

—新用途開発—
鉄鋼スラグで“海の森”を再生

2014年10月10日

エコテクノ2014オープンセミナー

新日鐵住金(株)

御紹介させていただく内容

- 鉄鋼スラグとは～新用途の開発経緯
- 海藻へ二価鉄イオンを届ける鉄鋼スラグ製品の開発
「ビバリー®ユニット」
- 海藻の着生基質となる石材・ブロック代替鉄鋼スラグ製品の開発
「ビバリー®ロック、ビバリー®ブロック」
- 普及に向けた取り組み
「全漁連認証制度」
- 鉄鋼スラグ製品による藻場造成事業の例

- 鉄鋼スラグとは～新用途の開発経緯
- 海藻へ二価鉄イオンを届ける鉄鋼スラグ製品の開発
「ビバリー®ユニット」
- 海藻の着生基質となる石材・ブロック代替鉄鋼スラグ製品の開発
「ビバリー®ロック、ビバリー®ブロック」
- 普及に向けた取り組み
「全漁連認証制度」
- 鉄鋼スラグ製品による藻場造成事業の例

鉄鋼の製造工程と鉄鋼スラグ

銑鉄の製造（製銑工程）

鋼の製造（製鋼工程）

高 炉



熔融状態で転炉へ

高炉で製造された鉄（銑鉄）を、
転炉で成分調整し、鋼を製造

転 炉



鉄鋼スラグ

高炉スラグ

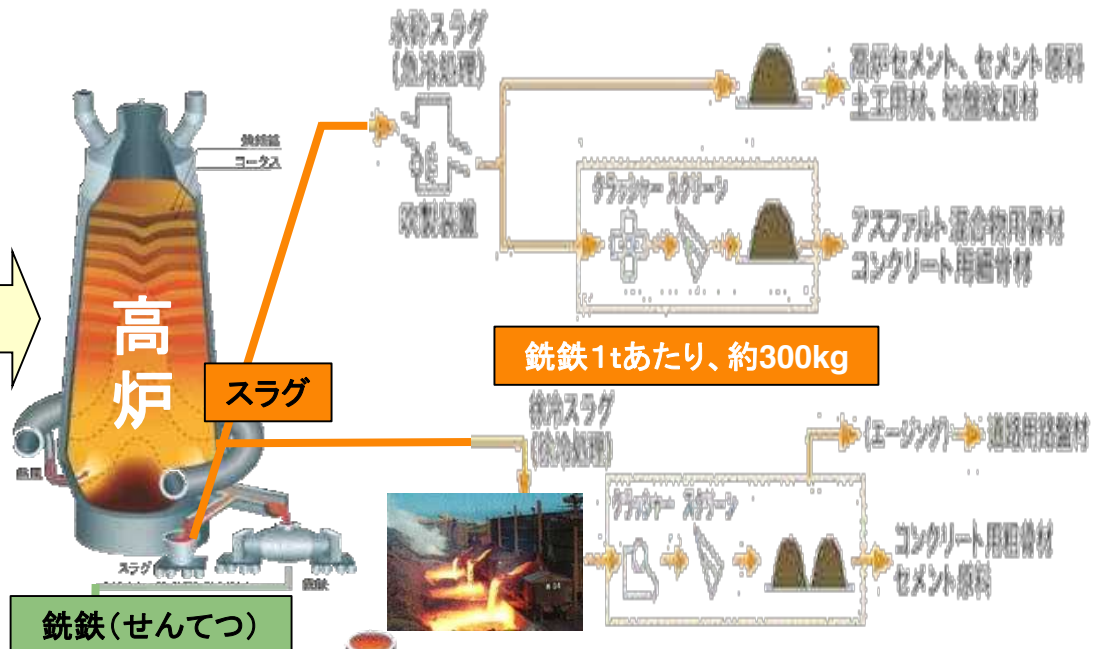
高炉で銑鉄をつくる工程で生成

製鋼スラグ

転炉で銑鉄から鋼を製造する工程で生成

鉄鋼スラグの生成プロセス

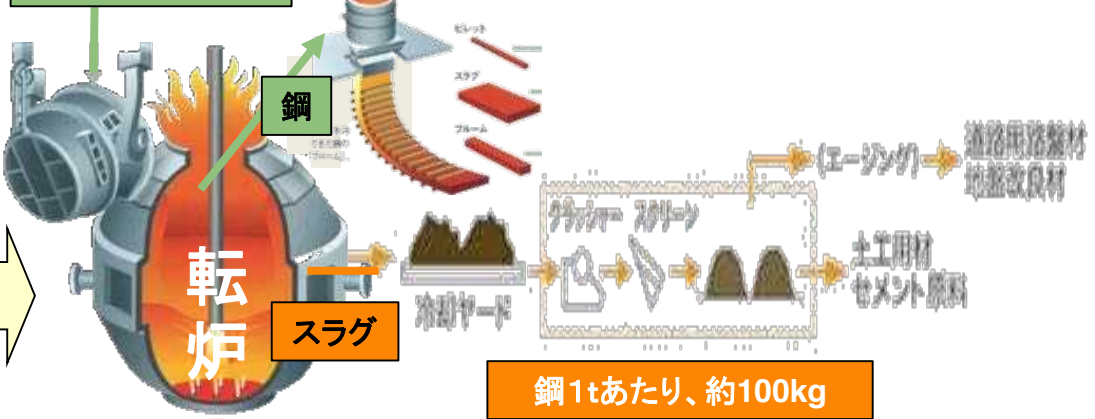
- ◆ 焼結鉱 (鉄鉱石 + 石灰石)
- ◆ コークス (石炭)



高炉水砕スラグ

高炉徐冷スラグ




- ◆ スクラップ (鉄)
- ◆ 酸素
- ◆ 生石灰 (石灰石)



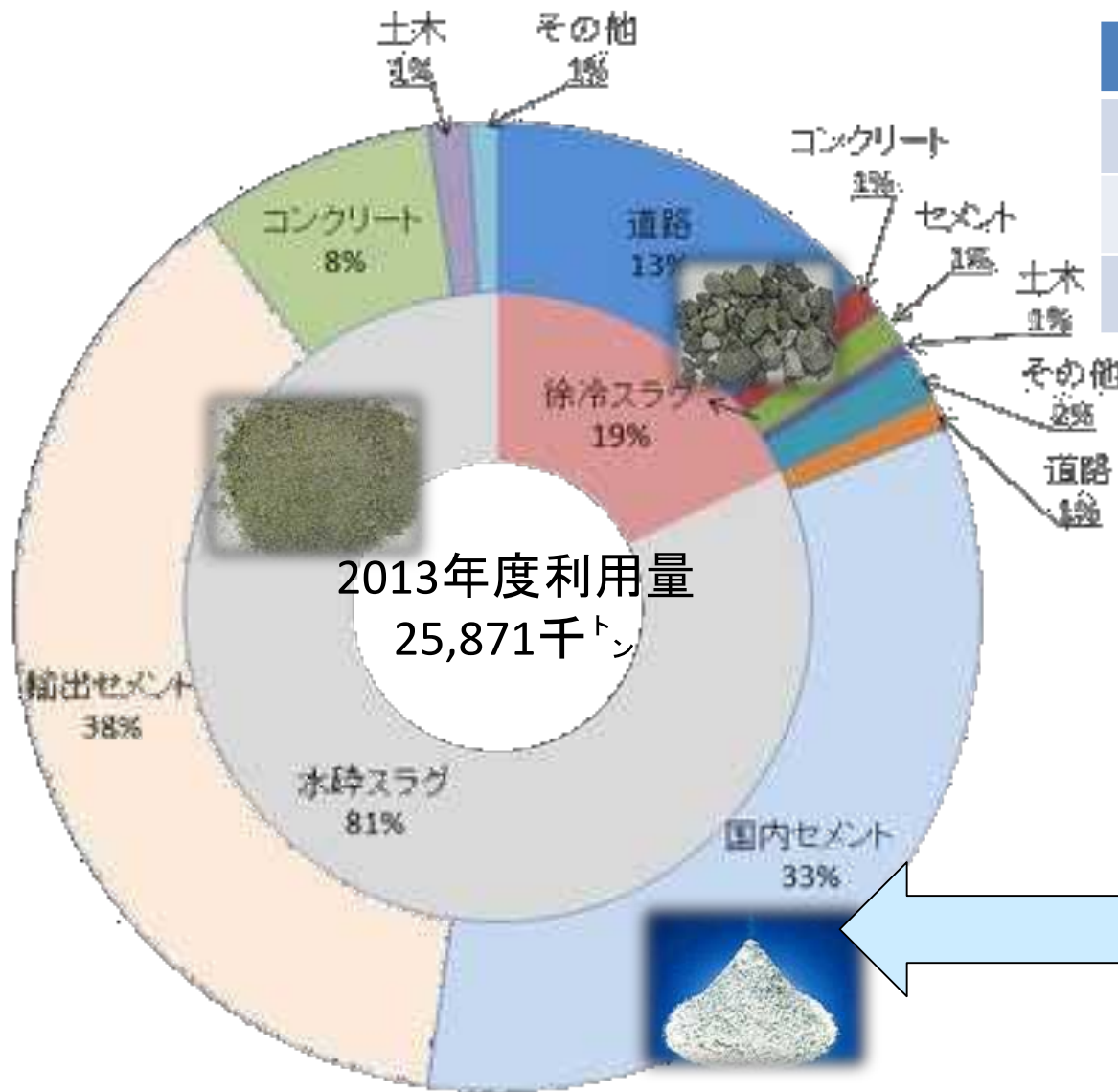
製鋼スラグ

鉄鋼スラグの生成量（2013年度）

鉄鋼生産量（千ト）	
粗 鋼 生 産 量	1 1 1, 5 0 3

鉄鋼スラグの生成量（千ト）			
高 炉 ス ラ グ	高炉水砕スラグ	2 0, 8 1 1	
	高炉徐冷スラグ	4, 4 5 9	
	計	2 5, 2 7 1	
製 鋼 ス ラ グ	転炉系製鋼スラグ	1 1, 6 2 0	
	電気炉スラグ	2, 7 7 7	
	計	1 4, 3 9 7	
合 計		3 9, 6 6 8	

高炉スラグの利用状況



2013年度生成量 (千トン)

高炉水砕スラグ	20,811
高炉徐冷スラグ	4,459
計	25,270

高炉スラグの化学組成例 (単位%)

	高炉スラグ	普通セメント
CaO	41.7	64.2
SiO ₂	33.8	21.2
T-Fe	0.4	2.0
MgO	7.4	1.5
Al ₂ O ₃	13.4	5.2
S	0.8	-
P ₂ O ₅	<0.1	-
MnO	0.3	0.2

製鋼スラグの利用状況（2013年度）

2013年度生成量（千ト）

転炉系製鋼スラグ 11,620



99%を有効利用

- ✓主に、道路用路盤材（道路用）、土工用材料（土木用）に利用
- ✓一部は石灰代替材として製鉄リサイクル（再使用）

課題

- ✓石状の材料であればよい用途がほとんど「道路用」「土木用」（競合品に置き換わり易い）
- ✓公共事業費の減少（市場のパイ縮小）

- ・新規用途の創出
- ・鉄鋼スラグの特性の活用

日本沿岸における磯焼けの深刻化

【磯焼けとは】

海岸に生えている多種の海藻が減少して不毛の状態となり、代わりにサンゴモと呼ばれる白く硬い殻のような海藻が、海底の岩の表面を覆い尽くす現象

約35,000kmの海岸線のうち、約5,000kmが磯焼け
さらに50km/年で進行



【磯焼けの原因】

- 温暖化による海水温の上昇
- 水質の悪化（濁り等）
- ウニ等の藻食動物の増加
- 森林からの鉄分供給の減少

製鋼スラグの特長

【製鋼スラグの成分構成】

(単位：質量%)

	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	P ₂ O ₅
製鋼スラグ	20.8	41.2	2.1	21.9	4.3	2.3	2.8	3.1
安山岩 (比較)	59.6	5.8	17.3	3.1	—	2.8	0.2	—

【FeO】

- 水に溶解すると、二価の鉄イオン (Fe²⁺) を生じる
- 二価鉄イオンは、植物が吸収し易い鉄の形態であり、光合成に必須
- 酸化すると錆 (Fe₂O₃)となるため、自然界には存在しにくい

製鋼スラグを用いて海藻への二価鉄イオン供給を行えないか？

課題

製鋼スラグから豊富に溶出するはずの二価鉄を、錆びて沈殿させることなく海藻へ供給する

- 鉄鋼スラグとは～新用途の開発経緯
- 海藻へ二価鉄イオンを届ける鉄鋼スラグ製品の開発
「ビバリー®ユニット」
- 海藻の着生基質となる石材・ブロック代替鉄鋼スラグ製品の開発
「ビバリー®ロック、ビバリー®ブロック」
- 普及に向けた取り組み
「全漁連認証制度」
- 鉄鋼スラグ製品による藻場造成事業の例

