

平成 24 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

## 実証試験結果報告書

実証機関 : 日本ミクニヤ株式会社

環境技術開発者 : 国土防災技術株式会社 (代表)  
新日鐵住金株式会社<sup>※</sup> (共同)

※旧 住友金属工業株式会社

技術・製品の名称 : 人工ミネラル-M 型  
(鉄鋼スラグを原料とした  
海域再生用ミネラル供給サプリメント)



## 目次

○全体概要	1
○本編	
1. 導入と背景	9
2. 実証試験参加者と責任分掌	10
3. 実証対象技術の概要	11
3-1. 実証対象技術の原理と目的	11
3-2. 実証対象技術の仕様	12
4. 実証試験実施場所の概要	13
4-1. 実証試験実施場所	13
4-2. 海域の概要	14
4-3. 実証対象技術の配置	15
5. 実証試験の方法と実施状況	17
5-1. 実証試験の概要	17
5-2. 実証試験Ⅰの内容	19
5-2-1. 試験の目的	19
5-2-2. 試験区 1、試験区 2、対照区の内容	19
5-2-3. 実施工程	20
5-2-4. 調査項目	20
5-3. 実証試験Ⅱの内容	21
5-3-1. 試験の目的	21
5-3-2. 試験区 1、試験区 2、対照区の内容	21
5-3-3. 実施工程	22
5-3-4. 調査項目	22
5-4. 目標及び調査内容	23
5-4-1. 目標	23
5-4-2. 目視調査（ブロック上面の被度調査）	24
5-4-3. 目視調査（ブロック上面に取付けたカジメの生長量調査）	25
5-4-4. 目視調査（カジメ幼体の着生、生長状況調査）	26
5-4-5. 目視調査（カジメの側葉の新生による生長量計測）	27
5-4-6. 目視調査（成熟度調査）	28

5-4-7. 採取調査	29
5-4-8. 蝸集調査	30
5-4-9. 連続水質調査	31
6. 実証試験結果	33
6-1. 連続水質調査結果	33
6-2. 蝸集調査結果	34
6-3. 実証試験Ⅰの試験結果	35
6-3-1. ブロック上面の状況	35
6-3-2. 目視調査（ブロック上面の被度調査）結果	36
6-3-3. 目視調査（ブロック上面に取付けたカジメの生長量調査）結果	37
6-3-4. 目視調査（カジメ幼体の着生、生長状況調査）結果	38
6-3-5. 採取調査結果	39
6-4. 実証試験Ⅱの試験結果	40
6-4-1. ブロック上面の状況	40
6-4-2. 目視調査（ブロック上面の被度調査、初期の珪藻付着状況の再現確認）結果	41
6-4-3. 目視調査（カジメの生長状況調査、新しいカジメ幼体の付着状況調査）結果	43
6-4-4. カジメの側葉の新生による生長状況調査結果	45
6-4-5. 成熟度調査結果	46
6-4-6. 採取調査結果	47
7. 考察と結論	48
7-1. 考察	48
7-1-1. 実証対象技術の設置数量による効果の違いについて	48
7-1-2. 実証対象技術の交換頻度による効果の違いについて	49
7-1-3. 初期の珪藻付着効果について	51
7-1-4. カジメ群落の更新（新しいカジメ幼体の付着）状況について	53
7-1-5. ガンガゼの摂食環境下におけるカジメの生長状況について	54
7-2. 結論	55
8. 実証試験についての技術実証検討会の見解	56
9. 付録	57

## 全体概要



実証対象技術／環境技術開発者	人工ミネラル-M型 (鉄鋼スラグを原料とした海域再生用ミネラル供給サプリメント)／ 国土防災技術株式会社、新日鐵住金株式会社 (旧住友金属工業株式会社)
実証機関	日本ミクニヤ株式会社
実証試験期間	平成 23 年 8 月 6 日～平成 25 年 1 月 15 日
実証の目的	実証対象技術のミネラル分溶出による海藻の付着・生育促進効果の検証

### 1. 実証対象技術の概要

#### 〔原理〕

鉄鋼スラグはミネラルを多く含むが、アルカリ性の状態ではカルシウムが優先して溶出し、他のミネラルの溶出を抑える特性を有しているため、そのまま海水中に投入しても海藻が利用しやすい「溶存態」としてミネラルを供給され難い。

本技術は、鉄鋼スラグに有機酸である酸性資材(人工腐植)を添加することでpH調整を行い、ミネラルを溶出・キレート化し、「溶存態」として海藻への供給を促進させるものである。また、ミネラル供給効果が低下した場合においても簡易に交換することが可能な構造であるため、持続的にミネラルを供給できる。



図 1 実証対象技術の概要と利用イメージ



図 2 本実証対象技術の設置方法(例)

#### 【技術の特徴】

- ・鉄、リン等のミネラルを海藻が利用しやすい溶存態として供給する。
- ・吊り下げや海底設置など様々な設置方法が可能である。
- ・簡易に交換が可能な構造であり、利用者の必要な時にミネラルを供給できる。

## 2.実証試験の概要

### ○実証試験実施場所の概要

実証試験実施場所：三重県度会郡南伊勢町神前浦地内（弁天島西側海域）

主な利用状況	当該海域は、入り組んだリアス式海岸であり、地形を利用した漁港が多く存在し、黒潮が回流する熊野灘に面しているため、良漁場となっており、海面養殖もさかんである。また、スキューバダイビングや釣りなどの親水空間としても利用されている。	
課題	拡大した磯焼けに対して海藻の繁殖を人為的に手助けし、沿岸域の生物生産の基礎となる藻場を修復・保全することは生物多様性及び水産上、非常に重要である。三重県及びその他の市町村では、各種の藻場造成事業を実施してきており、加えて、三重県水産振興事業団ではサガラマ・ガラモ種苗の供給事業を実施している。	
海域の状況	水質の状況	平成23年9月から平成24年2月の実証試験海域における水質調査結果では、水温は15.3℃～27.1℃、塩分29.5～34.7、日積算光量子は0.03mol/m <sup>2</sup> ～7.98mol/m <sup>2</sup> であった。透明度は7.5m～11mであり、水質汚濁は見られなかった。
	底質の状況	平成23年度の潜水調査より、陸側のA区画では岩礁帯となっており、それより沖側のB区画では砂泥、粗粒砂が広く分布し、中央粒径50cm程度の巨礫が散在していることが確認された。
	生物生息環境	平成23年度の潜水調査より、陸側の岩礁帯(A区画)では、植物はカジメをはじめとする褐藻類が分布しており、動物はガンガゼが多く見られた。それより沖側のB区画では、植物は粗粒砂上の巨礫にカジメが付着し、点在していることが確認されたが、ガンガゼは見られなかった。

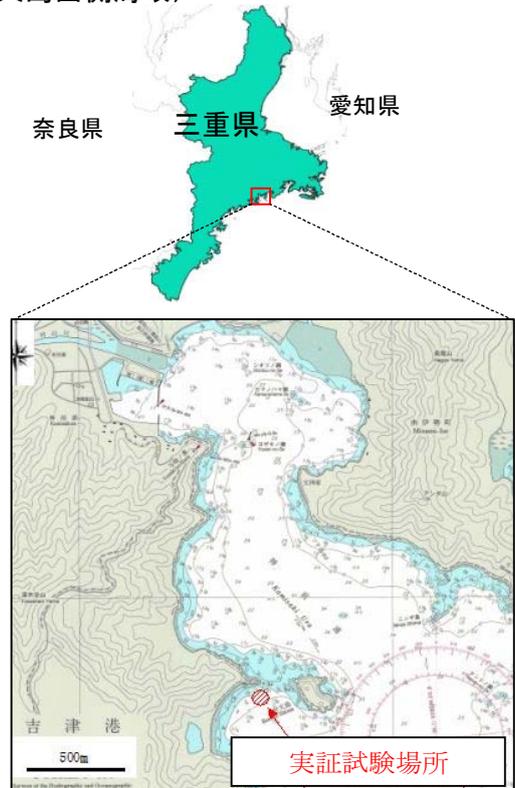


図3 実証試験場所

### ○実証対象技術の設置状況(実証試験概要)

本実証試験では、実証対象技術の効果を把握するため、以下の実証試験Ⅰ、Ⅱを行った

【実証試験Ⅰ】実証対象技術の**設置数量**を変え、効果の違いを比較した。

【実証試験Ⅱ】B区画における実証対象技術の**交換頻度**を変え、効果の違いを比較した。

区画		実証試験Ⅰ (平成23年8月- 平成24年4月)	実証試験Ⅱ (平成24年5月- 平成25年1月)
A区画 (ガンガゼが多く みられた転石帯)	試験区1	各ブロック6ヶ装着 交換しない	各ブロック6ヶ装着 交換しない
	試験区2	各ブロック3ヶ装着 交換しない	各ブロック3ヶ装着 交換しない
	対照区	装着なし	装着なし
B区画 (ガンガゼがみられ なかった砂地)	試験区1	各ブロック6ヶ装着 交換しない	各ブロック6ヶ装着 <b>1ヶ月毎に交換</b>
	試験区2	各ブロック3ヶ装着 交換しない	各ブロック6ヶ装着 <b>3ヶ月毎に交換</b>
	対照区	装着なし	装着なし

・技術の効果は食害可能性の小さいB区画の結果より考察する。  
(※)A区画は食害環境における技術の効果を検討するための参考区画とする。

・期待する結果(海藻の生物量)：試験区1>試験区2>対照区

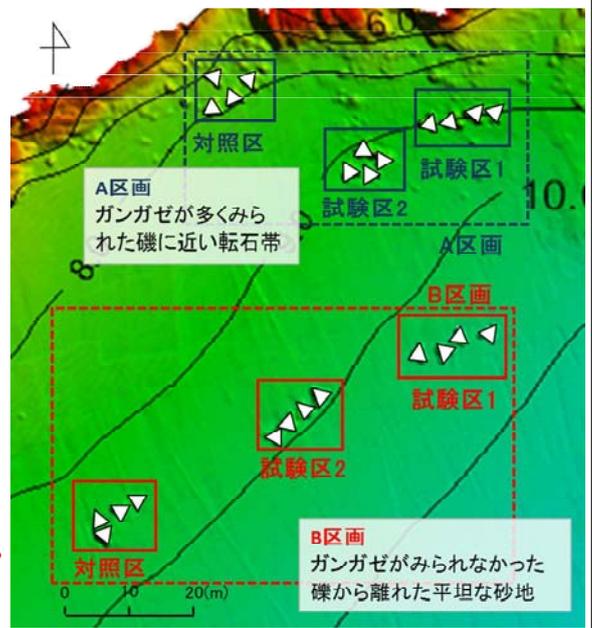


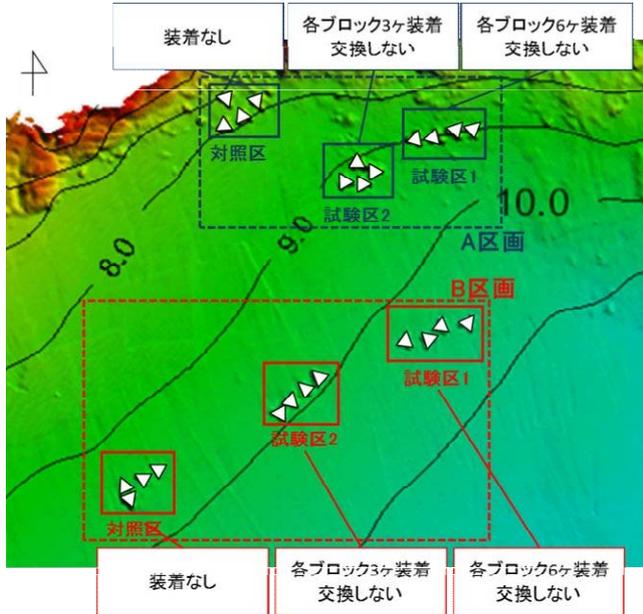
図4 実証試験概要(実証試験Ⅰ、Ⅱにおける各区の状況)

○実証試験の工程

表1 全体工程

項目	平成23年												平成24年												平成25年
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月							
モニタリング調査	目視調査		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●						
	縮集調査		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●						
	採取調査																								
海域環境調査	連続水質調査																								
人工ミネラルの交換	B区画 試験区1																								
	B区画 試験区2																								

■実証試験Ⅰの各区の内容



■実証試験Ⅱの各区の内容

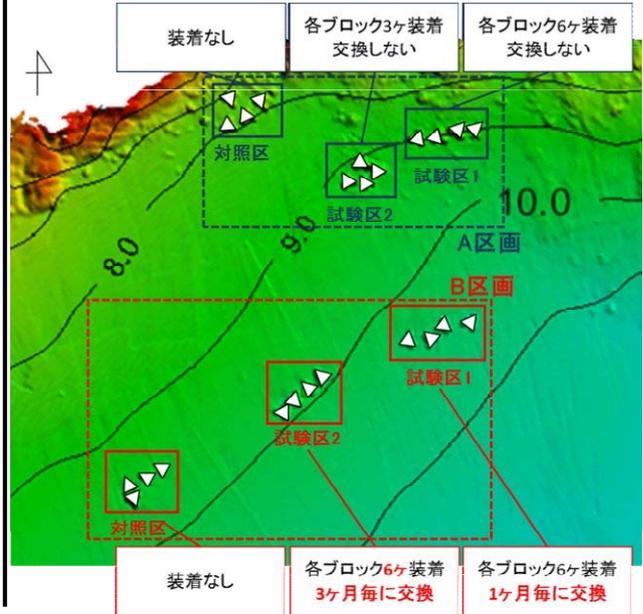


図5 実証試験Ⅰ、Ⅱにおける各区の内容

赤字: 実証試験Ⅰとの変更点

○本実証試験における対象技術の設置方法(模擬磯場としてのブロックに装着)



3. 維持管理にかかる技術情報

○使用資源量・生成物処理量

項目	単位(適宜設定)	結果
消耗品及び電力消費量	-	消耗品及び電力消費はない。
汚泥や廃棄物の物理化学的特性と発生頻度数	-	汚泥や廃棄物の発生はない。

○維持管理項目

管理項目	技術者の必要性	一回あたりの作業量	管理頻度
維持管理に必要な作業項目	<input type="checkbox"/> 要 <input checked="" type="checkbox"/> 不要	-	-
使用者に必要な維持管理技能	<input type="checkbox"/> 要 <input checked="" type="checkbox"/> 不要	-	-

○維持管理に係るその他の特記事項

設置方法によっては、設置、交換、撤去の際に潜水作業が必要となる場合がある。

#### 4. 実証試験結果

##### ○実証試験の目標と結果

本技術を試験区に設置することにより、対照区に比べ海藻の生育が促進され、藻場が形成されることを期待している。よって、本試験の評価目標は、試験区 1 において、対照区を越える海藻の生物量<sup>(\*)</sup>を確保することとした。実証項目および目標を表 2 に示す。

表 2 実証項目と目標水準

実証項目	目標水準
海藻	試験区1において、対照区を越える海藻の生物量 <sup>(*)</sup> を確保すること。

(\*)生物量は、海藻の株数、藻長、成熟度で評価する。

##### 本実証試験で対象とした海藻(カジメ)について

カジメは大型多年生の褐藻であり、日本の中南部の沿岸に広く分布し、海中林を形成する重要な海藻である。

海中林は、多様な生物相を形成し、魚介類の産卵、幼稚仔魚の育成場、水質浄化機能を有する空間として、沿岸生態系の中で重要な役割を担っている。

本海域においても、岩礁帯にカジメが広く分布していることが確認されたため(図 6)、**本実証試験の調査対象とした。**

カジメは季節によって、生長、成熟の様子が異なる(図 7)。よって各時期の状態変化を正確に把握するため、**藻長だけでなく、側葉や子嚢斑の形成状況についても調査を行った。**



図 6 実証試験海域で確認されたカジメ

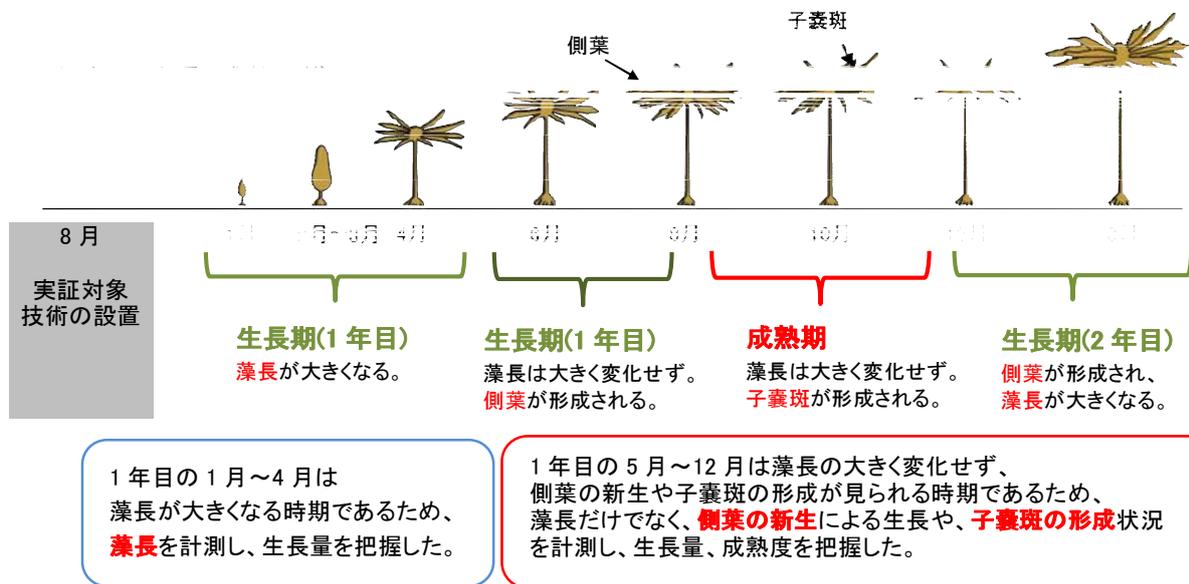


図 7 各時期におけるカジメの生長・成熟の様子と調査内容

##### 【用語の定義】カジメの生長、成熟について

**生長:** 光合成により、一次生産が行われ、**側葉**が形成され、**藻長**が大きくなるなど生物量が増加すること

**成熟:** 葉状部表面に胞子をつくること(胞子をつくるための**子嚢斑**が形成される)

(1) 実証試験Ⅰの結果(平成24年1月～平成24年4月):ブロック上面の様子

平成24年1月、3月、4月のB区画の試験区1と対照区のブロック上面の状況を図8に示す。平成23年12月よりカジメ幼体が着生し、その後生長していく様子が確認された。

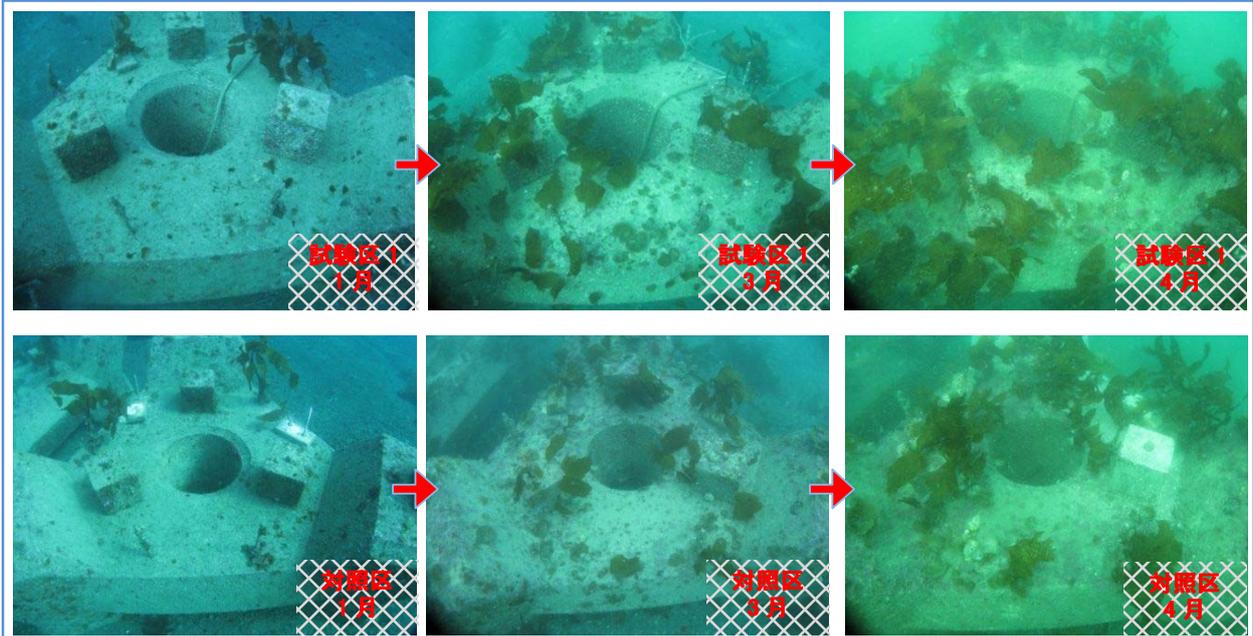


図8 平成24年1月、3月、4月のブロック上面の様子(上:試験区1、下:対照区)

