

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。

- ・ 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

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

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・マリングート塩釜」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を検討

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。

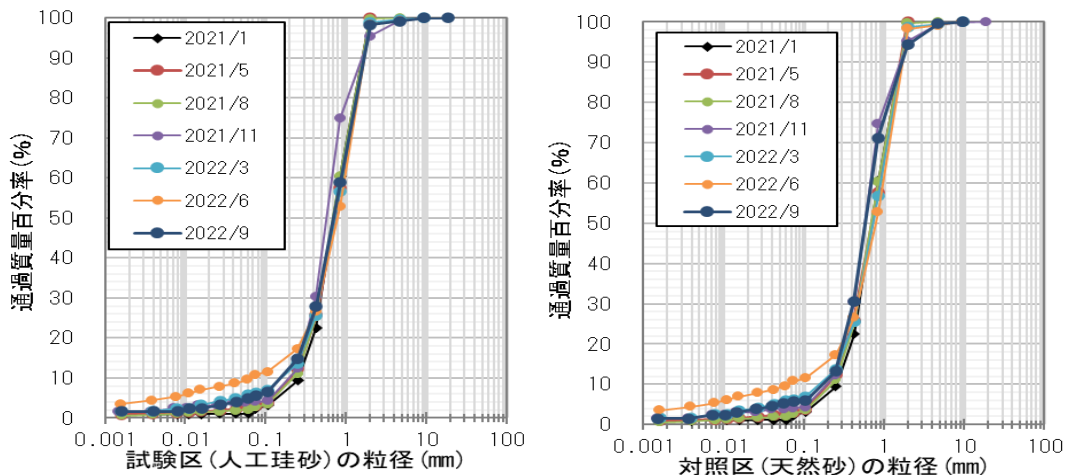


図 エラー！ 指定したスタイルは使われていません。-1 粒度組成の変化（左図：試験区，右図：対照区）

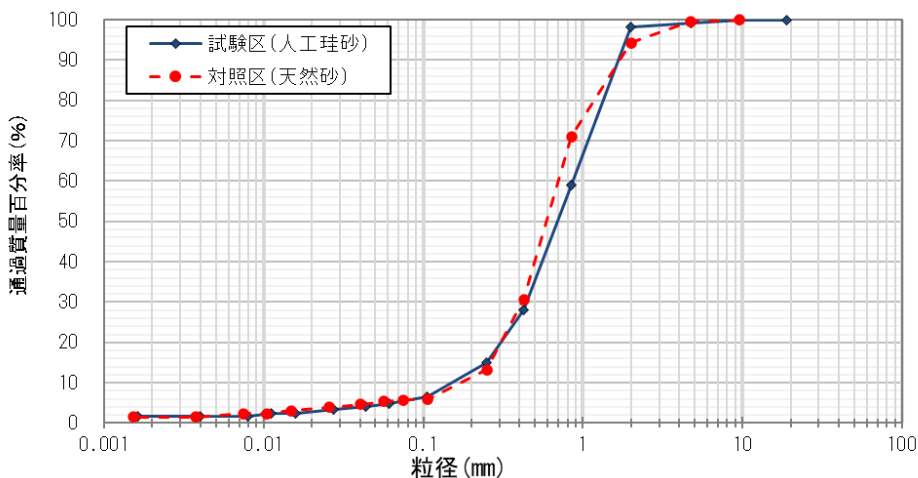


図 設置後約1.5年後の試験区と対照区の粒度組成の比較

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無くなった。

表 エラー！ 指定したスタイルは使われていません。-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類数と湿重量に大きな差はなかった。

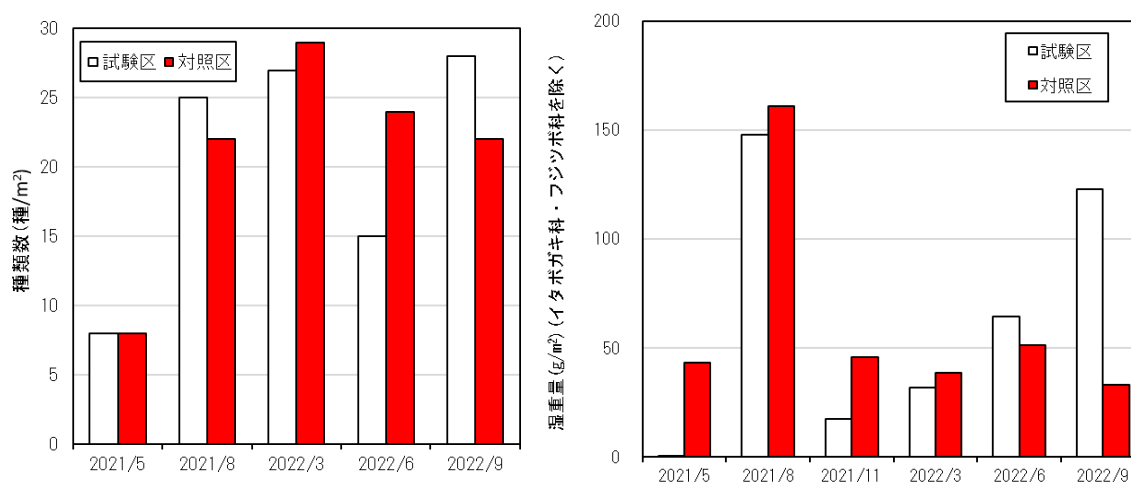


図 左図：底生生物の種類数 右図：イタボガキ科・フジツボ科を除く底生生物湿重量

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m²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。

