

環境省
令和 6 年度環境技術実証事業

水・土壌環境保全技術領域

実証報告書

令和 7 年 3 月

実証機関 : 株式会社 MAcS
実証対象技術名 : 腐植質有機酸と複合ミネラルからなるセラミックを用いた水質及び底質浄化技術
実証申請者 : 株式会社 Santa Mineral
実証番号 : 140-2403



本実証報告書の著作権は、環境省に属します。

－ 目 次 －

全体概要.....	1
1. 実証対象技術の概要.....	1
2. 実証の概要.....	2
3. 実証結果と考察.....	3
4. 参考情報.....	7
本編.....	8
1. 本事業の概要.....	8
1.1 目的.....	8
1.2 実証の定義.....	8
1.3 実証報告書の概要.....	8
2. 実施体制と実証参加者の責任分掌.....	9
3. 実証対象技術の概要及び仕様.....	11
3.1 実証対象技術の目的及び原理（環境保全・改善効果等）.....	11
3.2 実証対象技術の構成.....	12
3.3 実証対象技術の仕様.....	12
4. 試験場所等の概要.....	13
4.1 試験場所の情報.....	13
4.2 試験方法及び条件.....	14
4.3 実証対象技術の全体構成.....	16
5. 実証方法.....	18
5.1 実証全体のスケジュール.....	18
5.2 実証項目.....	19
5.3 実証方法.....	20
6. 試験結果.....	27
6.1 事前調査.....	27
6.2 水質調査結果.....	28
6.3 底質調査・底生生物調査.....	35
6.4 ベントフロー調査.....	50
6.5 自主調査結果.....	52
7. 試験結果に基づく実証結果（まとめ）.....	57
8. 実証結果に関する考察.....	58
付録.....	59
1. 専門用語集.....	59
2. 品質管理に関する事項等の情報.....	60
資料編.....	61
1. 写真集.....	61
2. データの写し.....	72

全体概要

実証対象技術	腐植質有機酸と複合ミネラルからなるセラミックを用いた水質及び底質浄化技術
実証申請者 所在地	（会社名称）株式会社 Santa Mineral （所在地）東京都港区浜松町二丁目6番4号 ガリシア浜松町1401号
実証機関 所在地	（会社名称）株式会社 MAcS （所在地）神奈川県横浜市西区平沼2-4-22 ジュネスササキ202
実証機関	株式会社 MAcS
試験機関	日本ミクニヤ株式会社
実証期間	令和6年6月27日～令和6年12月24日
技術の目的	植物由来の複合ミネラル微粒子を含む炭酸カルシウム材料に、腐植質及び鉄などの遷移金属元素含有材料、植物性微量元素を含む材料を混合、作成し、対象水域の水質・底質に投入することで、水中・底質中の腐敗有機物を継続して加水分解させ、併せて不足するミネラル（元素）を供給し、水棲生物の生態系循環を創造する。

1. 実証対象技術の概要

1.1 技術の目的及び原理（環境保全・改善効果）

本技術の原理と目的は以下の通りである。

- ・植物由来の複合ミネラル微粒子を含む炭酸カルシウム材料①は、起電性と赤外線放射性を有し水を還元性優位にイオン化することで、水中の腐敗有機物を加水分解(溶媒和)して無機化が進行し、水質浄化させる。
- ・腐植質及び鉄などの遷移金属元素含有材料②は、材料①と混合して使用する。太陽光照射により腐植質近傍に発生した過酸化水素を、鉄などの遷移金属元素の触媒作用でフェントン反応を励起し、活性酸素ヒドロキシルラジカルに変化させ、この酸化分解作用でヘドロなどの難分解性有機物や残留農薬などの有害化学物を分解除去する。材料①の還元活性作用との併用によりフェントン反応を繰り返し発生させることで、分解浄化を継続することが出来る。
- ・植物性微量元素を含む材料③は材料①と混合して使用する。河川海洋の水質汚染の改善過程に伴い、水棲生物の生育において光合成や体内酵素生合成の観点から不足しているミネラル(元素)或いは、存在する化学成分と結合し生物活用不可の状態のミネラル(元素)がある場合、これを補充し海藻類の育成定着と共に魚介類などが安定的に生息できる水質とすることが出来る。
- ・対象水域の水質と底質を分析し、その結果に応じ改善のためのセラミックを材料①、②、③を混合、作成し、投入することで水棲生物の生態系循環を創造することが出来る。

1.2 機器の構成及び仕様等

本技術の仕様は以下の通りである。

商品	作用原理	効果
水質浄化用セラミック(S-M)  サイズ：25～30mm角（粒径は調整可） 比重：約2.5	起電性と電磁波放射性により、水を電気分解して還元優位にイオン化する	水中の有機物を加水分解する
水質底質浄化用セラミック(RS-CC)  サイズ：10～20mm（粒径は調整可） 比重：約2.2	フェントン反応による触媒作用で、活性酸素ヒドロキシルラジカル($\cdot\text{OH}$)が発生	ヘドロなどの有機物を酸化分解し、除去する
水質底質活性ミネラル補充用セラミック(S-D-ALL)  サイズ：5～10mm（粒径は調整可） 比重：約2.0	湖沼、海洋の水質底質に不足する微量元素を水溶性の活性化状態で供給する	水棲植物の定着と増殖、魚介類の健全成長、病害抵抗性の強化などの対策

1.3 技術の特徴（メリット）等

本技術の特徴を以下に示す。

- ①太陽光照射により腐植質近傍に発生した過酸化水素を、鉄などの遷移金属元素の触媒作用でフェントン反応を励起し、活性酸素ヒドロキシルラジカルに変化させ、この酸化分解作用でヘドロなどの難分解性有機物や残留農薬などの有害化学物を分解除去する。
- ②ミネラルの還元活性作用によりフェントン反応を繰り返し発生させることで、分解浄化作用を長期間持続することが出来る。

1.4 設置条件及びコスト等

使用方法：水質底質の状態分析により、3種のセラミックの割合と使用量を決定する。

設置例）セラミックをポリエチレン製ネット袋に入れて設置する。各袋は海上等に流出しないように固定棒で海底（湖底）に固定、あるいは船等から海底に投入、設置する。

2. 実証の概要

2.1 実証の目的

腐植質有機酸と複合ミネラルからなるセラミックを、対象水域の水質・底質に投入することで、水中・底質中の腐敗有機物を継続して加水分解させ、有機汚濁が進行した底質に対し、底質改善効果を有しているかを検討することを目的として実証した。

2.2 性能を示す項目及びその目標とする値

実証項目	目標水準
全硫化物	対照槽と比較して試験槽が低い
間隙水中の硫化水素	対照槽と比較して試験槽が低い
有機物量	対照槽と比較して試験槽が低い

2.3 実証（試験）場所

実証場所	長崎県大村市杭出津1丁目
管理者	大村市漁業協同組合

2.3 実証期間（スケジュール）

	2024年												2025年						
	5月		6月		7月	8月		9月		10月	11月	12月	1月	2月	3月				
事前調査			15	27															
技術の設置				27															
現地調査				28		30		23	18	26		29		25		24			
追加投入										26									
結果整理																			
とりまとめ																			
技術実証検討会					18														13

3. 実証結果と考察

3.1 実証結果

3.1.1 底質調査

(1) 全硫化物

試験開始時の6月28日および7月30日において、試験槽1（水槽①）と対照槽1（水槽②）の平均値の差を確認したところ、統計的には有意な差は認められなかった。

採泥方法を変更した7月30日を初期値とし、セラミック追加投入前の8月23日～9月26日、追加投入後の10月29日～12月24日の期間で比較した結果、統計的には、両期間において試験槽1（水槽①）と対照槽1（水槽②）の平均値に有意な差が認められた。

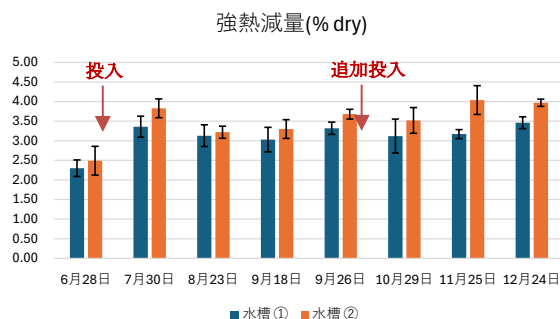


図 全硫化物分析結果

(2) 硫化水素（間隙水）

試験開始時の6月28日および7月30日において、試験槽1（水槽①）と対照槽1（水槽②）の平均値の差を確認したところ、統計的には有意な差は認められなかった。

採泥方法を変更した7月30日を初期値とし、セラミック追加投入前の8月23日～9月26日、追加投入後の10月29日～12月24日の期間で比較した結果、統計的には全ての期間において試験槽1（水槽①）と対照槽1（水槽②）の平均値に有意な差が認められなかった。

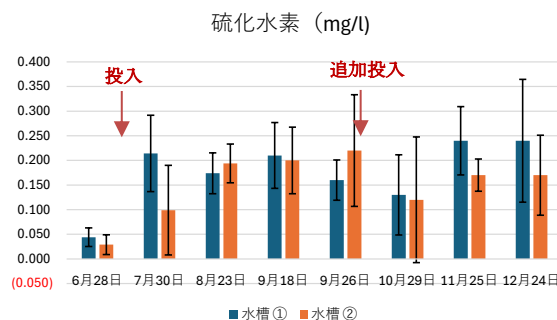


図 硫化水素（間隙水）分析結果

(3) 有機物量（強熱減量、TOC、泥厚）

試験開始時の6月28日および7月30日において、試験槽1（水槽①）と対照槽1（水槽②）の平均値の差を確認したところ、統計的には有意な差は認められなかった。

採泥方法を変更した7月30日を初期値とし、セラミック追加投入前の8月23日～9月26日、追加投入後の10月29日～12月24日の期間で比較した結果、統計的には、セラミック追加投入前では有意な差は認められなかったが、セラミック追加投入後において有意な差が認められた。

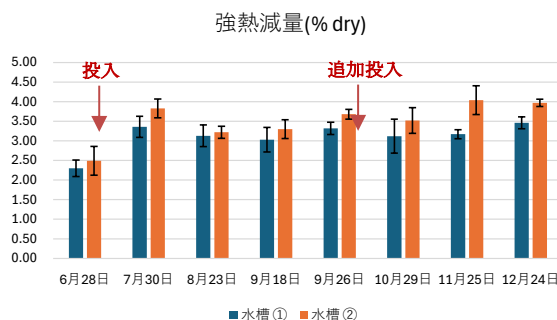


図 強熱減量分析結果

TOC、泥厚についても試験開始時の6月28日および7月30日において、試験槽1（水槽①）と対照槽1（水槽②）の平均値の差を確認したところ、統計的には有意な差は認められなかった（TOCは7月30日のみ）。

7月30日を初期値とし、8月23日～12月24日の全期間、セラミック追加投入前の8月23日～9月26日、追加投入後の10月29日～12月24日の期間で比較した結果、統計的には、セラミック追加投入前では有意な差は認められなかったが、セラミック追加投入後において有意な差が認められた。

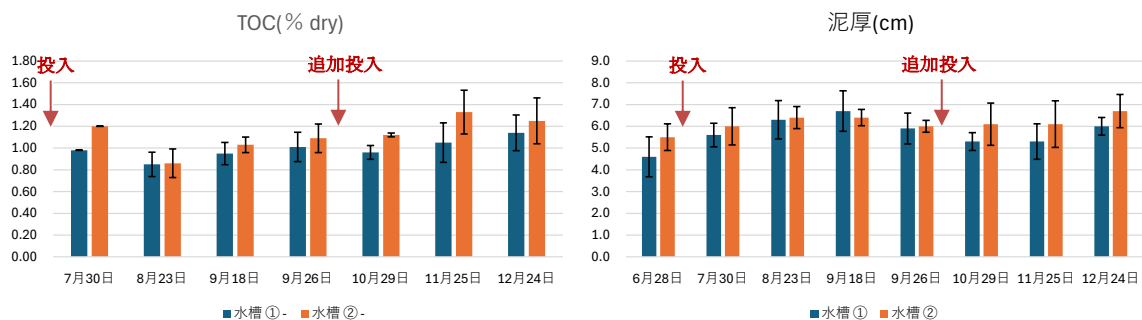


図 TOC・泥厚分析結果（左図：TOC、右図：泥厚）

3.1.2 底生生物調査（詳細は本編 p48 参照）

6月から12月にかけて、種数、個体数、湿重量の増加がみられたが、試験槽と対照槽の間で明確な差は見られなかった。

3.1.4 自主調査（光応答反応試験）（詳細は本編 p52 参照）

実証試験槽において光応答反応の検出を数度試行したが、目的元素濃度が検出濃度近傍で検証が困難であったため、海水中のセラミック濃度を増大したラボ実験で、光応答フェントン反応の作用機序の検証を行った。

結果より、光照射による H_2O_2 の増加、 Fe^{2+} の減少、 Fe^{3+} の増大が見られ、フェントン反応の進行が確認された。また、暗夜での H_2O_2 の減少、 Fe^{2+} の増大、 Fe^{3+} の減少がみられ、 Fe^{2+} の再生・循環が確認された。併せて、光照射と暗夜の繰り返しによる反応循環も確認された。

以上より、海水中においても、RS-CC の光応答によるフェントン反応の発生と、 $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ への還元（再生・繰り返し）の作用機序が発現することを検証できた。

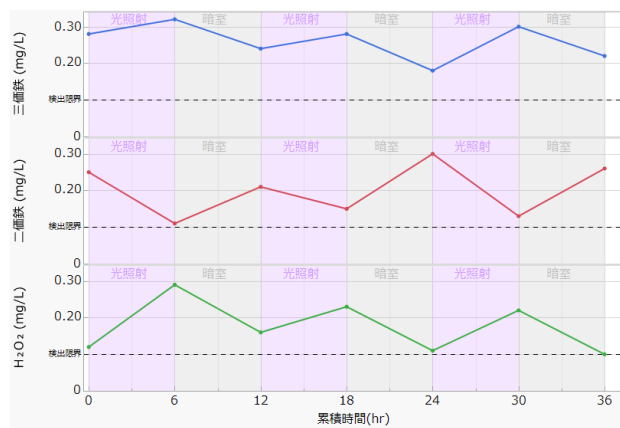


図 反応抑制した RS-CC 材での光応答フェントン反応試験結果

3.1.5 自主調査（付着生物調査）

試験槽 1（水槽①）の側面において、フジツボ類の個体数が対照槽 1（水槽②）よりも多く、殻口径の分布より 11 月から 12 月にかけてフジツボの生育促進が確認された。

また、試験槽 1（水槽①）において緑藻の生育被度が大きく、いずれも対照槽 1（水槽②）と比較して生育が顕著であった。

3.2 まとめ

【全硫化物】

試験期間を通してみると、試験槽1（水槽①）と対照槽1（水槽②）の全硫化物の平均値に有意な差が認められた。このことから、堆積している有機泥に対して、底質中の全硫化物を低下させる効果が確認された。

【間隙水中の硫化水素】

試験期間を通してみると、試験槽1（水槽①）と対照槽1（水槽②）の間隙水中の硫化物の平均値に有意な差は認められず、堆積している有機泥の間隙水中の硫化水素を低下させる効果は確認できなかった。

【有機物】

本試験では、強熱減量、TOC、泥厚の3項目を有機物量の指標として試験した。

試験結果より、試験期間を通してみると3項目ともに、セラミック追加投入後において、試験槽1（水槽①）と対照槽1（水槽②）の平均値に有意な差が認められた。このことから、堆積している有機泥に対して、底質中の有機物量を低下させる効果が確認された。

以上より、本技術は有機泥が堆積する環境において、底質中の有機物量及び全硫化物を減少させることに有効であると言える。

実証項目	目標水準	評価
全硫化物	対照槽と比較して試験槽が低い	○
間隙水中の硫化水素	対照槽と比較して試験槽が低い	有意差なし
有機物量	対照槽と比較して試験槽が低い	○

なお、試験槽2（水槽③）、対照槽2（水槽④）を設定し、新生堆積物に対する効果の確認を行ったが、試験槽と対照槽の間に有意な差はみられず、効果は確認されなかった。全硫化物、有機物量、硫化水素のいずれも含有量が小さく、効果を実証するだけの差が生じなかったと考えられる。

4. 参考情報

注意： このページに示された情報は、技術広報のために全て実証申請者が自らの責任において申請した内容であり、環境省及び実証機関は、内容に関して一切の責任を負いません。

4.1 製品データ

項 目		実証申請者又は開発者 記入欄
製品名・型番		水質底質浄化用セラミック（S-M、RS-CC、S-D-ALL 等）
製造(販売)企業名		株式会社 Santa Mineral
連絡先	TEL/FAX	TEL : 03-6450-1905 FAX : 076-282-9158
	Web アドレス	https://santamineral.com/
	E-mail	service@santamineral.com
設置・導入条件		水質底質の状態分析により、3 種のセラミックの割合と使用量を決定する。 設置場所は、富栄養化した湖沼、海域及び汽水域や干潟が有効である。
必要なメンテナンス		設置後のメンテナンス不要
耐候性と製品寿命等		設置環境により変動するが、設置後の製品寿命は概ね 2 年間
施工性		設置例）設置区域において、セラミックをポリエチレン製ネット袋に入れて設置する。各袋は流出防止用の固定棒で海底（湖底）に固定する。あるいは、船等から海底に投入、設置する。
設置期間		設置環境に合わせて設定する
コスト概算 （条件：本コストは 現場環境や実施規模 により変動するため 最小単位 100 m ² 当 たりの参考値）	イニシャルコスト	
	土木費	施工条件による
	合計	200,000 円（参考値）
	メンテナンスコスト	
		0 円
	合計	0 円

4.2 その他メーカーからの情報

・ 導入実績

長崎県大村市 大村公園桜田の堀の水質浄化事業（2018 年）

長崎県大村市 大村湾松山団地地先の水質浄化事業（2018～2024 年）

東京大学附属牧場排水処理溜池の浄化（2019 年）

台湾 龍門中学校溜池の浄化（2022 年） 他多数

・ 特許 : 特許 7381147 底質水質浄化材及びその製造方法、並びに底質及び水質の浄化方法

本編

1. 本事業の概要

1.1 目的

環境技術実証事業（以下「実証事業」という。）は、既に実用化された先進的環境技術の環境保全効果、副次的な環境影響、その他、環境の観点から重要な性能（以下「環境保全効果等」という。）を第三者が客観的に実証することにより、環境技術実証の手法・体制の確立を図るとともに、環境技術の利用者による技術の購入、導入等に当たり、環境保全効果等を容易に比較・検討し、適正な選択を可能にすることにより、環境技術の普及を促進し、環境保全に寄与し、中小企業の育成も含めた環境産業の発展に資することを目的とする。

実証事業は、国際規格であるISO 14034：2016 [Environmental management -- Environmental technology verification (ETV)：環境マネジメントー環境技術検証(ETV)] に準拠しており、国際的に統一された枠組みで実証事業を運用している。

1.2 実証の定義

本実証事業において「実証」とは、環境技術の開発者でも利用者でもない第三者機関が、環境技術の環境保全効果等を試験等に基づき客観的なデータとして示すことをいう。なお、環境技術とは環境改善効果又は環境保全効果をもたらす先進的技術並びに環境に関する先進的な測定技術と定義する。「実証」は、一定の判断基準を設けて、この基準に対する適合性を判定する「認証」とは異なる。

1.3 実証報告書の概要

本報告書は、環境技術実証事業実施要領〔環境省大臣官房総合政策課環境研究技術室：令和5年11月16日〕（以下「実施要領」という。）の「別紙4 実証報告書及び実証報告書概要版に記載する事項」及び「別紙5 実証報告書作成要領 Ver.3.2」に基づき、作成されたものである。

本実証では、実施要領に基づいて実証対象技術として選定された「腐植質有機酸と複合ミネラルからなるセラミックを用いた水質及び底質浄化技術」について、以下に示す環境改善効果等を客観的に実証した。

また、本報告書は、専門家で構成される技術実証検討会において、実証結果に基づき、実証対象技術の環境保全効果等について検討を行った。本報告書はその実証結果を取りまとめたものである。

- ・腐植質有機酸と複合ミネラルからなるセラミックを用いた水質及び底質浄化技術による環境改善効果

2. 実施体制と実証参加者の責任分掌

実証に参加する組織及び実施体制を図 2-1 に示した。また、実証参加者と責任分掌を表 2-1 に示した。

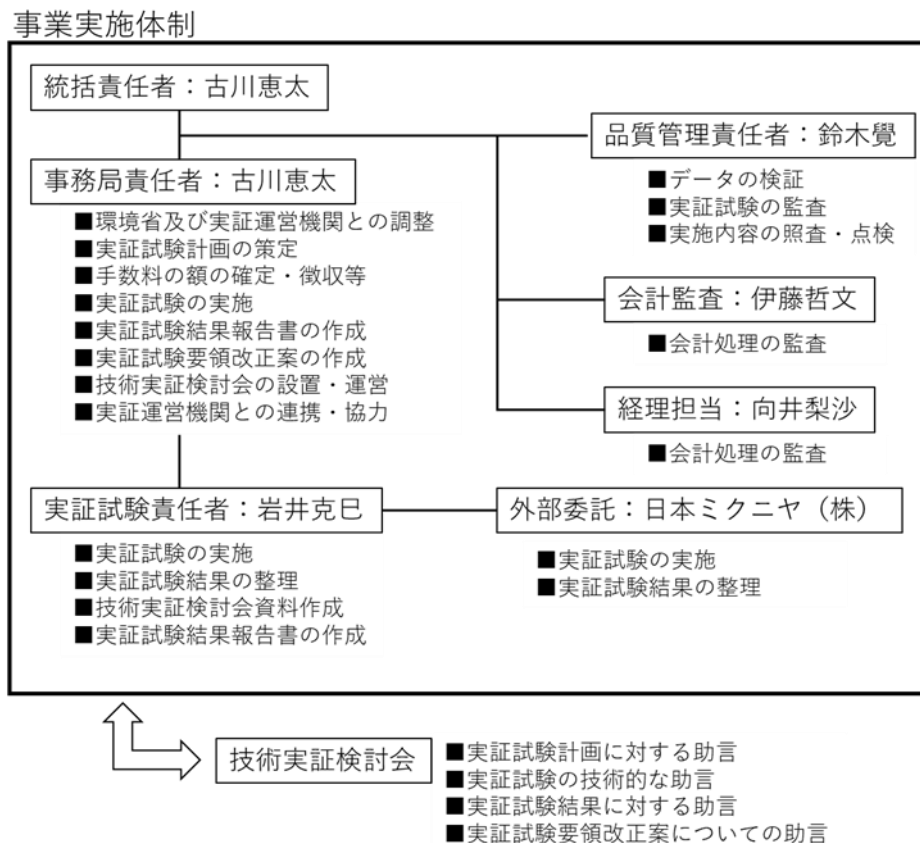


図 2-1 実証に参加する組織及び実施体制

表 2-1 実証参加者と責任分掌

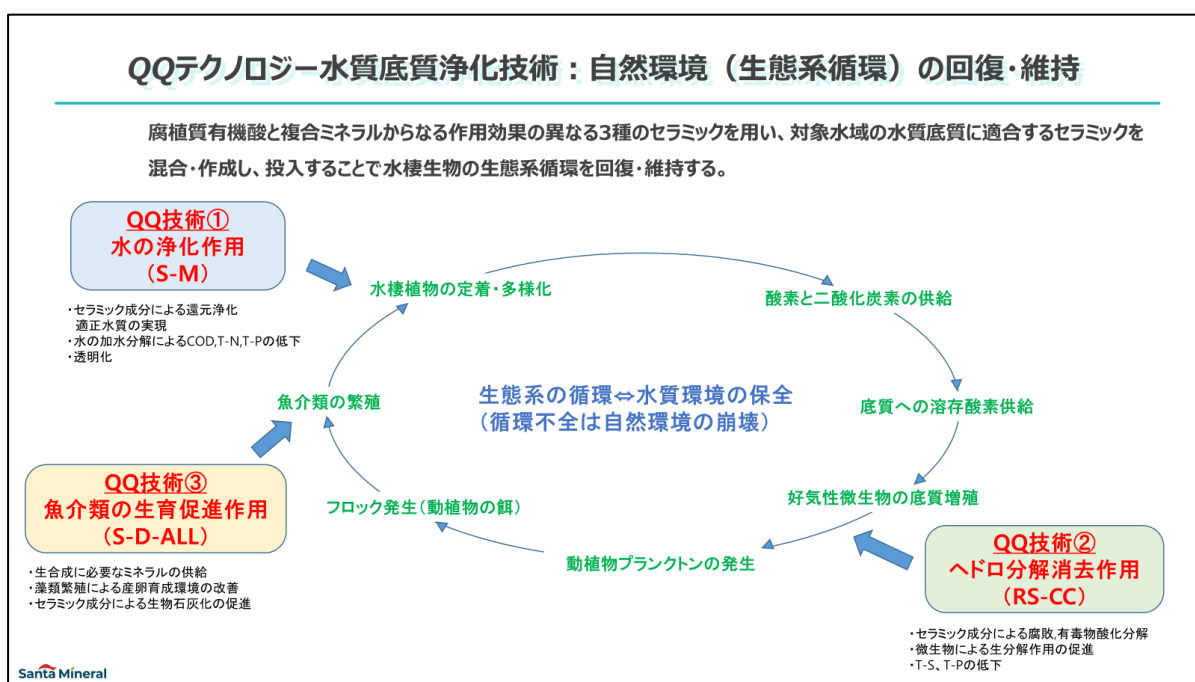
区分	実証参加機関	責任分掌	参加者
実証機関	株式会社 MAcS	実証事業の運営管理	古川恵太 岩井克己 鈴木 覺 伊藤哲文 向井理沙
		実証計画の策定	
		技術実証検討会の設置・運営	
		実証（試験）の実施	
		実証（既存データの検証）の実施	
		試験機関への外注の監督	
		実証報告書の作成	
		実証結果の内部監査の実施	
		実証に関する経理等	
		経理に係る内部監査の実施	
実証申請者	株式会社 Santa Mineral	技術情報の提供	太西るみ子 古崎孝一 武本松三 西川智佳子 Adviser 西川雅永(東京大学)
		既存データの情報の提供	
		実証対象技術の各種情報及び維持管理マニュアル等の提供	
		試験場所の提供	
		実証対象技術の準備（運搬、設置及び撤去等）	
		実証対象技術の運転及び維持管理等	
		実証（試験）に係る費用の負担	
		実証（既存データの検証）に係る費用の負担	
試験機関	日本ミクニヤ株式会社	試験の実施	藤田孝康
		試験結果（データ）の提供	鮎本健治
		試験結果の品質管理	山内稔嗣
		試験結果の整理	徳本晴海

