

研究室紹介

放射線研究センター放射線安全管理学グループ

大阪府立大学研究推進機構放射線研究センター 松浦寛人

はじめに

このたび、私の研究グループ紹介の機会を与えてくださいましたプラズマエレクトロニクス分科会幹事の皆様には深く感謝いたします。グループ名を見るとプラズマとの関連があまり見えなと思いますので、はじめに私の所属について、簡単に紹介させていただきます。

現在の大阪府立大学は、平成 17 年度に府立の 3 大学が統合して設立され、平成 24 年度より学域制を学士課程に導入しております。特に工学域は中期日程という独特な入試日程で関西圏では広く知られています。府立大学のルーツは、明治 16 年設置の獣医学講習所での軍用馬の獣医教育までさかのぼることができ、平成 25 年には創基 130 年を祝いました。放射線研究センターは、昭和 34 年に設置された大阪府立放射線中央研究所が母体であり、平成 2 年に法人化前の旧大阪府立大学に統合されています。平成 29 年度の改組より、研究推進機構の 1 センターとして学内利用および学外利用に供されています。

このような歴史的背景から、放射線研究センターは地方大学にはありえないほどの大規模放射線照射施設を有し、センター教員は施設管理のための 5 つの研究グループ(部門)に配置されています。例えば、コバルト 60 ガンマ線照射施設は 4 つの照射室と独特な照射プール(図 1)からなり、線源強度は 1.8 PBq で、最大照射線量率は 50 kGy/h に達します。[1] そのため、センターの研究グループは、通常の大学の講座とは成り立ちが違い、管理部門的扱いでしたが、平成 25 年度に新設さ

れた大学院工学研究科の量子放射線系専攻の教育もセンター教員が担当することになったため、最近では学生も参加した研究活動も進められています。安全管理学グループはしばらく専任スタッフが不在でしたが、平成 27 年度に秋吉准教授が採用され、翌年、私が量子線材料研究グループより移動して、改めて研究グループの再立ち上げを始めています。



図 1 コバルト 60 ガンマ線照射プールと水中線源からのチェレンコフ光

安全管理業務

研究グループの名称にもなっている放射線安全管理学は放射線源や加速器を対象とした安全システムの構築のみならず、環境計測、安全教育等多岐にわたっており、未だ体系的な学問として確立しておりません。我々もセンター施設の安全管理、放射線作業従事者の被ばく記録の管理、学内外からの共同研究の受け入れ、一般公衆への正しい知識普及活動などを通じてこの研究分野の形成

に寄与したいと考えております。

放射線研究センターの重要な業務には、所有する機器の管理、利用受け入れに加えて、キャンパス内の放射線作業従事者登録された教員や学生の被ばく記録の保管管理があります。この記録は本人の在学の有無はおろか、死後であっても永久保管することが、国の法体系で求められており、本学教員や学生の高エネルギー研や量研機構での共同研究の際には、必ず提出を求められます。個人の被ばく管理記録がないと、研究分野によらず、共同研究の遂行に支障がでますので、その管理は重要な業務になっています。

知識普及活動としては、中高生を対象としたオープンスクール活動や、学内行事と連動した施設公開の他、文科省や堺市に申請採択された人材教育プロジェクトに積極的に寄与しています。中でも、関西の様々な団体と共済している「みんなのくらしと放射線展」は、本年、第34回を数え、のべ50万人の参加者を集めています。(図2)

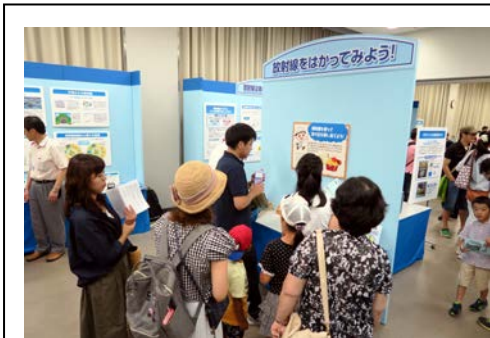


図2 みんなのくらしと放射線展

研究テーマ

私が学生時代から遂行している研究テーマはダイバータープラズマの制御と関連する炉工学、プラズマ計測です。21世紀のエネルギーとして原型炉の工学設計が進められている磁気閉じ込め核融合炉では $10\text{MW}/\text{m}^2$ を越える熱流束を持つプラ