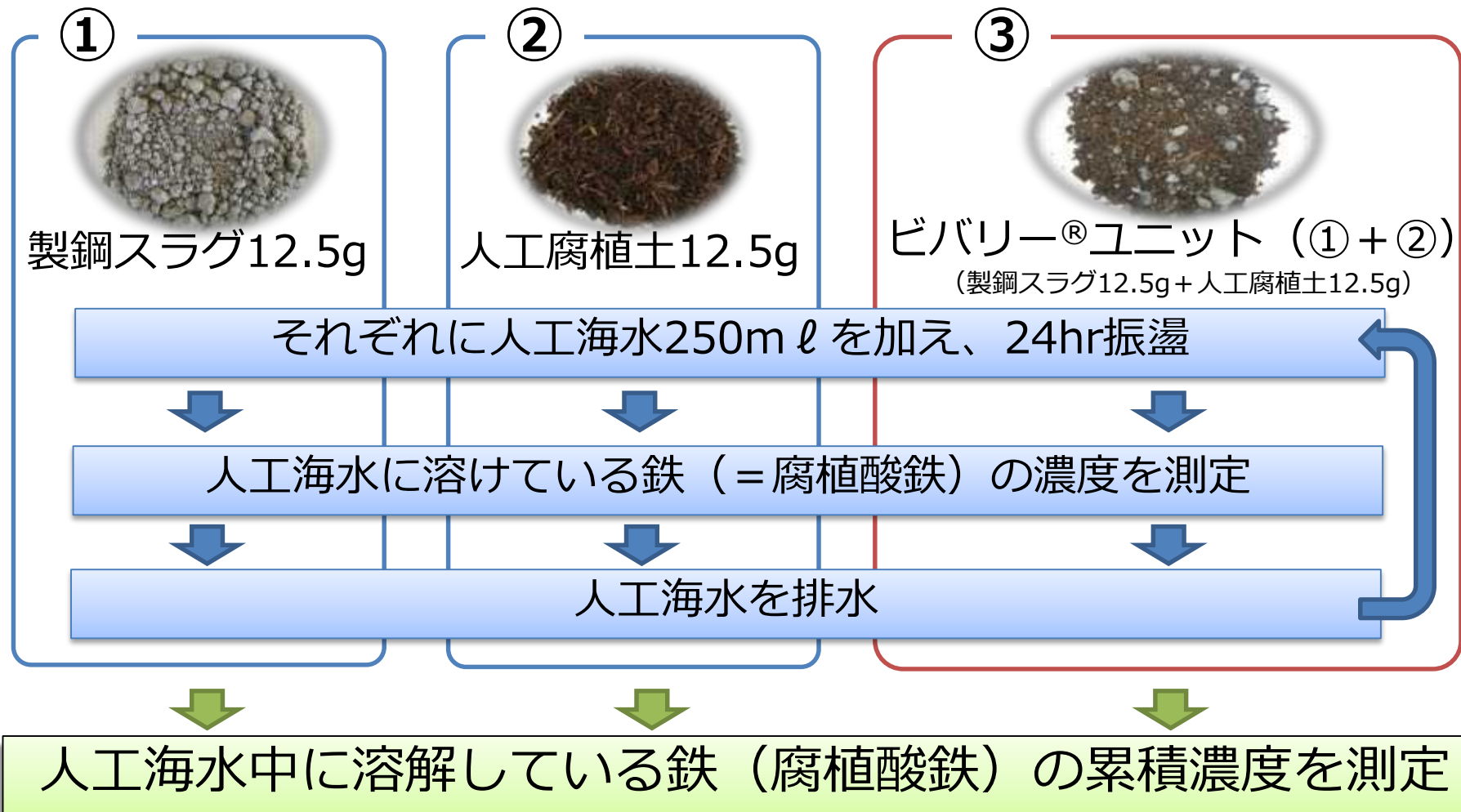
海藻へ二価鉄イオンを届ける製鋼スラグ製品の開発



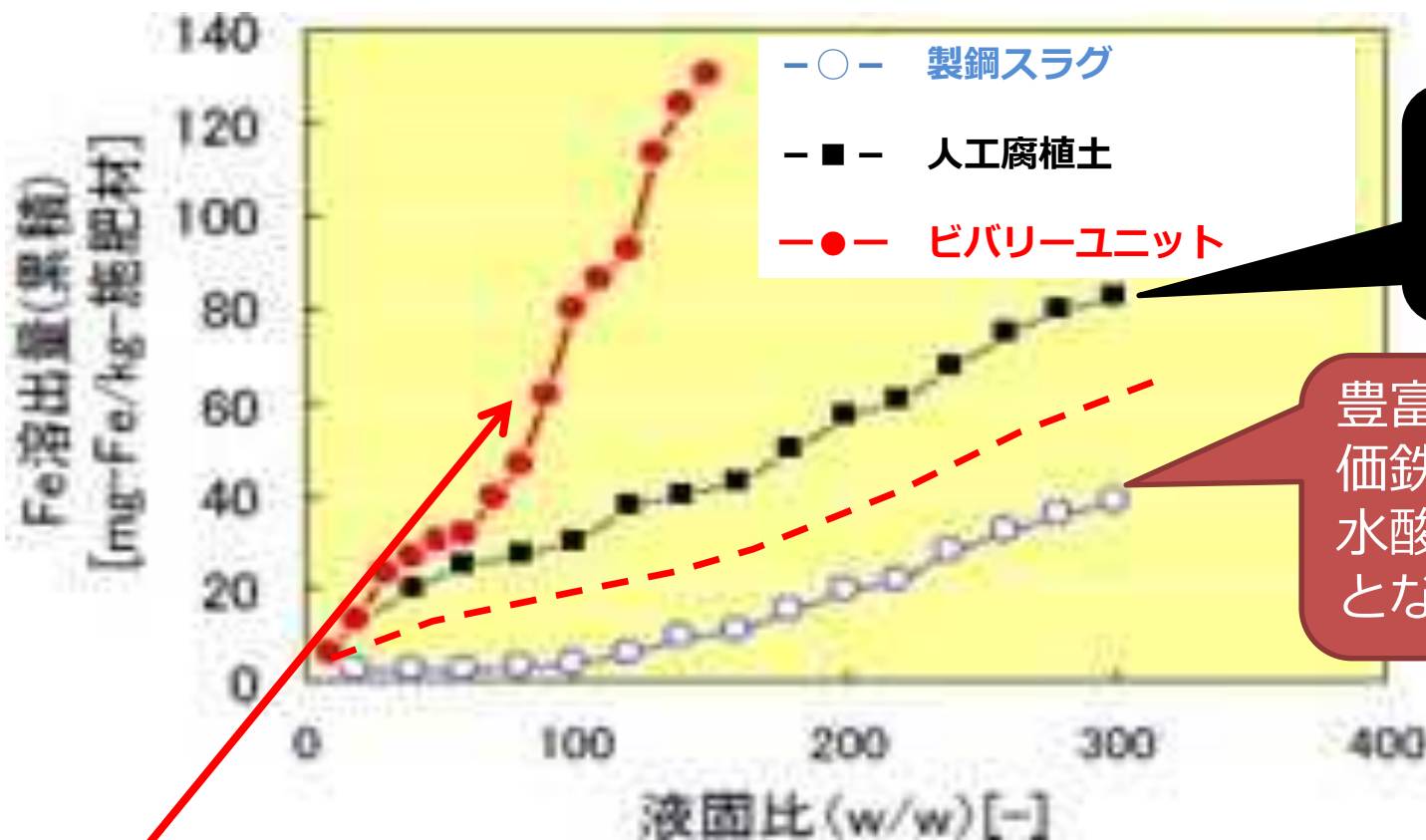
ビバリー®ユニットの腐植酸鉄生成能の評価

ビバリーユニットは、森林に代わるほど効率的に腐植酸鉄を生成できるのか？

腐植酸鉄の生成能確認実験



ビバリーユニットの腐植酸鉄生成能の評価結果



含有する腐植酸鉄が初期に溶出

豊富に溶出した二価鉄のほとんどは水酸化鉄や酸化鉄となって沈殿

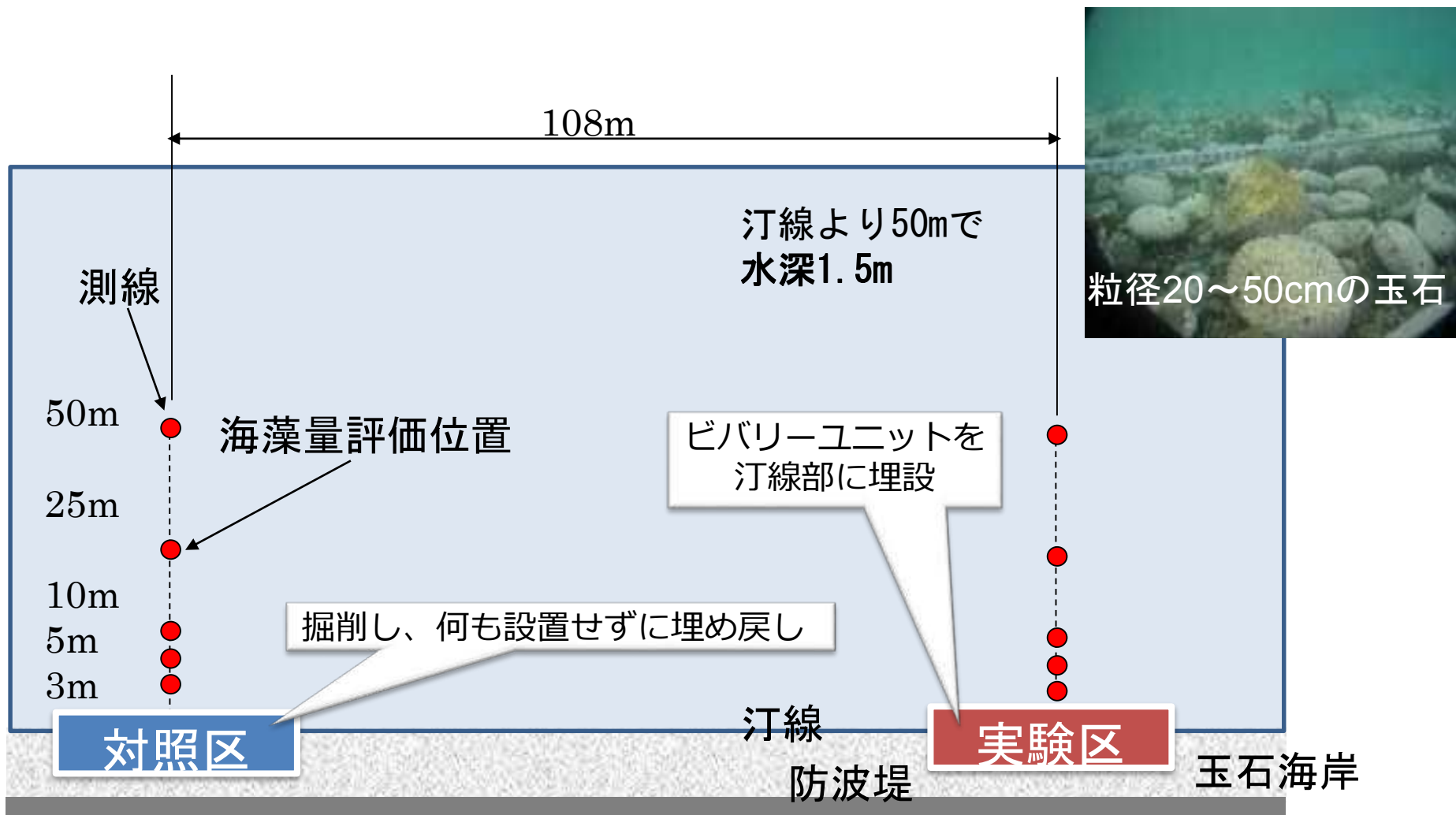
製鋼スラグから溶出した豊富な二価鉄が、錆びて沈殿せずに腐植酸鉄（溶存態）になった

実海域実験での効果検証（平成16年10月）

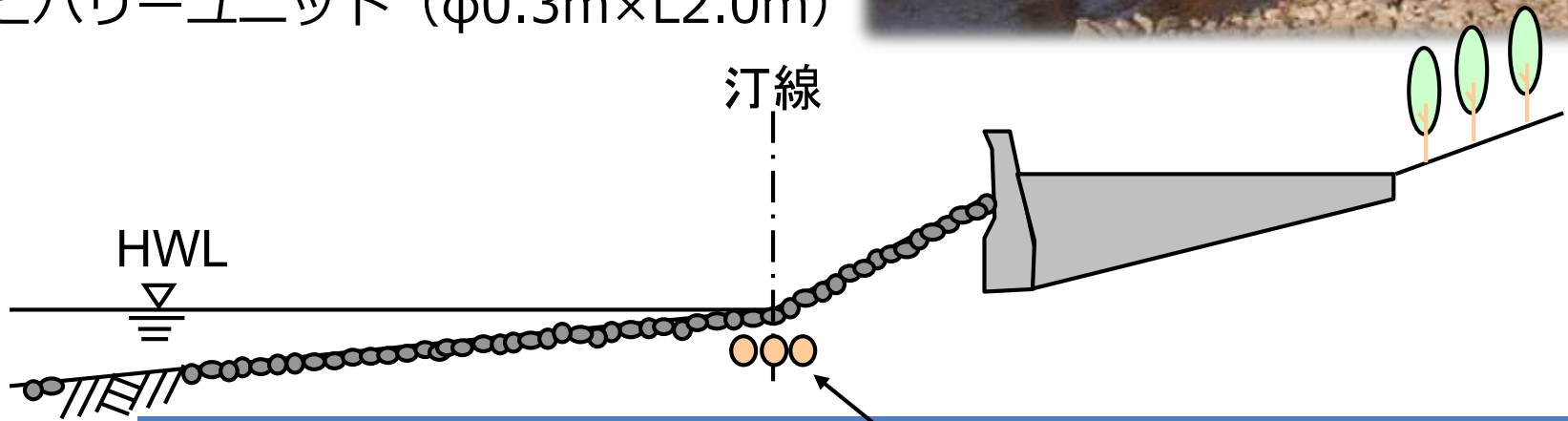
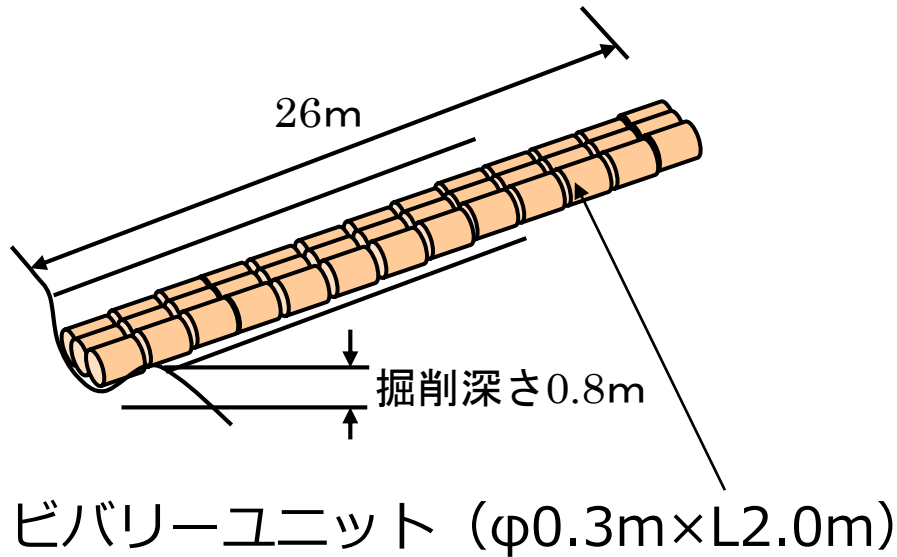


魚かす（水産加工残さを発酵した海藻の窒素肥料）による藻場造成に取り組んできた増毛漁協と実海域検証実験を実施

実験区の設定 (平成16年10月)



実験区でのビバリー®ユニット埋設の概要

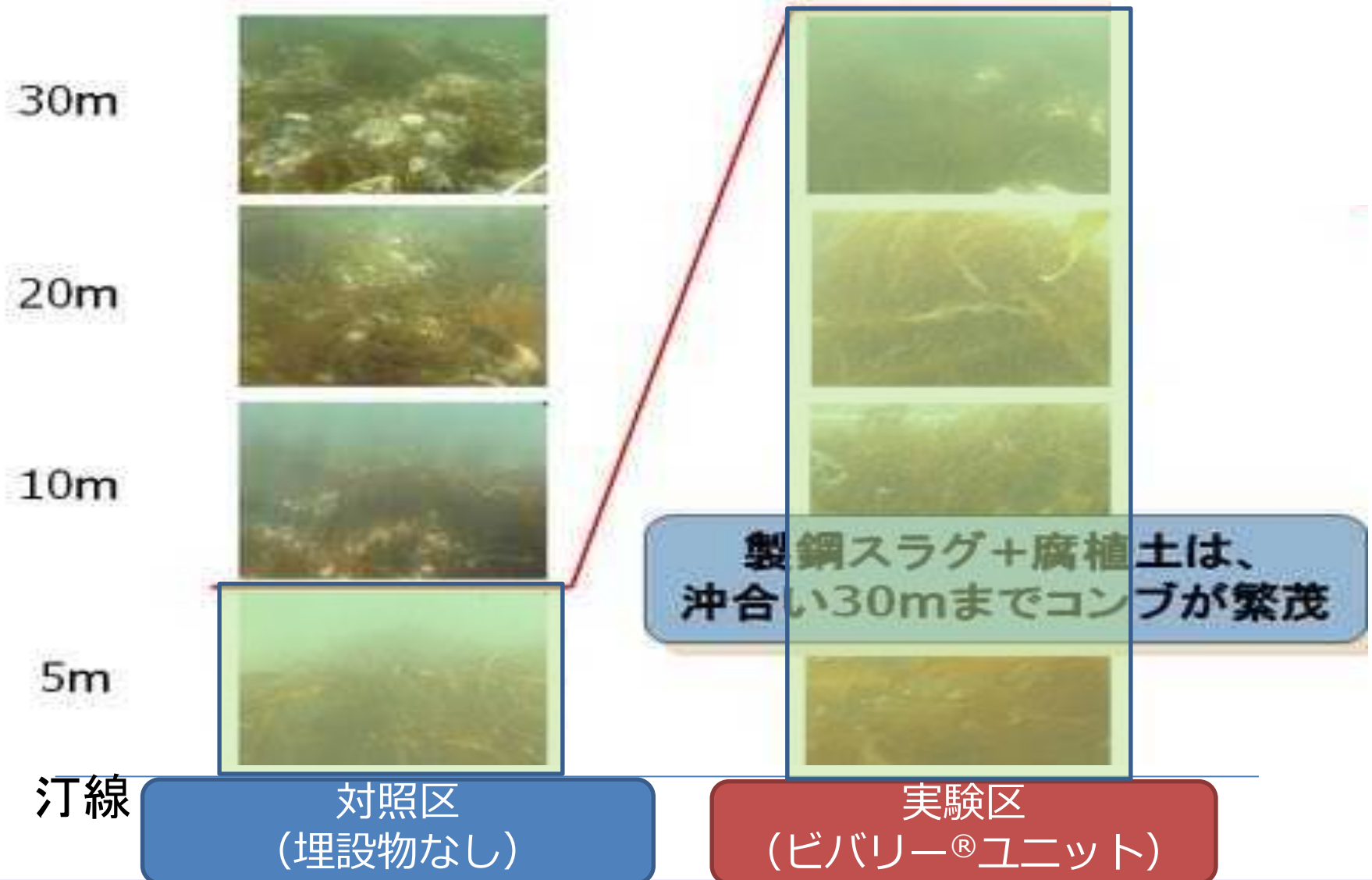


ビバリー®ユニットを埋設 (3列×13=39個(約6t))

