



研究・開発活動アピール

JSPS 二国間交流事業(日本(NIFS)-中国(ASIPP))活動報告

Collaboration Works of JSPS Bilateral Joint Research Projects (Japan (NIFS) – China (ASIPP))

野尻 訓平¹⁾, 芦川 直子^{2,3)}

NOJIRI Kunpei¹⁾ and ASHIKAWA Naoko^{2,3)}

¹⁾筑波大学プラズマ研究センター, ²⁾核融合科学研究所, ³⁾総合研究大学院大学

(原稿受付: 2020年2月20日)

核融合科学研究所は、中国との共同研究を長く実施しています。これまで、日本学術振興会(JSPS)と中国科学院(CAS)との拠点大学方式学術交流事業としてプラズマ・核融合分野「先進核融合炉の炉心と炉工学に関する研究」(CUP事業)が2001年から2010年までの10年間計画として実施されました。これは、中国科学院等離子体物理研究所(ASIPP: 合肥市)と核融合科学研究所(NIFS: 土岐市)が拠点となった事業で、筆者(芦川)の初めてのASIPP訪問も本事業に基づくものでした。CUP事業終了後、空白期間を経て再び日本学術振興会による日中韓フォーサイト事業(A3事業)「高性能プラズマの定常保持に必要な物理基盤の形成」が2012年8月から5年間計画として実施されました。A3事業のプラズマ壁相互作用(PWI)サブグループでは、特にEAST(ASIPP)やKSTAR(韓国国立核融合研究所(NFRI))でのプラズマ実験に参加する課題実施が主になりました。その共同研究を通じて、EASTの関係者との新たな共同研究が形成されました。さらなる共同研究の進展のため、A3事業時の周辺PWI研究を主とした課題「原型炉に向けた金属壁での壁リサイクリング制御法の構築」をJSPS二国間交流事業(共同研究)へ申請し、2019年4月から3年間計画として採択されました。日本側は大舘 暁 教授(NIFS)、中国側はGuangnan LUO教授(ASIPP)が代表を務めます。本事業への申請には、日本側はJSPSへ、中国側はCASへの同時申請が必要となります。キーパーソンとして芦川(NIFS)とZhenhua HU氏(ASIPP)により準備を行い、研究内容に関する齟齬がないよう何度も相互確認を行いました。

近年、科研費およびそれに準ずる外部資金では、若手研究者育成への明確な貢献が求められています。本事業においても若手研究者がメンバーとして含まれることが必須事項であり、日本側は若手研究者5名を含めた計10名としました(採択時)。現在、本事業の1年目が経過した段階ですが、本課題枠に関してはA3事業時に比べて共同研究の実施を目的とした人的交流が増加しました。これはA3事業から継続的に共同研究を実施してきた賜物と考えていま

す。また、若手研究者育成への貢献の一環として、EASTでのプラズマ実験へ参加するため、芦川らは採択直後である2019年5月のEAST実験期間中に野尻(筆者)、寺門 紘氏(いずれも筑波大学、当時)と共にASIPPを訪問し、EASTプラズマ実験へ参加しました。図1は滞在中に実施したキックオフミーティング参加者および大舘氏の写真です。さらに2019年度内に2度目のプラズマ実験参加の可能性があったため、1度目の実験によって得られたデータ解析結果をもとに野尻を中心にして実験提案書を改訂しました。その結果、2019年12月には野尻が一人でASIPPを訪問し、EASTでのプラズマ実験実施に至りました。12月の実験では、ダイバータ配位の実時間スweepを伴うプラズマ実験要請を行い、EAST側の担当者であるYaowei YU氏らの協力のもと、野尻の滞在期間中に我々のマシンタイムの確保に至りました。

現在30歳前後の世代は、今後JT-60SAや国際熱核融合実験炉ITERにおけるプラズマ実験において中心的な役割を果たす研究者になります。よって、今回の野尻によるマシンタイム確保および実験実施に至るまでのEASTにおける経験は、今後大型装置でプラズマ実験を行う上で重要な糧



図1 2019年5月にASIPPで実施したキックオフミーティング。大舘(白枠内)、野尻(左から3番目、G.N. Luo(同5番目)、芦川(同6番目)。

になると考えています。これら経験を共有すべく、二国間交流事業にて実施した野尻の EAST 実験の詳細について、次に紹介します。

超伝導トカマク型装置, EAST (ASIPP)

