

フィージビリティ・スタディ事業
実証試験④ リチャージ特性評価試験

5.1 リチャージウエルの目詰まり
物質の推定と対策（案）

2014年6月13日

鹿島建設株式会社

■ 目詰まり物質の推定

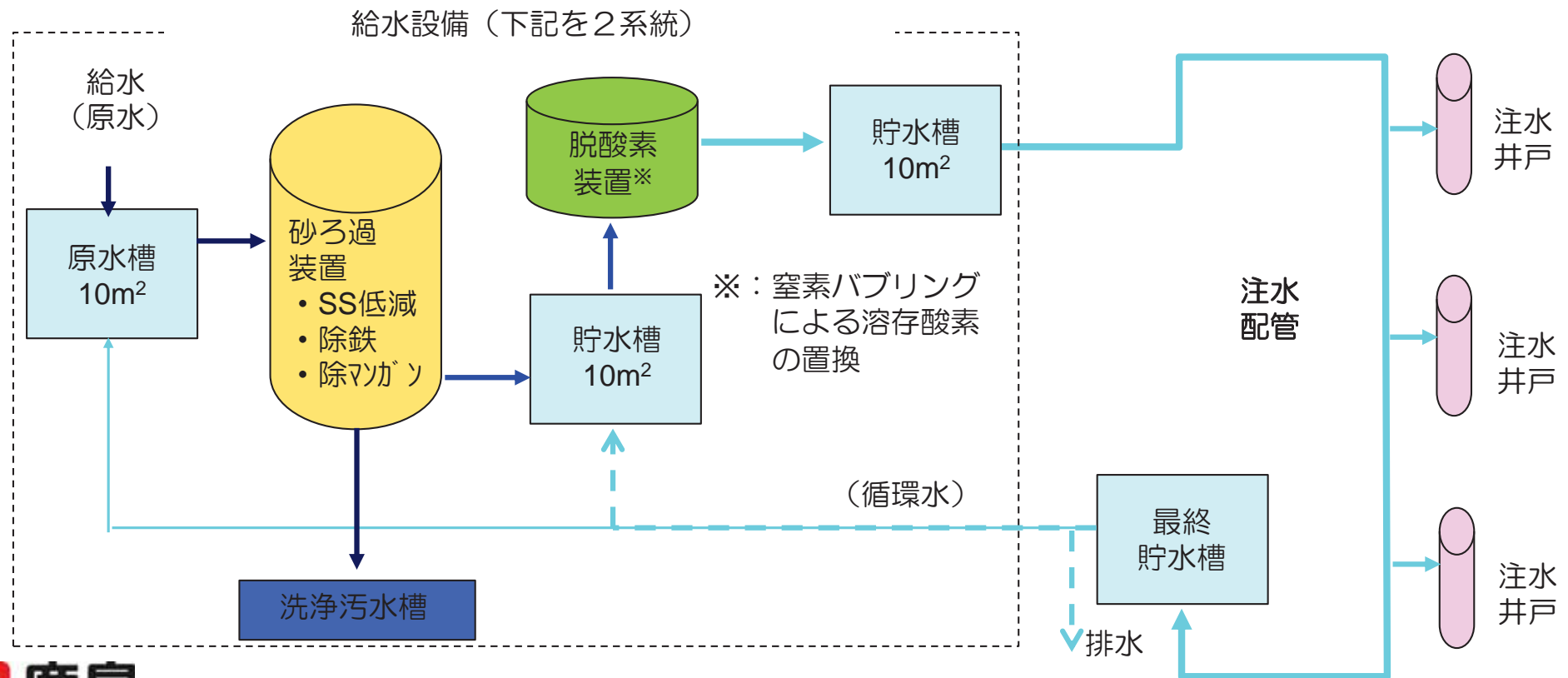
リチャージウェルの目詰まり物質は、主に次の①～③で形成されるフロックと推定。

- ① 鉄細菌 (*Gallionella ferruginea*)
- ② 炭酸カルシウム
- ③ 鉱物粒子

■ 目詰まり対策

- 計画している**水処理設備**と定期的な**井戸の逆洗浄**で対応可能。

■ 水処理設備 (第9回 陸側遮水壁タスクフォース 資料2-3から再掲)



1. 実施内容

- 目詰まりの原因物質について、SEM-EDX分析を実施し、目詰まり物質を推定した。

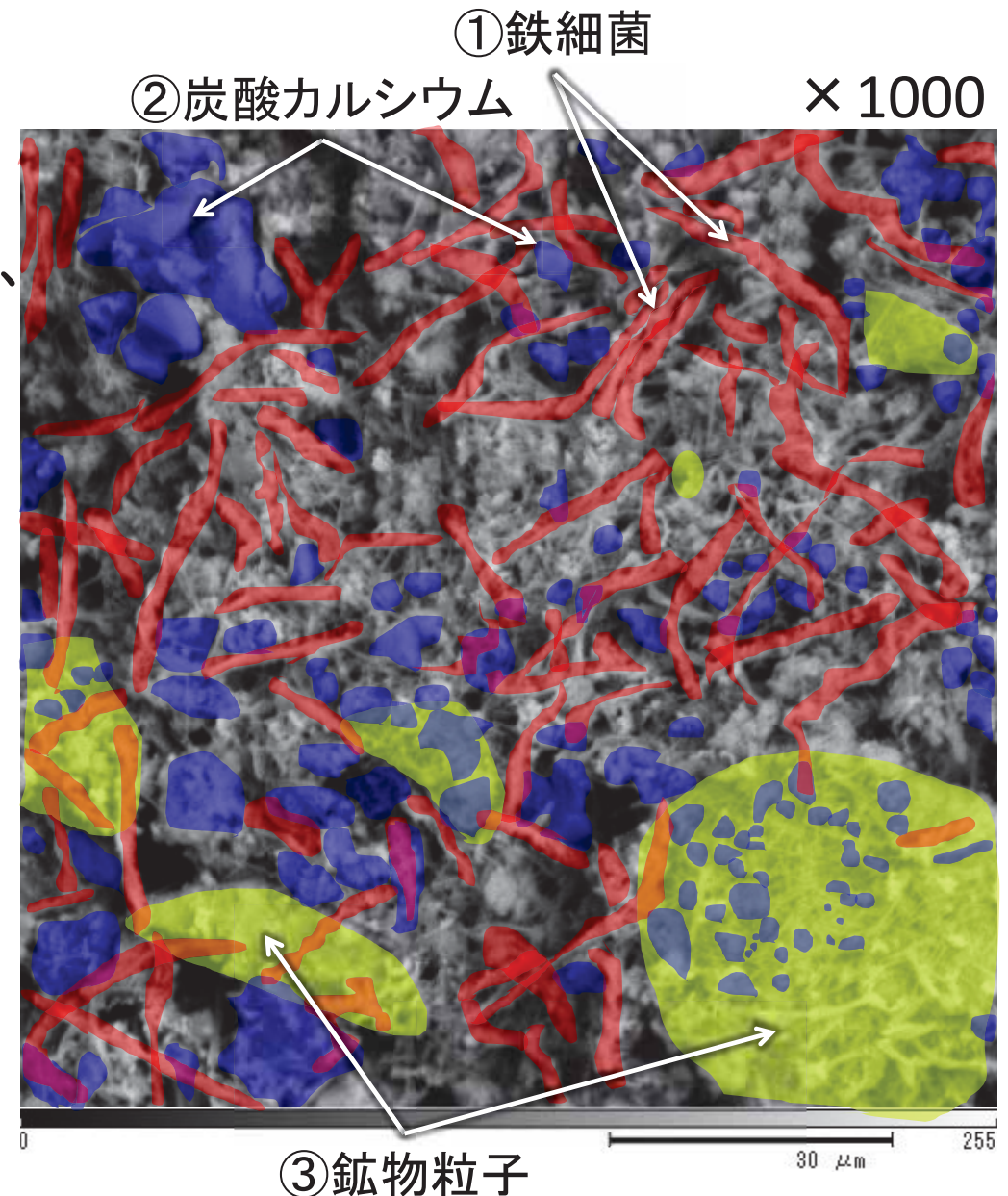
2. 検討結果

- リチャージウェルの目詰まり物質は、主に
 - ① 鉄細菌 (*Gallionella ferruginea*)
ガリオネラ フェルギネア
 - ② 炭酸カルシウム
 - ③ 鉱物粒子
 から形成されるフロックであると推定された（右SEM画像参照）。
- それ以外の部分は鉄と酸素の割合が多く、酸化鉄が存在していると推定された。

