

環境省

平成26年度環境技術実証事業
閉鎖性海域における水環境改善技術分野

実証試験結果報告書

平成27年3月

実証機関：日本ミクニヤ株式会社

実証技術：製鋼スラグ製品による藻類成長促進技術

実証申請者：日新製鋼株式会社



本技術は第三者による性能の
実証結果を公開しています。

平成26年度 実証番号 090-1401

目次

○全体概要	1
1. 実証対象技術の概要	1
2. 実証試験の概要	2
2.1 実証項目及び目標	2
2.2 実証試験方法	2
2.3 試験結果	3
3. 技術申請時データ（室内試験データ）	5
4. 参考情報	7
○本編	8
1. 導入と背景	8
2. 実証試験参加組織と実証試験参加者の責任分掌	9
3. 実証対象技術の概要	10
3.1 実証対象技術の概要	10
3.2 実証対象技術の仕様	11
3.2.1 原料の成分組成例	11
3.2.2 本技術に用いる製品における原料の配合	11
4. 実証試験場所の概要	12
4.1 実証試験実施場所の名称・所在地・管理者	12
4.2 海域の概要	13
5. 実証試験の内容	14
5.1 現地実証	14
5.1.1 目標	14
5.1.2 調査項目	14
5.2 調査内容	15
5.2.1 調査概要	15
5.2.2 海域環境調査	16
5.2.3 ノリ生育状況調査	17
5.2.4 生育環境調査	19
5.3 実証試験条件	21
5.4 海域環境調査及びスラグ造粒物溶出物質拡散予測(概要)	22
5.5 実証試験での配置	23
5.6 スケジュール	26
5.7 室内試験による補足データの取得	27

目次

6. 実証試験の結果と考察	28
6.1 ノリの生育環境について	28
6.2 スラグ造粒物の及ぼす影響について	34
6.2.1 水質環境への影響(pH)	34
6.2.2 Feの溶出効果について	35
6.2.3 ノリの色調への影響	37
6.2.4 ノリの葉長への影響	39
6.2.5 ノリ重量調査結果	42
6.3 考察	45
6.3.1 期待される導入効果	45
6.3.2 スラグの適量に関する検討	47
6.3.3 施工性について	47
6.3.4 実証試験結果・考察のまとめ	48
○付録	49

○全体概要

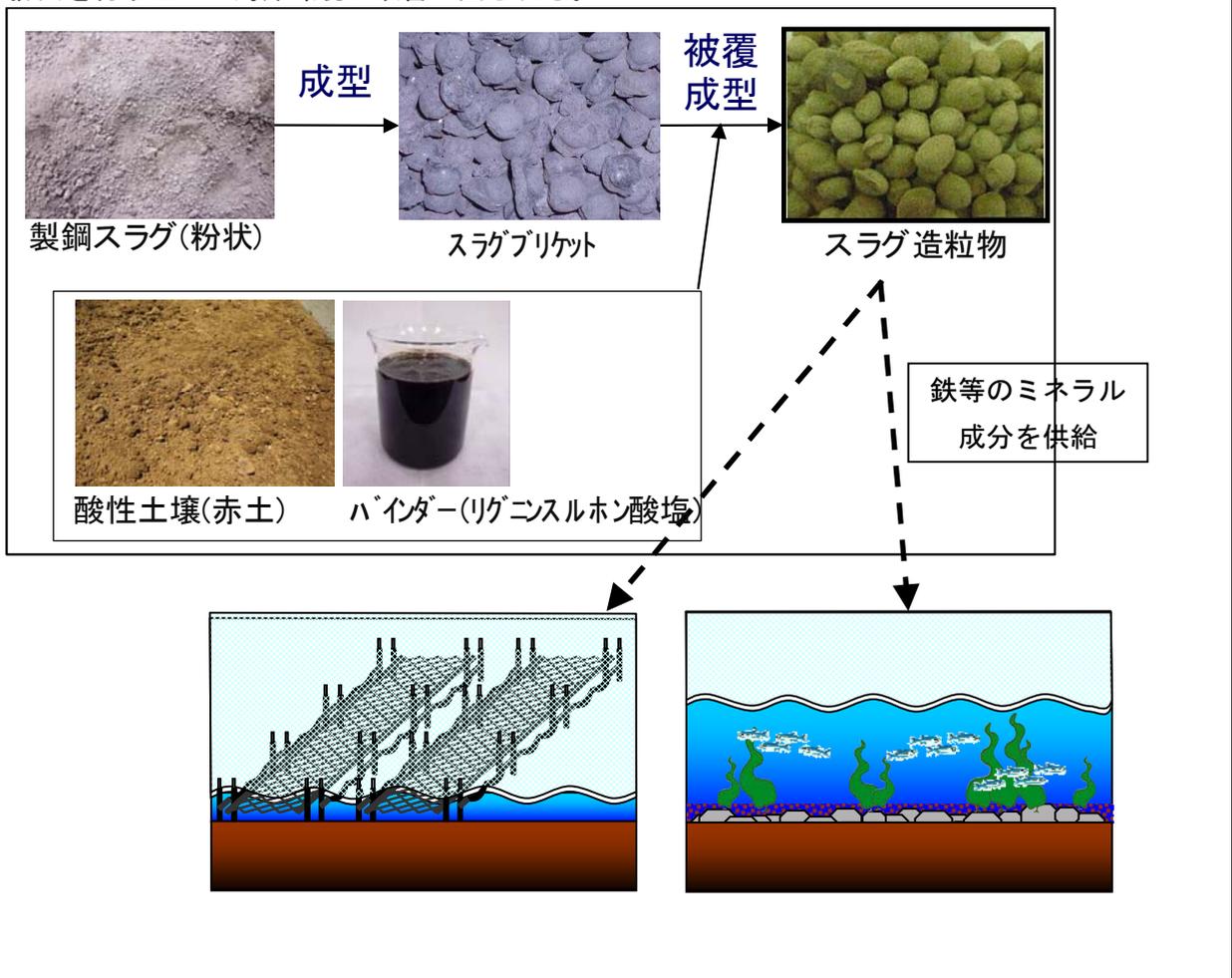
1. 実証対象技術の概要

○原理・概観写真

本実証技術の原理は、電気炉系スラグを含まない転炉系製鋼スラグ(以降、製鋼スラグと表記)粉末から作製したブリケットを酸性土壌で被覆造粒し、スラグからのアルカリ溶出に伴う pH 上昇を抑制させる。さらに、造粒時に添加するバインダー(リグニンスルホン酸塩を含有)によってキレート作用が生じ、鉄等のミネラル成分を効率的に供給することが可能となる。本技術で使用した製鋼スラグ造粒物(以下、スラグ造粒物と表記)は、φ30mm である。

なお、ノリの色落ち要因としては、窒素やリンなどが重要であるが、Fe、Zn、Mn、Cu といった微量元素も含まれる。特に Fe は、ノリの光合成色素の合成のなかで、フィコビリンの合成に重要となる。このことから、本技術の効果として、ノリの色落ち抑制、および色落ちからの回復といった点も期待される。

本技術は、海藻類の成長に必要な鉄等のミネラル成分が不足している海域にこれらを供給し、海藻類の成長を促進させることを目的とする。また、成長促進により、沿岸地域での藻場の形成・修復だけでなく、成長した藻類を養殖業等により取り上げ、窒素やリンといった環境負荷の系外排出を行うことで海洋環境の改善が図られる。



2. 実証試験の概要

試験概要を以下に示す。試験方法と結果の詳細は、○本編 5. 実証試験の内容を参照。

2.1 実証項目及び目標

本実証試験では、スラグ造粒物から溶出する鉄分がスサビノリ(以下、ノリと表記)養殖場に供給されることにより、ノリの色落ち抑制やノリの成長促進が促され、海域の環境負荷を系外へ取り上げる効果を評価することとした。

そこで、本実証試験の評価目標を、以下に示す項目とした。

表1 実証項目及び目標

実証項目	目標水準
ノリの色調	対照区より、ノリの色調(より黒褐色に近い)が良いこと。
ノリの成長量	対照区より、ノリの葉長が大きいこと。
	対照区より、ノリの重量が大きいこと。

2.2 実証試験方法

実証試験は、大阪府阪南市鳥取地先のノリ養殖漁場で、以下の表に示す条件で行った。

なお、試験実施前に、試験海域における流れの特性を把握するために流況調査を行い、物質の拡散予測にてスラグ造粒物の配置計画を検討した。

ノリの生育状況調査に加え、スラグ造粒物の水質への影響も併せて調査した。調査項目と、実施時期を表3に示す。

表2 実証試験条件

	スラグ造粒物の設置量(kg)					
	12/27	1/21	1/26	2/17	3/1	
対照区沖側	投入無	中間刈取り	投入無	投入無	試験終了	
試験区A	375		375	(375)		
試験区B	250		250	(250)		
試験区C	250		250	(250)		
試験区D	投入無		投入無	250		
試験区E	125		125	(125)		
対照区岸側	投入無		投入無	投入無		

備考1: スラグ造粒物サイズは、φ30mmとした。

備考2: () 表記は、スラグ造粒物を交換せずに設置している状態を示す。

備考3: 検討会での検討の結果、試験区Bと試験区Cが同条件となった。

表3 実施工程

項目	平成26年										平成27年					摘要
	10月		11月		12月		1月		2月		3月					
	10/7~10/24					12/27	1/9	1/18	1/26	2/7	2/17	3/1				
海域環境調査	流況調査	■													15昼夜1回	
ノリ生育状況調査	ノリの色調					●	●	●	●	●	●	●				
	ノリの成長量						●	●	●	●	●	●				
	ノリの現存量					●	●	●	●	●	●	●				
生育環境調査	pH・光量子					●	●	●	●	●	●	●			試験開始時: 3日間連続 色落ち発生時: 5日間連続	
	栄養塩類					●	●	●	●	●	●	●				
	微量元素					●	●	●	●	●	●	●				
	水温・塩分 濁度・クロロフィルa						■	■	■	■	■	■	■		期間中連続	

試験では、φ30mmのスラグ造粒物を袋(試験条件に応じ3.5kg、7.0kg、10.5kgの袋)に小分けし(図1)、ノリ網内に設置した(図2)。



図1 試験に用いたスラグ造粒物(7kg)



図2 試験状況

2.3 試験結果

2.3.1 ノリの色調について

スラグ造粒物によるノリの色調への効果については、今回の実証試験では明確に効果が認められなかった。

2.3.2 ノリの葉長について

スラグ造粒物が葉長に与える影響を、1日あたりに伸びる長さ(cm/day)として評価した。その結果、スラグ造粒物を設置した試験区は、ノリの葉長が対照区に比べて、有意に高かった(図3)。

このことから、スラグ造粒物の設置効果として、ノリの葉長の成長促進効果を実証された。

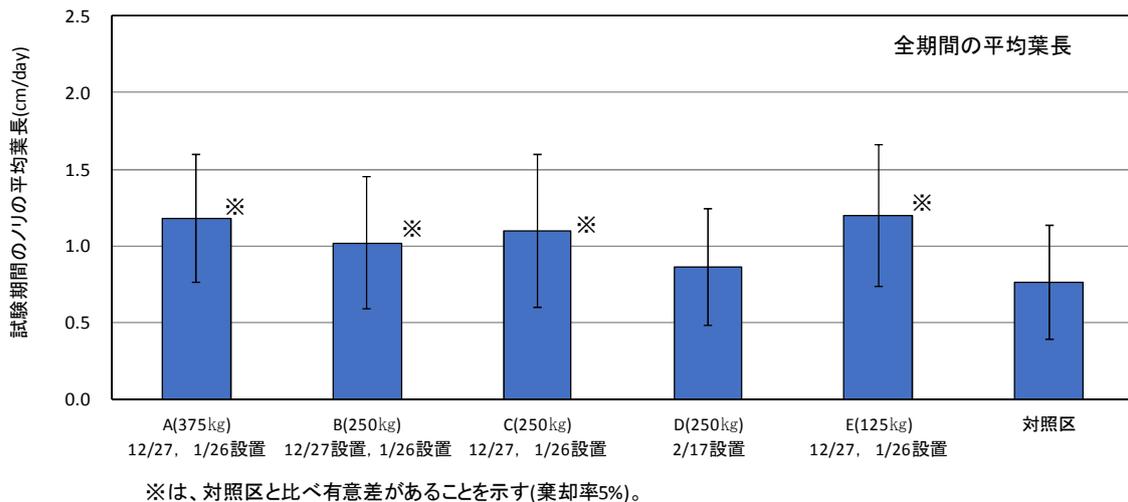


図3 ノリの葉長の比較

2.3.3 ノリの重量について

ノリの重量は、現地海域においてスラグ造粒物を設置した区域と対照区との間に明確な差は認められなかった(図4)。しかし、室内試験では、海水のみの条件下に比べて、スラグ造粒物を加えた水槽でノリの重量が増加した。この室内試験の結果から、ノリの重量についても成長が促進される効果も示唆された。

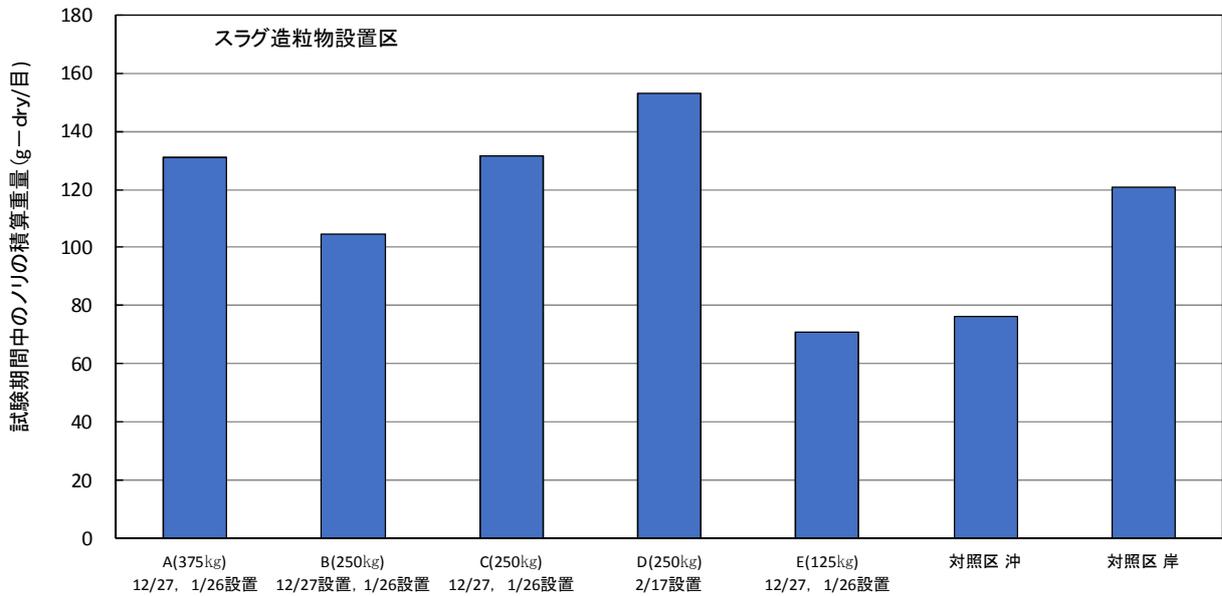


図4 ノリの重量の比較

3. 技術申請時データ（室内試験データ）

本技術の効果を海域にて実証するにあたり、申請者（日新製鋼株式会社）が自主研究として、技術の安全性と海藻類に及ぼす影響を室内試験により検証した。

以下に、その概要を述べる。

【室内試験条件】

試験場所：広島県立総合技術研究所水産海洋技術センター内
 使用水槽：1,000L パンライト水槽（φ1500×800mmH）
 （右図参照）

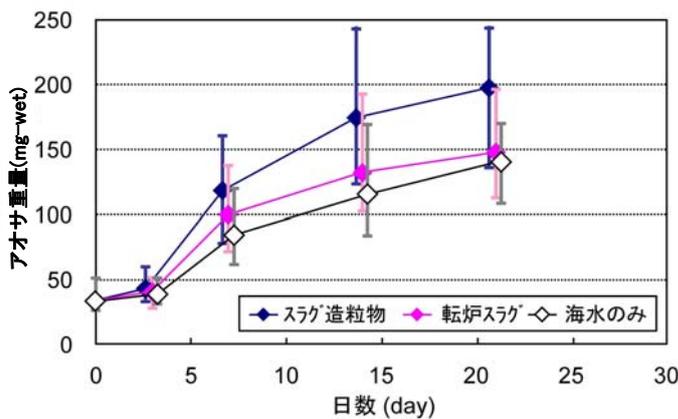


試験区：①スラグ造粒物（φ10mm）
 ②転炉スラグ（粒径25mm以下）

試験方法：水槽にろ過海水を1000L満たし、①スラグ造粒物と②転炉スラグをそれぞれの試験水槽へ100kgずつ設置した。
 水槽内は、海水をかけ流し、2cmにカットしたアオサを各水槽に15g（約500枚）設置した

調査項目：①アオサの湿重量を計測（20枚の平均重量）
 ②海水中への溶出成分を分析

スラグ造粒物がアオサの成長に与えた影響として、スラグ造粒物添加区では、無添加区に比べて、湿重量の増加が認められた（参考図1、参考図2）。



参考図1 アオサ重量の経時変化 (n=20)



参考図2 21日目のアオサ外観

また、転炉スラグの試験区ではFeが検出下限値未満であったのに対し、スラグ造粒物の試験区では、Feが3時間後に0.12mg/L検出され、7日目まで溶出が確認された(参考表1)。

さらに、スラグ造粒物の安全性を確認するために、海域で実証試験を行う前に環境庁告示14号(水底土砂溶出試験)と環境庁告示13号(建設汚泥溶出試験)に基づく溶出試験を行った。溶出試験の結果は、「付録2.技術申請時 溶出試験結果」に示す。なお、溶出試験は有姿のまま行った。

この溶出試験の結果から、スラグ造粒物の安全性が確認されたため、海域での実証に問題無いと判断した。従って、海域環境に問題が無く、藻類の成長促進効果が期待される本技術を、実証試験にて検証した。

参考表1 室内試験時の海水成分結果 (単位: mg/L)

		Ca	Mg	Si	Fe	PO ₄ -P	NH ₄ -N	NO ₃ -N
ろ過海水		360	1100	0.5	<0.01	0.07	<0.1	<0.1
スラグ 造粒物	3時間	410	1100	0.6	0.12	<0.05	<0.1	<0.1
	3日	490	1000	1.2	0.04	0.08	<0.1	<0.1
	7日	410	1200	0.5	0.03	<0.05	<0.1	<0.1
	14日	380	1100	0.3	<0.01	<0.05	<0.1	<0.1
	21日	380	1200	0.2	<0.01	<0.05	<0.1	<0.1
	28日	380	1100	0.4	<0.01	<0.05	<0.1	0.1
転炉 スラグ	3時間	410	1100	0.7	<0.01	0.07	<0.1	<0.1
	3日	390	1100	0.6	<0.01	0.06	<0.1	<0.1
	7日	380	1100	0.2	<0.01	<0.05	<0.1	<0.1
	14日	370	1100	0.2	<0.01	<0.05	<0.1	<0.1
	21日	380	1200	0.1	<0.01	<0.05	<0.1	<0.1
	28日	360	1100	0.3	<0.01	<0.05	<0.1	<0.1

4. 参考情報

(※注意：以下に示された技術情報は、全て環境技術開発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。)

