

研究成果報告書

所属機関	職名	氏名
筑波大学 数理物質系	准教授	伊藤 良一

研究テーマ

太陽光を用いて下水・汚水を浄化する革新的材料の開発

研究報告

1. 研究の背景と目的

本研究は太陽光は古くから様々な形で利用され、我々にとって一番身近なエネルギー源である。近年、太陽光を用いた発電システムが商品化され、更なる太陽光高効率利用のために太陽電池研究が盛んに行われている。太陽光利用の主役は間違いなく太陽光を電気エネルギーに変換する太陽電池であるが、太陽光を電気エネルギーに変換するエネルギー利用効率は特別な場合を除いて高々20%であり、発電装置の作製コストと廃棄時の環境負荷を考えると太陽電池は太陽光を有効に活用しているとは言い難い。太陽光をエネルギーに変換する一番優れた例は太陽熱利用である。つまり、太陽光を熱エネルギーに変換し、変換した熱エネルギーほぼ100%を水の加熱に使う手法である。実際に太陽光を利用した水の加熱装置はすでに太陽熱温水器として市販されており、電気エネルギーには変換できないが湯を沸かすときの電気エネルギーを節約できる。一般的に熱エネルギーの利用用途は電気エネルギーに比べて狭いが、太陽光を用いた熱エネルギーは発電施設も送電設備も不要であるため、インフラが整っていない地域でも十分活躍できる場があり場所を問わずエネルギー問題に貢献できる。このように無尽蔵にある太陽エネルギーを熱変換して有効に活用することで太陽電池以外の選択肢を提供し、環境負荷低減に貢献することを目的とする。

2. 研究成果および考察

【実験方法】

ナノ多孔質グラフェンは化学気相蒸着法(CVD)法の鑄型である多孔質金属体に対して水素還元雰囲気下でグラフェンの前駆体分子を750度で化学気相蒸着させることによって、多孔質金属体の表面に1層～数層で成長したグラフェンの複合体を作成した。成長後、鑄型である多孔質金属を塩酸を用いて酸処理することで多孔質金属体の表面形状を維持したナノ多孔質グラフェンのみを単離した。水の蒸発・浄化用に使用した水溶液は、純水および海水を使用した。海水はろ過して沈殿物をフィルターした以外の浄化操作は行っていない状態の液体を使用した。蒸発量の測定は図1のような実験セットアップをした。上記の多孔質グラフェンを浮かべた水溶液をガラス容器に入れてその周辺を断熱材で覆い、不用意に熱が外部に逃げないようにした。その後、その断熱した容器ごとを電子天秤の上に載せた。そこに擬似太陽光シュミレーター(PEC-L01, 1000 W/m²)を光源として光を照射することで蒸発量のモニターを行った。蒸発による水溶液の質量の増減は電子天秤とパソコンを通信させることによって得た。

【実験結果・考察】

図2にナノサイズのニッケル粉黛を用いて作成したナノ多孔質ニッケルの表面にグラフェンが成長した状態のSEM像とそのナノ多孔質ニッケルを塩酸で完全に溶解させてナノ多孔質グラフェンを単離した状態のSEM像を示した。次にこのグラフェンを純水および海水の上に乗せて擬似太陽光を照射して水の蒸発量を測定したデータを図3に示す。純水のみ、純水に多孔質グラフェンを敷き詰めて乗せたもの、海水のみ、海水に多孔質グラフェンを敷き詰めて乗せたもの、4つの水溶液に対して試験を行った。縦軸は一平方メートルあたりのキログラム重量に換算した水の蒸発量であり、横軸は照射時間(秒)である。蒸発量は1時間あたり1平方メートルあたりに換算すると、純水にナノ多孔質グラフェン(graphene on water)を浮かべた試料では1.06 kg/m²、海水にナノ多孔質グラフェン(graphene on sea water)を浮かべた試料では1.15 kg/m²、純水のみ試料では0.33 kg/m²、海水のみ試料では0.42 kg/m²となった。海水のほうが蒸発量が多い明確な理由はまだ得られていないが、ナノ多孔質グラフェンを液体の上に置くだけで劇的に蒸発量が多くなっていることが確認できた。これは黒いグラフェンが太陽光を効率的に吸収すること

