

令和 3 年 4 月 20 日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11717

研究課題名(和文) 廃棄物系キャパシタの微生物発電とのカスケード利用に関する研究

研究課題名(英文) Research on cascade utilization of waste capacitors with microbial power generation

研究代表者

田島 大輔 (Tashima, Daisuke)

福岡工業大学・工学部・教授

研究者番号：10531452

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、使用済み焼酎粕を再利用し、電気二重層キャパシタの比静電容量の向上・製造コストの改善に向けて、物性評価と電気化学評価、活性炭作製のコスト計算について取り組んだ。その結果、炭酸カリウム賦活活性炭は、水酸化カリウム賦活焼酎かす活性炭の比静電容量には劣るが、市販活性炭の比静電容量よりも優れていることが分かった。活性炭作製のコスト計算においては、炭酸カリウム賦活活性炭は従来活性炭と比較して、約66%の電力コストを抑えることができた。よって、活性炭作製におけるコストは消費電力の観点から炭酸カリウム賦活活性炭の方が低コストで作製できることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は焼酎の製造工程で排出される焼酎粕を、1段階目として微生物発電による発電利用、2段階目として発電が終了した焼酎粕残渣から高性能な活性炭を作製し、蓄電デバイスの一つである電気二重層キャパシタの電極としてカスケード利用するものである。研究成果として、市販活性炭と比較して高比表面積で蓄電容量も高いものができており、活性炭メーカーとの協力が進めば、電力貯蔵用としての電気二重層キャパシタの電極材料に国内産材料が使われることとなる。地域問題を解決しエネルギーに貢献する産業の活性化に期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we worked on physical property evaluation, electrochemical evaluation, and cost calculation for activated carbon production in order to improve the specific capacitance of electric double layer capacitors and improve the manufacturing cost by reusing used shochu wastes. As the result, it was found that the potassium carbonate-activated activated carbon is inferior to the specific capacitance of the potassium hydroxide-activated shochu waste activated carbon, but superior to the specific capacitance of the commercially available activated carbon. In calculating the cost of producing activated carbon, potassium carbonate-activated activated carbon was able to reduce the power cost by about 66% compared to conventional activated carbon. Therefore, it was found that the potassium carbonate activated carbon can be produced at a lower cost from the viewpoint of power consumption in the production of activated carbon.

研究分野：電力エネルギー，リサイクル

キーワード：焼酎粕活性炭 電気二重層キャパシタ

### 1. 研究開始当初の背景

焼酎かすは1972年にロンドン条約により海洋投棄が禁止されたため、大手焼酎醸造所や組合は独自に所有する施設で堆肥化/飼料化処理を行っているが、多くの中・小規模の焼酎醸造所では大量の焼酎かすが産業廃棄物として廃棄されているのが現状である。それらの地域問題を解決し、かつ安定したエネルギーの供給・貯蔵源として活用できないか？またそのためには、どのようなシステムが最適なのか？という点が学術的「問い」となる。本技術が完成すれば、再生可能エネルギーの利用促進や低炭素社会への貢献、また、焼酎かす以外の農林/水産系廃棄物にも発展が期待できることから、地域の廃棄物は無駄にできない未利用エネルギー資源となっている。そこで本研究では、焼酎かすをカスケード利用した微生物発電及び蓄電システムとして先駆けてモデル化する。(図1参照)