3. 実証対象技術の概要及び仕様

3.1 実証対象技術の目的及び原理（環境保全・改善効果等）

本技術の原理と目的は以下の通りである。

- 植物由来の複合ミネラル微粒子を含む炭酸カルシウム材料①は、起電性と赤外線放射性を有し水を還元性優位にイオン化することで、水中の腐敗有機物を加水分解(溶媒和)して無機化が進行し、水質浄化させる。
- 腐植質及び鉄などの遷移金属元素含有材料②は、材料①と混合して使用する。太陽光照射により腐植質近傍に発生した過酸化水素を、鉄などの遷移金属元素の触媒作用でフェントン反応を励起し、活性酸素ヒドロキシルラジカルに変化させ、この酸化分解作用でヘドロなどの難分解性有機物や残留農薬などの有害化学物を分解除去する。材料①の還元活性作用との併用によりフェントン反応を繰り返し発生させることで、分解浄化を継続することが出来る。
- 植物性微量元素を含む材料③は材料①と混合して使用する。河川海洋の水質汚染の改善過程に伴い、水棲生物の生育において光合成や体内酵素生合成の観点から不足しているミネラル（元素）或いは、存在する化学成分と結合し生物活用不可の状態のミネラル（元素）がある場合、これを補充し海藻類の育成定着と共に魚介類などが安定的に生息できる水質とすることが出来る。
- 対象水域の水質と底質を分析し、その結果に応じ改善のためのセラミックを材料①、②、③を混合、作成し、投入することで水棲生物の生態系循環を創造することが出来る。



3.2 実証対象技術の構成

本技術の構成は以下の通りである。

商品	作用原理	効果
水質浄化用セラミック(S-M)  サイズ：25～30mm角（粒径は調整可） 比重：約2.5	起電性と電磁波放射性により、水を電気分解して還元優位にイオン化する	水中の有機物を加水分解する
水質底質浄化用セラミック(RS-CC)  サイズ：10～20mm（粒径は調整可） 比重：約2.2	フェントン反応による触媒作用で、活性酸素ヒドロキシルラジカル($\cdot\text{OH}$)が発生	ヘドロなどの有機物を酸化分解し、除去する
水質底質活性ミネラル補充用セラミック(S-D-ALL)  サイズ：5～10mm（粒径は調整可） 比重：約2.0	湖沼、海洋の水質底質に不足する微量元素を水溶性の活性化状態で供給する	水棲植物の定着と増殖、魚介類の健全成長、病害抵抗性の強化などの対策

3.3 実証対象技術の仕様

(1) 仕様

①水質浄化用セラミック S-M

サイズ：25～30mm 角（粒径は調整可）

比重：約 2.5



②水質底質浄化用セラミック RS-CC

サイズ：10～20mm（粒径は調整可）

比重：約 2.2



③水質底質活性ミネラル補充用セラミック S-D-ALL

サイズ：5～10mm（粒径は調整可）

比重：約 2.0



(2) 設置方法及び設置条件

使用方法：水質底質の状態分析により、3種のセラミックの割合と使用量を決定する

設置例）設置区域において、セラミックをポリエチレン製ネット袋に入れて設置する。各袋は海上等に流出しないように固定棒で海底（湖底）に固定する。あるいは、船等から海底に投入、設置する。

(3) 運転方法及び運転条件

上記(2)記載のとおり、底質上にネット等で固定して使用する。

(4) 維持管理方法

底質上に固定設置後は、特記すべき継続的な維持管理は必要としない。

(5) 消耗品等

初期設置のための、セラミック固定用の杭、ネット網等が必要。

4. 試験場所等の概要

4.1 試験場所の情報

試験実施場所の名称（所在地）、管理者を表 4.1- 1、試験実施場所を図 4.1- 1 に示す。

表 4.1-1 実証（試験）場所と各種情報等

実証（試験）場所	長崎県大村市杭出津 1 丁目
管理者	大村市漁業協同組合

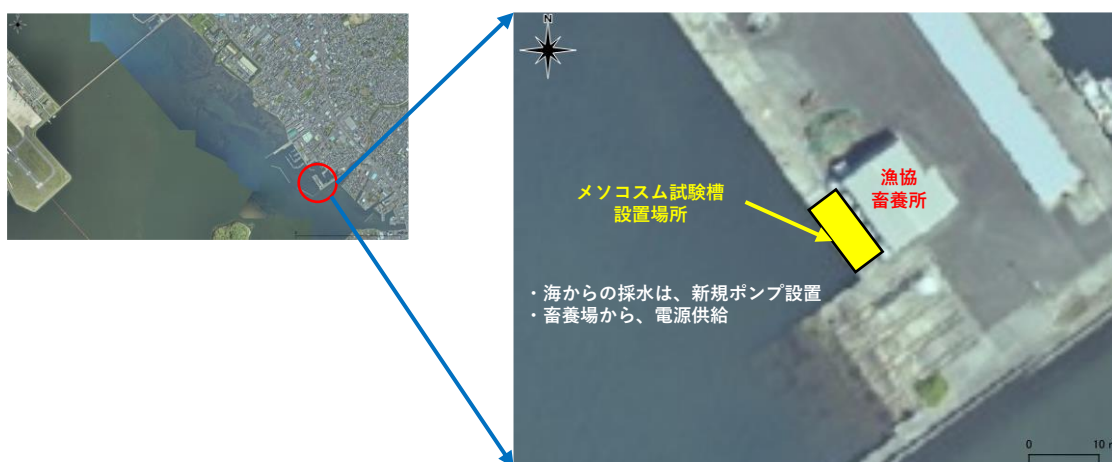


図 4.1-1 試験実施場所

4.2 試験方法及び条件

図 4.2-1 に実験装置の概要を示す。

設置は、約 0.9m×約 1.2m 程度の大型の水槽（以下「実験水槽」と呼ぶ）を用いて海域の疑似環境を創出するメソコスム実験系にて行った。

試験は、実験水槽に壱岐周辺海域で採取した海砂（厚さ 10cm で敷設）と、試験場所前面の大村湾で採取した有機泥（有機物量の多い軟泥：厚さ 5cm で敷設）を入れ、本技術（セラミック）を投入した試験槽と入れない対照槽を作成して実施した。また、新生堆積物への効果を検証するため、砂のみを入れた実験水槽も作成し、同様に実施した。

実験水槽への海水の供給は、現地の海水をポンプ（セムコーポレーション製 水中ポンプ CCP-200 最大吐出力 120L/min）で揚水し、分岐させたのち掛け流して実施した。かけ流しホースの先端は、水槽の水面下 10cm の位置に設置した。使用する実験水槽は容量 700 リットル（底面サイズ 880mm×1200mm）であり、掛け流す海水の量は、1 潮汐（12 時間）で海水が入れ替わることを想定し 0.7 リットル/分とした。

投入するセラミックは 2～3cm の大きさと、1m² あたり 1000g（水質浄化用セラミック S-M：300g、水質底質浄化用セラミック RS-CC：700g）になるように均一に試験槽内に配置した。

なお、試験開始から 3 か月程度で実験水槽の底質表面全体が藻類で覆われる状況となった。そのため、実験水槽内の藻類の付着を軽減させるため、令和 6 年 9 月 26 日から、掛け流す海水量を 1.1 リットル/分とした。また、実験開始時に投入したセラミックも藻類に覆われたため、同日の令和 6 年 9 月 26 日に、セラミックの追加投入〔1m² あたり 2000g（水質浄化用セラミック S-M：200g、水質底質浄化用セラミック RS-CC：1800g）〕を行った。図 4.2-2 に実験装置の設置状況、図 4.2-3 に実験水槽の海水供給状況を示す。

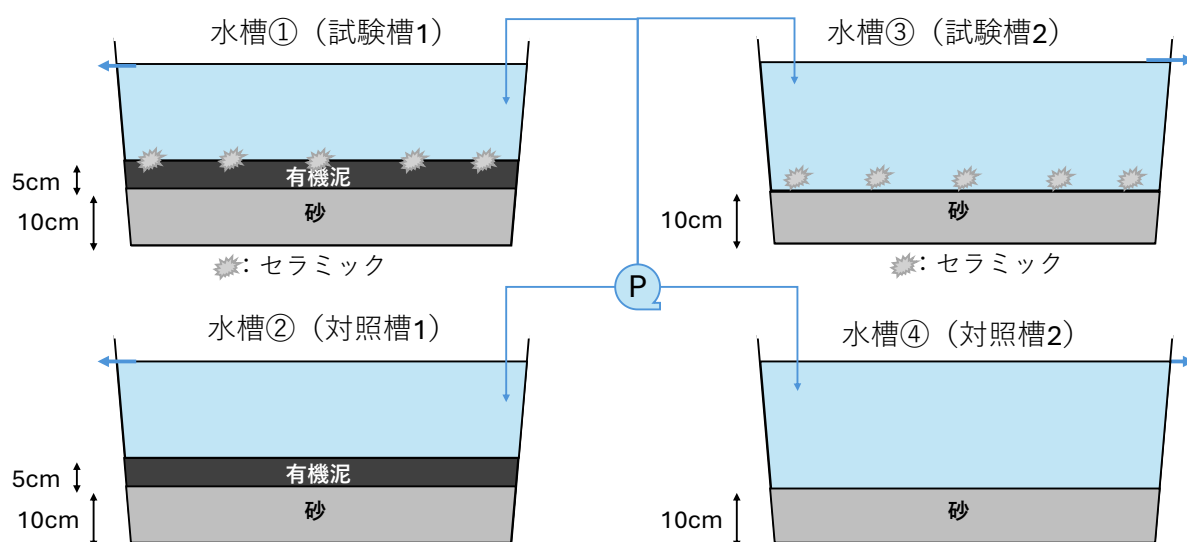


図 4.2-1 実験装置の概要



図 4.2-2 実験水槽の設置状況



図 4.2-3 実験水槽の海水供給状況

4.3 実証対象技術の全体構成

実証対象技術の構成を表 4.3-1 に、使用する腐植酸セラミックを図 4.3-1 に示す。

表 4.3-1 実証対象技術の構成

商品名	敷設量	作用原理	効果
水質浄化用セラミック (S-M)	300g/m ²	起電性と電磁波放射性により、水を電気分解して還元優位にイオン化する	水中の有機物を加水分解する
水質底質浄化用セラミック (RS-CC)	700g/m ²	フェントン反応による触媒作用で、活性酸素ヒドロキシルラジカル(・OH)が発生	ヘドロなどの有機物を酸化分解し、除去する



水質浄化用セラミック (S-M)



水質底質浄化用セラミック (RS-CC)



図 4.3-1 使用する腐植酸セラミック

各セラミックの作用原理は以下の通りである。

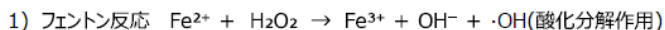
【水質浄化用セラミック (S-M)】

- ・主成分により水自体に溶媒和作用を励起させ、加水分解作用により有機物を分解させる。
 - ・セラミックの主成分は炭酸カルシウムであるが、その主成分中に同じ炭酸カルシウムでありながら、所謂メソスコピックと称する粒子径50nm程度の炭酸カルシウム集成微粒子(水中では一部が炭酸水素カルシウムとなる。)が含まれており、その構造の特異的構造に由来し自己起電性と赤外線電磁波の放射作用を有する。
 - ・自己起電性により電場を形成することでセラミックと接する水を電解してイオン化し、さらに赤外線電磁波を水に吸収させ水自体の分子の振動運動を還元活性化させる。このことにより水分子の持つ物性である界面活性作用を強力に発生させ、そこに溶解する腐敗性の有機物を加水分解することが可能である。一方、電解により発生するH⁺イオンは炭酸カルシウムの微粒子構造内に水素原子として吸蔵されるので、水質はOH⁻優位のアルカリ性の傾向となる。
 - ・また、この炭酸カルシウム微粒子に接する周辺の水のpHは、約12.5となり発生する電場の作用と相補し、トリクロロエチレンなどの有害化学物質を原子レベルに分解したり、ウイルスや単細胞微生物の膜内に作用し死滅させることが可能である。しかしながら電気的作用の有効範囲が極めて小さく、結合組織を持つ動物や植物など多細胞生物に対しては全く無害である。
- 1) $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ ……水を直接的に電解
 - 2) $\text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{OH}^-)\text{H}_2\text{O} \cdots (\text{H}_3\text{O}_2^-)$ 界面活性作用の想定分子構造
 - 3) $\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{CaCO}_3$ 構造内に吸蔵又はH₂ガスで放散
- ・水質悪化の一因となる富栄養成分に窒素とリンがある。セラミックの作用に基づき窒素化合物については、その構造内に加水し水素結合を溶媒和により解き、最終的に大気窒素として戻す作用を有する。リン化合物については、その構造内に加水しセラミック成分由来のカルシウムイオンと結合させ、不溶性の水棲微生物が利用出来ないリン酸カルシウムの形態で固定化させる。この作用により富栄養化による水質悪化を改善することが出来る。

参考文献：Akikazu Sakudo; Makoto Haritani; Koichi Furusaki; Rumiko Onish; Takashi Onodera. Electrically Charged Disinfectant Containing Calcium Hydrogen Carbonate Mesoscopic Crystals as a Potential Measure to Control Xanthomonas campestris pv. campestris on Cabbage Seeds. Microorganisms 2020, 8(10), 1606.

【水質底質浄化用セラミック（RS-CC）】

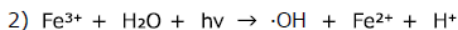
・主成分として腐植質と鉄分及び炭酸カルシウムを用い、フェントン反応により生成される活性酸素ヒドロキシルラジカル($\cdot\text{OH}$)の酸化作用により、難分解性有機化合物を分解浄化する。フェントン反応とは過酸化水素(H_2O_2)の存在下で、二価鉄イオンが分解触媒として作用することで活性酸素ヒドロキシルラジカル($\cdot\text{OH}$)が生成される事である。



・セラミック配合成分の腐植質は、不定形有機酸として主に芳香族炭化水素を含むフミン酸とフルボ酸の成分で構成され、これに炭酸カルシウムと植物由来の抗酸化物質ポリフェノールを配合する。腐植質成分中の芳香族炭化水素類に、例えば太陽光の紫外線波長の光が照射されると水分の存在下で過酸化水素が生成されることが知られている。生成される過酸化水素に対して、セラミックに配合される鉄分(二価鉄)が過酸化水素を分解する触媒として作用し、水酸化物イオン(OH^-)と共にヒドロキシルラジカル($\cdot\text{OH}$)が生成される。

・ヒドロキシルラジカル($\cdot\text{OH}$)は強力な酸化作用を有し、微生物による生分解不全等により発生するヘドロ状有機物やトリクロロエチレン等の難分解性有機化合物を分解浄化することが出来る。

・有機物類が酸化分解された際に、二価鉄(Fe^{2+})は三価鉄(Fe^{3+})になりフェントン反応の作用性は三価鉄状態で停止する。しかし光(540nm付近以下)が照射されると三価鉄イオンは光還元反応を発生させ、ヒドロキシルラジカル($\cdot\text{OH}$)の生成と同時に二価鉄に還元されることが明らかになっている。光は同一材としてのフェントン反応の繰り返し発生に不可欠である。



・本セラミックは独自技術として光を必要とせず、フェントン反応を繰り返し発生させる。太陽光照射により発生する過酸化水素と二価鉄のフェントン反応の後、暗夜において、セラミック配合材の電子供与と還元作用による三価鉄の還元再生を行うことで、フェントン反応に必要な鉄分の供給を必要とせず反応を継続させることが出来る。本技術では、浄化に伴う鉄の過剰な投入による2次汚染を防止することが出来る。

5. 実証方法

5.1 実証全体のスケジュール

実証試験の全体概要を図 5.1-1 に、実施工程を表 5.1-1 に示す。

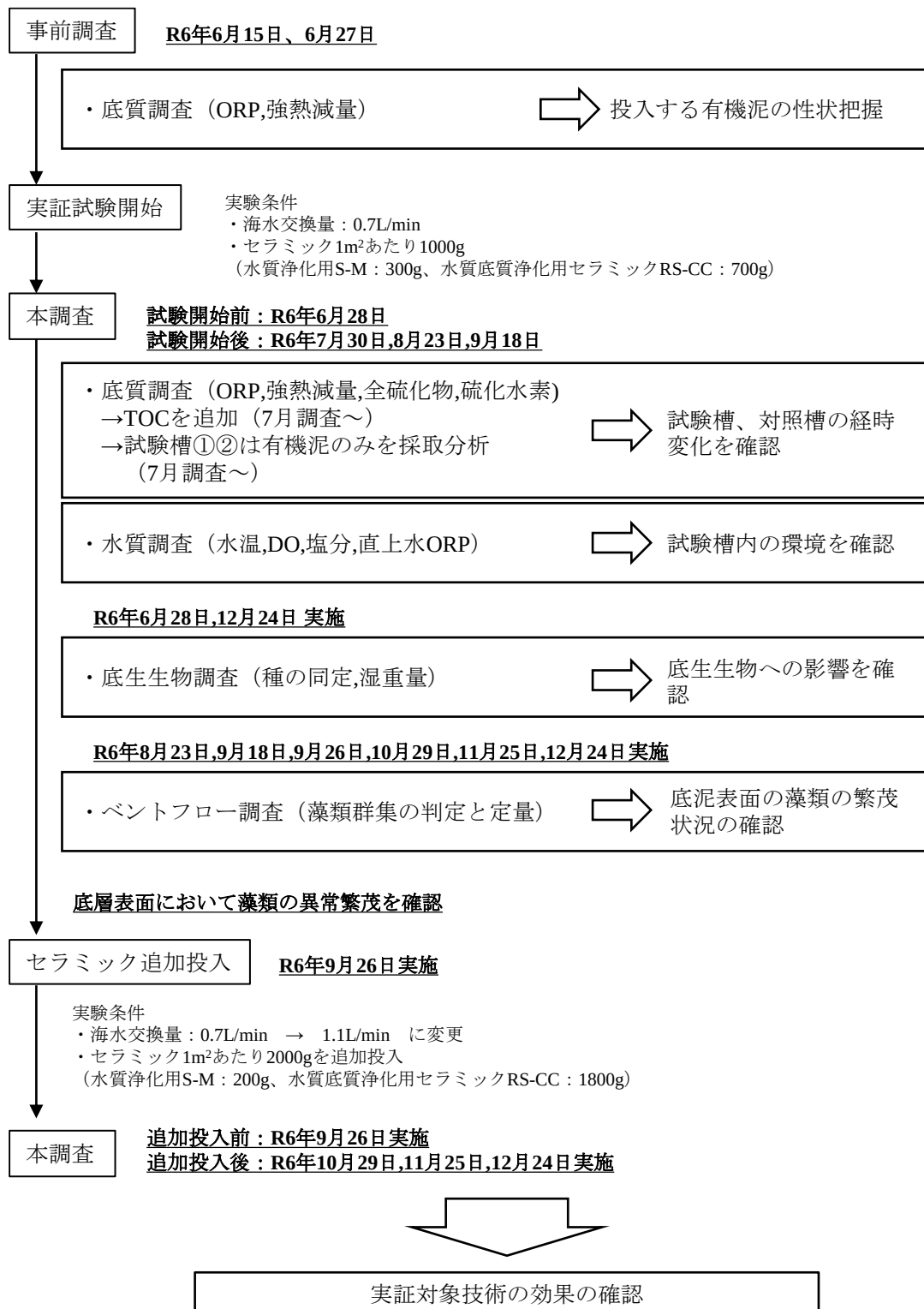


図 5.1-1 実証試験の概要

表 5.1-1(1) 実施工程（実証事業全体）

	2024年												2025年									
	5月		6月		7月		8月		9月		10月		11月		12月		1月		2月		3月	
事前調査			15	27																		
技術の設置				27																		
現地調査			28		30		23	18	26		29		25		24							
追加投入									26													
結果整理																						
とりまとめ																						
技術実証検討会					18																	13

表 5.1-1(2) 実施工程（実証試験）

	2024年																		2025年	
	5月			6月		7月			8月		9月		10月		11月		12月		1月	
事前調査				15	27															
技術の設置					27															
セラミック追加投入											26									
現地調査					28			30			23	18	26			29		25		24
水質調査					●			●			●	●			●		●			●
底質調査					●			●			●	●	●		●		●			●
底生生物調査					●															●
ベントフロー調査										●		●	●		●		●			●
自主調査																				
光応答反応試験												27		30						
付着生物調査（フジツボ）																	25		24	
付着生物調査（藻類）														29			25		24	22

5.2 実証項目

実証項目および目標水準を表 5.2-1 に示す。

各実証項目の目標水準を評価基準とし、対照槽と比較することにより評価した。

表 5.2-1 実証項目と目標水準

実証項目	目標水準
全硫化物	対照槽と比較して試験槽が低い
間隙水中の硫化水素	対照槽と比較して試験槽が低い
有機物量 (強熱減量、TOC、泥厚)	対照槽と比較して試験槽が低い

5.3 実証方法

5.3.1 事前調査

(1) サンプルング及び試料採取方法

実験水槽で使用する有機泥の採取性状を把握するため、実証試験開始前の6月15日に大村湾内の実証試験場所近傍の海域において底質の事前採取を行った。また、6月27日の実験水槽敷設前に有機泥を分取し、性状の確認を行った。図5.3-1に有機泥採取位置、表5.3-1に事前調査分析項目及び分析方法を示す。



図 5.3-1 有機泥採取位置

(2) 分析方法

採取した試料について、以下の項目について分析した。

表 5.3-1 事前調査分析項目及び分析方法

項目	調査方法	サンプリング数	調査時期
ORP	機器計測（白金電極法）	3 検体	令和6年6月15日
強熱減量	底質調査方法（H24.8）Ⅱ-4.2	3 検体	令和6年6月27日

5.3.2 水質調査

(1) サンプルング及び試料採取方法

各実験水槽の環境条件を把握するため、ORP、水温、DO の連続観測、および底質調査時の塩分計測を行った。ORP は各水槽において底上 1.0cm に固定し連続観測を行った。水温、DO、塩分は、実験水槽の中央の 1/2 水深の位置において計測した。表 5.3-2 に水質計測方法を、図 5.3-2 に機器設置状況、図 5.3-3 に水質計測状況を示す。

(2) 分析方法

水質計測方法を下記に示す。

表 5.3-2 水質計測方法

項目	調査方法	サンプリング数	調査時期
ORP（直上水）	連続機器計測	4 ケース×6 ヶ月	令和 6 年 6 月～12 月
水温・DO	連続機器計測		
塩分	機器計測	4 ケース×7 回	令和 6 年 6 月、7 月、8 月、9 月、10 月、11 月、12 月

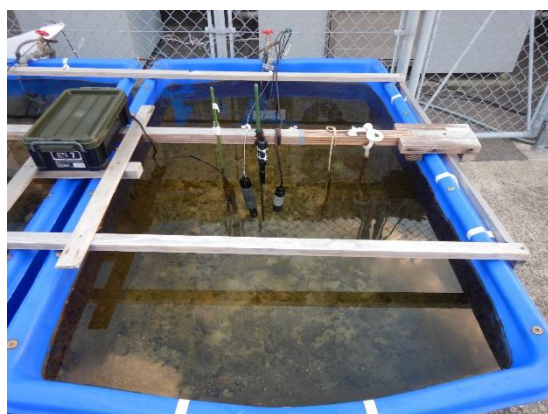


図 5.3-2 左図：機器設置状況 右図：直上水 ORP 計測状況



図 5.3-3 水質計測状況

5.3.3 底質・底生生物調査

(1) サンプルング及び試料採取方法

底質調査は、6月から12月の毎月1回（9月は2回）、の合計8回、底生生物調査は、6月および12月の2回、試験槽1（水槽①）・対照槽1（水槽②）および新生堆積物効果検証用の試験槽2（水槽③）・対照槽2（水槽④）それぞれで行った。