で多孔質内部に熱が溜め込まれ、毛管現象によって多孔質内部へ吸い込まれた水/海水が局所加熱されることで水蒸気化が促進されたと考えられる。しかしながら、図4に示したように海水で使ったナノ多孔質グラフェンのSEM像は多くの塩を多孔質内部に含んでいることがわかった。この試料は4時間擬似太陽光を照射したのち、試験後ろ紙で多孔質グラフェンをろ別した以外の操作は行っていない状態の試料を用いて観察したものであるが、多孔質内部に塩やごみが目詰まりしていないがその表面に多くの斑点や大きな塊を確認することができた。SEMに付属しているEDSで簡単な元素分析を行ったところ、斑点と大きな塊は塩(NaCl)であることが確認できた。このことから長時間海水の蒸発させ続けると少しずつ塩が表面に堆積していくことが推測できる。それは、水が蒸発して塩が残り、少量の塩ならば毛管現象で吸い上げられた海水で再溶解すると考えられるが、長時間続けていくと塩の飽和溶解度を超える残量が多孔質内部に取り残されて最終的に目詰まりすると想定される。このように海水の浄化(淡水化)には残留塩の関係で限度があることを実験的に明らかとなったため、目詰まりしにくい孔サイズの検討を次に行った。

図5の走行型電子顕微鏡像に示したように、目詰まりを防止するためにより大きな孔と光をよく吸収するためのより小さな孔の二つに分けた。大きな孔は水路にもなり、小さな孔は目詰まりしても水路や光吸収には関係のないため、水の蒸発を促す構造として最適であると考えた。これを用いて図6に示したように、先ほどと同様にして水の蒸発量を調べた。今回は階層構造の有無の違いを明らかとするために、純水での試験とした。階層構造がない発泡ニッケルを用いたグラフェンでは 0.33 kg/m^2 であったのに対して、発泡ニッケルを用いて階層構造を持つグラフェンは 0.42 kg/m^2 であった。いずれも図3の小さい孔から出来ている試料よりも多く、発泡ニッケルを用いて階層構造を持つグラフェンが一番多く水を蒸発させていることが明らかとなった。これにより、階層構造を持たせると水の蒸発を促進しつつ、海水による目詰まりを防止できる可能性が示唆された。本助成研究内で、海水により目詰まりを防止する蒸発材料の開発の指針を立てるところまで進めることが出来た。



図1 水の蒸発量測定実験のセットアップ。電子天秤の上に多孔質グラフェンを浮かべた水溶液容器を置き、その容器を断熱材で覆い、上方から擬似太陽光 1000 W/m^2 (夏場の太陽光の強さ) を照射している状況。蒸発した蒸気 (つまり浄化された蒸気) は密閉容器中で回収が可能であるが、密閉容器を使った実験の前に作成した試料の性能評価を優先した。

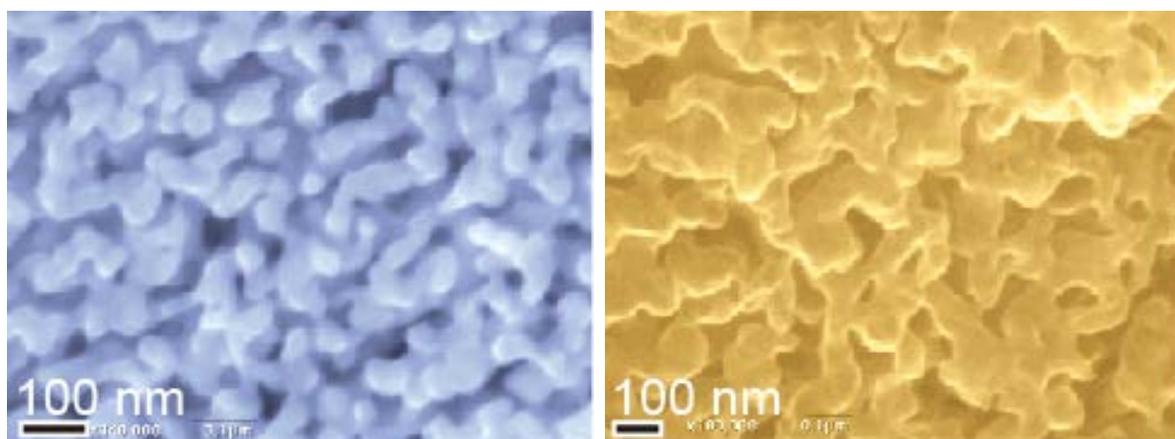


図2 ナノサイズのニッケル粉黛を代替多孔質体のCVD鑄型として用いて作成した (左) ナノ多孔質ニッケル上にグラフェンが成長したSEM像と (右) ニッケルを溶解させてナノ多孔質グラフェンのみにした状態のSEM像。

