

■第16回高校生シンポジウム 「未来をつくるプラズマ ー体験してみよう！総合工学のフロンティアー」実施報告

筑波大学プラズマ研究センター
坂本瑞樹（本会理事）

プラズマ・核融合学会では、高校生の理科離れへの対策と科学に対する興味を深めてもらうために、2003年より毎年全国の大学・研究機関等を会場として「高校生シンポジウム」を開催してきました。このシンポジウムでは、高校生が日頃行ってきた科学研究の成果を発表し、高校生同士で質疑応答をして刺激を受け合い、研究者による先端科学講演や大学・研究機関の研究設備を見学することで最先端の研究に触れ、科学の面白さや楽しさを実感してもらってきました。

若年層の「理科離れ」は深刻な問題である一方で、高校独自のプログラムやSSH/SPPプログラムによって先進的な理科教育が行われ、高校生シンポジウムでも優秀な発表が多く行われてきました。しかし、それらの発表のほとんどがプラズマ以外の研究テーマでした。プラズマ研究はまさに総合工学のフロンティアですが、高校の教科書ではほとんど扱われておらず、高校生がプラズマ研究に触れる機会はほとんどありません。そこで今回は、より多くの高校生にプラズマや核融合に興味を持ってもらい、プラズマ研究、核融合研究の面白さを伝えるとともに、高校生に学習の場を提供し、広く啓発活動を進めるために、プラズマ・核融合に関係する実習の場を高校生に提供して、その実習・研究内容を高校生シンポジウムで発表してもらう機会を作りました。全国の研究室にプラズマ実習のための高校生受け入れをお願いし、文末の「事前プラズマ実習受入研究室一覧」にあるように、全国規模の実習受入体制を構築することができました。今回は16の大学・研究機関の23研究室がプラズマ実習の機会を提供してくれました。

高校生は夏休みに大学の研究室で実習と研究指導を受けて、その内容を発表形式にまとめ上げ、2018年9月22日(土)に核融合科学研究所大会議室でその成果を発表しました。今回の参加校は、文末の参加校一覧にある通り13校で、40名の高校生と13名の高校教員の皆さんが参加されました。



ほか学会関係の参加者は12名でした。発表件数としては、口頭発表6件、ポスター発表12件で、全18件の発表のうち12件がプラズマに関係した発表内容でした。ポスター発表では6件ずつ前半と後半に分かれて発表し、高校生同士が質疑応答できるようにしました。参加者の多くがプラズマ実習を受けて同じ興味や問題意識を持っているためか、口頭発表、ポスター発表での高校生同士の質疑応答が活発に行われていたのが印象的でした。

ポスター発表の後には、LHDスタッフのご協力で、LHDの運転制御室、LHD模型や関連機器、超伝導線材の展示、液体ヘリウム製造施設などの見学が行われました。LHD実験の規模の大きさや大画面テレビに映し出されるプラズマ生成・制御の様子を見学した参加者はそのすごさを実感していました。

この見学会の最中に審査委員会（委員長：吉田善章会長、審査委員8名）が開かれ、厳正な審査の結果、以下のように受賞が決まりました。どの発表も素晴らしく、審査委員会での賞の選定には苦労しました。

○最優秀発表賞

「プラズマによる流体制御の研究」澁谷佳輝（口頭）、佐々木準暉（口頭）、横山航大（ポスター）、佐藤 翼（ポスター）（福島県立福島高等学校）

○口頭発表最優秀賞

「大気圧プラズマ表面改質でみられたテフロンと両面テープの接触性の変化」稲葉結衣、寺倉結菜、江原 悠（愛知県立一宮高等学校）

○口頭発表優秀賞

「界面活性剤の洗浄作用に対する炭化水素基の影響」小泉勇樹（茨城県立水戸第一高等学校）

○ポスター発表最優秀賞

「ろうそくの炎が帯電するメカニズム」片瀬瑛仁、坂本直哉、鈴木陽介（名古屋市立向陽高等学校）

○ポスター発表優秀賞

「空気による低圧グロー放電中のプラズマの発光スペクトルの起因に関する研究」池上幸祐、佐原大暉（立命館高等学校）

「プラズマ処理と水の抵抗」椿崎 聡、福永悠光、藤本晴高、水谷祐太（名古屋経済大学市邨高等学校）

口頭発表とポスター発表が同じ内容でどちらも最優秀発

表に値するものに両発表を合わせて「最優秀発表賞」を授与しました。また、今回は全国規模の参加が期待されたので、参加者の負担軽減等の観点から新しい取り組みとして、TV 会議システムを用いた遠隔発表も可能としました。水戸第一高等学校の発表が筑波大学からの TV 会議発表でした。

