

# NEDO脱炭素技術分野成果報告会2025 プログラムNo.6

## カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／石炭利用環境対策事業／石炭利用環境対策推進事業／ 浅海域における石炭灰の利活用促進に向けた 環境配慮型技術の開発

発表： 2025年7月15日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 岡田 由紀彦

(一財) カーボンフロンティア機構、(一財) 電力中央研究所、東京パワーテクノロジー (株)、東洋建設 (株)

(国) 北海道大学、(国) 九州大学、(国) 鹿児島大学、(株) FKGコーポレーション

問い合わせ先 (一財) カーボンフロンティア機構 E-mail:soumu-kikaku@jcoal.or.jp



# 浅海域での石炭灰有効利用に関する研究開発

## ■背景（2019年）

- ▶年間1,200万トン程度の石炭灰が排出される
- ▶有効利用量の約7割がセメント分野（原料等）



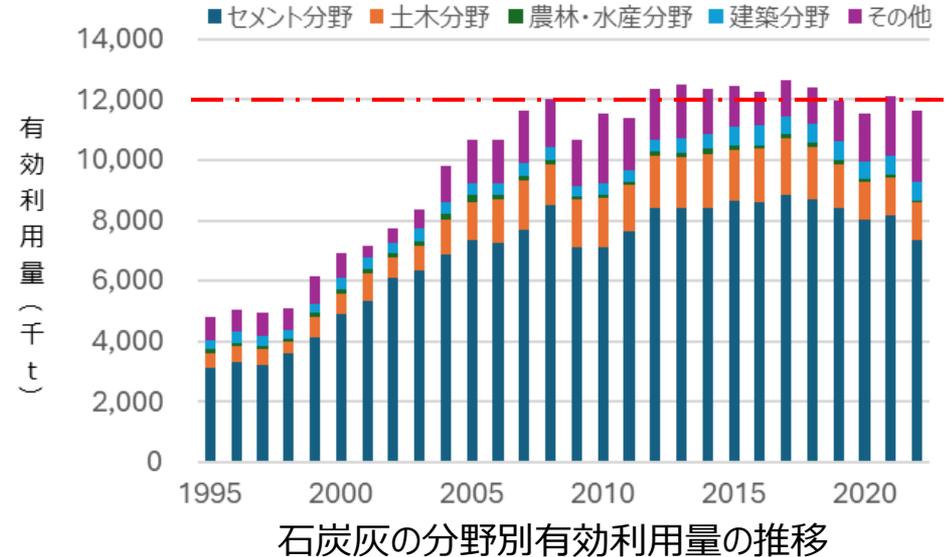
セメント分野以外（土木分野や農林・水産分野）への用途開発を推進し、

**石炭灰の有効利用量を拡大する**

## ■目的

陸地で創出される再生資源である石炭灰を活用する環境配慮型技術の開発を行い、海域の生産力を向上させて水産資源の回復と海域環境の改善を図る。

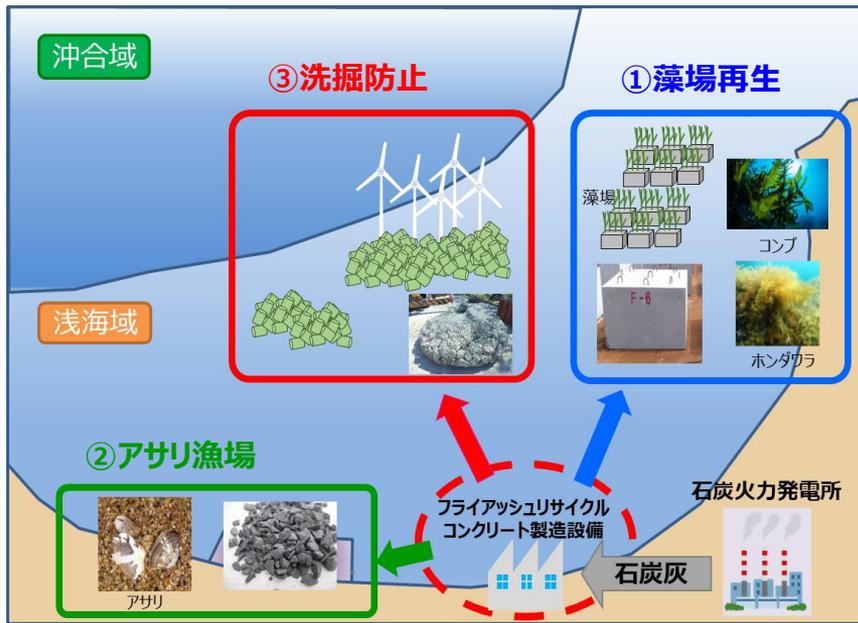
また、本技術開発により、石炭灰の有効活用策の拡大、天然資源の消費抑制、及び環境影響の低減を図り、低炭素社会と持続発展可能な循環型社会を実現する。





