



# 貝殻配合フライアッシュ混合材料（FSB: FA-Shell Block）の藻礁資材としての開発

<sup>1</sup>(一財)電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部

<sup>2</sup>(一財)電力中央研究所 エネルギートランスフォーメーション研究本部

今村正裕<sup>1</sup>、日恵井佳子<sup>2</sup>、小林卓也<sup>1</sup>、井野場誠治<sup>1</sup>

2022年6月30日 海洋開発シンポジウム

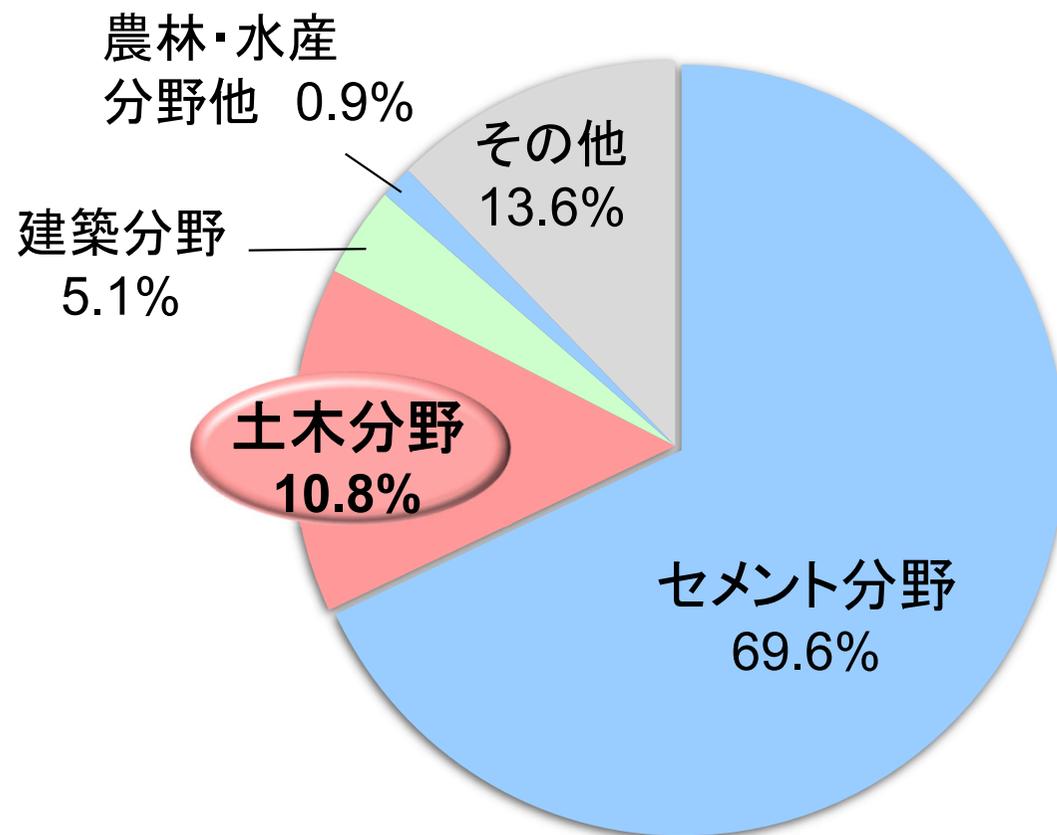
 電力中央研究所

# 研究の背景

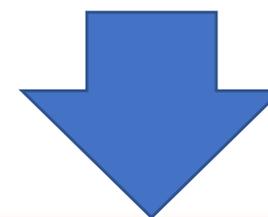
- ◆ 石炭火力発電：脱石炭の動きが強まっているが、高効率設備へのスクラップ&ビルドを行いながら、脱炭素化を目指すトランジション火力として安定したエネルギー供給を支えていくとともに、再生可能エネルギーの主力電源化における調整電源としての機能を合わせ持つ重要な役割を有する。
  - ⇒ 燃焼残渣として定常的に発生する石炭灰の取扱いは重要な課題の一つとなっている。
  - ⇒ 日本ではセメント原料に利用される比率が約70%を占める。
  - ⇒ 大量利用が期待される土工材としての有効活用が進んでいない。
- ◆ 非JIS灰の活用先として、海域での有効活用が一つのカギとなる。
- ◆ FA混合材料の藻場資材としての実績（知名度）不足や、産業廃棄物を利用した資材の海域における利用働きかけの難しさなどから、利用が拡大していない。
- ◆ 環境安全性（生物親和性）に対する懸念への払拭が重要なカギ