今回のプラズマ実習とシンポジウムでの発表を通して、参加した高校生にはプラズマの面白さや科学への興味、研究の楽しさを実感してもらうことができたと思います。この経験が彼らの今後の糧となることを期待しています。また、プラズマ実習の機会を与えてくれた研究室の方々にはご苦労が多かったと思います。高校生シンポジウム開催にご協力いただいた皆様に感謝申し上げます。来年度も同様の取り組みで高校生シンポジウムを行いますので、どうぞご協力をよろしくお願いいたします。

・事前プラズマ実習受入研究室一覧（下線は高校生が実習を行った研究室）

北海道大学（佐々木研究室）、東北大学（安藤・高橋・小室

研究室）、筑波大学（坂本研究室）、東京大学（吉田・西浦研究室、高瀬・江尻研究室）、日本大学（浅井研究室、荒巻研究室、高杉研究室）、東海大学（利根川研究室）、富山大学（波多野研究室）、金沢大学（上杉・田中研究室）、核融合科学研究所（能登研究室、吉村（信）研究室）、名古屋大学（大野・梶田・田中研究室、豊田研究室）、京都大学（門研究室）、大阪大学（上田研究室）、兵庫県立大学（永田・福本・菊池研究室）、広島大学（難波研究室、桧垣・伊藤研究室）、愛媛大学（神野研究室、前原研究室）、九州大学（出射研究室）

・参加校一覧（13校）

福島県立福島高等学校、茨城県立水戸第一高等学校、日本大学第一高等学校、日本大学豊山中学・高等学校、静岡聖光学院高等学校、愛知県立一宮高等学校、豊田工業高等専門学校、名古屋市立向陽高等学校、名古屋経済大学市邨高等学校、岐阜県立加茂高等学校、福井県立藤島高等学校、立命館高等学校、岡山県立玉野高等学校

■プラズマによる流体制御の研究

福島県立福島高等学校 SS 部プラズマ班
2 年 澁谷佳輝，佐々木隼暉，1 年 佐藤翼，横山航大

1. 動機及び目的

再生可能エネルギーの活用が国際的に注目されている中、風力発電では発電効率向上や安定的な電力供給に課題があることが現状である。そこで私たちは“プラズマアクチュエータ（PA）”を用いて流体の制御を行い、風力発電の課題解決と普及促進をめざすこととした。

風力発電風車のブレード表面において、流体の流れが剥がれることで生じる“剥離領域”の発生は風車の回転を妨げる力（抗力）の増加をもたらす。そのため、流体の剥離を抑制し剥離領域を減少させることは、風車の回転効率向上に必要不可欠である。昨年度までの研究では、PA によって剥離領域を減少させられることが確認された。そこで本研究においては、PA を用いた際の①流体の流れの可視化、②翼型周辺の流体の流れと剥離領域面積測定及び PA の最適位置の検討、③剥離領域の減少が翼型の揚力に及ぼす影響の観測を目的に実験を実施した。

2. 実験方法

PA は、電極となる 2 枚の銅テープの間に絶縁体のポリイミドテープが挟まれた構造であり（図 1）、プラズマを発生させることで流体の流れを誘起する特性がある。これにより PA 周辺の流体の流れを変化させることが可能である。本実験では、長さ 20 cm の PA をアクリル製の翼型に設置し（図 2）、交流 2700 V を印加し電極間にプラズマを発生させた。プラズマ発生による消費電力は 3.6 W (18 W/m) である。実験装置全体の様子を図 3 に示す。送風機から送り込んだ風をハニカムと風洞を用いて整流した。翼型周辺

を流れる流体の可視化ではスモークワイヤ法を実施した。ニクロム線に塗った流動パラフィンを経化することでスモークを発生させ、緑色 LED を照射し、流体の流れをデジタル一眼レフカメラ（Nikon D7200）で動画撮影した（図 4）。

なお、本研究でのプラズマ発生位置（ X_{PA} ）の表し方と迎角（ α ）、本実験で面積測定した剥離領域は図 5、図 6 のとおりである。

実験 1 翼型周辺の流体の剥離領域面積測定

実験条件は、 $\alpha = 0^\circ \sim 40^\circ$ (10° ごと)、 $X_{PA} = 0\% \sim 40\%$ (10% ごと) である。

