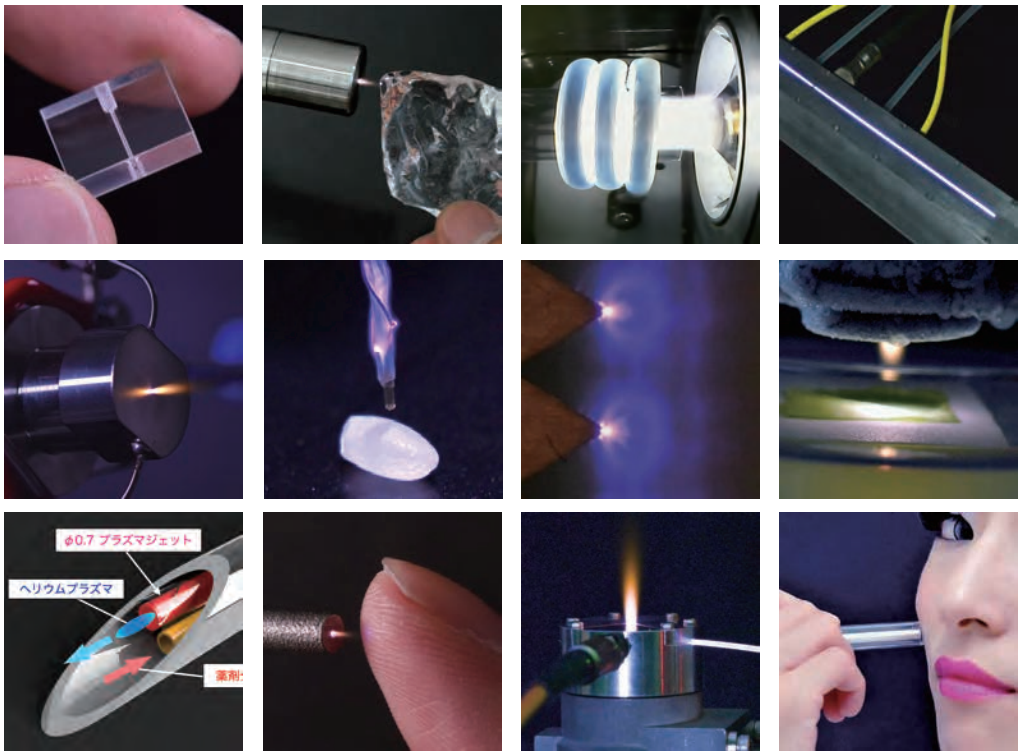
沖野研究室

公式パンフレット



東京工業大学
未来産業技術研究所

2024

ごあいさつ

Message from Prof. Okino

東京工業大学未来産業技術研究所沖野研究室では，プラズマ工学，電気電子回路・計測，物理，化学，分光計測などをベースとして，マルチガス温度制御プラズマやリニア型パーティクルフリープラズマをはじめとした世界最先端の大気圧プラズマ装置を開発し，それぞれの装置の特性を活かした様々な分野への応用研究を行っています。現在の主な応用研究テーマは，単一細胞中の極微量元素分析装置開発，接着強度向上等のための表面処理，大流量ガスの無害化処理，殺菌/ウイルス不活化，低温止血デバイス開発，ゲノム編集のための植物のプラズマ処理，生体表面および生体内薬剤の高感度分析装置開発，プラズマ農業応用などで，医療・分析・環境・生命・材料・半導体などの分野に貢献できるプラズマ機器の開発と応用研究を行っています。

我々の研究室の関連する主な学術分野・キーワードは，プラズマ，放電，分光，分析化学，単一細胞分析，医療機器，再生医療，iPS 細胞，ゲノム編集，地球温暖化/有害ガス分解，表面処理，コーティング，接着，殺菌，ウイルス不活化，農業，美容，3D プリンタなどで，各種大気圧プラズマ装置の設計と製作，光・イオン・原子/分子・活性種などの測定，殺菌/ウイルス不活化・ガス分解・接着・細胞活性化などの実験，プラズマや回路等のシミュレーションを有効に組み合わせた研究と教育を行っています。

沖野研究室は 2001 年，大学院総合理工学研究科創造エネルギー専攻に誕生しました。2015 年度まで，同専攻の堀田研究室および藤井研究室（2009 年度までは根本研究室）とともに，プラズマ研究グループとして活動してきましたが，2016 年春の東工大の教育改革による改組と堀田栄喜先生の定年退職に伴い，単独研究室での活動を始めました。同時に，科学技術創成研究院未来産業技術研究所（旧精密工学研究所）に参画し，活動の幅を広げています。

研究室開設より，17 名の博士，74 名の修士，14 名の学士を輩出してきました。修了生は国内外の企業，大学，研究所等で活躍しています。海外の大学や企業との交流も活発に行っています。沖野准教授は 98 年～99 年米国ワシントン D.C.の The George Washington Univ.に客員研究員として，06 年～07 年米国ロサンゼルスの UCLA に客員教授として滞在しました。学生も UC Berkeley，Drexel Univ.，Indiana Univ.，Münster Univ.，BAM Berlin などに留学するほか，コロナの時期を除いて全ての大学院生が海外で発表を行ってきました。国内でも広く連携を行っています。各種企業のほか，東京医療保健大学，東京薬科大学，東北大学，東京医科歯科大学，千葉大学，東京大学，九州大学，鳥取大学，大阪大学，神戸大学，静岡大学，明星大学，室蘭工業大学，獨協医科大学，麻布大学，日本薬科大学，東洋大学，産業技術総合研究所，農業・食品産業技術総合研究機構等と協力して研究を行っています。

沖野研究室では，学部は工学院電気電子系，大学院は電気電子系ライフエンジニアリングコースおよび電気電子コースの教育を担当しています。大学院では，学内生のほか全国の大学・高専の全ての学科・専攻からの修士・博士後期課程への進学を歓迎しています。修士課程は電気電子系の大学院入試（英語，数学，電磁気学，電気回路または量子力学/物性基礎）の受験が必要ですが，これまでの専門分野は問いません。プラズマを全く知らなくても，装置開発や医療・分析・環境・生命・材料等へのプラズマ応用に興味のある人はぜひ受験して下さい。詳しい研究内容や各種の最新情報は本冊子や研究室のホームページをご覧下さい。研究室の見学や訪問等は一年を通して歓迎していますので，ご興味をお持ちの方は電子メールで気軽にお問い合わせ下さい。

また，国内外の企業との共同研究・技術指導，社会人博士の入学，修士・博士後期課程への再入学等も常時募集していますので，ご相談下さい。

2024 年 4 月

東京工業大学 未来産業技術研究所
准教授　　沖　野　晃　俊

教員および博士後期課程学生紹介

Staff and doctoral course students

准教授　沖野 晃俊

Associate Professor, Dr. Akitoshi Okino

京都市立堀川高等学校出身。大阪大学工学部応用物理学科卒業，同大学院博士前期課程修了，東京工業大学大学院原子核工学専攻博士後期課程修了。博士（工学）。東工大電気・電子工学科助手を経て 01 年総合理工学研究科准教授。2016 年より現職。98 年～99 年 The George Washington 大学客員研究員，06 年～07 年 UCLA 客員教授，11 年～22 年神戸大学大学院医学研究科客員准教授，23 年～東北大学大学院歯学研究科客員准教授。過去の趣味：クラシック鑑賞 全盛期には年間 100 回近いコンサートを聞く。京都市響，大阪フィル，新日本フィル，日本フィル，N 響，ワシントンナショナル響の定期会員を歴任。音楽評論家になれるかと思った。現在の趣味：深夜のテニス。右投げ，右打ち，両手バックハンド。

特任助教　八井田 朱音

Assistant Professor, Dr. Akane Yaida

横浜市出身。麻布大学生命・環境科学部 環境科学科卒業，同大学院 博士後期課程修了。博士(学術)。大学 4 年から博士後期課程 3 年までの 6 年間，環境水及び下水処理放流水中の微量金属元素を ICP-MS を用いて多元素分析・解析。2023 年より現職。趣味：スキー　3 才から毎年冬に斑尾高原や裏磐梯に行っていた。テニス　5 才から中学 1 年までスクールに通っていた。卓球 中学 1 年から高校 3 年まで卓球部に所属。乗馬　大学 1 年から馬術部に所属。

博士後期課程　劉 智志

Doctoral Course Student, Chishi Ryu

2017 年大連海事大学工学部修了。2021 年大阪大学大学院修士課程修了。プラズマと紫外線/赤外線を同時照射できる大面積プラズマ装置の開発と，その装置を用いた殺菌，材料表面処理への応用をメインに研究中。日本に来て以来，体の鍛錬が足りないと感じたので，今年は毎週運動しようと考えている。最近は原神というゲームにはまったので，一緒にやる方がほしい～。趣味：バスケ，卓球，囲碁，アニメ，PC ゲーム，麻雀，カラオケ。

