFB 発生装置を 24 時間連続的に稼働させ、累計 $322,494.8 \text{ m}^3$ の高濃度酸素水を湖底に供給することができた。
- ・溶存酸素（DO）の鉛直分布の調査結果から、高濃度酸素水の吐出による酸素供給により表層 DO と底層の DO の差が縮小され、均質化される効果が確認された。
- ・底質調査の結果、試験区と対照区との底質の性状の比較より、酸素 UFB による酸素供給の影響（効果）として、底質の含水率が低下し、湿潤密度が増加するため、乾燥密度が増加し、間隙率が低下した。また粒度組成として砂分（細砂分）が増加するなど、物理的性状が明確に改善された。
- ・底生生物調査の結果、最終調査（R5.11.29）で、試験区においてヒメタニシが 1 個体確認された。酸素供給の継続により底質表面の性状が改善され（砂っぽい性状に変化し）、その効果を維持した結果、それまで個体が確認されなかったヒメタニシが底質表面でも確認されるに至ったのではないかと考えられた。
- ・参考として、高濃度酸素水の吐出部付近においても、追加の底生生物調査を実施した結果、ヒメタニシが 42 個体、

シジミ 1 個体、テナガエビが 1 個体、ミドリビル（重要種）が 2 個体確認された。高濃度酸素水の吐出口付近での結果ではあるが、ヒメタニシやシジミ等の貝類の個体が多数確認されたことから、底質改善に加えて、水生生物や底生生物の生息にも酸素 UFB 技術が寄与しているものと考えられた。

- ・高濃度酸素水吐出部付近に設置した監視カメラでは夜間に小魚が集まる模様が観察されていたが、令和 5 年度では昼間でも魚影が確認できることも多く、酸素供給の継続により吐出部付近の魚影が濃くなったものと考えられた。また、高濃度酸素水吐出部に集まる小魚を目的にアオサギやカワセミが飛来する姿も確認され、酸素 UFB による酸素供給が良好な水辺環境の創造にも一役買っているものと考えられた。

謝 辞

西の湖における水質改善実証モデル事業委託の実施にあたり、終始適切なご指導を頂きました滋賀県 琵琶湖環境部 琵琶湖保全再生課の各位に感謝の意を表します。

また、酸素 UFB 装置の設置および安定稼働に関して（株）ワイビーエム ファインバブル事業開発部の各位に、各種調査の実施やデータとりまとめに関して（株）日吉の各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) JIS B 8741-1：ファインバブル技術-ファインバブルの使用及び測定に関する一般原則-第 1 部：用語、2019
- 2) 経済産業省 九州経済産業局：ファインバブル活用事例集、2018、
https://k-rip.gr.jp/wp/wp-content/uploads/2018/03/finebubble_ver4.pdf（2024 年 5 月閲覧）
- 3) 大山将、松生隆司、小山孝、阪部久敬：自然由来ヒ素含有泥水を弱酸性領域で還流する泥水管理手法に関する実証実験、第 25 回地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会講演集、S2-13、pp.170-175、2019
- 4) 松生隆司、大山将、小笠原貴道、永塚典幸、平尾壽啓：ウルトラファインバブル技術の浚渫泥土処理への適用-史跡松本城浚渫工法調査業務における実証実験-、鴻池組技術研究報告、pp.9-14、2021
- 5) 滋賀県 琵琶湖環境部 琵琶湖保全再生課：西の湖の水質と対策について、
<https://www.pref.shiga.lg.jp/file/attachment/5367522.pdf>（2024 年 5 月閲覧）
- 6) 環境省：琵琶湖の保全及び再生に関する施策の実施状況、第

- 7 回琵琶湖保全再生推進協議会幹事会配布資料 2-2、p. 2、
<https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/content/001706622.pdf> (2024 年 5 月閲覧)
- 7) 滋賀県：西の湖の水環境改善対策、
<https://www.pref.shiga.lg.jp/ippan/kankyoshizen/biwako/329126.html> (2024 年 5 月閲覧)
- 8) 宇川岳史：ファインバブル技術を利用した酸素供給装置、環境浄化技術、vol. 14、No. 4、pp. 38-42、日本工業出版、2015
- 9) 滋賀県水産試験場：令和 3 年度滋賀県水産試験場事業報告、
<https://www.pref.shiga.lg.jp/suisan-s/houkokusyo/jigyouhoukoku/330774.html> (2024 年 5 月閲覧)
- 10) 環境省水・大気環境局、国土交通省水管理・国土保全局編：川の生きものを調べよう（水生生物による水質判定）、
https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/suisituhantei/text.pdf (2024 年 5 月閲覧)