

環境省
令和4年度環境技術実証事業

資源循環技術領域

実証報告書

実証機関 : 株式会社 MAcS
実証対象技術名 : 人工珪砂製造技術・人工珪砂
実証申請者 : 株式会社あさひ
実証番号 : 140-2201



資源循環技術領域

第三者機関が実証した
性能を公開しています

R4年度

「環境省、ETV」で検索

実証番号： 140-2201

目 次

全体概要	1
本編	13
1. 実証参加組織と実証参加者の責任分掌	13
2. 試験実施場所の概要	14
2-1. 試験実施場所の名称・所在地・管理者	14
2-2. 海域の概況	16
3. 実証対象技術の概要	19
3-1. 実証対象技術の原理と目的	19
3-2. 実証対象技術の仕様	21
3-3. 実証対象技術の配置・施工	21
4. 試験の内容	23
4-1. 目標および調査内容	23
4-2. 試験内容	26
4-3. 自主調査	30
4-4. とりまとめと評価	30
4-5. 実施工程	31
5. 実証結果	32
5-1. 事前調査	32
5-2. 水質調査	35
5-3. 底質・底生生物調査	41
5-4. 付着藻類・基礎生産力調査	52
5-5. ベントフロー調査	63
5-6. 自主調査	65
6. 評価のまとめ	66
7. 今後の展望	67
7-1. 山砂・海砂等の採取に関する法規制	67
7-2. リサイクル材を用いた浅場、藻場・干潟造成の事例	69
7-3. 廃ガラスの今後排出される量	70
7-4. 本技術の普及・発展の可能性について	70

全体概要

実証対象技術	人工珪砂製造技術・人工珪砂
実証申請者所在地	(会社名称) 株式会社あさひ (所在地) 埼玉県行田市行田 12-12
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3年4月16日～令和4年9月6日
技術の目的	元のガラス自体の主成分が鉱物由来のシリカである廃ガラスを材料として、低エネルギー・低コストの独自の技術であるミルサイザーによって人工珪砂を作成するものである。本技術で製造された人工珪砂は、粒径が小さく、エッジも丸く、透水性が高く、有機物の混在物が無い不活性な性質を持っているなど、自然由来の砂と同等の性状を持つ。 本技術である人工珪砂は、自然由来の砂と変わらない性状を持つことから、一般的に言われている上記のような効果が期待できるものである。

1. 実証対象技術の概要

1.1 原理及び技術の目的（環境保全・改善効果）

本技術は、元のガラス自体の主成分が鉱物由来のシリカである廃ガラスを材料として、低エネルギー・低コストの独自の技術であるミルサイザーによって人工珪砂を作成するものである。本技術で製造された人工珪砂は、粒径が小さく、エッジも丸く、透水性が高く、有機物の混在物が無い不活性な性質を持っているなど、自然由来の砂と同等の性状を持つ。

砂を用いて「干潟・浅場の再生」することによる環境への効果は、一般的に以下の通りである（出典：水産庁 HP「干潟の働きと現状」より抜粋）。

- ・水質の浄化
- ・生物多様性の維持
- ・海岸線の保全（波浪の抑制）
- ・環境学習（干潟生物・鳥類の観察）
- ・保養（潮干狩りなど）

人工珪砂は、自然由来の砂と変わらない性状を持つことから、一般的に言われている上記のような効果が期待できるものである。

1.2 機器の構成及び仕様等

○仕様

- ・ 粒径：2mm 以下（粒度調整可能）
- ・ 形状：エッジレス

○成分

主成分・比重・色は原料となる廃ガラスにより異なる。本技術で用いた廃ガラスは、スマートホンやタブレット端末などに使用される板ガラスであり、成分等は以下の通りである。

- ・ SiO_2 （二酸化ケイ素） 60～72%、 Na_2O （酸化ナトリウム） 1～12%、
 MgO （酸化マグネシウム） 1～8%、 Al_2O_3 （酸化アルミニウム） 10～18%、
- ・ その他稀少成分： K_2O （酸化カリウム）、 Li_2O （酸化リチウム）、
 ZrO_2 （酸化ジルコニウム）、 CaO （酸化カルシウム） 0～3%
- ・ 比重：2.5 トン/ m^3
- ・ 色：白色（原料となる廃ガラスの種類で色別調整可能）

○その他

- ・ 用途：干潟・浅場造成材、覆砂材、コンクリート用補助骨材、道路舗装工事用材料（光る道路）、排水用材料、水耕栽培、浄化槽用途、ゴルフ場のバンカー、人工ぐり石 など
- ・ その他：無害

1.3 技術の特徴（メリット）等

本技術（人工珪砂）は、シリカが主な成分で、粒径が小さく、透水性が高く、有機物の混入物が無い不活性な性質である。また、粒径も 5mm 以下で調整が可能であり、干潟・浅場造成を行う現地の環境特性に合わせた粒径の組み合わせと配合が可能である。

本技術（ガラス造粒砂）を製造する装置については、2022 年に特許を取得した。

装置の特徴としては以下の通りである。

- ・ コンパクトな設計により省スペースが実現
- ・ シンプルな構造でメンテナンスが簡単
- ・ 装置を運搬輸送、組み立てが容易に可能
- ・ 前後に破砕機や篩装置などを設置し破砕から分級までワンラインの工程設計が可能

1.4 設置条件及びコスト等

<設置条件>

○人工珪砂製造技術

設置スペース：屋内の 6m×3m、使用電力：22kw（いずれも 1 台あたり）

○人工珪砂

干潟・浅場造成における条件などは、運輸省（現国土交通省）監修、財団法人港湾空間高度化センター（現一般財団法人みなと総合研究財団）著作の「港湾における干潟との共生マニュアル」や国土交通省港湾局監修、海の自然再生ワーキンググループ著作の「順応的管理に

よる海辺の自然再生」マニュアルに準じて実施する。

<コスト>

○人工珪砂製造技術

原材料の排出地または使用地に技術が設置出来るため、天然砂と比べて輸送コストが削減される分人工珪砂製造コストは軽減される（原材料の排出地や使用地によって異なるため、明確な数値は提示できない）。

○人工珪砂

施工コストは天然砂と同様で人工珪砂製造コストが削減されるため、全体コストは軽減される（原材料の排出地や使用地によって異なるため、明確な数値は提示できない）。

2. 実証の概要

2.1 実証の目的

本技術で製造された人工珪砂は、自然由来の砂と変わらない性状を持つことから、干潟の造材材として利用することで、底生生物や着生する微細藻類が天然砂と同等な機能を有しているか否かを検討することを目的として実施した。

2.2 性能を示す項目及びその定量的値（実証項目及び実証する性能値）

実証項目	実証する性能（値）
底生生物	試験区での底生生物（種数・湿重量）が対照区と同等
浅場・干潟の機能	基礎生産力が対照区と同等

2.3 実証（試験）場所

実証（試験）場所	宮城県塩竈市 北浜緑地護岸（人工干潟）
実証（試験）場所の各種情報等	<p>実証試験場所は仙台塩釜港（塩釜港区）の最奥部に造成している北浜緑地公園前面に整備された約 25m×100mの半円形の親水区域で、現在は基礎部分の捨石マウンドの造成が終了しており、市民が主体となった活動で砂の投入が進められている。</p> <p>周辺一帯の水深は4m前後と浅く、周辺のマリーナや対岸の観光船発着場を備えた観光施設「みなとオアシス・マリゲート塩釜」には市内外から多くの観光客が訪れている。</p>

2.3 実証期間（スケジュール）

試験内容	調査項目	実施時期							備考
		令和2年度	令和3年度				令和4年度		
		事前調査	5月	8月	11月	3月	6月	9月	
事前調査	地形測量	1							30m×50m程度の範囲
	水温、濁度、塩分濃度、光量子	1							多項目水質計
	透明度	1							
	粒度組成	2							人工珪砂と天然砂の粒度組成
水質調査	水温、濁度、塩分濃度、光量子		2	2	2	2	2	1	多項目水質計
	透明度		2	2	2	2	2	1	
底質・底生生物調査	ORP		2	2	2	2	2	2	現地機器計測
	強熱減量、粒度組成		2	2	2	2	2	2	試験区、対照区
	底生生物		2	2	2	2	2	2	試験区、対照区
付着藻類・基礎生産量調査	付着藻類の種の同定・湿重量		2	2		2			試験区、対照区の表層泥
	隔離水塊（明暗条件下）の溶存酸素量		4	4		4	4		試験区、対照区それぞれに明暗のコアパイプを設置し溶存酸素量を測定する。

○. 過去に調査（試験）した試験データの活用の検討

特になし

3. 実証結果と考察

3.1 実証結果

3.1.1 底質

事前調査では、天然砂と比較して人工珪砂の粒径で粘土から細砂にあたる粒径が少なかったが、設置後、試験区への周辺からのシルトや砂が混入し、対照区の天然砂に粒度分布が近づく傾向にあった。図に調査期間の最終日にあたる2022年9月時の試験区と対照区の粒度分布を示す。

対象技術の設置後、約1.5年経過後の試験区の人工珪砂と対照区の天然砂の粒径加積曲線は、ほぼ重なる結果となった。

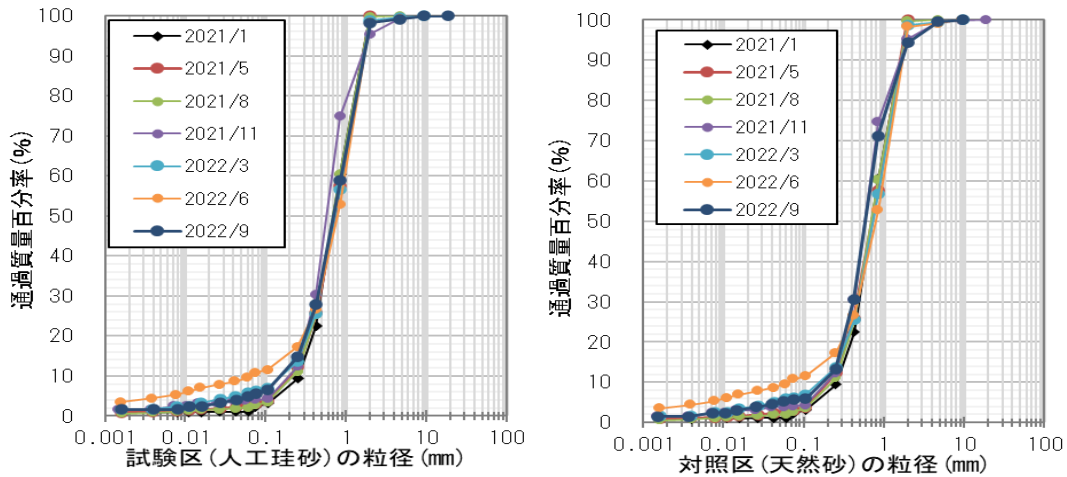


図 0-1 粒度組成の変化(左図：試験区，右図：対照区)

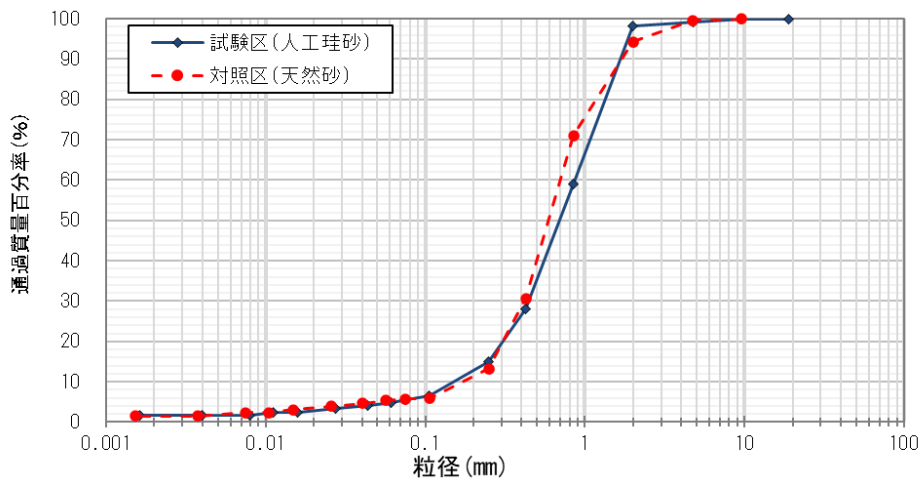


図 設置後約1.5年後の試験区と対照区の粒度組成の比較

底質の化学的な変化は、ORP と強熱減量にて検討した。試験区の ORP の測定値は、2021 年 5 月から 2022 年 3 月までの調査で各回とも対照区より低かったが、2022 年 6 月以降は対照区より測定値が高くなっていった。統計的には、2022 年 9 月 6 日を除いて有意差は認められなかった。

次に、強熱減量を見ると試験開始時に試験区で強熱減量が低かったが、時間の経過とともに増加し、対照区と大きな差がなくなった。

表 0-1 強熱減量の推移

日付		強熱減量	
		試験区 (人工珪砂)	対照区 (天然砂)
2021 年	5 月 27 日	0.2	1.0
	8 月 20 日	0.7	1.2
2022 年	3 月 16 日	1.5	2.1
	9 月 14 日	1.4	1.9

3.1.2 底生生物

底生生物の種類数を以下の図に示す。また、湿重量については、試料採取時に容器壁面に着生していたイタボガキ科・フジツボ科が大量に混入したため、これを除いて図化した。

調査回に応じて、試験区と対照区と増減する回もあるが、全体を通じてみると、試験区と対照区との間に種数と湿重量に大きな差はなかった。

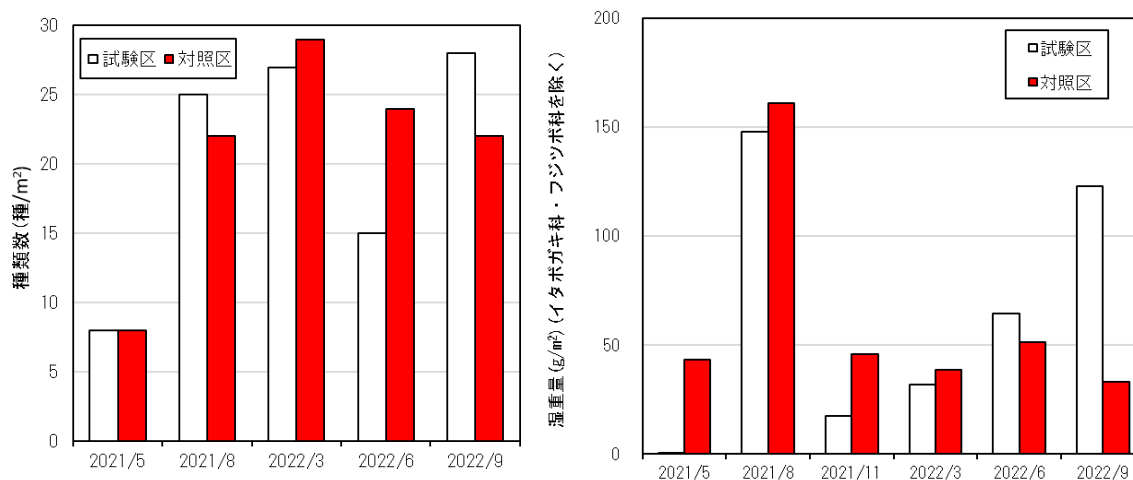


図 左図：底生生物の種類数 右図：イタボガキ科・フジツボ科を除く底生生物湿重量

また、両試験区でアサリの加入がみられた。各試験区でのアサリ殻長組成を下図に示す。なお、殻長組成は、計測実数で示すため m^2 換算の出現種リストの個数と一致しない。

試験区と対照区ともに継続してアサリを確認できたことから、アサリの生育基盤として差が無いと考えられた。

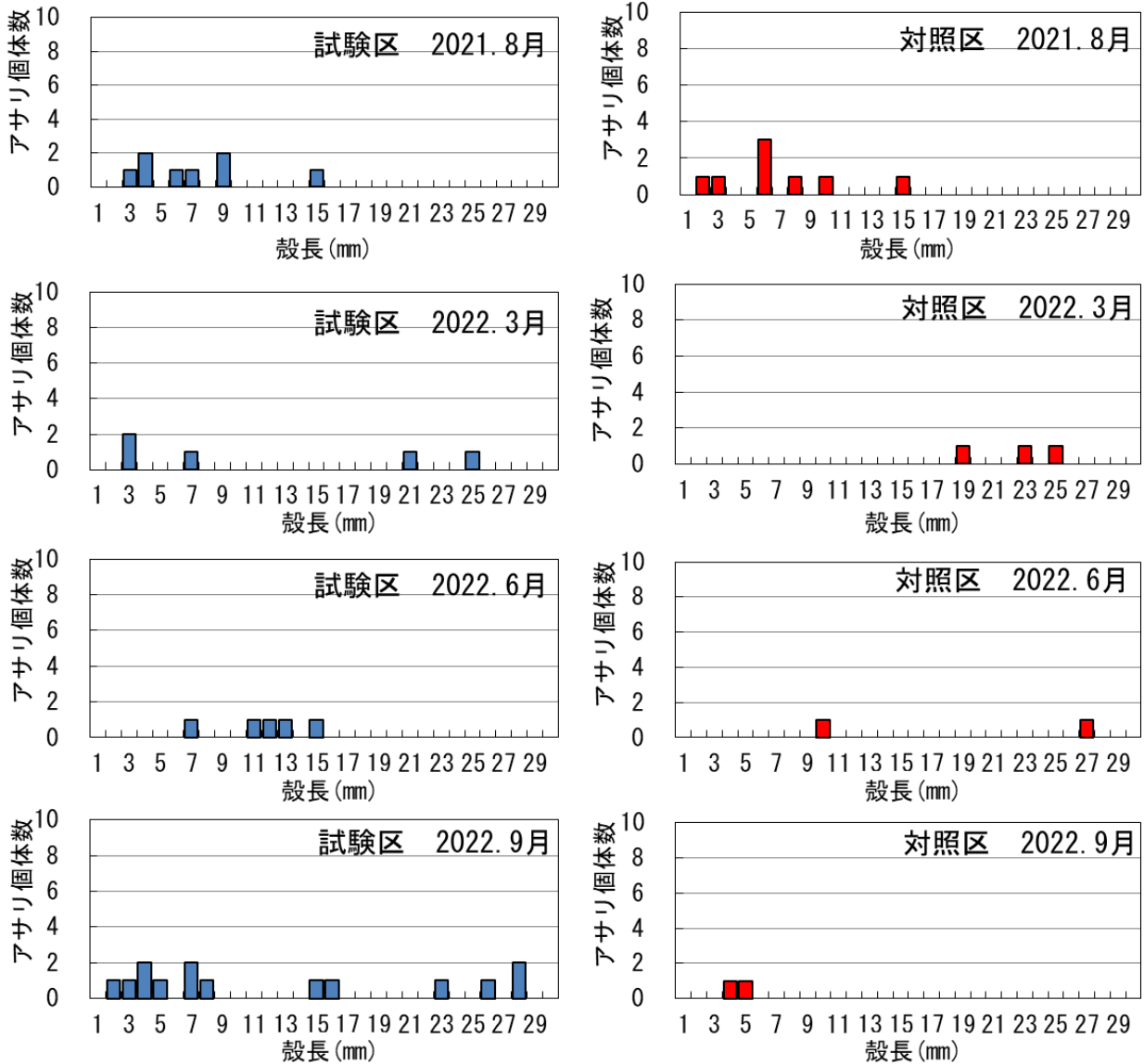


図 アサリ加入個体の殻長組成*

*殻長組成は計測実数で示す。なお、プランターの表面積は $0.255m^2$ である。

3.1.3 付着藻類

付着藻類の出現結果を下図に示す。

種類数は4か月以降から両区画とも14~17の種類数で推移した。付着藻の細胞数は、2021年5月を除き、同じオーダーの細胞数で推移した。

これらの事から、付着藻類の出現状況に試験区と対照区で大きな変化はなかった。

なお、今回の試験では、微細藻類のみの確認であるため、湿重量の計測は行なわなかった。

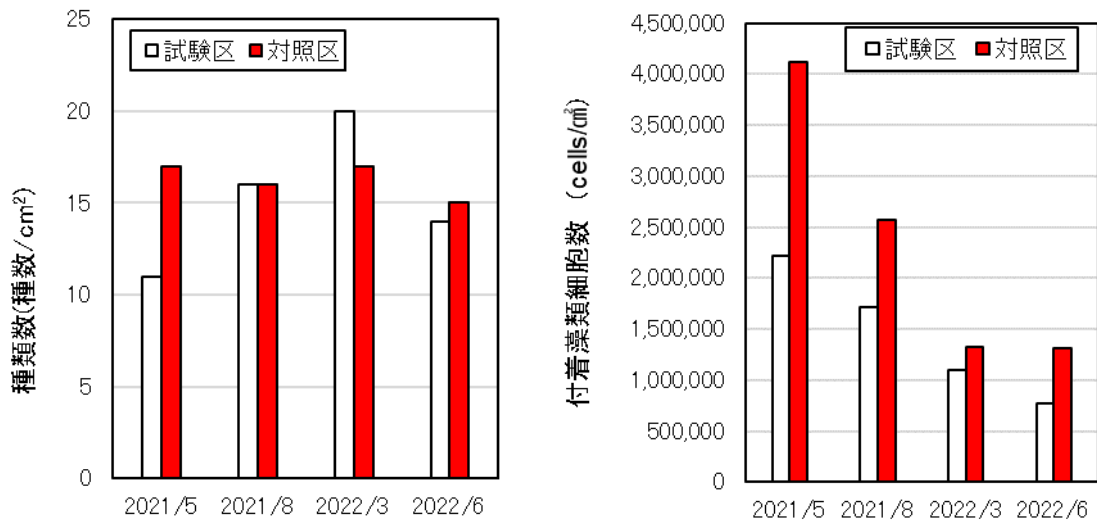


図 付着藻類出現状況（左図：種類数，右図：細胞数）

3.1.4 基礎生産力調査

基礎生産力の指標として溶存酸素濃度の推移を確認した。試験は日射量や雲量といった天候の影響を大きく受けたため、概要では最も天候に恵まれた2021年5月調査時の結果を示す。

2021年5月では、明条件では試験区と比較して対照区での測定値が高い水準で推移したが、試験区においても時間経過に伴う測定値上昇がみられ、対照区に及ばないものの基礎生産が行われていることが示された。

次に、光合成による酸素発生量をより把握できるように、明条件と暗条件の差分を下図に示す。

試験区、対照区とも増加傾向が確認され、同等の傾きであった。

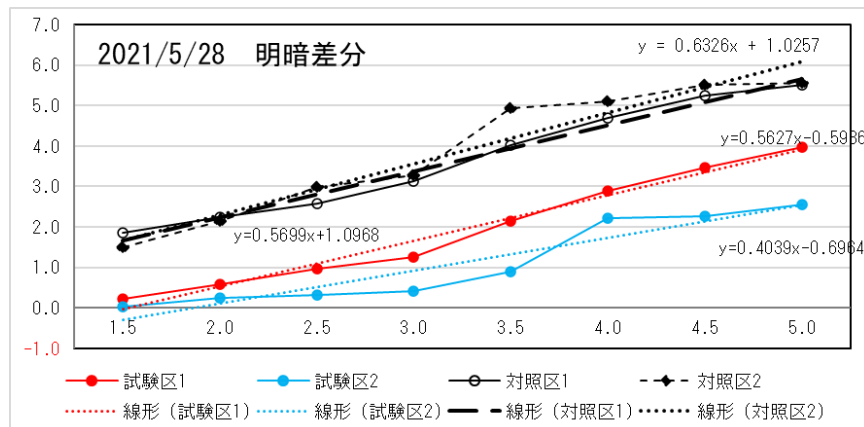


図 0-2 溶存酸素濃度初期値を0とした場合の基礎生産力推移(2021年5月調査)

3.1.5 ベントフロー調査

ベントフロー調査により、緑藻、藍藻類、珪藻類について現地で出現状況を確認した。

緑藻は、試験区、対照区ともに現地盤での生育密度とは有意差がみられた。藍藻は、珪藻に次ぐ生育密度を示した。試験区と対照区では有意差がみられなかったが、現地盤よりも対照区で高い密度を示した。珪藻は、試験区、対照区間での有意差は認められず、期間中に現地盤での生育密度が増加したことにより、試験区、対照区および現地盤での差がなくなった。期間を通して緑藻及び藍藻と比較して高い生育密度であった。

3.1.3 自主調査

2022年3月16日に試験施設周辺海域よりアマモ栄養株を採取し、試験区及び対照区に移植した。

2022年6月調査時の段階で、試験区と対照区ともに生育が確認された。

試験区と対照区とも、アマモの生育に差が無く、生育基盤としても差が無いと考えられた。



図 移植アマモの生育状況

3.2 考察

3.2.1 評価のまとめ

【底生生物】

全体を通じてみると、試験区と対照区との間に種数と湿重量に大きな差はなかった。また、試験区では、天然砂を用いた対照区と同程度の幅広い分類群にまたがる多様な底生生物が確認された。さらに、資源の減少が全国的な問題となっているアサリに関して、その稚貝の着底と成長を確認できたことから、アサリの生育基盤としても差が無いと考えられた。

【浅場・干潟の機能】

基礎生産力の指標とした溶存酸素濃度の増加量は、試験区と対照区に大きな差が無いことを確認した。付着藻類についても、分析試験とベントフロー調査により確認し、試験区と対照区との差が無く、多種多様な微細藻類の生育を確認することができた。

以上の事から、本技術である人工珪砂が目標水準を満たした事を確認し、天然砂と同等の機能を有すると考えられ、人工珪砂は、干潟の造成材として有効であると言える。また、天然砂と変らない底

生生物の生息・生育が確認されたことから、一般的な干潟造成の効果として考えられる健全な物質循環の創出へも寄与することが期待される。

3.2.1 今後の展望

山砂・海砂等自然に産出する土砂を対象に、採取に関連した規制について国や自治体でそれぞれ定められており、藻場・干潟等の造成のための大量の材料確保には様々な課題がある。

この様に、天然の砂などを用いた藻場・干潟等の造成には規制面から材料確保に課題があることから、リサイクル材を用いた造成に今後とも需要があると考えられる。既存の実績のあるリサイクル材に対して、材料構造や価格といった面で優位に立つことで、人工珪砂の需要に期待が持てる。