# 石炭灰（FA）の利用・処分にに関する内訳

## 電気事業, 一般産業総計<sup>1)</sup>

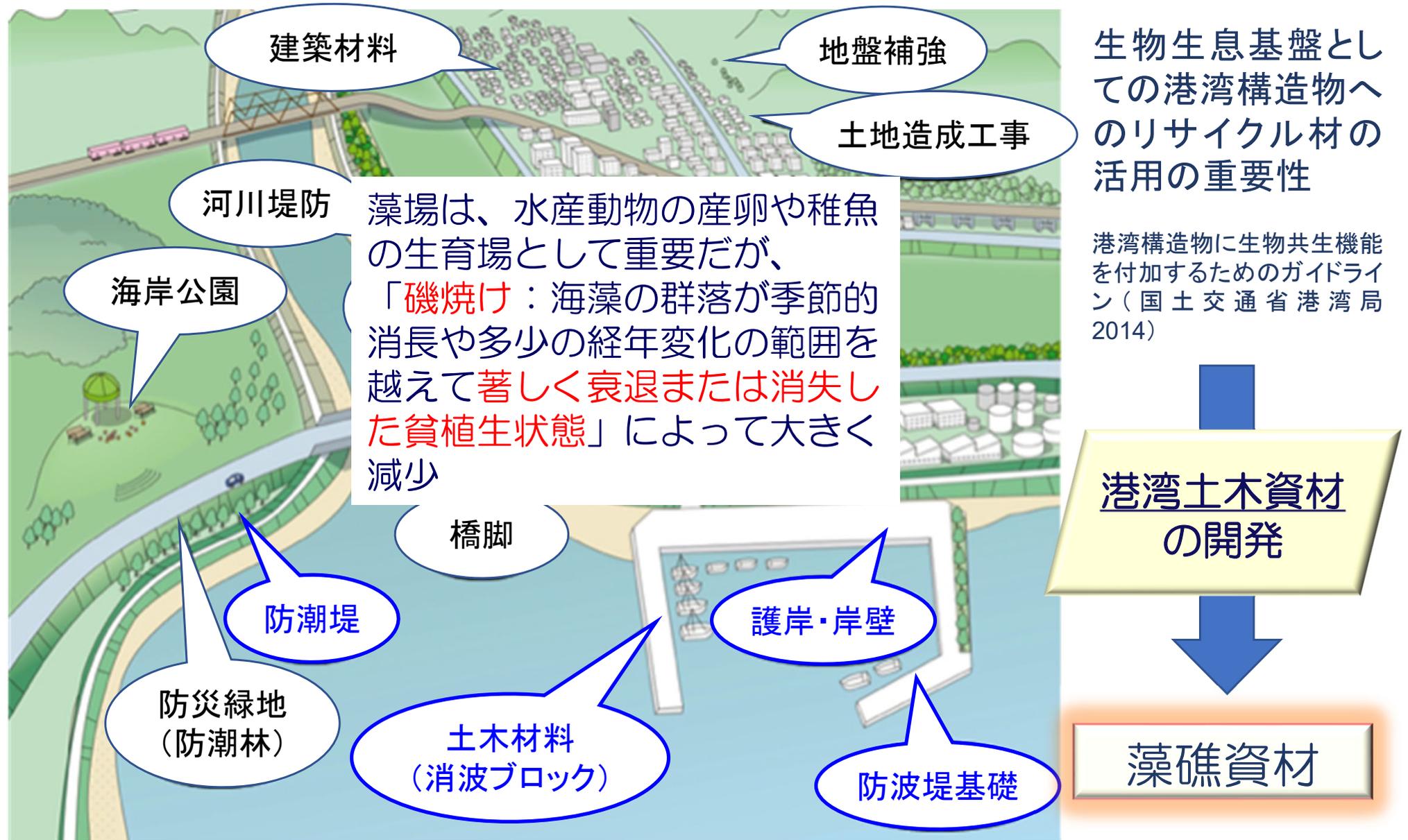


セメント原材料以外の分野での利用推進が必要



土木分野での活用を模索

# FA混合材料の適用が期待される箇所



# 開発したFA混合材料：FSB

貝殻含有石炭灰固化物(FSB:Fly ash Shell Block)：  
 微粉炭火力発電所から発生する石炭灰(FA)と水産系副産物である貝殻砕粉とを  
 配合したセメント非配合の硬化体

➤ 配合例(重量%)

