

# これまでの藻場再生への取組について

-フルボ酸鉄溶出材と藻礁ブロックによる藻場再生-

株式会社BCM

## 目次

実証実験	……1
藻礁の安定計算	……14
藻場再生への取組	……15
基礎実験結果・分析結果	……23

# これまでの実証実験実施場所

No.	場所	調査期間	実験前海藻種	施工方法
1	長崎県対馬市東海岸 千崎海域・松島海域	2008年9月～2010年1月	ホンダワラ類オオバモク ノコギリモク	汀線埋立方式/ フトン籠による海中 沈設方式
2	長崎県対馬市 西海岸海域	2009年6月～2010年3月	ノコギリモク	フトン籠による 海中沈設方式
3	北海道せたな町 鵜泊海域	2009年7月～2011年7月	イトグサ属 ワカメ	汀線埋立方式
4	新潟県佐渡市 水津地区	2009年9月～2011年10月	ノコギリモク・マメタワラ ヤツマタモク・ヨレモク	汀線埋立方式
5	東京都三宅島 湯の浜地区	2009年9月～2011年7月	マタボウ	汀線埋立方式
6	東京都伊豆大島海域	2019年7月～	オキツノリ目 ハネモネ属サンゴ目 等	海中沈設方式



# 1.長崎県対馬市東海岸 千崎海域



① 磯焼け状況  
(H20年9月 事前調査)



② フトン籠上に黒アワビ侵入  
(H21年1月 設置後3ヵ月)



③ アラメ群落成長  
(H21年3月 設置後5ヵ月)



④ アラメの海中林  
(H22年1月 設置後14ヵ月)

# 1.長崎県対馬市東海岸 松島海域



①-1 磯焼け状況  
(H20年9月 事前調査)



①-2 フトン籠上に着生したアラメ  
(H21年3月 設置後4ヵ月)



②-1 アラメ群落成長  
(H21年6月 設置後7ヵ月)



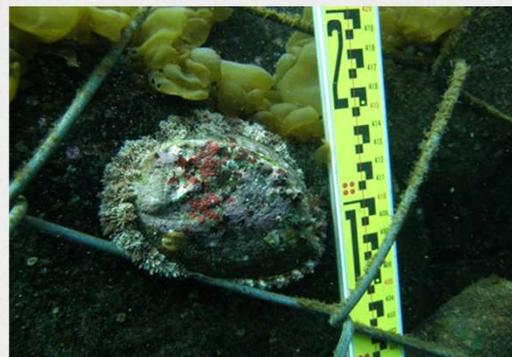
②-2 フトン籠上の魚群  
(H21年6月 設置後7ヵ月)



②-3 ホンダワラの海中林  
(H21年6月 設置後7ヵ月)



②-4 アオリイカの卵  
(H21年6月 設置後7ヵ月)

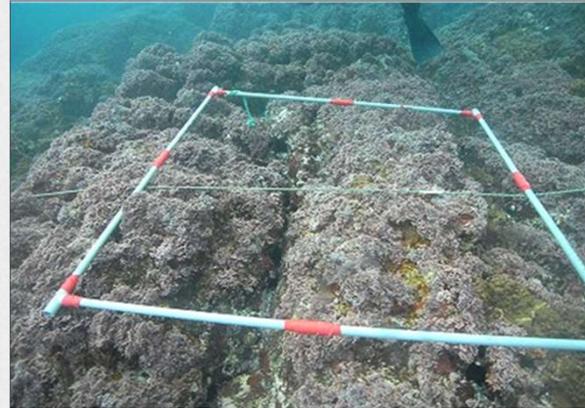


③-1 フトン籠に侵入した黒アワビ  
(H22年1月 設置後14ヵ月)

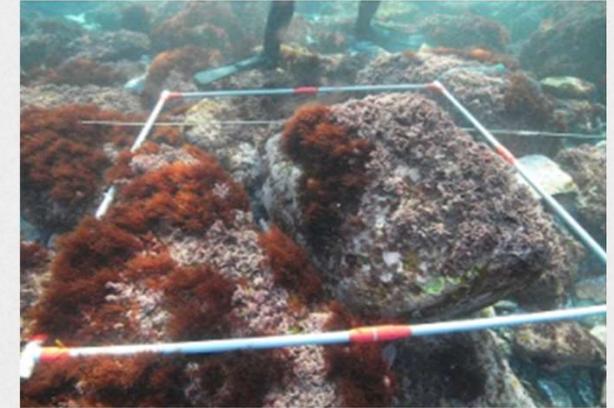


③-2 アラメ・ホンダワラの海中林  
(H22年1月 設置後14ヵ月)

## 2.長崎県対馬市西海岸



① 磯焼け状況  
(H21年6月 事前調査)



② マグサ群落  
(H22年1月 設置後3ヵ月)

