



講座 トリチウム実験入門

6. 日米共同研究を通してトリチウム実験しよう

6. Let's Make Experiments with Tritium under Japan-US Joint Project

大矢 恭久

OYA Yasuhisa

静岡大学 学術院 理学領域

(原稿受付：2020年1月26日)

「トリチウムを模擬した重水素実験」をしているみなさん、実際にトリチウムで実験してみませんか？トリチウムを使うと汚染や安全管理が問題になると躊躇している方も多いはず。それなら、アメリカでやってみませんか？アメリカの安全重視した研究施設で共同研究して、実際にトリチウムのデータを取得するのはどうでしょうか？世界的にも貴重なデータが得られるはず。この章では日米科学技術協力事業 FRONTIER 計画の概要を説明し、トリチウム実験の必要性を考えてみたいと思います。

Keywords:

Tritium, Japan-US joint "FRONTIER" project, STAR facility, INL

6.1 はじめに

学会発表や論文によく「トリチウムを模擬した重水素実験を行った。」と記載されているのを見かけませんか？トリチウム実験と言いながら重水素を使った実験が広く行われています。重水素実験、トリチウム実験それぞれに利点があるわけです。重水素実験では、放射性物質を扱わないので比較的容易に実験を始められます。また、汚染対策を必要がないので、重水素実験後の分析の選択の幅が広がります。簡単に別の実験室にある表面分析装置などを利用することができます。一方で、トリチウムを使うと、トリチウムから放出されるβ線を測定することで、二次元の分布やミリメートルレンジの深さ方向分布を明らかにすることができます。このようにトリチウムを使うことにより、これまで軽水素や重水素ではわからなかった水素同位体の挙動を理解することができます。しかし、国内でトリチウムを扱うことができる施設（核融合に関連した研究ができる施設）は限られています。主な大学では富山大学、九州大学、静岡大学、大阪大学あたりしかありませんし、取扱量や実験装置にもそれぞれの施設で制約があります。

そのため、プラズマ壁対向壁中のトリチウム挙動などある程度大量のトリチウムを扱うには国外の研究施設と共同研究として進めることが有効です。本章では日米共同研究 FRONTIER 計画を題材に、米国でのトリチウム実験の魅力について紹介します。ぜひ若い方々にトリチウムを使ってしっかり研究してもらおうきっかけにしたいと思っています。

6.2 日米共同研究 FRONTIER 計画の概要とトリチウム関連研究

日米プロジェクト研究「原型炉ダイバータにおける界面反応ダイナミクスと中性子照射効果」FRONTIER (Fusion Research Oriented to Neutron irradiation effects and Tritium behavior at material IntERfaces) 計画 (図1) は、富山大学波多野雄治教授を日本側代表として、米国オークリッジ国立研究所、アイダホ国立研究所、サンディア国立研究所が参加して2019年度～2024年度の6年計画で実施されています[1]。トリチウムに関連した研究としてはタスク2の「界面を跨るトリチウム移行および中性子照射効果」が該当します。核融合原型炉プラズマ対向材料は高フラックスのDTプラズマに曝されるとともに、DT核融合反応により生成された高エネルギーの中性子やHeの照射を長時間受けます。これまでに中性子照射されたタングステンでは安定な捕捉サイトが形成されるため、水素同位体滞留量が大幅に増加することが前日米共同研究 (PHENIX

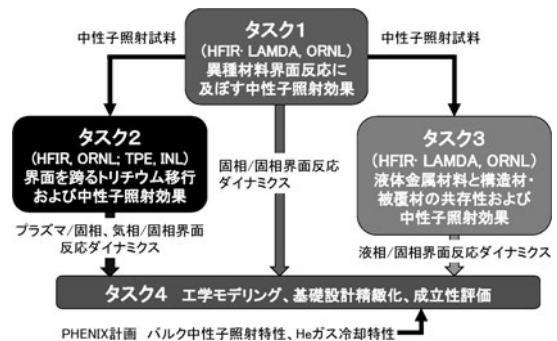


図1 FRONTIER 計画のタスク構成[1].

計画)で明らかにされました[2]。核融合炉をシステムとして設計するためには、異なる材料間を跨がるトリチウム移行挙動の理解および同位体効果を考慮した水素同位体移行評価が必要不可欠です。また、実際の核融合炉でDT比はほぼ50:50で運転することが想定されていますが、これまでのプラズマ対向材中の水素同位体滞留挙動評価では、単一の水素同位体を用いる研究がほとんどであり、水素同位体比を考慮した評価はありません。そのため、種々の水素同位体が存在する環境で、本当にトリチウムが水素同位体全滞留量の50%を占めるのかもよくわかっていません。さらに、核融合原型炉における安全性評価は炉建設に向けて必須の課題です。とくに燃料となるトリチウムやDT核反応によって生成した中性子照射による放射化物の飛散が懸念されます。事故時に真空容器中へ大気や水蒸気が進入すると、運転停止後の崩壊熱により高温状態に保持されたプラズマ対向材料との反応が生じ、放射化したタングステンや核変換で形成されるレニウムが酸化物として昇華すると共に、トリチウムとともに飛散するリスクが考えられます。そのため、温度や酸素分圧、水蒸気分圧等をパラメータとしてトリチウムや放射化物がどのような化学形でどの程度飛散するのか実験的に明らかにし、予測しておくことが必要です。そのために、FRONTIER計画タスク2では次の3つのサブタスクを設定して研究を進めています。