実験開始から8カ月後の状況

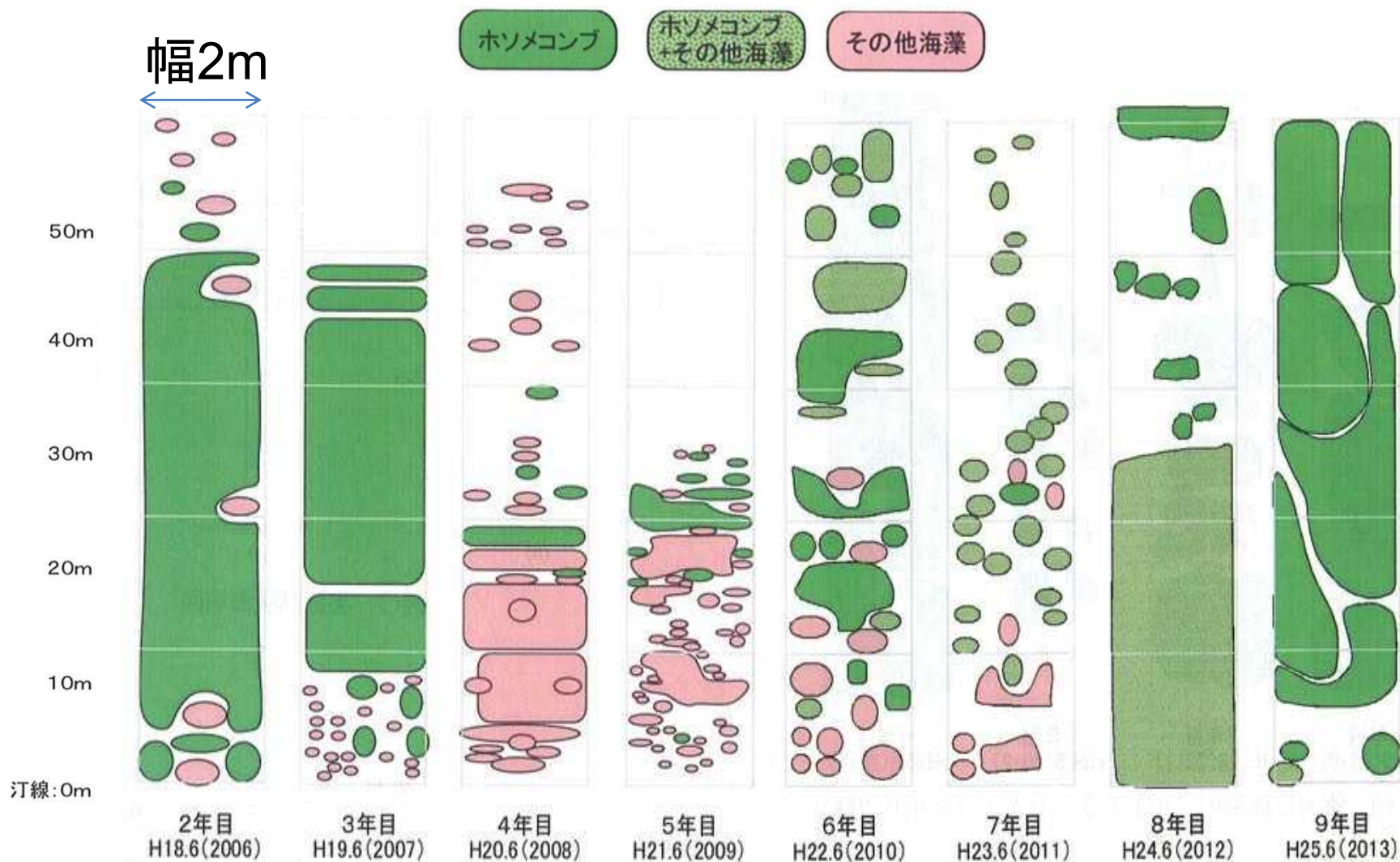
ホソメコンブの群落が回復

各側線のホソメコンブ着生状況



平成16年7月14日
事前調査

ビバリーユニット前面海域の海藻繁茂状況スケッチ

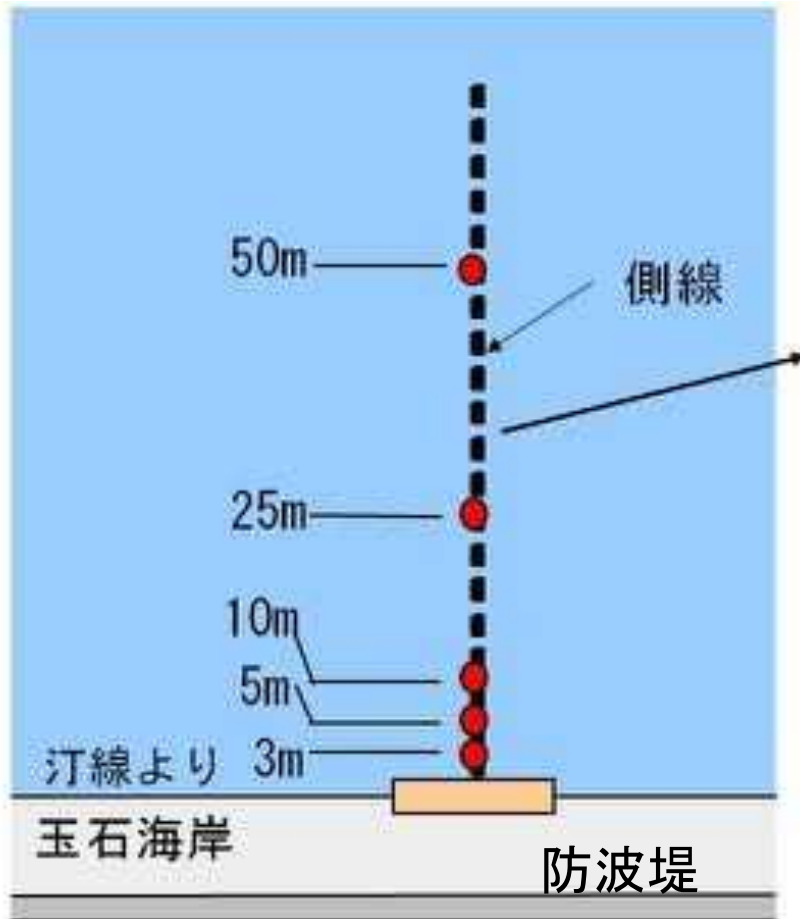


2013年6月の状況

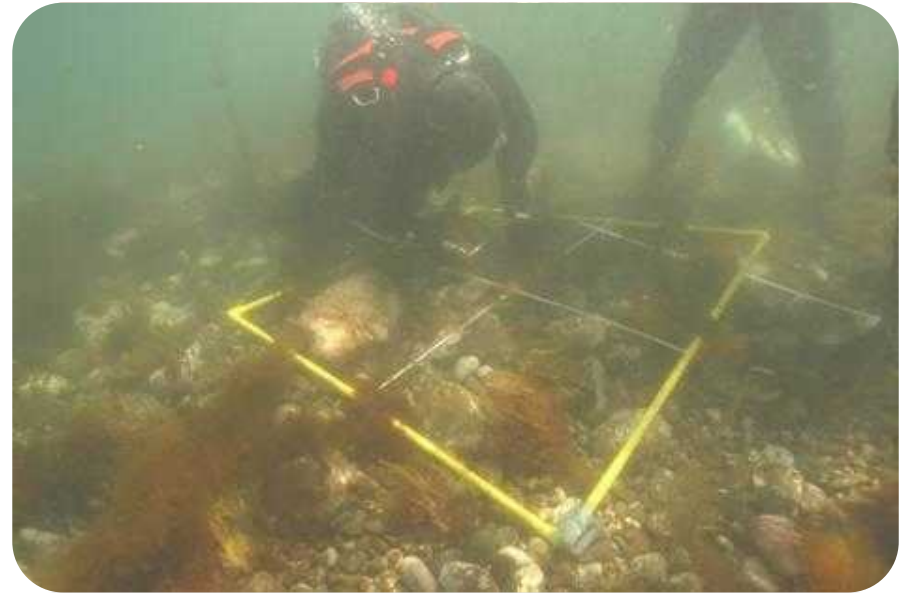


コドラート調査による定量的評価

■ 調査地点

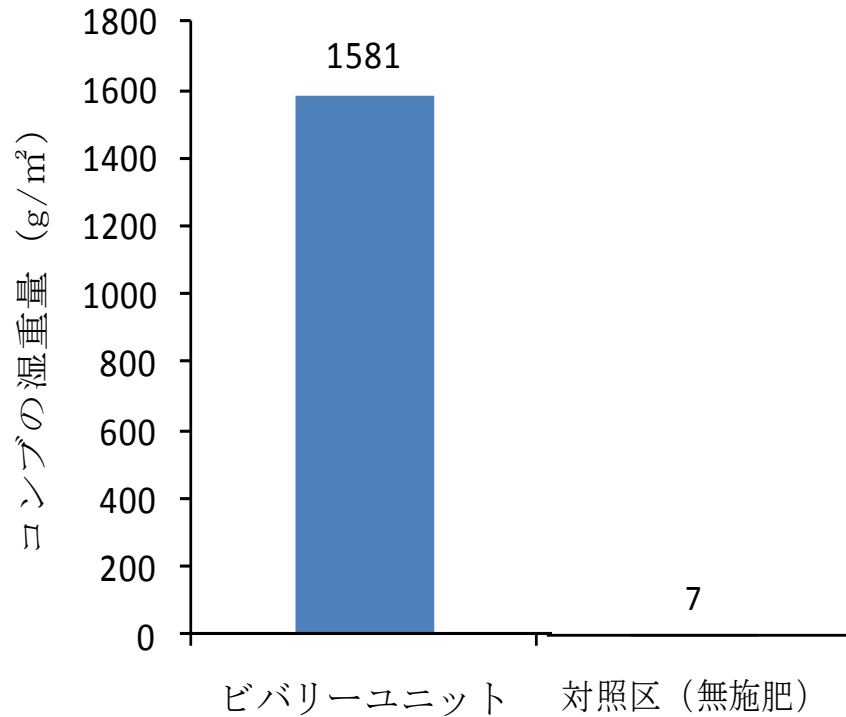


■ 評価方法

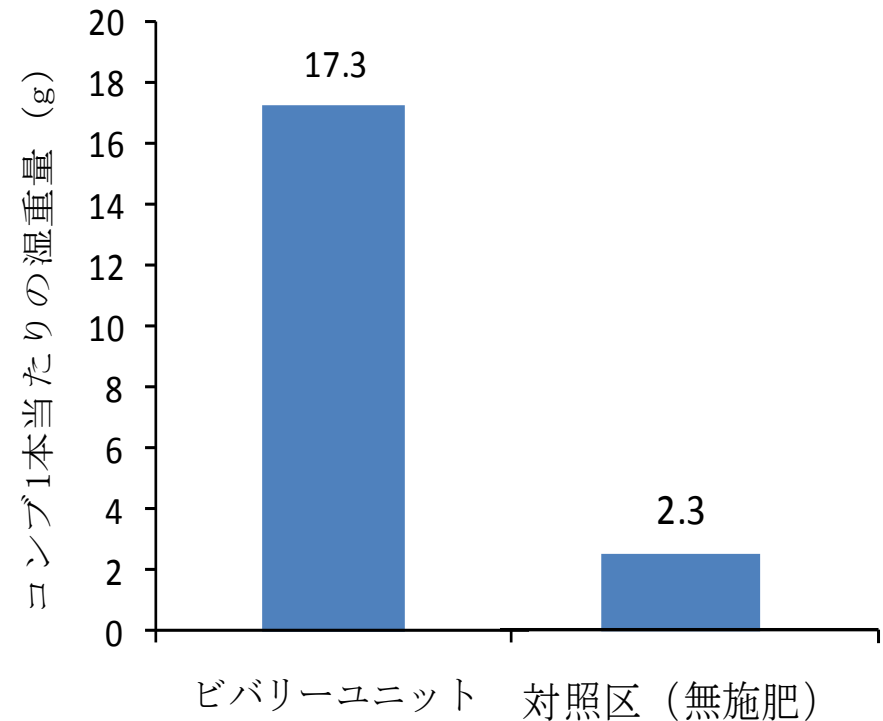


- 各調査地点に1m×1mの方形枠を設置し、枠内の海藻を採取
- 採取海藻の湿重量を測定
- 評価は、5地点の平均値で実施

実験区と対照区の海藻類生育量比較 1年後

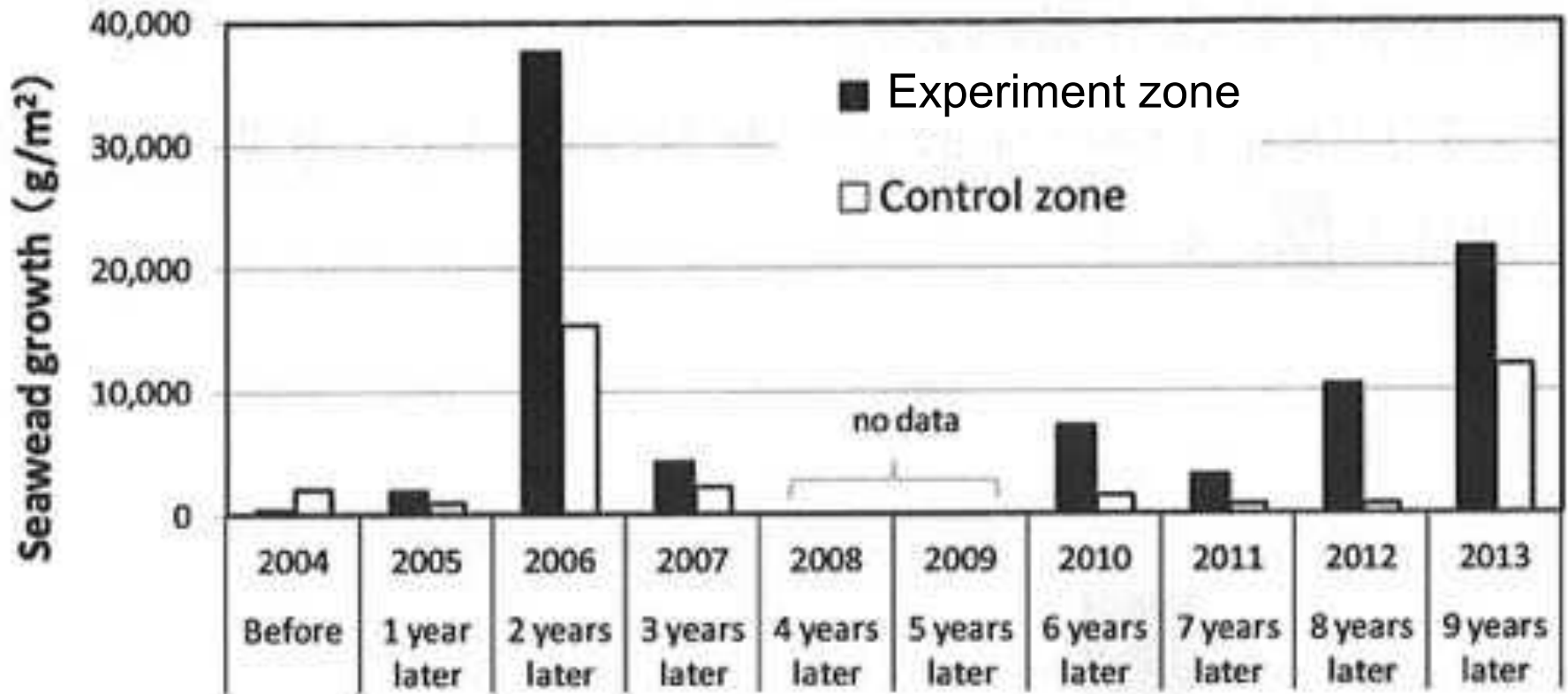


1m²当りのコンブ湿重量は、対照区の約220倍



コンブ一本当たりの湿重量は、対照区の約8倍

実験区と対照区の海藻類生育量比較 (10年間)