	FA	貝殻砕粉	BFS	CS	CH
① FSB	70	15	0	4	11
② FSB-S	70	15	6	4	5



FA：フライアッシュ原粉、貝殻砕粉：未焼成／平均粒径 約 0.2 mm、  
 BFS：高炉スラグ微粉末、CS：二水石膏、CH：消石灰



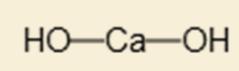
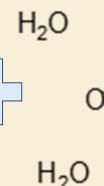
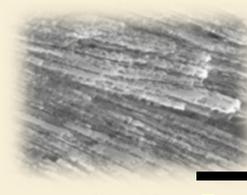
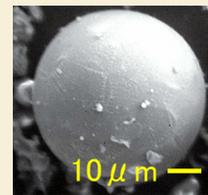
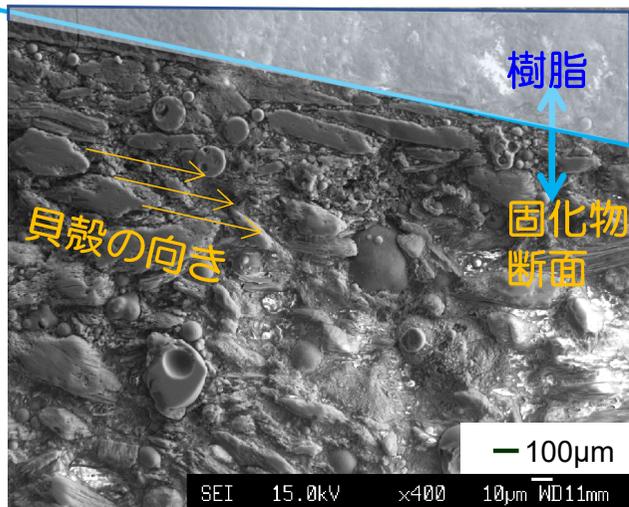
副次生産物を有効利用した低環境負荷資材

- 工業素材と生物素材の融合により多面的に高い機能性を発揮
  - ✓ 高い機械的強度
  - ✓ 高い生物・環境親和性
  - ✓ 水質改善機能

環境融合型石炭灰藻礁

# FSBの特徴

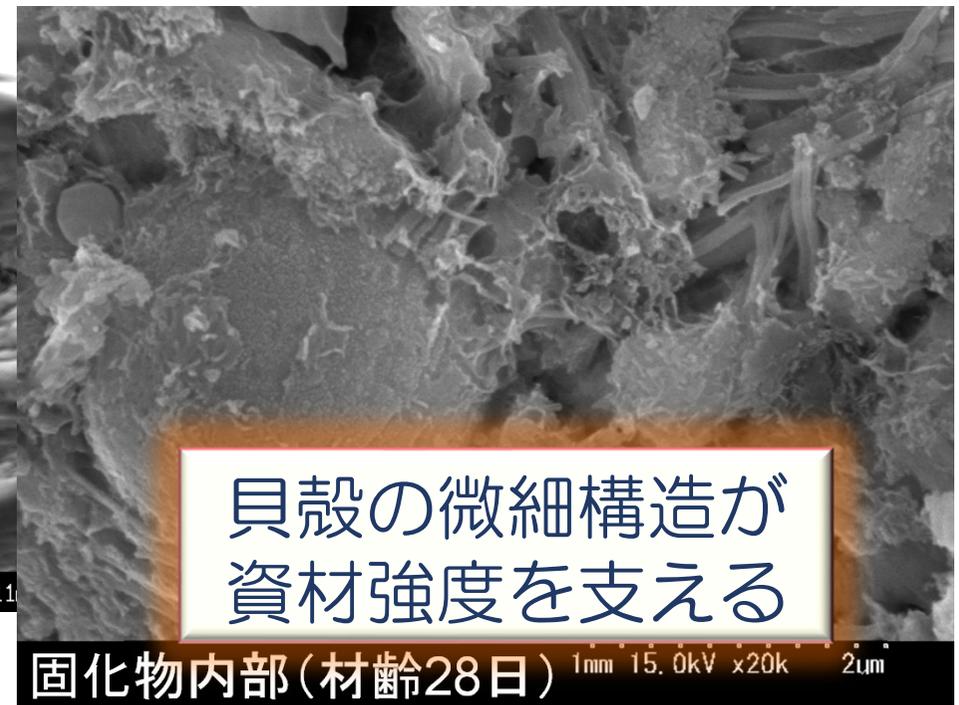
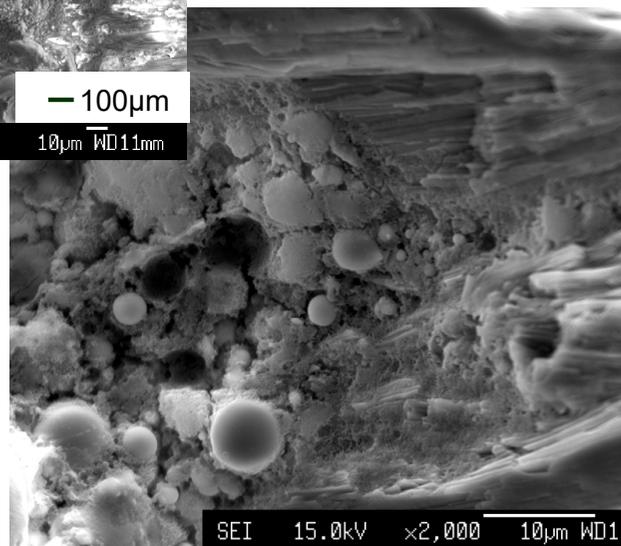
FA混合材料のポゾラン反応: FA中の非晶質成分が $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{OH}^-$ などのアルカリ成分や水分の存在下で $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と反応し、Si比の高い不溶性のケイ酸カルシウムを形成、硬化する。