実験 2 各迎角の剥離位置（図 7）でプラズマを発生さ

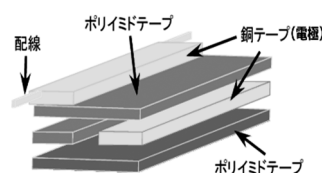


図1 PAの構造。

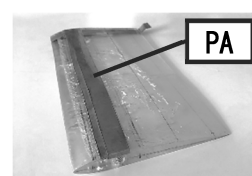


図2 翼型（自作）。

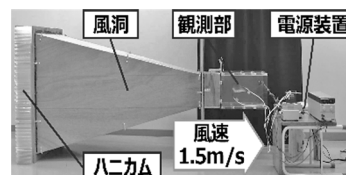


図3 実験装置全体。

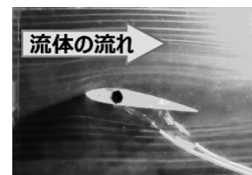


図4 流体可視化の様子。

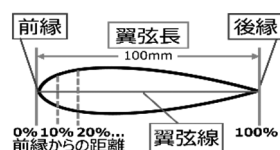


図5 X_{PA} 表し方。

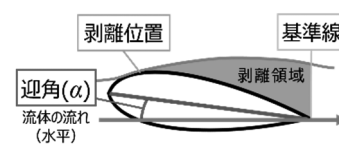


図6 α と剥離領域の定義。

せた際の剥離領域面積測定

実験条件は、 $(\alpha - X_{PA}) = (0^\circ - 87\%)$, $(5^\circ - 28\%)$, $(15^\circ - 38\%)$ とした。

なお、実験1, 2では撮影した動画から各条件のプラズマOFF時及びプラズマON時それぞれ10枚ずつ静止画像を抽出し、画像処理ソフト(Image J)により画像を単色化、平均化したのち、剥離領域面積を測定した。

検証実験 翼型に生じる揚力の測定

剥離領域の減少が翼型に生じる揚力の増加につながるのかを調べるため、 $X_{PA} = 0\%$, $\alpha = 0^\circ \sim 20^\circ$ (5° ごと)として揚力計測実験を行った。揚力の測定には電子天秤を用いた。

3. 実験結果

実験1 解析1：剥離領域面積の減少割合

プラズマ発生により、剥離領域面積の減少が確認された(図8)。プラズマOFF時とON時の剥離領域面積減少割合を表1に示す。剥離領域面積の減少割合が最も大きかった条件は、 $(\alpha - X_{PA}) = (10^\circ - 20\%)$ のときである(図9)。また、どの迎角の場合でも、 $X_{PA} = 0\%$ において剥離領域減

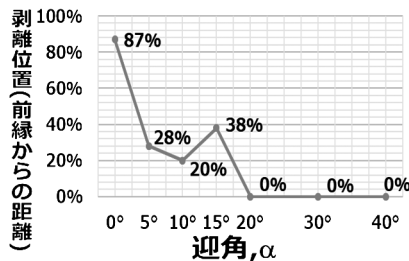


図7 迎角と剥離位置の関係。

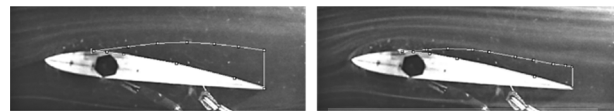


図8 解析例 $(\alpha - X_{PA}) = (10^\circ - 20\%)$ 解析画像。

表1 剥離領域減少割合(%)。

$\alpha \backslash X_{PA}$	0%	10%	20%	30%	40%
0°	19.1	14.5	16.8	15.4	16.9
10°	5.8	11.9	42.8	24.7	21.5
20°	18.4	39.4	7.9	4.2	2.9
30°	11.2	8.9	4.3	1.5	0.13
40°	10.8	5.6	4.0	1.7	0.87

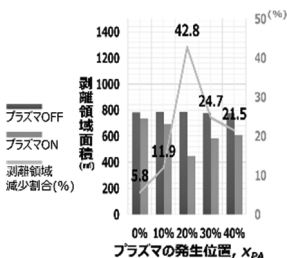


図9 解析1 $\alpha = 10^\circ$ 。

少の一定効果が得られていることも確認できた。

実験1 解析2：ストリーク図の作成

解析1で認められた剥離領域面積の減少がPAの効果によるものかを確認するためにストリーク図(翼型後縁上部の濃淡値の時間変化を表す、図10左)を作成した。縦軸は翼型表面からの距離、横軸は時間変化を示す。白い部分は流線があることを示している。また、ストリーク図からプラズマOFF時・ON時それぞれの濃淡値を平均化してグラフ化した(図10右)。剥離領域面積減少割合が最も大きかった $(\alpha - X_{PA}) = (10^\circ - 20\%)$ の条件ではプラズマOFF時(破線)グラフに比べプラズマON時(実線)グラフが下方に移動していることから、PAの効果により流線が翼型に引き寄せられ剥離領域が減少していることが確認できた。さらに $(\alpha - X_{PA}) = (10^\circ - 20\%)$ では、 X_{PA} が剥離位置とほぼ一致していることも確認できた。

実験2 結果を表2に示す。

どの条件においても大きな剥離領域面積の減少が確認された。

検証実験 結果を図11に示す。

どの条件においても翼型に生じる揚力の増加が見られた。特に、 X_{PA} が剥離位置と重なる $\alpha = 20^\circ$ においては大きな揚力の増加が見られた。

