

プラズマエレクトロニクス分科会会報 No. 84

2026 年（令和 8 年）6 月発行

高橋、山田、兒玉、石野

目次

幹事長交代の挨拶

幹事長退任にあたって	九州大学	古閑 一憲	1
幹事長就任にあたって	名城大学	伊藤 昌文	2

研究室紹介

名城大学 理工学部 電気電子工学科 電子生命情報分野 榊田 研究室	名城大学	榊田 創	3
--------------------------------------	------	------	---

研究紹介

大気圧低温プラズマジェット照射によるポリシラ ザンの界面駆動型自己組織化と高品質 SiO ₂ の超 低温形成	広島商船高専 広島大学	酒池 耕平 東 清一郎	8
---	----------------	----------------	---

学生のためのページ

大気圧プラズマの電気特性計測	新潟大学	山家 清之	15
----------------	------	-------	----

第 24 回プラズマエレクトロニクス賞

機械学習を活用したタンデム型変調誘導熱プラズ マによるナノ粒子生成条件の最適化	金沢大学 日清製粉グループ本社	田中 康規 長瀬 有理 岡野 里桜 中野 裕介 石島 達夫 北山 哲士 末安 志織 渡邊 周 中村 圭太郎	24
--	------------------------	---	----

応用物理学会講演奨励賞

トムソン散乱およびラマン散乱を用いた空気中ス トリーマ放電の電子密度・ガス温度の計測：印加電 圧の影響	東京大学 北海道大学	睦 承源 小野 亮 富田 健太郎	29
自己組織化した発光模様を伴う He 直流グロー放 電での換算電界および平均電子エネルギーの推定 および発光機構の考察	北海道大学	宮崎 俊明 佐々木 浩一 白井 直機	32

国際会議報告

46th International Symposium on Dry Process (DPS2025)	愛媛大学	神野 雅文	35
18th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials / 19th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (ISPlasma2026 / IC-PLANTS2026)	名古屋大学	内田 儀一郎	37

国内会議報告

第 48 回日本分子生物学会年会 ミニシンポジウム「雷！プラズマ駆動型科学にみ る植物内分子応答」	名古屋大学	石川 健治	39
第 43 回プラズマプロセッシング研究会(SPP43)	大阪公立大学	呉 準席	42
2026 年第 73 回応用物理学会春季学術講演会 チュートリアル講演開催報告	サンディスク	佐藤 樹	44
2026 年第 73 回応用物理学会春季学術講演会 プラズマエレクトロニクス分科会主催シンポジウ ム	産業技術総合研究所 広島大学	新田 魁洲 長澤 寛規	46
2026 年第 73 回応用物理学会春季学術講演会 プラズマエレクトロニクス分科会内招待講演	名古屋大学	石川 健治	47
第 46 回プラズマ新領域研究会「プラズマ材料科学 の進展と環境調和型循環経済への展開」	九州大学	田中 学	49
第 47 回プラズマ新領域研究会「持続可能社会に向 けたバイオマス活用プラズマ技術の最前線」	東京科学大学	竹内 希	50
公開シンポジウム「地球レジリエンス強化に向け た低温プラズマ学と遺伝学のフロンティア学際ハ ブ」	名古屋大学	石川 健治	51

行事案内

2026 年 第 87 回応用物理学会秋季学術講演会 プラズマエレクトロニクス分科会企画	金沢大学	石島 達夫	54
79th Gaseous Electronics Conference (GEC 26)	名古屋大学	石川 健治	56
AVS 73rd International Symposium & Exhibition	名古屋大学	石川 健治	57
47th International Symposium on Dry Process (DPS2026)	ソニーセミコンダクタ ソリューションズ(株) 東京都立大学 キオクシア	久保井 信行 枋久保 文嘉 栗原 一彰	58
12th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-12)/ 44th Symposium on Plasma Processing (SPP-44)	大阪公立大学	白藤 立	60
第 20 回プラズマエレクトロニクスインキューベシ ョンホール	金沢大学 九州大学	石島 達夫 柳生 義人	61

掲示板

2026 年度(令和 8 年度)	63
プラズマエレクトロニクス分科会幹事名簿	
2026 年度(令和 8 年度)分科会幹事役割分担	65
2026 年度(令和 8 年度)	66
分科会関連の各種世話人・委員	
プラズマエレクトロニクス関連会議日程	67
当会報への広告掲載について	68
編集後記	69

幹事長退任の挨拶

幹事長退任にあたって

九州大学 古閑 一憲

この度、2024、2025年度の2年間にわたり分科会幹事長をつとめさせていただきました。任期を終えるにあたり、会報誌をお借りして退任のあいさつを申し上げます。

過去の幹事長の皆様が執筆された文章を読みながら自分の成してきたことを顧みるに、波風のない平穏な日々を過ごさせていただいたと思う次第です。ただ平穏な幹事長業務を過せたと思うことができたのも、各局面で、幹事の皆様が適切に動いていただいたおかげだなと感謝する次第です。副幹事長、庶務担当をはじめ多くの幹事の方に助けていただきました。誠にありがとうございます。

平穏な分科会とはうらはらに、この2年間は、日本および世界の科学技術を取り巻く環境が著しく変動しました。生成AIの急速な普及は、研究者の情報収集・論文執筆・データ解析の在り方を根本から問い直す契機となりつつあります。生成AIの発展を支える半導体産業においては、TSMCの国内工場建設やRapidusによる次世代ロジック半導体の国産化プロジェクトが本格的に始動し、プラズマプロセスをはじめとする先端製造技術への社会的関心は高まる一方です。さらに、カーボンニュートラルの実現に向けたGX（グリーントランスフォーメーション）政策の推進により、プラズマ技術が担いえる役割——排ガス処理、大気圧プラズマの環境・農業・医療応用の関連技術など——が幅広く注目を集めるなか、プラズマエレクトロニクス分科会がカバーする研究領域、そして大学研究者と企業研究者が意見を交わす分科会の役割は今以上に重要になると確信しています。

分科会の活動面においては、春季・秋季の応用物理学会学術講演会における企画・運営、チュートリアル講演、プラズマエレクトロニクス講習会、プラズマプロセッシング研究会などの継続と運営を粛々と進めました。大学研究者と企業研究者が出会う場所、本分野に新たに踏み込む若手研究者・学生にとって基礎から最新動向まで体系的に学べる場所を提供できたのかなと考えています。

気になることといえば、プラズマプロセッシング研究会の今後の動向でしょうか。学生の就職活動のタイムスケジュールの変化も一つの理由かもしれませんが、研究会の規模が徐々に縮小傾向にある点は、今年開催予定のICRPの開催母体でありPE分科会における重要研究会という位置づけをどのように再定義して展開していくのかは議論していくべきだと思います。関連して、今年の11月には金沢でICRPが単独開催されます。是非皆様ご参加ください。会議サイトのURLは以下の通りです。<https://smartconf.jp/content/icrp12/>

応用物理という学問の本質は、基礎と実用化の架け橋にあり、得られたシーズを社会に受容されるための理由を定量性良く説明することだと考えます。大学研究者は、過去にも増して説明能力を求められています。この実現のためには、シーズ主導だけでなく、サプライチェーン全体を見渡しながら、関連するステークホルダとの対話が重要になっています。プラズマエレクトロニクス分科会は、これが実現可能な、先人たちが育んできた良き土壌であります。会員の皆様の持つシーズを花開かせていただければと思います。

幹事長就任の挨拶

幹事長就任にあたって

名城大学 伊藤昌文

本年度から2年間、プラズマエレクトロニクス分科会の幹事長を拝命いたしました。分科会のさらなる発展に寄与すべく尽力していく所存ですので、ご支援の程、宜しくお願い致します。

分科会誌 No.82 でも書かせていただきましたように、分科会との関りは早いもので30年以上となります。本当に多くの分科会の皆様のご支援でプラズマ関連の研究を続けてこれました。この場を借りて感謝申し上げます。

30年ほど前からの分科会関連の歴史を振り返ってみますと、1993～1996年度に廣田先生が牽引されたフリーラジカルの科学に関する重点領域研究により太陽電池や半導体プロセスへの応用が注目され、半導体業界も非常に活気があり、私もこの頃からプラズマの研究と関わりました。その後、2003～2007年度に橘先生が牽引されたプラズマを用いたマイクロ反応場の創成とその応用に関する特定領域研究、2009～2013年度に九州大学の白谷先生が牽引されましたプラズマとナノ界面の相互作用に関する新学術領域研究、2012～2016年度に堀先生が牽引されましたプラズマ医療の創成に関する新学術領域研究、2024～2028年度までの予定で古閑先生が牽引される学術変革領域研究(A)「プラズマ駆動種子記憶操作：プラズマが駆動する種子内分子動態の学理創成」と歴代の幹事長等がプラズマの広範囲な研究分野を開拓し、分科会の発展に大きく貢献されてきました。

最近では、AIの進歩により、半導体関連の研究も盛んになり、プラズマの半導体プロセスへの応用、AIやDXのプラズマへの応用などが注目され、プ

ラズマの応用範囲の広さから、次々と新たな潮流が生まれてきつつあります。今後のプラズマ分野の発展に関しては、分科会会報 No.81 に記載されました、プラズマ科学ロードマップ 2050 委員会が改訂した新たなロードマップには他の分科会には見られないような幅の広い応用への貢献が期待されています。

私は歴代の幹事長の先生方ほどの貢献はできないかと思いますが、分科会関連の行事を盛会とし、分科会のさらなる発展につながるよう尽力したいと考えております。2026年度は11月30日～12月3日に白藤立先生を委員長としPE分科会主催のICRP12/SPP-44が金沢で開催されます。今年のICRP12はSPP-44との共同開催という形にはなっておりますが、久しぶりの単独開催となり、中東やウクライナでの紛争による影響も懸念されますが、上記の応用分野が広がりつつある新分野も取り入れ盛会となるよう、分科会メンバーによる支援の下、組織委員会、実行員会で準備を進めてまいります。

また、ドライプロセスシンポジウムの共催、PE講習会、春秋の応用物理学会講演会でのシンポジウム、インキュベーションホール、新領域研究会等のイベントを副幹事長となつていただきました、金沢大学の石島達夫先生、東京大学の伊藤剛仁先生、東京エレクトロン宮城の本田昌伸氏をはじめとする分科会幹事会メンバーの皆様のご支援のもと、実りあるイベントとすべく尽力する所存ですので、今後ともご指導、ご鞭撻の程、重ねてお願い致します。

研究室紹介

名城大学 理工学部電気電子工学科 電子生命情報分野 榊田 研究室

学校法人 名城大学 理工学部電気電子工学科 榊田 創
学校法人 名城大学 プラズマバイオエンジニアリング研究センター

1. はじめに

本稿では、名城大学理工学部電気電子工学科の榊田研究室をご紹介します。このような貴重な機会を与えてくださいました会誌編集・書記担当幹事の山田大将先生、石野嵩弥様、兒玉直人先生、高橋克幸先生には、この場をお借りして御礼を申し上げます。

名城大学は1926年に創設され、**2026年に創立100周年**を迎える総合大学であり、理工系を中心に農学部・薬学部を含む多様な学部・研究科を擁しています[1]。本学の工学分野の源流の一つには電気電子工学教育の長い蓄積があり、エネルギー、材料、情報通信といった現代工学の基盤領域へと展開してきました。その中で培われた研究文化は、現在の先端的研究基盤の中核となっています。さらに、本学には世界的な研究成果を生み出してきた研究者が関わっており、特に赤崎勇先生（故・名城大学特別栄誉教授）、天野浩先生（名城大学特別栄誉教授）、吉野彰先生（名城大学特別栄誉教授）といったノーベル賞受賞者が在籍・関与している点は、本学の大きな特色です。さらに、理工・農・薬の各分野が密接に連携する学際的な教育研究環境が整っており、分野横断型の共同研究や新領域創出が活発に行われています。こうした環境は、実社会の課題解決に直結する研究を推進する基盤となっています。

近年ではキャンパス整備も進み、アリーナの建設などを通じて教育研究環境のみならず課外活動環境も充実し、学生の多面的な成長を支える体制

が強化されています。スポーツ面においても、女子駅伝（過去7連覇）、図1の硬式野球（昨年度全国4位）、図2のハンドボールなどの競技において全国トップレベルでの活躍を見せており、競技力向上と人材育成の両立が図られています。

本学はこのように、100年の歴史に裏打ちされた工学教育の伝統、世界的研究者による先端研究、そして学際的連携とスポーツ・学生生活を含む総合的な教育環境を兼ね備えた大学といえます。



図1. 硬式野球部の試合の様子。今年から、元中日ドラゴンズの山内壮馬氏（名城大卒）が監督。写真上部はアジア競技大会 2026 が開催されるスタジアム。



図2. 今年完成した大学のライオンズアリーナでのハンドボール部の試合の様子。

2. 電気電子工学科の概要（図 3）

1926 年の名古屋高等理工科講習所の開設以来、工学教育の蓄積を背景に発展してきた学科であり、電気工学分野を起点として整備され、その後の社会的要請に応じて現在の教育体系へと発展してきました。エネルギー、情報通信、電子デバイスといった現代社会の基盤技術を支える領域として、その役割は一層重要性を増しています[2]。

本学科では、基礎理論から応用技術までを体系的に学修できるカリキュラムのもと、講義に加えて実験・演習を重視した教育を展開しています。これにより、物理現象の理解と工学的応用力の双方を養うことを目指しています。また、半導体デバイス、電力変換・制御、エネルギーシステム、情報・通信・信号処理などの分野に関連する教育研究が展開されており、材料からシステム応用までを見通した幅広い専門性の涵養が図られています。これにより、基礎と応用を橋渡ししながら、実社会の技術課題に対応できる人材の育成を目指しています。

こうした教育研究の流れの中で、放電・プラズマ分野の研究も継続的に展開されています。現在では複数の研究室において約 8 名の研究者が関わっており、学科内における重要な研究領域の一つとして位置付けられています。この分野は 1980 年代後半頃からの長い蓄積を起点として発展してきたものであり、放電現象の基礎的理解からプラズマの生成・制御、材料プロセスや応用技術へと段階的に研究領域を広げながら深化してきました。近年では、こうした知見を基盤としてバイオ分野や医療分野への応用研究にも展開が進められており、エネルギー・材料分野にとどまらず、より広い学際領域との接点を持つ研究分野へと発展しつつあります。こうした長年の研究の積み重ねは、学科全体の教育研究活動を支える重要な柱の一つとなっています。



図 3. 電気電子工学科が入居している新設された研究実験棟 III の写真。

3. 研究室の紹介 [3]

2024 年 4 月 1 日に名城大学での勤務を開始後、電気磁気学、電磁波工学、デジタル信号処理の講義に加え、変圧器などのエネルギー機器に関する実験・実習を担当しています。研究室には毎年度 8～9 名の 4 年生が配属され、卒業研究に取り組んでいます。

前職の国立研究開発法人産業技術総合研究所では、核融合プラズマなどの高エネルギー密度プラズマに関する研究を出発点として、イオンビームや低温プラズマを用いた材料プロセス、さらに窒化物半導体材料向けプラズマシステム開発へと研究を展開してきました。これらの研究を通じて培ってきたプラズマの生成・制御・応用技術を基盤として、現在も低温プラズマを利用した低侵襲止血技術の研究に取り組んでいます。次に、4 年生や大学院生が主に取り組んでいる研究をご紹介します。

3.1. 電離ガス止血デバイス研究

低温プラズマ技術の医療応用に関する研究に取り組んでいます。特に、手術時に毛細血管などから生じるにじみ出る出血を対象とした「電離ガス止血デバイス」の開発を進めています。従来、外

科手術における止血には高周波電気凝固法やアルゴンプラズマ凝固法が広く用いられていますが、これらは熱エネルギーによって組織を焼灼するため、周辺組織への熱損傷や瘢痕形成が課題となっています。これに対し、本研究で開発している止血技術は、制御された低温プラズマを利用し、血液成分そのものを凝固させることで止血を行う点に特徴があります[4]。血小板や凝固関連タンパク質の活性化に加え、血清タンパク質の凝集促進、さらに赤血球の溶血凝固を組み合わせることで、熱を加えることなく出血部位を覆い、止血を実現します[5-7]。そのため、組織へのダメージを低減でき、術後の瘢痕形成を抑制できる可能性があります。近年は高齢化の進展に伴い、同一部位への再手術の機会も増加しています。そのため、術後の癒着や瘢痕を抑える低侵襲な止血技術への期待が高まっています。本技術は、患者負担の軽減や術後回復の促進にも寄与することが期待されます。

研究室では、図4のように3Dプリンターを活用し、アルブミンなど血清タンパク質の凝集をより効果的に促進できる電離ガスデバイスの試作を行っています。試作したデバイスについては、放電特性などの計測・解析を進めており、医療現場での実用化に向けた基礎検討を行っています。

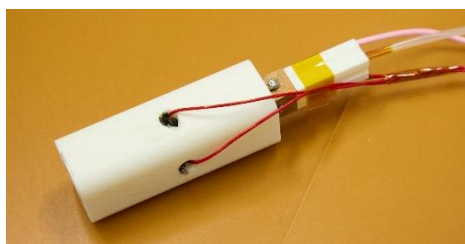


図4. 3Dプリンターで試作した電離ガスデバイスの写真。

3.2. 物質表面の高時間・高空間分解荷電計測

前述のように、電離ガスにより血液中のタンパク質も凝集しており、電離ガス中の荷電が寄与している可能性が指摘されています[8-11]。しかし、

凝集メカニズムの詳細は分かっていません。そこで本研究では、低温大気圧プラズマによる荷電供給量とタンパク質凝集状態との相関を明らかにすることを目的として、図5の装置を用いて、ポッケルス効果を利用した結晶表面の電荷分布を高時間・高空間分解能で計測を行っています[12]。プラズマジェット照射時の高時間での電荷分布の計測に初期結果を得たところです[13]。今後は、溶液についての荷電状態を調べていく予定です。

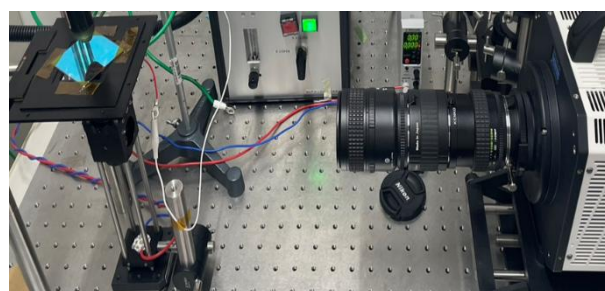


図5. 電荷計測システムの写真。

3.3. 液中放電の研究

液中放電は、有機物分解やPFAS分解などの水処理をはじめとして、ナノ粒子生成や表面改質など幅広い分野への応用が期待されています[14,15]。一方で、大容量溶液を長時間かつ高効率に処理することは課題の一つとなっています。そこで、処理速度やエネルギー効率の向上を目的として、図6のような液中の広い領域で一様なプラズマを生成可能な放電方式の研究として、放電条件や電極構造の検討を進めています。



図6. 液中放電のイメージイラスト(Copilotにて生成)。

3.4. 宇宙推進器用着火源の研究

火炎の伝播速度が音速を超える爆発的な燃焼現象であるデトネーションを利用し、推進剤（燃料および酸化剤）を燃焼させるロケットエンジンは、デトネーションエンジンと呼ばれています。デトネーション燃焼は燃焼速度が極めて速く、理論的に高い熱効率が得られることから、次世代推進機関として注目されています。2021年には、JAXAや名古屋大学を中心として観測ロケットによる打ち上げが成功しています[16]。

デトネーションエンジンにおいては、確実に燃焼波を生成するための着火方式が重要な課題です。爆薬を用いた着火方式ではほぼ 100%の確率でデトネーションを開始できるものの、使い捨てであることや実用性の課題から、宇宙空間での繰り返し着火可能な手法の確立が求められています。

その代替手段として、電氣的に制御可能なスパークプラグの利用が検討されていますが、必ずしも高い着火成功率が得られてないという課題があります。そこで、図 7 のようなスパーク放電にプラズマを付加することにより 100%の確率で着火することを目標として、着火源の開発を行っています。



図 7. 試作した着火源の写真。

3.5. 材料表面高機能化の研究

準大気圧環境下で窒素などのマイクロ波プラズマを生成し、半導体等の材料に照射処理し高機能化発現を目指して研究を行っています[17]。学生は、照射実験や、分光計測、電子顕微鏡観察、AFM観察などを元に、現象の考察を行っています。

4. プラズマバイオエンジニアリング研究センター（2026 年 4 月 1 日発足）の概要 [18]

本センターは、プラズマの有する反応性やエネルギー特性に着目し、バイオエンジニアリング分野における新たな学術領域の創出を目指して、分野横断的な研究を推進しています（図 8）。これまで蓄積されてきたプラズマ制御技術の中核に据え、基礎研究から応用研究、さらには社会実装に至るまでを一貫して展開することを目的としています。

従来のプラズマバイオ応用研究センター（センター長；伊藤昌文教授）において蓄積されてきた農学・薬学分野の知見を発展的に継承し、医療機器開発や生体応用研究を含む分野融合型の研究拠点として位置付けられています。研究の推進にあたっては、応用展開のみならず、その背後にある反応機構の理解を重視しています。プラズマと生体分子、微生物、細胞との相互作用に注目し、不活化メカニズムや細胞応答の基礎的理解を深めることで、安全性と再現性を備えた技術基盤の確立を目指しています。

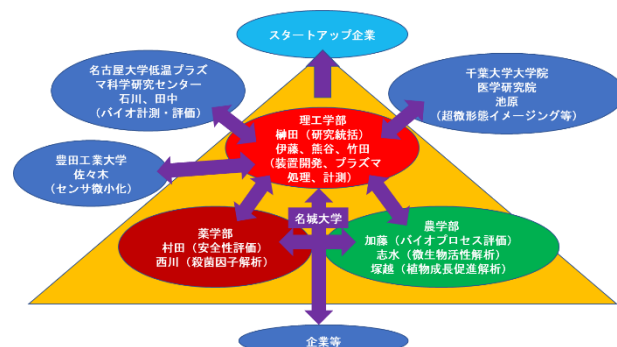


図 8. プラズマバイオエンジニアリング研究センターの研究体制図。

さらに、技術の実用化を見据えた安全性評価手法の構築にも取り組むとともに、国内外の研究機関との連携を通じて研究の高度化を進めています。今後も、異分野との連携を深めながら、新しいプラズマ利用技術の可能性を広げていきたいと考えています。

5. おわりに

本稿では、名城大学理工学部電気電子工学科ならびに榊田研究室の教育・研究活動について紹介しました。低温プラズマ技術は、医療、材料、環境、宇宙工学など多様な分野に展開可能なポテンシャルを有しており、本研究室においてもその可能性を見据えた研究を進めています。今後は、新設されたプラズマバイオエンジニアリング研究センターを拠点として、基礎理解の深化と応用展開の両立を図りつつ、分野横断的な連携のもと新たな価値創出に取り組んでまいります。社会実装を見据えた研究を推進することで、本分野の発展に寄与していく所存です。

最後に、本稿執筆の機会を賜りました関係各位に心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] <https://www.meijo-u.ac.jp/>
- [2] https://www.meijou.ac.jp/academics/sci_tech/
- [3] https://www.meijou.ac.jp/academics/sci_tech/electrical/educator.html
- [4] Y. Ikehara, H. Sakakita, et al., Journal of Photopolymer Science and Technology, 26 (2013) 555.
- [5] S. Ikehara, H. Sakakita, et al., Plasma Process and Polymers, 12 (2015) 1348.
- [6] 宮本健二, 榊田創他, 応用物理 85 (2016) 793.
- [7] H. Sakakita, T. Shimizu, Y. Ikehara, Jpn. J. Appl. Phys. 60, (2021) 020502.

- [8] H. Sakakita, et al., Journal of Physics D: Applied Physics 54 (2021) 215201.
- [9] T. Shimizu, K. Kikunaga and H. Sakakita, Jpn. J. Appl. Phys., 58 (2019) 090906.
- [10] H. Sakakita, et al., AIP Advances 11 (2021) 015323.
- [11] T. Shimizu, K. Kikunaga, S. Kato, H. Sakakita, Journal of Electrostatics, 117 (2022) 103715.
- [12] T. Uemura, H. Nishida, R. Ono and A. Komuro, Plasma Sources Sci. Technol. 33 (2024) 065011.
- [13] H. Sakakita, H. Tateishi, A. Komuro, K. Takeda, ICPM11, Gifu (2026).
- [14] P.J. Bruggeman, et al., Plasma Sources Science and Technology, 25 (5) (2016) 053002.
- [15] T. Shirafuji, et al., J. Plasma Fusion Res., 100 (3) (2024) 121-122/
- [16] <https://www.prop.nuae.nagoya-u.ac.jp/index.html>
- [17] H. Sakakita, N. Kumagai, T. Shimizu, J. Kim, H. Yamada, X-L. Wang, Applied Materials Today, 27 (2022) 101489.
- [18] <https://sangaku.meijo-u.ac.jp/pickup/pickup-24825/>



2026 年度研究室の写真

研究紹介

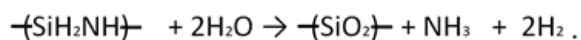
大気圧低温プラズマジェット照射によるポリシラザンの 界面駆動型自己組織化と高品質 SiO₂ の超低温形成

広島商船高等専門学校 総合科学科 酒池 耕平
広島大学大学院 先進理工系科学研究科 東 清一郎

1. はじめに

高品質 SiO₂ 薄膜は、MOS デバイスのゲート絶縁膜や層間絶縁膜をはじめ、先端エレクトロニクスを支える基盤材料である。一方で、その代表である熱酸化膜は 800℃以上の高温形成を必要とするため、プラスチック基板やフレキシブルデバイスへの展開には本質的な制約がある。近年、軽量・低環境負荷な電子デバイスへの期待が高まる中、耐熱性の低いプラスチックフィルム上でも形成可能な低温 SiO₂ プロセスの開発が重要な課題となっている[1,2]。

その候補として、常圧下で塗布形成可能な液体の前駆体であるパーヒドロポリシラザン (PHPS) は有望である。PHPS は以下の化学式の通り、大気中の H₂O との加水分解反応により SiO₂ ヘシリカ転化させることが基本となるが、通常は 450℃以上の高温かつ長時間の熱処理を要する。



また、VUV 光、エキシマレーザ光、触媒添加、過酸化系雰囲気などを用いた低温化の試みも報告されているが、依然として処理時間や膜質の点で課題が残されている[3-7]。

したがって、低温・高速・高品質を同時に満たす新たな転化プロセスが求められている。我々はこれまでに、アルゴン (Ar) と H₂O 混合ガスを用いた大気圧低温プラズマジェット照射により、PHPS を 65℃以下という超低温域で SiO₂ へ高速転化できることを報告してきた[8,9]。初期の検討

では、リアルタイム FT-IR 測定を通じて、Si-H 結合の切断、加水分解、脱水縮合を伴う転化過程を明らかにした。さらにその後の検討では、MOS キャパシタの電流密度-電界強度 ($J-E$) および容量-電圧 ($C-V$) 特性、フーリエ変換赤外分光 (FT-IR)、X 線光電子分光法 (XPS)、膜厚分布評価などに基づき、得られた SiO₂ 薄膜が 1000℃で形成した熱酸化膜に近い良好な絶縁特性と高い構造秩序を示すことを見いだした。

本稿では、PHPS への大気圧低温プラズマジェット照射による SiO₂ 形成プロセスについて、初期の高速転化現象の実証から、界面駆動型自己組織化 (interface-driven self-organization, IDSO) モデルという形成機構の提案に至るまでの研究の流れを紹介し、プラズマエレクトロニクスの観点からその意義を述べる。

2. 大気圧低温プラズマジェットの役割

本研究で用いた大気圧低温プラズマジェットは、単なる低温照射源ではなく、PHPS の SiO₂ 転化を超低温で進行させるための非平衡反応場として機能する。PHPS を低温で高品質な SiO₂ へ転化するには、基板への熱負荷を抑えながら、Si-H 結合の活性化と Si-N 結合の加水分解を同時に進める必要がある。この点で、Ar と H₂O 混合ガスを用いた大気圧低温プラズマジェットは、低ガス温度を維持しつつ、光化学反応と加水分解反応の双方を駆動できる点に特徴がある。すなわち、本手法の本質は、高温熱処理の代わりに、活性種・

光・熱を空間的かつ時間的に局所制御しながら PHPS 転化に必要な反応のみを選択的に進めることにある。

これまでに、Ar と H₂O 混合ガス低温プラズマジェット照射によって、PHPS が 65 °C 未満で高速に SiO₂ へ転化し、リアルタイム FT-IR 測定から、Si-H 結合の切断、Si-OH および Si-O 種の生成、さらに Si-O-Si 結合形成へ至る過程が確認された。これらの結果は、Ar と H₂O 系プラズマが、310 nm 近傍の紫外光、OH ラジカル、および H₂O を介して、PHPS の加水分解と脱水縮合を協働的に促進していることを示している。すなわち、プラズマにより生成する約 310 nm の紫外光は Si-H 結合の活性化に寄与し、一方で H₂O および OH は Si-N 結合の加水分解と Si-OH 生成を促進することで、Si-O-Si ネットワーク形成に必要な反応経路を補完する。したがって、本研究における大気圧低温プラズマジェットの役割は、PHPS 表面を単に酸化することではなく、低熱負荷のまま、光励起・活性種供給・加水分解を協調的に進める反応場を形成する点にある。

このような観点から、本研究では、プラズマ形成用ガスとして Ar を用い、反応種供給源として H₂O を導入した大気圧低温プラズマジェットを構成した。さらに、PHPS 薄膜に対して局所的かつ安定に反応場を与えるため、石英管、外部電極、短ギャップ照射、および走査照射を組み合わせた実験系を採用した。以下では、この考えに基づいて設計した実験系について述べる。

3. 本研究の実験系

本研究では、自然酸化膜除去直後の n 型 Si(100) 基板 (1-20 Ω・cm) 上に PHPS 溶液を塗布し、膜厚 6.5 nm の薄膜を形成した。PHPS 塗布は表面再酸化を抑えるため数秒以内に行った。SiO₂ 転化には、Ar と H₂O 混合ガスを用いた大気

圧低温プラズマジェットを用いた。具体的には、Ar ガス (5 L/min, 0.3 MPa) を 40 °C の純水とバブリングして水蒸気と混合し、その混合ガスを内径 1.5 mm の石英管に供給した。石英管外周に取り付けた長さ 30 mm、電極間隔 30 mm の円筒状アルミニウム (Al) 電極に約 10 kV、30 kHz の交流電圧を印加することで、直径約 0.5 mm の低温プラズマジェットを生成した。ノズル先端から試料表面までの距離は 5 mm とし、試料はプラズマビームに対して垂直に配置したうえで、ステッピングモータにより 0.5 mm/s で走査した。さらに長手方向に 0.5 mm 間隔で 10 回移動させることで、5×5 mm² の領域に対して転化処理を行った。

さらに、基板走査中の PHPS/Si 界面温度の変化をその場で把握するため、光干渉非接触温度計測法 (Optical-interference contactless thermometry : OICT) を導入した[10]。図. 1 に示されるように、1310 nm の赤外レーザとフォトダイオードを用いて反射率変化を検出し、界面温度の時間変化を算出した。その結果、界面温度は緩やかに上昇し、複数測定における最小値、最大値、平均値はそれぞれ 57.8 °C、64.1 °C、60.4 °C であり、プロセス全体が 65 °C 未満の超低温域で進行していることが確認された。また、過渡的な温度スパイクは認められなかった。

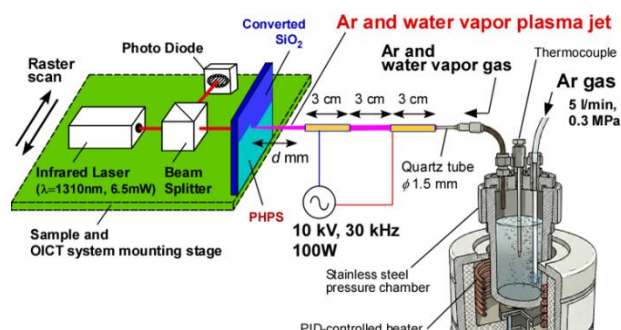


図 1. 大気圧低温プラズマジェット照射系と OICT システムの概略図[9].