- (1) 界面を跨るトリチウム輸送とその中性子効果
- (2) 中性子照射ダイバータ材料におけるトリチウム滞留に及ぼす水素同位体効果
- (3) 事故時におけるトリチウムおよび放射性核種の放出と輸送

これらの研究では実験研究のみならずシミュレーションも通して幅広い条件下でのトリチウム輸送を評価することとしています。

主な研究施設はアイダホ国立研究所 (INL) の STAR (Safety and Tritium Applied Research) 施設とサンディア国立研究所 (SNL) です。INL には図 2 に示すようにトリチウムに関連したさまざまな研究ができる施設が整備されています。STAR 施設のトリチウム貯蔵量は最大 1.6 g (15390 Ci = 575 TBq) であり、日本の大学よりも多くのトリチウムを使った研究が可能です。このなかでもトリチウ



図2 アイダホ国立研究所の STAR 施設。

ムプラズマ装置 (TPE) (図 3) は、ダイバータプラズマに相当する高フラックスのプラズマ照射が可能です。トリチウム取扱量としても一回のプラズマ実験で 500 Ci (18.5 TBq) まで利用可能です。また、表面から 30 cm で 1 mSv/h 以下の線量であれば、他の核種が含まれる放射化物の利用も可能ですので、様々な中性子照射材を使ったトリチウム実験が可能です。また、近年では分析装置として X 線光電子分光装置、オージェ電子分光装置、グロー放電発光分析装置、陽電子消滅寿命測定装置、電子顕微鏡などが整備されてきており、放射化物試料の分析にも力を発揮しています。SNL では重水素プラズマ装置 (DPE) をはじめ、1150°C の高温まで到達可能なガス透過分析装置や 1600°C まで加熱可能な昇温脱離装置が整備されているとともに、低エネルギーイオン散乱分光装置、フーリエ変換赤外分光装置などが利用可能です。

6.3 共同研究してみませんか？

これまで日米共同研究でのトリチウム研究について見てきました。学生のみなさんもトリチウム共同研究に参加してみませんか？現在、重水素を使った研究や、少量のトリチウムをトレーサーとして使った研究を進めているかもしれませんが、大量トリチウムを使った研究は、安全対策や実験手順が全く違っており、良い経験になると思います。共同研究なのでお互いの興味が合致しないといけません。そのために自分がやりたい研究の必要性を相手側に伝える必要があります。自分の研究とは少しスコープが違っていると躊躇している方もいると思いますが、研究領域や視野を広めるといふ点で共同研究はとても有意義です。研究のみならず外国で一人暮らしをしてみることも良い経験になると思います。特にアイダホは日本人がほとんどいませんので、様々なトラブルを自分自身で (英語で) 解決していかなければなりません。このような経験は日本ではできません。研究から日常生活まですべてが勉強ですし、よい経験になり

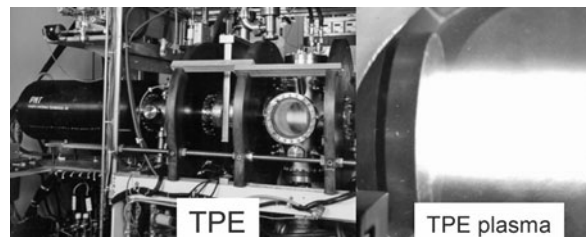


図3 TPE 装置と TPE プラズマ照射時の写真。



写真1 アイダホフォールズの一景。

ます。本研究は博士課程の学生さん（めざしている学生さんも含む）も参加できます。ぜひ、一歩踏み出してみませんか？

参考文献

- [1] 波多野雄治 他：“5.FRONTIER 計画（2019年度～2024年度）”：プラズマ・核融合学会誌 **96**, 145 (2020).
- [2] 大矢恭久 他：“4.タスク3 トリチウム挙動および中性子照射効果”：プラズマ・核融合学会誌 **96**, 140 (2020).



かた やま かず なり
片山一成

九州大学大学院総合理工学研究院 准教授。核融合炉のトリチウムに関する研究を行っています。実験室が散らかりすぎていて、先生方にこっぴどく叱られました。大変申し訳ありませんでしたm(__)m。掃除機を買いました。



おお や やす ひさ
大矢恭久

静岡大学学術院理学領域 准教授。1999年東北大学大学院工学研究科・博士（工学）。専門はトリチウム理工学，放射化学。日米共同研究 FRONTIER 計画タスク2リーダー。最近の水素同位体のプラズマ対向材中でのプラズマ駆動透過挙動評価に専念している。

はし づめ けん いち
橋爪健一