# 研究開発概要

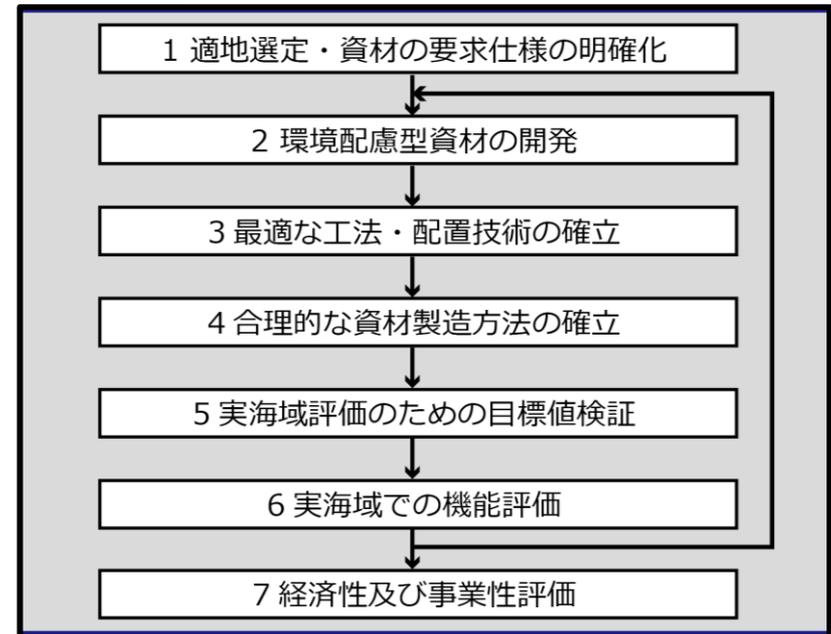
## ■ 研究開発の全体イメージ



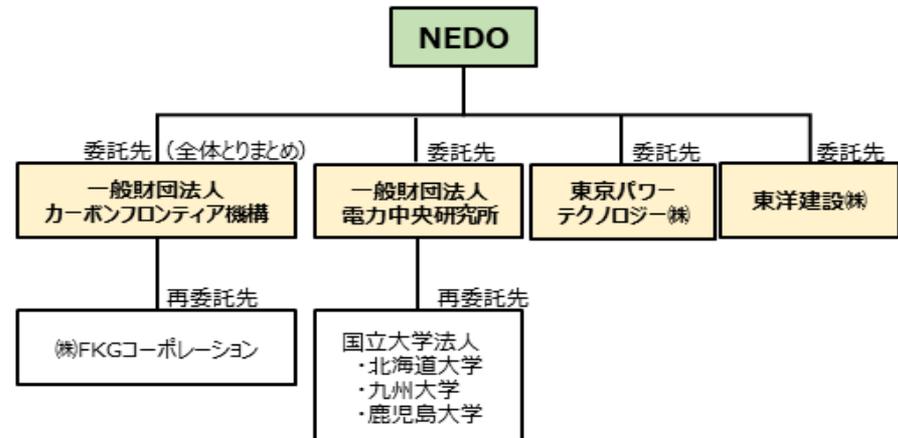
## ■ 研究開発項目

- ①藻場再生・造成用石炭灰混合ブロック開発
- ②アサリ漁場改善用石炭灰混合基質開発
- ③洗掘防止用石炭灰混合人工石材開発

## ■ 実施項目



## ■ 実施体制

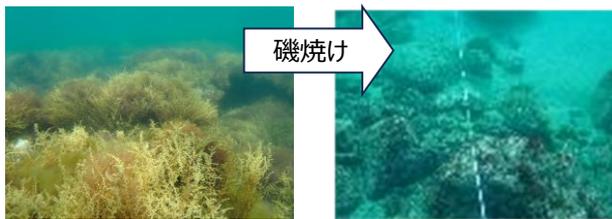


# 開発目標と技術課題

## ①藻場再生・造成用石炭灰混合ブロック開発

### ■ 開発目標

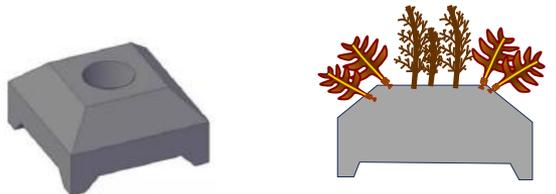
石炭灰と他の地元産業副産物を活用し、**環境安全性・生物親和性及び耐久性に優れた藻場再生・造成用石炭灰混合ブロック**を開発する



藻場の磯焼け状況

### ■ 技術課題

- ✓ 耐波安定性向上
- ✓ 高比重化
- ✓ 生物親和性付与
- ✓ 環境安全性確保のための配合設計
- ✓ 低コスト化製造技術



人工藻礁ブロックのイメージ

## ②アサリ漁場改善用石炭灰基質開発

### ■ 開発目標

石炭灰と他の地元産業副産物を活用し、**環境安全性と生物親和性に優れたアサリ漁場改善用石炭灰混合基質**を開発する



網袋（採苗）

被覆網（採苗・育成）

開発基質を用いた設置方法検証

### ■ 技術課題

- ✓ 環境安全性・生物親和性の確保
- ✓ 強度・耐久性の確保
- ✓ 密度の適正化
- ✓ 基質収容方法・設置方法
- ✓ 低コスト化製造技術

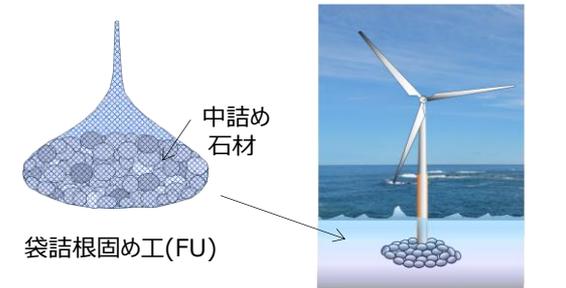


石炭灰混合基質  
(破碎タイプ)

## ③洗掘防止用石炭灰混合人工石材開発

### ■ 開発目標

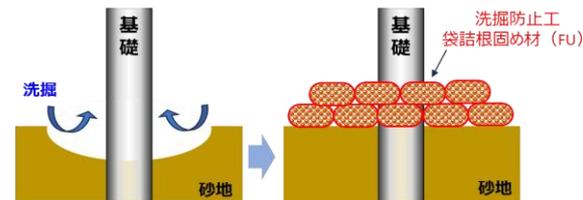
石炭灰と他の地元産業副産物を活用し、**副産物の有効利用率が高く、かつ環境安全性及び耐久性に優れた洗掘防止用石炭灰混合人工石材**を開発する