(2) 実証試験Ⅰの結果(平成23年12月～平成24年4月):ブロック上面に付着したカジメの藻長計測結果

平成23年12月～平成24年4月に実施したブロック上面のカジメ藻長計測結果を図9に示す。試験区1、試験区2では、常に実証対象技術を装着していない対照区以上の生長量となっていた。平成24年4月のカジメ藻長は試験区1で308mm、試験区2で238mmとなり、対照区の185mmに比べ1.7倍、1.3倍となっており、t検定を行った結果、B区画の全ての区において有意な差があることが確認された。

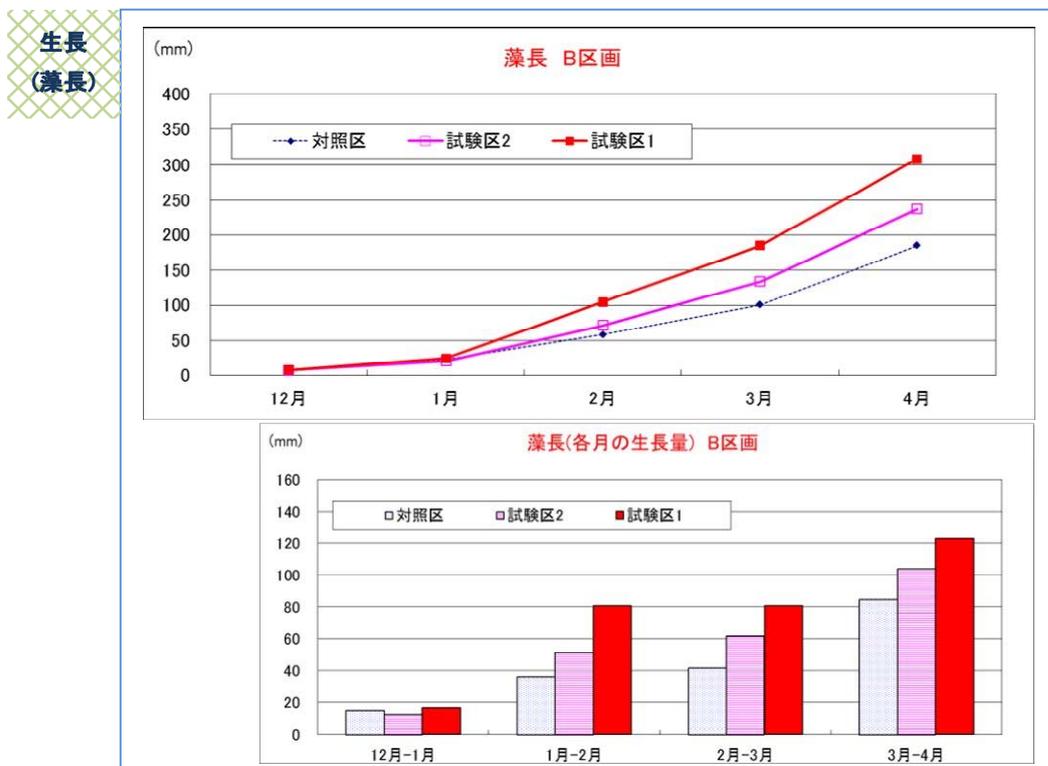


図9 ブロック上面に付着したカジメの藻長(上)と各月の生長量(下)(平成23年12月～平成24年4月)

**(3) 実証試験Ⅱの結果(平成24年4月～平成25年1月): 藻長と側葉の新生による生長状況調査結果**

B区画におけるカジメの藻長と側葉の生長量を図10に示す。藻長は、平成24年4月～5月、平成24年12月～平成25年1月は顕著な生長が見られたが、平成24年6月～11月の期間は大きな変化は見られなかった。また、側葉による計測では、平成24年6月～8月に生長が見られたが、平成24年8月～12月は大きな変化は見られなかった。これは一般に言われているカジメの生長の様子と合致している。

カジメの生長に大きな変化が見られなかった平成24年8月～12月については、実証対象技術の交換頻度による生長の違いは確認出来なかったが、藻長もしくは側葉の生長が見られた平成24年4月～8月、平成24年12月～平成25年1月は、交換した試験区で、対照区以上の生長量が確認された。このことから、実証対象技術の投入を、海藻の生長の時期に合ったタイミングで行うことで、より効果的な使用が出来ることが考えられた。

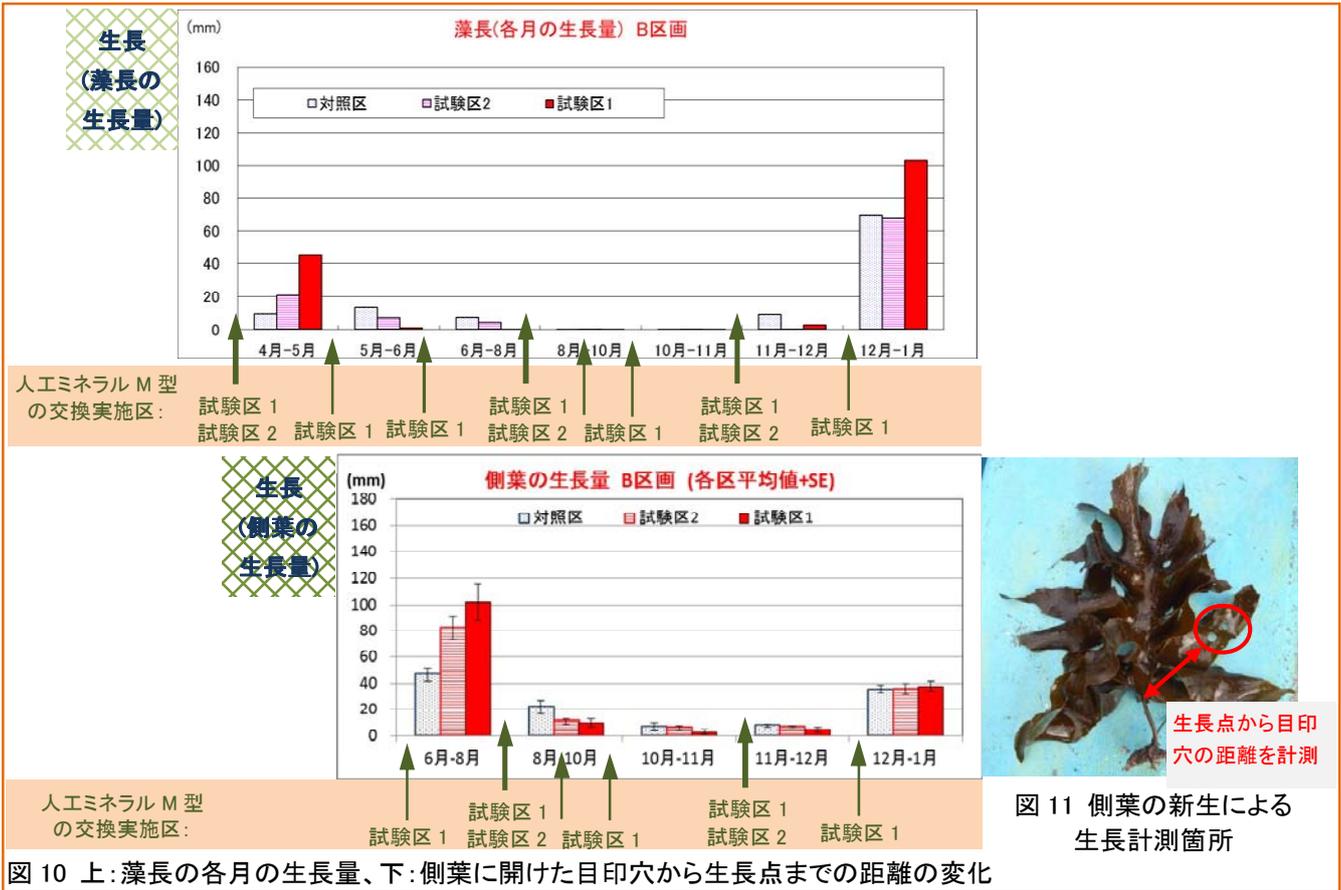


図10 上: 藻長の各月の生長量、下: 側葉に開けた目印穴から生長点までの距離の変化

**(4) 実証試験Ⅱの結果(平成24年11月): 成熟度調査(子嚢斑の側葉に占める割合の計測)結果**

平成24年11月に実施したカジメの成熟度調査結果を図12に示す。子嚢斑の側葉に占める割合はB区画試験区1では18.9%、試験区2では16.7%、対照区では15.8%となった。t検定で有意な差は確認されなかったが、実証対象技術が海藻の成熟に効果のある可能性が伺われた。

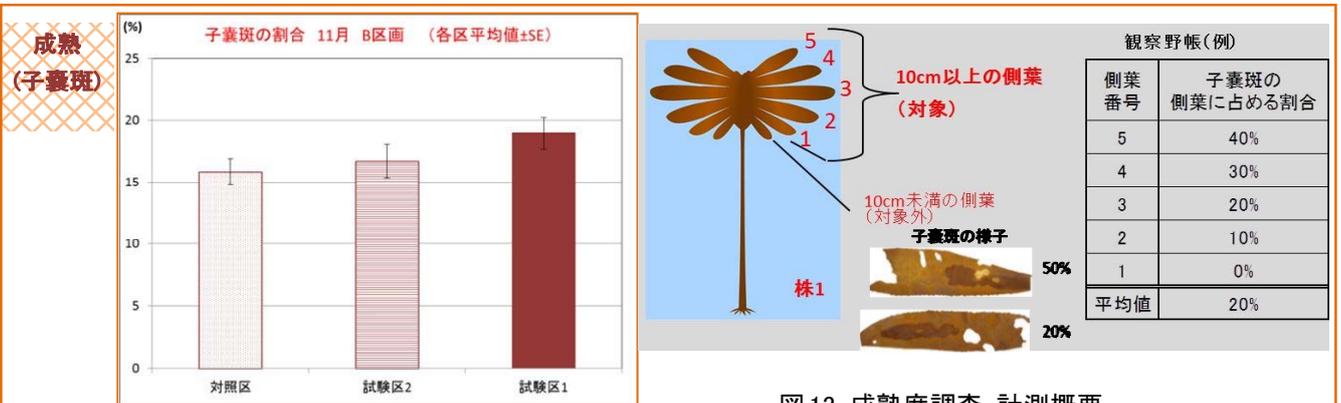


図12 子嚢斑の側葉に占める割合(平成24年11月)

図13 成熟度調査 計測概要

#### (5) 初期の珪藻付着について

実証対象技術設置後の平成 23 年 10 月は、ブロック上面に珪藻の付着が確認され、試験区 1 で 65%、試験区 2 で 41%、対照区で 15%の被度となった。その後 11 月は、珪藻が多い試験区で無節サンゴモ類の被度が少なくなり、2 月は、無節サンゴモ類の着生が少ない試験区で、カジメ幼体の株数が多く観測された。

ブロック設置後の付着初期において、実証対象技術が珪藻の生長を促進させ、珪藻の被度が大きくなったことが、無節サンゴモ類の付着抑制に繋がり、結果的にカジメ幼体の着生しやすい環境になったと考えられた。

この状況を再確認するため、平成 24 年 8 月に各区のブロック上面の剥取を行った。平成 24 年 11 月には試験区 1、試験区 2 で 5%の珪藻の付着が見られたが、前年度ほどの明確な違いは確認されず、またその後の無節サンゴモの着生についても前回状況の再現は出来なかった。

#### (6) カジメ群落の更新(新しいカジメ幼体の付着)について

平成 25 年 1 月に、各ブロックに新しいカジメ幼体の着生が確認された。カジメ幼体の付着は試験区 1 で 6 株、試験区 2 で 20 株、対照区で 160 株であった。幼体の藻長は試験区 1 で 115mm、試験区 2 で 17.7mm、対照区で 18.9mm であった。一方、カジメ成体の付着は試験区 1 で 127 株、試験区 2 で 68 株、対照区で 35 株であった。成体の株数が少ないほど、幼体の着床は多かったが、全ての区で幼体を確認されたことから、群落の更新がなされていると考えられる。また幼体の藻長は、試験区 1 が最も大きいことが確認された。

### 5.実証試験の結論

#### 【技術の設置数量による効果の違いについて】

- ・カジメ藻長は対照区に比べ、試験区 1(6ヶ装着)で 1.7 倍、試験区 2(3ヶ装着)で 1.3 倍となった。
- ・技術の設置数量による海藻生長促進効果の違いが確認された。

#### 【技術の交換頻度による効果の違いについて】

- ・生長期は、技術の交換頻度の高い区画で、生長促進効果が確認された。
- ・成熟期は、技術の交換頻度の高い区画で、成熟促進効果が伺われた。
- ・カジメの生長に大きな変化が見られなかった時期は、技術の交換頻度による生長の違いは確認出来なかった。
- ・技術の投入を、生長・成熟の時期に合ったタイミングで行うことで、より効果的な使用が出来ることが考えられた。

#### 【初期の珪藻付着効果について】

- ・ブロック設置後は、試験区で珪藻が多く付着し、無節サンゴモ類が少なくなったことで、カジメの付着しやすい環境となったことが考えられた。
- ・上記状況の再現のため、ブロック上面の剥取を行い、観察を行ったが、状況の再現は出来なかった。

#### 【カジメ群落の更新(新しいカジメ幼体の付着)について】

- ・カジメ幼体の付着は全ての区で確認され、群落の更新がなされていると考えられた。
- ・カジメ幼体の藻長は試験区 1 で最も大きいことが確認された。

#### 【結論】

調査結果より、目標である「試験区 1 において、対照区を超える生物量の確保」が確認され、実証対象技術が海藻の生長及び成熟に適切に効果を発揮していることが考えられた。

### 6.実証試験についての技術実証検討会の見解

本技術が海藻の生長促進に効果のあることは、実証試験によりカジメの生長量に有意な差が確認されたことから明らかである。今後、本技術が様々な目的、場所で活用されるために、海藻の成熟促進効果や初期の珪藻付着効果等について、より詳細な調査を行い、更なる効果を確認すると共に、本技術の設置や活用方法についての知見や実績を集積する必要がある。

(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。

○技術データ

項目		環境技術開発者 記入欄				
技術名称		人工ミネラル-M型 (鉄鋼スラグを原料とした海域再生用ミネラル供給サプリメント)				
企業名		国土防災技術株式会社、新日鐵住金株式会社(旧 住友金属工業株式会社)				
連絡先	TEL/FAX	TEL( 03 ) 3432 - 3567 / FAX( 03 ) 3432 - 3576				
	Web アドレス	http://www.jce.co.jp				
	E-mail	k-t@jce.co.jp				
設置方法		人工ミネラル-M型の設置方法は、多岐にわたり、設置場所や用途等、利用者のニーズに合った方法を選択可能。  (設置例) ・海藻養殖筏に吊り下げ ・魚礁ブロックへの設置 ・模擬磯場ブロックへの設置 ・海底(岩礁帯等への)設置				
設置・調整期間		設置方法による				
コスト概算  人工ミネラル-M型 /100本あたり 模擬磯場ブロック含 まず		費目		単価(円)	数量	計(円)
		イニシャルコスト				
		土木費(人力製作コスト)		2,208	100本	220,800
		資材費(製鋼スラグ・酸性資材ほか)		4,813	100本	481,300
		諸経費		2,979	100本	297,900
		(100本当たりのコスト)				1,000,000
円/(人工ミネラル標準量:6.28 ㍉/本あたり)					10,000	

○その他 本技術に関する補足説明(導入実績、受賞歴、特許・実用新案、コストの考え方の補足 等)

特許出願中

## 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。

対象となる技術は「閉鎖性海域における水環境改善技術実証試験要領(環境省水・大気環境局)」において、「水質及び底質を現地で改善する技術」または「生物生息環境の改善に資する、海域に直接適用可能な技術」と規定されている。

本実証対象技術である「人工ミネラル-M 型(鉄鋼スラグを原料とした海域再生用ミネラル供給サプリメント)」は、鉄鋼スラグに有機酸である酸性資材を添加することで pH 調整を行い、ミネラルを溶出・キレート化し、「溶存態」として海藻へ供給する技術である。本技術を海域に設置することにより、海藻の生育が促進され、藻場が広がり、海域における生態系の回復・復元を資することを目指している。

本実証試験では、この技術についてモニタリング調査を実施し、その効果を実証し、環境技術実証の手法・体制の確立および環境技術の普及促進、環境保全と環境産業の発展に資することを目標としている。

## 2. 実証試験参加者と責任分掌

本業務における実施体制を図 2-1 に、実証試験参加者の責任分掌を表 2-1 に示す。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（通称：NPO 大阪湾研究センター）と連携・協力を図り、更なる公平性・公正性を担保した。監査については、当社の安全品質管理センターで実施した。

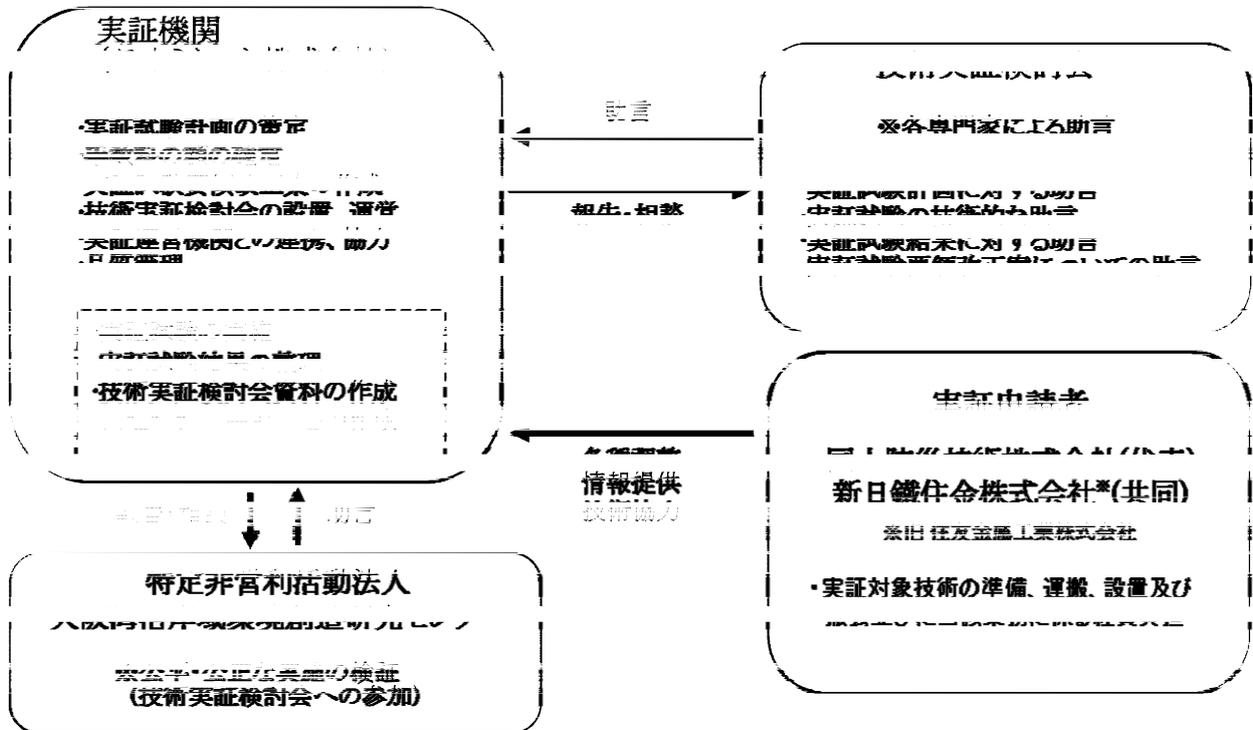


図 2-1 業務実施体制

表 2-1 実証試験参加者の責任分掌

区分	実証試験参加機関	責任分掌	参加者
実証機関	日本ミクニヤ株式会社	実証試験計画の策定	本社・事業本部 岩井克巳、 梅津健一、 斎藤朱美
		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	本社・総務部 田中秀宣、松岡江美
		手数料の徴収	
		会計・経理処理	
		実証試験計画の策定補助	大阪支店 田中晋、 五島幸太郎、 坂原岳人
		実証試験の実施	
		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	安全品質管理センター 土屋正隆
		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			
実証申請者	住友金属工業株式会社 国土防災技術株式会社	実証対象技術の準備、運搬、設置及び撤去並びに当該業務に係る経費負担	(代表) 国土防災技術株式会社 事業本部 緑環境事業部 田中賢治

### 3. 実証対象技術の概要

#### 3-1. 実証対象技術の原理と目的

自然環境において、森林に降り注いだ雨により土壌から溶出したミネラル分は、河川を通じて海域へ供給され、海藻・藻類に利用されることで豊かな海域を形成していた。しかし昨今では、森林の荒廃や治水・治水ダムの建設、護岸整備などの様々な要因により、海域へのミネラル分の供給が減少し、このことが海藻群落の減少・消失の要因の一つとなっていることが示唆されている。このような背景のもと、本技術は自然のミネラル分供給が減少している海域において、その海域に応じて不足したミネラル分を供給することで海藻の生育が促進され、藻場が広がり、海域における生態系の回復・復元に資することを旨とするものである。

鉄鋼スラグは、弱アルカリ性の状態ではミネラル分の溶出はし難く、海水中に投入しても海藻が利用しやすい「溶存態」として供給され難い。本技術は、鉄鋼スラグに有機酸である酸性資材(人工腐植：木質チップを木酢液に漬け込んだ腐植物質)を添加することでキレート作用が起こり、ミネラル分の「溶存態」としての供給が促進されるものである。また、ミネラル供給効果が低下した場合においても、簡易に交換することが可能な構造であるため、持続的にミネラルを供給できるものである。

