

令和8年1月23日

令和7年度サイエンス・アソシエーション・プロジェクト事業

電気化学的剥離法を用いたグラフェンの生成に関する研究 実施報告

長野県飯田高等学校
教諭 塩澤一成

1 目的

グラフェンは2004年に発見された比較的新しい炭素の同素体であり、新奇な特性をもつ可能性から広く研究されている物質である。グラフェンの生成法は簡易なものもあり、高校の実験設備でも容易に生成が可能である一方、生成したグラフェンの観察や特性の評価には高度な設備が求められるため外部機関への協力依頼が必須である。

本校理数科では、2年次に「理数探究」の授業を実施し、グループ単位でテーマを設定して探究活動を実施している。その探究テーマとしてグラフェンの生成に関する研究テーマを設定し、外部研究機関等での実験・実習を通して科学的な見方や考え方を伸長し、地域の将来を担う理系人材の育成を目的とした。

2 対象

理数科2年 生徒5名

3 実施概要と今後の予定

日程	実施概要
通年	グラフェンの生成実験〔理数探究授業内〕 (助言 山形大学工学部 助教 沖本 治哉 先生)
令和7年 5月20日	走査型電子顕微鏡の使い方講義および観察 (飯田市美術博物館、専門研究員 村松 武 先生)
7月31日	走査型電子顕微鏡での観察実習、グラフェンと関連物質に関する講義 (名古屋工業大学工学部 准教授 岸 直希 先生)
10月14日	理数探究中間発表会(飯田高校内)
12月18日	走査型電子顕微鏡での観察実習 (飯田工業技術試験研究所 中平 みさ子 先生)
令和8年 1月8日	ラマン分光測定実習 (名古屋工業大学工学部 准教授 岸 直希 先生)

日程	今後の予定
～1月末	論文・ポスター・スライド資料の作成
2月5日	理数探究最終報告会(一般公開)
2月28日	信州サイエンスマーニングでの発表
R8年度中	長野県学生科学賞 応募

4 実施報告

(1) 研究の動機と目的

本校では、「化学」の授業内でシャープペンシルの芯を用いた電気分解の簡易実験を実施している。硫酸イオンを含む水溶液を電気分解すると、教科書の記載に沿った予想では「陽極では水が酸化されて酸素が発生する」はずである。しかし実際には、気体の発生とともに電極の黒鉛が剥離して溶液が黒濁する現象が見られた。この現象について調べたところ、この剥離物中にグラフェンが含まれていることを示す文献が参考できた。また、国内でも山形大の沖本助教の研究グループは、カーボンホイル（黒鉛箔）を硫酸イオン含有水溶液中で電気分解することによりグラフェンを合成するという研究を行っていた。

そこで、本研究では、硫酸イオンを含む水溶液を鉛筆の芯で電気分解した際に得られる剥離物（以下、電解剥離物とよぶ）中にグラフェンが含まれているかどうかを科学的に検証することをテーマとした。

(2) 実施内容

(a) グラフェンの生成実験①

4月から5月にかけて、理数探究の授業内でグラフェンの生成実験を実施した。実験の概要を図1に示す。実験条件については文献を参考に生徒が設定したものである。実験の流れについては、山形大学工学部 沖本治哉 先生に助言をいただいた。硫酸ナトリウム塩化ナトリウム混合溶液中で電気分解することで、鉛筆の芯の電解剥離物を得ることができた。

実験にあたっては、吸引ろ過や遠心分離などの原理や操作方法について事前学習をしたうえで実施した。実験に使用した卓上遠心分離機およびシリコン基板は、本事業の助成金により購入したものである。

(b) 飯田市美術博物館での走査型電子顕微鏡(SEM)観察実習

5月20日に、作製した試料①のSEM観察を飯田市美術博物館にて行った。生徒たちは飯田市美術博物館を訪れたことはあるものの、電子顕微鏡などの研究設備を見学することは初めてであった。身近なところで地域に根付いた研究が行われていることを知る機会にもなった。