4. 大気圧低温プラズマジェットによるポリシラザンのシリカ転化過程の解明

4.1 FT-IR による照射前後の化学結合変化

PHPS が実際にどのように SiO_2 へ転化するかを、FT-IR スペクトルの変化から検討した。図. 2 (a)に示すように、未処理の PHPS では Si-N 結合や Si-H 結合に由来する吸収が明瞭に観測される。これに対し、図. 2 (b)に示すように、Ar 単独プラズマを照射した場合には Si-H 結合の減少が認められた一方で、Si-N 結合はなお残存した。この結果は、Ar と H_2O 混合ガスの低温プラズマで生成する約 310 nm の紫外光が Si-H 結合の切断には有効である一方、より結合エネルギーの大きい Si-N 結合はこの光では十分に切断できないことを示唆している。すなわち、Ar 単独プラズマでは Si-H の活性化は可能であっても、Si-N の分解が不十分であり、完全なシリカ転化には至らなかった。

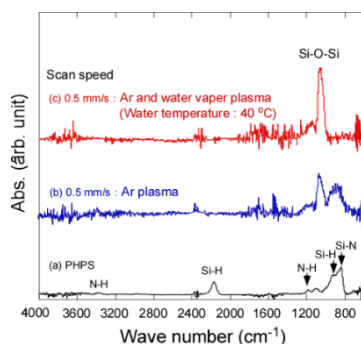


図 2. (a) PHPS、(b) Ar 単独プラズマ、(c) Ar と H_2O 混合ガスプラズマ処理における各サンプルの FT-IR スペクトル[8].

そこで、Si-N 結合の残存という課題を解決するために、 H_2O を混合した大気圧低温プラズマジェットを用いた。図. 2 (c)に示すように、Ar と H_2O 混合ガスプラズマを照射した場合には、PHPS 由来の吸収がほぼ消失し、Si-O-Si 結合に由来する吸収が支配的となった。この結果は、 H_2O の導入によって Si-N 結合に対する加水分解反応経路が新たに開かれ、Ar 単独プラズマでは不十分であっ

た転化が大きく進展したことを示している。すなわち、Si-H 結合の活性化には UV が、Si-N 結合の分解には H_2O が本質的に寄与し、両者を併用することで初めて PHPS の完全なシリカ転化が可能になることを明らかにした。

さらに、FT-IR スペクトルから得られた Si-O-Si の半値幅は 65 cm^{-1} であり、 1000°C で形成した熱酸化膜 (THOX) の半値幅 70 cm^{-1} よりも狭い値を示したことから、低温・短時間でありながら秩序性の高い SiO_2 ネットワークが形成されることも見いだした。加えて、形成した SiO_2 膜の二乗平均平方根粗さ (RMS roughness) は 0.3 nm であり、平坦性にも優れることが示された。

4.2 リアルタイム FT-IR による中間種の観察

さらに、転化後の結果だけではなく、転化の途中で何が起きているかをリアルタイム FT-IR によって追跡した。なお、本試料では信号強度を高めるため、 SiO_2 膜厚を 100 nm とした。

図. 3 に示すその場観察では、照射に伴って Si-H および Si-N 由来ピークが減少し、それに続いて 960 cm^{-1} 付近の Si-OH、 920 cm^{-1} 付近の Si-O に帰属される中間的な吸収が一時的に現れ、最終的に 1061 cm^{-1} 付近の Si-O-Si ピークが増大することが確認された。

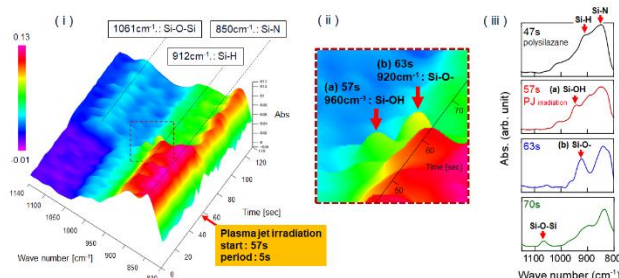


図 3. PHPS のシリカ転化過程におけるリアルタイム FT-IR スペクトル[8].

これらの結果から、PHPS のシリカ転化が単純な一段反応ではなく、Si-H 結合の消失、Si-OH 生成、Si-N 結合の加水分解・脱水縮合を経て Si-O-

Si ネットワーク形成へ至る逐次過程として進行することを明らかにした。

4.3 熱酸化膜に近い電気特性・組成・構造

図.4 に PHPS 転化 SiO_2 膜の MOS キャパシタにおける J - E 特性 ($n=10$) と C - V 特性を示す。 J - E 特性では、リーク電流密度は約 5 MV/cm まで 10^{-7} A/cm² 以下に抑えられ、破壊電界は 6 MV/cm 以上であった。これらは、得られた SiO_2 膜がバルクのみならず SiO_2/Si 界面においても熱酸化膜に近い品質をもつことを示している。さらに C - V 特性において、PHPS 転化 SiO_2 膜はヒステリシスを示さず、1000 °C で形成した THOX とほぼ重なる挙動を示した。また、界面準位密度 D_{it} は 7.6×10^9 cm⁻² eV⁻¹、固定電荷密度 Q_f は 9.7×10^{-9} C/cm² であり、THOX の 4.7×10^9 cm⁻² eV⁻¹、 8.5×10^{-9} C/cm² に近い値を示した。

加えて、XPS では O1s、Si2s、Si2p が THOX とよく一致し、化学量論比は Si:O = 1:1.97 で、C1s および N1s は検出限界以下 (0.1 at.%未満) であった。FT-IR では、PHPS 転化膜の Si-O-Si ピークは 1064 cm⁻¹、FWHM は 63 cm⁻¹ であり、THOX の 1074 cm⁻¹、70 cm⁻¹ よりも狭い半値幅を示した。すなわち、PHPS 転化膜が単に SiO_2 へ変化しただけではなく、高純度かつ高秩序のネットワーク構造を獲得していることを、電気特性・組成・分光の各側面から示した。

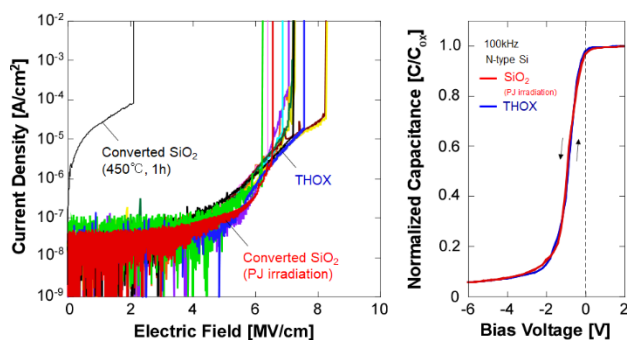


図.4 シリカ転化 SiO_2 の MOS キャパシタにおける J - E 特性($n=10$)と C - V 特性[9].

5. 界面駆動型自己組織化による高品質 SiO_2 形成メカニズム

5.1 なぜ超低温で高品質 SiO_2 が得られるのか

しかし、ここで本質的な問題として残るのは、なぜこのような超低温・短時間プロセスで形成された膜が、1000°C で形成した熱酸化膜に近い高い絶縁特性と構造秩序を示し得るのか、という点である。我々は、この問いに対して、膜形成の起点を PHPS 表面だけでなく基板界面に求め、界面が上層ネットワークの形成を方向づける界面駆動型自己組織化 (IDSO) と名付ける物理化学現象が発現していることを突き止めた。

5.2 PHPS/Si 界面における反応開始と温度場

この高品質化の起点として着目したのが、PHPS/Si 界面である。上述の通り、OICT を用いて基板走査中の界面温度をその場で測定し、界面温度が 57.8-64.1 °C、平均 60.4 °C で緩やかに上昇し、急峻な温度スパイクを伴わないことが示された。ここで、空気の熱伝導率は 0.026 W/mK、Si の熱伝導率は 150 W/mK であり、プラズマ照射で与えられた熱は主として基板側へ伝導し、界面で局所的かつ穏やかな温度上昇が生じると考えられる。さらに、シラノール密度が高いほど脱水縮合速度が高まるという既報を踏まえ、界面では Si-OH 形成とそれに続く Si-O-Si 結合形成が上層より先行しやすいと考察した。

5.3 界面結合角が導く SiO_2 ネットワーク形成

これらの過程は、図. 5(a)-(c) に沿って整理すると理解しやすい。まず、(a) 自然酸化膜を除去した直後の Si 表面は水素終端状態にあり、その直後に PHPS を塗布することで、この表面状態が一定程度維持され则认为られる。次に、(b) Ar と H_2O 混合ガス低温プラズマジェットを照射すると、

PHPS 層全体が活性化されると同時に、膜厚が 6.5 nm と極めて薄いため、生成した UV が界面にまで到達し、Si-H 結合を切断して Si-OH 形成を誘起する。さらに、プラズマ由来の OH は高い酸化力を有するため、界面近傍では Si-OH 密度が相対的に高くなり、脱水縮合を介した界面 Si-O-Si 結合の形成が進みやすくなる。すなわち、前述した Si-H 結合の切断および Si-OH 生成という反応は、界面において優先的に進行すると考えられる。

さらに、(c) に示すように、こうして形成された界面結合は、単なる初期反応点にとどまらず、上層の SiO₂ ネットワーク形成を方向づける構造テンプレートとして機能すると考えている。実際、本プロセスで得られた PHPS 転化 SiO₂ の FT-IR ピーク位置から見積もられる Si-O-Si 結合角は約 135°であり、この値は、Hirose [11]らが示した、界面応力および第二近接酸素距離の短縮によって界面で安定化される結合角と整合する。すなわち、135°という角度は、界面における局所歪みを最小化した結果として現れる、エネルギー的に有利な結合状態を反映していると考えられる。

ここで重要なのは、この界面結合がその場限りの局所構造ではなく、その後形成される SiO₂ ネットワーク全体の初期条件を規定している点である。共有結合系では、 Tersoff [12]が示したように、結合秩序は局所配位環境に依存して変化し、ネットワークは全エネルギーを低下させる方向へ自発的に再配列する。したがって、界面で安定化した 135°の結合角は、局所的に最も安定な構造として上層の反応にも影響を与え、その情報がネットワーク形成とともに膜内部へ伝播すると考えられる。言い換えれば、界面で形成された Si-O-Si 結合角が構造的な拘束条件として働き、活性化された PHPS の SiO₂ 化を、より低エネルギーで高秩序な三次元 SiO₂ ネットワーク形成へと導いているのである。

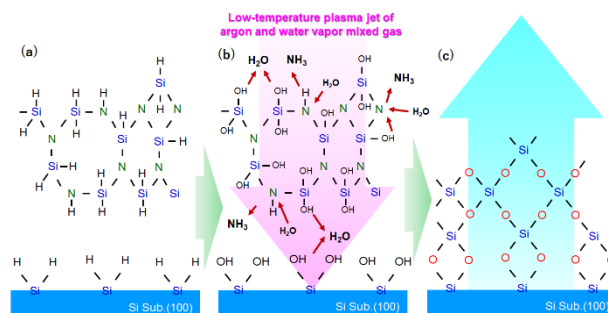


図.5 (a) Si-H 終端上にスピコートされた PHPS、(b) Si-H 結合の切断と Si-OH 結合の生成および Si-N 結合の加水分解反応および、(c) 界面結合角を起点にした自己組織化現象の発現についての概念図[9].

この意味で、本研究における自己組織化とは、界面で安定化した「結合角」を起点として、Si-O-Si ネットワークが界面から反応フロントと共に上方へ向かって自発的かつ協調的に秩序化していく過程として理解される。我々は、このような物化学モデルを界面駆動型自己組織化モデル (Interface-Driven Self-Organization : IDSO model) と定義し、この機構を介して形成された SiO₂ を IDSO-SiO₂ と称している。そして、この界面起点の秩序形成機構こそが、超低温プロセスにもかかわらず高密度・高秩序・高平坦な三次元 SiO₂ ネットワークを実現し、結果として熱酸化膜に近い良好な電気絶縁特性へとつながる本質的要因であると考えている。

5.4 THOX 上での検証と界面情報の継承

この機構の妥当性をさらに支持するのが、THOX 基板上での検証である。これは、100 nm の THOX を 94 nm までエッチングした基板上に 6.5 nm の PHPS を塗布し、同様にプラズマ転化した試料について FT-IR を測定している。P. Vashishta [13] らの知見に基づけば、エッチング

後 THOX 表面は 136.4° 程度の free Si-O-Si 結合角を持ち、そのピーク位置は 1069.4 cm^{-1} 近傍になると考えられる。実際、PHPS 転化膜のピークは多くの測定点で $1069\text{--}1072\text{ cm}^{-1}$ に現れた。これは、水素終端 Si 上で得られる 1064 cm^{-1} 付近のピークとは異なる値であり、基板界面の構造情報が上層の転化膜に反映されていることを強く示している。すなわち、最終膜の構造はプラズマ照射条件だけで一義的に決まるのではなく、界面特有の結合角情報によって方向づけられる可能性が示唆される。

5.5 界面駆動型自己組織化が示す意義

また、IDSO の帰結として得られる膜の形態学的特徴も重要であり、図.6 に示すように $3 \times 3\text{ mm}^2$ 領域の 100 点エリプソメトリ測定から、平均膜厚 7.4 nm 、最大-最小差 0.31 nm 、標準偏差 0.071 nm 、high-low variation 4.2% という極めて高い膜厚均一性を示した。加えて、RMS roughness は 0.3 nm であり、局所的にも広域的にも極めて平坦な膜であることが確認された。この結果は、界面から始まった高秩序 Si-O-Si ネットワークが面内にも均一に伝播したことを示す傍証として位置づけている。

言い換えれば、IDSO は単に界面近傍の局所現象ではなく、膜全体の構造均一性と平坦性を保証する形成原理としても理解できる。

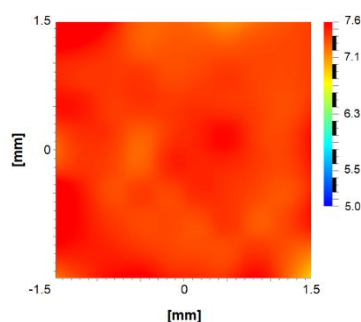


図.6 $3 \times 3\text{ mm}^2$ 領域の 100 点エリプソメトリ測定による膜厚マッピングイメージ[9].

6. おわりに

本研究で用いた Ar と H_2O 混合ガスの大気圧低温プラズマジェットは、単なる低温照射源ではなく、材料表面に対して光・活性種・熱を同時に供給できる非平衡反応場として特徴づけられる。大気圧動作でありながらガス温度を低く保てるため、基板への熱負荷を抑えつつ、局所的かつ高密度に反応種を導入できる点に大きな利点がある。特に Ar と H_2O 系では、プラズマ中で生成する紫外光、OH ラジカル、 H_2O 分子が相補的に作用し、PHPS の Si-H 結合活性化、Si-N 結合の加水分解、さらに Si-O-Si 結合形成へ至る一連の反応を低温下で効率よく進行させることができる。このように、本プラズマジェットは、従来の高温熱処理に代えて、反応を必要な場所に必要な時間だけ与える局所プロセス場として機能している。

さらに、このプラズマジェットは単に表面反応を促進するだけでなく、極薄膜を介して界面近傍の反応開始にも関与し得る点で重要である。すなわち、Ar と H_2O 大気圧低温プラズマジェットは、低熱負荷のまま界面反応を誘起し、その後のネットワーク形成を方向づける役割まで担っていると捉えられる。

今回、 65°C 未満という超低温条件下で高品質 SiO_2 膜の形成が可能となったことにより、本手法はプラスチックフィルムのような低耐熱基板への適用に向けて大きく前進した。今後は、プラスチックフィルム上での成膜と電気絶縁特性の検証を進め、フレキシブルエレクトロニクスへの応用可能性を具体的に示していきたい。

【参考文献】

- [1] Min Sung Kim, Amani S. Almuslem, Wedyan Babatain, Rabab R. Bahabry, Uttam K. Das, Nazek El-Atab, Mohamed Ghoneim, Aftab M. Hussain, Arwa T. Kutbee, Joanna Nassar, Nadeem Qaiser, Jhonathan P. Rojas, Sohail F. Shaikh, Galo A. Torres Sevilla, and Muhammad M. Hussain, *Adv. Mater.* **36**, 2406424 (2024).
- [2] Zhehui Zhao, Haoran Fu, Ruitao Tang, Bocheng Zhang, Yunmin Chen, and Jianqun Jiang, *Int. J. Smart Nano Mater.* **14**, 510 (2023).
- [3] Hideki Matsuo and Ichihiko Yamada, *Convertech* **23**, 25 (1995).
- [4] Yasuhiro Naganuma, Satomi Tanaka, Chihiro Kato, and Toyohiko Shindo, *J. Ceram. Soc. Jpn.* **112**, 599 (2004).
- [5] Janos Fucsko, Low temperature process for polysilazane oxidation/densification, U.S. Patent US 2006/0003596 A1 (2006).
- [6] So Yeon Je, Byeong-Geun Son, Hyun-Gwan Kim, Man-Young Park, Lee-Mi Do, Rino Choi, and Jae Kyeong Jeong, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **6**, 18693 (2014).
- [7] Takahiro Tanaka, Koji Hanaoka, Masuji Yamaguchi, Toyohiko Shindo, Karl-Heinz Kunzelmann, and Toshio Teranaka, *Dent. Mater. J.* **30**, 170 (2011).
- [8] Kohei Sakaike and Seiichiro Higashi, *AIP Adv.* **14**, 115205 (2024).
- [9] Kohei Sakaike, Jiawen Yu, and Seiichiro Higashi, *AIP Adv.* **15**, 105305 (2025).
- [10] Asaki Kameda, Yuri Mizukawa, Hiroaki Hanafusa, and Seiichiro Higashi, *J. Appl. Phys.* **127**, 203302 (2020).
- [11] K. Hirose, H. Nohira, K. Sakano, and T. Hattori, *Appl. Surf. Sci.* **166**, 455 (2000).
- [12] J. Tersoff, *Phys. Rev. B* **37**, 6991 (1988).
- [13] P. Vashishta, Rajiv K. Kalia, and Jose P. Rino, *Phys. Rev. B* **41**, 12197 (1989).

大気圧プラズマの電気特性計測

新潟大学 山家清之

1. はじめに

大気圧プラズマは真空容器などを用いずに、より簡易的に生成させることが可能であることから、その応用研究が盛んに進められている。プラズマの特徴は主に密度と温度から示されるため、プラズマの密度と温度を光学的に計測する様々な方法が開発されている。一方、プラズマを構成する電子とイオンが集団で流れる際には電流が形成されるため、プラズマの電流と電位からも特徴が示される。そこで、大気圧プラズマを電氣的に計測する方法を解説する。

2. 大気圧非平衡プラズマについて

大気圧下において、電子とイオンはその大きさの違いから、電子は電磁圧力に従って空間を伝搬するが、イオンは中性粒子との衝突により中性ガス（粒子）の流れに従う。また、電子の平均自由行程は数百 nm であるため、半導体中の自由電子のように、電子の繋ぎ代わりによる電離面の移動として空間を伝搬する[1, 2, 3]。交流電圧($V \sin \theta$)に伴う交流電界による電磁圧力は、交流電圧を時間積分することにより求めることができる[4]。その結果、電磁圧力は印加電圧の2乗に依存するため、正電圧を電極に印加した場合においても、電極から離れた空間は必ず電磁圧力が低くなるため、電子は電極から遠方に伝搬する。また、この式における電圧（電界）の1乗項がいわゆるクーロン力であり、電圧の正負が電子の伝搬速度に関係することになる。プラズマの伝搬は定在波のような連続伝搬状態から進行波のような間欠的な不連続状態[5-9]に、印加電圧強度と繰り返し周波数、供

給ガス流量によって変化する[10]。イオンと中性粒子の流速は供給ガス流量により数 m/s であるが、いわゆるプラズマ弾丸の進行波状態において、電子の伝搬速度は数十 km/s となるため[1, 5-8]、大気圧非熱平衡プラズマは電子によってその挙動が示されることになる。そして、プラズマを対象物に照射する場合において、プラズマの電子が金属導体表面上に流れ込み帯電した後、金属球は点電荷とみなせるため、ガウスの法則に従い、電子は表面垂直方向の自由空間へ発散する[11]。また、プラズマを照射する対象物表面に帯電した電子によって電磁圧力が生じるため、プラズマ生成部と対象物表面の電磁圧力バランスにより、プラズマの生成部と対象物表面間において繰り返しプラズマの流れが発生する現象が生じる[12-15]。プラズマが照射される対象物の表面上に帯電する電子はプラズマ生成部から供給され、電流は連続するため、ガウスの法則に従い、プラズマの生成量（電荷量）は対象物の表面積に比例する[11]。このため、対象物の表面上に帯電する電荷量によって、空間電荷制限現象が発生し、対象物表面上に流れ込むプラズマの電荷量は制限される。（この空間電荷制限効果現象は、プラズマに限定される現象ではなく、半導体など電荷が移動する物質において発生するため、詳細な解説は省く。）

プラズマを対象物に照射する際には、プラズマと生成電源を含めた回路全体を対象として、仮想回路を考えることになる[16, 17]。オームの法則から電圧はインピーダンスと電流に比例するため、回路上の電圧と電流を計測することにより、プラズマの電氣的特性は評価される。また、プラズマ

照射に伴い対象物の表面に帯電する電荷量によって、プラズマと電源を含めた回路全体における電圧と電流の位相は変化するため[18]、回路インピーダンス整合を取ることで、プラズマの生成効率を向上させることが可能である[19]。また、計測された電圧と電流の時間積分や微分を用いることにより、プラズマのインピーダンス Z 、キャパシタンス C 、インダクタンス L を評価することも可能である[20–22]。そこで本ページでは、筆者が行っている、電子とイオンの温度が大きく異なる非熱平衡プラズマを対象とした計測方法について、主に取り上げて述べる。

3. 大気圧非熱平衡プラズマ生成装置

大気圧下でプラズマを対象物に照射する場合において、図1に示すような大気圧プラズマ生成装置では、主に電源、電極、石英管（誘電体管）、測定プローブ機器から構成される[22]。石英管上流部はシリコンチューブ等でマスフローコントロー

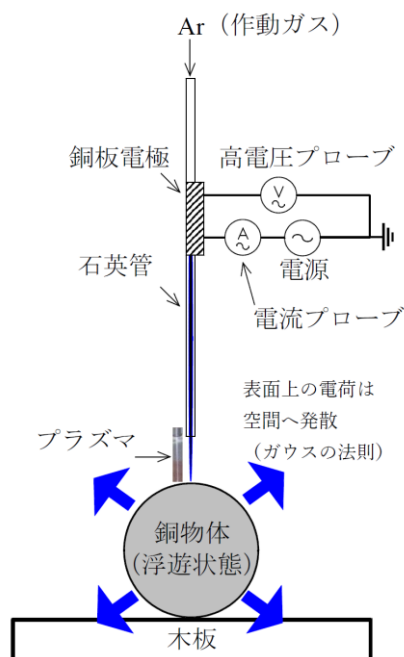


図1 実験装置概略図

ラに接続され、作動ガスの流量が制御されて、下流側へ配置された照射対象物（銅球）上へ供給される。（計測上、邪魔になる不純物の発生を抑制するため、主に石英管やシリコンチューブを使用。）電源（LHV-13AC, ロジー電子株式会社）に接続された板電極は石英管外側に巻き付けられ（針電極は石英管内部に配置され）、石英管内部でプラズマは生成される。電源はプラズマ発生に伴う電圧と電流の強度変動と位相変動が大きく生じない、十分に電力容量（パワー）を持つ物を使用している。つまり、この計測において、プラズマ発生によって大きくパワーダウンする電源は想定していない。電極が巻き付けられた石英管内部において電磁圧力が最も高くなるため、石英管内の作動ガスの流れに沿って、プラズマは石英管端より大気中へ放出され銅球上に照射される。銅球は木板上に配置されるが、木板は絶縁物であるため、プラズマの電気的計測に何らかの影響をもたらすことは無い単なる飾りです。

通常、プラズマを対象物に照射する際には、安全のため照射対象物を接地することになるが、これは閉じた回路を定めることを意味する。このため、接地線に接続する抵抗の値によっては、プラズマ照射の特性はプラズマ自体の特性ではなく接地線の特性に依存することになる[23]。したがって、接地線に接続する抵抗の値は、プラズマと対象物、生成装置における実効的抵抗値から考える必要があるが、ここでは簡単にプラズマを計測するため、対象物は浮遊状態（高抵抗接続状態に相当）としている。（これらの接地線等に関する詳しい原理についてはラングミュア探針法等を参考にしてください。）

