



本会記事

■高校生シンポジウム「安心安全の近未来社会とプラズマ科学」報告

京都大学 斧 高一

高校生シンポジウムは、プラズマ理工学・核融合科学分野の社会全体への成果還元・双方向コミュニケーションと、次世代を担う高校生への啓蒙に資することを目的として、プラズマ・核融合学会が2001年（平成13年）から毎年開催している社会貢献活動の一つです。本シンポジウムでは、専門家による講演によりプラズマ理工学・核融合科学分野の最新の研究成果をわかりやすく説明するとともに、その中心として高校生の日頃の研究成果の発表会を充てています。高校生の研究に関しては、高校での日頃の研究活動のみならず、当該分野の専門家の属する研究機関における夏休み等を利用した短期間の研究活動も奨励しています。それらの成果発表を通して、高校での日頃の学習を超えた先端科学に触れることにより、高校生を自然科学の最先端研究へ誘うとともに、脱カリキュラム下での課題発見・課題研究推進・問題解決といったサイエンスマインドを喚起することもめざします。

今年度の高校生シンポジウムは「安心安全の近未来社会とプラズマ科学」と題して、2012年9月15日(土)に京都大学百周年時計台記念館にて開催されました。

今回のシンポジウムでは、プラズマ・核融合学会と核融合科学研究所の支援の下、現地実行委員会において、事前授業・実習（8テーマ：核融合科学研究所×2，京都大学×6），および公開シンポジウム（京都大学教員による講演4件と、高校生による研究口頭発表・ポスター発表）を立案・準備しました。実習テーマは次のとおりです。「プラズマの電気計測」，「プラズマと光」，「計算機シミュレーションで見るプラズマの世界」，「高速 CCD カメラで見た実験室プラズマの世界」，「プラズマによる薄膜形成実験」，「プラズマ中に発生する乱流や流れ」，「大気中のプラズマの振る舞い」，「宇宙航行のためのプラズマ推進」。

全国各地の高等学校に案内を送付しシンポジウムへの参加を呼びかけたところ、3つの高校から事前授業・実習の申し込みがあり、高校の先生方のご協力の下、夏休みを利用して、核融合科学研究所（×1）と京都大学（×2）においてプラズマ科学の最先端に触れる事前授業・実習と研究指導を受け、シンポジウムでの発表をめました。また、シンポジウムには上記高校を含めて8つの高校（福島県，東京都，神奈川県，静岡県，愛知県，奈良県，京都府）から計10件の研究発表申し込みがありました。

シンポジウム当日は、晴天のなか、11都府県（参加高校の上記都府県のほか、富山県，岐阜県，大阪府，和歌山県）から、高校生・高校の先生・ご父兄など多数の参加がありました。午前10時半に永津雅章理事から開会挨拶をいた

き、続いて、プラズマ科学の多様な分野の専門家による最先端研究のわかりやすい4件の講演とともに、高校生の研究活動成果について口頭発表（10件，質疑応答を含めて合計2時間30分）とポスター発表（9件：口頭発表と同じ題目での発表，45分）が行われました。

シンポジウムでは、大学教員の講演に対して高校生から活発な質問がありました。さらに、高校生の研究発表においては、大学教員・大学院生からのアドバイスや成果発表に対するコメントだけでなく、高校生同士の議論やコメントが沸騰し、口頭・ポスター発表とも予定時間では十分収まらず、口頭・ポスター発表時間を過ぎててもまだ議論が続いていたほどでした。また今年も、大学教員・高校教員による発表審査を行い優秀な発表に対して表彰しました。最優秀口頭発表には「植物による放射性セシウムの吸収」静岡北高等学校が、最優秀ポスター発表には「大気圧プラズマによる樹脂表面の表面改質の研究」愛知県立一宮高等学校が選ばれ、小川雄一会長から賞状と記念品を贈呈し、盛況にてシンポジウムを終えることができました。

以下に、講演会の概要と、高校生の研究発表のタイトルを記します。

「高校生シンポジウム概要」

日 時：2012年9月15日(土) 10:00～17:00

会 場：京都大学 百周年時計台記念館（京都市左京区吉田本町）

プログラム：（時刻は当初予定時刻）

10:00-10:30 受付

10:30-10:35 はじめに

（プラズマ・核融合学会理事・静岡大学 永津雅章）

10:35-11:25 講演(1)