博士後期課程　大澤 泰樹

Doctoral Course Student, Taiki Osawa

2023 年東京工業大学大学院電気電子系修了。現在は，殺菌分野や表面処理応用研究のための水蒸気プラズマジェットの開発を担当。休日にはアニメや動画を見ながら料理をするのが好きで，調味料の種類が増えていくのが最近の悩み。趣味：料理，お酒，バスケ，ボルダリング，アニメ，ゲーム，麻雀。

博士後期課程　清水 祐哉

Doctoral Course Student, Yuya Shimizu

2021 年宇部工業高等専門学校専攻科修了。2023 年東京工業大学修士課程修了。大気圧プラズマを用いた分析技術の開発を担当。今年の抱負は規則正しい生活習慣。趣味：散歩，料理，飲酒。

博士後期課程　福智　魁

Doctoral Course Student, Kai Fukuchi

2022 年京都工芸繊維大学工芸科学部卒業。2023 年東京工業大学修士課程修了。単一細胞内元素分析システムの開発を担当。FC バルセロナの大ファンで，試合の日には日本にいながら時差ボケすることが永遠の悩み。趣味：FC バルセロナ，サッカー，旅行。

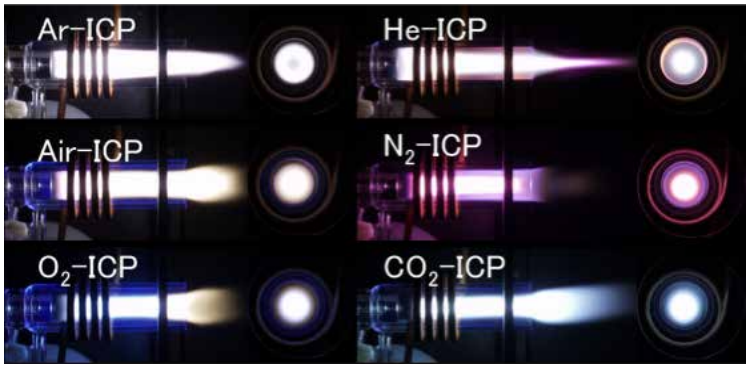
博士後期課程　劉 子鈺

Doctoral Course Student, ZIYU LIU

2024 年東京工業大学修士課程修了。修士では，超音波による画像収集の画像処理を研究。博士課程から大気圧プラズマを医療や生物に応用する研究を開始。クリエイティブな仕事が大好きで，物を作ったり修理することに熱中。趣味：撮影，料理，手作り，睡眠，子供の世話。

大気圧プラズマ装置の新しいコンセプト

New concepts of our brand-new atmospheric plasma sources

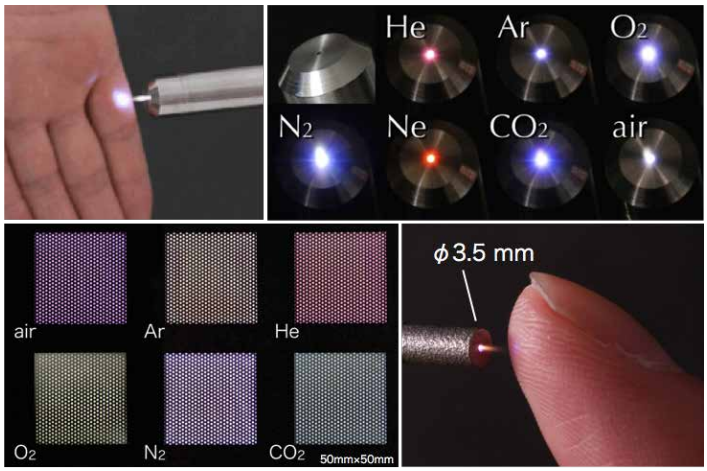


物質は持っているエネルギーの大きさに応じて固体から液体，気体へと状態変化し，気体にさらにエネルギーを加えると原子と電子が分離した，プラズマの状態になります。プラズマ中には高いエネルギーを持つ粒子が多数存在するため，物質分解や半導体プロセシングなどに使用されてきました。

従来，プラズマはガラスや金属の容器内の低気圧下で生成されて利用されてきました。これは主に，低気圧がプラズマの生成に適しているという理由によるものです。大気圧プラズマの研究は 50 年以上前から行われてきましたが，温度が数千度と高かったため，廃棄物処理やガス分解，溶射などに応用先が限られていました。ところが近年，大気圧プラズマの応用がさかんに報告されるようになっています。これは，室温に近い低温な大気圧プラズマが生成できるようになり，様々な物質に自由にプラズマを照射する事が可能となったためです。従来の低気圧プラズマでは，半導体，金属，セラミックスなどの，真空容器に入れられて，プラズマの高温に耐えられるものが対象でしたが，大気圧プラズマでは基本的に何にでも自由にプラズマを照射できるため，生体やプラスチックなどの熱に弱い素材や，低気圧中では蒸発してしまう液体への照射が可能になりました。

沖野研の現在の大気圧プラズマ装置の特徴を示すキーワードは，「マルチガス」，「温度制御」，「フレキシブルな設計」の 3 つです。現在までに開発されている大気圧プラズマ装置のほとんどは，ヘリウム，アルゴン，窒素，空気など，使用できるガスに制限があります。我々は，あらゆるガスをプラズマ化できる「マルチガス」を最重要なキーワードとして大気圧プラズマ装置を開発しています。当然と言えば当然ですが，プラズマを生成するガスを変えると，生成されるラジカルや励起原子・分子などの活性種が変わりますので，プラズマの特性は大きく変わり，処理効果も変わります。なので，所望の処理に最も適したガスで生成したプラズマの使用が望まれます。

先にも書いたように，40～200℃程度の大気圧プラズマが低温プラズマとして注目されています。従来の数千度の熱プラズマに比べると格段に低温ですが，室温よりは高温であり，また精密な温度制御は困難でした。これに対して我々は，零下から高温まで 1℃以内の精度で制御可能な「温度制御」プラズマを開発し，多数の特許を取得しました。熱に弱い素材や人体，細胞，植物などへのプラズマ照射や，各種の化学反応に最適な温度でのプラズマ処理を実現できます。

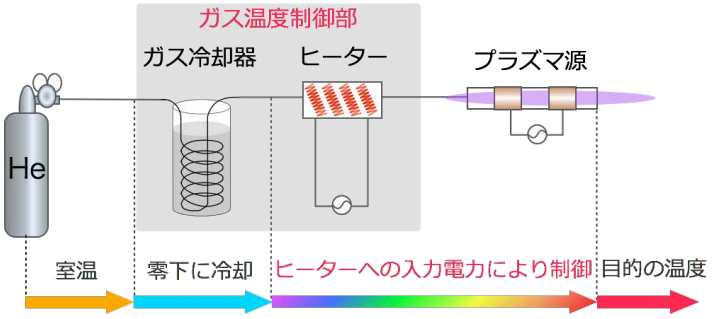


我々は，上記のマルチガスと温度制御が可能な様々な大気圧プラズマ装置を開発しています。例えば，上のマルチガス高温プラズマ，左のマルチガス低温プラズマジェット，大面積プラズマなどです。また，それぞれの応用の目的や制約に適した放電方式，形状，体積，流量，温度，活性種のプラズマ装置を「フレキシブルな設計」で開発しています。例えば，プラズマの大きさは 100 ミクロン程度から 1 m を越すものまで製作しています。2015 年には，世界で初めて金属の 3D プリンタを用いて，直径 3.5 mm の内視鏡治療用プラズマジェットを開発し，論文を発表しました。現在，プラズマ源の設計には 3D-CAD，製作には金属の 3D プリンタと機械加工を併用しています。