3. 対策案

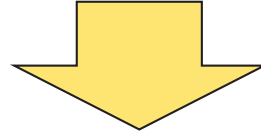
- 注水の砂ろ過、除鉄、脱酸素処理
- 定期的な井戸の逆洗浄

SEM画像（一部着色）



【実証試験④3孔注水試験での目詰まり現象】

- ・長期的な注水に伴い、注水性能が低下

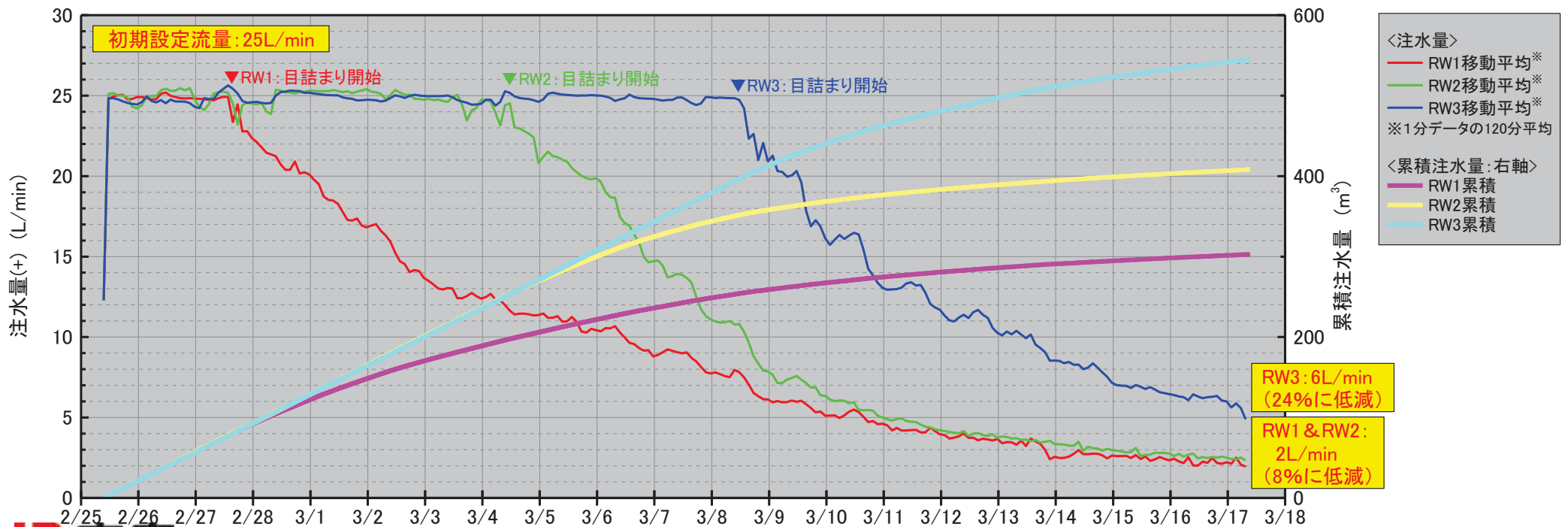


【本検討の目的】

- ・リチャージウェルの目詰まり物質を推定し、リチャージウェルの目詰まり対策に反映

実証試験④における3孔注水試験時の注水量の経時変化図

(第9回 陸側遮水壁タスクフォース 参考1から再掲)



1. 分析サンプル

- リチャージ井の撤収時に、目詰まりの原因と考えられる物質を逆洗用ポンプから回収

2. 分析方法

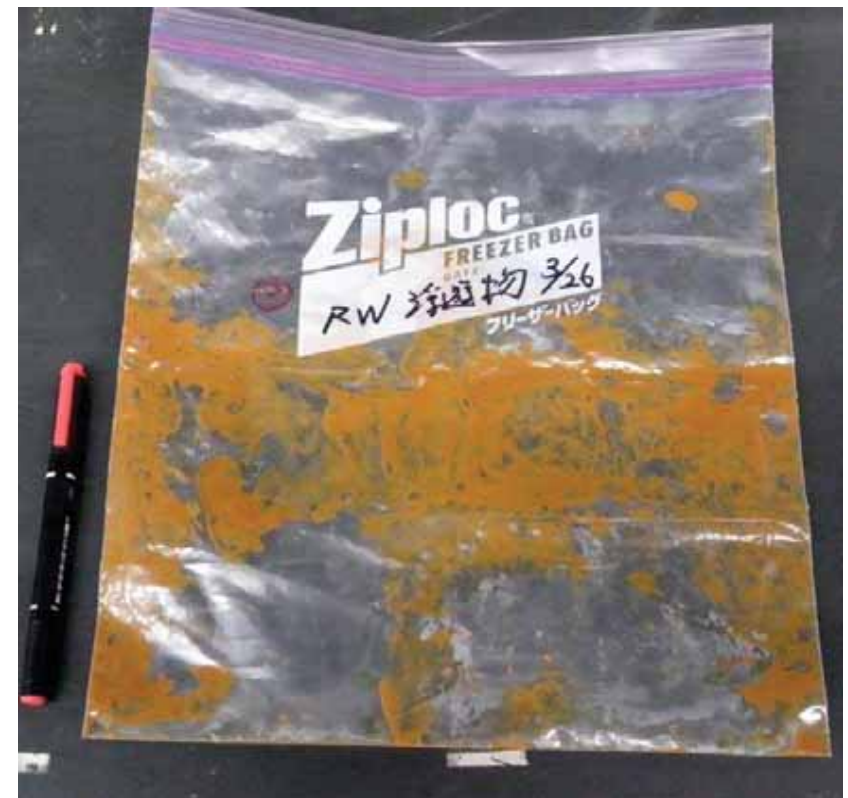
- 回収した物質についてSEM-EDX分析を実施し、目詰まり物質を特定

【SEM-EDX分析】

- ① SEM(走査型電子顕微鏡)により、100~2500倍で像観察を行う。
- ② EDX（エネルギー分散型X線）分析により、視野内に存在する元素を定性し、大まかな存在量を定量する。
- ③ EDXの結果を面的な分布として表示する（マッピング分析）。

⇒複数の元素のマッピング分析結果を重ね合わせることで、対象箇所の化合物の推定を行う。

目詰まり物質のサンプル（RW2）



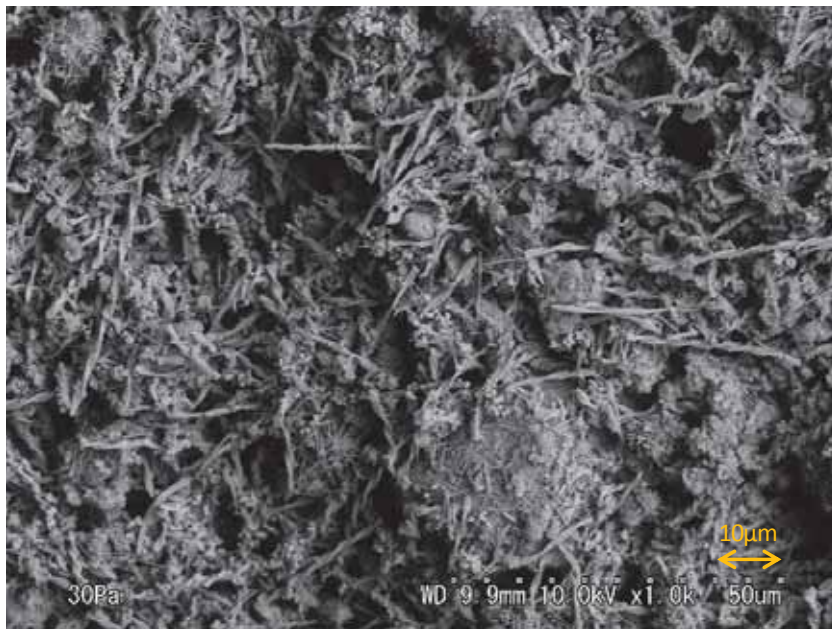
SEM(走査型電子顕微鏡)による像観察 (100~2500倍)



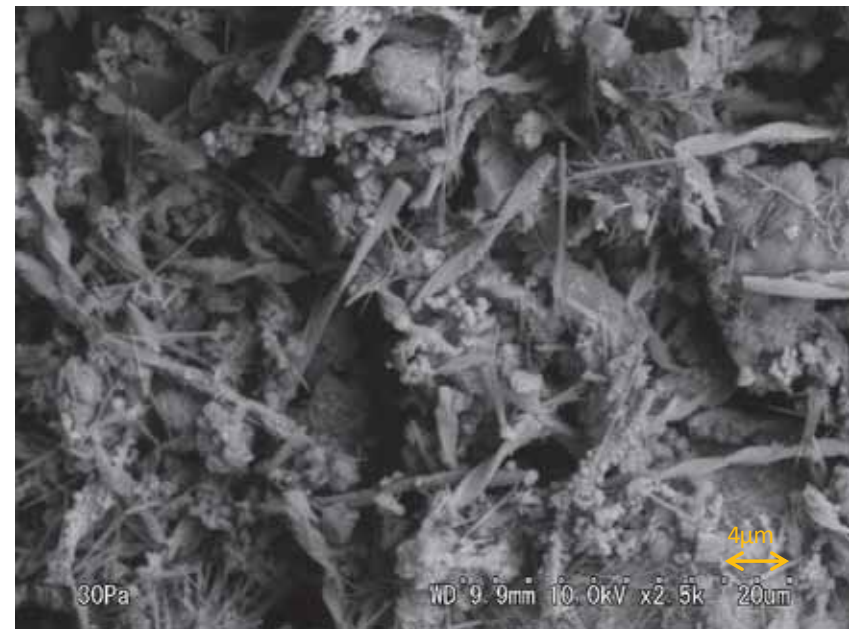
(100倍)



