

令和 4 年 5 月 22 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02121

研究課題名(和文)もみ殻由来C/SiO<sub>x</sub>混合系のLiイオン蓄電デバイス負極活物質としての機能解明研究課題名(英文)Functionality elucidation of rice husk-derived C/SiO<sub>x</sub> composite as the anode active material of Li-ion energy storage devices

研究代表者

熊谷 誠治 (Kumagai, Seiji)

秋田大学・理工学研究科・教授

研究者番号：00363739

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,600,000円

研究成果の概要(和文)：もみ殻の炭化物は、非晶質炭素中に非晶質SiO<sub>x</sub> (x: 0～2)がナノレベルで分散し、さらに細孔が発達したナノ構造で構成される。本研究では、比容量が大きく、電流応答性に優れ、サイクル寿命が長いC/SiO<sub>x</sub>系Liイオン電池およびLiイオンキャパシタ向け負極活物質をもみ殻から製造した。活物質中のSiO<sub>x</sub>含有率など材料物性を変化させ、もみ殻由来C/SiO<sub>x</sub>活物質のLiイオン吸蔵放出特性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電気自動車の動力源や再生可能エネルギーの貯蔵装置として、Liイオン電池やLiイオンキャパシタなど電気化学系蓄電デバイスの重要性が高まっている。本研究では、それら蓄電デバイスの負極活物質を、農業廃棄物であるもみ殻を原料に製造し、そのLiイオン吸蔵放出特性を明らかにした。また、その負極活物質としての性能を高めることにも成功した。本研究成果は、循環型社会の実現と社会の脱炭素化に貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：Carbonized rice husk has an amorphous carbon nano-structure in which amorphous SiO<sub>x</sub> (x: 0 to 2) is dispersed and which allows the development of pores. In the present study, C/SiO<sub>x</sub>-based anode active materials for Li-ion batteries and Li-ion capacitors with high specific capacity, excellent current response, and long cycle-life were produced from rice husk. The Li-ion uptake and release properties of the rice husk-derived C/SiO<sub>x</sub> active materials were clarified by changing the material properties such as SiO<sub>x</sub> content therein.

研究分野：環境・エネルギー工学，電力工学，電気材料学

キーワード：蓄電デバイス もみ殻 電極活物質 リチウムイオン電池 リチウムイオンキャパシタ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

エネルギー密度の高い蓄電デバイスである Li イオン電池 (LIB) は、電力系統用蓄電システムおよび電気自動車用途など、将来的に大きな需要が期待される。一方、LIB ほどの高いエネルギー密度は保持しないものの、出力密度とサイクル寿命に優れた Li イオンキャパシタ (LIC) が、既存の電気二重層キャパシタのエネルギー密度では不十分であった分野、例えば自動車のパワーステアリング電動化用途などにおいて、急速に拡大しつつある。Li イオンをキャリアとする電気化学系蓄電デバイスの高性能化および低価格化が社会から強く要請されて現況において、それらの新規電極材料の開発が積極的に行われている。

電気化学系蓄電デバイスの電極は一般に集電体、活物質、バインダ、導電助剤で構成され、活物質は電荷の授受によるエネルギーの入出力を担う最も重要な材料である。LIB と LIC の負極活物質には、グラファイト (黒鉛) やハードカーボン (難黒鉛化炭素) などの炭素 (C) 系材料が広く用いられている。しかし、それらの単位質量当たりの Li イオン吸蔵放出容量 (比容量) は 350 mAh/g 程度と限られている。近年、大きな比容量を実現できるシリコン (Si) および酸化シリコン ( $\text{SiO}_x$ ,  $x: 0 \sim 2$ ) といった Si 系負極活物質が注目を浴びている。Si 単独では 3000 mAh/g を超える大きな比容量を有するものの、Li イオン吸蔵時に大きな体積膨張が生じる。そのため、亀裂や変形に起因した Si 粒子間および粒子と集電体との隔離が生じることで、Si 系活物質のサイクル寿命は、C 系より極めて短いという技術課題がある。