FA

Shell 5μm

固化物内部の水和反応生成物により貝殻が拘束される

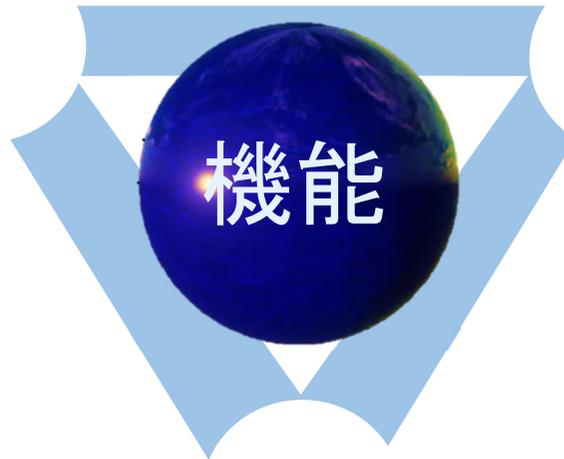


固化物内部(材齢28日) 1mm 15.0kV x20k 2μm

# FA混合材料の利用を促進するには

## 経済性・流通

- ・天然資材と比較した価格
- ・設備投資の必要性
- ・原料調達の容易さ  
(供給体制)



## 認知度・イメージ

- ・材料性能(効果)に関する  
認知度の向上
- ・実績の蓄積
- ・ユーザーの確保

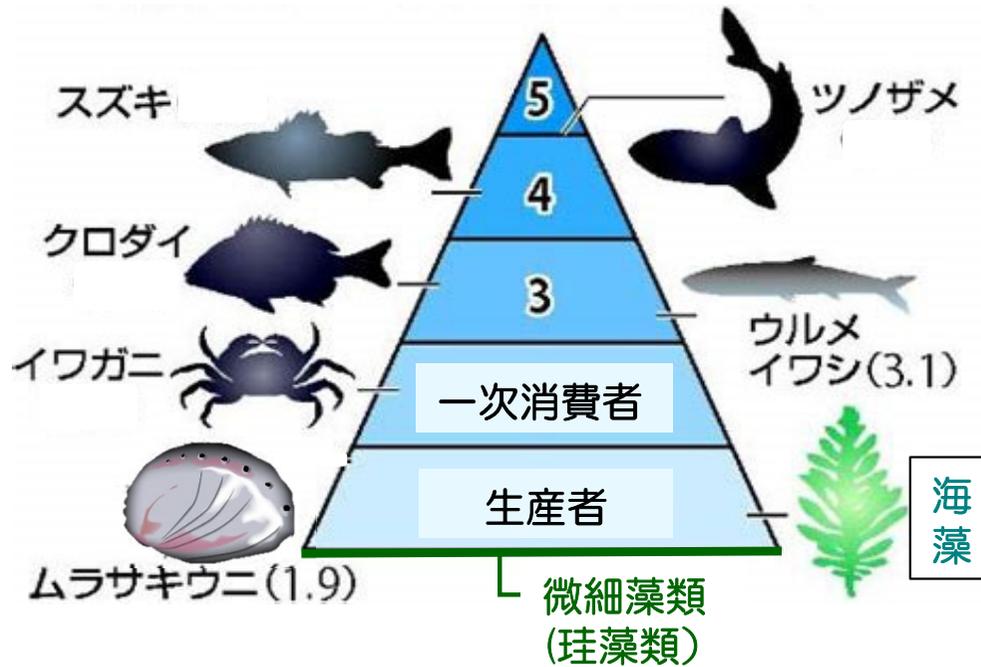
## 性能・品質・量

- ・各種原料の品質管理
- ・環境安全性の確保

- ◆ 非JIS灰の活用先として、海域での有効活用が一つのカギとなる。
- ◆ FA混合材料の藻場資材としての実績(知名度)不足や、産業廃棄物を利用した資材の海域における利用働きかけの難しさなどから、利用が拡大していない。
- ◆ 環境安全性(生物親和性)に対する懸念への払拭が重要なカギ