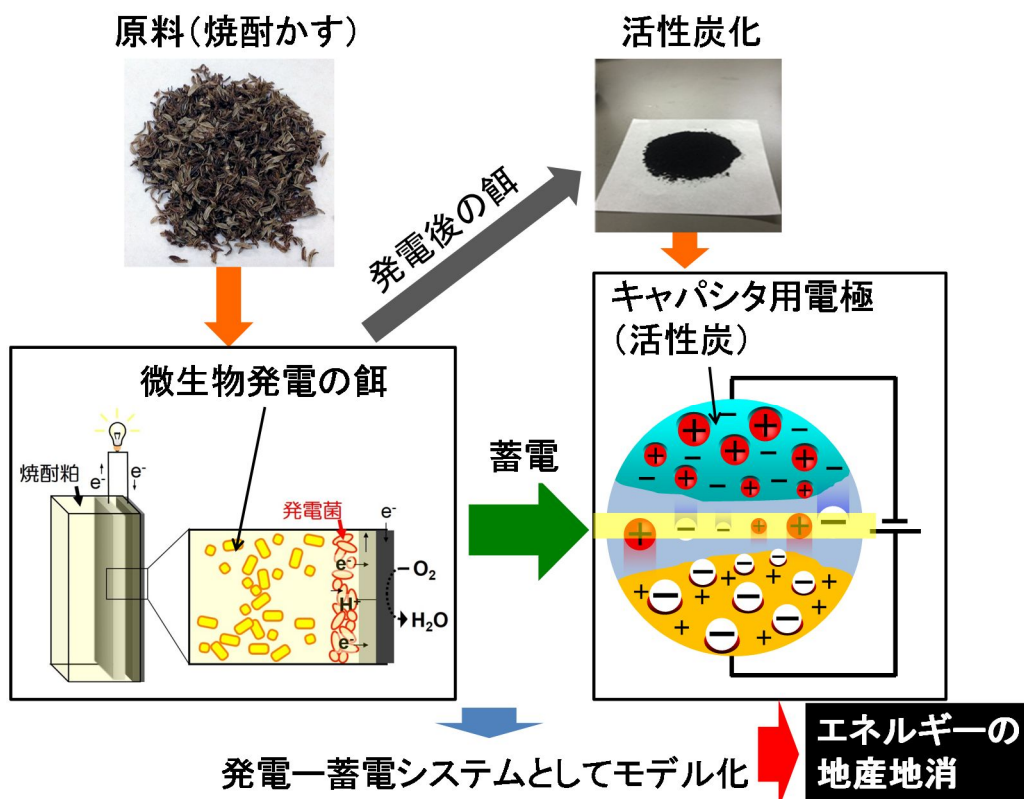


図1 焼酎かすをカスケード利用した微生物発電及び蓄電システム

### 2. 研究の目的

本研究では、九州地域特産の「焼酎」製造過程で排出される焼酎かすをカスケード利用したこれまでにない発電及び蓄電の先駆的研究として、「実用レベルへ応用するための基礎科学の導出」を行う点で学術的独自性がある。また、未利用資源となっている焼酎かすをエネルギーとして100%利用するための発電及び蓄電システムへ応用するという点は極めて創造性を有する。本研究が完成すれば、エネルギー生産・貯蔵の拠点として地域が活性化され、再生可能エネルギー等の利用においても十分に貢献することができる。

### 3. 研究の方法

福岡県及び宮崎県内の焼酎メーカーで排出される焼酎かすを原料とし、まず、微生物燃料電池の燃料(微生物の餌)として発電に利用し、次に、発電が終了した餌から表面官能基・細孔制御を行った活性炭の作製を行い、キャパシタ用電極として活用し、廃棄物系キャパシタを製作する。これまでの実験結果から、微生物燃料電池のような電流密度が低いものに対しては、微生物燃料電池との相性が大きいことが分かっている。研究期間内には、廃棄物系キャパシタを微生物燃料電池とカスケード接続し、負荷応答性の検証、耐久性能の評価、安全性・信頼性の検証までを行い実用上必要となる基本的な特性を評価する。(図2参照)