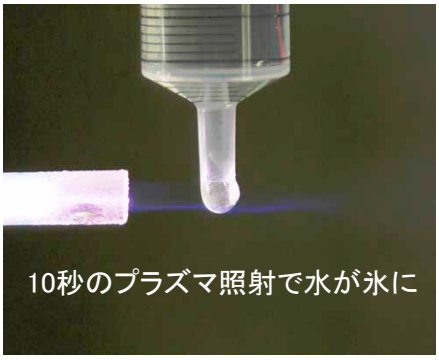
零下から高温までの大気圧温度制御プラズマ

Temperature-controllable plasma source

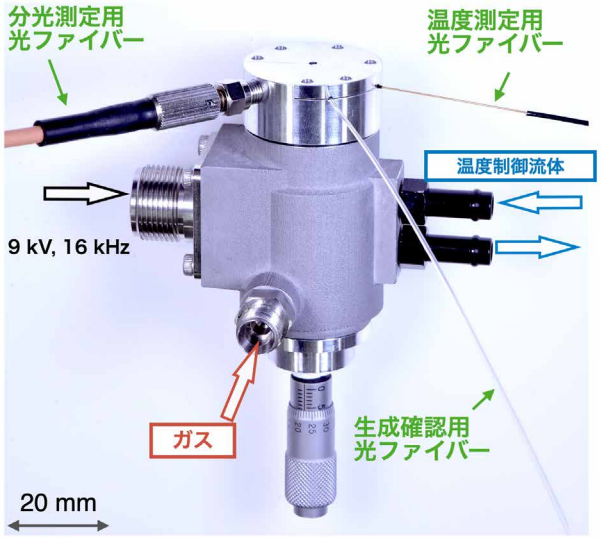
プラズマには，電子温度，励起温度，ガス温度，イオン温度などの様々な温度が定義されています。これらのうち，我々が熱い冷たいと感じる温度に一番近い温度は，ガス温度になります。2,000 年頃までは大気圧プラズマは熱プラズマと呼ばれ，数 1,000℃のガス温度を持つ高温プラズマでした。このため，廃棄物処理や有害ガス分解のための熱源として利用されてきました。しかし，近年，ガス温度が室温程度の低温プラズマが開発され，表面処理や医療の分野で注目を集めています。例えば，表面処理の分野ではプラスチック等の熱に弱い素材の親水化処理や接着性向上などに使用されはじめています。医療の分野では，生体に熱の影響を与えずに殺菌や止血できるツールとしての応用が期待されています。しかし，従来の低温プラズマのガス温度は，低温とはいっても 40～100℃程度であり，生体などの熱に弱い対象に長時間照射することは困難でした。このため，従来はプラズマを生成する際の放電電力を制限することで，プラズマのガス温度の上昇を抑えていました。しかし，プラズマも弱くなるため，処理効果も低下していました。



そこで沖野研究室では，上図のようなプラズマのガス温度制御システムを考案しました。このシステムでは，ボンベから供給されたガスを一度冷却した後，そのガスをヒーターで加熱します。このヒーターの加熱を制御することで，プラズマの温度を自由に制御する事が可能になります。この手法では，プラズマを生成する放電電力とは独立に，プラズマのガス温度を零下から高温まで制御する事ができます。実験では，零下 50℃から，160℃程度の範囲で，±1℃以内の精度でガス温度を制御することに成功しており，世界各国で特許を取得しています。零下のプラズマでは，右の写真のように水を凍結させる事も可能です。沖野研究室では，世界で初めてガス温度と表面処理効果や殺菌効果や活性種生成量などの調査を行い，論文を発表しています。



さらに，沖野研究室では様々な種類のガスでプラズマを生成できる，マルチガスプラズマ装置にも温度制御を適用しました。マルチガスプラズマ装置は金属の筐体を使用するため，従来の温度制御方式ではガス温度を大幅に変えることは困難でした。そこで，左図のように温度を制御した流体を金属筐体の内部に流し，筐体の温度を制御することで，筐体でプラズマ生成用ガスの温度を制御する装置を開発しました。この装置により，従来ではできなかった様々なガス種のプラズマの，精密温度制御に成功しました。その結果，人体や植物などの熱に弱い対象に熱損傷を与えずに，今までよりも高い効果でプラズマ処理を行う事が可能になりました。接着性強化などに使用する場合は，ガス温度を高温側に制御する事も有効です。プラズマのガス温度を変えると，プラズマ処理の要因となる活性種の生成量が変わるため，プラズマ処理効果の最適化や処理要因の解明につながると期待されます。



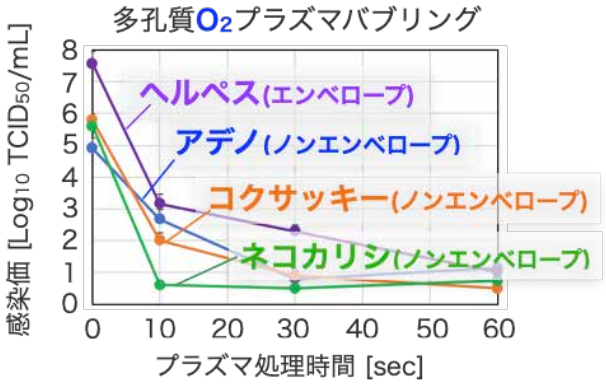
大気圧プラズマを用いた殺菌/ウイルス不活化

Inactivation of bacteria and virus by atmospheric plasma

医療，農業，食品などの分野では，機器や野菜，水などを清潔に保つために加熱処理や薬剤による殺菌処理を行なっています。しかし，これらの殺菌方法では熱による変性や薬剤の残留などの問題があるため，新しい殺菌手法の開発が求められています。その一つの候補として，大気圧低温プラズマが注目を集めています。プラズマの殺菌要因はプラズマ中で生成される反応性の高い化学活性種が細胞膜や DNA を損傷させるためと考えられていますが，詳細な殺菌メカニズムは明らかになっていません。そこで沖野研究室では，様々なガスをプラズマ化できるマルチガスプラズマジェットを開発し，各種ガスのプラズマで細菌・真菌・ウイルスの不活化実験を行い，殺菌機序の解明に向けた研究を進めています。

また，従来のプラズマを液体に照射する方法では，プラズマと液体の接触面積が小さく，大面積の殺菌処理には時間を要していました。そこで，プラズマを水に直接照射し，水そのものに殺菌効果を持たせるプラズマ処理水の研究が進められています。プラズマ処理水を用いることによって，水中の対象物の表面などを効率よく殺菌できます。しかし，従来はプラズマを水面に照射していたため，プラズマと水との接触面積が小さく，また化学活性種が周辺空気の影響を受けるので，水中に導入される活性種の特定が容易ではありませんでした。そこで沖野研究室では，多孔質フィルタを介してプラズマを微小な泡として水中に導入することで，プラズマと水との接触面積を拡大して活性種を水中に効率よく導入するプラズマバブリング方式を提案しました。この方式を用いて酸素プラズマバブリングを行うと，プラズマを水面に照射する従来手法と比較して，20 倍以上のオゾン導入速度を実現しています。さらに，黄色ブドウ球菌に対する殺菌では，多孔質を用いることで殺菌速度を示す BA 値が約 2 倍になることがわかっています。また，この多孔質酸素プラズマバブリングを用いて各ウイルス液に対して処理を行うと，アルコール等で不活化されにくいノンエンベロープウイルスに対しても不活化されやすいエンベロープと同等程度の不活化効果が得られ，どのウイルスに対しても 10 秒間で 99%以上の不活化が実現できています(下図)。

さらに，水に対してプラズマバブリングを行うと，寿命の長い活性種が水に溶存するため，殺菌効果をある程度の時間保持することができます。私達の研究室では，この水をプラズマバブル水と呼んで殺菌などに応用する研究を行っています。特に最近は生体への適用を目的とし，眼の感染症原因病原体や口腔内の病原体に対する殺菌効果，また細胞への毒性を評価する実験を進めています。一方，より反応性の高い活性種は寿命が数 ns～数 μs と非常に短いため，すぐに失活してしまいます。そこで，水のみを利用してプラズマを生成する水蒸気プラズマ装置の開発に取り掛かっています。水蒸気を使うことで水由来で反応性の高い活性種を大量に生成でき，処理対象に直接照射することで短寿命の活性種も最大限活用できると考えています。また，ガスボンベを必要としないため，可搬性の高い装置となります。



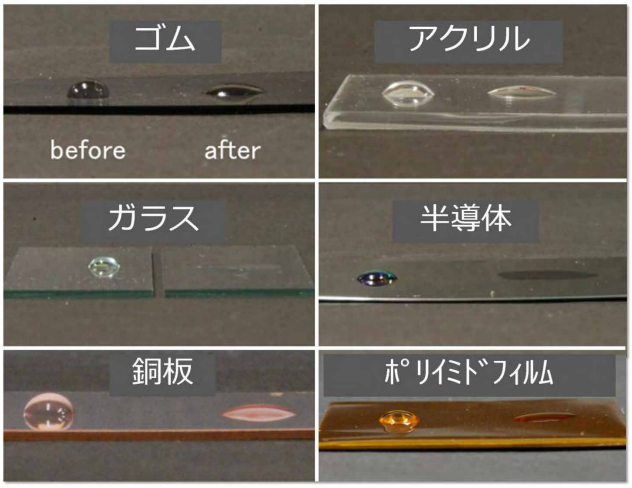
プラズマバブル水や水蒸気プラズマによる主な殺菌因子は活性種であるため，時間の経過とともに失活して普通の水に戻ります。我々はこの安全性の高さを活かすべく，医療機器の殺菌，食品や農業用の洗浄，最終的には人体の殺菌等への応用をめざして研究を行っています。

各種材料の表面処理と接着性強化

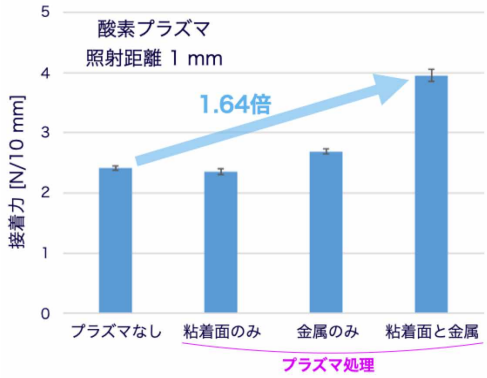
Surface treatment and adhesion enhancement