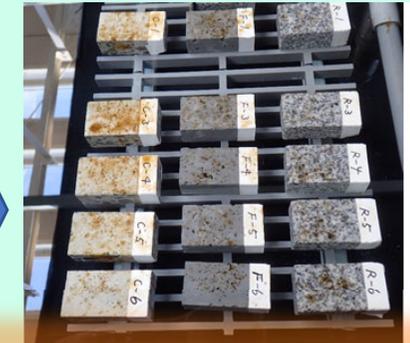
# FSBの生物好適性の検証

室内実験および実海域敷設試験による生物好適性への検証



## ①海藻の着生実験

採取した幼胚を採苗



着生・成長

## ②小型資材ブロックの実海域敷設実験



実環境で機能

- ① 実海域から採取した幼体を使用し、室内実験による基質への着生および成長の違いから藻類の着生好適性を検討
- ② 30cm角の小型FSBを実海域に敷設し、その他資材との海藻繁茂状況を比較検討することで、藻礁としての有効性を検討

# FSBの環境安全性

『港湾工事における石炭灰混合材料の有効利用ガイドライン』に基づく評価



Φ5 cm×H10 cm柱状試料

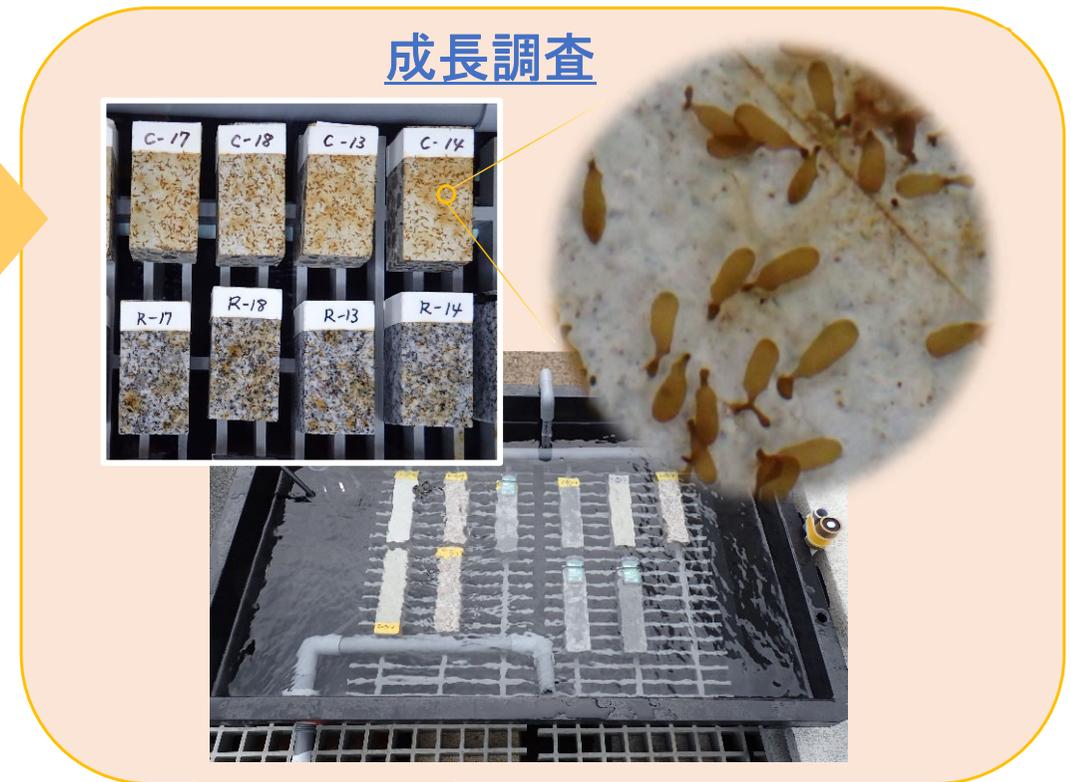
項目	港湾用途 溶出量基 準値	溶出試験結果 (純水)		溶出試験結果 (海水) <sup>1)</sup>	
		FSB	FSB-S	FSB	FSB-S <sup>2)</sup>
Cd	9	<1	<1	1	5
Pb	30	<1	<1	8	6
Cr(vi)	150	<10	<10	<10	<10
As	30	<1	<1	<1	<1
Hg	1.5	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Se	30	<1	<1	<1	<1
F	15,000	<100	<100	<100	<100
B	20,000	<10	<10	<10	<10
pH		10.1	8.2	8.5	7.9