モバイル基礎部の根固め

### ■ 技術課題

- ✓ 高強度化（耐久性確保）
- ✓ 環境安全性の確保
- ✓ 重量化（安定性確保）
- ✓ ユニットの適性化
- ✓ 効率的製造方法





# 研究開発スケジュール

事業年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度
<b>研究開発項目①</b> 藻場再生・造成用 石炭灰混合ブロック開発	1. 適地選定・資材の要求仕様				
				2. 環境配慮型資材の開発	
	3. 最適な工法・配置技術の確立				
				4. 合理的な資材製造方法の確立	
		5. 実海域評価のための目標値検証			
		北海道	秋田	6月福岡・鹿児島	6. 実海域での機能評価
				7. 経済性及び事業性評価（実海域実証試験の追加）	
<b>研究開発項目②</b> アサリ漁場改善用 石炭灰混合基質 開発	1. 適地選定・資材の要求仕様				
				2. 環境配慮型資材の開発	
				3. 最適な工法・配置技術の確立	
				4. 合理的な資材製造方法の確立	
		5. 実海域評価のための目標値検証			
				6. 実海域での機能評価	
				7. 経済性及び事業性評価	
<b>研究開発項目③</b> 洗掘防止用石炭 灰混合人工石材 開発	1. 適地選定・資材の要求仕様				
				2. 環境配慮型資材の開発	
	3. 最適な工法・配置技術の確立				
				4. 合理的な資材製造方法の確立	
				5. 実海域評価のための目標値検証	
				10月秋田	6. 実海域での機能評価
				7. 経済性及び事業性評価	



# 2024年度研究成果：①藻場再生（合理的手法に基づく製造・沈設）

FSB:ファイッシュ・シル・ブロック  
FSB-S:スガ入りFSB

## 北海道（鹿部）

2022年10月沈設

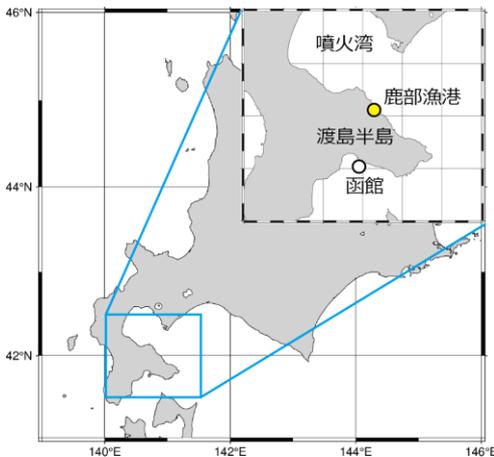
協力：鹿部漁協、鹿部町、  
渡島総合振興局



FSB 5体、FSB-S 4体、  
OPC 2体



2ト級

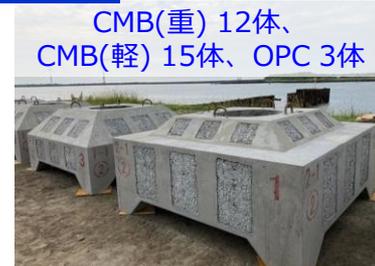


CMB:コルマッシュ・マルチ・ブロック  
OPC:普通ポルトランドセメントブロック

## 秋田（岩館）

2023年6月沈設

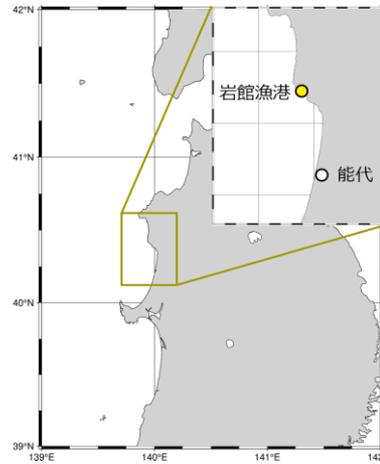
協力：秋田県漁協北部支所  
山本地域振興局



CMB(重) 12体、  
CMB(軽) 15体、OPC 3体



5~9ト級



## 福岡（波津）

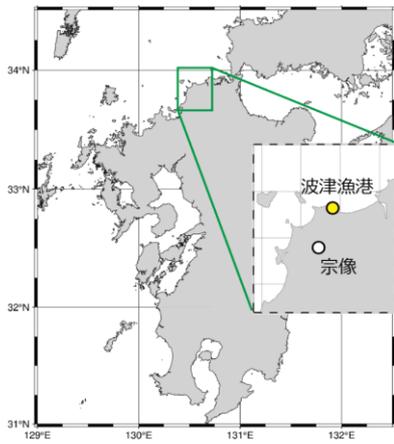
2024年6月沈設

協力：遠賀漁協波津本所、  
岡垣町

2ト級:FSB 3体、3ト級:CMB 3体、  
2.5ト級:OPC 2体



ウニ対策銅板



## 鹿児島（児ヶ水）

2024年6月沈設

協力：山川町漁協、指宿市  
南薩地域振興局

2ト級:FSB 4体、3ト級:CMB 4体、  
2.5ト級:OPC 4体



植食魚対策ネット





**CONFIDENTIAL**

# 2024年度研究成果：①藻場再生（環境安全性・機能性・市場性）

## 北海道（鹿部）

開発資材の配合（重量%）

資材名	FA	貝殻砕粉	BFS	CS	CH
FSB	70	15	0	4	11
FSB-S	70	15	6	4	5

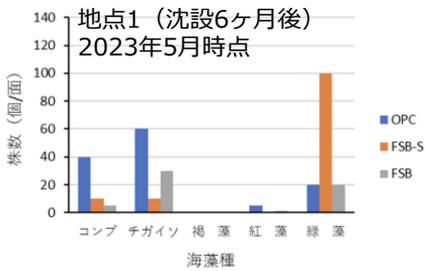
FA：ワイヤッシュ、貝殻砕粉：未燃焼/平均粒径約0.2mm、BFS：高炉スラグ微粉末、CS：二水石膏、CH：消石灰