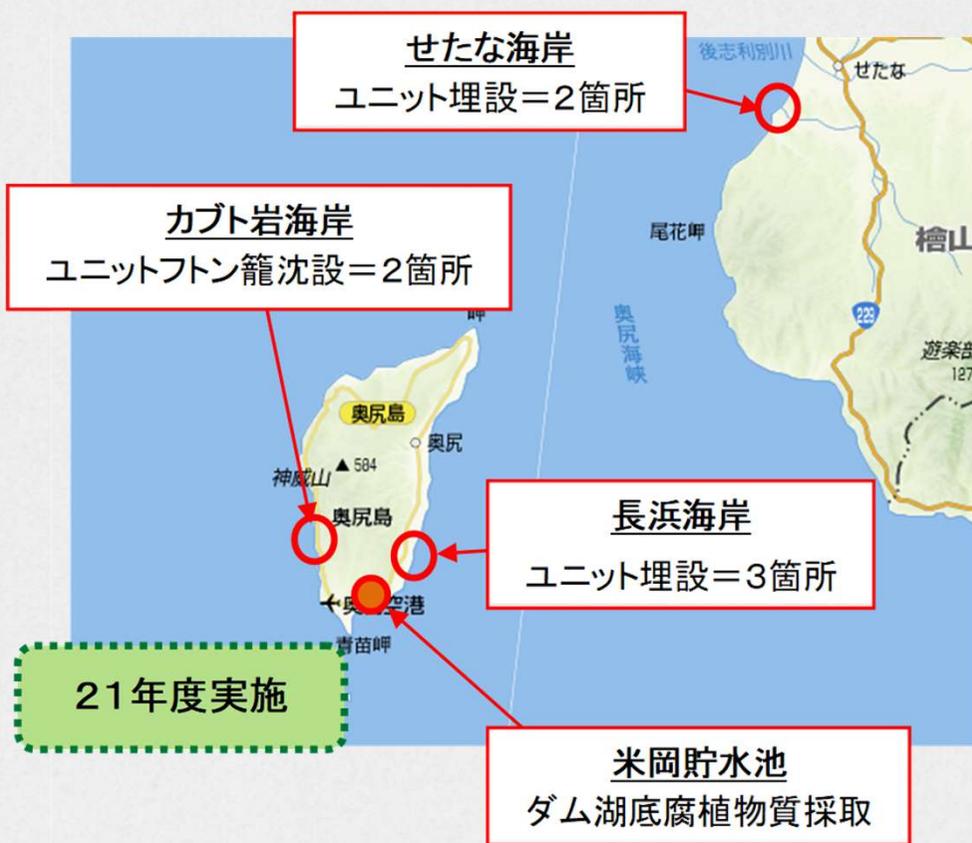


③-1 アラメ群落成長  
(H22年3月 設置後5ヵ月)



③-2 アラメの海中林  
(H22年3月 設置後5ヵ月)

### 3.北海道奥尻町・せたな町



#### 【北海道奥尻島 カブト岩海域】



①-1 磯焼け状況  
(H21年7月 事前調査)



①-2 沖の瀬に着生するスガモとウニ  
(H22年7月 事前調査)



②-1 ホソメコンブ群落成長  
(H22年3月 設置後5ヵ月)



②-2 岩礁にムカデノリ属が着生  
(H22年3月 設置後5ヵ月)

### 3.北海道奥尻町・せたな町

#### 【北海道奥尻島 長浜海域】



①-1 磯焼け状況  
(H21年7月 事前調査)



①-2 沖の瀬に育成するワカメとホンダワラ類  
(H21年7月 事前調査)



②-1 岩礁にホソメコンブ着生  
(H22年3月 設置後5ヵ月)



②-2 ホソメコンブの状況  
(H22年3月 設置後5ヵ月)

#### 【北海道せたな町海域】



①-1 磯焼け状況(L=10m部)  
(H21年7月 事前調査)



①-2 磯焼け状況(L=20m部)  
(H21年7月 事前調査)



②-1 ホソメコンブ着生  
(H22年6月 設置後8ヵ月)



②-2 フジスジモク、スガモ着生  
(H22年6月 設置後8ヵ月)

## 4.新潟県佐渡市北狄・水津



### 【新潟県佐渡市 北狄海岸】



①-1 磯焼け状況  
(H21年9月 事前調査)



② ホンダワラ群落の成長  
(H22年3月 設置後2カ月)



②-2 ツルアラメ群落の成長  
(H22年3月 設置後2カ月)



②-2 ホンダワラ類が密生  
(H22年3月 設置後2カ月)

# 5.東京都三宅島湯の浜

## 【東京都三宅島湯の浜】



①-1 磯焼け状況(B測線 L=20m)  
(H21年9月 事前調査)



②-1 オオブサ、マタボウが成長  
(H22年7月 設置後6ヵ月)



①-2 磯焼け状況(C測線 L=100m)  
(H21年9月 事前調査)



②-2 オオブサ、ヒラキントキが成長  
(H22年7月 設置後6ヵ月)

## 6.東京都大島 差木地漁港

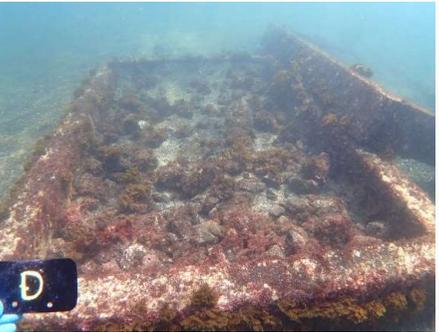
### 【施工写真】



# 6.東京都大島 差木地漁港

	施工1ヶ月後(2019/8/14)		施工1年2ヶ月後(2020/9/14)	
人工石 フルボ酸有				
人工石 フルボ酸無				

## 6.東京都大島 差木地漁港

	施工1ヶ月後(2019/8/14)		施工1年2ヶ月後(2020/9/14)	
溶岩 フルボ酸有				
溶岩 フルボ酸無				

## 6.東京都大島 差木地漁港

### 移植試験



ブロック全景1



ブロック全景2



ヒラクサとアントクメ



マクサの移植



アントクメの移植



ヒラクサの移植

## 6.東京都大島 差木地漁港

設置3年後の藻場の状況



# 藻礁の安定計算

被覆材の安定質量 M(t)の検討  
プレブナー・ドネリーの算定式

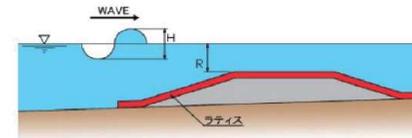
$$M = \frac{\rho_c \cdot H^3}{N^3 \cdot (\rho_c / \rho_w - 1)^3}$$

ここに

M: ブロックの安定質量 (t)  
H: 設計波高 (m)  
 $\rho_w$ : 海水の密度 (t/m<sup>3</sup>)  $\rho_w = 1.03$  (t/m<sup>3</sup>)  
 $\rho_c$ : コンクリートの密度

Ns: 安定係数 =  $3.8 \times R / H + 2.2$   
R: 天端水深  
 $\rho_c$ : コンクリートの密度

◆人工リーフを被覆する場合の安定係数 (Ns)