近年，製品や部品の性能向上を目的として，特性の異なる材料を組み合わせた設計が進められています。構造材料として優れた性質を持つアルミニウムや炭素繊維強化プラスチック，半導体として用いられるシリコン等の材料の異種材料接合のニーズが高くなっていますが，中には接着が困難な組み合わせもあります。このような場合には，接着剤塗布の前に薬品などによる表面改質が行われますが，廃液処理などの課題が残ります。

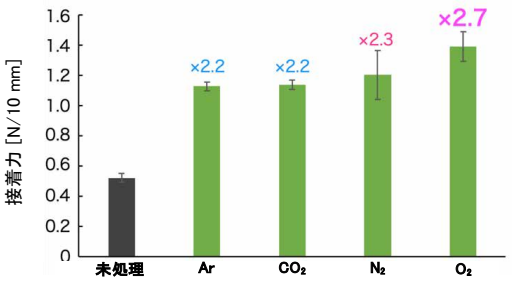
そこで沖野研究室では，大気圧プラズマによって材料表面にプラズマ照射やコーティングを行い，接着強度を向上させる研究を行っています。大気圧プラズマによる表面処理はドライプロセスであるため廃液が出ず，大気圧下で行えるために連続処理が容易であるという長所があります。各種材料にプラズマ照射前後に水滴を滴下した様子を右に示します。プラズマを照射することで水が馴染みやすくなり，薄く広がっていることがわかります。これにより，塗料や接着剤も材料表面で均一に広がり，接着性が強化される場合があります。



下のグラフは，アルミニウムとポリイミドテープの接着実験を行った結果です。アルミニウム表面とテープの接着面の両方に酸素プラズマ照射することで接着力が 1.64 倍に向上しました。



アルミニウムとポリイミドの接着実験



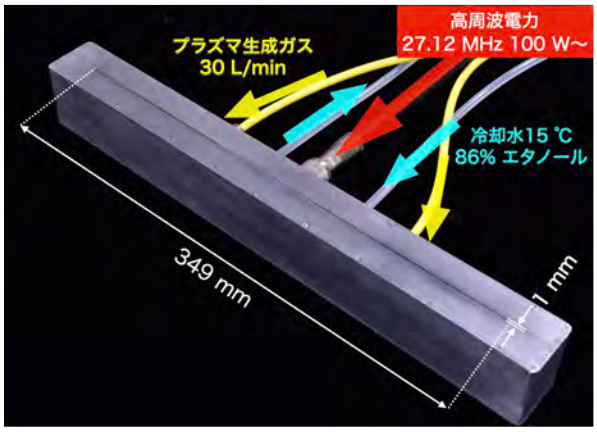
PTFE とポリイミドの接着実験

一方，沖野研究室では大気圧プラズマによる表面処理を医療分野で活用する研究を行っています。例えば，PTFE は優れた耐薬品性と生体適合性を有しているため，手術用カテーテルや薬液輸送チューブとして利用されています。しかし，PTFE は高い難接着性を持っています。そこで沖野研究室では，大気圧プラズマによる接着前処理を行っています。これまでの実験結果では，1 mm/s の短時間の処理によって接着力が向上しています。左下のグラフは様々なガスのプラズマ処理を比較した結果です。酸素で生成したプラズマでは，接着力が 2.7 倍に向上しています。沖野研究室で開発しているプラズマ装置はマルチガス対応ですので，図中のプラズマ生成ガスだけでなく，水素や水蒸気を混合したり，有機材料を添加して様々な表面処理を行っています。ガスの種類を変えると，材料表面で生じる化学反応や官能基付与，コーティングが大きく変わります。

さらに，大気圧プラズマによる表面処理を歯科分野で活用する研究を東北大学歯学部と共同で行っています。例えば，ジルコニアは優れた物理的特性と生体適合性を持つため，インプラントなどの歯科材料として利用されています。ジルコニアは歯科用セメントなどで接着して使用されます。このとき，接着性を向上させるため，従来は粒子を吹き付けるサンドブラスト処理などが用いられてきました。沖野研究室では低温であり，材料汚染を生じない大気圧低温プラズマを用いて歯科材料と歯科用セメント間の接着実験を行いました。窒素プラズマを 10 秒間照射した場合，従来のサンドブラスト処理と同等の接着強度を得る事ができています。

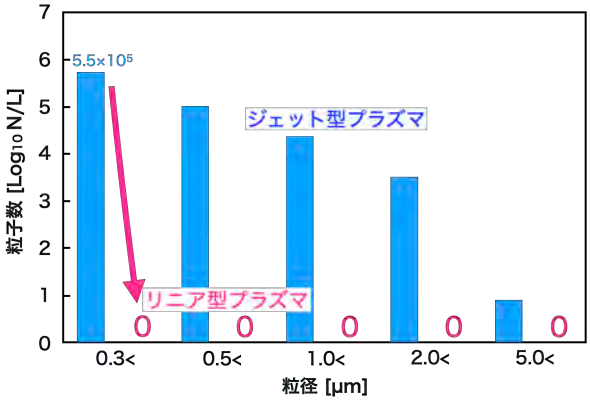
クリーンルーム対応リニア型プラズマ装置

Particle-free linear type plasma source



半導体製造工場では製品への微粒子の混入を防ぐため，空気の洗浄度が厳重に管理されているクリーンルーム内で製造が行われています。このため，半導体製造過程で用いる装置は発生する微粒子数がクリーンルームの清浄度の基準を満たす必要があります。しかし，沖野研で開発したマルチガスプラズマジェット装置では，電極材料であるアルミニウムが微粒子としてプラズマ中に混入するため，クリーンルームでは使用できませんでした。

そこで，右図のような新しいリニア型プラズマ装置を開発しました。この装置では高周波を使用しているため，微粒子の発生が低減されます。さらに，プラズマ照射スリットを 349 mm 幅にすることで 12 インチ（304.8 mm）のシリコンウェハを一次元の走査でプラズマ処理することを可能にしました。

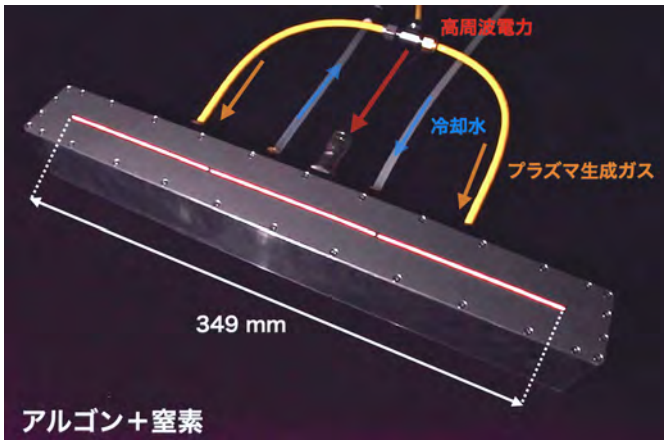


左図は従来のマルチガスプラズマジェット装置と新しく開発したリニア型プラズマ装置から排出される微粒子数を測定した結果です。従来のマルチガスプラズマジェット装置では 5.5×10^5 個検出された 0.3 μm 以上の微粒子が開発したパーティクルフリーリニア型プラズマ装置では検出されませんでした。この結果はクラス 10 の半導体製造工場や，クリーンルーム手術室の使用基準を満たしています。

リニア型マルチガスプラズマ装置

Linear type multi-gas plasma source

プラズマによる処理効果はプラズマを生成させるガス種により変わるため，沖野研究室では様々なガス種でプラズマを生成できる「マルチガス」に注目した装置開発を行っています。先に紹介したパーティクルフリーリニア型プラズマ装置はアルゴンとヘリウムによるプラズマの生成は可能ですが，窒素や酸素をプラズマ生成ガスとすると不安定な放電が生じてしまう課題がありました。

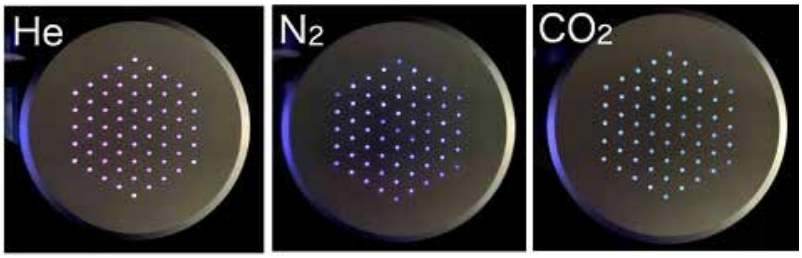


このため，様々なガス種で大面積のプラズマを生成するリニア型マルチガスプラズマ装置の開発を行っています。放電方式や放電周波数などを工夫した結果，これまでに左写真のように窒素をアルゴンに添加させたプラズマを生成することに成功しています。今後はプラズマ化できるガス種を増やし，高出力化を行う事で，様々な分野への応用や，処理の高速化をめざします。

