

# International Training Program ドイツ ルール大学ボッフム校 派遣報告

## 名古屋大学工学研究科電子情報システム専攻 氏名 井関 紗千子

International Training Program (ITP) 長期派遣プログラムにおいて、ルール大学ボッフム校にて研究を行う機会をいただきました。滞在期間を終えて無事帰国したのでここに報告いたします。派遣期間は、平成 22 年 1 月 6 日から 3 月 7 日までの 61 日間で Uwe Czarnetzki 教授の研究グループで研究を行いました。

### ルール大学ボッフム校について

ルール大学ボッフム校は、ノルトライン＝ヴェストファーレン州ボッフム市にある州立の総合大学です。大学はボッフム市の中心市街から南に位置し、ボッフム中央駅(Bochum Hauptbahnhof)から地下鉄にのり、10 分程度で大学まで行くことができます。大学は小高い丘の上にあります、また大学の南側には木のたくさん生えた学内公園があるため、天気の良い日は見晴らしがよく景色がとてもきれいです。学内は広いですが同じ学部の建物は隣接し、ペDESTリアンデッキでつながっているので講義室やレストランへの移動は容易でした。学内は静かで研究に集中できる良い環境でした。

ルール大学には様々な学部があります。私がお世話になった Czarnetzki 教授の研究室は、実験物理学専攻です。またドイツのプラズマ研究拠点 Center for Plasma Science and Technology (CPST) に属しており、ドイツ国内だけでなく、他国のプラズマ研究者との交流も大変盛んです。

Czarnetzki 教授の研究室では発光分光法やレーザー誘起蛍光法などの技術を有し、光学的手法を用いてプラズマ計測をおこなっています。計測結果と理論計算を比較し、容量結合プラズマ(CCP)、誘導結合プラズマ(ICP)、ホローカソードプラズマなどの詳細な解析を行っています。

### 研究テーマ

プラズマ物理の研究が盛んな Czarnetzki 教授の

研究室で研究することは、私にとって大変有益です。私は学部生、博士前期課程を通して大気圧プラズマを用いた応用技術開発を行いました。そして現在、博士後期課程ではプラズマと生物の相互作用を解明するためにプラズマ医療の研究を行っています。研究内容は応用が中心だったので、サンプル作成や計測手法に知識が偏っていました。研究を行っていく過程で、測定対象である生体は個体差があり変化に富み、臨床に近い実験ほど評価が難しいことがわかりました。プラズマは生成条件や放電の状態により大きく変化するため、正確な研究成果を得るためには、プラズマ物理を深く理解し、プラズマの状態を制御することが不可欠であることがわかりました。

派遣前に Czarnetzki 教授に私の研究内容について連絡する機会があり、博士後期課程の研究テーマに沿った研究を行わせていただくことができました。研究内容は、大気圧下でマイクロホローカソード放電を発生させ、レーザートムソン散乱法によりプラズマ中の電子密度と電子温度を計測することになりました。本研究は Czarnetzki 研究室の博士後期課程の留学生の Du Beilei さんと行いました。



図1 ルール大学ボッフム校

## 研究背景・目的

従来プラズマの制御には、電源の形態、電極に印加するパワー、圧力、プロセスガスなど、機器的なパラメータにより行っていました。さまざまなプラズマ源が存在し、また更なる微細化処理が必要という現状から機器的なパラメータの制御では効果的な評価を行うことができなくなりました。そのため、電子・イオン・ラジカルといったプラズマの内部パラメータの測定を行うことでプラズマ診断を行うようになりました。中でも、電子密度・電子温度はプラズマ診断の重要なプラズマパラメータです。

近年は低コスト化、装置構成の簡便化が進み大気圧でのプロセスが要求されています。大気圧下では平均自由行程が短いことから、電極間隔の短いプラズマが使用されていました。測定を行ったマイクロホローカソードプラズマは大気圧下での発生が容易であり、低エネルギー、ホローカソード効果による電子の密度増加といった、さまざまな利点を有するプラズマです。

プラズマ診断法には、プローブ法、マイクロ波を用いる方法、光学的計測があります。大気圧下では圧力が高く電子の密度が高くなるため、真空中で利用するプローブ計測は行うことができません。またマイクロ波はマイクロ波プラズマの測定には適していますが、低周波のホローカソードプラズマには不適です。光学計測では、水素原子バルマーβラインのシュタルク広がりから算定する方法では、プラズマ中への水素添加により電子密度が上昇してしまうという問題点があります。