専門研究員の村松 先生からSEMの原理・操作方法の説明をうけ、持参した試料①の観察をした。しかしながら、基板上に電解剥離物を観察することができなかつた。

(c) グラフェンの生成実験②

SEM観察の結果を受け、改めて沖本 先生に助言をいただきながら電解剥離物がシリコン基板上に観察できなかつた原因を以下のように考察した。

- HBの鉛筆には黒鉛以外にも粘土などの添加物が含まれているため、剥離物中にグラフェンが含まれにくくなってしまったのではないか。
- 硫酸イオンの濃度が小さく、黒鉛が剥離しにくかったのではないか。
- 遠心分離によって剥離物がほとんど沈殿してしまったのではないか。

以上をもとに、実験方法を改良して（図2）再度グラフェンの生成実験を行つた。

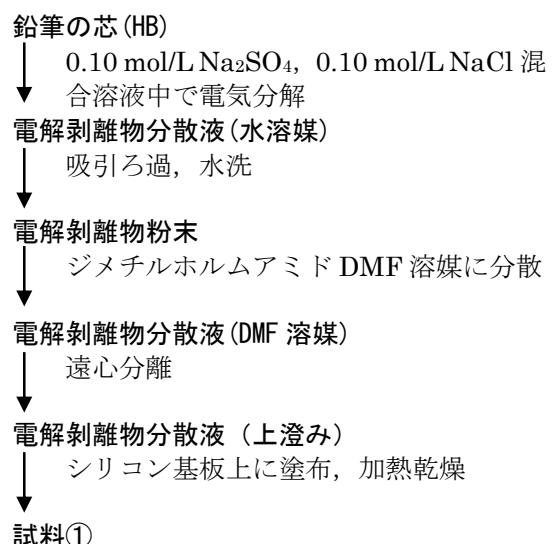


図1 実験①の概要

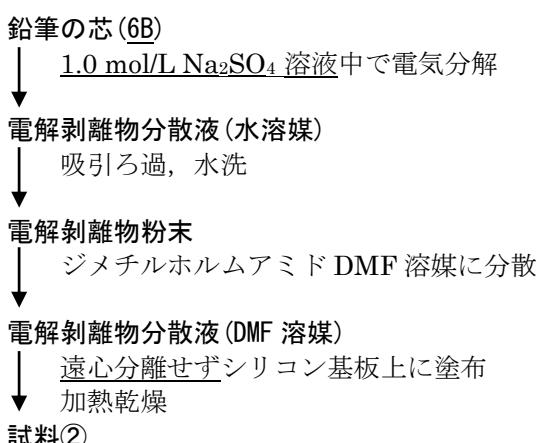
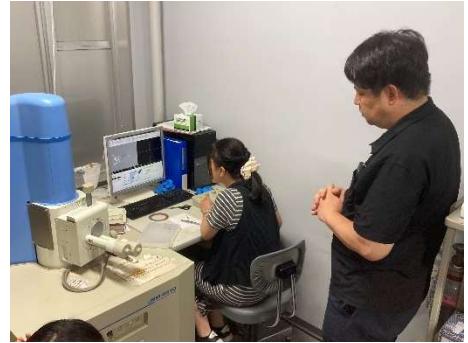


図2 実験②の概要

下線部は実験①からの主な変更点を示す。

(d) 名古屋工業大学でのSEM観察およびグラフェンに関する講義

7月31日に名古屋工業大学工学部 岸研究室を訪問し、作成した試料②の観察を実施した。岸先生のご指導のもと、実際に生徒がSEMを操作させていただいた。今回のSEM観察では、シリコン基板上に多数の電解剝離物を観察することができた。