銅板電極に接続した高電圧プローブ（P6015A, Tektronix）により印加電圧を計測し、電源から電極に電力が供給される線に誘導結合型電流プローブ（Model4100, Pearson Electronics, ~\$1000）を

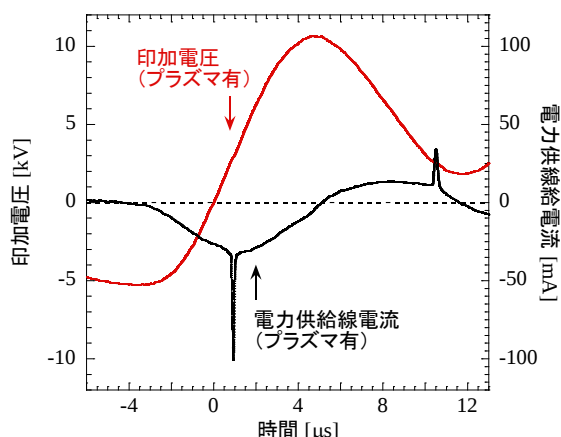


図 2 印加電圧と電力供給電流の時間発展図

設置して電力供給線電流を計測する。プラズマが発生した際の印加電圧と電力供給線電流の時間発展を図 2 に示す。プラズマの発生に伴い、印加電圧には電圧降下が発生し、電力供給線電流には電流増加が発生する。このプラズマの有無に応じて発生する電圧と電流の差分を取ることで、プラズマの電位と電流を導出することになる。また、印加電圧が減少する期間において、第 2 のプラズマ電流が発生している。これは電極と対象物の空間における電界の変動に伴い、プラズマが上流の電極と下流の対象物の空間を往復する現象であるが[15]、ここでは対象としていない。

ここで使用する計測機器について注意点を述べる。高電圧プローブは耐電圧の値に気を付ければ、一般的な物を用いて計測が可能であるが、電流プローブは実験装置の構成によっては、正確に計測ができない場合がある。例えば、電流プローブ (TCP312A, Tektronix) は直流と交流成分を計測可能であるが、電源ユニットを介してオシロスコープに接続するため、高電圧プローブの接続や高電圧印加に伴う接地ノイズ (対地静電容量等) が発生する。そのため、アースラインが本来ゼロ電位を示すところが振られてしまい、その振られた

値に対する相対値として計測されるため、この電流プローブにおける測定値は不正確になる。絶縁仕様のオシロスコープを使用するか、信号を電気-光-電気と変換させることで、アースループを切る方法がある。しかし、このようなアースノイズは構築した実験装置の状態と環境に依存するため、一概に解決方法を述べることはできない。そこで比較的簡単な解決方法としては、電源ユニットを使用しないでオシロスコープに接続する誘導結合型電流プローブを使用する方法がある。誘導結合型電流プローブの場合、空間電磁ノイズ (displacement current) を拾うことになり、特にプラズマが点火していない場合には、閉回路が定まらないため、空間電磁ノイズが増減するため、計測される電流値の倍率を調整する必要があるが、逆にこの空間電磁ノイズを相殺することにより、電流差分として正味のプラズマ電流を導出することが可能である。また、誘導結合型電流プローブの仕様は、電流の立ち上がり時間と電流振幅に応じて、選定する必要がある。加えて、石英管内を通過するプラズマ弾丸を直接電流プローブで計測する場合には、電流プローブの寸法と通過する時間を考慮する必要があり、二つの電流プローブでプラズマ弾丸が伝搬する速度を Time of Flight 法によって計測する場合には、プラズマの伝搬波長とプローブの配置の関係を考慮する必要がある [15]。

4. プラズマ電流と電位の導出

プラズマが発生した瞬間におけるプラズマ有無の電力供給線電流の時間発展を図 3(a) に示す。電力供給線電流 I_{pow} はプラズマが有 (w) 無 (wo) により変化が生じるため、プラズマ電流は

$$I_{\text{pla}} = I_{\text{pow}}^{\text{w}} - I_{\text{pow}}^{\text{wo}} \dots\dots\dots (1)$$

として電流差分により求まる。ここで、実験装置の計測状況によっては測定した $I_{\text{pow}}^{\text{wo}}$ を増減させて

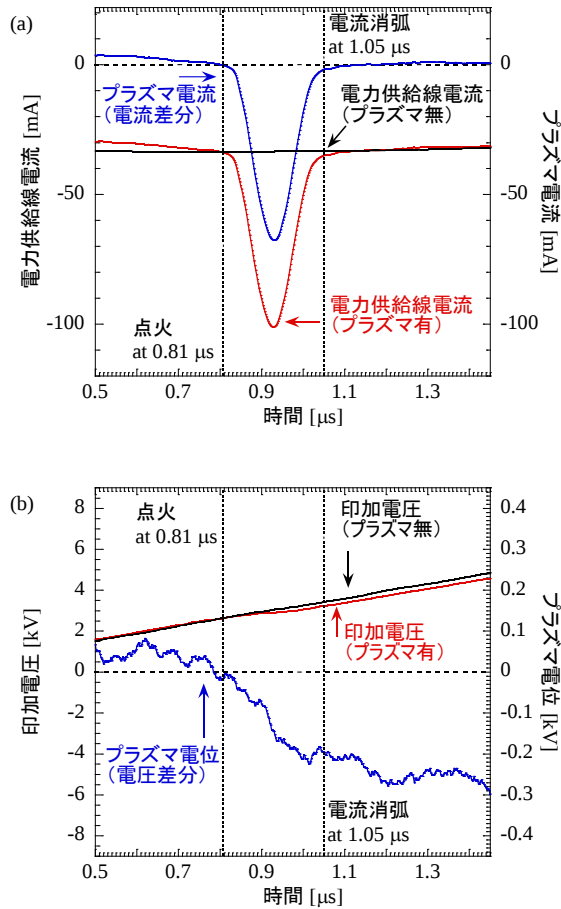


図3 プラズマ有無における(a)電力供給線電流から導出したプラズマ電流と(b)印加電圧から導出したプラズマ電位の時間発展図

I_{pow}^w におけるプラズマが点火していない期間に合わせる処理が必要となる場合がある。また、プラズマの有無で電流の位相が大きく変動する場合には、時間軸をシフトさせて、プラズマが点火していない期間に合わせる処理が必要となる。作動ガスを供給しなければプラズマは発生しないため、プラズマの有無は作動ガス供給の有無である。本来であれば、プラズマが発生していない時間において、電力供給線電流は一致しなければならないが、プラズマの負荷成分によって位相変動が生じるため[18]、電力供給電流を完全に一致させるこ

とができない。したがって、この誤差の差分電流がプラズマ電流に対して小さければ、ノイズとして無視することができる。実際に筆者の装置においては、プラズマの再現性による誤差に対して、ほぼ無視することが可能である。差分として求まる電流は負に増加するため、プラズマ電流は電子電流として求まり、電子群の挙動として示される。これは大気圧下において、プラズマ中の電子は電磁圧力に応じて伝搬するが、イオンは中性粒子との衝突により、プラズマ電流の振る舞いにほとんど寄与しないためである。プラズマ電流が急増しだす前の電流ゼロの時間を点火とし、電流がピークの数%まで減少した時間を電流消弧とし、その期間をプラズマ生成時間 t_{gen} としている。

次に、プラズマが発生した瞬間におけるプラズマ有無の印加電圧の時間発展を図 3(b) に示す。印加電圧 V_{ap} はプラズマの有無により変化が生じるため、プラズマ電位は

$$V_{\text{pla}} = V_{\text{ap}}^w - V_{\text{ap}}^{wo} \dots\dots\dots (2)$$

として電圧差分により求まる。ここで、電流プローブの処理で場合によって必要となる電流の倍率や位相シフトの処理は、電圧プローブを接地していれば不要となる。発生したプラズマは印加される電界を相殺するため、プラズマ有の場合には電圧降下が生じて、プラズマ電位は負電位として求まる。また、電流消弧以降の電圧差分は、プラズマが電極近傍から離れたため電極の電圧変動に反映されず生じている。したがって、電流消弧以前がプラズマ電位の変化となる。プラズマは電極に接する石英管内面に沿って形成され、石英管内の円筒中心は、対称性によりゼロ電位となる。このため、ここで求まる電圧はプラズマ表面上の電位である。また、導出されるプラズマの電流と電位はそれぞれ負の電流と電位であり、オームの法則 ($V = ZI$) に対してもプラズマインピーダンスは正になる。

5. プラズマ電流と電位の計測における仮想回路

プラズマ電流と電位の挙動から仮想回路を考える。図 4(a)のように、プラズマが発生していない場合の回路は、電源と石英管による回路インピーダンス Z から構成される。プラズマの発生で電流は増加するため、回路負荷が減少する並列回路として、印加電圧とオームの法則 ($V = ZI$) から

$$I_{\text{pow}}^w = I_{\text{pow}}^{\text{wo}} + I_{\text{pla}} = V_{\text{ap}}(Y^{\text{wo}} + Y_{\text{pla}}) \cdots (3)$$

となり、プラズマアドミタンス Y_{pla} が追加される。その結果、図 4(b)のようにノルトンの定理として示される。一方、プラズマの発生で電圧は降下するため、回路負荷が増加する直列回路として、電力供給線電流とオームの法則から

$$V_{\text{ap}}^w = V_{\text{ap}}^{\text{wo}} + V_{\text{pla}} = (ZY^{\text{wo}} + Z_{\text{pla}})I_{\text{pow}} \quad (4)$$

となり、プラズマインピーダンス Z_{pla} が追加される。その結果、図 4(c)のようにテブナンの定理として示される。したがって、プラズマの電流と電位計測において、プラズマは並列回路と直列回路が同時に起こる二律背反のような矛盾した状況が生まれる。ここで、回路インピーダンスを石英管として、供給された中性ガスのインピーダンスが

接続される状態を考える。プラズマ化する前の中性ガスのインピーダンスは有限であるが、電流が流れないため、回路素子として開放状態となる。また、中性ガスは電離していないため、電位はゼロであるため、回路素子として短絡状態となる。つまり、中性ガスのインピーダンスは、並列にも直列にも接続することが可能であることを意味する。このため、中性ガスが電離してプラズマ化した際には並列でも直列でも接続可能な状態となる。このように、実験における電気計測においては、回路の状態を考えた上で、限られた範囲でプラズマの電流、電位、負荷の時間的挙動は検討することになる[22, 23]。

銅球表面上に帯電する電子は上流側のプラズマ生成部から供給され、電流は連続するため、プラズマの生成量(電荷量)は銅球表面積に比例する。図 5 に示すように、発生時間で平均したプラズマ電流は銅物体表面積に依存することが確認される。再現性のある計測を行うためには、予めコンディショニングを十分に行う必要がある。筆者の場合、大気圧プラズマで再現性を得るためには、十分な時間(1~2時間)かけてプラズマを点けて、石英

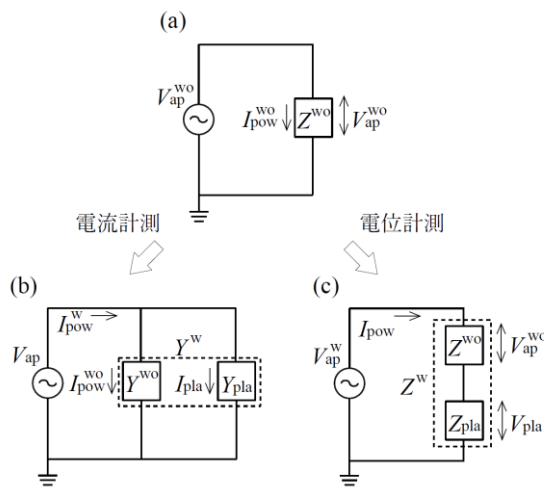


図 4 測定時における(a)プラズマ無、(b)プラズマ電流、(c)プラズマ電位の仮想回路

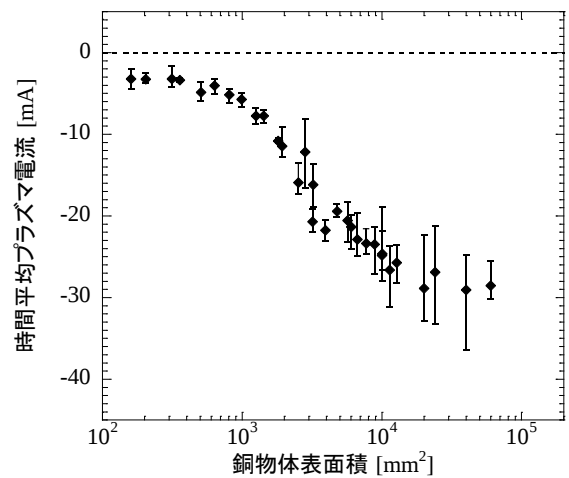


図 5 時間平均プラズマ電流の銅物体表面積に対する依存性

管内面などをコンディショニングしている。図中におけるエラーバーは3回測定した結果を平均し最大と最小値をそれぞれ示している。銅球を銅円板や銅四角板、他の金属に変えても、プラズマの生成量は対象物の表面積にのみ依存することが確認される[23]。したがって、プラズマの照射対象となる銅物体の表面積を変えることにより、プラズマの特性（電流、密度）を変えることが可能であり[23]、また、対象物の形状（角や厚み）は、プラズマの印加電圧に対する依存性に影響を与える[25]。

6. プラズマインピーダンスの導出

プラズマの特性を計算機でシミュレーションする場合には、ブリッジ回路を基に複雑な回路を考える必要がある。しかし、実験計測において測定可能なのは、電極の電圧変動と電力供給線の電流だけであるため、逆にシンプルに考えることが可能である。例えば、プラズマ電位をプラズマ電流で除算して、プラズマインピーダンスを求めた結果を図6に示す。時間発展のある瞬間において、プラズマインピーダンスが最小値を示す。放電の前半では、電離により中性ガスからプラズマが増

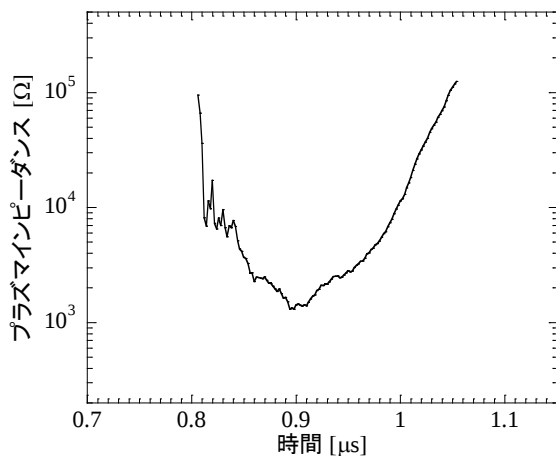


図6 プラズマ電圧を電流で除算したプラズマインピーダンスの時間発展図

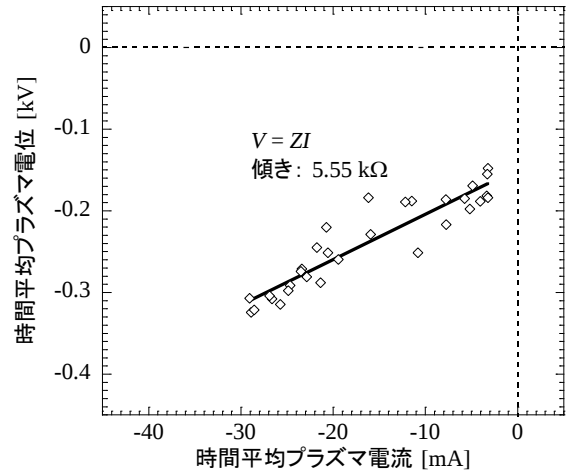


図7 時間平均プラズマ電流と電位の関係

加するため、回路は容量性を示す。一方、放電の後半では、プラズマが電極から離れるに伴い、回路は誘導性を示す。したがって、容量性と誘導性の切り替えが生じるため、リアクタンス成分がゼロの瞬間が生じる。この瞬間において、プラズマインピーダンスは抵抗成分のみであるため、プラズマ抵抗値が示される。

プラズマ生成時間におけるプラズマの電流と電位の時間平均を求めることで、実効的なプラズマインピーダンスを評価することも可能である。プラズマの照射対象物となる銅物体の表面積を変えて、プラズマの電流と電位を変動させて、それらの時間平均における関係性を求めた結果を図7に示す。オームの法則から分布の傾きはインピーダンスを示すため、実効的なプラズマインピーダンスを図的に求めることが可能である。

7. プラズマエネルギーの導出

プラズマの電流と電位を生成時間で時間積分することで、プラズマエネルギー W_{pla} は

$$W_{\text{pla}} = \int V_{\text{pla}} I_{\text{pla}} dt = \langle V_{\text{pla}} I_{\text{pla}} \rangle t_{\text{gen}} \cdots \cdots (5)$$

と求まる[26]。図8に求めたプラズマエネルギー

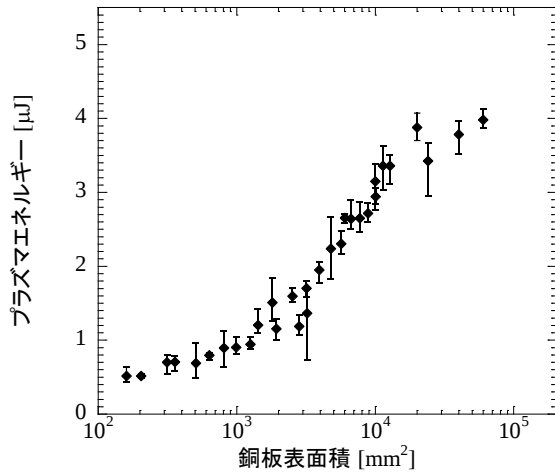


図 8 プラズマエネルギーの銅物体表面積に対する依存性

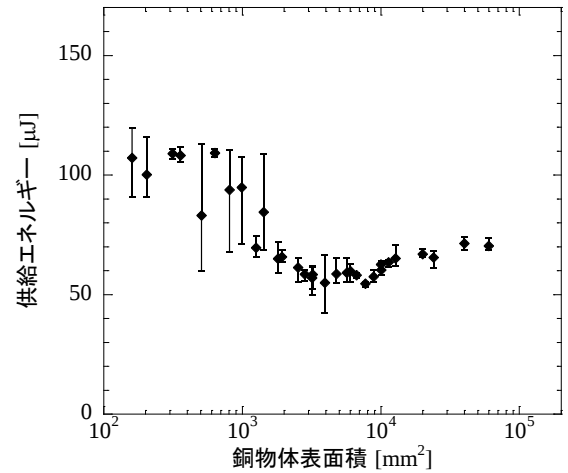


図 9 供給エネルギーの銅物体表面積に対する依存性

の銅物体表面積に対する依存性を示す。プラズマの電流と電位は銅物体表面積に比例するため、プラズマエネルギーも比例する。ここでプラズマエネルギーを求める注意点として、仮想回路を考えた際に並列回路のみを考えると、プラズマ電位の代わりにプラズマ有の印加電圧を用いるため、過大評価となってしまふ。一方、直列回路のみを考えるとプラズマ電流の代わりにプラズマ有の電力供給線電流を用いるため、同様に過大評価となってしまふ。(かつて筆者は実際に失敗した経験を持つ。)したがって、プラズマの電流と電位を個々に導出し、実効値として評価する必要がある。このように、プラズマの電気的特性を評価する際には、実験結果から想定される計測上の仮想回路を正確に考える必要がある。

次に、電源から出力される印加電圧と電力供給線電流から、プラズマ生成に使用される供給エネルギー W_{sup} は

$$W_{\text{sup}} = \int V_{\text{ap}}^{w_0} I_{\text{pow}}^w dt = \langle V_{\text{ap}}^{w_0} I_{\text{pow}}^w \rangle t_{\text{gen}} \quad (6)$$

と求まる。ここで、プラズマ電位は負電位であるため、プラズマ有の印加電圧に足し合わさるため、

プラズマ無の印加電圧が用いられる。図 9 に求めた供給エネルギーの銅物体表面積に対する依存性を示す。銅物体表面積が狭い範囲において供給エネルギーが広い範囲より必要となっている。プラズマエネルギーを供給エネルギーで除算することにより、プラズマの生成効率が求まる。図 10 に求めたプラズマの生成効率を示す。この装置における供給エネルギーに対するプラズマエネルギーへ

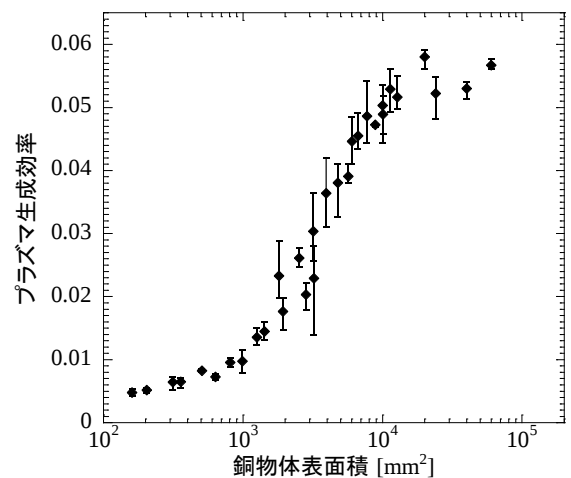


図 10 プラズマ生成効率の銅物体表面積に対する依存性

の変換効率は高くても 6 % 程度となる。実際のプラズマの生成効率を見積もるには、電源に供給される商業電圧 100 V を基に計算する必要がある[26]。この場合には、電圧と電流と使用時間で消費電力量が見積もれるので、電力会社の請求書に記載される消費電力量 1 kWh あたりの金額から、プラズマの処理における電氣的経済性を検討することが可能である。

8. おわりに

本ページでは、大気圧プラズマの特性を電氣的に計測する方法について述べた。大気圧下におけるプラズマの状態を考え、観測されるプラズマの電流と電位の挙動から、プラズマ生成装置における仮想回路を考えることにより、プラズマインピーダンスやプラズマエネルギーは導出される。この電氣的計測から求まる値の妥当性は、光学的計測による結果と比較することにより検討され、プラズマ電流と伝搬速度の関係から求まるプラズマ密度は分光計測から求める電子密度とおおよそ一致することが確認される[24]。また、電氣的計測と光学的計測を合わせることによって、さらにプラズマの特性を評価することが可能である。光学的計測においては、観測する空間で均一な分布として電子密度と電子温度が導出される。電子密度と電子温度を掛け合わせると電子熱圧力[Pa]となり、これは単位体積当たりのエネルギー[J/m³]となる。電氣的計測に求まるプラズマエネルギー[J]は発生した電子の実効的なエネルギーを示す。したがって、プラズマエネルギーを電子熱圧力で割ることにより、プラズマの実効的体積[m³]が求まる。このように求まるプラズマ体積が何の指標を示すか今のところ思いつかないが、このように異なる計測を組み合わせることにより、新たな特性値を求めることが可能である。

参考文献

- [1] X. Lu and M. Laroussi ; J. Appl. Phys., 100, (2006), 063302.
- [2] R. Ye and W. Zheng ; Appl. Phys. Lett., 93, (2008), 071502.
- [3] S. V. Pancheshnyi, S. M. Starikovskaia, and A. Y. Starikovskii ; J. Phys. D: Appl. Phys. 34, (2001), 105.
- [4] K. Yambe, S. Masuda, and S. Kondo ; J. Phys. Soc. Jpn, 87, (2018), 064501.
- [5] B. L. Sands, B. N. Ganguly, and K. Tachibana, ; IEEE Trans. Plasma Sci. 36, (2008), 956.
- [6] J. Shi, F. Zhong, J. Zhang, D. W. Liu, and M. G. Kong ; Phys. Plasmas 15, (2008), 013504.
- [7] N. Mericam-Bourdet, M. Laroussi, A. Begum, and E. Karakas ; J. Phys. D: Appl. Phys. 42, (2009), 055207.
- [8] S. J. Kim, T. H. Chung, and S. H. Bae ; Phys. Plasmas 17, (2010), 053504.
- [9] J. L. Walsh, F. Iza, N. B. Janson, V. J. Law, and M. G. Kong ; J. Phys. D: Appl. Phys. 43, (2010), 075201.
- [10] K. Yambe and S. Kondo ; AIP Adv., 10, (2020), 025210.
- [11] K. Yambe and N. Kuramoto ; Phys. Plasmas, 27, (2020), 042109.
- [12] A. Shashurin, M. N. Shneider, A. Dogariu, R. B. Miles, and M. Keidar ; Appl. Phys. Lett. 94, (2009), 231504.
- [13] J. L. Walsh, J. J. Shi, and M. G. Kong ; Appl. Phys. Lett. 88, (2006), 171501.
- [14] T. Gerling, A. V. Nastuta, R. Bussiahn, E. Kindel, and K-D. Weltmann ; Plasma Sources Sci. Technol. 21, (2012), 034012.
- [15] K. Yambe, N. Kuramoto, and K. Izumi ; AIP

Adv., 11, (2021), 055301.

[16] K. Yoshimura, S. Nakagami, T. Minaguchi, H. Nakano, T. Tatsuta, and O. Tsuji ; J. Photopolymer Sci. Technol., 15, (2002), 283.

[17] S. Li, J. Lim, J. G. Kang, and H. S. Uhm ; Phys. Plasmas 13, (2006), 093503.

[18] K. Yambe, N. Ishizawa, and I. Ohyama ; AIP Adv., 7, (2023), 075212.

[19] H. Shang, W. Ning, S. Shen, R. Wang, D. Dai, and S. Jia ; Rev. Mod. Plasma Phys., 9, (2024), 3.

[20] A. Hani, K. Saber, A. Abahazem, and N. Merbahi ; Plasma, 7, (2024), 826.

[21] H. Sakakita, T. Shimizu, and S. Kiyama ; AIP Adv., 11, (2021), 015323.

[22] K. Yambe, T. Sato, and N. Ishizawa ; IEEE Trans. Plasma Sci., 53, (2025), 697.

[23] K. Yambe, N. Kuramoto, and Y. Inagaki ; AIP Adv., 9, (2019), 085202.

[24] K. Yambe, T. Izumida, and H. Akatsuka ; IEEE Trans. Plasma Sci., 50, (2022), 3593.

[25] K. Yambe, Y. Hoshimi, and N. Kuramoto ; J. Phys. Soc. Jpn, 90, (2021), 084501.

[26] K. Yambe, H. Yoshida, and T. Harada ; IEEE Trans. Plasma Sci., 54, (2026), 2075.