1) 参考値として海水を使用した溶出試験を実施

2) 鉄鋼スラグを配合したFSB

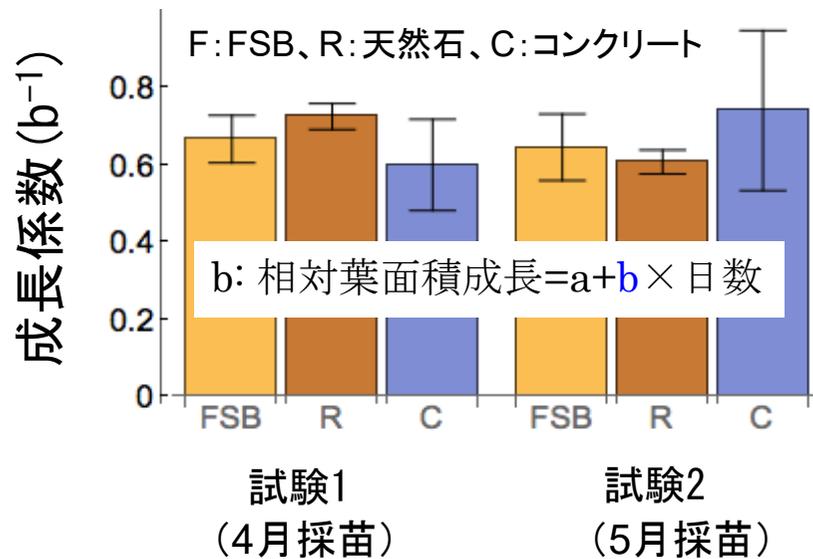
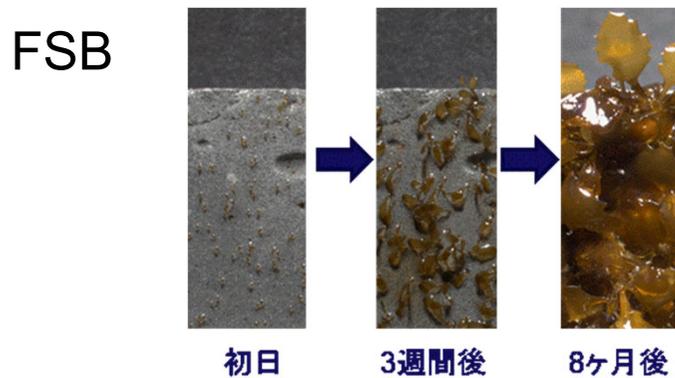
基準値をクリアすることを確認