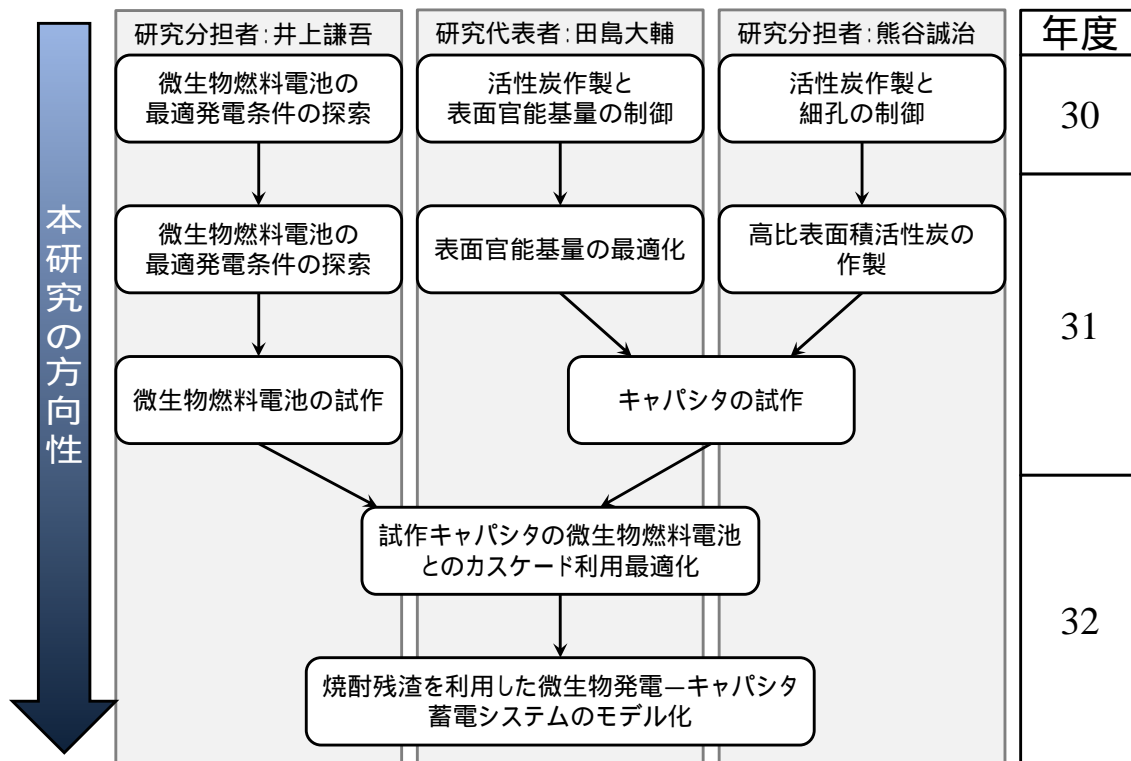


図2 研究方法・スケジュール

#### 4. 研究成果

本研究では、使用済み焼酎粕を再利用し、電気二重層キャパシタの比静電容量の向上・製造コストの改善に向けて、活性炭作製の際の賦活剤として利用される水酸化カリウム (KOH) の代替として炭酸カリウム ( $K_2CO_3$ ) を使用し、物性評価 (熱分析, 表面構造, 表面官能基, 比表面積, 細孔分布) と電気化学評価 (比静電容量, 内部抵抗), 活性炭作製のコスト計算について取り組んだ。物性評価においては、焼酎かす単体の場合は 200~400 付近で熱分解, 炭酸カリウムを混ぜ合わせた場合は 200~280, 400~500 の部分的に熱分解が行われる違いがあり質量%に違いが顕著であった。両サンプルの最終的な質量%では焼酎かす単体はおよそ 20% に対し、炭酸カリウムを混ぜ合わせた場合はおよそ 55% と収率が高いことが分かった。焼酎かす単体, 焼酎かす炭化物, 焼酎かす炭化物を使用し作製した  $K_2CO_3$  賦活焼酎かす活性炭, 直接焼酎かすを使用し作製した  $K_2CO_3$  焼酎かす活性炭を比較した結果, 異なる表面構造を観察することができた。特に  $K_2CO_3$  焼酎かす活性炭の SEM 画像では,  $K_2CO_3$  による金属カリウムによる炭素間挿入により表面に孔の発現によるメソ孔の確認ができた。電気化学評価においては,  $K_2CO_3$  賦活活性炭は, 先行研究で作製した KOH 賦活焼酎かす活性炭の比静電容量には劣るが, 市販活性炭 (MSP-20) の比静電容量と近い値, 市販活性炭 (RP-15) の比静電容量より優れていることが分かった。活性炭作製のコスト計算においては,  $K_2CO_3$  賦活活性炭は KOH +  $CO_2$  賦活活性炭と比較して, 3360 円 (約 66%) の電力コストを抑えることができた。よって, 活性炭作製におけるコストは消費電力の観点から  $K_2CO_3$  賦活活性炭の方が低コストで作製できることが分かった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 T. Fujita, D. Tashima, M. Fukuma S. Kumagai	4. 巻 8
2. 論文標題 Nitrogen doping by urea decomposition for making activated carbon derived from shochu waste	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Engineering Science and Innovative Technolog	6. 最初と最後の頁 36-43
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 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 江口卓弥, 田島大輔	4. 巻 39
2. 論文標題 焼酎粕活性炭を用いた電気二重層キャパシタの充放電特性と電極厚みの関係	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気設備学会論文誌	6. 最初と最後の頁 10-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14936/tieiej.39.2_10	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 D. Tashima, M. Hirano, S. Kitazaki, T. Eguchi, S. Kumagai	4. 巻 1(3)
2. 論文標題 Oxygen-plasma surface treatment of an electrode sheet using carbon from Japanese distilled liquor waste for double-layer capacitors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochem	6. 最初と最後の頁 322-428
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/electrochem1030020	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 D. Tashima, M. Hirano, S. Kitazaki, T. Eguchi, S. Kumagai	4. 巻 254
2. 論文標題 Solution-plasma treatment of activated carbon from shochu distillery waste for electrochemical capacitors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 123523
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.matchemphys.2020.123523	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 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 K. Hayashi, T. Eguchi, D. Tashima, T. Tsubota, S. Kumagai
2. 発表標題 Preparation of KOH and CO <sub>2</sub> gas two-step activated carbons from shochu waste and performance evaluation
3. 学会等名 The International Council on Electrical Engineering 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Hirano, S. Kitazaki, D. Tashima
2. 発表標題 Solution-plasma treatment on the surface of activated carbon electrodes made from Shochu waste
