

水環境の無色化技術に貢献するガーネット材料の創製

名古屋工業大学 大学院工学研究科 工学専攻 生命・応用化学系プログラム

前田 浩 孝

1. テーマ設定の背景

腐食物質は広く天然に存在するものであるが、水環境に多く含まれると、水の着色を引き起こすだけでなく、浄水過程において塩素との反応により発がん性物質の形成を引き起こす。そのため、安全・安心な水を作るには、汚染源となる腐食物質を水環境から除去する必要がある。

これまでに、紫外線照射による腐食物質の分解のようなエネルギー消費による水質維持が行われている。また、エネルギー消費を伴わない活性炭のような吸着材料を使用する場合もあるが、腐食物質が多様な構造・分子量を持つことから、包括的な除去が困難となる。

本研究では、活性炭を凌ぐ腐食物質吸着機能を持つ材料の創製を目的としている。

2. 素形材分野との関連性

筆者らが独自に開発した材料により、これまで困難であったエネルギー消費を伴わない水環境からの腐食物質の包括的な除去による無色化を実現可能とした。これを社会実装するため、ポリマー材料との複合化による形状制御により、環境技術として展開する研究に位置づけられる。

3. 研究開発の成果

3.1 水酸基を持つガーネットの創製

本研究で扱う水酸基を持つガーネット材料 $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_{3-x}(\text{OH})_{4x}$ は、天然に存在することが知られていたが、これまでに応用研究に関する報告が皆無であった。筆者らは SiO_4 と OH の置換により、水酸基の電子密度が変化することを計算科学の観点から明らかにし¹⁾、その違いを吸着現象に展開することで、ガーネット材料の新たな可能性を示した。

この種のガーネット材料は不混和領域 ($x=2.24 \sim 2.58$) を持つため、組成制御が困難とされてきた。 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ 系水熱反応場において、溶媒等を変えることで、溶解-析出反応を化学的にチューニングし、その置換量や形態、表面特性等を制御する手法を初めて創出した²⁾。

水熱反応により合成する水酸基を持つガーネット材料は、腐食物質に対して高い吸着特性(活性炭 1g あたりに対して 3 倍)を持ち、着色した水の無色化を実現できることを見出した(図1)。活性炭のようなこれまでに使用が検討されてきた材料と比較しても、短期間、かつ、高効率に無色化を実現できる。さらに、当該材料はユビキタス元素だけで構成される点でも環境材料として優れている。

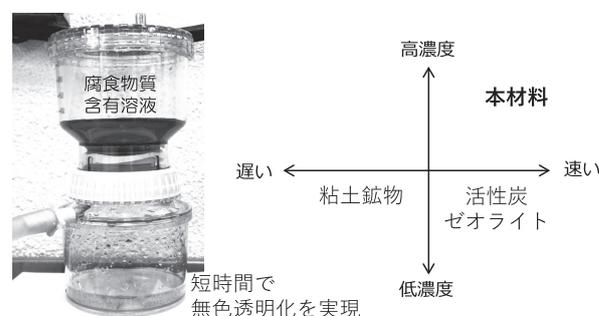


図1 腐食物質の無色化試験と性能指標

3.2 環境技術への展開

作製したガーネット材料は粉末であるため、環境技術として広く展開する上で、ハンドリング性を具備した形状制御が必要となる。例えば、成膜化があげられるが、水環境浄化材料として応用する場合、吸着質との接触回数を増加させることが重要となる。ここでは、その一例として、繊維からなる不織布に成形した例を示す。

不織布の作製にはエレクトロスピンニング法を採用し、その基材として生分解性ポリマーである

ポリ乳酸を用いることで、開発したガーネット材料とポリ乳酸からなる複合不織布の作製に初めて成功した (図2)。

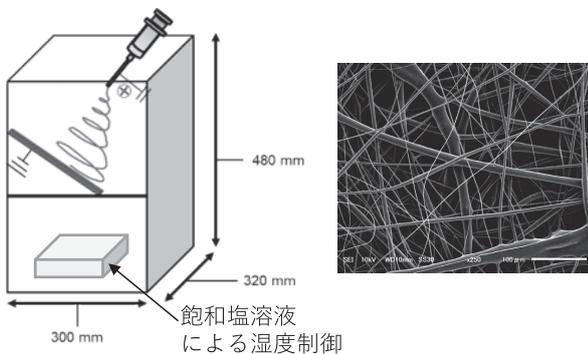


図2 複合不織布の作製プロセスとその形状

複合不織布は、水環境中において形状が崩壊することがないため、現状の水処理システムに容易に設置できる。また、実験室レベルだけでなく、腐食物質が含まれる地下水を対象としたフィールド試験において、腐食物質を除去できることを確認している。

作製プロセスにおける湿度を制御することで、不織布のハンドリング性を維持しながら、構成する繊維を多孔質化でき、腐食物質吸着特性を高めることも可能であり、形状制御により更なる高機能化を秘めたものである。

4. 訴求点

活性炭のようなマイクロ細孔を利用する物理吸着システムと比較することで、ガーネット材料の多様な表面水酸基による化学吸着を利用する有用性を実証し、これまでにない優れた腐食物質吸着技術を世界に先駆けて提案した研究である。

腐食物質のひとつであるフミン酸を用いて、腐食物質吸着性能について比較すると、開発したガーネット材料/ポリ乳酸複合不織布は競合材料として想定されるゼオライト、活性炭よりも優れた性能を発現しており、環境技術として実用性を兼ね備えている。

水環境から除去対象とする腐食物質は、腐葉土に含まれる有用成分でもあり、適切な量を土壤に添加することで堆肥として活用でき、食物の成長

を促進する効果がある。材料学的観点から勘案すると、腐食物質は機能性材料としての可能性を秘めている。

畜産排水は腐食物質が多く含まれ、茶褐色となることが問題となっている。この排水から複合不織布を用いて腐食物質を回収し、土壤改質材として利用することで、これまでにない循環型環境技術によるサーキュラーエコノミーとしての展開が期待できる (図3)。

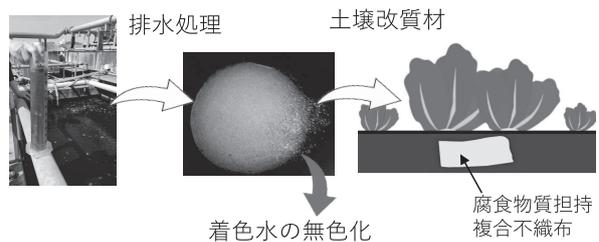


図3 サーキュラーエコノミーとしての展開

参考文献

- 1) M. Nakayama, K. Ishida, K. Watanabe, N. Tanibata, H. Takeda, H. Maeda, T. Kasuga, First-principles density functional theory calculations for formic acid adsorption onto hydro-garnet compounds, ACS Omega, 5, 4083-4089 (2020).
- 2) H. Maeda, Y. Kurosaki, T. Nakamura, M. Nakayama, E. H. Ishida, T. Kasuga, Control of chemical composition of hydrogrossular prepared by hydrothermal reaction, Materials Letters, 122, 205-207 (2014).