○藻礁ブロックA・B  
安定係数 Ns

密度 $\rho$	2.1						
	波高H(m)						
天端水深 R(m)	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
1.0	4.7	4.1	3.7	3.5	3.3	3.2	3.0
1.5	6.0	5.1	4.5	4.1	3.8	3.6	3.5
2.0	7.3	6.0	5.2	4.7	4.4	4.1	3.9
2.5	8.5	7.0	6.0	5.4	4.9	4.6	4.3
3.0	9.8	7.9	6.8	6.0	5.5	5.1	4.7
3.5	11.1	8.9	7.5	6.6	6.0	5.5	5.2
4.0	12.3	9.8	8.3	7.3	6.5	6.0	5.6
4.5	13.6	10.8	9.0	7.9	7.1	6.5	6.0

ブロックの安定質量

密度 $\rho$	2.1						
	波高H(m)						
天端水深 R(m)	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
1.0	0.1	0.2	0.6	1.2	2.3	3.8	6.0
1.5	0.0	0.1	0.3	0.7	1.4	2.5	4.1
2.0	0.0	0.1	0.2	0.5	1.0	1.7	2.9
2.5	0.0	0.0	0.1	0.3	0.7	1.3	2.1
3.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.5	0.9	1.6
3.5	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	1.2
4.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.6	1.0
4.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.8

藻礁ブロックA・Bの重量: 9.7ton > 全ての安定質量  
OK

○繊維製かごマットC  
安定係数 Ns

密度 $\rho$	2.7						
	波高H(m)						
天端水深 R(m)	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
1.5	6.0	5.1	4.5	4.1	3.8	3.6	3.5
2.0	7.3	6.0	5.2	4.7	4.4	4.1	3.9
2.5	8.5	7.0	6.0	5.4	4.9	4.6	4.3
3.0	9.8	7.9	6.8	6.0	5.5	5.1	4.7
3.5	11.1	8.9	7.5	6.6	6.0	5.5	5.2
4.0	12.3	9.8	8.3	7.3	6.5	6.0	5.6
4.5	13.6	10.8	9.0	7.9	7.1	6.5	6.0
5.0	14.9	11.7	9.8	8.5	7.6	7.0	6.4

ブロックの安定質量

密度 $\rho$	2.7						
	波高H(m)						
天端水深 R(m)	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
1.5	0.0	0.0	0.1	0.2	0.5	0.9	1.4
2.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.6	1.0
2.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7
3.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5
3.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4
4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3
4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3
5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2

繊維製かごマットCの重量: 1.4ton > 全ての安定質量  
OK

○山型藻礁ブロックD  
安定係数 Ns

密度 $\rho$	2.1						
	波高H(m)						
天端水深 R(m)	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
0.7	4.0	3.5	3.3	3.1	3.0	2.9	2.8
1.2	5.2	4.5	4.0	3.7	3.5	3.3	3.2
1.7	6.5	5.4	4.8	4.4	4.0	3.8	3.6
2.2	7.8	6.4	5.5	5.0	4.6	4.3	4.1
2.7	9.0	7.3	6.3	5.6	5.1	4.8	4.5
3.2	10.3	8.3	7.1	6.3	5.7	5.2	4.9
3.7	11.6	9.2	7.8	6.9	6.2	5.7	5.3
4.2	12.8	10.2	8.6	7.5	6.8	6.2	5.7

ブロックの安定質量

密度 $\rho$	2.1						
	波高H(m)						
天端水深 R(m)	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
0.7	0.1	0.3	0.8	1.7	3.1	5.1	7.9
1.2	0.0	0.2	0.4	1.0	1.9	3.2	5.1
1.7	0.0	0.1	0.3	0.6	1.2	2.2	3.6
2.2	0.0	0.1	0.2	0.4	0.8	1.5	2.6
2.7	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6	1.1	1.9
3.2	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.8	1.4
3.7	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.6	1.1
4.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.9

山型藻礁ブロックDの重量: 8.2ton > 全ての安定質量  
OK

## 藻場再生への取組

## 経緯

近年、我が国の沿岸海域における海藻類の減少や藻場の減少など、いわゆる「海の砂漠化」と言われる磯焼け海域が拡大している。これに伴って漁獲高の減少は、沿岸漁業の衰退を促している。

私達は、人工腐植物質と鉄含有物質から生成した栄養分のひとつ、腐植酸鉄(主にフルボ酸鉄)と人工石材に着目し、これを用いた藻場回復法を平成17年から、北は北海道、南は九州までの6海域で実施し、平成23年度の追跡調査では、6海域中4海域で藻場回復が確認され、フルボ酸鉄の有効性を確認しました。また、令和元年より伊豆大島差木地漁港内において磯焼け対策基礎実験(現在継続中)を行っています。

私達は、このフルボ酸鉄と藻礁ブロックを用いた藻場回復を中心とした水産業振興を進めて参ります。

## 実証実験の目的

私達は沿岸海域の磯焼け回復事業を通して豊穡の里海を取り戻し、海藻が繁茂し魚が集まる豊かな生態系を再生するために、地域に即した藻礁ブロックを設置し実証試験を試み、社会に貢献していきたいと考えている。

このため、今まで磯焼け回復や藻場造成の実績がある技術により、豊かな海を回復することを目的とし、実証実験で検証する。

実証実験として、藻礁ブロック(人工石ブロック、人工石、自然石、溶岩、フルボ酸溶出ユニット等)を沈設置し、藻礁ブロック内に海藻の移植とアワビの放流等を行う。

伊豆大島差木地漁港の例(設置1年3か月後の状態)