マコンブ等の着生確認

環境安全性：すべて基準値以下を確認

項目	港湾用途溶出量基準値	溶出試験結果（純水）		溶出試験結果（海水）	
		FSB	FSB-S	FSB	FSB-S
Cd	9	<1	<1	1	5
Pb	30	<1	<1	8	6
Cr(vi)	150	<10	<10	<10	<10
As	30	<1	<1	<1	<1
Hg	1.5	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Se	30	<1	<1	<1	<1
F	15,000	<100	<100	<100	<100
B	20,000	<10	<10	<10	<10



## 秋田（岩館）

開発資材の配合（重量%）

資材名	FA	CA	C	S1	S2
CMB(軽)	9	23	14	53	-
CMB(重)	8	19	11	-	62

FA：ワイヤッシュ、CA：クリンカアッシュ、C：セメント、S1：ズリ、S2：EFS

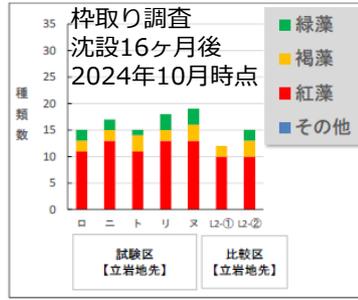
CMB(軽) 2024年10月



フシスジモクの着生確認

環境安全性：すべて基準値以下を確認

項目	港湾用途溶出量基準値	溶出試験結果（純水）	
		CMB(軽)	CMB(重)
Cd	9	<0.9	<0.9
Pd	30	<3	<3
Cr(VI)	150	<10	<10
As	30	<3	<3
Hg	1.5	<0.5	<0.5
Se	30	<3	<3
F	15,000	<100	<100
B	20,000	<100	<100



※全ブロックで着生確認

## 福岡（波津）



ホンダワラ幼体の着生確認



植食魚による食害を確認

福岡県：2024年度にブルーカーボン推進協議会を設置（社会的関心の高まり）

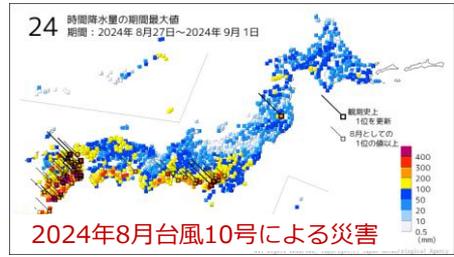


これまで本試験海域では報告されていなかった植食魚による食害が発覚

自然環境変化等の様々な科学調査データを水産業振興施策に活用

## 鹿児島（児ケ水）

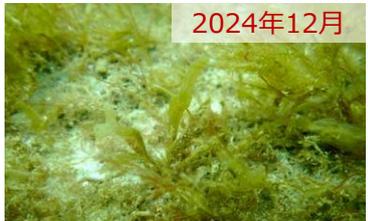
※全ブロックで着生確認



2024年8月台風10号による災害

※気象庁HPより

ブロック転倒・滑動無し



ホンダワラ幼体の着生確認





# 2024年度研究成果：②アサリ漁場改善（環境安全性・製造方法）

## ■環境安全性評価結果抜粋（実海域試験及び大村湾垂下試験に用いた基質）

### 港湾用途溶出基準に適合

実海域試験前後及び各種基質サイズ（破砕タイプ2mm以上）違いでも、溶出量に大きな変化はない

サンプル		試験水	カドミウム	鉛	六価クロム	砒素	総水銀	セレン	ふっ素	ほう素
基質種	港湾用途基準値	mg/L	0.009	0.03	0.15	0.03	0.0015	0.03	15	20
開発基質	FA-S-1-M-Lot7	純水 6時間浸漬	ND	ND	0.006	ND	ND	0.003	0.18	0.25
	FA-S-1-M-Lot7（保管サンプル）		ND	ND	0.015	0.006	ND	0.005	0.12	0.6
	FA-S-1-M-Lot7（干潟使用后）		ND	ND	ND	0.002	ND	ND	0.44	0.66
	FA-S-1-M-Lot7（筏試験使用后）		ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.41	0.58
	BA-S-1-M-Lot6		ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.1	0.1
分析機関定量限界		mg/L	0.0003	0.001	0.005	0.001	0.0005	0.001	0.08	0.02
従来基質	アンストラサイト	天然清純海水 96時間浸漬	ND	ND	ND	0.003	ND	ND	1.4	4.5
	砕石		ND	ND	ND	0.003	ND	ND	1.4	4.5
	軽石		ND	ND	ND	0.002	ND	ND	1.1	4.3
	ジャミ砕石4mm篩残		ND	ND	ND	ND	ND	ND	4.5	3.6
開発基質	FA-S-1-M-Lot7	天然清純海水 96時間浸漬	ND	ND	ND	0.004	ND	ND	ND	4
	FA-S-1-S-Lot7		ND	ND	ND	0.003	ND	ND	ND	3.7
	FA-S-1-SS-Lot7		ND	ND	ND	0.006	ND	ND	1.9	4.1
	BA-S-1-M-Lot6		ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.6	3.5
天然清純海水（試験前）			ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.5	3.8
分析機関定量限界		mg/L	0.0003	0.001	0.005	0.001	0.0005	0.001	1.5	2

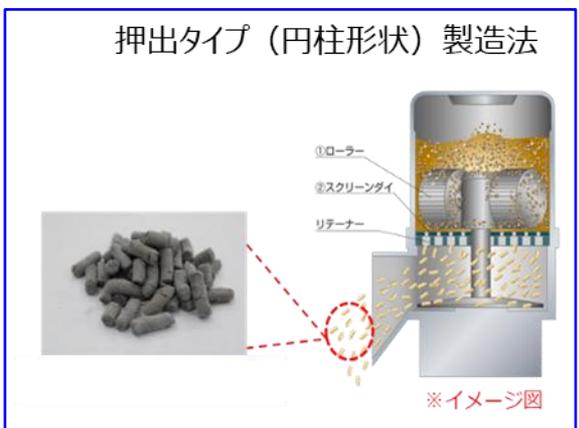
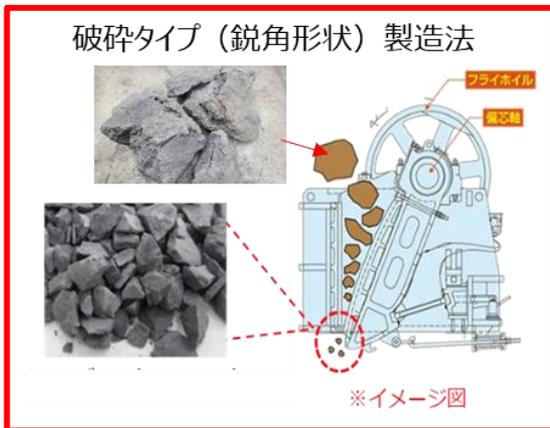
凡例/基質種「FA-S-1・BA-S-1」：石炭灰破砕型・バイオマス灰破砕型 基質サイズ「M・S・SS」：6.7～13.4mm・4～6.7mm・2～4mm

