

補助事業番号 2022M-188
補助事業名 新規球状ナノ炭素材料を用いた革新的電極触媒の開発 補助事業
補助事業者名 東洋大学 理工学部 応用化学科 ダイヤモンド研究室 蒲生西谷美香

1 研究の概要

マリモにそっくりな、繊維状ナノ炭素でできた新素材「マリモカーボン」を合成し、固体高分子形燃料電池 (Polymer Electrolyte Fuel Cell; PEFC) 用の電極材料を作りました。そのユニークな構造によって、希少資源の有効活用・電池高性能化をはかり、排気ガスフリーな自動車や屋内作業用カート・電源等の普及を後押しします。

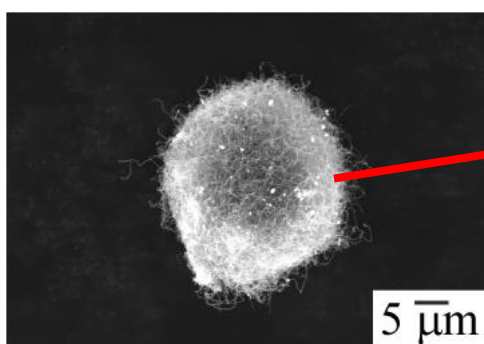
2 研究の目的と背景

燃料電池は、空気中の酸素と水素から水ができる反応のエネルギーを利用するものです。有毒な排気ガスを出さず、高い効率で、エネルギーを作ることができる電池として、一部は、自動車やバスに実用化されています。しかし、水を作る反応に、大量のPtが必要で、十分な出力が得られない、反応が長時間続かない、という問題が残されています。Ptは、極微小なナノ粒子 (1ナノメートル(1 nm)は1億分の1メートル!) にして、炭素材料の表面にたくさんつけて反応に利用します。Pt微粒子をナノ粒子の状態に保って、安定に固定し、十分に働かせるためには、炭素材料の構造が大きく影響します。この研究では、エネルギーを生み出す反応を促進し、出力が大きく、長時間の利用にも耐えるPEFCを実現するために、Ptを支える炭素材料としてマリモカーボンを合成し、革新的なPt触媒の実現を目指します。

3 研究内容

<https://ris.toyo.ac.jp/profile/ja.311c261909b65f5564138090ceeadeffd.html>

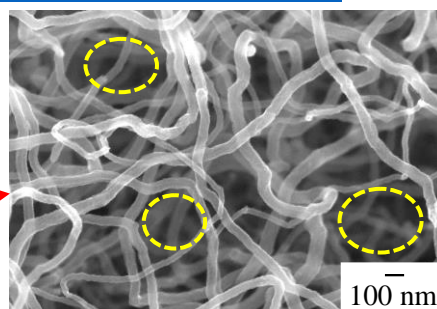
(1)マリモカーボンの合成—構造・特徴—



マリモカーボンの電子顕微鏡像。
1 μm (マイクロメートル) は髪の毛の太さの 1/100 くらい。

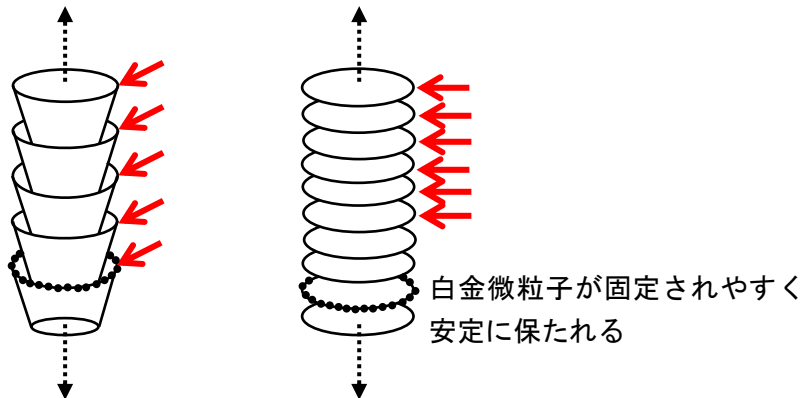
CNFをさらに拡大したモデル図を次に示します。
CNFの一部分を取り出した図です。

拡大



さらに拡大したマリモカーボンの電子顕微鏡像。直径が 100 nm 以下の極細い繊維状ナノ炭素 (CNF) からできています。メタンガスから合成します。CNF はダイヤモンド微粒子に固定されて成長するので、お互いが作る空間 (図中黄色点線) が保たれ、水素・酸素・水の通り道となり発電に寄与します。CNF の直径・密度・長さを調整した合成が可能になりました。