実証対象技術の構成概要を図 3-1 に、技術の設置により期待される効果を図 3-2 に示す。



図 3-1 実証対象技術の構成概要

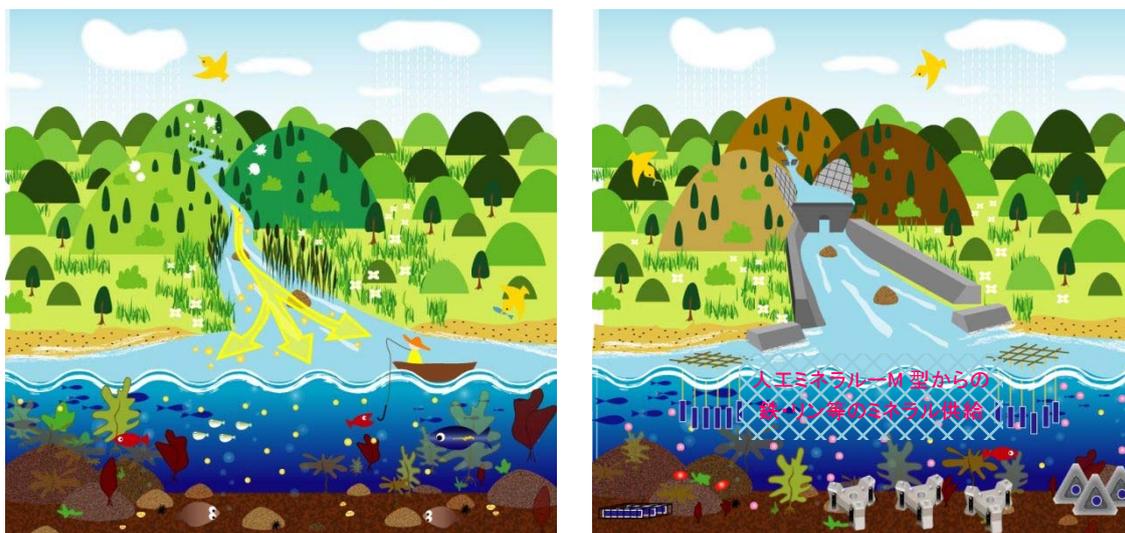


図 3-2 期待される効果

(左：自然のミネラル供給によるイメージ、右：人工ミネラル-M型による海域再生イメージ)

### 3-2. 実証対象技術の仕様

本試験では、人工ミネラル-M型を装着した模擬磯場としてのブロックを設置する。人工ミネラル-M型は鉄鋼スラグに自然の森林土壌の腐植に近い酸性資材(人工腐植)を添加することでミネラル分が海藻の利用しやすい形で溶出するため、周辺海藻の生育促進が期待される。また、ミネラル供給効果が低下した場合においても、簡易に交換することが可能な構造であるため、持続的にミネラルを供給できるものである。

人工ミネラル-M型の設置概要を図 3-3 に、脱着イメージを図 3-4 に示す。

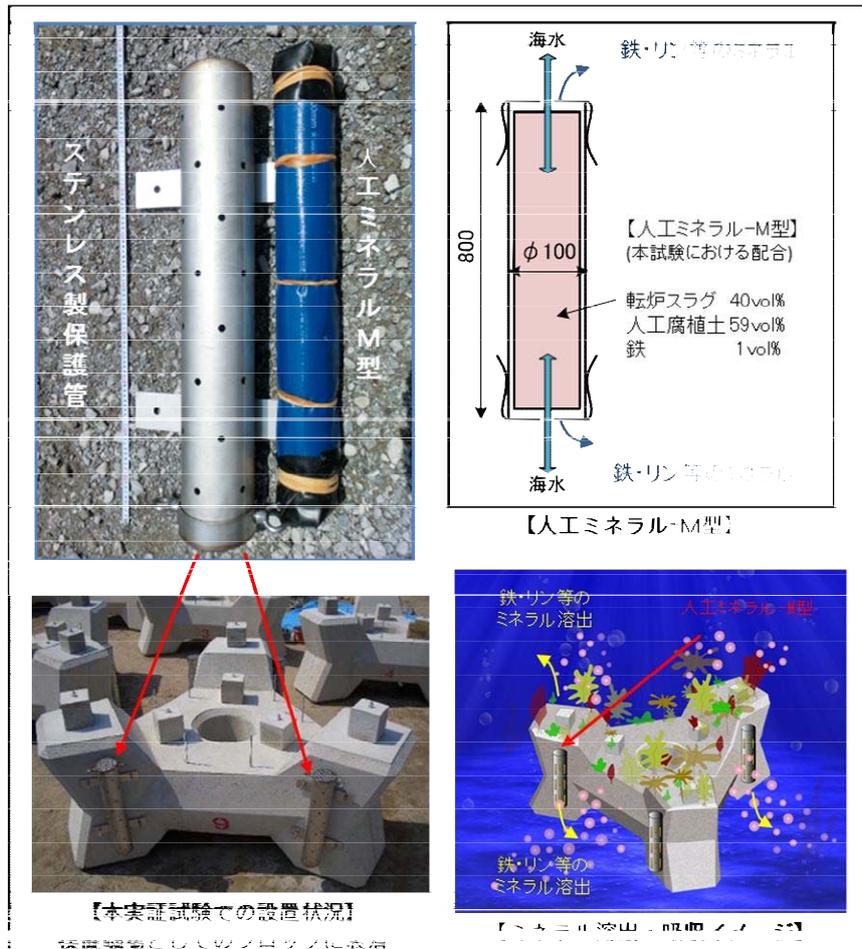


図 3-3 人工ミネラル-M 型設置概要



図 3-4 人工ミネラル-M 型脱着イメージ

## 4. 実証試験実施場所の概要

### 4-1. 実証試験実施場所

実証試験実施場所の名称、所在地、管理者を表 4-1 に示す。また、実証試験実施場所を図 4-1 に示す。

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)	三重県度会郡南伊勢町神前浦地内(弁天島西側海域)
管理者	三重県

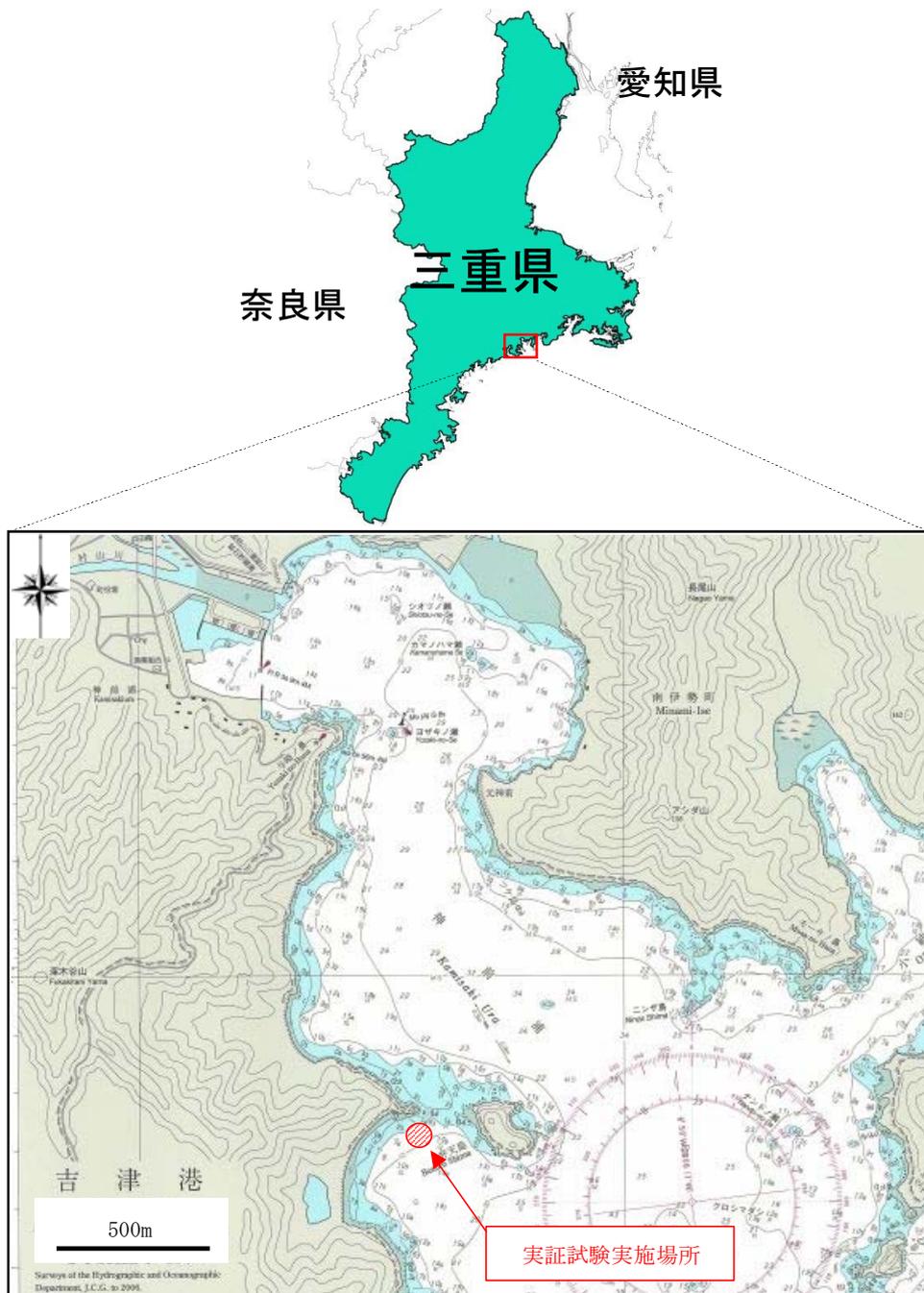


図 4-1 実証試験実施場所

## 4-2. 海域の概要

表 4-2 実証試験実施海域の特徴

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 当該海域は、入り組んだリアス式海岸であり、地形を利用した漁港が多く存在し、黒潮が回流する熊野灘に面しているため、良漁場となっており、海面養殖もさかんである。また、スキューバダイビングや釣りなどの親水空間としても利用されている。
実証試験実施場所の規模	○ 水深、面積 等 神前湾は、三重県度会郡南伊勢町に位置しており、面積9.75km <sup>2</sup> 、最大水深53m、閉鎖度指数1.17の閉鎖性海域である。実証試験は、この湾内の弁天島周辺の水深10m程度の海底での実施を予定しており、試験区域の規模は約1200m <sup>2</sup> (60m×10m×2区画)を想定している。
水質の状況	○ 過去の水質データ 平成23年9月から平成24年2月の実証試験海域における水質調査結果では、水温は15.3℃～27.1℃、塩分29.5～34.7、日積算光量子は0.03/m <sup>2</sup> ～7.98mol/m <sup>2</sup> であった。透明度は7.5m～11mであり、水質汚濁は見られなかった。
底質の状況	○ 底質に関する情報 平成23年度の潜水調査より、陸側のA区画では岩礁帯となっており、それより沖側のB区画では砂泥、粗粒砂が広く分布し、中央粒径50cm程度の巨礫が散在していることが確認された。
生物生息環境	○ 底生生物、植物等の生育状況に関する情報 平成23年度の潜水調査より、陸側の岩礁帯(A区画)では、植物はカジメをはじめとする褐藻類が分布しており、動物はガンガゼが多く見られた。それより沖側のB区画では、植物は粗粒砂上の巨礫にカジメが付着し、点在していることが確認されたが、ガンガゼは見られなかった。
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。 拡大した磯焼けに対して海藻の繁殖を人為的に手助けし、沿岸域の生物生産の基礎となる藻場を修復・保全することは生物多様性及び水産上、非常に重要である。 ○ 改善計画等、どのような検討が進められているか。 三重県及びその他の市町村では、各種の藻場造成事業を実施してきており、加えて、三重県水産振興事業団ではサガラム・ガラモ種苗の供給事業を実施している。
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 2ヵ年
有識者の見解	○ 実証試験を行う上で留意すべき点 海藻の生育状況モニタリングにあたっては、食害動物の影響を考える必要がある。

#### 4-3. 実証対象技術の配置

本試験では、実証対象技術の効果を把握するため、ガンガゼ等の食害の影響が少ないと考えられる砂地転石帯(B区画とする)において、調査を実施した。

さらに、本技術の適用範囲(ガンガゼの食害地域において本技術がどの程度効果を発揮するか)を把握するため、ガンガゼの食害がみられた岩礁帯(A区画とする)にもB区画同様、調査を実施した。

また、比較のため、実証対象技術の使用量の多い試験区1、使用量の少ない試験区2、使用しない対照区の3つの区を設定し、各区にブロックを4基ずつ設置した。

実証対象技術の装着数量の異なるブロックの様子を図4-2に、設置作業状況を図4-3に示す。また、実証対象技術の設置位置を図4-4に、設置状況を図4-5に示す。



図 4-2 人工ミネラルの装着数量の異なるブロック

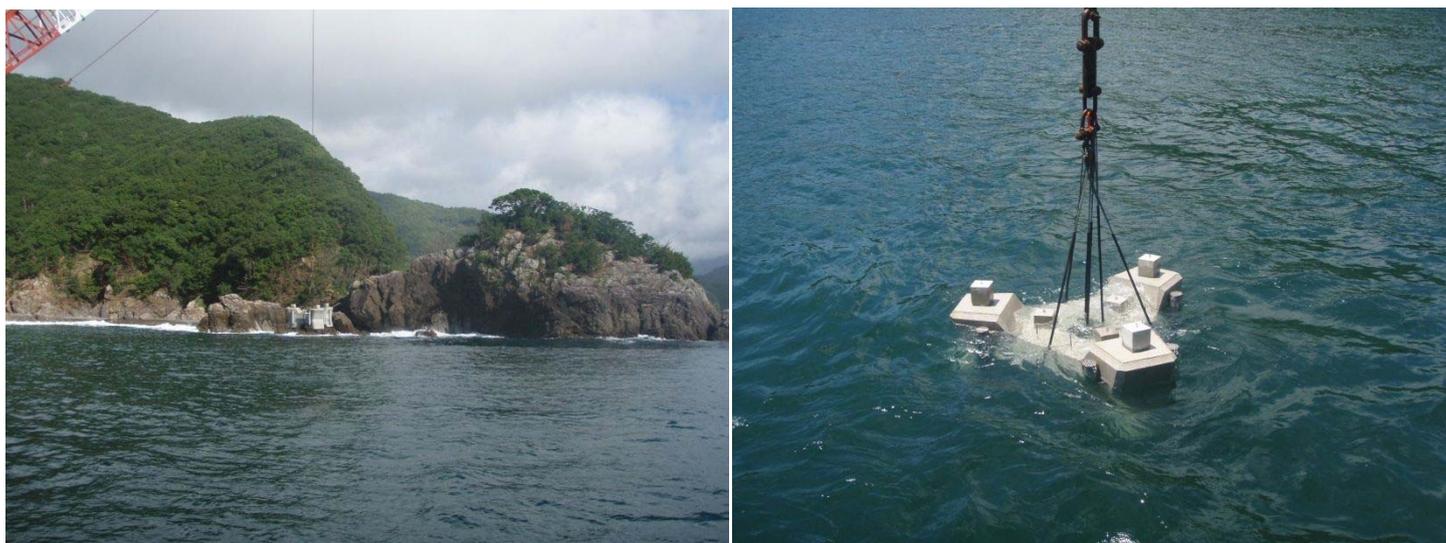


図 4-3 実証対象技術の設置作業状況(平成 23 年 8 月 6 日)

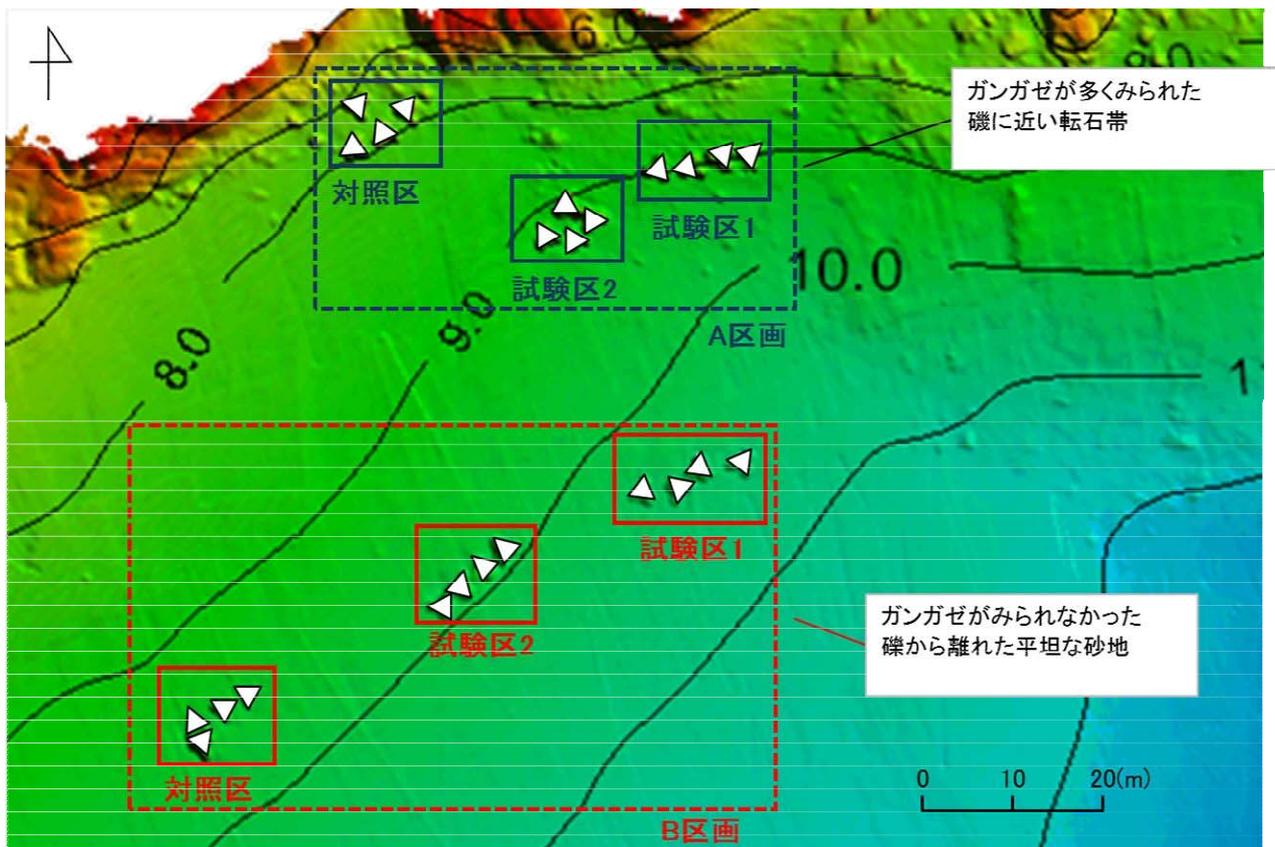


図 4-4 実証対象技術の設置状況

(A 区画：ガンガゼが多くみられた礫に近い転石帯、  
B 区画：ガンガゼがみられなかった礫から離れた平坦な砂地)



図 4-5 実証対象技術の設置状況(平成 24 年 1 月 10 日 左：A 区画、右：B 区画)

## 5. 実証試験の方法と実施状況

### 5-1. 実証試験の概要

本実証対象技術は、海域に不足したミネラル分を供給することで、海藻の生育が促進することを目的としており、海藻の生長が促進し、実証対象技術の周囲に藻場(海中林)が形成されることが期待される。

藻場(海中林)は、多様な生物相を形成し、魚介類の産卵、幼稚仔魚の育成場、水質浄化機能を有する空間として、沿岸生態系の中で重要な役割を担っている。

本実証試験海域においては、岩礁帯に海中林を形成する大型多年生の褐藻であるカジメが広く分布していることが確認された(図 5-1)。よって、本実証試験では、実証対象技術の効果を確認するため、カジメを対象として観察することとした。

また、実証対象技術は、サプリメントとしての使用を想定しており、簡易な作業による交換によって効果を発揮・持続させるものである。よって、技術の効果を正確に把握することを目的とし、実証対象技術の使用数量や交換頻度の異なる区画を設定し、調査を行い、各区画の結果を比較した。



図 5-1 実証試験海域のカジメ(平成 23 年 7 月 実証対象技術設置前の岩礁帯(A 区画))

本実証試験では、実証対象技術の効果を把握するため、試験区 1、試験区 2、対照区の内容を変更し、実証試験 I、II を行った。

実証試験 I、II の概要を表 5-1 に、実証試験実施概要を表 5-2 に、実証試験の全体工程を表 5-3 に示す。

表 5-1 実証試験 I、II の概要

試験名	試験の目的	試験期間
実証試験 I	実証対象技術の設置数量による効果の違いを把握すること	平成23年8月～平成24年4月
実証試験 II	実証対象技術の交換頻度による効果の違いを把握すること	平成24年5月～平成25年1月

表 5-2 実証試験概要(実証試験 I、II における各区の状況)

区画		実証試験 I (平成23年8月-平成24年4月)	実証試験 II (平成24年5月-平成25年1月)
A区画 (ガンガゼが多くみられた転石帯)  食害の可能性:大	試験区1	各ブロック6ヶ装着 交換しない	各ブロック6ヶ装着 交換しない
	試験区2	各ブロック3ヶ装着 交換しない	各ブロック3ヶ装着 交換しない
	対照区	装着なし	装着なし
B区画 (ガンガゼがみられなかった砂地)  食害の可能性:小	試験区1	各ブロック6ヶ装着 交換しない	各ブロック6ヶ装着 1ヶ月毎に交換
	試験区2	各ブロック3ヶ装着 交換しない	各ブロック6ヶ装着 3ヶ月毎に交換
	対照区	装着なし	装着なし