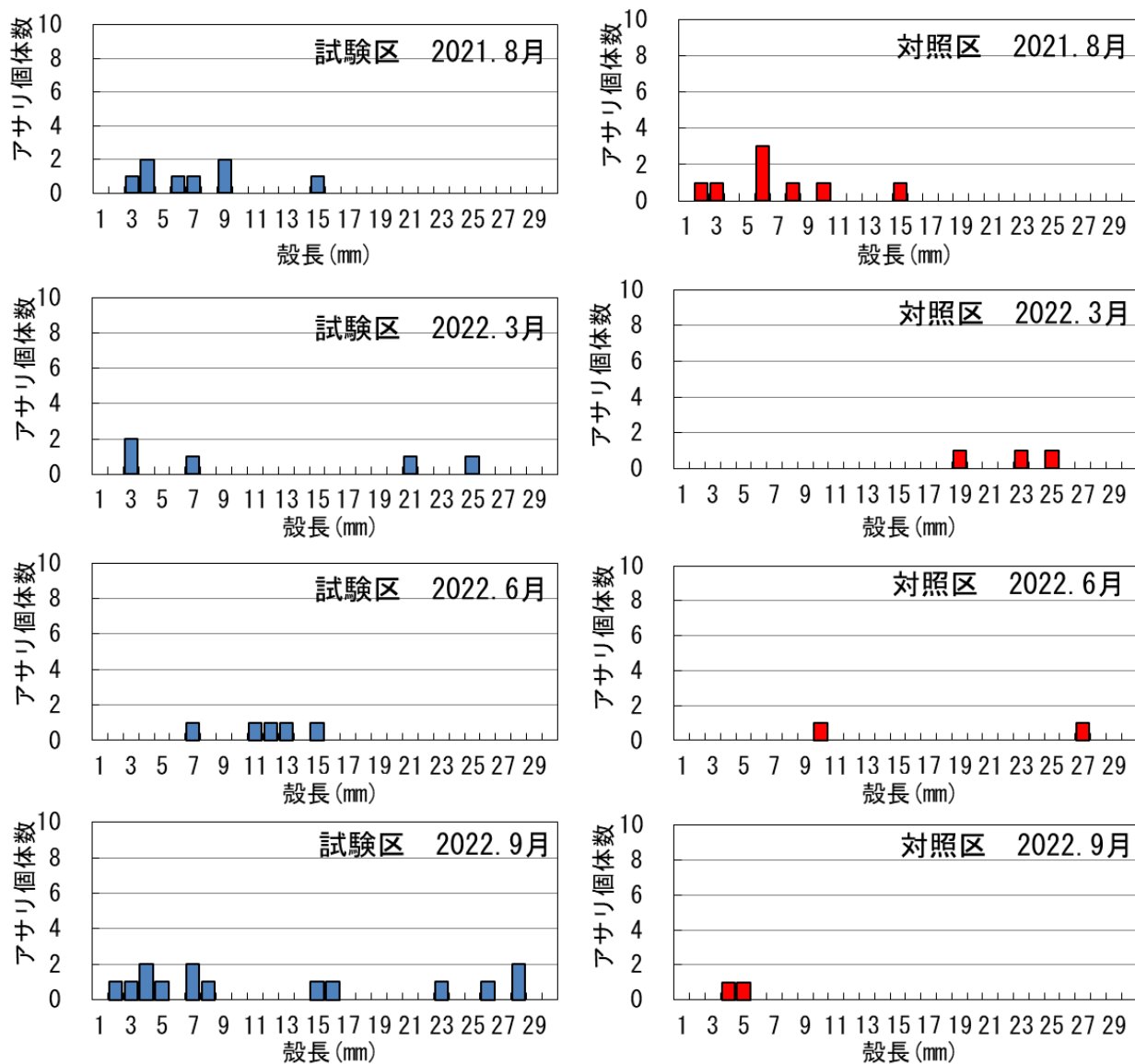


図 アサリ加入個体の殻長組成*

*殻長組成は計測実数で示す。なお、プランターの表面積は0.255m²である。

3.1.3 付着藻類

付着藻類の出現結果を下图に示す。

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。

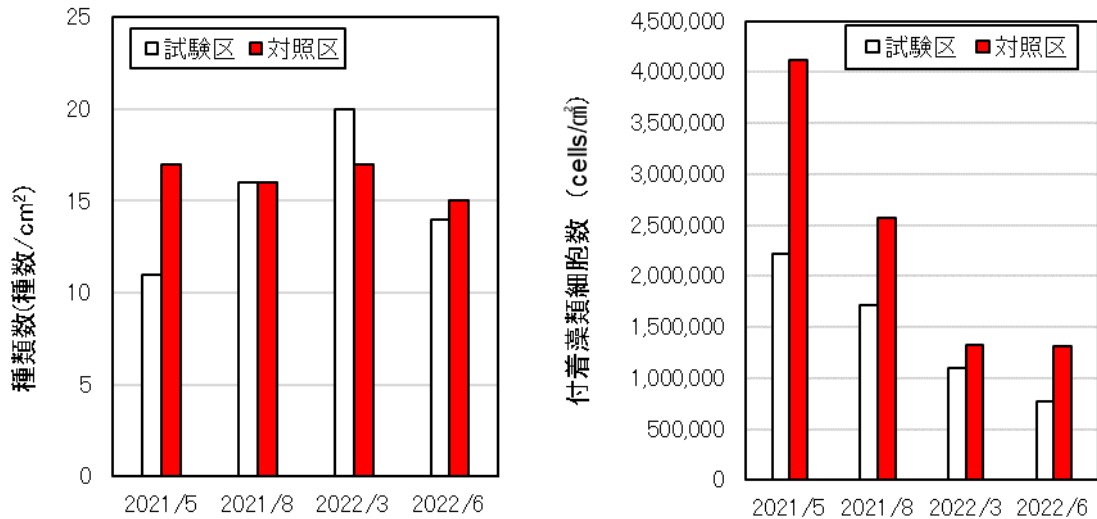


図 付着藻類出現状況（左図：種類数，右図：細胞数）

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图に示す。

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。

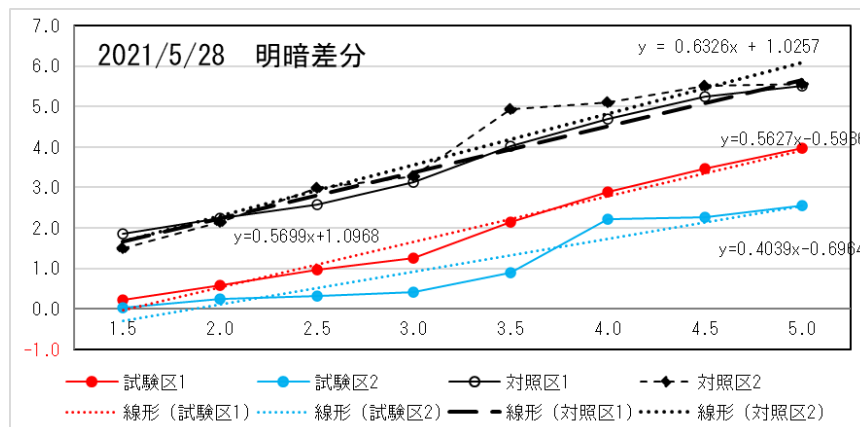


図 エラー! 指定したスタイルは使われていません。-2 溶存酸素濃度初期値を0とした場合の基礎生産力推移(2021年5月調査)

