令和７年度　終了研究成果サマリー

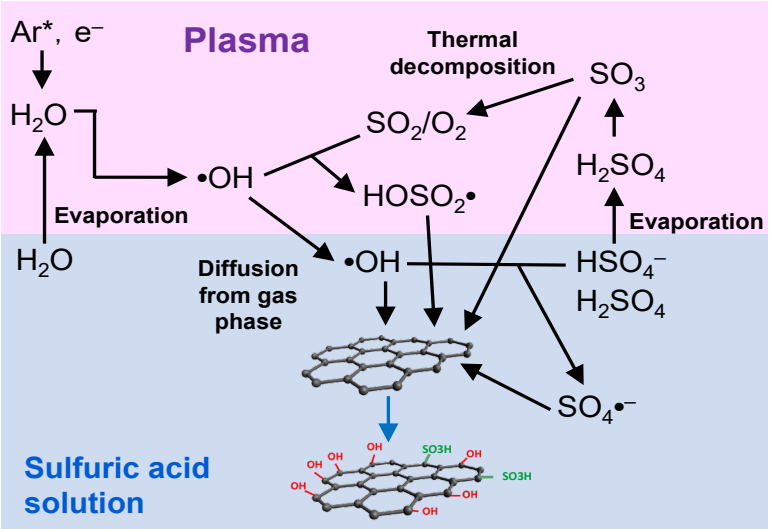
研究課題番号	3RF-2201
研究領域名	資源循環領域
研究課題名	セルロース系廃棄物転換に向けた低温・低環境負荷プラズマ反応場を用いた高効率触媒合成技術の開発
研究代表者名（所属機関名）	竹内希（東京科学大学）
研究実施期間	2022年度～2024年度
研究キーワード	バイオ燃料、セルロース、気液界面プラズマ、スルホン化炭素材料、加水分解反応触媒

研究概要、研究成果等

本研究は、気液界面プラズマを用いた炭素材料スルホン化技術を開発し、低エネルギー消費、低環境負荷で、優れた加水分解反応触媒を合成することを目的とするものである。そのために、サブテーマ１：高効率プラズマ源の開発、サブテーマ２：計測と数値計算による液中ラジカル反応場の解析、サブテーマ３：炭素材料のスルホン化と材料分析、の３項目を、海外共同研究先も含めた緊密な連携の元で実施した。

気液界面プラズマを用いた炭素材料スルホン化処理を行い、サブテーマ３において、濃度1 mol/Lの希硫酸を用いた室温での気液界面プラズマ処理による、45分以内の短時間での炭素材料のスルホン化処理を実現した。従来手法である濃硫酸（18 mol/L）を用いた水熱合成法（150度、24時間処理）に対して、消費エネルギー1/100以下を達成し、消費硫酸量を1/3以下に低減して、触媒としての繰り返し利用を考慮したグルコース収率を72.3%増加させた。さらに、サブテーマ１で開発した誘電体バリア放電プラズマ方式を用いることで、大型化と同時に、消費硫酸量を1/100に低減し、目標を達成した。また、サブテーマ２において、プラズマ－溶媒－炭素材料間の粒子輸送とスルホン化反応の機構を明らかにし、反応場をモデル化した。

本研究において明らかとなった気液界面プラズマによる炭素材料スルホン化メカニズムを下図に示す。プラズマ照射により気相へと放出された硫酸分子は、熱分解によってSO_3およびSO_2を生成し、SO_2はOHラジカルと反応して$HOSO_2$ラジカルを生成する。また、OHラジカルは液相へと拡散してHSO_4^-と反応し、$SO_4^{\bullet-}$を生成する。このようにして生成されたSO_3、$HOSO_2$ラジカル、および$SO_4^{\bullet-}$が炭素材料スルホン化に寄与することを明らかにした。



環境政策等への貢献

- 従来手法に対して、触媒合成に要するエネルギーの大幅低減は、農業残渣等のセルロース系廃棄物のバイオ燃料への転換におけるコストの課題を解決し、化石燃料由来のエネルギー利用を低減してCO2排出削減に寄与する。
- 再生可能エネルギーの余剰電力と組み合わせて農業残渣等のバイオ燃料への転換を行うことで、資源循環を見据えた、自立分散型エネルギーシステムの構築につながる。