# ① 海藻の着生実験 (アカモク)

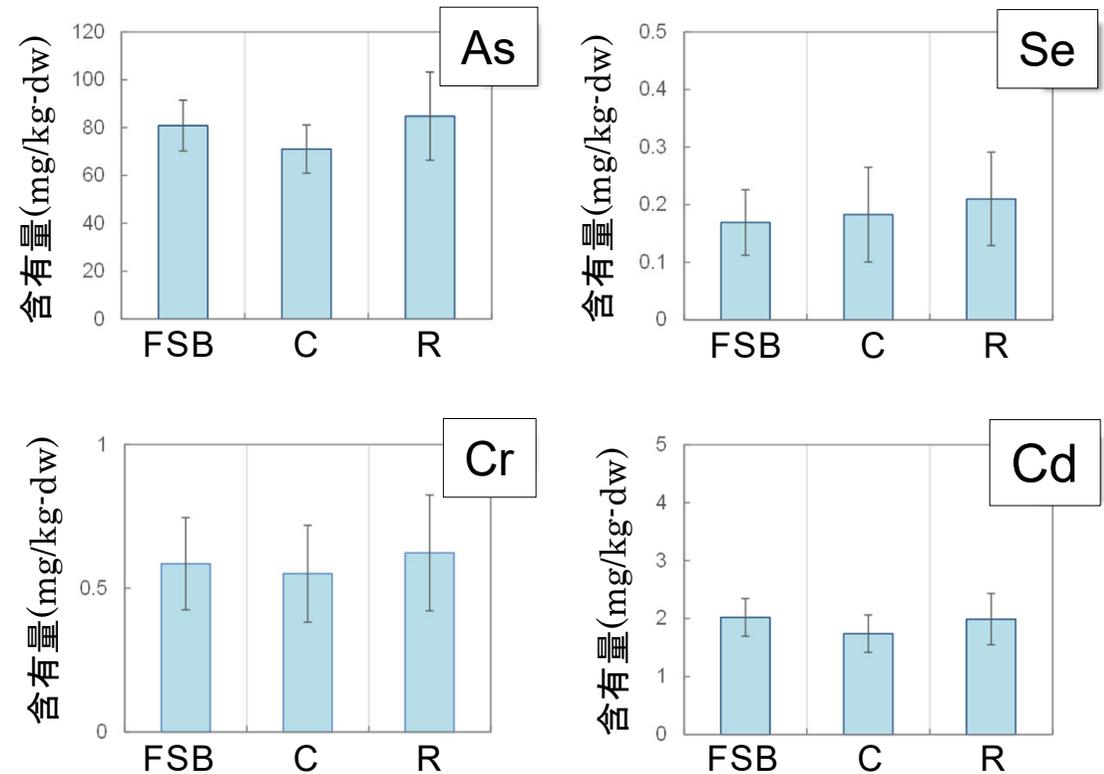


# ① 海藻の着生実験（アカモク）

## 資材上のアカモク成長（成長係数）



## 実験後のアカモク藻体中の重金属含有量



藻体中の主要な重金属含有量は、コンクリート・天然石と比較して、有意に高い値は示さなかった（表2をグラフ化）

成長係数は、コンクリート・天然石と比較して有意な差はなく、海藻着生能は同等であることを確認

## ②小型資材ブロックの実海域敷設実験

2019年11月より試験開始



- ① FA:BFS:貝:CH:CS = 70: 0: 15: 11: 4 (基本配合)
- ② FA:BFS:貝:CH:CS = 60: 6: 25: 5: 4
- ③ セメントコンクリート