(500倍)



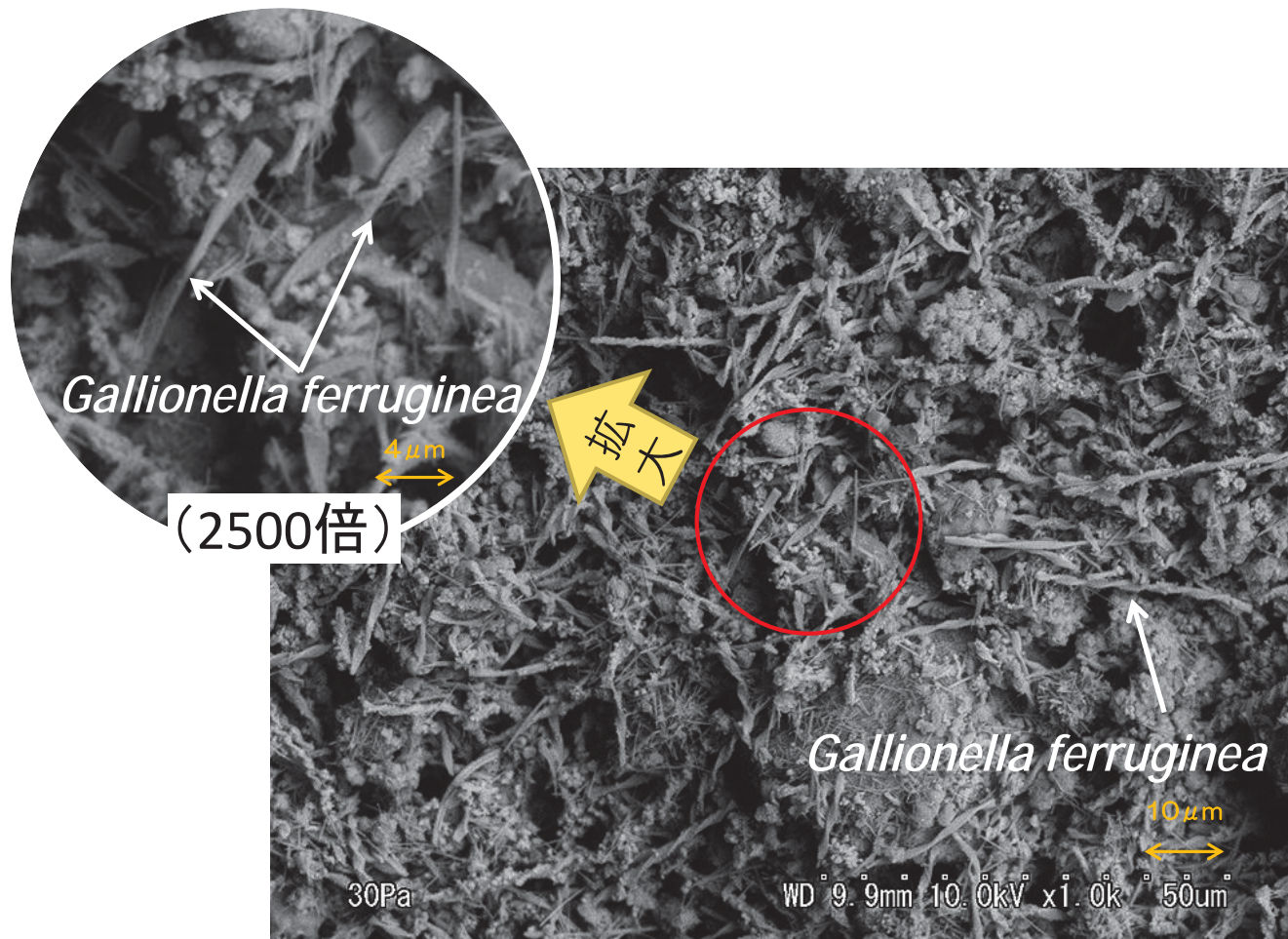
(1000倍)



(2500倍)

ガリオネラ フェルギネア

- SEM画像より、**鉄細菌** *Gallionella ferruginea* に特徴的な「ねじれたリボンの形状」が多数確認された。
- EDX分析結果より、元素として**酸素**、**カルシウム**、**鉄**が多い。



SEM画像(1000倍)

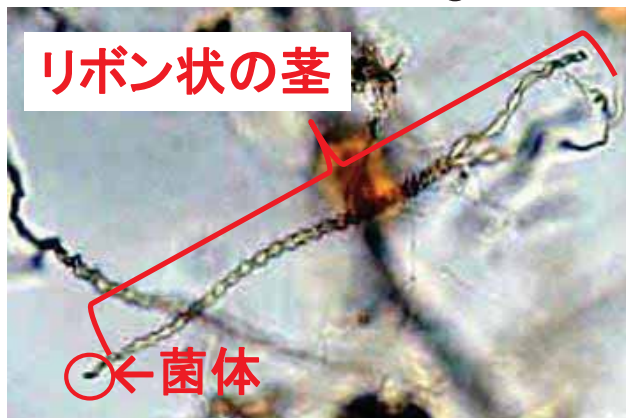
EDX半定量分析結果

元素	重量 (%)
C	7.4
O	46.9
Na	0.7
Al	1.1
Si	7.3
S	1.6
K	0.2
Ca	18.7
Fe	16.2

鉄細菌と *Gallionella ferruginea* の特徴

- 鉄細菌は非病原性の環境微生物
- 鉄細菌の増殖により、**赤水の発生**、排水管や浄水処理ろ過槽の閉塞などが生じる事例が知られている
- 鉄分の多い地下水中に広く生息し、**酸素が存在する条件下で二価鉄(Fe²⁺)を三価鉄(Fe³⁺)に酸化して増殖する**
- 増殖とともに生じる非結晶の酸化鉄 (Fe₂O₃) を、菌体外の鞘や茎と呼ばれる糸状の構造物に蓄積する鉄細菌が存在
- 糸状の構造物は、菌に特有の形状をしており、顕微鏡下で判別可能

ガリオネラ フェルギネア *Gallionella ferruginea*

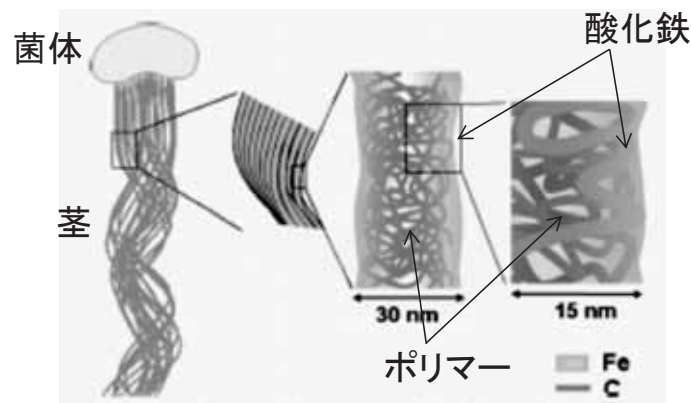


ねじれたリボン状の茎の先端に鉄細菌の菌体が存在する。茎は酸化鉄と菌体外ポリマーで形成されている。

【出典】 Slonczewski, J. L. and Foster, J. W. :
Microbiology - An Evolving Science - , W. W.
Norton & Company, Inc. , 2013, 1408pp.