C/Si 複合系負極活物質はその一つの解決策であり、性能およびコストの面で実用性のある活物質の開発が強く望まれている。研究代表者はもみ殻の有効活用に関する研究経験から、600 ~ 1200 で炭化したもみ殻中に非晶質の  $\text{SiO}_x$  が非晶質の C 中にナノレベルで分散し、幅 2 ~ 10 nm の細孔が発達した微細構造が構築されていることを見出していた。しかし、もみ殻炭の LIB および LIC 負極活物質への応用を見据え、非晶質 C/SiO<sub>x</sub> のナノ混合系において、電解液中の Li イオンがいかにかに吸蔵され、いかにかに放出されるか、Li イオンの吸蔵容量および吸蔵放出効率はこの程度なのかという学術的な問いが存在した。また、Li イオン吸蔵放出の時間応答、その吸蔵放出の繰り返しに対する耐性はどの程度なのか、さらには、粒径、組成およびナノ構造の最適化により、実際の LIB および LIC の負極活物質としての性能はこの程度まで向上するのかという工学的な課題も存在した。

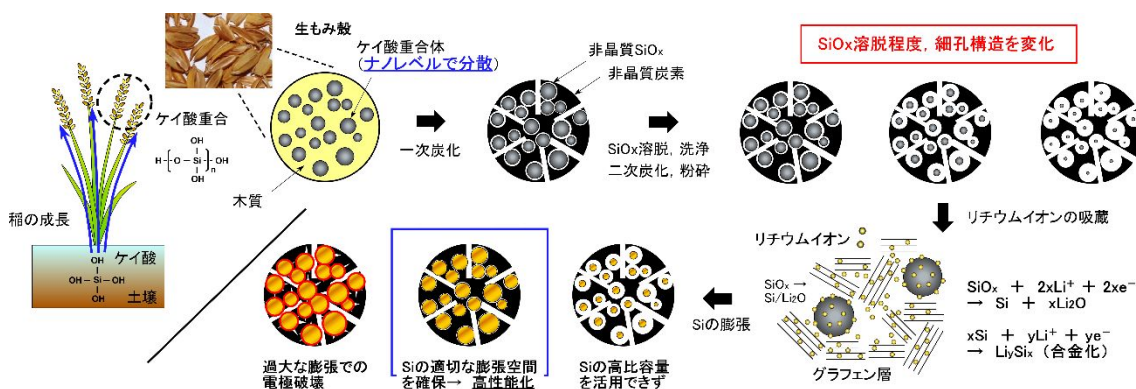


図1 もみ殻由来非晶質 C/SiO<sub>x</sub> 活物質の製造および Li イオン吸蔵放出機構の仮説概念図

図1にもみ殻由来非晶質 C/SiO<sub>x</sub> 活物質の製造およびその Li イオン吸蔵放出機構の仮説を示す。C/SiO<sub>x</sub> 混合系の Li イオン吸蔵放出機構として、供給される Li イオンによる SiO<sub>x</sub> の還元反応により生成された Si が、3000 mAh/g 程度の Li イオン吸蔵放出容量を示すことで、C/SiO<sub>x</sub> 活物質は高い比容量を示すと想定される。C 領域は、従来の炭素材料としての Li イオンの吸蔵放出の他、導電性の低い SiO<sub>x</sub> 領域への電子の導電パスとしての機能も担う。また、生成された Si が Li イオンを吸蔵放出する際、その大きな膨張収縮のため、電極としての構造崩壊が進むと予測される。そのため、SiO<sub>x</sub> を前もって部分的に溶脱することで、Si 含有率を低下させつつ、Si の膨張収縮の緩衝空間をつくり出す。そのことで、電極としての十分なサイクル寿命が確保できると予測される。以上の仮説を検証しつつ、その Li イオン吸蔵放出機構を確認修正することで、上記の学術的な問いを明らかにする。また、比容量が高く、電流応答性に優れ、さらにサイクル寿命が長い Li イオン蓄電デバイスの負極活物質の実現という工学的課題も解決する。本研究は、稲作が盛んで、人口も膨大である中国やインドなどのアジア地域において、農業廃棄物の有効利用と電気エネルギーの効率的な利用という大きな社会的インパクトを与えることができる。

### 2. 研究の目的

Li イオンをキャリアとする電気化学系蓄電デバイスの高性能化および低価格化が社会から強く要請されており、それらの新規電極材料の開発が積極的に行われている。そのような現況にお

いて、本研究は以下の3つの目的を有する。国内外に豊富に存在しつつ、農業廃棄物としては再利用用途が限られるもみ殻を原料にする点、さらに、稲が有する天然植物構造を最大限利用して、既存活物質では不可能であったLiイオン吸蔵放出特性の実現を図る点に創造性が存在する。