4. 考察

I. プラズマ発生位置による剥離領域への影響

実験1の結果より、流体中または剥離位置でのプラズマ発生は剥離領域に流体の流れを発生させ、剥離領域減少の

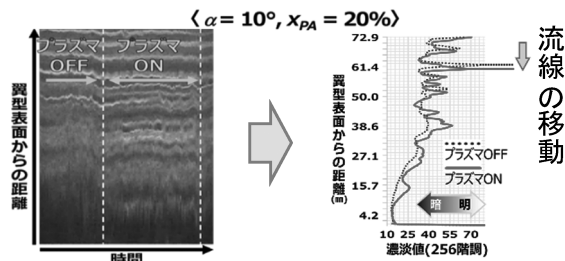


図10 ストリーク図の作成と濃淡値のグラフ化。

表2 迎角(α), PA位置(X_PA)と剥離領域の関係。

α	X_{PA}	剥離領域 (mm ²)		剥離領域減少割合
		OFF	ON	
0°	87%	29.2	9.1	68.7%
5°	28%	414.7	257.8	37.8%
15°	38%	533.9	311.6	41.6%

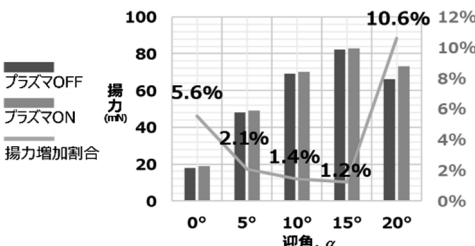


図11 電子天秤を用いた揚力計測実験結果。

効率化を図ることが可能であると考えられる。しかし、剥離領域中でのプラズマ発生は流体の流れを乱流化させるために剥離領域面積が安定しないことから剥離領域減少の効果は不安定であると考ええる。

II. プラズマ発生の最適位置と迎角の関係

実験1・実験2の結果より、迎角を固定して最大の剥離領域減少効果を得るためには、 X_{PA} を剥離位置に設定することが最適であると考えられる。一方で、異なる迎角に対して平均的に効果を得るためには X_{PA} を翼型前縁に設置することが最適であり、どの迎角に対しても一定の剥離領域減少効果が得られることがわかった。

III. 風力発電への応用をめざして

風力発電では周囲の風速やブレードの回転速度によって実効的な迎角が変化し剥離領域が発生する。これは風力発電の発電効率を考えた場合に問題となるが、これを解決す

るにはPAを翼型前縁に設定し、迎角の変化に関わらず一定の剥離領域減少効果を得ることが効果的であると考えられる。以上より、風力発電において、PAによる流体制御をすることで剥離制御とそれに伴う揚力減少抑制を行うことが可能であると考ええる。

5. 今後の展望

風力発電風車への応用を見据えて、小型風力発電風車に本研究を応用し、プラズマ発生による発電電力の変化のデータ化を進める。

謝 辞

東北大学大学院工学研究科助教小室淳史先生を始めとする多くの方々のご協力をいただきました。この場をお借りして御礼申し上げます。

福島高校スーパーサイエンス部プラズマ班



昨年度に班を立ち上げ、風力発電の発電効率向上や安定的な電力供給をめざして研究しています。現在1・2年生9名で活動中です。可能な限り自作の装置を使用して実験を行うことをモットーとし、多くの方々のご協力をいただきながら活動しています。

■大気圧プラズマ表面改質でみられたテフロンと両面テープの接着性の変化

愛知県立一宮高等学校
稲葉結衣, 寺倉結菜, 江原悠

1. はじめに

大気圧プラズマを物質に照射すると物質表面の性質を変えることができる。その技術を利用して、テフロンと両面テープの接着性を高めることを目的として研究を行った。テフロンは耐薬品性、高絶縁性などの特長があり、半導体製造装置や電線被覆などに用いられているが、接着性が低いことが利用上の難点とされている。

2. 研究方法

(1) 仮説

大気圧プラズマの表面改質でテフロンの表面が水に濡れやすくなると両面テープとの接着性が高まる。

(2) 実験方法

以下にこの研究で用いた実験手法を示す。

①大気圧プラズマ処理 (図1)

大気圧プラズマ処理は名古屋大学工学部豊田研究室に依頼した。処理条件を以下に示す。

マイクロ波: 400 W

流量 : 500 sccm

気体 : ヘリウム

スロット幅: 0.16 mm

スロット長さ: 180 mm

処理時間: 表面改質の度合いに幅をもたせるために5秒, 10秒, 30秒, 60秒と変化した。

②接触角による濡れ性の測定

物質の表面と水滴がなす角 (図2の θ) を接触角という。今回は接触角計により Tangent 法により測定した。この値が小さいほど濡れ性が高いといえることができる。