第 24 回プラズマエレクトロニクス賞

機械学習を活用したタンデム型変調誘導熱プラズマによる ナノ粒子生成条件の最適化

金沢大 田中康規, 長瀬有理, 岡野里桜, 中野裕介, 石島達夫, 北山哲士,
日清製粉グループ本社 末安志織, 渡邊周, 中村圭太郎

はじめに

この度は荣誉ある第 24 回プラズマエレクトロニクス賞（2025 年度）を、拙稿論文“Optimization for modulation conditions in nanoparticle synthesis using tandem modulated induction thermal plasmas with intermittent synchronized feeding by machine learning” [1] に対して賜りました。ご多忙の中ご選考を戴いた審査員の先生方、また、日頃よりご指導を戴いているプラズマエレクトロニクス分科会の諸先生方に、この場を借りて深く感謝申し上げます。本稿では、受賞対象論文の背景、研究の考え方、得られた成果、および今後の展望について簡単に紹介します。

【背景】

ナノ粒子およびナノ材料は、バルク材料とは異なる物理的・化学的特性を示すため、電子デバイス、エネルギー貯蔵、環境浄化、触媒などの広い分野で重要性を増している。特に Si 系ナノ粒子は、リチウムイオン二次電池用高容量負極材料として期待されており、粒径、粒径分布、組成、結晶相、表面状態を制御しながら高い生産速度で安定に生成する技術が求められている。

誘導熱プラズマ法は、無電極で高温・高エンタルピー場を形成できるため、固体原料を短時間で加熱・蒸発させることができる。また、電極由来の不純物混入が少なく、高純度ナノ材料の生成に適している。一方で、熱プラズマ中のナノ粒子生成では、原料粒子の加熱、溶解、蒸発、蒸気輸送、

過飽和化、核生成、凝縮、凝集、冷却が高温非定常場で同時に進行する。そのため、生成粒子の粒径や生成量は多数の制御因子に強く依存し、従来の経験的な条件探索だけでは、最適条件の同定に多大な労力を要する。

本研究では、この課題に対して、タンデム型変調誘導熱プラズマと時間制御原料供給を組み合わせた Tandem-MITP+TCFF 法に、数値熱流体解析と機械学習に基づく逐次近似最適化を導入した。目的は、Si ナノ粒子生成において、より小粒径で、かつ生成量の多い条件を合理的に探索することである。

【Tandem-MITP+TCFF 法】

本研究で対象とした Tandem-MITP+TCFF 法は、変調誘導熱プラズマ（MITP）と時間制御原料供給（TCFF）を組み合わせたナノ粒子生成法である。図 1 にその概念を示す。本手法では、単一のプラズマトーチに上下二段の高周波コイルを配置し、各コイル電流を独立に変調する。これにより、軸方向に広がった高温プラズマ領域を形成しつつ、プラズマ温度場と流動場を時間的・空間的に制御できる。オン時間では、上下コイルに高い電流を流し、原料 Si 粉末を効率的に蒸発させる高温場を形成する。一方、オフ時間ではコイル電流を低下させ、生成した Si 蒸気を急速に冷却する。この冷却により Si 蒸気は過飽和状態となり、核生成および凝縮を経てナノ粒子が形成される。

本手法の重要な点は、プラズマ加熱、原料粉末供給、急冷ガス導入を同一周期内で同期制御する

点にある．図2に示すように，上下コイルのデューティ比，変調度，原料供給の遅れ時間，急冷ガス導入のタイミングなどが，ナノ粒子生成場を決定する重要な制御パラメータとなる．すなわち，Tandem-MITP+TCFF法では，熱プラズマの非定常性を外乱ではなく，材料生成を制御するための設計自由度として積極的に利用する．

【数値モデルと機械学習最適化】

Tandem-MITP+TCFF法では，熱プラズマ場，原料粒子挙動，Si蒸気輸送，ナノ粒子生成・輸送が

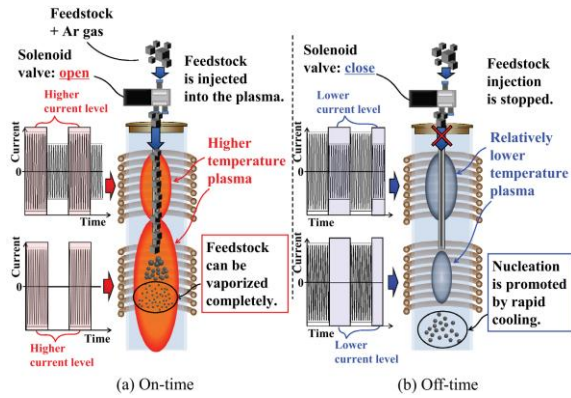


図1 Tandem-MITP+TCFF法によるナノ粒子生成の概念図（原著論文[1] Fig. 1）

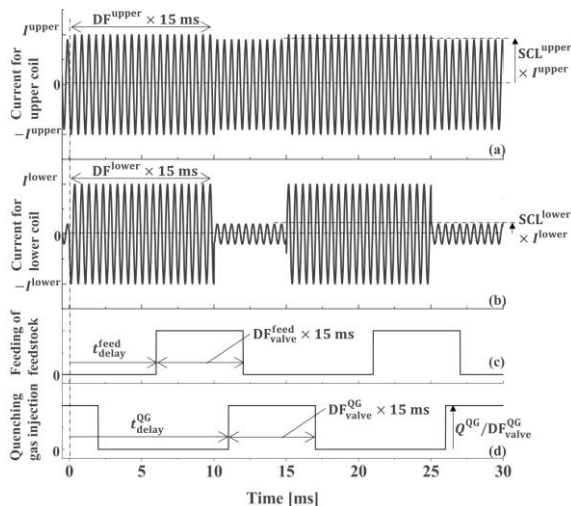


図2 Tandem-MITP+TCFF法におけるコイル電流変調，原料供給，急冷ガス導入の制御パラメータ（原著論文[1] Fig. 3）．

強く連成する．そこで本研究では，質量保存式，運動量保存式，エネルギー保存式，Si蒸気の質量輸送式，および上下二段コイルによる電磁場方程式を連立して解き，時間変調されたプラズマ温度場，流動場，Si蒸気濃度場を求めた．さらに，原料粒子の運動，加熱，溶融，蒸発を考慮し，エアロゾル動力学に基づくモーメント法により，核生成，凝縮，凝集，拡散，熱泳動，対流輸送を計算した．このモデルの重要な点は，プラズマが原料粒子やナノ粒子に作用するだけでなく，原料蒸発やナノ粒子生成がプラズマ側の質量・エネルギー収支にも影響を与える双方向相互作用を考慮していることである．これにより，単なる温度場の計算ではなく，原料蒸発からナノ粒子形成までを一貫して解析できる．

一方，詳細数値解析は計算負荷が大きいため，全ての制御パラメータの組合せを網羅的に調べることは現実的ではない．そこで本研究では，RBFネットワークを用いた逐次近似最適化を導入した．図3に示すように，まずラテン超方格法により初期サンプリング点を設定し，各条件で詳細数値解析を行う．次に，得られた結果から応答曲面を構築し，平均粒径の低減と生成粒子数の増大を目的とする多目的最適化を行う．その後，有望条件を追加して応答曲面を更新することで，少数の詳細計算からパレート最適解を効率的に探索する．

本研究では，機械学習を単なるブラックボックス

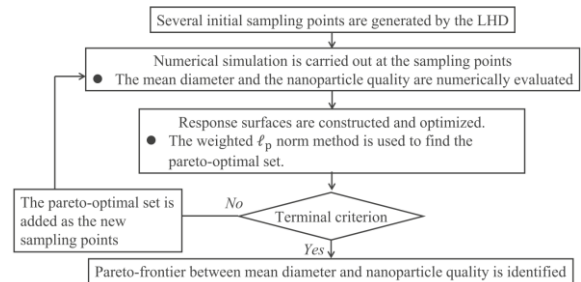


図3 RBFネットワークを用いた逐次近似多目的最適化の流れ（原著論文[1] Fig. 5）．

ス探索として用いるのではなく、プラズマ物理に基づく数値モデルと組み合わせた。この点により、探索効率と物理的妥当性を両立した条件最適化が可能となった。

【最適化結果】

本研究では、ナノ粒子の平均粒径を小さくし、かつ生成粒子数を増大させることを目的とした。この二つの目的は必ずしも同時に満たされるものではなく、平均粒径と生成量の間にはトレードオフが生じる。そのため、本研究では単一の最適解ではなく、パレート最適解を求めた。

図 4 に、平均粒径と生成粒子数の関係を示す。白丸は初期サンプリング点、黒丸は逐次近似最適化により得られたパレートフロンティアである。本研究では、44 回の数値計算によりパレートフロンティアを同定できた。これは、広い制御パラメータ空間を網羅的に探索することなく、有望条件を効率的に抽出できることを示している。代表的な条件を比較すると、条件 X では平均粒径が約 46 nm、生成粒子数が 0.5×10^{21} 個であった。条件 Y では平均粒径は約 27 nm まで小さくなったが、生成粒子数は 0.8×10^{21} 個にとどまった。これに対し、最適条件 A では平均粒径が約 21 nm となり、生成粒子数は 3.3×10^{21} 個まで増大した。最適条件 A では、上段コイルの変調は比較的小さく保たれ、下

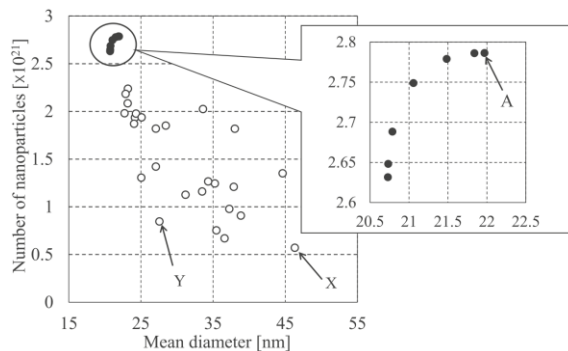


図 4 平均粒径と生成粒子数の関係およびパレートフロンティア（原著論文[1] Fig. 7）。

段コイル電流が強く変調されていた。また、原料粉末は下段コイル電流のオン時間後半に間歇的に供給され、急冷ガスは下段コイル電流のオフ時間に強く導入される傾向を示した。この結果は、単に平均投入電力を増加させるのではなく、高温蒸発場と急冷核生成場を適切なタイミングで形成することが、小粒径・高生成量化に重要であることを示している。

【最適条件における物理的機構】

最適条件 A で小粒径かつ高生成量が得られた理由を明らかにするため、温度分布、Si 蒸気質量分率分布、ナノ粒子エアロゾル密度分布の時間変化を解析した。図 5 に、その代表的な結果を示す。図 5 の最上段はプラズマ温度場、中段は Si 蒸気質量分率、下段は生成ナノ粒子のエアロゾル密度を表しており、原料蒸発から蒸気冷却、核生成に至る一連の過程を時系列で比較できる。最適条件 A では、下段コイル電流の強い変調により、プラズマ下流領域の温度場が大きく時間変化する。原料粉末が供給される時間帯では、高温プラズマ中で Si 原料が効率的に蒸発し、高濃度の Si 蒸気が形成される。その後、下段コイル電流の低下と急冷ガス導入により、Si 蒸気は下流チャンバー領域で急速に冷却される。この過程で、高濃度 Si 蒸気は蒸気パケットとして下流へ輸送され、低温ガス流との混合により急速に過飽和状態へ移行する。過飽和度の上昇により多数の核が生成され、Si 蒸気が多数の粒子へ分配されるため、各粒子の成長が抑制される。その結果、平均粒径が小さくなり、同時に生成粒子数が増大する。したがって、小粒径・高生成量化の本質は、単なる高温化や単なる急冷ではない。高温蒸発場で十分な Si 蒸気を形成し、その蒸気を適切な時間差で急冷核生成場へ導くことである。すなわち、Tandem-MITP+TCFF 法では、プラズマの時間変動、原料供給、急冷ガス導入の同期により、核生成と成長の時間履歴を制御して

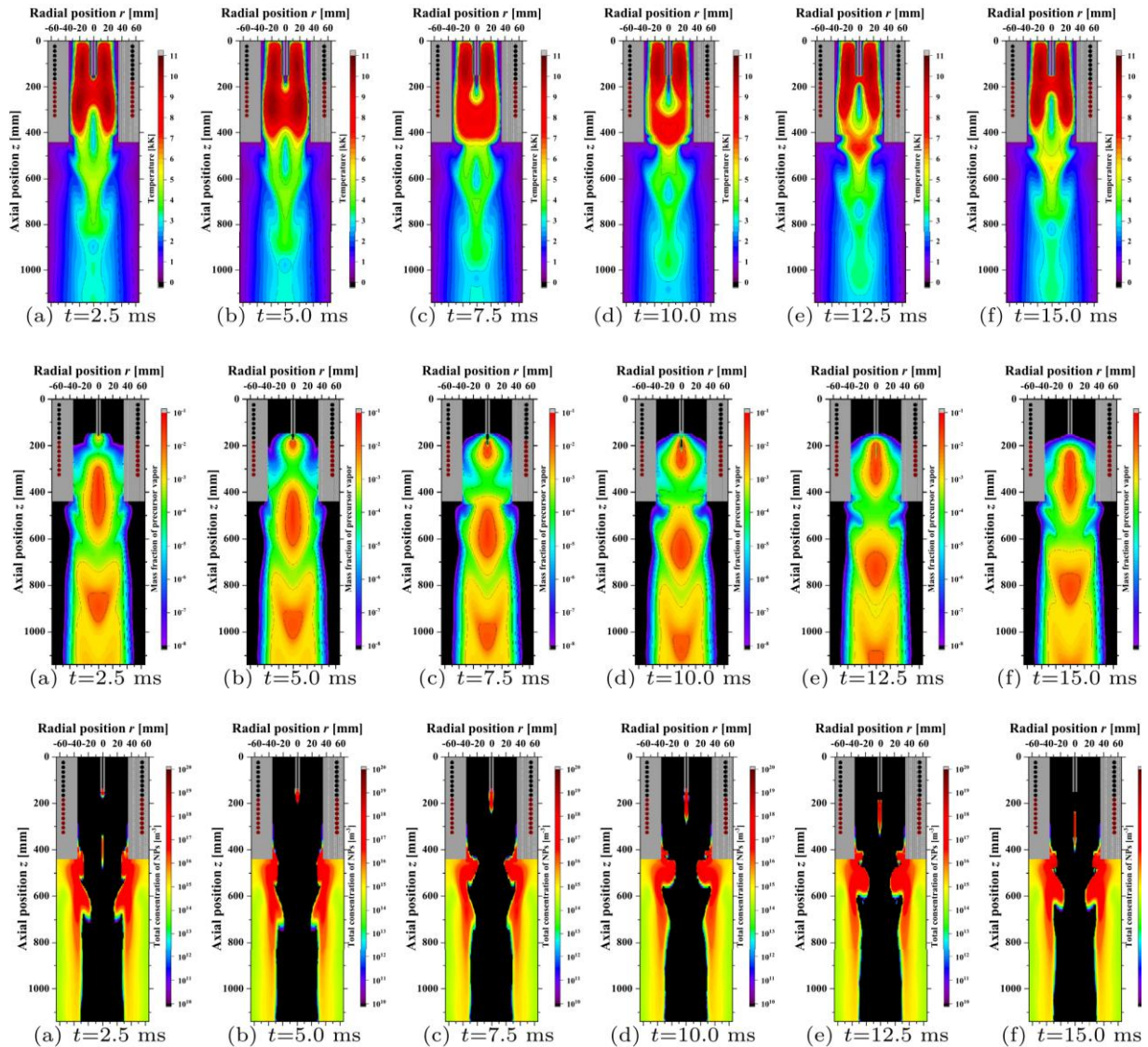


図5 最適条件 A における温度分布(最上段), Si 蒸気質量分率分布 (中段), ナノ粒子エアロゾル密度分布 (下段) の時間変化 (原著論文[1] Fig. 11, Fig. 14, Fig. 17 より再構成)。

いる。この点が、本研究の最も重要な物理的知見である。

【粒径分布から見た最適条件の特徴】

図6に、条件X、条件Y、最適条件AにおけるSiナノ粒子の粒径分布を示す。条件Xでは粒径が比較的大きく、生成粒子数も少ない。条件Yでは粒径は小さくなるが、生成粒子数の増大は限定的である。これに対し、最適条件Aでは粒径分布が小粒径側へ移動し、平均粒径が約20nmまで低下

するとともに、生成粒子数が大きく増加した。

この結果は、変調操作が単にプラズマ温度を上下させるものではなく、核生成頻度、粒子成長時間、凝集過程を制御する操作であることを示している。特に、原料蒸発と核生成の時間的位置関係を制御することにより、粒径分布を小粒径側へ移動させながら、生成粒子数を増大できることは、熱プラズマによる機能性ナノ材料合成において重要である。

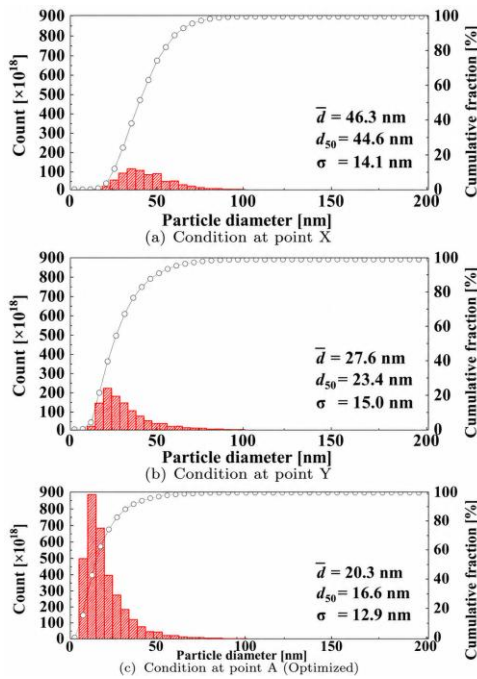


図 6 条件 X, 条件 Y, 最適条件 A における Si ナノ粒子粒径分布の比較 (原著論文[1] Fig. 18)

【本研究の意義と今後の展望】

本研究の意義は、熱プラズマを用いたナノ粒子生成プロセスに対し、物理モデル、数値解析、機械学習最適化を統合した点にある。従来のプラズマ材料プロセス開発では、実験的な条件探索が中心であり、広いパラメータ空間の中から最適条件を見いだすには多くの時間を要していた。これに対し、本研究では、プラズマ場、原料蒸発、Si 蒸気輸送、ナノ粒子生成を連成した数値モデルを用い、その結果を RBF ネットワークにより効率的に探索することで、プロセス条件を合理的に設計する手法を示した。

また、本研究は、プラズマの非定常性を材料生成のための設計パラメータとして積極的に利用した点に特徴がある。時間的に変化する温度場、流動場、蒸気濃度場、過飽和場を意図的に形成し、それらを原料供給および急冷ガス導入と同期させることで、ナノ粒子の核生成と成長を制御した。

これは、プラズマプロセスを経験的操作から、物理に基づく設計技術へ発展させる試みである。

今後は、本研究で得られた最適化手法を実験的検証および大規模生成プロセスへ展開する必要がある。数値解析と機械学習により有望条件を抽出し、実験により粒径分布、生成量、結晶構造、組成、表面状態を評価することで、モデルの妥当性をさらに高めることができる。また、Si 系ナノ材料に加えて、酸化物ナノ粒子、電池材料、触媒材料、多元系ナノ材料への展開も期待される。

謝辞

本研究は、金沢大学における熱プラズマプロセス研究を基盤として、多くの共同研究者、学生、関係機関の協力のもとで進められたものです。Tandem-MITP+TCFF 法の構築、数値モデルの開発、機械学習最適化、実験的検討に関わっていただいた共著者の皆様に深く感謝申し上げます。また、本研究の一部は JSPS 科研費および JSTA-STEP の支援を受けて実施されました。最後に、日頃より有益なご助言とご支援を賜っているプラズマエレクトロニクス分科会の先生方、ならびに本賞の選考に携わられた先生方に、改めて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] Y. Tanaka, Y. Nagase, R. Okano, Y. Nakano, T. Ishijima, S. Kitayama, S. Sueyasu, S. Watanabe and K. Nakamura, "Optimization for modulation conditions in nanoparticle synthesis using tandem modulated induction thermal plasmas with intermittent synchronized feeding by machine learning," *Reviews of Modern Plasma Physics*, Vol. 9, 11 (2025).

トムソン散乱およびラマン散乱を用いた空气中ストリーマ放電の 電子密度・ガス温度の計測：印加電圧の影響

東京大学 睦 承源
(北海道大学 富田 健太郎、 東京大学 小野 亮)

はじめに

この度は、第 59 回（2025 年秋季）応用物理学会講演奨励賞を賜る機会をいただき、誠に光栄に存じます。本研究をご評価くださいました審査員の先生方をはじめ、講演会の開催・運営に携わられた皆様に、この場をお借りして心より御礼申し上げます。本稿では、受賞対象となった表題の研究内容を取り上げ、研究の背景、実験の概要やその結果、得られた知見についてご紹介させていただきます。

研究背景

代表的なプラズマ現象の一つであるストリーマ放電は、高電圧機器における絶縁破壊や大気中の雷放電などの前駆現象として広く知られている。一方で、近年様々な応用技術として研究されている大気圧プラズマジェットや誘電体バリア放電においても、ストリーマ、あるいはそれに類似したプラズマ構造が観測される。そのため、プラズマ発生を抑制する観点からも、プラズマを積極的に生成・利用する観点からも、ストリーマ放電の物理過程を詳細に理解することは極めて重要である。

東京大学小野亮研究室では、2000 年代初頭から現在に至るまで、ストリーマ放電の基礎研究を行っている。特に、様々なプラズマ活性種の密度や温度を計測し、それらの反応機構を明らかにしてきた[1]。さらに、2010 年代初頭からは小室淳史氏（現・産業技術総合研究所）により、ストリーマ放電のシミュレーションモデルの開発が進めら

れてきた[2]。これにより、実験条件とシミュレーション条件を整合させることで、両者の結果を相互に比較・検証することが可能となっている。また、2020 年には小野研究室において、高い時空間再現性をもつ、枝分かれしないシングルフィラメント・ストリーマ放電装置が開発された[3]。この装置により、二次元シミュレーションとの直接比較が可能となっただけでなく、単一のストリーマに対して放電中のナノ秒スケールにおけるレーザー計測を行うことが容易となった。

このシングルフィラメント・ストリーマ放電装置を用いて、長年にわたりレーザートムソン散乱計測法の開発およびプラズマ診断への応用に取り組んできた北海道大学富田健太郎研究室との共同研究が行われた（当時は九州大学）。その結果、まず空气中ストリーマ放電において、非マクスウェル分布を示す電子エネルギー分布関数（Electron Energy Distribution Function; EEDF）を世界で初めて実測することに成功した[4]。続いて、放電中における時間変化の計測を行い、二次ストリーマの初期段階において、強電界による電子密度の増加や活性種の急速な生成が示唆された[5]。また、放電中に生じる数 K 程度のガス加熱によって、空気分子からの回転ラマン散乱スペクトルが変化することも明らかとなった。

これらの先行研究を踏まえ、本研究では、パルス印加電圧がストリーマチャンネル中の電子密度およびガス温度に及ぼす影響を、トムソン散乱法および回転ラマン散乱法を用いて調べた。

実験方法

本研究では、先行研究と同様のシングルフィラメント・ストリーマ放電装置およびレーザー散乱計測システムを用いた[4,5]。図1に実験装置の概略図を示す。乾燥合成空気を1 L/minの流量で放電リアクタに導入し、アノード針電極に正極性の高電圧パルスを2 Hzで印加した。中心針電極から発生するストリーマの枝分かれを抑制するため、その周囲には補助針電極を配置した。カソード平板電極は接地し、放電ギャップ長は13 mmとした。一方、レーザー散乱計測の光源には、波長532 nmのNd:YAGレーザー第二高調波を用いた。レーザーパルスエネルギーは13 mJとし、針電極先端から3 mmの位置に照射した。散乱角90°で発生した散乱光は、差分散型三回折格子分光器によりレイリー散乱成分を除去した後に分光され、ICCDカメラによりスペクトルとして検出された。

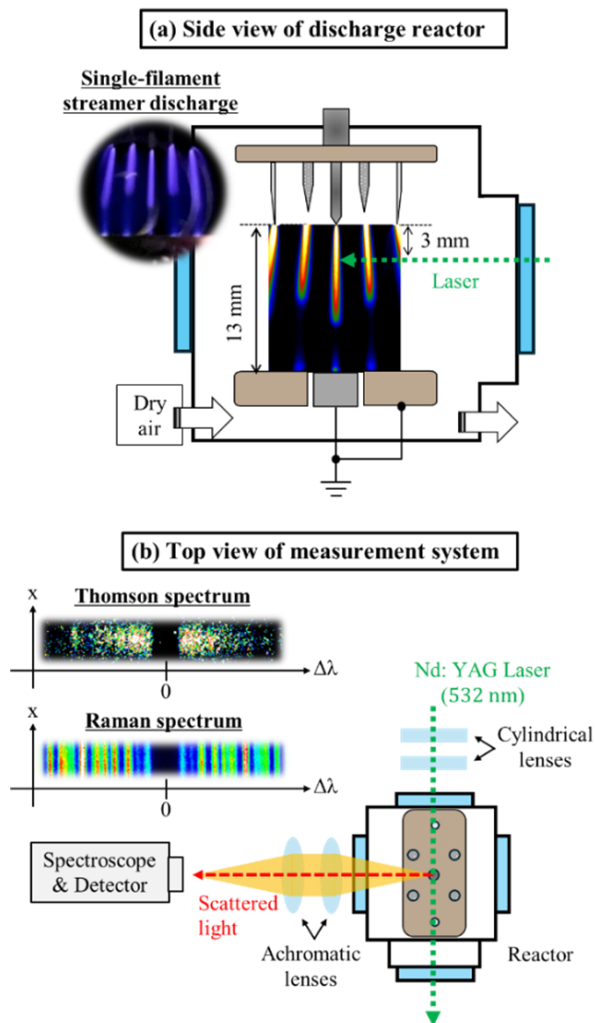


図1．実験装置の概略図。(a) 放電リアクタの側面図、(b) 計測システムの上図。

端から3 mmの位置に照射した。散乱角90°で発生した散乱光は、差分散型三回折格子分光器によりレイリー散乱成分を除去した後に分光され、ICCDカメラによりスペクトルとして検出された。

結果・考察

図2(a)に、ICCDカメラで計測したストリーマ放電の発光画像を示す。印加電圧の増加に伴い、二次ストリーマの長さおよび放電発光強度が増加した。特に、38 kVでは放電発光が急激に増強した。38 kVは二次ストリーマが放電ギャップ全体に進展する電圧であり、さらに数百V以上高い電圧を印加すると、スパーク放電が発生し始める。図2(b)に、トムソン散乱法により計測した電子密度の時間変化を示す。印加電圧を30 kVから34 kVに増加させた場合、電子密度にはほとんど変化が見られなかった。一方、34 kVから38 kVに増加させると、電子密度が明らかに増加することが分かった。ただし、ここで注意すべき点として、先行研究では、レーザー照射により負イオンから電子が光脱離し、トムソン散乱信号が増強されることが示唆されている[5]。すなわち、本研究で得られた電子密度は過大評価されている可能性があり、厳密には負イオンから光脱離した電子の寄与を含む実効的な電子密度として解釈する必要がある。しかし、この点を考慮しても、38 kVにおけるストリーマでは、放電初期から実効的な電子密度が高いことが確認できる。

図2(c-1)、(c-2)、(c-3)には、それぞれ回転ラマン散乱法により計測したガス温度上昇値 ΔT_g 、規格化した空気密度 N/N_0 、および空気圧力 P/P_0 の時間変化を示す(ここで、 N_0 と P_0 は標準条件の値)。計測の結果、38 kVの場合にガス加熱が最も顕著に進行することが分かった。ここで、本研究で対象とする放電中および放電終了直後のナノ秒スケールにおける高速ガス加熱には、主に励起室

素分子および励起酸素原子のクエンチング反応、ならびに酸素分子の電子衝突解離反応が寄与すると考えられる[5]。また、この時間スケールでは、

圧縮性ガスの慣性効果により、温度上昇に伴う密度低下はまだ顕在化していない。その結果、ガス密度はほとんど変化せず、ガス圧力のみが上昇していることが計測結果から示された。

おわりに

本研究では、大気圧空气中ストリーマ放電において、印加電圧の変化がナノ秒スケールにおける電子密度およびガス加熱に及ぼす影響を、レーザー散乱法により調べた。特に、スパーク放電へ移行する直前の高電圧条件では、二次ストリーマが放電ギャップ全体に進展するとともに、発光強度、電子密度、およびガス温度が顕著に高いことが分かった。すなわち、この電圧条件では、他の印加電圧条件とは異なるプラズマ物理過程が生じている可能性が示唆された。

今後、本研究と同様の放電条件におけるシミュレーション計算や、他の計測手法による実験結果との比較・検証を行うことで、ストリーマ放電のプラズマ物理に関する新たな知見が得られると期待される。

参考文献

- [1] Ono R ; J. Phys. D: Appl. Phys., 49, (2016), 083001.
- [2] Komuro A, Ono R and Oda T ; J. Phys. D: Appl. Phys., 46 (2013), 175206.
- [3] Ono R and Komuro A ; J. Phys. D: Appl. Phys., 53, (2020), 035202.
- [4] Tomita K, Inada Y, Komuro A, Zhang X, Uchino K and Ono R ; J. Phys. D: Appl. Phys., 53, (2020), 08LT01.
- [5] Mok S, Pan Y, Tomita K and Ono R ; Plasma Sources Sci. Technol., 35, (2026), 035009.