項目	実証申請者または開発者 記入欄			
技術名称	製鋼スラグ製品による藻類成長促進技術			
製造(販売)企業名	日新製鋼株式会社			
連絡先	TEL/FAX	TEL : 03-3214-1893 / FAX : 03-3216-5522		
	Web アドレス	http://www.nisshin-steel.co.jp/		
	E-mail	fujimoto.n979@nisshin-steel.co.jp		
設置・導入条件	設置場所や用途、使用量に合わせて最適な方法を選択可能 (例) ・ 容器に入れて海藻養殖網や筏に吊り下げ ・ 容器に入れて海底へ設置 ・ 製品をそのまま海底へ散布			
必要なメンテナンス	—			
耐候性と製品寿命等	設置方法による			
耐候性	—			
コスト概算 製品 1,000kg 当たり	イニシャルコスト			
	費目	単価 (円)	数量	計 (円)
	土木費(造粒物製造コスト)	470	1,000kg	470,000 円
	資材費(製鋼スラグ、酸性土壌等)	30	1,000kg	30,000 円
	諸経費	50	1,000kg	50,000 円
	(製品 1,000kg あたりのコスト)			550,000 円
	合計	1kg 当たり		550 円

○本編

1. 導入と背景

環境技術実証事業は、既に適用可能な段階にありながら、環境保全効果等についての客観的な評価が行われていないために普及が進んでいない環境技術について、その環境保全効果等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、環境技術の普及を促進し、環境保全と環境産業の発展に資することを目的とする。

本技術は、電気炉系スラグを含まない転炉系製鋼スラグ(以降、製鋼スラグと表記)製品を海域に設置することにより、海藻類の成長促進を狙ったものである。一般的なスラグは、主成分である石灰 (CaO)の一部が水と反応すると、アルカリ成分である水酸化物イオンを生成しpHが上昇する。さらに、このアルカリ溶出に伴う付随的な反応として、化学物質の溶出や生物生息に及ぼす影響も考えられ、環境への利用として課題もある。

本技術は、製鋼スラグに酸性土壌を添加し、アルカリ溶出に伴う pH 上昇を抑制することが見込まれる点が特徴である。さらに、リグニンスルホン酸塩を含有した結合材により、鉄等のミネラル成分が効率的に供給されやすくなり、より海藻類の成長が促進される効果が見込まれる。このような成長促進により、取り上げによる窒素やリンといった環境負荷の系外排出が行われ、海洋環境の改善に繋がると考えられる。

そこで、専門家により構成される技術実証検討会において、環境への悪影響が無いことを確認した上で、上記の効果について検討した。

2. 実証試験参加組織と実証試験参加者の責任分掌

実証試験評価実施体制を図 2-1 に、実証試験実施機関の責任分掌を表 2-1 にそれぞれ示す。本業務の実施にあたって、特定非営利活動法人大阪湾沿岸域環境創造研究センターと連携・協力を図り、更なる公平性・公正性を担保した。照査については、当社 BCM 推進センターにおいて実施した。

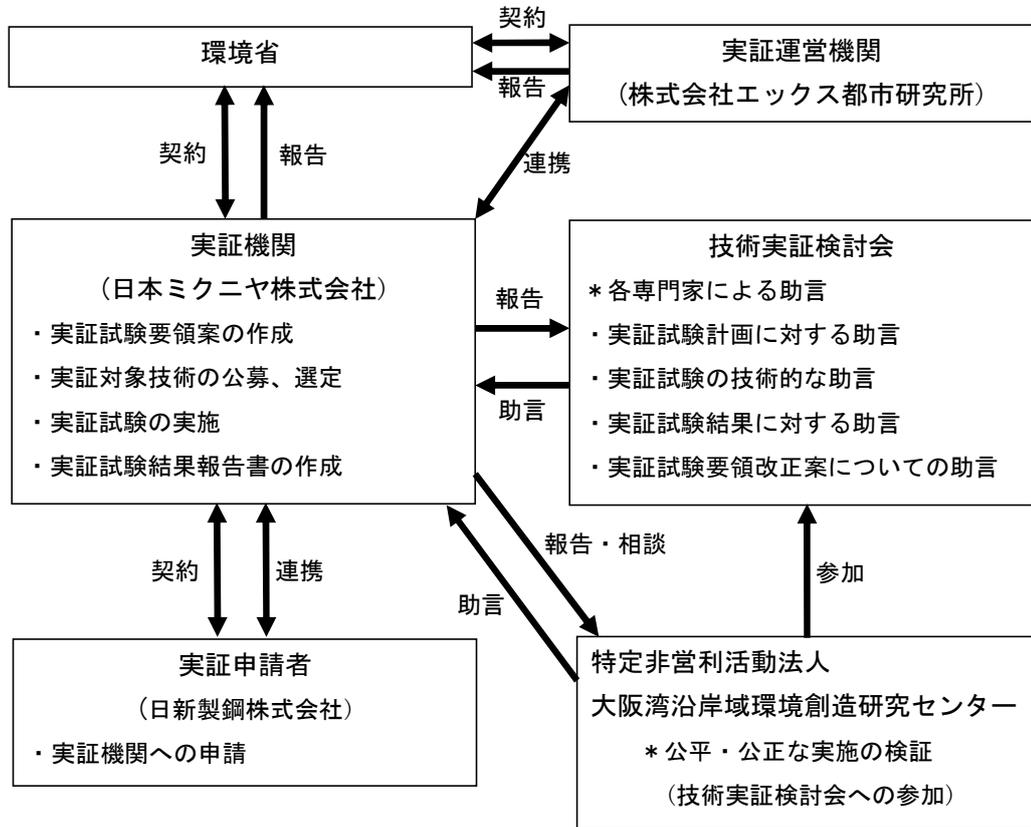


図 2-1 実証試験評価実施体制

表 2-1 実証機関の責任分掌

区分	部署	責任分掌
実証機関	日本ミクニヤ株式会社 本社	実証試験計画の策定
		手数料の額の確定
		実証試験要領改正案の作成
		技術実証検討会の設置・運営
		実証運営機関との連携・協力
	日本ミクニヤ株式会社 本社・総務部	手数料の徴収
		会計・経理処理
	日本ミクニヤ株式会社 東京支店・大阪支店	実証試験計画の策定補助
		実証試験結果の整理
		実証技術検討会資料の作成 実証試験結果報告書の作成
	日本ミクニヤ株式会社 BCM推進センター	品質管理システムの運用
		各担当の実施内容の照査
内部監査の実施		

3. 実証対象技術の概要

3.1 実証対象技術の概要

本実証技術の原理は、製鋼スラグ粉末から作製したブリケットを酸性土壌で被覆造粒し、スラグからのアルカリ溶出に伴う pH 上昇を抑制させる（図 3-1 参照）。さらに、造粒時に添加するバインダー（リグニンスルホン酸塩を含有）によってキレート作用が生じ、鉄等のミネラル成分を効率的に供給することが可能となる。本技術で使用した製鋼スラグ造粒物(以下、スラグ造粒物と表記)は、φ30mm である。

なお、ノリの色落ち要因としては、窒素やリンなどが重要であるが、Fe、Zn、Mn、Cu といった微量元素も含まれる。特に Fe は、ノリの光合成色素の合成のなかで、フィコビリンの合成に重要となる。

このことから、本技術の効果として、ノリの色落ち抑制、および色落ちからの回復といった点も期待される。

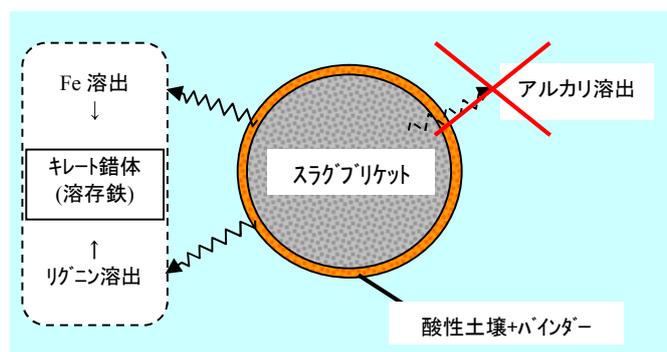
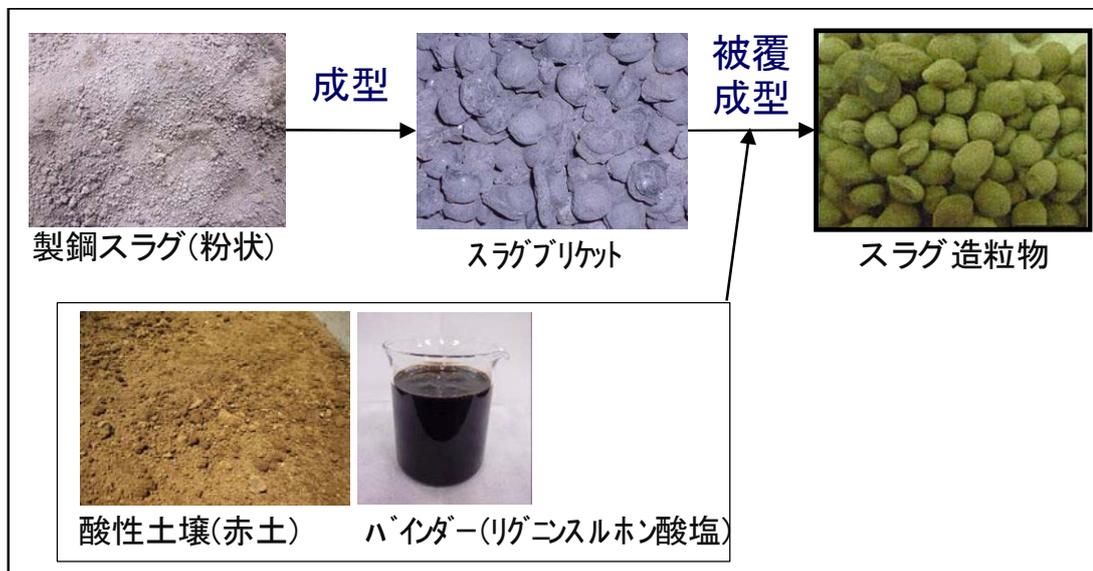


図 3-1 原理模式図

本技術は、海藻類の成長に必要な鉄等のミネラル成分が不足している海域にこれらを提供し、海藻類の成長を促進させることを目的とする。また、成長促進により、沿岸地域での藻場の形成・修復だけでなく、成長した藻類を養殖業等により取り上げ、窒素やリンといった環境負荷の系外排出を行うことで海洋環境の改善が図られる。

3.2 実証対象技術の仕様

3.2.1 原料の成分組成例

本技術で使用するスラグ造粒物の原料の成分組成を以下に示す。

・製鋼スラグ

単位：mass%

T-Fe	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MgO	CaO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	C	S	F	f-CaO
16.34	4.92	15.51	3.25	2.206	2.8	42.52	0.65	0.29	1.99	0.196	0.08	7.45

※f-CaO：遊離石灰

・酸性土壌

単位：mass%

T-Fe	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	C	S	N
6.88	0.17	44.85	23.12	0.183	2.23	0.97	1	0.82	1.18	1.39	0.07	0.16

・バインダー

単位：mass%

T-Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	C	S
0.009	0.027	0.02	0.146	5.6	0.19	2.04	0.188	36	5.15

3.2.2 本技術に用いる製品における原料の配合

製鋼スラグ：80～90mass%

酸性土壌：10～20mass%

バインダー：2～10mass%（外数、無水ベース）



図 3-2 実証試験に使用したスラグ造粒物(写真は1袋あたり7kg)

4. 実証試験場所の概要

4.1 実証試験実施場所の名称・所在地・管理者

実証試験実施場所の名称（所在地）、管理者を表 4-1 に、また実証試験実施場所を図 4-1 にそれぞれ示す。

表 4-1 実証試験実施場所の名称（所在地）管理者

名称(所在地)	大阪府阪南市鳥取地先
管理者	大阪府

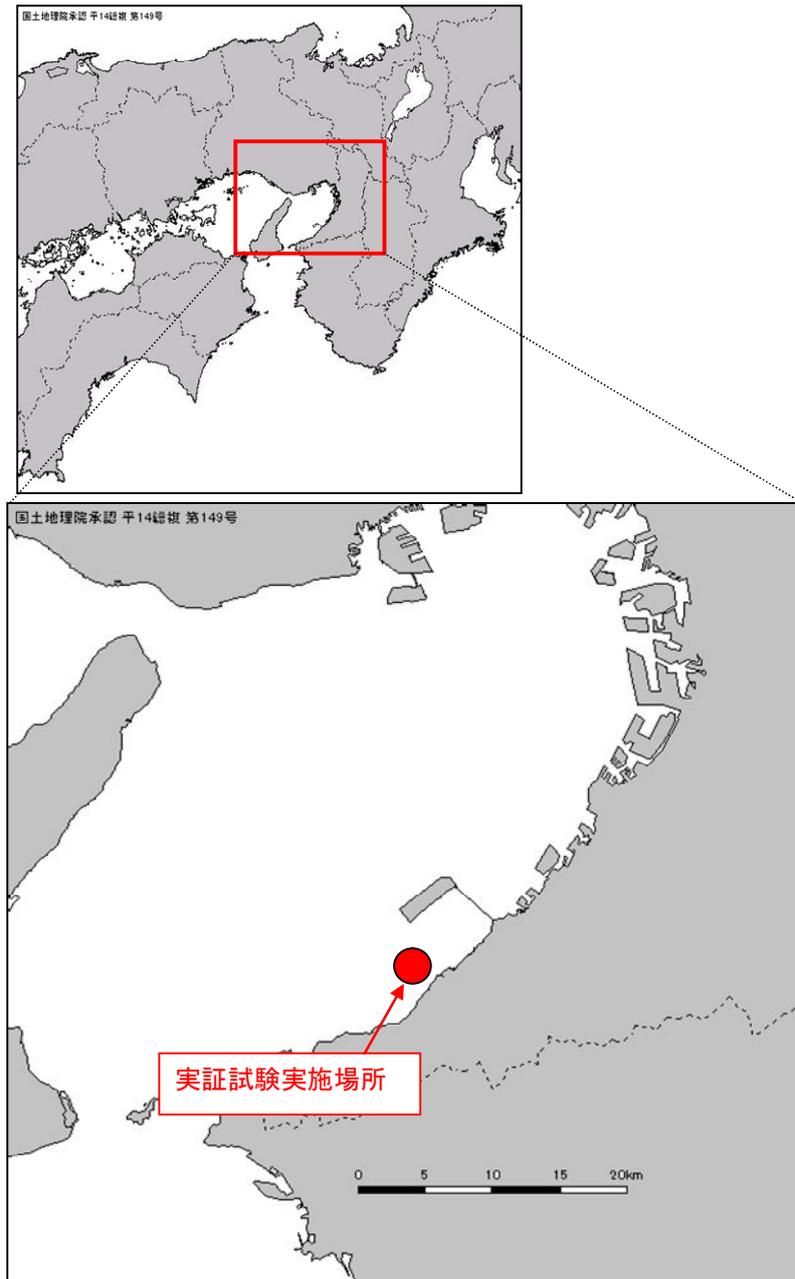


図 4-1 実証試験実施場所

4.2 海域の概要

実証試験実施場所周辺海域の概要を表 4-2 に示す。

表 4-2 実証試験実施場所周辺海域の概要

海域の特徴	
主な利用状況	○港湾、船舶の航行状況、親水海岸、漁場の有無など 大阪湾周辺は、阪神港に代表される多くの港湾施設や工業施設が存在するなど、近畿地方の産業・経済の中心となっている。また、淡路島や湾口近くは豊かな漁場ともなっている。実施場所の阪南市では、尾崎、西鳥取、下荘の3漁港があり、箱作海岸やせんなん里海公園などの海水浴場がある。また、小型定置網、ノリ・ワカメ等養殖、つきいそ漁業の漁業権が設定されており、大阪府内でも数少ないノリの養殖が行われている。
実証試験実施場所の規模	○水深、面積など 大阪湾は、瀬戸内海の東端に位置し、面積約1,450km ² 、海岸線の総延長約420kmで周囲を陸に囲まれた閉鎖性海域である。大阪湾は三大湾（東京湾、大阪湾、伊勢湾）の中でも湾口部交通量が最も多く、海上交通の利用が盛んである。 実証試験は、湾口に近い阪南市地先で行い、試験区域の規模は約1,080m ² (18m×60m×1区画)である。
水質の状況	○過去の水質データ 流入汚濁負荷量（COD）は、淀川が最も大きく119.5トン/日であり、次いで、神崎川36.4トン/日、大和川12.7トン/日と大阪湾奥において湾内への流入汚濁負荷量が多い。このCODは、汚濁対策の実施により削減が進んでおり、昭和54年度から平成21年度までに約7割の負荷量が削減された。一方、河川水質も改善傾向にあるが、大和川、石津川などは依然として汚濁した状態にあり、今後とも水質の改善が必要である。 実施場所に近い阪南市の尾崎港内では、COD75%値が3.0mg/lとなっている。
底質の状況	○底質に関する情報 大阪湾の底質は、強熱減量、COD、全窒素（T-N）、全リン（T-P）では湾奥部や湾東部で高くなっており、硫化物は関西空港の西側で高くなる傾向がみられる。 実施場所の阪南市付近は、強熱減量は7～8%、CODは20～25mg/g、全窒素（T-N）は1.5～2.5mg/g、全リン（T-P）は0.4～0.5mg/g、硫化物は0.2～0.4mg/gとなっている。
生物生息環境	○底生生物、植物等の生育状況に関する情報 底生生物を海域別にみると、湾奥部では、パラプリオノスピオ属などの環形動物が優占しており、種類数はごく少ない。本種は有機的汚濁に対し強い抵抗力をもつとともに、ある程度汚濁した海域を好む傾向のある種類である。 一方、湾の西側や南側の海域では、軟体動物のシズクガイ、節足動物のソコシラエビ属、棘皮動物のヒトデ類など比較的多くの種が分布している。 藻場は、大阪湾の湾奥部には存在せず、大阪湾南部から西部にかけての沿岸部に分布している。特に、実施場所に近い尾崎～箱作の藻場は面積が大きい(184ha)。
課題	○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。 陸域からの汚濁要因の削減、水質汚濁の慢性化、生物多様性の低下、親水性の低下、浮遊・漂着・海底ごみの削減に対して改善が必要である。 ○改善計画等、どのような検討が進められているか。 平成15年7月より「大阪湾再生推進会議」が設置され、関係行政機関の広域な連携や、住民・市民やNPO、学識者、企業等との多様な主体と連携・協働し「大阪湾の再生」に取り組まれている。

※大阪湾環境データベースより

実証試験環境	○実証対象機器等の搬入路は確保できるか 可能(船舶による) ○電気は利用可能か 不可 ○実証試験の攪乱要因となるような特性はないか 無し(自然現象を除く) ○試料採取は可能か 可能 ○実証試験の期間、時期 10月～3月
有識者の見解	○実証試験を行う上で留意すべき点(技術実証検討会 第1回 議事録より) ・一般に鉄の効能は、光合成活性を上げるとともに、硝酸態窒素のアンモニアや亜硝酸への還元作用である。一番効果があると考えられるのは、アンモニア態窒素が主成分のなかで、取り込みを補助するところだと思ふ。実証試験を行う上で重要なのは、鉄と窒素との関係性と光量という点で、植物から見た鉄の重要性といった仮説を立てて行うことである。(吉永検討員) ・商品としての「達成目標」を明確にする必要がある。また、屋外のみの実験ではなく、解析的なデータも必要となるため、室内実験についても並行して実施する必要がある。(上嶋検討委員)

