

配信先：大阪科学・大学記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会

2025年6月10日

大阪公立大学

## ～有害物質 PFAS 分解など、超音波の産業応用へ大きく前進～ 超音波照射による化学反応の「逆転現象」を解明

### <概要>

液体中に超音波<sup>\*1</sup>を照射するとマイクロサイズの気泡が発生し、気泡内部が瞬間的に太陽の表面温度と同等の高温状態になることで、さまざまな化学反応が生じます。通常は超音波の出力を上げると反応が加速しますが、ある一定以上では逆に反応速度が低下する現象が知られており、その発生原因にはいくつかの説があり、論争が続いていました。

大阪公立大学大学院工学研究科の青木 瞭太大学院生（博士前期課程2年）、服部 冠志大学院生（博士前期課程2年）、山本 卓也准教授の研究グループは、6種類の実験と3種類の数値シミュレーションによる解析から、超音波の出力を上げると反応速度が低下する原因を突き止めました。さらに、超音波の反応場が3種類に分類されることも明らかになり、用途に応じた最適な超音波照射条件の選定に役立つ指針が得られました。本成果は、環境汚染物質 PFAS<sup>\*2</sup>の分解やナノ粒子の合成など、幅広い分野への超音波技術の応用と実用化の加速に貢献することが期待されます。

本研究成果は、2025年6月6日に国際学術誌「Ultrasonics Sonochemistry」のオンライン速報版に掲載されました。

音を利用して化学反応を引き起こす現象は興味深いものですが、その背景には、音波や気泡、核生成、流動、化学反応等の数多くの現象が、複雑に絡み合っています。本研究では、この複雑な現象の一部を解明することができました。今後は本成果を活かして、超音波技術の幅広い分野への産業応用が広がることを期待しています。



山本 卓也准教授

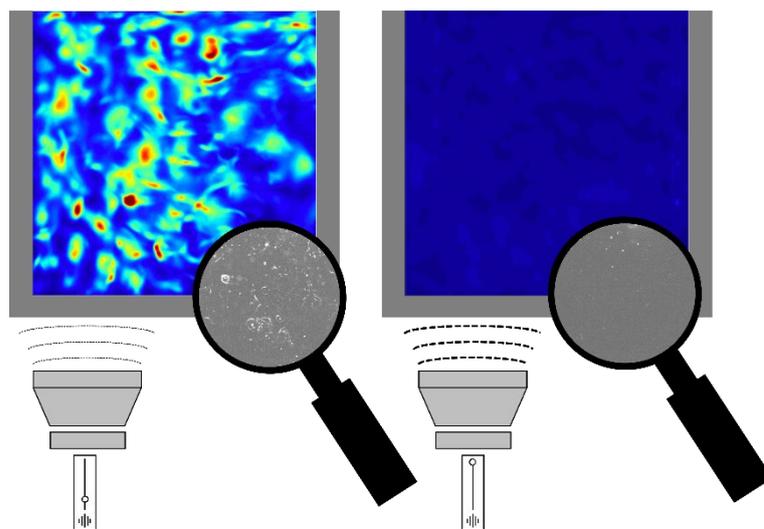


図 超音波出力を変更した場合の槽内反応速度分布と拡大観察した際の発生した気泡の様子

## <研究の背景>

液体中に超音波を照射すると、音響キャビテーション<sup>※3</sup>と呼ばれる活性な泡<sup>※4</sup>が発生します。これらの泡の内部では、瞬間的に 5,000°C を超える高温になり、それによりさまざまな化学反応が生じます。一般的に、超音波の出力を上げると化学反応は加速しますが、ある一定以上の出力を超えると逆に反応速度が急速に低下するという現象が知られています。この現象は、超音波の産業応用を難しくする一因となっていますが、長年その発生メカニズムには複数の説が唱えられており、学術的な議論が続いていました。

## <研究の内容>

本研究では、6 種類の実験（超音波反応速度の計測、化学発光実験を利用した反応領域の計測、超音波槽内の溶媒の流速の計測、超音波の水中音の計測、気泡運動の観察、脱ガス<sup>※5</sup>速度の計測）、および 3 種類の数値シミュレーション（気泡振動による安定な気泡サイズ、気泡内最大温度、気泡膨張程度に対する数値シミュレーション）による解析を行いました。

その結果、超音波の出力を上げすぎると、気泡の高速運動により超音波の波形が歪み、気泡の成長速度が低下して、化学反応に寄与する活性な泡の数が急減することが主な原因であることを突き止めました。

さらに、超音波の反応場が 3 種類に分類され、それぞれが超音波の伝播パターンや形状と関係することが分かりました。これにより、それぞれの条件において、化学反応速度だけでなく、気泡成長速度や音響流速、脱ガス速度がどのように変化するのかを理論的に説明することが可能になりました。

## <期待される効果・今後の展開>

超音波を利用した化学反応は、ナノ粒子の合成や半導体ウェハの洗浄、医療分野での細胞アポトーシス<sup>※6</sup>誘導、さらには地球規模の環境課題である PFAS（有機フッ素化合物）の分解など、幅広い分野での応用が期待されています。本成果により、用途に応じて最適な超音波出力や照射条件を選定するための指針が得られたことで、超音波技術の産業利用のさらなる発展に繋がることを期待されます。

## <資金情報>

本研究は、国立研究開発法人 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業さきがけ（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、JPMJPR220A）の一部として実施しました。

## <用語解説>

※1 超音波…周波数が 20 kHz 以上の音。

※2 PFAS…有機フッ素化合物の別称。難分解性、高蓄積性等の特徴があるため、近年環境や人体にとってリスクが高い可能性があるといわれている。

※3 音響キャビテーション…超音波を液体中に照射すると、液体中で局所的に音圧が急速に上下に振動する。特に、音圧が大きく下がると気泡核が生成、気泡が急速に膨張する一方で、音圧が大きく上昇すると急速に気泡が収縮し、圧壊する気泡生成現象のこと。

※4 活性な気泡…超音波の振動に合わせて高速に膨張、収縮することで、物理的な効果を引き出すことができる気泡。収縮した際には、気泡内部が高温になることで化学反応が発生する。

※5 脱ガス…音響キャビテーションが生じることで溶液中の溶存ガスが気泡に移動し、溶存ガス量が減少する現象。

※6 アポトーシス…細胞死の一種で能動的な細胞死。

<掲載誌情報>

【発表雑誌】 Ultrasonics Sonochemistry

【論文名】 Revisit to the mechanism of quenching: Power effects for sonochemical reactions

【著者】 Ryota Aoki, Kanji D. Hattori, Takuya Yamamoto

【掲載 URL】 <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107419>

【研究内容に関する問い合わせ先】

大阪公立大学大学院工学研究科  
准教授 山本 卓也 (やまもと たくや)  
TEL : 072-247-6064  
E-mail : [takuya.yamamoto@omu.ac.jp](mailto:takuya.yamamoto@omu.ac.jp)

【報道に関する問い合わせ先】

大阪公立大学 広報課  
担当 : 竹内  
TEL : 06-6967-1834  
E-mail : [koho-list@ml.omu.ac.jp](mailto:koho-list@ml.omu.ac.jp)