シャワーヘッド型マルチガスプラズマ

Atmospheric shower head type multi-gas plasma source

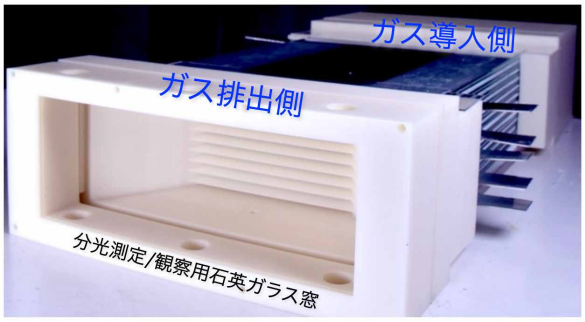
プラズマによる様々な効果の多くは，プラズマ中で生成される活性種が処理対象表面と反応して現れます。この活性種の種類や濃度はプラズマを生成するガスの種類や混合比によって大きく変化します。このため，沖野研究室では様々なガスでプラズマを生成できる「マルチガス」を重要なキーワードとして装置を開発しています。従来のマルチガスプラズマジェット装置は直径 1 mm 程度のプラズマ照射口でしたので処理できる面積が小さく，広い面積の処理のためにはプラズマを二次元的に走査する必要がありました。そこで，多数の照射口を持つシャワーヘッド型のマルチガスプラズマ装置を開発しました。この装置では直径 40 mm 程度の範囲を一度にプラズマ処理することができます。もちろん，様々なガスで安定にプラズマを生成することができます。特に，この装置で生成されるプラズマの温度は室温から 30℃程度であるため，皮膚や植物などの生体にダメージを与えないプラズマ処理が可能です。ゲノム編集に向けたタバコ葉へのタンパク質導入実験では，タバコ葉に熱損傷を与えずに，直径約 40 mm の範囲の植物細胞にタンパク質を導入できました。今後は，高速な表面処理に向けた装置の改良を行っていく予定です。



大流量産業排ガスの分解処理

Decomposition of large flow industrial exhaust gases

近年，産業活動などで排出される有害物質を含んだガスを高効率に分解する手法として，プラズマ技術が注目されています。プラズマ中には，高い反応性を持った粒子や高エネルギーの粒子が多数存在していますので，それらが物質と衝突して分子を分解します。これまでに，プラズマを用いた様々なガス分解の研究が行われていますが，数 L 容器内の気体の処理に 30 分かかったり，数 L/min のガス流を分解する研究が行われています。しかし，産業分野で実用化するには，1,000 L/min 以上の大流量処理が求められます。そこで沖野研究室では，誘電体バリア放電を用いて大面積の大気圧低温プラズマを発生させる装置を開発し，有害ガスの分解実験を行っています。例えば，右写真のような大流量排ガス分解処理用の誘電体バリア放電処理装置を開発し，様々なガスの大面積プラズマを安定に生成しています。ガス中の有害物質や臭気成分がプラズマ中を通過すると，質量の小さい分子に分解されます。100 ppm のトルエンを含む空気の処理では，50 L/min の流量でも 90%以上の分解率を得ることができました。

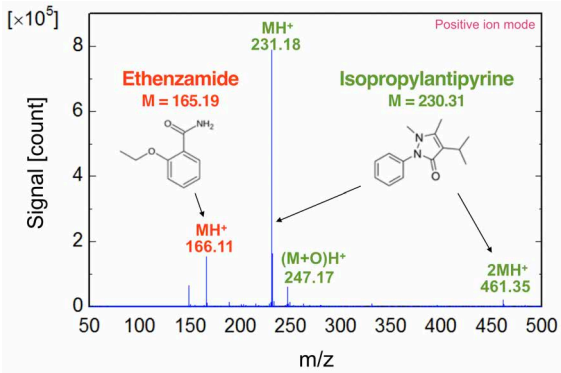


現在は，さらなる大流量の処理を目めざして，左写真のような多層化したバリア放電装置を開発し，1,000 L/min オーダーの処理実験を開始しています。

さわれるプラズマを用いた表面付着物分析装置

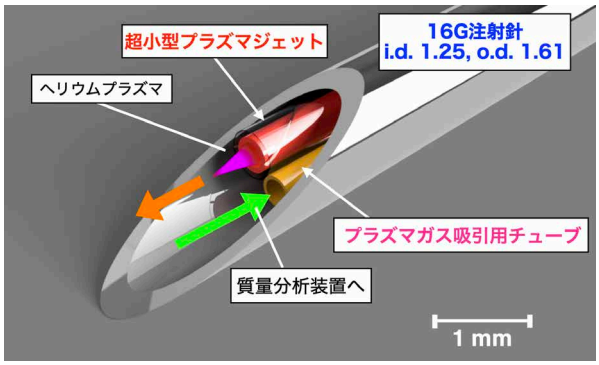
Measurement system for surface adhesion compounds using touchable plasma

医療，美容，食品，犯罪捜査などの分野では，皮膚等の熱に弱い物質の表面に付着した微量な物質の分析が求められています。例えば医療分野では，皮膚に付着した汗や皮脂の成分を用いた疾病の診断が期待できます。しかし，表面に損傷を与えずに付着物だけを分析するのは容易ではありません。低温プラズマ中には様々な活性種が存在するため，そのエネルギーで表面に付着した物質を分解する事なくソフトに脱離させ，さらにイオン化して質量分析装置に導入します。表面に付着していた物質は，分子を分解されずに質量分析されるため，どんな物質が付着していたかを容易に判断することができます。さらに，触れる程度の低出力レーザーで付着物を脱離させ，低温プラズマでソフトにイオン化することで，表面の微小な領域に付着した物質を分析する手法を開発しています。レーザーをスキャンすることで，表面付着物のマッピング分析が実現できます。今後は，新しい装置の開発と，脱離やイオン化機構の解明を並行して実施していきます。さらに，信頼性の高いデータを得るために，付着物の質量分析と，付着物中の金属元素の質量分析を同時に行える装置を開発する計画です。

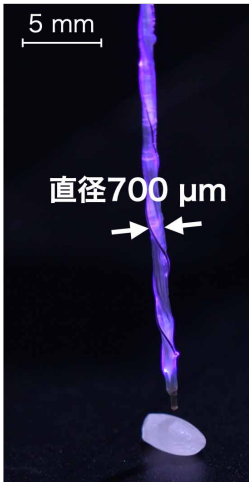


生体内薬剤分析のための注射プラズマプローブ

Plasma injection probe for *in vivo* drug analysis



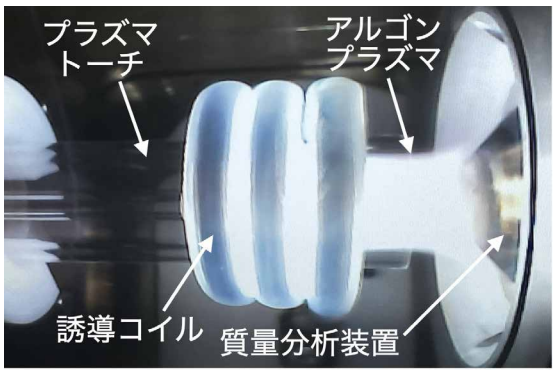
抗がん剤などの薬剤が十分な効果を発揮するためには，治療対象となる組織に適切な濃度で到達する事が重要です。しかし，薬剤を投与した患者の体内の薬剤濃度分布を測定することは容易ではありません。そこで，注射針に超小型プラズマジェットを内蔵した，注射プラズマプローブを開発しました。この装置では，低温プラズマを生体内部の分析対象組織に照射して薬剤分子を気化させ，体外に取り出すことで質量分析を行います。これにより，生体内薬剤を高い空間分解能で測定する事ができます。また，注射プラズマプローブを体内に留置して分析を行うことで，特定位置での薬剤濃度の時間変化を測定することも可能です。



直径約 700 μm の超小型プラズマジェットを開発し，外径約 1.6 mm の注射針に内蔵することで注射プラズマプローブを作製しました。生体内に近い条件下で分析を行うため，生体を模擬した試料を作製して注射プラズマプローブを挿入して分析を行いました。その結果，薬剤の濃度に依存し質量信号を得ることができ，生体内薬剤分析の実現可能性を示しました。今後は，プラズマ生成条件の検討や，脱離した薬剤を効率よく質量分析装置に導入する方法の検討などを行い，分析感度を向上させる予定です。