表 5-3 実証試験の工程

項目	実証試験 I										実証試験 II								
	平成23年					平成24年					平成24年								平成25年
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	
モニタリング調査	目視調査		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	蛸集調査		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	採取調査						●							●					
海域環境調査	連続水質調査																		
人工ミネラルの交換	B区画 試験区1								●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	B区画 試験区2								●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

## 5-2. 実証試験 I の内容

### 5-2-1. 試験の目的

実証試験 I は、実証対象技術の設置数量による効果の違いを把握することを目的とし、試験区 1、試験区 2、対照区における実証対象技術の設置数量を変え、海藻の生長状況を比較した。

### 5-2-2. 試験区 1、試験区 2、対照区の内容

実証対象技術の装着個数は A、B 区画共に、試験区 1 は 1 ブロックに 6 ケ、試験区 2 は 1 ブロックに 3 ケ、対照区は装着なしとした。各区画の概要を図 5-2 に示す。

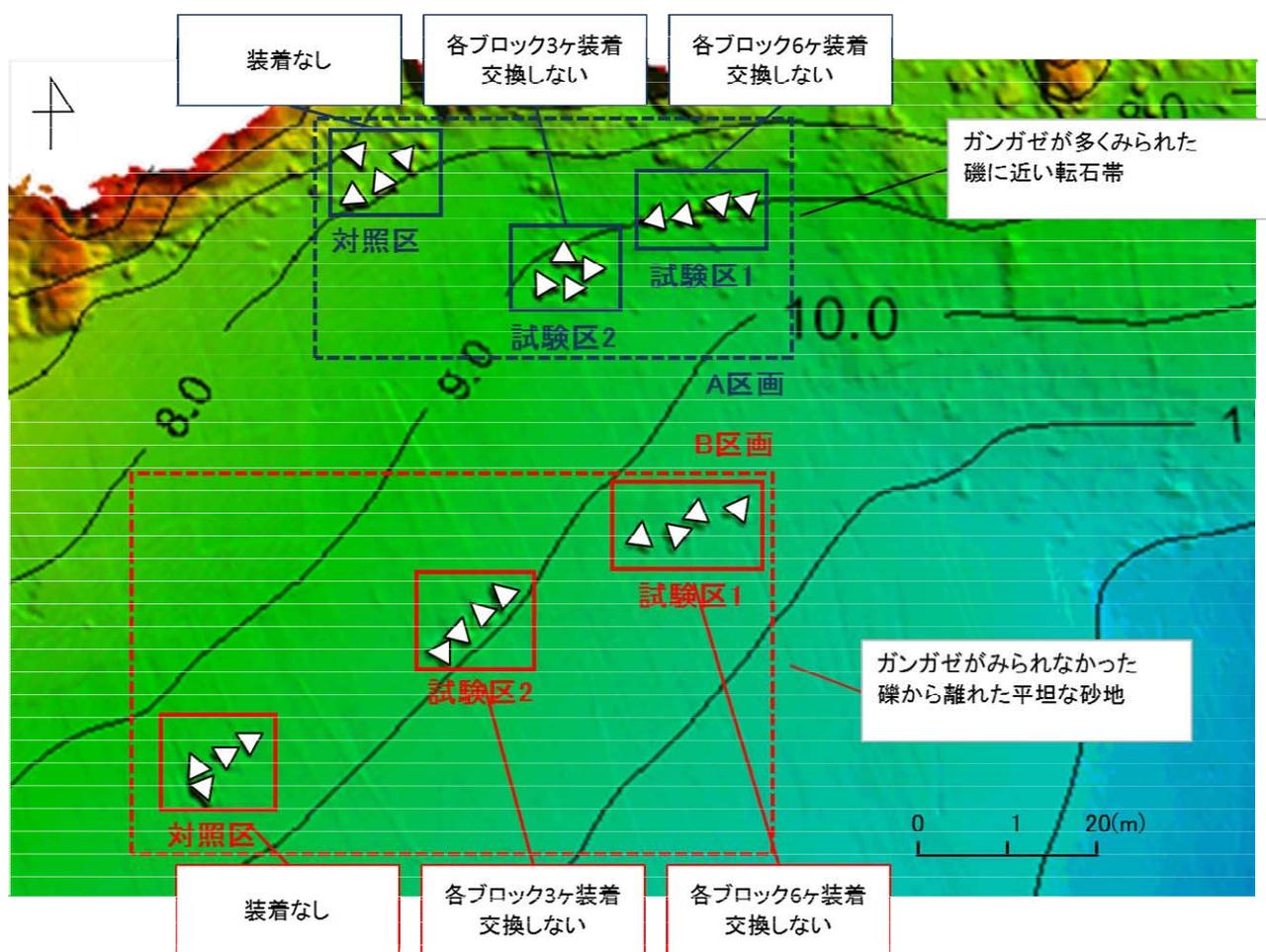


図 5-2 実証試験 I における各区画の概要

### 5-2-3. 実施工程

実証試験 I の調査工程を表 5-4 に示す。

表 5-4 実証試験 I の調査工程

項目		平成23年					平成24年				
		8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	
モニタリング調査	目視調査		●	●	●	●	●	●	●	●	
	蛸集調査		●	●	●	●	●	●	●	●	
	採取調査						●				
海域環境調査	連続水質調査		—————								

### 5-2-4. 調査項目

実証試験 I の実施期間は、設置したブロックにカジメが付着し、藻長が大きくなる時期である(図 5-3)。実証対象技術の設置数量の違いによる海藻の生長促進効果の差を把握するため、調査はカジメ幼体の付着数と藻長の計測を中心に、以下表 5-5 に示す調査を実施した。

#### 幼体の付着数、藻長を計測

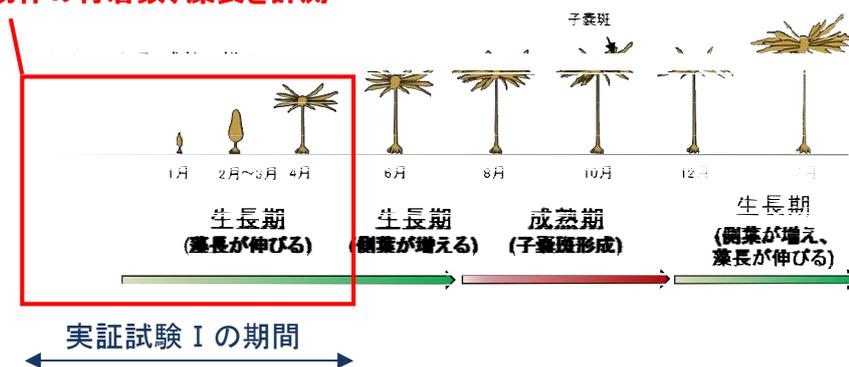


図 5-3 カジメの生長・成熟の様子と実証試験 I の実施時期

表 5-5 実証試験 I で実施した調査項目

項目	方法・対象	実施期間
目視調査	<b>【被度調査】</b> ブロック上面に付着した海藻の種類、被度を計測。	平成23年9月～平成24年4月
	<b>【ブロック上面に取付けたカジメの生長量調査】</b> ブロック上面に取り付けたカジメ藻体の茎長さを計測。	平成23年9月～平成24年4月
	<b>【カジメ幼体の着生、生長状況調査】</b> ブロック上面に付着したカジメ幼体の株数と藻長を計測。	平成23年12月～平成24年4月
蛸集調査	ブロック周辺に出現した魚類、底生生物の種、個体数区分を記録。	平成23年9月～平成24年4月
採取調査	ブロック上面に付着した海藻その他生物を採取し種、質量、個体数を分析。	平成24年1月
連続水質調査	実証試験実施海域における水温、塩分、照度の連続機器観測。 1ヶ月に1回、設置機器の点検を実施。	平成23年9月～平成24年4月 (連続観測)

### 5-3. 実証試験Ⅱの内容

#### 5-3-1. 試験の目的

実証試験Ⅱは、実証対象技術の交換頻度による効果の違いを把握することを目的とし、試験区1、試験区2における実証対象技術の交換頻度を変え、海藻の生長、成熟状況を比較した。

#### 5-3-2. 試験区1、試験区2、対照区の内容

平成24年4月調査時に、全区画の実証対象技術の交換を行い、B区画の試験区1、試験区2については、実証対象技術の装着個数を共に1ブロックあたり6ヶとした。

その後、試験区1の実証対象技術は1ヶ月毎に交換を実施し、試験区2の実証対象技術は3ヶ月毎に交換を実施した。各区画の内容を図5-4に示す。

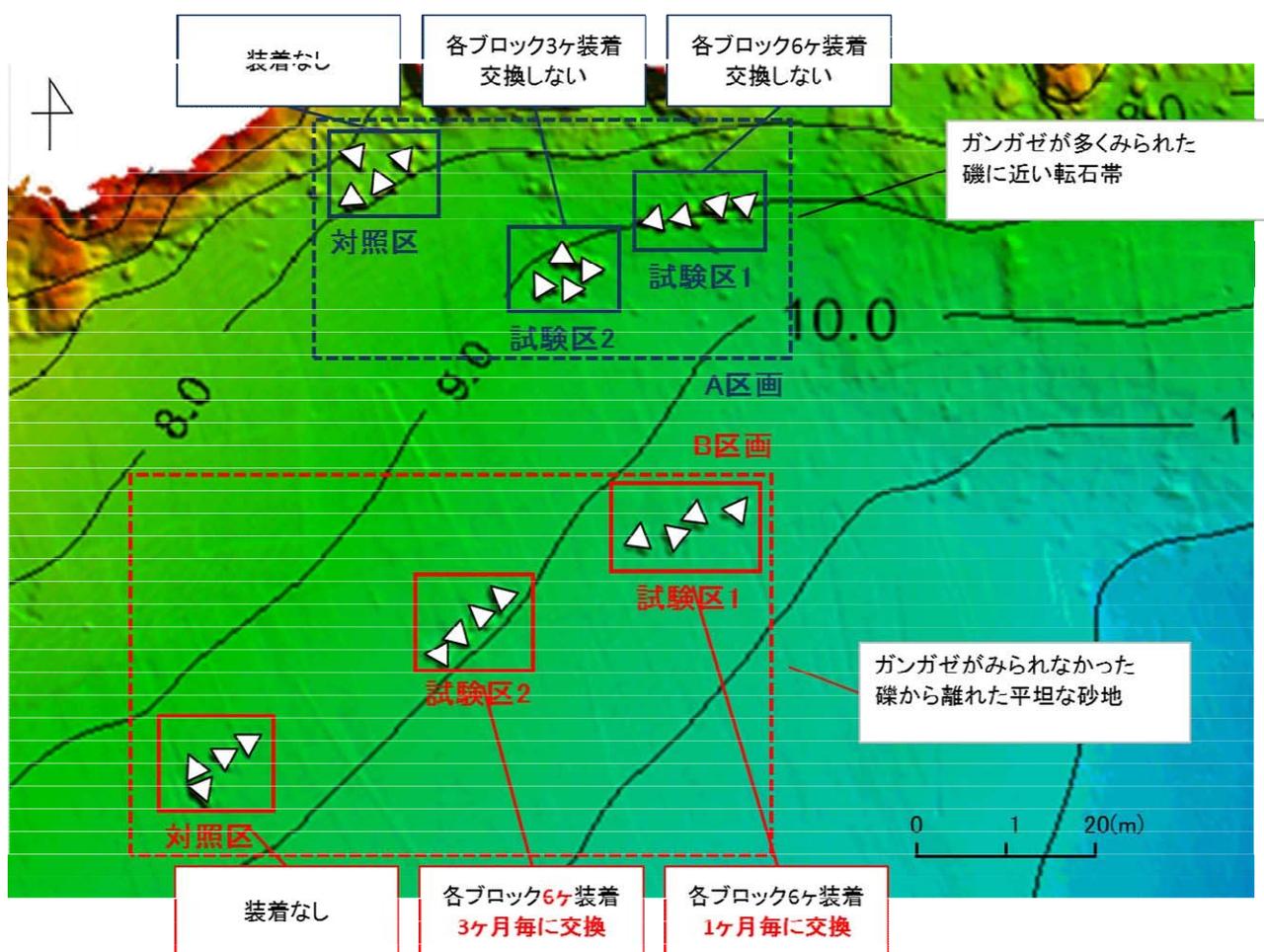


図5-4 実証試験Ⅱにおける各区画の内容(赤字は実証試験Ⅰからの変更点)

5-3-3. 実施工程

実証試験Ⅱの調査工程を表 5-6 に示す。

表 5-6 実証試験Ⅰの調査工程

項目	平成24年										平成25年
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	
モニタリング調査	目視調査	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	蛸集調査	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	採取調査					●					
海域環境調査	連続水質調査	—————									
人工ミネラルの交換	B区画 試験区1					●	●	●	●	●	
	B区画 試験区2					●			●		

5-3-4. 調査項目

実証試験Ⅱの実施期間は、カジメの藻長が大きく変化せず、6月～8月頃は側葉の新生が、また10月～12月は子囊斑の形成が見られる時期である(図 5-5)。実証対象技術の交換頻度の違いによる海藻の生長及び成熟への効果の差を把握するため、調査は藻長だけでなく、カジメ側葉の生長量と子囊斑の形成状況の計測を中心に、以下表 5-7 に示す調査を実施した。

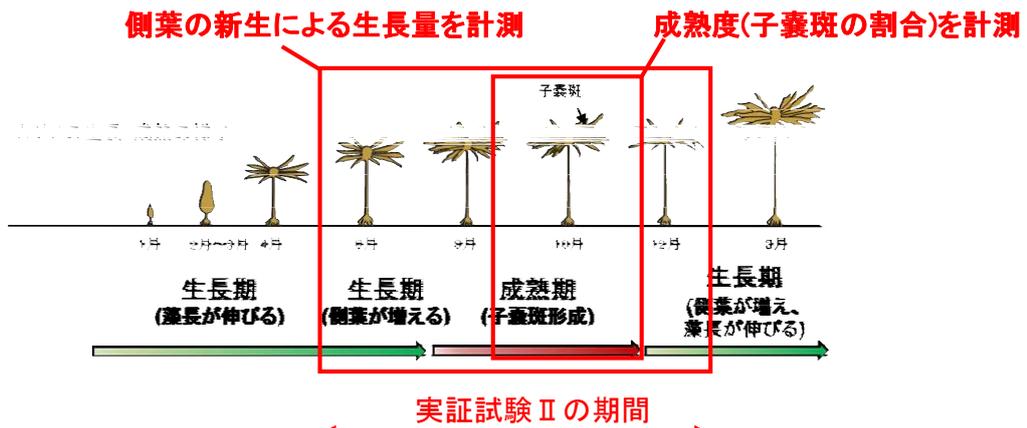


図 5-5 カジメの生長・成熟の様子と実証試験Ⅱの実施時期

表 5-7 実証試験Ⅱで実施した調査項目(赤字：実証試験Ⅱからの調査)

項目	方法・対象	実施期間
目視調査	<b>【被度調査】</b> ブロック上面に付着した海藻の種類、被度を計測。	平成24年5月～平成25年1月
	<b>【ブロック上面に取付けたカジメの生長量調査】</b> ブロック上面に取り付けたカジメ藻体の茎長さを計測。	平成24年5月～平成25年1月
	<b>【カジメの着生、生長状況調査】</b> ブロック上面に付着したカジメの株数と藻長を計測。	平成24年5月～平成25年1月
	<b>【側葉の新生による生長量計測】※実証試験Ⅱからの調査</b> ブロック上面に付着したカジメの側葉に開けた目印穴と生長点までの距離を計測。	平成24年6月～平成25年1月
	<b>【成熟度調査】※実証試験Ⅱからの調査</b> ブロック上面に付着したカジメの側葉に形成された子囊斑の側葉に対する割合を計測。	平成24年10月～平成24年12月
蛸集調査	ブロック周辺に出現した魚類、底生生物の種、個体数区分を記録。	平成24年5月～平成25年1月
採取調査	ブロック上面に付着した海藻その他生物を採取し種、質量、個体数を分析。	平成24年8月
連続水質調査	実証試験実施海域における水温、塩分、照度の連続機器観測。 1ヶ月に1回、設置機器の点検を実施。	平成24年5月～平成25年1月 (連続観測)

## 5-4. 目標及び調査内容

### 5-4-1. 目標

本技術を試験区に設置することにより、対照区に比べ海藻の生育が促進され、藻場(海中林)が形成されることを期待している。よって、本試験の評価目標は、試験区1において、対照区を越える海藻の生物量<sup>(\*)</sup>を確保することとした。実証項目および目標を表5-8に、実証対象技術の効果が発揮された場合の試験区1、試験区2、対照区のイメージを図5-6に示す。

表5-8 実証項目及び目標

実証項目	目標水準
海藻	試験区1において、対照区を越える海藻の生物量 <sup>(*)</sup> を確保すること。

(\*)生物量は、海藻の株数、藻長、成熟度で評価する。

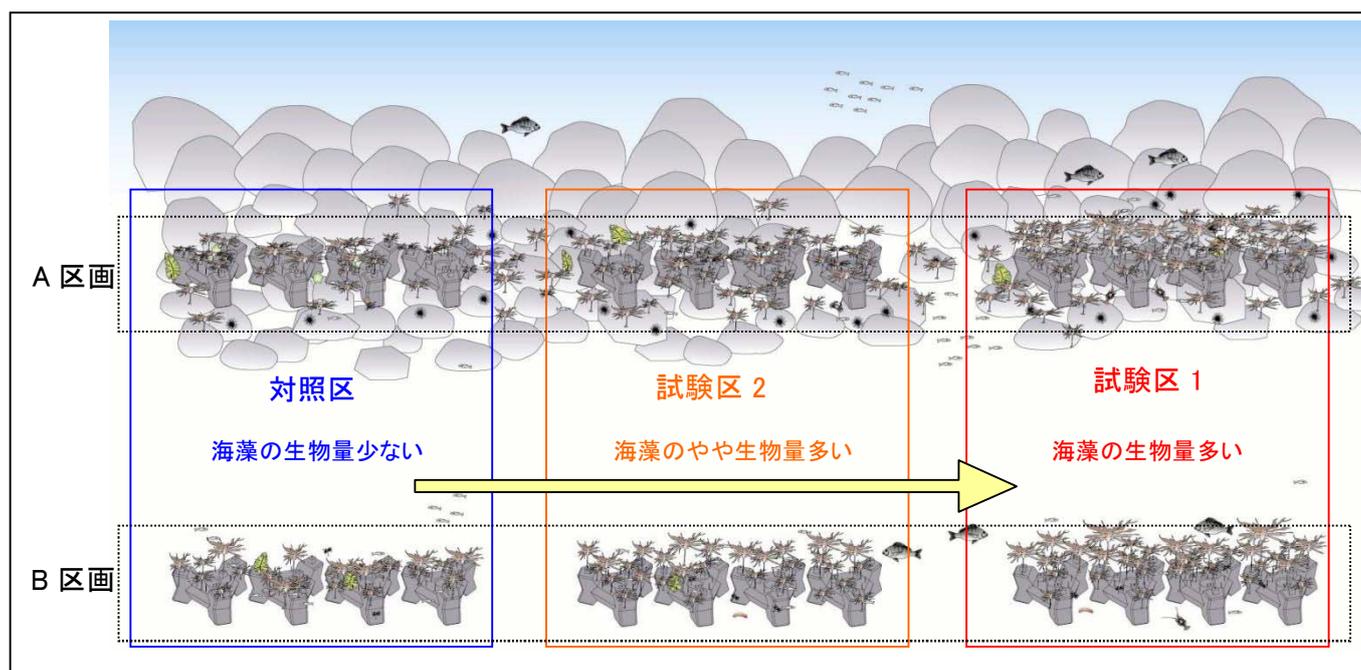


図5-6 実証対象技術の効果が発揮された場合の試験区1、試験区2、対照区のイメージ

### 5-4-2. 目視調査(ブロック上面の被度調査)

ブロック上面における海藻の付着、生長状況を把握するため、潜水士により、ブロック上面に付着した海藻の種、被度を計測した。調査範囲を図 5-7 に、調査状況を図 5-8 に示す。調査は平成 23 年 9 月～平成 25 年 1 月まで計 15 回実施した(表 5-9)。

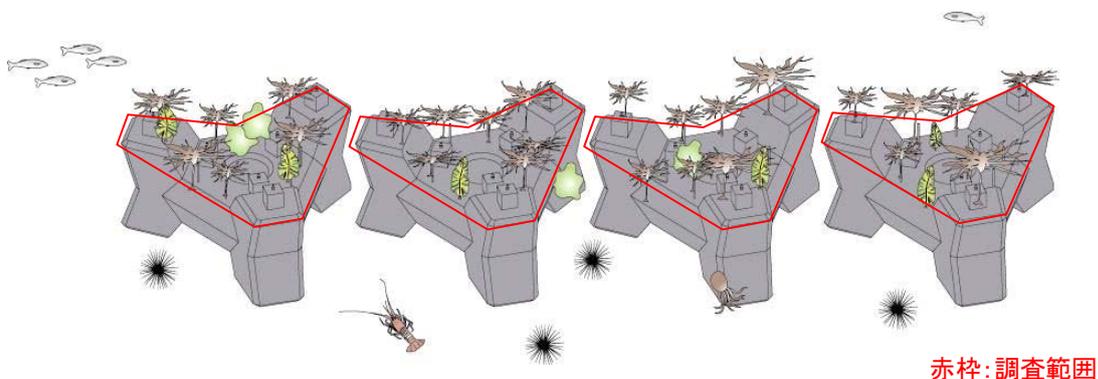


図 5-7 被度調査範囲(ブロック上面)