アントクメとシマオオギ



カニノテ属



シマオオギ

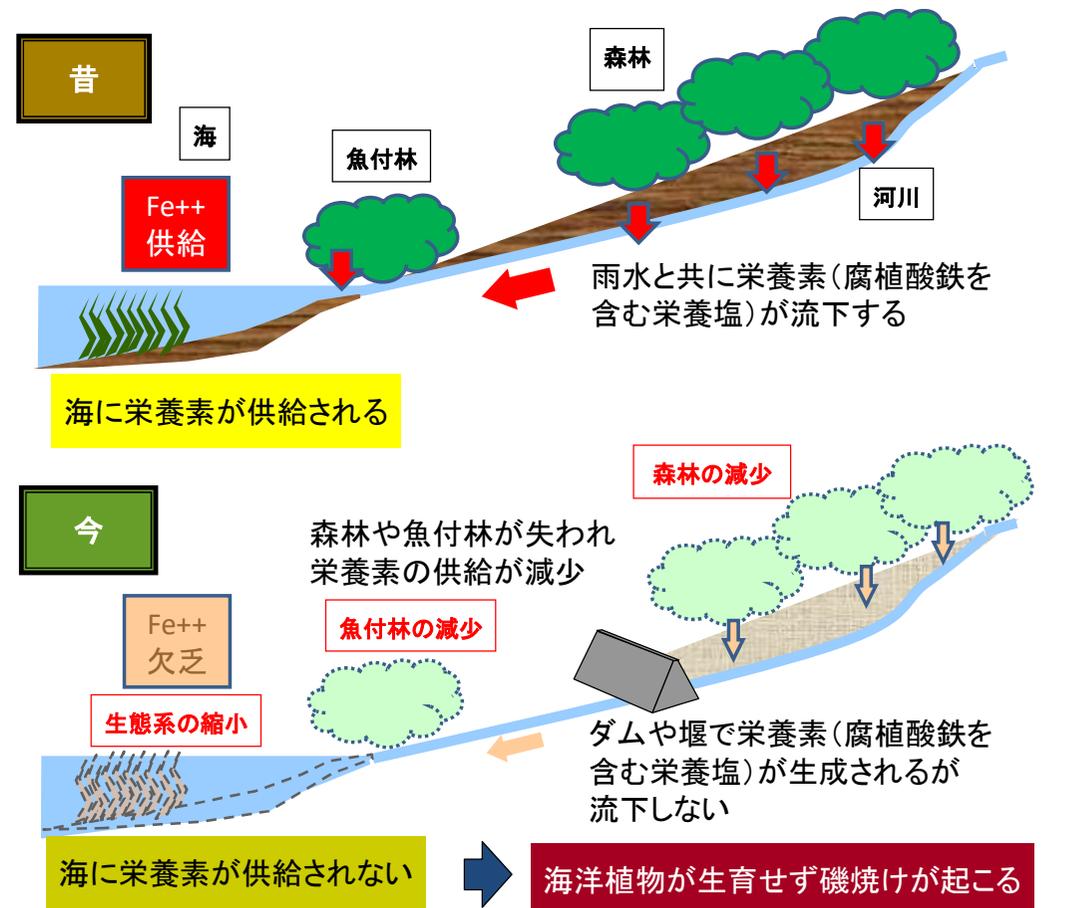


フクトコブシ

# フルボ酸鉄について

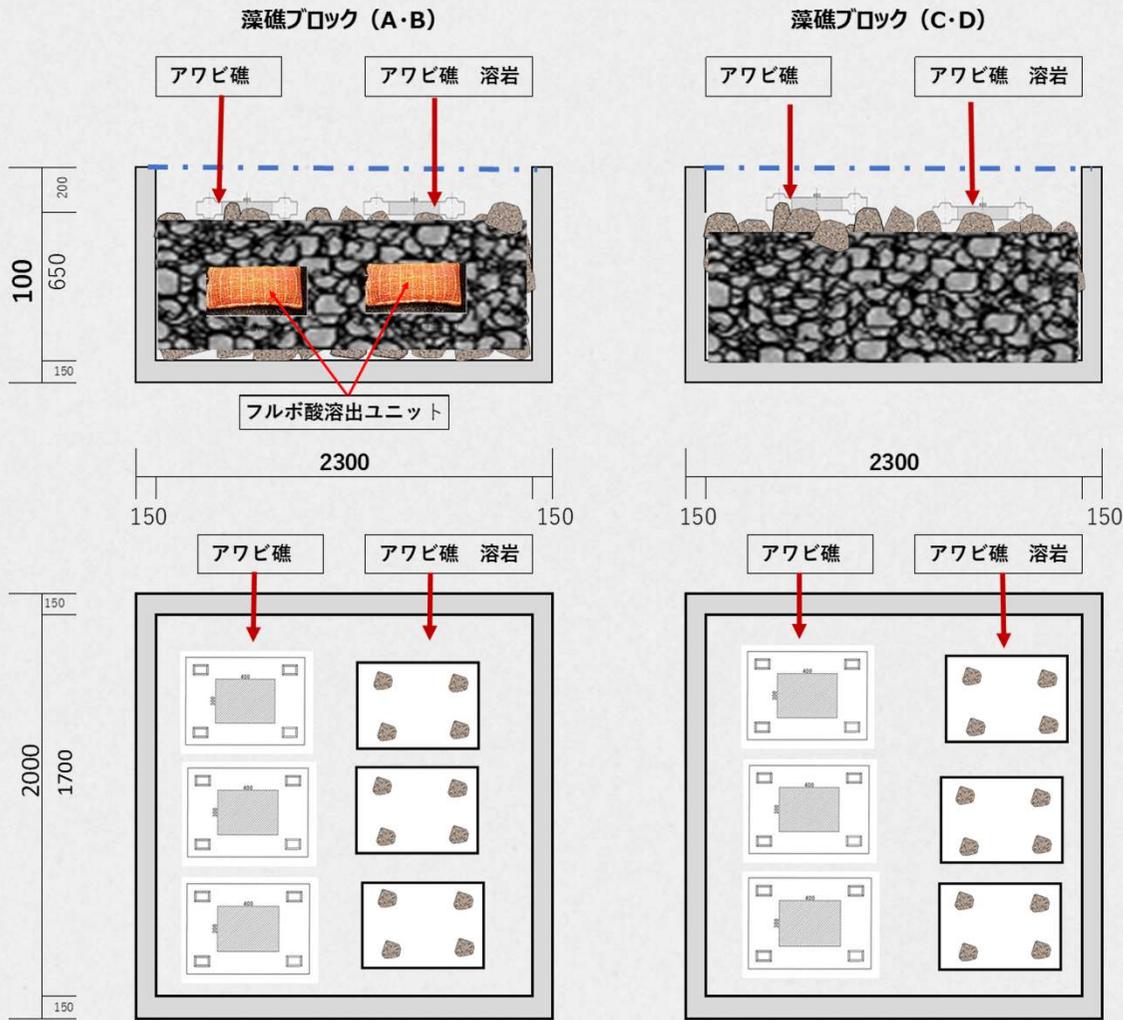
森林下の腐植土壌においては、枯葉の分解などにより生成した水溶性の有機物であるフルボ酸鉄(腐植物質)は、無酸素状態で鉄と極めて安定に結合し、海水中において、酸化を受けることなく二価の鉄イオンの形態で、海藻が取り込むことができる。