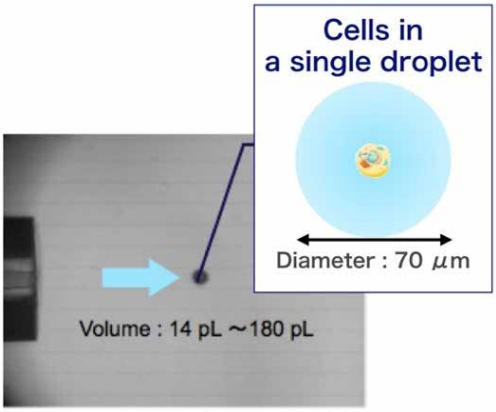
単一細胞中の全元素超高感度分析システム

Measurement system of multi-elements in single cell



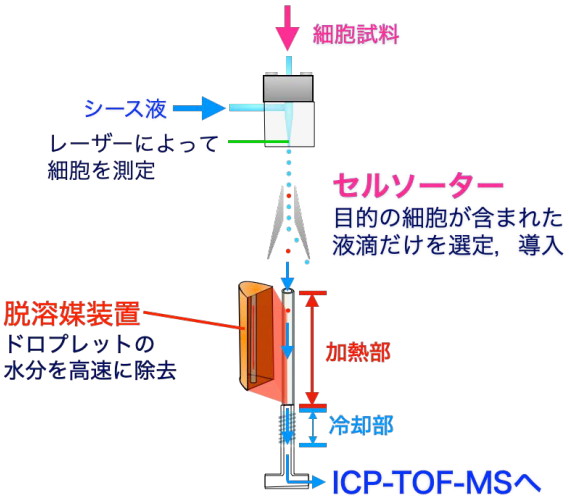
近年，単一細胞や単一微粒子中の微量元素分析への要求が高まっています。これらが可能になると，例えば iPS 細胞の分化メカニズムや，大気粉塵の起源の解明につながると期待されています。

超微量の元素を分析する手法として，約 5,000℃の高温のプラズマを用いる誘導結合プラズマ (Inductively Coupled Plasma; ICP) 発光・質量分析法が広く使用されています。ICP 質量分析法では，右図のプラズマトーチの内部でアルゴンプラズマを生成し，分析試料をプラズマ中に導入して原子・イオン化します。そして，質量分析装置に導入してイオンの数を計数します。この ICP 質量分析法では，ng/L 程度の超高感度分析が可能です。例えば，50 m プールの中に溶けた数 mg の元素も測定できます。



しかし，細胞や大気粉塵は非常に小さいため，元素の絶対量が少なすぎて分析することが困難でした。そこで沖野研究室では，左写真のように直径 70 μm のドロプレット（微小液滴）を 1 滴だけプラズマに導入できるドロプレットネブライザを開発し，ICP 質量分析装置に適用しました。その結果，従来装置の約 1/100,000 となる超微少量の試料導入と，55 zg（55×10^{-21}g, Na）の検出下限（おそらく世界最高感度）を実現しました。さらに，ドロプレット中に単細胞藻類やヒトのがん細胞一個を内包させることで，単一細胞中の多元素同時分析に成功しています。

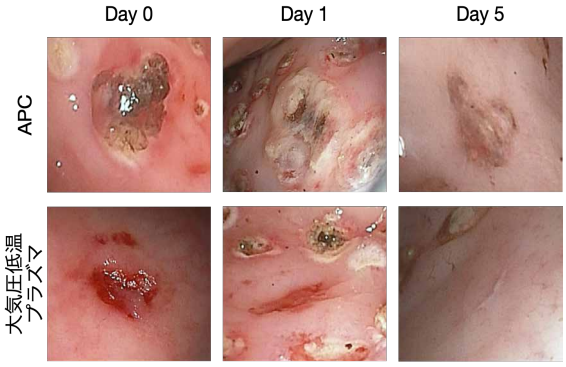
現在は，科学研究費補助金基盤研究(S)を用いて，セルソーターを備えたフローサイトメーターと ICP 質量分析装置を直結させた“メタルサイトメーター”の開発に取り組んでいます。この装置では，フローサイトメーターによって射出されたドロプレットをセルソーターによって選別し，分析対象とする細胞が含まれたドロプレットだけを高温プラズマに導入します。これにより，1 秒間に 1,000 細胞という高い試料導入頻度を実現します。さらに，分析感度を上げるため，ドロプレットが分析装置に導入される前に，ドロプレットの水分を高速に除去するデバイスを開発しています。下図のように，まずドロプレットに赤外線を集光照射して水分を蒸発させます。次に，下流に配置した冷却部で蒸発した水分を凝集して除去します。そして，乾燥された細胞だけを高温プラズマに導入します。これによってドロプレットの溶媒によるプラズマへの負荷が低減し，分析感度が大幅に向上しました。さらに，プラズマ中で発生した光は分光器で時間分解分光分析を行い，発生したイオンは飛行時間型質量分析装置（TOF-MS）に導入して多元素同時分析を行うことで，高濃度から超低濃度の元素までを分析します。また，細胞導入による過渡的な発光や質量信号に適した信号処理法の開発にも取り組んでいます。



この装置が完成すると，世界初となる実用的な単一細胞，ナノ粒子中多元素同時分析が可能となり，再生医療，医療基礎研究，材料開発，環境分析など，極めて広い分野への貢献が期待できます。

内視鏡止血用小型マルチガスプラズマジェット

Multi-gas small plasma jet device for endoscopic hemostasis

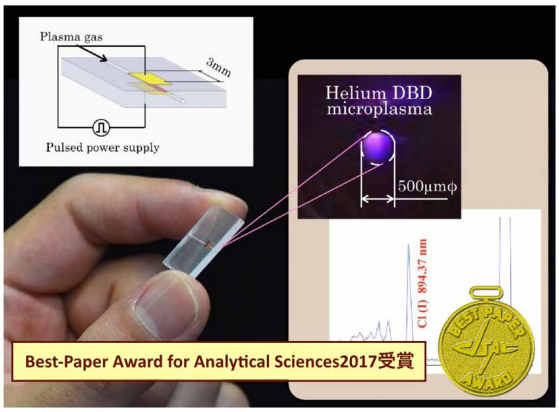


近年，患者への負担が少ない手術法として内視鏡手術の需要が高まっています。ひとつの止血方法として，アルゴンプラズマ凝固装置（Argon Plasma Coagulation; APC）と呼ばれる方法が使用されていますが，APC は約 3,000℃の高温プラズマで止血するため，穿孔や術後に潰瘍を生じる場合がありました。そこで沖野研究室では，大気圧低温プラズマを用いた内視鏡用プラズマ止血装置の開発を行っています。この装置では，熱による血液凝固ではなく，プラズマ中で生成される活性種によって血液凝固を行います。

プラズマ装置を内視鏡に組み込むためには，直径 3 mm 程度の鉗子口に挿入できる小型のプラズマ装置が必要です。そこで，金属の 3D プリンタを用いて直径 2.8 mm の小型プラズマジェットを製作しました。開発したプラズマジェットの内視鏡下での止血効果や処理後の組織への侵襲性を調べるため，生体豚の胃や大腸内で止血実験を行いました。その結果，APC による止血の場合では，高温によって組織が炭化されて 5 日後には潰瘍化しましたが，大気圧低温プラズマで止血した場合では，処理後の炭化や潰瘍化は見られず，5 日後には正常に回復していることが確認されました。今後は，止血効果の向上や，デバイスへの電気メスの組み込みなど多機能化を行っていく計画です。

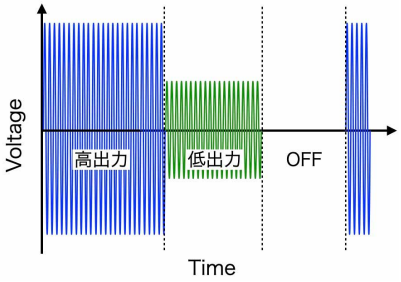
インバータを用いた μ-TAS 用プラズマ励起源

Plasma excitation source for μ-TAS using inverter power supply



近年，微少量試料を連続的に分析可能な高感度かつ小型な装置として，試料導入部や検出部などをマイクロチップ上に集積させた Micro Total Analysis System (μ-TAS) が注目されています。沖野研究室では μ-TAS に組み込める超小型の検出器として，プラズマを励起源とする発光分光分析用光源を開発しています。右に示すようなマイクロチップを用いて直径 1 mm 以下の誘電体バリア放電を生成し，sub-ppm オーダのハロゲン元素の発光分光分析に成功しています。

さらなる分析感度向上のためには，プラズマの放電条件を最適化する必要がありますが，この最適放電条件は分析対象とする元素ごとに異なります。そこで，インバータ電源を用いて放電電圧を変更できるプラズマ光源を作成しました。このプラズマ装置では，左図のように放電電圧を時間的に変化させたプラズマを生成します。実験では，ヘリウムの発光強度を 3 倍以上，励起温度を 1,900 K から 3,600 K まで変化させる事に成功しています。この方法により，元素ごとに最適な放電状態を生成し，複数元素の高感度分析をめざします。