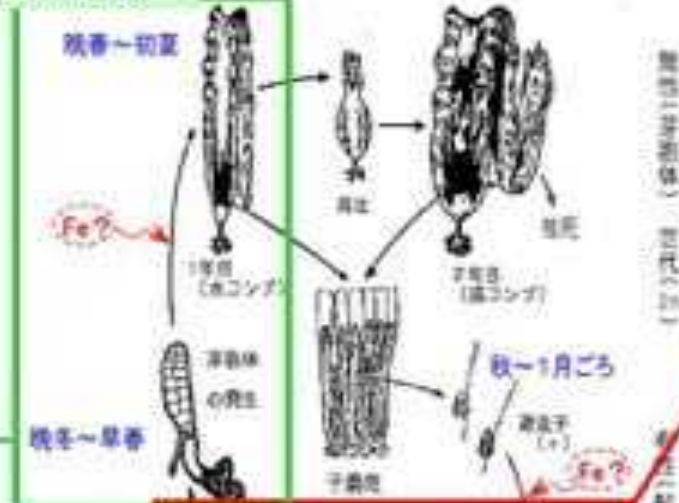
年次により増減はあるものの、対照区に比べて実験区の花藻量は多い傾向が持続

実験成果のメカニズム検証①

コンブの鉄の必要性について

北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター
水圏ステーション 室蘭臨海研究所 本村泰三教授

胞子体成長



配子体成熟-受精



昆布の生活史（川場, 1972）

【配偶体培養実験】

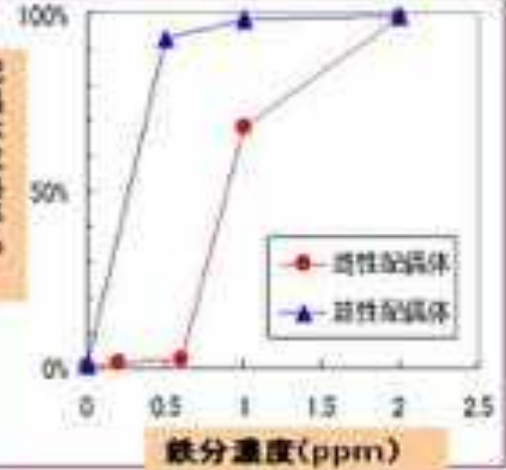
Fe-free



Fe-0.5mg/L

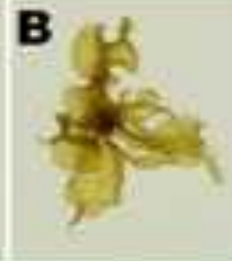


配偶体成熟率%



【胞子体培養実験】

無菌条件
10℃長日条件
3週間培養



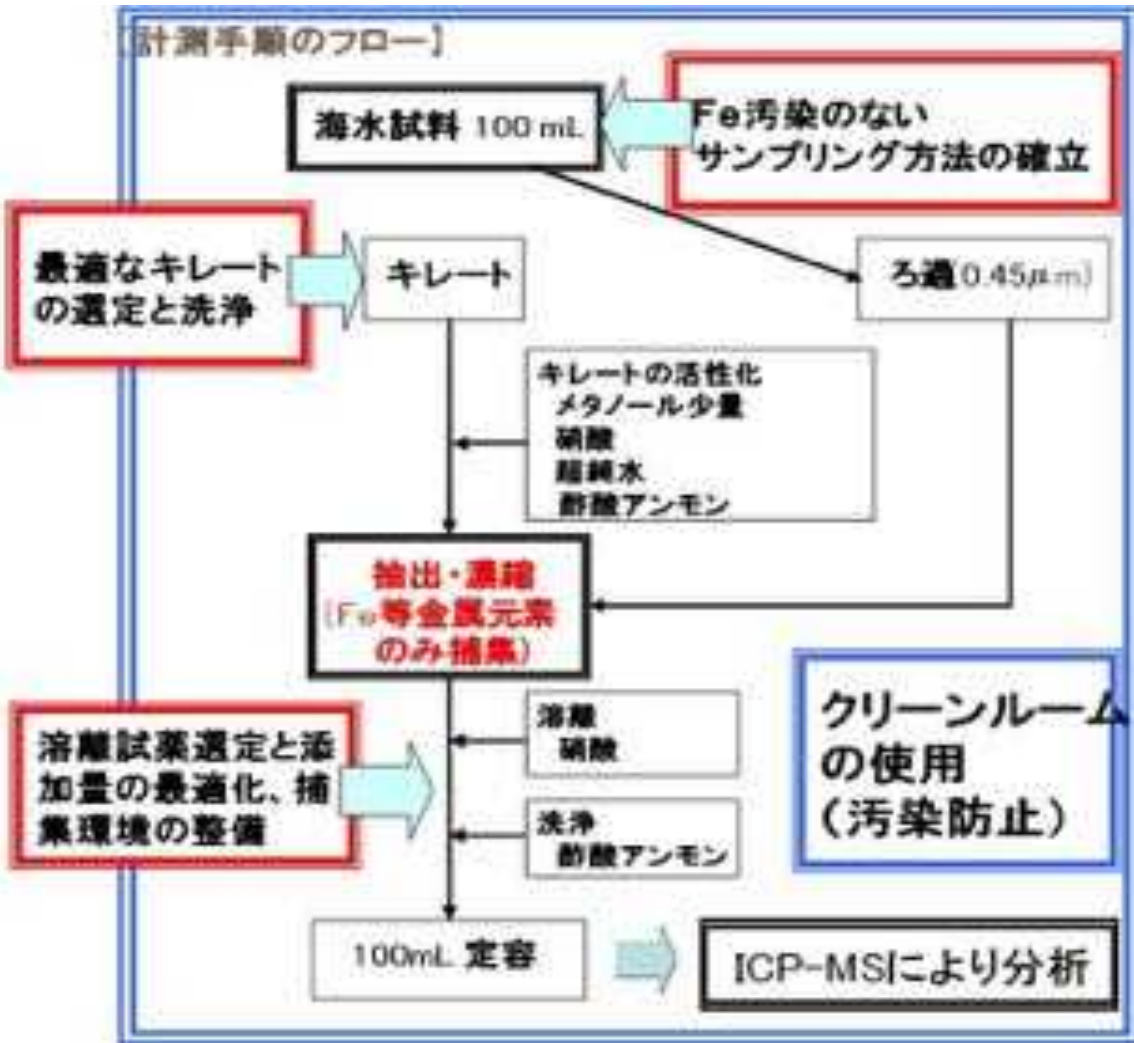
	A	B	C
Fe [ppb]	31.4*	5.3*	2.9
N [ppm]	131	130	130
P [ppm]	2.3	2.3	2.3



新日鐵住金
NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL

実験成果のメカニズム検証②

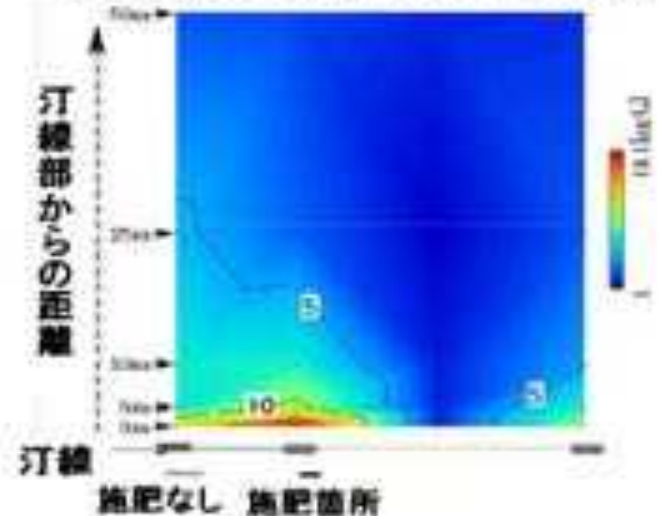
ビバリーユニットからの腐植酸鉄の供給の確認（平成19年）



「海水中溶存超微量Fe計測手法」
・キレート化した海水中溶存Feを選択分離後、ICP-MSでFe濃度を分析
(キレート化により高濃度NaClを除去)

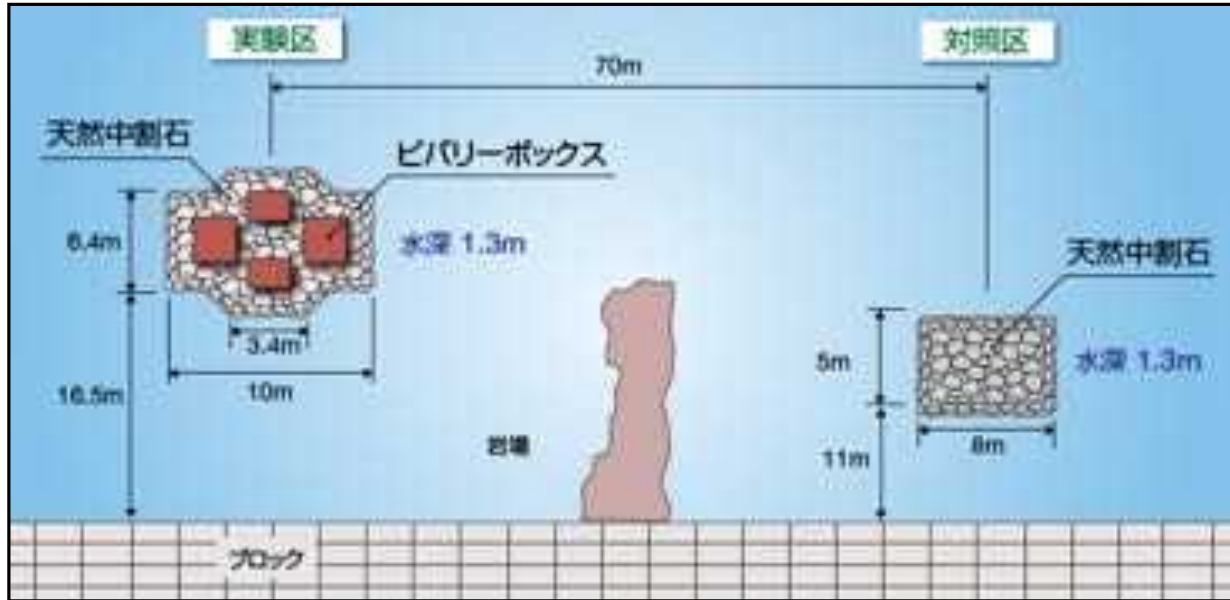
極微量Feの定量を実現
(ppb(μ g/L)オーダー)

【鉄分濃度計測例(増毛町)】



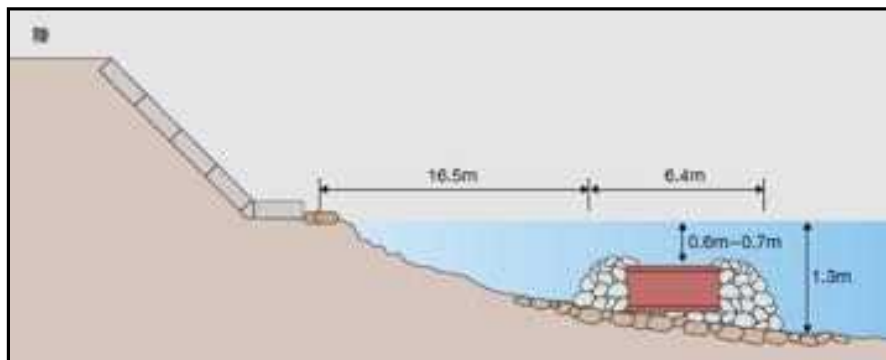
実海域実験例 2 (北海道寿都町 (H19))

