

Title	Conversion of Biomass Waste into Functional Carbon Materials for Sustainable Energy Applications
Author(s)	Destyorini, Fredina
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/95967
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

Abstract of Thesis

Name (FREDINA DESTYORINI)	
Title	Conversion of Biomass Waste into Functional Carbon Materials for Sustainable Energy Applications (持続可能なエネルギー利用のためのバイオマス廃棄物の機能性炭素材料への変換)
<p>Abstract of Thesis</p> <p>In this dissertation, several facile and efficient synthesis approaches are developed for converting underutilized Indonesian biomass waste, specifically coconut coir, into cost-effective and sustainable functional carbon materials. These materials show significant promise for applications in energy conversion and storage technologies. The electrochemical performance of these carbon materials as electrodes in Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFCs) and Lithium-Ion Batteries (LIBs), was evaluated, resulting the following key findings:</p> <p>Chapter 1 explores the use of amorphous carbon materials derived from direct pyrolysis of coconut coir for producing conductive carbon composite paper (CCP) as gas diffusion layer (GDL) of PEMFC. The carbon materials, derived through direct pyrolysis, are used to fabricate CCP. Optimal compositions, such as 70 wt.% carbon fibers and 10 wt.% carbon powder, achieve the highest electrical conductivity at 2.22 S/cm. The study emphasizes the importance of surface characteristics, including low surface roughness and small pores, in enhancing PEMFC performance. The findings reveal the promising potential of CCPs developed from coconut coir as sustainable and renewable GDL materials for PEMFC, demonstrating performance comparable to commercially available GDLs.</p> <p>In Chapter 2, the structural improvement of amorphous carbon from coconut coir obtained by the method in Chapter 1 was carried out through a Ni-based catalytic graphitization. This strategy efficiently allows for the formation of graphitic carbon nanostructures at 1200 °C, a temperature lower than that required for conventional graphitization methods, saving energy and simplifying production steps. The resulting well-ordered graphitic structure exhibits good electrochemical performance with a specific capacity of 192.6 mAh/g, good cycling stability, and excellent rate performance. The good electrochemical characteristics of this carbon graphite make it a promising alternative material for LIB anodes, providing a sustainable solution with a low-energy process and renewable raw materials.</p> <p>In Chapter 3, an advanced synthesis approach is introduced to further improve the structure and properties of the previously synthesized graphitic carbon material from Chapter 2, by employing a combined Ni-based catalyst and potassium hydroxide (KOH) in a one-pot graphitization process. This simple and cost-effective synthesis method allows for the simultaneous generation of graphitic and pore structures, resulting in porous graphitic carbon materials. The synergistic interaction between K and Ni metals initiates the formation of an early-stage graphitic structure at a lower temperature, around 800 °C, promoting the growth of larger graphitic clusters. As the LIB anode, 1000-ANi-KOH delivers the highest reversible capacity of 451.83 mAh/g at 0.05C, related to the optimal contribution between the graphitic structure and surface area. The unique characteristics of porous graphitic carbon enhance Li-ion and electron transport, resulting in increased active sites and improved performance. Incorporating the Ni-KOH reaction in this one-pot graphitization process proves to be a highly effective and energy-efficient method for converting coconut coir waste into a suitable material for LIB anodes.</p> <p>In summary, this research demonstrates prospective technology for biomass conversion into functional carbon material as new insight on shifting technology from fossil based to bio-based resources. Valorizing agricultural waste not only addresses environmental concerns by providing eco-friendly waste management but also reduces reliance on fossil fuels to achieve sustainable energy solutions.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (FREDINA DESTYORINI)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 宇山 浩
	副 査	教授 中山 健一
	副 査	教授 佐伯 昭紀
	副 査	教授 藤内 謙光
	副 査	教授 桑畑 進
	副 査	教授 林 高史
	副 査	教授 今中 信人
	副 査	教授 櫻井 英博
	副 査	教授 南方 聖司
	副 査	教授 古川 森也
	副 査	教授 能木 雅也
	副 査	教授 古澤 孝弘

論文審査の結果の要旨

本論文は、インドネシアのバイオマス廃棄物、特にココナッツファイバーを持続可能な機能性炭素材料に変換するための効率的な合成アプローチと固体高分子形燃料電池 (PEMFC) とリチウムイオン電池 (LIB) の電極への応用についてまとめたものであり、その内容の要約は以下である。

第 1 章では、PEMFC のガス拡散層(GDL)として導電性カーボンコンポジットペーパー(CCP)を製造するために、ココナッツファイバーの直接熱分解から得られるアモルファスカーボン材料を使用している。直接熱分解によって得られた炭素材料は CCP を製造するために用いられ、70wt%の炭素繊維と 10wt%の炭素粉末からなる最適な組成は 2.22S/cm という最高の導電率を達成した。この結果は PEMFC の性能向上における低い表面粗さと小さな孔を含む表面特性の重要性を示すものである。また、ココナッツファイバーから開発された CCP が持続可能で再生可能な PEMFC 用 GDL 材料として、市販の GDL に匹敵する性能を示す有望な可能性を明らかにしている。

第 2 章では、第 1 章の方法で得られたココナッツファイバーからのアモルファスカーボンの構造改善をニッケルベースの触媒グラファイト化によって実施している。この方法によって従来の黒鉛化法よりも低温の 1200°C で効率的に黒鉛状炭素ナノ構造を形成することができ、省エネルギー化と製造工程の簡素化が可能になった。得られたグラファイト構造は比容量 192.6 mAh/g の良好な電気化学的性能、良好なサイクル安定性、優れたレート性能を示している。このカーボングラファイトの良好な電気化学特性から LIB アノード用の代替材料として有望であり、低エネルギープロセスと再生可能な原材料を用いた持続可能なソリューションを提供している。

第 3 章では、第 2 章で合成した黒鉛質炭素材料の構造と特性をさらに改善するため、ニッケルベースの触媒と水酸化カリウム (KOH) を併用したワンポット黒鉛化プロセスによる高度な合成法を報告している。この簡便でコスト効率性の高い合成法により黒鉛構造と細孔構造を同時に生成することができ、多孔質黒鉛質炭素材料が得られる。カリウムとニッケルの相乗的相互作用により約 800°C といった低温で初期段階のグラファイト構造が形成され、より大きなグラファイトクラスターの成長が促進されている。LIB 負極として 1000-ANi-KOH は 0.05°C で 451.83mAh/g という最高の可逆容量を示したが、黒鉛構造と表面積の最適な寄与が関係している。多孔質グラファイトカーボンのユニークな特性はリチウムイオンと電子の輸送を促進し、その結果として活性サイトが増加し、性能が向上している。このワンポット黒鉛化プロセスにニッケル-KOH 反応を取り入れることで、ココナッツファイバー廃棄物を LIB 負極に適した材料に変換するための極めて効果的でエネルギー効率の高い方法であることが示されている。

以上のように、本論文は化石資源からバイオベース資源への技術シフトに関する新たな洞察として、バイオマスの機能性炭素材料への変換技術の可能性を明らかにしている。農業廃棄物の有効利用は環境に優しい廃棄物管理を提供することで環境問題を解決するだけでなく、持続可能なエネルギー解決策を達成するために化石燃料への依存を低減できることを実証している。これからのバイオマス由来材料開発にとっても有望な、廃棄物のないプロセスと有害な廃棄物の価値化という二つの戦略の下で、様々な持続可能な実用的な材料を製造する方法を実証している。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。