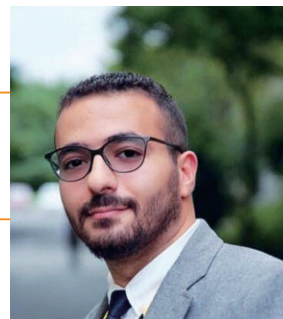


水中の汚染物質除去に ナノテクノロジーを活用

Utilizing nanotechnology in contaminants removal from water

イブラヒム マアムン 界面反応場化学研究グループ
Ibrahim Maamoun Research Group for Interfacial Reaction Field Chemistry



私はエジプト出身で日本に来て5年になります。2016年10月に九州大学大学院総合理工学府大気海洋環境システム学専攻に入学し、修士課程をスタートしました。その後、博士課程に進学し2021年9月に学位を取得しました。この間、水環境工学研究室に所属し水質改善のための研究を基礎と応用の両面から進めました。

私の研究の関心は、ナノ物質を水中の様々な汚染物質除去に活用することにあります。その一つがゼロ価鉄ナノ粒子 ($n\text{Fe}^0$) です。 $n\text{Fe}^0$ はこの20年間で多くの研究が報告されて来ましたが、 $n\text{Fe}^0$ は無害で生産性が高いことに加えて生産コストが低いという大きなメリットがあります。また、ゼロ価鉄は、高い酸化還元電位 (-0.44 V) を持つことから分かるように、重金属や硝酸などの汚染物質に対して効果的な還元剤としての働きを持ちます。また、ナノ粒子であることから大きな比表面積を持ち、反応効率の面からも大きなメリットがあります [1]。さらに、ユニークなコアシェル構造を持つ $n\text{Fe}^0$ は、吸着、共沈、還元などの様々なプロセスを介して水中の汚染物質と反応します。

$n\text{Fe}^0$ を利用した水処理には、工業廃水、地方自治体による生活排水、地下水の浄化等の幾つかの適用例があります。代表的な例として、 $n\text{Fe}^0$ を充填した透過性地下水浄化壁による原位置汚染水処理が挙げられます。しかし、 $n\text{Fe}^0$ を実際の水処理に用いるにあたっては幾つかの問題があります。具体的には、磁性による凝集、基質となる多孔質物質によるトラップ、水中での低い浮遊安定性、表面の腐食等による反応効率の低下が問題となります。このことから、実際の水処理において $n\text{Fe}^0$ を効果的に用いるためには、こうした欠点を何等かの形で克服する必要があります。

このような背景から、私は博士課程の研究において、

I am originally from Egypt, and have been living in Japan for five years. In October 2016, I joined the Water and Environmental Engineering laboratory (WEEL), Department of Earth System Science and Technology in Kyushu University to start my master's and PhD studies within the Advanced Graduate Program in Global Strategy for Green Asia.

My research interest lies in integrating nanomaterials in water treatment for removing the various aqueous contaminants. One of these nanomaterials is zero-valent iron nanoparticles ($n\text{Fe}^0$), which has been widely investigated in the literature within the last two decades. $n\text{Fe}^0$ is abundant, non-toxic, productive, and low-cost material. The zero-valent form of iron has high reactivity within aqueous solutions, represented by the high redox potential (-0.44 V), which makes it very effective reductant for different contaminants (e.g., heavy metals and nitrate) [1]. Moreover, the nano size provides higher specific surface area which is favorable for the sorption processes. Additionally, the unique core-shell structure of $n\text{Fe}^0$ enables these particles to react with most of the soluble contaminants in water via several removal mechanisms, including adsorption, precipitation, co-precipitation, and reduction.

There are several water treatment applications that $n\text{Fe}^0$ can be utilized in, such as industrial and municipal wastewater treatment, groundwater remediation via using $n\text{Fe}^0$ as in-situ permeable reactive barrier (PRB) filling material, and treatment of contaminated water bodies (i.e., rivers, lakes, ...etc.) using pump and treat systems (P&T). Nevertheless, when it comes to the real water treatment applications, $n\text{Fe}^0$ suffers from several drawbacks, including the magnetic-driven aggregation of the particles, the limited mobility of the particles in porous media, the poor aqueous suspension stability, and the rapid aqueous corrosion of the iron core. Hence, it is critical to find a suitable modification technique for $n\text{Fe}^0$ to overcome such defects.