「地球に小さな太陽を：核融合プラズマ」

（京都大学 福山 淳）

「プラズマの産業応用－太陽電池・半導体集積回路デバイスの製造とその未来－」（京都大学 酒井 道）

11:25-12:15 休憩

12:15-14:15 研究口頭発表

14:15-14:30 休憩

14:30-15:45 研究ポスター発表

15:45-15:50 休憩

15:50-16:40 講演(2)

「太陽スーパーフレアと宇宙天気予報」

（京都大学 柴田一成）

「宇宙太陽発電所 SPS－近未来の持続可能社会のための宇宙環境利用－」（京都大学 篠原真毅）

16:40-17:00 講評・表彰

（プラズマ・核融合学会会長・東京大学 小川雄一）

「高校生研究発表」

口頭発表：

1. 「大気圧プラズマ表面処理の均一化の検討」
西大和学園高等学校
2. 「大気圧プラズマによる樹脂表面の表面改質の研究」
愛知県立一宮高等学校
3. 「CCD 高速カメラがとらえたプラズマに対する磁場の影響」
西大和学園高等学校
4. 「超伝導体の作製条件と特性についての研究」
東海大学付属高輪台高等学校
5. 「イオンクラフトの形状による浮揚の変化」
立命館高等学校
6. 「ハゼ科魚類 3 種の塩分耐性の比較」
京都府立嵯峨野高等学校
7. 「植物による放射性セシウムの吸収」
静岡北高等学校
8. 「福島高校の放射線の状況 2」
福島県立福島高等学校
9. 「太陽フレアの観測」
東海大学付属高輪台高等学校
10. 「流星による大気発光の再現実験について」
横浜市立戸塚高等学校

ポスター発表：

上記口頭発表題目に同じ（3.を除く計9件）

今回の高校生シンポジウムでは、プラズマに関する研究を含めて幅広い科学の分野から立派な研究成果が多く発表され、また、大学教員の講演、高校生の口頭・ポスター発表とも、高校生の活発な質問や、高校生同士の議論・コメントが沸騰し、充実した有意義なシンポジウムであったとの印象を持ちました。シンポジウムの状況については、学会のホームページに公開されていますのでご参照ください。



ポスター発表の様子

また、今回のシンポジウムでは「参加者アンケート」を実施し、参加者情報・参加目的のほか、事前実習、大学教員の講演、高校生の研究発表（口頭、ポスター）などについて、それぞれの評価とともに、自由意見・感想を書いていたいただきました。評価はいずれも、“非常に良かった”、“とても有意義だった”、がほとんどでしたが、その裏付けとなる自由意見・感想が多数寄せられ、今後の高校生シンポジウムの企画・運営に大変参考となるとの印象を持ちました。詳細は誌面の都合で割愛しますが、アンケート結果に興味のある方は学会事務局までご連絡下さい。

今年度の高校生シンポジウム開催に際しては、学会事務局や核融合科学研究所、ならびに京都大学の関連教員（現地実行委員：岸本泰明、酒井 道、田中 仁、長崎百伸、福山 淳、南 貴司、村上定義、斧 高一）・大学院生（エネルギー科学研究科、工学研究科）の方々にご協力いただき、シンポジウム参加者はこれら世話人の方々を含めて79人でした。また、平成24年度科学研究費補助金研究成果公開発表（B）のご支援をいただきました。次回の高中生シンポジウムは、2013年9月に東京大学にて開催予定です。

口頭発表 最優秀賞

「放射性セシウムの植物への移行—高校生の課題研究とその指導法—」

静岡北高等学校 中村 琢*

1. はじめに

平成23年度から学習指導要領が改訂され、中学校では30年ぶりに理科（第一分野）で放射線が取り扱われるようになり、原子力発電によるエネルギー生産の仕組みや、放射線の性質と利用について教育することになった。静岡北高等学校では、平成18年度から科学部に放射線の研究班を立ち上げ、霧箱や原子核乾板による放射線の飛跡の可視化、遮蔽実験、環境放射能の測定、大学と連携したアイソトープ施設での課題研究等の放射線教育を実践している。本論文では、科学部が平成23年度から推進している、震災後の

