

未利用バイオマスを用いた高機能活性炭開発事業

○中川翔^{#A)}、柳原悠人^{A)}、田上裕之^{A)}、長原一樹^{A)}、村瀬尊則^{A)}、
林祐貴^{A,B)}、能登裕之^{A)}、小川国大^{A,B)}、清水昭博^{A,B)}、磯部光孝^{A,B)}

^{A)}自然科学研究機構 核融合科学研究所

^{B)} 国立大学法人総合研究大学院大学

概要

自然科学研究機構のミッション実現戦略事業におけるバイオマス活性炭の開発および技術職員の取り組みについて紹介する。本事業では、核融合研究で開発した技術を応用し、かつSDGsへの貢献を志向しており、未利用バイオマスを原料とした高機能活性炭の創製を研究開発テーマとしている。特に本開発は技術職員が主体となり、各人が担当のテーマを設定し、自主的に学びながら課題解決に取り組んでいる。これまで開発環境の整備と並行して高機能活性炭の開発を進め、そこで得られた成果を国内外の学会で発表してきた。特許に関しては、1件が取得済みであり、別の1件は出願中である。他機関との連携も積極的に進めており、国内の民間企業や海外の大学・研究機関との共同研究にも発展している。

1. ミッション実現戦略事業

令和4年度より自然科学研究機構から核融合科学研究所に「ミッション実現戦略事業」の予算が配分され、本予算に基づく研究課題の公募が行われた。本事業のミッションは、「核融合先端技術の汎用化によるSDGsへの貢献」である。本事業では、学術的な成果に加えて、研究成果の社会実装を目指した産学共同研究や公的資金の獲得を目指す実現することが求められている。

核融合科学研究所技術部では、プラズマ実験用真空ポンプにおける活性炭研究で培われた技術や経験を基盤とし、未利用バイオマスを原料とする活性炭の創出を研究課題として応募した結果、本事業に採択された。

本報告書では、これまでの約2年に渡る研究開発について紹介する。

2. 背景と目標

2.1 先行研究

核融合科学研究所では、大型ヘリカル装置(LHD)の開構造ダイバータ用のクライオ排気ポンプの研究開発を推進してきた[1, 2]。クライオ排気ポンプでは極低温に冷却したクライオパネルに気体分子を吸着させて排気を行っている。このクライオパネルに使用される活性炭は、発達した細孔構造を有し、2nm以下のマイクロ孔が豊富に分布している。この細孔が気体分子の吸着サイトとなり、高真空域での排気を実現している。クライオ排気ポンプの研究では、細孔分布の評価が重要である。この開発を通して活性炭が有する細孔分布の分析や評価手法に関して、多くの知見や経験を積んできた。

また、放電プラズマ焼結(Spark Plasma Sintering: SPS)法による活性炭の固形化技術を応用して、粉末状の活性炭をバインダと呼ばれる接着剤を使用せずに固形化する技術を確立している。

2.2 バイオマス活性炭開発

上記の研究を基盤とし、活性炭の開発に核融合研究で培った技術を応用して高機能活性炭を創製することが本研究の目的である。さらに未利用バイオマスを原料とすることでSDGsへの貢献も期待される。すなわち、農業廃棄物等の未利用バイオマスを有価品として有効利用できれば、バイオマスの焼却処分時に発生するCO₂などの温室効果ガスやPM2.5などの大気汚染物質の排出量の削減に貢献できる。

高機能化の糸口としてはいくつかの手法が挙げられる。例えば、稲わらやもみ殻にはシリカが多く含まれている。このシリカを取り除くことで一般的な活性炭には無い特殊な3次元構造のメソ細孔構造が発現することが知られている。そこで、もしシリカを効率よく除去でき、2nm~50nmのメソ細孔を大量に発達させることができれば、優れた吸着速度をもつ活性炭ができることが期待できると考えた。

また、従来の活性炭は、バインダを用いて練り固めてペレット状に固形化させているが、バインダ自身は吸着機能を持たないため、バインダ配合率に応じて活性炭としての吸着機能が弱められることが課題であった。SPS法を用いた固形化では、純粋な活性炭粉末のみで固形化ができるため、吸着機能を損なわない活性炭ペレットの生成が期待できる。