EAST (図 2) は大半径 $R=1.9$ m, 小半径 $a=0.45$ m, トロイダル磁場 $B_T \leq 3.5$ T, プラズマ電流 $I_p \leq 1$ MA の超伝導コイルを有するトカマク型装置[1-4]です。プラズマ対向材として、第一壁はモリブデン、上側ダイバータはタングステンとなっています。下側ダイバータは現在炭素材となっていますが、今後タングステンに変更することで金属壁化される予定です。加熱機器は低域混成波 (LHW) 加熱, 電子サイクロトロン加熱 (ECH), イオンサイクロトロン周波数帯 (ICRF) 加熱, そして中性粒子ビーム入射 (NBI) 加熱と多岐に渡り, 全て MW 単位のパワーを入力することができます。燃料供給はガスパフ, ペレットおよび超音速分子ビーム入射 (SMBI) などが整備されています。プラズマ密度や放射パワーに対するフィードバック制御を有し, 100秒を超える高閉じ込めモード (H-mode) の重水素プラズマ放電を達成しています。

EAST の実験シーズン中は, 毎日 (土日も含め) 9 時頃から 21 時頃まで, 長い時は深夜まで実験を行い, 特別な要請が無い限りは約 10 分ごとに 1 回, 通常 10 秒間程のプラズマ放電を行っています。

EAST での共同実験の実施

筆者 (野尻) は 2019 年度から中国との共同研究に参加し, 5 月に初めて ASIPP を訪問しました。渡航前, EAST の実験装置に関する情報を論文等から収集することを始めましたが, これは後々の実験やディスカッションなど色々な所で役に立ちました。5 月の訪問では, 事前に実験提案書は提出していたものの, EAST のスケジュールがタイトなため我々は実験できないと思っており, 近い将来の実験に向けたディスカッションを主な訪問目的としていました。ですから, 当初はディスカッションや研究発表等をリラックスして行っていました。しかし, 滞在 5 日目, 突然翌日にマシントimeをもらえることになりましたので, 日本側メンバー 4 名は血眼になって, プラズマ実験条件の再確認や, 計測器の準備はできるのか等の話し合い, 情報収集を始めました。そして実験当日となり, 4 名で分担してなんとか実験を終えました。実験終了後はデータを収集し速報的にまとめて報告を行い, 7 日目に帰国しました。



図 2 筆者らによる EAST トカマク・ホール見学時の様子。中央にいるのは, Z.H. Hu.

帰国後にデータの更なる解析や議論を進めていくと, より詳細な知見を得るため追加データに向けた EAST での実験が必要と判断し, EAST の担当者と 10 月頃から交渉を行いました。11 月には Y.W. Yu 氏らの訪日に合わせて追加実験の交渉を行い, 12 月下旬に ASIPP を訪問して 2 度目の実験を行うことになりました。

2 度目は野尻単独での訪問となりました。実験の条件等については勿論事前に日本側のメンバーで話し合いを行いましたが, 現地で各計測器の担当者と連絡するのは主に全て野尻が行いました。(後で述べるような) パスポート期限の問題もないし, 一度訪れたことのある場所 (ルートも同じ) なので, 全て順調に事が進んでいると思いました。しかし, 実験にはトラブルが付き物であり, 滞在中のスケジュールは予定通りにはいきません。今回の訪問では, 冷却系等にトラブルがあって EAST 装置への緊急対応が必要な状態で, 制御室に着いて話を聞くまで詳細がわからないという状況でした。したがって, 元々予定されていた EAST 全体のスケジュールが訪問直後にずれたり延期されたりと先行きが読めないため, どの日・時間でマシントimeをもらえるのかがわからなくなったこと, そして冷却系のトラブルにより希望した実験条件 (加熱や磁場配位の条件) を実行できるかどうかかわからない, という 2 つの問題に直面しました。どちらの問題も装置が回復するかどうかのポイントですが, こればかりは野尻だけではどうすることもできません。そこで, EAST メンバーへ随時状況を聞いて確認すると共に代替案を検討し, 随時日本側のメンバーへの情報共有や相談も行いました (図 3)。実験シーズン中の EAST では毎朝 8 時半から, 前日の実験の速報と当日の予定共有を行うミーティングが開かれています。ミーティングは中国語で行われていますが, 発表資料には英語が使われていることが多く, 何を発表しているかを想像できます。そこで, 毎朝のミーティングに参加して状況を把握しつつ, その後は夜 10 時前後までひたすら現場の状況を伺って, マシントimeをもらえるチャンスを Y.W. Yu 氏らとともに制御室で確認しました。2 日目の夜あたりに EAST 装置の状態が回復しつつあり, 計画した実験プランを大きく変えずに実施できる兆しが見えてきました。計測器の条件について計測担当者と話をしなくてはならないため, 実験が何時になりそうなのか, その日の状況がわかると各々の担当者への連絡をしました。そして 4 日目の深夜 0 時過ぎにようやくマシントimeが確保できる見通しが立



図 3 EAST 制御室での記念撮影。左から L. Meng, Y.W. Yu, 野尻および L. Wang.