*静岡北高等学校 静岡市葵区瀬名5-14-1
nakamura@shizuokakita-h.ed.jp

福島の土壌を植物により除染する研究の概要を紹介する。

2. 問題意識と研究の目的

福島第一原子力発電所の事故により放出された大量の放射性物質は、震災から1年半を経過した現在も地上に沈着し、森林や土壌の汚染が今なお深刻な問題となっている。本校科学部放射線班は、事故後に福島県で採取した土壌で、ヒマワリ、アマランサス等の植物を育て、植物体内に放射性セシウムが吸収され移行していく様子を、植物から出るβ線を写真フィルムで検出する方法で、可視化する研究を行っている。この画像化する技術で植物による除染（phytoremediation と呼ぶ）の可能性を検討する。

3. 研究の方法

放出された放射性セシウムは ^{134}Cs （半減期：2.1年）と ^{137}Cs （半減期：30.3年）である。ともに放射性同位体で化

学的挙動は似ているが、時間経過により割合が変わり、特に半減期の長い ^{137}Cs が問題となる。植物への放射性物質の移行には、大気から植物に直接沈着し、葉から吸収される経路と、土壌から植物へ根を通して吸収される経路の2つがある。2012年の現在においては大気中のセシウムの存在量よりも、土壌に降下している量の割合が高いことから、根から植物に吸収される経路について調査する。植物の茎の内部に放射線に感度を持つ写真フィルムを貼り付ければ、細胞内の狭い領域から出る放射線を捕捉でき、吸収量の分布を見ることができる。

昨年までの本研究[1]で、福島で育てたヒマワリおよびイネは、地下茎から放射性セシウムを吸収し、茎断面の導管の形状に沿って β 線が多く出ていることから、導管を通して放射性セシウムを吸収し、輸送していることを確認している。放射性セシウムは、ヒマワリ・イネの地上部には輸送されず、地下2 cm付近に留まっている。導管は植物の地上部まで繋がっているため、セシウムが地下に留まる必要性はない。また、すでに報告されているように、事故当時に除染効果が期待されていたヒマワリには、放射性セシウムを集積する効果は認められていない。

そこで、植物へのセシウムの移行の詳細を調べるために、植物の育成に用いる土壌の放射能を変え、同様の手法で実験を行う。福島県の7か所から採取した放射線量の異なる土のほか、静岡の土に ^{137}Cs を高濃度で混入させた汚染土壌で植物を育成する。また、植物種間によるセシウム吸収量の違いを調べ、超集積する植物を探すために、ヒマワリ・イネ・カブ・アマランサス・コリウス等を育て、植物体内でのセシウムの挙動を調べる。

4. 結果と考察

放射能が10 kBq/kgの福島県浪江町津島の土で育てたカブでは、セシウムが根から吸収され、葉脈を通して葉まで到達した。図1は福島の土で育てたカブのImaging Plate

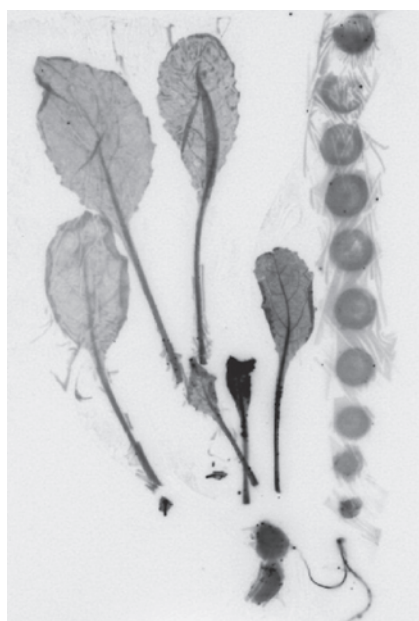


図1 福島の土壌（10 kBq/kg）で育てたカブのIP画像。

（以下、IPとする）画像である。黒い部分ほど放射線を多く出している。葉の葉脈に沿って放射線量が高くなり、特に若い葉に放射性セシウムが多く移行している。さらに地下部のカブの薄片をIPに貼り付け、読み出した結果では、カブの実の下端および上端で、根および茎とつながる部位にセシウムが多く集まっている。10 kBq/kgよりも低放射線量の土壌では、セシウムは植物の地下部の一部にとどまり、地上部では β 線を検出できなかった。一方、静岡の土に0.185 MBqの ^{137}Cs を混入させ、ヒマワリ、イネ、アマランサス、カブ、キュウリを栽培した結果では、いずれの植物でも地上部までセシウムが移行した。図2は ^{137}Cs を混入させた土で育てたヒマワリの花弁を、原子核乾板に3日間貼り付けた後に現像し、光学顕微鏡で観察した写真である。視野のサイズは130 μm × 175 μm である。黒い金属銀の点の連なりで表される線の1本1本が、セシウムが β 崩壊する際の β 線の飛跡である。花弁の全面に均等にセシウムが移行しているのではなく、高濃度でセシウムを格納している領域がスポット状になっている。この領域が直径150 μm の範囲に集中している。イネ、カブ、キュウリもヒマワリと同様に、地上部の葉まで放射性セシウムが移行した。図3は、 ^{137}Cs を混入させた土で育てたアマランサスのIPによる結果である。カブと同様、若い葉と地下茎に放射性セシウムが集中している。