【全体平面図】

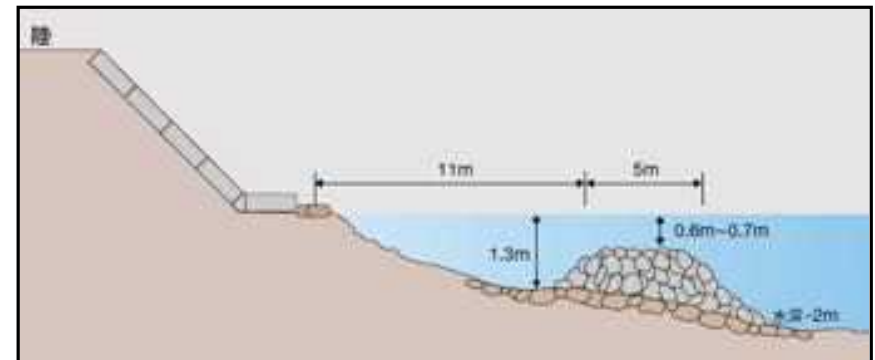


ビバリー®ボックス

【実験区断面図】



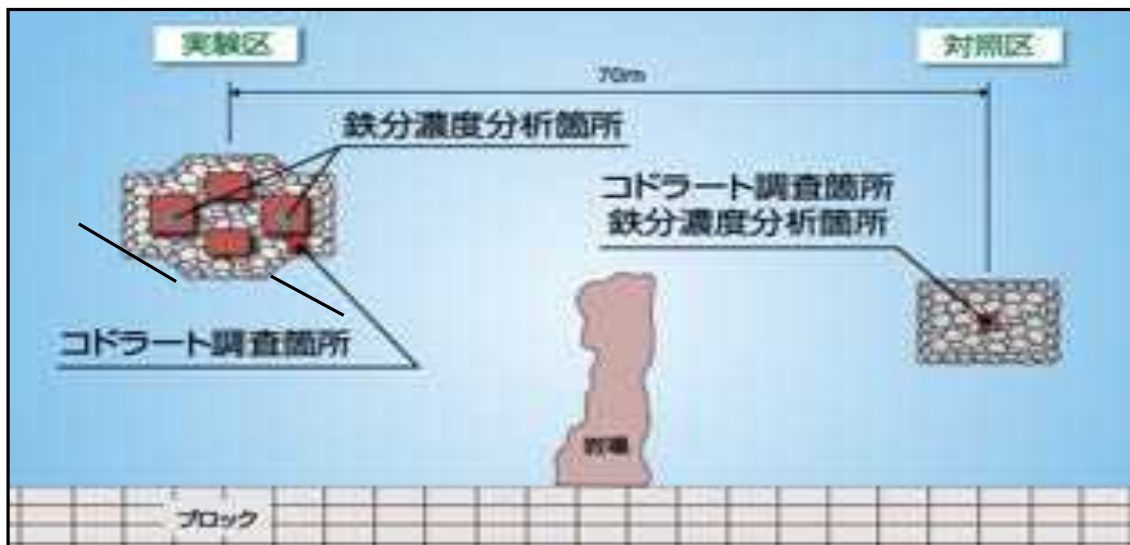
【対照区断面図】



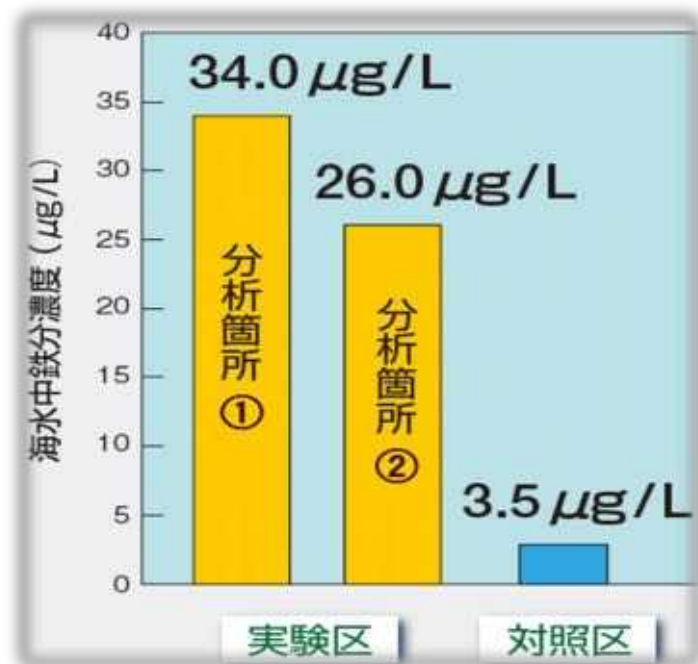
平成19年10月20日 設置直後モニタリング状況



鉄分濃度とコンブ着生量の調査結果



【鉄分濃度計測結果】
実験区は2箇所計測



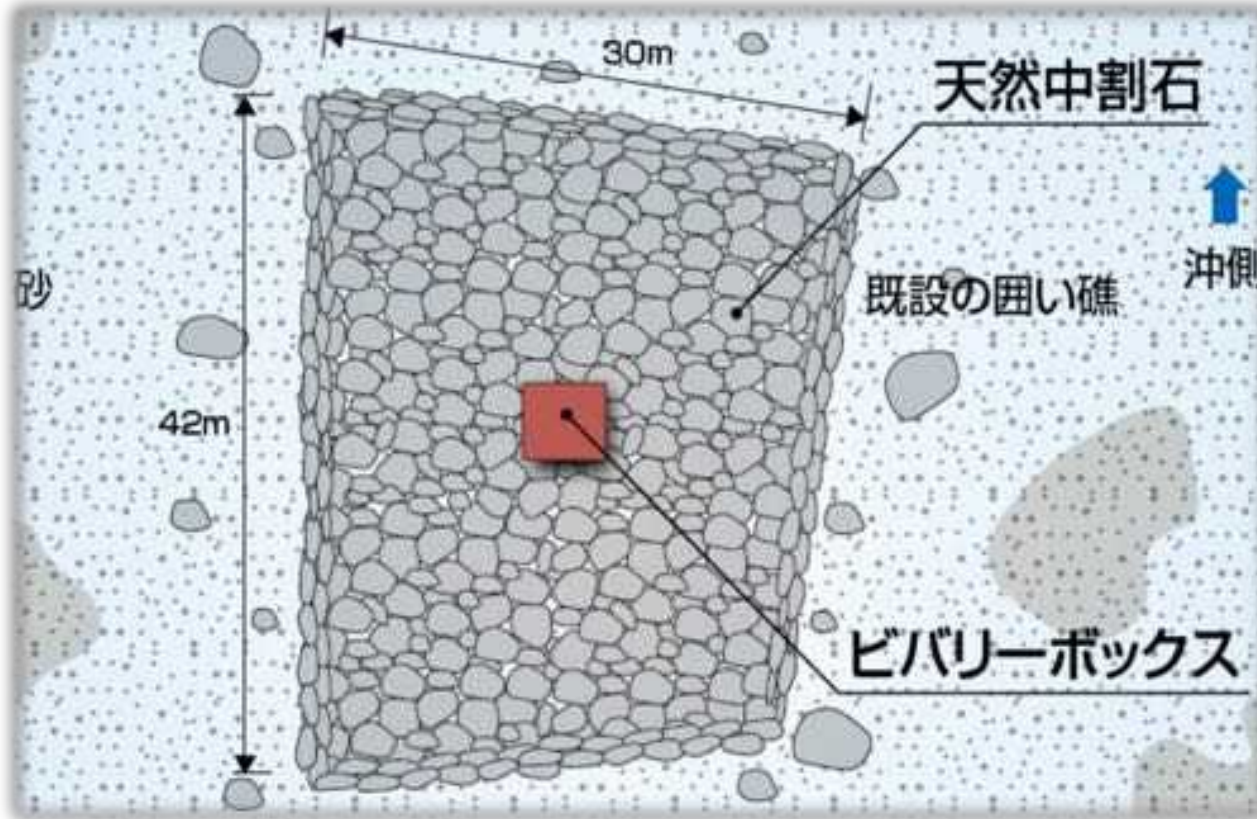
【コドラート調査結果】
50cm枠を用いてホソメコンブの着生量を計測

実験区	27,448g/m ²
対照区	0g/m ²



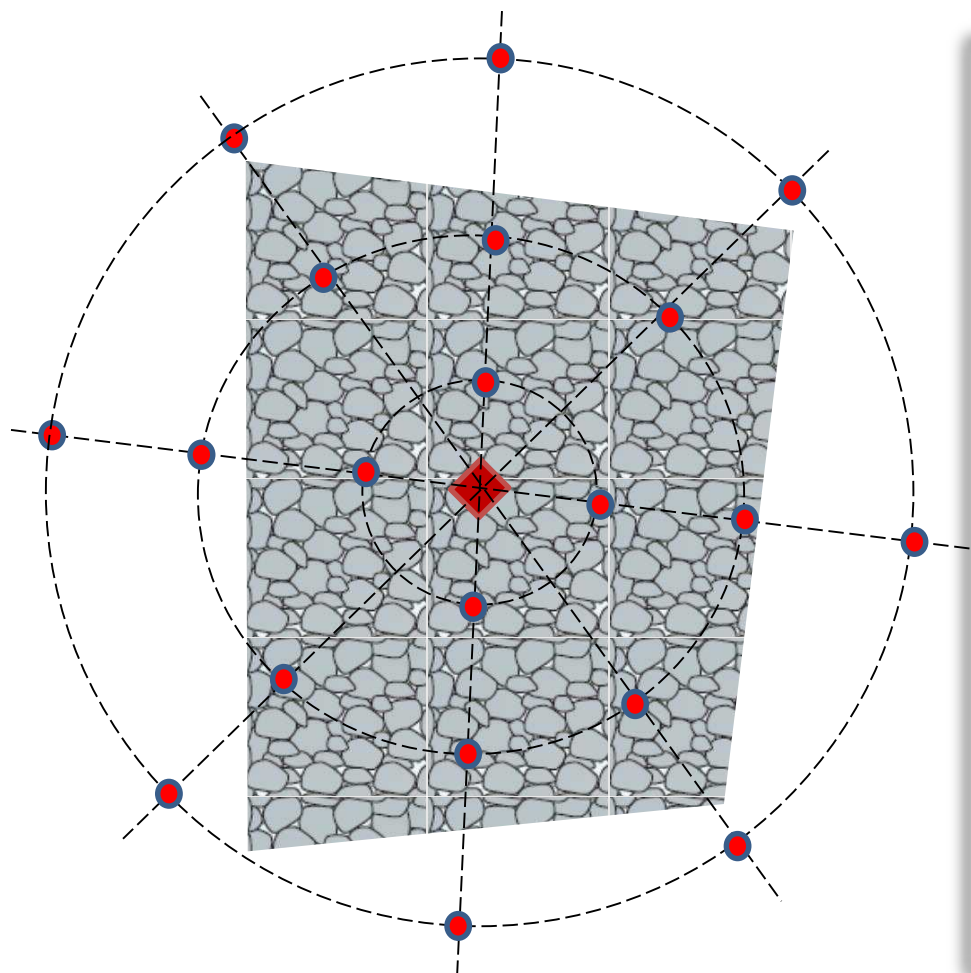
実海域実験例 3 (北海道函館市)

長期間磯焼けしている藻礁にビバリー®ボックスを設置し、影響範囲を検証

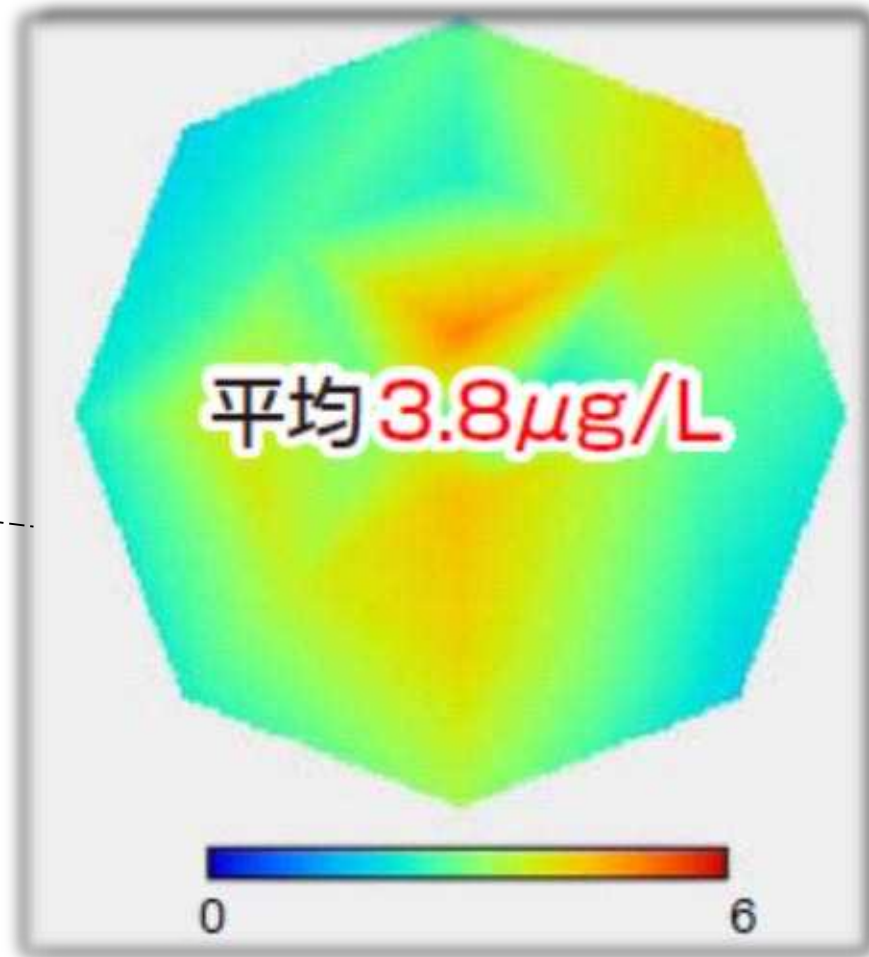


平成19年10月25日
実験区設置

鉄分濃度分析結果

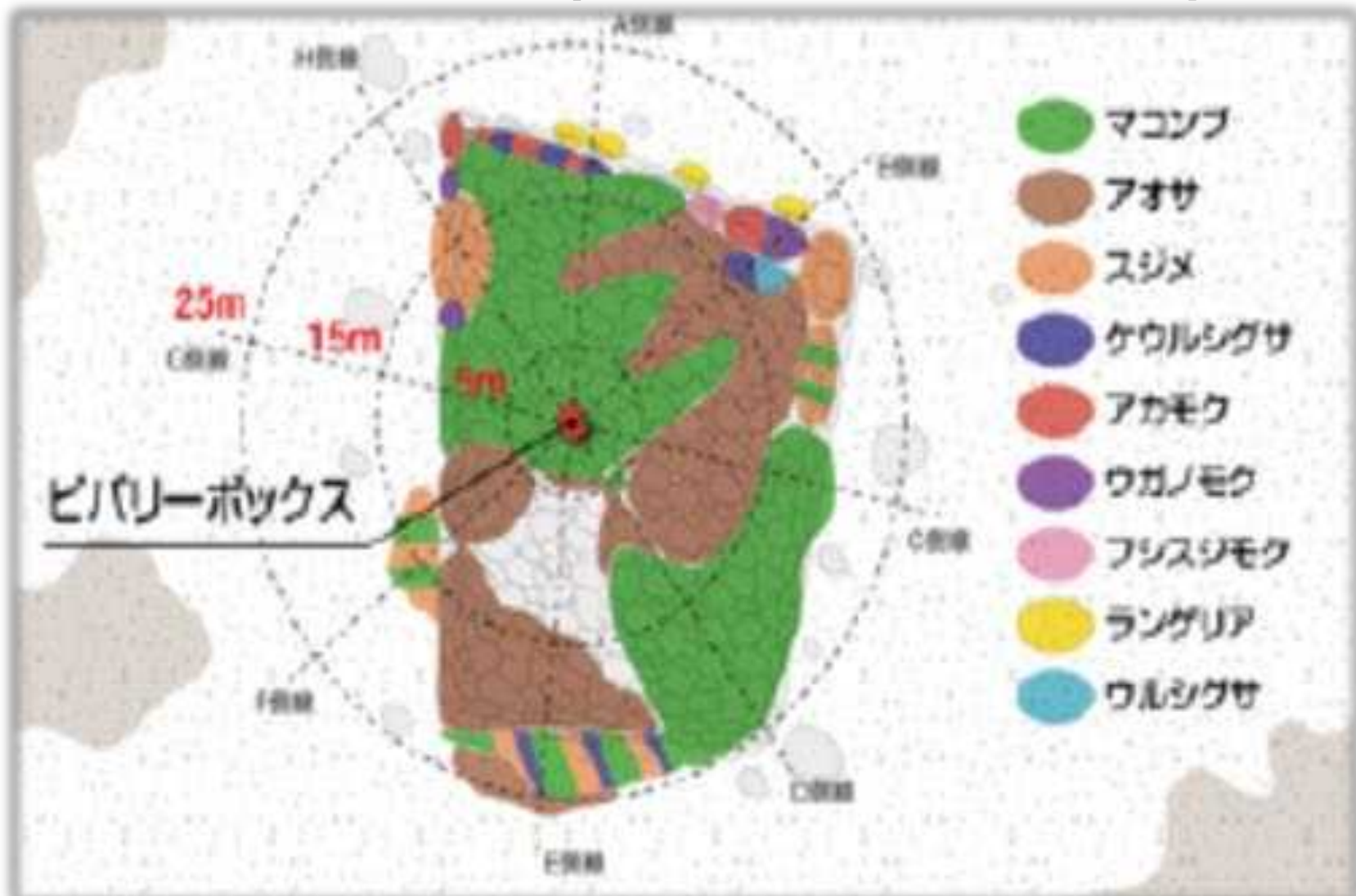


ビバリーボックスの周囲20点で
鉄分濃度を調査

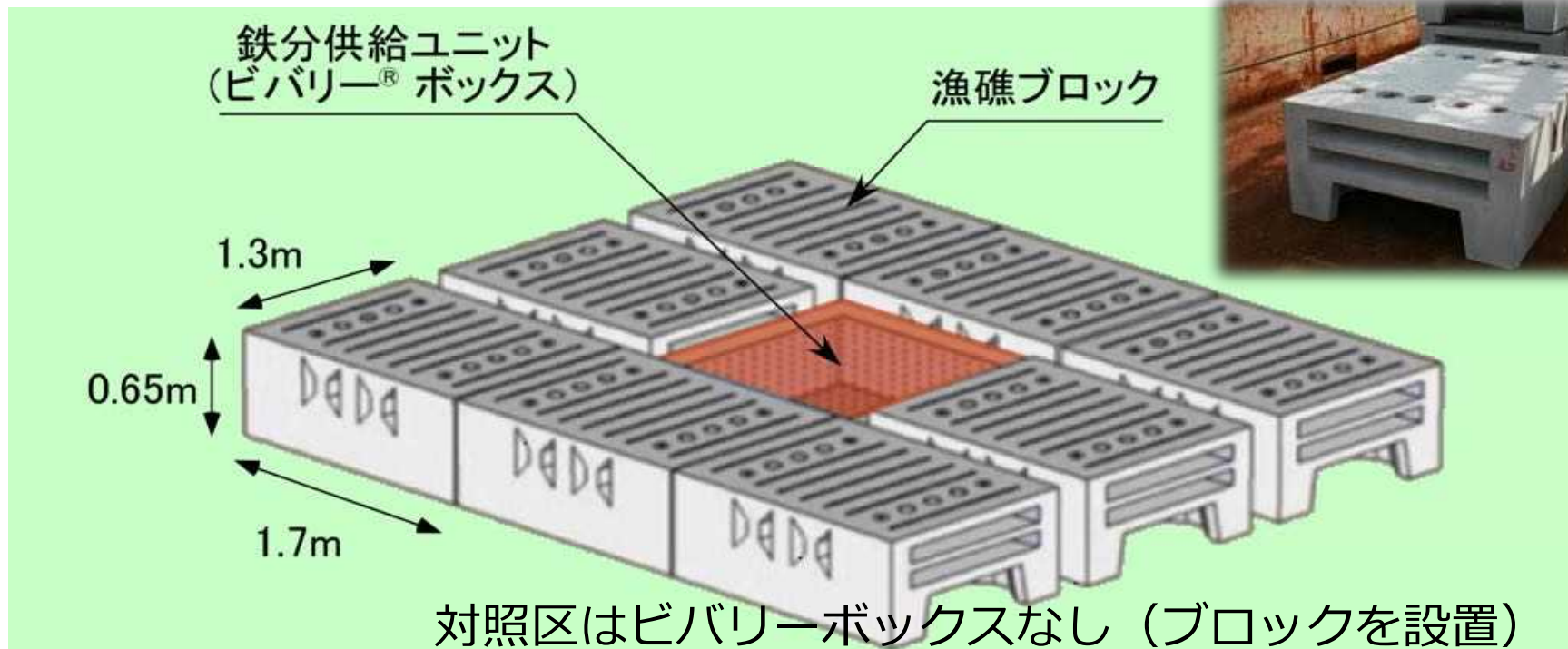


平成19年12月(設置後)

海藻着生状況（設置から8カ月後）



実海域実験例 4 (他海域 (三重県志摩市))



設置前調査	2008.10.9	水質、潜水調査・植生 (コドラート)
設置直後調査	2008.10.10	水質
経過観察	2009.2月・3月	水質、潜水調査
	2009.4月	水質、潜水調査・植生 (コドラート)
	2009.10月	水質、潜水調査・植生 (コドラート)

供試体設置状況 (H20.10.10)



海藻着生状況（設置後4ヶ月）

H20.10設置→H21.2調査



実験区

対照区



オオバモク、ウミウチワ、アラメの幼体が着生

海藻着生状況（設置後5ヶ月）

H20.10設置→H21.3調査



実験区

対照区



<写真提供:三重県水産研究所>

海藻生育状況(設置後1年後)

H20.10設置→H21.11調査

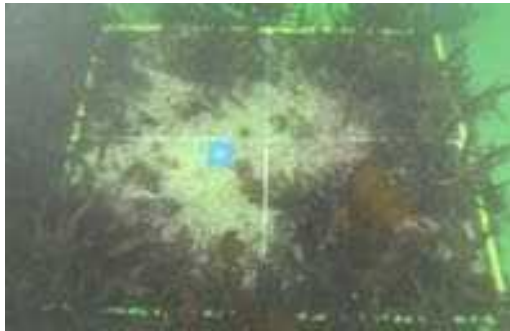


実験区

対照区

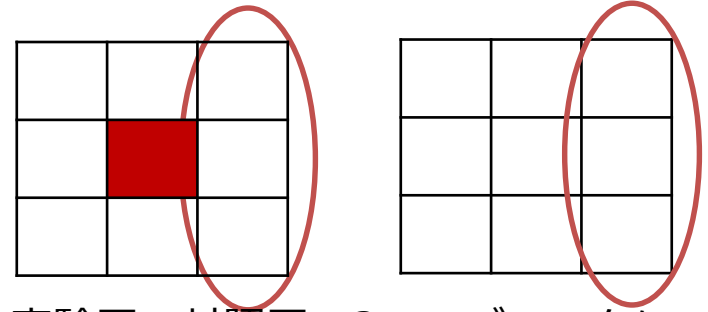


海藻生育状況（設置後1年半後）



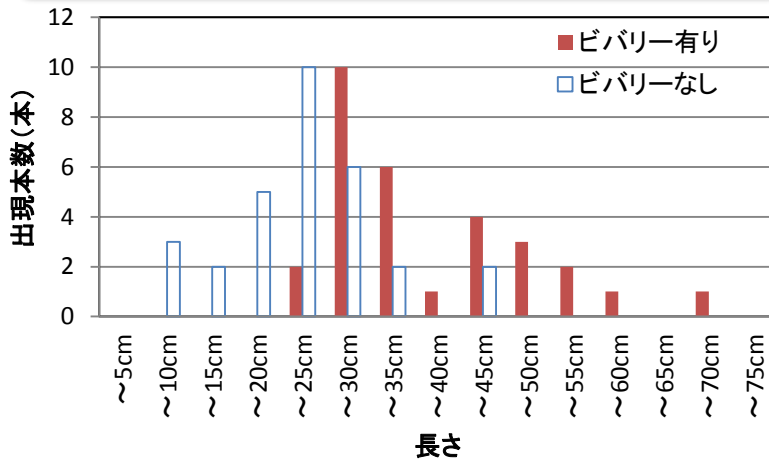
実験区

対照区



実験区、対照区の3つのブロックに着生しているホンダワラ類を採取

ホンダワラ長さの計測結果



ビバリー®ユニットの有効性検証

	t検定結果	
	ビバリーあり	ビバリーなし
平均	37.2	23.4
分散	127.2689655	72.73103448
自由度	58	
t	5.344717018	
P(T<=t) 片側	7.95714E-07	
t 境界値 片側	1.671552763	
P(T<=t) 両側	1.59143E-06	

T検定結果において有効性あり



ビバリー®ユニットは、ホンダワラ類増殖に対しても有効性ありと評価

- 鉄鋼スラグとは～新用途の開発経緯
- 海藻へ二価鉄イオンを届ける鉄鋼スラグ製品の開発
「ビバリー®ユニット」
- 海藻の着生基質となる石材・ブロック代替鉄鋼スラグ製品の開発
「ビバリー®ロック、ビバリー®ブロック」
- 普及に向けた取り組み
「全漁連認証制度」
- 鉄鋼スラグ製品による藻場造成事業の例