3. これまでの取り組み

本事業は、技術部が主体となって推進している。プロジェクトメンバーである技術職員は各種実験装置・測定装置の操作だけではなく、活性炭開発関連の研究についての調査や、実験のアイデアの提案、実験計画の策定など、幅広い業務が求められている。

バイオマス由来の高機能活性炭を生成するためには、シリカの除去手法の確立、賦活条件の最適化、細孔特性を損なわない活性炭固形化技術の確立、バイオマス活性炭の応用先の開拓といった課題が挙げられている。本事業では、技術職員が各々上記課題を分担し、個々の課題に対して果敢に挑戦するとともに

お互いに協力し合い研究開発を進めている。

3.1 研究環境の整備

活性炭の製造は様々な製法があるが、本事業で想定しているバイオマス活性炭の製造工程は以下の通りである。

- 炭化：原料となる有機物を高温処理、熱分解して、炭素を主成分とするバイオ炭とする工程。
- シリカ除去：有機物に含まれるシリカを取り除く工程。
- 賦活：炭化されたバイオ炭を水蒸気や二酸化炭素で高温処理して、細孔構造を発達させる工程。
- 固形化：粉末状の活性炭を製品として扱いやすくするため、所定の形状に成形する工程。

本事業を進めるにあたり、活性炭の製造に係る各種実験環境の整備を進めた。

まず、炭化処理用の管状炉である(図1)。管状のくぼみに電熱線が装備されていて約1000℃までの加熱が可能である。温度コントローラーが付属しており、任意の温度に調整できる。炭化作業時には酸素を遮断することが必要であるので、ステンレス製容器に試料を入れた後、蓋を溶接して密閉する。蓋には排気口が付いており、真空ポンプにつなぎ、排気しながら加熱を行うこともできる。

続いて、図2に賦活処理を行うロータリーキルンを示す。シリンダー状の容器に試料を入れ750~

900℃の高温に加熱させながら容器を回転させる。温度コントローラーが付属しており、900℃までの任意の温度に調整可能である。炉内には、賦活用のガスを流すことで活性炭に細孔特性を付与する。このとき、微細な炭化物の粒子は非常に舞いやすいため、賦活時は炭化物を特殊な形状をした格納ケースに入れる。出口部分が返しのようにになっており、気流に乗って流れ出る炭化物の粉末の量を抑える。

次に、SPS装置を示す(図3)。粉末を充填した焼結型を加圧し、数百AのON-OFFパルス電流を焼結対象に直接加える。SPSは、焼結対象の粒子間で発生するマイクロ放電現象を利用して局所的に加熱されるのが特徴である。図3下の写真は、左から焼結型、チャンパー内で焼結型が上下の電極間で加圧されている様子、焼結中に型がジュール加熱され赤熱している様子を示している。

そして、図4にガス吸着量測定装置を示す。本装置は、窒素等の測定ガスの吸着量とその際の圧力との関係などから、活性炭の特性を評価する重要な指標となる、細孔分布や比表面積などを測定することができる。



図1. 管状炉



図2. ロータリーキルン



図3.SPS (Spark plasma sintering) 装置

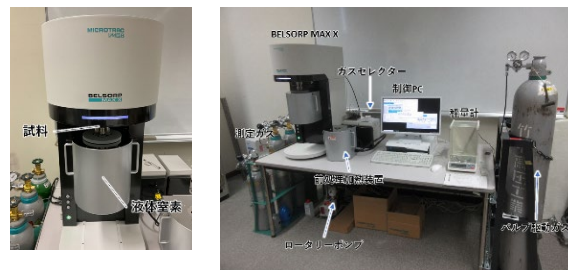


図4. ガス吸着量測定装置

3.2 学会発表

本研究開発で得られた成果を積極的に国内外の学会で発表を行っている。第39回プラズマ・核融合学会年會にてポスター発表1件[3]、第1回高専研究国際シンポジウム (KRIS 2023) では、口頭発表1件を行った[4]。また、国際會議「グローバルプラズマフォ