Gallionella ferruginea の特徴

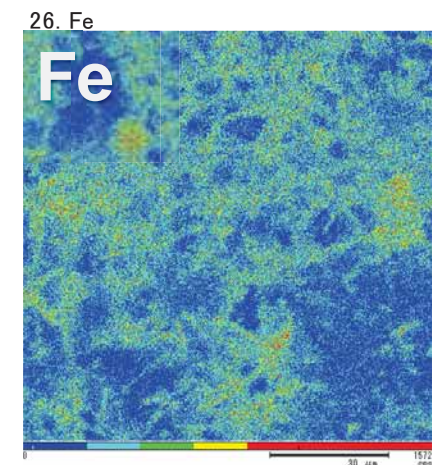
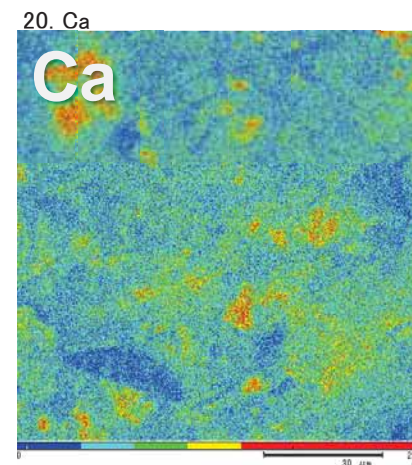
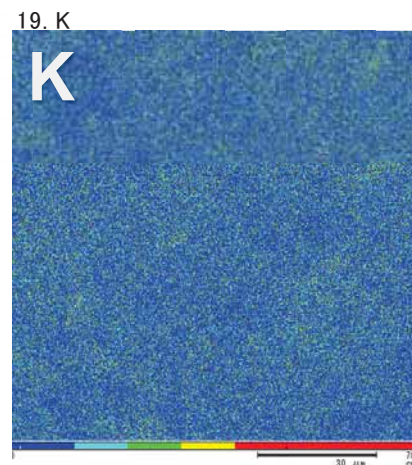
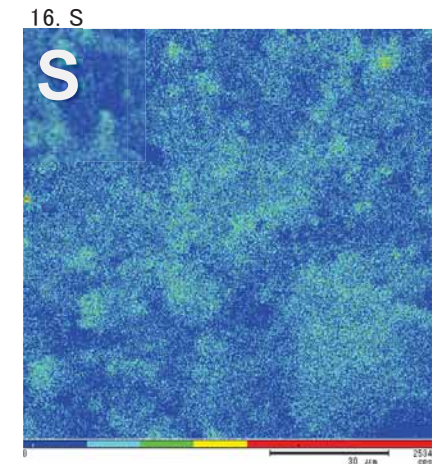
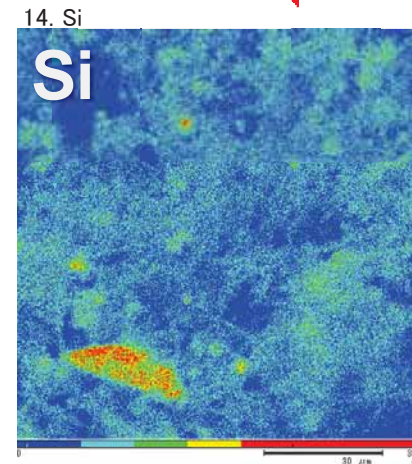
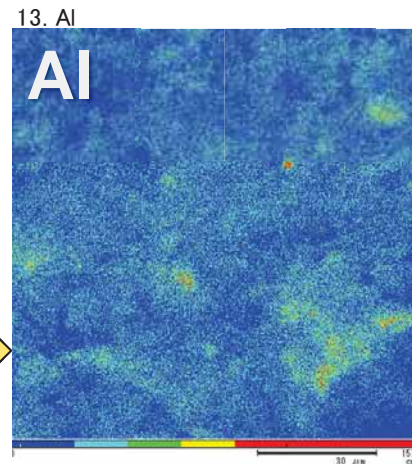
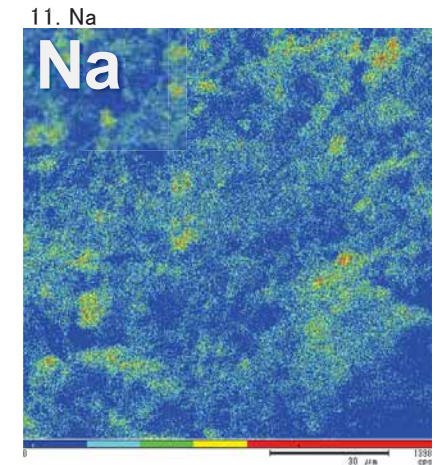
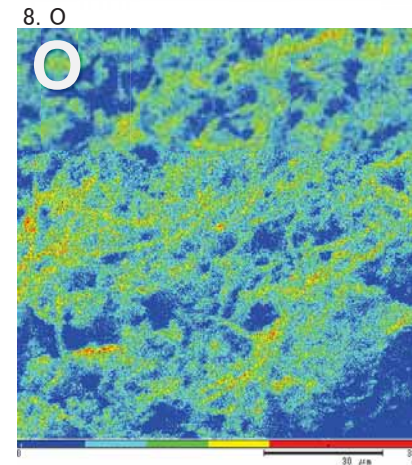
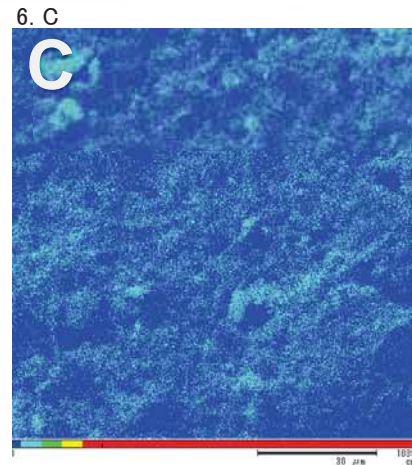
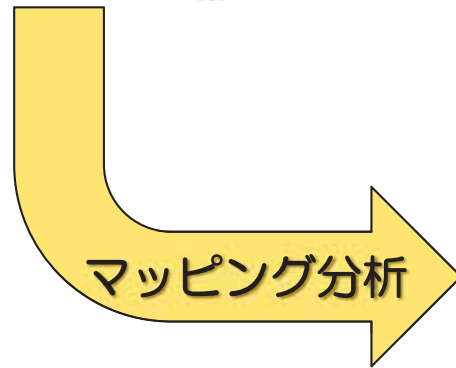
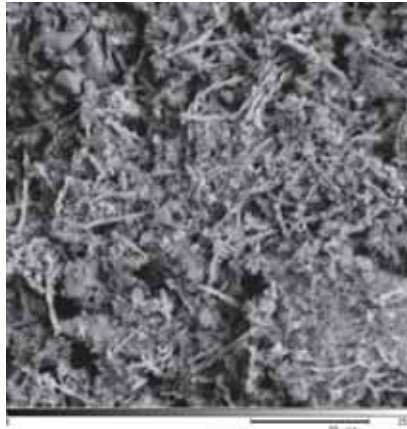
- 茎の部分は**ねじれたリボン状**
- 茎の表面は、**酸化鉄**を主体とした無機物が沈着して全体を覆っている
- 酸化鉄を主体とした無機物は**ケイ素**も含む
- 茎の内部には、菌体外ポリマー（有機物）が存在し、表面にわずかに露出した部分で**炭素**が検出される



【出典】 Suzuki T. et al. : Nanometer-Scale Visualization and Structural Analysis of the Inorganic/Organic Hybrid Structure of *Gallionella ferruginea* Twisted Stalks, Applied Environmental Microbiology, Vol.77, No.9, pp.2877-2881, 2011.