海藻の着生基質 ビバリー®ブロック・ビバリー®ロック

リサイクル材をほぼ100%使用した人工石材やブロック材

強度は、JIS A 5006の準硬石 (9.8N/mm²) 以上

配合例 (数字は1m ³ あたりの使用量 (kg))		
水	高炉スラグ微粉末	製鋼スラグ
		
230	460	1692

比較:コンクリートの場合			
水	セメント	砂利	砂
			

ビバリー®ブロック、ビバリー®ロックの製造

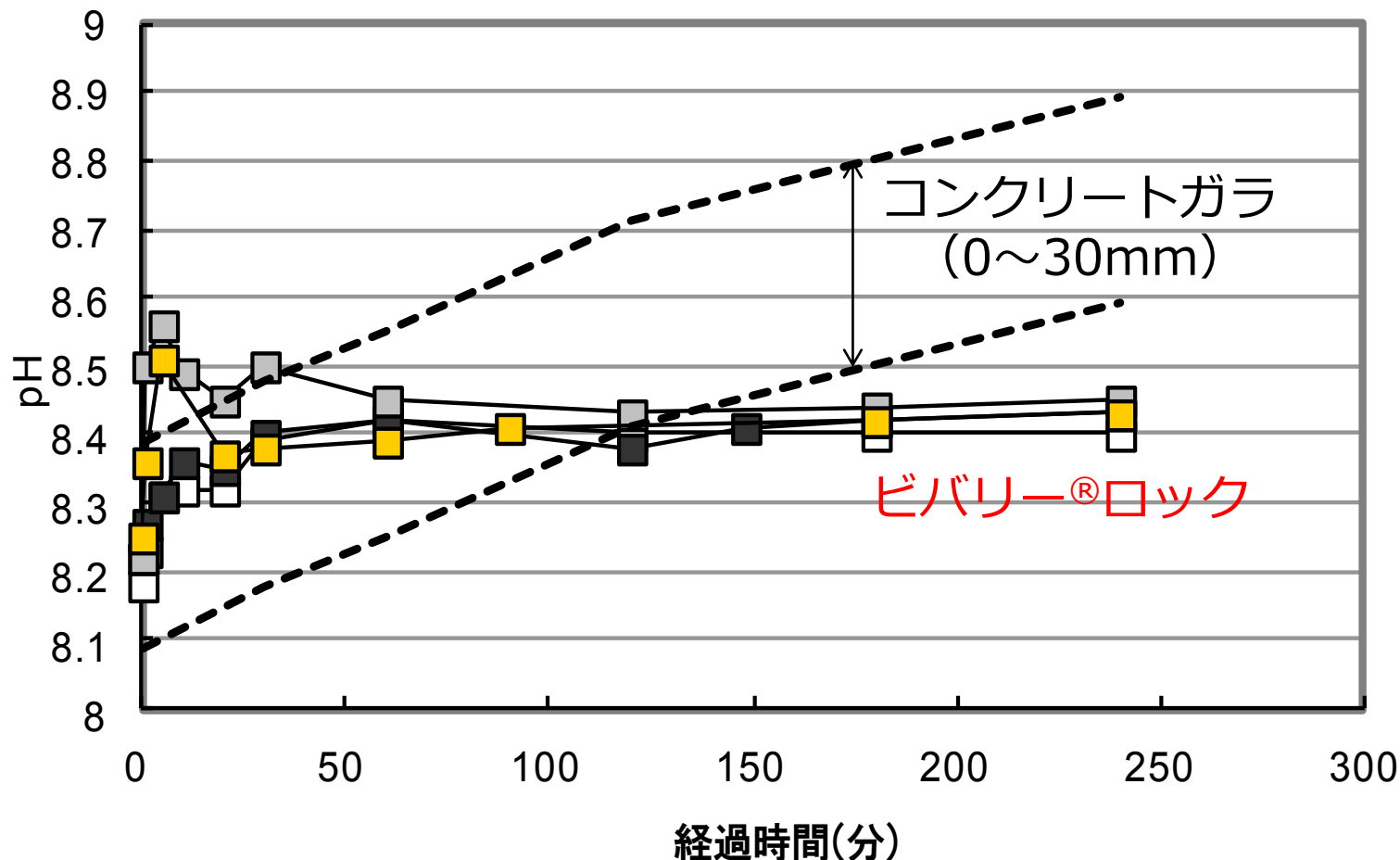


※生コンクリート製造設備を使用



ビバリー®ブロック、ビバリー®ロックの特長

環境にやさしい（アルカリ溶出性）

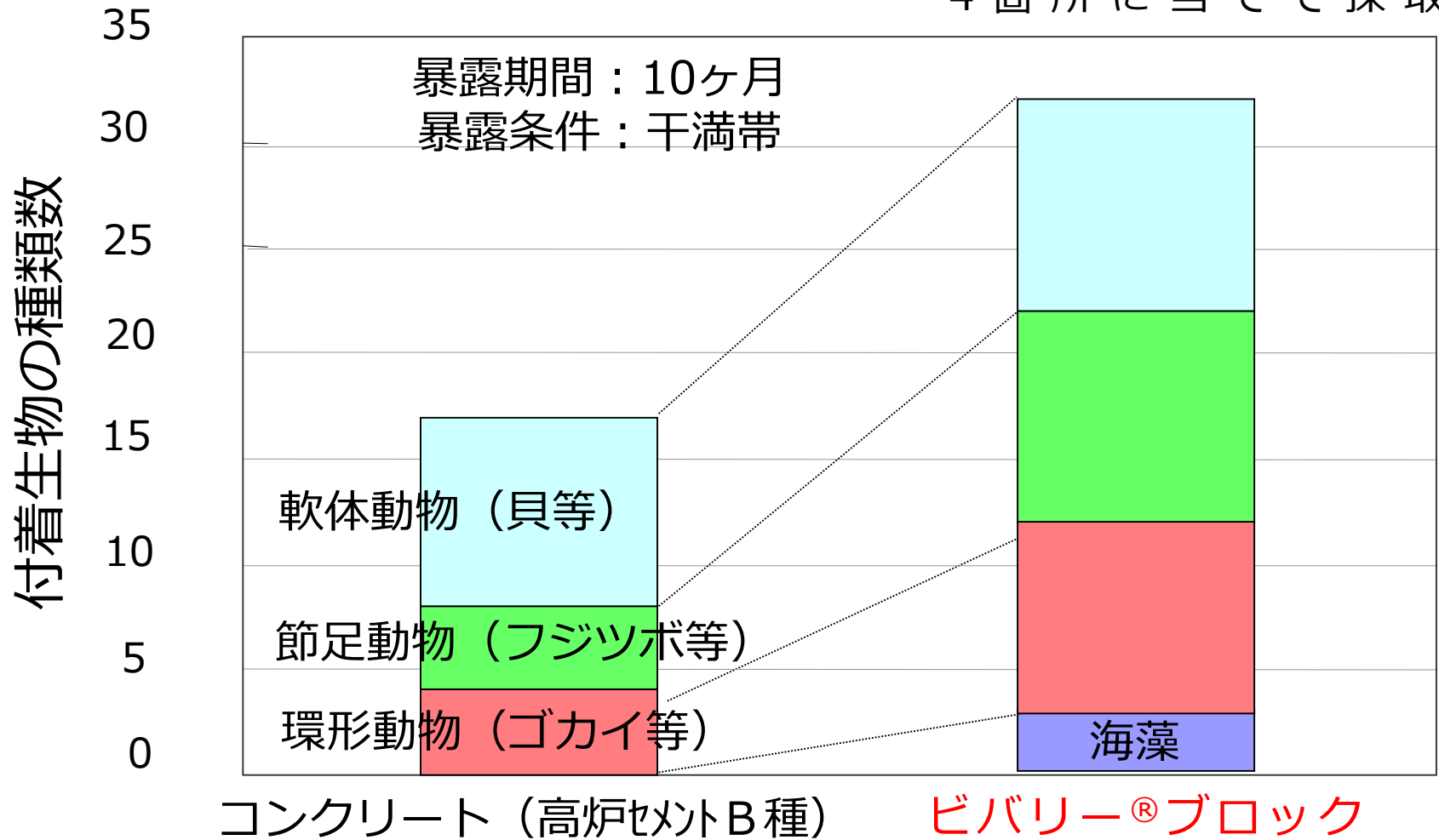


人工海水投入後のpHの経時変化（粒径0~30mm、固液比1:10）

ビバリー®ブロック、ビバリー®ロックの特長

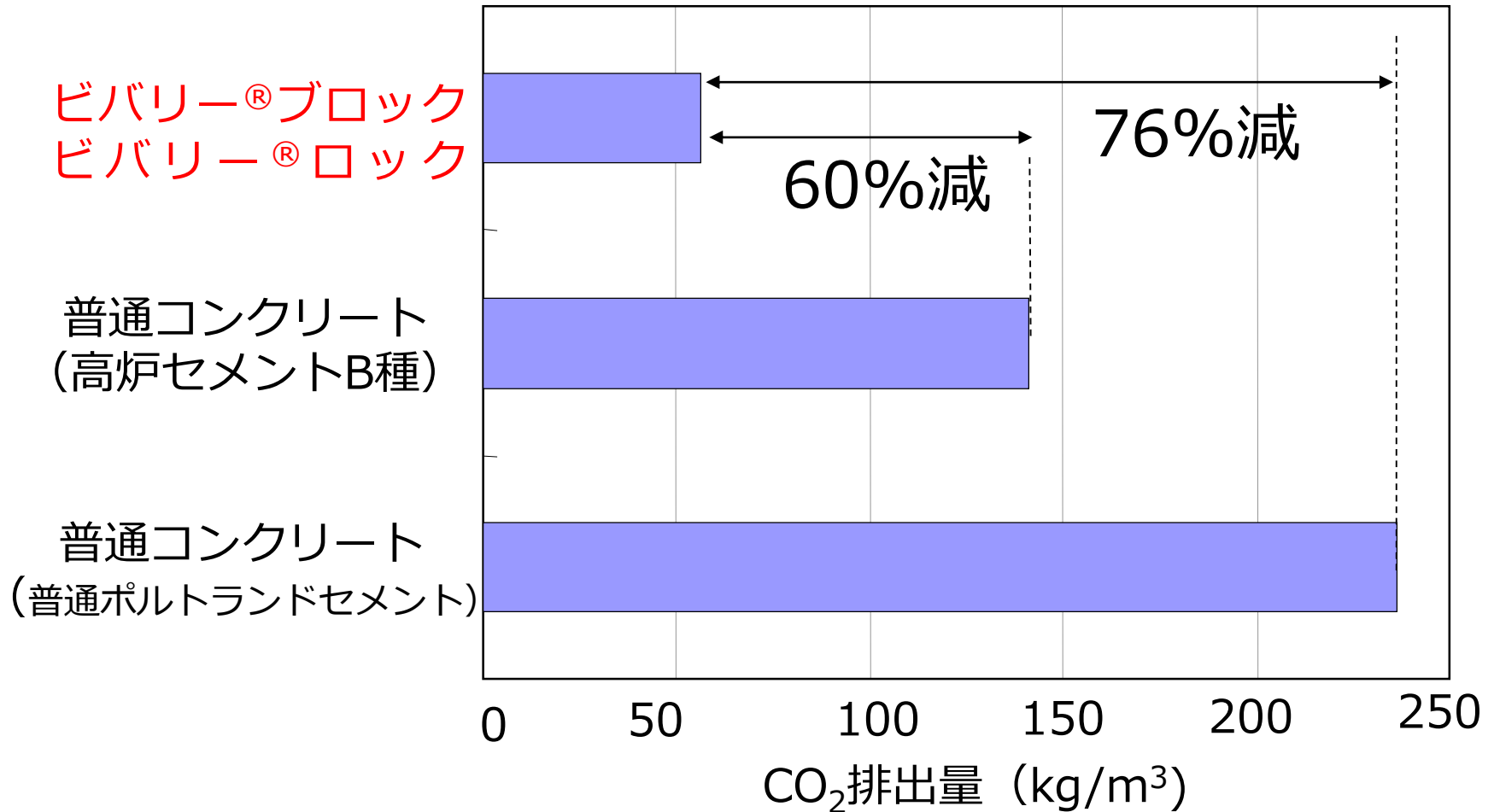
生物にやさしい（生物付着性）

20cm枠を消波ブロックの
4箇所に当てて採取

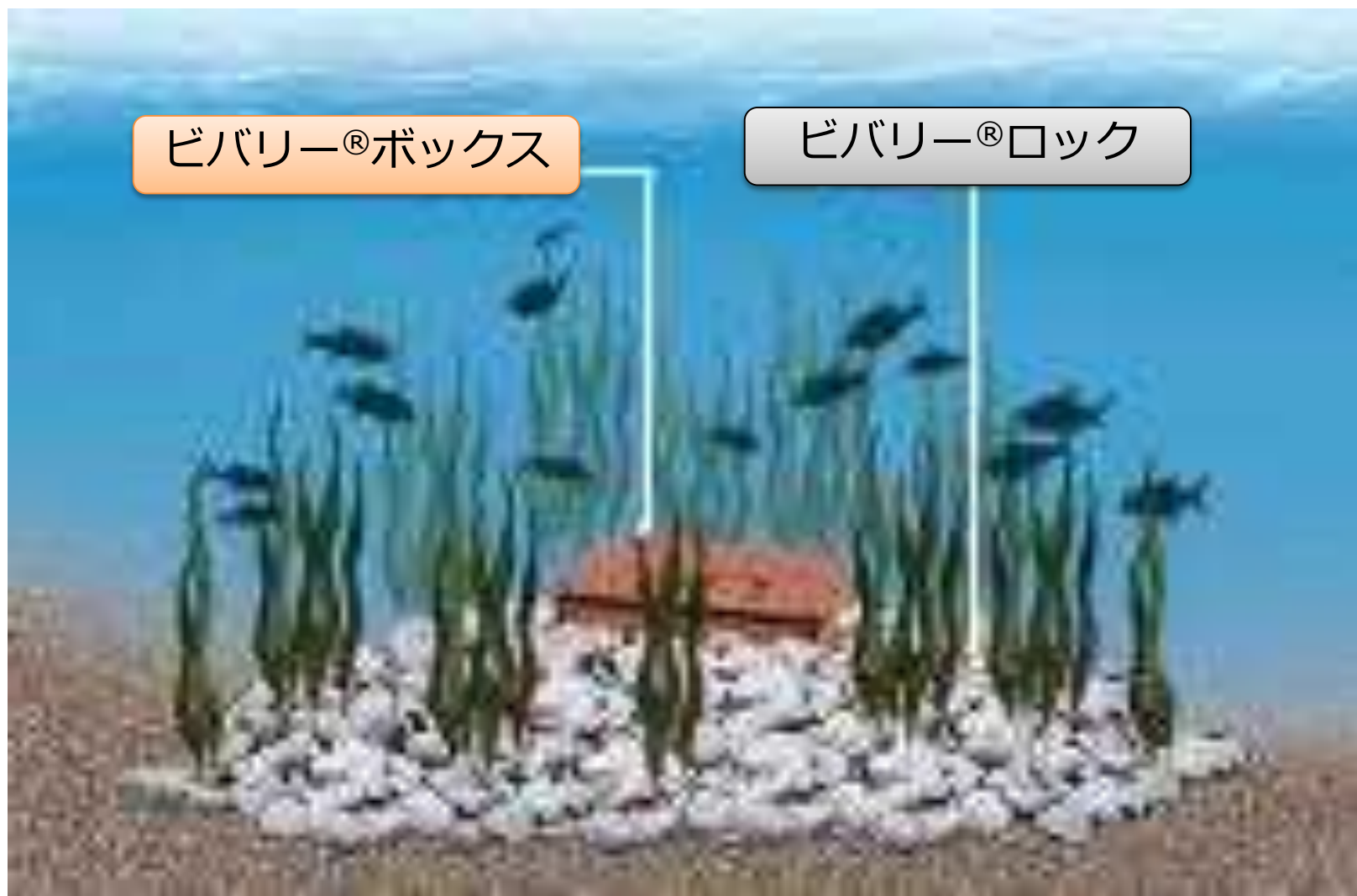


ビバリーブロック、ビバリーロックの特長

環境にやさしい (CO₂排出量抑制)



