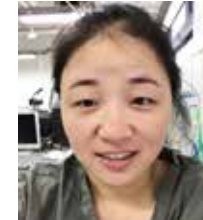


環境調和型化学プロセスの開発

Green Process Development



教授 スミス・リチャード
Professor
Smith Richard Lee Jr.



助教 郭海心
Assistant Professor
Haixin Guo



Lab members

我々が持続可能な生活を送るために必要となるエネルギーの全ては、地球に降り注ぐ太陽エネルギーによって賄うことができる。水と二酸化炭素を使って、地球環境に優しくクリーンな化学プロセスを開発することは可能である。圧力と温度を制御することで水と二酸化炭素は有機溶媒に近い性質を発現できるため、プロセスの高効率化や環境負荷の軽減を達成することが可能となる。私たちの研究室では、環境調和型溶媒である「水」「CO₂」「イオン液体」を研究の中心に据え、バイオマス変換、材料合成、廃棄物のリサイクル、合成化学、高分子加工及び分離プロセスを研究しています。また、化学工学的な視点から、プロセスの高効率化に向けた基礎物性の測定やモデル化などにも取り組んでいます。

Solar energy provides all the energy that our society needs for sustainable living. Water and carbon dioxide can be used to develop chemical processes that are clean and friendly to our environment. In the supercritical state, both water and carbon dioxide can be made to mimic the properties of many organic liquids that provide both performance and advantages and environmental benefits. With these solvents, our laboratory studies biomass conversion, material synthesis, waste recycling, synthetic chemistry, polymer processing and separation processes.

太陽エネルギーにより、年間 950 億トンの炭素循環が可能となる。このエネルギーのうちわずか 10% を利用するだけで、人類は自然と調和した持続可能な生活を送ることができる。水と二酸化炭素、特にそれらの超臨界状態を利用することで、低環境かつクリーンな化学プロセスを構築できる (Fig.1)。

水と二酸化炭素 (CO₂) は、超臨界状態において有機溶媒に近い性質を持ち、操作性と環境調和性の双方に優れた溶媒となる (Fig.2)。化学プロセスの例としてバイオマス分解、材料合成、廃棄物リサイクル、合成化学、高分子加工がある。例えば当研究室では、イオン液体と超臨界 CO₂ を用いたセルロース系バイオマス (セルロース、ヘミセルロース、リグニン) の反応・分離プロセス (Fig.3) を検討している。イオン液体にバイオマスを溶解・反応させ、温度・圧力を操作することで超臨界 CO₂ の物性を操作し、選択的に反応生成物の反応・分離を行うものである。イオン液体は蒸気圧が極めて低いため大気への飛散の恐れが小さく、環境調和型プロセスとして期待される。

当研究室では、主に環境調和型の溶媒を用いた化学システムおよび化学プロセスの開発に関して研究を進めている。その多くが超臨界流体、特に超臨界 CO₂ と超臨界水の特長を利用するものである。具体的には、高温高压水中でのバイオマス・プラスチック・炭化水素・重質油の改質反応、水熱合成による無機複合酸化物微粒子の合成、ハイドレート形成を利用した効率的な水素貯蔵システムがある。これらの研究は、世界中の大学等との共同研究としても行っている。

The energy from the sun can drive 95 billion tons of carbon a year. Using only 10% of this solar energy, we can live a sustainable life in harmony with nature. Both water and carbon dioxide, especially in the supercritical state, can be used to develop chemical processes that are clean and friendly to our environment (Fig.1).

Supercritical water and carbon dioxide (CO₂) have properties close to those of organic solvents, which are excellent in both operability and environmentally friendly (Fig.2). Such chemical processes include biomass conversion, material synthesis, waste recycling, synthetic chemistry, and polymer processing. For example, our laboratory studies the reaction and separation process of cellulose-based biomass (cellulose, hemicellulose, and lignin) using supercritical CO₂ combined with ionic liquids (Fig.3). The reaction and separation of biomass dissolved in ionic liquids can be controlled by manipulating physical properties of supercritical CO₂ using temperature and pressure. Ionic liquids can be easily separated and recovered after the reaction due to their extremely low vapor pressure, and therefore they are attractive as alternative environmentally friendly solvents.

Our laboratory conducts research and development of chemical systems and chemical processes mainly using environmentally friendly solvents such as supercritical fluids, especially carbon dioxide and water. Our research topics are reforming of biomass, plastics, hydrocarbons, and heavy oil in high-temperature and high-pressure water, synthesis of fine inorganic oxide particles by hydrothermal synthesis, and development of hydrogen storage in clathrate hydrates. We now collaborate with researchers around the world.

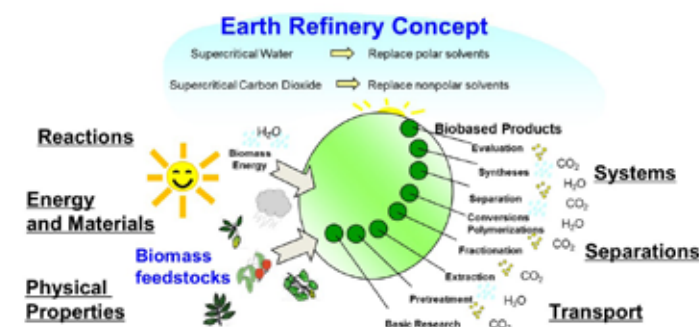


Fig.1 Development of Sustainable Products and Systems.