## 磯焼けの背景

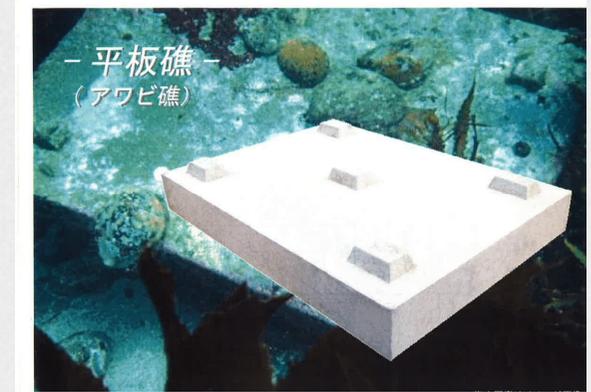




# 藻礁ブロックの構造例



## アワビ礁



側面図



輪探漁場でのアワビ生息状況および取り上げ風景

平面図

# フルボ酸溶出材例

海藻類が繁茂するのに必要な栄養は、鉄分などの微量金属類と、窒素、リン、ケイ素です。この鉄分以外の窒素、リン、ケイ素を栄養塩と呼び、藻礁では地域バイオマスを作成し、栄養塩を海水中に供給します。

地域バイオマスは腐植土に発酵など手を加え、堆肥化します。海藻類などが必要とする窒素、リン、ケイ素など栄養を含んだ地域バイオマスとなります。藻礁の中詰め材として、人工腐植物質と鉄含有物質から生成したフルボ酸鉄を溶出ユニットに詰めます。

地域バイオマス



## 藻類の移植例



アントクメの移植

ヒラクサの移植

マグサの移植

漁港周辺で採取した、海藻の付着器を移植用の基盤に接着し、取り付けを行う。

海藻移植の注意点は以下のとおりである。

- ・海藻は付着器の部分がしっかりして大きいものを選ぶ。
- ・乾燥させないように、空中に出す時間は極力短くする。
- ・接着材は海藻の器部以外につかないように配慮する。
- ・海中で固定する際は水中ボンドで付着器材のみを固定する。
- ・葉部が大きい場合は波の抵抗で脱落しないように、葉部をある程度短くする。
- ・移植は初期の脱落があるので、翌日状況を確認する。