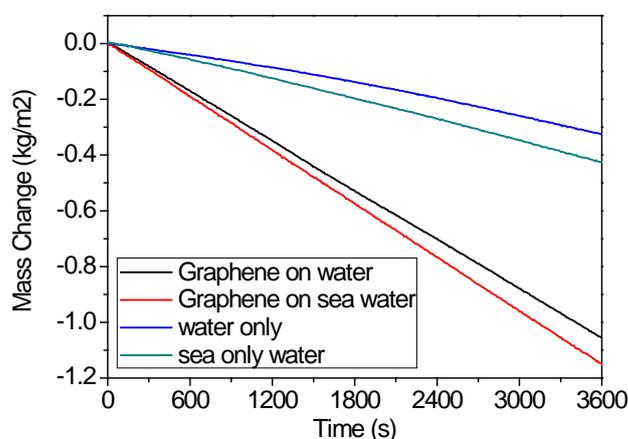


図3 水の蒸発量の測定。ナノ多孔質グラフェンを液体の上に乗せた状態での試験と何も乗せてないコントロール試験。

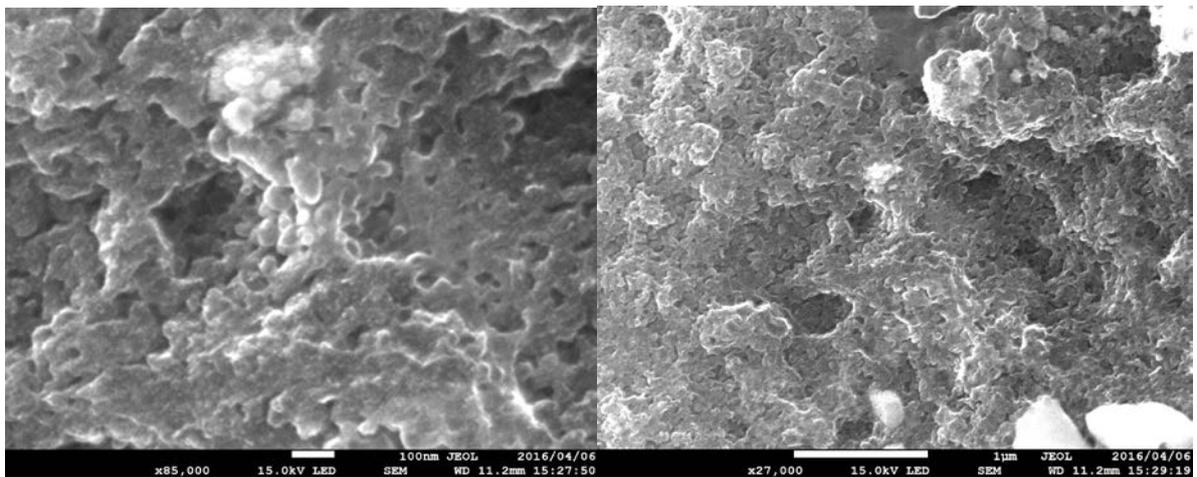


図4 海水の蒸発試験後のナノ多孔質グラフェンのSEM像。白い斑点と大きな白い塊は塩（NaCl）とEDS測定で確認した。

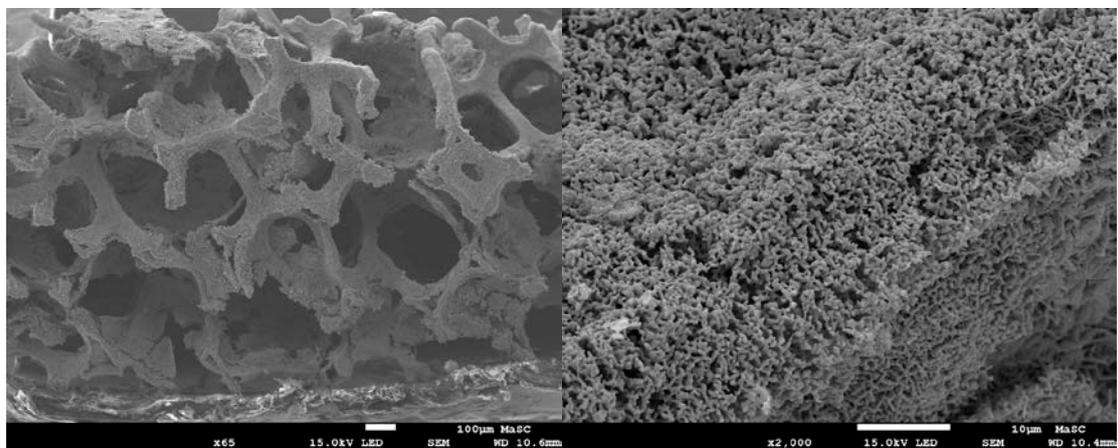


図5 発泡ニッケルの上にナノ粒子を担持して階層構造を作ったグラフェンの走行型電子顕微鏡像。左は発泡ニッケルの全体構造、右は表面に新しく出来たナノ多孔質構造を示している。

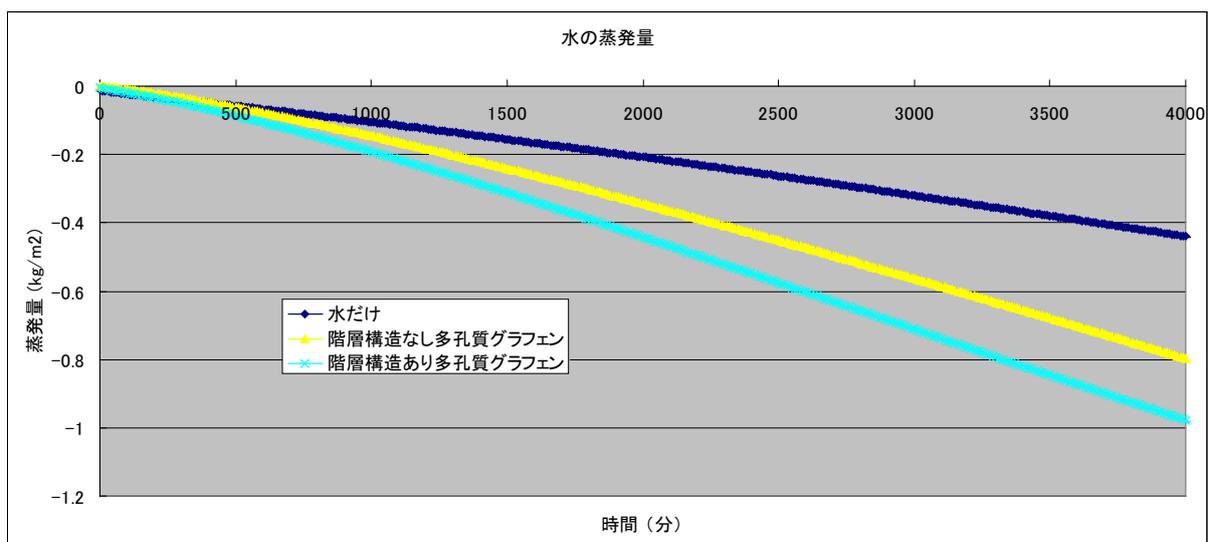


図6 発泡ニッケルの上にナノ粒子を担持して階層構造を作ったグラフェンの水の蒸発能力。

3. 将来展望

本研究は安く大量に作製できることを主眼に置いた新しい多孔質グラフェンの作成法に時間を費やしたため、本助成期間内に到達すべきだった本題である水の浄化具合の試験までたどり着くことができなかった。現状での達成度は、図1に示したようなナノ金属粉黛からナノ多孔質グラフェンを作成するという従来ルートよりもコストが安い方法でナノ多孔質グラフェンの作成に成功したという点と、その作成したナノ多孔質グラフェンが太陽光を用いた効率のよい水蒸気発生性能を示すことに成功したという点である。今後は、ナノ粉黛金属からの多孔質グラフェンの孔サイズの調整、および、密閉容器に詰めて水蒸気を純水として取り出すことで、水の蒸発量と水の純度の測定を行う予定である。

4. 研究発表

発表するまでもう少しデータを取得しなければならないため、発表はまだ先となります。