ズマが固体装置壁と相互作用すると予想され、その制御が世界的にも重要な研究テーマとなっています。ダイバーターは、核融合プラズマ装置の周辺部にあり、プラズマが開いた磁力線に沿って固体と直接相互作用する部分の名称です。現在、最も有力な熱流束低減法は、放射損失によりプラズマ温度を下げ、再結合状態のプラズマ(非接触プラズマ)を安定に維持することと考えられています。そのため、中性粒子の挙動やプラズマ対抗材料内での水素挙動を正確に再現するシミュレーションモデルの改良[2]と、小型の直流放電プラズマを用いた模擬実験が推し進められており、学外の研究者たちと共同研究を進めています。図3は、東京大学(当時)のダイバーター模擬装置 MAP-II で生成された非接触プラズマの写真です。熱流のバイアス電圧依存性からイオン温度を評価するために開発されたサーマルプローブも写っています。

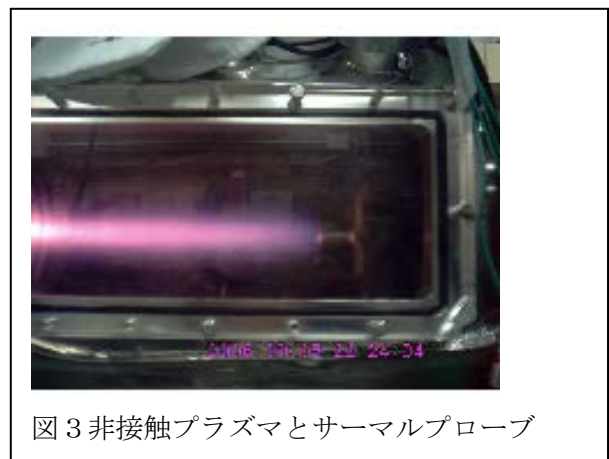


図3 非接触プラズマとサーマルプローブ

プラズマから固体への熱流束とその時間変化の評価は基本的な計測でありながら未だ確立された技術にはなっていません。熱流束の値は、プラズマ内の様々な原子分子過程のみならず、固体表面状態にも依存するため、固体の特定点での温度測定データを再現する様に逆熱伝導モデルを解く必要があります。我々は低圧の直流グロープラズマ

や上記のダイバーター模擬プラズマのみならず、共同研究を通して、様々な核融合実験装置での熱流束計測法の開発を進めています。この過程で開発したプラズマ熱流束評価法[3]は、プラズマ加熱用ビームの熱流束評価にも応用されています。図4は、核融合科学研究所の大型ヘリカル装置のプラズマを透過した加熱用中性粒子ビームパワーの時間変化を示しています。プラズマの密度増加に伴うビーム透過量のゆっくりした減少のほかに、プラズマ中に誘起された不安定性による透過量の変動が観測され、熱流束評価がプラズマそのものの不安定性計測に応用できうることを提案しています。最近では、生体物質を標的とした大気圧プラズマからの熱流束も評価し、プラズマプロセスに熱の影響が無視しうることやヘリウムガス流による水の蒸発促進が自然対流を誘起することを検証しています。

