

高田 潤

岡山大学
特任教授

微生物由来のナノ構造制御鉄酸化物の革新的機能創出

§ 1. 研究実施体制

(1)「高田」グループ

- ① 研究代表者:高田 潤 (岡山大学大学院自然科学研究科、特任教授)
- ② 研究項目
 - ・ 微生物由来酸化鉄の特徴解明と機能開拓
 - ・ 培養系および合成系酸化鉄の作製とそれらの特徴の検討

(2)「高野」グループ

- ① 主たる共同研究者:高野 幹夫 (京都大学物質・細胞統合システム拠点、特定拠点教授)
- ② 研究項目
 - ・ BIOX の化学結合状態の評価と新材料創出

(3)「今西」グループ

- ① 主たる共同研究者:今西 誠之 (三重大学大学院工学研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・ BIOX の充放電特性評価と充放電機構の検討

§ 2. 研究実施の概要

【はじめに】 身近な溝や湧き水中に褐色の沈殿物がしばしば見られる(図 1)。この沈殿物は、自然界に生息する鉄酸化細菌が細胞外に鞘状やリボン状のユニークな形状の酸化鉄構造体(図 2)の集合体である。今までは、これらは美観を損ねる不要物廃棄物であった。我々は最近、この微生物由来の酸化鉄が主構成元素比 $\text{Fe} : \text{Si} : \text{P} = 75 : 20 : 5$ を持つアモルファス(非晶質)ナノ粒子から構成されており、従来材料よりも優れた数々の機能(Li イオン二次電池負極特性や触媒機能)を持つことを発見し、有用材料として研究を進めている。

【本課題の狙い】 微生物由来酸化鉄("BIOX")の中で天然系 BIOX を基礎とした新材料創出と新機能開拓を試みるとともに、自然界から抽出・単離した鞘を作る細菌 OUMS1 を用いて、その培養条件(例えば、 $\text{Fe} : \text{Si}$ の比率)を調整することによって作られる鞘状 BIOX "培養系酸化鉄"についても新材料創出と新機能開拓に挑む。更に、これらの BIOX に倣って、新規"合成系酸化鉄"を完全人工合成して機能の向上を目指す。加えて、BIOX と合成系酸化鉄のアモルファス構造を計算機科学によって解析する。

【本年度の成果の概要】

I. 新材料創出 (1)培養系酸化鉄:単離菌 OUMS1 の培地の $\text{Fe} : \text{Si}$ を変化させたところ、構成元素比 $\text{Fe} : \text{Si}$ が異なる鞘状酸化鉄を形成するのみならず、 $\text{Fe} : \text{Si}$ 比によって結晶構造が変化することを世界で初めて見出した。

(2)合成系酸化鉄:低結晶性酸化鉄 2-line ferrihydrite に種々の量の Si 固溶を試みた結果、 $\text{Fe} : \text{Si}$ 比が広い範囲(100 : 0 ~ 50 : 50)で合成可能であること、および得られた酸化鉄が結晶相からアモルファス相に変化することを明らかにした。

II. 機能開拓 (1)Li イオン二次電池負極特性と充放電機構:天然系 BIOX を負極材として充放電特性を調べたところ、従来材料(炭素材)を遥かに超える充放電容量を示し、サイクル特性も優れていることを見出した。特に、高電流密度で良好な充放電特性を示すことが判った。更に、初期放電過程で Fe が $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^0$ (金属鉄)の変化を示すことを明らかにするなど充放電機構についての詳細な検討も行った。

(2)触媒機能:合成系酸化鉄の Si 置換 ferrihydrite の直接化学反応触媒機能を検討したところ、触媒活性が Si 量に影響されることを見出した。

(3)顔料特性:リボン状酸化鉄 BIOX を空气中 800°C で加熱すると、従来の赤色酸化鉄(ベンガラ)を凌駕する鮮やかな赤黄色を示すことを明らかにした。

III. 計算機科学 天然系 BIOX および合成系酸化鉄(Si 置換 ferrihydrite)について SPrinG-8 での高エネルギーX線回折実験を実施し、材料の詳細なアモルファス構造モデルの構築に向けた構造に関する基礎情報を得た。例えば、人工合成系酸化鉄は天然系 BIOX と同様に細孔を伴う非晶質であり、Si 置換に伴う秩序の低下が示された。天然系 BIOX の $S(Q)$ の形状は、10~30% 置換の人工合成系酸化鉄と類似していることを明らかにした。



図1 身近な溝で見られる微生物由来の褐色沈殿物

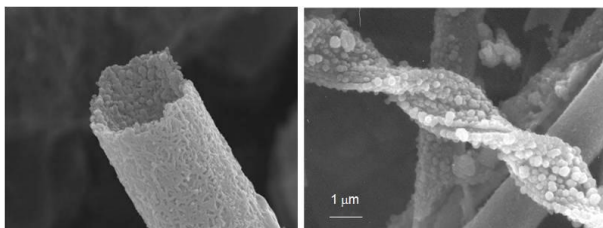


図2 微生物が作る鞘状酸化鉄 *L*-BIOX (左) とリボン状酸化鉄 *G*-BIOX (右)

§ 3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

論文詳細情報(国際)

1. Tomoko Suzuki, Hiromichi Ishihara, Kazuhiro Toyoda, Tomonori Shiraishi, Hitoshi Kunoh, Jun Takada, “Autolysis of bacterial cells leads to formation of empty sheath by *Leptothrix* spp.”, *Minerals*, vol. 3, pp.247-257, 2013.

(DOI:10.3390/min3020247)

2. Ryo Sakuma, Hideki Hashimoto, Yoshihiro Kusano, Yasunori Ikeda, Makoto Nakanishi, Tatsuo Fujii, Mikio Takano, Jun Takada, “Characterization of Microtubule Material Consisting of Iron Oxide Nanoparticles Produced by Bacteria. Sakuma”, *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, accepted on August 22, 2013. (in press).

3. Hideki Hashimoto, Atsushi Itadani, Takayuki Kudoh, Satoshi Fukui, Yasushige Kuroda, Masaharu Seno, Yoshihiro Kusano, Yasunori Ikeda, Yasuhiko Benino, Tokuro Nanba, Makoto Nakanishi, Tatsuo Fujii, and Jun Takada, “Nano-Micrometer-Architectural Acidic Silica Prepared from Iron Oxide of *Leptothrix*

ochracea Origin”, *ACS Applied Materials & Interfaces*, Vol. 5, pp5194–5200, 2013.
(DOI: 10.1021/am401029r)

(3-2) 知財出願

CREST 研究期間累積件数(国内 1 件)