また、2016年3月に出された「マテリアルリサイクルによる天然資源消費量と環境負荷の削減に向けて～素材別リサイクル戦略マップ策定に向けた調査・検討の中間報告～」によると、2013年時点で未利用として廃棄・埋立処理されている廃ガラスは148.1万t/年とされている。同報告書では、「選別されないガラスは結果としてその大部分が埋立処分又はスラグ等（路盤材）として利用されており、埋立処分量低減の観点からもリサイクル手法の多様化が求められている。特に、太陽光パネルの将来的な排出量の増大が想定されることから、ガラスに関するリサイクルシステムの構築や技術開発、用途開発を一層推進していくことが必要である」と述べられていることなどから、未利用の廃ガラスのリサイクル手法の一つとして、本技術は有効であると考えられる。

なお、本技術で用いた廃ガラスは、スマートホンやタブレット端末などの強度が必要な物に使用される板ガラスである。2040年には約80万tの太陽光パネルの廃棄が予測されており、同様の廃棄物の有効活用方法としても期待されるものと言える。

ただし、ガラス製品は使用目的に応じて製造過程で様々な物質を添加するため、人工珪砂の原料となる廃ガラス製品の化学的な安全性、粒度調整後の物理的な安全性(エッジレス)の確認が必要不可欠である。

これまで日本の内湾・内海は環境改善のために汚濁負荷量の削減を中心とした対策が取られてきたが、第9次水質総量削減の在り方について（中央環境審議会答申、令和3年3月）において「水質浄化機能、生物の生息・生育の場として重要な藻場・干潟の多くが失われてきているため、残された藻場・干潟を保全するとともに、失われた藻場・干潟の再生を推進する必要がある。」とされたところであり、今後は積極的に藻場・干潟の再生が行われていくものと思われる。

本技術の人工珪砂は、天然砂の代替材としての利用を想定した技術であり、2021年3月から2022年9月までの現地実証により、底生生物の加入などの浅場・干潟の機能において差が無いことを確認した。現在、山砂・海砂ともに規制されているなか、天然砂と同等の機能を持つ人工珪砂を代替材として様々な場所で使用することで、天然砂を採取することにより生じる環境負荷を軽減できると考えられる。さらに、廃ガラスのリサイクル手法の一つとして、浅場や干潟造成に使用することは、持続可能な社会形成において重要な位置付けとなると考えられる。

また、本技術は、5mm以下の任意の粒度に調節したエッジレス加工による人工珪砂を製造することができることから、砂質干潟や泥質干潟などの目的とする造成干潟の粒度に合致する基質を供給できる。すなわち、干潟造成における幅広いニーズに対応可能な技術として今後の利活用が大いに期待される。

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	人工珪砂製造技術・人工珪砂	
製造(販売)企業名	ゼンキ工業株式会社	
連絡先	TEL/FAX	047-120-7766 / 047-120-7768
	Web アドレス	zenki-k.jp
	E-mail	info@zenki-k.com
設置・導入条件	<p>設置条件（人工珪砂製造技術）</p> <p>設置スペース：屋内の 6m×3m、使用電力：22kw（いずれも 1 台あたり）</p> <p>設置条件（人工珪砂）</p> <p>干潟・浅場造成における条件などは、運輸省（現国土交通省）監修、財団法人港湾空間高度化センター（現一般財団法人みなと総合研究財団）著作の「港湾における干潟との共生マニュアル」や国土交通省港湾局監修、海の自然再生ワーキンググループ著作の「順応的管理による海辺の自然再生」マニュアルに準じて実施する。</p>	
必要なメンテナンス	ローター、ライナー材の交換	
耐候性と製品寿命等	錆止め＋上塗塗装(ウレタン樹脂塗料他)、製品寿命は消耗部品交換により10年以上(使用状況・環境により製品寿命は変動するため保証するものではありません。)	
施工性	ホールインアンカー固定及びアダスターによる置くだけの設置で施工性良好	
設置期間	3日間(ダクト配管除く)	
コスト概算 (条件：人工珪砂製造技術)	イニシャルコスト	
		本体、プレダスター、標準設置、経費含む
	合計	34,700,000 円
	メンテナンスコスト	
		規定処理能力で1年間稼働の場合、処理対象物により変動いたします
合計	5,700,000 円	

4.2 その他メーカーからの情報

○人工珪砂仕様

粒径：5mm 以下（粒度調整可能）

形状：エッジレス

○人工珪砂成分

主な成分は SiO_2 （二酸化ケイ素）、 Na_2O （酸化ナトリウム）、 MgO （酸化マグネシウム）、 Al_2O_3 （酸化アルミニウム）、 K_2O （酸化カリウム）、 Li_2O （酸化リチウム）、 ZrO_2 （酸化ジルコニウム）、 CaO （酸化カルシウム） ※主成分は原料となる廃ガラスにより異なる

○人工珪砂比重

2.5 トン/m³

○人工珪砂の色

原料となる廃ガラスの種類で色別調整可能

本編

1. 実証参加組織と実証参加者の責任分掌

実証への参加組織の体制および責任分掌を図 1-1 に示す。

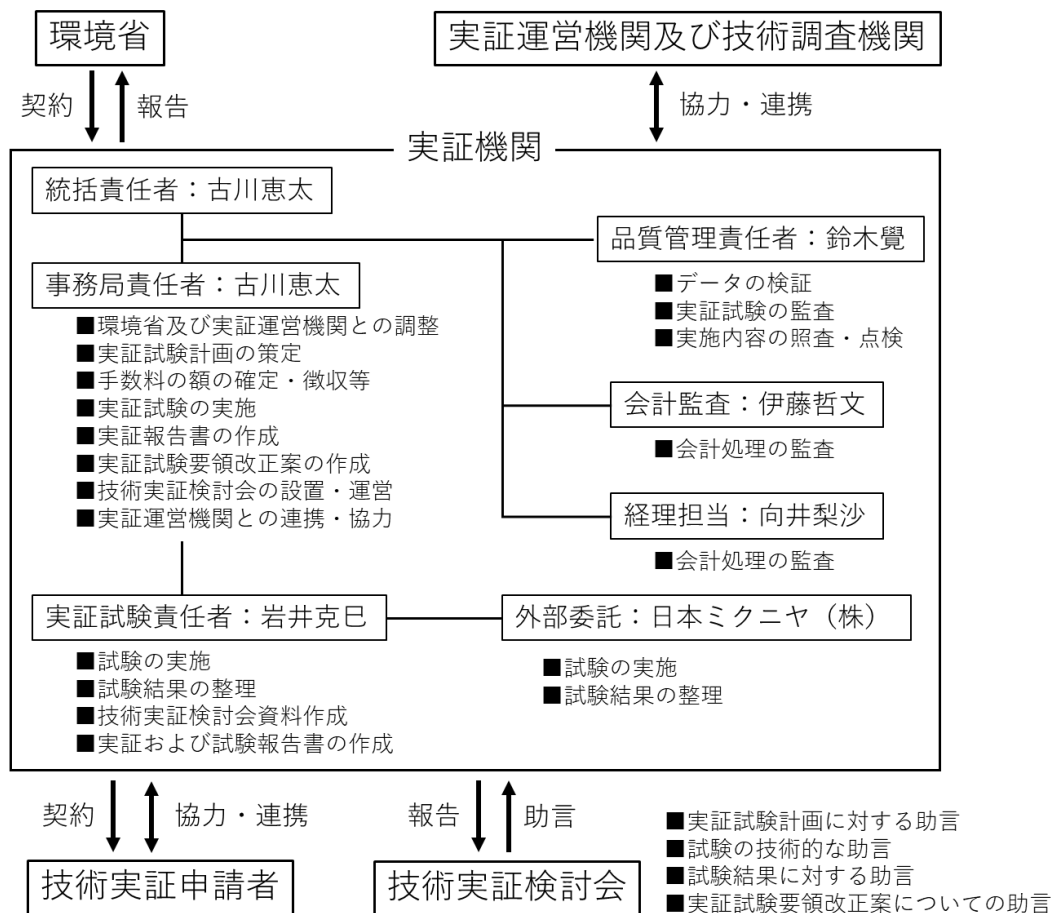


図 1-1 実証参加組織の体制

2. 試験実施場所の概要

2-1. 試験実施場所の名称・所在地・管理者

試験実施場所の名称（所在地）、管理者を表 2-1、試験実施場所を図 2-1、現地状況を図 2-2 に示す。

表 2-1 試験実施場所の名称（所在地）、管理者

名称(所在地)	宮城県塩竈市 北浜緑地護岸（人工干潟）
管理者	宮城県



図 2-1 試験実施場所

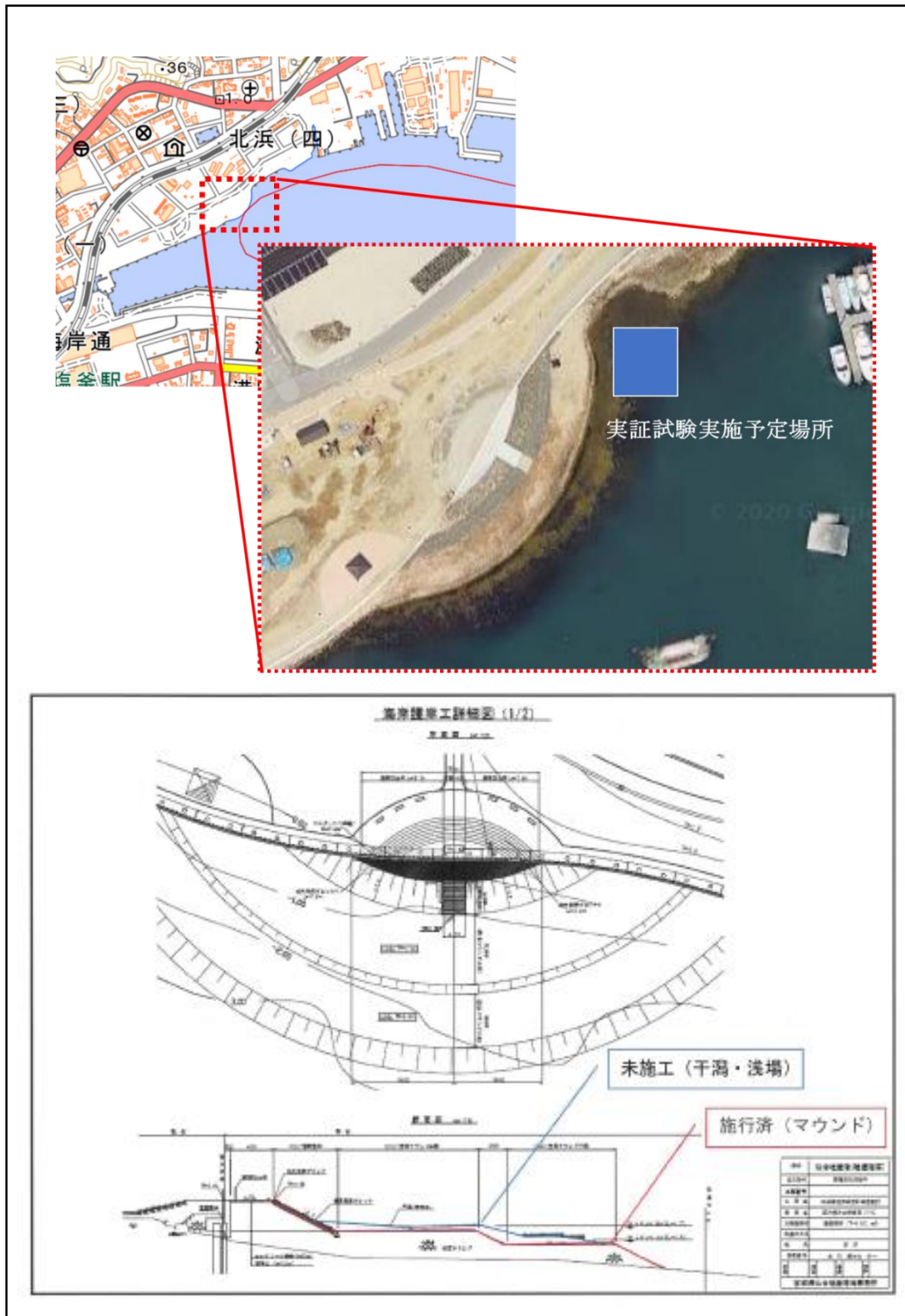


図 2-2 現地状況

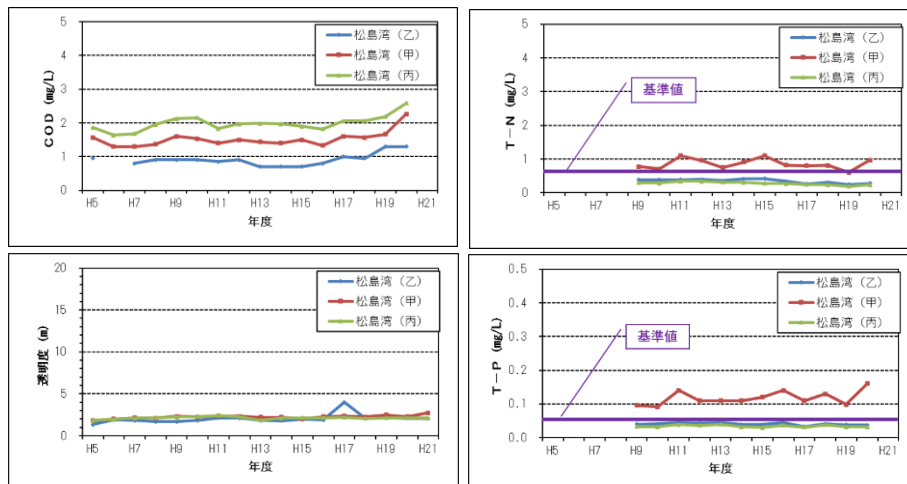
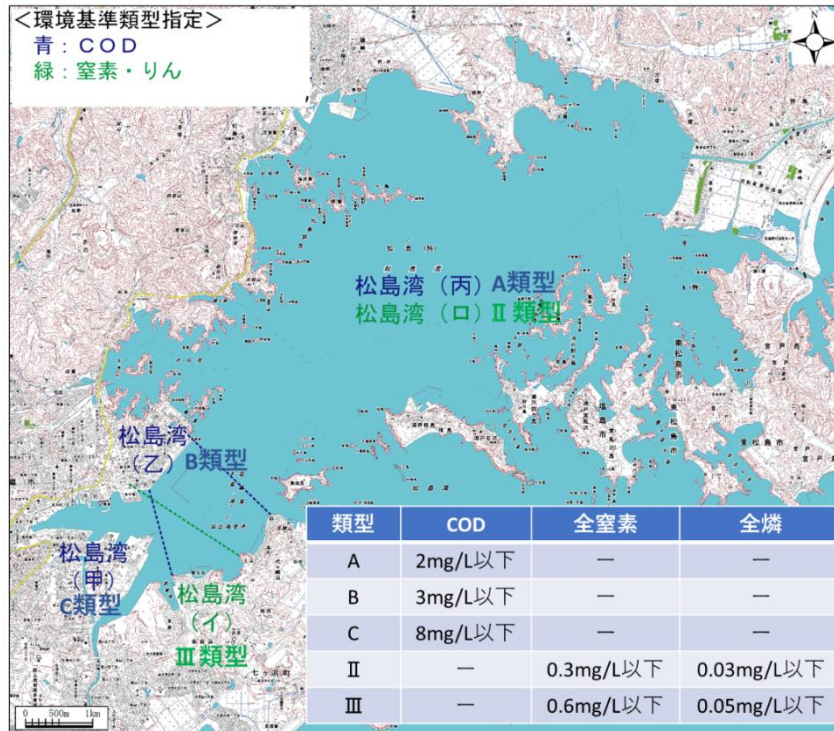
2-2. 海域の概況

試験実施場所周辺海域の概況を表 2-2 に示す。

表 2-2 試験実施場所周辺海域の概況

海域の特徴	
<p>主な利用 状況</p>	<p>○港湾、船舶の航行状況、親水海岸、漁場の有無など</p> <p>塩釜港は、松島湾の南西部に位置し、江戸時代から続く重要な港湾であった。平成13年4月に東北地方で初めて重要港湾から特定重要港湾（現国際拠点港湾）に格上げされ、名称が「塩釜港」から「仙台塩釜港」に変更された。平成23年（2011年）に、震災により被害を受けた仙台港区に代わりエネルギー輸送拠点としての役割を果たし、現在は、港湾の再開発による内貿機能の強化や仙台港区との適切な機能分担を図るとともに、平成15年度（2003年度）に策定した「塩竈ヴェネツィア計画」に基づく観光・海洋性レクリエーションを中心とした地域一体となったまちづくりに取り組んでいる。また、平成24年（2012年）10月の3港統合および平成25年（2013年）6月の港湾計画改訂により、塩釜港区は小型バルク貨物を扱う地域基幹産業の輸送拠点としての役割を担っている。</p> <p>一方で、松島湾は松島丘陵が沈降してできた溺れ谷で、航路部分を含め、湾全体が10m以浅と浅い。湾内には多数の島々が点在しており、静穏性を活かしたカキの養殖やワカメ養殖、海苔養殖などが行われている。また、アマモ場や干潟が広がり、ハゼやアナゴなどが多く生息する豊かな海となっている。2011年の東日本震災で発生した津波によって、松島湾のアマモ場は壊滅的な被害を受け、8割以上が消失したと言われているが、その後、松島湾の豊かな海の復興をめざした「松島湾アマモ再生会議」が2013年に立ち上がり、大学や研究者による調査や一般市民参加のアマモ場再生活動を行ったとともに、官民連携による干潟づくりを本実証試験予定地である北浜緑地護岸で行っている。</p>
<p>実証試験 実施場所の 規模</p>	<p>○水深、面積など</p> <p>実証試験場所は仙台塩釜港（塩釜港区）の最奥部に造成している北浜緑地公園前面に整備された約25m×100mの半円形の親水区域で、現在は基礎部分の捨石マウンドの造成が終了しており、市民が主体となった活動で砂の投入が進められている。</p> <p>周辺一帯の水深は4m前後と浅く、周辺のマリーナや対岸の観光船発着場を備えた観光施設「みなとオアシス・マリゲート塩釜」には市内外から多くの観光客が訪れている。</p>
<p>水質の 状況</p>	<p>○過去の水質データ（※「閉鎖性海域ネット：環境省」より）</p> <p>松島湾は、松島丘陵が沈降してできた溺れ谷で、日本三景の一つとなっている。湾内には多数の島々が点在しており、カキの養殖などが行われている。</p> <p>水質の環境基準類型指定は、下図に示すように区分されており、CODは湾南西奥部の仙台塩釜港（塩釜港区）よりC、B、A、窒素およびリンは、Ⅲ、Ⅱと区分されている。本実証試験実施予定地は、CODはC類型、窒素およびリンはⅢ類型に区分される範囲である。</p>

本試験区周辺は、COD は年間を通じて環境基準を満たしているが、窒素およびリンは、基準値を超えている。また、透明度は湾全域で2m前後と低めである。



底質の
状況

○底質に関する情報（※「平成23年度閉鎖性海域モニタリング調査報告書：環境省」より）
松島湾の底質のCODは、全域にわたって25.2～37.3mg/g（水産用水基準は20mg/g）と高く、特に湾西部および東部の湾奥部で高くなる傾向が見られる。全窒素（T-N）、全リン（T-P）においても同様な傾向が見られ、全窒素は1.43～2.96mg/g、全リンは0.40～0.77mg/gである。
粒度組成は、湾全域でシルト・粘土分が多く、湾奥部では粘土分（0.005mm未満）が40%以上を占め、中央粒径0.006mmと粒径が小さい。湾中央部ではシルト分（0.005～0.075mm）が60%以上を占め、中央粒径が0.01mm前後である。
実施場所付近においては、強熱減量は10.3%、CODは37.3mg/g、全窒素（T-N）は

	<p>2. 96mg/g、全リン（T-P）は0.77mg/g、硫化物は0.5mg/g（水産用水基準は0.2mg/g）、粒度組成は粘土分（0.005mm未満）が41.0%、中央粒径は0.0056mmとなっている。</p>
<p>生物生息 環境</p>	<p>○底生生物、植物等の生育状況に関する情報（※「生物多様性の観点から重要度の高い海域：環境省」より）</p> <p>松島湾には内湾性の強いアマモが生育し、湾内の干潟にはアサリ、カキなどが豊富にとれカキ礁も発達する（環境省，2001）。松島湾のアマモ場は、2011年3月に発生した東日本大震災直後激減したが、以降、若干ではあるが回復傾向がみられている（環境省，2015）。</p> <p>また、湾内の干潟では、震災後もイボウミニナの生息が確認されており、場所によって増減があるもののベントスの種数は順調に回復している（環境省，2015）</p>
<p>課題</p>	<p>○水質、底質、生物生息環境の点から、どのような改善が必要とされているか。</p> <p>東日本大震災の津波によって消失したアマモ場などの修復や浅場の創出などによって漁場環境改善を図っていく必要がある。また、震災による海への恐怖心から水辺空間との心理的な乖離の問題が起きており、親水空間などの創出も非常に重要な課題といえる。</p> <p>さらに、第9次水質総量削減の在り方について（中央環境審議会答申、令和3年3月）において「水質浄化機能、生物の生息・生育の場として重要な藻場・干潟の多くが失われてきているため、残された藻場・干潟を保全するとともに、失われた藻場・干潟の再生を推進する必要がある。」とされ、藻場・干潟再生が社会的に必要とされている。</p> <p>○改善計画等、どのような検討が進められているか。</p> <p>平成15年度（2003年度）に策定した「塩竈ヴェネツィア計画」に基づく観光・海洋性レクリエーションを中心とした地域一体となったまちづくりに取り組んでいるほか、2003年に設立された「松島湾アマモ再生会議」が主体となったアマモ場再生・干潟づくり活動、セブンイレブン記念財団と塩竈市との連携協定に基づく官民連携の環境再生などが進んでいる。</p> <p>こういった背景のなか、藻場・干潟再生に必要な砂や、代替え材について検討も必要となる。</p>

3. 実証対象技術の概要

3-1. 実証対象技術の原理と目的

本技術は、元のガラス自体の主成分が鉱物由来のシリカである廃ガラスを材料として、低エネルギー・低コストの独自の技術であるミルサイザーによる人工珪砂の製造および製造された人工珪砂である。本技術の人工珪砂は、粒径が小さく、エッジも丸く、充填した場合に透水性が高く、有機物の混在物が無い不活性な性質を持っているなど、自然由来の砂と同等の性状を持つ。

人工珪砂製造技術は、ローターの回転を利用した独自技術であり、連続的に厚さ 20mm までのガラスを処理し、効率よく造粒砂を製造することが可能である。



さらに、砂を用いて「干潟・浅場の再生」することによる環境への効果は、一般的に以下の通りである（出典：水産庁 HP「干潟の働きと現状」より抜粋）。

- ① 水質の浄化
 - 窒素・リンの吸収による富栄養化の防止（微少藻類）
 - ろ過食性動物による有機物の除去（二枚貝類）
 - 脱窒による窒素の除去（バクテリア）
- ② 生物多様性の維持
 - 多様な生物種の保全（干潟固有の生物）
 - 幼稚仔の保育場の提供
 - 鳥類への餌場・休息場の提供
- ③ 海岸線の保全（波浪の抑制）
- ④ 環境学習（干潟生物・鳥類の観察）
- ⑤ 保養（潮干狩りなど）

本技術の人工珪砂は、自然由来の天然砂と変わらない性状を持つことから、一般的に言われている上記のような効果が期待できるものである。

特に、干潟の表面に着生する微細藻類は、多くの底生生物のエサとして利用され、さらに干出した場所では底生生物がチドリなどの鳥類のエサになるため、エコトーンにおける健全な物質循環が創出される。また、水質に着目すると、砂の間を通過する際に濾過された有機懸濁物質などは、バクテリアや底生生物による分解、貝類による濾過、藻類による固定、鳥類や魚類による搬出等を通じて有機物や窒素・

リンが除去されている。これらの機能はいずれも生物の代謝（摂食、摂餌、呼吸、同化等）により発現されることから、干潟・藻場という基盤に生物が豊かに存在することによりその機能が支えられているといえる。

よって、本実証試験では、人工珪砂が自然由来の天然砂と同等な機能を有しているか否かを目的として実施した。

3-2. 実証対象技術の仕様

本技術（廃ガラスを用いた人工珪砂製造技術）の仕様は以下の通りである。

○仕様

- 粒径：2mm 以下（粒度調整可能）
- 形状：エッジレス

○成分

主成分・比重・色は原料となる廃ガラスにより異なる。本技術で用いた廃ガラスは、スマートフォンやタブレット端末などに使用される板ガラスであり、成分等は以下の通りである。

- SiO₂（二酸化ケイ素） 60～72%、Na₂O（酸化ナトリウム）1～12%、MgO（酸化マグネシウム）1～8%、Al₂O₃（酸化アルミニウム）10～18%、
- その他稀少成分：K₂O（酸化カリウム）、Li₂O（酸化リチウム）、ZrO₂（酸化ジルコニウム）、CaO（酸化カルシウム）0～3%
- 比重：2.5 トン/m³
- 色：白色（原料となる廃ガラスの種類で色別調整可能）

○その他

- 用途：干潟・浅場造成材、覆砂材、コンクリート用補助骨材、道路舗装工事用材料（光る道路）、排水用材料、水耕栽培、浄化槽用途、ゴルフ場のバンカー、人工ぐり石 など
- その他：無害

3-3. 実証対象技術の配置・施工

本技術で製造された人工珪砂の配置を図 3-1 に示す。

2021 年 4 月 15 日に試験区と対照区の設置を行った。設置の際は、人工珪砂と天然砂を大きめのプランター（横 60×縦 40×深さ 40cm）に入れ、L.W.L. 付近がプランターの上面に当たる場所で行い、それぞれ試験区(人工珪砂)と対照区(天然砂)とした。設置した数量は、合計で 24 個である。