5. 実証試験の内容

5.1 現地実証

5.1.1 目標

本実証試験では、スラグ造粒物から溶出する鉄分が海域に供給されることにより藻類の成長を促進させ、これら藻類が成長に際して海域の窒素、リンを吸収することにより、海域の環境改善に寄与することを期待した。

今回は、スサビノリ(以下、ノリと表記)を対象に養殖場において実証試験を行い、スラグ造粒物から溶出する鉄分がノリ養殖場に供給されることにより、以下の効果を狙った。

- ①ノリの色落ち抑制(製品として等級が上がることを期待)
- ②ノリの成長促進(海域の環境負荷を系外へ取り上げる効果を期待)

また、スラグ造粒物の設置量が異なる複数の試験区を設定することにより、好適な設置量及び設置時期を把握した。

よって、本実証試験の評価目標は、表 5-1 に示す項目とし、対照区あるいは試験区の間で比較することにより、スラグ造粒物設置の効果を把握するものとした。

表 5-1 実証項目及び目標

実証項目	目標水準
ノリの色調	対照区より、ノリの色調(より黒褐色に近い)が良いこと。
ノリの成長量	対照区より、ノリの葉長が大きいこと。
	対照区より、ノリの重量が大きいこと。

5.1.2 調査項目

本実証試験では、試験区(試験区 A~E)と対照区において、表 5-2 に示す項目について調査を実施した。

表 5-2 調査項目

調査項目		測定理由	測定箇所
海域環境	流況調査	海域の流況特性の把握	試験海域
ノリ生育状況	ノリの色調	スラグ造粒物によるノリ色調の変化の把握	試験区及び対照区
	ノリの葉長	スラグ造粒物によるノリ成長量の変化の把握	
	ノリの重量	スラグ造粒物によるノリ成長量の変化の把握	
生育環境	pH	スラグ造粒物によるpHの変化の把握	試験区及び対照区
	クロロフィルa	栄養塩類の存在状況に関する植物プランクトン量の把握	
	リン酸態リン(P ₀₄ -P)		
	アンモニア態窒素(NH ₃ -N)		
	亜硝酸態窒素(NO ₂ -N)		
	硝酸態窒素(NO ₃ -N)		
	微量元素(Fe)	スラグ造粒物による鉄分の変化の把握	
	濁度	ノリの生育と関連する要素の現況把握	
	塩分		
水温			

5.2 調査内容

5.2.1 調査概要

現地調査は、ノリの摘採期に実施し、実施期間は約2ヶ月とした。

各調査項目における調査方法、及び調査頻度を表5-3に示す。なお、海域環境調査については、試験条件、技術配置等の検討を行うため、ノリの摘採期以前に実施した。

表 5-3 調査概要

調査項目		調査方法	試験方法・使用機器	調査数量	調査頻度・回数
海域環境	流況調査	15昼夜連続観測	※5.2.2参照	1地点×15昼夜	10月7日～10月24日
ノリ 生育状況	ノリの色調	採取・室内分析	※5.2.3.1参照	各試験区3箇所 ×調査回数	《調査日》 1/18、2/7、2/17、3/1
	ノリの葉長		※5.2.3.2参照		
	ノリの重量	採取・室内分析	※5.2.3.3参照		《調査日》 12/27、12/28、12/29、 1/9、1/18、2/7、2/17、 2/19、2/21、2/22、2/23、 3/1
生育環境	pH、光量子	機器観測	pH計(HM-20P:東亜ディー ケーケー(株)製) 光量子計(AAQ118 2: JFEアドバンテック (旧 JFEアレック)社製)	各試験区代表1箇所 ×調査回数	《調査日》 12/27、12/28、12/29 1/9、1/18、1/26 2/7、2/17、2/19、2/21、 2/22、2/23、3/1
	リン酸態リン	採水・室内分析	JIS K 0102 46.1.4 流れ分析法	各試験区3箇所(表 層)×調査回数	
	アンモニア態窒素		JIS K 0102 42.6 流れ分析法		
	亜硝酸態窒素		JIS K 0102 43.1.3 流れ分析法		
	硝酸態窒素		JIS K 0102 43.2.6 流れ分析法		
	微量元素 (Fe)	採水・室内分析	JIS K 0102 57.4準拠 ICP質量分析法		
	水温、塩分	連続観測	COMPACT-CT: JFEアドバ ンテック社製	試験区1箇所(表層) 対照区各1箇所(表 層) 計3地点3層	
クロロフィルa、 濁度	COMPACT-CLW: JFEアド バンテック社製				

※光量子は、pHと測定機器が同一のため、同日の測定とした。

5.2.2 海域環境調査

試験実施前に、試験海域における流れの特性を把握するために流況調査（15 昼夜の連続観測）を行った。図 5-1 に観測機器の仕様を、図 5-2 に観測概要図を示す。

本調査結果を用いて、海域での物質の拡散予測を行い、対象技術の配置計画について検討した。



長期測定精度:	1200kHz/600kHz: $\pm 0.25\%$ 又は $\pm 2.5\text{mm/s}$
	300kHz: $\pm 0.5\%$ 又は $\pm 5\text{mm/s}$
分解能:	0.1cm/s
測流範囲:	$\pm 5\text{m/s}$ (標準)
	$\pm 20\text{m/s}$ (最大)
設定層厚:	1 ~ 128層
最大測定レンジ:	1200kHz: 24m
	600kHz: 70m
	300kHz: 165m
設定層厚:	1200kHz: 5cm ~ 4m
	600kHz: 10cm ~ 8m
	300kHz: 20cm ~ 16m
最小ピング発信間隔:	2Hz ~ 5Hz (設定による)

図 5-1 ADCP(多層流向流速計)仕様

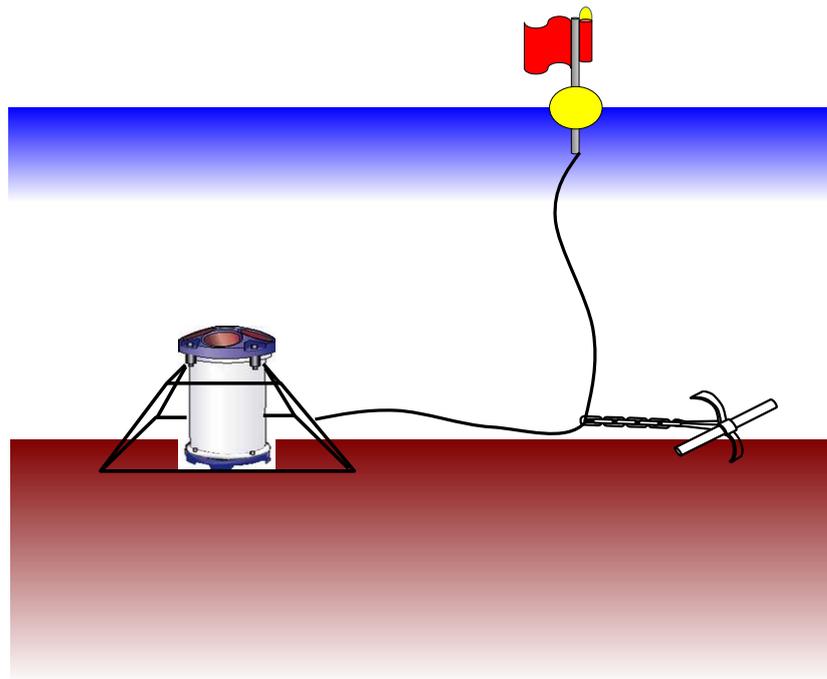


図 5-2 観測概要図

5.2.3 ノリ生育状況調査

5.2.3.1 ノリの色調

スラグ造粒物によるノリ色調の変化を把握するために、1/18、2/7、2/17、3/1に調査した。

各区について、ノリ網のスラグ造粒物を設置した区画中央部と両端のスラグ造粒物が設置されていない区画部分の中央部から1箇所ずつ、箇所当たり5本程度採取した（図 5-3）。採取した試料は、室内にて写真撮影を行い、色調の変化を調べた。

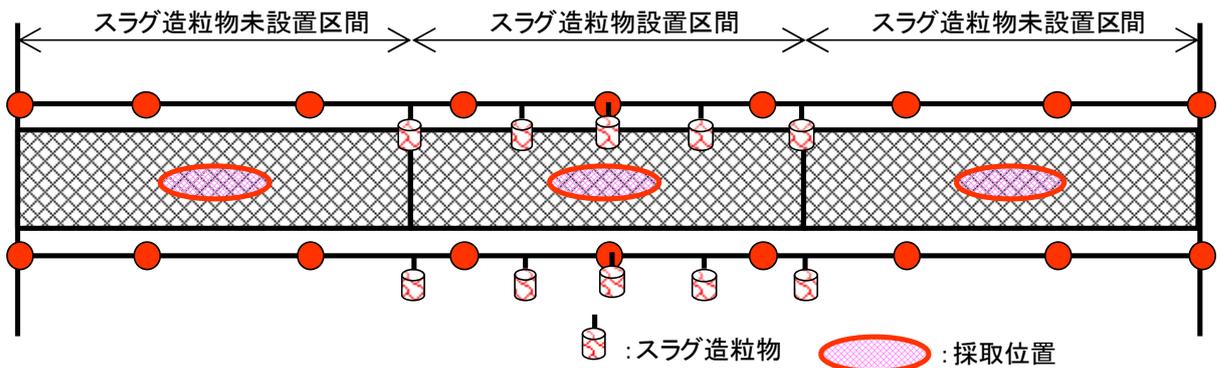


図 5-3 試料採取位置の例

5.2.3.2 ノリの葉長

スラグ造粒物によるノリ葉長の変化を把握するために、1/18、2/7、2/17、3/1に調査した。

調査は、試料を採取する箇所に予めマーキングをしておき、対象とする場所に生育するノリを根元から5cmの場所で切断し、その後、同様に根元から5cmの場所で切断し、切断したノリを白色のバットに伸ばし、葉長を測定するとともに写真撮影を行った（図 5-4）。

また、両端のスラグ造粒物が設置されていない区画部分の中央部からも採取し、参考値として測定した（5.2.3.1項 図 5-3）。

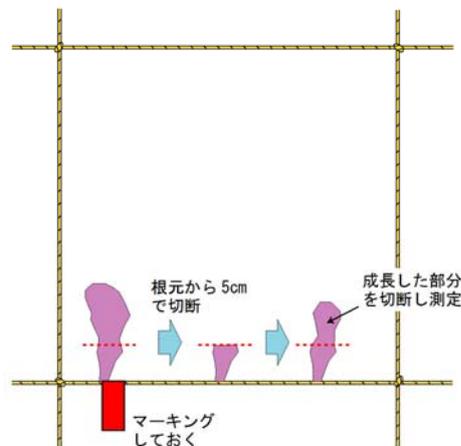


図 5-4 試料採取の方法

5.2.3.3 ノリの重量

スラグ造粒物によるノリ重量の変化の把握するために、12/27、12/28、12/29、1/9、1/18、2/7、2/17、2/19、2/21、2/22、2/23、3/1 に調査した。

ノリの重量は、試験区と対照区に生育するノリを採集し、湿重量と乾燥重量を測定した。

なお、試料はノリ網のスラグ造粒物を設置した区画中央部から、ノリ網の1目(15cm)を切り取り、全量を試料とした(図 5-5)。

また、両端のスラグ造粒物が設置されていない区画部分の中央部からも採取し、参考値として測定した(5.2.3.1項 図 5-3)。

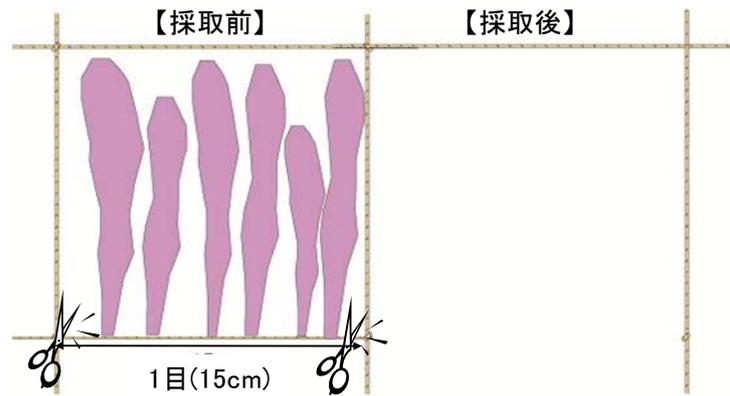


図 5-5 試料採取の方法

5.2.4 生育環境調査

生育環境調査は、スラグ造粒物とノリの生育環境の関係を把握することを目的とした。調査項目を表 5-4 に示す。

調査項目の内、pH、光量子、栄養塩類（リン酸態リン、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素）及び微量元素（Fe）については、12/27、12/28、12/29、1/9、1/18、1/26、2/7、2/17、2/19、2/21、2/22、2/23、3/1 に測定した。なお、開始直後と色落ち時期には集中的に調査を行った。

pH は船上より pH 計を用いて機器測定を行い、栄養塩類と微量元素については船上より採水し、室内分析を実施した。なお、測定・採水層は、表層（水面下 0.5m 程度）とした。

また、測定・採水は各試験区と対照区にて行うこととし、ノリ網のスラグ造粒物を設置した区画中央部と両端のスラグ造粒物が設置されていない区画部分の中央部で測定、採水を行った。

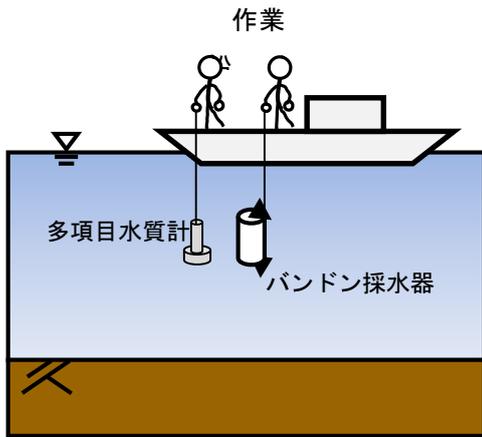
調査中の基礎データとして、全調査区内中央部近傍 1 箇所、沖側陸側対照区近傍で各 1 箇所、表層で自記式水質計により水温・塩分、濁度、クロロフィル a の連続観測を行った。

作業概要図を図-5.6 に示す。

表 5-4 生育環境調査

調査項目	設定理由
pH	スラグ造粒物を添加することにより、pHが変化する可能性がある。過度のpHの上昇はノリの生育やその他の生物の生息に悪影響を及ぼす可能性があるため、調査期間中におけるスラグ造粒物とpHの関係を把握する。
クロロフィルa	ノリが必要とする栄養塩は主に窒素とリンであるが、植物プランクトンが大量に発生した場合、海水中の栄養塩量が低下しノリの生育に悪影響を与える可能性がある。植物プランクトン量の指標となるクロロフィルaを測定し、栄養塩類の量と植物プランクトンの関係を把握する。
リン酸態リン アンモニア態窒素 亜硝酸態窒素 硝酸態窒素	ノリの生育に重要な栄養塩は、主に窒素とリンとされている。調査期間中の栄養塩類の存在状況を把握し、ノリの生育状況との関係を把握する。
微量元素（Fe）	ノリの色落ちの原因として、窒素、リン以外にFe、Zn、Mn、Cuといった微量元素の欠乏が挙げられる。調査期間中の微量元素の存在状況を把握し、ノリの生育状況との関係を把握する。
濁度、光量子、 水温、塩分	調査中の基礎データとして、ノリの生育に関係が深い濁度、光量子、水温、塩分の測定を行う。光量子は船上より多項目水質計を用いて測定し、水温、塩分、濁度は連続観測を行う。

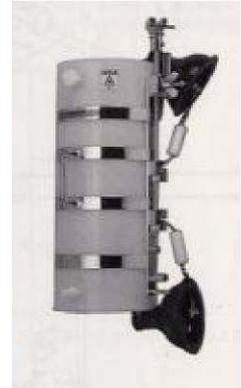
<機器測定・採水調査状況>



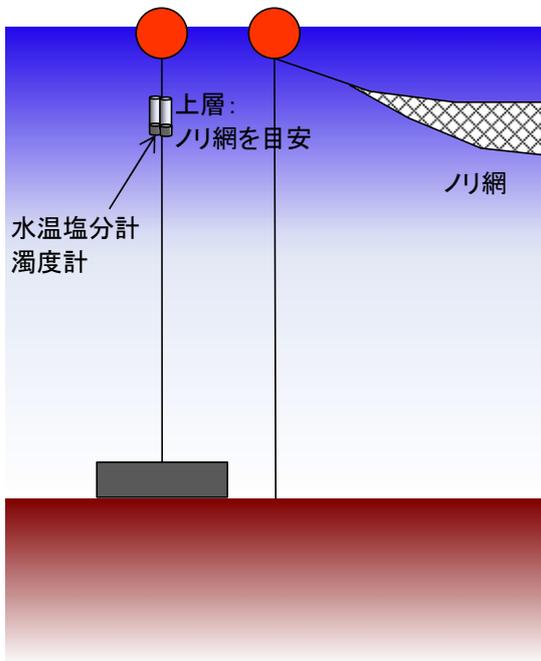
多項目水質計



バンドン採水器



<連続観測作業状況>



水温塩分計



蛍光強度計



図 5-6 調査作業概要図

5.3 実証試験条件

実証試験では、φ30mmのスラグ造粒物を用い、設置量と設置時期を変え、比較した。実証試験条件を表 5-5 に示す。

試験区は、スラグ造粒物の量を 375kg、250kg、125kg に分けた区画と、ノリの色落ち回復への影響を把握するために、色落ち発生後にスラグ造粒物を 250kg 設置する区画（試験区 D）を設定し、合計 A～E の 5 区画とした。また、対照区として、スラグ造粒物を未設置の区域を沖側と岸側に配置した。

また、1/16 に行われた技術実証検討会にて、「成長量にバラツキがでているので、一度刈り取りし、全区間の海苔の状態を揃えて確認した方が良い」と意見があった。

そこで、1/21 にノリの中間刈り取りを行い、1/26 に全試験区にスラグ造粒物を設置した。試験開始当初は、試験区 B は 12 月に設置し交換無し、試験区 C は 1 カ月毎にスラグ造粒物を交換する計画であった。しかし、1/26 にスラグ造粒物の設置が発生したことで、2 月中旬の再設置は見送った。このため、試験区 B と試験区 C が同条件となった。

表 5-5 実証試験条件

	スラグ造粒物の設置量 (kg)				
	12/27	1/21	1/26	2/17	3/1
対照区沖側	投入無	中間刈り取り	投入無	投入無	試験終了
試験区 A	375		375	(375)	
試験区 B	250		250	(250)	
試験区 C	250		250	(250)	
試験区 D	投入無		投入無	250	
試験区 E	125		125	(125)	
対照区岸側	投入無		投入無	投入無	

備考 1：スラグ造粒物サイズは、φ30mm とした。

備考 2：（）表記は、スラグ造粒物を交換せずに設置している状態を示す。

備考 3：検討会での検討の結果、試験区 B と試験区 C が同条件となった。

また、設置量の設定については、以下に基づいて算出を行った。

<設置量設定の考え方>

- ・申請者が自社で行った試験では、海水 1000L=1.0m³ に対し造粒物 100kg を設置した。
- ・実証試験での対象水域は、ノリ網 1 枚の面積を 1.5m×18m、設置水深を 0.3m とすると、ノリ網 1 枚当たりの容量は、1.5m×18m×0.3m=8.1m³。
- ・ノリ網 1 枚当たりの設置量は、100kg×8.1/1.0m³=810kg となるため、ノリ網 1 枚に対して 810kg をベース条件となる。
- ・本実証試験では、ノリ網 1 枚の中央部のみ配置(全体の 1/3 に相当)したため、上記ベース条件から、810 kg×1/3=270 kg ≒ 「250 kg」をベースとした。