Fig.2 Green Chemical Process

研究概要

- (1) 新しい CO₂ フリーなエネルギー源 (カーボンニュートラルな電気) の開発
 - (2) バイオマス関連化合物の選択的アミノ化または水素化のための新しい化学物質の開発
 - (3) 製薬業界で使用されている有害な溶媒にとって代わる安全性の高い新しい混合溶媒の提案
 - (4) バイオマスからの新しい機能性バイオカーボン触媒の開発
 - (5) バイオ燃料製造のための新しい環境低負荷な合成経路および分離法の確立
 - (6) 超臨界流体による新しい材料の開発
- グリーンケミカルプロセスを考える上で、使用物質と手法の安全性や 3R (リデュース、リサイクル、リユース) に基づいて、溶媒、触媒、反応条件と操作の選択を行い、再生可能材料をエネルギーや製品に変換するということが重要である。

国際交流、学会発表

- [1] スミス教授、郭助教が中国南開大学、南京農業大学に講義を行った (図 3-4)。
- [2] スミス教授はマレーシア国際イスラム大学、マレーシア プトラ大学に講義を行った。
- [3] 2th International Symposium on Agricultural Environmental Protection and Sustainable Development, Sep 22-24, Tianjin (China).
- [4] 中国科学院、Dr. Chen Lin が当研究室を訪問した。
- [5] Iigan Institute of Technology of the Mindanao State University (フィリピン)、Prof. Roberto Malaluan が当研究室を訪問した。
- [6] Nature Communications と Applied Catalysis B: Environmental にオンライン掲載された (図 5-6)。



Fig.3 Visit of Nankai university



Fig.4 Visit of Nanjing agricultural university

Research

A green chemical process is one that sustainably transforms renewable raw materials into products for society using safe, fast (efficient), and clean (non-polluting) operations and methods. A green chemical process uses the fundamental principles of Green Chemistry and Green Engineering and exists in harmony with the environment. Students use their own ingenuity to conduct research on

- (1) creating new CO₂-free energy sources (carbon-neutral electricity),
- (2) developing new chemistries processes for selective amination or hydrogenation of biomass-related compounds,
- (3) proposing new safe solvent mixtures to replace the hazardous solvents used in pharmaceutical industries,
- (4) developing new functional biocarbon catalysts from biomass with hydrothermal methods,
- (4) creating new green synthesis routes and separation methods to produce biofuels,
- (6) developing new materials with supercritical fluids.

Key to many green chemical processes is the conceptual idea for of converting renewable materials into energy or products through the choice of solvents, catalysts, conditions, and operations along with safety of safe materials and methods and attention to the 3Rs (Reduce, Recycle, and Reuse) in each conceptual step.

International exchange and conference

- [1] Prof. Smith and Asst. Prof. Guo gave invited lectures at Nankai University (China).
- [2] Prof. Smith and Asst. Prof. Guo gave invited lectures at Nanjing Agricultural University (China).
- [3] Prof. Smith gave invited lectures at International Islamic University Malaysia and University Putra Malaysia (Malaysia).
- [4] Second International Symposium on Agricultural Environmental Protection and Sustainable Development, Sep. 22-24, Tianjin (China).

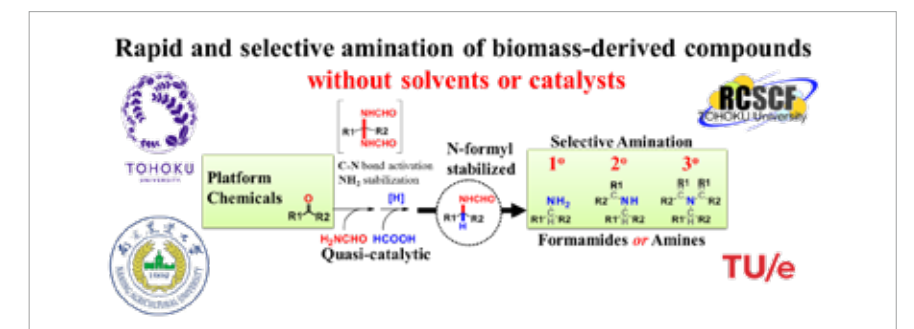


Fig.5 Nature Communications, 10 (2019) 699.

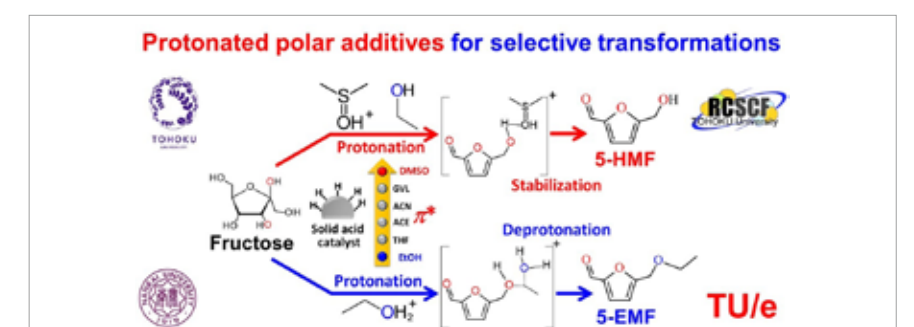


Fig.6 Applied catalysis B environmental 264 (2020) 118509