

## 船井情報科学振興財団 第 10 回留学報告書 卒業報告書

2024 年 6 月 3 日にデフェンスを受け、8 月 28 日に dissertation の評価が完了し、12 月 14 日にイェール大学化学工学・環境工学科より PhD を授与されました。第 10 回目の留学報告書となる卒業報告書では、博士論文の概要とその振り返りをご紹介します。

博士研究は一貫して、イェール大学の 2 つの研究グループ (co-advised のもと) とオークリッジ国立研究所との共同研究として進めてきました。これはエネルギー省が主導する National Alliance for Water Innovation の研究プログラムの一環で、採択された全米の大学や国立研究所が企業と連携し、官民学の協働によって水処理技術、特に淡水化技術の発展を大きな目的としています。実はこのグラントスキームは博士課程を始めた時点で既に決まっていた、当初から研究テーマは何でも自由に選べるわけではなく、グラントに結び付くことが大前提ということ、何となく肌で実感していました。この共同研究を通じて、淡水化処理中に発生するシリカ由来のスケーリングを制御するため、過飽和状態におけるシリカ分子 (ケイ酸) の物理化学特性の解明に取り組みました。スケーリングとは、水中に溶けている無機塩類が析出し、配管や各種機器の表面に堆積する現象で、特に海水や排水を淡水化 (濃縮する過程) では必然的に発生するため、海水淡水化や冷却機などの産業プロセスにおいて深刻な問題となっています。中でもシリカ由来のスケールは、結晶構造を持つその他の無機塩類とは異なり、非晶質のままケイ酸の重合反応を経て析出するため反応機構が非常に複雑で、産業界ではもはや制御を諦めているのが現状です。次の博士論文の主要な 3 つの章では、この難攻不落のシリカスケールに対処することで淡水化技術の普及を促進し、水不足解消に貢献することを最終的な目標として、それぞれ以下のプロジェクトを立ち上げ、推進しました：

### 1. 機能性ポリマーを用いた効果的な抑制剤の分子設計図の確立

シリカの重合反応を阻害するシリカスケール防止剤として、機能性ポリマーの分子特性が与える影響を解明し、その分子設計指針を特定しました。（Kaneda, M., et al. "Molecular Design of Functional Polymers for Silica Scale Inhibition." *Environmental Science & Technology* 58. 1 (2023): 871-882. doi/10.1021/acs.est.3c06504)

### 2. 開発された新規スケール防止剤の実用的評価

実際の水・エネルギー関連の産業プロセスを想定した環境下において、先に開発した新規スケール防止剤の有効性を包括的に評価し、その適用範囲を検討しました。（Kaneda, M., et al. "Inhibition of silica scaling with functional polymers: Role of ionic strength, divalent ions, and temperature." *Water Research* 258 (2024): 121705. doi/10.1016/j.watres.2024.121705)

### 3. モデル基質表面におけるシリカ重合反応速度の解析

高感度即時質量測定技術を活用し、モデル基質表面および逆浸透膜上における過飽和ケイ酸の重合反応速度を定量的に測定し、表面相互作用を分析しました。（Kaneda, M., et al. "Kinetics of Silica Polymerization on Functionalized Surfaces: Implications for Reverse Osmosis Membranes." 投稿準備中）

これらのプロジェクトは、ポリマー合成とシミュレーション解析の手法を存分に取り入れており、北海道大学で行った学部や修士課程の卒業研究とは比較にならないほど基礎科学寄りのアプローチで、共同研究の強みを最大限に活かすことができたと感じています。現在も、執筆中や審査中の原稿がいくつか残っているため、時間を見つけながら粘り強く取り組んでいます。

この4年間を振り返ると、アメリカでの博士課程は間違いなく人生最大のチャレンジであり、想像を超えるタフな環境とトレーニングでした。しかし、その中でしか得られない貴重な経験、知識、スキル、そして何より人間関係の構築はかけがえのないものであり、これからの人生の大きな財産になりました。このような素晴らしい機会を与えてくださった船井情報科学振興財団の皆さまからのご支援に、心より感謝申し上げます。本当にありがとうございました。