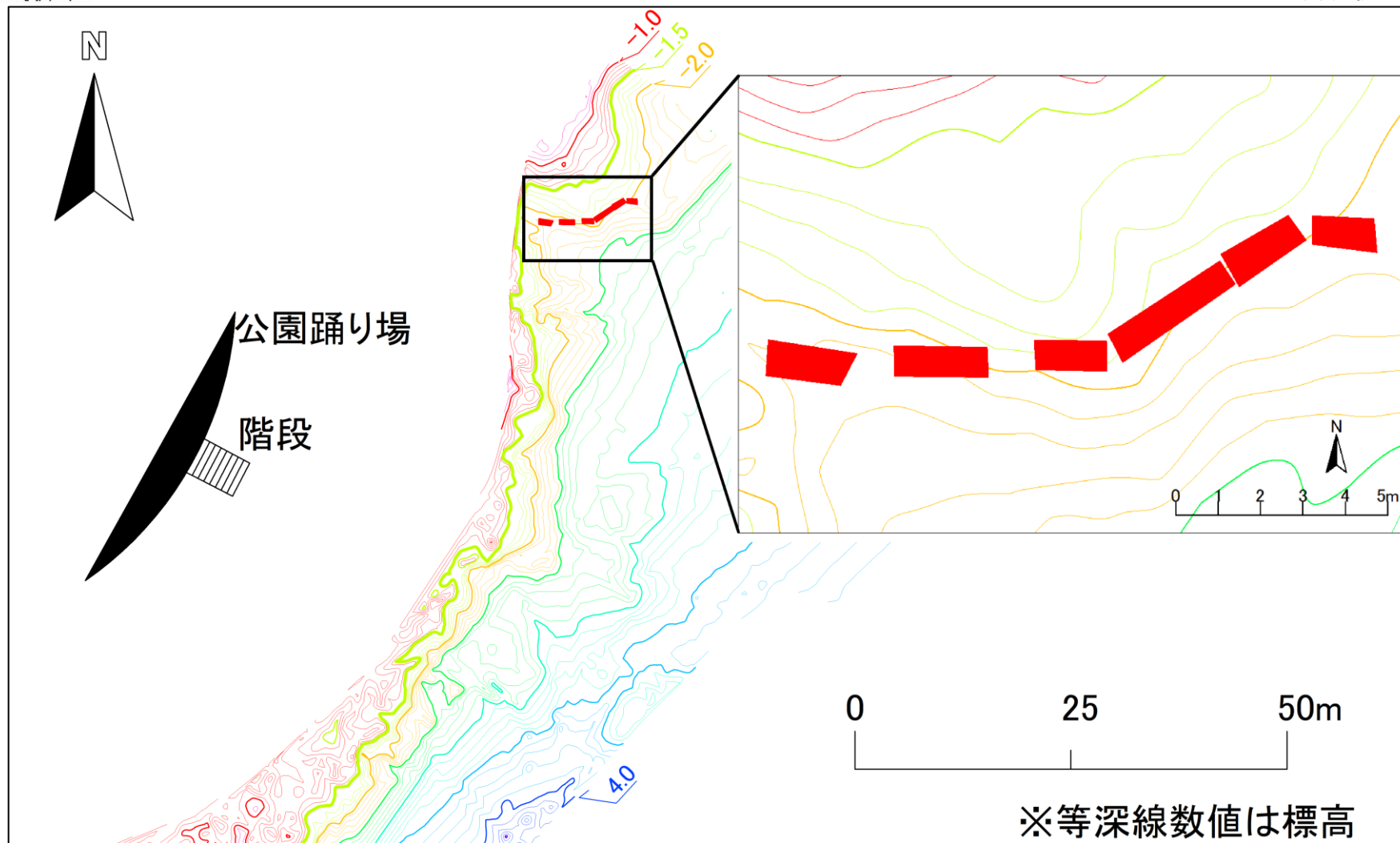


図 3-1 試験区の配置状況

4. 試験の内容

4-1. 目標および調査内容

4-1-1. 目標

実証項目と目標を表 4-1 に示す。

各実証項目の目標水準を評価基準とし、対照区と比較することにより評価する。

天然砂と同等の機能を有していることで、

- エッジレスである特徴を活かした活用
- 環境再生において不足している天然砂の代替材としての活用

における効果を実証した。

表 4-1 実証項目および目標

実証項目	目標水準
底生生物	試験区での底生生物（種数・湿重量）が対照区と同等
浅場・干潟の機能	基礎生産力が対照区と同等

4-1-2. 試験概要

試験全体の概要を図 4-1 に、試験内容を表 4-2 に示す。

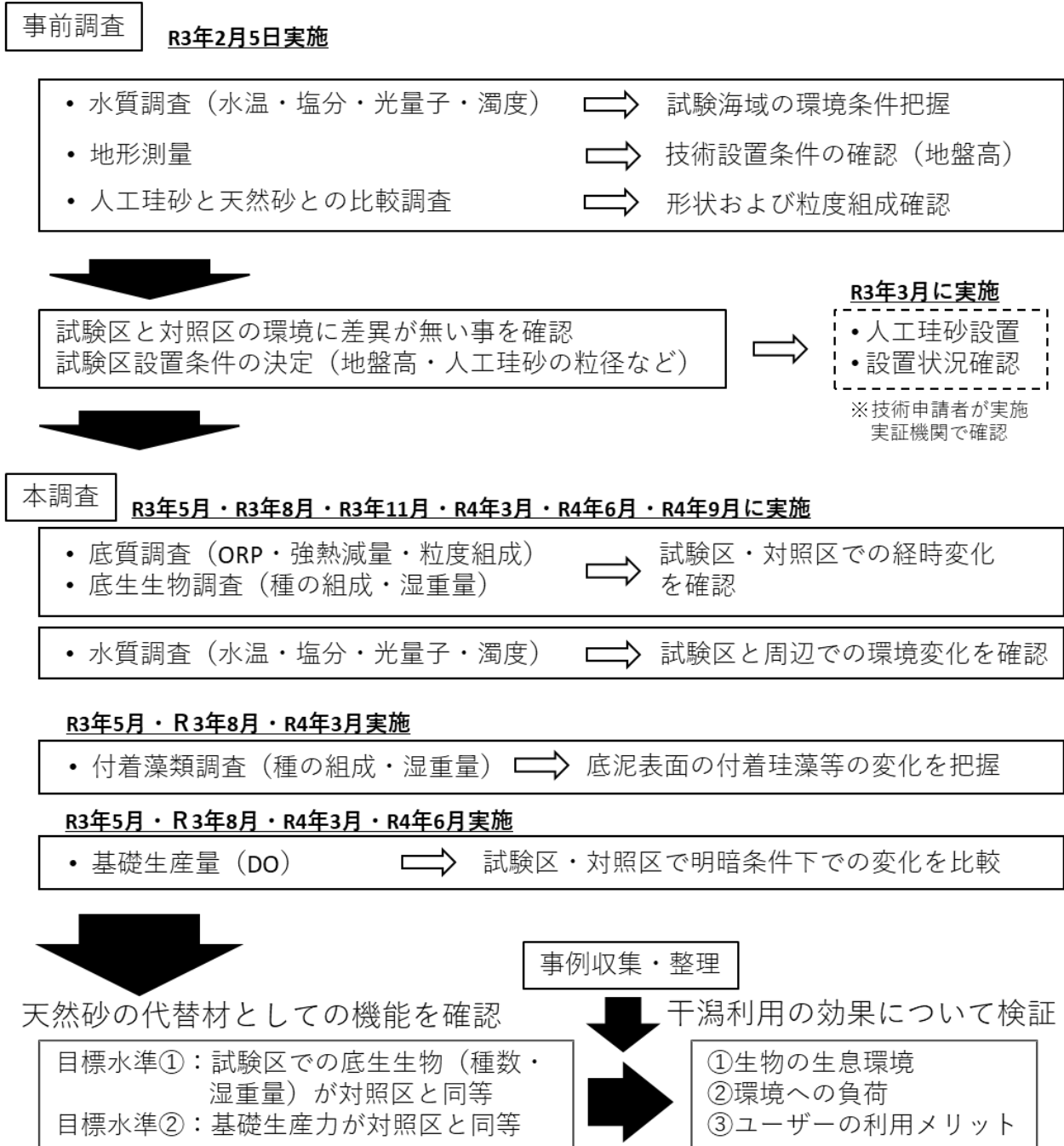


図 4-1 全体概要

表 4-2 試験内容

試験内容	調査項目	実施時期							備考
		令和2年度	令和3年度			令和4年度			
		事前調査	5月	8月	11月	3月	6月	9月	
事前調査	地形測量	1							30m×50m程度の範囲
	水温、濁度、 塩分濃度、光量子	1							多項目水質計
	透明度	1							
	粒度組成	2							人工珪砂と天然砂の粒度組成
水質調査	水温、濁度、 塩分濃度、光量子		2	2	2	2	2	1	多項目水質計
	透明度		2	2	2	2	2	1	
底質・底生 生物調査	ORP		2	2	2	2	2	2	現地機器計測
	強熱減量、粒度組成		2	2	2	2	2	2	試験区、対照区
	底生生物		2	2	2	2	2	2	試験区、対照区
付着藻類・ 基礎生産量 調査	付着藻類の種の同定・ 湿重量		2	2		2			試験区、対照区の表層泥
	隔離水塊（明暗条件下） の溶存酸素量		4	4		4	4		試験区、対照区それぞれに 明暗のコアパイプを設置し 溶存酸素量を測定する。

4-2. 試験内容

4-2-1. 事前調査

事前調査は、本技術の設置にあたって、試験区と対照区の水深などの条件が一致する場所を選定すること等を目的に下記の項目を実施した。

- ① 設置予定水域の海底地形の簡易測量
- ② 簡易測量により設定した設置予定箇所及びその周辺 2 地点の水質機器計測（水温、濁度、塩分濃度、光量子）
- ③ 人工珪砂、対照区として設置する天然砂の粒度組成を測定

4-2-2. 水質調査

水質調査内容を表 4-3、調査風景を図 4-2 に示す。

試験実施場所の環境条件を把握するため、設置場所周辺で水温・塩分・光量子・濁度の計測および透明度の測定を実施した。測定は、多項目水質計（AAQ JFE アドバンテック株式会社製）を用いて行った。

表 4-3 調査内容

項目	調査方法及び数量	調査時期
水温、濁度、塩分濃度、光量子	多項目水質計による計測 (1 地点)	2021 年 5 月、8 月、11 月 2022 年 3 月、6 月、9 月
透明度	セッキー板による計測 (1 地点)	2021 年 5 月、8 月、11 月 2022 年 3 月、6 月、9 月

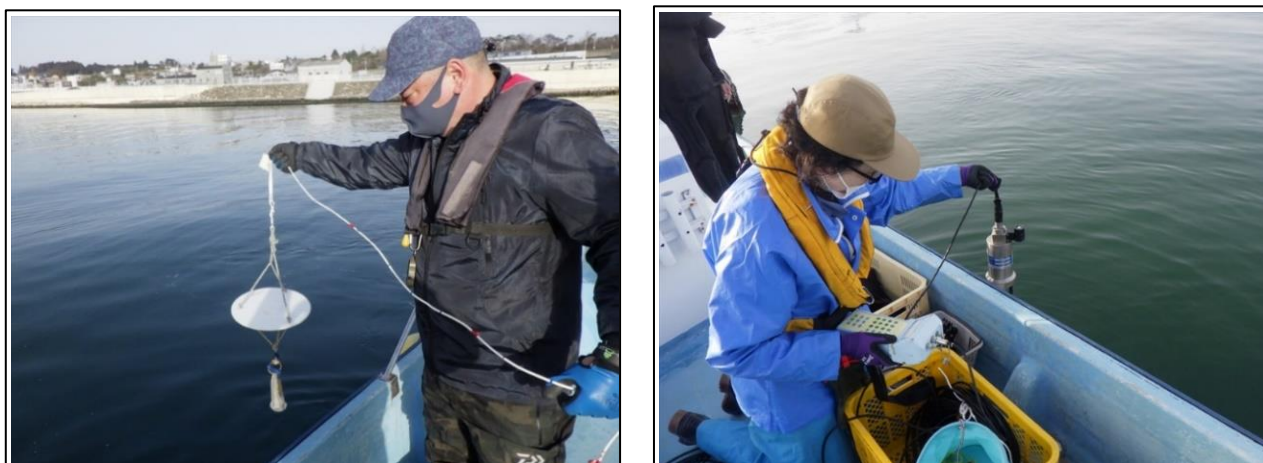


図 4-2 水質調査風景

4-2-3. 底質・底生生物調査

底質調査・底生生物調査内容を表 4-4、調査風景を図 4-3 に示す。

試験区および対照区の 2 箇所底泥を採取し、ORP の計測、強熱減量および粒度組成、底生生物の分析（種の組成・湿重量）の分析を実施した。データのばらつきを考慮して、採取においては各試験区 3 検体の混合試料とした。

表 4-4 底質・底生生物調査内容

項目	調査方法及び数量	調査時期
ORP	現地機器計測（2 地点）	2021 年 5 月、8 月、11 月
強熱減量、粒度組成	室内分析（2 地点）	2022 年 3 月、6 月、9 月
底生生物の分析（種の組成・湿重量）	室内分析（2 地点）	



図 4-3 底質調査・底生生物調査風景

4-2-4. 付着藻類・基礎生産力調査

付着藻類・基礎生産力調査内容を表 4-5、調査風景を図 4-4 に示す。

浅場・干潟は造成後に安定した生態系が形成されるまでに数年かかることが多いため、初期の変化を捉えやすい干潟表面の付着藻類（珪藻類）の変化および基礎生産力の調査を実施した。基礎生産については、付着藻類の光合成による酸素発生量を指標とし、一定時間での溶存酸素濃度の推移を計測した。

表 4-5 付着藻類・基礎生産力調査内容

項目	調査方法及び数量	調査時期
付着藻類調査（種類・湿重量）	試験区・対照区の極表層泥内の、種の同定・湿重量	2021年5月、8月 2022年3月
基礎生産力調査	現地に隔離水塊を設置し、明暗条件下での溶存酸素濃度を計測した。	2021年5月、8月 2022年3月、6月



図 4-4 付着藻類・基礎生産力調査状況

4-2-5. ベントフロー調査

第1回検討会での助言を踏まえ、ベントフロー（Bbe社製、Bentho-Fluor 図4-5）による基質表面への藻類繁茂状況の調査をR3年8月より追加した。

これは、パルス変調（5kHz）（450 nm, 525 nm, 570 nm, 590 nm, 610 nm）を用いたクロロフィル励起蛍光測定法に基づく多波長励起蛍光光度計により、あらかじめ、藻類の種類による励起パターンを登録することで、藻類群集の判定と定量（0.1～3.0mm/cm²）を行うものである。本業務では、蒸留水を担体とした緑藻、藍藻、珪藻が分類できる検定パターンを用いて判定・定量した。

測定の方法は、本体送受光部に接続した光ファイバーを、検査基質表面に押し付けて行った（側方からの光を遮断し、ファイバーが直角に基質に当たるよう、アタッチメントを用いた）。1回の測定は、5秒間隔で20回のサンプリングを行い、測定対照毎に3～5回の測定を繰り返した。測定対照は、試験区（人工珪砂）、対照区（天然砂）、現地盤（海底の自然石）の3種類とし、平均値、分散値、および有意差検定（t検定）を行った。

表 4-6 ベントフロー調査内容

項目	調査方法及び数量	調査時期
藻類群集の判定と定量	現地機器計測（2地点）	2021年8月、11月 2022年3月、6月



図 4-5 左図：ベントフローの外観 右図：ベントフロー調査状況

4-3. 自主調査

当該地域でのアマモ場再生活動における技術の活用を考慮して、松島湾アマモ場再生会議と協働でアマモの生育試験を実施した。

近隣のアマモ自生場よりアマモの栄養株を採取し、試験区および対照区の2箇所に移植して移植株の生残数、葉長・株数などの生育状況を観察した。

調査結果は、実証試験結果の評価の参考とする。

表 4-7 アマモ移植・播種調査内容

項目	調査方法及び数量	調査時期
アマモ栄養株移植	直接移植(20本/m ² を目安)	2022年3月
モニタリング	目視	2022年5月、9月



図 4-6 アマモ栄養株採取状況

4-4. とりまとめと評価

本技術は天然砂の代替材としての利用を想定した技術であることから、科学的な実証に加えて ETV 事業の目的のひとつ「環境技術の普及を促進、中小企業の育成も含めた環境産業の発展」についても実証の範囲内でアドバイスとなる試験・検討を行った事が重要であると考えます。従って、目標水準に対する結果に加え、既存資料などから、生物生息環境へ与える効果や、天然砂採取による環境への負荷の軽減、浅場や干潟を利用する側のメリット、資源循環による環境への負荷軽減などを整理し、可能な限り評価に加える。

5. 実証結果

5-1. 事前調査

簡易測量により試験区、対照区の設置水深が同一となるような場所を選定した(図 3-1)。選定した場所と周辺にて実施した水質観測結果を図 5-1 に示す。

観測時の設置候補地点の水深は 1.8m であり、周辺にて測定した観測結果と比較すると、観測時点での日照に左右される光量子以外の各項目とも鉛直方向に同様の観測値推移を示していた。

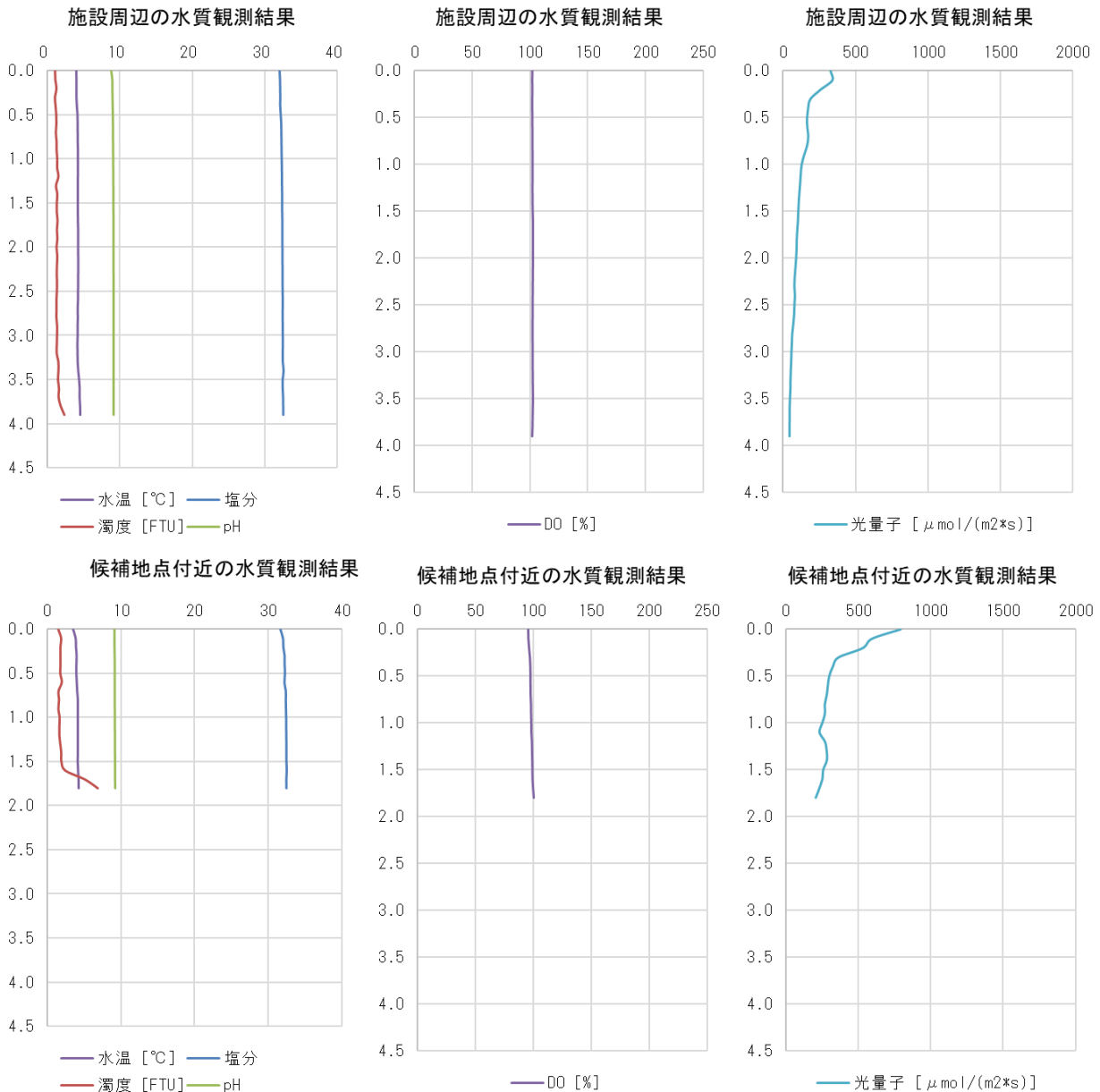


図 5-1 水質観測結果

人工珪砂と対照区(天然砂)の粒度組成を図 5-2 と表 5-1 と表 5-2 に示す。人工珪砂は、粒径が細かい粘土から細砂に当たる割合が天然砂と比較してやや低い、概ね同様の粒度組成であった。

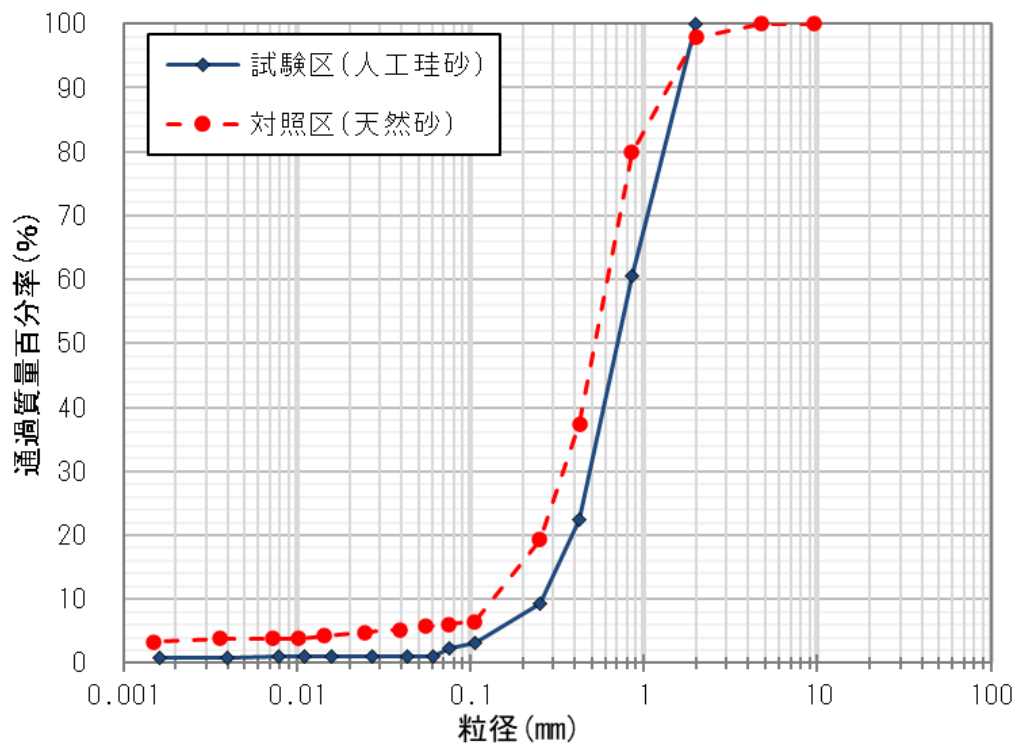


図 5-2 粒度組成の比較

表 5-1 人工珪砂の粒度組成

試験方法	粒径(mm)	通過百分率(%)		
ふるい分析 (室内)	2.0000	100.0	最大粒径 (mm)	2.000
	0.8500	60.5	60%粒径 D_{60}	0.843
	0.4250	22.4	50%粒径 D_{50}	0.709
	0.2500	9.4	30%粒径 D_{30}	0.498
	0.1060	3.1	10%粒径 D_{10}	0.270
	0.0750	2.3	均等係数 U_c	3.100
	0.0608	1.1	曲率係数 U_c'	1.100
	0.0430	1.1		
	0.0272	1.1		
	0.0157	1.0		
	0.0111	1.0		
	0.0079	1.0		
	0.0039	0.9		
	0.0016	0.9		

表 5-2 対照区(天然砂)の粒度組成

試験方法	粒径(mm)	通過百分率(%)		
ふるい分析 (室内)	4.7500	100.0	最大粒径 (mm)	9.500
	2.0000	97.9	60%粒径 D_{60}	0.614
	0.8500	79.9	50%粒径 D_{50}	0.527
	0.4250	37.4	30%粒径 D_{30}	0.359
	0.2500	19.3	10%粒径 D_{10}	0.158
	0.1060	6.5	均等係数 U_c	3.900
	0.0750	6.1	曲率係数 U_c'	1.300
	0.0551	5.7		
	0.0391	5.2		
	0.0248	4.8		
	0.0143	4.3		
	0.0102	3.8		
	0.0072	3.8		
	0.0036	3.8		
	0.0015	3.3		

5-2. 水質調査

水質調査結果を図 5-3～図 5-8、透明度を表 5-3 に示す。水質の測定結果については、水温や光量子など季節的な要因による差異はあるものの、調査各回の観測値の傾向に大きな違いはみられなかった。プランクトン等懸濁物の増減は季節的な変化による影響を受けているものと考えられ、その増減に伴い DO も変化していると考えられる。

透明度については、2021年8月は0.5m、それ以外の水質調査時は全て2m以上であった。2021年8月の濁度と DO の値（図 5-4）は、他の観測時の値と比べ高くなっており、プランクトン等懸濁物が増加したことを裏付けている。