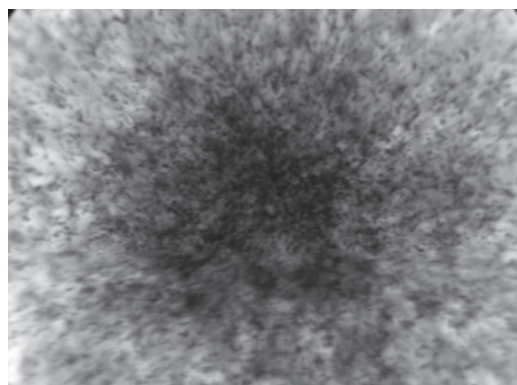


図2 ヒマワリの花弁を貼り付けた原子核乾板の光学顕微鏡写真。

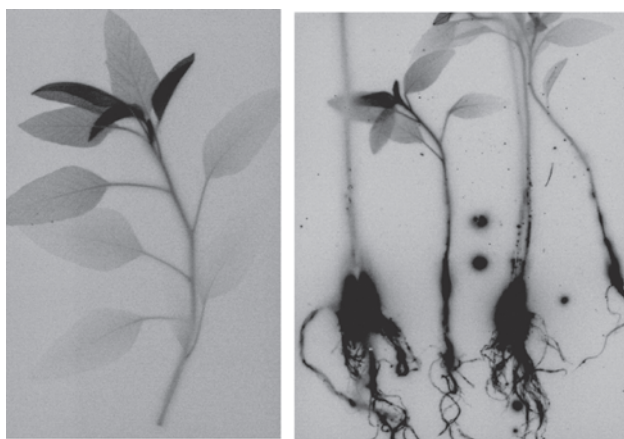


図3 ^{137}Cs を混入させた土壌（0.185 MBq）で育てたアマランサスのIP画像。

5. 本研究のまとめと課題

これらの結果から、植物による放射性セシウムの吸収は、地下茎の維管束導管を通して行われ、植物内におけるセシウムの挙動は、栽培に使用する土壌中のセシウム量により異なることが明らかとなった。10 kBq/kg 以上の濃度のセシウムがあれば、地上部まで含めた植物全体に輸送され、細胞分裂が盛んな成長の著しい若い葉ほど、セシウムが多く移行している。セシウムはあらゆる植物に吸収・輸送され、葉から排出され雨によりふたたび土壌に戻ると考えられる。

10 kBq/kg 以下の土壌で植物を育てた場合は、セシウムは植物の地下茎に留まり、地下茎のバイオマスの大きなカップでも2ヵ月を超える栽培期間ではセシウムは検出できなかった。今回採取した第一原発から20 km 北東の土壌は、10 kBq/kg 以下の放射能レベルであるため、植物へのセシウムの移行量はほとんどなく、今回使用した植物類では食用や処分において危険視するレベルではないと予測できる。セシウムの吸収量の多い植物の発見と処理方法の研究は、土壌除染の具体的な方法の開発につながり、吸収量がゼロあるいは極めて少ない作物の導入は、消費者の安心

につながる。

今後は、土壌の放射線量を細かく設定し、セシウムの植物移行量（移行係数）の定量とセシウムが凝集するメカニズムを引き続き解明していく。

6. おわりに

震災後の日本が直面している除染の問題に、高校生が取り組むことの教育的意義は大きい。本校では専門家と議論し、放射線の基礎実験を1つ1つ積み上げ、安全の下に研究を進めている。これらの議論や研究のプロセスをすべて生徒に見せ、考えさせる指導を課題研究として日々実践している。この放射線教育を通して、将来、科学技術系を志す生徒の意識の高揚を実感している。

静岡大学理科学部放射科学研究施設の奥野健二氏、大矢恭久氏に具体的な助言をいただいたことに、感謝します。

参考文献

- [1] 中村 琢：「放射性物質で汚染した土壌の植物による除染」プラズマ・核融合学会誌 87, 856 (2011).