5.4 海域環境調査及びスラグ造粒物溶出物質拡散予測(概要)

ここでは、「海域環境調査及びスラグ造粒物溶出物質拡散予測」に関する概要のみを述べる。詳細は、付録 6. 海域環境調査及びスラグ造粒物溶出物質拡散予測(詳細)を参照されたい。

実証技術の配置を検討するための基礎資料となる、調査海域の流況を把握するために、平成 26 年 10 月 7 日～24 日の期間で、海域環境調査を行った。

そこで得られた流況結果をもとに、スラグ造粒物から海中に溶出する物質の拡散範囲を予測するために数理モデルによるシミュレーション解析を行った。

シミュレーションでは、計算領域中央の格子にスラグ造粒物を設置したパターン A と、計算領域中央部に網を 1 基設置し、その中央部 (6m×1m) の周囲に 1.5m 間隔でスラグ造粒物を設置したパターン B の 2 通りについて解析した。

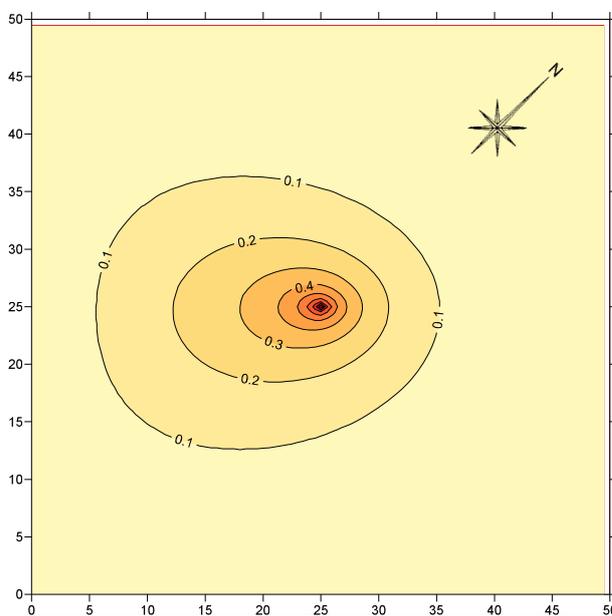
図 5-7 に解析した拡散予測の計算結果を示す。各図は、計算開始から 4 潮時経過後 (48 時間後) の干潮時を示す。

パターン A では、設置格子の溶出物質濃度を 1 としたとき、0.3 以上の濃度を保つ範囲は沿岸方向に 10m 程度、岸沖方向に約 5m 程度に限られ、その範囲は海流の動きに合わせて移動する結果となった。

パターン B では、設置格子の溶出物質濃度を 1 としたとき、スラグ造粒物で囲まれた範囲はほぼ 0.5 以上の濃度が確保される結果が見られた。

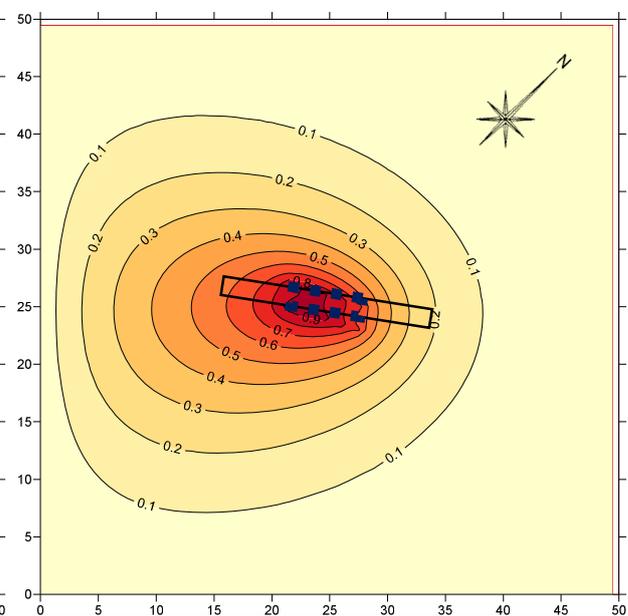
これらのことから、溶出物質濃度は、ノリ網中央部分では留まるものの、網の端では薄まると考えられた。

パターン A 干潮時



スラグ造粒物位置：中央格子
 設置格子の濃度を 1 としたときの濃度分布

パターン B 干潮時



スラグ造粒物位置：中央に設置した網を囲むように 1.5m 毎に設置 (計 10 格子)
 設置格子の濃度を 1 としたときの濃度分布

図 5-7 拡散予測計算結果

5.5 実証試験での配置

5.4 の検討結果から、スラグ造粒物から溶出した物質は、ノリ網中央部分では留まるものの、網の端では薄まると考えられた。

そこで、これらを踏まえ本実証試験では、パターン B を採用し、スラグ造粒物の配置を図 5-8 に示す通りとした。また、生育等のデータは、計算領域で 0.5 以上の濃度が確保される結果となった網の中央部(スラグ造粒物設置区間)で得られた試料で評価した。

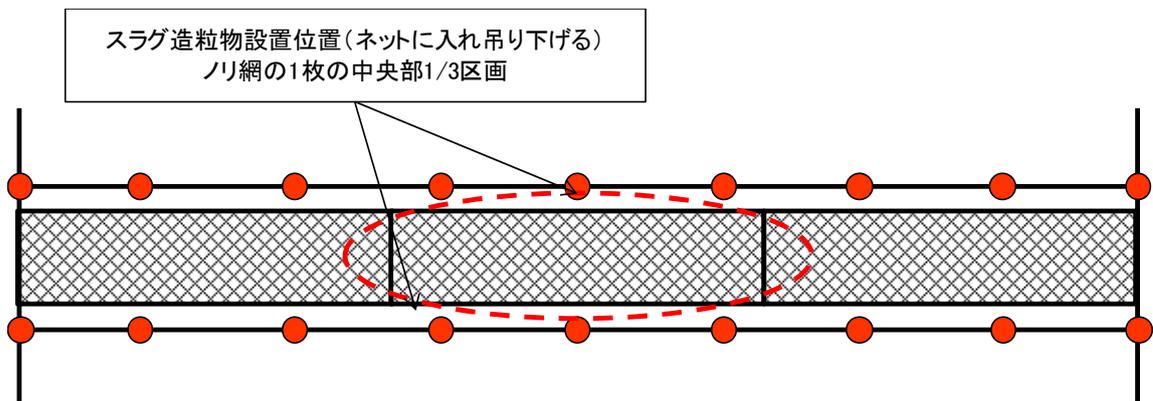


図 5-8 スラグ造粒物の設置図

各試験区、対照区の設置場所は、漁協の管理区域内とした(図 5-9)。

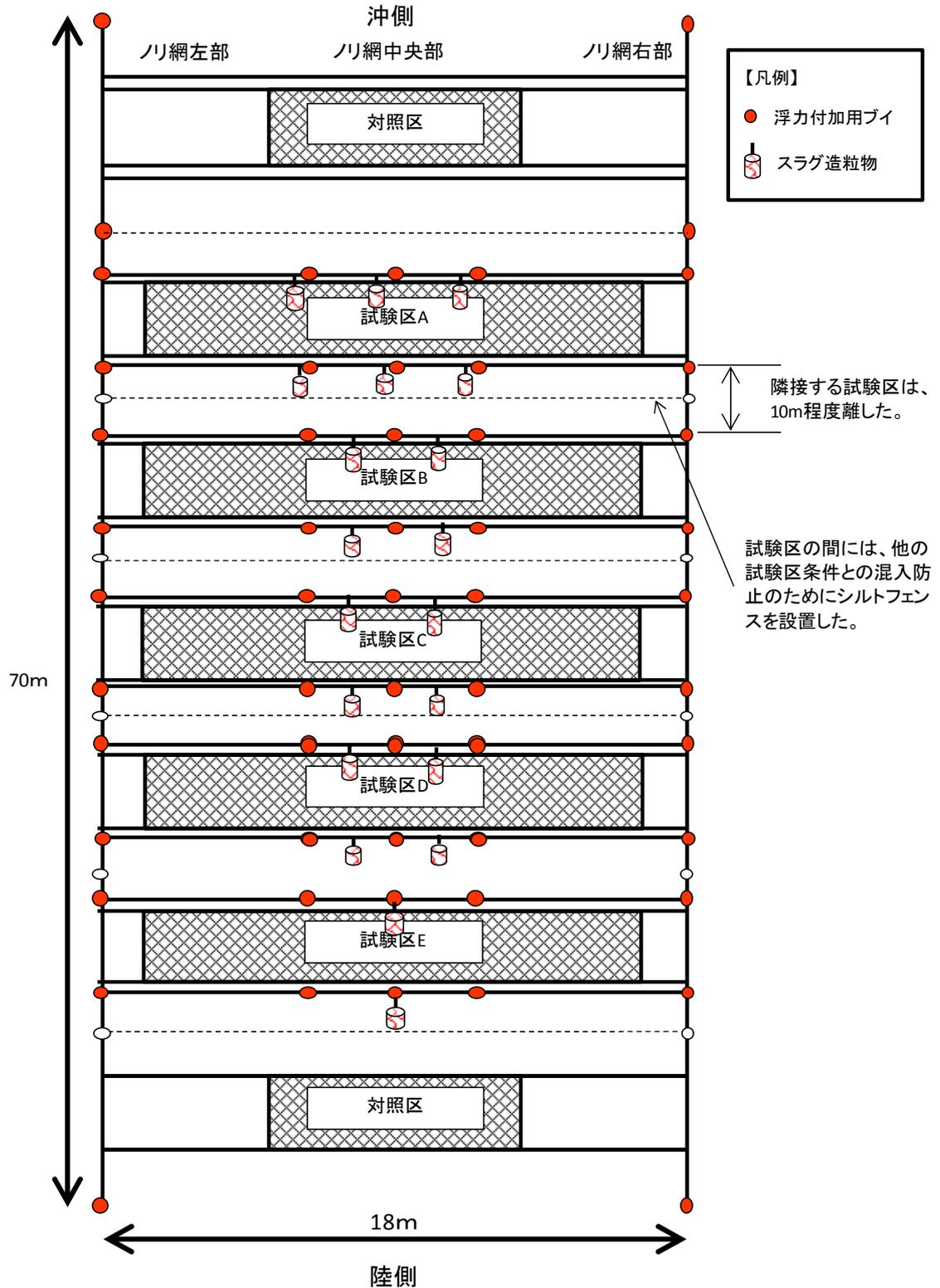
各試験区、対照区は、沖側から対照区沖側(スラグ造粒物未設置)試験区 A (375kg)、試験区 B、C (250kg)、試験区 D (色落ち発生後設置 250kg)、試験区 E (125kg)、対照区岸側(スラグ造粒物未設置)の順で設置した(図 5-10)。

スラグ造粒物の設置方法は、3.5~10.5 kg/袋程度となるように小分けし、ノリ網の脇に設置した配置用にロープに吊るした(図 5-12)。

各試験区で試験条件が異なることから、スラグ造粒物の影響の制御のため試験区の境界にシルトフェンスを設置した(図 5-13)。



図 5-9 西鳥取漁協管理区域と試験区設置位置図



	A(375kg)	B(250kg)	C(250kg)	D(250kg)	E(125kg)
1袋の重量	10.5kg	7.0kg	7.0kg	7.0kg	3.5kg
設置個数	36個	36個	36個	36個	36個

図 5-10 試験区と対照区の配置位置図



図 5-11 左：造粒物設置作業状況，右：ノリ網状況

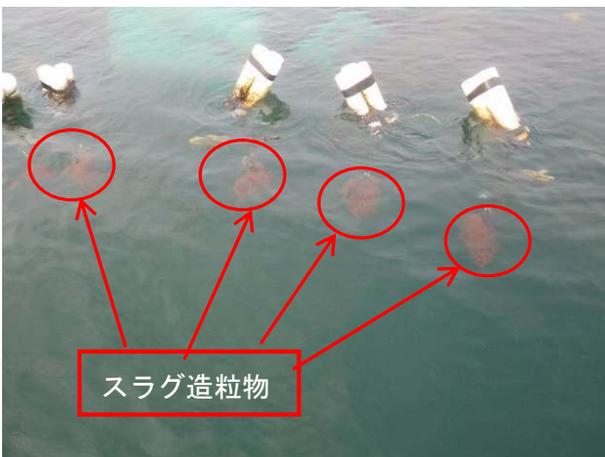


図 5-12 左：スラグ造粒物設置状況，右：スラグ造粒物設置状況（水中）

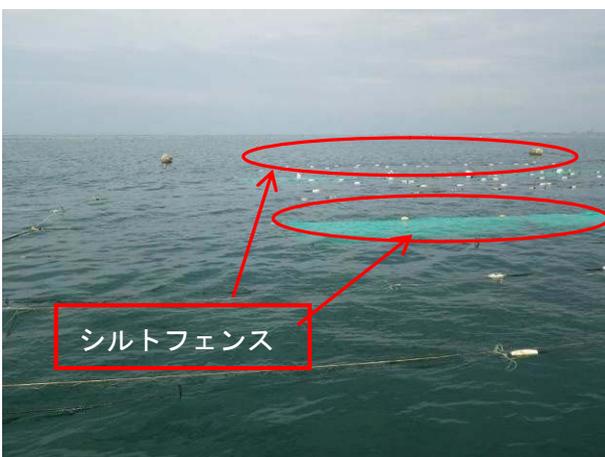


図 5-13 左：シルトフェンス設置状況，右：ノリ網状況（試験開始時）

5.7 室内試験による補足データの取得

現地海域での実証試験に加えて、現地データの補完のために室内試験を行った。室内試験では、現地試験と同じスラグ造粒物(φ30)を用いて、水質環境やノリに与える影響を検証した。

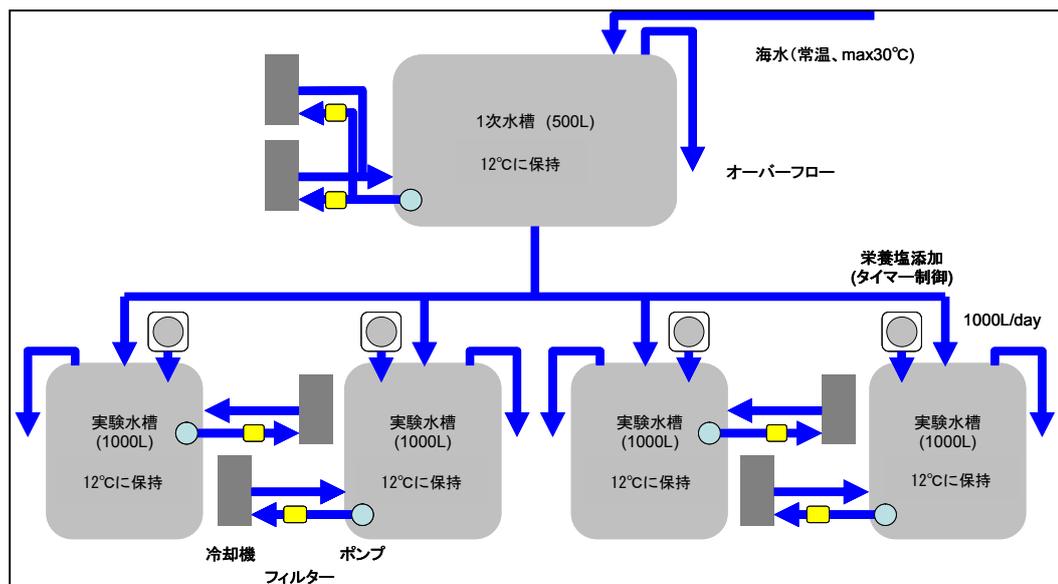
室内試験の実施場所は、広島県立総合技術研究所水産海洋技術センターであり、試験は、日新製鋼株式会社が実施した。

室内試験の条件と方法を表 5-7 に示す。

室内試験の結果については、「6.2 スラグ造粒物の及ぼす影響について」に現地試験結果と併せて記載した。

表 5-7 室内試験の条件及び方法

設置 サンプル	①φ30 スラグ造粒物(設置量 100kg) ②φ30 造粒物(設置量 50kg) ③転炉スラグ(0~25mm、設置量 100kg) ④海水のみ(サンプルなし) ⇒ネット袋(400 ^W ×800 ^H mm)10枚に分割して封入して吊り下げ
水槽	ろ過海水 1000L (かけ流し流量: 1000L/day)
リ設置量	1水槽当たりリ網1目分(リ網から十字型に採取)×20本
試験期間	2015/1/6~2/3 (28日間)
水温	12°Cに保持
栄養塩	①硫酸[(NH ₄) ₂ SO ₄] ②過リン酸石灰[Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ・H ₂ OとCaSO ₄ の混合材] ③微量元素肥料(Mn、Zn、Cu) 〈初期条件〉: DIN: 300ppb、PO ₄ -P: 30ppb、 Mn: 0.23 μg/L、Zn: 0.05 μg/L、Cu: 0.002 μg/L 〈試験開始後〉: 6時間毎に初期濃度の1/4量を各水槽に添加
調査項目	①リ網の湿重量 ②海水pH ③海水の分析(Fe、NH ₄ -N、NO ₂ -N、NO ₃ -N、PO ₄ -P)



6. 実証試験の結果と考察

6.1 ノリの生育環境について

試験期間中のノリの生育環境を把握するために、対照区沖側、岸側および試験区縦断方向の中央部に自記式水温塩分計、自記式クロロフィル濁度計を設置し、観測した。なお、気温と降水量の気象データも併せて、整理した(図 6-1)。

調査期間中の気温は、概ね 5℃～10℃の間で推移し、最低 0.3℃、最高で 15.7℃となった(図 6-1)。なお期間中に、5mm 以上の降水(10 分間の値)があったのは、1/9、2/3、2/5、2/21 である(図 6-1)。