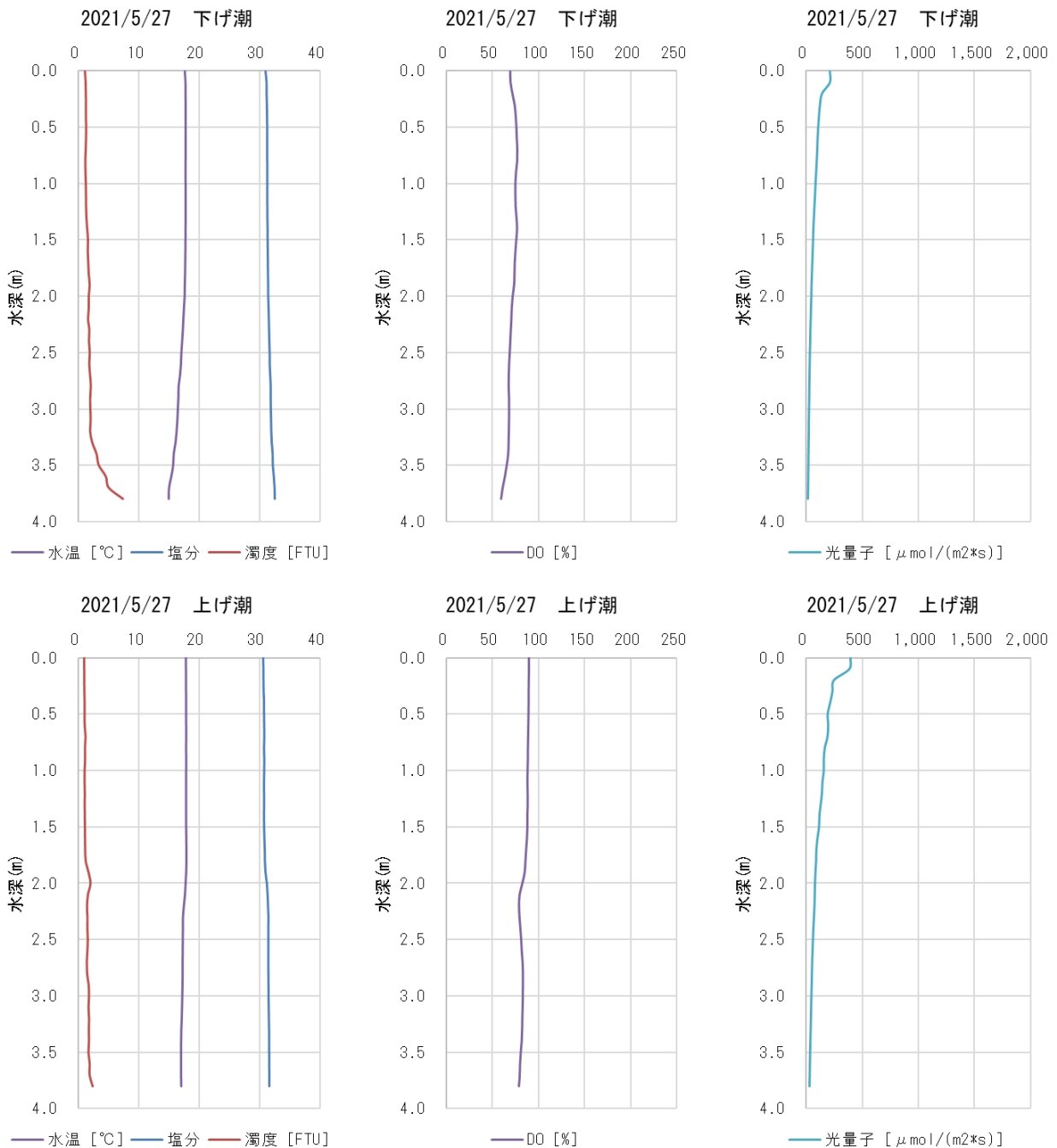


図 5-3 水質鉛直観測結果（2021年5月）

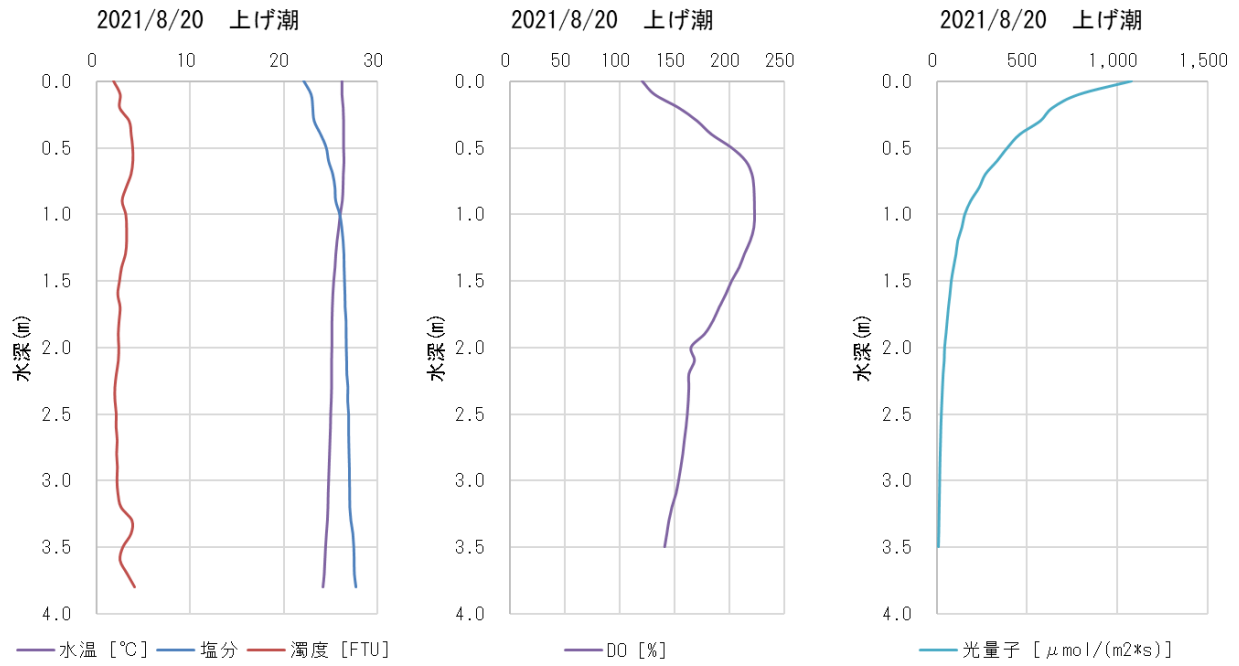


図 5-4 水質鉛直観測結果（2021年8月）

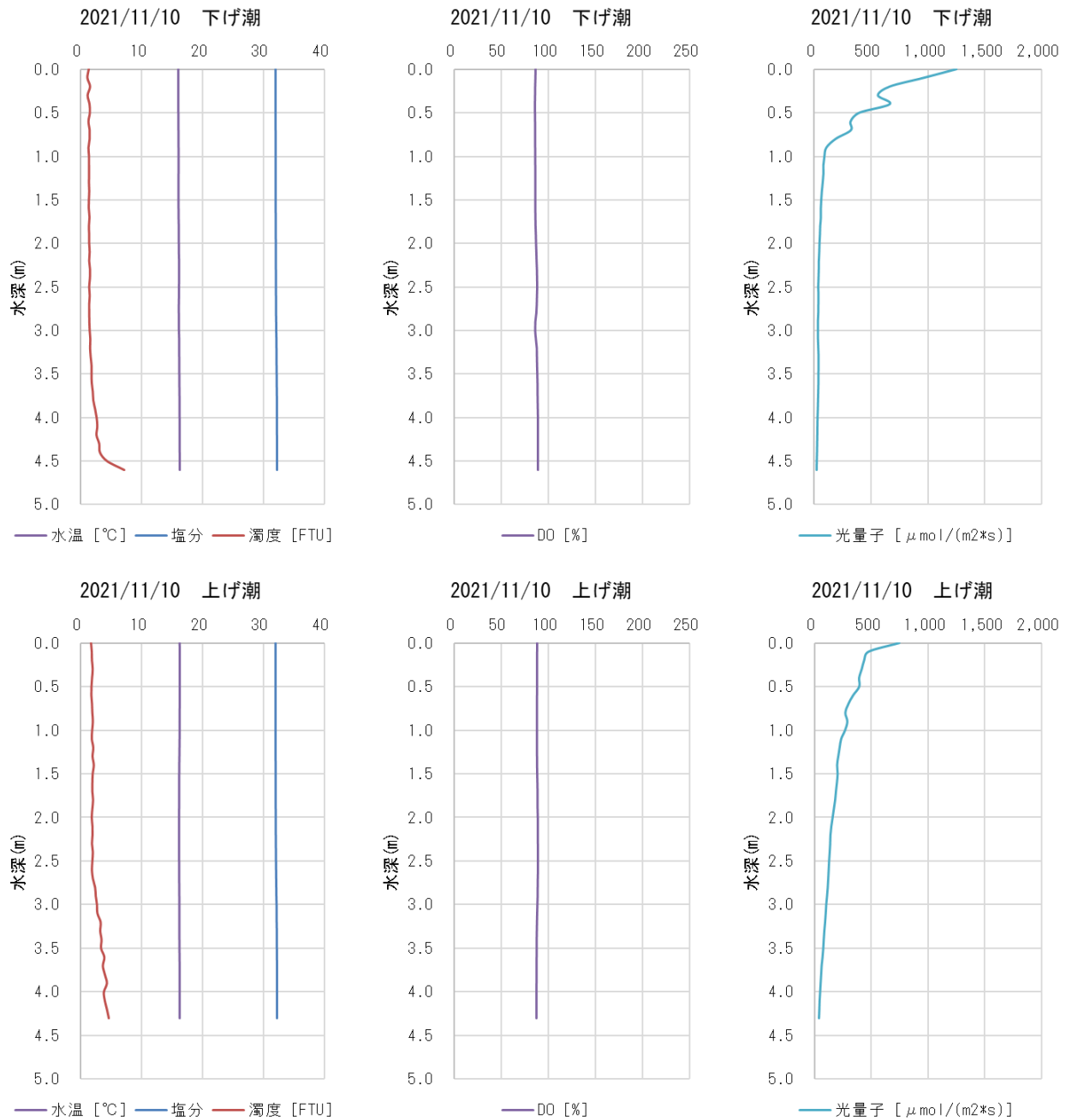


図 5-5 水質鉛直観測結果 (2021 年 11 月)

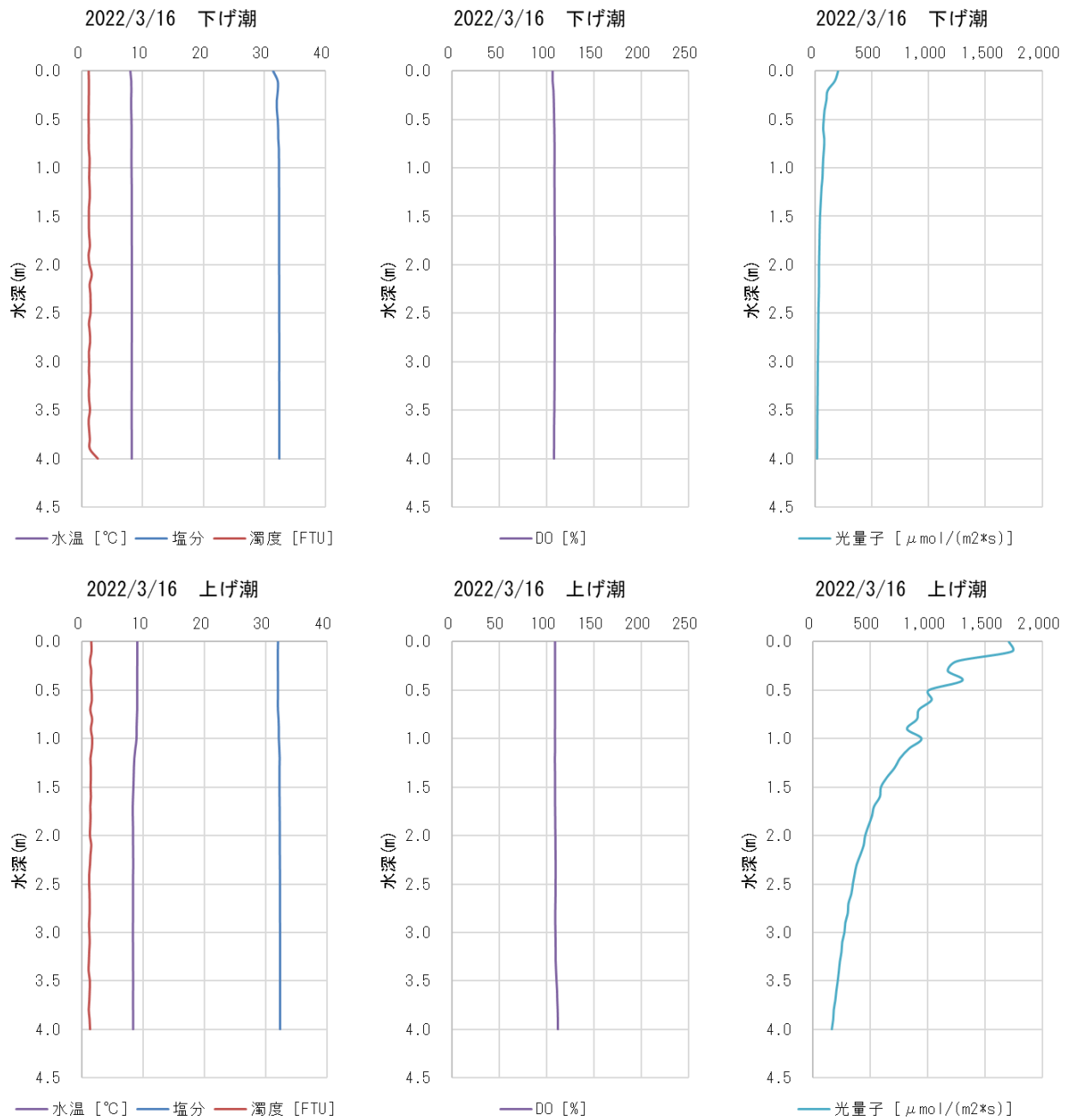


図 5-6 水質鉛直観測結果 (2022 年 3 月)

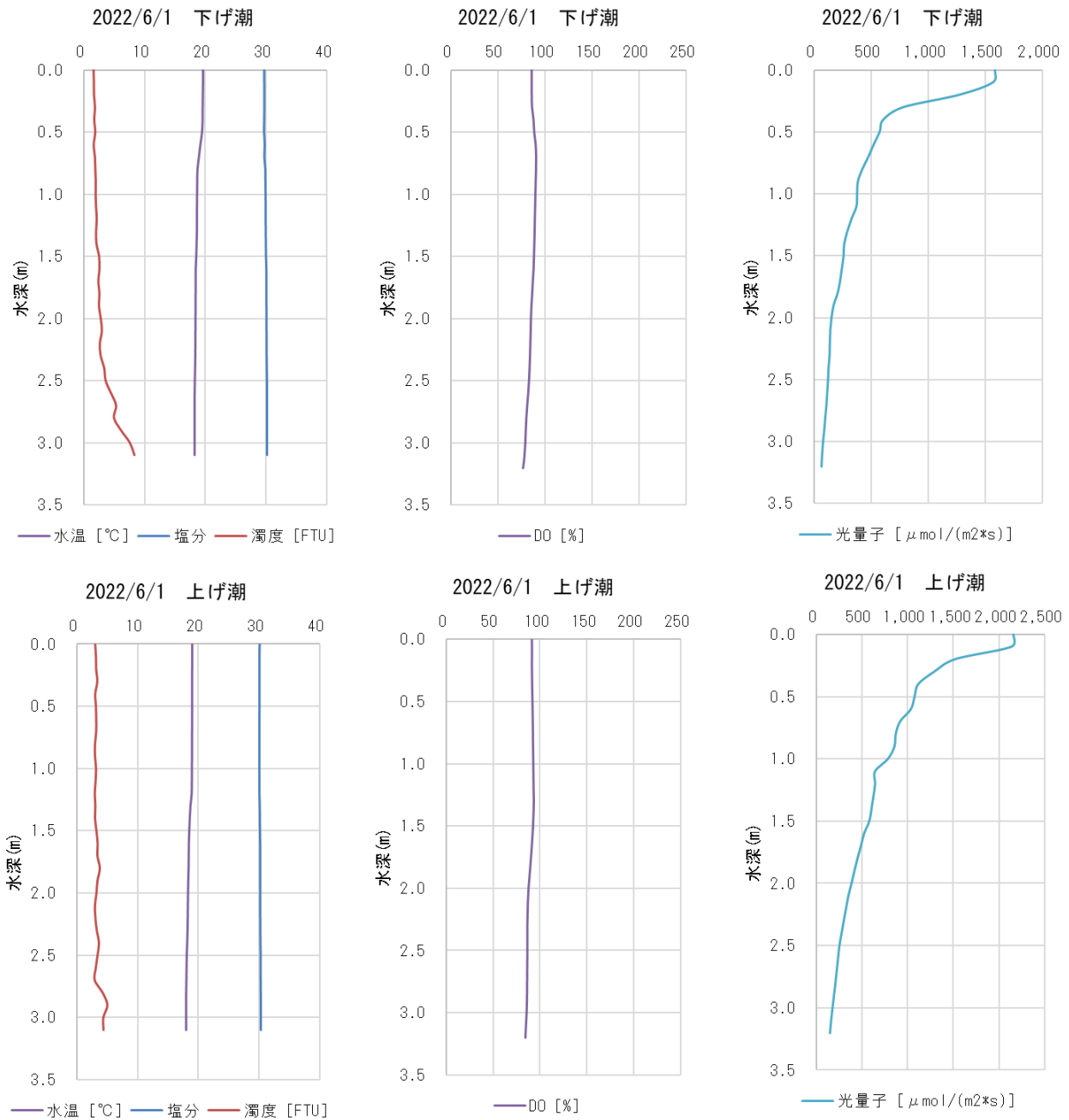


図 5-7 水質鉛直観測結果 (2022 年 6 月)

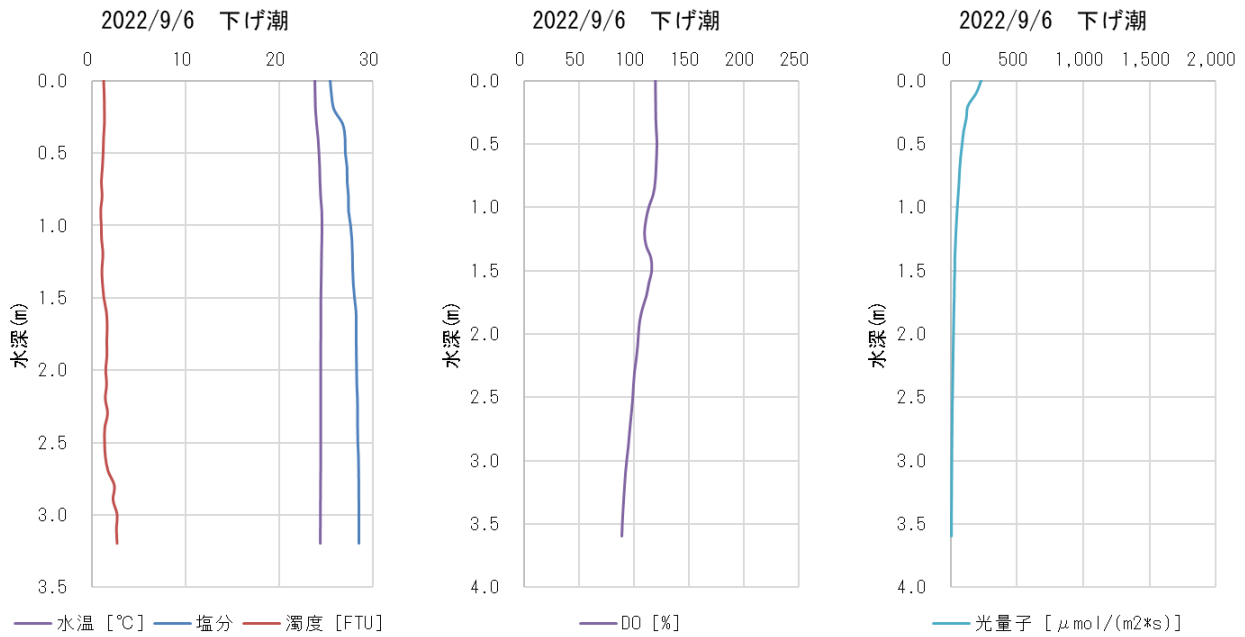


図 5-8 水質鉛直観測結果（2022年9月）

表 5-3 水質調査時の透明度 (m)

日付		透明度 (m)	
		上げ潮	下げ潮
2021年	5月27日	2.5	2.6
	8月20日	0.5	
2022年	3月16日	2.5	2.0
	6月1日	2.2	2.1
	9月6日		3.5

5-3. 底質・底生生物調査

5-3-1. 底質

粒度組成の変化を図 5-9 に示す。

事前調査では、天然砂と比較して人工珪砂の粒径で粘土から細砂にあたる粒径が少なかった。設置後、試験区への周辺からのシルトや砂が混入し、対照区の天然砂に粒度分布が近づく傾向にあった。図 5-11 に調査期間の最終日にあたる 2022 年 9 月時の試験区と対照区の粒度分布を示す。

対象技術の設置後、約 1.5 年経過後の試験区の人工珪砂と対照区の天然砂の粒径加積曲線は、ほぼ重なる結果となった。

なお、2021 年 11 月の人工珪砂の粒度は、天然砂の傾向に酷似しており、かつその後の調査時に同様の粒度分布とならなかった。このことから、試料の取り違えの可能性を考慮し、今後の ORP 等のデータは除き、掲載する。

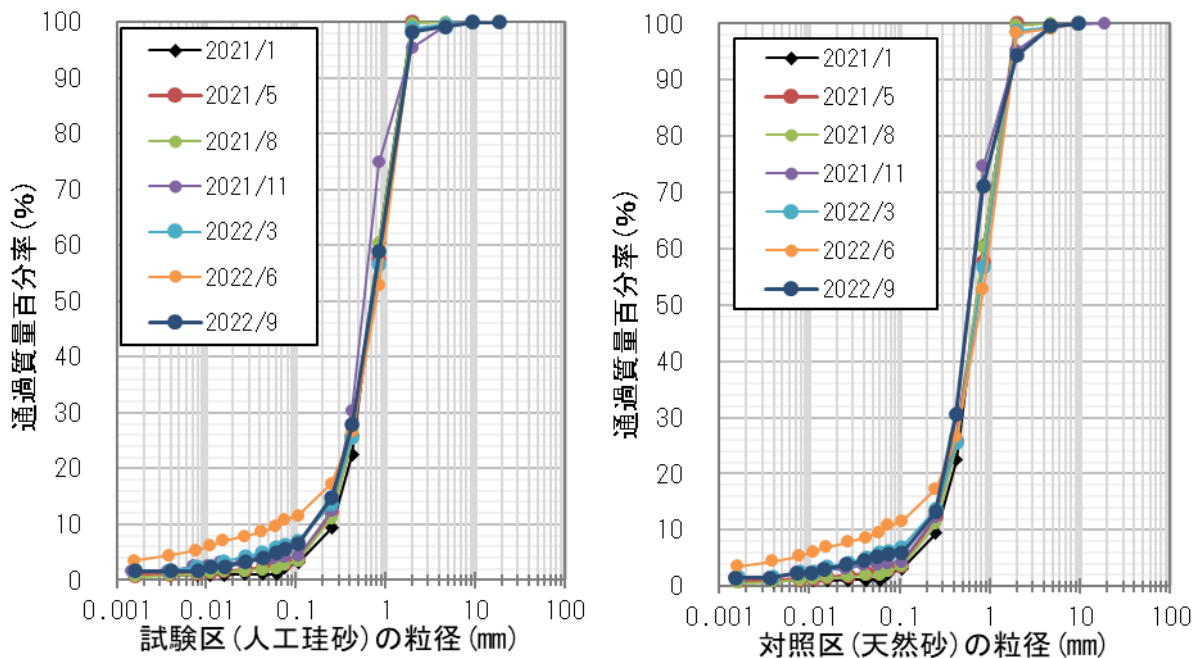


図 5-9 粒度組成の変化(左図：試験区，右図：対照区)

表 5-4 中央粒径 (D₅₀) の推移

50%粒径 D ₅₀	2021/5	2021/8	2022/3	2022/6	2022/9
試験区(人工珪砂)	0.736	0.725	0.487	0.807	0.451
対照区(天然砂)	0.592	0.574	0.409	0.637	0.587

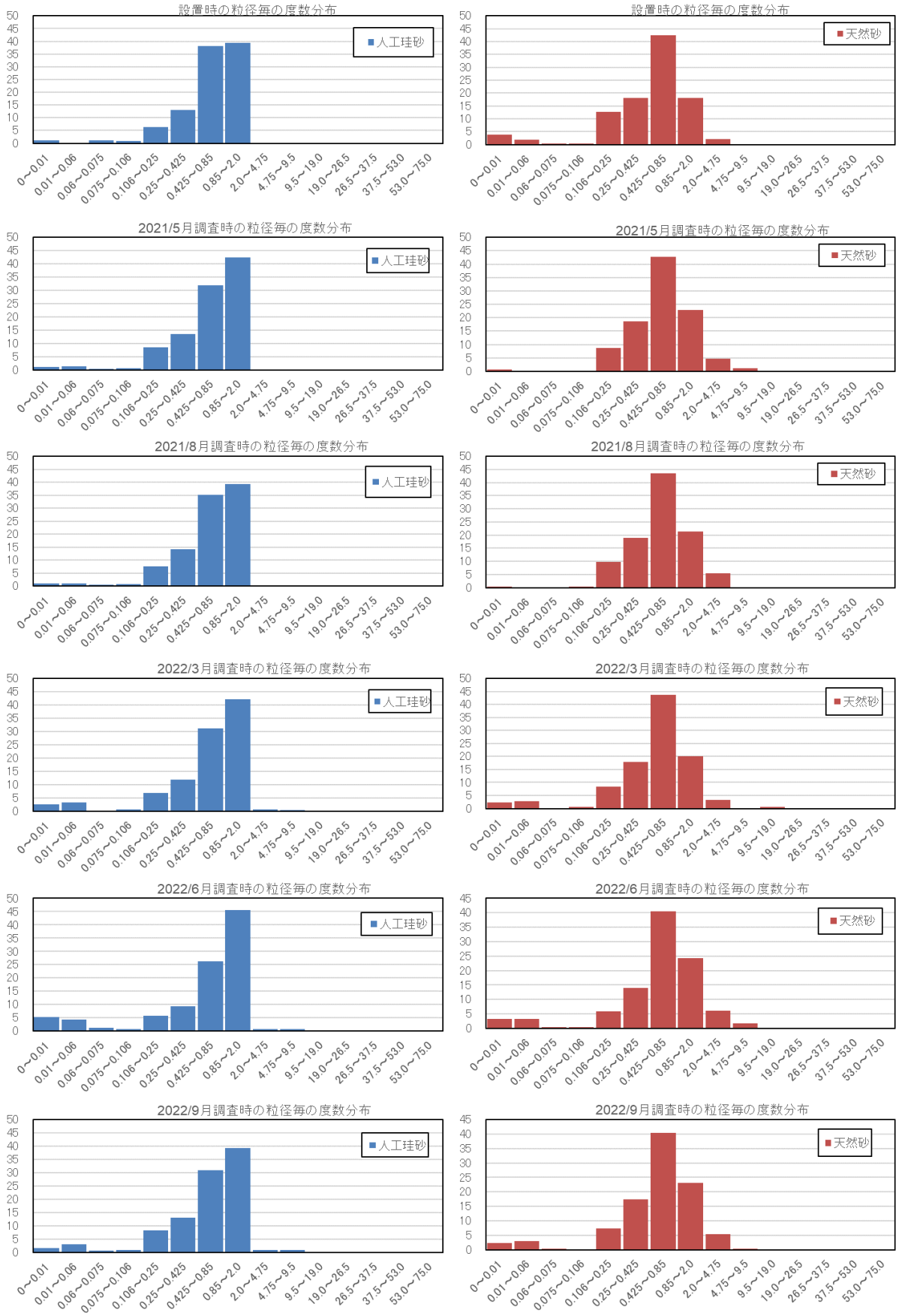


図 5-10 粒度組成のヒストグラム(左図：試験区，右図：対照区)