底泥は、 $\phi 6.5\text{cm}$ のアクリルのコアを用いて3カ所で柱状採取した。有機泥を投入した水槽①、水槽②については、7月調査以降、採取した柱状試料から有機泥部分を分取し、泥厚を測定後分析に供した。補足調査としてセラミック追加散布後の10月11月、12月の調査において、水槽①および水槽②で採取した有機泥を厚さ1cmで4層に分画し、別途強熱減量、TOCの分析を行った。

また、12月調査時には、水槽③において堆積物の減少が目視で見られたため、水槽③および水槽④の表層1cmを3検体採取し、強熱減量、TOCの分析を行った。

底生生物は、各水槽において定量採取したのち2mmのふるいに残ったものを試験室に持ち帰り、室内分析した。図5.3-4に水槽①、水槽②の試料採取方法を、図5.3-5に水槽③、水槽④の試料採取方法を示す。

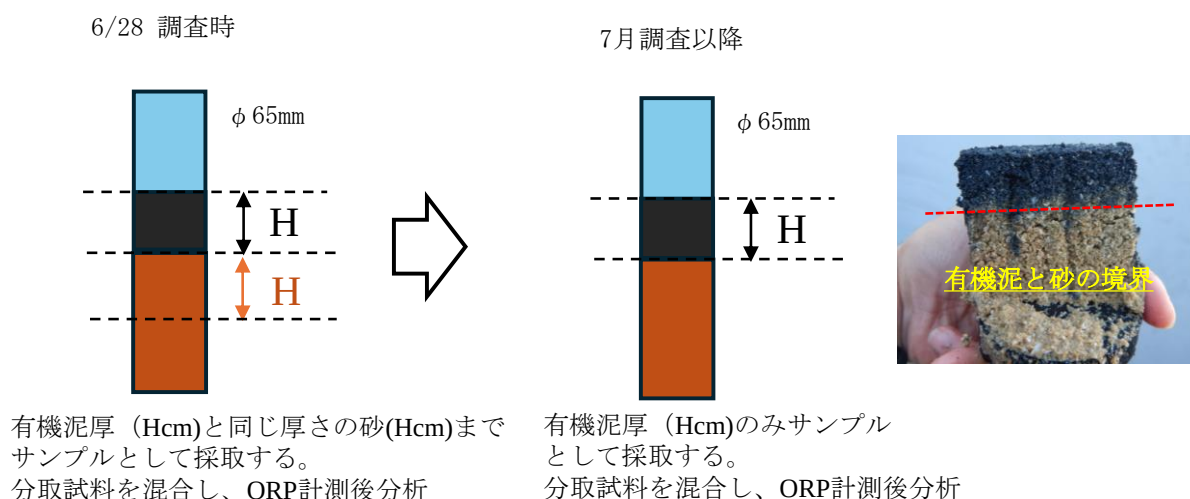


図 5.3-4 水槽①、水槽②の試料採取方法

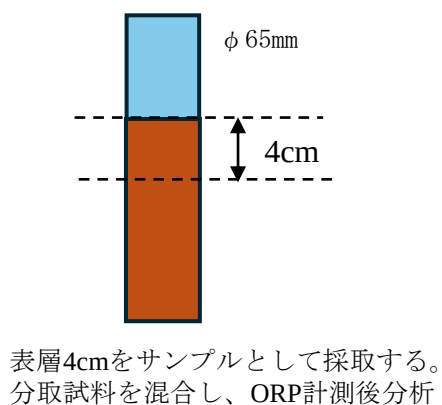


図 5.3-5 水槽③、水槽④の試料採取方法

(2) 分析方法

採取した試料について、以下の項目について分析した。表 5.3-3 に底質・底生生物分析方法を、図 5.3-6 に作業状況を示す。

表 5.3-3 底質・底生生物分析方法

項目	調査方法	サンプリング数	調査時期
ORP（底質）	機器計測	4 ケース×8 回 ×3 検体	令和6年6月、7月、8月、9月、10月、11月、12月
強熱減量	底質調査方法（H24.8）Ⅱ-4.2		
硫化水素（間隙水）	S47. 環告9号 別表第2 第3 に準拠		
全硫化物	底質調査方法（H24.8）Ⅱ-4.6		
有機泥厚	目視計測	2 ケース×8 回 ×6 検体	
TOC ※第1回技術検討会を踏まえ追加	底質調査方法（H24.8）Ⅱ-4.10	4 ケース×7 回 ×3 検体	令和6年7月、8月、9月、10月、11月、12月
底生生物の分析（種の組成・湿重量）	室内分析	4 ケース×2 回 ×1 検体	令和6年6月、12月



図 5.3-6 左図：柱状試料採取状況 右図：底生生物 ふるい分け作業状況

5.3.4 ベントフロー調査

(1) サンプルング及び試料採取方法

第1回検討会での助言を踏まえ、底泥表面における藻類の繁茂状況を把握するためベントフロー（Bbe社製、Bentho-Fluor）による調査を令和6年8月より追加実施した。

測定方法は、本体送受光部が接続した光ファイバーを、底泥表面に押し付けて行った。

また、補足調査として期間中に2回、底泥表面から藻類を採取し、種の組成、細胞数の分析を行った。表5.3-4にベントフロー調査概要を、図5.3-7に計測機器（ベントフロー）と計測状況を示す。

(2) 分析方法

調査方法を下表に示す。

表 5.3-4 ベントフロー調査概要

項目	調査方法	サンプリング数	調査時期
生物群集の判定・定量	連続機器計測	4 ケース×6 回	令和6年8月、9月、10月、11月、12月
付着藻類の分析 (種の組成・細胞数)	室内分析	4 ケース×2 回	令和6年8月、9月



図 5.3-7 左図：計測機器（ベントフロー） 右図：計測状況

5.3.5 自主調査（光応答反応試験）

（1）サンプリング及び試料採取方法

効果の持続性に寄与する反応である光応答反応がメソコスム実験系で起きているかどうかを確認検証するために、試験中に実験水槽のポンプを停止し一時的に閉鎖性環境を作り、本技術を投入した試験槽と入れない対照槽で調査を実施した。調査は、晴天時の日中と夜間に行い、日中2回、夜間2回の計4回採水を行った。実験槽の海水かけ流しを停止24時間後、サンプリングを実施。採水したサンプルはアルミ箔で光遮断し、研究所に持ち帰り、分析を行った。表5.3-5に光応答反応試験分析方法を示す。

（2）分析方法

光応答反応試験の分析方法を下表に示す。

表 5.3-5 光応答反応試験 分析方法

項目	調査方法	サンプリング数	調査時期
二価鉄・三価鉄（セラミック近傍の海水）	JIS K 0102 57.1 フェナントロリン吸光光度法	2 ケース×4 回	令和6年9月、10月
過酸化水素	酵素を用いた4-アミノアンチピリン吸光光度法※		

※JIS K 0102 28.1.2 4-アミノアンチピリン吸光光度法と同等の発色原理を利用。反応助剤に酵素を使用した。

5.3.6 自主調査（付着生物調査）

（1）サンプリング及び試料採取方法

実験開始から時間の経過とともに実験水槽の側面にフジツボ等の生物付着が見られた。実験水槽における生物付着の状況を把握するため、11月、12月調査時に目視にてフジツボ類の個体数、殻口径の計測を行った。

また、10月調査以降、特に水槽①と水槽③において、微細な緑藻類の繁茂が確認されたため、緑藻類の被度を確認した。表5.3-6に付着生物分析方法を示す。

（2）分析方法

付着生物の分析方法を下表に示す。

表 5.3-6 付着生物 分析方法

項目	調査方法	サンプリング数	調査時期
フジツボ類の個体数、殻口径	目視計測	4 ケース×2 回	令和6年11月、12月
緑藻類の被度	目視計測	4 ケース×4 回	令和6年10月、11月、12月、1月

5.3.7 自主調査（底質調査）

（1）サンプリング及び試料採取方法

補足調査としてセラミック追加散布後の10月、11月、12月の調査において、水槽①および水槽②で採取した有機泥を厚さ1cmで4層に分画し、別途強熱減量、TOCの分析を行った。表5.3-7に底質分析方法を示す。

（2）分析方法

採取した試料について、以下の項目について分析した。

表 5.3-7 底質分析方法

項目	調査方法	サンプリング数	調査時期
強熱減量	底質調査方法（H24.8）Ⅱ-4.2	2 ケース×4 層 ×3 回	令和6年10月、11月、12月
TOC	底質調査方法（H24.8）Ⅱ-4.10		

6. 試験結果

6.1 事前調査

事前調査で採取した有機泥の分析結果を表 6.1-1、6.1-2 に、図 6.1-1 に有機泥の外観、図 6.1-2 に有機泥敷設状況を示す。

6 月 15 日に事前採取した有機泥の外観は黒色であり、臭気は腐卵臭であった。性状は粗砂・細礫まじりシルトであった。酸化還元電位は平均で-440mV であり還元状態であった。

実験水槽設置前に分取した有機泥の外観は黒色であり、臭気は腐卵臭であった。性状は細砂～粗砂質のシルトであった。酸化還元電位は平均で-364mV であり還元状態であった。

表 6.1-1 事前調査結果（6 月 15 日）

項目		試料 1	試料 2	試料 3	平均
ORP	(E mV)	-441	-444	-434	-440.0
強熱減量	(% dry)	5.41	4.47	4.35	4.74
土色		黒			
臭気		腐卵臭			
性状		粗砂,細礫まじりシルト			

表 6.1-2 事前調査結果（6 月 27 日）

項目		試料 1	試料 2	試料 3	平均
ORP	(E mV)	-359	-365	-368	-364.0
強熱減量	(% dry)	5.57	4.98	5.40	5.32
土色		黒			
臭気		腐卵臭			
性状		砂質（細砂～粗砂）シルト			



図 6.1-1 有機泥の外観（左図：6/15 調査時、右図：6/27 調査時）



図 6.1-2 有機泥敷設状況（左：敷設前、右：敷設後）

6.2 水質調査結果

底質調査時の塩分計測結果を表 6.2-1 及び図 6.2-1 に、DO、水温、ORP の連続観測結果を図 6.2-2、図 6.2-3 に示す。なお、気象データとして気象庁（大村）の降水量を併せて記載した。

塩分は、調査開始から 7 月にかけては 30 以下であったが、8 月以降 31~32 で安定していた。

直上水の ORP は、7 月から 8 月にかけて降雨時に一時的な低下がみられたが、各水槽とも概ね酸化的气氛であった。

水温は、各水槽とも日周変動を示しており、各水槽に大きな差は見られなかった。

DO は、水温と同様に日中上昇し夜間低下する日周変動を示しており、水槽②において 8 月後半の夜間に一時的に 3.0mg/l 以下の貧酸素となったが、各水槽とも継続して貧酸素となる状況は見られず、水槽間に顕著な差は見られなかった。

表 6.2-1 塩分計測結果

	6/29	7/30	8/23	9/18	10/29	11/25	12/24
水槽①	29.08	31.75	31.71	31.76	32.59	32.56	32.54
水槽②	29.29	29.97	30.92	31.61	32.27	32.04	32.16
水槽③	29.15	29.99	31.47	31.55	32.46	32.18	32.34
水槽④	29.39	29.95	31.72	31.64	32.15	32.08	32.13