調査期間中の水温は、ノリの好適温度である 10～14℃の範囲に近かった(図 6-2)。水温について、試験区と対照区の間に大きな差はみられなかった。

次に、塩分は 30 前後(-)で推移した(図 6-3)。塩分についても、試験区と対照区の間に大きな差はみられなかった。

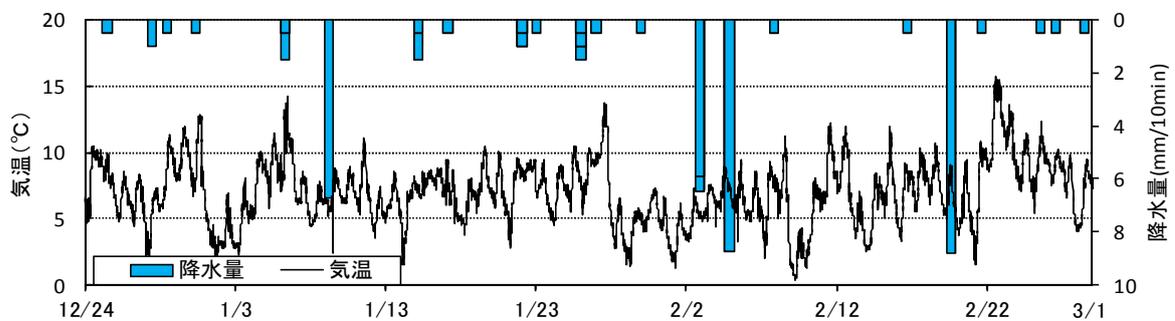


図 6-1 試験期間中の気温と降水量

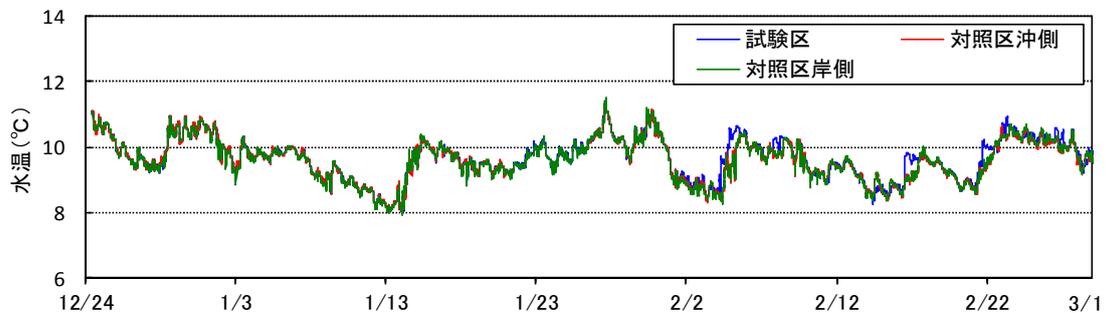


図 6-2 試験期間中の水温

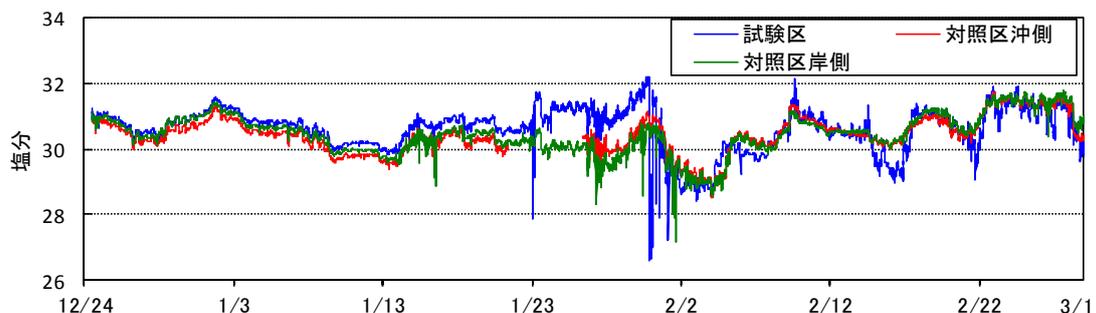


図 6-3 試験期間中の塩分

クロロフィル a は、1月上旬～中旬、2月上旬～中旬に比較的高い値を示した(図 6-4)。この時期は、現地にて赤潮傾向であったことが観察されている。クロロフィル a は、岸側に比べて、僅かに沖側で高い傾向がみられるものの、試験区と大きな差は無い。

濁度は、イベント的に 30 (FTU) 前後まで上昇するものの、概ね 10 (-) 未満で推移した(図 6-5)。

光環境は、調査日毎に鉛直計測しているデータから、ノリの生育環境として水面下 0.4m 層のデータを抽出した(図 6-6)。ノリに必要な光量子量は、 $168\sim 336 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (10,000～20,000Lux を光量子量換算) といわれており、その値を下回る調査日もあるものの、概ねの調査日でそれと同等か高い光環境であった。光環境については、瞬間値の値を評価している点もあり、調査回のバラツキも大きいですが、総じて試験区内と対照区に差はみられなかった。

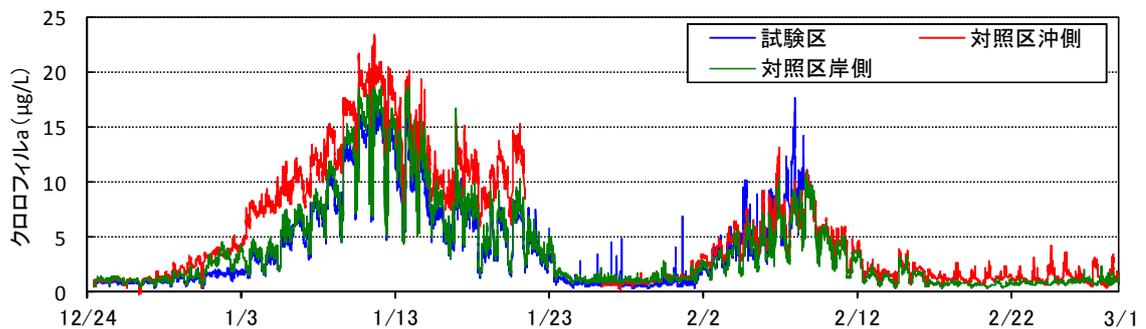


図 6-4 試験期間中のクロロフィル a 濃度

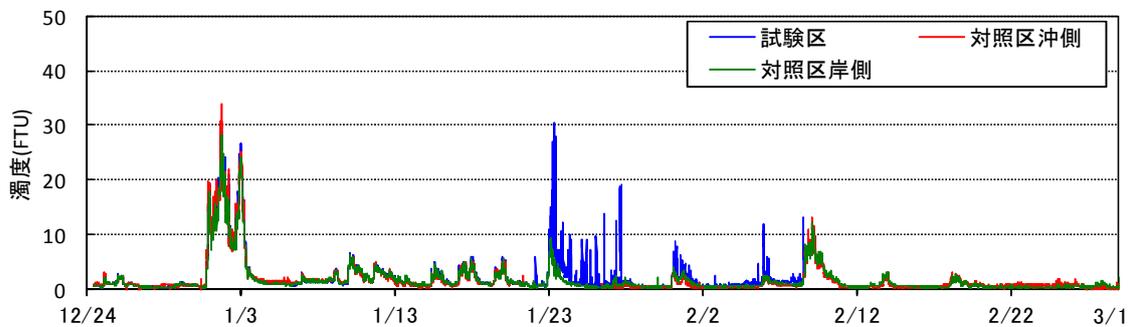


図 6-5 試験期間中の濁度

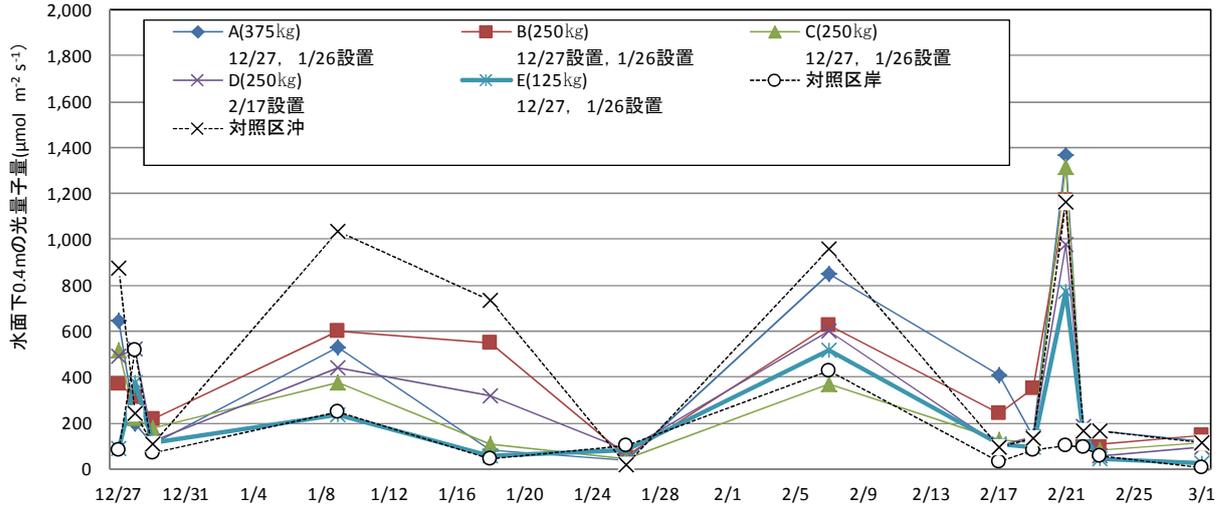


図 6-6 光量子測定結果（水面下 0.4m 層）

表 6-1 光量子測定結果一覧（水面下 0.4m 層）

	12/27	12/28	12/29	1/9	1/18	1/26	2/7	2/17	2/19	2/21	2/22	2/23	3/1
A(375kg)	646	195	111	531	85	39	852	411	137	1,367	112	166	121
B(250kg)	370	310	215	603	546	56	627	239	353	1,169	116	110	148
C(250kg)	517	226	176	378	108	45	371	124	118	1,314	125	81	117
D(250kg)	490	523	120	439	321	80	599	104	142	975	185	56	95
E(125kg)	86	380	116	236	54	80	519	105	94	772	146	43	23
対照区岸	85	515	71	252	42	101	427	30	84	103	96	54	8
対照区沖	874	245	107	1,036	735	16	956	97	134	1,160	164	167	114

アンモニア態窒素は、調査開始から 1/26 まで 0.05~0.10mg/L の値を推移し、2/7 から 2/17 の期間は 0.05 mg/L 未満となり、2/19 には一時的に 0.1 mg/L 前後となるが、2/21 以降は再度 0.05 mg/L 未満となった（図 6-7）。

亜硝酸態窒素と硝酸態窒素については、試験開始時は 0.15mg/L 以上の濃度であったが、1 月以降大きく低下し、定量下限値以下（N. D. と表記）であった調査日も多かった（図 6-8, 図 6-9）。

リン酸態リンについても亜硝酸・硝酸態窒素と同様に試験開始時から 1 月にかけて低下する一方で、2/22 と 2/23 に増加した傾向がみられた（図 6-10）。

以上のことから、水温・塩分や光環境、および栄養塩類等に関して、試験区と対照区に大きな差は無く、ノリの生育環境に地点間の影響は無いと考えられる。

なお、各調査日における水質鉛直分布計測結果は、付録 5. 試験結果(参考データ)に示す。

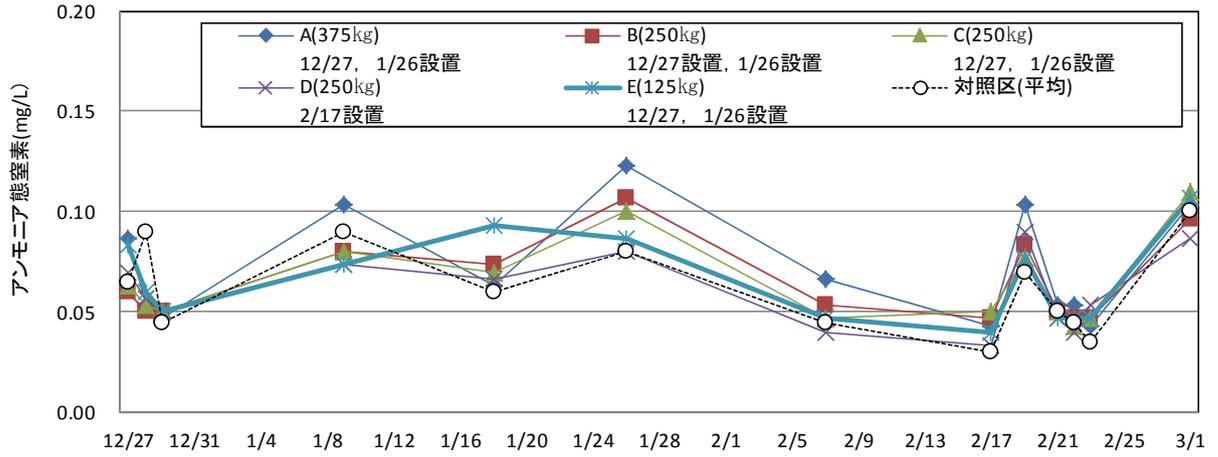


図 6-7 海域のアンモニア態窒素の変化（水面下 0.5m 層 平均値）

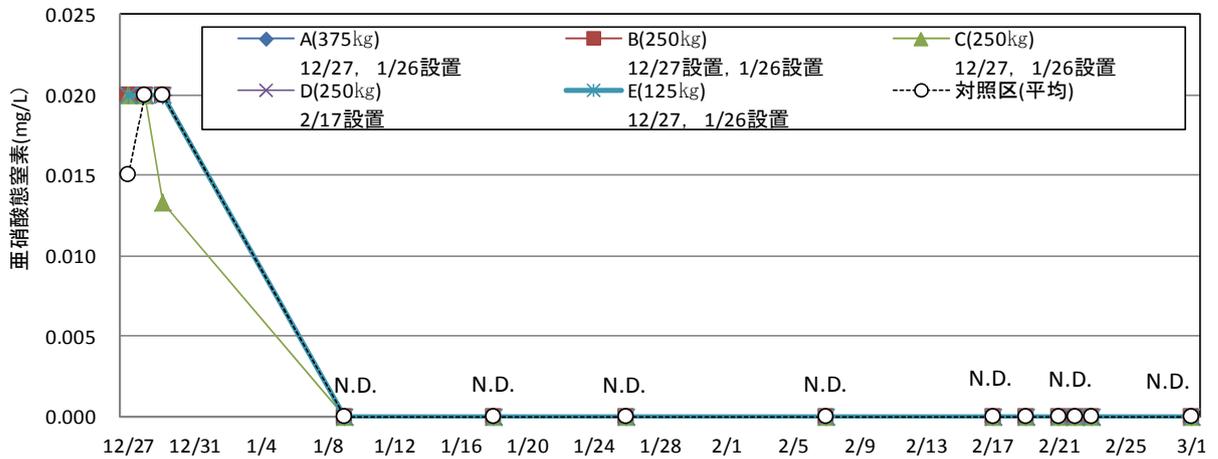


図 6-8 海域の亜硝酸態窒素の変化（水面下 0.5m 層 平均値）

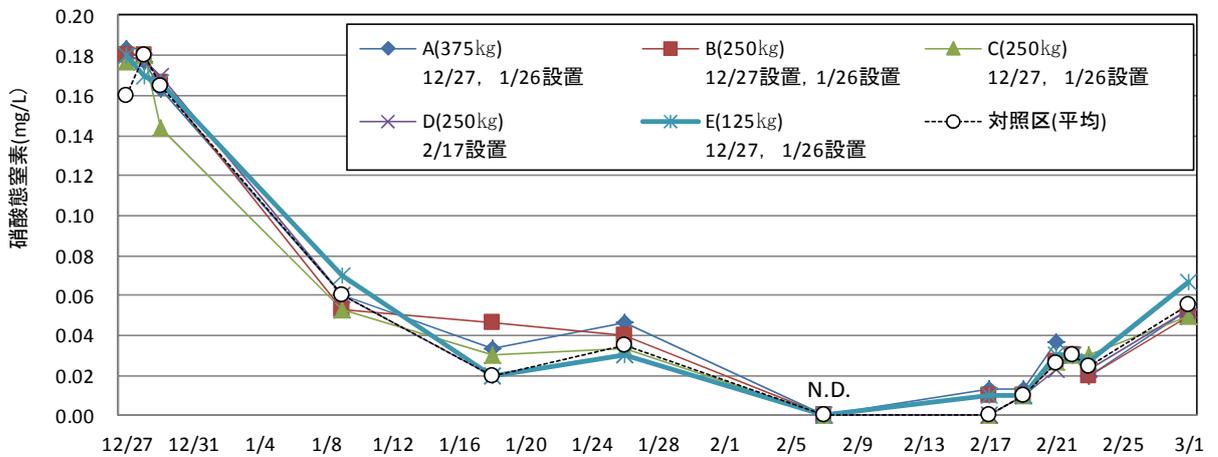


図 6-9 海域の硝酸態窒素の変化（水面下 0.5m 層 平均値）

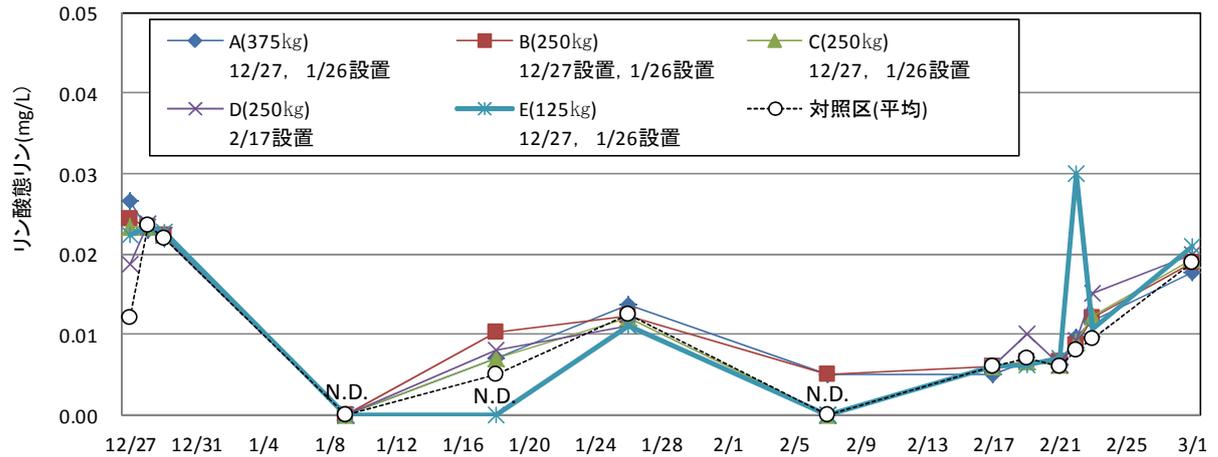


図 6-10 海域のリン酸態リンの変化（水面下 0.5m 層 平均値）

表 6-2 海域の栄養塩分析結果一覧（その 1）

NH ₄ -N (mg/L)													
	12/27	12/28	12/29	1/9	1/18	1/26	2/7	2/17	2/19	2/21	2/22	2/23	3/1
A(ノリ網左部)	0.11	0.06	0.06	0.11	0.06	0.14	0.08	0.04	0.10	0.05	0.06	0.05	0.11
A(ノリ網中央部)	0.07	0.05	0.04	0.10	0.06	0.11	0.07	0.04	0.10	0.05	0.05	0.04	0.11
A(ノリ網右部)	0.08	0.05	0.04	0.10	0.07	0.12	0.05	0.05	0.11	0.06	0.05	0.04	0.09
B(ノリ網左部)	0.06	0.05	0.05	0.09	0.08	0.12	0.05	0.05	0.09	0.05	0.05	0.05	0.09
B(ノリ網中央部)	0.06	0.05	0.05	0.08	0.07	0.10	0.06	0.05	0.08	0.05	0.04	0.04	0.10
B(ノリ網右部)	0.06	0.05	0.05	0.07	0.07	0.10	0.05	0.04	0.08	0.05	0.05	0.05	0.10
C(ノリ網左部)	0.06	0.06	0.05	0.08	0.07	0.11	0.05	0.05	0.08	0.05	0.04	0.04	0.12
C(ノリ網中央部)	0.07	0.05	0.05	0.08	0.07	0.10	0.06	0.05	0.07	0.05	0.04	0.05	0.11
C(ノリ網右部)	0.06	0.05	0.05	0.08	0.07	0.09	0.03	0.05	0.08	0.05	0.05	0.05	0.10
D(ノリ網左部)	0.06	0.05	0.05	0.07	0.07	0.09	0.04	0.04	0.07	0.05	0.04	0.04	0.09
D(ノリ網中央部)	0.07	0.06	0.05	0.08	0.05	0.08	0.04	0.03	0.13	0.05	0.04	0.05	0.09
D(ノリ網右部)	0.08	0.06	0.05	0.07	0.08	0.07	0.04	0.03	0.07	0.04	0.04	0.07	0.08
E(ノリ網左部)	0.09	0.06	0.05	0.07	0.11	0.08	0.04	0.04	0.09	0.05	0.04	0.04	0.12
E(ノリ網中央部)	0.08	0.06	0.05	0.07	0.10	0.09	0.05	0.04	0.07	0.04	0.06	0.06	0.10
E(ノリ網右部)	0.08	0.06	0.05	0.08	0.07	0.09	0.05	0.04	0.07	0.05	0.04	0.04	0.10
対照区沖	0.06	0.06	0.04	0.05	0.05	0.07	0.03	0.03	0.07	0.05	0.05	0.04	0.11
対照区岸	0.07	0.12	0.05	0.13	0.07	0.09	0.06	0.03	0.07	0.05	0.04	0.03	0.09