1. 比較的簡易なプロセスのみで、既存C系およびSi系活物質では得られない優れたLiイオン吸蔵放出特性を有する非晶質C/SiO<sub>x</sub>活物質を、もみ殻を原料に創製する。また、製造条件と材料物性の相関を明らかにする。
2. もみ殻由来非晶質C/SiO<sub>x</sub>活物質のLiイオンの吸蔵放出特性の把握およびその基礎過程を解明する。
3. リチウムイオン電池およびリチウムイオンキャパシタという実際の蓄電デバイスの負極活物質としての性能と、組成、微細構造や粒径との相関を追跡することで、材料物性の最適化を行い、それら蓄電デバイスの負極活物質としての性能を見極める。

### 3. 研究の方法

#### (1) もみ殻由来C/SiO<sub>x</sub>活物質の製造パラメータと材料物性の相関解明

もみ殻を窒素雰囲気中で一次炭化する。一次炭化したもみ殻炭は水酸化ナトリウム水溶液に浸漬し、もみ殻炭中から非晶質SiO<sub>x</sub>の溶脱を行う。蒸留水でもみ殻炭を洗浄した後、同じく窒素雰囲気中で二次炭化を行う。二次炭化を経たもみ殻炭に対して、遊星型ボールミルを使用して微粉状の活物質にする。

(ア)炭化条件：一次炭化温度と時間、二次炭化温度と時間、(イ)SiO<sub>x</sub>溶脱条件：水酸化ナトリウム水溶液濃度、浸漬温度、時間、(ウ)粉碎条件：粉碎ボール直径・数、粉碎容器回転数、回転時間。(ア)~(ウ)の製造パラメータを変化させ、活物質の製造パラメータと得られる物性の相関を明らかにし、特徴を持たせた複数の活物質を準備する。

#### (2) C/SiO<sub>x</sub>活物質の電極化とリチウムイオン吸蔵放出基礎特性の解明

微粉化した活物質、導電助剤、電極バインダと溶媒を混合し、それをミキサーで攪拌することで、スラリーを製造する。そして、スラリーを集電極となる銅箔に塗工し、円形に打ち抜き、電極とする。活物質のLiイオン吸蔵放出特性は、電極と金属Liから構成されるセル(ハーフセル)で評価する。活物質の電極化と特性評価の概略を図2に示す。電極と金属Liの間にセパレータを挿入し、一般的なリチウムイオン電池用電解液を注入し、セル容器を封止する。一定の電流密度で、活物質中からLiイオンを放出させ、最大比容量を求める。その後、Liイオン吸蔵放出比容量の電流密度依存性(レート特性)を評価する。さらに、電流密度一定のもと、Liイオン吸蔵放出を繰り返し、負極活物質のサイクル特性を評価する。得られた結果をもとに、有望なC/SiO<sub>x</sub>活物質を選定する。