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。

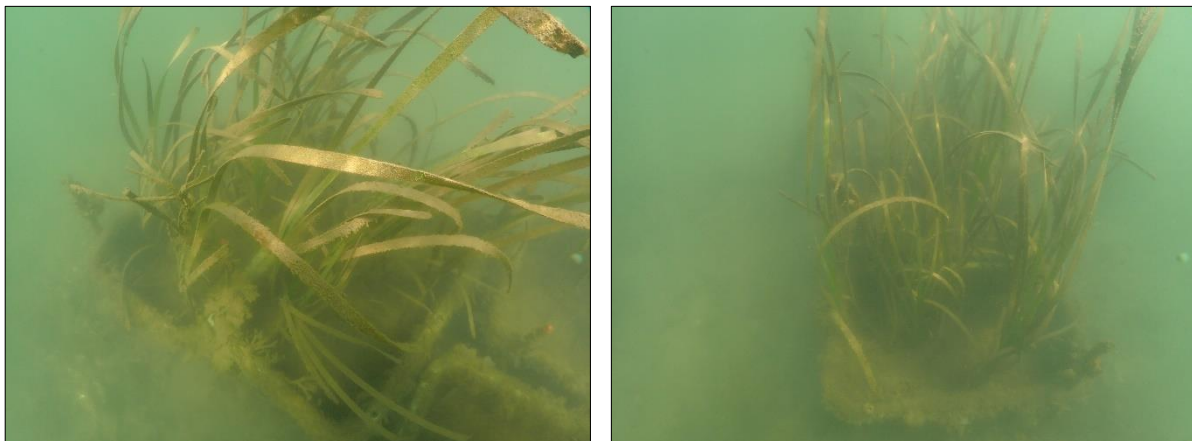


図 移植アマモの生育状況

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） 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） 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 SiO₂（二酸化ケイ素）、Na₂O（酸化ナトリウム）、MgO（酸化マグネシウム）、Al₂O₃（酸化アルミニウム）、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） ※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