図 5-8 被度調査状況

表 5-9 調査実施工程

項目	平成23年				平成24年												平成25年	
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	
目視調査 (被度調査)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

### 5-4-3. 目視調査(ブロック上面に取付けたカジメの生長量調査)

ブロックに海藻(カジメ)が付着するまでの期間、実証対象技術の海藻生長促進効果を把握するため、9月、10月調査時に各ブロックに1株ずつ(合計、各ブロックに2株ずつ)取り付け、茎長を計測し、その生長量を把握した。ブロック上面に取付けたカジメの様子を図5-9、図5-10に示す。調査は平成23年9月～平成25年1月まで計15回実施した(表5-10)。



図5-9 ブロックに取付けたカジメ

(左：レンガに取り付けたカジメ、ブロックへの取付け状況(茎長計測箇所))

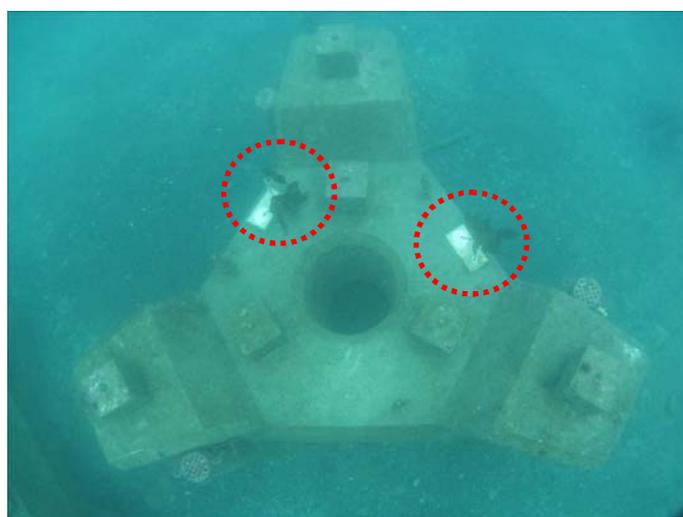


図5-10 ブロックに取付けたカジメ(各ブロック2株)

表5-10 調査実施工程

項目	平成23年				平成24年												平成25年	
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	
目視調査 (ブロック上面に取付けた カジメの生長量)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

#### 5-4-4. 目視調査(カジメ幼体の着生、生長状況調査)

各ブロックとも同条件でカジメの遊走子が着生するように、平成23年9月調査時に全てのブロック上面に3株のカジメの母藻を取付けた。ブロック上面に取り付けたカジメ母藻の様子を図5-11に示す。

平成23年12月調査時から、ブロック上面にカジメの幼体の着生が確認された(図5-12)。カジメ幼体の着生状況、生長状況を把握するため、カジメ幼体の株数と藻長を計測した。調査は平成23年12月～平成25年1月まで計12回実施した(表5-11)。



図5-11 ブロックに取り付けたカジメ母藻(各ブロック3株 平成23年9月)



図5-12 確認されたカジメの幼体(平成23年1月)

表5-11 調査実施工程

項目	平成23年	平成24年												平成25年
	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
目視調査 (幼体の着生、生長)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

#### 5-4-5. 目視調査(カジメの側葉の新生による生長量計測)

一般的に、カジメは水温が低下する冬季～春季にかけて最も藻長が伸びる。夏季～冬季はそれまでに比べ藻長の変化は小さいが、夏季(5月頃～8月頃)もカジメの側葉は新生し、増加することが知られている。カジメの側葉は生長点より生まれ、大きくなるにつれカジメ藻体の上部に移動し、枯れる。よって、各カジメ側葉の生長点から上部への移動量を計測することで、そのカジメの側葉の新生状況を把握できる。

本調査では、生長点に最も近い10cmを超える側葉の中央部に2つ穴をあけ、その内側の穴と生長点の距離を毎月計測することで、側葉の移動距離を把握した。計測箇所を図5-13に示す。計測はブロック上面に付着したカジメを対象とし、各区画14株程度計測した。調査は平成24年6月～平成25年1月まで計7回実施した(表5-12)。



図 5-13 計測箇所

表 5-12 調査実施工程

項目	平成24年							平成25年
	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
目視調査 (側葉の新生による 生長量計測)		●	●	●	●	●	●	●

### 5-4-6. 目視調査(成熟度調査)

秋季から冬季(9月頃～12月頃)は、カジメの成熟期となる。成熟期は、生長(藻長の伸び、側葉の新生)は鈍くなるが、側葉には遊走子を蓄える子嚢斑が形成される。実証対象技術の子嚢斑形成における効果を調べるため、子嚢斑の側葉に占める割合を目視計測した。具体的には、10cmを超える側葉それぞれについて、子嚢斑の側葉に占める割合を計測し、株ごとの平均値を算出した。計測はブロック上面に付着したカジメを対象とし、各区画20株程度を抽出した(A区画対照区はカジメが少ないため10株程度となった)。計測例を図5-14に、実際に形成されていた子嚢斑の様子を図5-15に示す。調査は平成24年10月～12月まで計3回実施した(表5-13)。

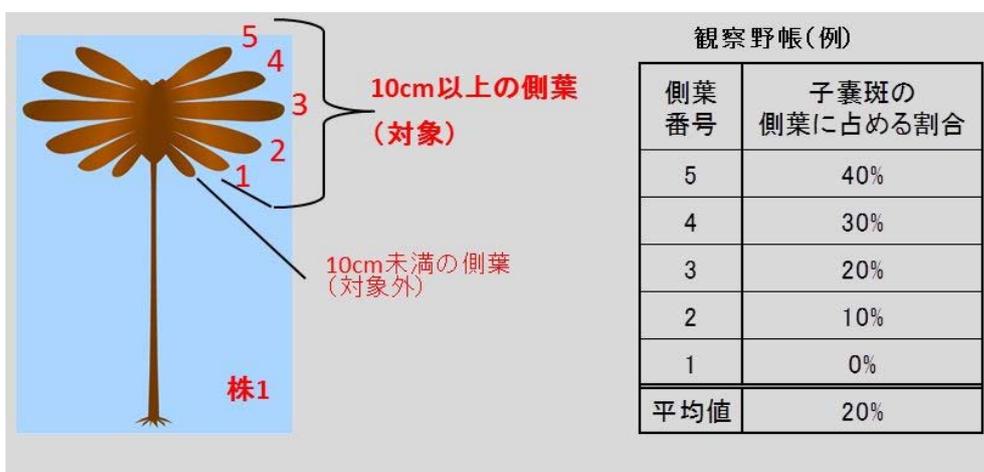


図5-14 成熟度計測例

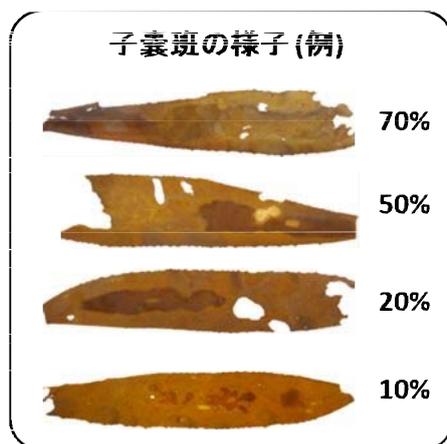


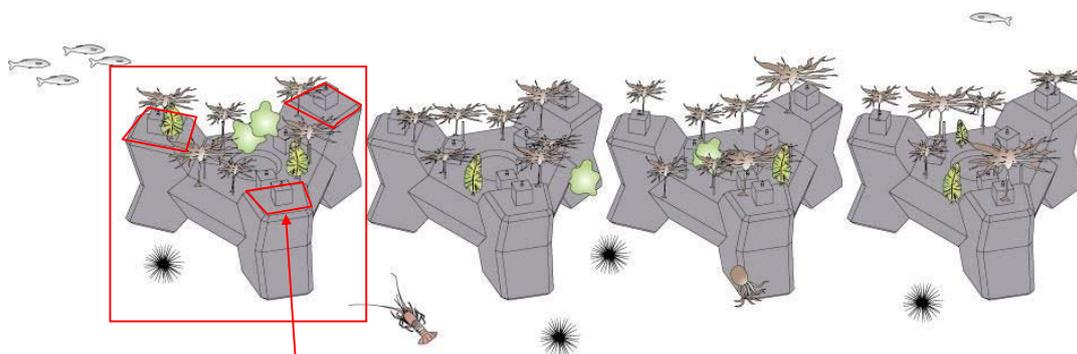
図5-15 子嚢斑の様子(右の数値は子嚢斑の側葉に対する割合を示す)

表5-13 調査実施工程

項目	平成24年		
	10月	11月	12月
目視調査 (成熟度調査)	●	●	●

### 5-4-7. 採取調査

ブロック上面の生物付着状況を把握するため、潜水士により、ブロック三脚部の上面(0.25m<sup>2</sup>×3箇所)の付着生物を剥ぎ取り、採取した。調査範囲を図5-16に示す。採取したサンプルはその後、分析室に持ち帰り、生物の種、個体数、湿重量を計測した。調査は平成24年1月と8月の計2回実施した(表5-14)。



ブロックの三脚上部(0.25m<sup>2</sup>×3箇所)の付着生物を採取し、室内分析により、種、個体数、湿重量を計測。

図5-16 採取調査範囲(ブロック三脚部上面)

表5-14 調査実施工程

項目	平成24年												
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
採取調査	●								●				

#### 5-4-8. 蛸集調査

魚類、底生生物の蛸集状況を把握するため、潜水士により、ブロック周辺に出現した魚類、底生生物の種、個体数区分を記録した。ブロック周辺の出現生物の例を図5-17に示す。個体数区分を表5-15に示す。調査は平成23年9月～平成25年1月まで計15回実施した(表5-16)。



図5-17 ブロック周辺の出現生物(ガンガゼ)

表5-15 魚類、底生生物の個体数区分

略号	区分の基準
rr	1～2個体
r	3～10個体
c	11～50個体
cc	51個体以上

表5-16 調査実施工程

項目	平成23年					平成24年												平成25年	
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	
蛸集調査		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

### 5-4-9. 連続水質調査

実証試験実施場所の海域環境を把握するため、A 区画と B 区画の中央において機器を設置し、ブロックと同水深における水温、塩分、照度の連続計測を実施した。計測は平成 23 年 9 月～平成 25 年 1 月の 16 ヶ月間実施し、計測期間中 1 ヶ月に 1 回、設置機器の清掃、点検及びデータ回収を実施した(表 5-17)。機器の設置概要を図 5-18 に、機器設置状況を図 5-19 に示す。また設置機器の仕様を図 5-20 に示す。

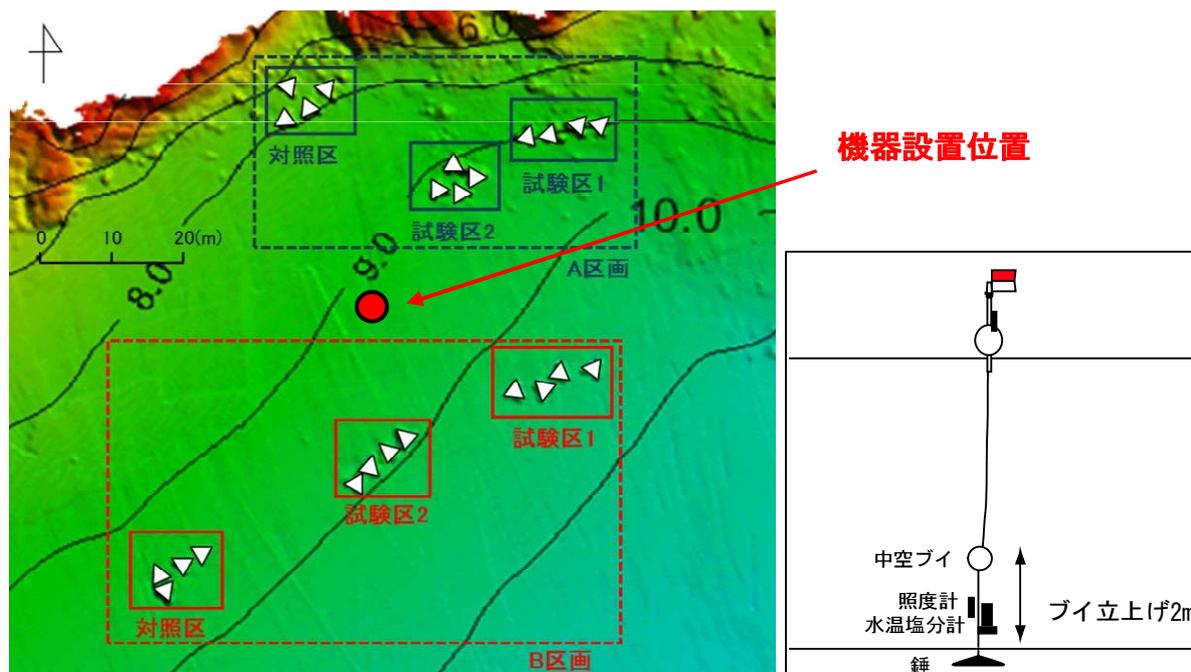


図 5-18 連続観測機器の設置概要

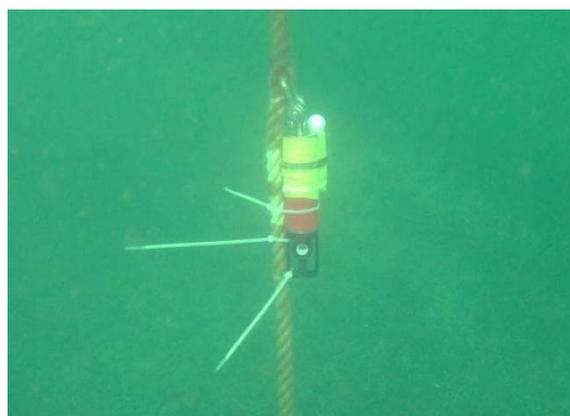


図 5-19 連続観測機器の設置状況

表 5-17 調査実施工程

項目	平成23年				平成24年												平成25年			
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月			
連続水質調査																				
									連続機器観測											

## 使用機器仕様

### 超小型メモリ照度計 (MDS-MkV/L: JFE アドバンテック (旧 JFE アレック) 社製)

#### 照度センサ仕様

タイプ	: フォトダイオード
測定レンジ	: 0~2000 $\mu\text{m}/\text{m}^2\cdot\text{sec}$
分解能	: 1 $\mu\text{m}/\text{m}^2\cdot\text{sec}$
精度	: $\pm 4\%$ FS



#### ハードウェア仕様

材質	: チタニウム (受光部はジュラコン樹脂)
寸法	: 直径 18mm 全長 93mm (受光部直径 22mm)
重量	: 空中重量 50g 水中重量 30g (電池含む)

### 水温塩分計 (COMPACT-CT: JFE アドバンテック (旧 JFE アレック) 社製)

#### COMPACT-CT センサ仕様

水温センサ	
タイプ	: サーミスタ
レンジ	: $-5\sim 40^{\circ}\text{C}$
分解能	: $0.001^{\circ}\text{C}$
精度	: $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$
電気伝導度センサ	
タイプ	: 電磁誘導セル
レンジ	: $0\sim 60\text{ms}/\text{cm}$
分解能	: $0.001\text{ms}/\text{cm}$
精度	: $\pm 0.02\text{ms}/\text{cm}$



#### ハードウェア仕様

材質	: チタニウム
寸法	: 直径 40mm 全長 193mm
重量	: 空中重量 500g 水中重量 265g
耐圧性能	: 200m 水深相当

図 5-20 連続観測機器の設置状況

## 6. 実証試験結果

### 6-1. 連続水質調査結果

実証試験海域における平成23年9月～平成25年1月の水温、塩分、光量子の連続観測結果を図6-1に示す。水温は13.7℃～28.3℃、塩分は29.5～34.9、日積算光量子は0.03mol/m<sup>2</sup>～11.8mol/m<sup>2</sup>の範囲であった。静岡県水産技術研究所報告(平成13年～16年度)によると水温が20℃より低く、日積算光量子量が高くなると(報告では3.1以上)、カジメの生長量が高くなることが確認されている。本試験海域では、平成23年11月26日～平成24年5月22日、平成24年11月19日以降に水温が20℃以下となっており、カジメの生長する条件となっていたことが考えられる。

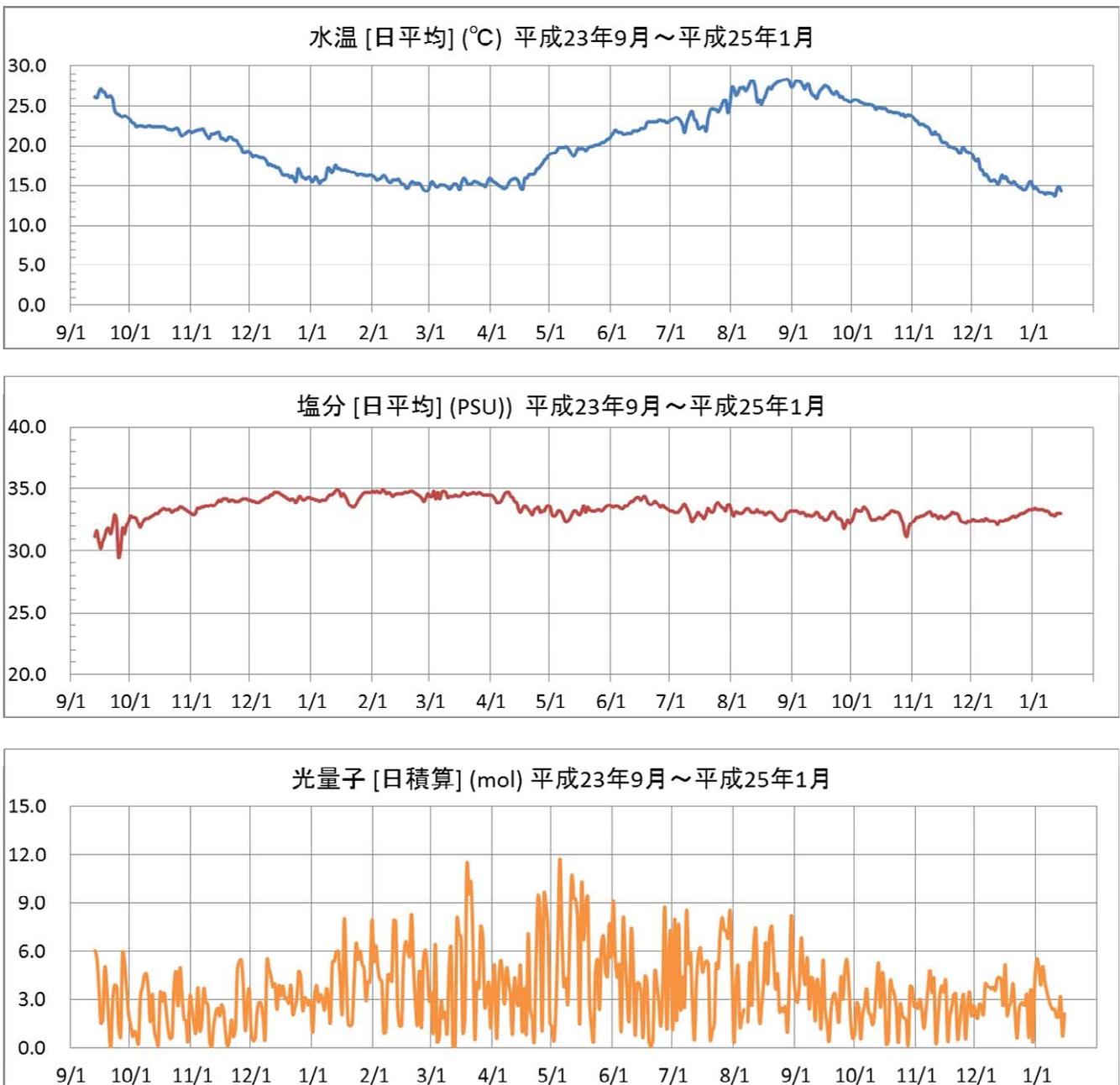


図 6-1 連続水質調査結果(平成23年9月13日～平成25年1月15日)

## 6-2. 蛸集調査結果

蛸集調査で確認された生物のうち、ガンガゼの出現状況を表 6-1 に示す。調査期間中、B 区画でガンガゼは確認されておらず、A 区画では毎回確認された。設置したブロック上部に蛸集している状況も確認されており(図 6-2)、ガンガゼがブロック上部の海藻の付着、生長に影響を及ぼしていることが考えられた。(よって、実証対象技術の効果としては、ガンガゼ等の食害の影響がないと考えられる B 区画の調査結果より考察することとし、食害の影響があると考えられる A 区画の結果については、食害環境における実証対象技術の効果を検討するための参考データとした。)

表 6-1 ガンガゼ出現状況(個体数/30m<sup>2</sup>)

ガンガゼ出現状況		平成23年				平成24年										平成25年
		9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	8月	10月	11月	12月	1月
A区画	試験区1		c	c	c	c	c	c		c	c	c	r	c	c	c
	試験区2			rr	r	r	rr	rr		r	c	r	rr	rr	r	r
	対照区	r	r	c	r	c	r	c	rr	r	r	r	c	cc	c	cc
B区画	試験区1															
	試験区2															
	対照区															