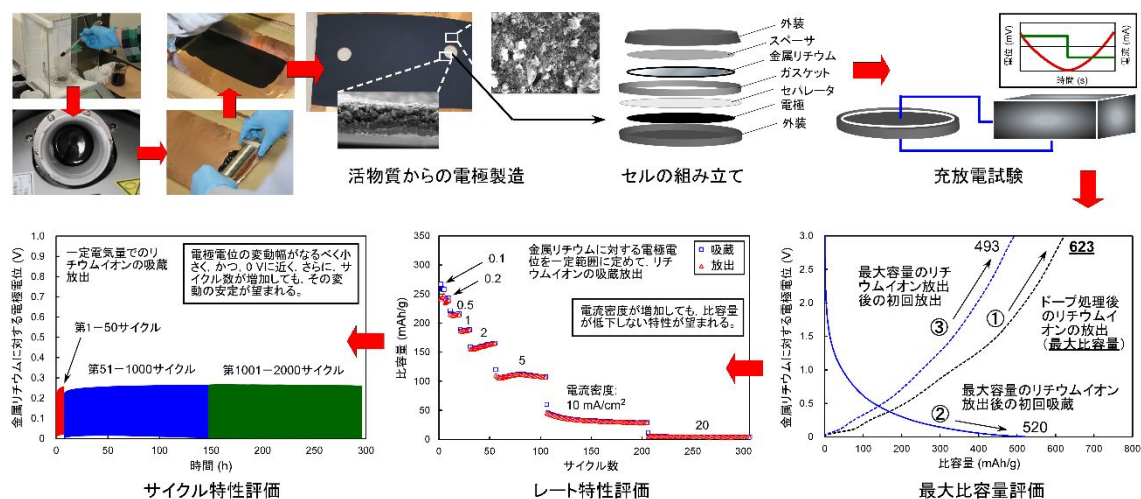


図2 活物質電極化とLiイオン吸蔵放出基礎特性評価の方法概略図

Liイオン吸蔵および放出時の電極の表面形状、組成、微細構造などの物性を調査し、活物質の物性とLiイオン吸蔵放出特性の関係を明らかにする。特に、X線光電子分光分析により、Liイオン吸蔵時の活物質中のLi、C、O、Siの結合状態を明らかにする。活物質に導電助剤を添加し、バインダを用いて集電極に結着させることでハーフセル用の電極を作製する。未処理電極、Liイオン電池用電解液に浸漬し、その後乾燥後の電極の他、ハーフセルを用いて活物質にLiイオンを吸蔵させた状態の電極、さらに、Liイオンを吸蔵させた後に放出させた電極を準備する。それら電極に対して、Arイオンスパッタを用いた深さX線光電子分光分析を実施する。得られた分析結果と先のLiイオン吸蔵放出基礎特性結果から、C/SiO<sub>x</sub>とLiイオンの電気化学的反応が仮説および想定通りに進行しているのかを検証する。同時にC領域とSiO<sub>x</sub>領域の活物質全体比容量への寄与率の差や、Liイオン吸蔵放出が繰り返されることによるその基礎プロセスの変



化なども明らかにする。そして、非晶質 C/SiO<sub>x</sub> ナノ混合系における Li イオンの吸蔵放出基礎プロセスを解明する。

### (3) LIB および LIC セルでの実証試験と活物質性能の評価

LIB および LIC において、有望なもみ殻由来 C/SiO<sub>x</sub> 活物質および既存活物質を負極に適用する。LIB セルでは、車載用途で有望な三元系 Li 含有金属酸化物などを、LIC セルにおいては、一般的に使用される活性炭を正極活物質に用いる。負極製造の場合と同様に、活物質、導電助剤と電極バインダの混合物を集電極であるアルミニウム箔に塗工することで製造する。試験セルを使用して、セルとしての容量、レート特性、サイクル特性の評価を行い、既存活物質との性能比較を行う。そして、LIB および LIC の両方のセルにおいて、比容量およびサイクル寿命について既存活物質より優れた性能を目指す。負極活物質として最適な組成、微細構造と粒径を決定し、もみ殻由来 C/SiO<sub>x</sub> 混合系の LIB および LIC 負極活物質としての性能を明らかにする。

## 4. 研究成果

既存 C 系および Si 系活物質では得られない優れた Li イオン吸蔵放出特性を実現するため、種々の物性を有するもみ殻由来の非晶質 C/SiO<sub>x</sub> 活物質を製造した。製造パラメータを変化させ、活物質の材料物性、特に SiO<sub>x</sub> 含有率、ナノ細孔容積や粒径の相関を明らかにした。表 1 に製造した C/SiO<sub>x</sub> 活物質の製造方法と材料物性の関係を示す。

表 1 製造した C/SiO<sub>x</sub> 活物質の製造方法と材料物性の関係

活物質	製造方法	SiO <sub>x</sub> 含有率 (mass%)	BET 比表面積 (m <sup>2</sup> /g)	マイクロ孔比表面積 (m <sup>2</sup> /g)	メソ・マイクロ孔比表面積 (m <sup>2</sup> /g)
A	予備炭化後 1 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液に 80 で 16 時間浸漬	6.6	166.2	38.7	135.8
B	予備炭化後 1 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液に室温 (25 )で 30 時間浸漬	13.8	122.9	25.1	103.3
C	予備炭化後 1 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液に室温 (25 )で 19 時間浸漬	26.7	113.2	30.9	89.4
D	予備炭化後 1 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液に室温 (25 )で 10 時間浸漬	37.4	86.4	26.2	66.4
E	シリカ溶脱処理なし	45.0	33.0	3.9	30.5