SEM画像

× 1000

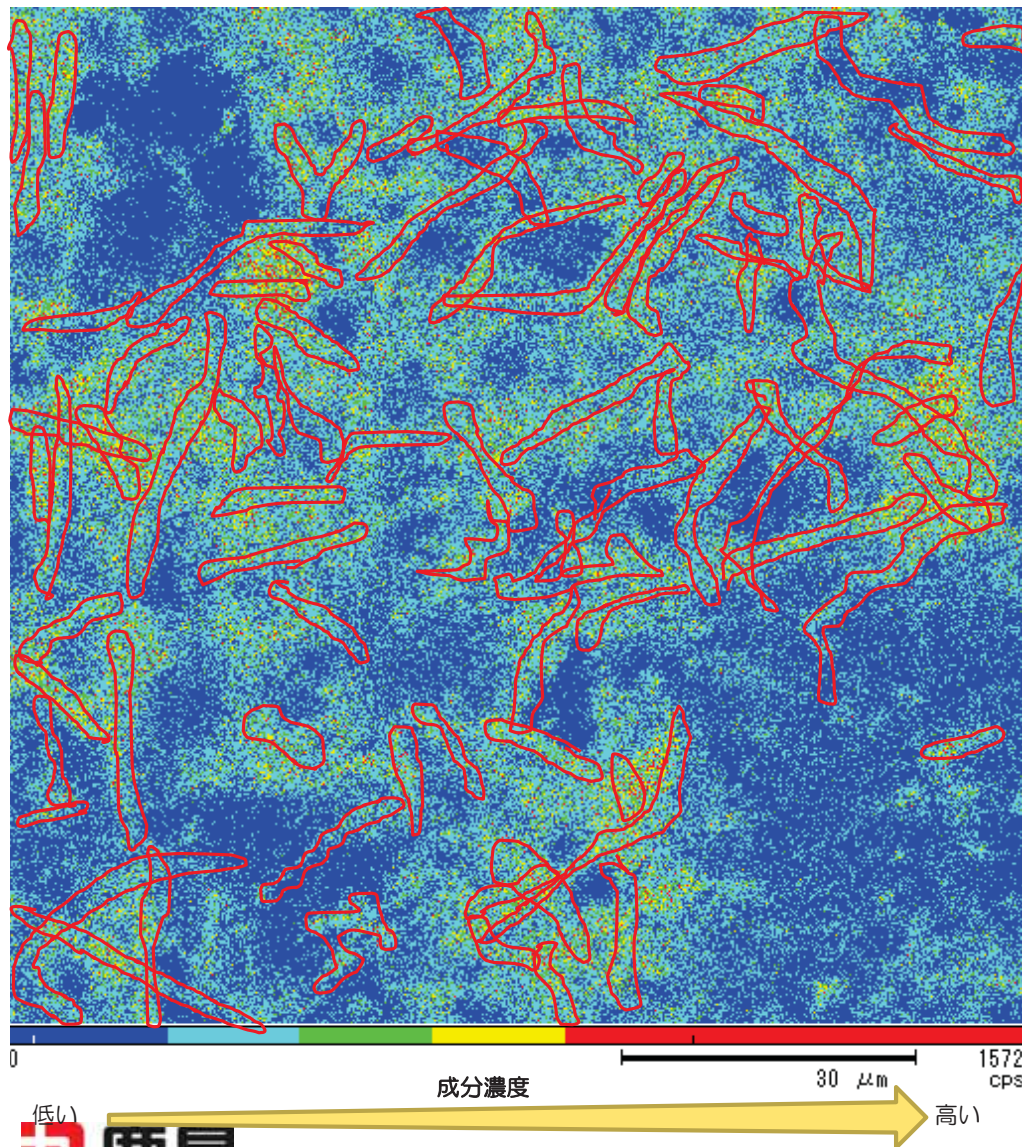


マッピング分析結果① 鉄細菌 *Gallionella ferruginea*

- SEM画像で「ねじれたリボン状」の形状を確認でき、鉄が多く含まれている部分と一致したものを *Gallionella ferruginea* であると推定した。

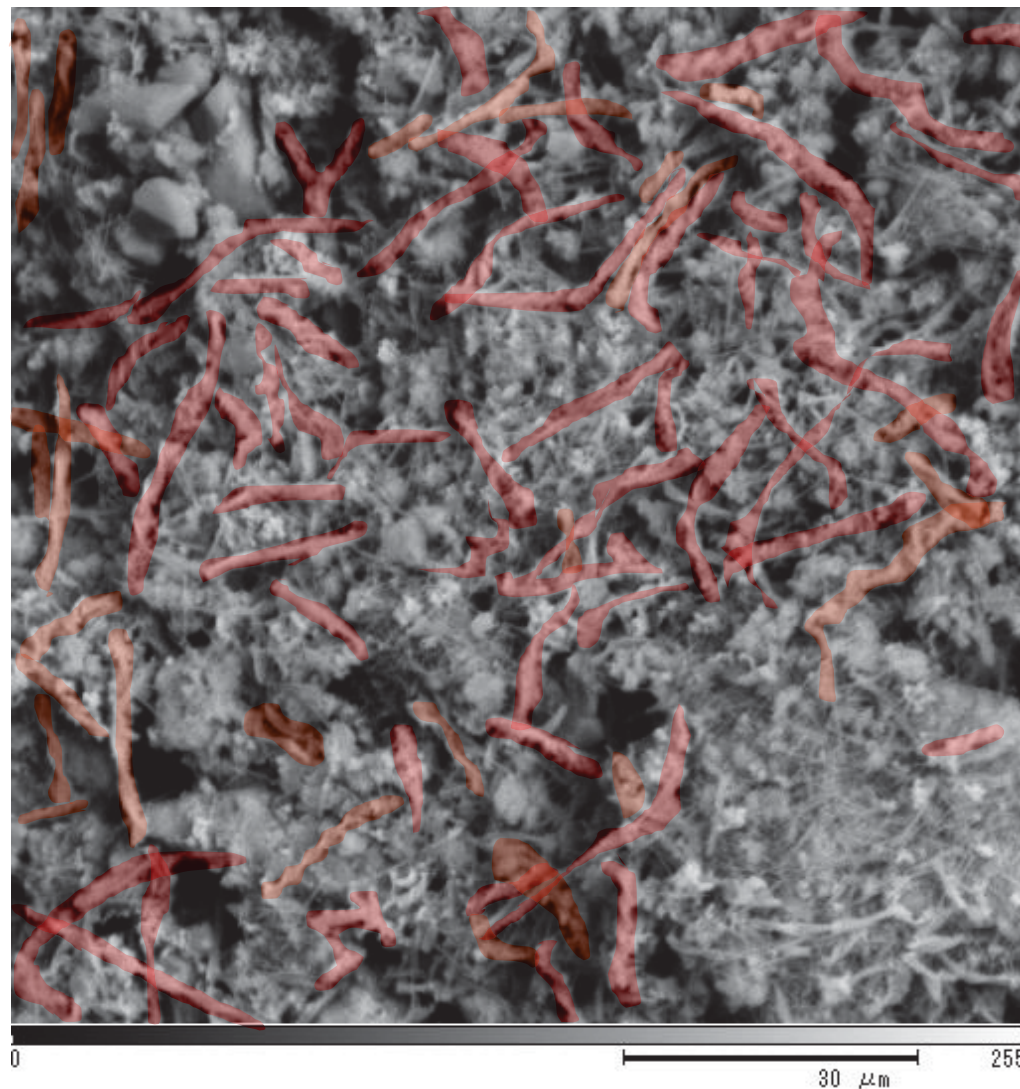
Fe: 鉄

× 1000



SEM画像

× 1000

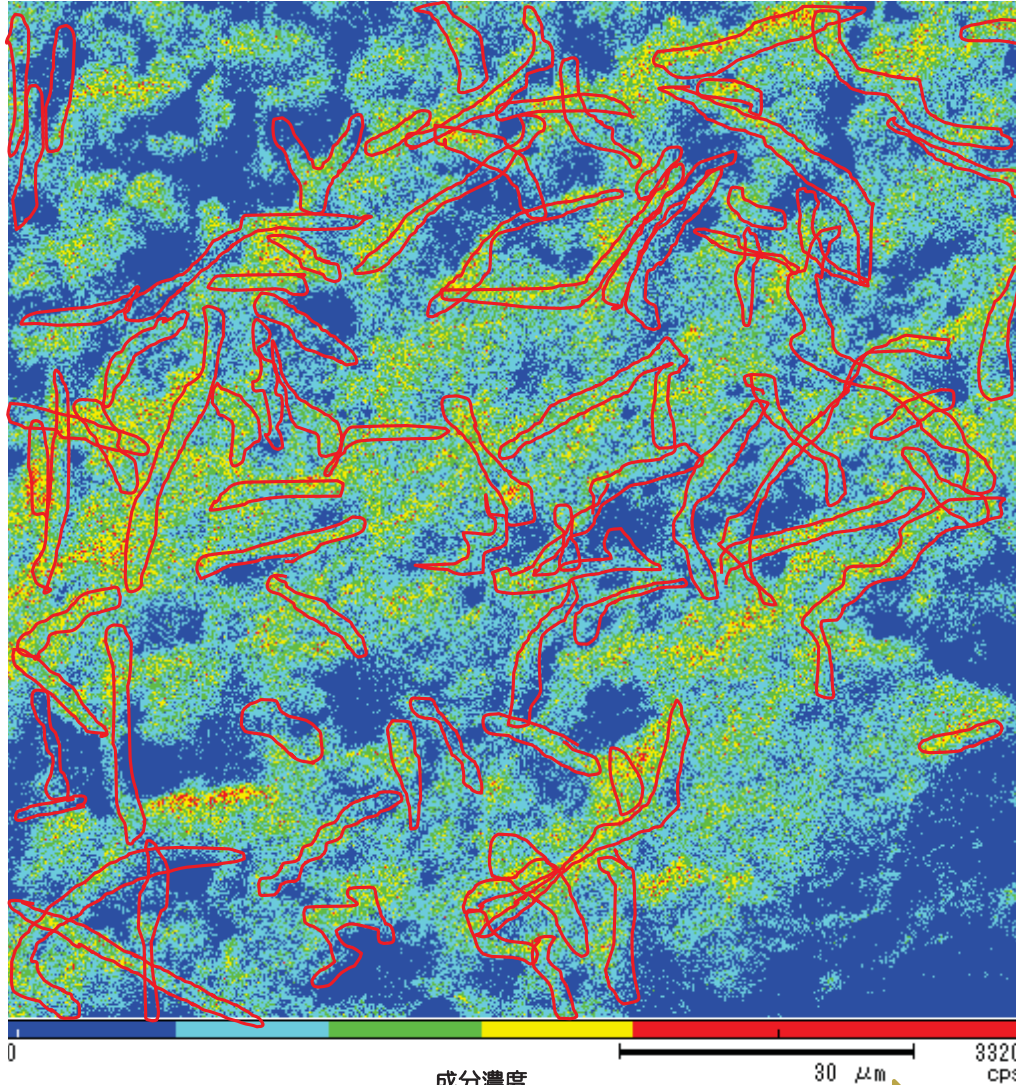


マッピング分析結果① 鉄細菌 *Gallionella ferruginea*

- 形状と鉄の存在量から *Gallionella ferruginea* と推定した領域は酸素が多く含まれる。また、割合は少ないものの炭素、ケイ素も含まれている。