卒業生の言葉

Message from graduates

徐 茂　Mao Xu

令和６年３月博士後期課程修了，誘電体バリア放電に基づいた大流量プラズマ源の開発と大気汚染物質分解への応用

沖野研究室は非常に自由闊達な雰囲気であり，学生は希望通りに研究テーマが選択できます。沖野先生は学生の意見やアイディアを尊重されるので，相談しやすく，学生に適した指導を与えて頂けます。なので，自主性の高い博士志望の学生に沖野研を強くお勧めしたいと思います。さらに，もう一つのお薦めポイントですが，学生間も沖野先生も話しやすい雰囲気なので，楽しく研究室生活を送れます。例えば，たこ焼きパーティや麻雀稽古がよく行われるので，私はとても楽しみにしていました。私は麻雀ができませんが，皆がワイワイ楽しんでいるところを見るのが好きなので，よく笑いながら麻雀観戦をしていました。このような楽しい思い出を頂いた沖野研メンバーに大変感謝しています。

日原 弘喜　Koki Hihara

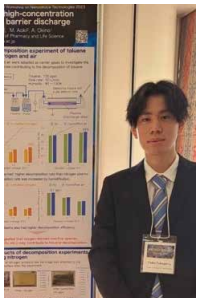
令和６年３月修士課程修了，異種材料集積のためのパーティクルフリーリニア型プラズマ装置の開発

沖野研は非常に自由な研究室です。研究内容や進め方について自分で決められる裁量が大きく，先生に相談すれば独自の研究も行えます。私はそのおかげで様々な機関と連携しながらプロジェクトを進めたり，アメリカの国際学会で発表したり，非常に貴重な体験をすることができました。研究を行ううえで，様々な課題がでてくることがありますが，沖野先生や先輩たち相談すると，そのたびに親身になって問題解決策を一緒に考えていただけました。そのおかげで快適に研究生活を送ることができました。沖野先生並びに沖野研究室の皆様には非常に感謝しています。

福山 陽平　Yohei Fukuyama

令和６年３月修士課程修了，大面積誘電体バリア放電による高濃度トルエン処理のプロセス開発

私は高専で，プラズマの研究を行っていました。大学院でも継続してプラズマの研究を行いたいと思い，沖野研究室を志望しました。研究がうまくいかない日は終電で帰るなど，大変な日々もありました。しかし，頼りになる先輩，優しい同期や後輩に支えられ，なんとか２年間を乗り切ることができました。また，沖野研究室ではたこ焼きや餃子パーティなどが定期的に開催され，麻雀やカタンなどのゲームも高頻度で行われます。もちろんお金は賭けていませんが，なぜか負けた人は落ち込んで帰ります。なので，沖野研究室へ所属する前に雀魂で麻雀力を鍛え，アカギを見ておくことをオススメします。



山内 素明　Motoaki Yamauchi

令和６年３月修士課程修了，大気圧プラズマ処理による機能性樹脂材料の接着性強化

沖野研での研究の魅力は，現象が目に見えて，鮮やかできれいなことです。私もはじめはプラズマの美しさに惹かれて志望しました。実際の研究では，プラズマの持つ産業的な効果や仕組みをいちから学び，美しさ以外の一面を知ることができました。また，研究室の雰囲気も和気あいあいとしており，ときには麻雀やボードゲームをして気を緩めました。研究室の仲間で購入したギターは私の新しい趣味となり，普段の生活もより充実したものとなりました。学部４年次からの３年間，研究をはじめとして沖野先生と皆さんに大変お世話になりました。ありがとうございました。

最近の主な研究業績

Selected publications and awards

研究論文・解説

(1) M. Xu, Y. Mori, Z. Liu, Y. Fukuyama, Y. Sumiya, T. Zhan and A. Okino, Design and Characterization of an Upscaled Dielectric Barrier Discharge-Based Ten-Layer Plasma Source for High-Flow-Rate Gas Treatment, *Applied Sciences*, 14, 1, 27 (2024).

(2) Y. Tanaka, T. Osawa, Y. Yamagishi, A. Okino and Y. Ogra, Degradation of Antibiotics by Reactive Species Generated from Multi-Gas Plasma jet, *Plasma*, 6, 3, pp.541-549 (2023).

(3) M. Xu, Y. Fukuyama, K. Nakai, Z. Liu, Y. Sumiya and A. Okino, Characteristics of Double-Layer, Large-Flow Dielectric Barrier Discharge Plasma Source for Toluene Decomposition, Plasma (2023).

(4) 柳川由紀，沖野晃俊，光原一朗，大気圧プラズマを用いた植物のゲノム編集, 化学, 78, 11, pp.12-15 (2023).

(5) S. Hosoda, T. Ohta, S. Kohno, T. Miyake, T. Iwai, K. Chiba and A. Okino, Comparative Evaluation of Micro-Particles of Different Materials by M-DIN ICP-MS, Metallomics Research, 3, 1, #MR202301 (2023).

(6) Y. Yanagawa, Y. Suenaga, Y. Iijima, M. Endo, N. Sanada, E. Katoh, S. Toki, A. Okino and I. Mitsuhara, Genome Editing by Introduction of Cas9/sgRNA into Plant Cells using Temperature-Controlled Atmospheric Pressure Plasma, PLOS ONE, 0281767 (2023).

(7) T. Ohta, D. Ogasawara, T. Iwai, H. Miyahara and A. Okino, Development of Ultrasonic Pulsed Plasma Jet Source for Remote Surface Treatment, Applied Sciences, 13, pp.444-453 (2022).

(8) Y. Suenaga, H. Kawano, T. Takamatsu, Y. Matsumura, N. Ito, A. Iwasawa and A. Okino, Ultrasonic-Combined Plasma Bubbling for Adherent Bacteria Disinfection on Medical Equipment, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 42, 3, pp.575-586 (2022).

(9) Y. Yanagawa, Y. Suenaga, Y. Iijima, A. Okino and I. Mitsuhara, Temperature-Controlled Atmospheric-pressure Plasma Treatment Induces Protein Uptake via Clathrin-mediated Endocytosis in Tobacco Cells, *Plant Biotechnology*, 39, 22.0105a (2022).

(10) N. Yoda, Y. Abe, Y. Suenaga, Y. Matsudate, T. Hoshino, T. Sugano, A. Okino and K. Sasaki, Resin Cement–Zirconia Bond Strengthening by Exposure to Low-Temperature Atmospheric Pressure Multi-gas Plasma, *materials*, 15, 2, 631 (2022).

(11) 松村有里子, 岩澤篤郎, 加地大樹, 岩間暁子, 中西秀行, 小澤茂樹, 沖野晃俊, 日本国内における紙幣および貨幣に付着した微生物の実態調査, 日本防菌防黴学会誌, 50, 1, pp.3-11 (2022).

(12) 大澤泰樹，沖野晃俊，進化する抗菌･抗ウイルスの化学，大気圧低温プラズマを用いた殺菌･ウイルス不活化技術，化学と工業, 85, 1, pp.14-16 (2022).

(13) 沖野晃俊，福智魁，太田高志，–最先端医療の今– 単一細胞中金属元素分析システムの開発，Medical Science Digest, 48, 12, pp.609-612 (2022).

(14) 大澤泰樹，福智魁，福山陽平，松村有里子，岩澤篤郎，沖野晃俊，プラズマを用いたウイルスの不活化，特集 ウイルス感染症と関連技術，静電気学会誌, 46, 4, pp.150-154 (2022).

(15) Y. Suenaga, T. Takamatsu, T. Aizawa, S. Moriya, Y. Matsumura, A. Iwasawa and A. Okino, Plasma Gas Temperature Control Performance of Metal 3D-Printed Multi-gas Temperature-controllable Plasma Jet, *Applied Sciences*, 11, 24, 11686 (2021).

(16) Y. Suenaga, T. Takamatsu, T. Aizawa, S. Moriya, Y. Matsumura, A. Iwasawa and A. Okino, Influence of Controlling Plasma Gas Species and Temperature on Reactive Species and Bactericidal Effect of the Plasma, *Applied Sciences*, 11, 24, 11674 (2021).

書籍

(1) T. Osawa, Z. Liu and A. Okino 著 (分担), Hydrophilic treatment using atmospheric pressure low-temperature plasma, *Biomedical Engineering 2*, Chapter 3, Jenny Stanford Publishing (2024).

(2) 八井田朱音，大澤泰樹，沖野晃俊 著(分担)，生体表面における付着物の高感度分析，異物分析のノウハウ，テクニック，同定事例集 (in press).

(3) 大澤泰樹，劉智志，福智魁，八井田朱音，松村有里子，岩澤篤郎，沖野晃俊 著(分担)，プラズマを用いた液中病原体の不活化処理，防菌防黴事典，防菌防黴学会 (in press).