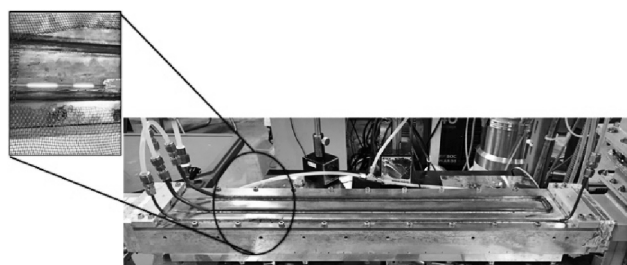
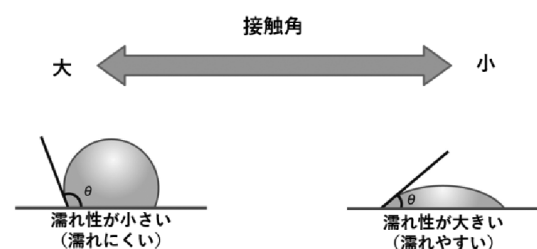


図1 大気圧プラズマ処理装置。



http://www.face-kyowa.co.jp/science/theory/what_contact_angle/より

図2 濡れ性の評価。

③テフロンと両面テープの接着力の測定 (測定装置)

図3に測定装置の概要を示す。測定方法は、テフロン板に両面テープを貼り付けた亚克力片 (接着部) を押し付け、接着部にひもを通し、定滑車を介してペットボトルにより引く。ペットボトルに少しずつ水を入れ、接着が剥がれたときの重さを接着力とした。

(圧着方法)

両面テープとテフロンを一定の力で一様に圧着するために、250 g のおもりを1分間載せた。また、垂直に圧着しやすくするために補助具を作成した (図4)。

3. 実験

(1) 実験1

①実験方法

・両面テープにはニチバン株式会社「ナイスタック」の粘着力「普通」を使用した。

②測定結果

測定結果を図5に示した。未処理 (処理時間0秒) の場合と比べて、プラズマ処理を行った試料では、濡れ性が大きくなり、それに伴って接着力が向上していること

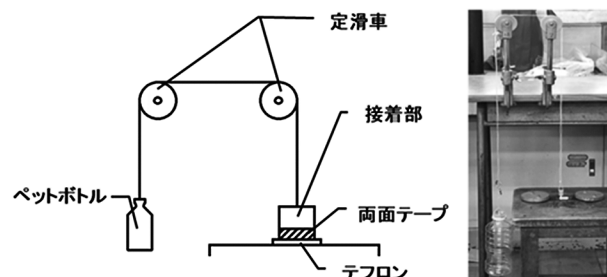


図3 接着力の測定方法。

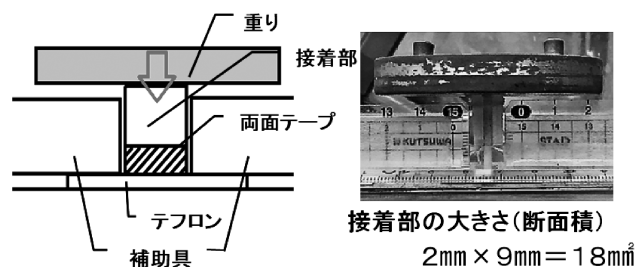


図4 接着部のテフロンへの圧着方法。

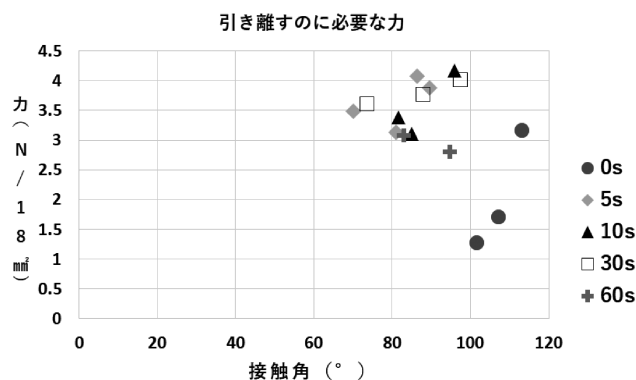


図5 実験1の結果。

が読み取れる。ただし、処理時間が長いほど濡れ性が大きくなるといった単純な結果とはならなかった。

(2) 実験 2

他の物質でも同様の傾向が見られるのかについて試料をポリイミドに替えて実験を行った。

①実験方法

- ・テフロンをポリイミドに替えて実験 1 と同じ実験を行った。

②測定結果

測定結果を図 6 に示した。ポリイミド樹脂の場合はプラズマ処理の時間が長いほど濡れ性が向上した。樹脂と両面テープ間の接着力は、処理時間 10 秒の 1 回を除き、濡れ性が大きくなるほど大きくなっていることがわかる。

4. 考察

実験 1 と実験 2 の結果を見ると、テフロンとポリイミドはどちらの試料の場合にも樹脂表面への濡れ性が大きいほど両面テープとの接着力が強くなる傾向が読み取れる。そして、この結果の原因については、樹脂表面の親水基が多くなると、両面テープの粘着物質との間の分子間引力が大きくなり、そのために接着力が向上すると考えることができる。ただし、測定のばらつきが大きいので、さらに測定回数を増やす必要がある。