## ■合理的製造方法の検討

強度 歩留 製造効率 コスト

破砕タイプ： ○ △ ○ ○  
 円柱タイプ： △ △ △ ×

破砕タイプ（砕石形状）を実海域実証試験用の基質に選定し、2023年度より干潟での育成試験を実施中

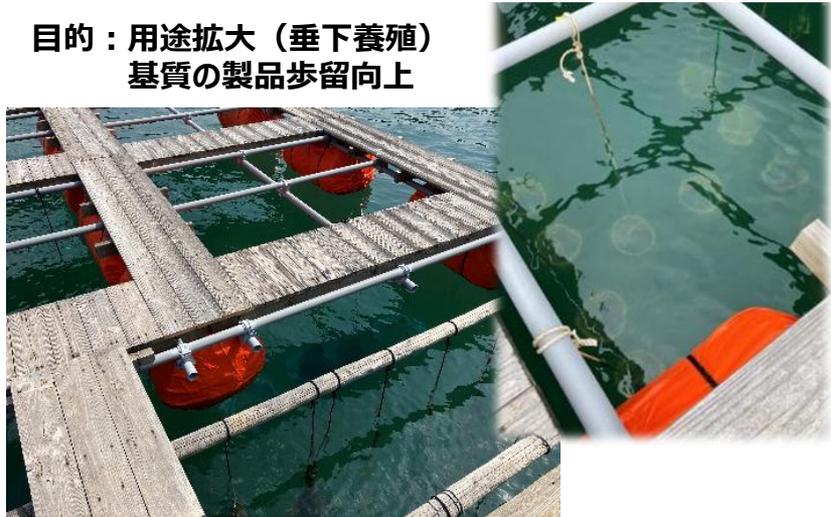




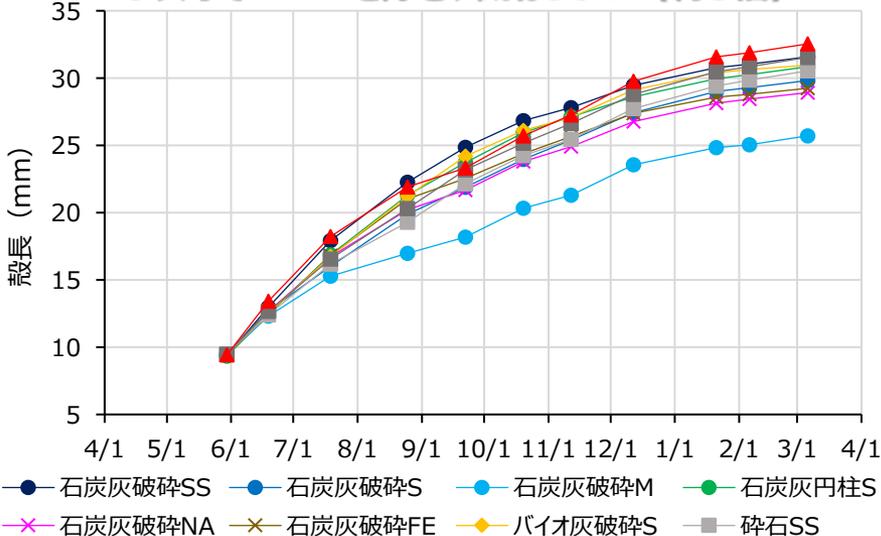
# 2024年度研究成果：②アサリ漁場改善（実海域筏・干潟育成試験）

## ■ 2024年大村湾筏垂下試験（小粒径基質）

目的：用途拡大（垂下養殖）  
基質の製品歩留向上

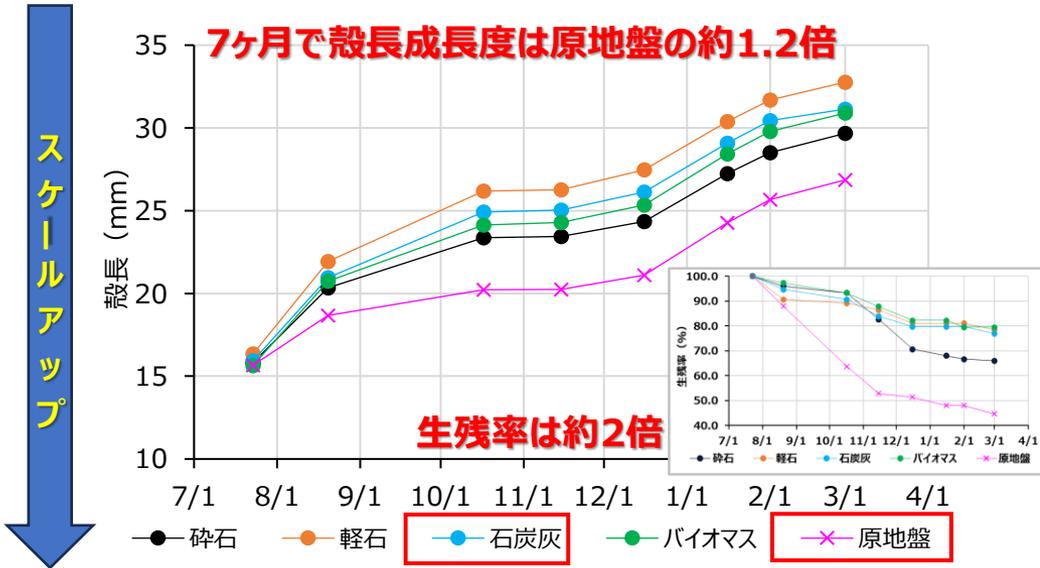


9ヶ月でFA-Mを除き、概ね30mm（約3倍）



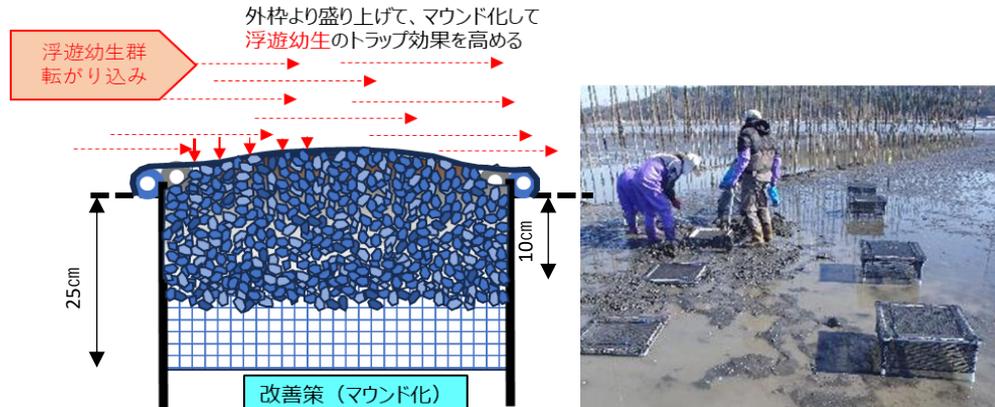
## ■ 2024年度干潟アサリ種苗移植による育成試験

25cmステンレスコゴ試験区（6L）



