

2024 年度年次報告書

複雑な流動・輸送現象の解明・予測・制御に向けた新しい流体科学

2022 年度採択研究代表者

山本 卓也

大阪公立大学 大学院工学研究科
准教授

ソノケモフルイデイクス論による化学流体場の予測

研究成果の概要

液体中に超音波を照射した際には音響キャビテーションが発生し、それに伴い化学反応が発生するが、超音波の出力や超音波の周波数を変化させると急激に反応速度が変化する。この液体中に超音波を照射した際に発生する複雑な化学、流体現象を理解し、化学反応と流体場を同時に制御するため、超音波化学流体現象を数値モデル化し、超音波処理時の反応速度を予測し、統合的に化学流体現象を制御する方法論を導き出すことを目的に研究を行った。

本年度は、超音波化学反応が急速に低減する原因を実験、数値シミュレーション、安定性解析の3点から調査した。実験では、超音波化学反応速度の定量化、Sono-chemiluminescence 観察による反応領域の可視化、音場計測、流体流速計測、脱ガス速度計測、気泡運動観察を実施し、その実験結果を説明するための気泡振動シミュレーション、気泡周囲の物質移動解析、気泡安定性解析、気泡内温度、気泡成長までを解析した。両方の結果を踏まえると、超音波の伝搬モードが変化することで3つの領域に分類することができた。特に、反応速度が急減する箇所において超音波波形歪みが大きくなっていた。この波形歪みは、気泡の安定性にほとんど影響を及ぼさず、気泡内最高温度にも大きな影響を及ぼさない一方、気泡成長に大きく影響を及ぼすことが数値シミュレーションによってわかった。このシミュレーション結果は実験結果と対応しており、気泡成長が反応阻害の主要因になることがわかった。

また、上記実験だけでは超音波化学反応速度に及ぼすマクロな物質移動の影響を除外できていない。このため、超音波化学反応場における物質移動を P-LIF 計測で可視化した。特に、超音波化学反応場においても第一 Damköhler 数で評価可能であり、化学反応速度が高い条件でも物質移動が反応速度にほとんど影響しないことがわかった。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Yamamoto, T. Effect of ultrasonic frequency on mass transfer of acoustic cavitation bubble, *Chemical Engineering Science*, **300** (2024) 120654.
- 2) Hattori, K. D., Yamamoto, T. Mass transfer of acoustic cavitation bubbles in multi-bubble environment, *Ultrasonics Sonochemistry*, **115** (2025) 107295.
- 3) Yamamoto, T. Linear stability analysis for bubble shape of acoustic cavitation with different ultrasonic frequencies, *Physics of Fluids*, **36** (2024) 112127.
- 4) Yamamoto, T. Bubble shape instability of acoustic cavitation in molten metal used in ultrasonic casting, *Ultrasonics Sonochemistry*, **111** (2024) 107064.