

## CEAカダラッシュ研究センター滞在記

坂本 隆一

総合研究大学院大学若手教員海外派遣事業にて、2011年11月から2012年8月までの10ヶ月間、フランスのCEAカダラッシュ研究センター(Commissariat à l'Energie Atomique et aux Énergies Alternatives, Centre d'Étude de Cadarache)にある磁場核融合研究所(IRFM; Institut de Recherche sur la Fusion Magnétique)で研究を行う機会をいただきました。CEAはフランス政府の総合科学研究機関であり、低炭素エネルギー、国防、情報技術(IT)、生命科学を中心として、多岐にわたる研究を行っています。カダラッシュ研究センターはフランス中に11箇所あるCEAの研究センターの一つであり、南フランスのプロヴァンス地方にあります。私が研究を行ったIRFMには、Tore Supraという超伝導トカマク装置があります。Tore Supraは長時間放電実験において優れた研究成果を収めており、大型ヘリカル装置(LHD)の良きライバルとなっています。

今回の長期滞在における私の研究課題は『高温プラズマ中における固体水素の溶発・吸収過程に関する研究』であり、固体水素ペレットの溶発理論研究で著名なBernard Pégourié博士の下で、ペレット粒子供給の理論モデルに関する研究を行いました。将来の核融合炉では、高温プラズマ中の水素がヘリウムに変換されて減少していくので、高温プラズマ中に燃料粒子を供給することは最も重要な課題の一つです。磁場閉じ込め型のプラズマ実験装置では、磁力線の籠で高温プラズマを閉じ込めているのですが、この磁力線の籠は外部から入ってくる粒子の侵入も妨げてしまうので、高温プラズマの中心部へ粒子を供給するには工夫が必要です。現在、最も有望な粒子供給法は固体水素ペレット入射法です。この方法はマ



イナス260℃くらいまで冷やして作った水素の氷の粒(固体水素ペレット)をプラズマ中に秒速1000メートルもの速度で入射します。高温プラズマ中で固体水素が溶けるまでのわずかな時間(数1000分の1秒)に固体水素ペレットはプラズマ中を数10センチメートル進むことができますので、プラズマ中心部へ粒子を届けることが可能です。さらに詳細な理解のためには、溶けた後の水素粒子がどのようにして高温プラズマ中に吸収されて行くかを明らかにする必要があります。私は、Pégourié博士が構築した固体水素の粒子供給過程を記述する理論モデルを学ぶとともに、Tore Supra装置での実験データを解析して、理論モデルに基づいた計算結果と比較しました。その結果、理論モデルから予測されているとおり、高温プラズマ中で溶けた水素粒子が磁力線の構造に影響を受けながら、高温プラズマ中へ吸収されて行くことを実験的に確認し、理論モデルの正当性を示すことができました。今後はLHD実験解析においても、この理論モデルを活用した解析を行い、高温プラズマへの粒子供給特性の理解を深めたいと考えています。また、理論モデルの正当性を確認することができたので、将来の核融合炉における燃料粒子供給特性を、これまでよりも正確に予測することができるようになることを期待しています。

CEAカダラッシュ研究センターがあるプロヴァンス地方は、フランスの中では最も南に位置する地方ですが、日本に比べると緯度が高いために、夏と冬では昼間の長さが大きく変化します。冬は日が短いため出勤も退勤も星空の下でしたが、夏は夜の10時過ぎまで残照がありました。気温の変化も大きく、冬の最低気温はマイナス15度まで冷えたのに対して、夏の最高気温は35度を超えていました。しかしながら、乾燥した気候のためか、一年を通してとても過ごしやすかったです。また、アルプスから流れてくる水が豊富にあり、乾燥した気候にも関わらず、豊かな耕作地が広がっています。春先から夏にかけては、日毎に蒼蒼と成長してゆく麦畑を眺めるのが、通勤時の楽しみでした。その他、油を作るためのアブラナやヒマワリの栽培も盛んであり、見渡す限り広がるヒマワリ畑は圧巻でした。