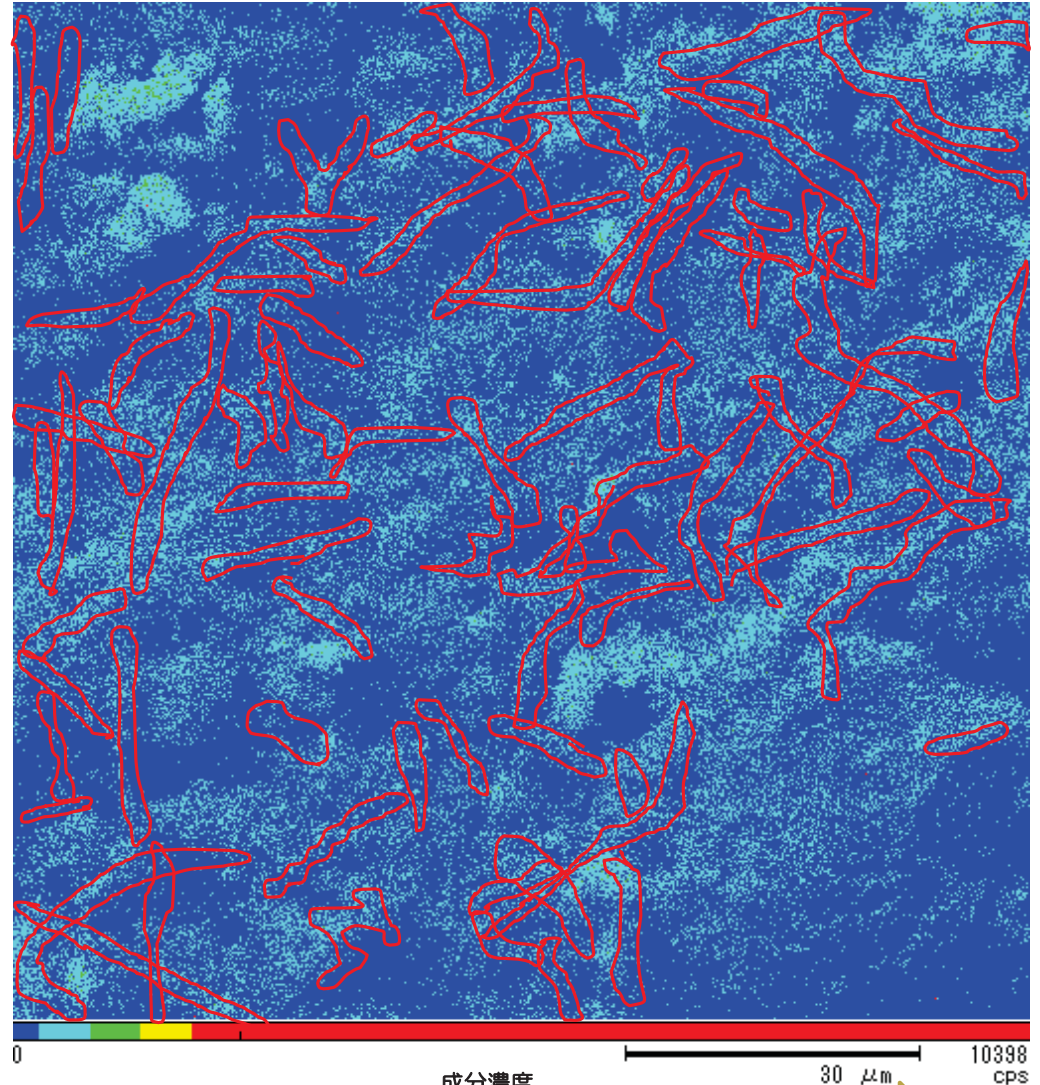
O: 酸素

× 1000



C: 炭素

× 1000

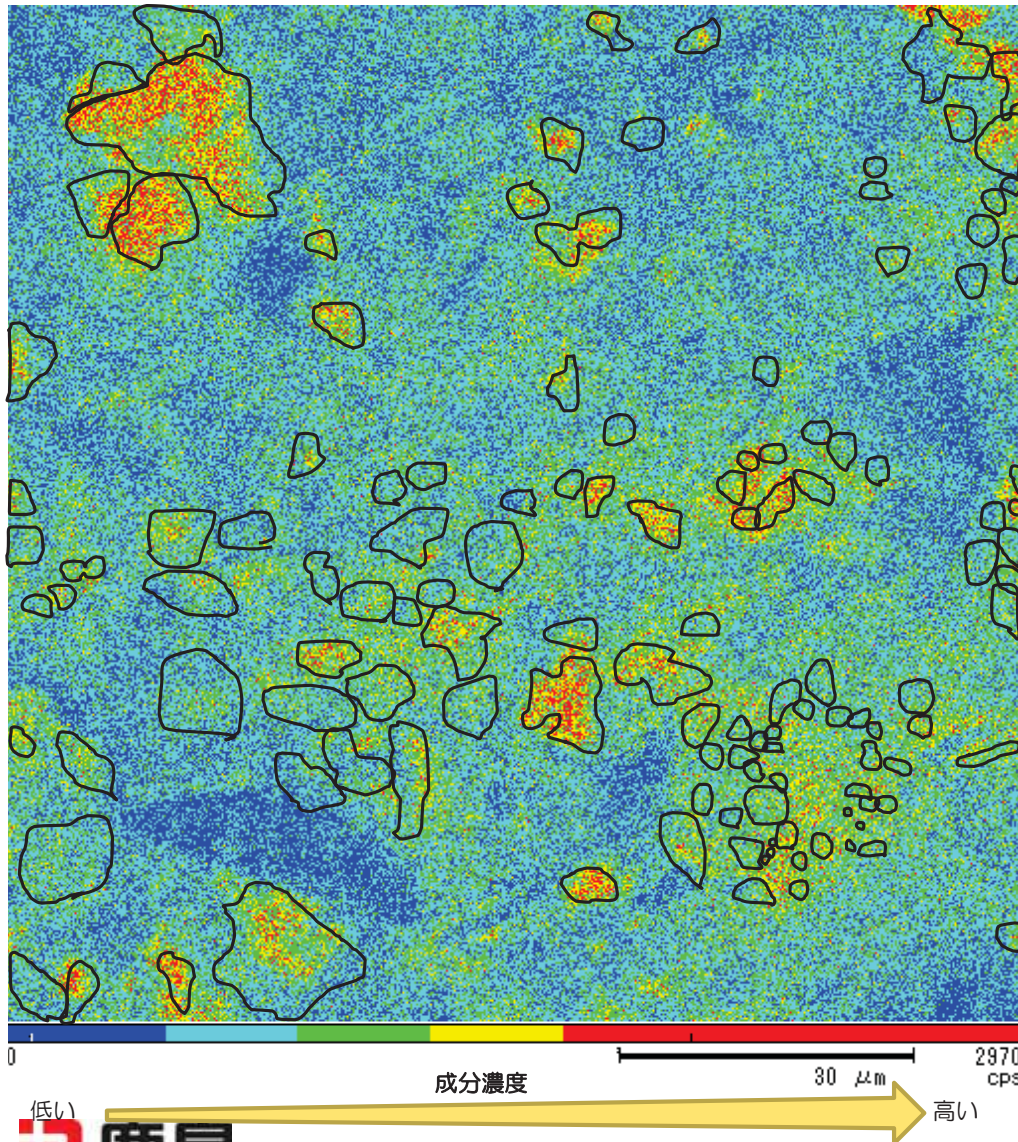


マッピング分析結果② 炭酸カルシウム

- SEM画像で粒状を確認でき、カルシウム、炭素、酸素が多く含まれている部分と一致したものを炭酸カルシウムの沈殿であると推定した。

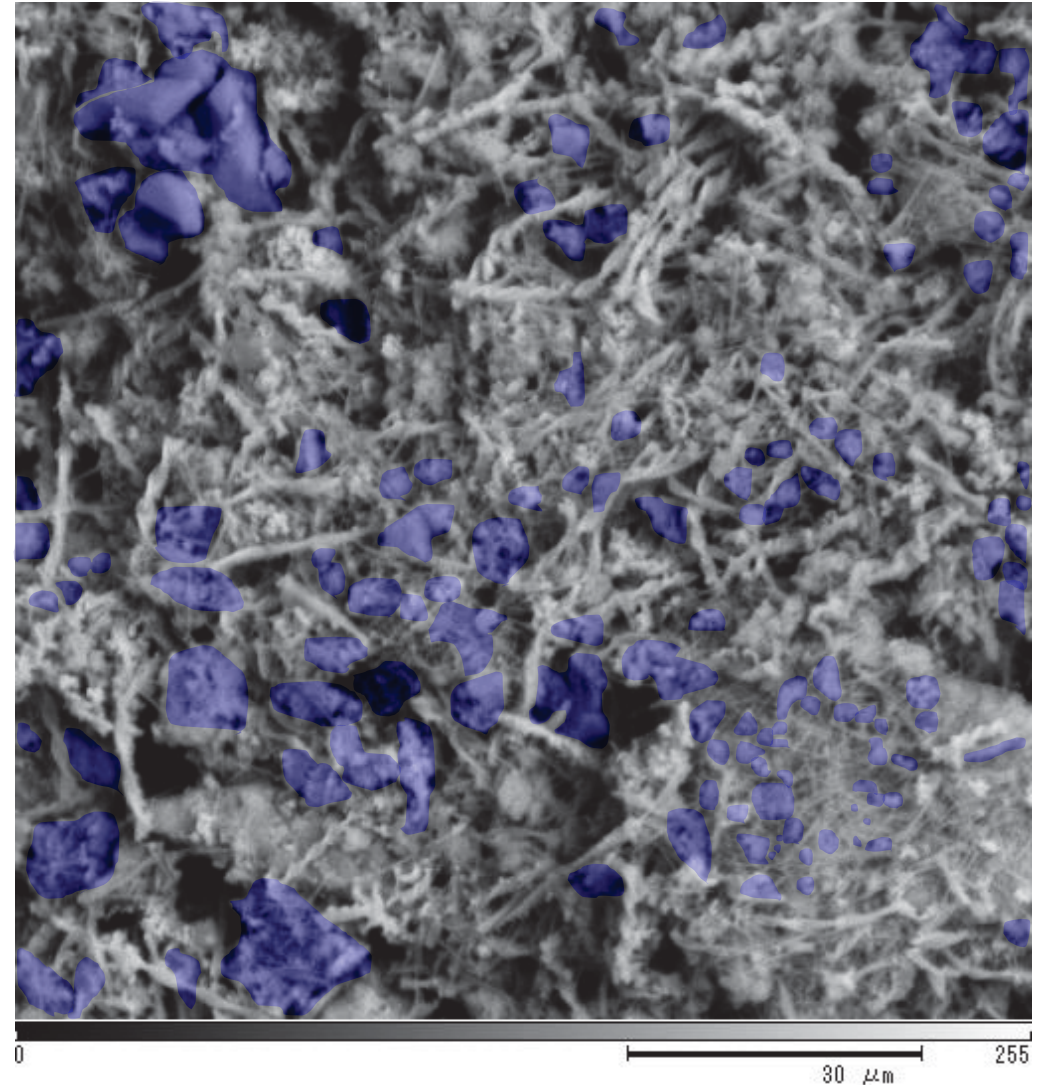
Ca:カルシウム

× 1000



SEM画像

× 1000

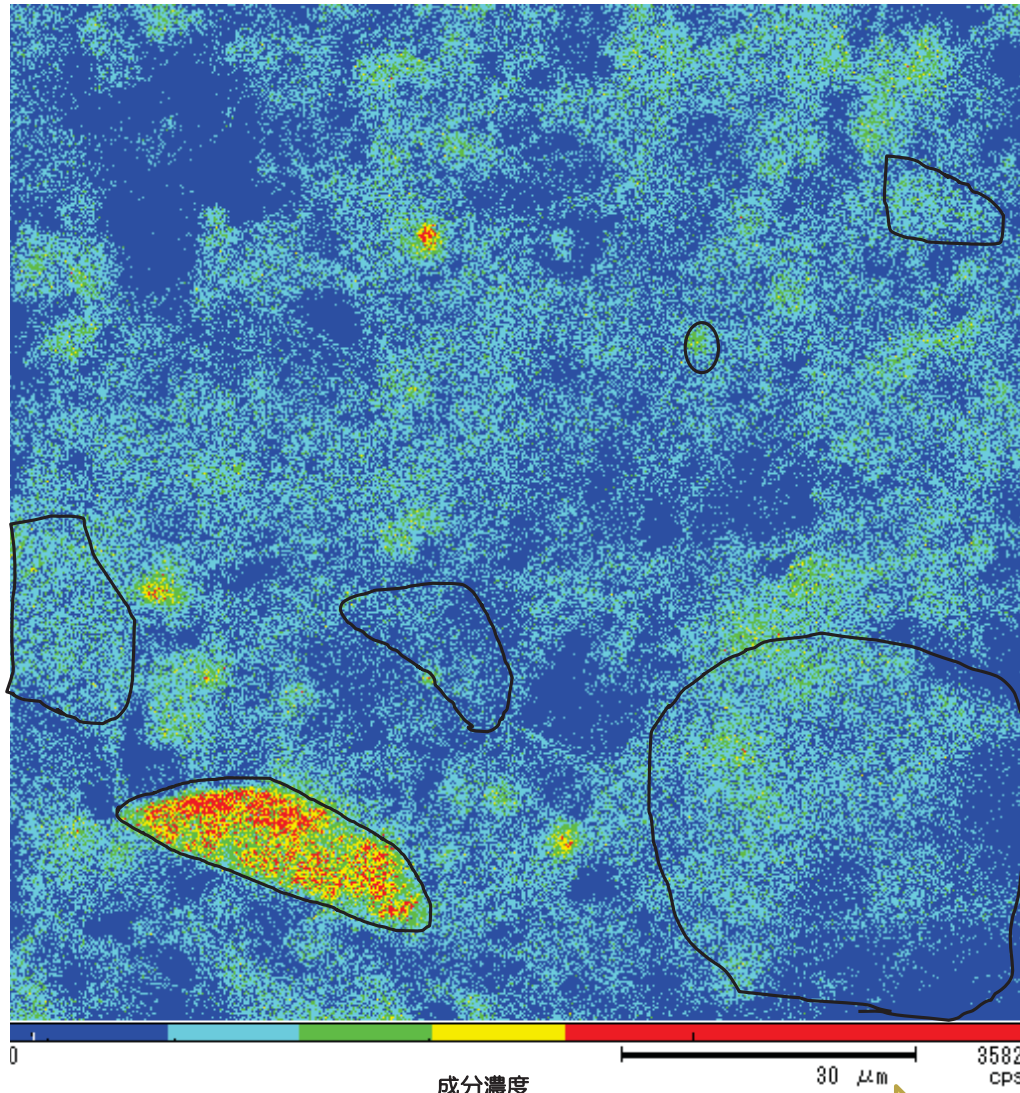


マッピング分析結果③ 鉍物粒子