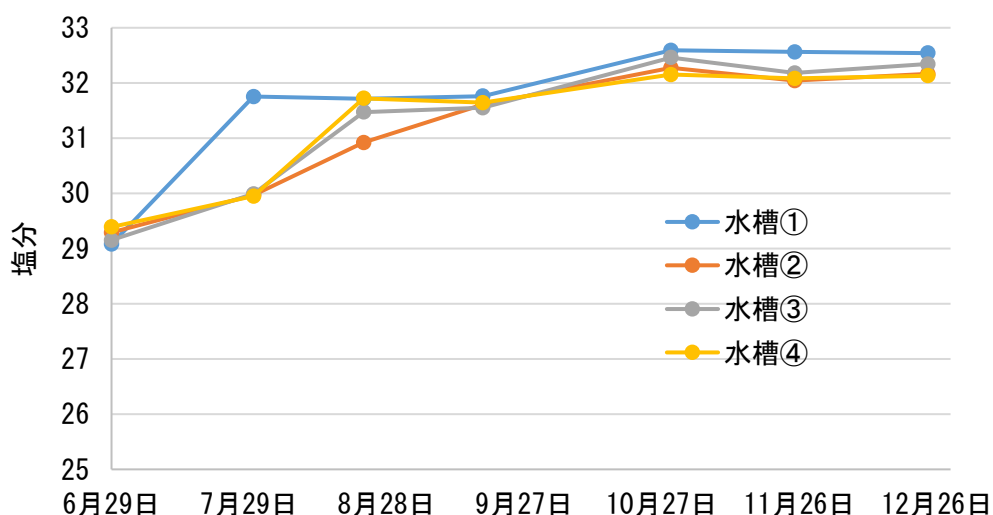


図 6.2-1 塩分計測結果

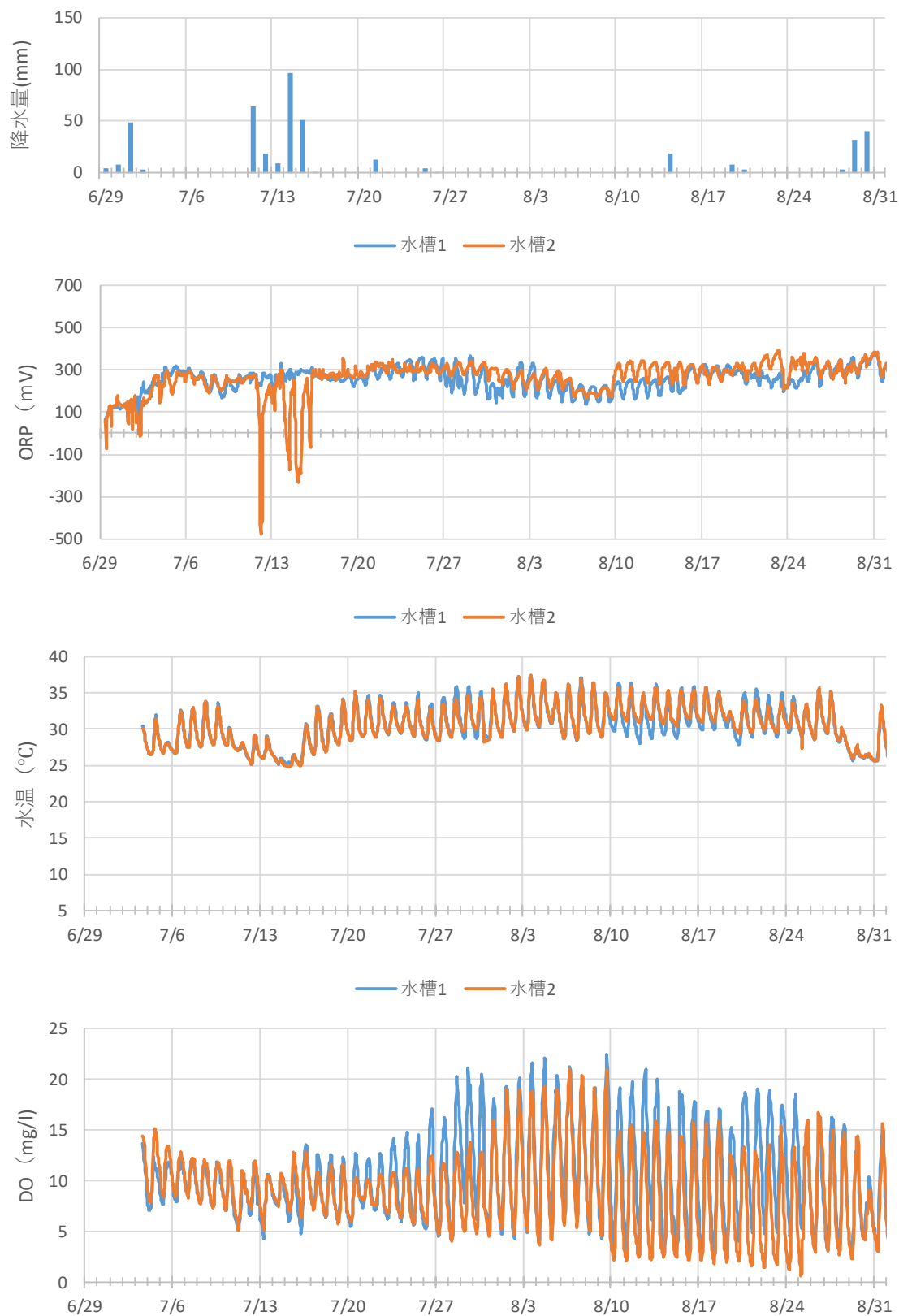


図 6.2-2(1) ORP・水温・DO 観測結果（水槽①② 6～8 月）

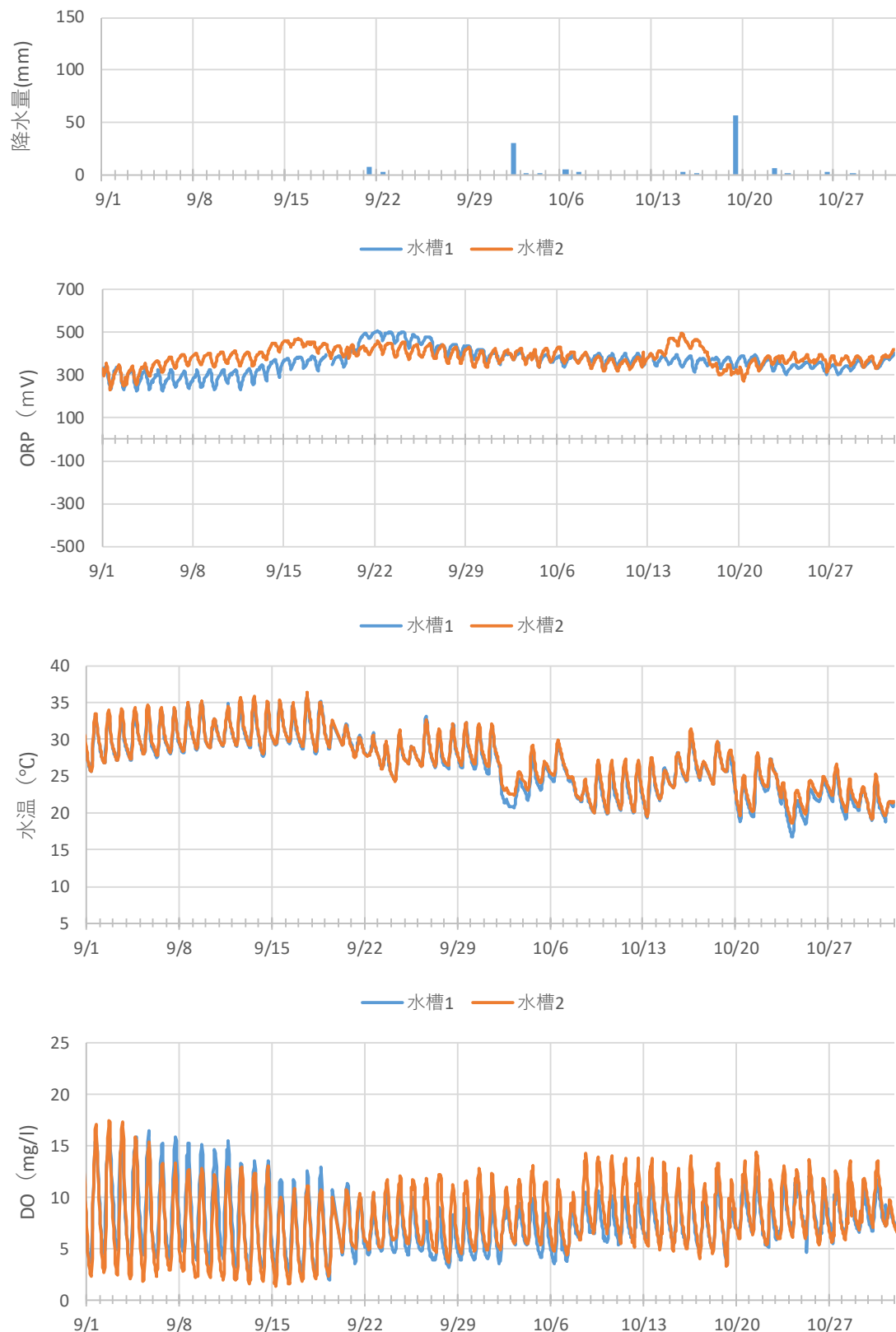


図 6.2-2(2) ORP・水温・DO 観測結果（水槽①② 9～10 月）

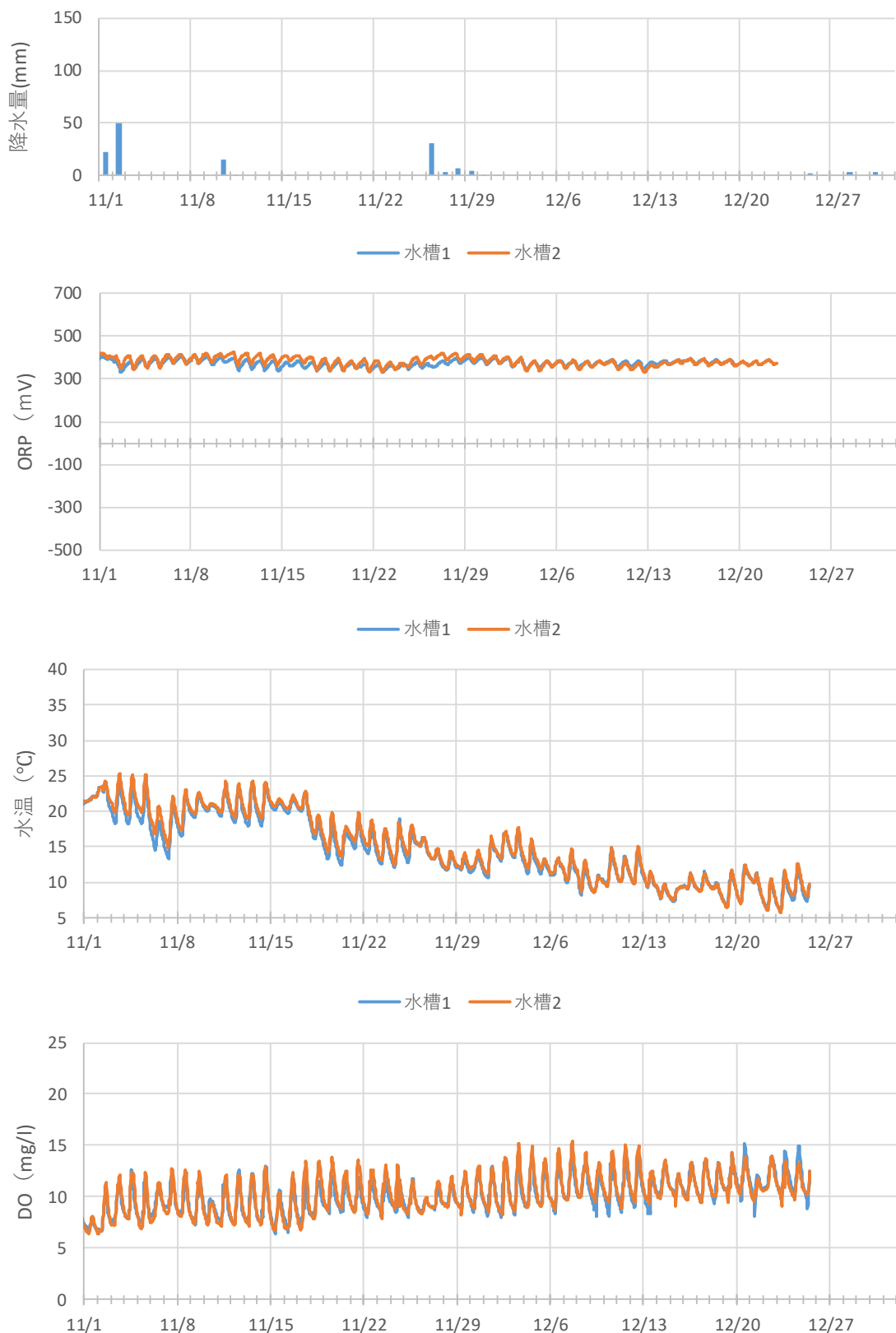


図 6.2-2(3) ORP・水温・DO 観測結果（水槽①② 11～12 月）

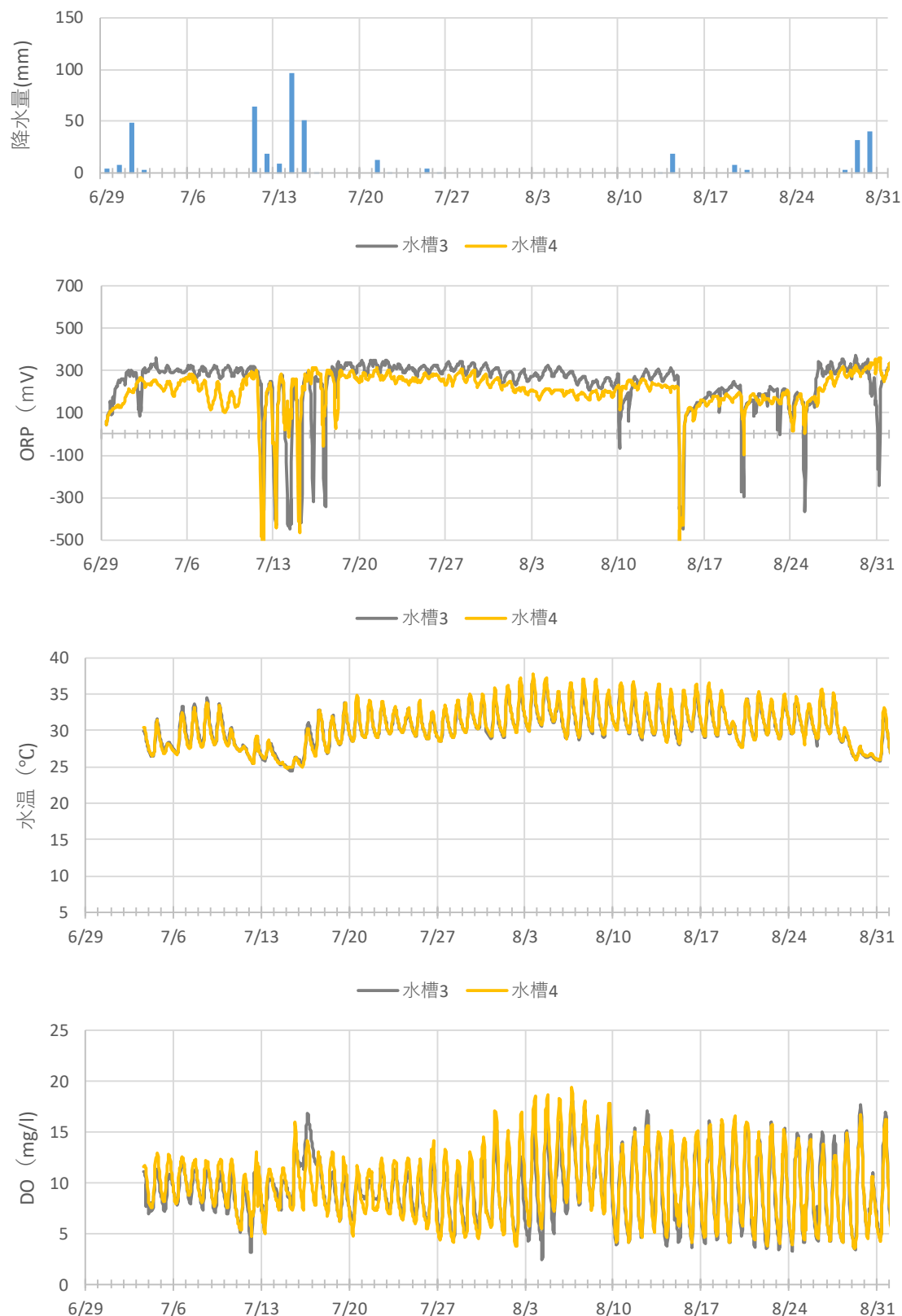


図 6.2-3(1) ORP・水温・DO 観測結果（水槽③④ 6～8 月）

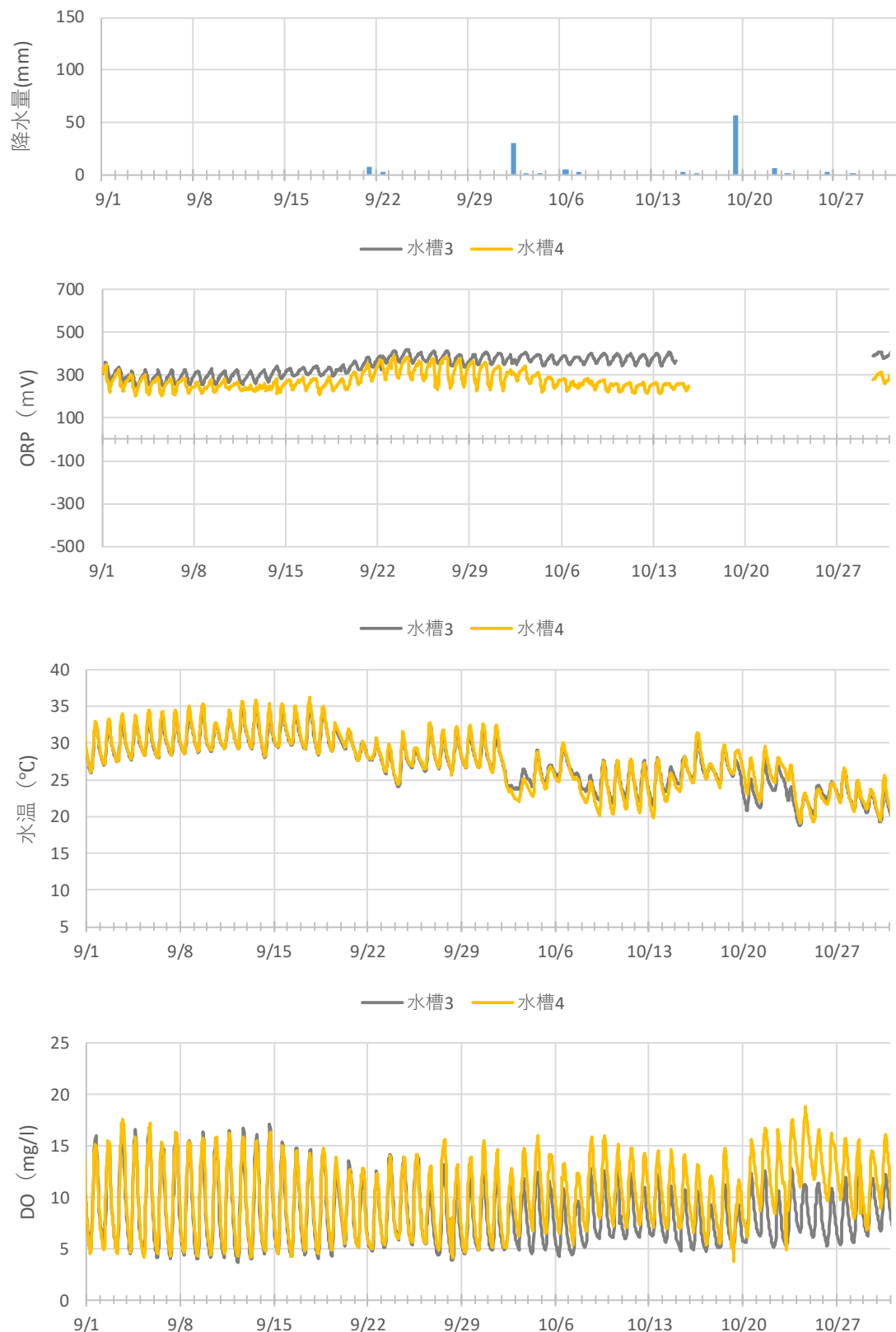


図 6.2-3(2) ORP・水温・DO 観測結果（水槽③④ 9～10 月）

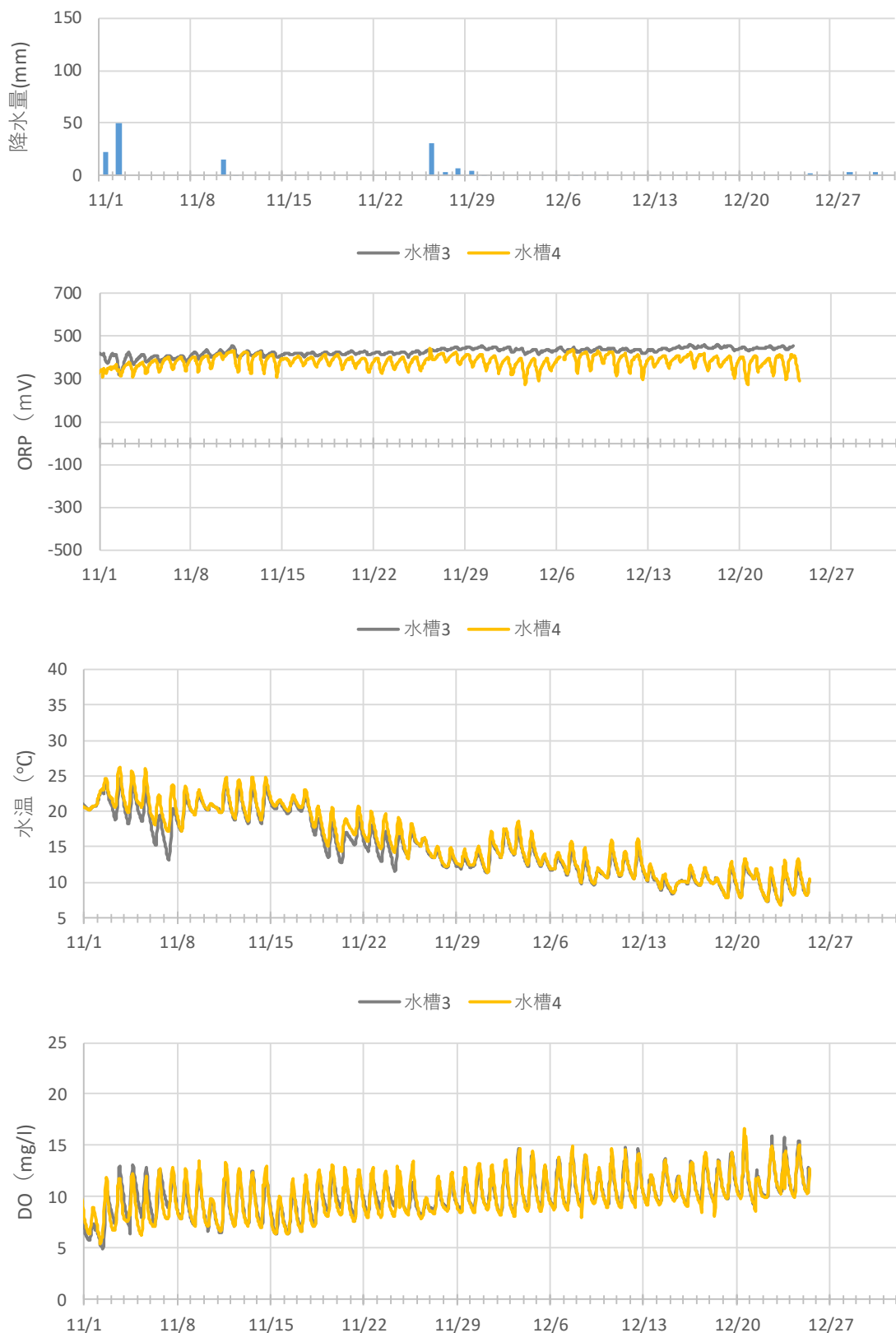


図 6.2-3(3) ORP・水温・DO 観測結果（水槽③④ 11～12 月）

6.3 底質調査・底生物調査

6.3.1 底泥表面の外観

各試験水槽の底泥表面の外観の変化を表 6.3-1~6.3-4 示す。

・試験槽 1（水槽①）

7/30 調査時では、底泥表面に厚さ 0.5~1cm 程度の生物被膜が形成され、8/23 調査時にはセラミックが目視で確認できない状況まで繁茂していた。

9/26 調査時では、底泥表面に見られた生物被膜が減少し、微細な藻類の堆積が見られた。

10/29 調査では、糸状の緑藻類が繁茂する状況が確認され、11/25 調査時には水槽底面の約 1/3、12/24 調査では約 1/2 まで拡大した。

また、9/26 調査時に 1cm 程度あった微細な藻類の堆積厚は、12/24 調査時には数ミリ程度まで減少し、一部で底泥表面が確認できる状況であった。

・対照槽 1（水槽②）

水槽①と同様に、7/30 調査時では底泥表面に厚さ 0.5~1.5cm 程度の生物被膜が形成されていた。

9/18 調査では生物被膜が消失し、1cm 程度の微細な藻類の堆積が見られ、同様の状況が 12/24 調査時まで継続していた。

12/24 調査時には、一部で緑藻類の繁茂が見られた。

・試験槽 2（水槽③）

7/30 調査では、生物被膜がパッチ状に分布し、8/23 調査では底泥表面全体が覆われる状況であった。

10/29 調査では、生物被膜が消失し微細な藻類の堆積が見られた。以降、藻類の堆積範囲には徐々に減少し、11/25 調査以降は一部で砂地が確認できる状況であった。

12/24 調査では、表層堆積物の厚さが数 mm 程度であり、水槽④と比較して薄い状況であった。

また、10/29 以降、糸状の緑藻類の繁茂が確認され、11/25、12/24 調査時と分布が拡大した。

・対照槽 2（水槽④）

7/30 調査では、生物被膜がパッチ状に分布し、8/23 調査では底泥表面全体が覆われる状況であった。以降、面積は減少したが 12/24 調査まで生物被膜が残る状況であった。

12/24 調査時には、糸状の緑藻類の繁茂がみられたが、一部の範囲であった。

表 6.3-1 各実験水槽の近景の経時変化

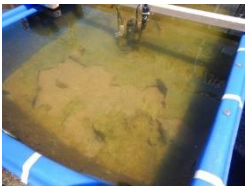
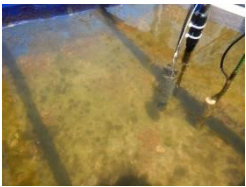
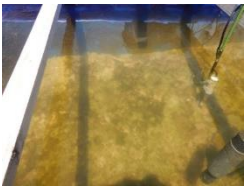
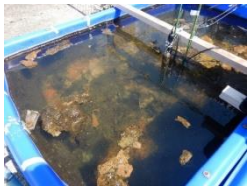
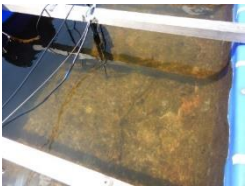
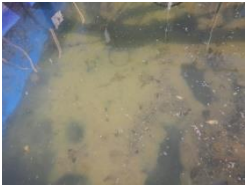
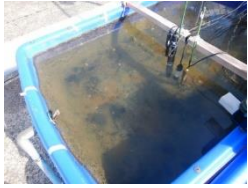
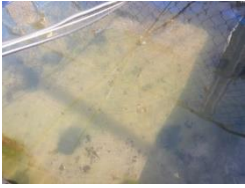
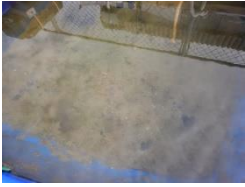
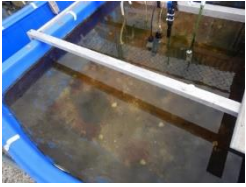
	試験槽 1（水槽①）	対照槽 1（水槽②）	試験槽 2（水槽③）	対照槽 2（水槽④）
6/28				
7/30				
8/23				
9/18				
9/26				
10/29				
11/25				
12/24				

表 6.3-2 各実験水槽の底泥表面の経時変化

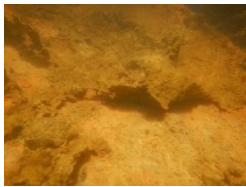
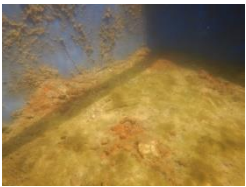
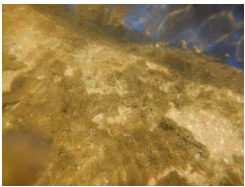
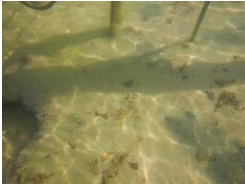
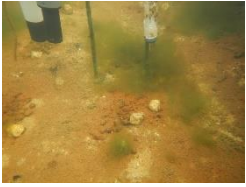
	試験槽 1（水槽①）	対照槽 1（水槽②）	試験槽 2（水槽③）	対照槽 2（水槽④）
6/28				
7/30				
8/23				
9/18				
9/26				
10/29				
11/25				
12/24				

表 6.3-3 柱状泥及び底泥表面の外観（水槽①、水槽②）

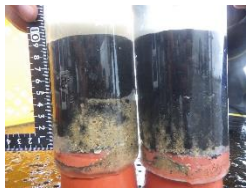
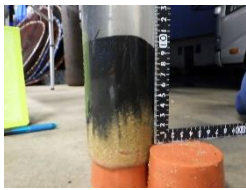
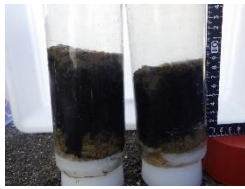
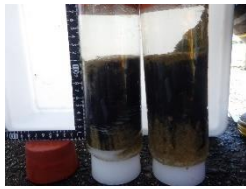
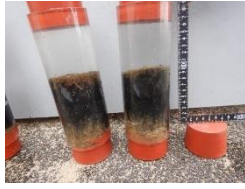
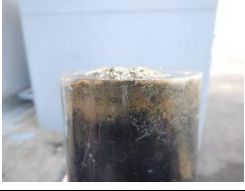
	試験槽 1（水槽①）		対照槽 1（水槽②）	
6/28				
7/30				
8/23				
9/18				
9/26				
10/29				
11/25				
12/24				

表 6.3-4 柱状泥及び底泥表面の外観（水槽③、水槽④）

	試験槽 2（水槽③）		対照槽 2（水槽④）	
6/28				
7/30				
8/23				
9/18				
10/29				
11/25				
12/24				

6.3.2 底質調査

(1) ORP

ORP の計測結果を図 6.3-1 に示す。

試験開始時の 6 月 28 日、7 月 30 日について、試験槽 1（水槽①）と対照槽 1（水槽②）の平均値の差について確認したところ、統計的には有意な差は認められなかった。

試験槽 1（水槽①）の ORP の測定値は、調査期間を通して対照槽 1（水槽②）よりやや高い値を示した。

試験槽 2（水槽③）の ORP の測定値は、セラミックを追加投入した 9/27 以降、対照槽 2（水槽④）よりも低くなる傾向がみられたが、平均的には水槽③、水槽④ともに期間を通して水槽①②よりも酸化的な状態であった。（※ORP の計測値は、白金電極 - 3.3mol 塩化銀電極による計測値）

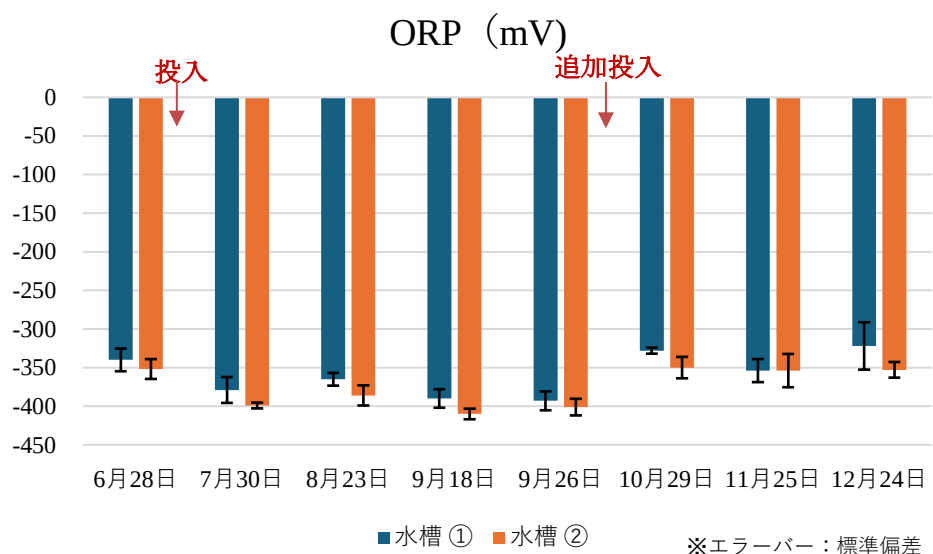


図 6.3-1 (1) ORP 計測結果（水槽①-水槽②）

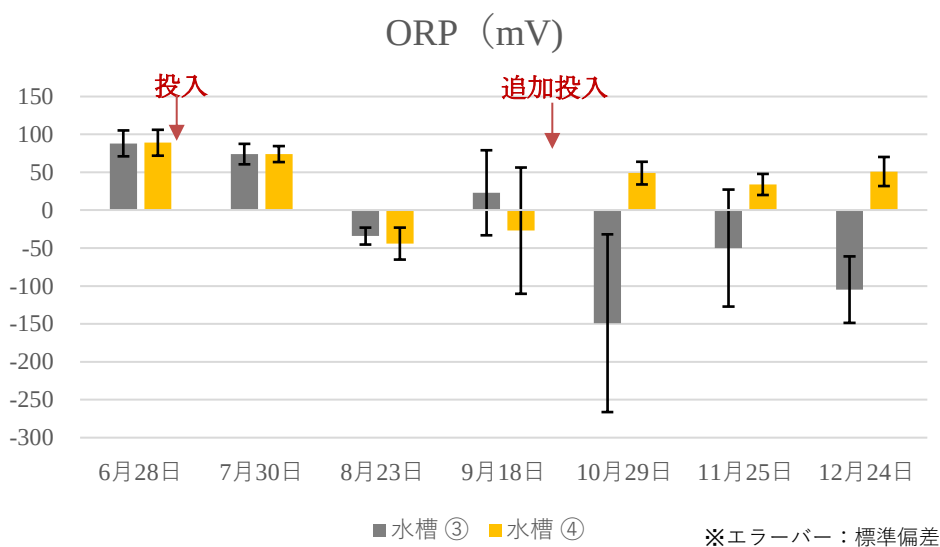


図 6.3-1 (2) ORP 計測結果（水槽③-水槽④）

(2) 強熱減量

強熱減量の分析結果を図 6.3-2 に示す。なお、データの統計的な差は、t 検定（両側検定）により調べ、 $p < 0.05$ を有意と判断した。

まず、試験開始時の 6 月 28 日、7 月 30 日について、試験槽 1（水槽①）と対照槽 1（水槽②）の平均値の差について確認したところ、統計的には有意な差は認められなかった。

次に、採泥方法を変更した 7 月 30 日を初期値とし、セラミック追加投入前の 8 月 23 日～9 月 26 日、追加投入後の 10 月 29 日～12 月 24 日の期間で比較した結果、統計的には、セラミック追加投入前では有意な差は見られなかったが、セラミック追加投入後において有意な差がみられた。

試験槽 2（水槽③）の強熱減量は対照槽 2（水槽④）と同程度の値で推移し、有意な差は認められなかった。

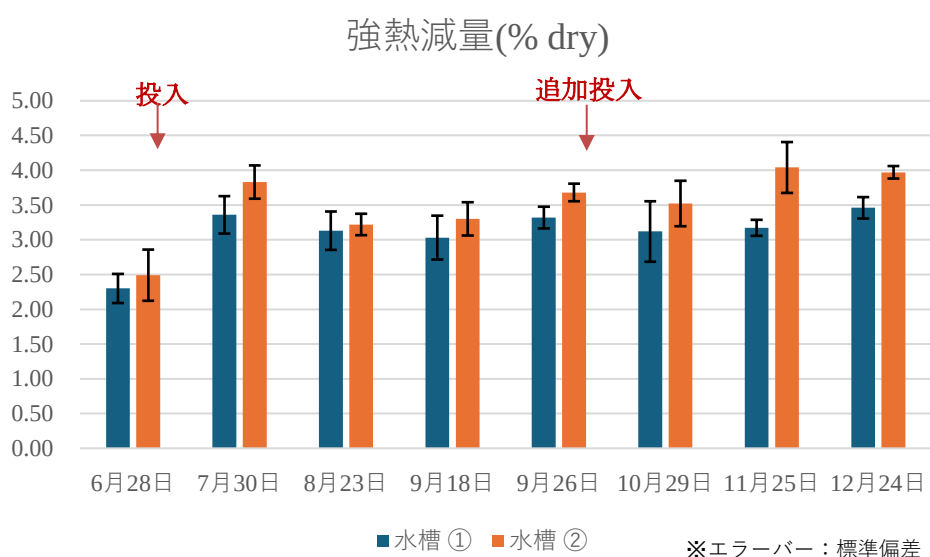


図 6.3-2 (1) 強熱減量分析結果（水槽①-水槽②）

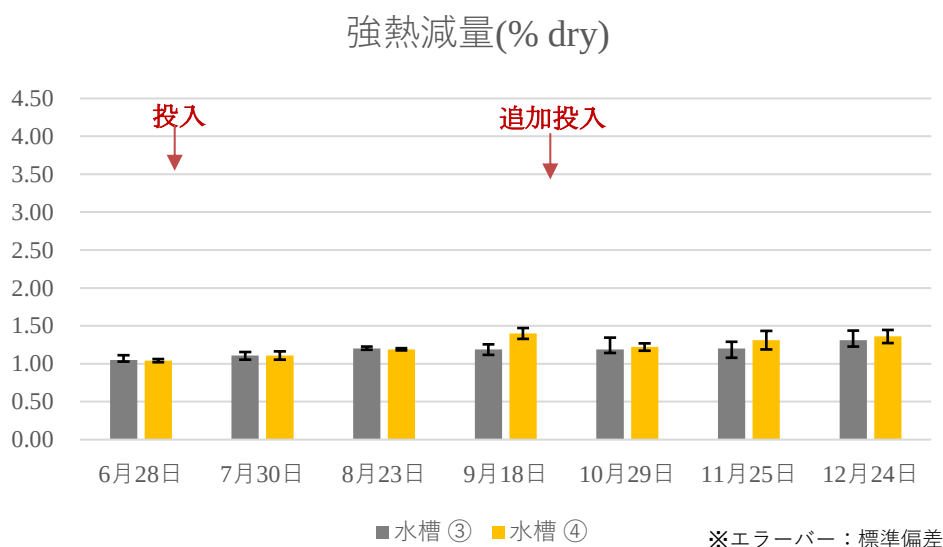


図 6.3-2 (2) 強熱減量分析結果（水槽③-水槽④）

補足調査として、試験槽 1（水槽①）と対照槽 1（水槽②）で実施した深さ別の強熱減量の分析結果を図 6.3-3 に示す。

試験槽 1（水槽①）の強熱減量は、9/26 のセラミックの追加散布以降、特に深さ 2～4cm 層において、対照槽 1（水槽②）よりも低い値を示しており、時間の経過とともに差が大きくなる傾向がみられた。