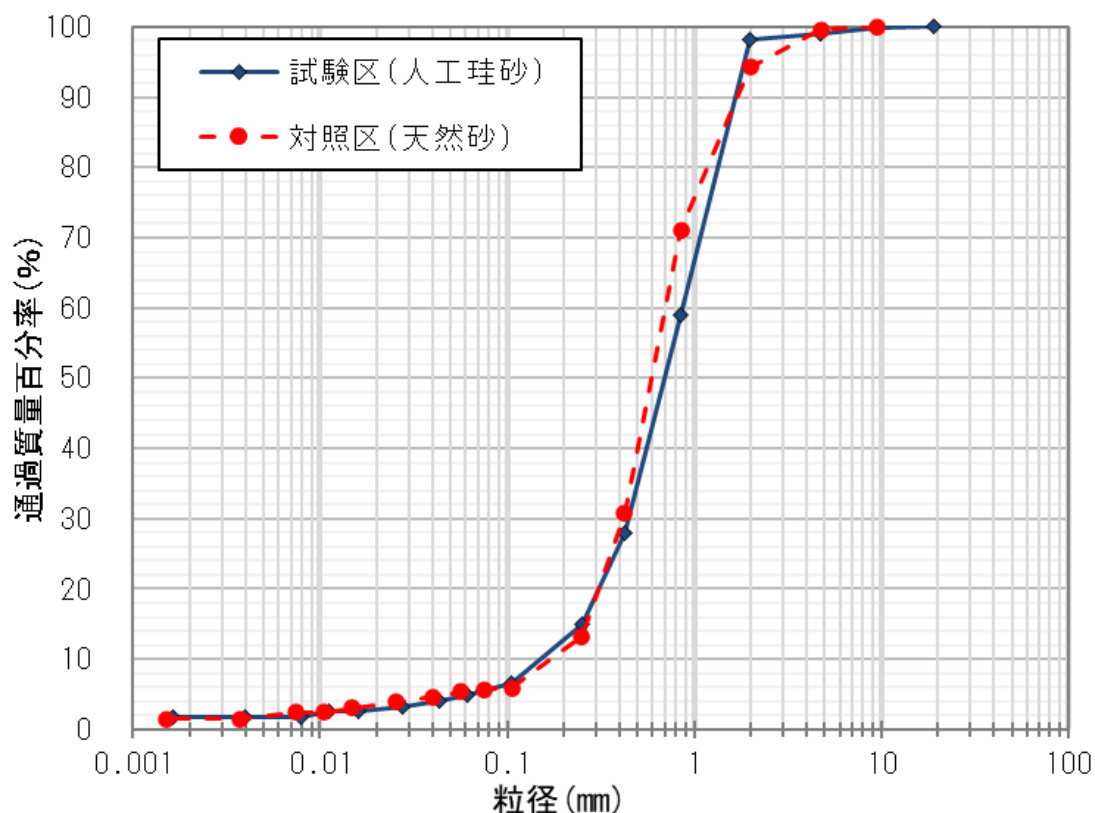


図 5-11 設置後約 1.5 年後の試験区と対照区の粒度組成の比較

図 5-12 に ORP 測定値の推移を示す。なお、データの有意性を確認するために補足的に ORP 測定値の差の検定 (t-test) も実施した。試験区の ORP の測定値は、2021 年 5 月から 2022 年 3 月までの調査で各回とも対照区より低かったが、2022 年 6 月以降は対照区より測定値が高くなっていた。統計的には、2022 年 9 月 6 日を除いて有意差は認められなかった。

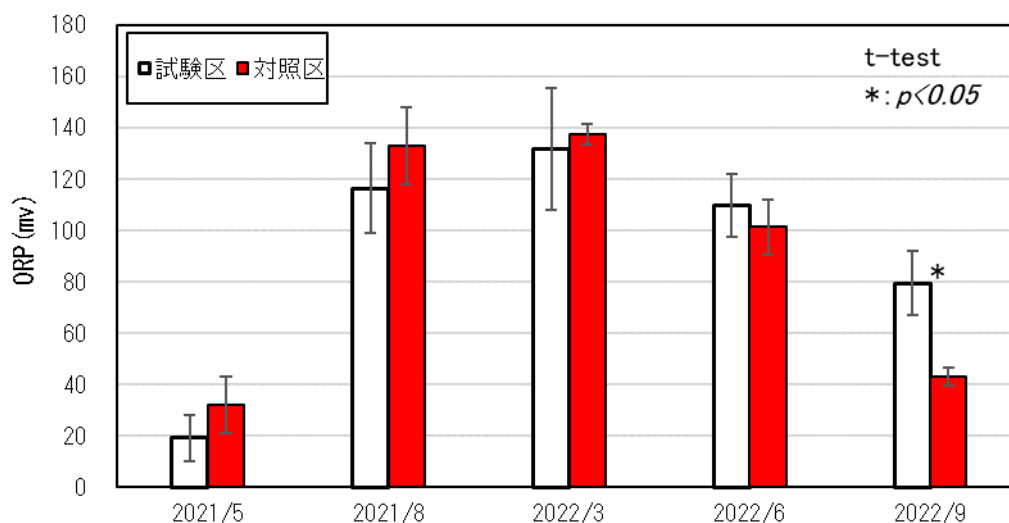


図 5-12 ORP 観測値の推移

強熱減量の推移を表 5-5 に示す。試験区、対照区とも強熱減量は増加した。2021 年 5 月、8 月、2022 年 3 月、9 月とも対照区が試験区よりも高い値を示したが、2021 年 11 月においてはほぼ同程度の値であった。

表 5-5 強熱減量の推移

日付		強熱減量	
		試験区 (人工珪砂)	対照区 (天然砂)
2021 年	5 月 27 日	0.2	1.0
	8 月 20 日	0.7	1.2
2022 年	3 月 16 日	1.5	2.1
	9 月 14 日	1.4	1.9

5-3-2. 底生生物

底生生物の分析結果を表 5-6～表 5-8 と図 5-13～図 5-15 とに示す。湿重量については 11 月調査時の試験区で特に多くなったが、これは試料採取時に容器壁面に着生していたイタボガキ科・フジツボ科が混入したことが原因である。なお、マガキの容器への着生状況については目視観察では両試験区に差はみられなかった。参考までに、イタボガキ科・フジツボ科を除く個体数と湿重量を図 5-16、図 5-17 に示す。

調査回に応じて、試験区と対照区と増減する回もあるが、全体を通じてみると、試験区と対照区との間に種数と湿重量に大きな差はなかった。

表 5-6 底生生物出現状況一覧(2021年5月、8月)

単位) 個体数: /m²
湿重量: g/m²

No.	門	綱	目	科	種名	2021年 5月		2021年 8月		重要種					
						試験区		対照		試験区		対照		環境省	宮城県
						個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)		
1	刺胞動物門	花虫綱	イソギンチャク目	-	イソギンチャク目			12	+	8	+				
2	扁形動物門	渦虫綱	多岐腸目	-	多岐腸目			8	0.04	4	+				
3	紐形動物門	-	-	-	紐形動物門	4	+								
4	軟体動物門	多板綱	クサズリガイ目	ケハダヒザラガイ科	ヒメケハダヒザラガイ										
5		腹足綱	新生腹足目	ムシロガイ科	アラムシロガイ			20	12.02						
6			真後鰓目	ブドウガイ科	ブドウガイ科			8	0.04						
7			汎有肺目	トウガタガイ科	Cingulina属										
8					トウガタガイ科					4	+				
9		二枚貝綱	イガイ目	イガイ科	ホトギスガイ			19041	127.19	12449	154.59				
10			ウグイスガイ目	イタボガキ科	マガキ										
11					イタボガキ科			51	3.21	20	3.01				
12			マルスダレガイ目	マルスダレガイ科	アサリ			31	3.33	31	3.52				
13					ニッコウガイ科	Macoma属									
14	環形動物門	ゴカイ綱	サンバゴカイ目	ウロコムシ科	ウロコムシ科	4	+								
15					サンバゴカイ科	Eteone属			23	0.04	63	0.08			
16						Phyllocoele属			8	+	12	+			
17						サンバゴカイ科			4	+					
18					ニカイチロリ科	Glycinde属			4	+	8	0.04			
19					オトヒメゴカイ科	オトヒメゴカイ科					23	+			
20					シリシ科	シリシ科		4	0.04	4	+				
21					ゴカイ科	コケゴカイ		4	+	227	0.98	626	0.86		
22						ヒメゴカイ				94	1.17	20	0.08		
23						イシソゴカイ									
24						ツルヒゲゴカイ				137	1.02	129	0.78		
25					シロガネゴカイ科	ミナミシロガネゴカイ									
26						Nephtys属		4	+		12	+			
27					イソメ目	イソメ科	Marphysa属								
28						ギボシイソメ科	カタマカリギボシイソメ								
29							Scoletoma属	4	+	4	+				
30							Schistomeringos属				4	+			
31					スピオ目	スピオ科	ケンサキスピオ								
32							Polydora属	4	+		4	+			
33							イトエラスピオ								
34							Prionospio属								
35							Pseudopolydora属	55	0.12	587	0.08	658	0.16		
36							Rhynchospio属				20	+			
37							Spio属			8	+	12	+		
38							ミズヒキゴカイ科								
39							ミズヒキゴカイ科			20	0.04	35	0.04		
40					イトゴカイ目	イトゴカイ科	Capitella属	4	+	8	+	12	+		
41							Heteromastus属								
42					フサゴカイ目	フサゴカイ科	Lanice属								
43							フサゴカイ科	4	+						
44							ウミイサゴムシ科			4	+				
45	節足動物門	顎脚綱	フジツボ目	フジツボ科	タテジマフジツボ			145	12.92						
46							アメリカフジツボ	164	19.81						
47							シロスジフジツボ								
48							フジツボ科	70	0.55						
49					軟甲綱	クーマ目	クーマ科								
50						ヨコエビ目	ユンボソコエビ科								
51							Aoridaes属								
52							Grandidierella属	23	0.08	12	0.04	20	0.04		
53							ドロクダムシ科			8	+				
54							Monocorophium属								
55							フレカラ科			20	+				
56							メリタヨコエビ科								
57							メリタヨコエビ属								
58							エビ目								
59							テッポウエビ科								
60							Alpheus属			4	0.04				
61							Athanas属								
62							ホンヤドカリ科								
63							ユビナガホンヤドカリ								
64							ワタリガニ科								
65							イシガニ								
66							ケフサイソガニ	12	26.38						
67							タカノケフサイソガニ	12	16.64						
68							イソガニ属								
69							ムツハリアケガニ科								
70							ムツハリアケガニ							VU	
71	脊索動物門	ホヤ綱	マボヤ目	モルグラ科	Molgula属			4	0.82						
72							個体数	102		76		20894	14185	-	-
73							湿重量(g)	0.20		43.10		184.95	163.67	-	-
74							種類数	8		8		25	22	0	1

※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2年度版～」(令和2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「+」は0.01g未満を示す。個体数の「*」は計測が困難なことを示す。

※3) 重要種の選定基準・カテゴリー

環境省:「環境省レッドリスト2020」(環境省,2020)に掲載された、「絶滅(EX)」、「野生絶滅(EW)」、「絶滅危惧Ⅰ類(CR+EN)」、「絶滅危惧Ⅱ類(CR)」、「絶滅危惧Ⅲ類(EN)」、「絶滅危惧Ⅳ類(VU)」、「準絶滅危惧(NT)」、「情報不足(DD)」、「絶滅のおそれのある地域個体群(LP)」

宮城県:「宮城県の希少な野生動物植物-宮城県レッドリスト2021年版-(宮城県,2021)に掲載された、「絶滅(EX)」、「野生絶滅(EW)」、「絶滅危惧Ⅰ類(CR+EN)」、「絶滅危惧Ⅱ類(CR)」、「絶滅危惧Ⅲ類(EN)」、「絶滅危惧Ⅳ類(VU)」、「準絶滅危惧(NT)」、「情報不足(DD)」、「絶滅のおそれのある地域個体群(PL)」、「要注目種(注目)」

表 5-7 底生生物出現状況一覧(2021年9月、2022年3月)

単位) 個体数: /m²
湿重量: g/m²

No.	門	綱	目	科	種名	2022年				重要種		
						3月		5月		環境省	宮城県	
						試験区	対照	試験区	対照			
個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)					
1	刺胞動物門	花虫綱	イソギンチャク目	-	イソギンチャク目	4	+	4	+			
2	扁形動物門	渦虫綱	多岐腸目	-	多岐腸目			4	+			
3	紐形動物門	-	-	-	紐形動物門	12	+					
4	軟体動物門	多板綱	クサズリガイ目	ケハダヒザラガイ科	ヒメケハダヒザラガイ	4	1.33			4	0.47	
5		腹足綱	新生腹足目	ムシロガイ科	アラムシロガイ			20	1.76	4	0.63	
6			真後鰓目	ブドウガイ科	ブドウガイ科							
7			汎有肺目	トウガタガイ科	Cingulina属							
8					トウガタガイ科	4	+	4	+			
9		二枚貝綱	イガイ目	イガイ科	ホトギスガイ	94	1.10	8	0.27	31	1.49	
10			ウグイスガイ目	イタボガキ科	マガキ	23	21.14	20	38.29	20	36.37	
11					イタボガキ科							
12			マルスダレガイ目	マルスダレガイ科	アサリ	20	18.71	12	27.05	20	6.42	
13					アサリ					8	12.80	
14					ニッコウガイ科							
15					Macoma属							
16	環形動物門	ゴカイ綱	サンバゴカイ目	ウロコムシ科	ウロコムシ科	4	+			16	0.39	
17					Eteone属							
18					Phyllodoce属	4	+	4	+			
19					サンバゴカイ科			4	+	8	0.12	
20					ニカイチロリ科							
21					Glycinde属							
22					オトヒメゴカイ科	8	+	12	+	47	0.12	
23					シリシ科					8	0.08	
24					ゴカイ科							
25					コケゴカイ	478	6.46	149	3.33	591	13.66	
26					ヒメゴカイ	16	0.35	16	0.12	16	0.23	
27					イシイソゴカイ							
28					ツルヒゲゴカイ	20	0.90	27	0.82	8	0.31	
29					ミノミシロガネゴカイ	78	0.31	55	0.23	47	0.51	
30					Nephtys属	12	+	16	0.04	31	0.12	
31					イソメ目							
32					Marphysa属	12	0.20	4	+	16	0.12	
33					ギボシイソメ科					39	1.80	
34					カタマカリギボシイソメ							
35					Scoletoma属	8	0.04	31	0.27	16	0.08	
36					ノリコイソメ科	23	0.12	16	0.04	55	0.20	
37					Schistomerings属							
38					ケンサキシビオ							
39					Polydora属					8	0.04	
40					イトエラスビオ							
41					Prionospio属	35	0.16	20	0.08	16	0.04	
42					Pseudopolydora属	8	0.04					
43					Rhynchospio属							
44					Spio属	4	0.04	4	+			
45					ミズヒキゴカイ科					243	6.46	
46					ミズヒキゴカイ					74	1.64	
47					ミズヒキゴカイ科	114	0.90	133	1.49	149	1.06	
48					イトゴカイ目							
49					Capitella属	12	+	4	+	16	0.12	
50					Heteromastus属							
51					フサゴカイ目							
52					フサゴカイ科							
53					ウミイサゴムシ科	4	+	8	+	16	0.16	
54					ウミイサゴムシ科					20	0.27	
55	節足動物門	顎脚綱	フジツボ目	フジツボ科	タテジマフジツボ	12	1.14	27	2.31			
56					アメリカフジツボ	4	0.67	35	6.73	4	1.45	
57					シロスジフジツボ			16	0.43			
58					フジツボ科							
59					クーマ目					4	+	
60					クーマ科							
61					ヨコエビ目							
62					ユンボソコエビ科	20	0.04	35	0.08			
63					Aoroides属			8	0.04	31	0.08	
64					Grandidierella属			4	+	16	+	
65					ドロクダムシ科					4	+	
66					Monocorophium属							
67					フレカラ科					20	+	
68					Caprella属							
69					メリタヨコエビ科							
70					メリタヨコエビ属							
71					エビ目							
72					テッポウエビ科							
73					テッポウエビ							
74					Alpheus属							
75					Athanas属							
76					ホンヤドカリ科			4	4.07			
77					ユビナガホンヤドカリ							
78					ワタリガニ科					4	5.75	
79					イシガニ							
80					ケフサイノガニ							
81					タカメケフサイノガニ	12	1.06	4	0.43	20	33.94	
82					イソガニ属					12	14.60	
83					ムツハリアケガニ科			4	0.23			
84					ムツハリアケガニ						VU	
85	脊索動物門	ホヤ綱	マボヤ目	モルグラ科	Molgula属							
86					個体数	1049		692		1111	1182	-
87					湿重量(g)	54.71		86.35		102.11	51.44	-
88					種類数	27		29		15	24	0
89											1	

※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2年度版～」(令和2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「+」は0.01g未満を示す。個体数の「*」は計測が困難なことを示す。

※3) 重要種の選定基準・カテゴリー

環境省:「環境省レッドリスト2020」(環境省,2020)に掲載された、「絶滅(EX)」、「野生絶滅(EW)」、「絶滅危惧Ⅰ類(CR+EN)」、「絶滅危惧Ⅱ類(CR)」、「絶滅危惧Ⅲ類(EN)」、「絶滅危惧Ⅳ類(VU)」、「準絶滅危惧(NT)」、「情報不足(DD)」、「絶滅のおそれのある地域個体群(LP)」

宮城県:「宮城県の希少な野生動物植物-宮城県レッドリスト2021年版-(宮城県,2021)に掲載された、「絶滅(EX)」、「野生絶滅(EW)」、「絶滅危惧Ⅰ類(CR+EN)」、「絶滅危惧Ⅱ類(CR)」、「絶滅危惧Ⅲ類(EN)」、「絶滅危惧Ⅳ類(VU)」、「準絶滅危惧(NT)」、「情報不足(DD)」、「絶滅のおそれのある地域個体群(PL)」、「要注目種(注目)」

表 5-8 底生生物出現状況一覧(2022年5月、9月)

単位) 個体数: /m²
湿重量: g/m²

No.	門	綱	目	科	種名	2022年 9月				重要種	
						試験区		対照		環境省	宮城県
						個体数	湿重量(g)	個体数	湿重量(g)		
1	刺胞動物門	花虫綱	イソギンチャク目	-	イソギンチャク目						
2	扁形動物門	渦虫綱	多岐腸目	-	多岐腸目						
3	紐形動物門	-	-	-	紐形動物門			8	0.04		
4	軟体動物門	多板綱	クサズリガイ目	ケハダヒザラガイ科	ヒメケハダヒザラガイ						
5		腹足綱	新生腹足目	ムシロガイ科	アラムシロガイ	16	8.96	4	2.51		
-					ムシロガイ科						
6			真後鰓目	ブドウガイ科	ブドウガイ科						
7			汎有肺目	トウガタガイ科	Cingulina属	20	0.16	43	0.12		
-					トウガタガイ科	4	+				
8		二枚貝綱	イガイ目	イガイ科	ホトギスガイ	4	0.47				
9			ウグイスガイ目	イタボガキ科	マガキ						
-					イタボガキ科	20	1.33	12	2.35		
10			マルスダレガイ目	マルスダレガイ科	アサリ	55	59.54	8	0.12		
11					ニッコウガイ科	8	0.08				
12	環形動物門	ゴカイ綱	サンバゴカイ目	ウロコムシ科	ウロコムシ科	8	0.27	8	0.04		
13					サンバゴカイ科						
14					Eteone属						
-					Phylodoce属						
15					サンバゴカイ科						
16					ニカイチロリ科	4	0.04	4	+		
17					オトヒメゴカイ科	8	+	8	+		
18					シリス科	4	0.04				
19					ゴカイ科	149	6.03	231	4.85		
20					ヒメゴカイ	8	0.12				
21					イシイソゴカイ	4	3.99				
22					ツルヒゲゴカイ						
-					シロガネゴカイ科						
23					イソメ科						
24					Marphysa属						
-					ギボシイソメ科	4	0.12				
25					カタマカリギボシイソメ	16	0.31	20	0.08		
26					Scoletoma属	8	0.04				
27					スビオ科	8	0.04	4	0.04		
28					Polydora属	4	+	23	0.12		
29					イトエラスピオ			4	+		
30					Prionospio属						
31					Pseudopolydora属						
32					Rhynchospio属						
-					Spio属						
33					ミスヒキゴカイ科	70	4.19	184	9.16		
34					ミスヒキゴカイ科						
35					イトゴカイ目			12	+		
36					Capitella属						
37					Heteromastus属	12	0.04	12	+		
38					フサゴカイ目	4	0.59				
39					Larice属			4	+		
40					フサゴカイ科						
41					ウミイサゴムシ科						
42					ウミイサゴムシ科						
43	節足動物門	顎脚綱	フジツボ目	フジツボ科	タデジマフジツボ			8	0.59		
44					アメリカフジツボ						
45					シロスジフジツボ						
46					フジツボ科						
47					クーマ目						
48					クーマ科						
49					クマコエビ目						
50					クマコエビ科						
51					Aoroides属	8	+	12	0.04		
52					Grandidierella属	16	0.04				
53					ドロクダムシ科						
54					Monocorophium属						
55					フレカラ科						
56					Caprella属						
57					メリタヨコエビ科	4	+	4	+		
58					メリタヨコエビ属	4	5.56	4	10.96		
59					テッポウエビ科						
60					テッポウエビ						
61					Alpheus属						
62					Athanas属	12	0.08				
63					ホンヤドカリ科						
64					ユビナガホンヤドカリ						
65					ワタリガニ科	4	1.57				
66					イシガニ						
67					モクスズガニ科	47	30.46	12	4.62		
68					ケフサイソガニ						
69					タカノケフサイソガニ						
70					イソガニ属			23	0.39		
71					ムツハアリアケガニ科						
72					ムツハアリアケガニ						VU
73	脊索動物門	ホヤ綱	マボヤ目	モルグラ科	Molgula属						
					個体数	537		652		-	-
					湿重量(g)	124.07		36.03		-	-
					種類数	28		22		0	1

※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2年度版~」(令和2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「+」は0.01g未満を示す。個体数の「*」は計測が困難なことを示す。

※3)重要種の選定基準・カテゴリー

環境省:「環境省レッドリスト2020」(環境省2020)に掲載された、「絶滅(EX)」、「野生絶滅(EW)」、「絶滅危惧I類(GR+EN)」、「絶滅危惧II類(CR)」、

「絶滅危惧I B類(EN)」、「絶滅危惧II類(VU)」、「準絶滅危惧(NT)」、「情報不足(DD)」、「絶滅のおそれのある地域個体群(LP)」

宮城県:「宮城県の希少な野生動植物-宮城県レッドリスト2021年版-」(宮城県2021)に掲載された、「絶滅(EX)」、「野生絶滅(EW)」、「絶滅危惧I類(GR+EN)」、

「絶滅危惧II類(CR)」、「絶滅危惧I B類(EN)」、「絶滅危惧II類(VU)」、「準絶滅危惧(NT)」、「情報不足(DD)」、「絶滅のおそれのある地域個体群(PL)」、「要注目種(注目)」