- SEM画像で粒状を確認でき、ケイ素、アルミニウム、ナトリウムが多く含まれている部分と一致したものを鉍物粒子であると推定した。

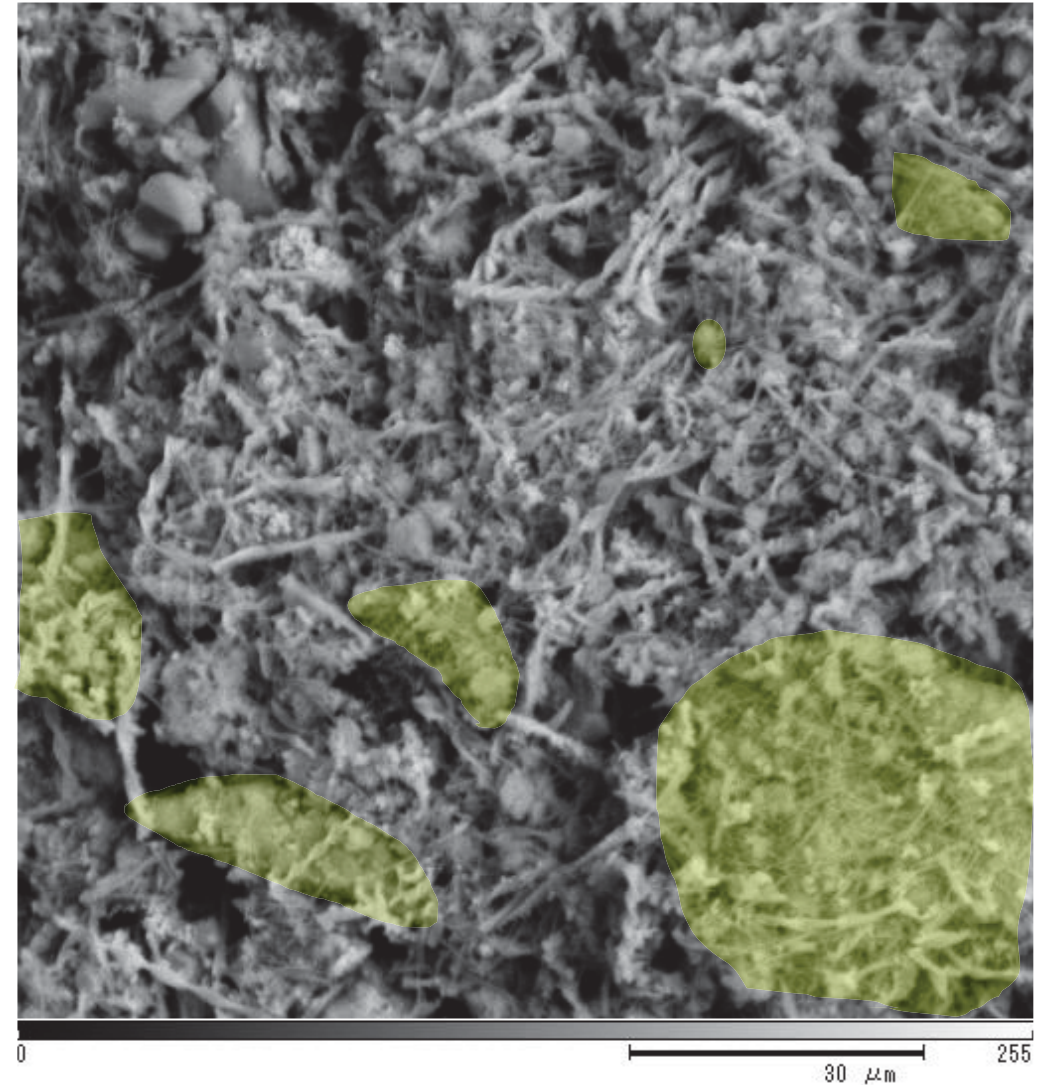
Si:ケイ素

× 1000



SEM画像

× 1000

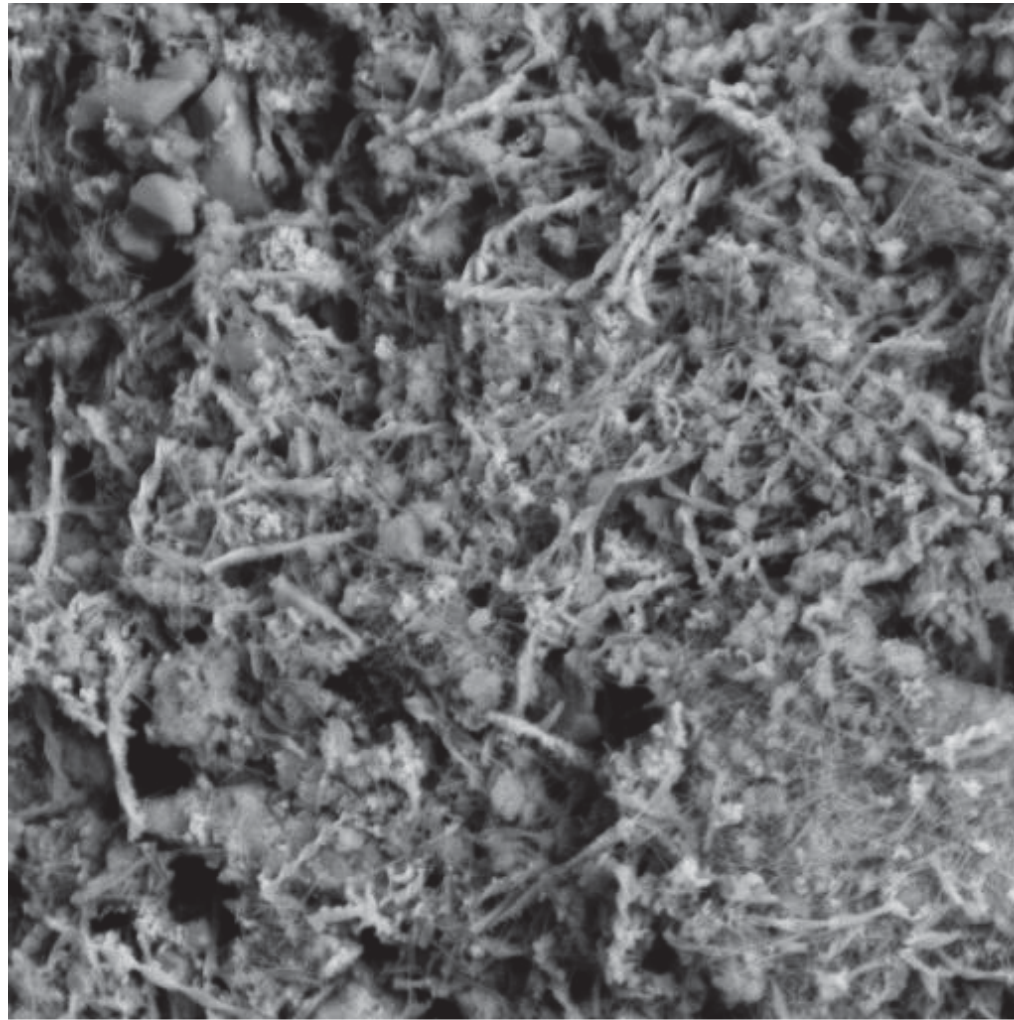


目詰まり物質のマッピング分析結果【まとめ】

- リチャージウエルの目詰まり物質は、主に ①鉄細菌 (*Gallionella ferruginea*) (赤色)、②炭酸カルシウム (青色)、③鉱物粒子 (黄色) から形成されるフロックであると推定される。
- それ以外の部分は鉄と酸素の割合が多く、酸化鉄が存在していると推定される。