個体数区分

cc: 51個体以上
c: 11~50個体
r: 3~10個体
rr: 1~2個体



図 6-2 ガンガゼの蛸集状況(平成 24 年 2 月 A 区画 試験区 1)

### 6-3. 実証試験 I の試験結果

#### 6-3-1. ブロック上面の状況

平成 24 年 1 月、3 月、4 月の B 区画の試験区 1 のブロック上面の状況を図 6-3 に、対照区のブロック上面の状況を図 6-4 に示す。平成 23 年 12 月よりカジメ幼体が着生し、その後生長していく様子が確認された。特に試験区 1 では対照区に比べ多くのカジメの着生が確認された。



図 6-3 ブロック上面の状況(B 区画 試験区 1)

(左：平成 24 年 1 月、中：平成 24 年 3 月、右：平成 24 年 4 月)



図 6-4 ブロック上面の状況(B 区画 対照区)

(左：平成 24 年 1 月、中：平成 24 年 3 月、右：平成 24 年 4 月)

### 6-3-2. 目視調査(ブロック上面の被度調査)結果

ブロック上面への海藻の付着は平成 23 年 10 月より確認された。B 区画における平成 23 年 10 月～平成 24 年 4 月のブロック上面の被度調査結果を図 6-5 に示す。平成 23 年 10 月には珪藻が、平成 23 年 11 月には無節サンゴモ類が多く見られた。平成 23 年 10 月の珪藻の被度と 11 月の無節サンゴモ類の被度には逆の関係が見られた。平成 23 年 12 月、平成 24 年 1 月は、全ての区で無節サンゴモ類は減少していた。平成 23 年 12 月より、ブロック上面にカジメ幼体が確認され、2 月よりカジメが被度として現れるようになった。平成 24 年 4 月のカジメの被度は試験区 1 で 48%、試験区 2 で 20%となり、対照区の 12%以上となった。

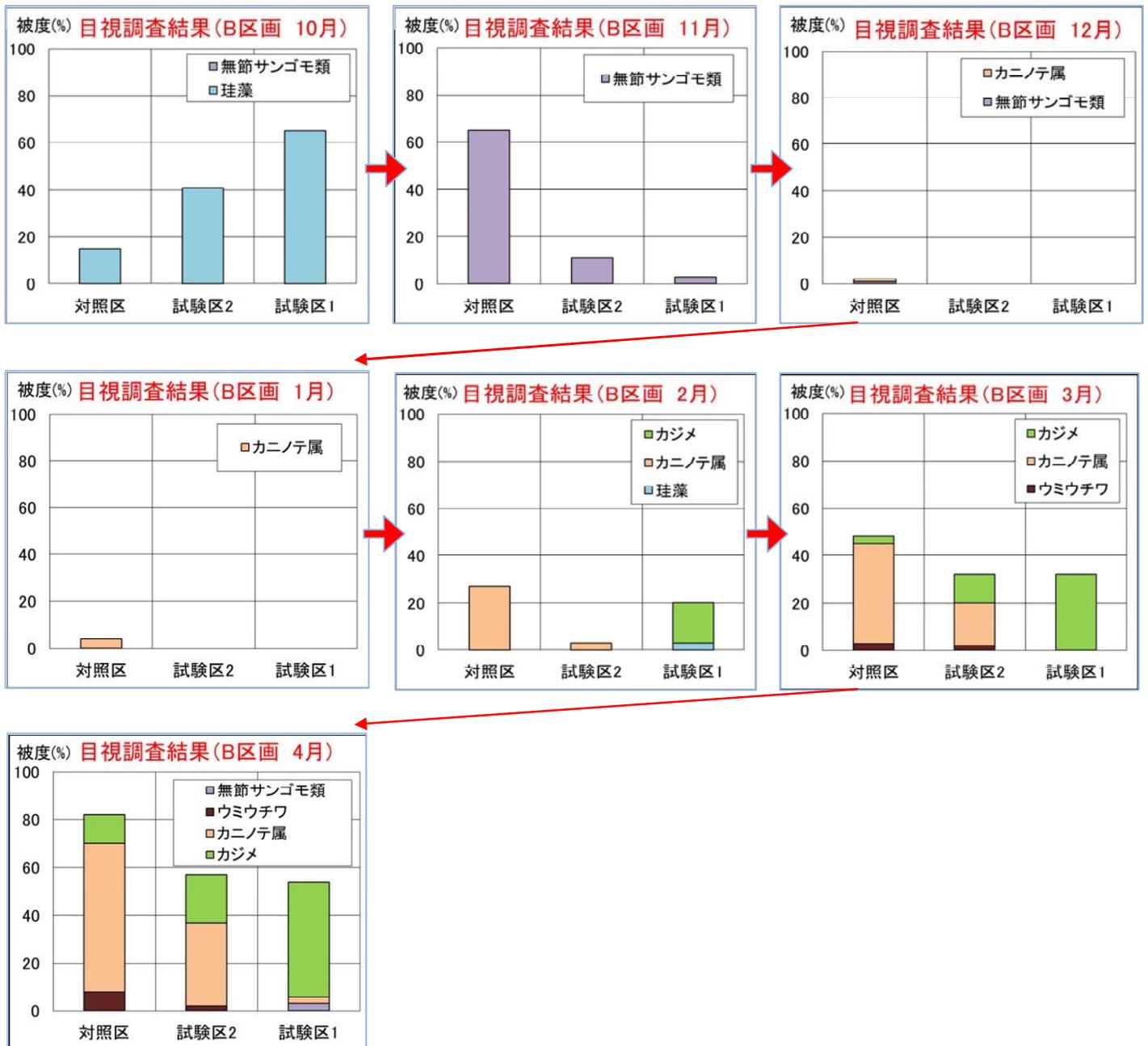


図 6-5 ブロック上面の被度の推移(平成 23 年 10 月～平成 24 年 4 月)

### 6-3-3. 目視調査(ブロック上面に取付けたカジメの生長量調査)結果

ブロック上面に海藻(カジメ)が付着するまでの期間、実証対象技術の海藻生長促進効果を把握するため、平成23年9月、10月調査時に各ブロック1株ずつカジメ藻体を取付け、調査毎にその茎長を計測し、生長量(茎長の伸び)を確認した。

B区画における平成23年9月～平成24年4月の生長量の累積結果を図6-6に示す。平成23年12月以降全区画で生長が見られ、平成24年4月時の生長量累積値は試験区1で44mm、試験区2で38mmとなり、対照区の22mm以上となった。

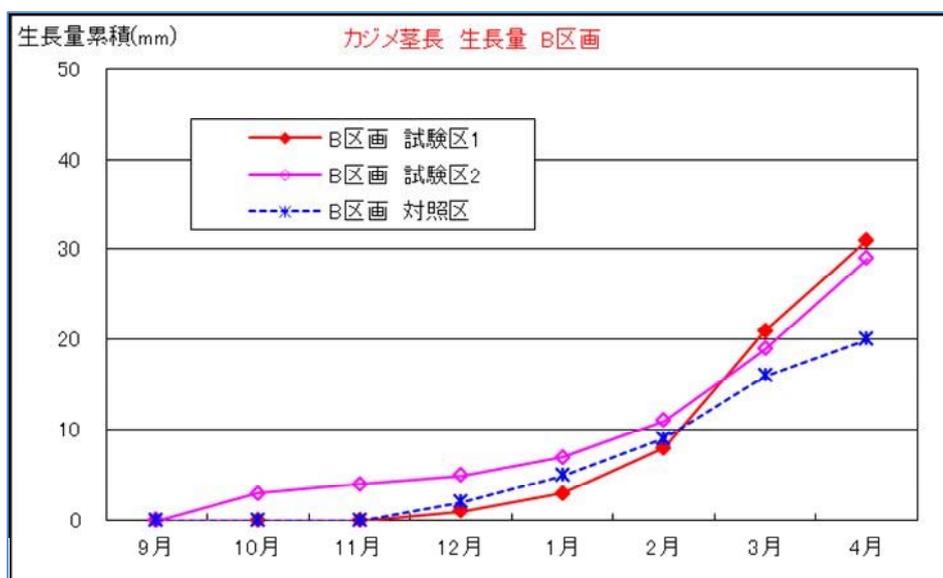


図6-6 取付けたカジメの茎長の生長量(平成23年9月～平成24年4月)

#### 6-3-4. 目視調査(カジメ幼体の着生、生長状況調査)結果

平成23年12月から、ブロック上面にカジメの幼体(平成23年12月、平成24年1月の調査時には被度として表れない程度)の着生が確認された。B区画における平成23年12月～平成24年4月のカジメの付着株数を図6-7に示す。また同期間のカジメの藻長を図6-8に、各月の生長量を図6-9に示す。着生したカジメ幼体の株数は全ての区で1月に最も多く、試験区1で267株、試験区2で150株となり、対照区の107株以上となった。また藻長は全ての区で4月に最長となり、試験区1で308mm、試験区2で238mmとなり、対照区の185mm以上となった。

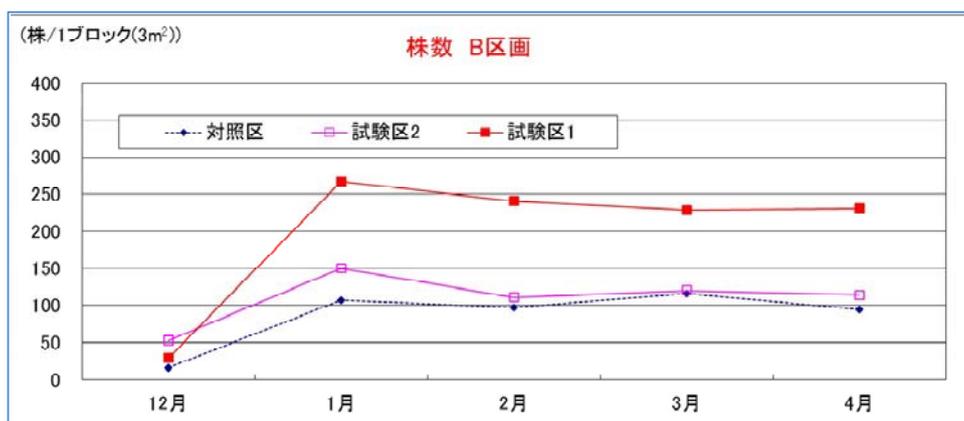


図 6-7 ブロック上面に付着したカジメの株数(平成23年12月～平成24年4月)

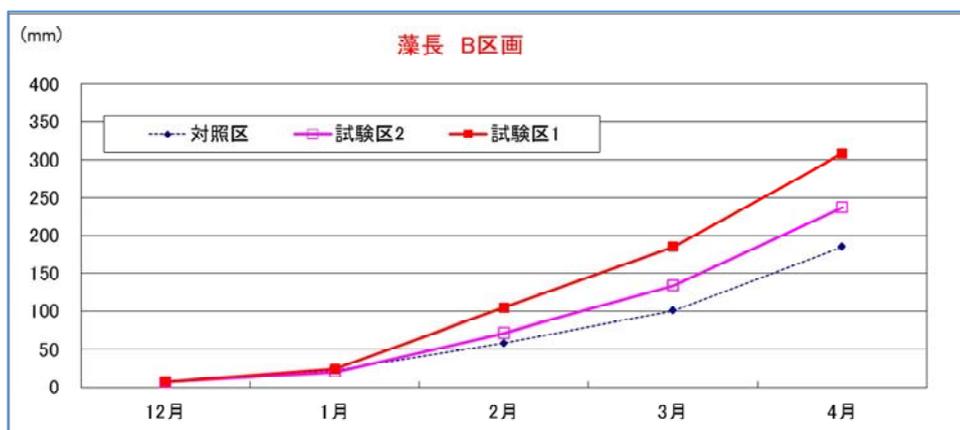


図 6-8 ブロック上面に付着したカジメの藻長(平成23年12月～平成24年4月)



図 6-9 ブロック上面に付着したカジメ藻長の生長量(平成23年12月～平成24年4月)

### 6-3-5. 採取調査結果

平成 24 年 1 月にブロック三脚部上面 (0.25m<sup>2</sup>×3 箇所) の付着生物を剥ぎ取りし、種と個体数、湿重量を計測した。B 区画における植物の採取調査結果を表 6-2 に示す。試験区 1、対照区はカニノテ属が、試験区 2 はウミウチワが優占していた。カジメの質重量を図 6-10 に示す。採取したカジメの湿重量は試験区 1 で 0.8g/m<sup>2</sup>、試験区 2 で 9.3g/m<sup>2</sup>、対照区で 0.7g/m<sup>2</sup>であった。ブロックに付着した海藻はウミウチワなどの小型一年生が多く、採取したコンブ科についても未だ幼体であった。実証対象海域において、海藻は付着、生長の遷移途中であり、今後、種や生物量は大きく変化することが考えられた。

表 6-2 採取調査結果 植物(平成 24 年 8 月採取)

平成24年1月	B区画		
	対照区	試験区2	試験区1
種数	25	37	31
湿重量(g/m <sup>2</sup> )	208.3	45.2	9.0
優占種	カニノテ属	ウミウチワ	カニノテ属
湿重量(g/m <sup>2</sup> )	183.3	18.3	4.8
カジメ湿重量(g/m <sup>2</sup> )	0.7	9.3	0.8

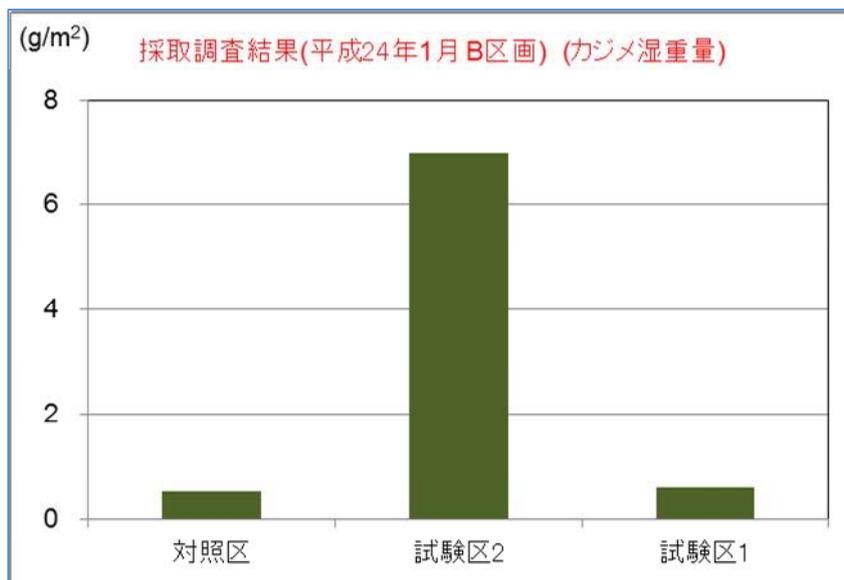


図 6-10 採取調査結果 カジメ湿重量 (平成 24 年 8 月)

## 6-4. 実証試験Ⅱの試験結果

### 6-4-1. ブロック上面の状況

平成24年5月、10月、平成25年1月の試験区1のブロック上面の状況を図6-11に、対照区のブロック上面の状況を図6-12に示す。平成24年5月、ブロック上面に繁茂していたカジメ群落の生物量が同年10月に減少し、翌年1月に増加する様子が確認された。また、平成25年1月は新しいカジメ幼体の着生が確認された。



図6-11 ブロック上面の状況(B区画 試験区1)

(左：平成24年5月、中：平成24年10月、右：平成25年1月)



図6-12 ブロック上面の状況(B区画 対照区)

(左：平成24年5月、中：平成24年10月、右：平成25年1月)

### 6-4-2. 目視調査(ブロック上面の被度調査、初期の珪藻付着状況の再現確認)結果

B区画における平成24年5月～平成25年1月のブロック上面の被度調査結果を図6-13に示す。平成24年5月～8月に各区でみられたウミウチワ、カニノテ属は10月、11月に減少し、カニノテ属は12月に再度出現した。カジメについては、平成24年5月は試験区1で62%、試験区2で32%であり、対照区の20%以上となっていたが、その傾向は調査期間中で大きく変わらず、平成25年1月は試験区1で68%、試験区2で45%であり、対照区の28%以上となった。



図 6-13 ブロック上面の被度の推移(平成24年5月～平成25年1月)

平成 23 年 8 月のブロック設置後、試験区で珪藻が多く付着し、無節サンゴモ類が少なくなったことで、カジメの付着しやすい環境となったことが考えられた。この状況の再現のため、平成 24 年 8 月に試験区 1、試験区 2、対照区において、ブロック 1 基の上面の剥取を行い、観察を行った。

剥取後、海藻の着生が確認された平成 24 年 11 月、12 月のブロック上面の被度調査結果を図 6-14 に示す。

平成 24 年 11 月には試験区 1、試験区 2 で 5%の珪藻の付着が見られたが、前回状況の再現は出来なかった。

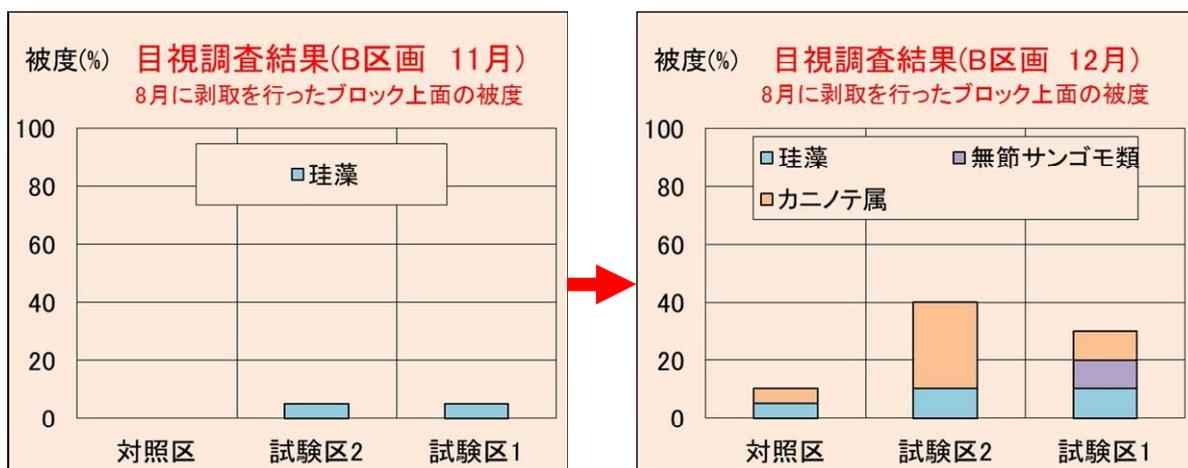


図 6-14 平成 24 年 8 月に上面を剥取したブロック上面の被度調査結果  
(B 区画 左 : 平成 24 年 11 月、右 : 平成 24 年 12 月)

### 6-4-3. 目視調査(カジメの生長状況調査、新しいカジメ幼体の付着状況調査)結果

B区画における平成24年4月～平成25年1月のカジメの付着株数を図6-15に示す。また同期間のカジメの藻長を図6-16に、各月の生長量を図6-17に示す。着生したカジメの株数は全ての区で4月以降減少した。1月は試験区1で127株、試験区2で68株となり、対照区の35株以上となった。また藻長は全ての区で10月～12月に小さくなったが、12月～1月に生長し、1月は試験区1で360mm、試験区2で278mmとなり、対照区の253mm以上となった。



図6-15 ブロック上面に付着したカジメの株数(平成24年4月～平成25年1月)

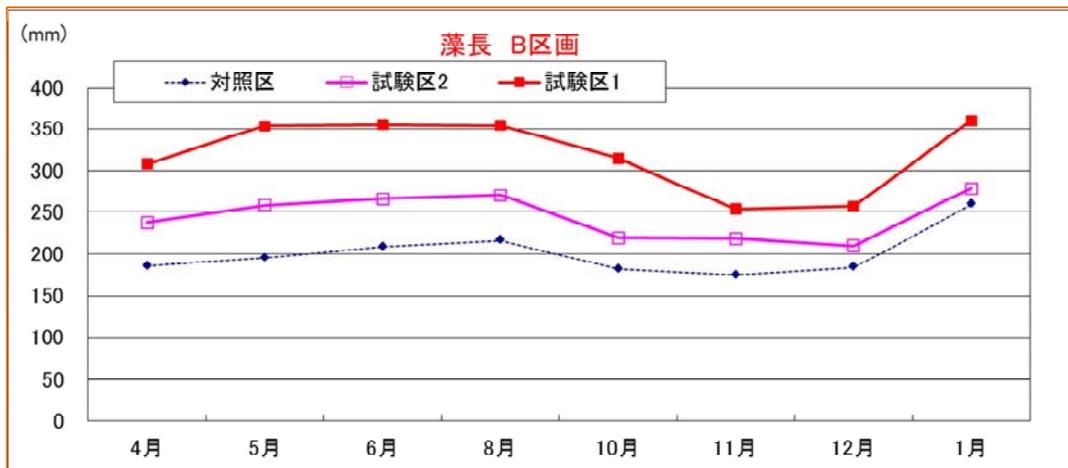


図6-16 ブロック上面に付着したカジメの藻長(平成24年4月～平成25年1月)



図6-17 ブロック上面に付着したカジメ藻長の生長量(平成24年4月～平成25年1月)

