

## 【助成 41-30】

### 炭素材料の複合利用によるバイオマス由来カーボンを用いた多機能導電助剤の開発

研究者代表 日本大学 工学部 助教 江口卓弥

共同研究者 日本大学 工学部 教授 渡部仁貴

共同研究者 日本大学 工学部 上席研究員 千葉玲一

#### 〔研究の概要〕

セルロース抽出工程で排出されたケナフ残渣のバイオ廃棄物から製造したバイオマス由来カーボンを電気二重層キャパシタ(EDLC)の電極用導電助剤として利用した。ケナフ由来のカーボンと工業的に使用されている炭化水素由来のカーボンブラックの混合比を変えた電極を用いて EDLC セルを組み立てた。バイオマス由来カーボンの単独使用では EDLC 電極に十分な電子伝導が得られなかったが、バイオマス由来カーボンとカーボンブラックを併用することで安定した導電パスを形成することができた。100 W/kg 以下の電力密度において、市販導電助剤のみからなる電極とはほぼ同等であることがわかった。導電性電極添加剤へのバイオマス由来カーボンの応用を通して、ケナフ残渣の新たな用途の可能性を見出した。

#### 〔研究経過および成果〕

電気二重層キャパシタ(EDLC)は、導電体と電解液の界面における電気二重層の形成と放出に基づくエネルギー貯蔵デバイスである。EDLC 電極は、活物質としての活性炭、導電性添加剤、バインダー、集電体から構成される。導電性添加剤は、電極内の活物質粒子間および集電体と活物質粒子間の電氣的接触を高める。その結果、電極抵抗が減少し、EDLC の出力特性と容量特性の改善につながる。石油や天然ガスなどの炭化水素に由来するカーボンブラックは、電極の導電性添加剤として広く使用されている。ケナフは CO<sub>2</sub> 削減に有効な植物として注目され、ケナフ由来のバイオマス資源を活用する研究が活発に行われている。ケナフから抽出された繊維は、紙やプラスチックなど様々な産業で利用されている。ケナフ由来繊維の利用を示す例は数多くあるが、繊維抽出後のケナフ残渣の利用を示す例はほとんどない。

本研究では、ケナフ残渣から製造したケナフ由来カーボン(バイオマス由来カーボン)を EDLC 電極の導電性添加剤として適用した。ケナフ由来カーボンとカーボンブラックを組み合わせることで、電極内に電子伝導パスを形成させた。ケナフ由来カーボンを用いた EDLC セルの電気化学的性能を評価した。

導電性添加剤としてケナフ由来カーボンを 100%または 75%(残り 25%はカーボンブラック)含有する電極を用いた EDLC セルでは、サイクリックボルタモトリー(CV)測定および充放電試験において、有効な蓄電機能を示さなかった。このことは、正極と負極の両方で電気伝導度が低いため、セルの容量と静電容量が制約されたことを示している。加えて、交流インピーダンス測定および等価回路を用いたフィッティング解析において、ケナフ由来カーボンを 100%または 75%の EDLC の電荷移動抵抗は  $10^4 \sim 10^5 \Omega$  を示した。電荷移動抵抗が非常に大きく、電極内の二重層形成

に伴う電荷移動が非常に困難であることを示唆している。従って、ケナフ由来カーボン 100%または 75%の電極では電荷蓄積のための効果的な電子導電性の経路を確立することができなかつた。しかし、ケナフ由来カーボン 50%の EDLC は蓄電機能を示し、電荷移動抵抗は 3.3 Ω であつた。ケナフ由来カーボン 50%を用いた電極では、電極の電気伝導度がパーコレーション閾値に達し、電極間の内部抵抗が減少したため、EDLC セルの比容量と静電容量を確認することができた。ケナフ由来カーボン 50%EDLC セルと市販導電助剤を用いた EDLC セルの性能比較を図 1 に示す。出力密度 100 W/kg におけるケナフ由来カーボン 50%EDLC セルと市販導電助剤を用いた EDLC セルのエネルギー密度はそれぞれ 2.4 Wh/kg と 3.2 Wh/kg であり、市販導電助剤のみからなる電極とケナフ由来カーボン 50%を用いた電極はほぼ同等の性能であつた。これはケナフ由来カーボンとカーボンブラックを組み合わせることで、電荷移動抵抗を減少させることができ、環境に優しい導電性添加剤としてのバイオ由来カーボンの可能性を示している。

ケナフ残渣のバイオ廃棄物から調製したバイオカーボンを、EDLC 電極の導電性添加剤として利用した。EDLC 電極は、50%のケナフ由来カーボンと 50%の

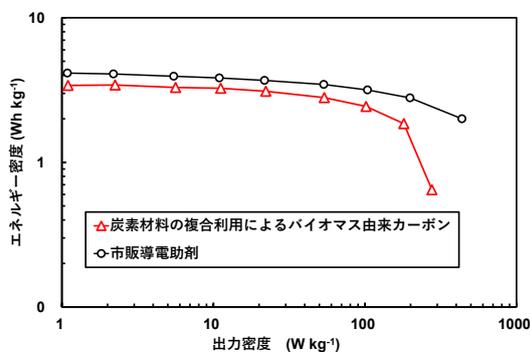


図 1 ケナフ由来カーボン 50%EDLC セルと市販導電助剤を用いた EDLC セルの性能比較

カーボンブラックから構成され、安定した電子伝導パスを形成した。複合した導電性添加剤を使用した EDLC セルのエネルギー密度は、100 W/kg の出力密度まで、市販導電助剤のみを使用した場合とほぼ同等であつた。カーボンブラックと組み合わせた EDLC 電極の主要成分としてケナフ由来カーボンを利用することで、バイオ廃棄物由来の導電性添加剤を導入しても EDLC の性能を維持できることが証明された。本研究は、バイオ廃棄物由来の導電性添加剤が EDLC 電極の性能を強化する上で有効であることを明らかにし、将来、より環境に優しく持続可能なエネルギー貯蔵システムへの道を開くものである。

[発表論文]

1. T. Eguchi, T. Naganuma, R. Chiba, K. Watanabe, Y. Abe, S. Kumagai, “Application of Kenaf-derived Carbon as Conductive Electrode Additive in Electric Double-layer Capacitors”, *International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources*, Vol. 27 No. 1, 663 2025 <https://doi.org/10.5188/ijmsmer.663>
2. Taiki NAGANUMA, Reichi CHIBA, Kimitaka WATANABE, Daisuke TASHIMA, Seiji KUMAGAI, Takuya EGUCHI, “Electric Double-layer Capacitor Electrodes Using Kenaf Residue-derived Carbonaceous Conductive Agent”, The International Council of Electrical Engineering Conference, 2 July, 2024
3. 長沼 汰樹, 千葉玲一, 渡辺仁貴, 田島大輔, 熊谷誠治, 江口卓弥 「ケナフ由来カーボンの熱処理温度が電気二重層キャパシタの充放電特性に与える影響」日本素材物性学会 令和6年度(第34回)年会次第 2024年6月