(2) マリモカーボンを形作る要素とPEFCにおける役割



炭素で出来たナノメートルレベルの極微小なコップをたくさん積み重ねて、繊維状の外観を作っているものをカップ積層CNF(左側の図)、炭素で出来た小さなコインをたくさん積み重ねてできているものをコイン積層CNF(右側の図)といいます。コップ、コインという形がしっかりあるということは、炭素同士の結合が強く丈夫だということです。CNFの表面には、コップのふち、あるいはコインの円周がたくさん突起を作っています(赤い矢印)。この部分に、PEFCの発電に必要な白金の微粒子(これも極微小で3 nmくらい。図中の黒い丸で一部を示します。)をたくさん付けた電極触媒を作って、PEFCの心臓部を作ります。突起部分には、白金微粒子が付きやすいです。突起の数に応じて、マリモカーボン1グラムあたりに白金微粒子を載せる量を調整できます。丈夫なCNFの突起には、白金微粒子が安定に付いていられるので、長時間電池を動かしても安定に発電し続けます。このように白金微粒子を支えるマリモカーボンは、発電の能力を左右する重要な役割を担っています。今回の研究で、CNFの数、太さ、長さ、密度、そして一本一本の要素の形や並び方まで、作り分ける合成が可能になりました。このことは、水素と酸素から水が出来る反応に最も適する白金微粒子が、合成したマリモカーボンの支えによって実現できることを意味します。このマリモカーボンを使って、貴重な白金を少ない量でもしっかりと長期間、働かせることができるようになれば、誰でも必要な時に使える、理想のPEFCが実現できると期待しています。そのために、今後もさらに研究を進めていきます。加えて、マリモカーボンの合成技術を活かした、新しいナノ炭素複合材料の合成と応用に関する研究にも展開していきたいと考えています。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

PEFCは、排出されるのは水で、大気汚染の心配がない電池です。低温動作および小型軽量化が可能です。そのため、以下のような場面で活かされると考えられます。

①屋内で作業するフォークリフト車、②病院や介護施設での作業に必要な電力供給、③自転車、小型バイク、カートなど、個人・少人数の移動手段、④小型船舶(漁船など)の動力。マリモカーボンの合成は、エネルギーを多く必要としない方法をとっています。地球環境に負荷をかけない、回収・リサイクルまで考えたモノづくりから生まれるマリモカーボンは、PEFCのみならず、細胞培養の足場、水中の微量金属の除去など、幅広い用途への展開が期待されます。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

マリモカーボンもダイヤモンドも、炭素のつながり方が違うだけで、同じ炭素から出来ています。私は、この約30年、新しい炭素材料の合成と応用に関する研究に従事してきました。メタンガスからダイヤモンドを合成する研究に始まり、ダイヤモンド表面の化学に興味を持ち、さらにダイヤモンドの表面を利用してそこからCNFsを成長させてマリモカーボンを合成する研究に取り組んできました。材料は、いつでも・どこでも・誰でも再現性良く合成できて、はじめて材料と呼ばれます。長年の研究によってマリモカーボンは材料と呼べるレベルになり、そのユニークな構造に、PEFCの白金微粒子を支える役割を着想し、研究仲間と協働して約10年経った頃、ポテンシャルの高さを確信するに至りました。そこから一歩進めて、なぜ、マリモカーボンはPEFC電極材料に良いのか？性能向上の鍵はどこにあるのか？マリモカーボンのナノ・マイクロ・マクロ構造を自在に調整した合成ができれば、電池性能を左右する因子が明らかになり、実用に近づける？本研究では、このことについて実験的に明らかにし、深く理解できたと考えています。本研究の成果を活かせるよう、引き続き、PEFCの実用化に向けた検討と用途探索、マリモカーボンの合成技術から着想した新しいナノ炭素複合材料の合成研究に取り組んでいきます。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

M. Shiraishi, et. al., SN Applied Sciences 5(2023) 69.

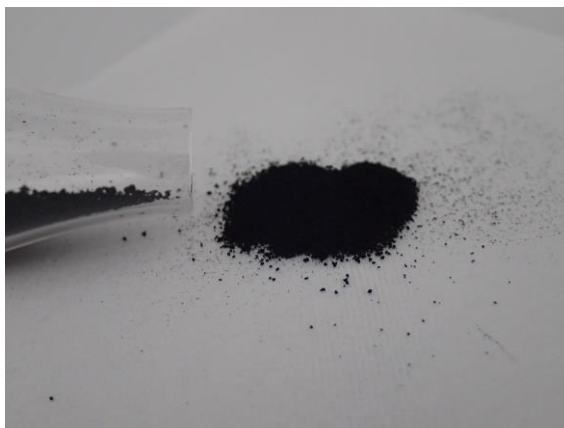
(査読付き学術論文。誰でも閲覧できるようオープンアクセスにしました。

<https://rdcu.be/c4F00>)

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

マリモカーボンは、その応用を検討し、評価を希望する機関様に提供可能です。写真は、合成後の反応容器から取り出したマリモカーボンです。見た目は、黒い粉末状です。



メタンから合成したマリモカーボンの写真。

(2)(1)以外で当事業において作成したもの
なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 東洋大学 理工学部(トウヨウダイガク リコウガクブ)

住 所: 〒350-8585

埼玉県川越市大字鯨井2100

担 当 者: 教授 蒲生西谷美香(ガモウニシタニミカ)

担 当 部 署: 応用化学科 ダイヤモンド研究室

(オウヨウカガクカ ダイヤモンドケンキュウシツ)

E - m a i l: mngamo@toyo.jp

U R L:

<https://ris.toyo.ac.jp/profile/ja.311c261909b65f5564138090ceeadeffd.html>