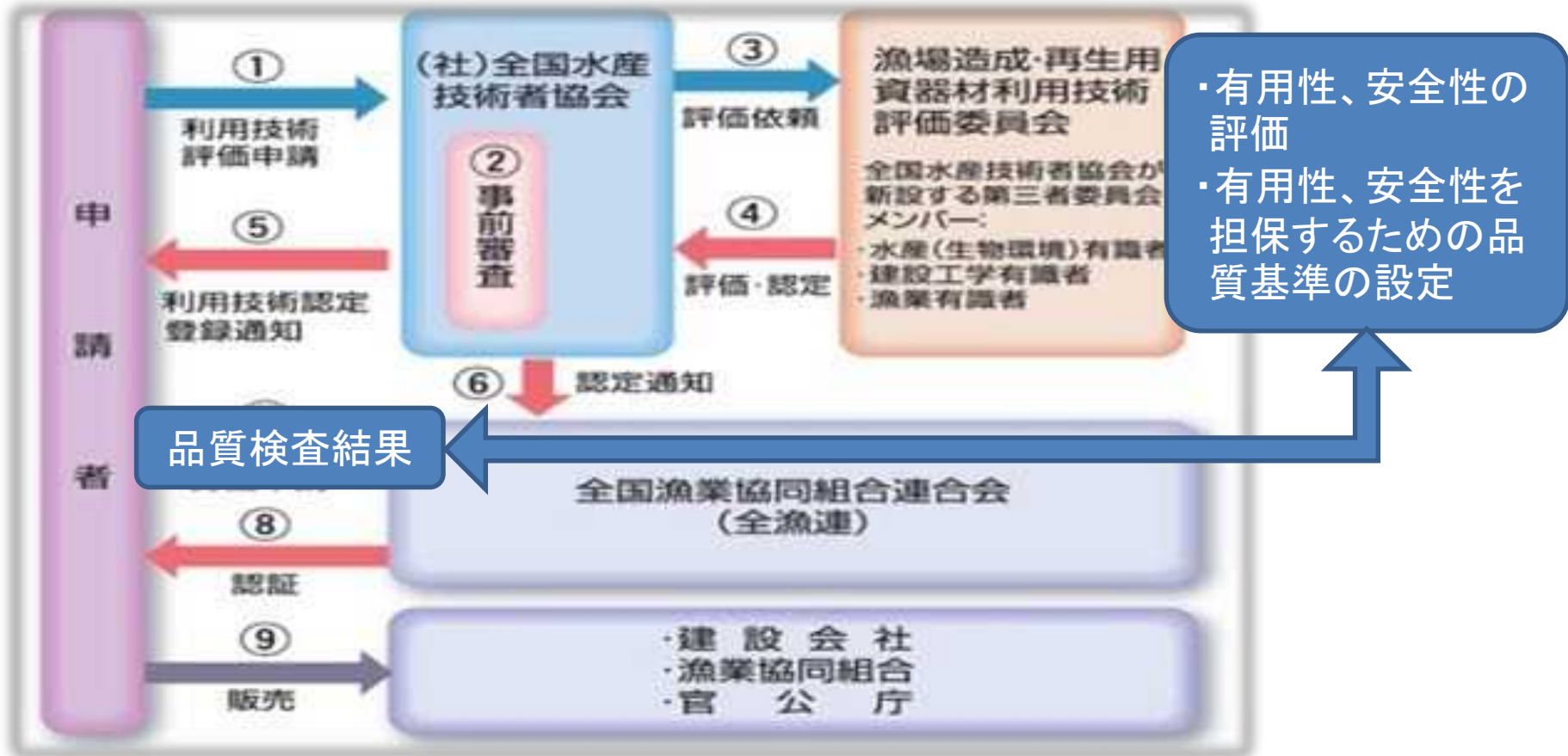
ビバリー®シリーズ製品による藻場造成



- 鉄鋼スラグとは～新用途の開発経緯
- 海藻へ二価鉄イオンを届ける鉄鋼スラグ製品の開発
「ビバリー®ユニット」
- 海藻の着生基質となる石材・ブロック代替鉄鋼スラグ製品の開発
「ビバリー®ロック、ビバリー®ブロック」
- 普及に向けた取り組み
「全漁連認証制度」
- 鉄鋼スラグ製品による藻場造成事業の例

全漁連認証制度

漁場造成・再生用の資器材について、(一社)全国水産技術者協会が有用性・安全性に関する技術認定をした製品について、申請者の申請に応じて、全国漁業協同組合連合会が安全性を認証する制度



ビバリー®ユニットの規格及び検査方法

項目	品質規格	検査方法	検査頻度
配合	製鋼スラグ50%以上、人工腐植土40%以上（容積比）	製造証明書の確認（製造所、出荷重量、配合等を記載）	製品の製造ロット毎
溶出安全性	カドミウム、鉛、六価クロム、ヒ素、総水銀、セレン、ふっ素が「水底土砂に係る判定基準」を満たすこと	環境庁告示第14号	
pH	pHが9.0以下であること	JGS 0211修正法（人工海水、固液比 1 : 10）	
鉄分溶出性	全重量に対して0.3%以上の可溶性鉄分を含有すること	農林省告示第285号に基づく「詳細肥料分析法」（改訂2版）に記載のクエン酸可溶性リン試験法	

安全性の評価（生物安全性（96時間急性毒性試験））



累積死亡数（）内は死亡率			
試験液濃度	マダイ	クロアワビ	クルマエビ
0%（対照区）	0/10（0）	0/10（0）	0/20（0）
25%	0/10（0）	0/10（0）	0/20（0）
50%	0/10（0）	0/10（0）	0/20（0）
75%	0/10（0）	0/10（0）	0/20（0）
100%	0/10（0）	0/10（0）	0/20（0）

全試験において、へい死や異常行動は確認されず、安全性を確認

主として「海産生物毒性試験指針 水産庁 平成22年3月」に準拠

安全性の評価(食品安全性)

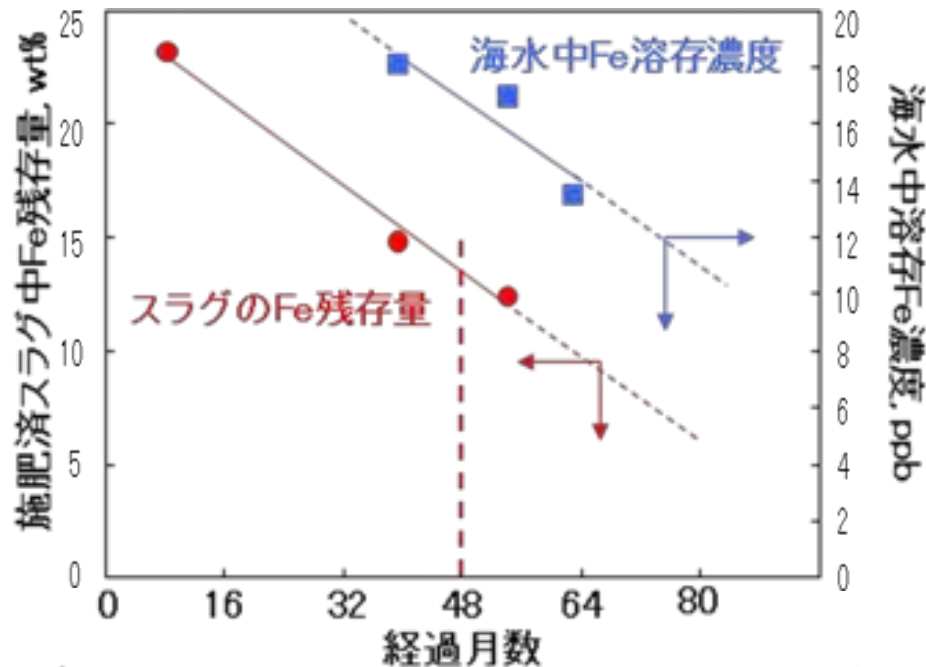
ビバリーユニットを設置した海域(北海道増毛町)に生息している海藻・生物に対して、食品としての安全性に問題が無いかを確認

分析値 分析項目	コンブ		ウニ		公的基準値
	実験海域	対照海域	実験海域	対照海域	
鉄	31.9	163	5.2	9.6	—
ひ素(有機)	15	17	3.6	3.9	—
鉛	0.06	0.09	<0.05	<0.05	0.3mg/kg コーデックス委員会の基準値
カドミウム	0.04	0.06	<0.01	0.04	1.0mg/kg コーデックス委員会の基準値
総水銀	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.4ppm(うち、メチル水銀<0.3ppmのこと) 旧厚生省の「魚介類の水銀の暫定規制値」
セレン (µg/100g)	<5	<5	19	14	—
総クロム	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	—

対照海域と比べ、特段の異常値は見られず。かつ、公的基準値も下回る。

効果の安定性の評価

北海道増毛町舎熊海岸での実海域実験にて、ビバリー®ユニットの埋設から3年目及び4年目にて試料をサンプリングし、製鋼スラグの全鉄含有率の減少傾向を調査



- ✓地形や海流、設置方法等により異なるが、本実験結果では鉄分の補源基は約4年
 - ✓4年後も海水中鉄分濃度は高い値を維持
- ⇒ 鉄分供給効果は、少なくとも4年程度は持続可能と推測

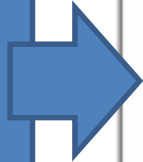
(一社) 全国水産技術者協会の技術認定登録



・ビバリーユニット
・ビバリーロック、ブロック
の2製品に対し、有用性・安全性
に問題がないことが認定された

全漁連の製品安全性確認認証

認証
申請
書類



規格への適合性
検査結果

- 鉄鋼スラグとは～新用途の開発経緯
- 海藻へ二価鉄イオンを届ける鉄鋼スラグ製品の開発
「ビバリー®ユニット」
- 海藻の着生基質となる石材・ブロック代替鉄鋼スラグ製品の開発
「ビバリー®ロック、ビバリー®ブロック」
- 普及に向けた取り組み
「全漁連認証制度」
- 鉄鋼スラグ製品による藻場造成事業の例

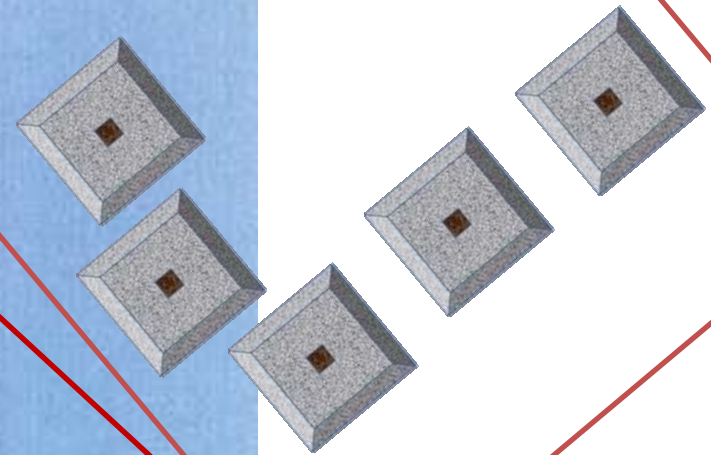
鉄鋼スラグ製品を用いた事業の例

吉岐石田地区藻場回復工事（水産基盤整備事業）

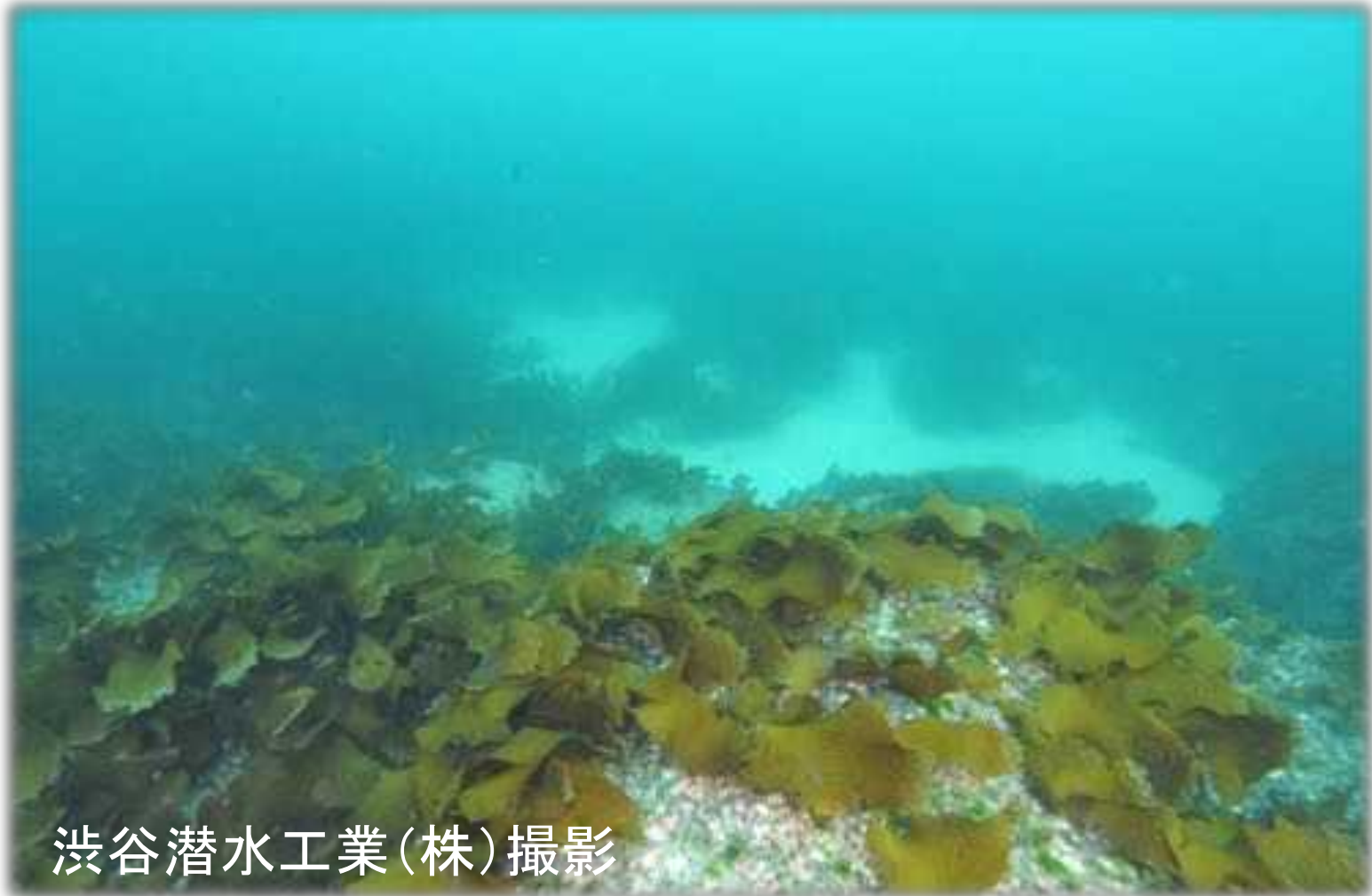
■ 工事位置（平成22年12月施工）



5つの藻礁マウンドを設置
(□12m×h 1.5m)

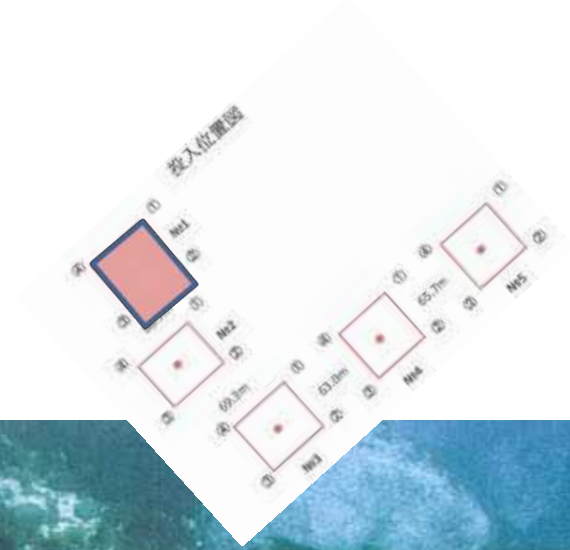


設置から4カ月後の藻場礁マウンドの状況

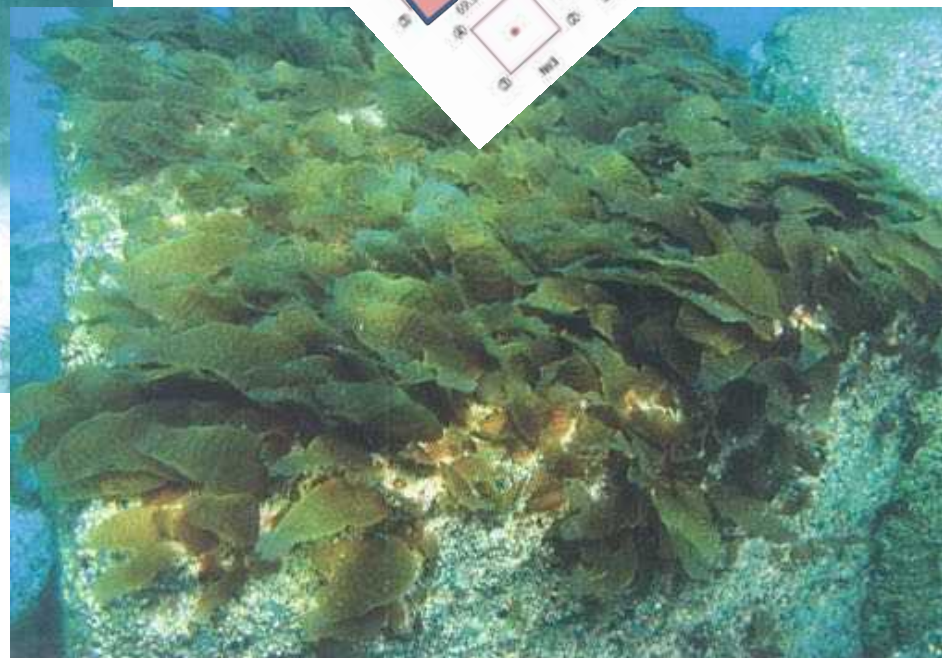
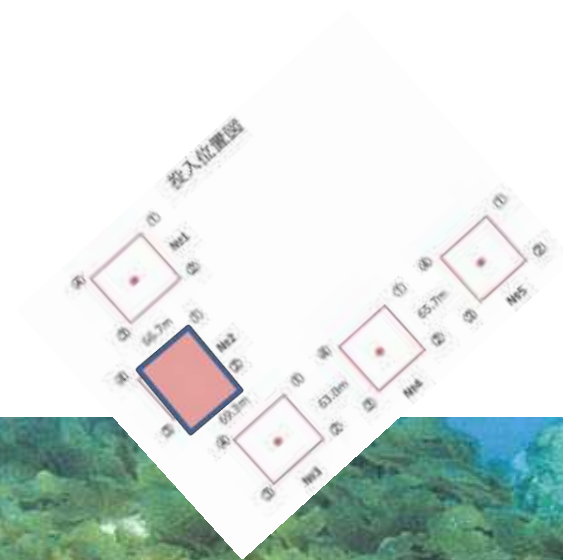