平成 25 年 1 月に、各ブロックに新しいカジメ幼体の着生が確認された(図 6-18)。平成 25 年 1 月のカジメ成体と新規幼体の付着状況を図 6-19 に示す。カジメ幼体の付着は試験区 1 で 6 株、試験区 2 で 20 株、対照区で 160 株であり、対照区で最も多くなった。幼体の藻長は試験区 1 で 115mm、試験区 2 で 17.7mm、対照区で 18.9mm であり、試験区 1 で最も大きくなった。



図 6-18 平成 25 年 1 月の新規幼体の付着 (B 区画 対照区)

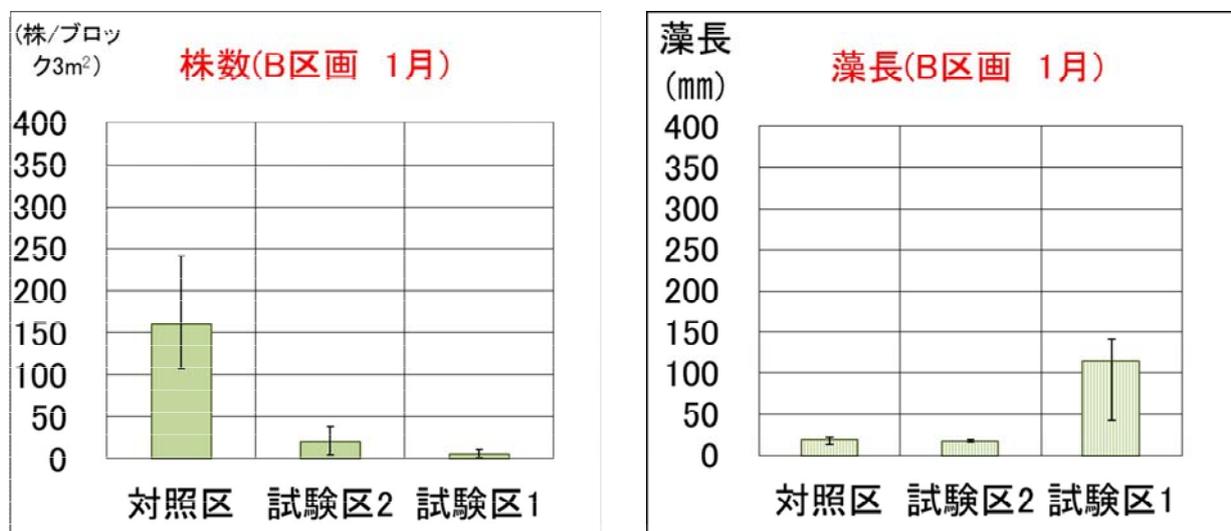


図 6-19 平成 25 年 1 月の新規幼体の付着状況(左：株数、右：藻長)

#### 6-4-4. カジメの側葉の新生による生長状況調査結果

B区画における平成24年6月～平成25年1月のカジメ側葉に開けた目印穴の生長点からの距離の変化(各区画14株程度の平均値)を図6-20に示す。6月～8月、12月～1月については、生長点から目印穴までの距離が伸びており、生長が確認されたが、8月～12月は、生長量は15mm未満であり、大きな変化は見られなかった。

側葉の生長が見られた6月～8月は試験区1で102mm、試験区2で82mmであり、対照区の47mm以上であった。

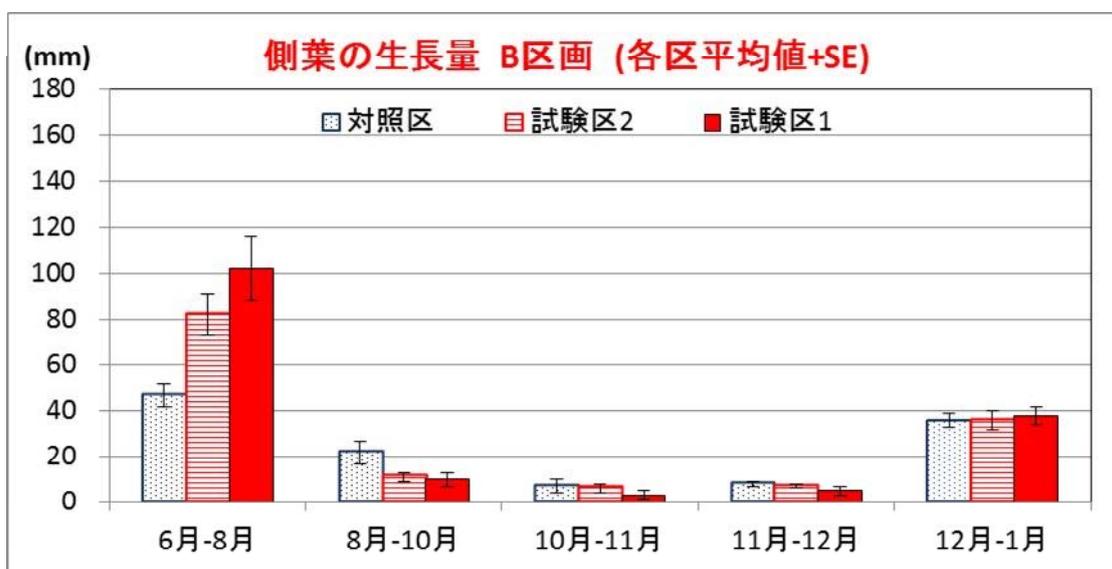


図6-20 各月の側葉の生長点から側葉の目印穴までの距離の伸び  
(平成24年6月～平成25年1月)

#### 6-4-5. 成熟度調査結果

B区画における平成24年10月～12月のカジメの成熟度(子嚢斑の側葉に占める割合)調査結果を図6-21に示す。10月調査時は、各区とも子嚢斑の割合は10%前後であり、子嚢斑の形成初期と考えられた。11月調査時は、今回の調査時期の中で、子嚢斑の割合が最も多かった。12月調査時は、子嚢斑から遊走子が放出された跡や、枯死した側葉が多く、子嚢斑の割合は11月に比べ減少していた。

子嚢斑の割合が最も多かった11月調査時は、試験区1で18.9%、試験区2で16.7%あり、対照区の15.8%以上となっていた。

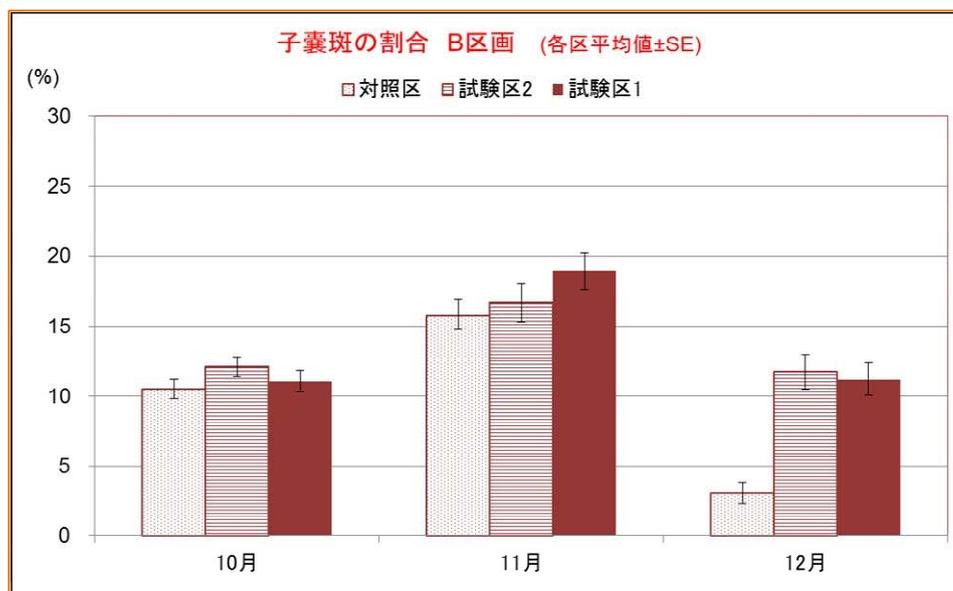


図6-21 カジメの成熟度(子嚢斑の側葉に対する割合)  
(平成24年10月～12月)

#### 6-4-6. 採取調査結果

平成 24 年 8 月にブロック三脚部上面 (0.25m<sup>2</sup>×3 箇所) の付着生物を剥ぎ取りし、種と個体数、湿重量を計測した。B 区画における植物の採取調査結果を表 6-3 に示す。試験区 1、試験区 2 はカジメが、対照区はウミウチワが優占していた。カジメの質重量を図 6-22 に示す。採取したカジメの湿重量は試験区 1 で 9400g/m<sup>2</sup>、試験区 2 で 2017g/m<sup>2</sup>であり、対照区の 274.1g/m<sup>2</sup>以上となっていた。

表 6-3 採取調査結果 植物(平成 24 年 8 月採取)

平成24年8月	B区画		
	対照区	試験区2	試験区1
種数	18	22	13
湿重量(g/m <sup>2</sup> )	2880.9	3085.6	9442.9
優占種	ウミウチワ	カジメ	カジメ
湿重量(g/m <sup>2</sup> )	2189.8	2017.0	9400.0
カジメ湿重量(g/m <sup>2</sup> )	274.1	2017.0	9400.0

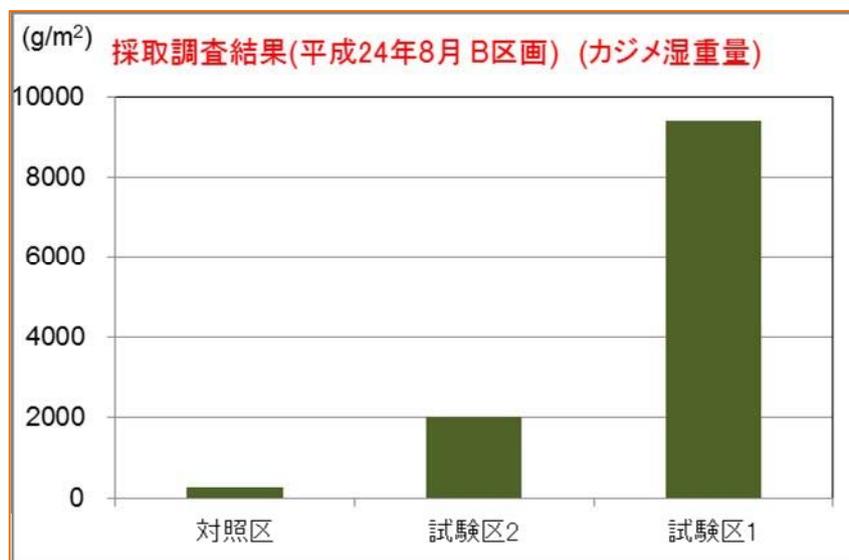


図 6-22 採取調査結果 カジメ湿重量 (平成 24 年 8 月)

## 7. 考察と結論

### 7-1. 考察

#### 7-1-1. 実証対象技術の設置数量による効果の違いについて

平成23年12月～平成24年4月に実施したブロック上面のカジメ藻長計測結果より(図7-1、図7-2)、実証対象技術を装着した試験区1、試験区2では、常に実証対象技術を装着していない対照区以上の生長量となっていた。

平成24年4月のカジメ藻長は試験区1で308mm、試験区2で238mmとなり、対照区の185mmと比較し、それぞれ1.7倍、1.3倍となった。t検定を行った結果、B区画の試験区1、試験区2、対照区それぞれにおいて有意な差であることが確認された(表7-1)。

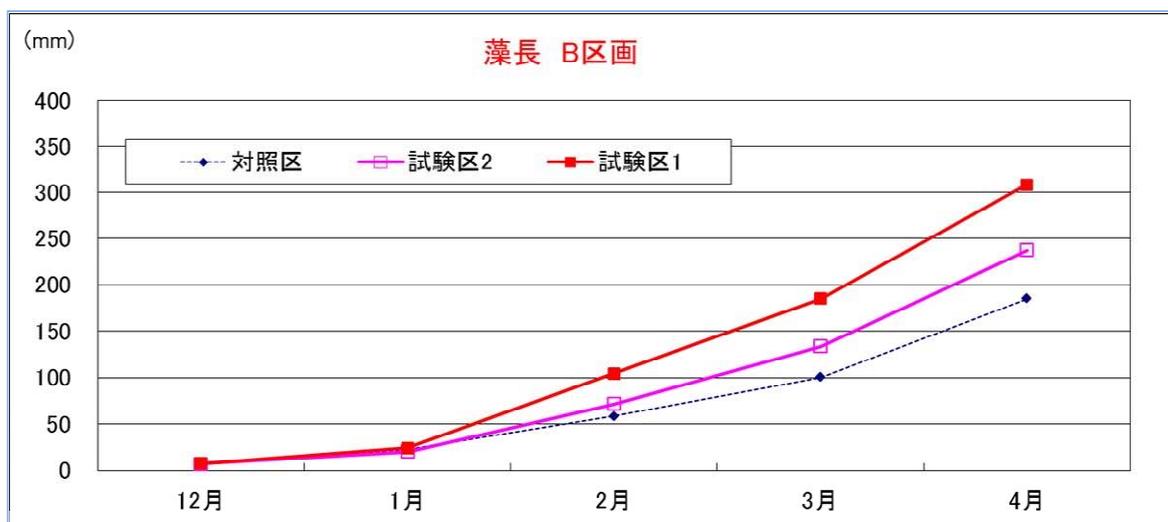


図7-1 ブロック上面に付着したカジメ藻長(平成23年12月～平成24年4月)

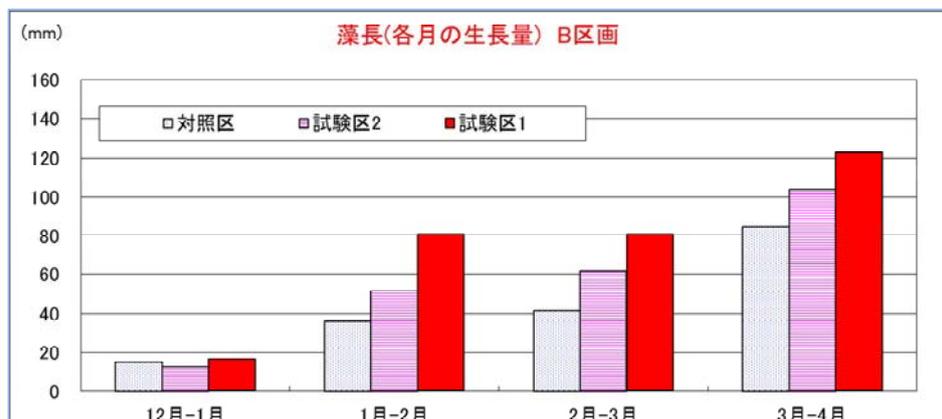


図7-2 ブロック上面に付着したカジメ藻長の各月の生長量(平成23年12月～平成24年4月)

表7-1 t検定結果(平成24年4月 B区画 カジメ藻長)

t検定結果(平成24年4月 B区画 カジメ藻長)	
試験区1-試験区2	p(両側)0.006<0.05より、試験区1と試験区2の平均値に <b>有意差がある</b> と判断できる。
試験区1-対照区	p(両側)0.00003<0.05より、試験区1と対照区の平均値に <b>有意差がある</b> と判断できる。
試験区2-対照区	p(両側)0.016<0.05より、試験区2と対照区の平均値に <b>有意差がある</b> と判断できる。

## 7-1-2. 実証対象技術の交換頻度による効果の違いについて

平成 24 年 4 月から平成 B 区画においては、試験区 1 と試験区 2 の実証対象技術の装着個数は共に 6 ケとし、交換頻度を試験区 1 は 1 ヶ月毎、試験区 2 は 3 ヶ月毎とした。

B 区画におけるカジメの藻長と側葉の生長量を図 7-3 に示す。藻長は、平成 24 年 6 月～11 月の期間、大きな変化は見られなかった。側葉は、平成 24 年 6 月～8 月に生長が見られたが、平成 24 年 8 月～12 月は大きな変化が見られなかった。これは、一般に言われているカジメの成長の様子と合致している。

カジメの生長に大きな変化が見られなかった平成 24 年 8 月～12 月については、実証対象技術の交換頻度による生長の違いは確認出来なかったが、藻長もしくは側葉の生長が見られた平成 24 年 4 月～8 月、平成 24 年 12 月～平成 25 年 1 月は、実証対象技術を交換した試験区で、対照区以上の生長量が確認された。実証対象技術の投入を、海藻の生長の時期に合ったタイミングで行うことで、より効果的な使用が出来ることが考えられた。

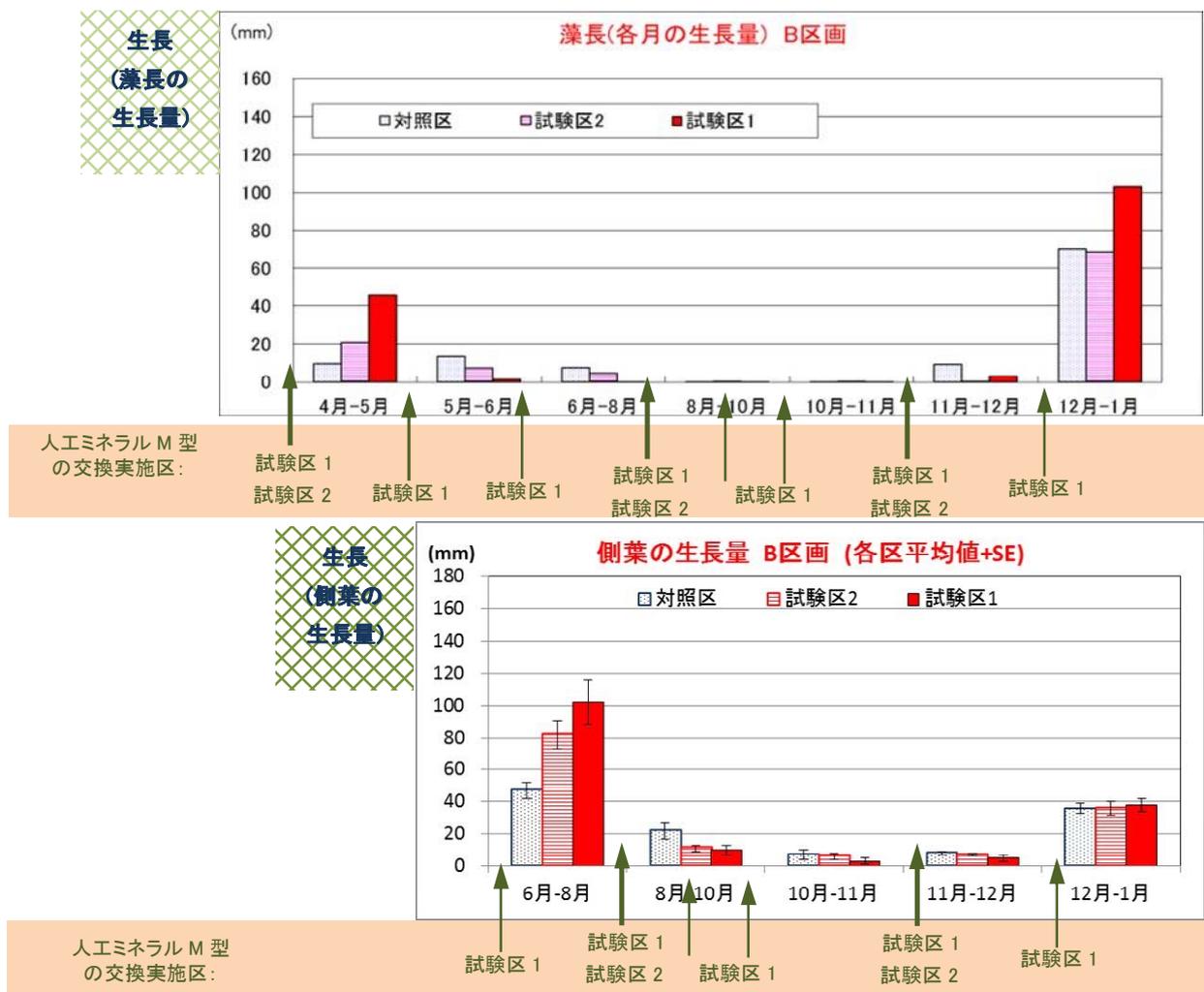


図 7-3 上：藻長の各月の生長量、下：側葉に開けた目印穴から生長点までの距離の変化

平成 24 年 11 月に実施した B 区画のカジメの成熟度調査結果を図 7-4 に、また t 検定結果を表 7-2 に示す。t 検定の結果、各区画の値は有意な差とはならなかったが、子囊斑の割合は、試験区 1 で 18.9%、試験区 2 で 16.7%あり、対照区の 15.8%以上となっており、実証対象技術の海藻成熟(子囊斑形成)促進効果の可能性が伺えた。

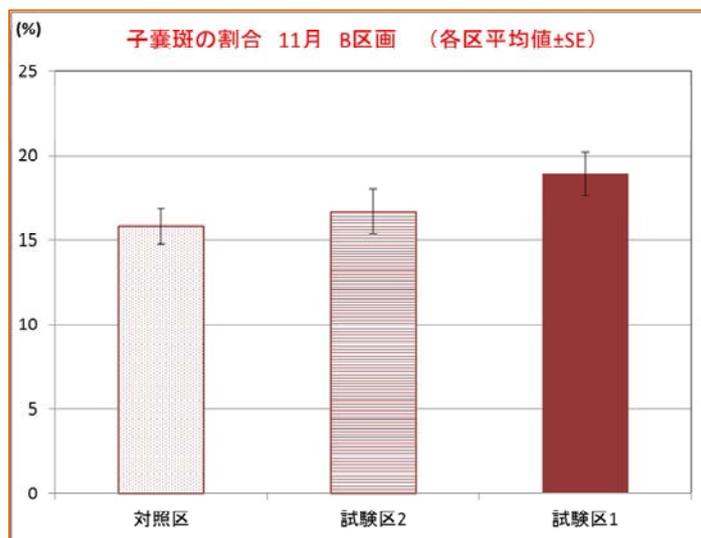


図 7-4 成熟度(子囊斑の側葉に対する割合) (平成 24 年 11 月)