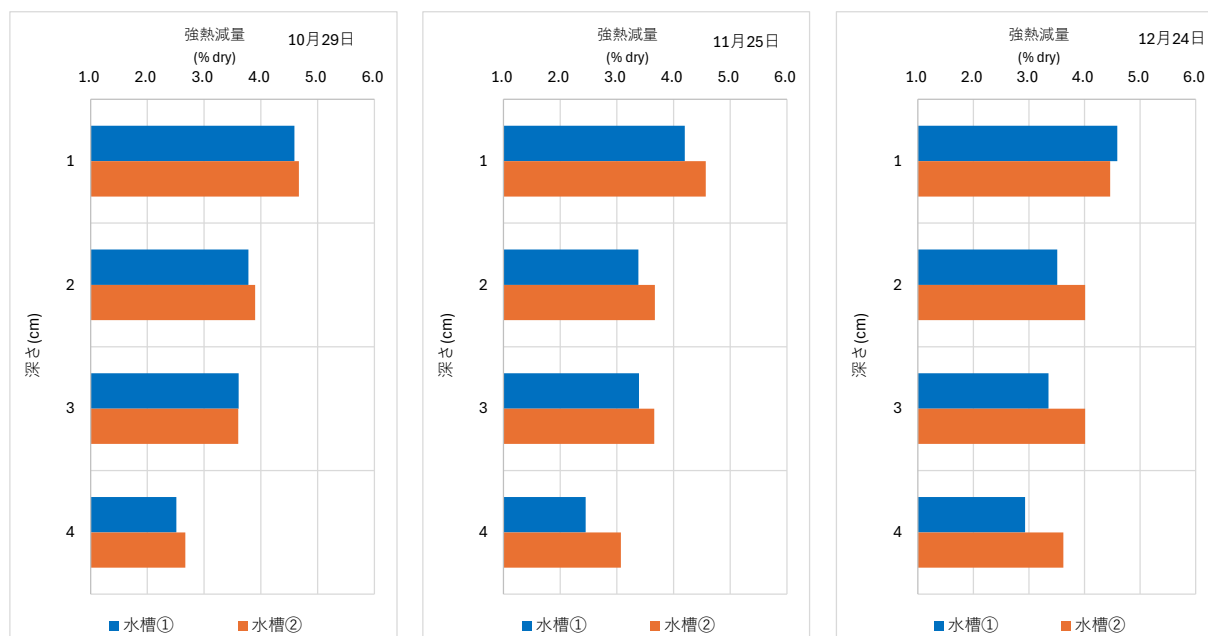


図 6.3-3 深さ別の強熱減量分析結果（水槽①-水槽②）

12/24 調査時に補足調査として、試験槽 2（水槽③）と対照槽 2（水槽④）で実施した、表層 1cm の強熱減量の分析結果を図 6.3-4 に示す。

試験槽 2（水槽③）の強熱減量の平均値は、対照槽 2（水槽④）より低い値を示したが、分析値のばらつきが大きく、統計的には有意な差は認められなかった。

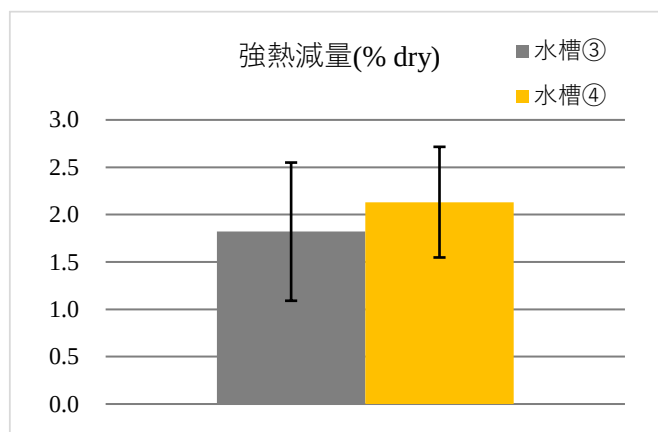


図 6.3-4 表層 1cm の強熱減量分析結果（水槽③-水槽④）

（4）硫化水素（間隙水）

硫化水素の分析結果を図 6.3-5 に示す。なお、データの統計的な差は、t 検定（両側検定）により調べ、 $p < 0.05$ を有意と判断した。

試験開始時の 6 月 28 日および 7 月 30 日において、試験槽 1（水槽①）と対照槽 1（水槽②）の平均値の差を確認したところ、統計的には有意な差は認められなかった。

次に、採泥方法を変更した 7 月 30 日を初期値とし、セラミック追加投入前の 8 月 23 日～9 月 26 日、追加投入後の 10 月 29 日～12 月 24 日の期間で比較した結果、統計的には全ての期間において試験槽 1（水槽①）と対照槽 1（水槽②）の平均値に有意な差が認められなかった。

試験槽 2（水槽③）、対照槽 2（水槽④）の間隙水中の硫化水素は、期間を通して 0.01mg/l 以下と低い濃度であった。

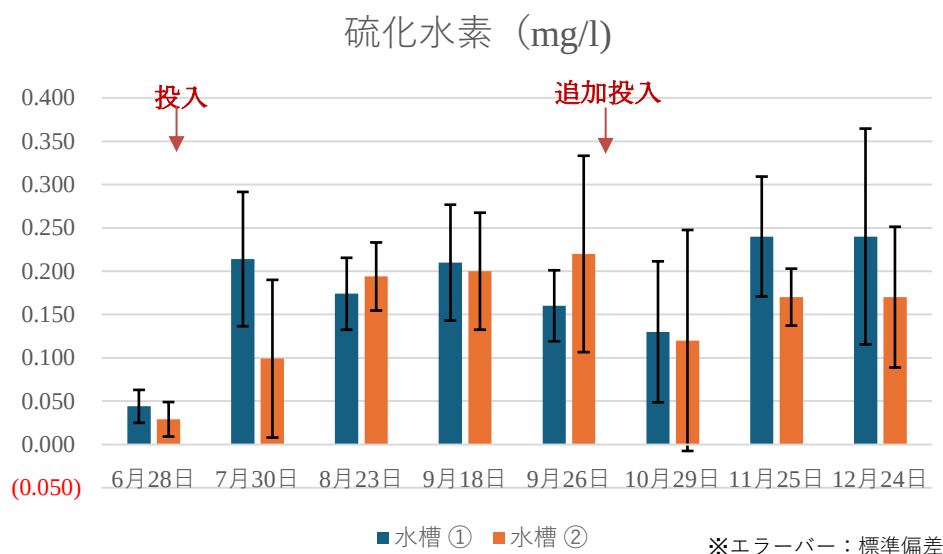


図 6.3-5（1） 硫化水素分析結果（水槽①-水槽②）

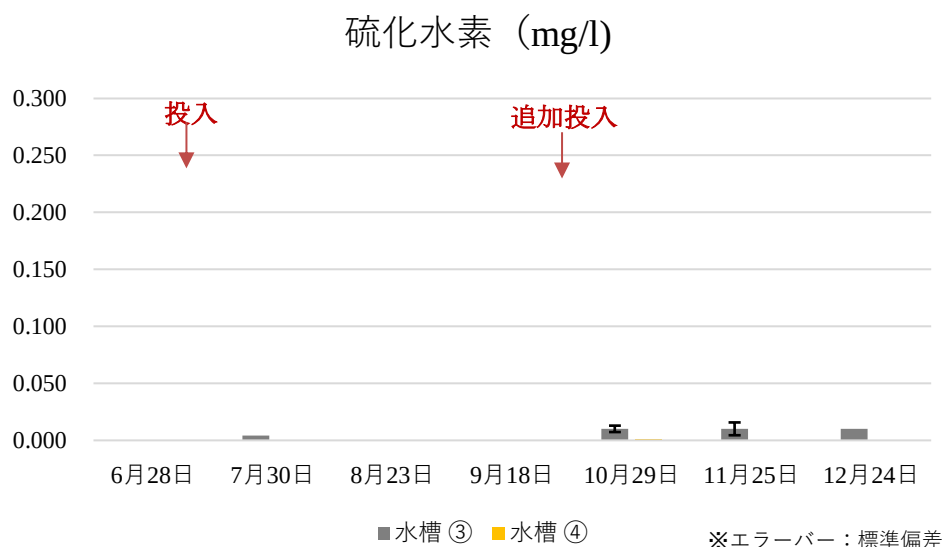


図 6.3-5（2） 硫化水素分析結果（水槽③-水槽④）

（5）全硫化物

全硫化物の分析結果を図 6.3-6 示す。なお、データの統計的な差は、t 検定（両側検定）により調べ、 $p < 0.05$ を有意と判断した。

まず、試験開始時の 6 月 28 日および 7 月 30 日において、試験槽 1（水槽①）と対照槽 1（水槽②）の平均値の差を確認したところ、統計的には有意な差は認められなかった。

次に、採泥方法を変更した 7 月 30 日を初期値とし、セラミック追加投入前の 8 月 23 日～9 月 26 日、追加投入後の 10 月 29 日～12 月 24 日の期間で比較した結果、統計的には、両期間において試験槽 1（水槽①）と対照槽 1（水槽②）の平均値に有意な差が認められた。

試験槽 2（水槽③）、対照槽 2（水槽④）の全硫化物は、期間を通して 0.05mg/g 以下と低い濃度で推移した。

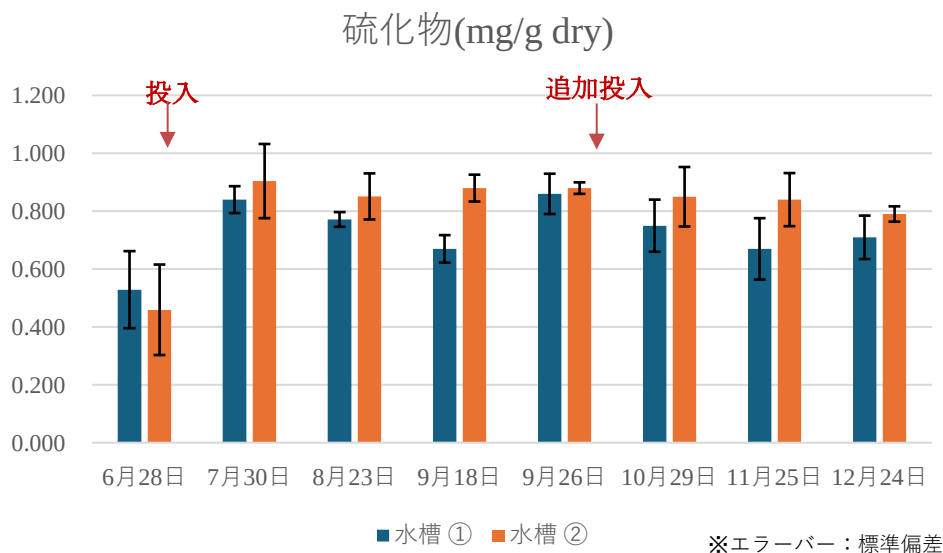


図 6.3-6（1） 全硫化物分析結果（水槽①-水槽②）

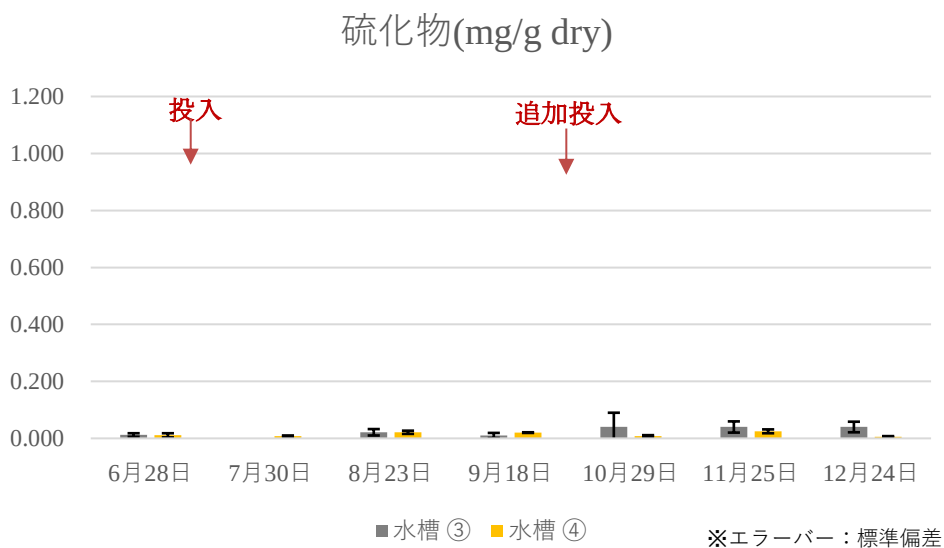


図 6.3-6（2） 全硫化物分析結果（水槽③-水槽④）

(6) 泥厚

泥厚の測定結果を図 6.3-7 に示す。なお、データの統計的な差は、t 検定（両側検定）により調べ、 $p < 0.05$ を有意と判断した。

まず、試験開始時の 6 月 28 日および 7 月 30 日において、試験槽 1（水槽①）と対照槽 1（水槽②）の平均値の差を確認したところ、統計的には有意な差は認められなかった。

次に、7 月 30 日を初期値とし、セラミック追加投入前の 8 月 23 日～9 月 26 日、追加投入後の 10 月 29 日～12 月 24 日の期間で比較した結果、統計的には、セラミック追加投入前では有意な差は認められなかったが、セラミック追加投入後において有意な差が認められた。

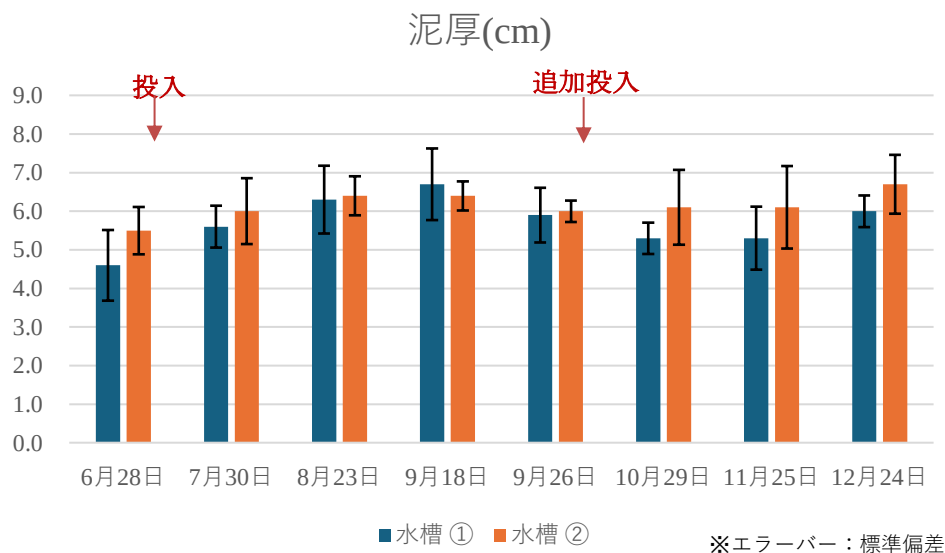


図 6.3-7 泥厚計測結果（水槽①-水槽②）

(7) TOC

TOC の分析結果を図 6.3-8 示す。なお、データの統計的な差は、t 検定（両側検定）により調べ、 $p < 0.05$ を有意と判断した。

まず、試験開始時の 7 月 30 日において、試験槽 1（水槽①）と対照槽 1（水槽②）の平均値の差を確認したところ、統計的には有意な差は認められなかった。

次に、7 月 30 日を初期値とし、セラミック追加投入前の 8 月 23 日～9 月 26 日、追加投入後の 10 月 29 日～12 月 24 日の期間で比較した結果、統計的には、セラミック追加投入前では有意な差は認められなかったが、セラミック追加投入後において有意な差が認められた。

試験槽 2（水槽③）の TOC は、対照槽 2（水槽④）と同程度の値で推移しており、有意な差は認められなかった。

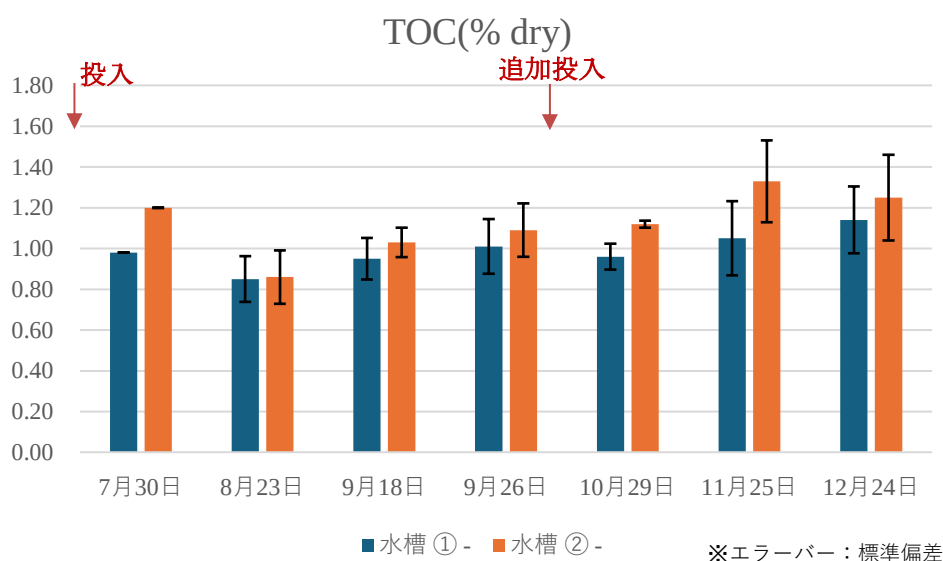


図 6.3-8 (1) TOC 分析結果（水槽①-水槽②）

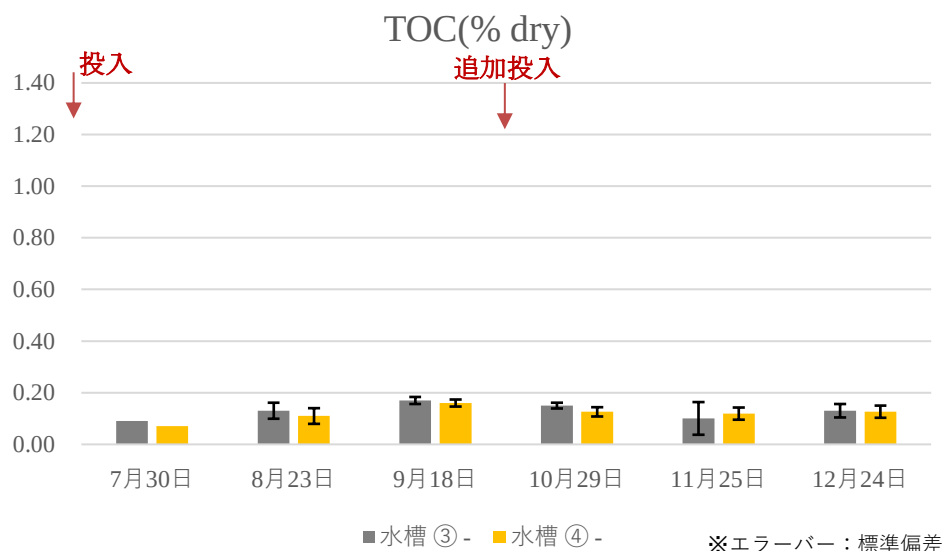


図 6.3-8 (2) TOC 分析結果（水槽③-水槽④）

補足調査として、試験槽 1（水槽①）と対照槽 1（水槽②）で実施した深さ別の TOC の分析結果を図 6.3-9 に示す。

試験槽 1（水槽①）の TOC は、9/26 のセラミックの追加散布以降、対照槽 1（水槽②）よりも概ね低い値を示す傾向がみられた。

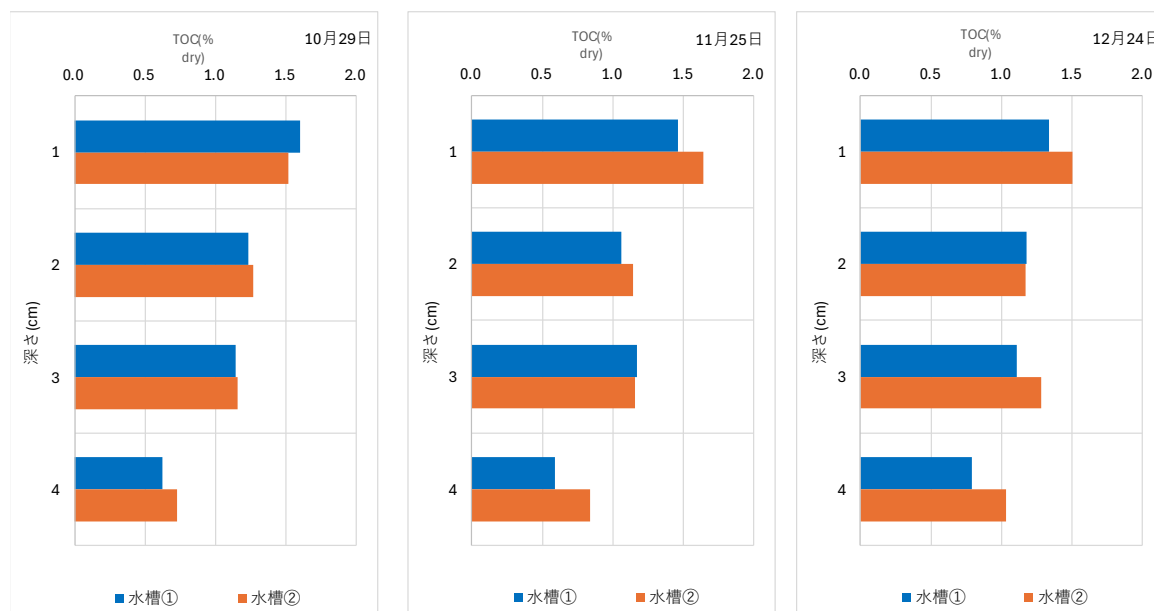


図 6.3-9 深さ別の TOC 分析結果（水槽①-水槽②）

12/24 調査時に補足調査として、試験槽 2（水槽③）と対照槽 2（水槽④）で実施した、表層 1cm の TOC の分析結果を図 6.3-10 に示す。

試験槽 2（水槽③）の TOC の平均値は、対照槽 2（水槽④）より低い値を示したが、分析値のばらつきが大きく、統計的には有意な差は認められなかった。

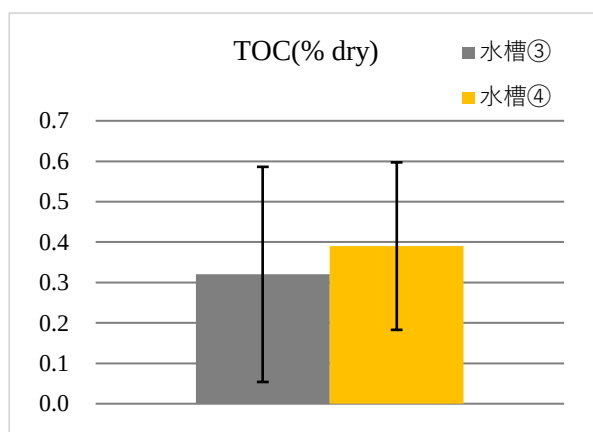


図 6.3-10 表層 1cm の TOC 分析結果（水槽③-水槽④）

6.3.3 底生生物

底生生物の分析結果を表 6.3-5、図 6.3.11～図 6.3.14 に示す。

種数は、水槽④を除き 6 月から 12 月にかけていずれも増加しており、水槽②③④では 6 月調査で見られなかったゴカイ科の種が確認された。

個体数は、水槽②と水槽③において増加、水槽①と水槽④において横ばいであった。

湿重量は、各水槽とも増加しており、特にコケゴカイが確認された水槽②、ミズヒキゴカイ科が確認された水槽③で大きく増加していた。

全体を通してみると、試験槽と対照槽の間で、明確な差は見られなかった。

表 6.3-5 底生生物分析結果

No.	門名	綱名	目名	科名	和名	学名	大村湾															
							2024/6/28						2025/12/24									
							水槽1	水槽2	水槽3	水槽4	水槽1	水槽2	水槽3	水槽4								
							個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量	個体数	湿重量				
1	環形動物門	ゴカイ綱	サンパゴカイ目	ゴカイ科	ウスズミゴカイ	<i>Nereis nicholisi</i>																
2					コケゴカイ	<i>Simplisetia erythraensis</i>								2	0.091	6	0.212	2	0.092			
3														3	0.667							
4			スピオ目	スピオ科	Polydora属	<i>Polydora</i> sp.				2	0.014	2	0.014	1	0.008		1	0.002				
5					イトエラスピオ	<i>Prionospio pulchra</i>							2	0.007								
6					ミズヒキゴカイ科	<i>Cirriformia</i> sp.											1	0.496				
7			イトゴカイ目	イトゴカイ科	Capitella属	<i>Capitella</i> sp.	4	0.012					1	+	1	0.008						
合計	1門	1綱	3目	4科	6種	個体数合計(サンパゴ・湿重量(a)/サンパゴ・出現種数	4	0.012	0	0.000	2	0.014	2	0.014	4	0.015	6	0.766	8	0.710	2	0.092