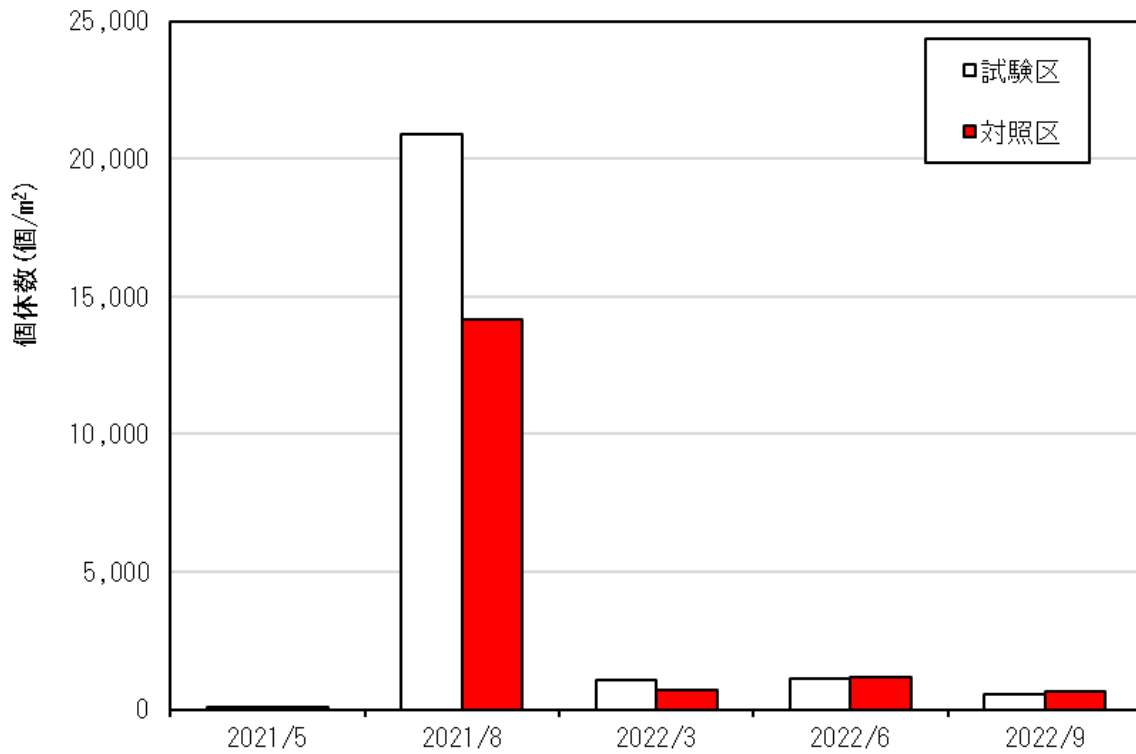


図 5-13 底生生物出現状況（個体数別）

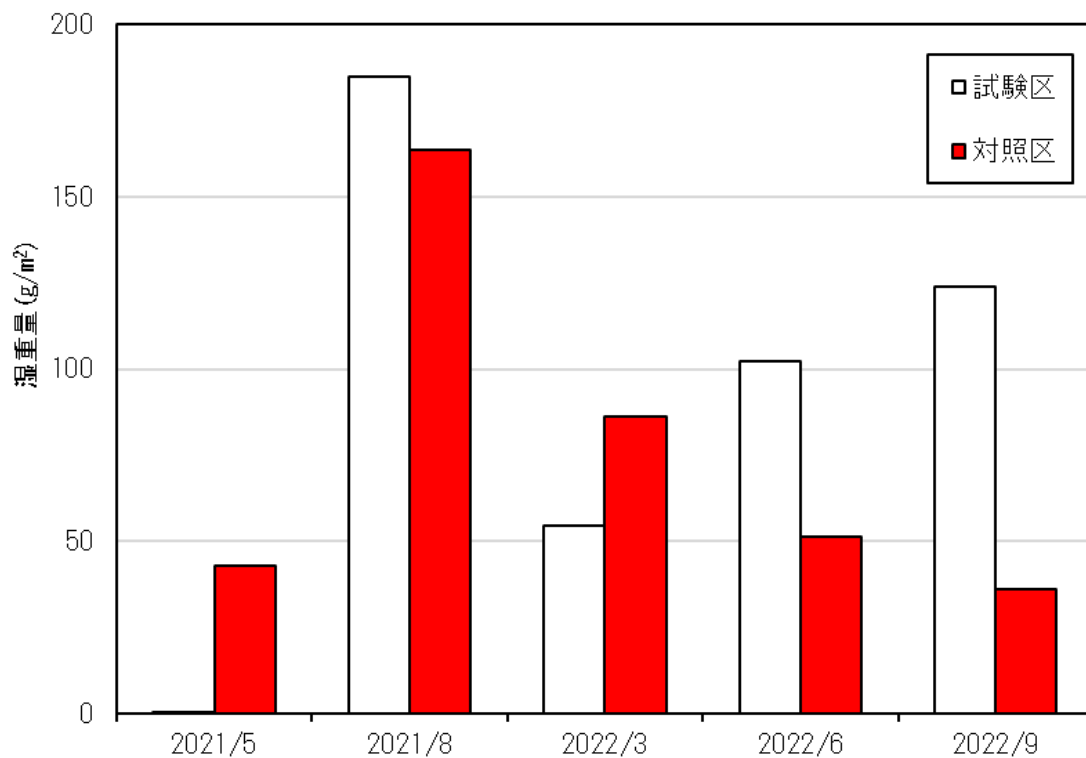


図 5-14 底生生物出現状況（湿重量別）

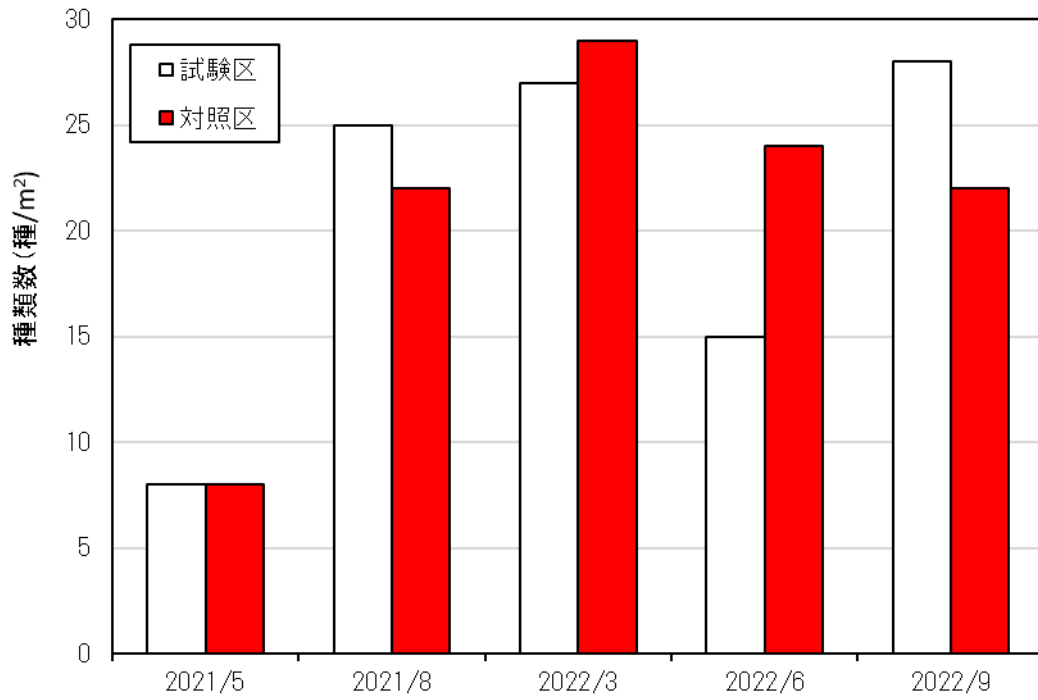


図 5-15 底生生物出現状況（種類数別）

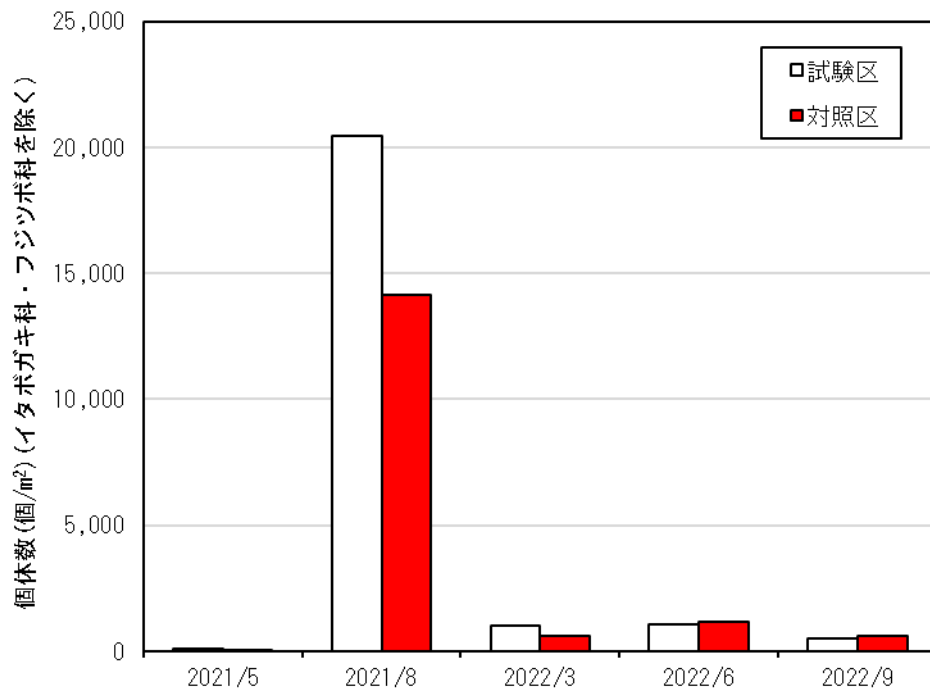


図 5-16 イタボガキ科・フジツボ科を除く底生生物出現状況（個体数別）

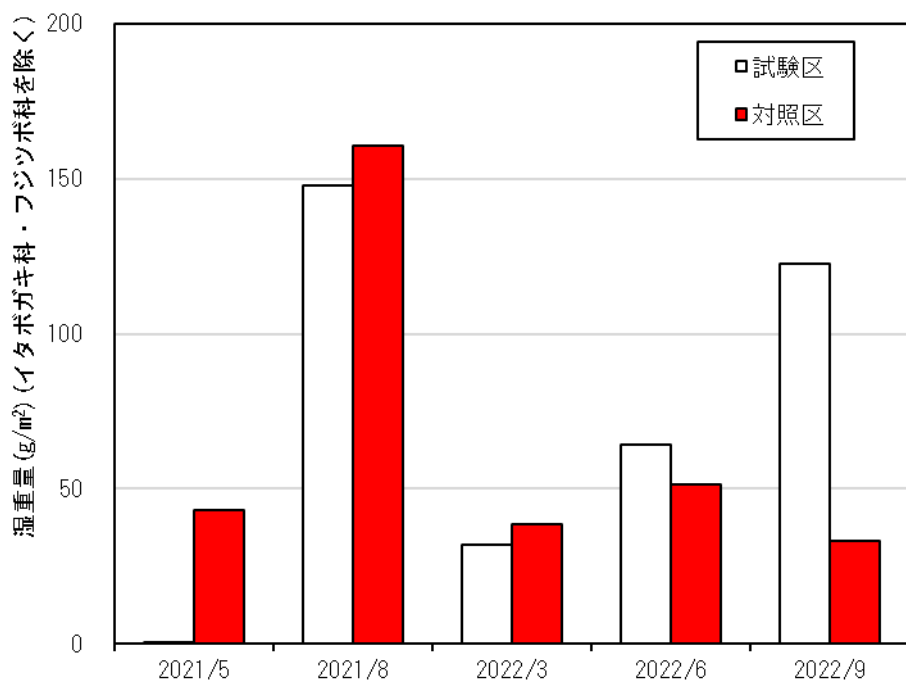


図 5-17 イタボガキ科・フジツボ科を除く底生生物出現状況（湿重量別）

また、両試験区でアサリの加入がみられた。各試験区でのアサリ殻長組成を図 5-18 に示す。なお、殻長組成は、計測実数で示すため m^2 換算の出現種リストの個数と一致しない。

2021年5月の段階では、試験区と対照区ともにアサリはみられなかったが、2021年8月調査時に両試験区への加入がみられ、その後継続してアサリを確認できた。

試験区と対照区ともに継続してアサリを確認できたことから、アサリの生育基盤として差が無いと考えられた。

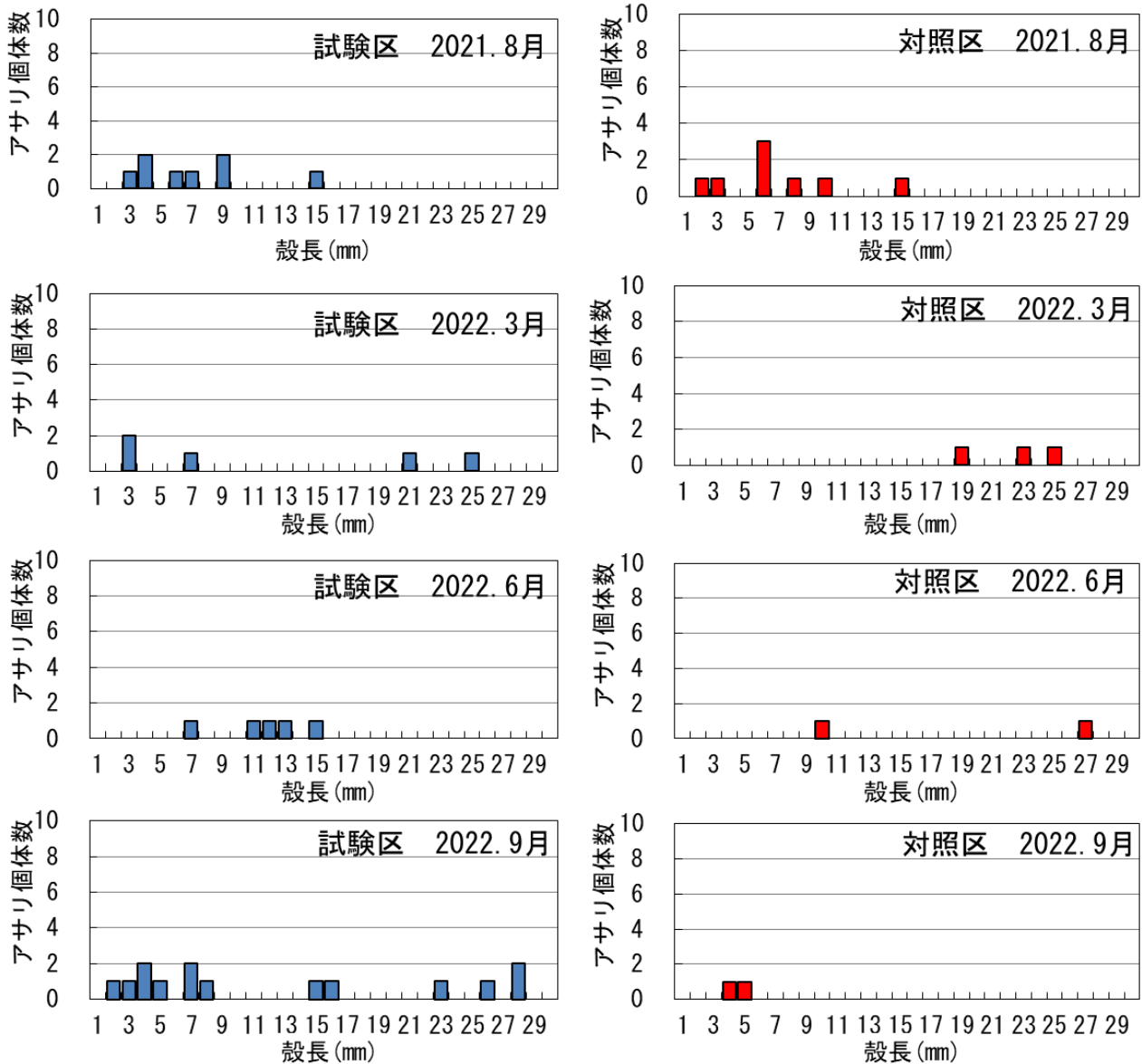


図 5-18 アサリ加入個体の殻長組成*

*殻長組成は計測実数で示す。なお、プランターの表面積は $0.255m^2$ である。

5-4. 付着藻類・基礎生産力調査

5-4-1. 付着藻類

付着藻類の出現結果を表 5-9 と図 5-19 に示す。

種類数は、試験開始1か月後の2021年5月に対照区で多い結果であったが、4か月以降から両区画とも14~17の種類数で推移した。付着藻の細胞数は、試験開始1か月後の2021年5月に対照区で最も多い4万 cell/cm²という結果が出たが、それ以降は同じオーダーの細胞数で推移した。なお、今回の試験では、微細藻類のみの確認であるため、湿重量の計測は行なわなかった。

付着藻類を網別に見ると、多くの割合を珪藻綱が占め、特に珪藻綱の羽状目が優占した(図 5-20)。これらの事から、付着藻類の出現状況に試験区と対照区で大きな変化はなかった。

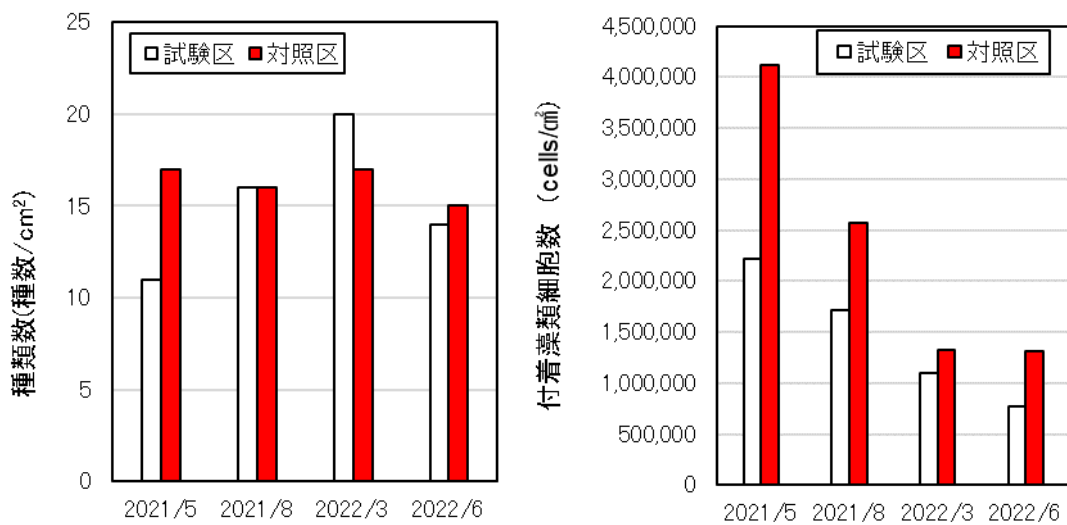


図 5-19 付着藻類出現状況（左図：種類数，右図：細胞数）

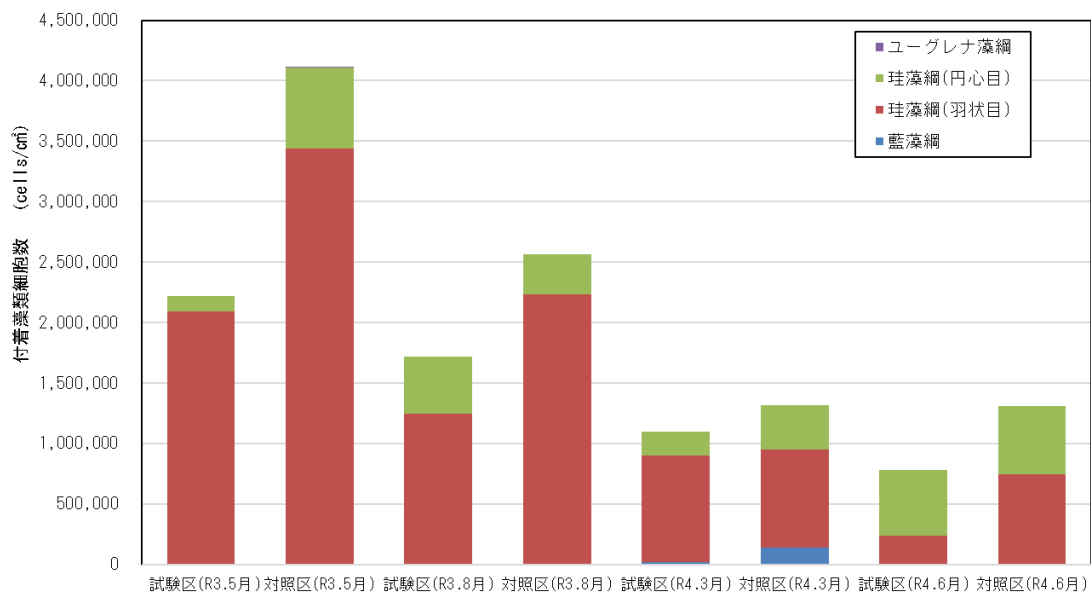


図 5-20 網別の付着藻類出現状況

表 5-9 付着藻類出現状況

No.	門	綱	目	科	単位: cells/cm ²											
					試験区 2021/5/27	対照区 2021/5/27	試験区 2021/8/20	対照区 2021/8/20	試験区 2022/3/16	対照区 2022/3/16	試験区 2022/6/1	対照区 2022/6/1				
1	藍色植物	藍藻綱	ユレモ	-					15,300	137,600	5,100	7,600				
2	不等毛植物	珪藻綱	円心	タラシオシーラ	22,900	30,600	61,100	15,300	15,300	15,300	5,100	76,400				
3								137,600	30,600	15,300	428,000	244,600				
4											30,600					
5								107,000	642,000	275,200	321,000	91,700	107,000	30,600	183,400	
6														30,600		
7												30,600	30,600	61,100	30,600	
8														10,200		
9							キートケロス						30,600			
10							ユーボディスク					30,600	137,600	2,500	2,500	
11						羽状	ディアトーマ		109,600							
12															15,300	
13											229,300	45,900				
14										10,200		10,200				
15								アクナンテス		2,500		45,900	5,100		2,500	30,600
16															2,500	
17								ナビキュラ	275,200	91,700	137,600	779,600	137,600	229,300	152,900	489,200
18										71,300						
19											2,500		15,300			
20										2,500						
21												2,500	15,300			
22												2,500				
23											30,600	15,300				
24									15,300		30,600					
25								2,500	2,500	91,700	15,300					
26								15,300								
27								733,800	1,834,400	45,900	412,700	15,300	15,300	15,300	15,300	
28								17,800	76,400	15,300	2,500		2,500	2,500		
29								15,300	183,400	91,700			15,300			
30						ニッチア	22,900		33,100	91,700		107,000	15,300	91,700		
31							550,300	275,200			15,300					
32										2,500						
33									15,300		30,600					
34											30,600					
35							15,300	183,400								
36									12,700	45,900	15,300					
37								15,300			15,300	15,300	30,600			
38							458,600	733,800	443,300	642,000	596,200	412,700	30,600	61,100		
39						スリレラ					2,500					
40											2,500					
41				-						15,300						
42	ユーグレナ植物	ユーグレナ藻綱	-	-		2,500										
				細胞数 (cells/cm ²)	2,221,600	4,112,000	1,717,100	2,568,100	1,100,700	1,319,800	777,000	1,312,000				
				種類数	11	17	16	16	20	17	14	15				

※s.l. sensu lato (広義) の意
※「*」を付した種は糸状体数を計数した

5-4-2. 基礎生産力調査

基礎生産力の指標とした溶存酸素濃度の推移を図 5-21、図 5-23、図 5-25、図 5-27 に示す。併せて、計測時間中の全天日射量と日照時間を図 5-22、図 5-24、図 5-26、図 5-28 に示す。

2021 年 5 月調査では試験区、対照区とも 2 試料による計測であったため両試料の値を示した。2021 年 8 月調査、2022 年 3 月調査、2022 年 6 月調査では全試験区とも 3 試料の計測値平均を示した。

2021 年 5 月では、明条件では試験区と比較して対照区での測定値が高い水準で推移したが、試験区においても時間経過に伴う測定値上昇がみられ、対照区に及ばないものの基礎生産が行われていることが示された(図 5-21)。

2021 年 8 月調査では、明条件、暗条件とも試験区での測定値が対照区の測定値を上回っていた(図 5-25)。ただし、測定中の全天日射量が低く、かつ日照時間の短い曇りがちの天気であったため、基礎生産力は低い水準にとどまった(図 5-25)。

2022 年 3 月では、明条件では試験区での測定値が対照区の測定値を下回っていたが、試験区、対照区とも測定値が高い水準で推移した。

2022 年 6 月調査では、明条件、暗条件とも試験区と対照区の測定値に大きな差はみられず、基礎生産力は低い水準にとどまった(図 5-27)。暗条件でも試験区での測定値が対照区の測定値を僅差で上回ることが多かった。