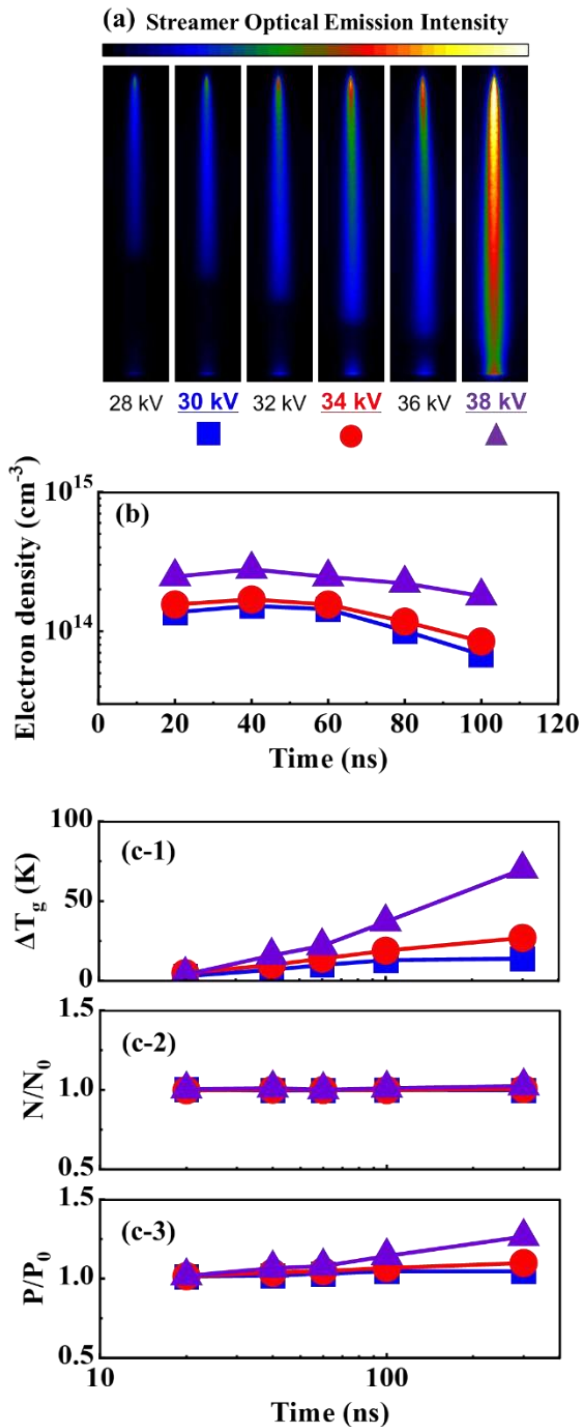


図 2. 計測結果まとめ。(a) 放電発光画像、(b) 電子密度、(c-1) 空気温度上昇値、(c-2) 規格化空気密度、(c-3) 規格化空気圧力。

応用物理学会講演奨励賞

自己組織化した発光模様を伴う He 直流グロー放電での 換算電界および平均電子エネルギーの推定および発光機構の考察

北海道大学 宮崎俊明、佐々木浩一、白井直機

はじめに

この度は、第 59 回（2025 年秋季）応用物理学会講演奨励賞という、大変名誉ある賞を賜り、光栄に存じます。ご推薦いただきましたプラズマエレクトロニクス分科会の関係者の皆様に深く感謝申し上げます。本稿では、受賞対象となった研究内容についてご紹介させていただきます。

研究背景

液体を陽極として用いて大気圧直流グロー放電を生成したとき、ある条件では陽極近傍に「自己組織化」した発光の模様が観察される[1]。放電の生成条件を変えることで様々な種類の模様を観察できる面白い現象であるが、そのメカニズムは未解明である。一般的には、「反応拡散系」と呼ばれる 2 変数の連立偏微分で記述される数理モデルを用いることで、様々な模様が再現できることが知られている[2]。このモデルにおいては、互いに密度が増減する 2 つの物質の密度分布が模様を作る。そのため、大気圧直流グロー放電での模様の形成においても、このような 2 つの物質が存在することが予想される。

大気圧直流グロー放電での自己組織化に関する研究の多くは、空気中で He 流を導入し液体電極を用いた放電で行われている。これは実験系の構築が比較的容易なためである。しかし、この空気中での放電では、放電部におけるガス組成が正確に分らないという問題があったため、我々は図 1 に示すような放電容器内で He のみを導入して放電を発生させる実験系を構築した。

He 放電においては、パッシェン曲線と同様に、横軸がガス圧力 p と電極間距離 d の積（ pd 積）、縦軸が放電電圧としたとき、 pd 積の増加に伴いあるしきい値において模様の形成が始まり、模様の形成は pd 積が大きい条件で起こることが分かった。 pd 積の大きい条件では、換算電界 E/N が小さくなり、電子エネルギーが低いことが予想される。

本研究では、模様が形成する条件における He 放電の状態を調べるため、放電容器内のガス組成（He に対する不純物濃度）および放電部の発光スペクトルを計測した。また、放電部の E/N および電子エネルギーを見積もり、それらの結果から放電の状態および発光機構を考察した。

実験方法

図 1 に示すような放電容器内で、直径 6 mm の先端を尖らせた真鍮製陰極と金属平板陽極の間

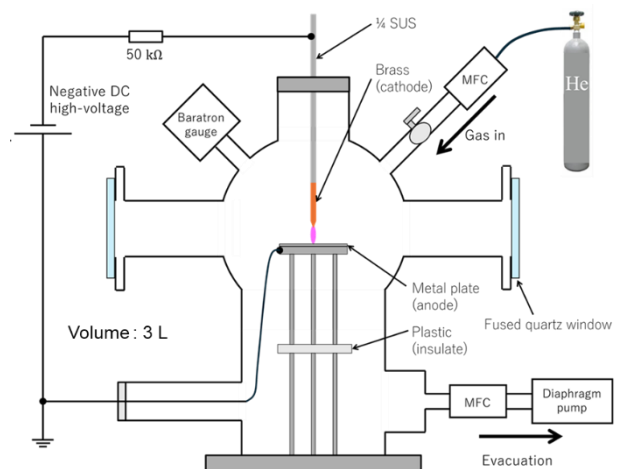


図 1. 放電容器および放電生成装置の概要

に直流高電圧を印加して、直流グロー放電を発生させた。放電容器内の圧力は、ダイヤフラムポンプで数 Torr 以下の圧力まで排気した後、He を流入させて設定した。放電部の発光を集光レンズおよび光ファイバーを用いて分光器に入射し、発光スペクトルを調べた。針-平板の電極間における電場分布は、点電荷-平板での静電場を仮定して求めた(電気映像法)。そして平均電子エネルギーと換算電界の関係を、Bolsig+を用いて得た。

実験結果および考察

QMS 計測の結果から、放電容器内に導入した He に対する不純物($\text{N}_2 \cdot \text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)濃度は 100ppm より小さいことが分かった。図 2 には、放電および模様の様子と、そのときの発光スペクトルを示す。不純物濃度が 100ppm よりも小さいにも関わらず、He 以外の不純物に由来する発光スペクトルが(b)陽極部分および(c)陽光柱部分の両方において顕著に観察された。また、200 – 800 nm にかけての連続スペクトルも観察された。

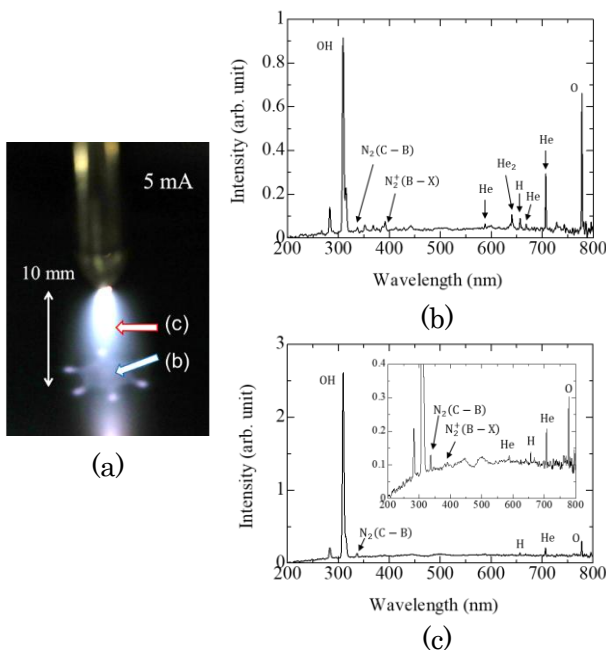
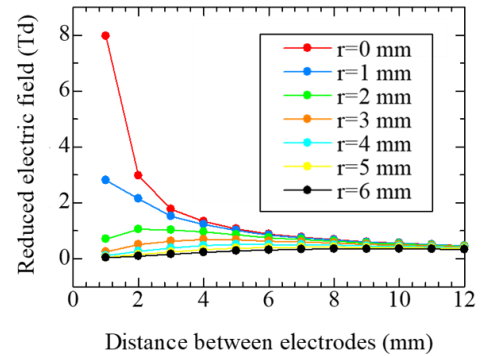
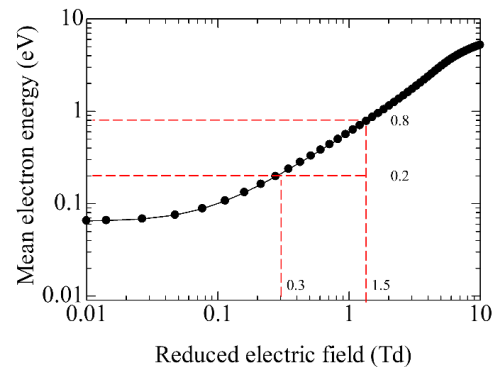


図 2. (a)He 放電と模様の様子および発光スペクトル。(b)が陽極近傍、(c)が陽光柱部分。



(a)

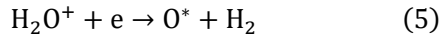
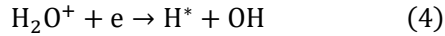
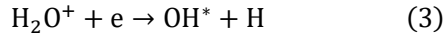
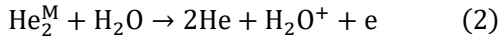
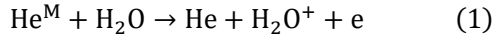


(b)

図 3. (a)算出した陽極近傍での換算電界および (b)Bolsig+で得た換算電界と平均電子エネルギーの関係。

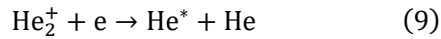
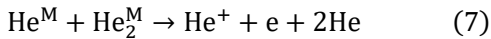
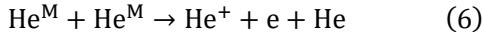
図 3(a)には、点電荷-平板での静電場を仮定して計算した電場分布をもとに求めた E/N の値を示す。1 – 12 mm の各電極間距離において、陽極から高さ 0.1 mm の位置での E/N の値である。陰極にかかる電圧は、電極間距離の増加に対して、陰極および陰極以外の電圧はそれぞれ一定および比例して増加すると仮定して算出した[3]。図 3(b)には、QMS 計測の結果を利用して $\text{He}:\text{N}_2:\text{O}_2 = 99.99\%:0.008\%:0.002\%$ として Bolsig+で計算した平均電子エネルギーと E/N の関係を示す。図 3(a)から、模様が形成するような電極間距離($d > 3$ mm)では、陽極上での E/N は約 0.3 – 1.8 Tdである。図 3(b)より、そのときの平均電子エネルギーを推定すると、約 0.2 – 0.8 eVとなる。

このような低い電子エネルギーでは、電子衝突電離ではなく、主に準安定状態の He^M や He_2^M によるペニング効果で電離が生じることが予想される。図2に示す発光スペクトルは、解離性再結合および放射性再結合により生じていると考えられ、励起状態が再結合過程で生成される「再結合プラズマ」と呼ばれるプラズマになっていると思われる。図2の発光スペクトルで観察された不純物に由来する発光は、以下のような反応で説明できる。

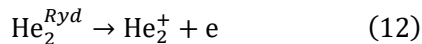
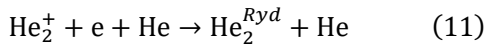


式(1), (2)のようなペニング効果で電離が生じて、生成された正イオン・電子が、式(3)–(5)のような解離性再結合で励起状態を生成して発光する。

さらに、He に由来する発光も次のような反応で同様に説明できる。



式(6)–(8)のような反応で He_2^+ と電子が生成されて、励起状態 (He^* , He_2^*) は式(9), (10)のような反応で生成される。このとき、式(11)のような反応で Rydberg 状態の He 分子 (He_2^{Ryd}) も同時に生成されることが予想される[4]。



He_2^{Ryd} は He_2 の高励起状態であり、式(12)のように 0.1 eV 程度のエネルギーでも自動電離するような粒子である。 He_2^{Ryd} と電子は、式(11)と(12)のような反応で互いに密度が増減するような関係に

ある。模様の発光部では式(12)のように He_2^{Ryd} が電子に変換され、非発光部では式(11)のように電子が He_2^{Ryd} として貯蔵されると考えると、 He_2^{Ryd} と電子を反応拡散系の 2 物質とみなすことができる。この He_2^{Ryd} と電子の密度を 2 変数として、連立偏微分方程式となる反応拡散系のモデルを構築し、適切に解くことができれば、実験で観察された模様を数学的に再現し詳細な模様形成のメカニズムを理解できる可能性がある。

まとめ

本研究では、自己組織化した発光の模様が形成される He 直流グロー放電の状態を調べ、発光機構を考察した。発光スペクトルおよび推定した E/N と電子エネルギーの結果より、放電は「再結合プラズマ」であると考えられる。

電離は準安定状態の He^M や He_2^M によるペニング効果で生じており、再結合過程により励起状態が生成されて発光していると考え、計測された放電のスペクトルを説明することができた。

このとき同時に生成されると予想される Rydberg 状態の He 分子 (He_2^{Ryd}) を考慮すると、 He_2^{Ryd} と電子は互いに密度の増減する関係となる。そのため、これらの密度は模様形成の解析ができる数理モデルである反応拡散系の 2 変数とみなすことができる。本研究に関する内容は文献[5,6]で発表している。

参考文献

- [1] N. Shirai *et al.*, Plasma Sources Sci. Technol. **23**, 054010 (2014).
- [2] A. Turing, Phil. Trans. R. Soc. B237 37 (1952).
- [3] T. Cserfalvi *et al.*, J. Phys. D **26** 2184 (1993).
- [4] E. Carbone *et al.*, Plasma Sources Sci. Technol. **25** 054004 (2016).
- [5] T. Miyazaki *et al.*, 2024 Plasma Sources Sci. Technol. **33** 115007
- [6] T. Miyazaki *et al.*, 2026 Plasma Sources Sci. Technol. **35** 015012

国際会議報告

46th International Symposium on Dry Process (DPS2025)

第 46 回ドライプロセスシンポジウム国際会議

愛媛大学 神野 雅文
(DPS2025 実行委員長)

はじめに

本会議は毎年秋に開催されており、国内外のプラズマプロセスをはじめとするドライプロセス関連分野の研究者・技術者が一堂に会する歴史ある国際会議である。第 46 回目を迎えた今回は、2025 年 11 月 13 日（木）・14 日（金）の 2 日間、愛媛県松山市の松山市立子規記念博物館において開催された。

本大会は例年を大きく上回る盛況となった。その要因として、開催前々日・前日の 2 日間にわたり、大阪大学の浜口智志教授のご尽力により「DRY PROCESS SCHOOL」が愛媛大学にて併催され、世界的な著名講師陣から学ぼうと多くの若手研究者が集まったことが挙げられる。また、会場が日本最古の温泉地である道後温泉に隣接しており、松山空港からリムジンバスで 25 分、市内中心部からも路面電車で 15 分という抜群のアクセスを誇ったことも、国内外からの参加を後押しした。

最終的な参加者数は 427 名（国内 283 名、海外 144 名）に達した。海外からの参加者は韓国（74 名）、台湾（38 名）、米国（11 名）をはじめ、欧州やアジア諸国から幅広く集まり、昨年度より約 40 名増加した。このため、メイン会場の 4 階ホール（定員 447 名）に加え、映像と音声进行中継するサブ会場（1 階視聴覚室）を用意し、余裕を持って聴講いただける体制を整えた。ポスター会場として活用したロビーや廊下は、想定以上の熱気に包まれ、やや手狭に感じられるほどの盛況ぶりであ

った。

発表の概要

今回の総発表件数は 131 件にのぼり、以下の通り充実したプログラムとなった。

特別講演（受賞・招待講演含む）： 7 件

一般口頭発表： 20 件

ポスター発表： 104 件

招待講演には、Sung-Il Cho 氏、Chulhyun Lim 氏（共に Samsung Electronics）、Thorsten Lill 氏（Lam Research）、Vincent M. Donnelly 氏（Univ. of Houston）、Christophe Vallee 氏（Univ. at Albany）、Jeongsoo Kim 氏（imec）といった、産業界・学界を牽引するリーダーが登壇した。いずれの講演も盛況であり、質疑応答も極めて活発であった。また、前述のスクール効果もあり、学生が熱心に最前線の研究に耳を傾け、積極的に議論に参加する姿が非常に印象的であった。



写真 1 会場の様子

（左）メイン会場、（右）ポスター会場

DPS 各賞の授与

会議初日に開会式に続いて、以下の通り各賞の授賞式が執り行われた。

DPS Nishizawa Award: * Demetre J. Economou
名誉教授 (University of Houston) : 半導体製造
に向けたプラズマプロセスのモデリング・シミュ
レーションに関する卓越した研究。

伊澤 勝 氏 (株式会社日立ハイテク) : マイクロ波
ECR プラズマエッチング技術の開発と工業的応
用における顕著な貢献。

DPS Achievement Award: * 豊田 浩孝 教授 (名
古屋大学) : 化学種の定量評価を伴うプラズマ診断
およびプロセスプラズマ反応機構の理解への貢献。

DPS2025 DPS Paper Award / DPS2024 Award
for the Best Presentation: * 深沢 正永 氏 ほか
4名のグループ (産業技術総合研究所)

DPS2024 Award for Young Researcher: * Hojun
Kang 氏 (大阪大学)、川村 隼也 氏 (名古屋大学)

DPS Career Assistant Board の設置

若手人材の育成と確保を目的に、前々回大会より
始まった「DPS Career Assistant Board」を今
回も継続して設置した。半導体企業への関心を持
つ若手への求人情報提供と、会議への参加意欲向
上を目的とした本企画には、新規参加1社を含む
計8団体の半導体関連企業から掲示があり、学生
や若手研究者が真剣に見入る姿が見られた。

おわりに

対面形式による「フル開催」が復活して3年目。
熱気溢れる議論の賑わいを目の当たりにし、現地
実行委員長としてこの上ない喜びを感じている。
松山市の全面協力を得て、子規記念博物館を学術
集会に利用することが初めて許可されたが、改修
直後の美しい会場と優れた立地は、参加者の皆様

からも高く評価された。

また、「おもてなし」の一環として用意した道後
温泉の入浴券は大変好評であり、特に海外参加者
の方々には、映画『千と千尋の神隠し』のモデル
の一つとされる温泉遺産を堪能いただけたよう
である。懇親会では地元の劇団によるチャンバラ(殺
陣)を披露し、実際に海外ゲストにも体験してい
ただくなど、松山ならではの文化交流も深めるこ
とができた。さらに、子規記念博物館での国際学
術集会の初めての開催とこれによる国海外参加者
の誘致に対して、松山観光コンベンション協会より
「誘客貢献賞」が授与された。これらすべての
成功は、組織委員、国際諮問委員、プログラム委
員、そして松山観光コンベンション協会など、運
営を支えてくださったすべての関係者の多大なる
ご協力によるものであり、厚く御礼申し上げる。

次回のDPS2026は、2026年11月19日(木)・
20日(金)の2日間、東京都の東京国際交流館
(プラザ平成)にて開催予定である。Closing
remarksでは、東京都立大学の朽久保文嘉教授より、
会場近くの「実物大ユニコーンガンダム立像」
などの紹介もあり、次なる地への期待を高めつつ
閉会した。次回のさらなる盛会を祈念し、開催報
告とする。

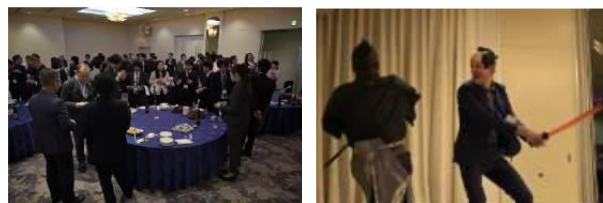


写真2 懇親会の様子

(左) 懇親会風景、(右) 殺陣の体験

国際会議報告

【ISPlasma2026/IC-PLANT2026】

18th International Symposium on Advanced Plasma Science and its
Application for Nitrides and Nanomaterials/19th International
Conference on Plasma-Nano Technology & Science

名古屋大学 内田儀一郎

国際会議 ISPlasma2026/IC-PLANTS2026 を
2026 年 3 月 2～6 日の日程で名城大学天白キャンパス（名古屋市塩釜口）で開催しました（組織委員長/平松美根男，実行委員長/内田儀一郎，プログラム委員長/田中宏昌，プログラム副委員長/榊田創，近藤博基，池原譲，岡田成人）。本会議は東海地区で開催されているプラズマ応用・ナノ材料に関する国際シンポジウムで，今回で 18 回目となります。1)プラズマ科学，2)ナノ材料，3)窒化物半導体，4)バイオ応用研究に関する第一線の研究者が 300 名以上集い，闊達な意見交換が行われました。発表投稿件数は 296 件，参加登録人数は 389 人で，特に台湾と韓国からそれぞれ 99 人，36 人と多数のご参加を頂きました。

初日のチュートリアルでは，Uwe Czarnetzki 先生(Ruhr Univ.)からプラズマ科学と応用について，嘉数誠先生(佐賀大)よりワイドバンドギャップ半導体について，また種村眞幸先生(名古屋工大)からナノマテリアルについて，また Eun Ha Choi 先生(Kwangwoon Univ.)よりプラズマバイオ応用について講義頂きました。プレナリー講演では飯島澄男先生(名城大)からカーボンナノチューブの基礎と最近の応用展開についての講演を頂きました。またキーノート講演は同分野の第一線で活躍されている先生方より下記の講演を頂きました。

- Pascal Chabert (Centre National de la

Recherche Scientifique (CNRS), France)

- Sang-Mo Koo (Kwangwoon University, South Korea)
- Masafumi Jinno (Ehime University, Japan)
- Michikazu Morimoto (Hitachi High-Tech Taiwan Corporation, Taiwan)

今回の会議ではカーボン材料に関してしてダイヤモンドデバイス関連のトピカルセッションを開催し，下記の講演者に招待講演を頂きました。

- Yasuo Koide (Meijo University, Japan)
- Alix Gicquel (French National Centre for Scientific Research, France)
- Shinya Ohmagari (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan)
- Norio Tokuda (Kanazawa University, Japan)
- Okhyun Nam (Tech University of Korea, South Korea)
- Yon-Hua Tzeng (National Cheng Kung University, Taiwan)

またプラズマ分野に多大な貢献のあった Bill Graham 先生の特別メモリアルセッションを企画し，親交のあった先生方より招待講演を頂きました。

- Tomoyuki Murakami (Seikei University, Japan)
- Pascal Chabert (Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), France)

- Tatsuru Shirafuji (Osaka Metropolitan University, Japan)
- Kenji Ishikawa (Nagoya University, Japan)
- Thomas Field (Queen's University Belfast, United Kingdom)
- Debora O'Connell (Dublin City University, Ireland)

表彰に関して ISPlasma Prize 2026 Wnner に 豊國伸哉先生(名古屋大), IPlasma Especial Recognition Award Winner に Uwe Czarnetzki 先生(Ruhr Univ.)と小田修先生(名古屋大), Masaru Hori Prize Winner に占部継一郎先生(京都大)が選出され会期中に表彰式が行われました。また若手優秀発表として4件の Best Presentation Award と9件の The Best Poster Presentation Awards が選出されました。今後の飛躍が期待されます。

次回の ISPlasma2027 は、来年 2027 年 3 月 2 ～6 日の日程で名古屋大学(組織委員長/石川健治, 実行委員長/田中宏彦, プログラム委員長/榊田創)を会場として開催予定です。



ISPlasma Prize 2026 Wnner
豊國伸哉先生



ISPlasma Especial Recognition Award Winner
小田修先生



Masaru Hori Prize Winner
占部継一郎先生



プレナリー講演の様子



ポスター発表の様子

行事報告

2025 年第 48 回日本分子生物学会年会 ミニシンポジウム (2MS-13) 「雷！プラズマ駆動型科学にみる植物内分子応答」

名古屋大学 石川 健治

2025 年 12 月 4 日 (木) に、パシフィコ横浜において第 48 回日本分子生物学会年会が開催された。日本分子生物学会は、基礎生命科学分野において国内最大級の学会の一つであり、毎年開催される年会には約 7,000 名規模の参加者が集まる。年会における発表演題は、シンポジウム、口頭発表、ポスター発表により構成されており、一般からの口頭発表枠は限られている一方、多くがシンポジウム形式によって発表される。

今回の年会では、「雷！プラズマ駆動型科学にみる植物内分子応答」と題するミニシンポジウムが企画され、國枝正先生および古閑一憲先生がオーガナイザーを務め、申請の上、無事に採択され開催された。これまで、プラズマバイオ応用に関する研究はプラズマエレクトロニクス分野を中心に進められてきたものの、生命科学系学会における注目度は必ずしも十分とは言えなかった。そこで本企画を立ち上げたが、当日は予想を上回る 60 名以上の聴講者が来場し、会場は盛況となった。

■プログラム

「大気圧空気プラズマによる活性種選択合成と植物機能制御」金子俊郎、佐々木渉太、東谷篤志、高橋英樹 (東北大学)

「雷！プラズマが駆動する種子内分子動態」石川健治 (名古屋大学)、古閑一憲 (九州大学)、伊藤篤史 (核融合研)、國枝正 (奈良先端大 (現 京都府大))、魚住信之 (東北大学)

「プラズマ活性水による発芽促進への多層効果」Grainge Giles (1 ロイヤルホロウェイ・ロンドン大学)、氏家凜乃 (2 帯広畜産大学)、石川健治 (名古屋大学)、Leubner Gerhard (1)、中林一美 (2)

「プラズマによる種子発芽覚醒機構」石橋勇志 (九州大学)、江原宏 (名古屋大学)、新田洋司 (福島大学)

「精密温度制御大気圧プラズマを用いた植物細胞へのたんぱく質導入」柳川由紀 (千葉大学)、杉浦諒、相澤駿輝、末永祐磨、飯島勇介 (1 東京科学大学)、光原一朗 (農研機構)、沖野昇俊 (1)

本シンポジウムの紹介は、「人工的雷である「プラズマ」を生物に応用する研究が進んでいる。プラズマで発生した活性酸素による生体応答が分子メカニズムのひとつとして認識される中、自然現象ではありえないような短寿命な分子や機能性分子、電場を与えて対する応答を起こすことができる。一方で、その背景にある分子メカニズムは不明な点が多い。本シンポジウムでは、分子生物学者には馴染みが薄いプラズマのいろはから、植物特に種子を対象としたプラズマに対する植物の応答メカニズムを紹介し、分野融合的に議論したい。」を引用する。

はじめに、大気圧低温プラズマは、気体に高エネルギーを与えることで生成され、電子・イオン・中性粒子・励起種が共存する非平衡状態であると

説明された。本講演では、空気を原料とし、活性酸素種・活性窒素種を選択的かつ高密度に生成する制御技術と、その植物応用の基礎について報告した。

続いて、プラズマを液体に照射することで生じる化学反応と活性種生成に着目し、特に過酸化水素や窒素系ラジカルの形成とその輸送機構を解析した。種子表面から内部への活性種移行や初期シグナル応答を通じた生理変化について、その生物全般への汎用性が示された。

低温大気圧プラズマで調製したプラズマ活性水を用い、種子休眠の人工制御機構を解析した結果、硝酸イオンを介したシグナル活性化や細胞壁の化学的緩和が、遺伝子発現制御と協調して休眠解除を誘導することを明らかにした。

プラズマ照射による種子発芽促進が各種植物で報告される中、発芽時期制御の重要性に着目し、プラズマ種子処理の基礎と分子応答を整理し、環境変動下における安定的食料生産を支える手法として、プラズマ農業の可能性が論じられた。

大気圧プラズマを用いた植物細胞へのタンパク質導入技術を開発し、GFP 導入に成功した例が示され、温度制御型プラズマ装置を用い、細胞損傷を抑えた導入法を確立し、機構解析と応用展開の可能性について報告された。