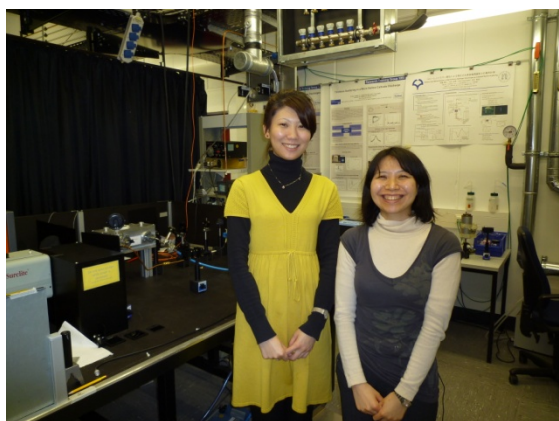


図2 実験室の様子

希ガス主体のプラズマ計測にはレーザートムソン散乱法が有効です。しかし、マイクロプラズマの計測を行うためには、レーザー光を微小領域で制御する必要があり、はっきりとした信号を得ることが困難なため、これまでに正確な測定がおこなわれていませんでした。レーザートムソン散乱法を用いたマイクロプラズマの電子密度・電子温度計測は大変重要です。

## 研究経過

1週目は、研究員のDr. Luggenhoelscherさんが研究室を案内してくださり、E. Schuengelさん、S. Muellerさんと共同研究者のD. Beileiさんの実験を見学させていただきました。高エネルギーのレーザーの使用経験が無かったので、安全に実験するためBeileiさんからレーザーの取り扱いを1から教えてもらうことができ大変勉強になりました。研究室での生活にできるだけ早く慣れるため、昼食やコーヒブレイクと一緒に参加させていただきました。研究室皆大変仲が良く、研究の議論も活発で、有意義な時間を過ごしました。

2-3週目は、計測するマイクロホローカソードプラズマの電流-電圧特性を測定しました。またマイクロプラズマをよりよく理解するために、K. H. Schoenbach, M. Moselhy, W. Shi, and R. Bentley, J. Vac. Sci. Technol. A Volume 21, Issue 4, pp. 1260-1265 (2003)、Journal of Physics D: Applied Physics, A. Rousseau and X. Aubert, J. Phys. D: Appl. Phys. Vol. 39 pp1619 (2006)などの論文を読みました。

4-7週目は、光軸調整をおこないました。微細領域での測定のため、レーザービームの制御が大変重要となります。光学部品は全てX-Y-Z方向にマイクロ領域で可動なステージ上に配置しました。バーンペーパーやビームアナライザを用いて、光学系に光学部品を設置する度に、ビームの状態を計測しました。並行光になっているか、ビームの状態を細かくチェックしたため、多くの時間を費やしましたが、努力の結果、ホロー電極内部にビームが集光され、目標のビーム形状が得られることがわかりました。その後チャンバー内部の光学系と分光器の調整を行いました。また、光軸調整の合間に別の計測に使用するための、ランプ

プロフィールの分光分析も行いました。

## 研究生活

研究に際して、Czarnetzki 教授、研究員の方、事務員さん、ドクターコース、マスターコースの学生、技官の方に大変お世話になりました。研究室に机や PC の作業環境をいただき、研究の環境を整えてくださりました。

研究室の行事としてはミーティングとセミナーに毎週参加しました。ミーティングは火曜日、朝 10 時から行われ、研究の進捗報告をプレゼンテーション形式で発表していました。セミナーは金曜日朝 10:15 頃から行われ、学生の研究成果発表ではさまざまなプラズマの解析結果を聴くことができました。また他大学の教授が講演に来られることも多く、大変勉強になりました。

ミーティングやセミナーはすべて英語で行われました。派遣当初プラズマ物理は初歩的なことしか理解できていなかったのですが、綺麗な英語を話してくださったので、しっかりと理解することができました。また学内でさまざまな講演が開催され、プラズマ物理、プラズマ応用技術から半導体、宇宙プラズマにいたるまで、他大学から来られた先生方の講演を聴く機会がありました。さらにドイツ国内の研究施設や中国やブルガリアからも共同研究者が研究室に実験に訪れていました。また研究室の学生が他大学に行くことも多く、プラズマを勉強するには大変良い環境だと思いました。