渋谷潜水工業(株)撮影

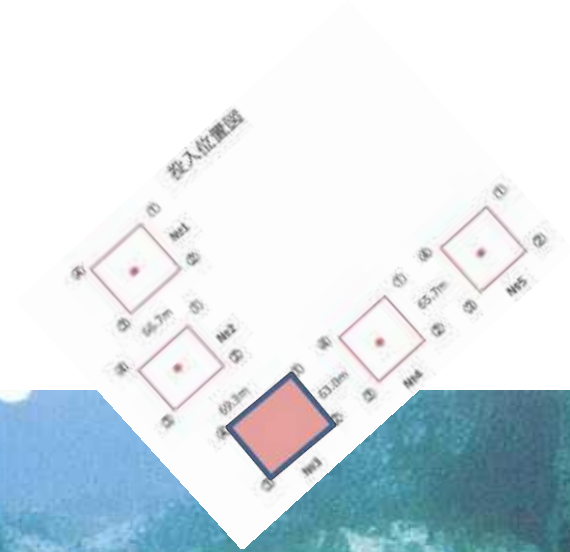
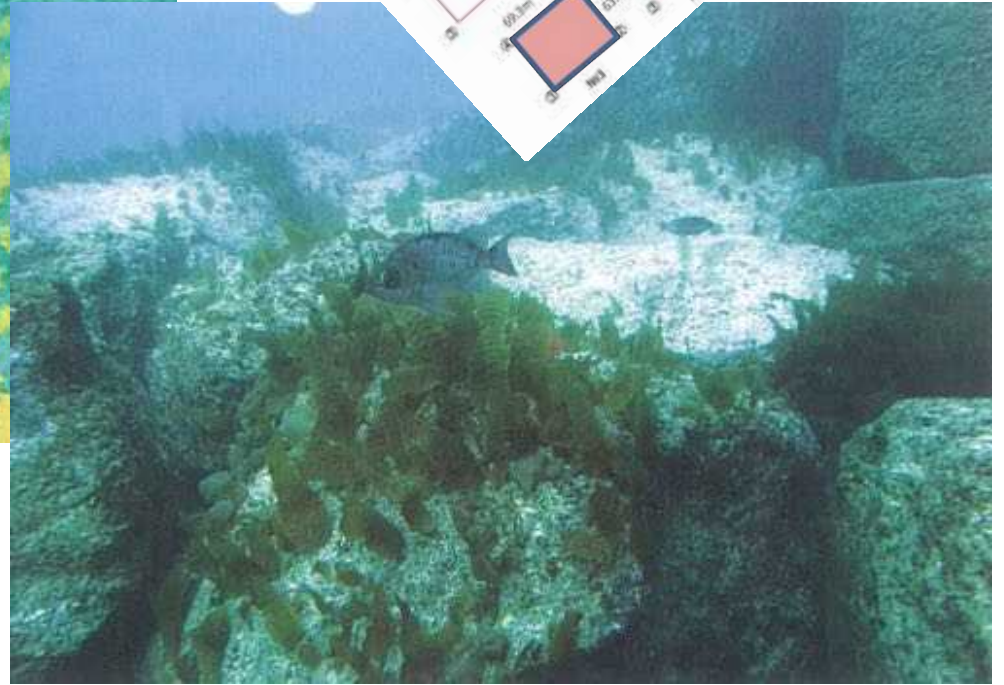
No.1藻場礁



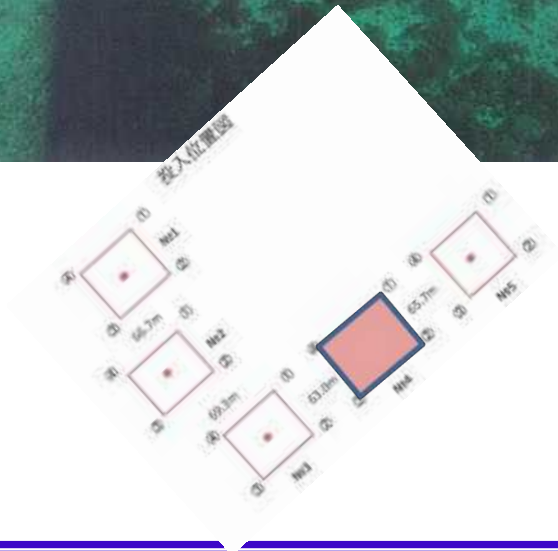
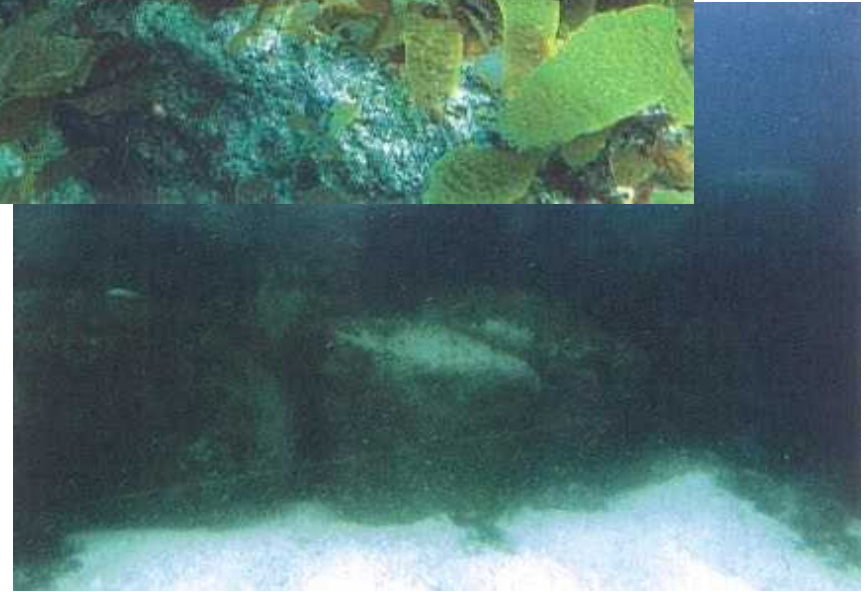
No. 2 藻場礁



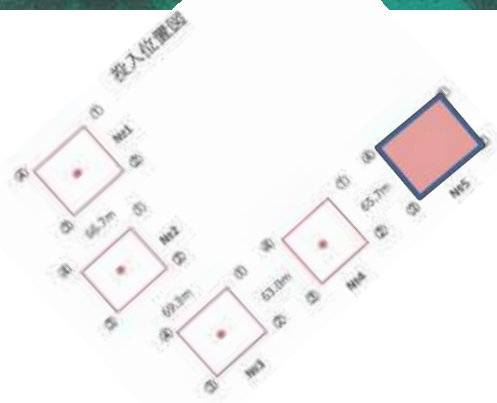
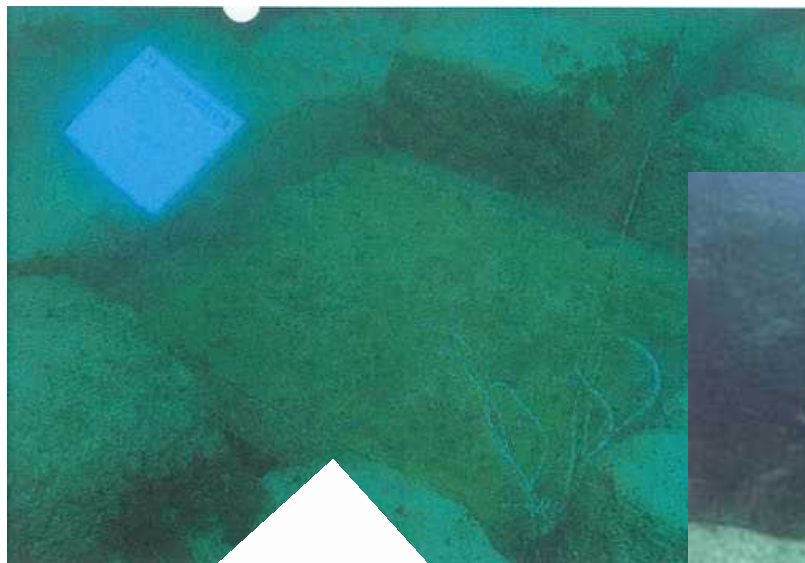
No. 3 藻場礁



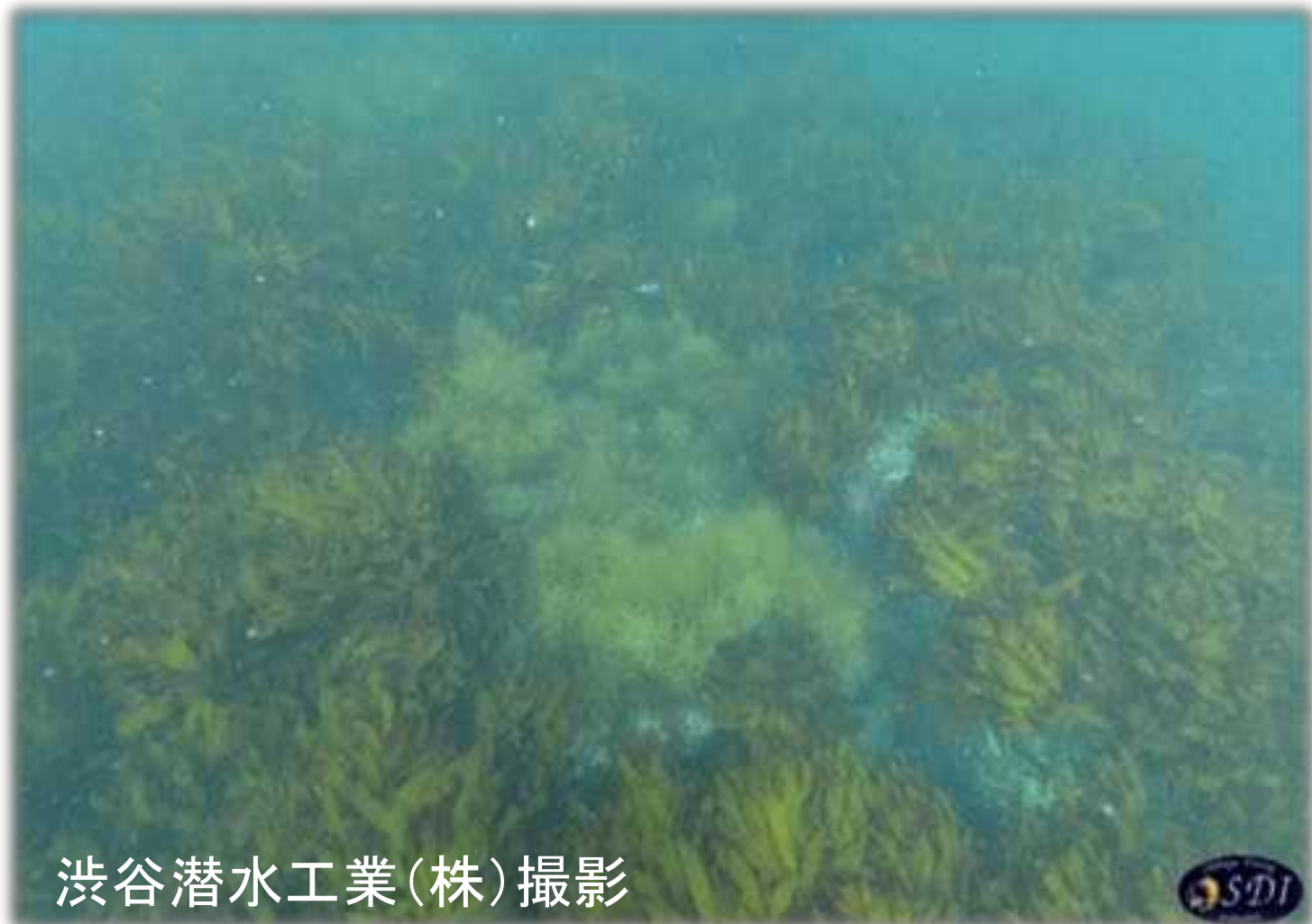
No. 4 藻場礁



No. 5 藻場礁



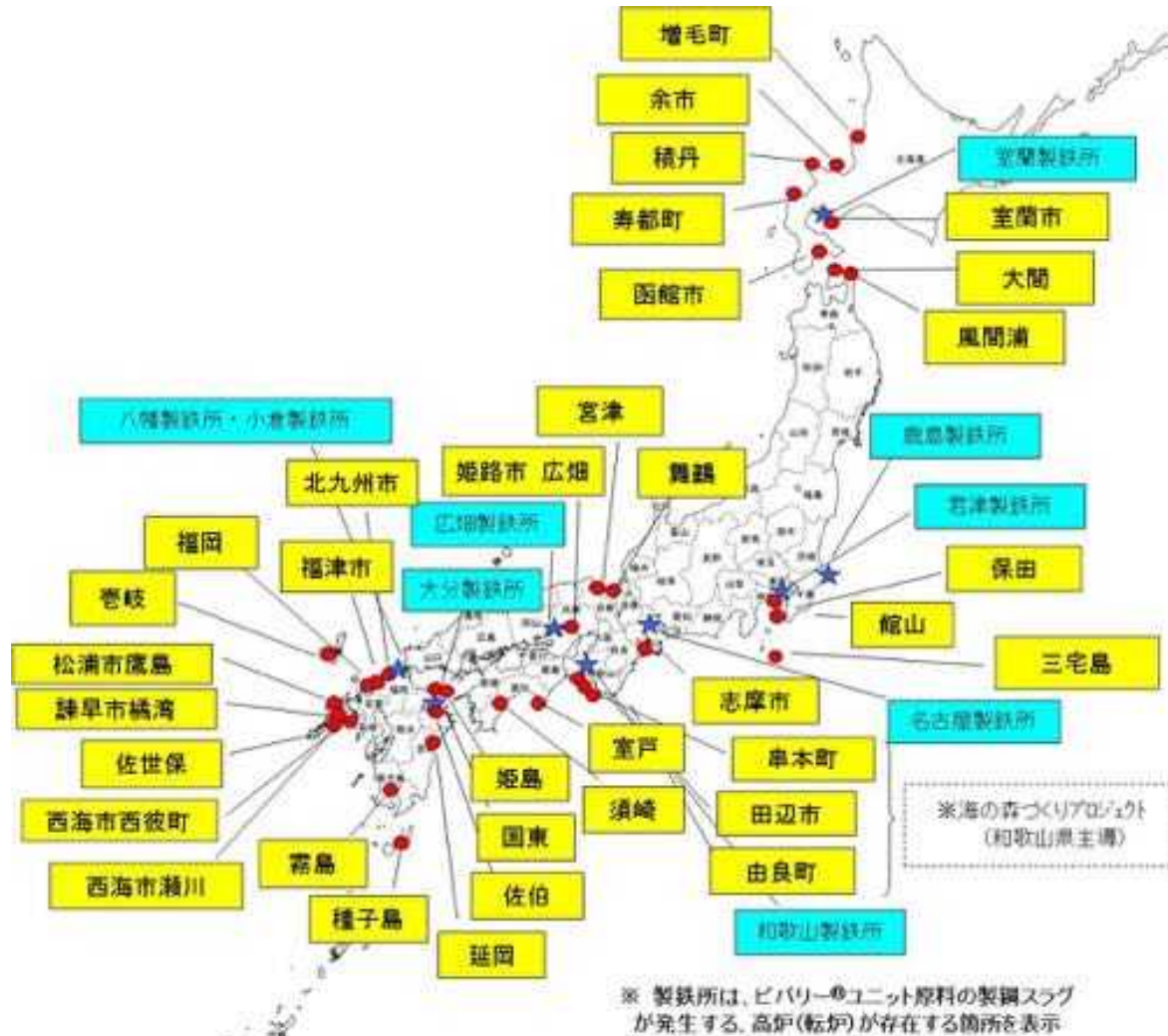
設置から2年6カ月後の藻場礁マウンドの状況



渋谷潜水工業(株)撮影



実海域実験での効果検証



御清聴、ありがとうございました。