3. 学会等名 The International Council on Electrical Engineering 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kentarou Hayashi, Daisuke Tashima, Toshiki Tsubota, Seiji Kumagai
2. 発表標題 Preparation of KOH and CO <sub>2</sub> two-step activated carbon from shochu waste and optimization of CO <sub>2</sub> activation
3. 学会等名 The 72nd Joint Conference of Electrical, Electronics and Information Engineers in Kyusy
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平野雅貴, 北崎訓, 田島大輔
2. 発表標題 液中プラズマ表面処理を施した焼酎粕活性炭の電気二重層キャパシタ用電極材料への応用
3. 学会等名 第72回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田島大輔
2. 発表標題 呑んで創ってエネルギー～鹿児島県産焼酎かすで地産地消～
3. 学会等名 水素・再生エネルギーフェア2019（招待講演）
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 フレキシブルキャパシタの曲率半径とエネルギー密度の関係
3. 学会等名 平成30年電気学会基礎・材料・共通部門大会
4. 発表年 2018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 焼酎粕由来の活性炭を用いたフレキシブルスーパーキャパシタの開発
3. 学会等名 平成30年電気学会電力・エネルギー部門大会
4. 発表年 2018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 焼酎粕由来活性炭を用いた高性能フレキシブルスーパーキャパシタセル
3. 学会等名 第71回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林健太郎, 江口卓弥, 田島大輔, 熊谷誠治
2. 発表標題 焼酎粕を用いたKOH-炭酸ガス二段階賦活活性炭の作製と比静電容量評価
3. 学会等名 平成31年電気学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Eguchi, R. Madhu, D. Tashima, M. Fukuma, S. Kumagai
2. 発表標題 Characteristics of an electric double-layer capacitor using an activated carbon electrode synthesized from organic waste
3. 学会等名 The International Conference on Electrical Engineering 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Eguchi, M. Rajesh, D. Tashima, M. Fukuma, S. Kumagai
2. 発表標題 Shochu waste-derived porous carbons for flexible supercapacitors; and a comparison study with commercial carbons
3. 学会等名 The 5th International Conference on Nanomechanics and Nanocomposites (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Eguchi, D. Tashima, M. Fukuma, S. Kumagai
2. 発表標題 Optimization of an electrode thickness of flexible supercapacitors using activated carbons derived from shochu waste
3. 学会等名 7th International Conference on Renewable Energy Research and Application (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林健太郎, 田島大輔, 坪田敏樹
2. 発表標題 焼酎粕を使用した炭酸カリウム賦活性炭の作製と比静電容量の評価
3. 学会等名 第73回電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

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

〔産業財産権〕

〔その他〕

福岡工業大学 田島研究室 <a href="https://www.fit.ac.jp/~tashima/results.html">https://www.fit.ac.jp/~tashima/results.html</a> 福岡工業大学工学部電気工学科田島研究室 <a href="http://www.fit.ac.jp/~tashima/index.html">http://www.fit.ac.jp/~tashima/index.html</a>
---

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	熊谷 誠治  (Kumagai Seiji)  (00363739)	秋田大学・理工学研究科・教授   (11401)	



6. 研究組織（つづき）

	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	井上 謙吾  (Inoue Kengo)  (70581304)	宮崎大学・農学部・准教授     (17601)	

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