(4) 山内素明，白井晶都，大澤泰樹，福智魁，八井田朱音，山崎顕一，沖野晃俊 (分担)，大気圧プラズマによる親水化処理，高分子材料の表面改質技術, 第 II 編 第 2 章，シーエムシー出版, pp.34-42 (2023).

(5) 大澤泰樹，相澤駿輝，沖野晃俊 (分担)，プラズマ産業革新技術, シーエムシー出版, pp.1-10 (2023).

(6) Y. Suenaga, T. Takamatsu, T. Aizawa, S. Moriya, Y. Matsumura, A. Iwasawa and A. Okino (分担), B-G. Rusu, Ed., Recent Advances in Atmospheric-Pressure Plasma Technology, MDPI books, pp.65-74 (2023).

(7) 劉智志，山内素明，大澤泰樹，徐茂，沖野晃俊 著 (分担，大気圧プラズマを用いたポリイミドフィルムの親水化処理，ポリイミドの高機能設計と応用技術，情報技術協会，pp.354-361 (2022).

(8) A. Okino, H. Miyahara (分担), A. Montaser 編, Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy: Novel Instrumentation and Applications, Second Edition, Wiley-Blackwell (2022).

(9) 高松利寛，末永祐磨，松村有里子，岩澤篤郎，沖野晃俊 著（分担），大気圧プラズマを利用した殺菌・ウイルスの不活化，抗菌・抗ウイルスのメカニズム，材料開発，付与技術と評価手法，技術情報協会 (2021).

国際特許

(1) プラズマ温度制御装置及びプラズマ温度制御方法　日本，米国，中国，シンガポール等特許査定
(2) プラズマを用いて植物細胞内に物質を導入する方法　PCT/JP2017/21361
(3) プラズマ生成用ガスおよびプラズマ生成方法　PCT/JP2012/064687
ほか約 20 件

国内特許

(1) プラズマを用いてゲノム編集酵素を植物細胞内に導入する方法　特許 7448120 号
(2) 組織の把持と組織へのプラズマ照射とを可能にするエンドエフェクタ...　特許 7061788 号
(3) プラズマを用いて植物細胞内に物質を導入する方法　特許 6875686 号
ほか約 70 件

新聞報道・テレビ出演等

(1) フジテレビ「呼び出し先生タナカ」, 静電気実験監修, 2023/11/27
(2) NIKKEI Tech Foresight, “プラズマで植物ゲノム編集 品種改良に”, 2023/5/30
(3) 日刊工業新聞, “大気圧プラズマで植物のゲノム編集”, 2023/5/25
(4) 化学工業日報, “大気圧プラズマ照射でゲノム編集 DNA 除去不要に 植物の品種改良ツール”, 2023/5/22
(5) 日刊工業新聞, “東工大など，注射針内蔵型の低温プラズマ生成装置開発 直径 1 mm，体内薬剤濃度計測”, 2022/7/8
(6) 日本テレビ, hulu「パンドラの果実 〜科学犯罪捜査ファイル〜」, 物理監修, 2022/4〜8
(7) 日本経済新聞, 日経産業新聞ほか, “プラズマ, 温度調節容易に 東工大などが新装置”, 2022/2/21
(8) TBS テレビ「未来の起源」, “内視鏡に取り付けられるプラズマ照射装置”, 吉田真優子, 2019/3/3, 10
(9) 日本テレビ「イノセンス 冤罪弁護士」, 化学監修, 2019/3
(10) 日経産業新聞, “低温プラズマで止血 東工大, 内視鏡向け装置 3D プリンタを活用 照射部分を小型化”, 2018/10/19
(11) 集英社 週刊ヤングジャンプ「妖怪少女 -モンスガ-」, 2014 年 14 号-2017 年 30 号
(12) TBS テレビ「未来の起源」, “プラズマを使った成分分析”, 相田真里, 2016/4/10, 17

受賞等 （大臣表彰：1 件，国際学会賞 35 件，国内学会賞：100 件，学内表彰：36 件，その他：9 件　全 181 件）

(1) 電気電子系学士優秀学生賞 24: 白井晶都, 太原誠也, 22: 山内素明, 21: 大澤泰樹
(2) 生体医歯工学共同研究拠点各賞 24: 清水祐哉, 17: 小笠原大介
(3) ライフエンジニアリングコース 各賞 24: 山路周, 23: 福智魁, 清水祐哉, 22: 石川雄大, 相澤駿輝, 21: 野口剛, 20: 守屋翔平, 17: 河野聡史
(4) 電気学会 各賞 23: 古谷淳之介, 太原誠也, 22: 福山陽平, 福智魁, 21: 山内素明, 19: 飯島勇介, 馬場美岬, 17: 阿部哲也, 16: 井上祐貴, 15: 小林智裕, 14: 石原由紀子, 大下貴也, 11: 田村利幸, 06: 坂本敏郎, 95: 沖野晃俊
(5) 日本分析化学会 各賞 23: 太原誠也, 福智魁, 福山陽平, 22: 福智魁, 21: 清水祐哉, 17: 河野聡史, 16: 槍柄直人, 15: 井上裕貴, 掛川賢, 12: 野村亮仁, 11: 鏑木結貴, 高妻智一, 10: 岩井貴弘, 09: 永田洋一, 重田香織, 06: 瀧本和靖, 宮原秀一, 05: 大場吾郎
(6) SPACC awards 23: 大澤泰樹, 19: 末永祐磨
(7) プラズマ分光分析研究会 各賞 23: 太原誠也, 清水祐哉 x2, 福智魁 x2, 古谷淳之介, 22: 福山陽平 x2, 清水祐哉, 大澤泰樹, 21: 吉田大輝, 相澤駿輝 x2, 大澤泰樹, 19: 吉田真優子, 吉田真己, 18: 吉田真優子, 岡本悠生, 17: 河野聡史, 馬場美岬, 16: 相田真里, 阿部哲也, 15: 掛川賢, 鎗柄直人, 14: 相田真里, 掛川賢, 宇都宮嘉孝, 川野浩明, 13: 野村亮仁, 奥村健祐, 石原由紀子, 12: 野村亮仁, 高妻智一, 10: 岩井貴弘, 鏑木結貴, 09: 永田洋一, 高橋勇一郎, 重田香織, 07: 永田洋一, 06: 熊谷航, 05: 大場吾朗
(8) 一般社団法人あにまるすまいる 各賞 23: 大澤泰樹, 沖野晃俊
(9) Joint seminar on plasma and elemental research 各賞 23: 清水祐哉, 福智魁
(10) International Symposium on Metallomics, Metallomics research Award 22: 相澤駿輝
(11) ConMetal 各賞 20: 柳井優作, 太田高志
(12) Analytical Sciences 誌 各賞 18: 掛川賢, 15: 石原由紀子, 14: 宮原秀一, 13: 岩井貴弘
(13) メタロミクス研究フォーラム 各賞 18: 飯島勇介, 吉田真優子, 河野聡史, 岡本悠生
(14) Winter Conference on Plasma Spectrochemistry 各賞 17: 相田真里, 河野聡史, 15: 相田真里, 11: 岩井貴弘, 08: 永田洋一, 06: 沖野晃俊, 宮原秀一, 02: 薮田泰伸
(15) 日本防菌防黴学会 ポスター賞 17: 川野浩明
(16) 創造エネルギー専攻 各賞 17: 細田駿介, 15: 石原由紀子, 13: 高妻智一, 12: 柴田萌, 10: 中島尚紀 (最優秀), 08: 永田洋一, 07: 瀧本和靖 (最優秀), 野崎啓, 06: 坂本敏郎, 大場吾朗, 05: 土肥隆行, 02: 宮原秀一 (最優秀)
(17) 日本分光学会 各賞 16: 細田駿介, 14: 岩井貴弘, 渡辺洋輔, 13: 石原由紀子, 12: 野村亮仁, 11: 高妻智一, 10: 鏑木結貴, 09: 重田香織, 田村利幸, 08: 山崎正太郎
(18) 応用物理学会 Poster Award 15: 井上裕貴
(19) International Symposium on Microchemistry and Microsystems Best Poster Award of EMN 15: 宮原秀一
(20) Top 25 most read JAAS articles 14: 重田香織
(21) Department of Energy Sciences Presentation Award 13: 岩井貴弘 (Best), 高松利寛, 12: 鏑木結貴 (Best), 11: 柴田萌, 10: 重田香織, 田村利幸, 09: 中島尚紀, 08: 永田洋一
(22) Bioelectrics Best Poster Award 12: 高松利寛
(23) The Federation of Analytical Chemistry and Spectroscopy, Student Poster Award 11: 鏑木結貴
(24) Plasma Conference 若手優秀発表賞 11: 大下貴也
(25) CSI presentation prize 11: 岩井貴弘, 07: 宮原秀一, 03: 沖野晃俊 (1st Prize)

Okino Laboratory, Institute of Innovative Research, Tokyo Institute of Technology

東京工業大学 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所 沖野研究室

電気電子系 ライフエンジニアリングコース 電気電子コース

202404