## ■ 2024年度干潟スケールアップ育成試験

50cm枠被覆網（採苗・育成） 基質量：25L/試験区



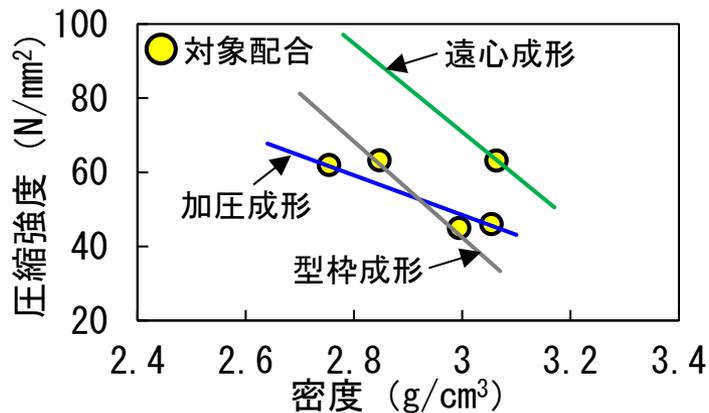


# 2024年度研究成果：③洗掘防止（配合・環境安全性・機能性評価）

## ■ 配合・物性・環境安全性

### 人工石材の仕様

- ✓ コンクリート，一部ジオポリマー
- ✓ 効率的製造方法（加圧，遠心，型枠）
- ✓ 設計強度： $30\text{N/mm}^2 \leq$ ， $50\text{N/mm}^2 \leq$
- ✓ 密度（目標）： $2.8\text{g/cm}^3$ 程度
- ✓ 環境安全性：港湾用途溶出基準値以下



石炭灰	電気炉酸化スラグ	
フライアッシュ・クリンアッシュ	細骨材	粗骨材

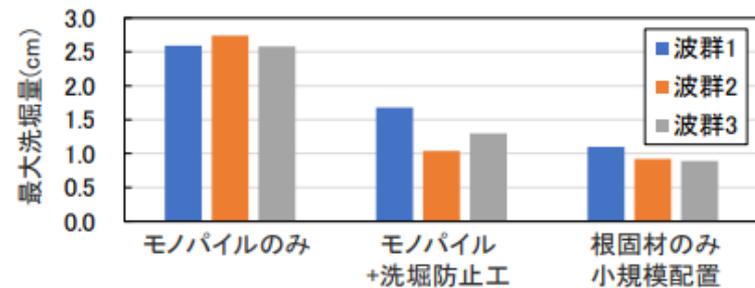
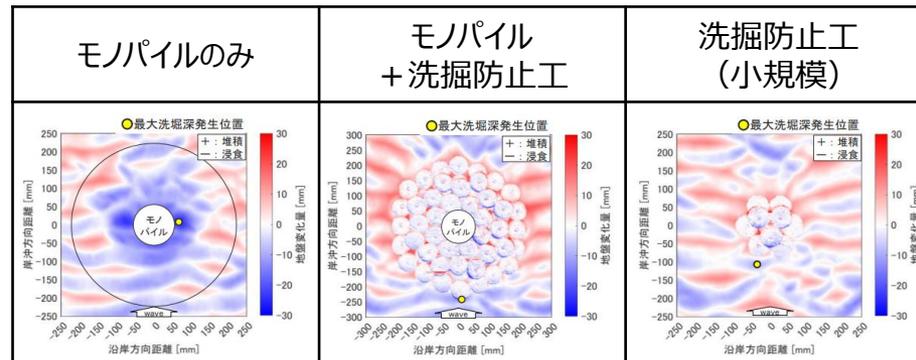
【その他材料】セメント※，水 ※コンクリート配合のみ