(高密度プラズマ物理研究系 准教授)

## 第24回国際原子力機関・核融合エネルギー会議

金子 修

第24回国際原子力機関・核融合エネルギー会議(IAEA-FEC2012)が10月8日より13日まで米国カリフォルニア州サンディエゴ市で開催されました。この会議は国際原子力機関(IAEA)が主催して2年に1度開催される核融合開発に関する国際会議で、核融合分野では最も権威のある会議です。核融合に関係する最新の研究成果が世界中から競って発表されるとともに、核融合研究をリードする研究者や研究機関の代表者が集まり、様々なレベルでの情報交換が行われる場ともなっています。今回もアジアからは日本を始め、韓、中、印など、欧州からは、仏、英、独、伊、蘭など、そして米、露などと核融合研究を進める主要な国から900名を超える研究者が参加し、700件を超える発表がなされました。核融合科学研究所からは、開会初日の大型ヘリカル装置(LHD)実験の最新成果のオーバービュー講演(筆者)を始めとして、所外の共同研究者によるものを含め、36件の成果を発表しました。また、最終日に行われた会議のサマリー講演では、その一角を本研究所の山田弘司教授が担当しました。世界の核融合研究の進捗の中で核融合科学研究所が進めている研究の先進性と独創性を十分アピールできたと思っています。

今回米国で開催された背景には、レーザー核融合を目指す米国の国立点火施設(NIF)の2年間の実験キャンペーンが9月末で終わり、その最新成果を発表する機会になることがあったと思われますが、残念ながら期待された成果には届きませんでした。開発された最先端レーザー技術の性能自身は十分発揮されていますので、目標達成に向け今後更なる努力が続けられると思われます。

一方、磁場閉じ込め核融合研究においては、国際熱核融合実験炉(ITER)計画を中心とした研究が精力的に進められています。ITERの発注率が80%を越え、装置製作と建設が走り出している中でITERの運転性能予測精度を上げる研究は喫緊の課題です。世界中のトカマクがITER計画において課題となっている

テーマに関連した研究を行い、その成果を競うとともに、精度を高めるためのデータベース作りを目指しています。また、装置の寿命に大きな影響を及ぼすトカマク特有の電流崩壊現象(ディスラプション)や同じくプラズマ周辺から強い熱流放出を伴う現象(ELM)の評価とその回避方法の研究も多く行われていました。残念ながらこの分野で日本は稼働中の中・大型トカマク装置が無いためあまり貢献ができていません。現在日本で稼働中の大型装置はLHDのみですが、ヘリカル装置はそもそもディスラプションを起こさないのではトカマク固有の問題とは無縁です。

今回の会議の特徴を別の視点から見てみると、核融合研究におけるアジア勢の台頭が挙げられるでしょう。中国は2台の中型トカマク装置(そのうち1台は超伝導装置です)を保有するほか、レーザー核融合やハイブリッド炉の研究など核融合の持つ可能性のあらゆる面を探ろうとしています。投資意欲も強くそのうち大型装置の計画が出てくるかもしれません。韓国の超伝導トカマク装置KSTARは実験開始後国際協力を積極的に進めて研究の質が上がってきており、若手を中心とした研究者が自信を持ち始めています。インドもトラブルの続いた超伝導トカマク装置SST-1が今年中には運転を始める予定です。現在日本で建設中の大型超伝導トカマク装置JT-60SAも含め新しい装置(特に超伝導)の計画はアジアに集中しており、活力の高さが目立ちます。現在日本はまだ、研究の質や技術力において優位に立っていますが、うかうかしてはいられないと感じました。

サンディエゴはアメリカ最南端のメキシコとの国境を成す街です。会議中は晴天が多く、日本同様暑い日が続く一週間でしたが、会議が開催されたホテルは海に面しており、休憩時にはテラスから太平洋を望みながら一息をつきました。次回の会議はロシアのサンクトペテルブルグで開催される予定です。

(核融合科学研究所 副所長)