5. まとめ

今回の研究から、樹脂表面の濡れ性が大きくなると両面

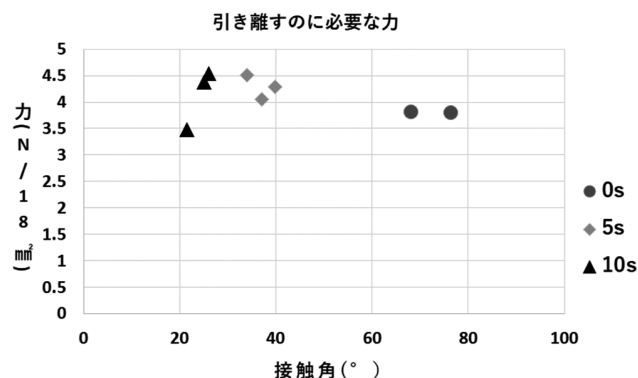


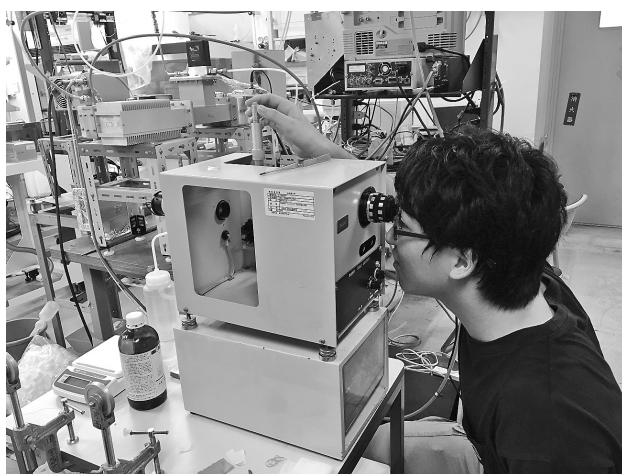
図 6 実験 2 の結果。

テープとの接着性が高まる傾向が確認できた。これによって、プラズマ処理により接着性の低さが課題であったテフロン樹脂の接着性を高められる可能性があるといえる。今後の展望は、接着力の測定方法の改善を行ったり測定回数を増やし、研究の精度を向上させる必要がある。

謝 辞

大変にお忙しい中にも関わらず、温かいご指導頂いた、名古屋大学工学部電気電子情報工学科の豊田浩孝先生、鈴木陽香先生に感謝申し上げます。また、同研究室大学院生の石川翔太さんには、貴重な研究時間を割いて、樹脂の大気圧プラズマ処理を行っていただきました。感謝申し上げます。

一 宮 高 校



それぞれがプラズマに興味を持っていたとはいえ、研究に取り組んだことのない 1 年生の 3 人は、多くの困難を体験しました。装置の再検討で水の泡と消えた 1 日半の測定。意見が合わずやりかけては初めに戻った研究。こうした体験を通して、価値観の異なる相手と粘り強く研究を続けることの大切さを学んだように思います (写真は接触角測定の様子)。

■ろうそくの炎が帯電するメカニズム ～事前研究と展望の報告～

名古屋市立向陽高等学校
2年 片瀬瑛仁, 坂本直哉, 鈴木陽介

1. 研究の動機

ろうそくの炎に電場をかけると電場の方向に傾くことが分かっており, この振る舞いは, 炎が帯電していることが関係している. なぜこのような振る舞いを見せるのかそのメカニズムを解明するため研究を始めた.

2. 事前研究1 電圧測定

2.1 測定原理

本研究では図1のような, コッククロフト-ウォルトン回路をもつ高電圧電源を使用した. 出力電圧は10段階で変えられるようになっている. この電源装置は, 出力端にコンデンサを使用しているため, 電流が流れると電圧が低下してしまう. そこで, この電源装置の電圧を測定するにあたり, 電流が流れることなく電圧を測定できる回転振子型静電電圧計(図2), 並びに回転振子(図3)を自作した. 図4は, 電圧計の模式図である.

2枚の平行電極の中央に導体(回転振子)を吊るし, 自由に回転できるようにする. 平行電極間に電場をかけると, 静電誘導により導体は回転を始め, 電場に平行になろうとするが, 電場に平行になった後も慣性により回転運動

を続ける. すると静電気力は回転を阻止する形で復元力となる. 以下同様にして, 電場があってエネルギーの損失がない限り, 導体は反復運動を続ける振子となる. また, 振子の周期を正確に測定するため, 振子の針状の先端を磁力で吊り下げ, 磁力をできるだけ弱くすることで, 振子にはたらく摩擦力を小さくした. 測定の際, 振子を5往復させて周期を測定し, 信頼できる高電圧電源装置(1.00×10^3 V)で較正し, 電圧の値とした. 運動方程式より,

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -2AE^2l \sin\theta \cos\theta$$

I : 慣性モーメント, A : 定数, E : 電場, $2l$: 振子の長さ, とした. $\theta \ll 1$ では上式は, $I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -2AE^2l\theta$ で近似され, 振子の振動数は電場の強さに比例することがわかる.