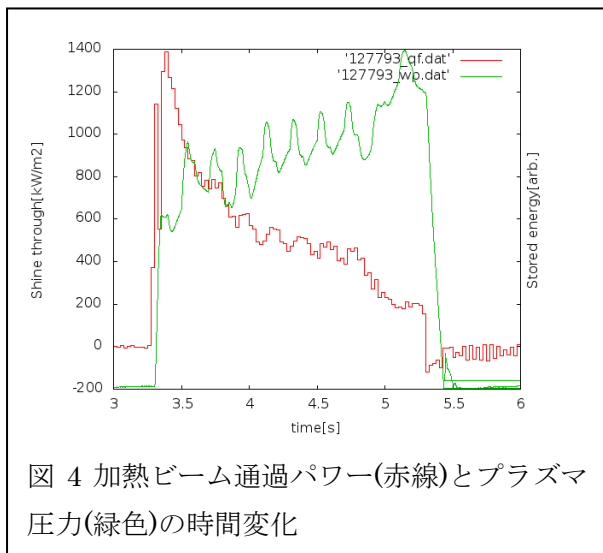


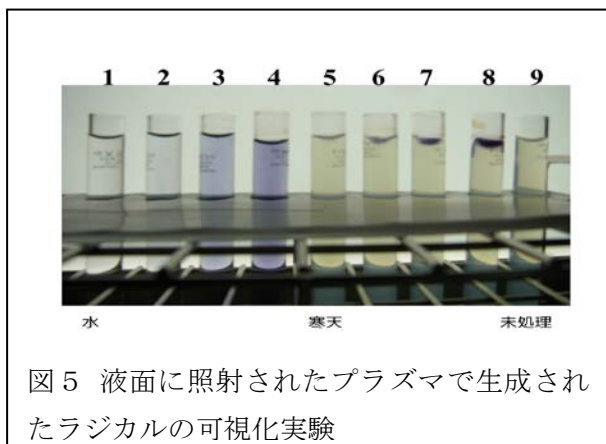
図4 加熱ビーム通過パワー(赤線)とプラズマ圧力(緑色)の時間変化

上記の様な熱伝導解析で最も重要なパラメータは固体ターゲット(液体の場合もあります)材料の熱伝導率や熱拡散率と言った物性値です。しかし、原子力分野(核融合炉のダイバーター、高温ガス炉の燃料被覆材など)では、中性子照射損傷

による熱特性の著しい低下が報告されています。セラミック材料ではフォノン伝導が主要な熱伝導過程ですが、中性子照射により欠陥が導入されると、これは大幅に阻害されます。[4]核融合炉のプラズマ対向材料と想定されているタングステンもフォノン伝導の寄与が大きく、秋吉准教授は日米プロジェクトをはじめとして国内外との研究者と交流を深め、ダイバーター材料の熱負荷試験に関する研究を進めています。特に、中性子を模擬したイオンビーム照射を受けたサンプルは、そのサイズが小さいため、格子欠陥を調べる陽電子消滅法や熱物性値を調べるレーザーブローオフ法を微小サンプルに適用できるよう改良を進めています。