※1) 分類体系は「河川水辺の国勢調査のための生物リスト～令和6年度版～」(令和6年公表、水情報国土データ管理センター)に準じた。

※2) 湿重量の0.001g未満のものについては「+」表記とした。

(単位: 0.02m²当たり)

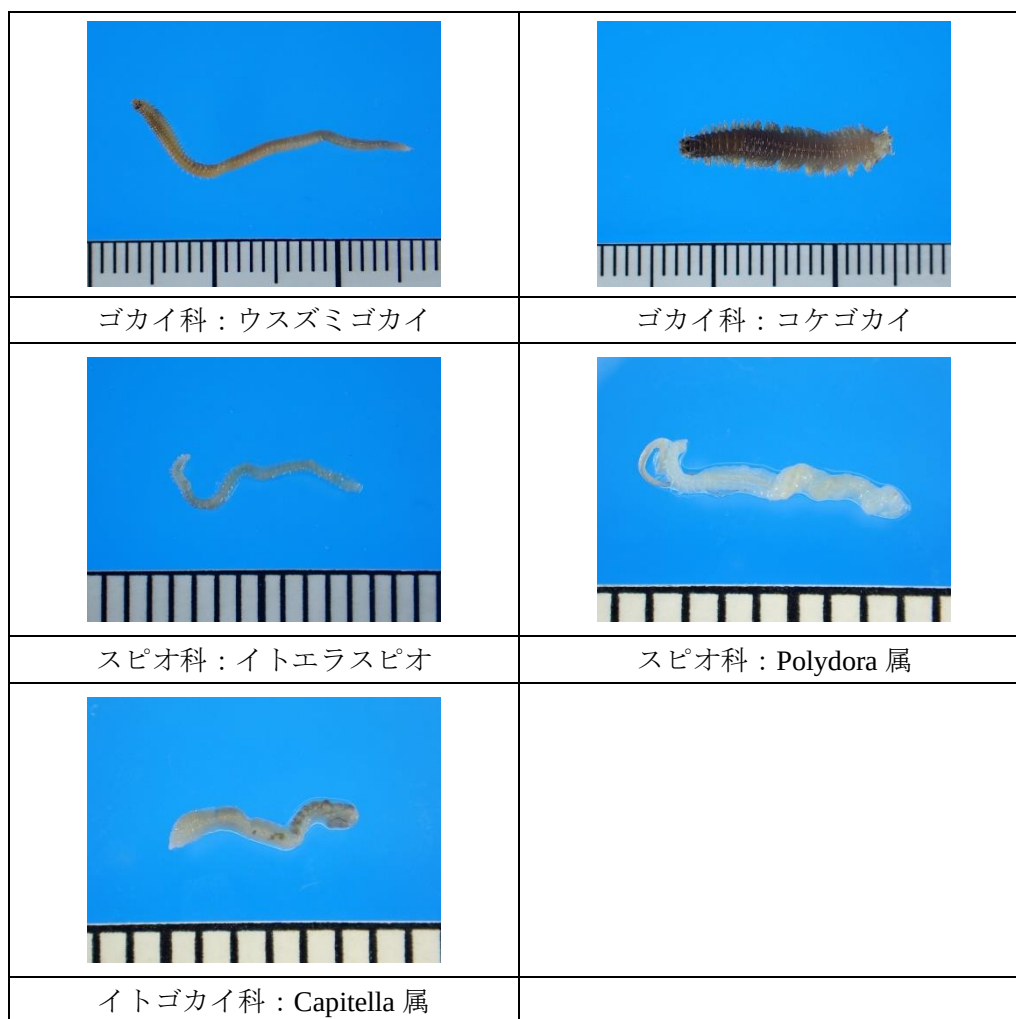


図 6.3-11 底生生物出現状況（主な出現種）

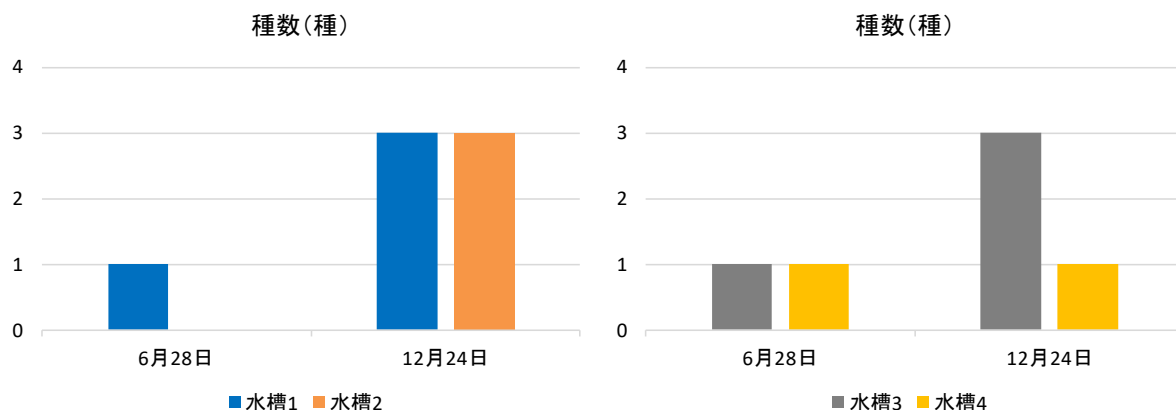


図 6.3-12 底生生物出現状況（種数別）左図：水槽①-②、右図：水槽③-④

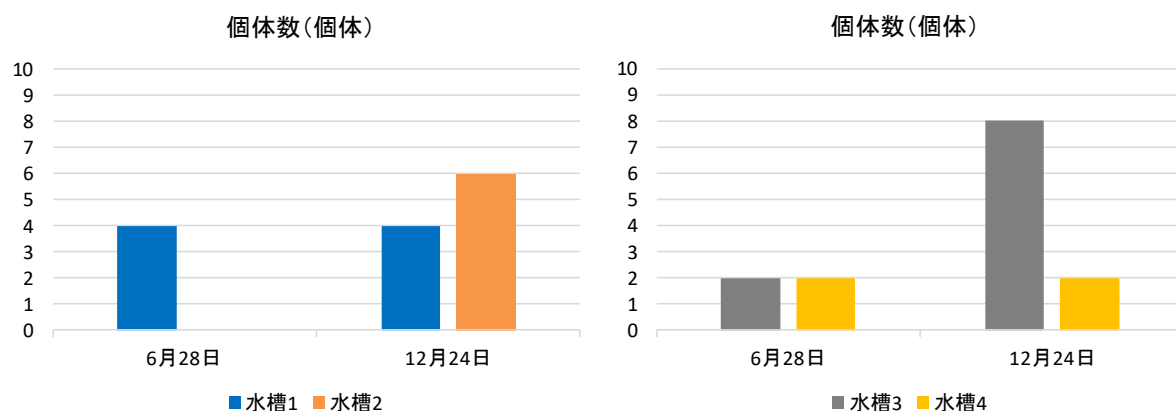


図 6.3-13 底生生物出現状況（個体数別）左図：水槽①-②、右図：水槽③-④

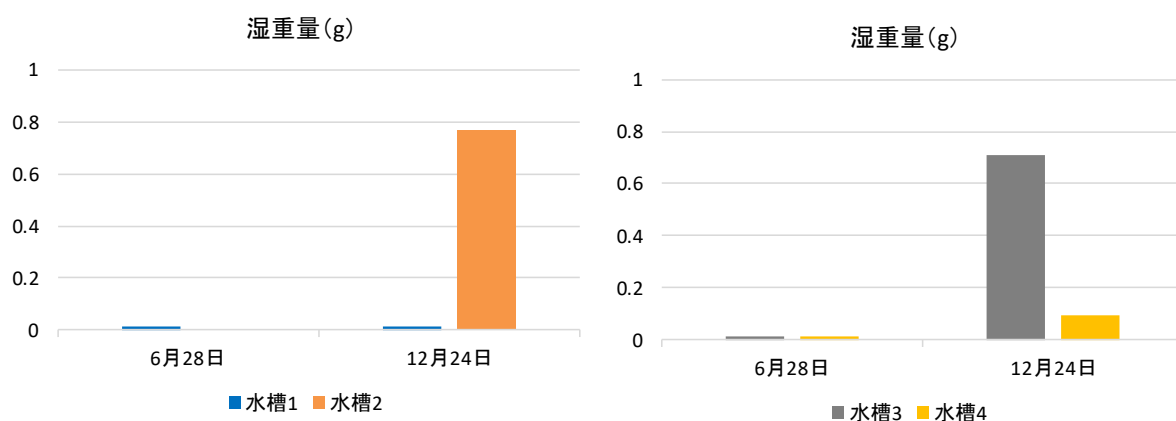


図 6.3-14 底生生物出現状況（湿重量別）左図：水槽①-②、右図：水槽③-④

6.4 ベントフロー調査

ベントフローによる底泥表面の藻類密度の計測結果を図 6.4-1～図 6.4-2 に示す。

藻類種別でみると、各水槽とも期間を通して珪藻類の割合が最も多く、次いで緑藻類、クリプト藻類の順であった。また、期間中の藻類密度の合計は、各水槽とも8月～12月にかけて継続的に増加したが、各水槽間で大きな差は見られなかった。

参考として採取した藻類の分析結果を表 6.4-1 に示す。

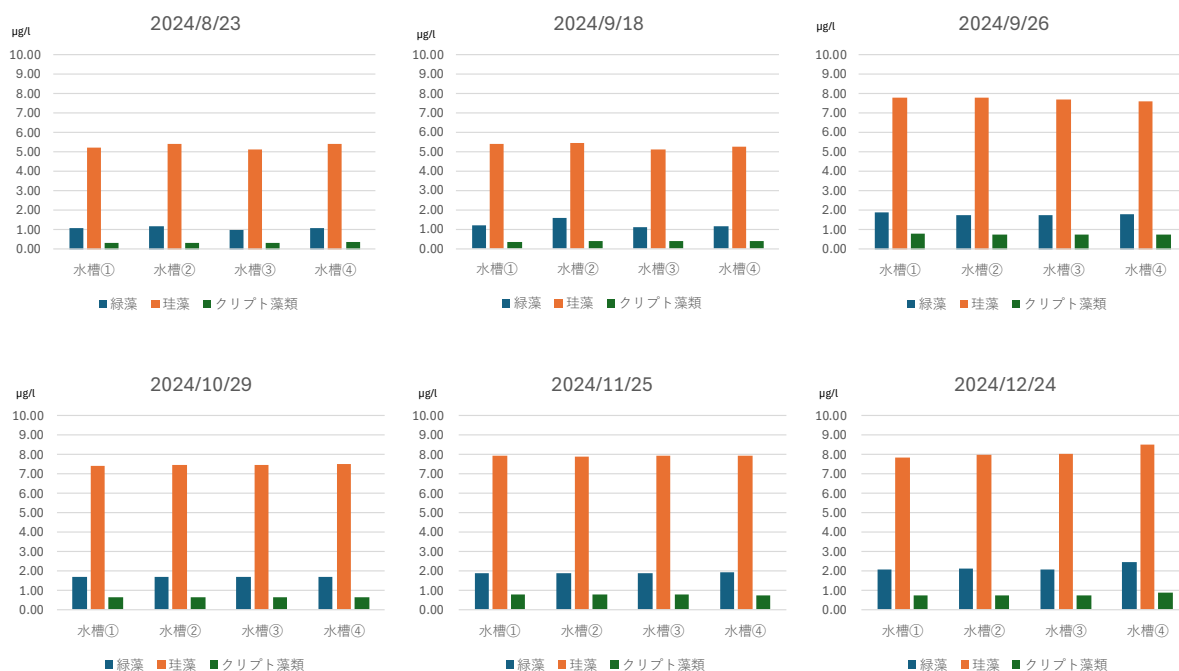


図 6.4-1 ベントフローによる底泥表面の藻類密度（種別）の計測結果

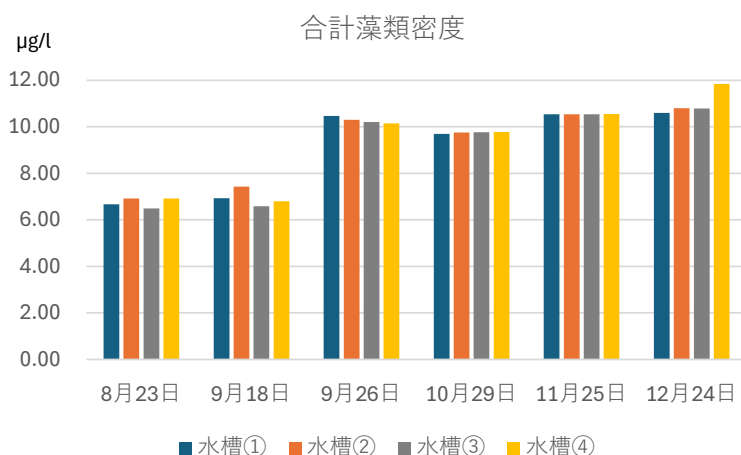


図 6.4-2 ベントフローによる底泥表面の藻類密度（合計）の計測結果

表 6.4-1 付着藻類分析結果

No.	網名	目名	科名	種名	2024/8/23				2024/9/26			
					水槽①	水槽②	水槽③	水槽④	水槽①	水槽②	水槽③	水槽④
1	藍藻綱	クロコックス目	-	Chroococcales		87,000		270,000				
2	藍藻綱	ネンジュモ目	-	Oscillatoriales*	3,290,000	3,020,000	12,300,000	6,260,000	6,800,000	5,510,000	324,000	19,000,000
3	クリプト藻綱	-	-	Cryptophyceae	51,000,000	3,460,000		54,000		7,450,000	432,000	3,890,000
4	渦鞭毛藻綱	プロケントルム目	プロケントルム科	<i>Proocentrum compressum</i>		3,000						
5	渦鞭毛藻綱	ギムノディニウム目	ギムノディニウム科	<i>Amphidinium</i> sp.		1,500	9,000					
6	渦鞭毛藻綱	ペリディニウム目	-	Peridinales		1,500	378,000	216,000				162,000
7	珪藻綱	中心目	タラシオシラ科	<i>Skeletonema</i> sp.	9,000							
8	珪藻綱	中心目	タラシオシラ科	<i>Thalassiosira</i> sp.			54,000		1,500		22,500	27,000
9	珪藻綱	中心目	タラシオシラ科	Thalassiosiraceae		54,000	216,000				486,000	324,000
10	珪藻綱	中心目	メロシラ科	<i>Melosira nummuloides</i>				19,500	3,000			
11	珪藻綱	中心目	コスキノディンテラス科	<i>Coscinodiscus</i> sp.	4,500	43,500		1,500	4,500		3,000	3,000
12	珪藻綱	羽状目	ディアルマ科	<i>Climacophenia moniligera</i>					1,500			
13	珪藻綱	羽状目	ディアルマ科	<i>Thalassionema nitzschioides</i>								40,500
14	珪藻綱	羽状目	ディアルマ科	Diatomaceae	63,000	1,500						
15	珪藻綱	羽状目	アクナンテラス科	<i>Achnanthes</i> sp.								1,500
16	珪藻綱	羽状目	アクナンテラス科	<i>Cocconeis</i> sp.	12,000	12,000			1,500		4,500	
17	珪藻綱	羽状目	ナビクラ科	<i>Amphipleura</i> sp.								3,000
18	珪藻綱	羽状目	ナビクラ科	<i>Amphora</i> spp.	24,600,000	66,700,000	5,290,000	11,400,000	378,000	243,000	756,000	3,510,000
19	珪藻綱	羽状目	ナビクラ科	<i>Diploneis</i> sp.				216,000			1,500	
20	珪藻綱	羽状目	ナビクラ科	<i>Entomoneis</i> sp.				3,000				
21	珪藻綱	羽状目	ナビクラ科	<i>Mastogloia</i> sp.	14,700,000	425,000	2,210,000	10,600,000		13,500	4,750,000	13,600,000
22	珪藻綱	羽状目	ナビクラ科	<i>Navicula</i> spp.	702,000	702,000	432,000	918,000	108,000		13,500	
23	珪藻綱	羽状目	ナビクラ科	<i>Pleurosigma</i> spp.	4,500	594,000		18,000				
24	珪藻綱	羽状目	ナビクラ科	<i>Seminaris</i> spp.	216,000	1,240,000		3,000	918,000	108,000		1,500
25	珪藻綱	羽状目	ナビクラ科	Naviculaceae								4,500
26	珪藻綱	羽状目	エビテミア科	<i>Rhopalodia</i> sp.			810,000	324,000				
27	珪藻綱	羽状目	ニツチア科	<i>Nitzschia longissima</i>			324,000	378,000				1,500
28	珪藻綱	羽状目	ニツチア科	<i>Nitzschia</i> spp.	27,000	270,000	216,000	1,080,000	18,000	40,500	162,000	1,730,000
29	珪藻綱	羽状目	スリレラ科	<i>Surirella</i> spp.	1,500		54,000					
				合計細胞数(cells/全量)	94,629,500	76,615,000	22,509,000	31,545,000	8,234,000	13,365,000	6,955,000	42,298,500
				合計種数	13	16	13	15	10	6	11	15

6.5 自主調査結果

6.5.1 光応答反応試験

二価鉄、三価鉄、過酸化水素の分析結果を表 6.5-1 に示す。

いずれのサンプルにおいても、過酸化水素濃度は検出限界以下となり、一方、二価鉄、三価鉄も十分な検出量が得られなかった。

要因として、フェントン反応は、過酸化水素と二価鉄の反応による活性酸素ヒドロキシルラジカル($\cdot\text{OH}$)の生成反応であるが、腐植質の光反応ではスーパーオキシドラジカル($\cdot\text{O}_2^-$)や一重項酸素($^1\text{O}_2$)など他の活性酸素種も共存する。また、腐植質有機成分の還元作用の影響も複雑な酸化還元反応が混在する外乱要因となり、実証実験環境下において、検出限界近傍での目的元素の検出・検証が困難となったことが考えられる。

表 6.5-1 二価鉄、三価鉄、過酸化水素分析結果

単位：mg/L

採水日	時間	水槽No.	Total-Fe	Fe^{2+}	H_2O_2
2024/09/27	12:00	1	<0.10	<0.10	<0.10
		2	<0.10	<0.10	<0.10
	20:00	1	<0.10	<0.10	<0.10
		2	<0.10	<0.10	<0.10
2024/10/30	15:00	1	0.13	<0.10	<0.10
		2	<0.10	<0.10	<0.10
	21:00	1	<0.10	<0.10	<0.10
		2	<0.10	<0.10	<0.10

上記結果を踏まえ、追加試験として反応性を抑制した作用機序検証用の RS-CC 材を作成し、因子制御したラボ実験で、光応答フェントン反応の作用機序の実証を行った。試験には、実証試験場所（大村湾）から採取した海水を用いた。試験の概要を以下に示す。

・材料：RS-CC

- 1) 腐植質の光応答成分を半減
- 2) 炭素系キレート鉄結合を強化させ、鉄の溶出を制御

この反応性の抑制効果により、光応答による過酸化水素、二価鉄、三価鉄の濃度変動（循環）の分析を可能とした。

・実験方法

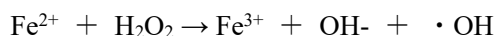
海水（大村湾採取）100ml に、RS-CC 10g を浸漬し、24hr 放置後、キセノンランプを 6hr 照射→暗室静置 6hr を 3 回繰り返し、過酸化水素、二価鉄、三価鉄の濃度変化を調べた。キセノンランプは BSO-X150（定格入力 150W、照射波長 300～1100nm）を使用し、試験水面より 50cm 直上から照射した。

・分析方法

前述の光応答反応試験の方法に準じた。

試験結果を図 6.5-1 に示す。

結果より、光照射による H_2O_2 の増加、 Fe^{2+} の減少、 Fe^{3+} の増大が見られ、次式に示すフェントン反応の進行が確認された。



また、暗夜での H_2O_2 の減少、 Fe^{2+} の増大、 Fe^{3+} の減少がみられ、次式に示す Fe^{2+} の再生・循環が確認された。



併せて、光照射と暗夜の繰り返しによる反応循環も確認された。

以上より、海水中においても、RS-CC の光応答によるフェントン反応の発生と、 $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ への還元（再生・繰り返し）の作用機序が発現することを検証できた。

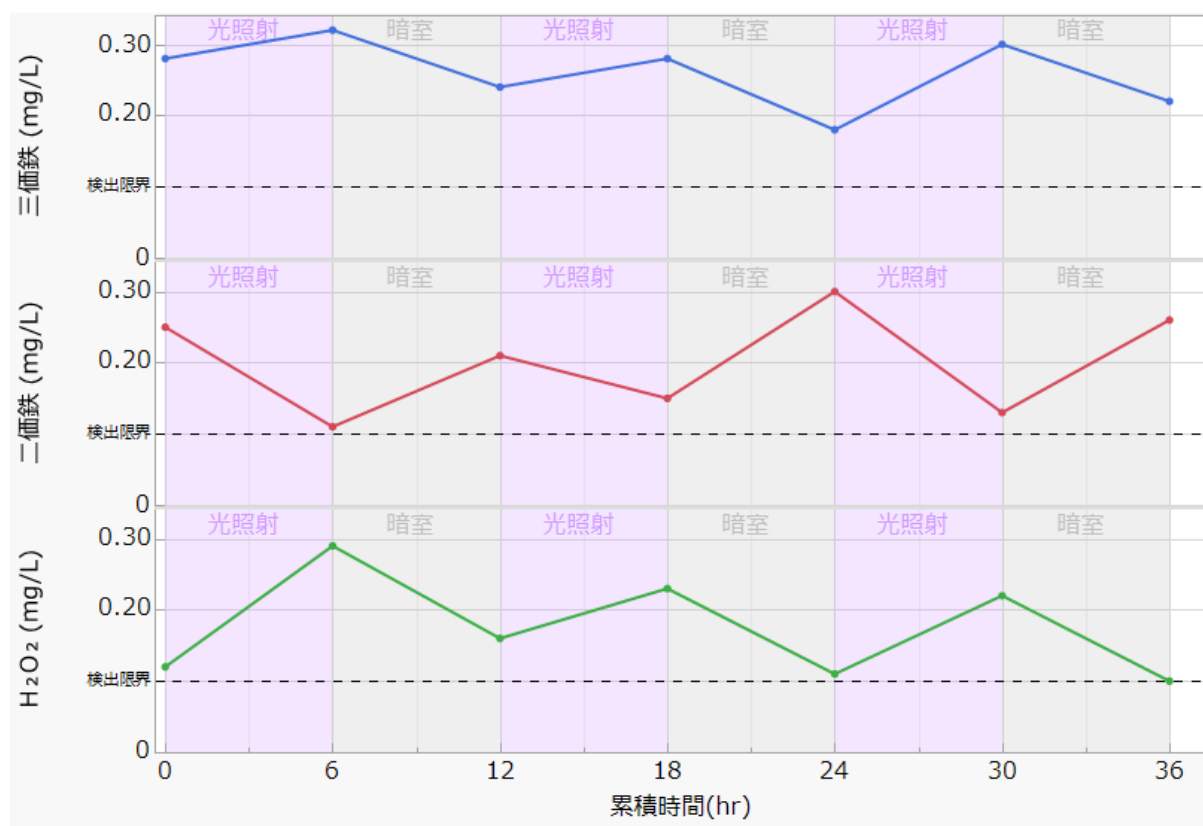


図 6.5-1 反応抑制した RS-CC 材での光応答フェントン反応試験結果

6.5.2 付着生物調査

フジツボ類の個体数計測結果、殻口径の分布を図 6.5-2 に、個体数、殻口径より算出した総面積を図 6.5-3 に示す。

個体数、総面積とも試験槽 1（水槽①）の方が対照槽 1（水槽②）よりも多く、同様に試験槽 2（水槽③）の方が対照槽 2（水槽④）よりも多い結果となった。また、殻口径の分布より、11 月から 12 月にかけてフジツボの生育促進が確認された。