しかし、岸先生からSEM像の見方を説明していただく中で、SEM観察だけでは電解剝離物がグラフェンであると同定することは難しいという指摘もいただいた。画像からは、観察した物質がグラフェンなのかグラファイト(黒鉛)なのか判断できないし、炭素以外の物質の可能性も排除できないとのことであった。生徒にはややもすると、参考文献どおりに実験したのだから得られたものはグラフェンに違いないという思いがあったと思われる。教科書の内容を学ぶ高校の学びと未知の事象を探求する大学の学びの違いを体感する機会を得ることができた。

実習の後、岸先生からグラフェンについて一般的な合成法や特性、応用などの講義をいただき、グラフェンについて知見を広げることができた。

(e) 中間発表とその後の実験計画

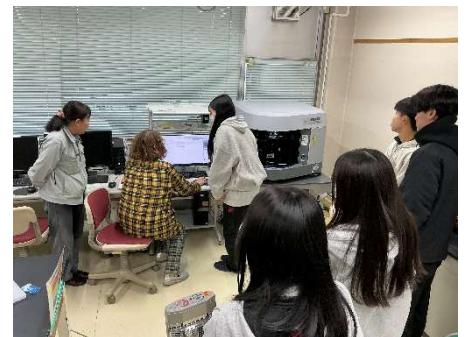
10月14日に、これまでの実験結果をまとめて校内で中間発表を行った。また、飯田高校に来校した大学院生(総研大)とも研究内容について意見交換を行った。ここでも名古屋工業大学 岸先生からいただいたものと同様の指摘を受けた。



そこで、SEM観察以外のグラフェン特性測定について調べたところ、「ラマン分光法」にたどり着いた。ラマン分光測定を用いることで、生成した物質が炭素でできているのかを判別するだけでなく、グラフェンと黒鉛の区別、層数、構造中の欠陥の多さなどを決定することができる。

(f) 名古屋工業大学でのラマン分光測定

ラマン分光測定については実験をさせていただく外部機関の選定に難航したが、名古屋工業大学 岸先生のご厚意により、名古屋工業大学産学官金連携機構所有の設備を使用させていたけることになった。



ラマン分光測定に向け、改めて実験②と同様の手順でシリコン基板上に電解剝離物を塗布し、12月18日に飯田市エスパード内の工業技術試験研究所にてSEM観察を行った。1月8日に名古屋工業大学を訪れ、ラマン測定を行った。測定結果からは、生成物が鉛筆の芯に由来する物質であることは認められたが、グラフェンが生成したと断定するには至らなかった。しかし、岸先生からは、測定結果をまずは受け入れることが大切であること、得られたデータを解析すると思わぬ発見があるかもしれないことを助言していただいた。今後は改めてデータを解析しながら、考察を深めていきたい。

(3) 今後の予定

今後はこれまでの研究成果を論文・ポスター・スライド資料形式でそれぞれまとめ、2月5日の理数探究発表会、2月28日の信州サイエンスミーティングなどで広く発表する予定である。また、今回得られた知見を次年度以降に引継ぎ、研究成果をさらに発展させていきたいと考えている。

5　まとめおよび課題

飯田高校における理数探究は、地域特性上大学と連携する機会が多くは無かった。今回のSAP事業を通して、大学等の外部機関を訪問した生徒は5名であるが、そのような活動を理数探究発表会において校内の理数科1・2年生の生徒だけでなく、地域の方々、飯田高校を志す中学3年生に対しても報告することができた。この活動をきっかけに、次年度以降も外部機関との連携した活動を広げていきたい。

一方で、大学での実験・実習に頼る機会が増えると、学校内での探究活動が停滞して進まないというジレンマも抱えることになった。特に、ラマン分光測定については装置を使用させてもらえる機関が少ないうえ、測定にかかる金銭面、日程面での調整が難航した結果、実際に測定するまでにかなりの日数がかかってしまった。地域に根差した科学人材の育成という観点からも、今後は大学だけでなく身近な機関・企業との連携を模索し、飯田下伊那地域でどんな活動・研究ができるかを考えていく必要性も痛感した。