## ■ 安定性評価（水理模型実験）



モノパイル＋洗掘防止工

洗掘防止工（小規模）

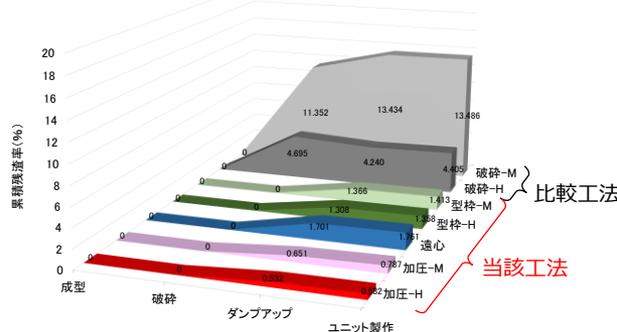
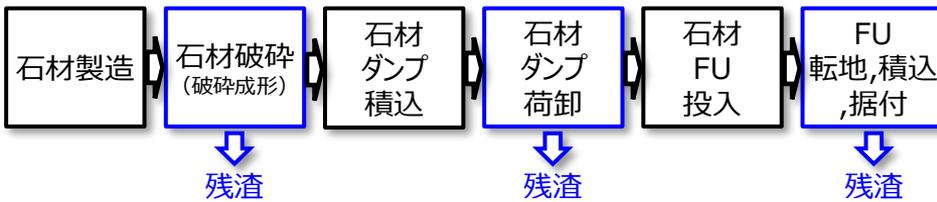
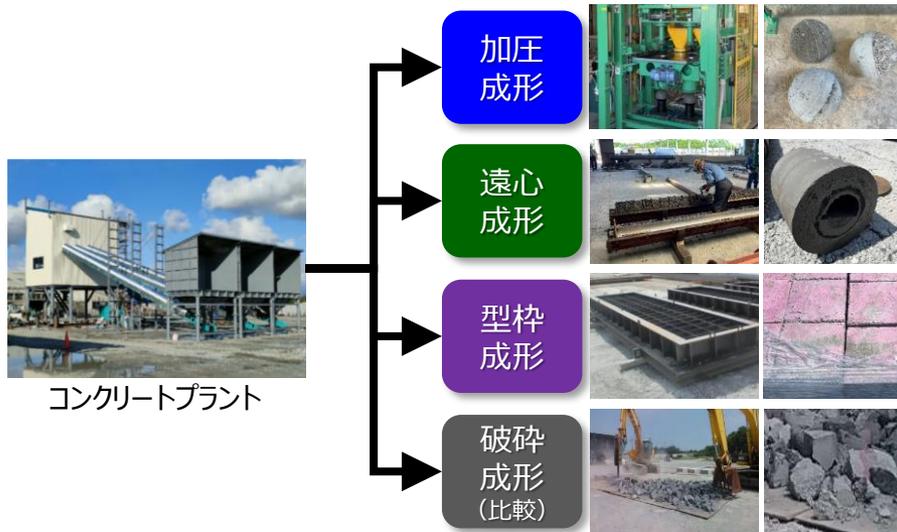


⇒ 人工石材の諸性状，ユニットの安定性を確認



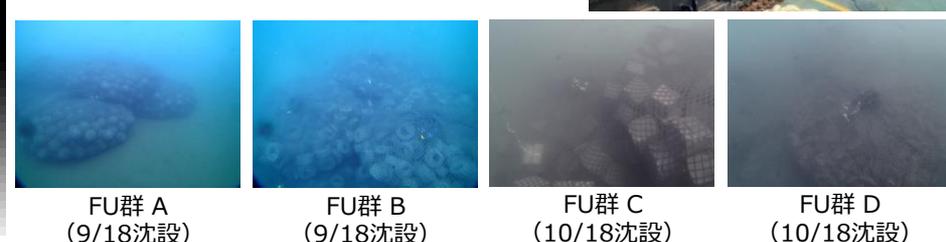
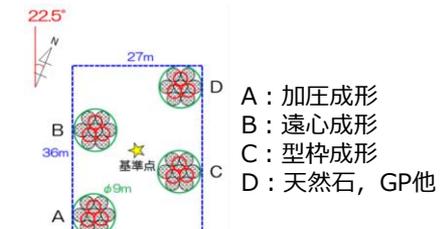
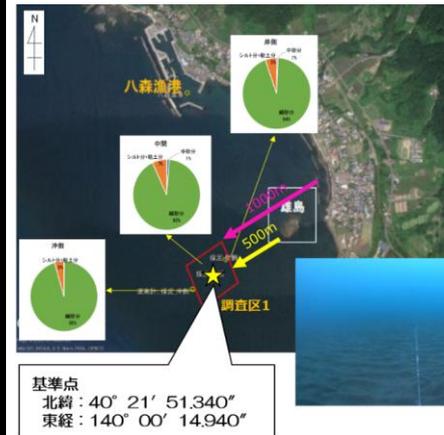
# 2024年度研究成果：③洗掘防止（機能的評価）