これまでの移植経験から、海況に適合し、かつ、食害や波浪によって流出しない場合は、1ヶ月程度で付着器が伸長し、人工礁基盤に活着することが期待される

## 基礎実験結果・分析結果

# 基礎実験 (藻場造成効果)

アオサの生育に及ぼす  
フルボ酸鉄の効果

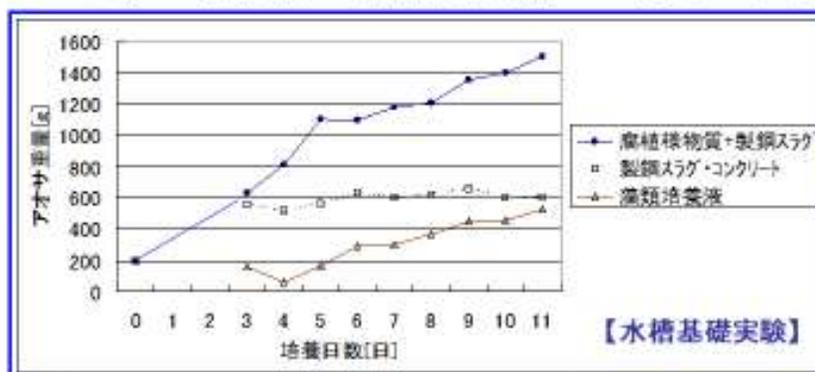


磯焼け海域における海藻類  
(コンブ等)の生育に及ぼす  
鉄鋼スラグと腐食物質の効果



【増毛・実海域小規模試験】

H12fy～ 東大(工学院大)、株エコ・グリーン他

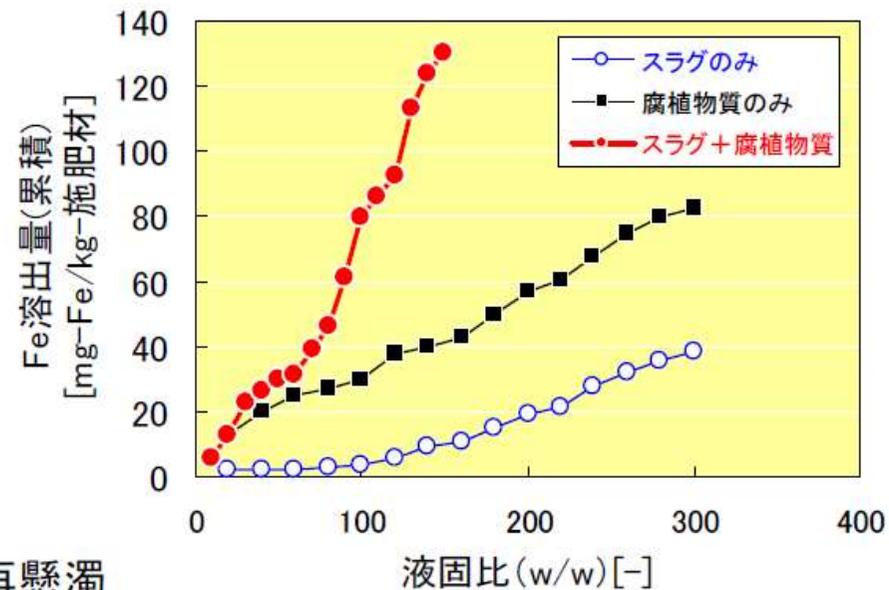


	A: 石のみ (比較材)	B: 鉄鋼スラグのみ	C: 鉄鋼スラグ + 腐植物質
アオサの生育			
周辺部			
海藻量	1	2	5

## 施肥材(製鋼スラグ+腐植物質)の抽出試験(シリアルバッチ)

抽出条件	条件① スラグ	条件② 腐植物質	条件③ 混合
スラグ	12.5g	-	12.5g
腐植物質	-	12.5g	12.5g
人工海水	250mL	250mL	250mL

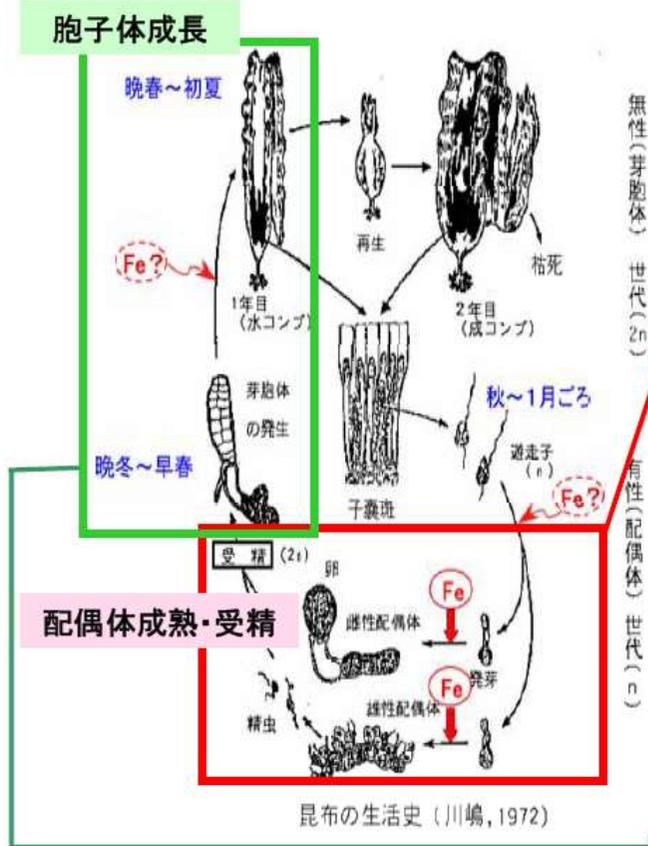
↓  
振盪抽出(24h; 室温) ←  
↓  
遠心分離  
↓ → 沈殿 → 人工海水(250mL)に再懸濁  
上澄み分析



スラグに腐植物質を添加することより、  
鉄分が溶出しやすくなる

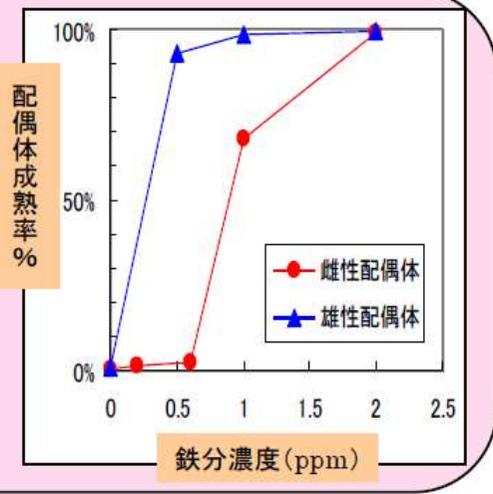
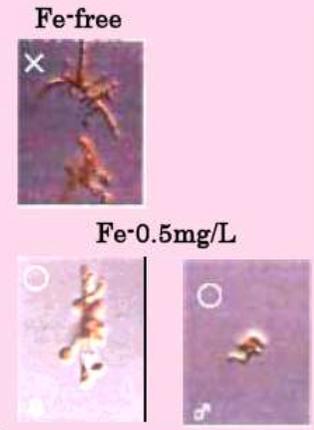
# 昆布生育効果のメカニズムの研究

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

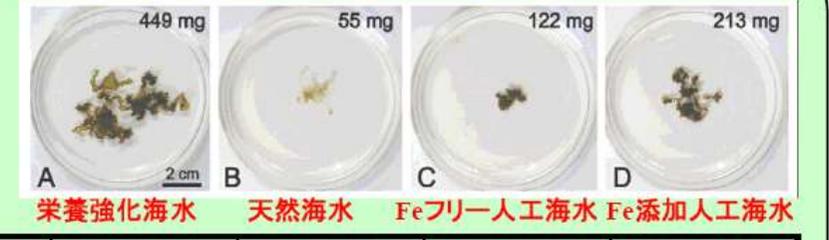


※EDTA試薬で人工キレート鉄を形成して使用

## 【配偶体培養実験】



## 【孢子体培養実験】



Fe	0.46	0.003	0.004	2.9
N	25.0	0.22	150.0	150.0
P	1.0	0.04	2.50	2.50

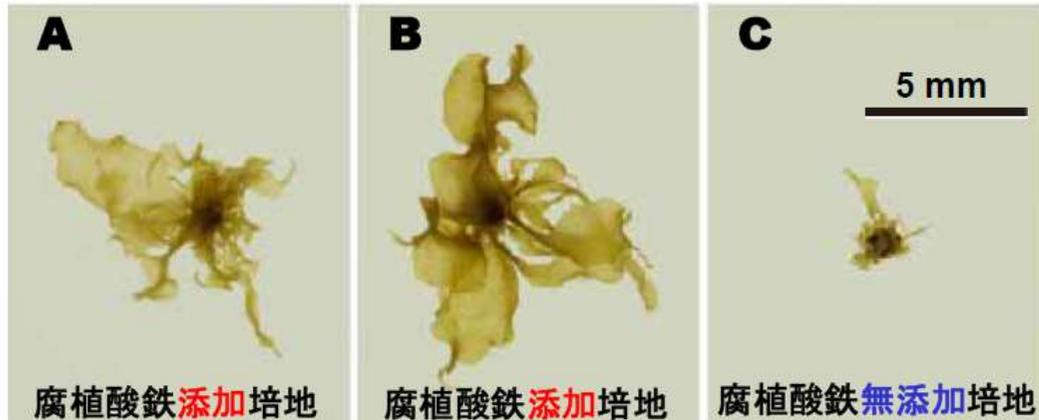
参考濃度(ppm)