微粉化した活物質、導電助剤、電極バインダと溶媒を混合し、それをミキサーで攪拌することで、スラリーを製造した。そして、スラリーを集電極となる銅箔に塗工し、円形に打ち抜き、Li イオン蓄電デバイスの電極を製造した。電極と金属 Li の間にセパレータを挿入し、一般的なリチウムイオン電池用電解液を注入し、セル容器を封止することでハーフセルを組み立てた。そして、一定の電流密度において、もみ殻由来 C/SiO<sub>x</sub> 活物質に Li イオンを吸蔵および放出させた。製造条件を変化させることで、C/SiO<sub>x</sub> 活物質の Li イオンの吸蔵放出特性が大きく変化することを確認した。活物質中の SiO<sub>x</sub> 含有量を半分程度に減少させ、1000 で熱処理したものが Li イオン吸蔵放出の比容量、時間応答性、さらには吸蔵放出の繰り返しに対する安定性に優れていることが分かった。

X 線光電子分光分析により、Li イオン吸蔵および放出時の活物質中の Li, C, O, Si の結合状態を調査した。さらに、Ar イオンスパッタを用いた深さ方向分析も行った。C/SiO<sub>x</sub> 中の C 成分は無定形炭素と同じ Li イオン吸蔵放出特性を示した。一方、SiO<sub>x</sub> 成分は Li イオンを吸蔵することで、非常に高い Li イオン吸蔵放出容量を有する Si に還元されることはなく、ケイ酸リチウム Li<sub>x</sub>SiO<sub>y</sub> に変換され、一部は Li イオンの吸蔵放出が可能であるが、一部は不活性な状態になることが示された。初回の Li イオン吸蔵にともない約 60 nm の固体界面電解質層を活物質の表面に形成させることも分かった。SiO<sub>x</sub> を事前に半分程度除去しておくこと、初回の Li イオン吸蔵で Li<sub>x</sub>SiO<sub>y</sub> が形成されても、除去された空隙のため電極の膨張が緩和され、電極の構造安定性が保たれることが分かった。すなわち、C/SiO<sub>x</sub> 活物質においては、初回 Li イオンの吸蔵時における SiO<sub>x</sub> 成分の還元反応が、その Li イオン吸蔵放出特性に大きな影響を与えることが示された。

SiO<sub>x</sub> を除去しない場合、SiO<sub>x</sub> を半分程度除去した場合、SiO<sub>x</sub> をほぼ全量除去した C/SiO<sub>x</sub> 活物質を作製した。そして、それらを LIB および LIC の負極活物質として使用し、負極活物質としての性能を評価した。それら 3 種類の C/SiO<sub>x</sub> 活物質を LIB の負極に用いた場合において C/SiO<sub>x</sub> 中の SiO<sub>x</sub> が Li イオン電池のレートおよびサイクル特性に及ぼす役割について調査した。C および SiO<sub>x</sub> の比容量はそれぞれ 375 および 475 mAh/g と計測された。もみ殻由来 C/SiO<sub>x</sub> の初回 Li

イオンの吸蔵放出効率は低いことから、事前に負極に Li イオンを吸蔵させておくプレドープ処理を施した。LIB の充放電電流密度を増加させた場合、SiO<sub>x</sub> を多く含有した方が、電池容量の保持率が高くなった。この結果から、SiO<sub>x</sub> と Li イオンの可逆反応の時間応答が C のそれよりも速いことが示唆された。また、SiO<sub>x</sub> を多く含有した電池は、サイクル試験中の電池容量の低下が最も大きかった。Li イオンの吸蔵放出に伴う SiO<sub>x</sub> の体積膨張による構造崩壊が、電池のサイクル特性を低下させた。

さらに、もみ殻由来 C/SiO<sub>x</sub> 活物質を LIC の負極に使用し、SiO<sub>x</sub> 含有率はそのサイクル特性に与える影響を調査した。この場合、SiO<sub>x</sub> を半分程度除去することで、サイクル特性が顕著に改善した。黒鉛およびハードカーボンの C 系活物質より優れた特性が得られた。LIB と比較し、1 回の充放電において吸蔵放出する Li イオン数が少ない LIC においては、SiO<sub>x</sub> の体積膨張が小さい上、その膨張収縮の緩衝空間を有する SiO<sub>x</sub> を半分程度除去した C/SiO<sub>x</sub> 活物質が、非常に優れた機能を有することが示された。図 3 にもみ殻炭から SiO<sub>x</sub> を半分程度除去した C/SiO<sub>x</sub> 活物質（表 1C）を使用した LIC のサイクル特性を既存黒鉛およびハードカーボンの C 系負極活物質との比較とともに示す。