■講演内容の詳細

まず、金子先生より、大気圧空気プラズマ中で生成される活性酸素種および活性窒素種の種類について説明がなされた。プラズマ中で生成される一酸化窒素 (NO) やオゾン (O_3) をはじめ、五酸化二窒素 (N_2O_5) の生成とその制御法について解説があり、特に N_2O_5 を植物体に照射した場合、ウイルス感染や食害時の反応に類似した、植物免疫応答と考えられる反応が観察されることが紹介された。

次に、科研費・学術変革領域研究 (A)「プラズ

マ種子科学」の A02 班における計画研究 1~5 を中心に、プラズマを照射した種子内へ活性種が、種皮、種子壁、細胞壁、細胞膜、細胞質、核へと外側から内部へ浸透していく過程についてのモデリング研究の現況が報告された。これらの研究は、微細構造に依存する物質輸送という物理的側面と、生化学反応ネットワークによる化学的側面が複雑に関与して進行するものである。さらに、46 億年に及ぶ地球史を俯瞰し、初期地球に存在した荷電粒子や窒素・硫黄、そして後に地表を覆った酸素が植物の光合成や動物の陸上進出と深く関係してきたことに着目し、生物が内包してきた応答と、プラズマによってもたらされる活性酸素・活性窒素応答との間に共通原理や未知の法則を見いだせないかという期待が示された。

引き続き、中林先生より、2024 年まで主に英国を中心に進められてきた種子発芽の生理的メカニズム研究と、プラズマ活性水 (GPAW) を用いた種子発芽のプライミング (発芽前に水分を与えて一旦停止させ、発芽のタイミングを揃える処理) に関する研究成果、および今後の展開について紹介がなされた。GPAW 中に硝酸 (HNO_3) が生成されていることは確認されているものの、単純な HNO_3 処理とは異なる発芽促進挙動が観察されている。発芽過程では、休眠中に硬く保護された種子壁を発芽組織が破る必要があり、その機械的特性の変化が GPAW によって促進されている可能性が示された。発芽には、休眠維持に関与するアブシジン酸と、発芽を促進するジベレリンのバランスが重要であるが、休眠打破から発芽に至る生理過程は多段階かつ複雑であり、プラズマ照射による発芽促進という表現型に至る分子生理の理解は今後の課題として位置づけられた。

さらに、石橋先生からは、学術変革領域研究 (A)「プラズマ種子科学」A03 班の計画研究 1~3 を中心に、プラズマ照射種子が地上部 (葉) および

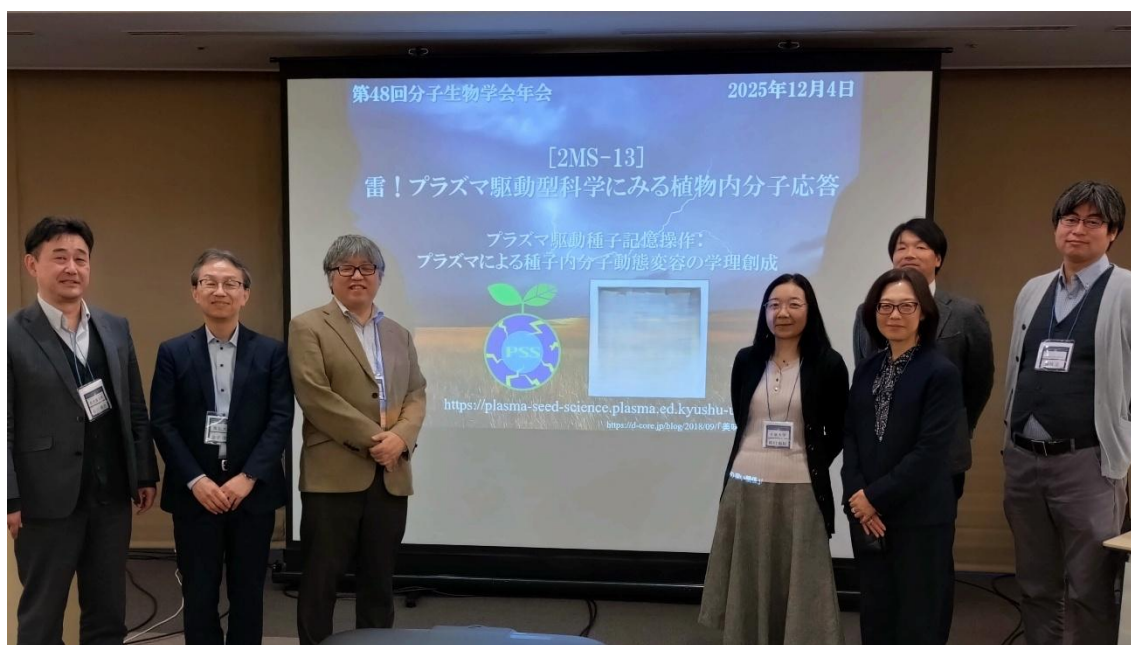
地下部（根）に及ぼす影響に関する研究状況が報告された。特に、遺伝子発現制御に関与するエピジェネティクス解析について詳細な説明がなされた。発芽勢が低下した種子では DNA メチル化が高い傾向にあるが、これらの修飾がプラズマ照射によって変化することが実験的に示されている。数分間という短時間のプラズマ照射によって、遺伝子発現に関わる分子修飾が変化する点は、他の処理法には見られない特徴であり、現在も精力的に研究が進められていることが示された。

最後に、柳川先生より、プラズマを利用した植物細胞へのタンパク質導入に関する研究が紹介された。遺伝子編集技術(CRISPR/Cas9)が確立した現代においても、編集に用いられるタンパク質(Cas9)

を細胞外から直接導入できる技術には大きな意義があり、それをプラズマによって実現できる可能性が示された。

以上のように、本企画では概要報告ながら、プラズマエレクトロニクス分科会に関連する生命科学分野の学会において、低温プラズマ学の成果をアウトリーチできた点は非常に有意義であった。プラズマ種子科学は現在まさに発展途上の分野であり、今後数年の研究進展による大きな展開が期待される。

謝辞：本シンポジウムを開催するにあたり、科研費・学術変革(A)「プラズマ種子科学」の参画者各位に感謝申し上げます。



第 43 回プラズマプロセッシング研究会 (SPP-43)

大阪公立大学 呉 準席

応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会主催、プラズマ・核融合学会、静電気学会、化学工学会共催の「第 43 回プラズマプロセッシング研究会 (The 43rd Symposium on Plasma Processing, SPP-43)」が、2026 年 1 月 19 日から 21 日までの 3 日間、大阪公立大学 I-site なんばにて開催されました (現地開催のみ)。

本研究会には、一般参加者 35 名、学生 32 名、招待 10 名の計 77 名が参加し、非常に活発な議論が行われました。

1. 講演・発表件数 (計 55 件)

プラズマ材料科学賞 受賞記念講演 (1 件) : 野崎智洋 先生 (東京科学大学)「プラズマ触媒科学の創成：原理探求から実装に向けて」(写真 1)

プレナリー招待講演 (2 件) : 豊田浩孝 先生 (名古屋大学)「プラズマエレクトロニクスとしてのプラズマ計測」(写真 2)、白谷正治 先生 (九州大学)「グレーボックス手法と多様性指標によるプラズマプロセスにおける研究開発の加速」(写真 3)

招待講演 (2 件) : 北野勝久 先生 (大阪大学)「液中におけるプラズマ殺菌の研究から、革新的な世界初の化学殺菌技術へ」、篠田和典 先生 (日立製作所)「原子層エッチングの各種手法と開発事例 : Dry Chemical Removal (DCR) 装置を用いた熱サイクル ALE を中心に」

一般発表 : 50 件 (口頭発表 22 件、ポスター発表 28 件) (写真 4)

2. セッションの運営および催事

会期中はすべてシングルセッションにて実施されました。初日のオープニングおよび 3 日目のクロージングは、古閑一憲 先生 (PE 分科会幹事長) と呉 (SPP-43 現地実行委員長) が務めました。

2 日目午前には、白藤立 先生 (大阪公立大学) の司会のもと「プラズマ材料科学賞 授賞式」および受賞記念講演が執り行われ、以下の皆様が受賞されました。

基礎部門賞 (1 件) : 野崎智洋 先生 (東京科学大学)

技術部門賞 (2 件) : 久保井 信行 氏 (ソニーセミコンダクタソリューションズ)、伝宝一樹 氏、加藤大輝 氏、松隈正明 氏ら 3 名 (東京エレクトロンテクノロジーソリューションズ)

奨励部門賞 (2 件) : 占部継一郎 先生 (京都大学)、石川健治 先生 (名古屋大学)

また、同日夜には「情報交換会」が開催され、招待者 10 名を含む 27 名が参加し、親睦を深めました。

3. プラズマエレクトロニクス講演奨励賞 (第 5 回)

18 件の応募に対し、SPP-43 プログラム委員会による厳正な審査 (一次予稿審査、二次当日発表審査) を行った結果、以下の 2 名が受賞されました。

何 文涛 氏 (東京科学大学)「トモグラフィ解析を用いた発光分光法による誘導結合および容量結合酸素プラズマの空間分解計測」、

喜多恭平 氏 (北海道大学)「窒素/水蒸気誘導結合プラズマにおける窒素原子の寿命測定」

本研究会の開催にあたり、多大なご協力をいただきました古閑幹事長及び以下の委員の先生方に心より感謝申し上げます。

【プログラム委員会委員】（敬称略、順不同）

松井都（日立製作所）、呉準席（大阪公大）、田中学（九州大）、村上朝之（成蹊大）、内田儀一郎（名城大）、金大永（科学大）、栗田弘史（豊橋技科大）、榊田創（名城大）、眞銅雅子（大阪工業大）

【現地実行委員会委員】（敬称略、順不同）

白藤立（大阪公大）、松浦寛人（大阪公大）、黒木智之（大阪公大）、竹中弘祐（大阪大）、都甲将（大阪大）

■ SPP-43 詳細ウェブサイト

<https://gakkai-gran.jp/spp43/index.html>



写真3 プレナリー招待講演の様子
（白谷正治 先生）



写真1 プラズマ材料科学賞受賞記念講演の様子
（野崎智洋 先生）



写真2 プレナリー招待講演の様子
（豊田浩孝 先生）



写真4 ポスターセッションの様子

2026 年 第 73 回応用物理学会春季学術講演会 チュートリアル講演開催報告 サンディスク 佐藤 樹

2026 年 3 月 15 日に開催された春季応用物理学会において、株式会社ダイキン工業の林久貴先生により「半導体製造における低温プラズマプロセスの基礎と応用」の題でチュートリアル講演が行われた。講義はハイブリッド形式で開催され、参加登録者数は 82 名であった。半導体製造工程におけるプラズマプロセスの基礎から、企業における最新の開発事例までカバーいただいたことから幅広い層に関心を持っていただき、学生から企業関係者まで多くの方に参加いただいた。

講義の導入においては、半導体市場の変遷およびデバイス構造の進展について整理がなされ、21 世紀初頭における PC や液晶テレビ、スマートフォンに続き、近年では AI が主要なテクノロジードライバーとなっていることが示された。こうした市場環境の変化を背景として、デバイスの微細化・高集積化が急速に進展しており、それに伴い半導体製造プロセスにおけるドライエッチングの重要性が高まっている点が強調された。また、プロセスインテグレーションの観点からドライプロセスの役割が整理されるとともに、反応性イオンエッチングの成立に至る歴史的背景についても言及がなされ、現在の技術に至る流れが解説された。

以上に続き、プラズマ生成の基本原則から、シース構造やセルフバイアスの発生機構といったドライプロセスにおいて重要となる基礎物理にいたるまで丁寧な説明が行われた。プラズマ中で生じる素過程についても触れられ、反応や輸送現象を含めた理解の重要性が示された。加えて、ICP、CCP、ECR といった代表的なプラズマエッチング

について、それぞれのプラズマ生成原理や特徴、用途に応じた役割の違いが整理され、装置選択の観点に関する理解を深める内容となっていた。

これらの導入を踏まえ、ASET におけるフルオロカーボン系ガスを用いた絶縁膜エッチングの理解と最適化に向けた取り組みを紹介いただいた。電子密度の精密測定や実験データの蓄積を通じて、複雑なプラズマプロセスを段階的に解明し、実際のプロセス開発へと結び付けていく流れを、ご自身の経験も交えつつお話しいただいた。さらに、パルスプラズマの利点やプラズマシミュレーションの基本的な流れに加え、近年注目を集めている HF 系ガスを用いた低温エッチングおよび多成分ガスによる高アスペクト比加工の実現手法についても解説いただいた。実験・シミュレーションに共通する課題感として、系が本質的に極めて複雑であり、ボトムアップ的な理解が困難になっていることを紹介いただいた。

講義の最後には、機械学習を活用したエッチングガス開発やデジタルツインに関する最新の取り組みが紹介された。プラズマプロセスを単なるブラックボックスとして扱うのではなく、物理的理解とデータ駆動型手法を組み合わせることの重要性が示された。

本講義では、以上のように基礎から応用、さらには最新技術に至るまでを一貫して解説いただき、今後の方向性として、物理的理解に基づくアプローチとデータ活用の融合が不可欠であることを示していただいた。講義いただいた林先生、および参加者の皆様に改めて感謝申し上げます。

2026 年第 73 回応用物理学会春季学術講演会 プラズマエレクトロニクス分科会企画シンポジウム T12「プラズマが誘起する植物応答」

産業技術総合研究所 新田 魁洲, 広島大学 長澤 寛規

2026 年 3 月 16 日に東京科学大学大岡山キャンパスおよびオンラインにて、プラズマエレクトロニクス分科会企画シンポジウム「プラズマが誘起する植物応答」が開催された。本シンポジウムでは、植物・種子・土壌・液肥へのプラズマ照射がもたらす多様な生物応答を対象に、その背後にある分子機構、活性種制御技術、植物細胞への物質輸送、さらに農業応用の可能性を俯瞰した。7 件の招待講演と 1 件の一般講演が行われ、参加者は最多 81 名（現地 63 名、オンライン 18 名）に達し、基礎から応用・社会実装へと広がる本分野の発展が共有された。

最初のセッションでは、プラズマ農業研究の基盤となる「種子応答の学理」と、現場で確立された既存の種子処理技術の整理という、基礎と実務の両面から本分野の現在地を位置づける 2 件の招待講演が行われた。古閑 一憲先生（九州大学）からは、「プラズマ種子科学の学理創成」と題して、環境ストレスが種子に残す“環境記憶”を起点に、プラズマが種子内の分子状態に介入し、発芽特性を制御し得る可能性が示された。高温ストレスにより発芽遅延を示す種子が、プラズマ照射後に発芽特性を回復する事例が紹介され、種子内部の分子状態（例：エピジェネティックな状態を含む）に対するプラズマ刺激の作用を、現象論に留まらず学理として体系化する方向性が提示された。プラズマ—種子—細胞応答をつなぐ反応ネットワークを捉えることの重要性が強調され、本分野の「プ

ラズマ種子科学」を創成する学術的意義が明確に示された。続いて、秋元 利之様（株式会社サカタのタネ）より、「種子処理技術の現状と課題」と題して、商業種子に広く導入されている種子処理（Seed Enhancement）技術の体系が紹介された。Osmotic priming、Drum priming、Solid matrix priming など、発芽揃いの改善や適温範囲の拡大に寄与する代表的手法の特徴に加え、作物特性・作業負荷・導入コストといった実務上の制約が整理された。既存技術の構造的理解を通じて、新規技術が目指すべき性能要件や評価観点が明確となり、研究開発と現場実装をつなぐ重要な視点が共有された。

続いてのセッションでは、プラズマ由来の活性種制御技術、植物機能の人為的調節、植物細胞への物質導入とゲノム編集といった分子機構に着目した 3 件の招待講演が行われた。金子 俊郎先生（東北大学）からは、「空気プラズマ制御による高反応性活性種の選択供給」と題して、空気を原料としてオゾンや NO/NO₂ など多様な活性種を選択的に生成・供給する技術が紹介された。活性種の制御により、植物が秒オーダーでカルシウム応答を示すなど、プラズマ特有の迅速な生理応答が誘導されることが示され、免疫活性化・代謝制御・発芽促進への応用可能性が議論された。活性種制御を基盤とした精密な植物機能操作への展開が期待される。魚住 信之先生（東北大学）からは、「植物の人為的調節」と題して、植物が本来持つ環境

応答能力を人為的に拡張・調節するための技術が紹介された。栄養供給源としての新しい窒素化合物、気孔開閉を調節する化合物、AI を活用した新規化合物探索など、複数のアプローチを統合する構想が示され、環境変動下での作物レジリエンス向上につながる取り組みとして注目される。光原 一朗様（農研機構）からは、「温度制御大気圧プラズマを用いた植物細胞へのタンパク質導入とゲノム編集」と題して、温度制御により生体ダメージを抑える大気圧プラズマが植物細胞表層の性質を変化させ、通常は取り込まれにくい大型タンパク質を細胞内に導入できることが紹介された。さらに、ゲノム編集酵素を直接導入することで、外来 DNA を用いないゲノム編集の可能性が提示された。本技術は、社会受容性の観点からも重要な新規育種技術として大きな意義を持つ。

最後のセッションでは、一般講演 1 件と招待講演 2 件が行われ、プラズマの農業応用に向けた展開が紹介された。まず一般講演として、小野 元気様（九州大学）より、「プラズマ照射を用いた種子発芽における乾燥耐性付与の検討」と題して、乾燥ストレス環境でのイネ種子の発芽特性が評価され、プラズマ照射によって発芽開始が早まることが報告された。低水分条件下での発芽促進は、気候変動に伴う水資源制約への適応策としても意義が大きい。続いて、中林 一美先生（帯広畜産大学）より、「プラズマ活性水による種子発芽制御と農業利用への可能性」と題して、プラズマ活性水 (PAW) が休眠種子の発芽を誘導する複合的メカニズムが紹介された。硝酸イオンを起点としたホルモン代謝の活性化に加え、細胞壁の物理化学的变化や胚乳の脆弱化など、多段階の作用が関与することが示され、作物ごとに異なる休眠特性への対応策として PAW が汎用的かつ低環境負荷な処理技術となり得る点が示された。最後に、高木 浩一先生（岩

手大学）より、「パルスパワー・プラズマ農業利用の社会実装」と題して、農業生産から加工・流通・廃棄に至るフードサプライチェーン全体でのプラズマ／パルスパワー技術の応用可能性が俯瞰された。植物生理制御、微生物制御、鮮度保持、残渣処理など多様な領域において、電源設計や装置開発の観点から実装要件が整理され、農業現場での具体的な応用イメージが示された。技術体系の構築が進むことで、プラズマ農業の産業展開が期待される。

シンポジウム全体を通じて、プラズマ活性種の生成・制御、種子・植物応答の解明、細胞操作技術、休眠打破、環境応答制御、さらには社会実装技術まで、プラズマ農業研究が学際的に広がりつつあることが示された。プラズマ科学と植物科学の連携が加速しており、持続可能な農業技術への実装に向けた基盤が着実に整備されつつある。

謝辞

最後に、本シンポジウムの企画をご承認いただいたプラズマエレクトロニクス分科会に深く感謝するとともに、講演者、世話人、参加者の皆様のご協力に心より御礼申し上げます。



図 1. 当日の写真

行事報告

2026 年第 73 回応用物理学会春季学術講演会 プラズマエレクトロニクス分科会内招待講演 名古屋大学 豊田浩孝 「プラズマを創る、測る、使う、そして知る」

名古屋大学 石川 健治

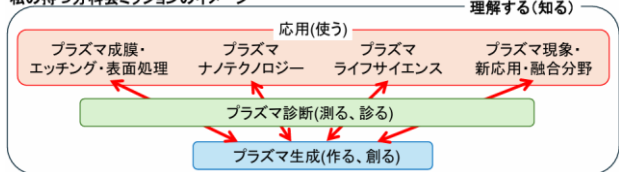
■はじめに

東京科学大学大岡山キャンパス（90 名）とオンライン（75 名）のハイブリッドで第 73 回応用物理学会春季学術講演会が開催された。講演会の 2 日目の 2026 年 3 月 16 日の午前に名古屋大学の豊田浩孝先生をお招きし、ご講演をいただきました。

本講演は、「プラズマを創る、測る、使う、そして知る」を題目として、プラズマエレクトロニクス分野における基礎から応用までを俯瞰し、講演者自身がこれまでに取り組んできた研究例を中心に、その考え方と成果を紹介するものであった。

冒頭では、「プラズマ生成（作る・創る）」を基盤として、「プラズマ診断（測る・診る）」、さらに「プラズマ成膜・エッチング・表面処理」「プラズマナノテクノロジー」「プラズマライフサイエンス」「新しいプラズマ現象や融合分野への応用」といった“プラズマを使う”研究領域が広がっていること、そしてそれら全体を包含する概念として「理解する（知る）」ことの重要性が示された（本段下図）。その枠組みのもと、プラズマ分野をバックグラウンドとする講演者が、プラズマエレクトロニクス研究で取り組んできた内容が具体例として紹介された。

私の持つ分科会ミッションのイメージ

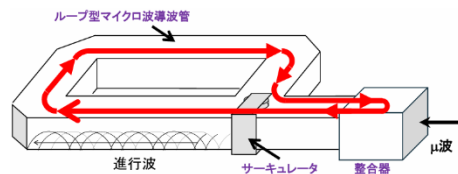


■ 1. 創る： 新しいプラズマ装置の創成

まず、「いろいろなプロセス装置の設計開発」をテーマに、減圧プラズマ装置および大気圧プラズマ装置に加え、「これまでにないプラズマ装置を創る」試みが紹介された。

■ 1-1. 大気圧プラズマ装置の開発

大気圧プラズマに関しては、スロットアンテナを用いたマイクロ波プラズマ生成が取り上げられた。定在波の存在が長尺・均一プラズマ生成を妨げる要因であることに着目し、反射波を抑制したマイクロ波電力フローを実現することで、定在波のないプラズマ生成環境を構築した（本段下図）。自作の導波管や共振構造を用いた装置開発を通して、マイクロ波がスロット方向に伝搬し、プラズマ先端での電離を促進することで、長尺かつ安定なプラズマが維持されるメカニズムが示された。現在では、CW 電力条件下で 1 メートル級の均一な大気圧プラズマ生成に成功している。

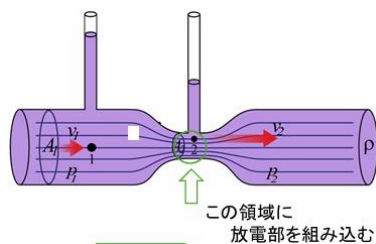


■ 1-2. 液体プラズマ処理装置の開発

次に、「幅広表面処理や大量液体処理を可能とするプラズマ装置」として、液体プラズマ処理装置

の開発が紹介された。大気圧プラズマと液体の相互作用は 2000 年前後から盛んに研究されてきたが、水は電気陰性度の高い酸素を含むため、プラズマ生成・維持が難しいという課題がある。そこで、液体処理は必ずしも大気圧で行う必要はないという発想のもと、減圧環境での液体プラズマ処理が検討された。

高密度プラズマ源と減圧液体処理を組み合わせることで、大量・高速処理の可能性が示され、水流ポンプを活用した自律的な減圧環境形成という独創的なアイデアが紹介された（本段下図）。水道水レベルの流量で約 0.1 気圧まで圧力が低下することが確認され、放電が容易になるとともに、有機物分解や銀ナノ粒子合成といった応用において、短時間での高速処理が実現されている。



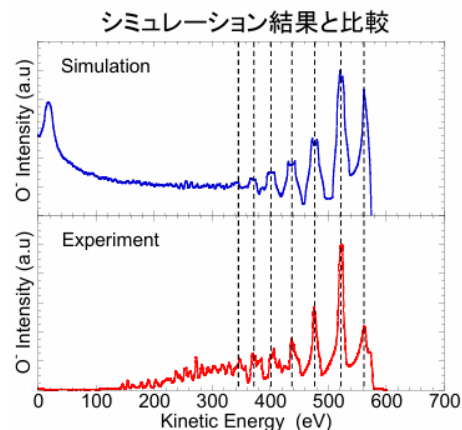
■ 2. 測る： プラズマ計測・診断技術

講演後半では、「測る（診る）」技術として、さまざまなプラズマ計測の試みが紹介された。質量分析器を用いた高エネルギー中性粒子計測では、気相中での衝突電離を逆手に取ることで、通常は検出が困難な高速中性原子の評価を可能とした事例が示された。また、 SiH_4 や HBr プラズマ、大気圧窒素などの中性ラジカル計測や、差動排気チャンバを自作した計測系の工夫が紹介された。

さらに、スパッタプラズマ中の高エネルギー負イオン計測、二周波パルス容量性結合プラズマにおけるイオン組成の時分解計測など、多様な計測事例を通じて、プラズマ中で起こる現象の理解が深められてきたことが示された。

酸化物スパッタプラズマ中のターゲット面では、

表面で発生する酸素負イオンが表面シースの強い電界で正イオンとは逆に成膜基板方向に加速される。そのため、直流スパッタでは負イオンのエネルギー分布は一様になるのに対し、高周波スパッタを用いると、高周波の周期に応じたプラズマ電位振動に依存して負イオンの入射イオンエネルギー分布が発生することを示した（本段下図）。



■ 3. 知る： まとめ

最後に、講演者自身の研究はプラズマエレクトロニクス分野の一部に過ぎないものの、半導体、材料、環境、医療など幅広い分野でプラズマの重要性がますます高まっていることが述べられた。

「創る」「測る（診る）」「使う」といった基礎研究に立脚した取り組みが、大きな「知る」の枠組みの中で行われる学術であり、新たなプラズマ応用や社会実装へとつながっていくことへの期待が示され、本講演は締めくくられた。

■ 謝辞

最後にご講演いただきました豊田先生、ご参加いただきました聴講者の皆様（会場 オンライン）、本公演の開催にあたり、ご準備いただきましたプラズマエレクトロニクス分科会の幹事の皆様に厚く御礼申し上げます。

第 46 回プラズマ新領域研究会 プラズマ材料科学の進展と環境調和型循環経済への展開

九州大学 田中学

本研究会は、2026 年 3 月 22 日（日）に島根県松江テルサにて現地対面形式で開催された。応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会の主催のもと、島根大学次世代たたら協創センター（NEXTA）、メタ分布研究会、プラズマ材料工学研究会の共催、ならびに島根県の後援により実施された。大学、企業、公設試験研究機関から計 25 名が参加し、活発な議論が行われた。

本研究会は、2050 年カーボンニュートラル実現に向けた材料・デバイス開発の加速を背景として開催された。近年のものづくりでは、機能性と環境負荷低減・資源循環の両立が求められている。このため、製造プロセスの環境性と機能性の両面からの最適化が重要課題となる。本研究会では、プラズマ材料科学に関わる分析・評価・プロセス技術を LCA 等と関連付けて捉えるとともに、「メタ分布」の観点も含めて横断的に議論した。

冒頭の講演において、伊藤剛仁先生（東京大学）は、プラズマ反応場を非平衡性および物質循環の観点から整理し、本研究会の全体像を提示された。電界等により駆動される非平衡反応場であるプラズマは、エネルギー分布や粒子分布が空間的・時間的に分布する。これらの理解と制御が、機能創出と環境調和の両立に重要であることが示された。続いて、酒井道先生（滋賀県立大学）からは、分布の評価に関する講演が行われた。また、田中学先生（九州大学）、荒河一渡先生（島根大学）による講演では、「分布」や「ゆらぎ」の捉え方と制御について議論がなされた。さらに、佐野紀彰先生（京都大学）からは、製造現場における分布情報

の抽出とその場計測技術開発の事例が紹介された。

午後セッションでは、松野泰也先生（千葉大学）より LCA および MFA を中心とした物質循環の捉え方が示された。続いて、大島多美子先生（長崎大学）からスパッタリング成膜における分布評価について議論が行われた。招待講演の最後には、神原淳先生（大阪大学）より、積層造形用球状粒子の賦活再生に関する講演がなされ、エネルギーおよび環境負荷の観点から有意義な物質循環フローの可能性が示された。以上を通して、分布の定量化、局所構造や条件の最適化、資源・エネルギーの時間的・社会的分布の把握といった観点で、各講演が相互に関連付けられた。

