

二国間交流事業 共同研究報告書

令和5年4月24日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

[日本側代表者所属機関・部局]

大学共同利用機関法人自然科学研究機構・核融合
科学研究所ヘリカル研究部

[職・氏名]

准教授・芦川直子

[課題番号]

JPJSBP 120197202

1. 事業名 相手国: 中国 (振興会対応機関: CAS) との共同研究

2. 研究課題名

(和文) 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

(英文) Control of wall recycling on metallic plasma facing materials in fusion reactor

3. 共同研究実施期間 2019年4月1日～2023年3月31日 (4年0ヶ月)

4. 相手国側代表者(所属機関名・職名・氏名【全て英文】)

Hefei Institutes of Physical Science Chinese Academy of Sciences,
Professor LUO Guangnan

5. 委託費総額(返還額を除く)

本事業により執行した委託費総額		4,102,001	円
内訳	1年度目執行経費	1,402,063	円
	2年度目執行経費	1,425,000	円
	3年度目執行経費	1,274,938	円

6. 共同研究実施期間を通じた参加者数(代表者を含む)

日本側参加者等	11名
相手国側参加者等	12名

* 参加者リスト(様式 B1(1))に表示される合計数を転記してください(途中で不参加となった方も含め、全ての期間で参加した通算の参加者数となります)。

7. 派遣・受入実績

	派遣		受入
	相手国	第三国	
1年度目	8	0	8(8)
2年度目	0	0	0(0)
3年度目	0	1	0(0)

* 派遣・受入実績(様式 B1(3))に表示される合計数を転記してください。

派遣:委託費を使用した日本側参加者等の相手国及び相手国以外への渡航実績(延べ人数)。

受入:相手国側参加者等の来日実績(延べ人数)。カッコ内は委託費で滞在費等を負担した内数。

8. 研究交流の概要・成果等

(1)研究交流概要(全期間を通じた研究交流の目的・実施状況)

1年次(2019年度),双方の人材交流を含め16名の渡航を伴う共同研究が実施された。しかし,その後2020年初頭からCOVID-19の影響により,国内,国外を含めた移動制限が生じ,特に中国への短期渡航はその後本報告書に至るまで実質的にできない状況となった。しかしながら,初年度に実施した共同研究,特に渡航が必要となる実験研究のデータ取得がとても良好であったため,本事業の期間中はリモート会議を含め3回のワークショップ開催を実施するとともに,滞りなく共同研究が継続して実施された。

学術的な成果や若手育成への貢献の詳細は別項目で報告するが,いずれも良好な結果を得ており,特に本事業開始時に博士研究員として参加した研究者はいずれも新たな研究職への就職につながった。

(2)学術的価値(本研究交流により得られた新たな知見や概念の展開等、学術的成果)

中国科学院・等離子体物理研究所のトカマク実験装置・EAST は上部ダイバータをタングステン,下部ダイバータが炭素という組み合わせで本事業の申請当時は運転をしており,近い将来下部ダイバータをタングステンに変更する計画であった。そこで,EASTのダイバータ材料が上下ともにタングステンとなることを考慮し,課題名に「金属壁」という言葉を使用した。

申請時計画書では,主に次の3課題,1)ダイバータ壁での水素滞留特性および水素リサイクリングの解明,2)種々のダイバータ配位における熱負荷分布の可視化と壁リサイクリングの比較,3)EAST プラズマ対向壁での壁リサイクリングのモデル化,を研究テーマとした。うち,日本側研究者が中心となって取り組んだテーマは1)と2)で,良好な成果が得られた。

水素滞留特性については表面分析手法,壁リサイクリングについてはEAST プラズマ実験での各種分光計測を含む研究が実施された。ダイバータ配位に関連する研究では,同配位の能動的な変化と壁リサイクリングに及ぼす影響を野尻らが行った。これは,EAST プラズマ実験参加後,壁リサイクリング挙動の指標となる重水素原子のバルマー系列をEASTダイバータ部周辺で分光器にて観測したデータの解析結果に関する内容である。この結果では,ダイバータ・ストライクポイントの移動を経た時,重水素バルマー系分光強度が相似的な空間分布を保つのではなく,ダイバータ配位変化に伴い空間分布形状が変化するという知見が得られた。つまり,これまでEASTから報告されてきた壁リサイクリング・パラメータに関するダイバータ排気口とダイバータ・ストライクポイント間の距離依存性に関する結果とも異なる新たな知見である。ITERなど今後の大型核融合装置におけるダイバータ板への熱負荷の課題に対し,プラズマ運転中のストライクポイントのスweepで熱分散させる実証実験も進められているため,得られた結果は熱負荷分散運転シナリオが他のプラズマパラメータに及ぼす影響を示唆する重要な知見である。