NO ₂ -N (mg/L)													
	12/27	12/28	12/29	1/9	1/18	1/26	2/7	2/17	2/19	2/21	2/22	2/23	3/1
A(ノリ網左部)	0.02	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A(ノリ網中央部)	0.02	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A(ノリ網右部)	0.02	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B(ノリ網左部)	0.02	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B(ノリ網中央部)	0.02	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B(ノリ網右部)	0.02	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
C(ノリ網左部)	0.02	0.02	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
C(ノリ網中央部)	0.02	0.02	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
C(ノリ網右部)	0.02	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
D(ノリ網左部)	0.02	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
D(ノリ網中央部)	0.02	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
D(ノリ網右部)	0.02	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
E(ノリ網左部)	0.02	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
E(ノリ網中央部)	0.02	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
E(ノリ網右部)	0.02	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
対照区沖	0.02	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
対照区岸	0.01	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

表 6-3 海域の栄養塩分析結果一覧(その2)

NO ₃ -N (mg/L)													
	12/27	12/28	12/29	1/9	1/18	1/26	2/7	2/17	2/19	2/21	2/22	2/23	3/1
A(ノリ網左部)	0.19	0.18	0.17	0.07	0.05	0.05	ND	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.06
A(ノリ網中央部)	0.18	0.18	0.16	0.05	0.03	0.04	ND	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.05
A(ノリ網右部)	0.18	0.17	0.16	0.06	0.02	0.05	ND	0.01	0.01	0.05	0.03	0.02	0.05
B(ノリ網左部)	0.18	0.18	0.17	0.05	0.04	0.04	ND	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.05
B(ノリ網中央部)	0.18	0.18	0.17	0.05	0.05	0.04	ND	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.05
B(ノリ網右部)	0.18	0.18	0.16	0.06	0.05	0.04	ND	ND	0.01	0.03	0.03	0.02	0.05
C(ノリ網左部)	0.18	0.18	0.13	0.05	0.02	0.04	ND	ND	0.01	0.02	0.03	0.03	0.05
C(ノリ網中央部)	0.17	0.18	0.13	0.05	0.02	0.03	ND	ND	0.01	0.03	0.03	0.03	0.05
C(ノリ網右部)	0.18	0.18	0.17	0.06	0.05	0.03	ND	ND	0.01	0.03	0.03	0.03	0.05
D(ノリ網左部)	0.18	0.17	0.17	0.06	0.02	0.03	ND	ND	0.01	0.03	0.03	0.02	0.06
D(ノリ網中央部)	0.18	0.18	0.17	0.06	0.02	0.03	ND	ND	0.01	0.02	0.03	0.02	0.05
D(ノリ網右部)	0.18	0.18	0.17	0.06	0.02	0.03	ND	ND	0.01	0.02	0.03	0.03	0.05
E(ノリ網左部)	0.18	0.17	0.16	0.07	0.02	0.03	ND	ND	0.01	0.03	0.03	0.03	0.07
E(ノリ網中央部)	0.18	0.17	0.17	0.07	0.02	0.03	ND	ND	0.01	0.03	0.03	0.02	0.07
E(ノリ網右部)	0.18	0.17	0.17	0.07	0.02	0.03	ND	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.06
対照区沖	0.17	0.17	0.16	0.05	0.02	0.04	ND	ND	0.01	0.03	0.03	0.03	0.07
対照区岸	0.15	0.19	0.17	0.07	0.02	0.03	ND	ND	0.01	0.02	0.03	0.02	0.04

PO ₄ -P (mg/L)													
	12/27	12/28	12/29	1/9	1/18	1/26	2/7	2/17	2/19	2/21	2/22	2/23	3/1
A(ノリ網左部)	0.027	0.023	0.023	ND	0.009	0.014	ND	0.005	0.007	0.006	0.010	0.012	0.017
A(ノリ網中央部)	0.026	0.023	0.021	ND	0.007	0.012	0.005	0.005	0.006	0.006	0.010	0.012	0.018
A(ノリ網右部)	0.027	0.023	0.022	ND	0.005	0.015	ND	0.005	0.007	0.007	0.009	0.011	0.018
B(ノリ網左部)	0.025	0.024	0.022	ND	0.008	0.012	ND	0.006	0.007	0.007	0.009	0.013	0.018
B(ノリ網中央部)	0.024	0.023	0.023	ND	0.012	0.013	0.005	0.006	0.007	0.006	0.009	0.011	0.019
B(ノリ網右部)	0.024	0.023	0.022	ND	0.011	0.012	ND	0.006	0.006	0.007	0.008	0.012	0.020
C(ノリ網左部)	0.024	0.023	0.022	ND	ND	0.013	ND	0.006	0.006	0.006	0.009	0.011	0.019
C(ノリ網中央部)	0.023	0.024	0.023	ND	0.005	0.011	ND	0.006	0.007	0.006	0.008	0.012	0.020
C(ノリ網右部)	0.023	0.023	0.022	ND	0.009	0.012	ND	0.006	0.007	0.007	0.010	0.014	0.019
D(ノリ網左部)	0.024	0.023	0.022	ND	ND	0.011	ND	0.006	0.005	0.006	0.010	0.010	0.021
D(ノリ網中央部)	0.008	0.024	0.022	ND	0.008	0.011	ND	0.006	0.018	0.007	0.009	0.016	0.020
D(ノリ網右部)	0.024	0.024	0.023	ND	ND	0.011	ND	0.006	0.007	0.006	0.009	0.019	0.019
E(ノリ網左部)	0.021	0.023	0.022	ND	ND	0.011	ND	0.005	0.006	0.006	0.010	0.009	0.021
E(ノリ網中央部)	0.023	0.024	0.023	ND	ND	0.011	ND	0.006	0.007	0.007	0.010	0.012	0.021
E(ノリ網右部)	0.023	0.023	0.023	ND	ND	0.011	ND	0.007	0.006	0.008	0.010	0.011	0.021
対照区沖	0.005	0.023	0.022	ND	0.005	0.014	ND	0.006	0.008	0.006	0.009	0.012	0.021
対照区岸	0.019	0.024	0.022	ND	ND	0.011	ND	0.006	0.006	0.006	0.007	0.007	0.017

6.2 スラグ造粒物の及ぼす影響について

6.2.1 水質環境への影響 (pH)

スラグ造粒物が水質に及ぼす影響を確認するために、pHの挙動について現地海域での確認と、室内試験による確認を行った。一般的なスラグは、水中に設置すると、pHの上昇等が生じることが知られている。室内試験では、転炉系製鋼スラグ(以下、転炉スラグと表記)と、本技術のスラグ造粒物を添加した際の海水のpH変化について確認した。

現地海域のpHの測定結果を図6-11に示す。pHは、試験開始から終了まで8.0~8.5の間を推移し、pH8.5以上なることは無かった(図6-11)。さらに、試験区内のpHは対照区のpHと同じ挙動であり、スラグ造粒物を設置することによる環境への影響は認められない。

なお、pHの室内試験による確認でも、転炉スラグは試験開始直後にpHが上昇したが、スラグ造粒物は設置量に関わらずpHの上昇はみられなかった(図6-12)。

以上のことから、本技術のスラグ造粒物は、海域環境へ悪影響となるpHの急激な上昇は認められない点を確認した。

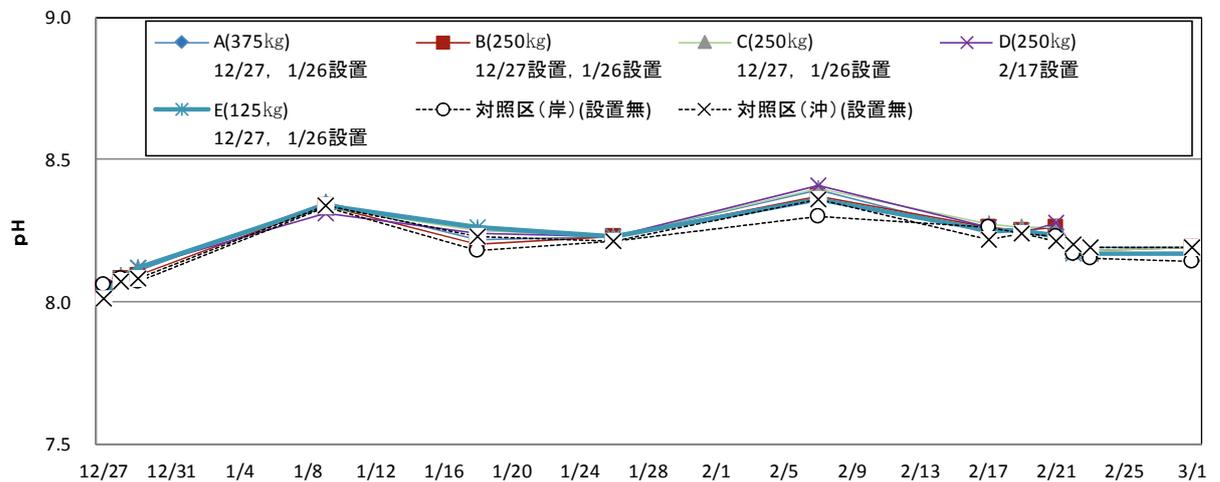


図 6-11 海域の pH の変化 (水面下 0.5m 層)

表 6-4 海域の pH 測定結果一覧

	12/27	12/28	12/29	1/9	1/18	1/26	2/7	2/17	2/19	2/21	2/22	2/23	3/1
A(375kg)	8.06	8.08	8.11	8.35	8.22	8.23	8.39	8.24	8.25	8.24	8.19	8.19	8.19
B(250kg)	8.05	8.08	8.09	8.34	8.20	8.23	8.37	8.26	8.25	8.26	8.19	8.18	8.19
C(250kg)	8.05	8.09	8.12	8.33	8.25	8.23	8.40	8.27	8.26	8.26	8.18	8.18	8.19
D(250kg)	8.05	8.08	8.12	8.31	8.24	8.23	8.41	8.26	8.24	8.28	8.19	8.17	8.17
E(125kg)	8.02	8.08	8.12	8.34	8.26	8.23	8.36	8.25	8.25	8.23	8.17	8.17	8.17
対照区岸	8.06	8.08	8.07	8.33	8.18	8.21	8.30	8.26	8.24	8.23	8.17	8.15	8.14
対照区沖	8.01	8.07	8.08	8.34	8.23	8.21	8.36	8.22	8.24	8.21	8.20	8.19	8.19

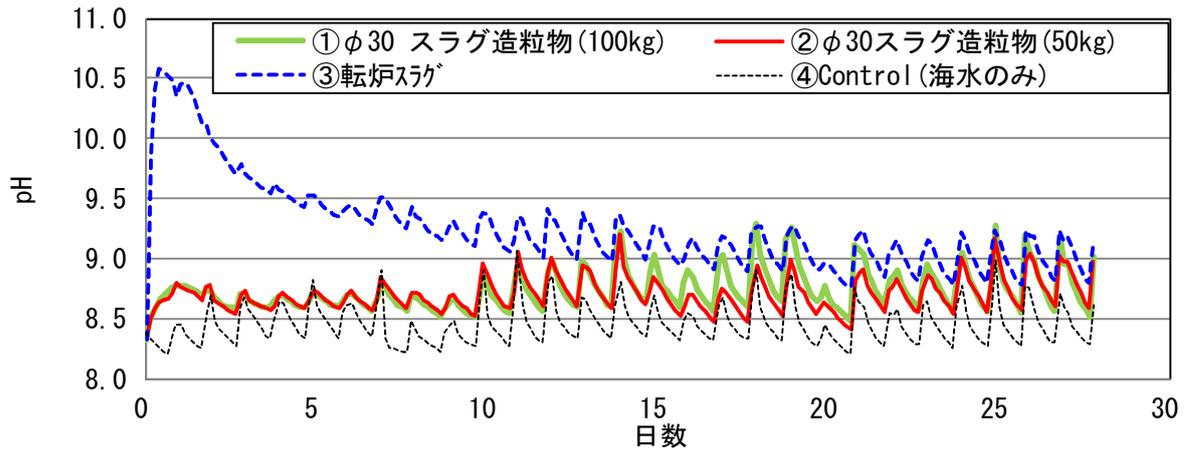


図 6-12 室内試験における pH の変化

6.2.2 Fe の溶出効果について

スラグ造粒物からの Fe 溶出の効果についても、現地海域と室内試験にて確認した。

Fe は、12/27 と 1/26、2/17 のスラグ造粒物設置直後に、急激な上昇はみられなかった(図 6-13)。なお、1/26 に試験区 D で 0.57mg/L と高い値がみられるが、対照区沖では 12/27 と 1/9 にそれと同等以上の値が検出されており、本海域の Fe 挙動の変動の範囲内と考えられる。

次に、室内試験の結果を図 6-14 に示す。室内試験での Fe 濃度は、海水のみの試験区と転炉スラグの試験区で定量下限値以下であるのに対し、スラグ造粒物を入れた試験区では、試験開始直後に①(100kg)で 0.4mg/L となり、1 日目に 0.36mg/L、3 日目以降は 0.07mg/L 未満となった(図 6-14)。②(50kg)の Fe 濃度についても、試験開始直後は 0.2mg/L であり、1 日目に 0.18mg/L、3 日目以降は 0.04mg/L 未満であった。

室内試験でスラグ造粒物からの Fe 溶出を確認できたのに対し、海域では Fe 溶出を確認できなかった要因として、海域では拡散の影響もあり微量な溶出を検出できなかったと考えられる。

以上のことから、本技術のスラグ造粒物は海域で検出される濃度とはならないものの、Fe が溶出される点を確認した。

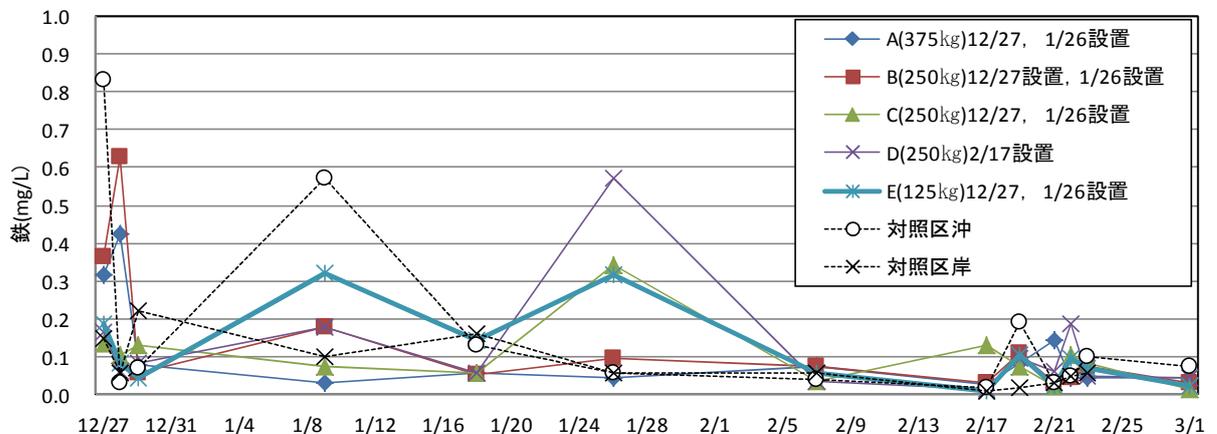


図 6-13 海域の鉄溶出量の変化 (水面下 0.5m 層 平均値)

表 6-5 海域の鉄分析結果一覧

Fe (mg/L)	12/27	12/28	12/29	1/9	1/18	1/26	2/7	2/17	2/19	2/21	2/22	2/23	3/1
A(ノリ網左部)	0.54	0.73	0.04	0.05	0.04	0.05	0.11	0.01	0.04	0.02	0.09	0.09	0.04
A(ノリ網中央部)	0.31	0.12	0.05	0.01	0.06	0.02	0.07	0.02	0.11	0.37	0.02	0.02	0.04
A(ノリ網右部)	0.10	0.42	0.15	0.03	0.07	0.07	0.05	0.05	0.10	0.04	0.03	0.02	0.06
B(ノリ網左部)	0.08	0.85	0.07	0.29	0.05	0.15	0.05	0.01	0.11	0.02	0.03	0.03	0.05
B(ノリ網中央部)	0.92	0.16	0.05	0.07	0.05	0.05	0.12	0.08	0.17	0.05	0.06	0.11	0.02
B(ノリ網右部)	0.09	0.87	0.05	0.17	0.06	0.09	0.05	0.01	0.05	0.02	0.04	0.08	0.02
C(ノリ網左部)	0.11	0.19	0.33	0.06	0.05	0.60	0.04	0.03	0.10	0.02	0.04	0.17	0.03
C(ノリ網中央部)	0.16	0.08	0.02	0.06	0.05	0.09	0.04	ND	0.03	0.02	0.25	0.03	0.01
C(ノリ網右部)	0.14	0.05	0.04	0.11	0.07	0.34	0.03	0.23	0.10	0.03	0.03	0.05	0.01
D(ノリ網左部)	0.14	0.08	0.07	0.05	0.06	0.14	0.02	0.02	0.24	0.02	0.07	0.03	0.02
D(ノリ網中央部)	0.29	0.08	0.04	0.21	0.06	0.58	0.05	ND	0.03	0.09	0.11	0.03	0.01
D(ノリ網右部)	0.07	0.03	0.14	0.28	0.06	0.99	0.04	0.01	0.02	0.08	0.38	0.09	0.10
E(ノリ網左部)	0.20	0.06	0.05	0.12	0.11	0.53	0.07	0.01	0.19	0.04	0.04	0.04	0.02
E(ノリ網中央部)	0.18	0.07	0.04	0.62	0.17	0.04	0.04	ND	0.05	0.01	0.07	0.12	0.03
E(ノリ網右部)	0.18	0.12	0.04	0.22	0.15	0.38	0.06	0.01	0.07	0.02	0.18	0.05	0.02
対照区沖	0.83	0.03	0.07	0.57	0.13	0.06	0.04	0.02	0.19	0.03	0.05	0.10	0.05
対照区岸	0.15	0.06	0.22	0.10	0.16	0.06	0.06	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.10