ち、各計測担当者に連絡をして準備を進めました。この時にまた予期せぬ装置トラブルがあり、その様子を調査しなければなりませんでしたが、なんとか実験を行うことができました。単独で滞在して実験を行った際に大変だったのは、各々の放電条件や計測結果が問題ないかどうかをそれぞれの担当者に聞いて判断するのを、全て一人でやらなければならないことでした。放電間隔が約13分なので、それまでに調べて考えなければならないため、脳みそをフル回転させました。一部判断ミスはあったものの、全体としては無事実験を終えることができました。実験が終わった(深夜2時くらい)後、データ収集や速報に向けた資料作成を行い、5日目朝にY.W. Yu氏やL. Wang教授らへの報告および議論を行いました。その日は引き続き計測したデータの収集やそれに関する議論(図4)等を行い、6日目に帰国しました。日本にいても自分で収集できるデータに関しては後回しにして帰国したのですが、その後に収集系にトラブルがあり、データの収集に苦労しました。滞在中にできる限りのデータをまとめておくことが重要だと思いました。今回の経験を踏まえ、実験で何を重要視しているか先方の研究者に実験提案書を送るだけでなく、直接伝えることが大切で、実験本番でその放電が希望通りのものになっているかどうかを放電直後に確認するためどのデータを見ればよいのかということも議論して決めておくことが重要だと思いました。また、実験系の研究は一人だけではできないものであり、チーム一丸となって遂行するために他者としっかりと連携することの重要性を再認識する共同実験でした。帰国後、現在(2020年2月)に至るまで、ASIPPとの間でネットワーク会議も含めて継続的な議論を行っており、論文化に向けてさらなる解析を続けています。

中国滞在に関する参考事項

中国渡航の際、パスポートの有効期限が半年未満の場合は入国について注意が必要のようです。私は直前にそのことに気づいたため、緊急発券窓口まで出向いて発券してもらいました。また、計測器等について担当者とやり取りする場合にとっても便利だったのが、メールではなくWeChat(中国版LINEのようなアプリ)でした。ASIPPの学生・スタッフのほとんどがWeChatアカウントを持っているようで、現地に着いてからその連絡先を交換したところ、日本からメールでやり取りをしていた時より圧倒的に迅速に話



図4 EAST制御室でダイバータ計測器担当者と議論。左からL. Meng, J. Zhang および野尻。

が進みました。ホテルについては、EASTの実験期間なのですぐに研究所に出入りできるように、5月と12月の訪問共に研究所近くに宿泊しました。このホテルおよび研究所の近くには食堂とレストランが数店あり、店の数としては多くはないですが、料理の種類が豊富で食事に困ることはありませんでした(但し、すべて中華料理で洋食はなし)。支払いとしてはASIPPから貸していただいたプリペイドカードのようなものが使えました。

このように、中国滞在中は、生活面では問題なく過ごすことができ、研究に集中することができました。

謝 辞

EASTでの実験をサポートしていただいたYaowei YU博士、Zhenhua HU博士、Fang DING博士、Liang WANG教授、Ning YAN博士、Shaocheng LIU博士、Zhongshi YANG博士、Lingyi MENG氏、Xiahua CHEN氏、Heng ZHANG氏、Yu LUO氏、Qing ZHANG氏、Jiayuan ZHANG氏、Qing ZANG教授、Jiansheng HU教授およびGuangnan LUO教授にこの場をお借りして深く御礼申し上げます。また本事業実施にあたり円滑な事務処理をしていただいているNIFS担当事務、曾我志保子氏に感謝いたします。本件はJSPS二国間交流事業「原型炉に向けた金属壁での壁リサイクリング制御法の構築」にて実施しました。

参 考 文 献

- [1] B.N. Wan *et al.*, Nucl. Fusion **57**, 102019 (2017).
- [2] X. Gong *et al.*, Nucl. Fusion **59**, 086030 (2019).
- [3] L. Wang *et al.*, Nucl. Fusion **59**, 086036 (2019).
- [4] B.N. Wan *et al.*, Nucl. Fusion **59**, 112003 (2019).