# 海藻の付着状況

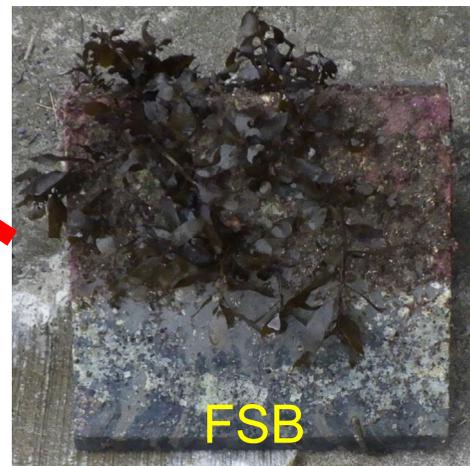
敷設3ヶ月後



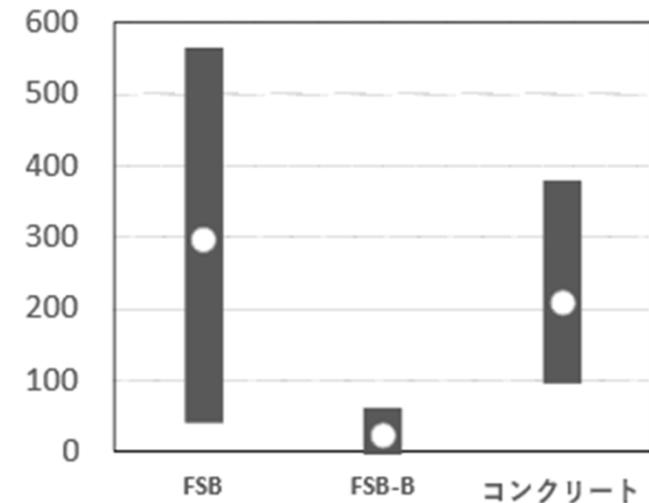
- ✓10ヶ月間ブロックの流出なし
- ✓形状変化なし
- ✓内部が緻密化

- ✓全資材にホンダワラ類が着生
- ✓FSBとコンクリート間でホンダワラ類の着生量に差異なし

敷設10ヶ月後

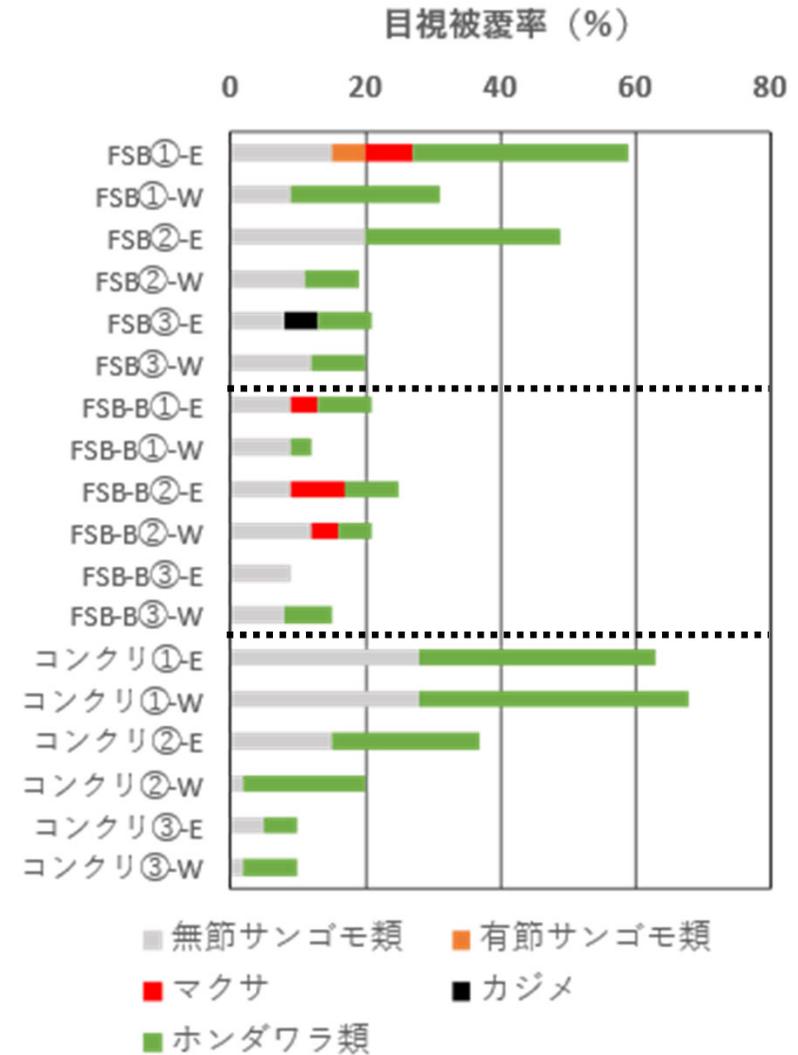


単位面積当たり  
付着海藻乾燥重量 (g-dry/m<sup>2</sup>)



ホンダワラ類の単位面積当たりの乾燥重量  
(棒グラフは最大・最小、白丸は平均)

# 海藻の付着状況（目視観察）



目視観察による各試験資材の被度と種組成 (E: 沖側, W: 岸側)

# 着生した海藻の重金属量

10か月後の資材着生ホンダワラ類および自然海域の重金属含有量

(mg/kg-dry)	FSB			コンクリート			自然海域*	
	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最大	最大
Cr	0.29	0.41	0.34	0.29	0.68	0.45	0.5	6.0
As	59	82	68	59	67	63	8.0	110
Se	0.05	0.08	0.07	0.05	0.09	0.06	0.04	0.44
Cd	0.99	1.18	1.06	0.82	1.31	1.08	0.4	3.2
Pd	0.18	0.35	0.27	0.30	0.48	0.36	0.8	38

- ◆ FSBに付着していたホンダワラ類の重金属量はコンクリートに付着していたものと比較して、有意な差はなく平均値はほぼ同程度であった。
- ◆ 天然岩礁に生育する海藻の重金属量測定結果と比較しても、最小・最大の間に入るか、それ以下であった。
- ◆ 着生から約10か月間と短い期間ではあるものの、資材による岩礁藻体への重金属等の移行については、他資材や天然と同程度であることが確認され、藻礁資材としての活用可能性が確認できた。

## まとめ

- FSBを使用した大型藻礁の実海域敷設に向け、アカモクを対象とした室内試験、小型ブロックの実海域敷設による着生状況や藻体中重金属濃度について検討した。
- 千葉県勝浦湾から幼胚の確認できたアカモク藻体を採取し、実験室にて幼胚の着生残存率と成長量を測定した。FSB試験片上のアカモク幼胚の成長速度は、コンクリート・天然石と同等の結果であることを確認した。
- 斜面を有するFSB小型ブロックを、千葉県内浦湾に10か月間敷設した。FSBと比較用コンクリート共にホンダワラ類の幼体着生を確認、単位面積あたりの海藻着生量には、両者間で有意な差は見られず、FSBがコンクリートと同等（平均するとそれ以上）の着生能を有することを確認した。
- 室内と海域敷設ともにFSBに着生した藻体の重金属量は比較試験体や天然藻体と有意な差は見られなかった。

以上のことから、FSBを活用した藻礁資材は海藻との環境親和性が高く、今回の結果から大型藻礁ブロック製造への活用可能性に向けた重要なデータが示された。