講評として吉田豊信先生より、プラズマプロセスのスケールアップや実用化を見据えた検討の重要性、および分野横断的に研究を進める上で共通視点の重要性を指摘頂いた。

島根県産業技術センター、島根大学 NEXTA、竹内電機株式会社のご厚意により、施設見学の機会を頂いた。この場を借りて厚く御礼申し上げる。

本研究会の開催にあたりご尽力いただいた関係各位、講師の先生方、吉田先生、ならびにご参加いただいた皆様に深く感謝申し上げます。



写真. 講演会後、吉田先生を囲んで。

第 47 回プラズマ新領域研究会 持続可能社会に向けたバイオマス活用プラズマ技術の最前線

東京科学大学 竹内希

本研究会は、2026 年 3 月 27 日（金）に東京科学大学大岡山キャンパスにて現地対面およびオンラインのハイブリッド形式で、応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会の主催で開催された。大学、企業、研究所などから計 26 名が参加し、活発な議論が行われた。

本研究会は、2050 年カーボンニュートラル実現のためのバイオマス資源の活用に向けて、資源循環工学を専門とする秋田大学の芳賀先生による特別招待講演を皮切りに、プラズマを用いたセルロースの糖化技術、ガス化技術、ならびにセルロース転換を目的とした触媒合成技術など、バイオマス転換およびバイオ燃料合成をキーワードとした講演で構成した。これらの講演を通じて、プラズマ技術が将来のバイオマス活用にどのように貢献し得るのかについて、多角的に議論した。

冒頭の特別招待講演において、芳賀一寿先生（秋田大学）からは、資源処理工学の観点から、物理選別技術を活用した未利用バイオマス資源の高度利用についてご講演いただいた。講演では、鉱物資源処理で用いられる浮選の原理に加え、亜鉛製錬浸出残渣から鉛とシリカを分離する研究例が紹介された。さらに、国内で年間約 200 万トン発生するもみ殻に着目し、炭化により得られるもみ殻燐炭中の炭素と灰分（主にシリカ）の分離可能性について説明があった。浮沈分離と浮選を組み合わせることで、炭素品位の向上と灰分低減が確認されたことが示され、プラズマ技術によるバイオマス変換・改質と、資源処理工学に基づく分離・

濃縮技術との連携可能性を考えるうえで、有意義な話題提供となった。

続いて、中川雄介先生（東京都立大学）からは、水中放電を利用した木材原料バイオエタノールの糖化前処理に関する講演がなされ、放電衝撃波による叩解の結果、水分子がセルロース高分子間に浸透し、酵素糖化が促進されたことが説明された。また、LI Oi Lun Helena 先生（釜山大学）の講演では、セルロースを高付加価値の物質に転換するための、プラズマ技術による触媒合成について講演がなされ、炭素触媒への塩素やフッ素原子の導入による触媒性能の向上について説明がなされた。さらに、南英治先生（京都大学）からは、木質バイオマスのクリーンガス化を目指したプラズマ処理について講演がなされ、プラズマ中での分解機構について活発な議論がなされた。最後に、DENG Siqi 先生（東北大学）から、セルロースをグルコースに変換するための加水分解触媒の合成に関する講演がなされた。プラズマを用いた炭素触媒スルホン化における反応機構などについて多くの意見交換がなされた。

研究会の最後の総合討論のセッションでは、参加者間で忌憚のない議論、意見交換が活発に行われ、その後の現地参加者による意見交換会へと続いた。

本研究会の開催にあたりご尽力いただいた関係各位、講師の先生方、ならびに参加いただいた皆様に深く感謝申しあげる。

行事報告

公開シンポジウム「地球レジリエンス強化に向けた低温プラズマ学と遺伝学のフロンティア学際ハブ」

名古屋大学 石川 健治

2026年3月23日（月）、ステーションコンファレンス東京 4階402において、公開シンポジウム「地球レジリエンス強化に向けた低温プラズマ学と遺伝学のフロンティア学際ハブ」が開催された。

本シンポジウムは、2025（令和7）年度 共同利用・共同研究システム形成事業「学際領域展開ハブ形成プログラム」に本事業が採択されたことを受けて開催されたものであり、低温プラズマ学と遺伝学という異分野の学際融合を通じて、組織・分野を超えた研究ネットワークの構築・強化・拡大を推進することを目的としている。

当日は、来賓として文部科学省 大学研究基盤整備課長の俵幸嗣氏より挨拶があった。挨拶では、学際研究においては社会実装を見据えた研究設計の重要性が強調された。問題意識として、上位10%論文の大半が多分野の連携による学際研究であり、イノベーションの促進や複雑な社会課題への対応において大きな成果を挙げている点が指摘された。

こうした成果を踏まえ、共同利用・共同研究システム形成事業を基盤として、「社会実装まで届く学際研究」を目指してほしいという期待が示され、能登における里山里海や地域振興の経験を例に挙げながら、「現場や生活と結びついた研究」が可能ではないか、とのメッセージが述べられた。

続いて、本事業の概要説明および中核機関からの挨拶として、名古屋大学低温プラズマ科学研究センター（cLPS）センター長の太田哲靖氏、筑波大学つくば機能植物イノベーション研究センター（T-PIRC）センター長の福田直也氏、筑波大学プ

ラズマ研究センター（PRC）センター長の坂本瑞樹氏が登壇した。各氏からは、それぞれの立場から本ハブに期待される役割が示された。

具体的には、名古屋大学 cLPS は地球レジリエンス強化に向けた学術基盤の提示、筑波大学 T-PIRC は植物科学・育種および共同利用基盤を背景とした研究の受け皿機能、筑波大学 PRC は核融合研究で培われた高度な制御・計測技術の活用と人材育成の推進を担うことが明確にされた。さらに、名古屋大学農学国際教育研究センター（ICREA）も農学分野における人材育成の推進を担う機関として位置づけられた。

これらの説明を通じて、本ハブが政策的要請と学術基盤を接続し、共同研究と人材育成を一体的に推進する実働拠点として具体的に設計されていることが示された。

会場には約 60 名の参加者が来場し、盛況のうちに開催された。

■ プログラム

本シンポジウムの構成は以下のとおりである。

「低温プラズマ農学の可能性と今後の展開」 柴博史 筑波大学 生命環境系 教授

「植物の環境フィットネスを制御する RNA-エピゲノム相互作用」大谷 美沙都 東京大学 大学院新領域創成科学研究科生命科学研究系・先端生命科学専攻 教授

「サゴヤシなど熱帯資源植物の環境ストレス応答」江原 宏 名古屋大学 生命農学研究科 教授（農学国際教育研究センター長）

「低温プラズマから植物への活性酸素・活性窒素のインパクト」古閑 一憲 九州大学 システム情報科学研究所 教授

「ミトコンドリア内膜 ATP トランスポーターと Fe-S クラスターを介した DNA 脱メチル化酵素活性制御」木下 哲 横浜市立大学 理学部／生命ナノシステム科学研究科 教授

「共生窒素固定を制御する植物の分子機構と進化基盤」壽崎 拓哉 筑波大学 生命環境系 教授

「農学 × プラズマ学による環境変動時代の食料生産」石橋 勇志 九州大学 農学研究所 教授

■シンポジウム講演の概要

本シンポジウムは、低温プラズマという外部刺激を起点として、分子応答から個体生理、さらには作物生産に至るまでを統合的に理解する新たな研究枠組みを提示する構成となっていた。

■導入・分野全体の定義 生命歴史と記憶

冒頭の柴先生の講演では、低温プラズマ農学が「遺伝子改変や栽培条件の変更とは異なる、生理状態そのものを外部から制御する技術」として位置づけられ、分野全体の概念的枠組みが提示された。プラズマ由来の活性酸素・活性窒素種 (RONS) がシグナル伝達や代謝ネットワーク、さらにはエピジェネティクス制御へ波及し得ることが示され、農薬や遺伝子組換えに依らない新たな作物制御手法としての可能性が提示された。

■RNA／細胞壁 道管

続いて大谷先生の講演では、RNA スプライシングやクロマチン制御といった核内イベントから細胞壁や道管機能に至るまでの連続的な応答系が示され、外部刺激が植物内部でどのように情報処理されるかという分子基盤が提示された。これにより、プラズマ刺激を理解するためには、活性種の生成のみならず、その後段にある RNA・クロマチン層の解析が不可欠であることが示された。

■熱帯・塩／根

引き続き江原先生の講演では、サゴヤシをはじめとする熱帯資源植物を対象に、塩・湿地環境など実際の生産現場におけるストレス応答が紹介され、低温プラズマ農学が温室内の均質系にとどまらず、厳しい環境条件下での作物生産に適用される必要があることが示された。

■種子・活性種 ドライプライミング

後半では、古閑先生より、乾燥種子への短時間プラズマ照射が発芽特性や成長、DNA メチル化状態に影響を及ぼすことを示した九州大学および学術変革領域研究「プラズマ種子科学」において進められている最新の研究成果について紹介があり、低温プラズマ処理が「ドライプライミング」として機能し得る可能性が具体的データとともに提示された。これにより、プラズマ処理が種子科学とエピジェネティクスを結ぶ実証的研究領域として成立しつつあることが示された。

■脱メチル化 一段深いメカニズム理解に向けて

木下先生の講演では、エピジェネティクスに関わる DNA 脱メチル化酵素 (DME) の活性制御がミトコンドリア由来の Fe-S クラスター代謝と関連している可能性が示され、エピジェネティクス制御が代謝・酸化還元状態と密接に結びついていることが明らかとなった。これは、プラズマ由来活性種がエピジェネティクスへ作用する分子基盤を理解する上で重要な視点を提供するものである。

■根粒共生 人工と生物の窒素固定を読み解く

壽崎先生の講演では、植物が生育する土壌中で共生する根粒菌による窒素固定機構に関する研究内容が紹介された。窒素供給をめぐる生物学的プロセスと、プラズマによる窒素化学的アプローチとの比較可能性が示された。これにより、工学的手法と生物学的手法を統合的に捉える必要性が提起された。

■圃場・社会実装 農学としてどう使うか

最後に石橋先生からは、地球温暖化をはじめとする環境変動下において食料生産をいかに進めていくかという課題に対し、プラズマ学を農学へ応用する取り組みが紹介された。最新の研究成果を基に、大麦やイネの栽培においてエピジェネティクス変動が有用である点が示され、環境変動下における食料生産という観点から、ストレス記憶とエピジェネティクス制御を基盤とした作物生産の最適化が論じられ、低温プラズマ技術が収量・品質・環境適応を統合的に制御する手法として位置づけられた。

■まとめ 設計学への展望

本シンポジウムを通じて、低温プラズマ農学は、単なる新規処理技術の探索段階から、外部入力(プラズマ)―分子機構―器官応答―作物生産・社会実装を一体的に結びつける「設計学」として発展しつつあることが明確となった。すなわち、プラズマの意味付けは「刺激そのもの」ではなく、植物側の既存ストレス応答ネットワークのどこに入力され、どこで記憶として固定されるかを解くことにある。

特に、照射条件と活性種動態、生体応答の定量的対応付け、分子応答の時系列解析、さらに圃場環境における再現性・安定性の確保といった課題が共有され、本分野の今後の研究方向が具体化さ

れた。

また、本ハブの成果は論文創出にとどまらず、プラズマ科学・遺伝学・農学を横断的に理解する人材の育成にあることが強く認識された。

以上のように、本シンポジウムでは、プラズマエレクトロニクス分科会と関連する生命科学分野の研究者との連携による学際共同研究のさらなる深化・拡大が期待されることが認識された。低温プラズマ学の発展状況を広くアウトリーチできた点においても非常に有意義であった。プラズマ農学は現在まさに発展途上の分野であり、今後数年での研究進展による分野横断的展開が強く期待される。

謝辞： 本シンポジウムを開催するにあたり、低温プラズマ科学研究センター各位、学際ハブ参画機関関係各位、科研費・学術変革(A)「プラズマ種子科学」の参画者各位に感謝申し上げます。議事をまとめるにあたり、琉球大学の渡辺信先生、筑波大学の柴博史先生の多大なご協力をいただきましたので、感謝の意を表します。また、協賛をいただいた日本熱帯農業学会、サゴヤシ学会、農学知的支援ネットワーク、東海バイオコミュニティ・プラズマ農業技術研究会、日本作物学会、日本植物生理学会、日本植物学会、日本園芸学会、プラズマ・核融合学会にも御礼申し上げます。



行事案内

2026 年 第 87 回応用物理学会秋季学術講演会 プラズマエレクトロニクス分科会企画

金沢大学 石島 達夫

■はじめに

2026 年 9 月 8 日(火)～11 日(金)、北海道大学札幌キャンパス（北海道札幌市）とオンラインのハイブリッドで第 87 回応用物理学会秋季学術講演会が開催されます。本稿では、プラズマエレクトロニクス分科会企画の概要とスケジュールを紹介いたします。脱稿時点で未定の部分も含まれるため、詳細につきましては応用物理学会のホームページで御確認をお願いいたします。

■（第 3 日）プラズマエレクトロニクス賞受賞記念講演

第 24 回プラズマエレクトロニクス賞受賞者による受賞記念講演が行われます。この場を借りてお祝い申し上げます。プログラムを御確認の上、皆様には是非ともご参加頂きますようお願い申し上げます。

[関連サイト]

プラズマエレクトロニクス賞

https://annex.jsap.or.jp/plasma/award/pe_award2/

□プラズマエレクトロニクス賞受賞記念講演

日程：9 月 10 日（木）午前（予定）

受賞者（敬称略）：

田中康規^{1*}、長瀬有理奈¹、岡野里桜¹、中野裕介¹、石島達夫¹、北山哲士¹、末安志織²、渡邊周²、中村圭太郎²（¹ 金沢大学、² 日清製粉グループ本社）（*ご講演予定者）

選考の対象となった業績：

“Optimization for modulation conditions in nanoparticle synthesis using tandem modulated induction thermal plasmas with intermittent synchronized feeding by machine learning”, *Reviews of Modern Plasma Physics*, Vol. 9, 11 (2025) .

■（第 3 日）分科内招待講演

今回の PE 分科会企画の分科内招待講演では、熱プラズマの産業応用と発展に大きな寄与をされてきました、九州大学の渡辺隆行先生をお招きし、「熱プラズマプロセッシングの今後の研究課題」と題して、長年にわたり研究開発された熱プラズマプロセッシングに関わるご研究内容とその成果、さらに、今後の挑戦的な研究課題について次世代の研究者に向けてご講演頂く予定です。

日程：9 月 10 日（木）午前（予定）

ご講演者：渡辺 隆行 先生（九州大学）

講演題目：「熱プラズマプロセッシングの今後の研究課題」

■（第 3 日）海外招待講演

米国 Clarkson 大学の Selma Mededovic Thagard（セルマ・メデドヴィッチ・タガード）教授は、水中汚染物質の分解・除去を目的としたプラズマ化学の研究で知られる化学工学分野の研究者です。特に、PFAS など難分解性有機汚染物質の処理技

術の研究開発に長年従事し貢献されています。本講演では、PFAS を含むさまざまな水マトリックス中の各種水系汚染物質の処理のためのプラズマ化学に関し、ご講演をいただく予定です。

日程：9月10日（木）午前（予定）

ご講演者：Prof. Selma Mededovic Thagard
(Clarkson University, USA)

講演題目：Plasma chemistry for treatment of different aqueous contaminants in various water matrices including PFAS

■（第3日）分科会企画シンポジウム

近年、半導体デバイスの微細化・高性能化に伴い、配線層やデバイス形成工程における低温プロセスの重要性が益々高まっています。特に、デバイス損傷の低減や高アスペクト比構造の形成には、低温プラズマ技術が不可欠です。また、BEOL 工程では熱制約が厳しく、従来の高温プロセスでは実現できない膜形成・エッチング・材料制御が求められます。

本シンポジウムでは、デバイス形成工程における低損傷・膜形成制御の最前線、PFAS の計測・分析に基づく環境対策、及び AI・計算科学によるプロセス最適化事例を取り上げる予定です。招待講演（5件）、一般講演（4件）を予定しており、最新の研究成果をふまえて、低温プラズマを用いた次世代半導体プロセスの展望や、デバイス・配線層間での技術的課題の解決策について議論し、産学連携による技術革新の方向性を共有する場とします。是非とも奮ってご参加頂きますようお願い申し上げます。

日程：9月10日（木）13:30～18:00（予定）

会場：未定

招待講演者（敬称略、予定）：

谷田 知史（Rapids 株式会社）

森本 未知数（日立ハイテク）

茂木 弘典（東京エレクトロン）

谷保 佐知（産業技術総合研究所）

石川 健治（名古屋大学）

■講演奨励賞の受賞記念講演

第60回（2026年春季）応用物理学会講演奨励賞を受賞された”Multi-sine インピーダンス分光法を用いた反応性プラズマによる金属材料表面改質のモニタリング”（両角 潤樹*, 江利口 浩二, 占部 継一郎（京大院工））について受賞記念講演を取り持つことを予定しております。

■懇親会 その他

上記に案内しました行事の他に PE 分科会が主催する懇親会も企画される予定です。プラズマエレクトロニクスの大分類意見交換会と PE 分科会のインフォーマルミーティングについては、オンラインにて、10月初旬～中旬に、合同で開催することを予定しております。他にも会期中には、プラズマ若手チャプターの会合が開催されることが予定されており、多くの参加者を募っております。担当幹事から改めて詳細案内があると思いますので、是非、スケジュールに加えておいて頂きたくお願い申し上げます。不明な点がございましたらお気軽にお問い合わせ下さい。

謝辞：応用物理学会大分類8代表 小野亮先生には大変にお世話になりました。この場を借りて御礼申し上げます。

連絡先：石島 達夫（金沢大学）

ishijima@ec.t.kanazawa-u.ac.jp

行事案内

第 79 回 Gaseous Electronics Conference (GEC 2026)

名古屋大学 石川 健治
GEC 2026 Executive Committee Member

昨秋の韓国開催に続き、本年の The 79th Gaseous Electronics Conference (GEC2026) は、2026 年 11 月 2 日から 6 日にかけて、米国シカゴにて開催されます。本会議は長い歴史をもち、今回は米国物理学会 (APS) のプラズマ物理部門 (DPP) との共同開催が予定されており、2,000 名以上の参加者が見込まれています。

GEC は、低温プラズマ科学および関連技術に関するアイデア交換や研究成果発表の場として、特に、プラズマ源、プラズマ化学、基礎現象、原子・分子衝突過程、プラズマの診断技術やモデリングなどが主要な議論の対象となり、国際的に重要な役割を果たしています。活発な議論が展開されていますので、是非とも奮ってご参加ください。

【会期】2026 年 11 月 2 日 (月) ~ 6 日 (金)

【会場】Hilton Chicago (720 South Michigan Avenue, Chicago, IL 60605, USA)

【投稿受付】 締め切り : 7 月 22 日 (水)

【早期参加登録】 締め切り : 9 月 25 日

【会議ホームページ】

<https://www.apsgec.org/gec2026/>

最新情報は上記ホームページをご覧ください。

今回の日本からの招待講演は、既に以下の通り決まりました。

神野 雅文 (愛媛大) Plasma-Induced Molecular and Gene-Introduction Phenomena: Recent Insights and Remaining Challenges

金子 俊郎 (東北大) Plasma-liquid interfaces that produce reactive species

兒玉 直人 (名大) Development SF₆- and PFAS-free arc-quenching medium based on electron energy exchange processes analysis

熊田 亜紀子 (東大) Overview of research on optical electric field measurements in high-voltage engineering

Tran Trung Nguyen (名大) Photo-electron photo-ion coincidence study of valence fragmentation of hydrofluoro-carbon molecules

野崎 智洋 (東京科学大) Plasma catalysis and chemical conversion: "Harnessing plasma-driven catalysis for electrified autothermal reaction engineering"

堤 隆嘉 (名大) Aspect-ratio dependent mass spectrometry for high-aspect-ratio-feature plasma etching

田中 学 (九大) High-speed optical imaging of high-current arc plasmas: spatiotemporal fluctuations and emerging structures

針谷 達^{とおる} (岐阜大) Enabling Hydrogen-Free Diamond-Like Carbon Films via Plasma CVD and Their Functional Properties

山下 裕介 (ISAS/JAXA) Kinetic modeling of hysteresis in DC discharge and single- and dual-frequency RF breakdown

石川健治 (名大) Plasma etching: Leading-edge semiconductor plasma processing via energy-efficient, environmentally benign, and evolutionary techniques

行事案内

第 72 回 AVS International Symposium and Exhibition (AVS72)

名古屋大学 石川 健治

AVS Plasma Science and Technology Division Chair

本年の The 72nd American Vacuum Society (AVS) International Symposium and Exhibition (AVS72) は、2026 年 11 月 8 日から 13 日にかけて、米国ペンシルベニア州ピッツバーグにて開催されます。

AVS は、長い歴史を有し、材料、プロセス、界面、デバイス分野に関する原子スケールでのプロセス、計測、評価、シミュレーションの最先端技術について議論されています。特に、基礎科学から製造技術に至るまで産官学の幅広い分野の参加者が集うことが特徴となっています。

活発な議論が展開されていますので、是非とも奮ってご参加ください。

低温プラズマ（セッション名 PS）では、最先端半導体製造に関するプラズマエッチングとプラズマ成膜の技術について、トランジスタ(FEOL)、配線(BEOL)、メモリ、センサ、実装といった幅広い分野を対象としています。これらのプロセスにおけるプラズマと表面の相互作用を理解するための計測、モデリング、シミュレーションも重要なテーマです。また、装置レベルでのプラズマ生成、プラズマ診断、センシングおよびプロセス制御についても、原子スケール加工を実現するために詳細な議論が行われます。これらの内容は、原子層プロセス（AP、ミニシンポジウム）とも連携してセッションが構成されます。

今回の日本からの招待講師は、以下の通り決定しております。

深沢 正永（産総研）Atomic Layer Etching for Advanced Logic Devices

篠田 和典（日立）Selective Isotropic Atomic Layer

Etching via Thermal-Cyclic Processing: Broad Material Capabilities with a Focus on Work Function Metal Films

福水 裕之（KIOXIA）Investigation of Surface Reactions of SiO₂ and SiN Films Under Cryogenic Etching Process via in-Line/Situ Analysis

松井 都（日立）Roughness-generation Mechanism in Ru Etching using Cl₂/O₂-based Plasma for Advanced Interconnect.

野崎智洋（東京科学大）Electrifying C1 Chemistry via Nonthermal Plasma Catalysis

Shih-Nan Hsiao（名大）Plasma-Surface Reactions in Si-Based Dielectric Materials During HF-Based Cryogenic Etching

Fatima Jenina Arellano（ULVAC）Machine Learning-Assisted Plasma Process Monitoring and Optimization

豊田 浩孝（名大）Energy-Resolved Angular Distribution of Ions Impinging on Biased Electrode in Dual-Frequency Capacitively-Coupled Ar Plasma

【会期】2026 年 11 月 8 日（日）～13 日（金）

【会場】David L. Lawrence Convention Center,
1000 Fort Duquesne Blvd., Pittsburgh,
PA 15222 USA

【投稿受付】Late news 締切：9 月 14 日

【早期参加登録】締め切り：10 月 5 日

【会議ホームページ】<https://avs72.avs.org/>

最新情報は上記ホームページをご覧ください。

行事案内

第 47 回ドライプロセス国際シンポジウム 47th International Symposium on Dry Process (DPS2026)

ソニーセミコンダクタソリューションズ(株) 久保井 信行(プログラム委員長)
東京都立大学 朽久保 文嘉(実行委員長)
キオクシア(株) 栗原一彰(組織委員長)

今回のドライプロセス国際シンポジウム(DPS2026)は、2026年11月19日(木)と20日(金)にかけて、東京都江東区のお台場にある東京国際交流館プラザ平成にて開催されます。羽田空港から直通のリムジンバスで20・40分、成田から90分ほどと、国内外からのアクセスも良い立地です。皆様の最新の研究成果の活発なご投稿、および、ご参加をお願い申し上げます。会議後にはJJAP特集号の発刊も予定しております。

例年、本学会は、世界最大の真空分野の国際学会であるアメリカ真空学会(AVS)の1・2週間後に開催しておりますが、AVSと比較すると、プラズマエッチング・成膜を中心としたドライプロセス関連に特化し、プロセスのメカニズムから応用まで、実測・シミュレーション・解析の観点から単一セッション内で深い議論を行えることが特徴となっている国際学会です。前年の参加者数は450名にのぼり、国内外のアカデミアと企業の交流が活発になされているのも本学会の特徴の1つとなっています。また、本年も、開催前日にはドライプロセススクールが開催予定であり、スクール後に本学会に参加して頂くことで、学んだ基礎がどのように応用されているか、特に若手研究者・エンジニアの方々にとって実用的に学べる良い機会にもなると考えております。

DPS2025では、先端デバイスの複雑な3次元構造化に向けた高アスペクト比加工、微細かつ低ダメージ加工を実現するための原子層プロセス、

先端後工程に着目した加工技術の3つが注目テーマ(アレンジセッション)でした。

DPS2026も、アレンジセッションを3つ設定しました。1つ目は、「Challenges and breakthroughs in high-aspect ratio processes: etching and deposition」とし、クライオエッチング含めた高アスペクト比ホール加工や先端トランジスタにおける高選択比加工、さらには、コンフォーマルな薄膜形成の議論を行います。2つ目は、「Modeling, simulation, and digital twins for future dry process development」とし、ドライプロセス開発の緻密化・効率化へ今後活用が加速されるであろう数値シミュレーションや機械学習の議論を行います。3つ目として、「Ultimate control of surface reactions at the atomic scale」とし、デバイスの微細化・低ダメージ化に有効である原子層プロセスの表面反応理解とその応用を議論いたします。各セッションには、顕著な成果を挙げられている研究者・エンジニアの方々をお招きし、ご講演頂く予定です。ロジック・メモリ分野に加えて、今回は、日本が世界をリードしているイメージセンサの高性能化・高機能化に必要なプロセス技術の深化と進化について、ソニーセミコンダクタソリューションズの中澤氏をお招きして議論して頂く予定です。

関連した研究内容の多いPE分科会会員の皆様の積極的な論文投稿とご参加を心よりお待ちしております。

【会期】

2026 年 11 月 19 日 (木) - 20 日 (金)

(ドライプロセススクール :

2026 年 11 月 16 日 (月) - 18 日 (水))

【会場】

東京都江東区青梅 東京国際交流館プラザ平成

【テーマ】

ドライプロセスおよびその関連技術

【トピックス】

ホームページを参照ください

【西澤アワード】

(西澤アワードは、ドライプロセス技術の進展に多大な貢献を行った研究者に贈られる賞です)

- ・ Satoshi Hamaguchi (University of Osaka)
- ・ Kazuhiro Karahashi (Nagoya university)
- ・ Jane P. Chang (UCLA)

【アレンジセッション・セッション】

AS1. Challenges and breakthroughs in high-aspect ratio processes: etching and deposition

◆ 招待講演者

- Geun Young Yoem (Sungkyunkwan university)
- Hyunwoo Lee (Samsung Electronics)

AS2. Modeling, simulation, and digital twins for future dry process development

◆ 招待講演者

- Shahid Rauf (Applied Materials)
- Peter L. Ventzek (Tokyo Electron America)

AS3. Ultimate control of surface reactions at the atomic scale

◆ 招待講演者

- Remi Dussart (Universite d'Orleans)

Plasma processes

◆ 招待講演者

- Masashi Nakazawa
(Sony Semiconductor Solutions)

【投稿受付】

開始 : 2026 年 5 月 7 日 (木)

締切 : 2026 年 7 月 21 日 (火)

【オンライン参加申し込み】

早期参加登録締切日 : 2026 年 10 月 7 日 (水)

参加登録締切日 : 2026 年 10 月 30 日 (金)

* 当日の受付も可能です。早期登録の場合、参加費用の割引があります。また、協賛学会会員につきましても割引があります。

【会議ホームページ】

<http://www.dry-process.org/2026>

事務局 : dps2026[at]officepolaris.co.jp

(ドライプロセススクール :

[https://www.insd.osaka-](https://www.insd.osaka-u.ac.jp/ppl/Conferences/DPSchool2026/index.php)

[u.ac.jp/ppl/Conferences/DPSchool2026/index.p](https://www.insd.osaka-u.ac.jp/ppl/Conferences/DPSchool2026/index.php)
[hp](https://www.insd.osaka-u.ac.jp/ppl/Conferences/DPSchool2026/index.php))

* 最新情報は上記ホームページをご覧ください。



DPS 2026 Call for Papers – DPS 2026
47th International Symposium on Dry Process
November 19 (Thu) - 20 (Fri), 2026
Tokyo International Exchange Center, Plaza Heisei, Tokyo, Japan

Paper Submission Deadline: July 21, 2026
Author instructions and information about DPS can be found at:
<https://www.dry-process.org/2026/>

The 47th International Symposium on Dry Process (DPS2026) will be held at Tokyo International Exchange Center, Plaza Heisei, Tokyo, Japan from November 19 to 20, 2026. The Symposium covers all aspects of the rapidly evolving fields of dry processes, including but not limited to plasma etching and deposition processes, diagnostics and modeling of plasmas and surfaces, and surface modifications by plasmas, for the applications in, e.g., microelectronics, power devices, sensors, environmental protection, biological systems, and medicine. The DPS has provided valuable forums for in-depth discussion among professionals and students working in this exciting field for more than four decades.