## 生活と観光

Bochum に到着した日、Czarnetzki 教授がボッフム中央駅まで迎えに来てくださり、アパートの手続きをスムーズに済ませることができ感激しました。翌日登校する際には Dr. Luggenhoelscher さんが大学まで案内してくださり、帰国の日には Beilei さんが荷物の移動を手伝ってくれました。滞在期間中は、研究室から徒歩約 20 分程度のアパートを用意していただき、約 2 ヶ月間同じアパートに滞在することができました。シャワー・キッチン完備で、インターネットも利用することができ、電車の駅も近く大変便利でした。アパートにはドイツ語と英語で簡単な説明があったのです

が、ゴミ捨て等で戸惑い、研究室の方に助けていただきました。

昼食は毎日” MENZA ”と呼ばれる学生食堂に行きました。学食のメニューは日替わりになっていたのですが、Beilei さんをはじめ研究室の学生さんが丁寧に説明してくれたので要領よく購入できました。主食はジャガイモ、パスタ中心でしたが、ご飯もありました。米はインディカ米でしたがドライカレーや煮込みご飯は日本食に近く食べやすかったです。副食としてサラダや煮込み野菜を多く取るので健康的だと思いました。夕食・朝食は大学の近くの Uni Center という商店街で購入しました。ドイツのスーパーではソーセージや瓶詰・缶詰、調理パンなど加工食品を種類豊富に扱っているので、料理をするのが簡単でした。

ドイツ語はほとんど話せない状態だったので、一人で外食するのは困難でしたが、研究室の友人が誘ってくれたので、ボーフム市の郷土料理やカレーソーセージ、中国料理店、メキシコ料理店などに行き、様々なものを食べることができました。

ボーフム市はルール工業地帯に位置し、電車でライン川に沿って南下すると、周辺の都市には自動車からビールまでさまざまな工場が立ち並んでいました。またドイツにも太陽電池発電の家が多くあり、郊外に出ると風力発電の設備が多くみられ、環境問題に取り組んでいる様子がよくわかりました。

ルール大学の友人と一緒にエッセン市の鉱山博物館やデュッセルドルフの日本人街に行きました。また Czarnetzki 教授の勧めもあり、ボーフム市内の鉱山博物館(Germany Mining Museum)とデュッセルドルフのカーニバルにもいきました。鉱山博物館は炭坑跡地に建てられていました。ボーフム市の博物館は、炭鉱の掘り進み方、炭鉱で使用された工具の発達の様子が詳細に展示されていました。エッセン市の博物館はボーフム市より大きく、地上にも実際に石炭を運んだ鉄道の跡が残されていました。郷土歴史館のような展示も多くみられ、エッセン周辺の地質や中世の城砦都市の絵などの展示もありました。ドイツの絵画や彫刻は無名のものでも大変写実的で、このような正確な記録を行っていることが産業革命以降の大きな発展につながっていったのではないかと大変感銘を受け

ました。日本国内に留まっていると、このようなヨーロッパの地理的な展示や産業革命の歴史的展示を見る機会はほとんどないので、科学者として大変に有益な経験ができたと思います。

今年は雪が大変多く、到着日も出発日も道路に積雪が見られる状態でした。残念ながらドイツの綺麗な車窓の景色を見ることはできませんでしたが、運よく電車の遅れや運行停止に遭遇することなく観光することができました。一人で初めてのヨーロッパ滞在だったので、昨年度の先輩方のように多くの場所を観光することはできませんでしたが、研究室の皆さんの温かい協力のおかげで、多くのドイツ文化に触れることができ、大変有意義に過ごすことができました。

### 派遣を終えて

滞在期間中は常に英語で会話することになったため、国際的に研究活動を行うためのコミュニケーション能力を培うことができました。この経験を今後の博士後期課程の研究に活かしたいと考えています。またこのプログラムで知り合った友人たちと交流を続けたいです。

今回のプログラムでは、数多くの方のお世話になりました。一人で滞在するということもあり、派遣前は不安が多くありました。しかルール大学ボッフム校の方々の協力のおかげで、楽しく過ごすことができ、大変有意義な研究活動行うことが出来ました。

このような機会を与えてくださったルール大学の Czarnetzki 教授に心より感謝申し上げます。最後になりましたが、名古屋大学堀勝教授、関根誠教授、豊田浩孝教授、プラズマ工学研究センター ITP 事務局、名古屋大学職員の皆様に感謝申し上げます。