ポスター発表 最優秀賞

「大気圧プラズマによる樹脂表面の親水化の研究」

愛知県立一宮高等学校 物化部 プラズマ班

1. はじめに

私達は2010年夏に自然科学機構核融合科学研究所を訪ねた。そこでHe プラズマジェットの照射による物質の親水化効果について興味を持ち、He プラズマによる親水化効果の研究を行うことにした。

大気圧プラズマによる親水化処理は人工血管の開発などに利用され、多大な工業的利用価値が見出されている。しかしHe など高価なガスを用いなければならないこと、一度親水化した物質が時間の経過に伴い元の疎水性に戻る“復疎水化現象”が起こることなど、多くの課題が残されている。

私達は、これまでにを行った親水化実験の過程で反応ガスとして用いていたHeにCO₂をわずかに混合すると、Heのみを用いた時と比較して、明らかに大きな親水化効果が見られることを偶然発見した。Heにプラズマ化しにくいCO₂を混合すると、He プラズマの密度が低下し、親水化が妨げられると予想していたため、この結果には大変驚いた。そこで、昨年度はCO₂が親水化処理効果に与える影響とその原因についての研究を行った。また、今年度は新たにCO₂のみを用いたプラズマの親水化効果、および復疎水化現象の傾向の究明を目的とした研究を行うことにした。

2. 実験装置および手法

a. プラズマ発生装置

プラズマ発生装置の概要を示す(図1)。

2枚の亚克力板(140 mm 四方, 0.5 mm 厚)で中央50 mm 四方に切り取ったシリコンゴム(100 mm 四方,

1.5 mm 厚)を挟み込み、プラスチック製の大型クリップで圧着し、密閉性を高めた。また亚克力板の上部・下部ともに平面電極を使用した。

b. 親水性の評価法

本研究では親水性の評価として試料上での精製水の接触角測定を行い、実験前に比べ、実験後の接触角が明らかに低下したとき、試料表面が「親水化した」と判断した。なお、接触角とは図2中の θ に示す角度である。

また、手元に接触角測定装置がなかったため、デジタル

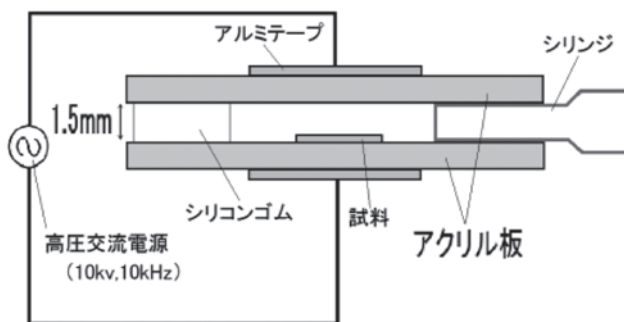


図1 発生装置図。

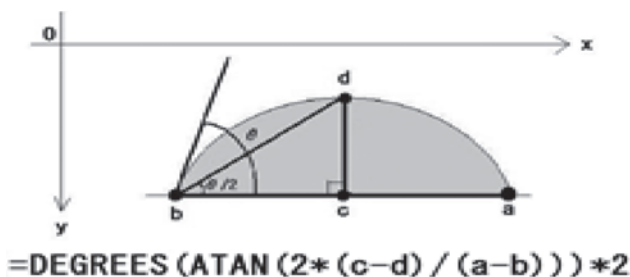


図2 接触角測定法概略図。

カメラとパソコンで可能な簡易かつ正確な独自の接触角測定法を確立した。方法は、シリンジで微量（0.05 ml）の精製水を試料表面に付着させ、その水滴を真横からデジタルカメラで複数回撮影した画像に加工を加えて水滴を拡大し（写真1）、図2中のa～d点のピクセルの座標から $\theta/2$ 法を用いて接触角を求めるものである。本実験では水滴を0.05 mlと小さくしているので、この方法でも十分な精度が得られている。