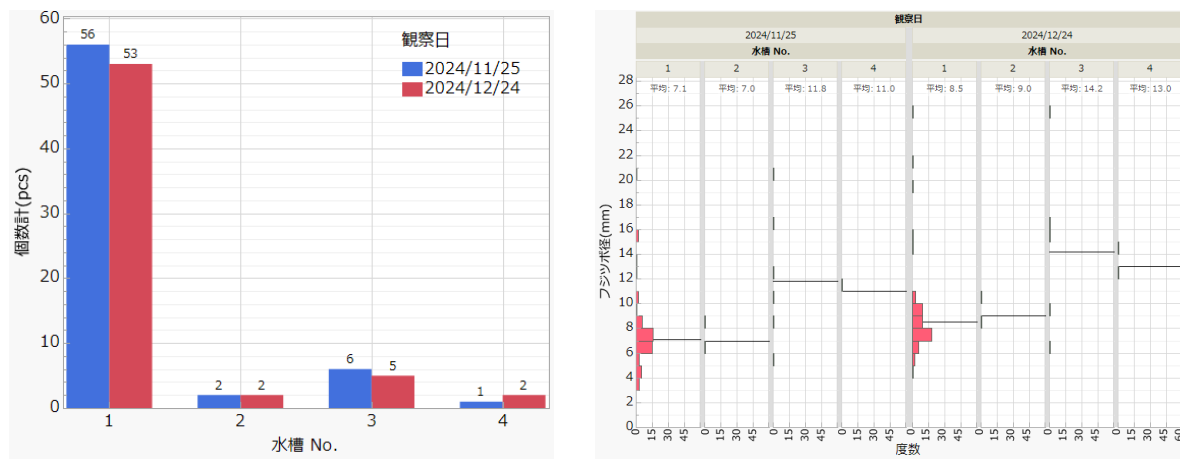


図 6.5-2 フジツボ類の生息状況（左図：個体数、右図：殻口径分布）

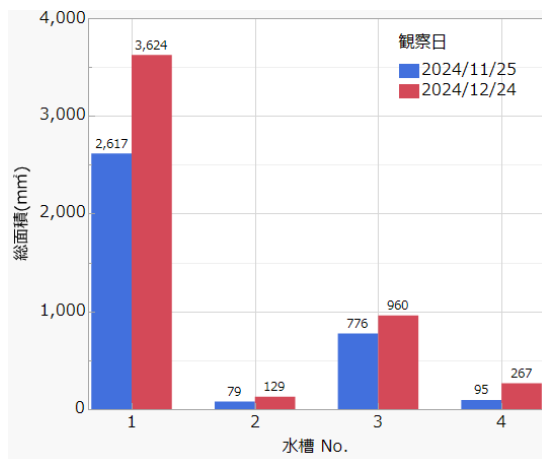


図 6.5-3 フジツボ類の総面積算出結果

緑藻の繁茂状況を図 6.5-4 に、被度を図 6.5-5 に示す。

試験槽 1（水槽①）と試験槽 2（水槽③）で緑藻類の被度が大きく、いずれも対照槽（水槽②、水槽④）と比較して生育が顕著であった。

なお、水槽①、水槽③で確認された緑藻は、室内分析の結果、それぞれホシミドロ目ホシミドロ科のアオミドロ属の一種、ミドリゲ目シオグサ科シオグサ属の一種であった。

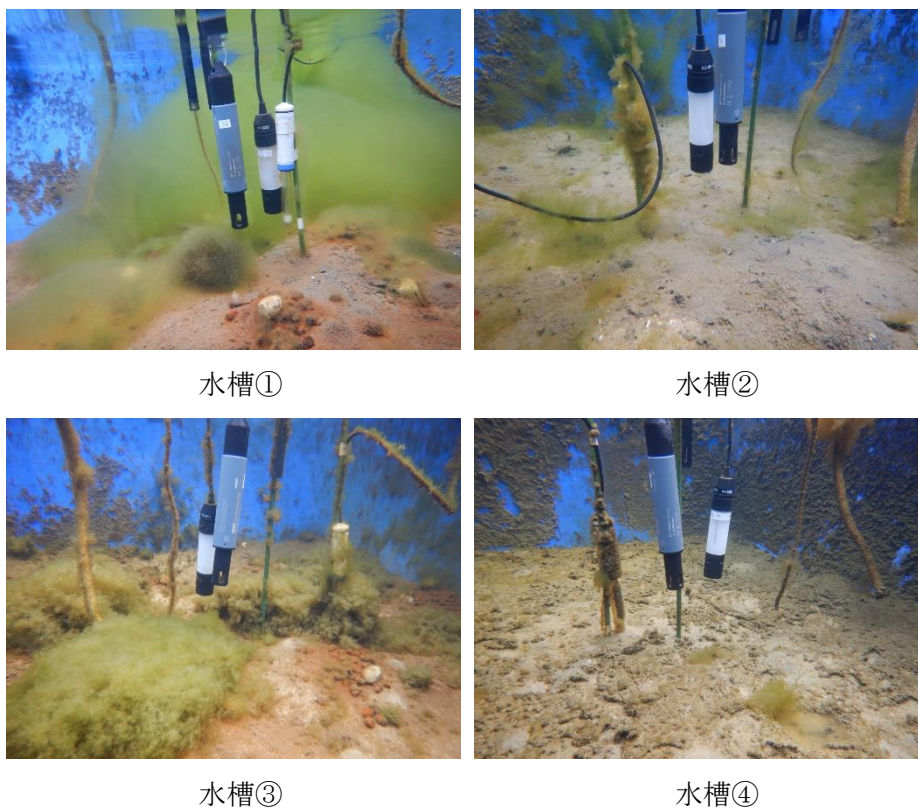


図 6.5-4 緑藻類の繁茂状況（令和6年12月24日）

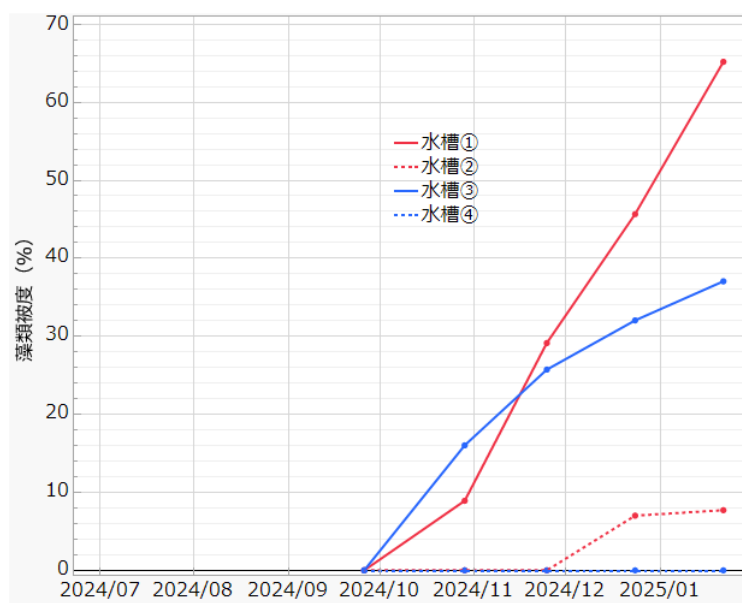


図 6.5-5 緑藻類の被度

6.5.3 底質調査

補足調査として、試験槽 1（水槽①）と対照槽 1（水槽②）で実施した深さ別の強熱減量、TOC の分析結果を図 6.5-6 に示す。

強熱減量、TOC とも試験槽 1（水槽①）の方が対照槽 1（水槽②）よりも低い傾向にある。また、9 月 26 日のセラミック追加散布以降、経過とともに水槽間の差が広がる傾向がみられ、有機泥の分解が進行しているものと判断する。

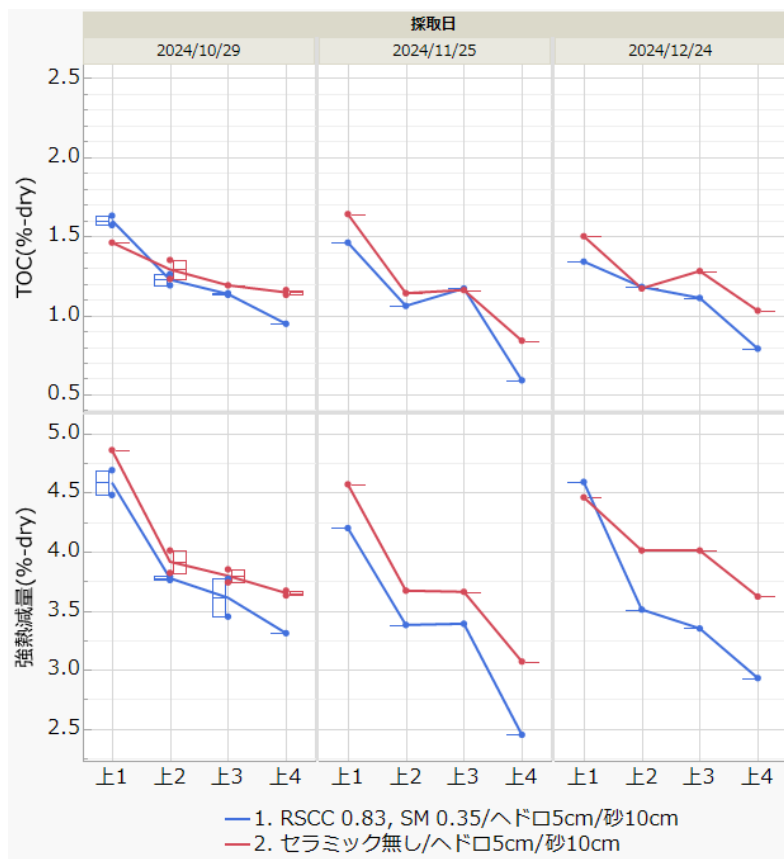


図 6.5-6 深さ方向 4 分画分析結果（水槽①-水槽②）

7. 試験結果に基づく実証結果（まとめ）

本実証試験では、表 7-1 に示す項目について各実証項目の目標水準を評価基準とし、試験槽と対照槽を比較することにより評価した。

表 7-1 実証項目及び目標

実証項目	目標水準	結果
全硫化物	対照槽と比較して試験槽が低い	○
間隙水中の硫化水素	対照槽と比較して試験槽が低い	有意差なし
有機物量	対照槽と比較して試験槽が低い	○

【全硫化物】

試験期間を通してみると、試験槽 1（水槽①）と対照槽 1（水槽②）の全硫化物の平均値に有意な差が認められた。このことから、堆積している有機泥に対して、底質中の全硫化物を低下させる効果が確認された。

【間隙水中の硫化水素】

試験期間を通してみると、試験槽 1（水槽①）と対照槽 1（水槽②）、および試験槽 2（水槽③）と対照槽 2（水槽④）の間隙水中の硫化物の平均値に有意な差は認められなかった。

【有機物量】

本試験では、強熱減量、TOC、泥厚の 3 項目を有機物量の指標として試験した。
試験結果より、試験期間を通してみると 3 項目ともに、セラミックの再投入後において試験槽 1（水槽①）と対照槽 1（水槽②）の平均値に有意な差が認められた。このことから、堆積している有機泥に対して、底質中の有機物量を低下させる効果が確認された。

以上より、本技術は有機泥が堆積する環境において、底質中の有機物量及び全硫化物を減少させることに有効であると言える。

なお、試験槽 2（水槽③）、対照槽 2（水槽④）を設定し、新生堆積物に対する効果の確認を行ったが、試験槽と対照槽の間に有意な差はみられず、本技術による効果は確認されなかった。要因として、全硫化物、有機物量、硫化水素のいずれも含有量が小さかったことにより、効果を実証するだけの差が生じなかったことが考えられる。

8. 実証結果に関する考察

●有機汚濁底質について

底泥中の有機物、硫化物の分解、除去効果については、分析結果からも有意な差が見られた。

鉛直方向の分析結果から、表面下 4cm 程度までは効果が発揮されている可能性がある。

また、間隙水中の硫化水素の低減効果は明確にはみられなかったが、セラミック材の投入による底質への悪影響は見られなかった。

●新生堆積物への効果について

新生堆積物（本実証試験では、藻類の内部生産由来による有機負荷量の増加）に対する改善効果について、強熱減量、TOC を指標とした分析結果からは、効果による有意な差は認められなかった。要因として、全硫化物、有機物量、硫化水素のいずれも含有量が小さかったことにより、効果を実証するだけの差が生じなかったことが考えられる。

●実海域への適応について

自主調査で行った光応答反応試験より、海水中においても本技術が期待する作用機序の発現が確認されており、本技術が効果を発揮するためのプロセスが機能していることが確認された。

なお、実証期間中、藻類の繁茂により底泥表面に設置したセラミック材が覆われる状況が見られ、光照射によるフェントン反応の進行が阻害させる状況が懸念された。セラミック再投入前においては、試験槽 1（水槽①）と対照槽 1（水槽②）の有機物量に有意な差が認められず、持続的に効果を発揮させるためには、状況に応じて追加投入等の適切なメンテナンスが必要であると考えられる。

●生物への影響について

底生生物調査結果から、試験槽、対照槽ともに種数、個体数、湿重量の増加が見られており、セラミックの投入による有意な差は見られなかったが、少なくともセラミックの投入による底生生物への悪影響はないものと判断される。

●藻類への影響について

底泥表面のマット状の生物被膜が消失した 10 月 29 日の調査以降、試験槽において堆積した微細藻類の減少と、糸状体の緑藻類の繁茂が見られた。緑藻類の生育体積調査より、試験槽における緑藻類の生長は、対照槽と比較して顕著であった。水槽間において、流動環境、日照環境に差がないことから、栄養環境においてセラミックの投入により、藻類の生長に対して好適な影響を与えることが期待される。

付録

1. 専門用語集

用語	内容
腐植質	腐植質（ふしょくしつ）とは、動植物の遺骸などの有機物が微生物によって分解されてできた有機物の総称。主成分はフルボ酸、フミン酸、ヒューミンで構成される。
遷移金属元素	遷移金属元素（せんいきんぞくげんそ）とは、周期表の3族から11(12)族に存在する元素群の総称。d軌道やf軌道など内殻に空位の軌道を有し、種々の配位子と錯体を形成したり、良い触媒活性を示すものも多い。
加水分解	加水分解（かすいぶんかい）とは、水を反応物として使い、化合物を分解する化学反応のこと。ヘドロ中の有機物も水分子と反応しやすい構造（エステル結合、アミド結合など）を有するため、加水分解が発生する。
触媒作用	触媒作用（しょくばいさよう）とは、触媒が反応物の活性化エネルギーを下げ、化学反応の速度を速める作用のこと。触媒は、反応を加速させるが、自身は反応の前後で変化しない（消費されない）物質である。
フェントン反応	フェントン反応とは、鉄イオン（ Fe^{2+} , Fe^{3+} ）と過酸化水素（ H_2O_2 ）を用いて、酸化力の強力なヒドロキシルラジカル（ $\cdot\text{OH}$ ）を生成し、有機物や汚染物質を分解する化学反応のこと。ヘドロや有機物の酸化分解や排水中の有機物除去、土壌汚染の浄化などに活用される。
活性酸素ヒドロキシルラジカル	活性酸素（かつせいさんそ）とは、反応性が高い酸素分子または酸素を含むラジカル（不対電子を持つ原子や分子）の総称。ヒドロキシルラジカル（ $\cdot\text{OH}$ ）は、活性酸素の一種であり、強力な酸化力を有するため、ヘドロや有機物を酸化分解することができる。

2. 品質管理に関する事項等の情報

品質基本方針

日本全国の沿岸域環境の保全・創造に貢献するとともに、環境と調和する豊かな社会の形成に寄与することを企業理念とし、これを実現するための一環として、行動指針に基づいて事業活動に取り組みます。

品質行動指針

（活動の基本）
1. 弊社は、顧客の満足を得るために、サービス及び事業活動において、高度な品質管理を行うとともに品質向上に努めることとする。

（法令等の遵守）
2. 弊社は、業務遂行に際し、顧客要求事項及び関連する法令および規則を遵守し、行動することとする。

（継続的改善）
3. 弊社は、顧客に対する信頼感の向上を目指すために、マネジメントシステムの有効性の継続的改善に取り組む。

（教育訓練）
4. 弊社は、社員に対し、本基本方針および行動指針について必要な教育・訓練を行い、品質に対する意識を高めることとする。

（管理体制）
5. 弊社は、品質管理体制を確立し、上記の活動を継続的に監視する。

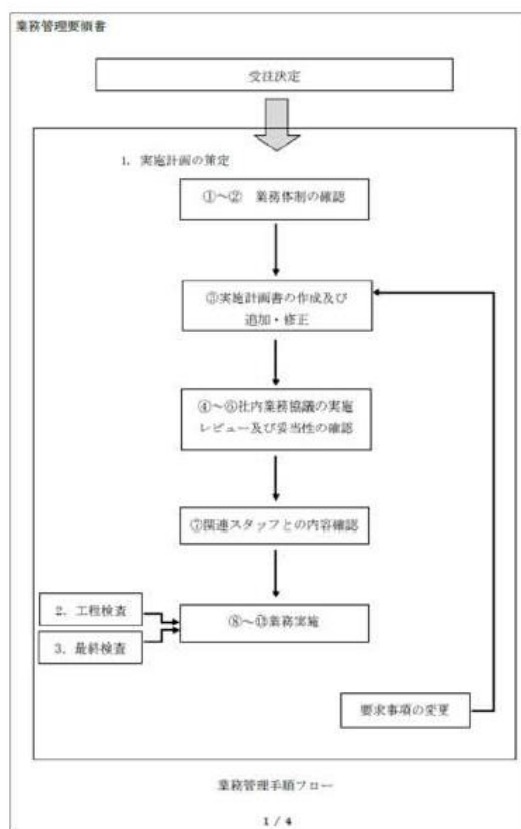
（取締役の責任）
6. 取締役は、率先垂範して本指針を実践するものとし、指針に反するような事態が発生したときには、自ら解決に当たり、原因究明、再発防止に努め、権限と責任を明確にした上で、適正に対処する。