Theme: Dry processes and related technologies from fundamentals to applications

Topics:

1. Etching Technologies
2. Manufacturing Technologies (AEC, APC, EES, FDC)
3. Surface Reaction and Damage
4. Plasma Diagnostics and Monitoring Systems
5. Computational Approaches (Modeling, Simulation, Machine Learning, AI, Informatics, DX) for Dry Process
6. Plasma Generation (Equipment/Source)
7. Deposition Technologies (CVD / PVD)
8. Atomic Layer Processes (ALD/ALE)
9. Dry process for Green Transformation: GX (Energy saving technology, Alternative gas, Sustainability)
10. Plasma Processes for New Material Devices (MRAM, Power, Organic, III-V, 2D)
11. Plasma Processes for Biological and Medical application, MEMS
12. Atmospheric Pressure Plasma and Liquid Plasma
13. New Dry Process Concepts
14. Dry Processes for 3D-IC / Packaging

Arranged session :

- AS1-Challenges and breakthroughs in high-aspect-ratio processes: etching and deposition
- AS2-Modeling, simulation, and digital twins for future dry process development
- AS3-Ultimate control of surface reactions at the atomic scale

For further general information, please contact: e-mail: dps2026@officepolaris.co.jp

Organizing Committee Chair: Kazuaki Kurihara (KIOXIA Corporation)
Executive Committee Chair: Fumiyoshi Tsuchida (Tokyo Metropolitan University)
Program Committee Chair: Nobuyuki Kuboi (Sony Semiconductor Solutions Corporation)
Publication Committee Chair: Kosuke Takenaka (The University of Osaka)

URL: <https://www.dry-process.org/2026/>

行事案内

第 12 回反応性プラズマ国際会議 / 第 44 回プラズマプロセッシング研究会 12th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-12) / 44th Symposium on Plasma Processing (SPP-44) 2026 年 11 月 30 日(月)～12 月 3 日(木)開催

大阪公立大学 ICRP-12 組織委員長 白藤 立

第 12 回反応性プラズマ国際会議 (ICRP-12) /
第 44 回プラズマプロセッシング研究会 (SPP-44)
を以下の日程・会場で開催いたします。

会期：2026 年 11 月 30 日(月)～12 月 3 日(木)

会場：金沢市文化ホール

主催：ICRP-12 / SPP-44 国際組織委員会

共催：応用物理学会プラズマエレクトロニクス
分科会

URL：<https://smartconf.jp/content/icrp12/>

ICRP は、1991 年に応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会の主導で創設されて以来、3 年に 1 度を目安として継続的に開催されてきた重要な国際会議です。これまでに約半数の回で、海外の権威ある国際会議と国内外での合同開催もしています(GEC×4, ESCAMPIG×1, ICPIG×1)。

今回が 12 回目となる ICRP-12 は、ICRP-8 (福岡, 2014 年 2 月) 以来、12 年ぶりの単独開催となりますが、アメリカ、オーストラリア、韓国、シンガポール、スロベニア、中国、チェコ、ドイツ、ベトナム、フランスを含む国内外の第一線の研究者が集う予定です。

会議の構成は、豊田浩孝教授 (名古屋大学) と Bruce R. Locke 教授 (米国フロリダ州立大学) による基調講演、第 3 回 Reactive Plasma Award 授

賞式・受賞記念講演、近年注目されている「データ駆動型反応性プラズマ科学技術」、「プラズマシードサイエンス」、「ダイヤモンドおよび関連材料プロセス・応用」に関する特別セッション、そして反応性プラズマの基礎から応用までの幅広いトピックスをカバーした招待講演・一般口頭講演・ポスター講演となっています。以下の情報 (詳細は web を参照) にもご留意いただき、ぜひとも多くの方々にご参加・ご投稿いただきますようお願い申し上げます。

【重要日程】

発表申込・予稿投稿締切：2026 年 6 月 30 日(火)

早期割引参加登録締切：2026 年 9 月 30 日(水)

【JJAP 特集号】 これまでの ICRP と同様に、JJAP にて本会の特集号の出版を予定しています。

【学生参加費補助】 プラズマエレクトロニクス分科会学生会員の発表者が補助の選考対象にエントリーできます。

【若手賞】 40 歳以下 (2026 年 11 月 30 日の時点) の発表者が選考対象にエントリーできます。

【ウェルカムレセプション】 金沢市文化ホールで 11 月 29 日(日)に開催します。

【懇親会】 金沢城の五十間長屋で 12 月 2 日(水)に開催します (席数限定：お早めに)。

行事案内

第 20 回プラズマエレクトロニクス インキュベーションホール (PEIH20)

金沢大学 石島 達夫 九州大学 柳生 義人

応用物理学会プラズマエレクトロニクス (PE) 分科会が主催するサマースクール「インキュベーションホール」を 8 月下旬に開講いたします。本年度は、記念すべき第 20 回目の開催となります。本スクールは、プラズマ研究やその応用に携わり始めたばかりの学生・若手研究者・社会人技術者を主な対象とし、一流の講師陣による講義を通じて、プラズマエレクトロニクスへの理解を深める短期集中型の講習会です。

インキュベーションホールでは、プラズマ生成・制御、大気圧プラズマ応用、プラズマエッチングなど、幅広い分野に関する専門講座を開講いたします。講義内容は、初学者が基礎学理を体系的に理解したうえで、各分野における最新の研究動向にも触れられる構成となっています。さらに、経験豊富な講師陣による留学・在外研究や、プラズマ技術の実用化などに関するエピソードを交えることで、受講生のプラズマエレクトロニクス研究への興味を喚起します。

また、新しい研究分野を切り拓いてこられた講師をお招きし、当該分野の最新動向に加えて、研究者や技術者、指導者に求められる姿勢や資質について学ぶ特別講座も実施いたします。ぜひ奮ってご参加くださいますようお願い申し上げます。

会場となる国立オリンピック記念青少年総合センターは、新宿や渋谷からのアクセスに優れつつ、豊かな緑と静かな環境を備えた研修・宿泊施設です。大学・高専の先生方や企業の皆様におかれましては、学生や若手社員の方々にぜひ参加をご推奨いただけますと幸いです。旅費・参加費に関す

るご相談がございましたら、運営までお気軽にお問い合わせください。

記

【会期】2026 年 8 月 27 日 (木) ～ 8 月 29 日 (土)

【会場】国立オリンピック記念青少年総合センター
〒151-0052 東京都渋谷区代々木神園町 3-1
【交通】JR 中央線 新宿駅乗り換え、小田急線
参宮橋駅下車 徒歩約 7 分

【参加費 (予定)】

[1] PE 分科会正会員

一般 40,000 円 大学院生・学生 14,000 円

[2] 応物学会会員 (ただし PE 分科会に所属なし)

一般 43,000 円 大学院生・学生 17,000 円

[3] 協賛学協会会員および PE 分科会準会員

一般 50,000 円 大学院生・学生 22,000 円

[4] その他

一般 60,000 円 大学院生・学生 27,000 円

*1 宿泊費、食費、テキスト代、懇親会費等を含む (消費税込)。

*2 応物学会賛助会員および PE 分科会賛助会員
所属の方はそれぞれの個人会員扱いとします。

*3 応物学会企業若手会員は大学院生・学生と同じ扱いとします

*4 本分科会会員 (年会費 3,000 円) に同時入会頂くと、会員価格で参加できます。さらに会員には、年 2 回の会報、PE 分科会主催の講習会への会員料金での参加など会員だけの特典があります。応物学会及び PE 分科会への入会手続きについては、応物学会公式ウェブサイト (<https://www.jsap.or.jp/>) より行って下さい。

【協賛学協会（予定）】プラズマ・核融合学会，電気学会，日本表面真空学会，静電気学会，表面技術協会，IEEE-NPS05

【講義内容（暫定）】

・金澤 誠司 先生（大分大学）

特別講義

・赤塚 洋 先生（東京科学大学）

プラズマ診断・計測

・松井 都 先生（㈱日立製作所）

プラズマエッチング

・森 芳孝 先生（光産業創成大学院大学，㈱EX-Fusion）

核融合

・池田 善久 先生（愛媛大学）

プラズマバイオ・医療応用

・小菅 佑輔 先生（九州大学）

英語講座

【ポスターセッション】

参加者間の交流が深まるよう，ポスターセッションを中心とする談話会を行います．なお，優秀なポスター発表者には表彰を行います．発表内容は，参加者自身のバックグラウンドに関連したもの（プラズマに関係しないものも歓迎），例えば，

・学生の場合：現在の研究テーマにまつわるもの，学部での卒業研究，これから行う研究など

・社会人の場合：仕事にまつわるもの，企業・自社製品のPR，入社前の大学での研究など

であれば，内容・分量は一切問いません．

幅 90 cm×高さ 2 m 程度のポスターボードを用意しますので，あらかじめポスターのご準備をお願いします．本ポスターセッションは，全員の発表を原則としますが，発表に支障がある場合は事前参加登録時にその旨をご記入下さい．

【その他】懇親会，レクリエーションを予定しています．本企画 HP に当日の詳細スケジュールを記載しておりますので参考にして下さい．

【参加申込】本企画ホームページにある参加フォームからお申込みおよび参加費振り込みをお願いいたします．その際，ポスター内容を示すキーワードを3つ程度記入いただきます．なお，一旦支払われた参加費は，原則として返金いたしません．

【定員】 50 名（予定）

【参加申込方法】下記のウェブページに参加フォームを設置しておりますので，ご覧ください．

【参加申込締切】7 月 10 日(金)

【参加費支払期間】参加申込後～8 月 7 日(金)

【問合せ先】柳生 義人

〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1

九州大学大学院総合理工学研究院

TEL : 092-583-7650

e-mail : yagy.yoshihito.215@m.kyushu-u.ac.jp

【担当幹事】

校長：石島 達夫（金沢大）

幹事：柳生 義人（九州大）

布村 正太（産総研）

東 直樹（北海道大）

佐藤 幹夫（東京エレクトロン TS㈱）

池永 訓昭（金沢工大）

佐々木 徹（長岡技科大）

鷹林 将（有明高専）

【WEB ページ】

http://annex.jsap.or.jp/plasma/PE_files/PE_SS_2026

【第 19 回 PE インキュベーションホールの様子】



2026 年度(令和 8 年度) プラズマエレクトロニクス分科会幹事名簿

	氏名	所属	住所・電話	メールアドレス
幹事長	伊藤 昌文	名城大学 理工学部 電気電子工学科	〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501 TEL : 052-838-2306	ito@meijo-u.ac.jp
副幹事長	石島 達夫	金沢大学 理工研究域 電子情報通信学系	〒920-1192 石川県金沢市角間町ヌ7番地 TEL : 076-264-6336	ishijima@ec.t.kanazawa-u.ac.jp
副幹事長	伊藤 剛仁	東京大学 大学院 物質系専攻	〒277-8561 千葉県柏市柏の葉 5-1-5-504 TEL : 04-7136-3782	tsuyohito@k.u-tokyo.ac.jp
副幹事長	本田 昌伸	東京エレクトロン宮城株式会社 アドバンステクノロジーソリューション開発本部	〒981-3629 宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1 TEL : 022-346-3313	masanobu.honda@tel.com
幹事 任期 2027 年 3 月	高橋 克幸	岩手大学 理工学部 電気電子・情報通信コース	〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5 TEL : 019-621-6460	ktaka@iwate-u.ac.jp
"	眞銅 雅子	大阪工業大学	〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1 TEL : 06-6180-4027	masako.shindo@oit.ac.jp
"	柳生 義人	九州大学 大学院総合理工学研究院	〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1 TEL : 092-583-7650	yagyu.yoshihito.215@m.kyushu-u.ac.jp
"	山田 大将	長野工業高等専門学校	〒381-8550 長野県長野市徳間 716 TEL : 026-295-7069	h_yamada@nagano-nct.ac.jp
"	尾上 和之	三菱電機株式会社 高周波光デバイス製作所	〒664-8641 兵庫県伊丹市瑞原 4-1 TEL : 072-784-7401	Onoe.Kazuyuki@dr.MitsubishiElectric.co.jp
"	布村 正太	産業技術総合研究所 エレクトロニクス基盤技術研究部門	〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第 2 TEL : 050-3521-1848	s.nunomura@aist.go.jp
"	金 大永	東京科学大学 工学院機械系	〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1 16-24 TEL : 03-5734-3847	kim.d.as@m.titech.ac.jp
"	栗田 弘史	豊橋技術科学大学 応用化学・生命工学系	〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町字雲雀ヶ丘 1-16 棟 405 号室 TEL : 0532-44-6914	kurita@chem.tut.ac.jp
"	榊田 創	名城大学		sakakita@meijo-u.ac.jp
"	東 直樹	北海道大学 大学院工学研究院	〒060-8628 北海道札幌市北区 13 条西 8 丁目 TEL : 011-706-7885	higashi@eng.hokudai.ac.jp
"	佐藤 樹	サンディスク	〒510-0074 三重県四日市市山之一色町 800 番地 TEL : 059-320-1402	tatsuki.sato@sandisk.com
"	針谷 達	岐阜大学 工学部附属プラズマ応用研究センター	〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1 TEL : 058-293-3332	harigai.toru.y2@f.gifu-u.ac.jp

	氏名	所属	住所・電話	メールアドレス
幹事 任期 2028年3月	笠井 大雅	株式会社日立ハイテック	〒185-8601 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 280 番地 TEL : 080-8109-6607	taiga.kasai.rd@hitachi-hightech.com
	小川 大輔	中部大学 電気電子システム工学科	〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200 TEL : 0568-51-9305	ogawa@fsc.chubu.ac.jp
	南 英治	京都大学 大学院エネルギー科学研究科	〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL : 075-753-5713	minami.eiji.4z@kyoto-u.ac.jp
	佐藤 幹夫	東京エレクトロン テクノロジーソリューションズ株式会社	〒407-0192 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢 650 TEL : 0551-23-2071	mikio.sato@tel.com
	鷹林 将	有明工業高等専門学校 創造工学科 エネルギーコース	〒836-8585 福岡県大牟田市東萩尾町 150 TEL : 0944-53-8705	stak@ariake-nct.ac.jp
	津田 博隆	キオクシア株式会社 先端メモリ開発センター	〒512-8550 三重県四日市市山之一色町 800 番地 TEL : 059-390-4273	hirotaka.tsuda@kioxia.com
	池永 訓昭	金沢工業大学 工学部 電気エネルギーシステム工学科	〒921-8501 石川県野々市市扇が丘 7-1 TEL : 076-294-0596	n-ikenaga@neptune.kanazawa-it.ac.jp
	兒玉 直人	名古屋大学 大学院工学研究科 電気工学専攻	〒464-8603 名古屋市千種区不老町 TEL : 052-789-3635	kodama.naoto.n1@f.mail.nagoya-u.ac.jp
	奥村 賢直	九州大学 大学院システム情報科学研究院	〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 TEL : 092-802-3723	t.okumura@plasma.ed.kyushu-u.ac.jp
	池田 善久	愛媛大学 大学院理工学研究科	〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3 TEL : 089-927-9767	ikedayoshihisa.dx@ehime-u.ac.jp
	都甲 将	大阪大学 接合科学研究所	〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 11-1 TEL : 06-6879-8661	tokou.susumu.jwri@osaka-u.ac.jp
	佐々木 徹	長岡技術科学大学 技学研究院 技術科学イノベーション系	〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 TEL : 0258-47-9559	sasakit@vos.nagaokaut.ac.jp
	石野 嵩弥	ソニーセミコンダクタマニュファクチャリング株式会社	〒854-0065 長崎県諫早市津久葉町 1883-43 TEL : 080-5683-3999	Takaya.Ishino@sony.com

2026 年度(令和 8 年度)分科会幹事役割分担

役割分担	留任		新任	
幹事長			伊藤 昌文	名城大学
副幹事長			石島 達夫	金沢大学
			伊藤 剛仁	東京大学
			本田 昌伸	TEL 宮城(株)
1. 庶務・分科会ミーティング	針谷 達	岐阜大学	奥村 賢直	九州大学
2. 春秋講演会シンポジウム シンポジウム・海外招待講演 分科内招待講演 チュートリアル講義			石島 達夫	金沢大学
			本田 昌伸	TEL 宮城(株)
			伊藤 剛仁	東京大学
	榊田 創	名城大学	池田 善久	愛媛大学
	佐藤 樹	サンディスク	都甲 将	大阪大学
	栗田 弘史	豊橋技術科学大学	南 英治	京都大学
3. プラズマプロセス研究会			伊藤 剛仁	東京大学
			本田 昌伸	TEL 宮城(株)
	金 大永	東京科学大学	南 英治	京都大学
	栗田 弘史	豊橋技術科学大学	兒玉 直人	名古屋大学
	榊田 創	名城大学	佐々木 徹	長岡技術科学大学
	眞銅 雅子	大阪工業大学	小川 大輔	中部大学
4. 光源物性とその応用研究会				
5. プラズマ新領域研究会			伊藤 剛仁	東京大学
	布村 正太	産業総合技術研究所	池田 善久	愛媛大学
	眞銅 雅子	大阪工業大学	池永 訓昭	金沢工業大学
	東 直樹	北海道大学	兒玉 直人	名古屋大学
6. インキュベーションホール			石島 達夫	金沢大学
	布村 正太	産業総合技術研究所	池永 訓昭	金沢工業大学
	柳生 義人	九州大学	佐藤 幹夫	TEL ソリューションズ(株)
	東 直樹	北海道大学	鷹林 将	有明工業高等専門学校
			佐々木 徹	長岡技術科学大学
7. プラズマエレクトロニクス講習会			本田 昌伸	TEL 宮城(株)
	山田 大将	長野工業高等専門学校	都甲 将	大阪大学
	高橋 克幸	岩手大学	津田 博隆	キオクシア(株)
	佐藤 樹	サンディスク	石野 嵩弥	ソニーセミコンダクタマニ ュファクチャリング(株)
	尾上 和之	三菱電機株式会社	佐藤 幹夫	TEL ソリューションズ
	榊田 創	名城大学	笠井 大雅	(株) 日立製作所
8. 会誌編集・書記	山田 大将	長野工業高等専門学校	兒玉 直人	名古屋大学
	高橋 克幸	岩手大学	石野 嵩弥	ソニーセミコンダクタマニ ュファクチャリング(株)
9. ホームページ	針谷 達	岐阜大学	奥村 賢直	九州大学
10. 会計	柳生 義人	九州大学	鷹林 将	有明工業高等専門学校
11. プラズマエレクトロニクス賞			伊藤 昌文	名城大学
12. アカデミックロードマップ (戦略企画室)			伊藤 昌文	名城大学
			石島 達夫	金沢大学
			本田 昌伸	TEL 宮城(株)
	(白藤 立)	(大阪公立大)		
13. PE 懇親会	尾上 和之	三菱電機株式会社	笠井 大雅	(株) 日立製作所
	金 大永	東京科学大学	小川 大輔	中部大学
ICRP 委員 (オブザーバー)	枡久保 文嘉	東京都立大学		
	金子 俊郎	東北大学		

2026 年度（令和 8 年度）分科会関連の各種世話人・委員

1. 応用物理学会講演会プログラム編集委員

8	大分類代表	小野 亮	(東京大学)
8.1	プラズマ生成・診断	占部 継一郎	(京都大学)
8.2	プラズマ成膜・エッチング	佐々木 俊行 堤 隆嘉	(キオクシア) (名古屋大学)
8.3	プラズマナノテクノロジー	小川 大輔	(中部大学)
8.4	プラズマライフサイエンス	橋爪 博司	(名古屋大学)
8.5	プラズマ現象・新応用・融合分野	呉 準席 稲垣 慶修	(大阪公立大学) (北海道大学)
8.6	Plasma Electronics English Session	林 信哉	(九州大学)
8.7	プラズマエレクトロニクス分科内招待講演	石島 達夫	(金沢大学)
8.8	PE 賞受賞記念講演	石島 達夫	(金沢大学)

2. 応用物理学会理事

役員名簿

https://www.jsap.or.jp/about_jsap/executives

をご参照下さい。

3. フェロー

応用物理学会フェロー名簿

<https://www.jsap.or.jp/jsap-fellow/fellow-members>

をご参照下さい。

このほか、応用物理学会の代議員、本部委員会などにおきましても、多くの分科会会員の方にご活躍頂いておりますが、誤った掲載でご迷惑をおかけしてしまうリスクを考慮して、掲載を取りやめております。

プラズマエレクトロニクス関連会議日程

【 国際会議 】

2026. 11. 02 – 11. 06

The 79th Annual Gaseous Electronics Conference (GEC 2026) / 68th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics (APS DPP 2026)

Hilton Chicago, Chicago, IL, USA

<https://www.aps.org/events/2026/68th-annual-meeting-dpp-gec>

2026. 11. 8 - 11. 13

The 72nd American Vacuum Society (AVS) International Symposium and Exhibition (AVS72)

David L. Lawrence Convention Center, Pittsburgh, PA, USA

<https://avs72.avs.org/>

2026. 11. 19 – 11.29

47th International Symposium on Dry Process (DPS2026)

Tokyo International Exchange Center, Plaza Heisei, Tokyo, Japan

<https://www.dry-process.org/2026/>

2026. 11. 30 – 12. 03

12th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-12) / 44th Symposium on Plasma Processing (SPP-44)

Kanazawa Bunka Hall, Kanazawa, Japan

<https://smartconf.jp/content/icrp12/>

2027. 03. 02 – 03. 06

19th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials (ISPlasma2027) /

20th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (IC-PLANTS2027)

Nagoya University, Nagoya, Aichi, Japan

<https://www.isplasma.jp/>

【 国内会議・会合 】

2026. 08. 27 – 08. 29

第 20 回プラズマエレクトロニクスインキュベーションホール

国立オリンピック記念青少年総合センター，東京都渋谷区

https://annex.jsap.or.jp/plasma/PE_files/PE_SS_2026/index.html

2026. 09. 08 – 09. 11

第 87 回 応用物理学会 秋季学術講演会

北海道大学 札幌キャンパス & オンライン，北海道札幌市

<https://www.jsap.or.jp/jsap-meeting/future>

2027. 03. 16 – 03. 19

第 74 回 応用物理学会 春季学術講演会

上智大学 四谷キャンパス & オンライン，東京都千代田区

<https://www.jsap.or.jp/jsap-meeting/future>

2027. 09. 13 – 09. 17

第 88 回 応用物理学会 秋季学術講演会

熊本城ホールほか 3 会場 & オンライン，熊本県熊本市

<https://www.jsap.or.jp/jsap-meeting/future>

当会報への広告掲載について

応用物理学会 プラズマエレクトロニクス分科会では、分科会会員への情報提供を旨とし、会報への広告出展を募集しております。広告の掲載にあたっては下記のような条件としておりますので、是非ご検討の程よろしくお願い申し上げます。

1. 契約の種類

(A) 年間契約コース

1 年間にわたる掲載。通常は 6 月、12 月に発行される 2 号にわたって掲載されます。掲載号ごとに新規原稿に差替えできません。

(B) 単号契約コース

特定の号のみの掲載。

2. 掲載位置

掲載位置は編集後記の後になります。基本五十音順の掲載になりますが、レイアウト等の都合で適宜変更になる可能性があります。何卒ご了承ください。また裏表紙への依頼がない場合には年間契約の中からまわす場合があります。不都合がある場合にはご相談ください。

3. 入稿

原稿は A4 版ネガ、もしくは電子ファイル(pdf)とします。これ以外の場合、かかる費用を別途請求させて頂く場合があります。

4. 広告掲載料

掲載料は下表の通りとします。なお、年間契約の場合も申し込み時点で一括請求とさせていただきます。

	(A) 年間契約 コース	(B) 単号契約 コース
半ページ	5 万円 (4 万円)	4 万円 (3 万円)
1 ページ	8 万円 (6 万円)	5 万円 (4 万円)
2 ページ (見開き指定可)	12 万円 (9 万円)	8 万円 (6 万円)
裏表紙	12 万円 (9 万円)	8 万円 (6 万円)

※カッコ内は賛助会員企業

5. 問い合わせ先

〒113-0031 東京都文区根津 1-21-5

応物会館 2 階

公益社団法人 応用物理学会

TEL: 03-3828-7723

FAX: 03-3823-1810

Email: divisions@jsap.or.jp

HP: <http://annex.jsap.or.jp/plasma>

編集後記

本会報の発行にあたり、お忙しい中お時間を作ってご寄稿くださった皆様、ならびに編集にご協力くださった皆様に心より御礼申し上げます。

私にとっては、プラズマエレクトロニクス分科会の幹事を務めるのも、会報編集を担当するのも初めてであり、原稿の依頼、内容確認、そして名簿確認など、最後の最後まで多くの方にさまざまなお願いを差し上げる形となってしまいました。私自身の不手際により連絡が遅くなり、ご迷惑をおかけした場面も多く、そのたびに丁寧にご対応いただいたことに深く感謝しております。特に、前副幹事長の名古屋大学・石川先生には多くの記事についてご相談し、ご執筆にもご協力いただきました。また、同じ会報編集担当の岩手大学・高橋先生には、目次案の作成をはじめ、さまざまな面でご支援いただきました。令和7、8年度会報編集担当幹事の皆様にも、多くの場面で支えていただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

本会報は、ご寄稿くださった皆様のおかげで、内容としても非常に充実したものになったと感じています。自分が編集に携わったという点を差し引いても、研究室の学生たちにしっかり読ませたいと思える会報になりました。本会報をきっかけに、学生たちが分科会やその活動に少しでも親しみを持ってくれば、大変うれしく思います。

今回の会報では、すべての記事を私が考えてお願いしたわけではありませんが、「研究室紹介」、「研究紹介」、そして「学生のためのページ」については、自分なりの思いを持って執筆をお願いしました。「研究室紹介」は、私が学生時代にご指導いただいた名城大学の榊田先生にお願いしました。異動後に新しい研究室を一から立ち上げておられ、その研究室をぜひ知りたいという個人的な関心もありました。「研究紹介」は、今回はぜひ同じ高専の先生にお願いしたいという思いがあり、調べる中でご活躍を知り、強く刺激を受けた広島商船高専の酒池先生にお願いしました。また、「学生のた

めのページ」は、学生時代から存じ上げており、学会でもよくお話しし、さまざまな助言をいただいている新潟大学の山家先生にお願いしました。山家先生の知見は、私自身だけでなく、ぜひ多くの学生にも広く知ってほしいと思ったからです。こうした自分なりの思いを少し反映できたことは、今回の編集の中で特に印象に残っています。

高専教員という立場では、授業や校務に加えて、部活動の指導や引率などもあり、学会に参加しても自分の発表のとき以外はなかなか十分に顔を出せないことが多いのが実情です。そのような中で、今回、幹事として会報編集に携わったことは、正直に言えば大変な面も少なくありませんでした。しかしその一方で、多くの先生方と新たに接点を持ち、やり取りをし、お話しする機会をいただけたことは、私にとって非常に大きな意義がありました。プラズマエレクトロニクス分科会に幹事として加わり、微力ではありますが学会活動に貢献できたことは、研究者としての自分を改めて意識する機会にもなりました。このように、普段の業務の延長にいただけでは得られないつながりを持てたことは、今後の自分にとって大きな財産になるように感じています。

至らぬ点多々あったかと思いますが、本号の編集に関わる機会をいただけたことに感謝しております。今後ともどうぞよろしくお願いいたします。

記：山田（長野高専）

（令和8年度会報編集担当：
高橋、山田、兒玉、石野）

プラズマエレクトロニクス分科会会報 No.84

2026年 6月15日 発行

編集:公益社団法人応用物理学会

プラズマエレクトロニクス分科会

幹事長 伊藤 昌文

発行:公益社団法人応用物理学会

〒113-0031 東京都文京区根津一丁目 21 番 5 号

応物会館

(©2026 無断転載を禁ず)