2.2 測定結果

図5のグラフは, 横軸が電源装置の10段階の出力位置, 縦軸が振子の振動数である. 較正した結果, 電源装置の出力の最小値($V_{\min}$)と最大値($V_{\max}$)は, それぞれ

$$1.3 \times 10^3 \text{ V} \leq V_{\min} \leq 1.4 \times 10^3 \text{ V},$$

$$9.2 \times 10^3 \text{ V} \leq V_{\max} \leq 1.0 \times 10^4 \text{ V}$$

の範囲にあることがわかった.

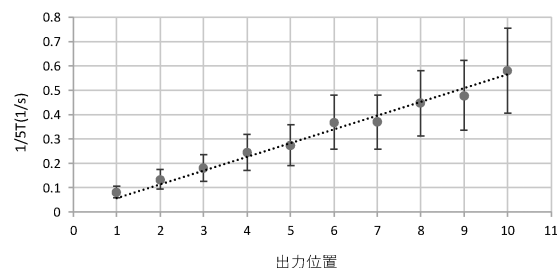


図5 電圧測定の結果.

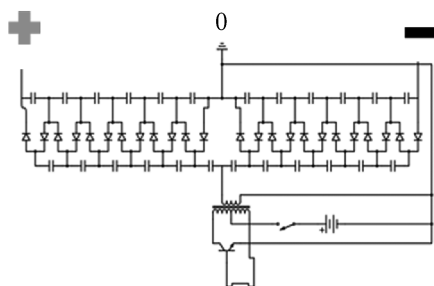


図1 コッククロフト・ウォルトン回路.



図2 電圧計の外観(この中に図3に示す回転振子をつるす).

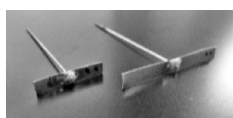


図3 回転振子.

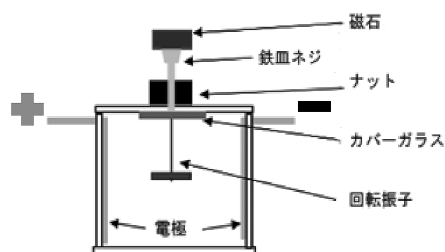


図4 電圧計全体図.

3. 実験1 ろうそくの炎の形状

3.1 再現実験より

ろうそくの炎をはさんで, 上下に金網電極を設置し, 上をマイナス, 下にはプラスとなるように垂直上向きに電場をかけると, ろうそくの炎が負極側に引き寄せられた. このときろうそくの炎の先が割れていた. このろうそくの炎が伸びる原因はろうそくの炎が負極側に引き寄せられるからであることは既にわかっている. なお, この実験では実験1で電圧測定を行った電源装置を用いた.



図6 炎の先が割れている様子.

3.2 実験結果を説明できる仮説

再現実験の時に生じた、上下に電場をかけると、ろうそくの炎の先が割れる現象は、金網電極の網目に向かってそれぞれのろうそくの炎が向かっていったことにより炎の先が割れていることが原因で発生して、一様な電場が作れないのではないか、と仮説をたてた。

仮説の検証のために、金網を金属板に変え、ろうそくの炎の先が割れないことを確認するとよいと考えた。

3.3 実証実験

上下に設置した金網電極の代わりに金属板電極を設置し、あとは再現実験と同様の実験を行った。

3.4 実証実験の結果

炎の先は割れなかった。しかし、さすが金属板電極に付着した。付着したすすによって発生していた一様な電場はすぐ失われてしまったようで、炎の先はまた割れだした。

また、金属板電極間の距離を遠くすると金属板電極にすすの付着する量は減ったが、ろうそくの炎が金属板電極間を遠くする前に比べて負極側に引き寄せられなくなったことから電場が弱くなったためといえる。

3.5 考察

一様な電場を作るためには金網電極よりも金属板電極のほうが好ましいかと考えたが、金網電極を用いた方が金属板電極を用いた場合よりもさすが金網を通過できるため、すすがつくことによる電場への影響は少なく、一様とはいえないまでも、安定した電場ができることがわかった。

4. 実験 2 すすの帯電

4.1 実験結果を説明できる仮説

すすに帯電したものとそうでないものがあるとすると、実験1で電極板に付着したすすを顕微鏡で観察すれば、帯電したすすとそうでないすすに違いがみられるのではないかと、仮説をたてた。

4.2 実証実験 1

図7のようにして、ろうそくからでた気体に電場をかけたときに、先の実験1のように上のスライドガラスにすすがつくはずである。付着したすすが正に帯電しているならば、負極側により多くのすすが付着する。両極板の電位差は約 1.0×10^4 V とした。

