

プレス発表資料



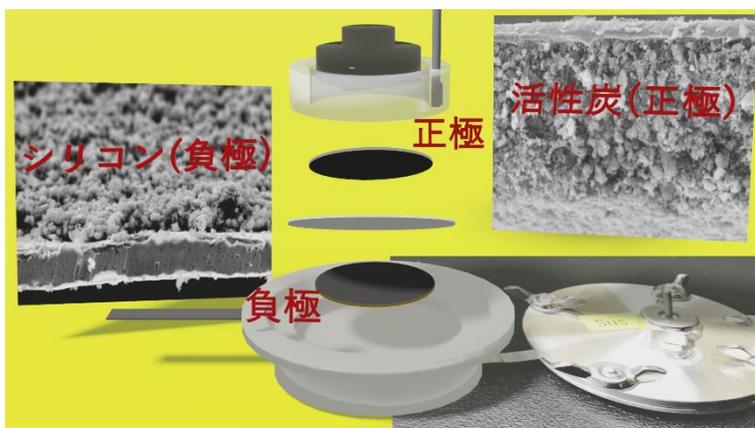
令和 3 年 9 月 1 日
秋 田 大 学

秋田大学の研究成果が学術雑誌「Electrochimica Acta」に掲載 世界最高レベルのエネルギー密度を示す リチウムイオンキャパシタを実現 —負極に安価なミクロンサイズのシリコン粒子を利用—

秋田大学大学院理工学研究科博士後期課程 3 年次の江口卓弥と熊谷誠治教授らの研究グループは、電極材料の質を基準として、世界最高レベルのエネルギー密度を有するリチウムイオンキャパシタを実現しました。正負極材料の選択と正負極間の電気量分担の最適化により、極めて高いエネルギー密度を達成しました。

脱炭素社会では、電気を効率よく貯蔵放出できる蓄電デバイスが重要な役割を果たします。既存のリチウムイオン電池だけでは満たせない技術的な要求もあります。本研究成果は、エネルギー密度と出力密度の双方が高いキャパシタ系蓄電デバイスの開発に関わるもので、脱炭素社会における蓄電技術の多様化に貢献するものです。

国際電気化学会が刊行する学術雑誌「Electrochimica Acta」への正式掲載に先立ち、本研究成果に関する論文が、現地時間の 8 月 19 日にオンラインにて公開されました。



【発表論文】

雑誌名：Electrochimica Acta (出版社：Elsevier, オンライン公開：8 月 19 日)

論文題目：Energy density maximization of Li-ion capacitor using highly porous activated carbon cathode and micrometer-sized Si anode

著者：Takuya Eguchi, Keiichiro Sawada, Masahiro Tomioka, Seiji Kumagai* (*：責任著者)

DOI：https://doi.org/10.1016/j.electacta.2021.139115

別紙「研究成果の詳細」も併せてご確認ください。

【お問い合わせ先】

秋田大学 大学院理工学研究科

数理・電気電子情報学専攻 教授 熊谷誠治

電話：018-889-2328/FAX：018-889-2328

Email：kumagai@gipc.akita-u.ac.jp

研究成果の詳細

1 研究背景

自動車の電動化は、蓄電デバイスに高いエネルギー密度と入出力(電力)密度、耐久性(サイクル寿命)、低価格を強く求めます。現時点でその要求に対応できる製品として、

- (1) 高いエネルギー密度を実現できるリチウムイオン電池
- (2) 高い入出力密度を実現できる電気二重層キャパシタ
- (3) (1)と(2)の中間的な性能を有するリチウムイオンキャパシタ

があります。

リチウムイオンキャパシタは、リチウムイオン電池の負極機構と電気二重層キャパシタの正極機構を組み合わせたキャパシタ系蓄電デバイスです(図1参照)。電気二重層キャパシタと同等の入出力密度を保ちつつ、数倍以上のエネルギー密度を示します。しかしながら、リチウムイオン電池のエネルギー密度と比較すると、それは10~5分の1程度です。それゆえ、高い入出力密度を維持したまま、リチウムイオン電池に近いエネルギー密度を有するリチウムイオンキャパシタの実現が望まれています。