## ■実規模試験



残渣量：当該工法 < 比較工法

## ■実海域試験（2024年9～10月）





# 2024年度成果と課題及び今後の取り組み

2024年度までの成果（2024年度成果朱書部分）	課題	今後の方針
<p><b>①藻場再生</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>北海道、秋田でブロック製造、供給体制構築</li> <li>配合技術、製造技術の確立</li> <li>重金属溶出基準、生物親和性等環境安全性クリア</li> <li>実海域実証試験海域における地元関係者との協力体制構築（漁協、行政）</li> <li>北海道、秋田の藻礁ブロックの実海域沈設完了</li> <li>九州（福岡、鹿児島）での追加実証試験開始</li> <li>沈設後モニタリング実施（継続中）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. 資材の配合、構造、配置の違いによる海藻着生・成長への影響評価</li> <li>b. 開発資材に対するウニや植食魚に関する食害対策の評価・提言</li> <li>c. 資材の耐久性および効果持続性に関する評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. モニタリングや室内分析を継続し、定量的または定性的な科学的評価をとりまとめる</li> <li>b. 九州地区のモニタリング結果を基に効果についてとりまとめる</li> <li>c. 事業後のモニタリング継続（継続実施に向けた協力体制構築）</li> </ul>
<p><b>②アサリ漁場改善</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>熊本での基質製造、供給体制構築</li> <li>配合技術、製造技術の確立（更なる改善検討継続）</li> <li>重金属溶出基準、生物親和性等環境安全性クリア</li> <li>実海域実証試験海域における地元関係者との協力体制構築（漁協、行政）</li> <li>筏垂下試験による育成機能試験完了</li> <li>人工混合地盤を用いた室内での育成機能試験中（継続中）</li> <li>実海域干潟での育成機能試験（継続中）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. 事業化に向けた更なるスケールアップ検証</li> <li>b. 開発基質の耐久性向上によるLCCの低減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. 直播工法を想定した□50cm枠での採苗・育成試験（1年半）結果を以て、原地盤、従来基質との比較・検証を行い、NEDO事業後のスケールアップ実証試験の協力体制構築</li> <li>b. 製造プロセス等の最適化等により碎石形状基質の強度改善検討を継続実施</li> </ul>
<p><b>③洗掘防止</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>秋田で人工石材製造、供給体制構築</li> <li>配合技術、製造技術の確立（更なる改善検討継続）</li> <li>重金属溶出基準、生物親和性等環境安全性クリア</li> <li>実海域実証試験海域における地元関係者との協力体制構築（漁協、行政）</li> <li>洗掘防止用フィルターユニットの実海域沈設完了</li> <li>沈設後モニタリング実施（継続中）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. 実海域に沈設したフィルターユニットの安定性の評価</li> <li>b. 上記ユニット内の資材の品質変状に関する評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. モニタリングと室内実験（水理模型実験）の結果を対比して評価・検証する</li> <li>b. モニタリングと室内分析を継続し、定量的評価を行う、フィルターユニット内の中詰め人工石材を回収し、評価分析を実施</li> </ul>
<p><b>①②③共通</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>経済性及び事業性評価検討の共通事項の設定</li> </ul>	<p>事業環境変化への対応</p>	<p>市場、社会環境等を最新情報にアップデートして再検証、再構築</p>



# 事業化推進に向けて：NEDO事業後の方針

## ■ 実海域実証試験の実施地域を中心とした地産地消ビジネスモデルの提案

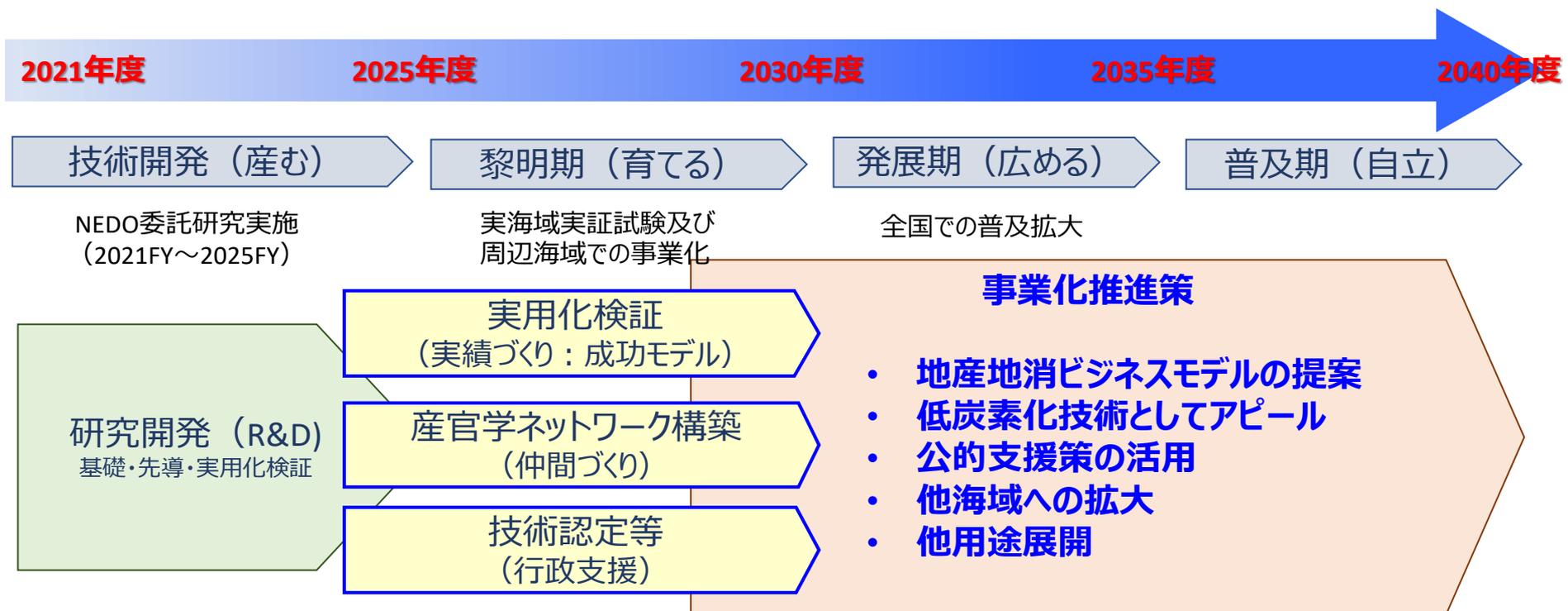
- 漁協・石炭灰排出事業者 & 処理業者・リサイクル資材事業者・コンクリート2次製品業者等によるネットワーク構築

## ■ 公的支援策の活用

- 地元漁協等による更なる実証試験の実施に向け、交付金、補助金、助成金等の活用を後押し

## ■ 他海域への拡大策

- 市場拡大に向け、開発技術の普及啓蒙活動を継続実施し、技術の認知度を向上させる
- NETIS登録、リサイクル製品認定、グリーン調達品認定等の既存制度に登録し、露出度向上





完