表 7-2 t 検定結果(平成 24 年 11 月 B 区画 カジメ成熟度)

t検定結果(平成24年11月 B区画 カジメ成熟度)	
試験区1-試験区2	p(両側)0.24>0.05より、試験区1と試験区2の平均値に <b>有意差はない</b> と判断できる。
試験区1-対照区	p(両側)0.07>0.05より、試験区1と対照区の平均値に <b>有意差はない</b> と判断できる。
試験区2-対照区	p(両側)0.61>0.05より、試験区2と対照区の平均値に <b>有意差はない</b> と判断できる。

### 7-1-3. 初期の珪藻付着効果について

実証対象技術設置後の平成 23 年 10 月は、ブロック上面に珪藻の付着が確認され、試験区 1 で 65%、試験区 2 で 41%、対照区で 15%の被度となった(図 7-5 左)。その後 11 月は、珪藻が多い試験区で無節サンゴモ類の被度が少なくなり(図 7-5 右)、2 月は、無節サンゴモ類の着生が少ない試験区で、カジメ幼体の株数が多く観測された(図 7-6)。

ブロック設置後の付着初期において、実証対象技術が珪藻の生長を促進させ、珪藻の被度が大きくなり、その結果、無節サンゴモ類の付着が少なくなり、カジメ幼体の着生しやすい環境になったことが示唆された(図 7-7)。

この状況を再確認するため、平成 24 年 8 月に各区のブロック上面の剥取を行い、観察を行った。剥取後、平成 24 年 11 月には試験区 1、試験区 2 で 5%の珪藻の付着が見られたが、前回ほどの付着は確認されず、またその後の無節サンゴモの着生についても前回状況の再現は出来なかった(図 7-8)。

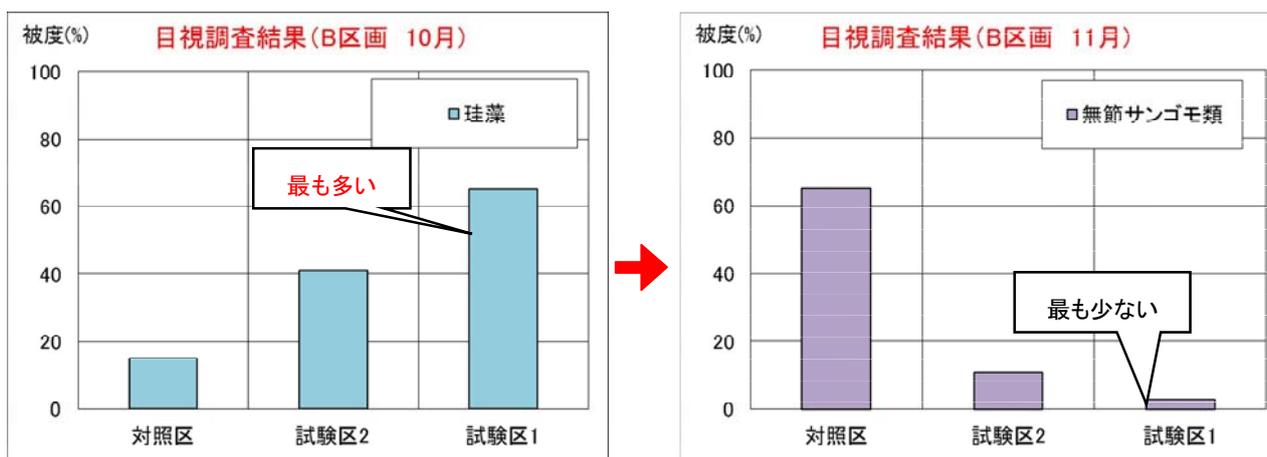


図 7-5 被度調査結果(B区画 左：平成 23 年 10 月、右：平成 23 年 11 月)

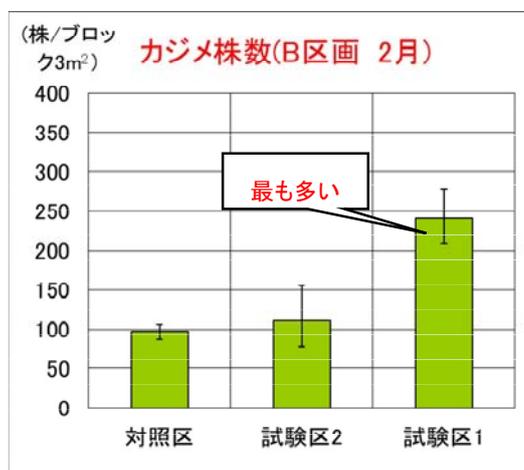


図 7-6 付着したカジメの株数(B区画 平成 24 年 2 月)

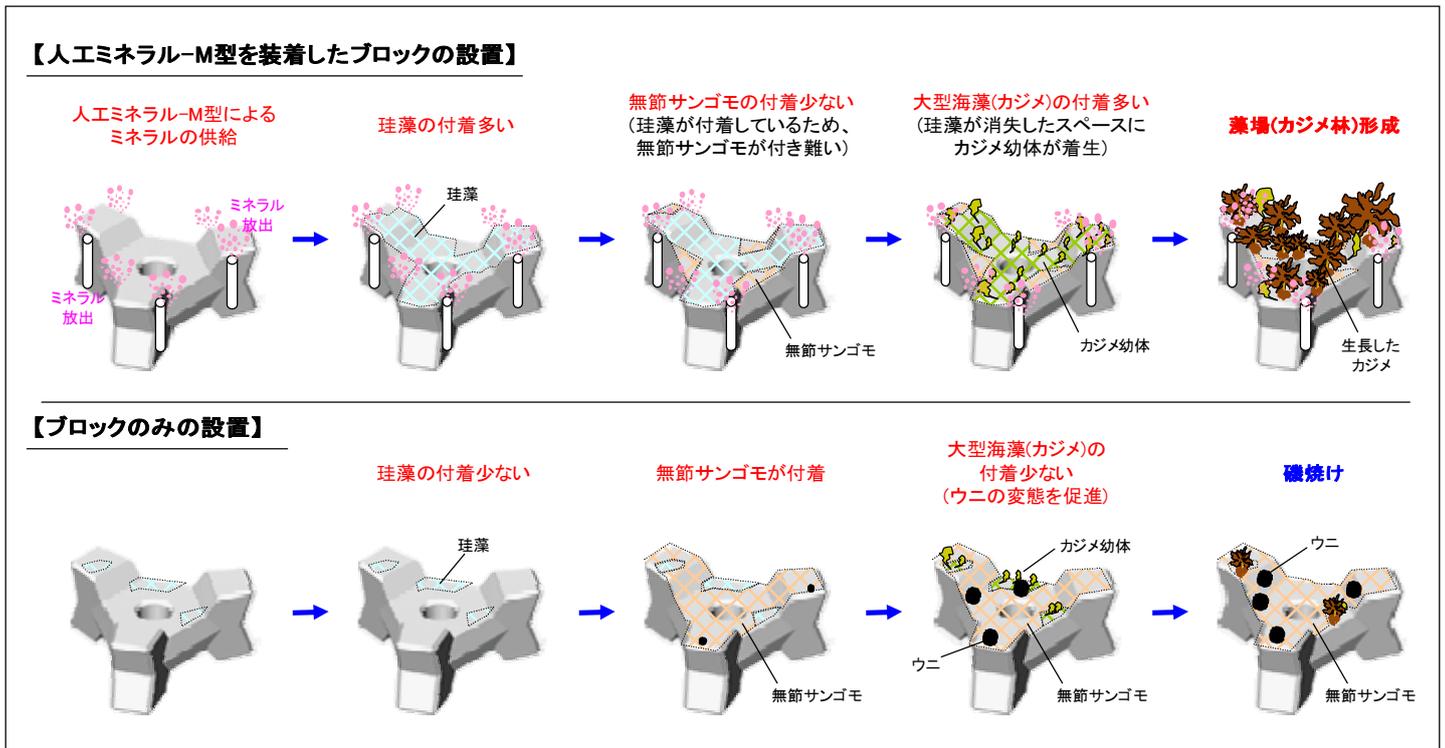


図 7-7 実証対象技術の珪藻付着効果 (模式図)

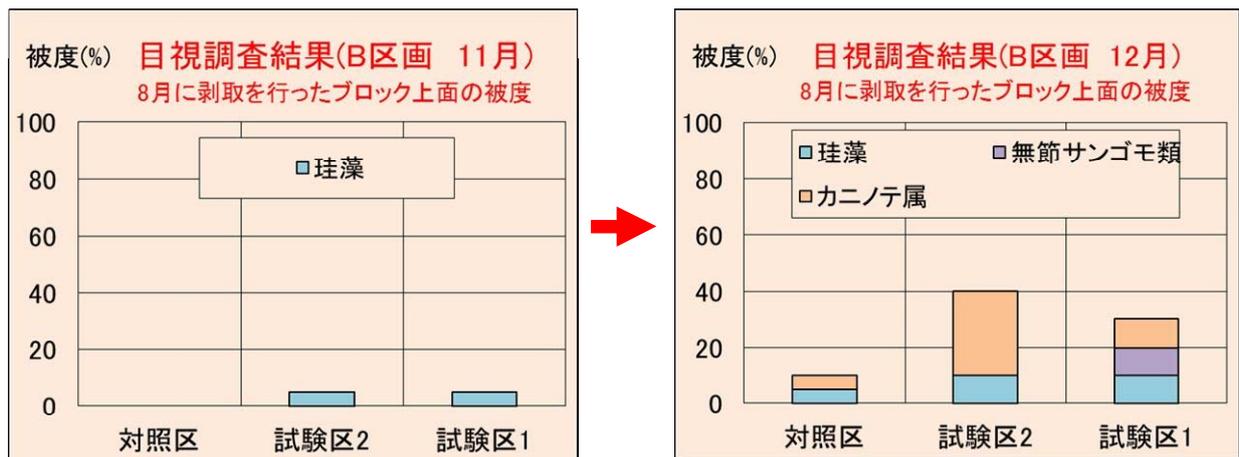


図 7-8 平成 24 年 8 月に上面を剥取したブロック上面の被度調査結果  
(B 区画 左 : 平成 24 年 11 月、右 : 平成 24 年 12 月)

#### 7-1-4. カジメ群落の更新(新しいカジメ幼体の付着)状況について

平成 25 年 1 月に、各ブロックに新しいカジメ幼体の着生が確認された。平成 25 年 1 月のカジメ成体と新規幼体の付着状況を図 7-9 に示す。カジメ幼体の付着は試験区 1 で 6 株、試験区 2 で 20 株、対照区で 160 株であった。幼体の藻長は試験区 1 で 115mm、試験区 2 で 17.7mm、対照区で 18.9mm であった。既に成体が多く繁茂している試験区 1、2 に比べ、成体の少ない対照区で幼体の着生は多かったが、全ての区で更新(新しいカジメ幼体の付着)が確認された。また藻長は、試験区 1 の幼体が最も大きいことが確認された(図 7-9)。

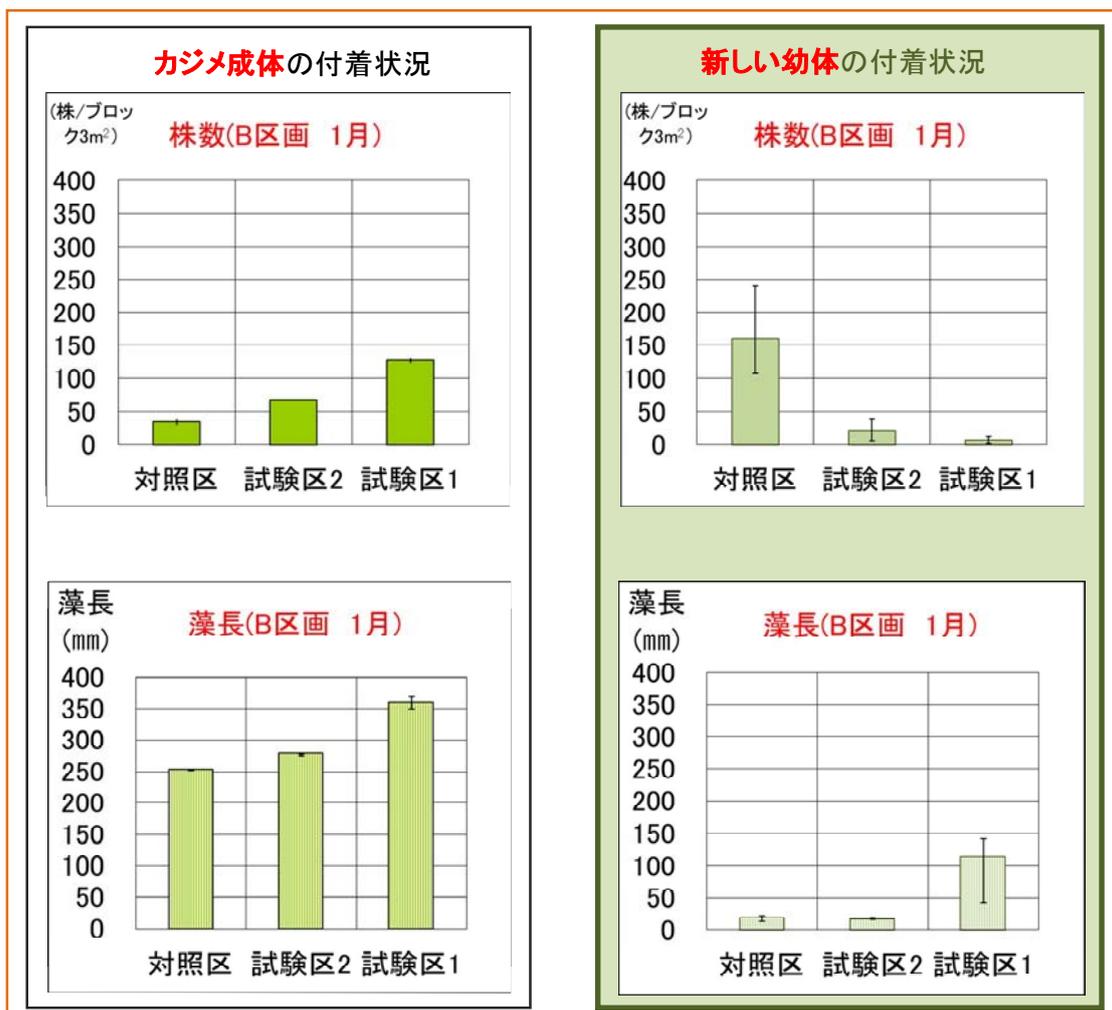


図 7-9 カジメ成体と新規幼体の付着状況 (平成 25 年 1 月)

### 7-1-5. ガンガゼの摂食環境下におけるカジメの生長状況について

A区画における平成23年9月～平成25年1月のガンガゼの出現状況を表7-3に示す。A区画では、調査期間を通して、試験区1、対照区、試験区2の順でガンガゼが多い傾向が見られた。

A区画における平成23年12月～平成25年1月のブロック上面のカジメの付着数を図7-10に、カジメの藻長を図7-11に示す。ガンガゼの摂食の影響があったと考えられる試験区1ではガンガゼの影響が比較的小さいと考えられる試験区2に比べ株数は少なくなっていたが、対照区以上の付着が確認された。藻長についても、試験区1は対照区以上となっていた。

本海域A区画のガンガゼ密度は、試験区1においては個体数区分のCが優先していることから0.4～1.7個体/m<sup>2</sup>と考えられ、そのような環境において、実証対象技術の海藻生長促進効果が現れる可能性が示唆された。

表7-3 ガンガゼ出現状況(個体数/30m<sup>2</sup>)

ガンガゼ出現状況		平成23年				平成24年								平成25年	個体数区分			
		9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	8月	10月	11月		12月	1月	
A区画	試験区1		c	c	c	c	c	c		c	c	c	r	c	c	c	cc	51個体以上
	試験区2			rr	r	r	rr	rr		r	c	r	rr	rr	r	r		c: 11～50個体
	対照区	r	r	c	r	c	r	c	rr	r	r	r	c	cc	c	cc		r: 3～10個体 rr: 1～2個体

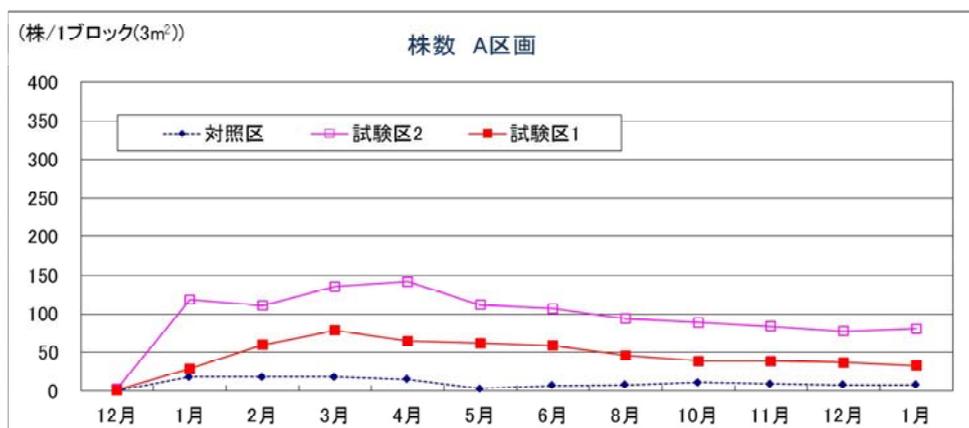


図7-10 ブロック上面に付着したカジメの株数(平成23年12月～平成25年1月)

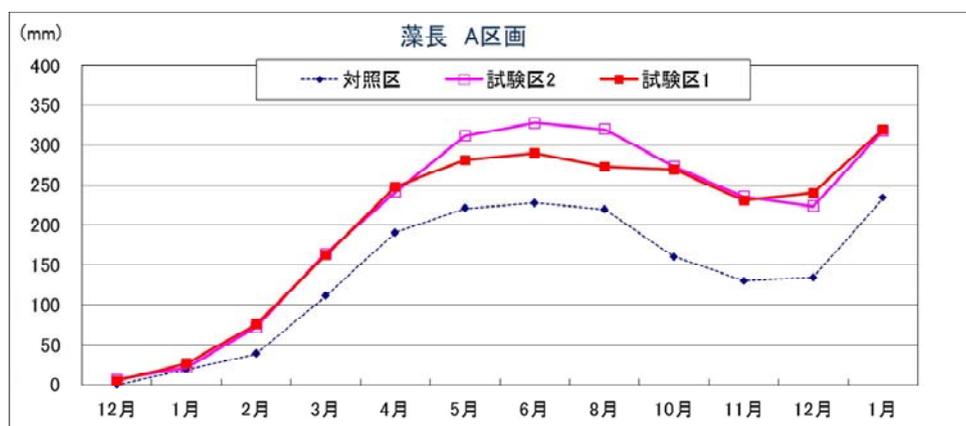


図7-11 ブロック上面に付着したカジメの藻長(平成23年12月～平成25年1月)

## 7-2. 結論

### 【技術の設置数量による効果の違いについて】

- ・カジメ藻長は対照区に比べ、試験区 1(6ヶ装着)で 1.7 倍、試験区 2(3ヶ装着)で 1.3 倍となった。
- ・技術の設置数量による海藻生長促進効果の違いが確認された。

### 【技術の交換頻度による効果の違いについて】

- ・生長期は、技術の交換頻度の高い区画で、生長促進効果が確認された。
- ・成熟期は、技術の交換頻度の高い区画で、成熟促進効果が伺われた。
- ・カジメの生長に大きな変化が見られなかった時期は、技術の交換頻度による生長の違いは確認出来なかった。
- ・技術の投入を、生長・成熟の時期に合ったタイミングで行うことで、より効果的な使用が出来ることが考えられた。

### 【初期の珪藻附着効果について】

- ・ブロック設置後は、試験区で珪藻が多く附着し、無節サンゴモ類が少なくなったことで、カジメの附着しやすい環境となったことが考えられた。
- ・上記状況の再現のため、ブロック上面の剥取を行い、観察を行ったが、状況の再現は出来なかった。

### 【カジメ群落の更新(新しいカジメ幼体の附着)について】

- ・カジメ幼体の附着は全ての区で確認され、群落の更新がなされていると考えられた。
- ・カジメ幼体の藻長は試験区 1 で最も大きいことが確認された。

### 【結論】

調査結果より、目標である「試験区 1 において、対照区を超える生物量の確保」が確認され、実証対象技術が海藻の生長及び成熟に適切に効果を発揮していることが考えられた。

## 8. 実証試験についての技術実証検討会の見解

本技術が海藻の生長促進に効果のあることは、実証試験によりカジメの生長量に有意な差が確認されたことから明らかである。

今後、本技術が様々な目的、場所で活用されるために、海藻の成熟促進効果や初期の珪藻付着効果等について、より詳細な調査を行い、更なる効果を確認すると共に、本技術の設置や活用方法についての知見や実績を集積する必要がある。