この調査の際も曇りがちであり、日照時間が短い状況であった。

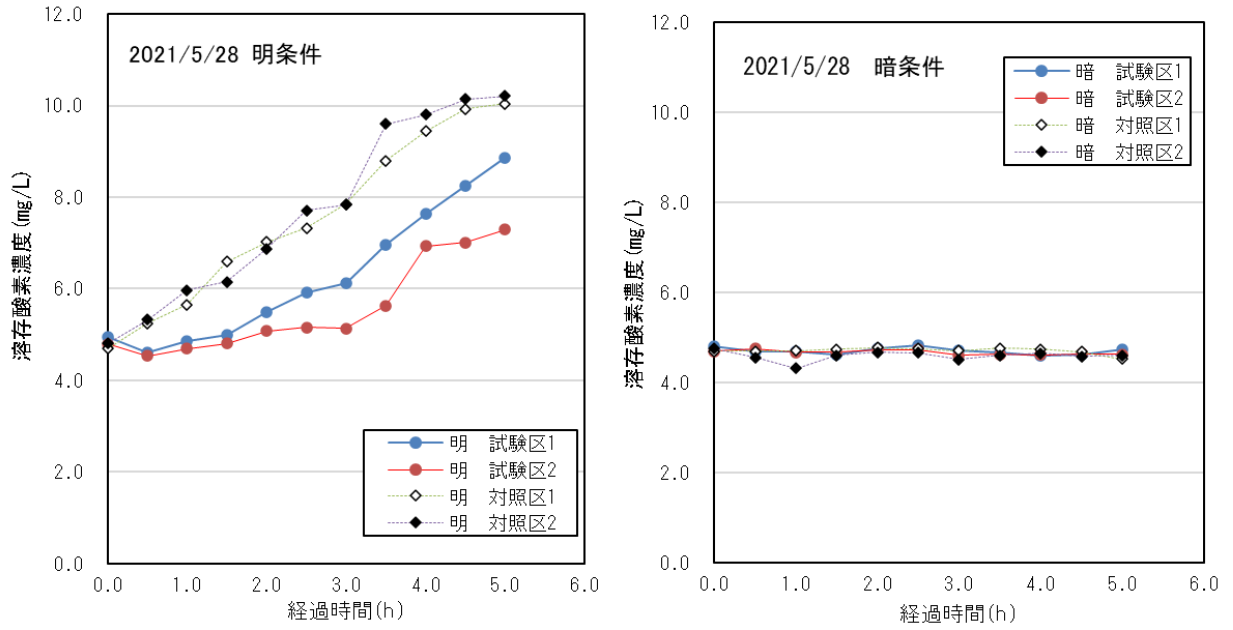


図 5-21 5月調査時の溶存酸素濃度の推移

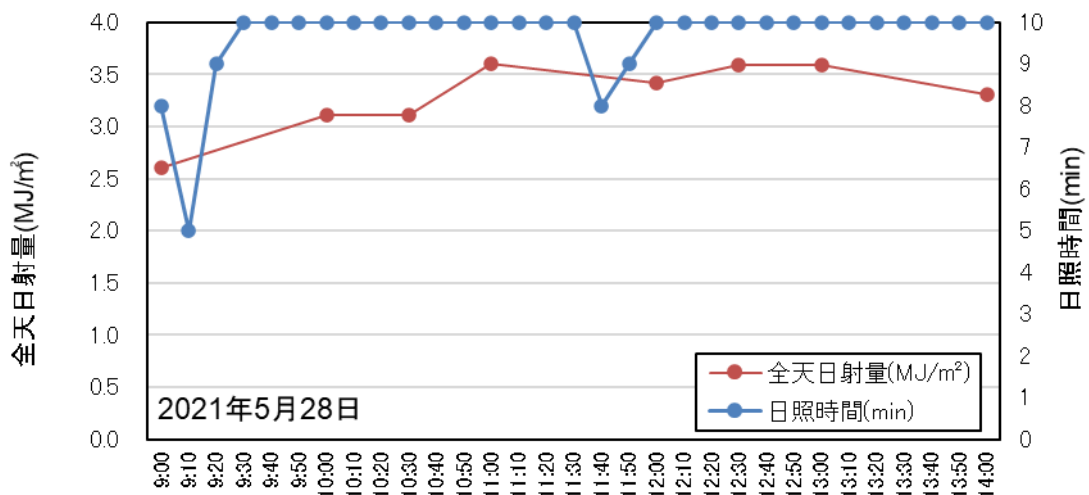


図 5-22 5月調査時の全天日射量と日照時間

出展：気象庁 HP 仙台気象観測所

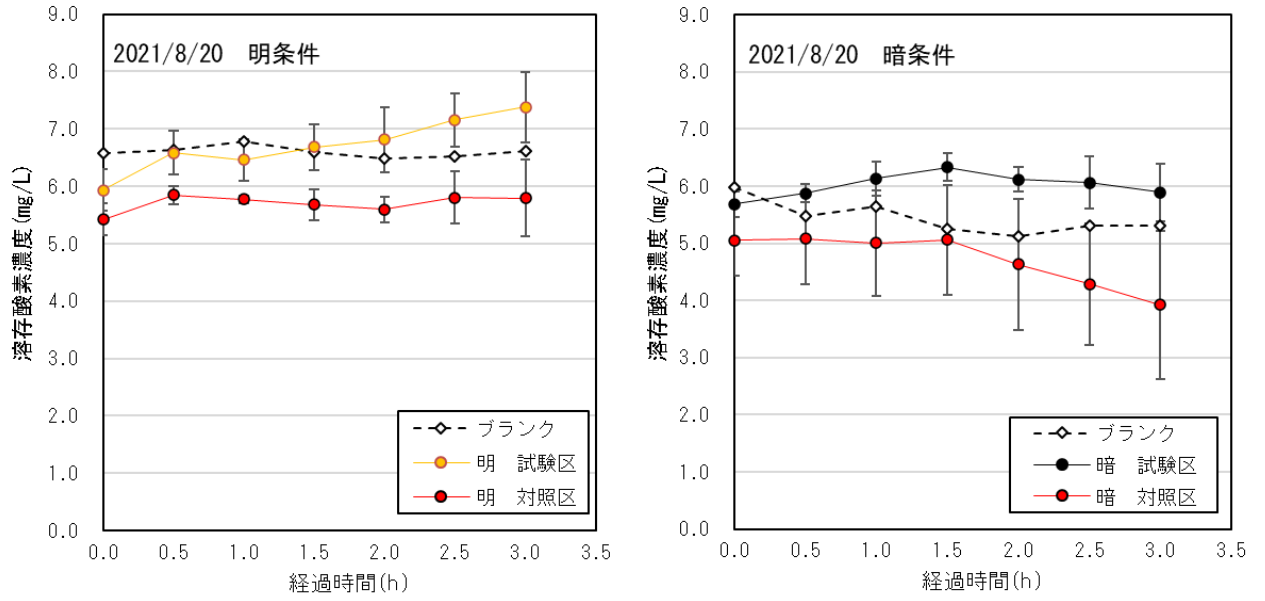


図 5-23 8月調査時の溶存酸素濃度の推移

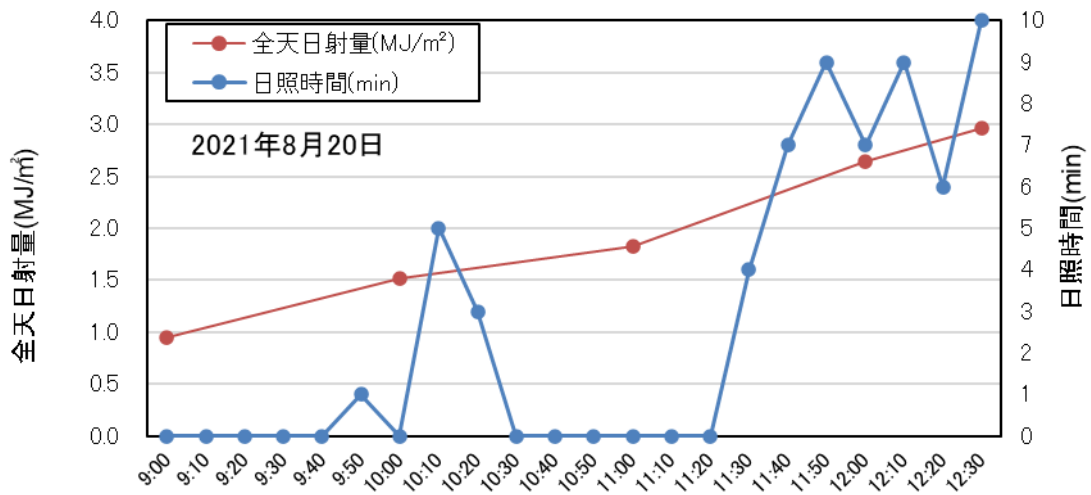


図 5-24 8月調査時の全天日射量と日照時間

出展：気象庁 HP 仙台気象観測所

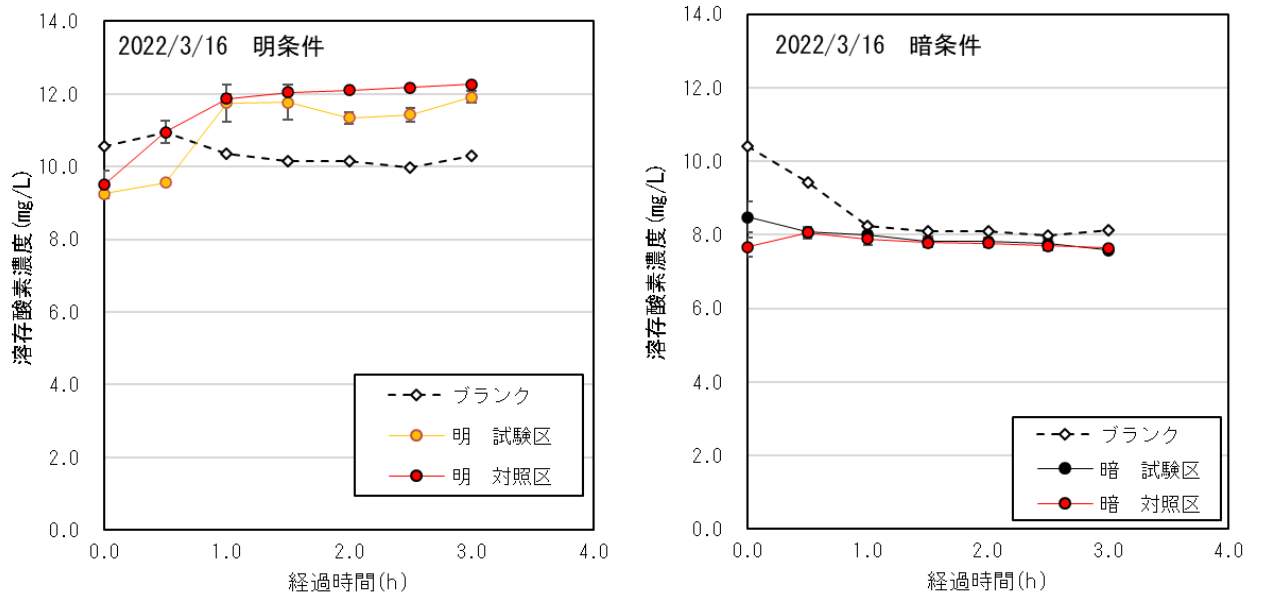


図 5-25 3月調査時の溶存酸素濃度の推移

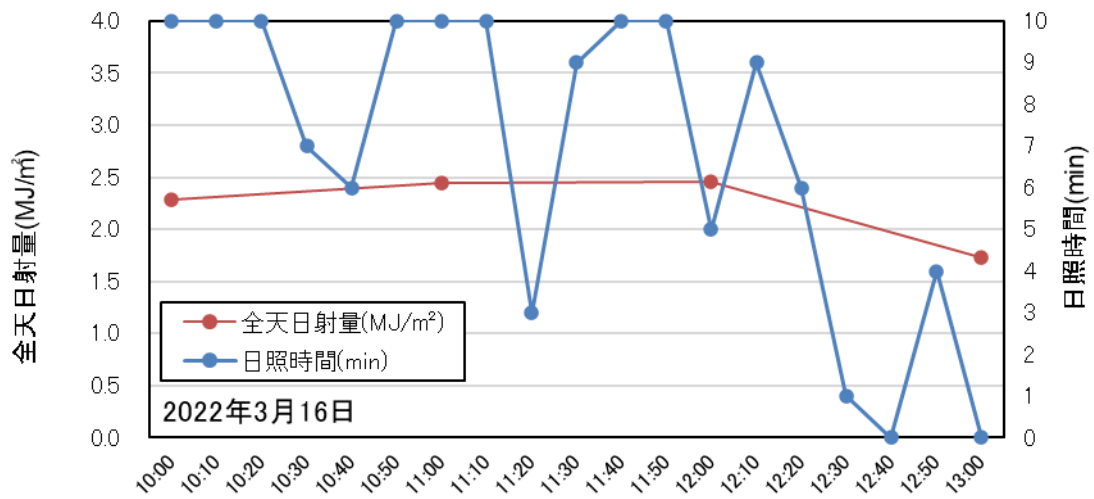


図 5-26 3月調査時の全天日射量と日照時間

出展：気象庁 HP 仙台気象観測所

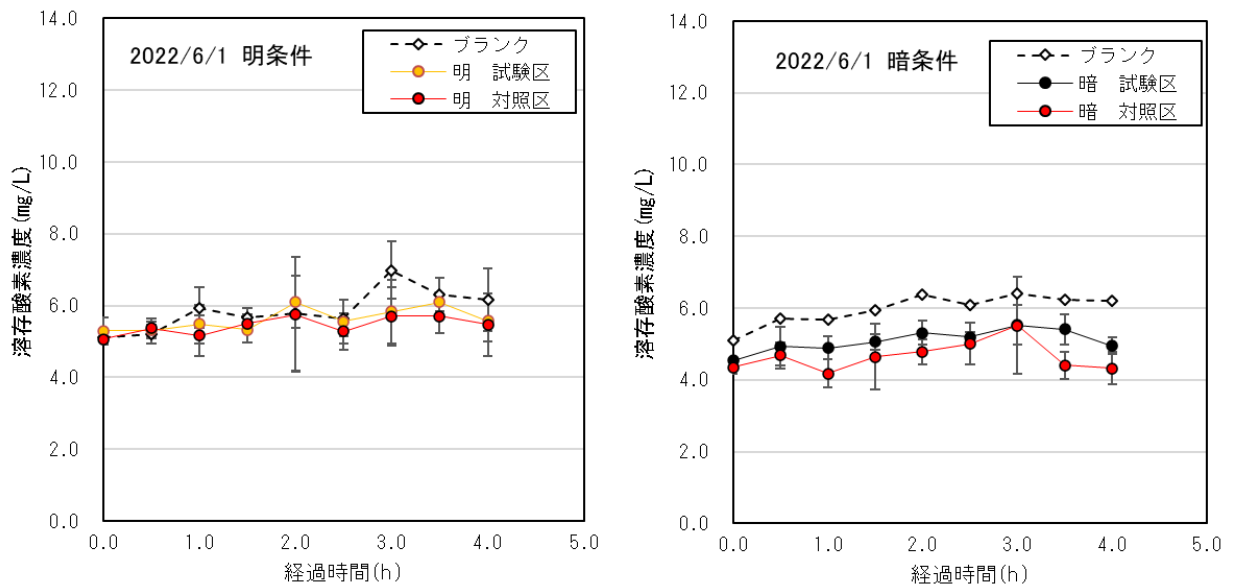


図 5-27 6月調査時の溶存酸素濃度の推移

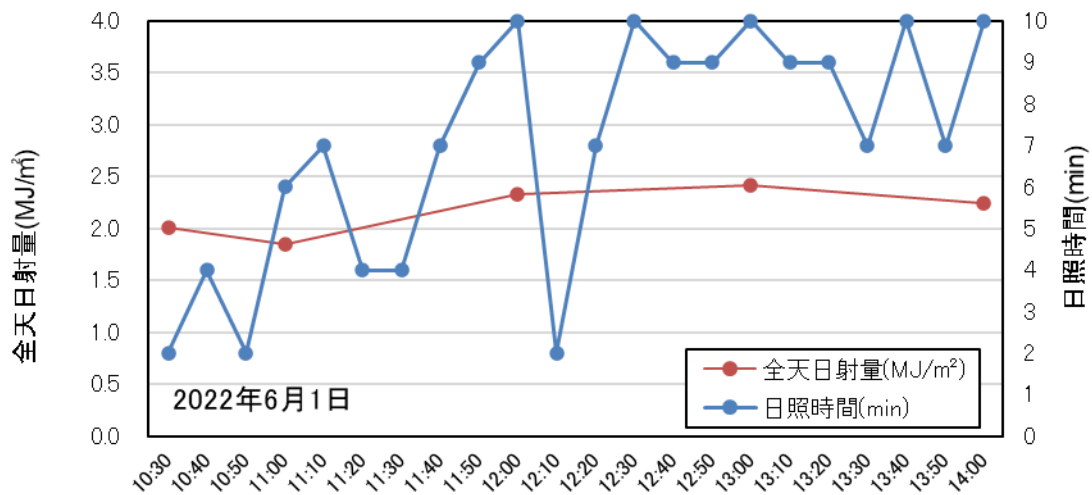


図 5-28 6月調査時の全天日射量と日照時間

出展：気象庁 HP 仙台気象観測所

次に、光合成による酸素発生量をより把握できるように、各試料の計測値の初期値を 0 とした場合の溶存酸素濃度の変化を図 5-29～図 5-32 に示す。全ての調査回において、明条件では試験区、対照区とも増加傾向での溶存酸素濃度の推移が認められた。暗条件では、2022 年 6 月調査回を除いて、横ばい、または減少傾向であった。

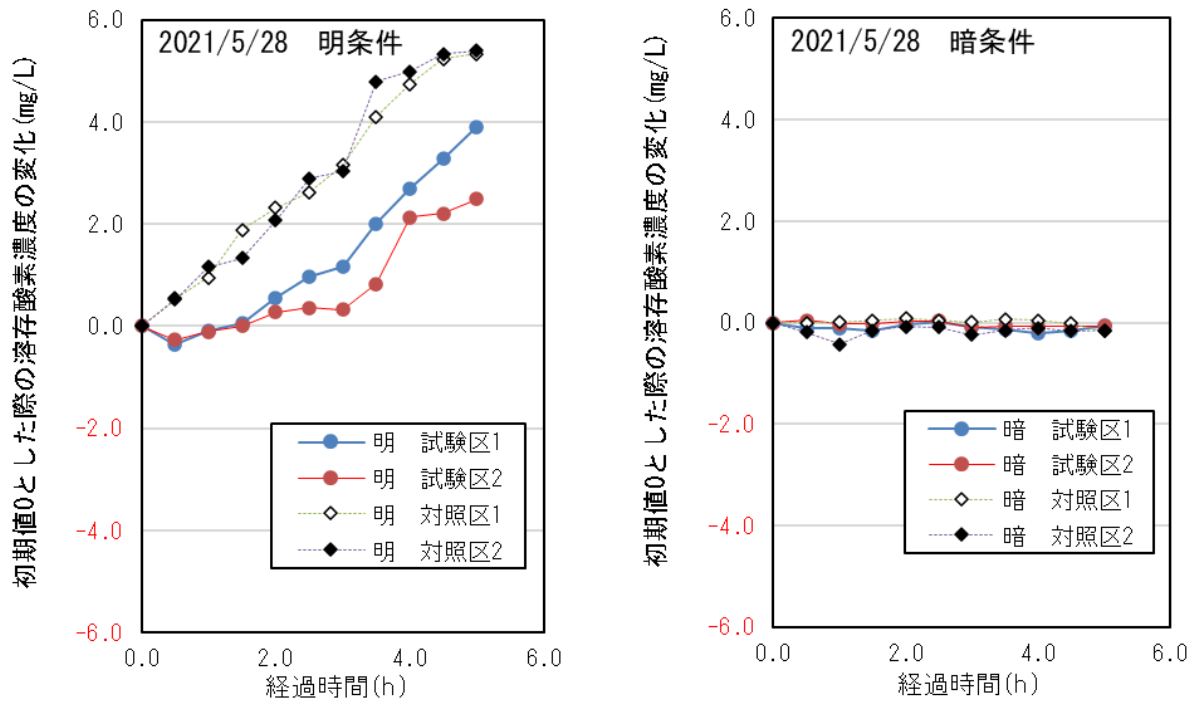


図 5-29 溶存酸素濃度初期値を 0 とした場合の基礎生産力推移 (2021 年 5 月調査)

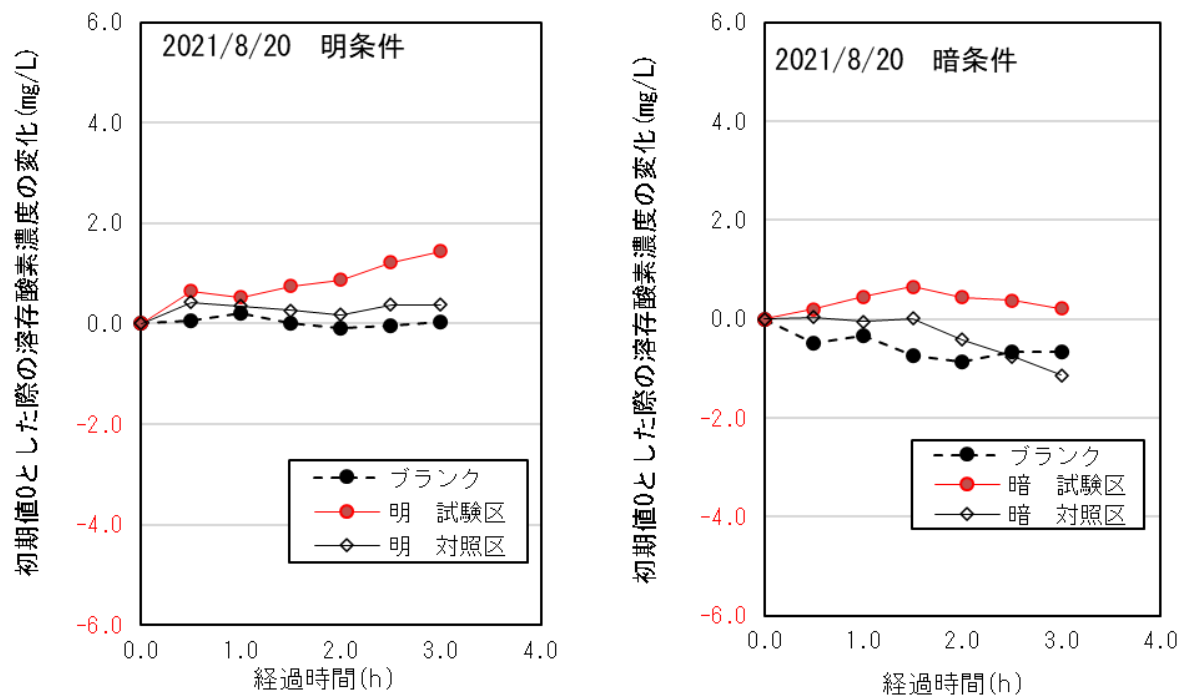


図 5-30 溶存酸素濃度初期値を 0 とした場合の基礎生産力推移 (2021 年 8 月調査)

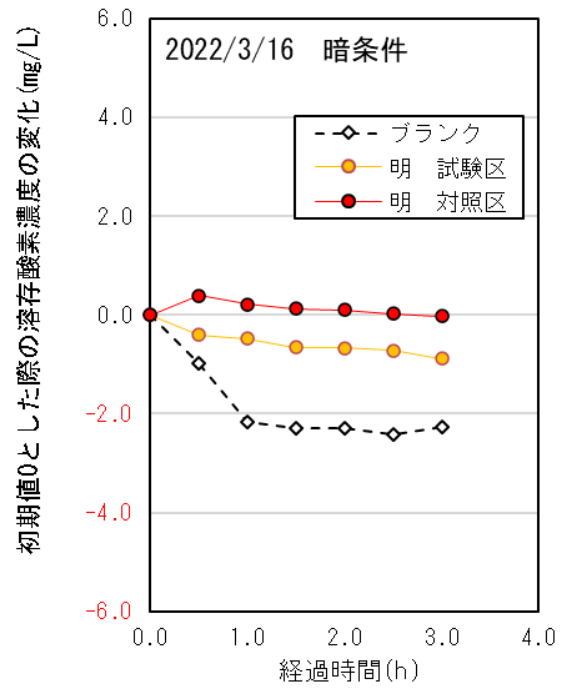
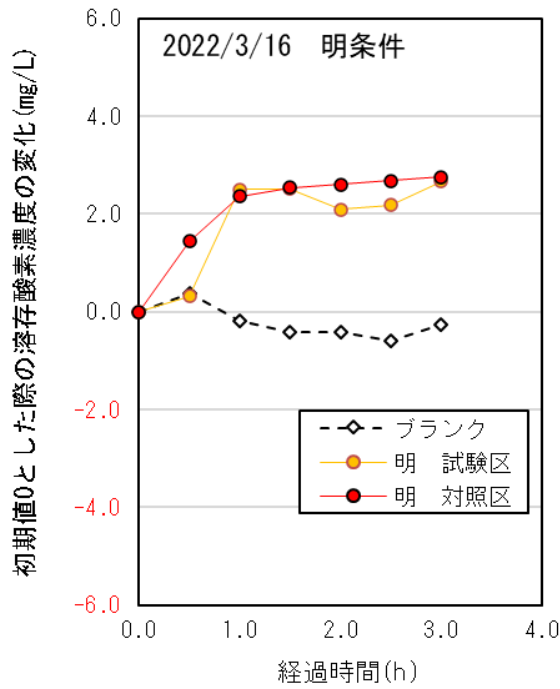


図 5-31 溶存酸素濃度初期値を 0 とした場合の基礎生産力推移 (2022 年 3 月調査)

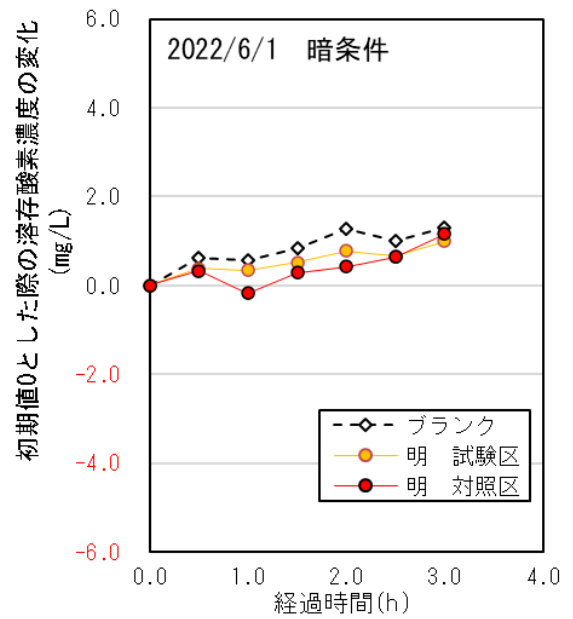
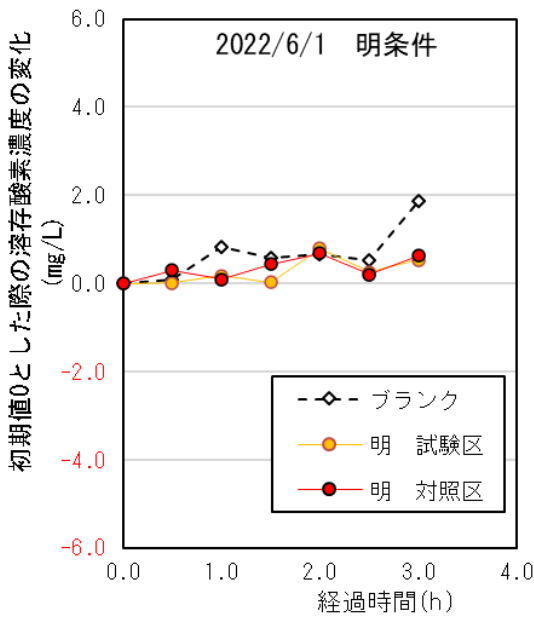


図 5-32 溶存酸素濃度初期値を 0 とした場合の基礎生産力推移 (2022 年 6 月調査)

また、明条件での純生産状況を把握するため、溶存酸素濃度の測定値から暗条件での同測定値を差し引いた値について、その推移を図 5-33 に示した。純生産量の指標とした、「明条件下での溶存酸素濃度－暗条件下での溶存酸素濃度」は、2022 年 6 月を除き、各調査回において試験区、対照区とも増加傾向を示した。2022 年 6 月に関しては、日射量が低く明条件でも DO が低いため、上下する結果となった。