SEM画像

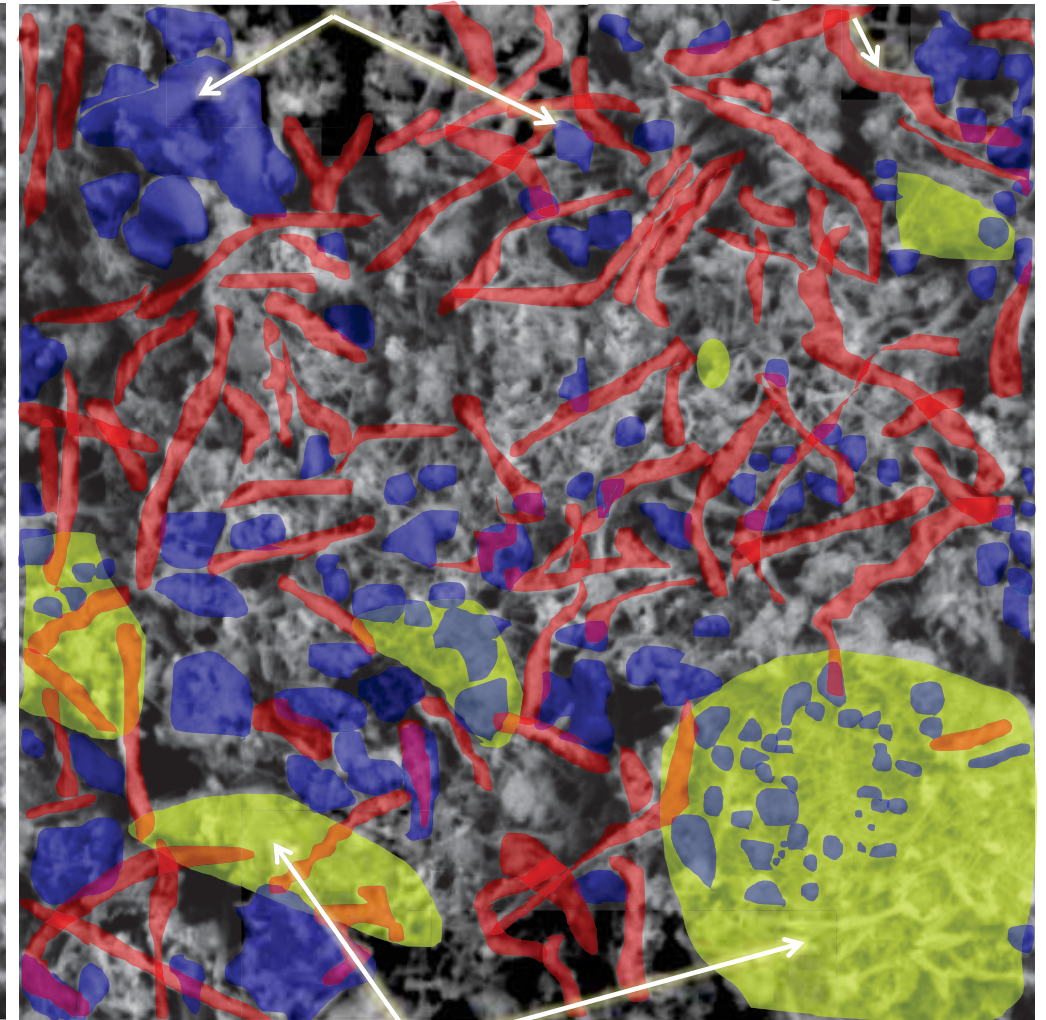
× 1000



0 30 μm 255

②炭酸カルシウム

①鉄細菌



③鉱物粒子

0 30 μm 255

1. 鉄細菌 (*Gallionella ferruginea*)

- ① 生成機構：地下水中の二価鉄と酸素を利用して、鉄細菌が増殖



- ② 対策：注水の除鉄、脱酸素処理、定期的な逆洗浄

2. 炭酸カルシウム

- ① 生成機構：地下水揚水等により地下水中の炭酸ガスが減少し、炭酸カルシウムが沈殿



- ② 対策：定期的な逆洗浄、（必要に応じて）注水のpH調整

3. 鉱物粒子

- ① 生成機構：注水（供給水）に混入

- ② 対策：注水のろ過処理、定期的な逆洗浄