ーラム in 青森」では2件のポスター発表[5, 6]に加え、企業展示ブースにて本プロジェクトの展示を行った。図5は、企業ブースの展示の様子を示す。第40回プラズマ・核融合学会年会では、2件のポスター発表を行った[7, 8]。

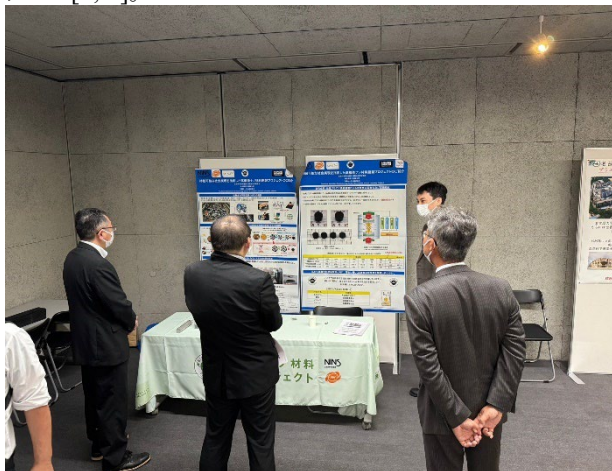


図5. グローバルプラズマフォーラム in 青森企業ブース展示の様子

3.3 特許

本事業では研究開発の成果を民間との共同研究や公的研究資金の獲得に繋げ、最終的には社会実装することを目標としている。そのため研究成果の権利化についても積極的に行っている。これまでに、多孔質炭素材料における高融点不純物の除去法については既に特許査定され、活性炭粉末焼結体の製造方法については特許出願し、現在審査中である。

3.4 民間企業との共同研究

穴織カーボン株式会社と共同研究を進めている。この共同研究における研究資金を用いて、前述したガス吸着量測定装置を導入した。本装置は活性炭のみならずさまざまな種類の多孔質材に係る細孔特性を評価することができるので、今後、本装置を用いて他分野の民間企業との共同研究につながることも期待される。

3.5 海外の大学との共同研究

本事業の国際的な社会実装を志向して、海外の大学、研究機関との国際共同研究に繋げる取り組みも行っている（図6）。核融合研究における人的ネットワークも活用し、活性炭研究に精通するタイ・ワライラック大学との打ち合わせを行う機会を得た。先方の専門とする化学分野の知識、知見や専門的な実験設備を踏まえて、互いの強みを活かした共同研究のテーマを模索中である。



図6. タイ・ワライラック大学との打ち合わせ

4. 今後の課題

研究環境の整備が一通り完了し、高機能活性炭の開発を効率的に進めることができるようになった。シリカ除去手法や賦活条件の最適化など、性能向上においてはまだ改善の余地がある。当該分野に関する専門性を向上させ、新しいアイデアを提案していきたい。同時に特許の取得に向けた有益な研究成果をだせるようにしていきたいと考えている。また、新たに導入した装置を活かして、ますます多くの共同研究を展開していきたい。

参考文献

- [1] 村瀬尊則、他、Plasma Fusion Res. 11, 1205030 (2016).
- [2] 村瀬尊則、他、J.PlasmaFusionRes.Vol.93, No.5 (2017) 213-221
- [3] 柳原悠人、他、第39回プラズマ・核融合学会年会、富山、2022年11月22-25日、23P57.
- [4] 柳原悠人、他、第1回高専研究国際シンポジウム (KRIS 2023)、東京、2023年3月1-2日、No.205.
- [5] 柳原悠人 他、第40回プラズマ・核融合学会年会、盛岡、2023年11月27-30日、28P39.
- [6] 中川翔、他、第40回プラズマ・核融合学会年会、盛岡、2023年11月27-30日、28P40.
- [7] 柳原悠人 他、グローバルプラズマフォーラム in 青森、青森、2023年10月15-18日、P-39.
- [8] 中川翔、他、グローバルプラズマフォーラム in 青森、青森、2023年10月15-18日、P-41.