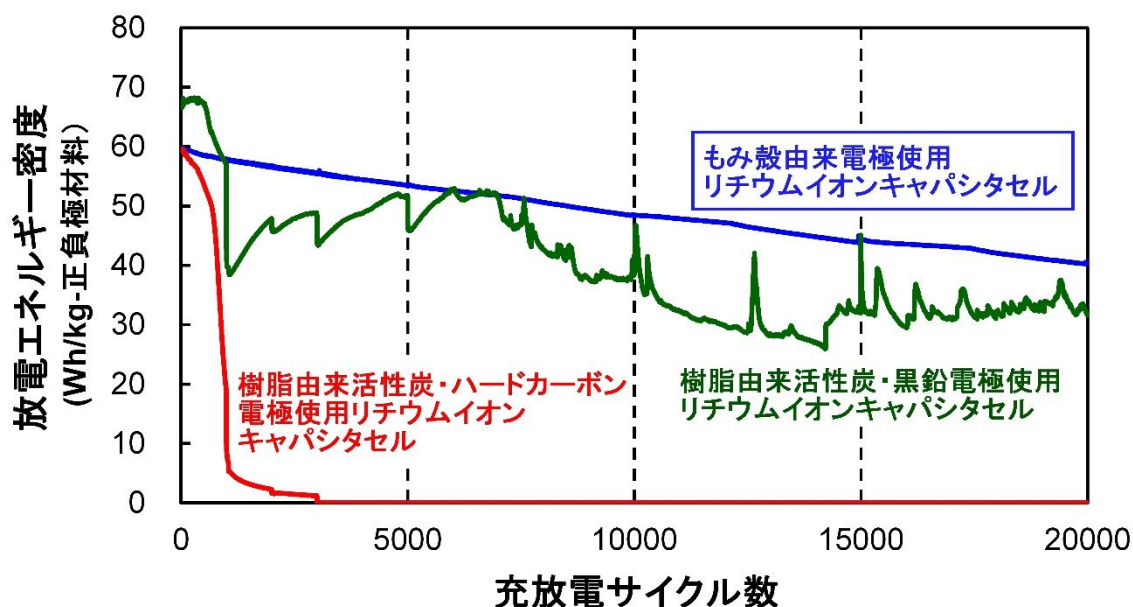


図3 もみ殻由来電極材料（もみ殻炭から SiO<sub>x</sub> を半分程度除去した C/SiO<sub>x</sub> 活物質（表 1C）を負極）に使用した LIC と市販 C 系電極材料を用いた LIC の繰り返し充放電に対する安定性