Therefore, my main PhD research focused on developing an environmentally friendly coating technique to enhance the aqueous and reactive characteristics of iron nanoparticles towards better

水処理における鉄ナノ粒子の反応性能向上を目指し、環境負荷の低い被膜技術の開発に取り組みました。具体的には、多孔質物質中の移動性、水中での浮遊安定性、抗凝集性などの性能向上のために、 $n\text{Fe}^0$ の被膜として三つの金属水酸化物 ($\text{Mg}/\text{Al}/\text{Ca}(\text{OH})_N$) を試しました [2]。これらの研究を通じて、カルシウム水酸化物やアルミニウム水酸化物を $n\text{Fe}^0$ の被膜として用いた方がそれらを単体として用いた場合よりも優れた性能を発揮することが分かりました。また、水酸化マグネシウムを被膜とした鉄ナノ粒子 (MgCnFe^0) は、 $n\text{Fe}^0$ 単体に比べて95%の浮遊安定性の向上、多孔質物質中での移動性が5倍に増加、粒子径が47%減少(比表面積増大による反応効率向上)、抗凝集性の改善が見られました。さらに、 MgCnFe^0 は $\text{Cr}(\text{VI})$ の高い除去性能を長期間にわたって維持することも分かりました。特筆すべき点として、 MgCnFe^0 は一旦吸着した $\text{Cr}(\text{VI})$ を脱離することなく、50日間以上にわたって100%の除去性能を維持しました。

この他、私は様々な共同研究プロジェクトにおいても中心的な役割を果たしました。これらのプロジェクトでは、放射性核種や医薬品に汚染された水の浄化、微生物燃料電池による発電におけるナノ工学の応用、ナノ物質を触媒とした廃水汚泥におけるメタン生成の促進技術の開発に取り組みました。こうした様々な共同研究を通して、化学工学、物質科学、環境工学などの学際領域における素晴らしい経験をすることが出来ました。

2021年10月、私は先端基礎研究センター界面反応場化学研究グループに博士研究員として着任しました。着任後の研究として、放射性廃液の浄化を目的とした磁性体と藻類からなるナノ複合体の開発を提案しました。この研究では、微藻類を用いて磁性体ナノ粒子 (MNPs) を生合成します。こうした複合体は、生物濃縮や MNPs による高い吸着能を組み合わせることで、放射性核種より高い除去効率を実現出来る可能性があります。

私は原子力機構で研究することをとても楽しみにしています。先端基礎研究センターの先進的な研究環境と私たちのグループの高いモチベーションで質の高い研究成果を生み出すことが出来ると信じています。

performance in water treatment applications. In this work, three different metal hydroxides ($\text{Mg}/\text{Al}/\text{Ca}(\text{OH})_N$) were considered for the coating of nanoscale zero-valent iron ($n\text{Fe}^0$) to develop coated particles with enhanced features, including mobility in porous media, aqueous suspension stability, anti-aggregation tendency, crystallinity, and morphological characteristics [2]. The findings showed great superiority of magnesium hydroxide coating for $n\text{Fe}^0$, compared to aluminum and calcium hydroxides. Generally, magnesium coated iron nanoparticles (MgCnFe^0), compared with bare $n\text{Fe}^0$, showed 95% suspension enhancement, 5 times increased mobility in porous media, 47% finer size, 48% higher crystallinity, and improved anti-aggregation effect owing to the non-magnetic coating. Furthermore, MgCnFe^0 showed great performance in preserving the long-term reactivity for $\text{Cr}(\text{VI})$ removal with a progressive release of iron-core reactivity to reach 100% removal efficiency over 50 days reaction time without any desorption occurrence.

Also, I played a vital role in other collaborative research projects in my previous research group, such as removing radionuclides and pharmaceuticals from contaminated waters, integrating nanotechnology in electricity bio-generation via Microbial Fuel Cells (MFCs), and promoting methane generation by nanomaterials catalysts within wastewater sludge reactors. Such collaboration gave me great experience in the multidisciplinary aspects of chemical engineering, materials science, and environmental engineering fields.

From October 2021, I joined the Interfacial Reaction Field Chemistry Research Group in the Advanced Science Research Center (ASRC) as a postdoctoral researcher. My proposed research to be conducted at JAEA is developing a magnetic-algal nanocomposite for the remediation of radioactive contaminated water. The main aim of this research is employing microalgae in the biosynthesis of magnetic nanoparticles (MNPs) to combine different removal mechanisms, including the metabolism independent bioaccumulation of radionuclides on microalgae as well as the high sorption abilities of MNPs.

I am really looking forward to working at JAEA. I believe that with the advanced research facilities at the ASRC, and our high motivations in the research group, we can achieve high-quality research outcome.

参考文献 References

- [1] Y. Liu, *et al.*, *Sci. Total Environ.* 671, 388-403 (2019).
- [2] I. Maamoun, *et al.*, *App. Surf. Sci.* 15, 145018 (2020).
- [3] T. Tosco, *et al.*, *J. Clean. Technol.* 77, 10-21 (2014).