ダイバータ部周辺での空間的な変化に着目した研究として,後章で述べるように「スプレイオフ層(SOL)プラズマ」の空間分布に対する磁場構造に着目し,そのモデル化に関する研究が行われた。分光関係の研究では,中国側研究者が核融合科学研究所のヘリカル型実験装置・LHDでのプラズマ実験へ参加し,ネオン不純物イオンの多価数同時分光計測に基づく不純物輸送研究が行われた。

EASTでは壁調整の一環としてリチウム粒子をプラズマ放電中に導入する実験を行っており,その手段である不純物粒子ドロPPER(IPD)装置を保有している。本事業実施時に別の共同研究枠として米国プリンストン・プラズマ物理研究所(PPPL)-LHD共同研究の一環として,LHDに対してIPDを設置することとなった。それ故,IPDを使いボロンやリチウム粒子などをプラズマ放電へ導入した際の分光計測に関する研究も併せて実施した。トカマク型とステラレータ型という異なる磁場構造を有する磁場閉じ込めプラズマを使った比較実験として興味深い

テーマとなった。さらに、高速 VUV(真空紫外)カメラを使った EAST プラズマの 2 次元揺動計測も実施された。

このように、リモート環境下での共同研究でありながら、金属壁、壁リサイクリングというキーワードの元、多様な派生効果を生みつつ、新たな研究成果を得ることが出来た。また、本事業で得られた成果は磁場閉じ込め核融合装置の手法に依存する知見ではなく普遍性があり、それゆえ将来の核融合原型炉に向けた重要な知見の一部となると考える。

(3)相手国との交流(両国の研究者が協力して学術交流することによって得られた成果)

LHD, EAST といった世界の主要な核融合プラズマ実験装置を使った共同研究実施の基盤として、本事業は有益に寄与した、特筆すべき点は、若手研究者育成のため、海外の核融合実験装置への参加を主体的に取り組んでもらうため、実験提案の段階から若手研究者自身が提案を行い、その後実際に EAST を使った実験参加、データ取得を行い、論文化につながった点にある。また、野尻による取り組みの概要はプラズマ・核融合学会誌 (2020)3月号に掲載された。今後、この記事が他の若手研究者による海外での共同実験への参加に際し参考になればと思っている。

本事業のように一対一の二国間協力として密に共同研究を行うスタイルだからこそこのような有機的な共同研究が実施でき、その意味で本事業の趣旨に沿った成果を得ることが出来たと考えている。

(4)社会的貢献(社会の基盤となる文化の継承と発展、社会生活の質の改善、現代的諸問題の克服と解決に資する等の社会的貢献はどのようにあったか)

カーボンニュートラル社会に向けた取り組みは、世界的にも共通な課題である。核融合エネルギーの燃料は CO₂排出につながらず、同研究の促進は世界的にも重要である。本事業の取り組みにより、核融合エネルギー利用に関する研究の進展が得られ、これは社会貢献につながると考える。

(5)若手研究者養成への貢献(若手研究者養成への取組、成果)

申請時(2018 年)には日本側 4 名、中国側 5 名の若手研究者を参加者として登録した。日本側の 4 名については本報告書「(3)相手国との交流」で述べたように、筑波大学在籍中に EAST のプラズマ実験へ参加すべく、実験プロポーザルの申請から現地でのプラズマ実験参加に至るまで、大型装置でのプラズマ実験参加に必要な手順をすべて体験した。また、4 名全員が 2019 年度内に中国・ASIPP を訪問し、実験や研究打ち合わせを行った。当時学生もしくは博士研究員だった 3 名は、本事業の期間内に研究職を得ることができた。

中国側の若手研究者のうち 2 名は、2019 年度内に核融合研を訪問し、材料分析等の共同研究を実施し、その後学会発表を行った。

このように、本事業は若手研究者が核融合プラズマ分野で研究を行う上で必要なスキル習得および次へのキャリアアップに貢献した。

(6)将来発展可能性(本事業を実施したことにより、今後どのような発展の可能性が認められるか)

本事業の実施により、日中双方において、本領域での学術研究の進展が得られた。核融合エネルギー研究の分野では原型炉を目指した世界的な研究展開がさらに推し進められており、引き続き Luo 教授らとの共同研究は実施される予定である。

(7)その他(上記(2)~(6)以外に得られた成果があれば記載してください)

例:大学間協定の締結、他事業への展開、受賞など

本事業の一環として発表した下記の論文は、2021 年の Plasma Science and Technology 誌のハイライト論文の 1 篇として選出された。

T. Oishi, N. Ashikawa, F. Nespoli, S. Masuzaki, M. Shoji, E. Gilson, R. Lunsford, S. Morita, M. Goto, Y. Kawamoto, C. Suzuki, Z. Sun, A. Nagy, D. Gates, T. Morisaki, "Line identification of boron and nitrogen emissions in EUV and VUV wavelength ranges in the impurity powder dropping experiments of LHD and its application to spectroscopic diagnostics" Plasma Science and Technology, Vol. 23 (2021) 084002.