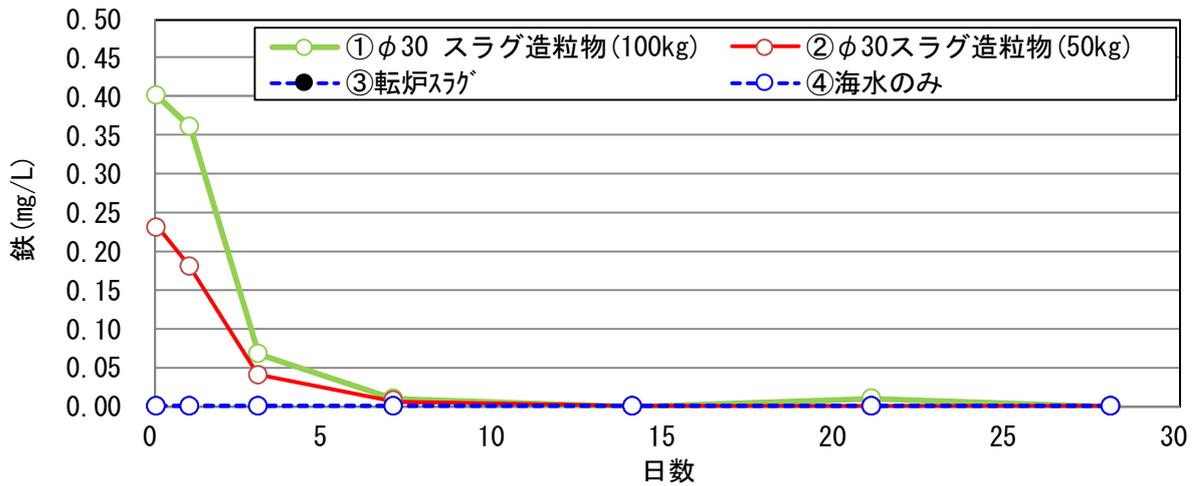


図 6-14 室内試験における Fe 濃度の変化

表 6-6 室内試験での鉄分析結果一覧

経過日数	① φ30 スラグ造粒物(100kg)	② φ30スラグ造粒物(50kg)	③ 転炉スラグ	④ 海水のみ
0	0.40	0.23	N.D.	N.D.
1	0.36	0.18	N.D.	N.D.
3	0.07	0.04	N.D.	N.D.
7	0.01	0.01	N.D.	N.D.
14	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
21	0.01	N.D.	N.D.	N.D.
28	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

6.2.3 ノリの色調への影響

スラグ造粒物がノリの色調に及ぼす影響を確認するために、写真撮影により、色調を比較した。調査期間中に撮影した写真の抜粋を図 6-15、図 6-16 に示す。ここに示していない写真は、付録 4. 写真集を参照されたい。

色落ちの現象は、2/15 に発生したため、2/17 に試験区 D へスラグ造粒物を設置し、ノリの色調が回復するかを確認した。

始めに、本海域のノリの色調の変化を、対照区のノリの色調写真にて示す(図 6-15)。沖側と岸側対照区のノリの色調は、2/7 に比べて 2/17 にノリの色落ちがみられ、3/1 にかけては僅かではあるが色調が戻る傾向にあった(図 6-15)。

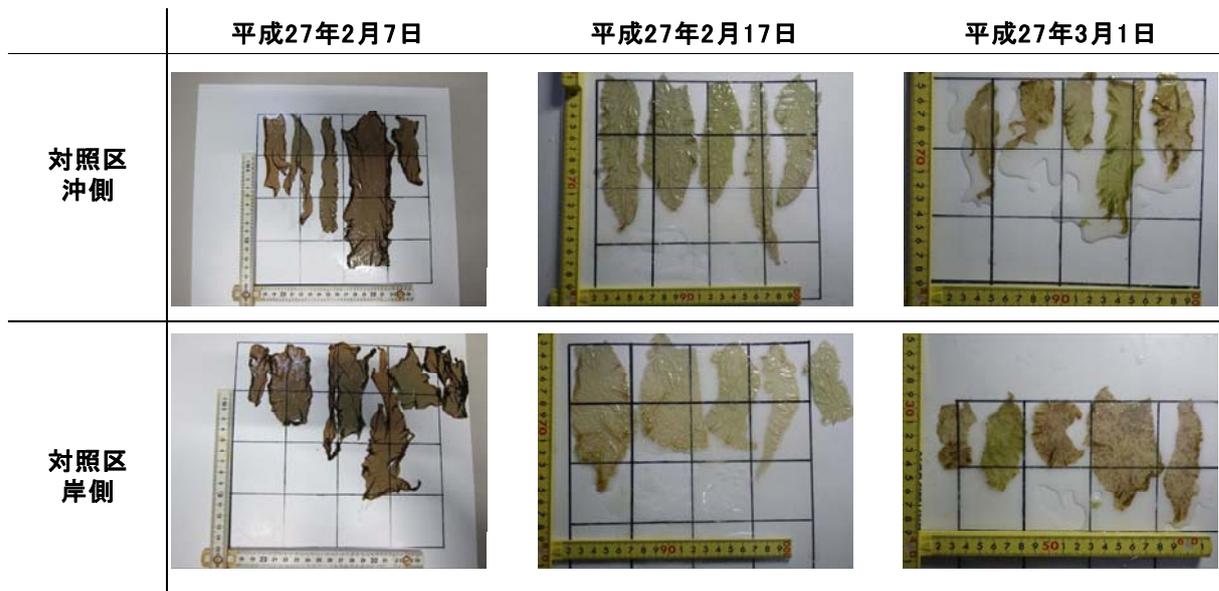


図 6-15 色調の経日変化について

次に、スラグ造粒物によるノリの色調への影響を確認した。試験区も対照区と同様に、2/17 に色落ちが発生した(図 6-16)。色調調査を 3/1 まで行った結果、色落ちが発生した後にスラグ造粒物を設置した試験区 D においても、顕著に色調が戻ることはなく、概ね他の試験区や対照区と同程度の回復具合であった。

色落ちの最も大きな要因は、海域中の栄養塩濃度(N, P)の低下にあるとされている。調査期間中を通じて、比較的濃度を保っていたアンモニア態窒素の挙動は、ノリの色落ち発生直前の 2/7 から 2/17 の期間に 0.05 mg/L 未満となった(図 6-7)。一般的に、海水中の総窒素濃度が、0.05 mg/L 未満となると、ノリの色落ちが著しいとされている²⁾。

これらのことから、スラグ造粒物の Fe 溶出による色落ち抑制の効果よりも、栄養塩の著しい低下というノリの色落ちに最も寄与する要因があったことで、スラグ造粒物による効果を検証できなかったと考えられる。従って、色落ちの抑制・回復効果は今回の試験結果からは不明瞭である。

参考文献 2) 鷲尾佳司・島本信夫・堀 豊・岡本繁好・上田隆敏(2005) 兵庫県における栄養環境の変化とノリ養殖漁業の盛衰. 海洋と生物, 27, 238-245.

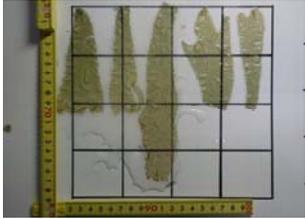
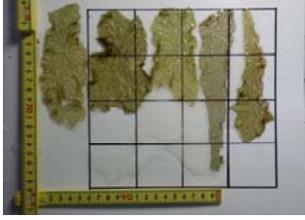
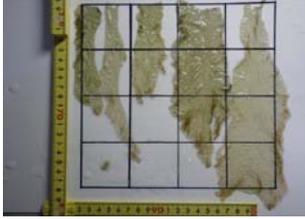
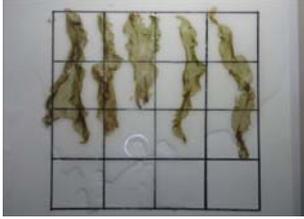
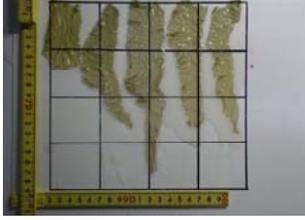
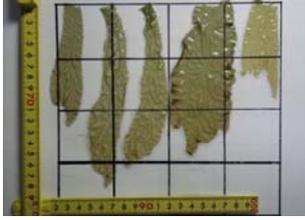
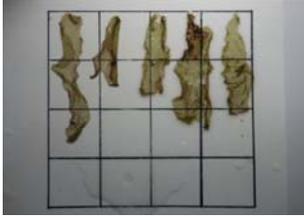
	平成27年2月7日	平成27年2月17日	平成27年3月1日
試験区 A 350kg設置			
試験区 B 250kg設置			
試験区 C 250kg設置			
試験区 D 2/17 250kg 設置			
試験区 E 125kg設置			

図 6-16 試験区のノリ色調の比較



図 6-17 試験海域の色落ち状況(左図：2/17の試験区A, 右図：2/17の対照区沖)

6.2.4 ノリの葉長への影響

スラグ造粒物がノリ葉長の成長に与える影響を確認するために、1日当たりの葉長 (cm/day) を比較した。なお、12月の調査は、試験開始時のノリの生育が十分ではなく、根元から5cmの葉長を確保できなかった。そのため、1/9の調査回からの試験結果を示す。また、1/18から1/26の期間についても、中間刈り取りにより根元から5cmの葉長を確保できなかったため、期間を空けて試験を行っている。

始めに、全試験期間中の平均葉長の比較を図6-18に示す。試験区A、B、C、Eの葉長は、対照区に比べて、有意に高かった(図6-18)。しかし、試験区Dのみ対照区と差がみられなかった。この要因として、試験区Dは2/17にスラグ造粒物を設置しており、設置時期が関係していると考えられる。

そこで、1/9-1/18、1/26-2/7、2/7-2/17、2/17-3/1のそれぞれの期間に成長したノリの葉長についても、多重比較 (Tukey Test) により、有意差に対する検定を行った。なお、有意差を求める上で棄却率を5%とし、検定した。検定結果を、表6-7～表6-10に示す。

それぞれの期間でも、全ての回ではないものの、対照区に比べてスラグ造粒物を入れた区で有意に高いことが認められた(表6-7～表6-10)。

特に試験区Dについては、スラグ造粒物を設置した2/17以降の葉長が、対照区に比べ有意に高く、本技術の効果が認められた(表6-10)。

全期間と、それぞれの期間での葉長に与えた影響を踏まえ、スラグ造粒物に海藻類の成長促進効果があると認められた。

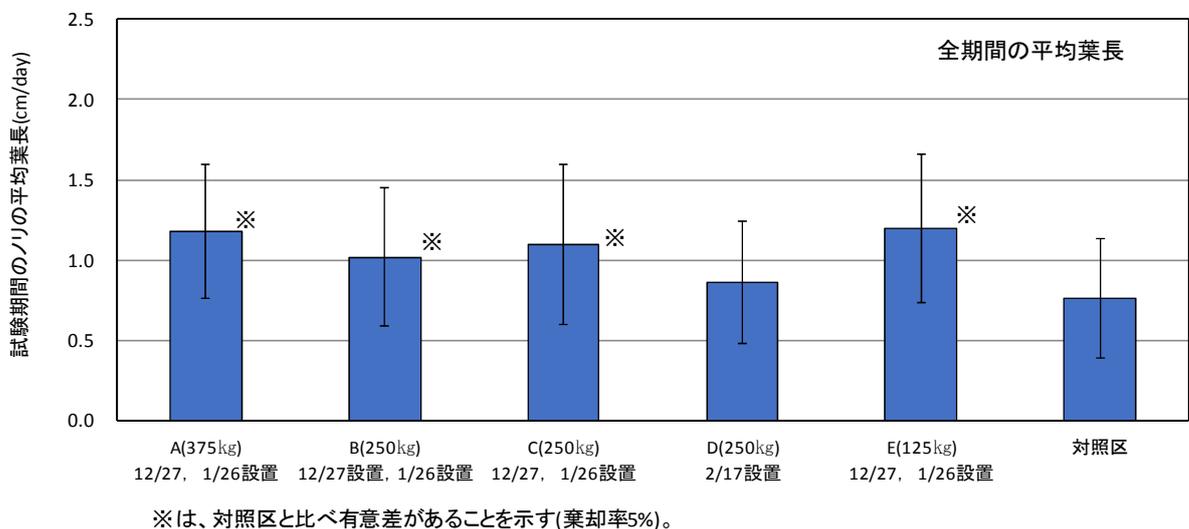


図 6-18 全期間のノリの平均葉長の比較

表 6-7 葉長の有意差検定結果 (1/9-1/18)

1/9-1/18					
	B(250 kg)	C(250 kg)	D(250 kg)	E(125 kg)	対照区
A(375 kg)	0.47**	0.54**	0.85**	-0.13	0.77**
B(250 kg)	-	0.07	0.38**	-0.60**	0.30**
C(250 kg)	-	-	0.31**	-0.67**	0.23**
D(250 kg)	-	-	-	-0.98**	-0.08
E(125 kg)	-	-	-	-	0.90**

$\alpha=0.05$, $q=0.21$, データ間に差があるものを「**」で示す。

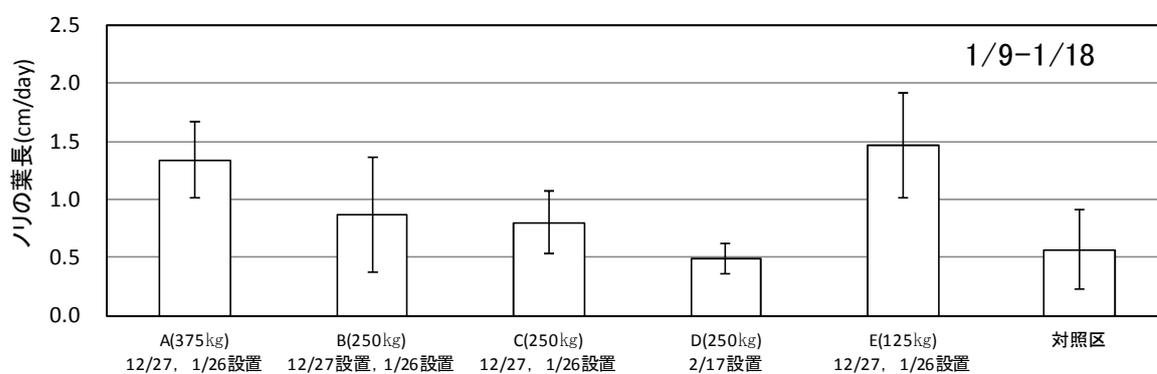


表 6-8 葉長の有意差検定結果 (1/26-2/7)

1/26-2/7					
	B(250 kg)	C(250 kg)	D(250 kg)	E(125 kg)	対照区
A(375 kg)	0.11	0.33**	0.61**	0.53**	0.51**
B(250 kg)	-	0.22	0.50**	0.41**	0.40**
C(250 kg)	-	-	0.28	0.19	0.18
D(250 kg)	-	-	-	-0.09	-0.10
E(125 kg)	-	-	-	-	-0.01

$\alpha=0.05$, $q=0.31$, データ間に差があるものを「**」で示す。

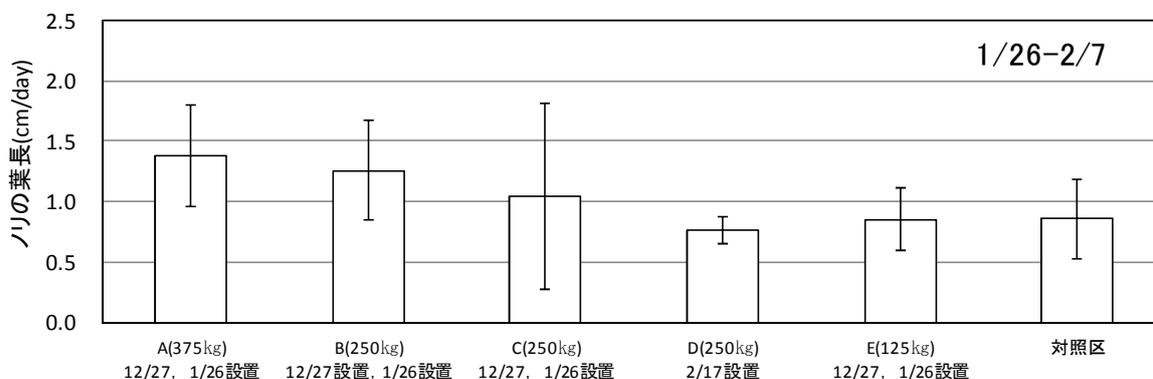


表 6-9 葉長の有意差検定結果 (2/7-2/17)

2/7-2/17					
	B(250 kg)	C(250 kg)	D(250 kg)	E(125 kg)	対照区
A(375 kg)	-0.10	-0.35**	-0.06	-0.13	0.08
B(250 kg)	-	-0.25	0.04	-0.03	0.18
C(250 kg)	-	-	0.29**	0.22	0.43**
D(250 kg)	-	-	-	-0.07	0.14
E(125 kg)	-	-	-	-	0.21

$\alpha=0.05$, $q=0.26$, データ間に差があるものを「**」で示す。

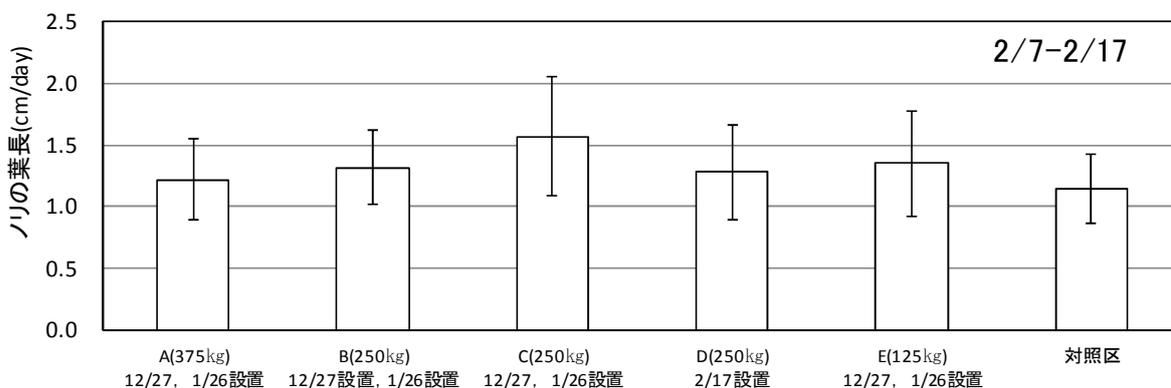
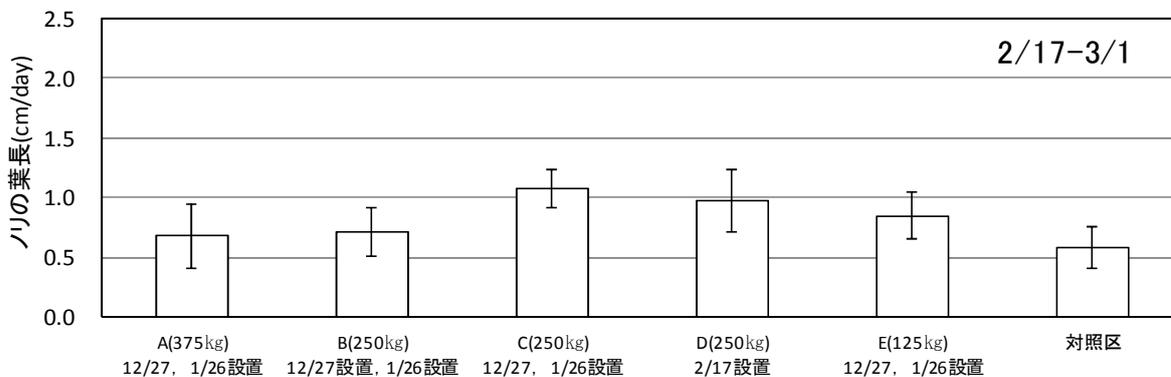


表 6-10 葉長の有意差検定結果 (2/17-3/1)