# 昆布生育効果のメカニズムの研究

## 孢子体の培養試験

※腐植酸鉄を製鋼スラグ+腐植土より抽出して添加

無菌条件  
10°C長日条件  
3週間培養



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

\*計算値

- N,Pが充分存在しても、Fe欠乏で孢子体は成長できない。
- 5ppb程度のFeが存在すれば、孢子体は成長できる。

# 昆布生育効果のメカニズムの研究

## 【実験条件】

期間: H18年11月～H19年3月

(150日間)

通水量: 75ℓ分/水槽

(のべ100万m<sup>3</sup>)

生簀容量: 約2トン

(1.7m×1.7m×h0.8m)

施肥材量: 各5kg

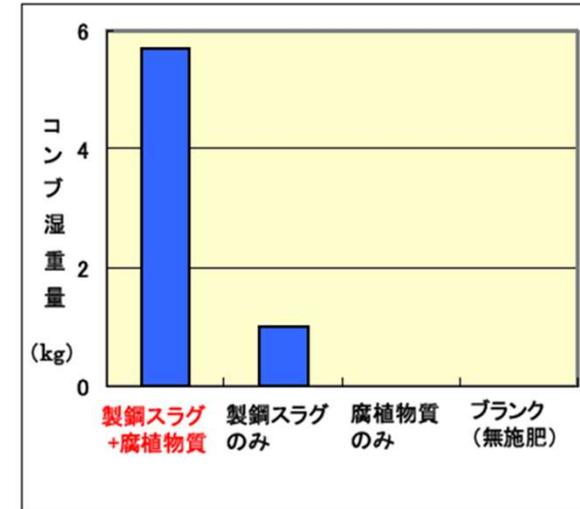
## 【実験場所】



## 【実験開始時】



## 【実験結果(グラフ)】



## 【実験結果(写真)】



No.1 製鋼スラグ+腐植物質



No.2 製鋼スラグのみ

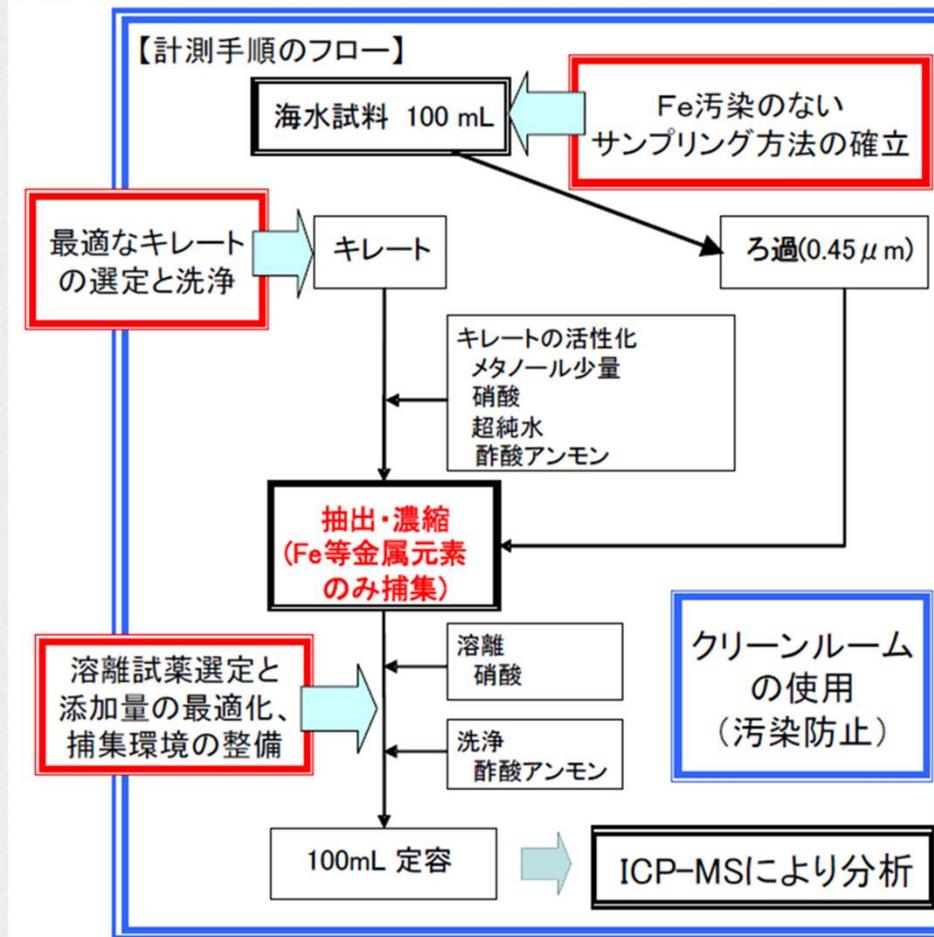


No.3 腐植物質のみ



No.4 ブランク(無施肥)