2020年 1月 1日

株式会社MACS

最高管理責任者 岩井 克巳

品質管理責任者 古川 恵太



資料編

1. 写真集



事前調査

全景

2024/6/15



事前調査

採泥状況

2024/6/15



事前調査

採取試料

2024/6/15



有機泥設置

撈拌状況

2024/6/27



有機泥設置

ORP計測

2024/6/27



有機泥設置

有機泥

2024/6/27



有機泥設置

水槽①設置前

2024/6/27



有機泥設置

水槽②設置前

2024/6/27



有機泥設置

設置後

2024/6/27



セラミック投入

水質浄化用セラミック

S-M

2024/6/29

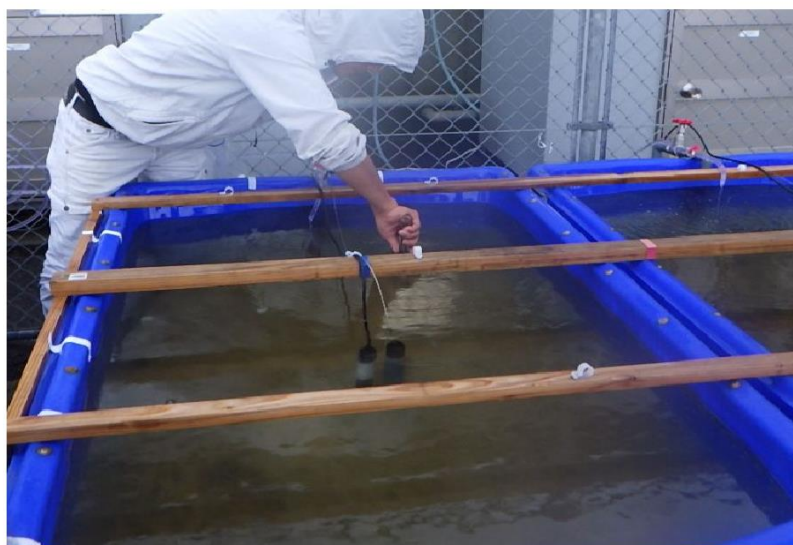


セラミック投入

水質底質浄化用セラミック

RS-CC

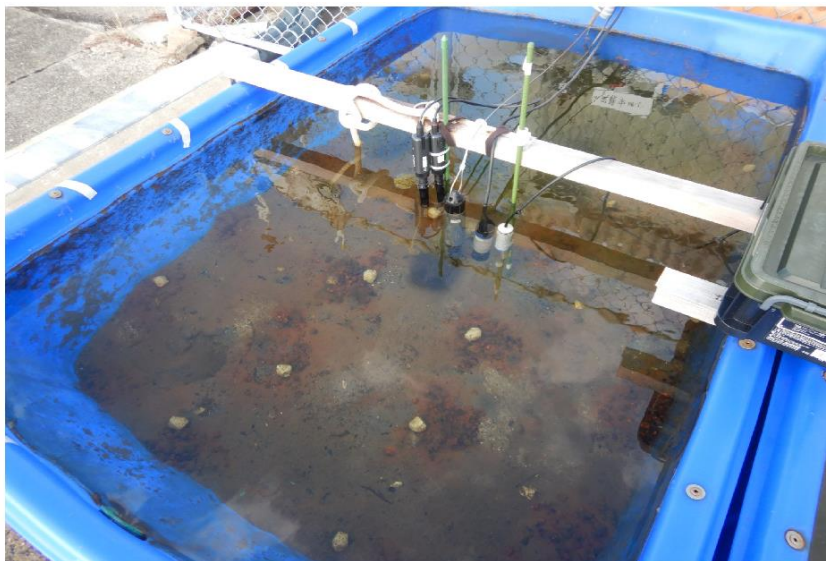
2024/6/29



セラミック投入

投入状況

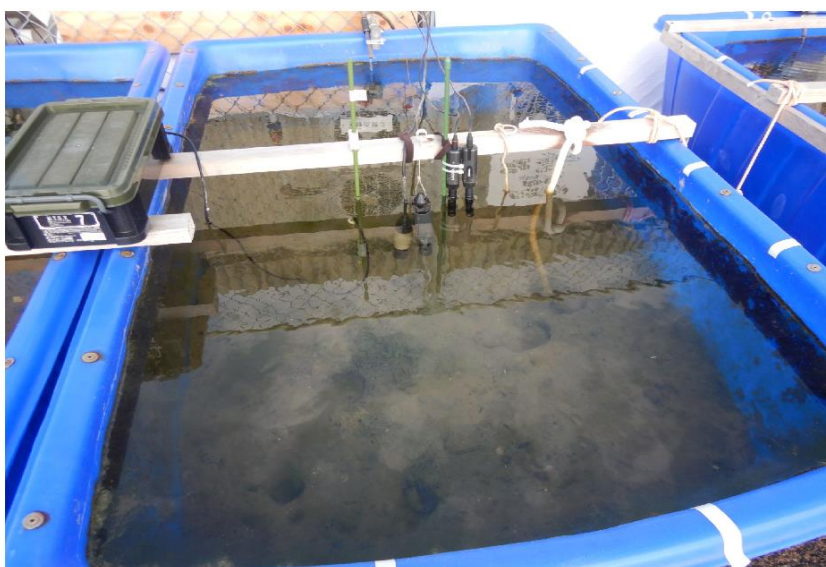
2024/6/29



水質調査

DO計・水温計設置状況

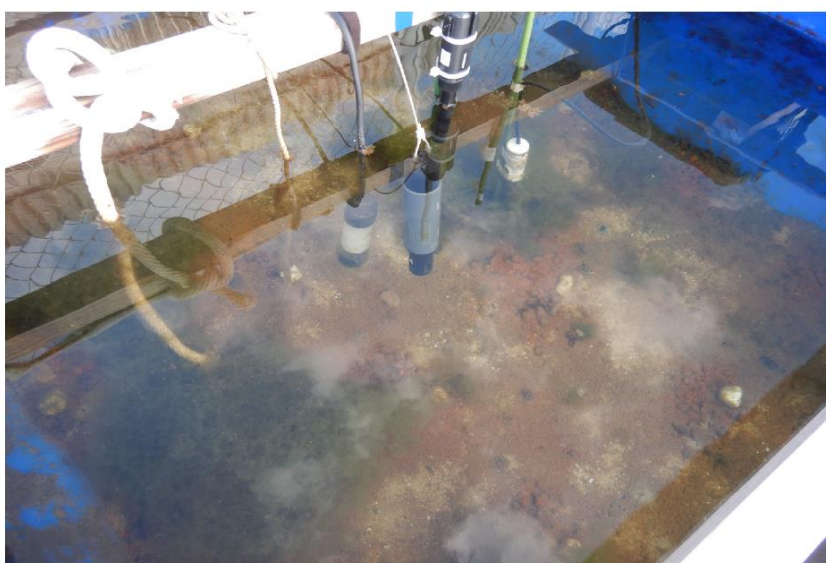
水槽①



水質調査

DO計・水温計設置状況

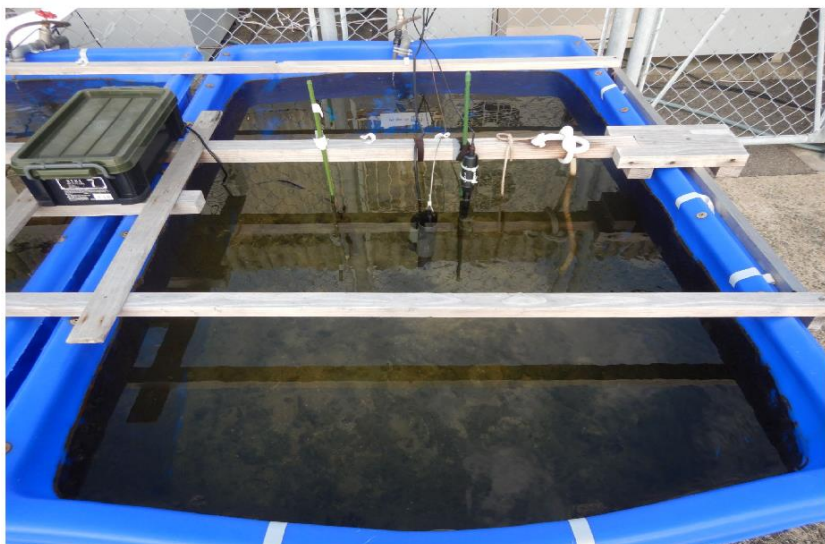
水槽②



水質調査

DO計・水温計設置状況

水槽③



水質調査

DO計・水温計設置状況

水槽④



水質調査

ORP計設置状況

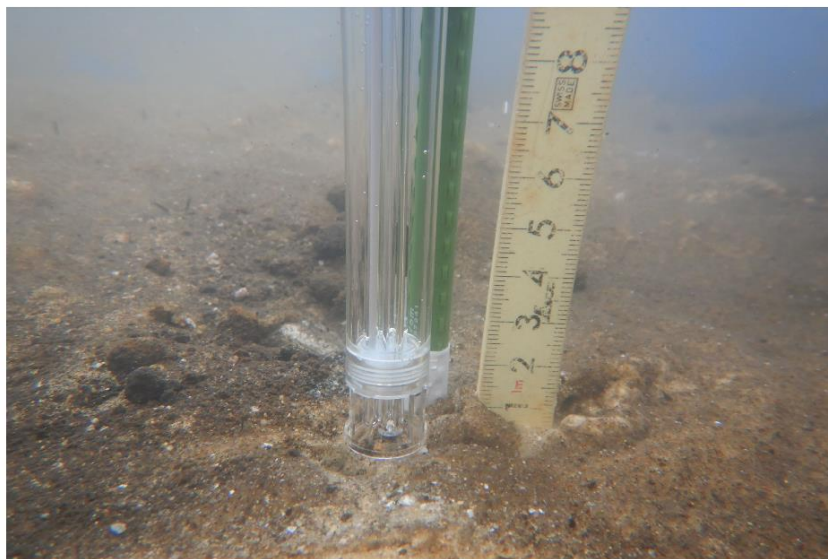
水槽①



水質調査

ORP計設置状況

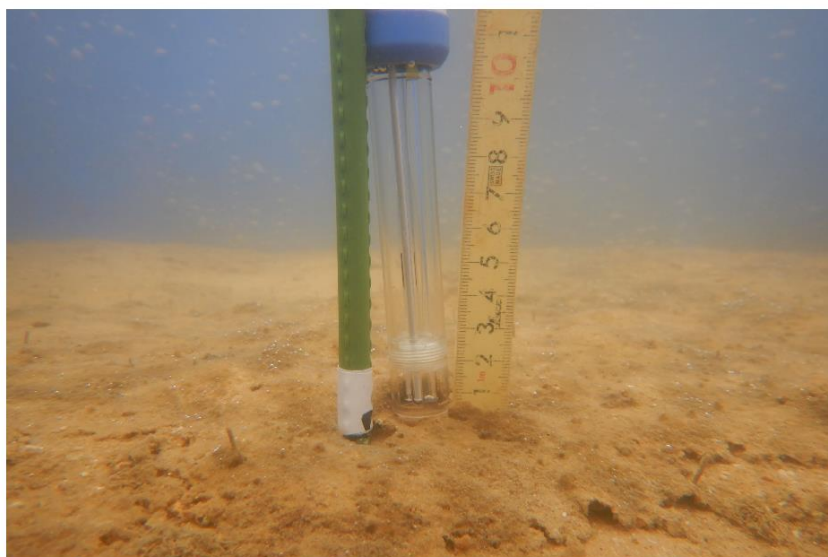
水槽②



水質調査

ORP計設置状況

水槽③



水質調査

ORP計設置状況

水槽④



水質調査

塩分計測状況



底生生物調査

ふるい状況



底生生物調査

採取試料

水槽①

2024/6/29



底生生物調査

採取試料

水槽②

2024/6/29



底生生物調査

採取試料

水槽③

2024/6/29



底生生物調査

採取試料

水槽④

2024/6/29



底生生物調査

採取試料

水槽①

2024/12/24

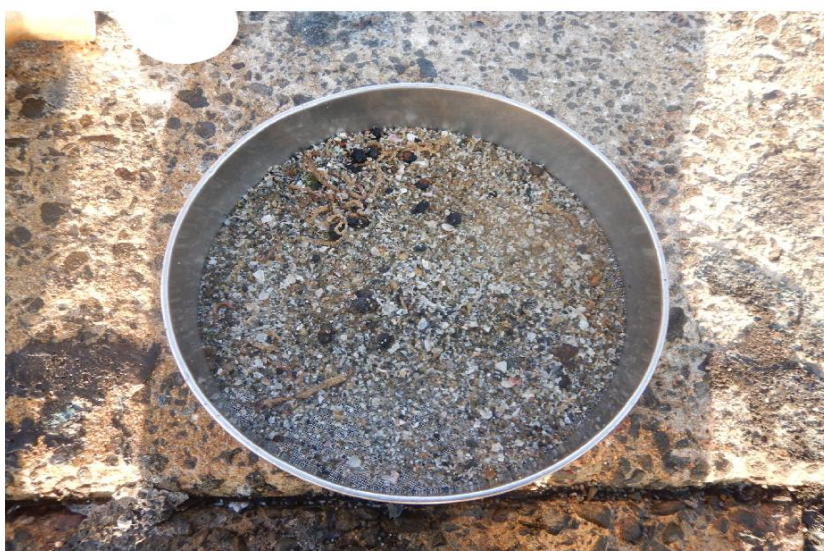


底生生物調査

採取試料

水槽②

2024/12/24



底生生物調査

採取試料

水槽③

2024/12/24



底生生物調査

採取試料

水槽④

2024/12/24

2. データの写し

2.1 水質調査

(1) 塩分計測結果

塩分	6月29日	7月30日	8月23日	9月18日	10月29日	11月25日	12月24日
水槽①	29.08	31.75	31.71	31.76	32.59	32.56	32.54
水槽②	29.29	29.97	30.92	31.61	32.27	32.04	32.16
水槽③	29.15	29.99	31.47	31.55	32.46	32.18	32.34
水槽④	29.39	29.95	31.72	31.64	32.15	32.08	32.13

2.2 底質調査（計測値および分析値）

(1) ORP 計測結果

ORP (mV)	6月28日	7月30日	8月23日	9月18日	9月26日	10月29日	11月25日	12月24日
水槽①-1	-356	-398	-358	-402	-401	-332	-337	-347
水槽①-2	-328	-367	-363	-390	-399	-326	-360	-332
水槽①-3	-335	-372	-374	-378	-379	-325	-365	-288
水槽②-1	-367	-397	-377	-412	-393	-334	-356	-344
水槽②-2	-347	-403	-401	-415	-413	-357	-375	-351
水槽②-3	-343	-396	-380	-402	-396	-359	-332	-364
水槽③-1	83	59	-42	65	-	-283	-49	-153
水槽③-2	74	79	-38	44	-	-67	-128	-67
水槽③-3	107	85	-21	-41	-	-96	26	-95
水槽④-1	74	86	-29	65	-	50	18	65
水槽④-2	108	71	-35	-98	-	33	38	58
水槽④-3	86	66	-68	-48	-	63	45	29

(2) 強熱減量分析結果

強熱減量(% dry)	6月28日	7月30日	8月23日	9月18日	9月26日	10月29日	11月25日	12月24日
水槽①-1	2.43	3.05	2.95	2.72	3.27	3.25	3.06	3.63
水槽①-2	2.06	3.49	2.99	3.35	3.19	3.48	3.17	3.4
水槽①-3	2.42	3.54	3.45	3.02	3.49	2.64	3.29	3.34
水槽②-1	2.91	3.59	3.38	3.09	3.56	3.44	4.34	3.99
水槽②-2	2.33	3.84	3.07	3.56	3.81	3.88	4.15	4.05
水槽②-3	2.23	4.07	3.21	3.25	3.68	3.24	3.63	3.87
水槽③-1	1.00	1.16	1.17	1.26		1.36	1.3	1.44
水槽③-2	1.03	1.10	1.21	1.18		1.13	1.15	1.3
水槽③-3	1.12	1.07	1.22	1.13		1.07	1.14	1.19
水槽④-1	1.03	1.05	1.18	1.34		1.27	1.29	1.45
水槽④-2	1.06	1.14	1.19	1.38		1.17	1.2	1.35
水槽④-3	1.02	1.15	1.21	1.48		1.22	1.44	1.28

強熱減量(% dry)		10月29日	11月25日	12月24日
水槽①	0-1cm	4.69	4.20	4.59
	1-2cm	3.76	3.38	3.51
	2-3cm	3.77	3.39	3.35
	3-4cm	3.31	2.45	2.93
	0-1cm	4.48		
	1-2cm	3.79		
	2-3cm	3.45		
	3-4cm	1.71		
水槽②	0-1cm	4.86	4.57	4.46
	1-2cm	4.01	3.67	4.01
	2-3cm	3.74	3.66	4.01
	3-4cm	3.63	3.07	3.62
	0-1cm	3.73		
	1-2cm	3.82		
	2-3cm	3.85		
	3-4cm	3.67		

(3) 全硫化物分析結果

全硫化物(mg/g dry)	6月28日	7月30日	8月23日	9月18日	9月26日	10月29日	11月25日	12月24日
水槽①-1	0.658	0.801	0.749	0.631	0.943	0.714	0.785	0.637
水槽①-2	0.536	0.892	0.799	0.723	0.834	0.856	0.634	0.787
水槽①-3	0.392	0.828	0.767	0.657	0.813	0.689	0.581	0.715
水槽②-1	0.537	0.926	0.877	0.891	0.881	0.893	0.855	0.805
水槽②-2	0.561	0.767	0.761	0.826	0.866	0.927	0.929	0.76
水槽②-3	0.279	1.02	0.914	0.916	0.905	0.734	0.747	0.807
水槽③-1	0.019	N.D	0.024	0.024		0.076	0.057	0.058
水槽③-2	0.007	N.D	0.030	0.010		0.006	0.034	0.038
水槽③-3	0.011	N.D	0.008	0.008		N.D	0.018	0.02
水槽④-1	0.007	0.01	0.027	0.020		N.D	0.033	0.005
水槽④-2	0.007	0.006	0.019	0.019		0.006	0.021	0.008
水槽④-3	0.02	0.008	0.016	0.021		0.01	0.021	0.006

(4) 硫化水素

硫化水素 (mg/l)	6月28日	7月30日	8月23日	9月18日	9月26日	10月29日	11月25日	12月24日
水槽①-1	0.066	0.128	0.155	0.138	0.151	0.133	0.212	0.269
水槽①-2	0.031	0.278	0.146	0.270	0.122	0.215	0.189	0.111
水槽①-3	0.036	0.237	0.222	0.222	0.203	0.052	0.319	0.357
水槽②-1	0.050	0.199	0.237	0.269	0.117	0.04	0.202	0.233
水槽②-2	0.028	0.021	0.185	0.181	0.189	0.264	0.162	0.106
水槽②-3	0.010	0.076	0.160	0.136	0.339	0.046	0.137	0.082
水槽③-1	N.D	N.D	N.D	0.002		0.011	0.011	0.002
水槽③-2	N.D	0.004	N.D	N.D		0.007	0.003	N.D
水槽③-3	N.D	N.D	N.D	N.D		N.D	N.D	N.D
水槽④-1	N.D	N.D	N.D	N.D		0.001	N.D	N.D
水槽④-2	N.D	N.D	N.D	N.D		N.D	N.D	N.D
水槽④-3	N.D	N.D	N.D	N.D		N.D	N.D	N.D

(5) TOC

TOC(% dry)	6月28日	7月30日	8月23日	9月18日	9月26日	10月29日	11月25日	12月24日
水槽①-1		0.852	0.814	0.874	0.979	0.996	0.909	1.19
水槽①-2		1.06	0.764	1.100	0.962	1.12	1.01	1.13
水槽①-3		1.03	0.961	0.861	1.08	0.762	1.23	1.09
水槽②-1		1.08	0.947	0.947	1.11	1.06	1.54	1.34
水槽②-2		1.18	0.823	1.180	1.08	1.34	1.32	1.26
水槽②-3		1.34	0.822	0.959	1.08	0.951	1.12	1.16
水槽③-1		0.120	0.117	0.186		0.22	0.126	0.158
水槽③-2		0.100	0.122	0.169		0.141	0.083	0.141
水槽③-3		0.060	0.142	0.166		0.095	0.079	0.105
水槽④-1		0.040	0.117	0.136		0.127	0.122	0.144
水槽④-2		0.090	0.093	0.148		0.125	0.096	0.118
水槽④-3		0.080	0.105	0.197		0.126	0.138	0.116

TOC(% dry)		10月29日	11月25日	12月24日
水槽①	0-1cm	1.630	1.460	1.34
	1-2cm	1.260	1.06	1.18
	2-3cm	1.140	1.17	1.11
	3-4cm	0.947	0.59	0.787
	0-1cm	1.570		
	1-2cm	1.190		
	2-3cm	1.130		
	3-4cm	0.300		
水槽②	0-1cm	1.46	1.64	1.50
	1-2cm	1.35	1.14	1.17
	2-3cm	1.19	1.16	1.28
	3-4cm	1.16	0.84	1.03
	0-1cm	1.29		
	1-2cm	1.23		
	2-3cm	1.19		
	3-4cm	1.13		

(6) 泥厚

泥厚(cm)	6月28日	7月30日	8月23日	9月18日	9月26日	10月29日	11月25日	12月24日
水槽①-1	4.5	5.0	6.8	5.5	5.2	5.0	6.5	6.3
	4.5	6.5	6.0	5.5	6.5	5.5	5.5	5.5
水槽①-2	4.5	5.5	7.3	7.0	6.5	6.0	5.5	5.5
	5.5	5.3	7.0	7.0	6.5	5.5	5.0	6.0
水槽①-3	5.5	6.0	5.7	7.5	5.5	5.0	5.5	6.0
	3.0	5.4	5.0	7.5	5.0	5.0	4.0	6.5
水槽②-1	4.7	7.0	6.1	6.0	6.0	7.0	6.0	5.5
	5.0	7.0	7.0	6.5	6.0	7.0	6.5	6.2
水槽②-2	6.0	6.0	6.3	6.5	6.3	6.5	4.0	6.5
	6.0	6.0	7.0	6.5	6.2	5.5	7.0	7.3
水槽②-3	6.0	5.0	6.1	6.0	6.0	4.5	6.5	7.6
	5.0	5.2	5.8	7.0	5.5	6.0	6.5	6.8

2.3 底質調査（検定結果）

(1) ORP

Welch t-test

6月28日

	ORP	水槽①	水槽②
平均	-339.667	-352.333	
分散	212.3333	165.3333	
観測数		3	3
自由度		4	
t	1.128934		
P(T<=t) 片側	0.161023		
t 境界値 片側	2.131847		
P(T<=t) 両側	0.322046		
t 境界値 両側	2.776445		

Welch t-test

7月30日

	ORP	水槽①	水槽②
平均		-379	-398.667
分散		277	14.33333
観測数		3	3
自由度		2	
t		1.995705	
P(T<=t) 片側		0.092045	
t 境界値 片側		2.919986	
P(T<=t) 両側		0.184089	
t 境界値 両側		4.302653	

Welch t-test

8/23～9/26の期間

	変数 1	変数 2
平均	-382.667	-398.778
分散	267	190.4444
観測数	9	9
自由度	16	
t	2.259839	
P(T<=t) 片側	0.019067	
t 境界値 片側	1.745884	
P(T<=t) 両側	0.038133	
t 境界値 両側	2.119905	

Welch t-test

10/29～12/24の期間

	変数 1	変数 2
平均	-334.667	-352.444
分散	510	193.7778
観測数	9	9
自由度	13	
t	2.010393	
P(T<=t) 片側	0.032804	
t 境界値 片側	1.770933	
P(T<=t) 両側	0.065607	
t 境界値 両側	2.160369	

(2) 強熱減量

Student t-test

6月28日

強熱減量	水槽①	水槽②
平均	2.303333	2.49
分散	0.044433	0.1348
観測数	3	3
プールされた分散	0.089617	
自由度	4	
t	-0.76369	
P(T<=t) 片側	0.243805	
t 境界値 片側	2.131847	
P(T<=t) 両側	0.487611	
t 境界値 両側	2.776445	

Student t-test

7月30日

強熱減量	水槽①	水槽②
平均	3.36	3.833333
分散	0.0727	0.057633
観測数	3	3
プールされた分散	0.065167	
自由度	4	
t	-2.27091	
P(T<=t) 片側	0.042821	
t 境界値 片側	2.131847	
P(T<=t) 両側	0.085642	
t 境界値 両側	2.776445	

Welch t-test

8/23~9/26の期間

強熱減量	水槽①	水槽②
平均	3.158889	3.401111
分散	0.066036	0.070211
観測数	9	9
自由度	16	
t	-1.96866	
P(T<=t) 片側	0.033283	
t 境界値 片側	1.745884	
P(T<=t) 両側	0.066566	
t 境界値 両側	2.119905	

Welch t-test

10/29~12/24の期間

強熱減量	水槽①	水槽②
平均	3.251111	3.843333
分散	0.080511	0.1224
観測数	9	9
自由度	15	
t	-3.94415	
P(T<=t) 片側	0.000649	
t 境界値 片側	1.75305	
P(T<=t) 両側	0.001299	
t 境界値 両側	2.13145	

(3) 硫化水素

Student t-test

6月28日

硫化水素	水槽①	水槽②
平均	0.044333	0.029333
分散	0.000358	0.000401
観測数	3	3
プールされた分散	0.00038	
自由度	4	
t	0.942628	
P(T<=t) 片側	0.199622	
t 境界値 片側	2.131847	
P(T<=t) 両側	0.399244	
t 境界値 両側	2.776445	

Student t-test

7月30日

硫化水素	水槽①	水槽②
平均	0.214333	0.098667
分散	0.00601	0.008306
観測数	3	3
プールされた分散	0.007158	
自由度	4	
t	1.674356	
P(T<=t) 片側	0.084686	
t 境界値 片側	2.131847	
P(T<=t) 両側	0.169373	
t 境界値 両側	2.776445	

Welch t-test

8/23~9/26の期間

硫化水素	水槽①	水槽②
平均	0.181	0.201444
分散	0.002487	0.004841
観測数	9	9
自由度	15	
t	-0.71649	
P(T<=t) 片側	0.242348	
t 境界値 片側	1.75305	
P(T<=t) 両側	0.484695	
t 境界値 両側	2.13145	

Welch t-test

10/29~12/24の期間

硫化水素	水槽①	水槽②
平均	0.206333	0.141333
分散	0.009752	0.006463
観測数	9	9
自由度	15	
t	1.53138	
P(T<=t) 片側	0.073246	
t 境界値 片側	1.75305	
P(T<=t) 両側	0.146491	
t 境界値 両側	2.13145	

(4) 全硫化物

Student t-test

6月28日

全硫化物	水槽①	水槽②
平均	0.528667	0.459
分散	0.017729	0.024444
観測数	3	3
プールされた分散	0.021087	
自由度	4	
t	0.58758	
P(T<=t) 片側	0.294192	
t 境界値 片側	2.131847	
P(T<=t) 両側	0.588383	
t 境界値 両側	2.776445	

Student t-test

7月30日

全硫化物	水槽①	水槽②
平均	0.840333	0.904333
分散	0.002184	0.016354
観測数	3	3
プールされた分散	0.009269	
自由度	4	
t	-0.81414	
P(T<=t) 片側	0.230626	
t 境界値 片側	2.131847	
P(T<=t) 両側	0.461252	
t 境界値 両側	2.776445	

Welch t-test

8/23~9/26の期間

全硫化物	水槽①	水槽②
平均	0.768444	0.870778
分散	0.00893	0.002464
観測数	9	9
自由度	12	
t	-2.87598	
P(T<=t) 片側	0.006967	
t 境界値 片側	1.782288	
P(T<=t) 両側	0.013934	
t 境界値 両側	2.178813	

Welch t-test

10/29~12/24の期間

全硫化物	水槽①	水槽②
平均	0.710889	0.828556
分散	0.007636	0.005743
観測数	9	9
自由度	16	
t	-3.0518	
P(T<=t) 片側	0.003805	
t 境界値 片側	1.745884	
P(T<=t) 両側	0.00761	
t 境界値 両側	2.119905	

(5) TOC

Student t-test

7月30日

TOC	水槽①	水槽②
平均	0.980667	1.2
分散	0.012641	0.0172
観測数	3	3
プールされた分散	0.014921	
自由度	4	
t	-2.19916	
P(T<=t) 片側	0.04637	
t 境界値 片側	2.131847	
P(T<=t) 両側	0.09274	
t 境界値 両側	2.776445	

Welch t-test

8/23~9/26の期間

TOC	水槽①	水槽②
平均	0.932778	0.994222
分散	0.013078	0.015914
観測数	9	9
自由度	16	
t	-1.08259	
P(T<=t) 片側	0.147518	
t 境界値 片側	1.745884	
P(T<=t) 両側	0.295037	
t 境界値 両側	2.119905	

Welch t-test

10/29~12/24の期間

TOC	水槽①	水槽②
平均	1.048556	1.232333
分散	0.021528	0.031624
観測数	9	9
自由度	15	
t	-2.39142	
P(T<=t) 片側	0.015165	
t 境界値 片側	1.75305	
P(T<=t) 両側	0.030329	
t 境界値 両側	2.13145	

(6) 泥厚

Student t-test

6月28日

泥厚	変数 1	変数 2
平均	4.583333	5.45
分散	0.841667	0.375
観測数	6	6
プールされた分散	0.608333	
自由度	10	
t	-1.92461	
P(T<=t) 片側	0.041587	
t 境界値 片側	1.812461	
P(T<=t) 両側	0.083173	
t 境界値 両側	2.228139	

Student t-test

7月30日

泥厚	変数 1	変数 2
平均	5.616667	6.033333
分散	0.293667	0.726667
観測数	6	6
プールされた分散	0.510167	
自由度	10	
t	-1.0104	
P(T<=t) 片側	0.168063	
t 境界値 片側	1.812461	
P(T<=t) 両側	0.336126	
t 境界値 両側	2.228139	

Welch t-test

8/23~9/26の期間

泥厚	水槽①	水槽②
平均	6.277778	6.266667
分散	0.745359	0.176471
観測数	18	18
自由度	25	
t	0.049099	
P(T<=t) 片側	0.480615	
t 境界値 片側	1.708141	
P(T<=t) 両側	0.961231	
t 境界値 両側	2.059539	

Welch t-test

10/29~12/24の期間

泥厚	水槽①	水槽②
平均	5.544444	6.272222
分散	0.388497	0.858595
観測数	18	18
自由度	30	
t	-2.76494	
P(T<=t) 片側	0.004822	
t 境界値 片側	1.697261	
P(T<=t) 両側	0.009643	
t 境界値 両側	2.042272	

2.4 ベントフロー調査

8月23日	緑藻類 μg/l	藍藻類 μg/l	珪藻類 μg/l	クリプト藻類 μg/l	total conc. μg/l
水槽①	1.09	0.00	5.24	0.34	6.67
水槽②	1.17	0.00	5.42	0.33	6.92
水槽③	1.01	0.00	5.13	0.35	6.49
水槽④	1.11	0.00	5.43	0.38	6.92

9月18日	緑藻類 μg/l	藍藻類 μg/l	珪藻類 μg/l	クリプト藻類 μg/l	total conc. μg/l
水槽①	1.22	0.00	5.39	0.32	6.93
水槽②	1.59	0.00	5.46	0.37	7.43
水槽③	1.10	0.00	5.11	0.38	6.58
水槽④	1.14	0.00	5.28	0.38	6.80

9月26日	緑藻類 μg/l	藍藻類 μg/l	珪藻類 μg/l	クリプト藻類 μg/l	total conc. μg/l
水槽①	1.87	0.00	7.81	0.79	10.47
水槽②	1.76	0.00	7.80	0.74	10.30
水槽③	1.75	0.00	7.70	0.76	10.20
水槽④	1.78	0.00	7.61	0.75	10.15

10月29日	緑藻類 μg/l	藍藻類 μg/l	珪藻類 μg/l	クリプト藻類 μg/l	total conc. μg/l
水槽①	1.68	0.00	7.39	0.64	9.70
水槽②	1.66	0.00	7.45	0.63	9.75
水槽③	1.68	0.00	7.44	0.64	9.76
水槽④	1.66	0.00	7.51	0.61	9.78

11月25日	緑藻類 μg/l	藍藻類 μg/l	珪藻類 μg/l	クリプト藻類 μg/l	total conc. μg/l
水槽①	1.86	0.00	7.92	0.76	10.54
水槽②	1.88	0.00	7.88	0.78	10.54
水槽③	1.85	0.00	7.94	0.75	10.54
水槽④	1.90	0.00	7.92	0.73	10.55

12月24日	緑藻類 μg/l	藍藻類 μg/l	珪藻類 μg/l	クリプト藻類 μg/l	total conc. μg/l
水槽①	2.08	0.00	7.82	0.70	10.60
水槽②	2.12	0.00	7.97	0.71	10.80
水槽③	2.05	0.00	8.03	0.71	10.79
水槽④	2.43	0.00	8.52	0.89	11.84