これまで多くの研究グループは、これまでの電池関連材料の開発経験から、石炭および石油、樹脂や精製化学品などを原料としている。そのため、原料コストおよび複雑な製造工程などの要因もあり、決定的な活物質の開発には至っていない。本研究では、これまでの電池材料開発から一線を画し、コストがゼロである農業廃棄物に原料を求め、さらに、簡易な製造プロセスのみで、新規で高性能な C/SiO<sub>x</sub> 活物質を実現しようとした。SiO<sub>x</sub> を適量除去することで、ナノレベルの緩衝スペースを構築し、ネックとなっていた Si の膨張収縮に起因するサイクル特性の悪化を回避する概念はこれまでにないもので、本研究は国内外で実施されている Li イオン蓄電デバイスの負極活物質の研究に新たな技術展開を引き起こすことができる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Seiji Kumagai, Yusuke Abe, Masahiro Tomioka, Mahmudul Kabir	4. 巻 11
2. 論文標題 Suitable binder for Li-ion battery anode produced from rice husk	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 15784
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-95297-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Takuya Eguchi, Keiichiro Sawada, Masahiro Tomioka, Seiji Kumagai	4. 巻 394
2. 論文標題 Energy density maximization of Li-ion capacitor using highly porous activated carbon cathode and micrometer-sized Si anode	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 139115
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.electacta.2021.139115	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yusuke Abe, Masahiro Tomioka, Mahmudul Kabir, Seiji Kumagai	4. 巻 12
2. 論文標題 Role of SiO <sub>x</sub> in rice-husk-derived anodes for Li-ion batteries	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 975
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-022-04979-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Takuya Eguchi, Yugo Kanamoto, Masahiro Tomioka, Daisuke Tashima, Seiji Kumagai	4. 巻 6
2. 論文標題 Effect of ball milling on the electrochemical performance of activated carbon with a very high specific surface area	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Batteries	6. 最初と最後の頁 22
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/batteries6020022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Takuya Eguchi, Daisuke Tashima, Masumi Fukuma, Seiji Kumagai	4. 巻 259
2. 論文標題 Activated carbon derived from Japanese distilled liquor waste: Application as the electrode active material of electric double-layer capacitors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Cleaner Production	6. 最初と最後の頁 120822
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jclepro.2020.120822	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Seiji Kumagai, Yusuke Abe, Tomoaki Saito, Takuya Eguchi, Masahiro Tomioka, Mahmudul Kabir, Daisuke Tashima	4. 巻 437
2. 論文標題 Lithium-ion capacitor using rice husk-derived cathode and anode active materials adapted to uncontrolled full-pre-lithiation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Power Sources	6. 最初と最後の頁 226924
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpowsour.2019.22	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yusuke Abe, Natsuki Hori, Seiji Kumagai	4. 巻 12
2. 論文標題 Electrochemical impedance spectroscopy on the performance degradation of LiFePO <sub>4</sub> /graphite lithium-ion battery due to charge-discharge cycling under different C-rates	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Energies	6. 最初と最後の頁 4507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/en12234507	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 熊谷誠治	4. 巻 44
2. 論文標題 バイオマスの利用 もみ殻に由来する蓄電デバイス電極材料の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 秋田の自然エネルギー	6. 最初と最後の頁 13-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計29件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 菅原綾一, 江口卓弥, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 活性炭正極とSi負極の活物質質量比が異なるリチウムイオンキャパシタの充放電特性
3. 学会等名 日本素材物性学会令和3年度（第31回）年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金本雄吾, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 高温条件が電気二重層キャパシタの劣化に及ぼす影響
3. 学会等名 日本素材物性学会令和3年度（第31回）年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江口卓弥, 沢田圭一郎, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 Si系リチウムイオンキャパシタの劣化後の電極状態の分析
3. 学会等名 日本素材物性学会令和3年度（第31回）年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大滝隼一朗, 澤賢佑, 安部勇輔, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 NCA正極を用いたリチウムイオン電池のプレコンディショニング条件
3. 学会等名 日本素材物性学会令和3年度（第31回）年会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 安部勇輔, 根本優樹, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 もみ殻炭を用いるLiイオン電池フルセルの充放電特性に及ぼすシリカの影響
3. 学会等名 日本素材物性学会令和3年度(第31回)年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安部勇輔, 根本優樹, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 ハーフセルとフルセルによるLiイオン電池のもみ殻炭負極評価
3. 学会等名 2021年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金本雄吾, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 高温における電気二重層キャパシタのサイクル劣化特性
3. 学会等名 2021年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusuke Abe, Masaki Nemoto, Masahiro Tomioka, Seiji Kumagai
2. 発表標題 Rice husk as a worthwhile source of battery materials for high-performance Li-ion battery anodes
3. 学会等名 9th International Conference on Materials Engineering for Resources (ICMR2021 AKITA) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Eguchi, Keiichiro Sawada, Masahiro Tomioka, Seiji Kumagai
2. 発表標題 Effect of surface area of activated carbon with positive electrode on rate performance of lithium-ion capacitor using Si negative electrode