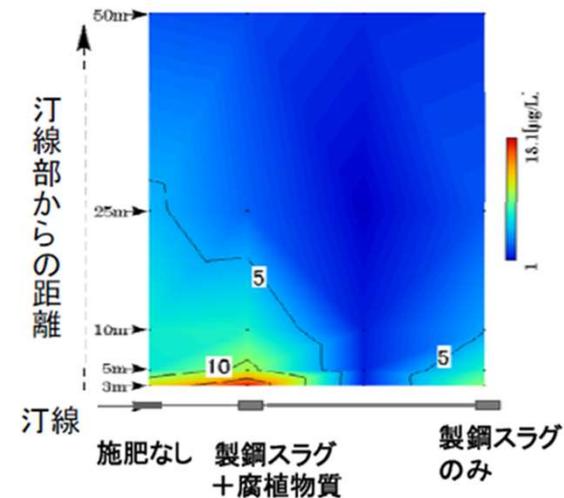
# 微量鉄計測技術の開発



「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 ( $\mu\text{g/L}$ )オーダー)

【鉄分濃度計測例(増毛町)】



# 分析結果

## 人工腐植物質分析結果

株式会社 エコ・グリーン 殿

【件名】肥料分析  
—熊本緑研 腐植物質(2ヶ月目)—

受付No.S1530401  
報告書No.H200363  
平成20年7月18日

計量証明事業登録—群馬県—第17号  
本社 群馬県前橋市本橋本町1-10-5  
電話 03(3241)4566代  
研究所 群馬県藤岡市岡之郷戸崎559-3  
電話 0274(42)8129代

土壌研究室 中根 秀二

分析担当者 小畑 勝

### 分析試験報告書

平成20年7月8日 ご依頼を受けました試料の分析試験結果を下記のとおり報告致します。

#### 記

【試料】	肥料 2点(依頼者持ち込み)
【分析試験結果及び方法】	別表のとおり
【備考】	記載事項特になし

#### 分析試験結果

分析項目	単位	試料名・測定値		分析方法
		No.1	No.2(魚箱)	
炭素全量 (腐植)	C %*	35.18	39.07	乾式燃焼法「堆肥等有機物分析法」
		(60.65)	(67.36)	
窒素全量	N %*	0.62	2.05	腐植酸・フルボン酸抽出分画—ニクロム酸比色法
C/N		57	19	
腐植酸	%*	1.85	2.82	腐植酸・フルボン酸抽出分画—ニクロム酸比色法
フルボン酸	%*	3.00	6.38	
交換性カリウム	K <sub>2</sub> O mg/kg*	2350	5120	酢酸アンモニウム液抽出—フレーム原子吸光法「土壤標準分析・測定法」
	(cmol <sub>e</sub> /kg*)	(5.0)	(10.9)	
可給態リン酸	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/kg*	868	1020	トルオグ法「土壤環境分析法」

#### 【特記事項】

(1) 単位\*印は乾物あたり。

## 人工腐植物質の溶出試験結果

No. E 81091  
平成20年11月19日

### 計量証明書



株式会社 立山エンジニアリング 殿

光復会建設事務所 群馬県前橋市  
事務所 群馬県前橋市本橋本町1-10-5

#### 昭和環境分析センター 監

群馬県前橋市岡之郷戸崎559-3  
電話 0276(76)5800 FAX 0276(73)9499

ご依頼の試料について分析した結果下記のとおりであったことを証明します。

試料名	熊本緑研
採取場所	エコグリーン (人工腐植物質)
採取年月日	
採取者名	
採取区分	持込試料

分析項目	単位	分析結果	定量下限	基準	分析方法
アルキル金属化合物	mg/g	不検出	0.0005	不検出	昭和48年度告示第13号
水銀又はその化合物	mg/g	< 0.0025	0.0005	0.0005	昭和48年度告示第13号
カドミウム又はその化合物	mg/g	< 0.01	0.01	0.1	JIS K 0102 65.3
鉛又はその化合物	mg/g	< 0.01	0.01	0.1	JIS K 0102 64.2
有機砒化合物	mg/g	< 0.1	0.1	1	昭和48年度告示第13号
六価クロム化合物	mg/g	< 0.05	0.05	1.5	JIS K 0102 65.2.3
硫酸又はその化合物	mg/g	< 0.01	0.01	0.1	JIS K 0102 61.2
シアン化合物	mg/g	< 0.1	0.1	1	JIS K 0102 68.3
PCB	mg/g	< 0.0005	0.0005	0.0005	昭和48年度告示第13号
トリスロロエチレン	mg/g	< 0.001	0.001	0.3	JIS K 0125 5.2
テトラクロロエチレン	mg/g	< 0.0005	0.0005	0.1	JIS K 0125 5.2
ジクロロメタン	mg/g	< 0.002	0.002	0.1	JIS K 0125 5.2
揮発性炭素	mg/g	< 0.0002	0.0002	0.002	JIS K 0125 5.2
1,2-ジクロロエタン	mg/g	< 0.004	0.004	0.44	JIS K 0125 5.2
1,1-ジクロロエチレン	mg/g	< 0.002	0.002	0.1	JIS K 0125 5.2
シス-1,2-ジクロロエチレン	mg/g	< 0.004	0.004	0.4	JIS K 0125 5.2
1,1,1-トリクロロエタン	mg/g	< 0.0005	0.0005	0.1	JIS K 0125 5.2
1,1,2-トリクロロエタン	mg/g	< 0.0005	0.0005	0.06	JIS K 0125 5.2
1,1,3-ジクロロプロペン	mg/g	< 0.002	0.002	0.02	JIS K 0125 5.2
チオウラム	mg/g	< 0.026	0.000	0.06	昭和48年度告示第13号
シヤンゲン	mg/g	< 0.003	0.003	0.03	昭和48年度告示第13号
チオベンカルブ	mg/g	< 0.02	0.02	0.1	昭和48年度告示第13号
ベンゼン	mg/g	< 0.001	0.001	0.1	JIS K 0125 5.2
セレン又はその化合物	mg/g	< 0.01	0.01	0.1	JIS K 0102 67.2

- ・ 昭和48年度告示第13号による溶出試験
- ・ < 印は定量下限未満を示します。

検体区分: D158

環境計量士	市川 秀樹	分析担当	小林 扶	副	新井
-------	-------	------	------	---	----