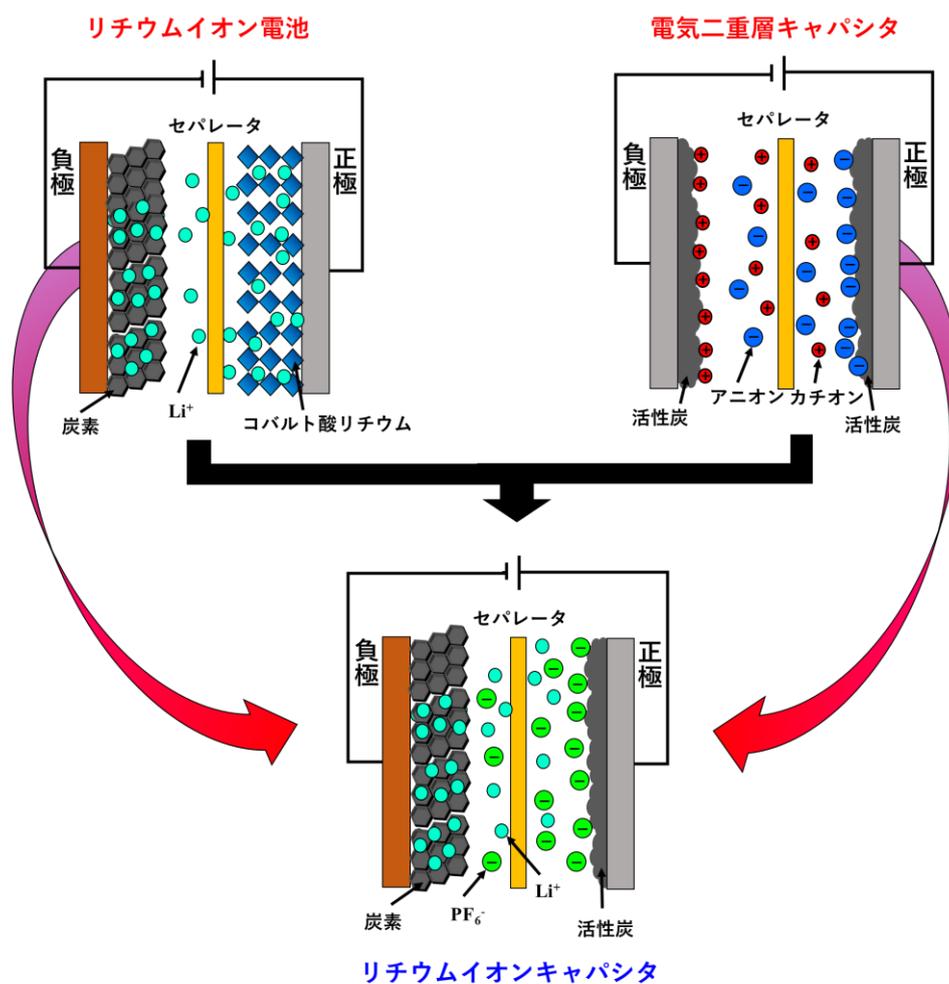


図1 リチウムイオンキャパシタの原理

2 研究成果

大学院理工学研究科博士後期課程3年次の江口卓弥と熊谷誠治教授らの研究グループは、リチウムイオンキャパシタの高エネルギー密度化を実現するため、正極材料に高比表面積の活性炭を、負極材料にシリコンを選択しました。

シリコンはリチウムイオン電池の負極材料として使用され始めており、既存材料である黒鉛の10倍程度のリチウムイオン吸蔵性能を有しています。一方、繰り返しの充放電に弱いため、シリコン単体では使用されず、黒鉛に少量添加して使用されています。また、入出力密度と耐久性を高めるため、ナノ粒子化したシリコンも使用されています。高い入出力密度と耐久性が望まれるキャパシタ系蓄電デバイスにおいて、負極材料にナノ粒子化されていないミクロンサイズのシリコンのみを使用することは通常行われません。

一方、表面積が1gあたり3000m²を超える活性炭は、リチウムイオン電池の正極材料であるコバルト酸リチウムなどリチウム含有遷移金属酸化物と同等の機能を有することを、研究グループは見出していました。また、シリコン粒子を電極に固定化するため使用されるバインダに、ポリイミドという加熱で強固になる樹脂を用いれば、安価なミクロンサイズのシリコンでも、リチウムイオンキャパシタの負極として十分に機能すると予測しました。同時に、活性炭正極とシリコン負極の動作電気をマッチングすることで、過大な電極材料を少なくしました。

以上のアプローチの結果、電極材料の質量を基準として、400 Wh kg⁻¹のエネルギー密度を有するリチウムイオンキャパシタを実現しました。他の研究グループで実現できているリチウムイオンキャパシタのエネルギー密度の最高値は300 Wh kg⁻¹ [1] であり、400 Wh kg⁻¹は現時点で世界最高レベルと言えます。また、エネルギー密度が高いだけでなく、出力密度も高く維持できることを示しました(図2参照)。