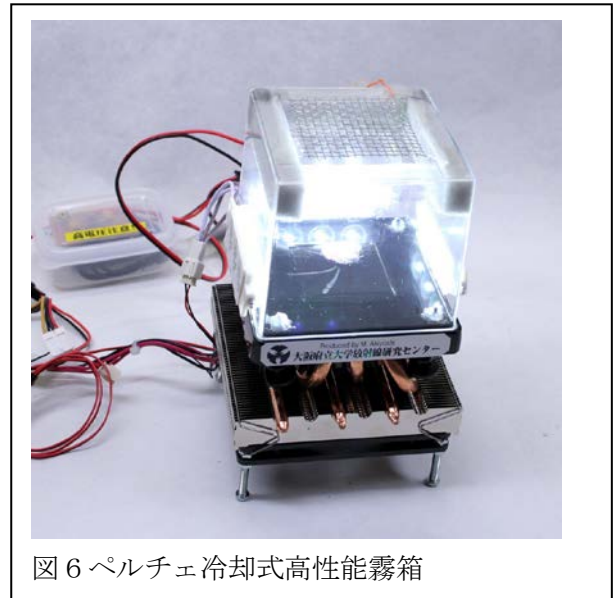
私がプラズマエレクトロニクス分科会とかかわりを持ち始めた頃から、大気圧放電非平衡プラズマの生成とその応用が研究テーマに加わりました。生体物質に対してその場で滅菌を行うためには、大気圧環境でプラズマを生成することが好ましいことはよく知られています。直流放電の理論からは、圧力が上がると放電電極の熱電子放出をベースにした熱プラズマが生成されると予想されますが、電極間に誘電体を設置し交流電圧を印加することにより「冷たい」プラズマの生成が可能です。その中でも Engemann らの提唱した誘電体バリア放電(DBD)プラズマジェットは、装置の簡便さと生成されるプラズマの美しさから、世界中で広く基礎研究や応用に用いられています。我々のグループにおいても、DBD プラズマジェットを生成し、その基礎特性の計測や有害化学物質の分解、放電装置の改良、生体物質への適用が行われてきています。バイオディーゼル燃料に用いられる南洋油桐(*Jatropha Curcus*)の種子に含まれる発がん性のフォルボールエステルの分解については、成書[5]で紹介されています。また、最近ではヨ

ウ化カリウム・デンプン混合液が活性酸素ラジカルの存在下で青紫色を呈することを利用した、ラジカルの生成過程や輸送過程の研究も開始しています。図5ではプラズマ照射された液中のどこでラジカルが生成されたか、液中での輸送速度がどのように違うかを示しています。



最後に、放射線教育プログラムに関係した研究を1例紹介します。放射線の電離作用で空気中に作られる陰陽のイオンは、過飽和アルコール雰囲気中で微小水滴形成の核になります。この原理を利用した放射線検出器が霧箱と呼ばれるもので、これを用いた放射線(主にアルファ線)の軌跡の観察は目で見て直感的に放射線の存在を知ることが出来るため、教育的効果が大変大きく、様々な教育者により改良が成されて来ました。我々は、 -20°C 以下の低温をドライアイス等の寒剤の準備無しにいつでも確実に得る手段として、ペルチェ素子を使用した霧箱を開発し、希望者に実費配布しています。さらに、コッククロフト・ウォルトン回路を用いた高電圧により雑イオン除去を行う機能を付加し、アルファ線のみならずベータ線やガンマ線の軌跡の観測も可能としています。この高性能霧箱を利用した放射線教育プログラムでは、放射線の種類による生物学的影響の違いの理解も

可能なものとしています。我々はこの霧箱を商品化し、組み立てキットを実費で販売しています。



学生募集

我々の研究グループの学生は、工学研究科量子放射線系専攻に属していますが、量子放射線関連の学士課程が大阪府立大学にないため、毎年、学内での説明会のほかに近隣の大学や高専にもリクルート活動を行っています。現在の学生諸君もほとんどが入学と同時に、新しい研究テーマを立ち上げると同時に、放射線取扱主任の国家試験を受験するという、充実した学生生活を送ってくれています。

今年度10月からは、新たに博士前期課程と後期課程に1名ずつの留学生が加わることになりました。母国での環境汚染をプラズマ(および放射線)で解決したいという大志を抱いた彼らの加入は研究室をさらに活性化させてくれると期待しています。



図7 留学生歓迎会

参考文献

- [1]S.Okuda et al.: Proc. ISSI 2011, Hefei (China), 101-103.
- [2] H.Matsuura et al.: Plasma Fusion Res., 6(2011) 2401104.
- [3] H.Matsuura et al.: Contrib. Plasma Phys. 54 (2014) 285-290.
- [4]M.Akiyoshi et al.: Journal of Nuclear Materials, 386-388 (2009) 303-306.
- [5]大久保雅章; “プラズマ産業応用技術”, (シーエムシー出版, 2017年)