2/17-3/1					
	B(250 kg)	C(250 kg)	D(250 kg)	E(125 kg)	対照区
A(375 kg)	-0.03	-0.40**	-0.28**	-0.17**	0.10
B(250 kg)	-	-0.38**	-0.26**	-0.14	0.13
C(250 kg)	-	-	0.12	0.23**	0.50**
D(250 kg)	-	-	-	0.12	0.38**
E(125 kg)	-	-	-	-	0.27**

$\alpha=0.05$, $q=0.15$, データ間に差があるものを「**」で示す。



6.2.5 ノリ重量調査結果

スラグ造粒物がノリの重量に与える影響を確認するために、ノリ網から1目を採取し乾燥させ、ノリの乾燥重量（g-dry/目）として比較を行った。

始めに、12/29～3/1にかけて行った調査の積算重量を図 6-19 に示す。対照区（沖・岸）と比べ、スラグ造粒物を設置した試験区の全てが高いという結果は得られなかった。

次に、調査時期の要因について、中間刈り取りを行うまでの12/29～1/18のデータ（図 6-20）と、中間刈り取り後のデータ（図 6-21）に分け、検討した。

ノリの重量は、いずれの期間においても、スラグ造粒物を設置した試験区と対照区との間に明確な差は認められなかった（図 6-20，図 6-21）。差が認められなかった要因としては、養殖方法の特性上、ノリ網の目に吹き付けるノリ胞子を均一付着させることができず、ノリの繁茂にバラツキが生じてしまうことが考えられる。

そこで、スラグ造粒物のノリの重量に及ぼす影響について、室内試験により補完した（図 6-22）。室内試験では、スラグ造粒物と転炉スラグ、海水のみの環境下でノリの重量の変化を調べた。

室内試験でのノリの重量は、試験開始以降、転炉スラグや海水のみの環境下に比べて、スラグ造粒物の入った環境下の方で増加量が多かった。

従って、スラグ造粒物がノリの重量に与える影響は、実海域では確認されなかったものの、室内試験では認められたことから、海藻類の成長促進の効果があると示唆された。

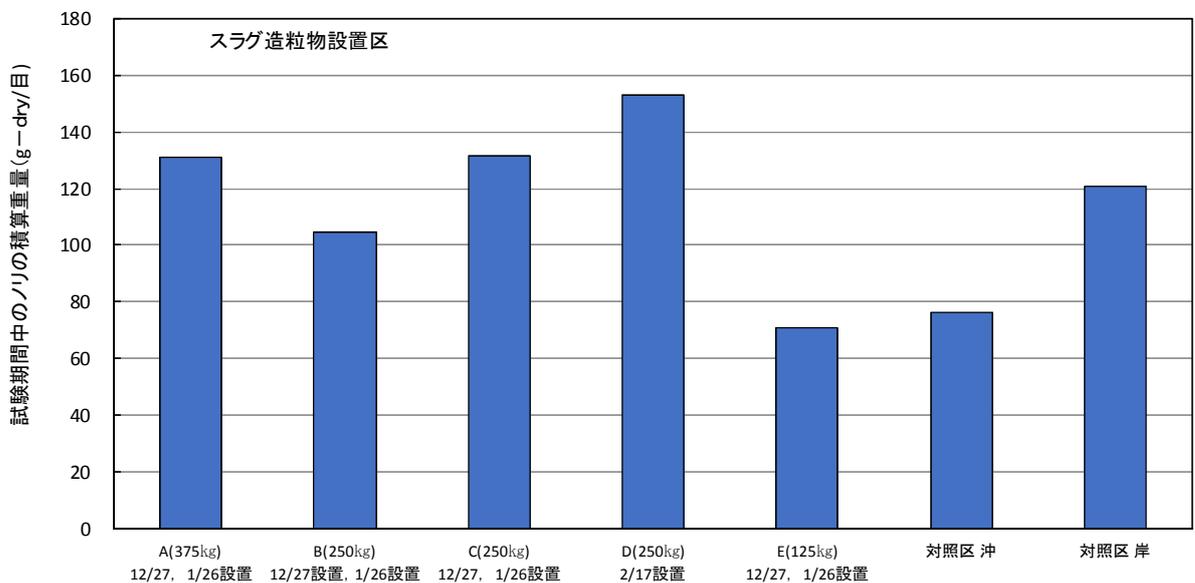


図 6-19 調査期間中の積算重量の比較

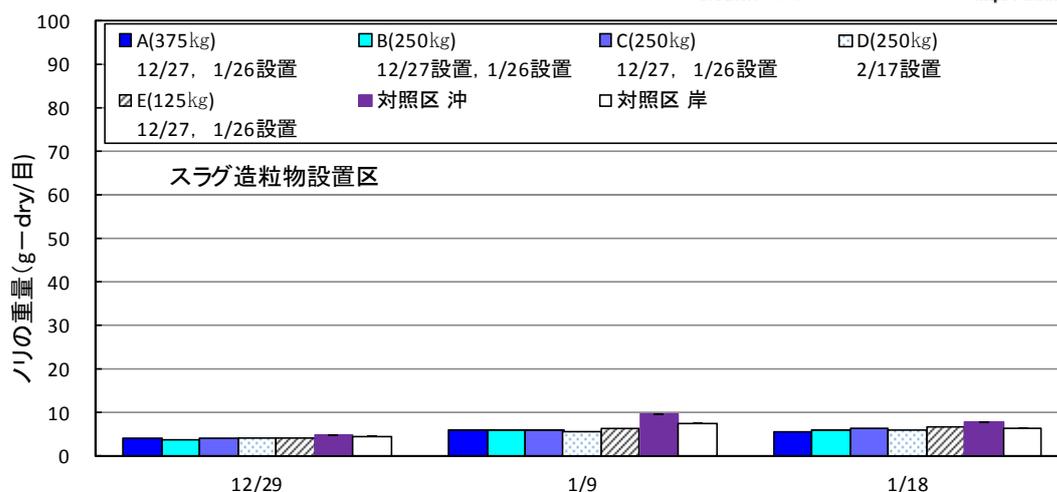


図 6-20 重量の比較 (12/29~1/18)

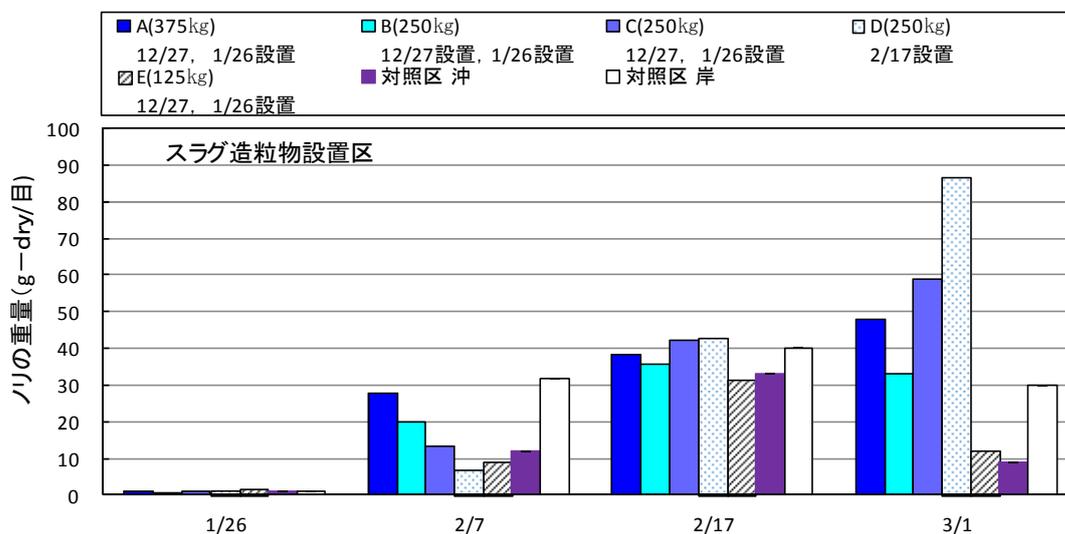


図 6-21 重量の比較 (1/26~3/1)

表 6-11 重量の比較 (12/29~3/1) (単位 : g-dry/目)

	12/29	1/9	1/18	1/26	2/7	2/17	3/1
A(375kg)	4.04	6.00	5.57	1.20	27.62	38.43	48.12
B(250kg)	3.79	5.91	6.01	0.78	19.65	35.54	32.91
C(250kg)	4.10	6.00	6.37	0.98	13.13	42.19	58.70
D(250kg)	3.90	5.66	5.85	1.01	7.06	42.79	86.73
E(125kg)	3.98	6.24	6.81	1.45	9.21	31.21	12.18
対照区 沖	4.76	9.57	7.62	0.99	11.83	32.88	8.80
対照区 岸	4.62	7.55	6.14	0.86	31.81	40.18	29.73

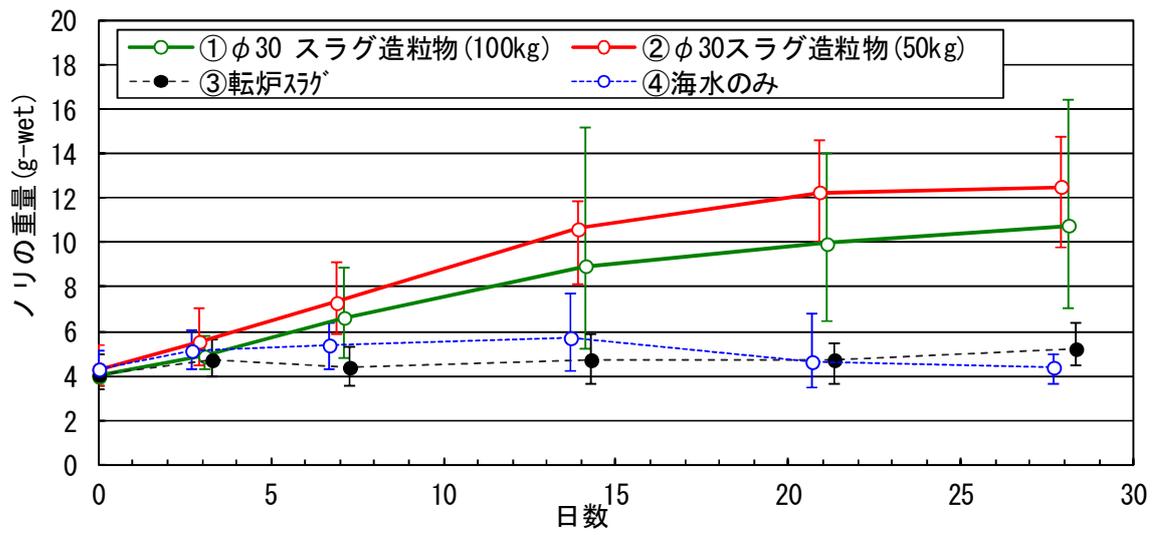


図 6-22 室内試験におけるノリの重量の変化

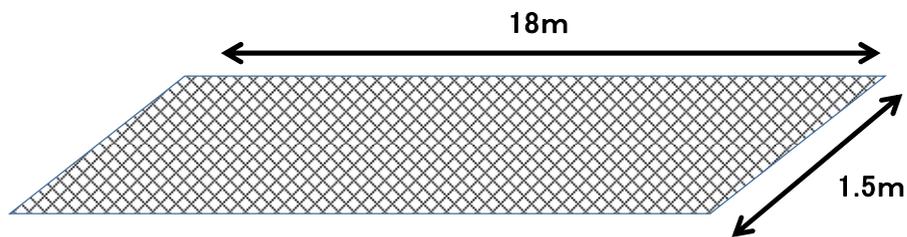
6.3 考察

本技術を導入することで期待される効果と、海域で使用するスラグの適量について検討を試みた。なお、考察では、データを一律に評価するために、1/21 の中間刈り取りを行った後の 1/26 以降の値を用いた。

6.3.1 期待される導入効果

本技術を導入することで期待される効果として、環境負荷の取り上げ効果がある。ここでは、環境負荷の取り上げ効果として、収穫され陸上に上げられるノリに含まれる窒素量を試算した。

本実証試験では、ノリ網の 1 目についたノリの重量と葉長を調査している。この試算では、以下の考えに基づき、試験で得られた結果をノリ網 1 枚へ拡大した。



【ノリ網1枚中の目数の試算】
 ノリ網 横幅(18m) ÷ 間隔(15cm) = 120(本)
 ノリ網 縦幅(1.5√2) ÷ 1目(15cm) = 14.14 ÷ 14(目)
 14(目) × 120(本) × 2 = 3,394(目)
 3,394(目) + 14(目) + 120(目) × 2 = 3,648(目)
 ノリ網1枚中の目数 = 3,648(目)

次に、ノリ網 1 枚当たりの窒素量を試算した。試算の考え方は以下の通りである。

- 【考え方】** (1/26-2/7 を例に計算過程を示す。試算結果は表 6-12 参照)
- ① 「6.2.4 ノリの葉長への影響」に示す成長量(cm/day)の結果を用いた(各試験区・期間毎)。
 - ② ①に 1 目あたりのノリ本数(平均値)を乗じ、1 目あたりの成長量 (cm/目/day) に換算した。
 - ③ 重量調査で得られた各地区の乾燥重量を平均化し、定数 (g-dry/cm) とした。
 - ④ ②に③を乗じ、さらにノリ網 1 枚(3,648 目)あたりの成長重量(g-dry)とした。
 - ⑤ ④に 1 回の収穫までの期間(10 日間)を乗じ、収穫までの期間成長重量(g-dry)を求めた。
 - ⑥ ⑤にノリの窒素含有量(0.65mg/g-dry) を乗じ、ノリ網 1 枚あたりの窒素量を試算した。

表 6-12 ノリ網 1 枚あたりの窒素量の試算

項目	単位	1/26-2/7					
		A(375kg)	B(250kg)	C(250kg)	D(250kg)	E(125kg)	対照区
① 成長量	cm/day	1.38	1.26	1.04	0.76	0.85	0.86
② 1 目あたりの成長量	cm/目/day	31.74	28.98	23.92	17.48	19.55	19.78
③ 平均乾燥重量(定数)	g-dry/cm	0.0053	0.0053	0.0053	0.0053	0.0053	0.0053
④ ノリ網1枚あたりの成長重量	g-dry	617.6	563.9	465.4	340.1	380.4	384.9
⑤ 収穫まで(10日間)の期間成長重量	g-dry	6,175.9	5,638.9	4,654.3	3,401.2	3,804.0	3,848.8
⑥ ノリ網1枚あたりの推定窒素量	g	4.0	3.7	3.0	2.2	2.5	2.5

表 6-12 の試算を 2/7-2/17、2/17-3/1 の期間についても同様に行い、期間の平均窒素量を求めた後、漁場全体(ノリ網 520 枚)の窒素量を算出し、試験海域の漁業サイクルである 1 月上旬から 3 月上旬までの期間中(計 7 回の収穫とした)に取り上げられる窒素量を求めた(表 6-13)。

表 6-13 の試算結果より、対照区に比べて、スラグ造粒物を設置した試験区で漁業期間中の窒素取り上げ量が 1.1kg~2.5kg 高い。さらに、対照区に対しての増加率で見ると、スラグ造粒物を設置した区域は 15~40%程度高い。

従って、本技術を海域に適用することで、上記のように環境改善効果が高くなると考えられる。

表 6-13 試験区ごとの窒素取り上げ量試算結果

項目		A (375 kg)	B (250 kg)	C (250 kg)	D (250 kg)	E (125 kg)	対照区
⑥ ノリ網 1 枚あたりの 推定窒素量(単位 : g)	1/26-2/7	4.01	3.67	3.03	2.21	2.47	2.50
	2/7-2/17	3.55	3.84	4.57	3.72	3.93	3.35
	2/17-3/1	1.98	2.07	3.14	2.82	2.47	1.69
推定窒素量 平均値(単位 : g)		3.18	3.19	3.58	2.92	2.96	2.51
漁場全体の推定窒素固定量(単位 : g)		1,654	1,659	1,861	1,518	1,538	1,306
漁業期間の窒素取り上げ量 (上段 : g, 下段 : kg)		11,577 11.6	11,612 11.6	13,024 13.0	10,624 10.6	10,765 10.8	9,141 9.1
対照区に対する窒素取り上げ増加率		27%	27%	42%	16%	18%	-

6.3.2 スラグの適量に関する検討

海域に設置する適量のスラグについて、6.2.4 ノリの葉長への影響の表 6-7～表 6-10 に示した葉長の多重比較の検定結果をもとに、試験区間のマトリックス表を作成した(表 6-14)。

表 6-14 より、設置量のベースとした 250kg を設置した「C」で全期間、より良い成長であったことが分かった。しかし、同様の条件である「B」は、開始から約 1 カ月は高い葉長であったが、それ以降は対照区と同程度であった。この傾向は、「C」より多くの 375kg を設置した「A」でも同様にみられた。

一方で、ベース量より低く設定した「E」は、試験開始直後は葉長への効果が認められないが、設置した約 2 週間経過後に葉長の増加がみられた。

これらのことから、一概に述べることはできないが、ノリ網 1 枚に対しては、設置量のベースとして考えた 250kg が適量と考えられる。スラグ造粒物を交換する頻度についても、今回の実証試験の結果からは、約 1 カ月程度毎に交換することが望ましい。

なお、今回の実証試験は、実施期間が約 2 カ月間と短いため、本技術を異なる海域にて使用する際は、設置する適量と交換頻度を現地の状況を鑑みて設定していくことが望ましい。

表 6-14 スラグの適量に関する検討

	A(375 kg) 1/26 設置	B(250 kg) 1/26 設置	C(250 kg) 1/26 設置	D(250 kg) 2/17 設置	E(125 kg) 1/26 設置
1/26-2/7	◎	○	○	×	×
2/7-2/17	○	○	◎	○	○
2/17-3/1	×	×	◎	○	○

※対照区より有意に高いものを○、○よりも有意に高いものを◎、対照区と同等かそれ以下を×で表記した

6.3.3 施工性について

本実証試験では、1/3 枚のノリ網(6m×1.5m)に対し、袋詰めしたスラグ造粒物を設置した。12/27 に行った際の設置数と、それに要した隻数・人工、作業時間は表 6-15 に示す通りである。スラグ造粒物の設置に係る労力は大きくは無く、また重労働には至っていないと作業員へのヒアリングでも回答を得ている。

従って、スラグ造粒物の設置の施工性にも問題無く作業できると考えられる。

表 6-15 試験区ごとのスラグ造粒物設置数と必要労力(12/27 設置時)

	1 袋の重量	設置個数	隻数	作業員数	要した時間
A(375 kg)	10.5 kg	36 個	3	1 隻当たり 作業員 1 名 船長 1 名	2 時間
B(250 kg)	7.0kg	36 個			
C(250 kg)	7.0kg	36 個			
E(125 kg)	3.5 kg	36 個			

6.3.4 実証試験結果・考察のまとめ

本実証試験で得られた結果および考察のまとめは、表 6-16 に示す通りである。

表 6-16 結果および考察のまとめ

視点	結果まとめ
期待される導入効果	スラグ造粒物を設置することで、ノリの成長が促され、それに伴う窒素の系外排出が向上すると試算された。
実証試験により確認された現象	スラグ造粒物の設置に伴い、ノリの成長促進が認められた。 スラグ造粒物の設置について施工性も確認された。
普及拡大に向けた課題	スラグ造粒物の適切な設置量について、更なる現地試験が必要である また、スラグ造粒物の効率的・効果的な設置方法の検討も必要である。

○付録

1. 用語集
2. 技術申請時 溶出試験結果
3. 計量証明書
4. 写真集
5. 試験結果(参考データ)
6. 海域環境調査及びスラグ造粒物溶出物質拡散予測(詳細)