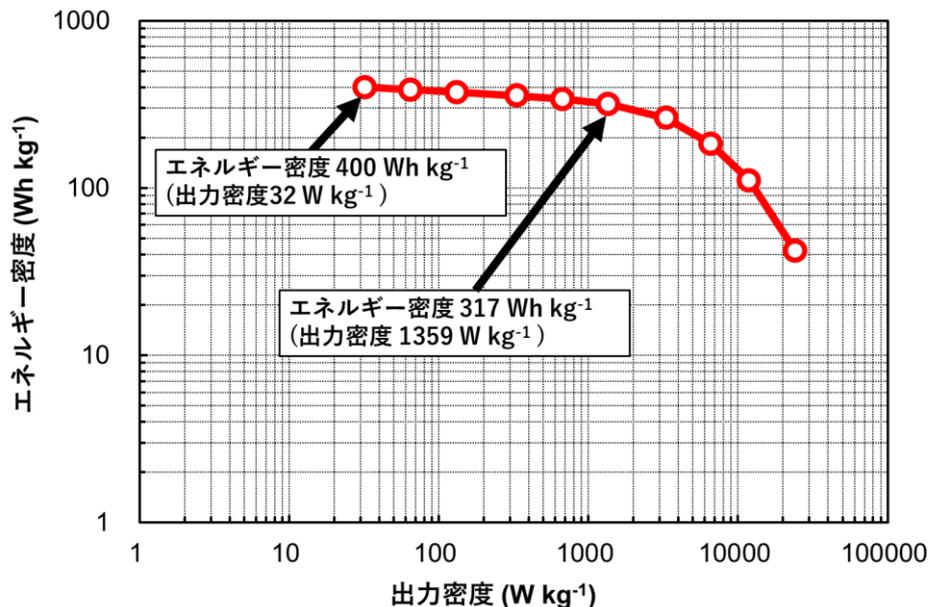


図2 高比表面積活性炭を正極に、安価なミクロンサイズのシリコンを負極に使用したリチウムイオンキャパシタの出力密度とエネルギー密度の関係(活性炭とシリコンの合計質量を基準)

研究グループはリチウムイオン電池の研究も実施しています。自動車用途で一般的な正極材料と黒鉛を用いたリチウムイオン電池の、電極材料の質量を基準としたエネルギー密度はおよそ 300 Wh kg^{-1} と計測されています。すなわち、本研究で開発したシリコン系リチウムイオンキャパシタは、リチウムイオン電池に匹敵するエネルギー密度を有しています。

[1] X. Dai et al., Journal of Power Sources, 498 (2021) 229912.

3 研究の意義

再生可能エネルギーのさらなる社会導入や自動車の電動化など、脱炭素社会の実現には新たな技術革新が必要です。高い効率で電力を貯蔵放出できる蓄電デバイスは、脱炭素社会のキーテクノロジーになります。蓄電デバイスのエネルギー密度と入出力密度はトレードオフの関係にあり、それらの両立には技術的な困難が伴います。また、特殊な材料が必要となる場合も多く、蓄電デバイスの製造費増加にもつながります。

本研究成果は、高比表面積活性炭がリチウムイオン電池の正極材料と同等の働きをすることを見出し、リチウムイオンキャパシタの負極材料には不適と考えられてきたミクロンサイズのシリコンを使用することで、世界最高レベルのエネルギー密度を有するリチウムイオンキャパシタを実現しました。蓄電デバイスへの技術的要求がより高まる脱炭素社会において、本研究成果は、蓄電デバイスの高性能化と多様化に寄与するもので、将来的に蓄電デバイスの選択の幅を広げます。さらに、リチウムイオンキャパシタの負極に使用されたシリコンの性能低下メカニズムを明らかにしたことで、今後の技術開発の方向性も示しました。

4 今後の展開

エネルギー密度と耐久性(サイクル寿命)もトレードオフの関係にあります。負極に使用されるバインダの改良や電解液の組成の工夫することで、高いエネルギー密度を維持したまま、リチウムイオンキャパシタの耐久性を高めていきます。

5 研究プロジェクトについて

本研究は、主に日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B) 19H02121(代表:熊谷誠治)、同 特別研究員奨励費 21J15515(代表:江口卓弥)の支援を受けて行われたものです。