3. 学会等名 9th International Conference on Materials Engineering for Resources (ICMR2021 AKITA) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yugo Kanamoto, Masahiro Tomioka, Seiji Kumagai
2. 発表標題 Aging of electric double-layer capacitor under high voltage application
3. 学会等名 9th International Conference on Materials Engineering for Resources (ICMR2021 AKITA) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryoichi Sugawara, Takuya Eguchi, Masahiro Tomioka, Seiji Kumagai
2. 発表標題 Effect of prelithiation degree of Si anode on the charge-discharge performance of lithium-ion capacitor
3. 学会等名 9th International Conference on Materials Engineering for Resources (ICMR2021 AKITA) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安井啓道, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 異なる電解液におけるもみ殻活性炭の電気二重層キャパシタ特性
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金本雄吾, 江口卓弥, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 電極活性炭の粒径が電気二重層キャパシタの充放電特性に及ぼす影響
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤一平, 大滝隼一朗, 沢田圭一郎, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 ハードカーボン/Si混合負極へのLiイオンプレドープに関する研究
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大滝隼一朗, 齋藤一平, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 ハードカーボン/Si混合負極を用いたリチウムイオン電池の充放電特性
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 沢田圭一郎, 堀川浩樹, 江口卓弥, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 シリコン負極活物質量の異なるリチウムイオンキャパシタの充放電特性
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江口卓弥, 沢田圭一郎, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 高比表面積活性炭正極とSi負極の採用による Li イオンキャパシタの高エネルギー密度化
3. 学会等名 第61回電池討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江口卓弥, 沢田圭一郎, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 伝送線モデル素子を組み込んだ等価回路を用いたSi系リチウムイオンキャパシタの劣化進行に関するインピーダンス解析
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金本雄吾, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 電気二重層キャパシタのサイクル劣化挙動の交流インピーダンス分析
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Seiji Kumagai, Yusuke Abe, Tomoaki Saito, Hiroaki Fujiwara, Naoki Sawa, Takuya Eguchi, Masahiro Tomioka, Mahmudul Kabir, Daisuke Tashima
2. 発表標題 Rice husk-based cathode and anode active materials of lithium-ion capacitor
3. 学会等名 6th International Conference on Advanced Capacitors (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Eguchi, Daisuke Tashima, Masumi Fukuma, Seiji Kumagai
2. 発表標題 Electric double-layer capacitance of Shochu waste-derived activated carbons in non-aqueous electrolyte
3. 学会等名 6th International Conference on Advanced Capacitors (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 堤光太, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 負極の不可逆容量が除かれたリチウムイオン電池の充放電特性
3. 学会等名 日本素材物性学会令和元年度(第29回)年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 沢田圭一郎, 伊藤流唯, 齋藤一平, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 Si系負極を用いたリチウムイオンキャパシタの充放電特性
3. 学会等名 日本素材物性学会令和元年度(第29回)年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 根本優樹, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 もみ殻炭のリチウムイオン吸蔵放出特性に及ぼす含有シリカの影響
3. 学会等名 日本素材物性学会令和元年度(第29回)年会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 江口卓弥, 田島大輔, 福間眞澄, 熊谷誠治
2. 発表標題 焼酎粕由来活性炭の有機系電解液中での電気二重層特性
3. 学会等名 日本素材物性学会令和元年度(第29回)年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤一平, 沢田圭一郎, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 ハードカーボン/Si混合系活物質のリチウムイオン挿入脱離特性
3. 学会等名 日本素材物性学会令和元年度(第29回)年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Eguchi, Daisuke Tashima, Masumi Fukuma, Seiji Kumagai
2. 発表標題 Charge-discharge performances of Shochu waste-derived activated carbons as the electrodes of electric double-layer capacitors
3. 学会等名 2019年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤一平, 沢田圭一郎, 富岡雅弘, 熊谷誠治
2. 発表標題 ハードカーボン/ナノSi混合系活物質のリチウムイオン挿入脱離特性
3. 学会等名 2019年度電気関係学会東北支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 江口卓弥, 田島大輔, 福間眞澄, 熊谷誠治
2. 発表標題 予備炭化温度が異なる焼酎粕活性炭電極の電気二重層キャパシタ特性
3. 学会等名 第60回電池討論会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Seiji Kumagai, Daisuke Tashima	4. 発行年 2020年
2. 出版社 MDPI	5. 総ページ数 92
3. 書名 Electrochemical capacitors	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 電気二重層キャパシタ用活物質	発明者 熊谷誠治, 安井啓道	権利者 秋田大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-036667	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>秋田大学動画チャンネル「こんな研究しているよ」もみ殻からつくる蓄電デバイスの電極材料  <a href="https://www.youtube.com/watch?v=F0rH4VNFJ1o">https://www.youtube.com/watch?v=F0rH4VNFJ1o</a></p> <p>秋田大学大学院理工学研究科 令和5年度研究科案内「あくなき電池への探求心で持続可能な社会を創り出す」  <a href="https://www.riko.akita-u.ac.jp/assets/files/ES_pamphlet/2023GS_pamphlet..pdf">https://www.riko.akita-u.ac.jp/assets/files/ES_pamphlet/2023GS_pamphlet..pdf</a></p> <p>「もみ殻」が電気を蓄える？～秋田に豊富にあるもみ殻を有効利用～  <a href="https://www.akita-u.ac.jp/honbu/lab/vol_20.html">https://www.akita-u.ac.jp/honbu/lab/vol_20.html</a></p>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	田島 大輔  (Tashima Daisuke)  (10531452)	福岡工業大学・工学部・教授    (37112)	
研究分担者	カビール ムハムドゥル  (Kabir Mahmudul)  (10422164)	秋田大学・理工学研究科・准教授    (11401)	
研究分担者	富岡 雅弘  (Tomioka Masahiro)  (00838683)	秋田大学・理工学研究科・助教    (11401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関