この測定法を確立することで、目視での接触角測定と比較して誤差を小さく抑えるとともに、一般的な機材を用いることで、測定的大幅なコストの削減を可能にした。

3. 実験と結果および考察

a. プラズマ化する反応ガスの相違による親水化効果への影響

私達は反応ガスの相違が親水化効果に与える影響を調べるために、発生装置内でHe, O₂, CO₂の3種類の気体をプラズマ化し、0.5 mm厚のシリコンゴムに1～15秒の範囲でプラズマ照射を行った。なお本実験で用いた接触角測定法の都合により、接触角10°以下を測定不可能領域とし、このときの試料の状態を超親水状態と定義した。

結果を図3に示す。このグラフは照射時間に伴い、接触角が低下していることを表している。このグラフより、どの気体を用いた場合も、最終的な接触角は全て同じになることが分かる。また、O原子をもつO₂, CO₂を用いた場合の方がHeを用いた場合に比べ、親水化処理速度が速いこともわかる。

b. 反応ガスの相違によるプラズマ照射後の放置時間と復疎水化の相関関係の確認

プラズマ照射後の放置時間と復疎水化の間の相関関係を調べるために、発生装置内でHe, CO₂をプラズマ化し、0.5 mm厚のシリコンゴムに10秒間照射した。その後1分～3日間放置した。

結果を図4に示す。このグラフからHe, CO₂のどちらもプラズマ照射後の放置時間約6時間までは、親水性は急激に失われてしまうが、それ以降の親水性の変化は見られなかった。

また、プラズマ照射前のシリコンゴムの接触角が約105度であることから、元の疎水性まで戻らないことがわかる。

4. おわりに

今回の実験から、CO₂を用いた場合は、Heを用いた場合と比較して、親水化処理速度が速いことがわかった。CO₂はHeに比べて安価であるので、CO₂が親水化処理用の反応

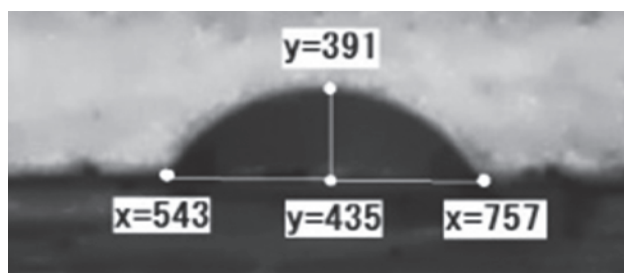


写真1 接触角測定風景。

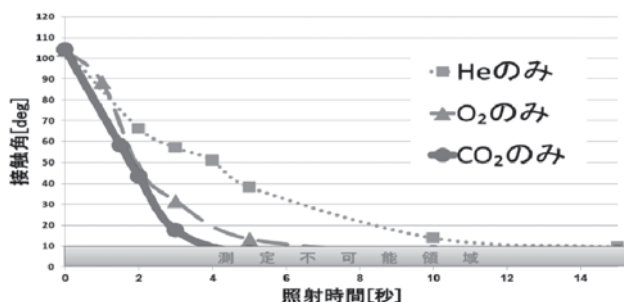


図3 照射時間と接触角の関係。

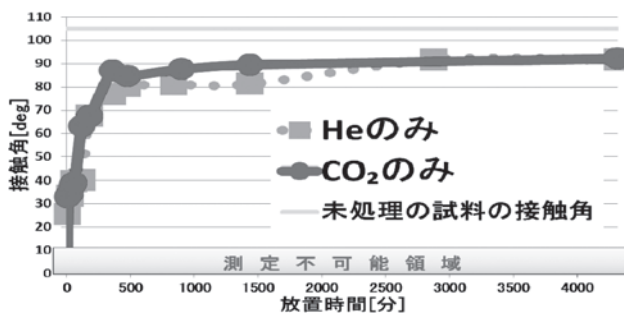


図4 放置時間と接触角の関係。

ガスとして工業的にきわめて有効であることを示唆できる。また、復疎水化が反応ガスの種類に依存せず、比較的短時間の間に急激に起こり、その後緩やかに変化するが、元の疎水性までは戻らないこともわかった。今後の課題としてプラズマを複数回照射する実験を行ってきたい。

参考文献

- [1] 大気圧プラズマジェットによる石英ガラス表面の超親水化：http://www.jstage.jst.go.jp/article/jsssj/30/3/174/_pdf/-char/ja/
- [2] グロープラズマ照射によるシリコンゴム表面の親水化：http://www.qe.eng.hokudai.ac.jp/aesj/local_workshop/23th/pdf_file/igarashi.pdf