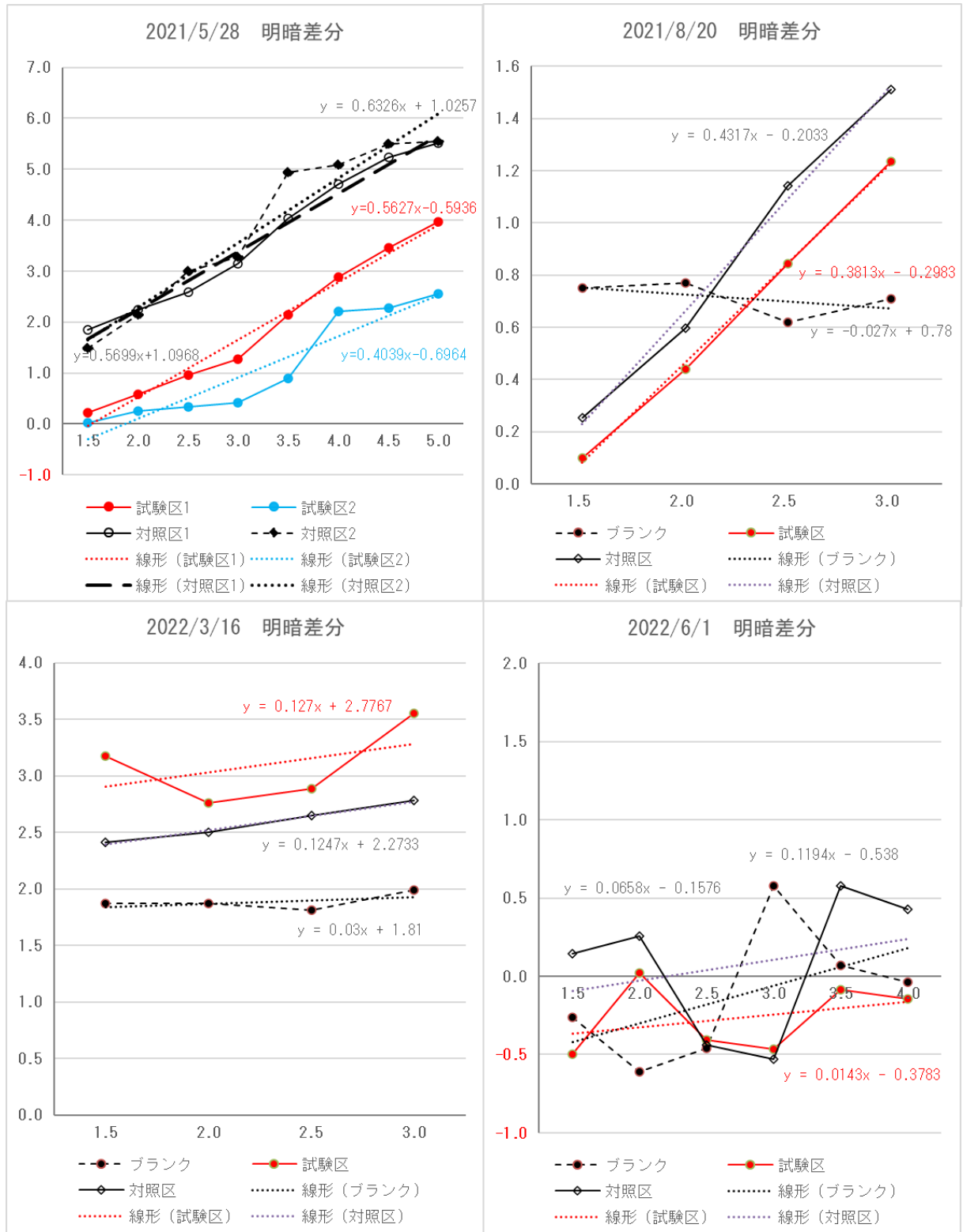


図 5-33 明暗条件での差分

最後に、基礎生産力の指標とした溶存酸素濃度の増加量について、測定開始時から溶存酸素濃度の挙動の安定した 1.5h 後と測定終了時に着目し、明暗条件の差分値を整理した(表 5-10～表 5-13)。

試験区と対照区の溶存酸素濃度の増加量は、近い値を示し、人工珪砂と天然砂上の基礎生産力に大きな差が無いことを確認した。

表 5-10 明暗条件の差分値から求めた溶存酸素濃度の増加量(2021年5月調査)

経過時間(t)	試験区 1	試験区 2	対照区 1	対照区 2
1.5	0.2	0.0	1.9	1.5
5.0	4.0	2.6	5.5	5.6
溶存酸素濃度の増加量(mg/L/3.5h)	3.8	2.5	3.7	4.1

表 5-11 明暗条件の差分値から求めた溶存酸素濃度の増加量(2021年8月調査)

経過時間(t)	試験区	対照区	ブランク
1.5	0.1	0.3	0.8
3.0	1.2	1.5	0.7
溶存酸素濃度の増加量(mg/L/1.5h)	1.1	1.3	-0.0

表 5-12 明暗条件の差分値から求めた溶存酸素濃度の増加量(2022年3月調査)

経過時間(t)	試験区	対照区	ブランク
1.5	3.2	2.4	1.9
3.0	3.6	2.8	2.0
溶存酸素濃度の増加量(mg/L/1.5h)	0.4	0.4	0.1

表 5-13 明暗条件の差分値から求めた溶存酸素濃度の増加量(2022年6月調査)

経過時間(t)	試験区	対照区	ブランク
1.5	-0.5	0.1	-0.3
4.0	-0.1	0.4	-0.0
溶存酸素濃度の増加量(mg/L/2.5h)	0.4	0.3	0.2

5-5. ベントフロー調査

ベントフロー調査による藻類繁茂状況を図 5-34～図 5-37 に示す。なお、データの有意性を確認するために補足的に測定値の差の検定(t-test)も行った。

8月において、緑藻は試験区で対照区と比べて藻類密度が高く、現地盤と比べると低かった。藍藻は、試験区と対照区で差がほとんど無く、現地盤よりも藻類密度が高かった。珪藻は、試験区でばらつきが大きかったものの、対照区との間で藻類密度に有意な差は認められず現地盤との比べると高くなった。

期間中の藻類密度変化は、8月に藍藻の藻類密度が高く、3月に緑藻・珪藻の藻類密度が高い季節変動を示していた。試験区、対照区、現地盤を比較すると、試験区と対照区での藻類密度の差は小さく、両区ともに現地盤より高い値を示した。

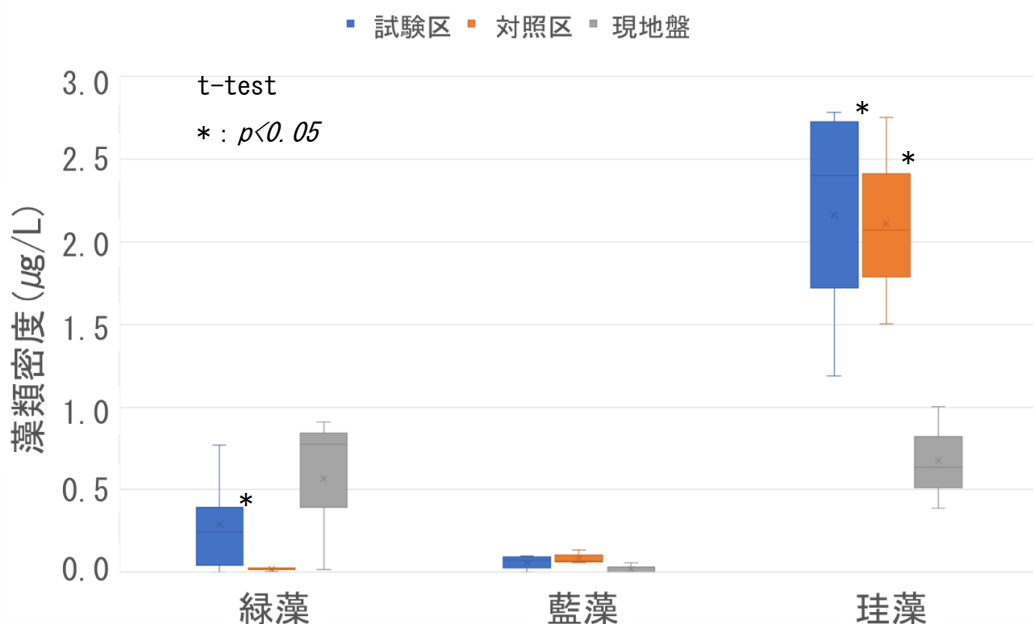


図 5-34 ベントフローによる基質表面への藻類繁茂状況の確認 (2021 年 8 月 20 日)

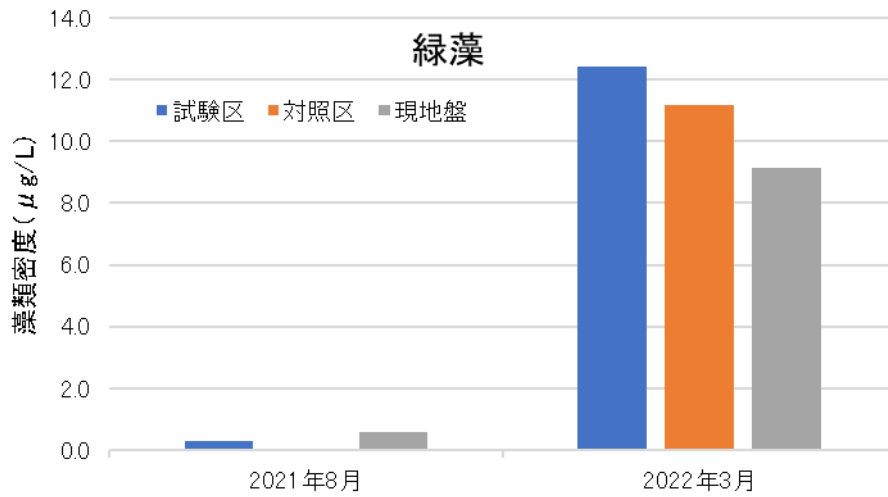


図 5-35 ベントフローによる基質表面への藻類繁茂状況の変化（緑藻）

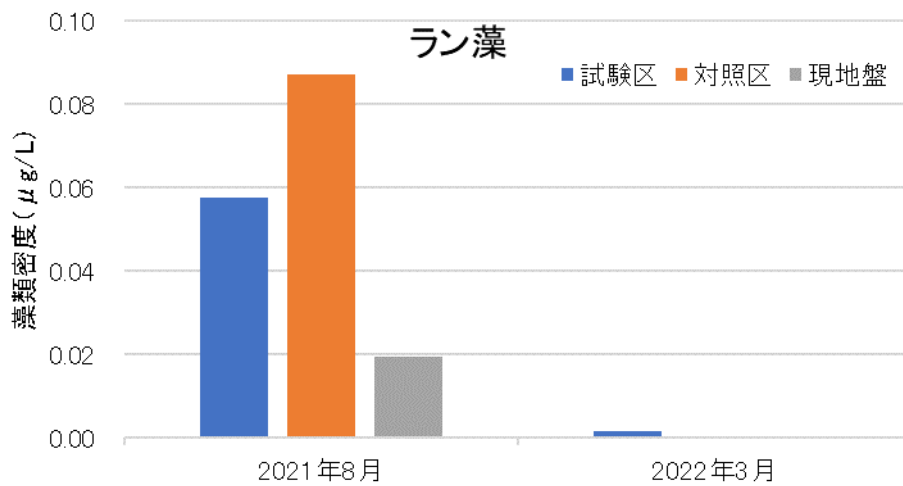


図 5-36 ベントフローによる基質表面への藻類繁茂状況の変化（ラン藻）

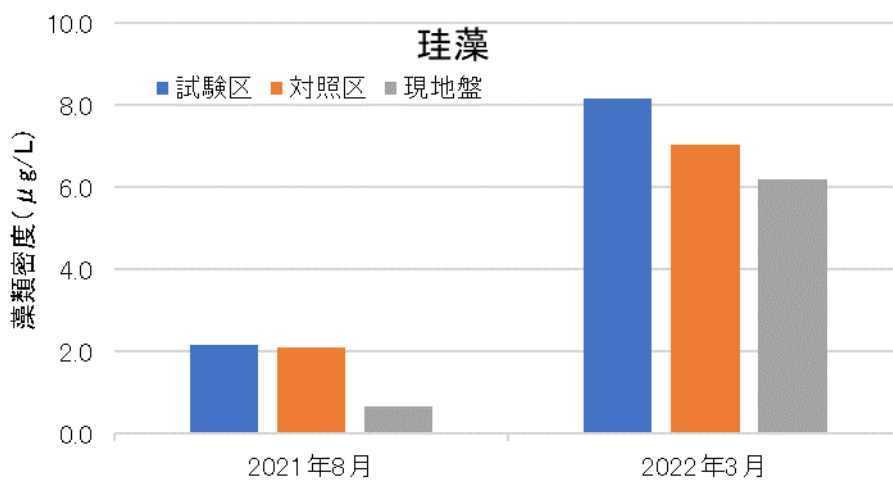


図 5-37 ベントフローによる基質表面への藻類繁茂状況の変化（珪藻）

5-6. 自主調査

2022年3月16日に試験施設周辺海域よりアマモ栄養株を採取し、試験区及び対照区に移植した。

2022年6月調査時の段階で、試験区と対照区ともに生育が確認された(図 5-38)。また、図 5-39に示すように移植したアマモに花枝形成がみられた。

試験区と対照区とも、アマモの生育に差が無く、生育基盤としても差が無いと考えられた。



図 5-38 移植アマモの生育状況(写真中左側が対照区, 右側が試験区プランター)



図 5-39 移植アマモの花枝形成の状況

6. 評価のまとめ

本実証試験では、表 6-1 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、対照区と比較することにより評価した。

表 6-1 実証項目および目標

実証項目	目標水準
底生生物	試験区での底生生物（種数・湿重量）が対照区と同等
浅場・干潟の機能	基礎生産力が対照区と同等

【底生生物】

全体を通じてみると、試験区と対照区との間に種数と湿重量に大きな差はなかった。また、試験区では、天然砂を用いた対照区と同程度の幅広い分類群にまたがる多様な底生生物が確認された。さらに、資源の減少が全国的な問題となっているアサリに関して、その稚貝の着底と成長を確認できたことから、アサリの生育基盤としても差が無いと考えられた。

【浅場・干潟の機能】

基礎生産力の指標とした溶存酸素濃度の増加量は、試験区と対照区に大きな差が無いことを確認した。付着藻類についても、分析試験とベントフロー調査により確認し、試験区と対照区とに差が無く、多種多様な微細藻類の生息を確認することができた。

以上の事から、本技術である人工珪砂が目標水準を満たした事を確認し、天然砂と同等の機能を有すると考えられ、人工珪砂は、干潟の造成材として有効であると言える。また、天然砂と変らない底生生物の生息・生育が確認されたことから、一般的な干潟造成の効果として考えられる健全な物質循環の創出へも寄与することが期待される。

7. 今後の展望

天然材料の代替材料としての人工珪砂の利用可能性・今後の展望について検討するため、リサイクル製品の用途・市場性を中心に調べた。

ここでは、山砂・海砂の採取規制状況を整理した。また、リサイクル製品を利用した事例や、今後の廃ガラスの産出量について、専門家へのヒアリングを行った。

7-1. 山砂・海砂等の採取に関する法規制

本項では、山砂・海砂等自然に産出する土砂を対象に、採取に関連した法規制について述べる。関連法のうち、「砂利採取法」は採取業の許認可について定める法律であり、その他採取に関わる土地側の条件を定める法律が以下の通り、それぞれ定められている。

7-1-1. 砂利採取法

砂利採取法は、産状（山砂利、陸砂利、河川砂利、海砂利）を問わず、すべての砂利を対象として砂利の適正な採取について定める法律である。砂利の採取に伴う災害を防止し、砂利採取業の健全な発達に資することを目的とするものである。

砂利採取法は当初昭和 31 年に制定されたが、昭和 40 年代前半から土木・建築工事の増大につれ砂利の使用量が急増し、その採取に伴う災害が各地で頻発するとともに、災害規模及びその与える影響が深刻なものとなり社会的問題として取り上げられたことから、現行の砂利採取法が、昭和 43 年 5 月 30 日に制定され、現在まで幾度かの改正が行われている。

自然に産出する砂利・砂の採取は、「砂利採取法」の規制対象となる。同様に岩石を採取する場合は「砕石法」の規制対象となる。砕石法は砂利採取法と同等の法律であるが、対象を岩石や砕石としている。

7-1-2. 土砂条例（残土条例）

土砂条例（もしくは残土条例）は都道府県で定めている条例で、土砂の不適正な処理と埋立てに伴う災害の発生防止を目的としている。正式名称は各自治体により異なる。一定規模以上の土地の埋立て等について、埋立てを行うことを許可制とし、土砂の性質や安全性、埋立て等に用いる土砂の数量および施工計画等を事前に審査することを規定している。

7-1-3. その他の関連法令

山砂・海砂等の採取は開発行為にあたり、様々な法律で規制の対象となる。

関連法令には、大きく分けて都市計画法や農地法など、土地の利用目的に対し規制がかけられているものと、森林法、河川法等自然環境や野生生物の生息域の保護、災害等の防止の目的で行為の制限および制限区域を定めるものがある。

7-1-4. 海砂利採取の法規制状況

天然砂利（砂）の一つである海砂利（砂）は、地質分布や水深の関係から西日本を主な産地とされてきた。しかし、瀬戸内海では海砂利採取により水産資源・自然環境に対し甚大な影響がみられた。

そこで、瀬戸内海では環境施策として「瀬戸内海環境保全特別措置法」が昭和 48 年 10 月に制定されており、同法の推進のため「瀬戸内海環境保全基本計画」が策定された。平成以降瀬戸内海沿岸府県では海砂利採取削減から禁止への動きとなり、同基本計画では「海砂利採取に当たつての環境保全に対する配慮」という項目が設けられた。各都道府県でそれぞれ海砂利採取を規制する条例等が施行され、平成 20 年 6 月以降、河口・航路浚渫目的を除き瀬戸内海沿岸全県で海砂利採取が全面禁止された。

各都道府県の規制の状況を、表 7-1 に整理する。

表 7-1 瀬戸内海沿岸各府県の海砂利採取規制状況（平成 22 年 3 月）

府県名	A. 規制		B. 根拠規定
大阪府	④	—	
兵庫県	①	②	兵庫県漁業調整規則第 43 条(S41.7 施行)において県内の海砂利採取可能海域の全てを土砂採取禁止区域に設定。
和歌山県	④	—	
岡山県	①	②	岡山県普通海域管理条例、岡山県普通海域占用等許可事務取扱要領(H10.10 施行)に基づき、平成 15 年 4 月より海砂利採取を全面禁止。
広島県	②	②	「海砂利採取に関する基本方針 (S52.6 制定)」において「過去 3 か年間に県内海域において海砂利採取許可を受けた実績を有するものであること」を条件とした。(H10.2 月悪質な違反を犯した全業者の資格剥奪。資格要件を満たすものが存在しなくなり事実上全面禁止。)
山口県	②	②	「一般海域の利用に関する条例」の許可基準である「一般海域における土石採取許可の取扱いについて」(H10.6.1 施行)により新規参入禁止。(H19.8.1 操業していた 1 社が操業区域を変更したため、瀬戸内海での海砂利採取はなくなった。)
香川県	①	②	「海砂利採取に関する基本方針」に基づき、平成 17 年 4 月 1 日から採取禁止。徳島県②—昭和 53 年 12 月より海砂利採取は禁止。
愛媛県	①	①	「瀬戸内海の環境保全に関する愛媛県計画」(H14.7 策定)に基づき、平成 18 年度より採取禁止。
福岡県	①	②	福岡県一般海域管理条例、福岡県一般海域管理運用要綱 (H13.4 施行) に基づき採取禁止。
大分県	①	①	「瀬戸内海の環境の保全に関する大分県計画」 (H20.6 策定) に基づき平成 20 年 6 月以降は原則禁止。

A. 海砂利採取の規制状況

- ①何らかの規定等を踏まえ、砂利採取法の採取計画を認可していない。
- ②特段根拠となるものはないが、砂利採取法の採取計画を認可していない。
- ③採取計画を認可しているが、削減に向けた措置を適用している。
- ④過去から採取実績がないため、特段の規制をしていない。

B. 砂利採取法の採取計画を認可しない根拠としている規定等（A-①の結果）

- ①瀬戸内海の環境の保全に関する府県計画
- ②その他の条例等

7-1-1. ～7-1-4. に示した通り、様々な規制があり、藻場・干潟等の造成のための大量の材料確保には課題がある。

7-2. リサイクル材を用いた浅場、藻場・干潟造成の事例

天然の材料以外のリサイクル材を用いた港湾・沿岸の造成事業の事例を整理し、人工珪砂の利用可能性について検討した。ここでは、事例が少ないため年度に関わらず収集した。

収集した事例を、表 7-2 に示す。リサイクル材を用いた藻場、浅場・干潟造成の事例では、スラグ類の事例が多くを占めており、次いで貝殻類であった。

天然の砂などを用いた藻場・干潟等の造成には、規制面から材料確保に課題があることから、リサイクル材を用いた造成に今後とも需要があると考えられる。既存の実績のあるリサイクル材に対して、材料構造や価格といった面で優位に立つことで、人工珪砂の需要に期待が持てる。

表 7-2 リサイクル材を用いた藻場、浅場・干潟造成事例

No.	施工年度	リサイクル材の種類	用途	数量等	場所
1	平成16～17年度	高炉スラグ	干潟	900m ³	愛知県
2	平成16～26年度	鉄鋼スラグ二次製品	藻場、浅場・干潟造成等	6t	北海道
3	平成19年度	鉄鋼スラグ二次製品	浅場	3,600m ³	大阪府
4	平成20年度	鉄鋼スラグ二次製品	浅場	600m ³	愛知県
5	平成20年度	鉄鋼スラグ二次製品、鉄鋼スラグ水和固化体製人工石	浅場	910m ³ (カルシア改質土)、31m ³ (人工石)	東京都
6	平成20年度	鉄鋼スラグ二次製品	干潟	3m ³	大阪府
7	平成21年～22年度	鉄鋼スラグ二次製品、鉄鋼スラグ水和固化体製人工石、浚渫土混合人工石	藻場	12,500m ³ (カルシア改質土)、20,800m ³ (スラグ人工石)、10,400m ³ (浚渫土混合人工石)	東京都
8	平成21年度	石炭灰二次製品	覆砂材	8,680m ³	広島県
9	平成21年度	貝殻(カキ殻)	藻場、浅場・干潟造成等	2t	新潟県
10	平成21年度	鉄鋼スラグ二次製品、鉄鋼スラグ水和固化体製人工石	浅場	45m ³ (カルシア改質土)、5m ³ (人工石)	神奈川県
11	平成22年度	鉄鋼スラグ二次製品	浅場	500m ³ (カルシア改質土)	大阪府
12	平成23年度	製鋼スラグ	覆砂材	2,800m ³	広島県
13	平成23年度	鉄鋼スラグ二次製品、鉄鋼スラグ水和固化体製人工石	浅場	65m ³ (カルシア改質土)、154m ³ (人工石)	広島県
14	平成23年度	鉄鋼スラグ二次製品、鉄鋼スラグ水和固化体製人工石	浅場	15,200m ³ (カルシア改質土)、5,900m ³ (人工石)	千葉県
15	平成23年度	鉄鋼スラグ二次製品、鉄鋼スラグ水和固化体製人工石	干潟	15m ³ (カルシア改質土)、22m ³ (人工石)	三重県
16	平成23年度	鉄鋼スラグ二次製品	浅場、藻場	11,000m ³	東京都
17	平成23年度	鉄鋼スラグ二次製品	藻場	30m ³ (人工石)	福岡県
18	平成24年度	鉄鋼スラグ二次製品	浅場	1,243m ³ (人工石)	千葉県
19	平成24年度	鉄鋼スラグ二次製品	地盤造成	67,500m ³ (カルシア改質土)	愛知県
20	平成25年度	鉄鋼スラグ二次製品、製鋼スラグ	藻場	10t	神奈川県
21	平成25～26年度	浚渫土砂(砂質土)	藻場、浅場・干潟造成等	約5,000m ³	鳥取県
22	平成26年度	フェロニッケルスラグ	藻場、浅場・干潟造成等	0.3m ³	神奈川県

出展：以下の資料を参考に作表

- 「港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン（改訂）」（平成30年4月）
- 「フライアッシュ・クリンカアッシュの用途」, 日本フライアッシュ協会 ホームページ
[HTTP://WWW. JAPAN-FLYASH. COM/FCUSE. HTML](http://www.japan-flyash.com/fcuse.html)
- 「沿岸技術ライブラリー No. 47 港湾・空港・海岸におけるカルシア改質土利用技術マニュアル」（令和4年10月発行）カルシア改質土研究会

7-3. 廃ガラスの今後排出される量

2016年3月に出された「マテリアルリサイクルによる天然資源消費量と環境負荷の削減に向けて～素材別リサイクル戦略マップ策定に向けた調査・検討の中間報告～」によると、2013年時点で未利用として廃棄・埋立処理されている廃ガラスは148.1万t/年とされている。同報告書では、「選別されないガラスは結果としてその大部分が埋立処分又はスラグ等（路盤材）として利用されており、埋立処分量低減の観点からもリサイクル手法の多様化が求められている。特に、太陽光パネルの将来的な排出量の増大が想定されることから、ガラスに関するリサイクルシステムの構築や技術開発、用途開発を一層推進していくことが必要である」と述べられていることなどから、未利用の廃ガラスのリサイクル手法の1つとして、本技術は有効であると考えられる。

なお、本技術で用いた廃ガラスは、スマートホンやタブレット端末などの強度が必要な物に使用される板ガラスである。2040年には約80万tの太陽光パネルの廃棄が予測されており、同様の廃棄物の有効活用方法としても期待されるものと言える。

ただし、ガラス製品は使用目的に応じて製造過程で様々な物質を添加するため、人工珪砂の原料となる廃ガラス製品の化学的な安全性、粒度調整後の物理的な安全性（エッジレス）の確認が必要不可欠である。

7-4. 本技術の普及・発展の可能性について

これまで日本の内湾・内海は環境改善のために汚濁負荷量の削減を中心とした対策が取られてきたが、第9次水質総量削減の在り方について（中央環境審議会答申、令和3年3月）において「水質浄化機能、生物の生息・生育の場として重要な藻場・干潟の多くが失われてきているため、残された藻場・干潟を保全するとともに、失われた藻場・干潟の再生を推進する必要がある。」とされたところであり、今後は積極的に藻場・干潟の再生が行われていくものと思われる。

本技術の人工珪砂は、天然砂の代替材としての利用を想定した技術であり、2021年3月から2022年9月までの現地実証により、底生生物の加入などの浅場・干潟の機能において差が無いことを確認した。

現在、山砂・海砂ともに規制されているなか、天然砂と同等の機能を持つ人工珪砂を代替材として様々な場所で使用することで、天然砂を採取することにより生じる環境負荷を軽減できると考えられる。

さらに、廃ガラスのリサイクル手法の一つとして、浅場や干潟造成に使用することは、持続可能な社会形成において重要な位置付けとなると考えられる。

また、本技術は、5mm以下の任意の粒度に調節したエッジレス加工による人工珪砂を製造することができることから、砂質干潟や泥質干潟などの目的とする造成干潟の粒度に合致する基質を供給できる。すなわち、干潟造成における幅広いニーズに対応可能な技術として今後の利活用が大いに期待される。