4.3 実証実験 1 の結果

炎から出たすすは、負極の電極板に付着し、上部のスライドガラスには付着しなかった。顕微鏡で電極板の表面を観察すると、図9のようにすすと思われるものが付着していた。

スライドガラスを観察したところ、何かが付着していた

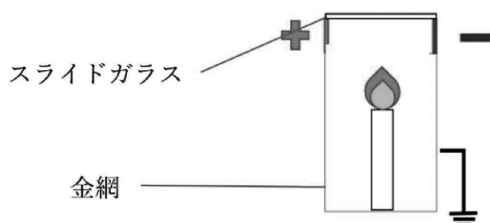


図7 炎の上部に電場をかけ、上のスライドガラスにすすをつける。

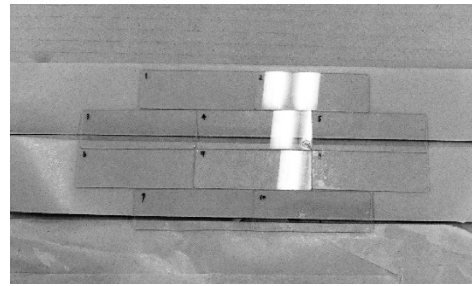


図8 スライドガラスは、写真のように段ボールにテープで付けた。

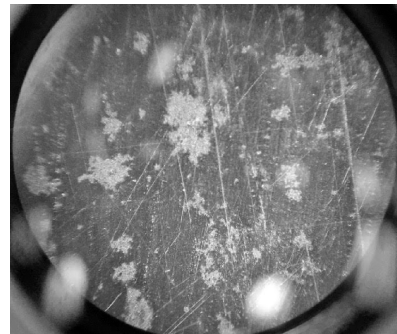


図9 負極板の顕微鏡写真（×100）。

が、それがすすなのか汚れなのかはわからなかった。

4.4 実証実験 2

すすが本来どのような形をしているのか調べるため、ろうそくの炎に息をかけ、すすが出ているのを確認してから炎の真上にスライドガラスをかざして、顕微鏡で観察した。

4.5 実証実験 2 の結果

図10のようなすすが観察された。すすの粒の形は角ばっており、粒同士の間隔は広がった。

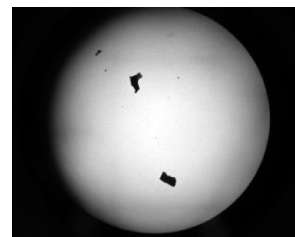


図10 スライドガラスに付着したすす（×400）。

5. 今後の展望

5.1 炭素の熱電子放出

5.1.1 仮説

ろうそくは電場の中に置くと炎が負極側に傾くが、ろうそくの炎の温度はすすが電離するには低いため、プラズマ化しているとは考えにくい。ろうに含まれている炭素を熱することで高い電場のもとで熱電子を放出し、正に帯電しているのだと考えた。

5.1.2 実証実験

カーボンファイバーを炎の中に入れ、その動きをみる。

5.2 水素の炎に電場をかける

5.2.1 仮説

炭素が熱電子放出をすることで炎が正に帯電し、電場の

影響を受けて傾くと考えた。水素の燃焼によって生じた炎を用いて実験する。この炎には炭素は含まれないため、この炎が電場の方向に傾かなければ、炎の帯電は炭素に起因することが確認できる。逆にこの炎が電場の方向に傾けば、炎の振る舞いは水素、もしくは他の物質に関係していることがわかる。

5.2.2 実証実験

装置は、ペットボトルを半分に切り、その上部を使う。口の部分にゴム栓をつけ、その中央部にガラス管をさし、水素の出口とする。この装置の下部から気体の水素を注入し、水素が抜けていかにないようにガラス管にカバーをして水素をためる。そののち、ガラス管上部に火を近づけ、口を開き点火する。このようにして作った炎に電場をかけ、その振る舞いを観察する。

謝 辞

本研究において、核融合科学研究所・名古屋大学 藤田順治名誉教授、名古屋大学 大野哲靖教授に多くのご指導

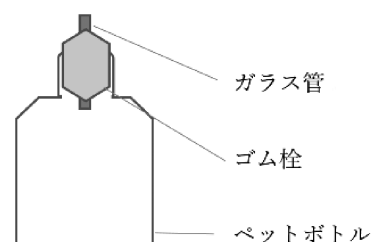


図11 水素をためる装置。

とご助言をいただきました。この場をお借りして、感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 藤田順治：たかがろうそく、されどろうそくー理科教育にも使える身近なプラズマ：プラズマ・核融合学会誌 88, 297 (2012).
- [2] ファラデー：ろうそくの科学 竹内敬人訳（岩波文庫）。

名古屋市立向陽高等学校



私たちは、名古屋市立向陽高等学校国際科学科の2年に在籍しております。今年度の4月からろうそくの炎に電場をかける実験をしております。物理の授業では、まだ電気の分野には入っていないため、実験と学習を並行して行い日々苦戦しております。今回の「高校生シンポジウム」に参加して、たくさんのご助言をいただけたことに感謝しております。