

研究室だより

日本原子力研究所原子炉工学部 核融合中性子工学研究室

(日本原子力研究所) 池田 裕二郎

当研究室は 1980年に、強力 D-T 中性子源 FNS の設置と同時に「核融合炉物理研究室」として発足しました。当初、(1) 基礎ベンチマーク積分実験、(2) 炉工学ベンチマーク実験、(3) 誘導放射能等の研究をテーマとして、FNS を用いて核融合炉核設計に必要な核データ並びに計算コードを積分実験により検証することを中心目的に研究を進めてまいりました。平成 4 年度より上記研究室名に名称を新にして、研究テーマも、各々、次期装置遮蔽実験、核融合ブランケット核特性、高エネルギー中性子利用の研究と改め、ITER/EDA の R&D の一環として遮蔽実験、幅広い増殖ブランケット選択の基礎実験、さらに、各種機能材の 14MeV 中性子照射効果実験などの研究へと展開を図っております。現在の研究室の構成メンバーは、前川室長、池田、大山、今野、前川(藤)、岩井の 6 名です。また、FNS 加速器の運転維持管理には、草野、杵掛、田中、阿部、関の 5 名が携わっております。FNS がこれまで、核融合ニュートロニクス研究を目的とした専用マシンとして順調に稼働してこられたのも、FNS 加速器グループの不断の努力の結果であります。

研究の核データとの関わりは、極めて強く、評価済核データの積分テストのみならず微分データとしての放射化断面積測定をはじめ、核融合開発に必要な核的実験を系統的に進めております。これまでに実施してきました研究項目は

- (1) 基礎ベンチマーク積分実験
- (2) 角度依存漏洩中性子スペクトル実験
- (3) 遮蔽ベンチマーク実験
- (4) 炉工学ベンチマーク実験
- (5) 誘導放射能ベンチマーク実験
- (6) 核融合ドシメトリー研究
- (7) 放射化断面積測定
- (8) 核発熱測定

などとなっております、全て核データとの関わり無しに成立しないものであります。

基礎ベンチマーク積分実験では、核データそのものが評価対象であり、評価済み核データ、JENDL、ENDF/B-IV、ENDF/B-VI、FENDL 等から輸送計算に用いる群定数を作成し (FUSION-J3、FSXLIB-J3 等)、それを用いた実験解析計算を行い、C/E (計算/実験) を基に妥当性をチェックして問題点の抽出とそのフィードバックによって、より精度の高いデータ

の完成に寄与しております。ベンチマーク実験として、単純組成、単純形状体系を用いて D-T 中性子入射により体系中の反応率、中性子スペクトル分布を測定し、輸送計算値の比較を行い C/E を求めます。これまで、増殖ブランケット候補材 Li20、グラファイト、ベリリウム、銅、タングステン、鉄などの材料について実験を行ってきました。また、TOF 法を用いた平板体系からの角度依存漏洩中性子スペクトル実験では、より詳しいエネルギー情報を与えるものとして、2重微分断面データの積分試験に有効に機能して参りました。1983 年より、核融合中性子工学に関する原研と米国 DOE で進められてきた日米共同実験を中心テーマとし、核融合中性子環境を模擬した場での核的パラメータの予測精度の積分テストにより、核設計の不確定性の範囲を明かにすることを目的としております。これまで、第一段階〔開放系〕、第二段階〔閉鎖系〕、第三段階〔環状系〕と模擬度を高め総合的な核計算精度の検証を進めております。誘導放射能ベンチマークは核融合中性子場環境で問題となる構造材中の放射化特性を実際の場合を模擬した照射実験を行い放射能測定値と計算を比較し計算コード及び関連する核データの予測精度を検証するものです。これまでに計算コードシステム、THIDA-2、REAC*2 & 3、DKR-ICF、RACC 等、の崩壊データ及び放射化断面データの不備の抽出を果たしております。現在、JENDL 放射化断面ファイルの完成に伴う積分実験データを用いたテストをシグマ委員会の活動として進めております。核融合ドシメトリーの研究では D-T 中性子を源とする中性子場評価のための各種ドシメトリー反応検出器の適用性を実際の場合の反応率、更に中性子スペクトルを導出して検出器間の整合性、絶体的な評価から試験することを目的としております。これまでに、実際的なドシメトリー反応セットを提唱してまいりました。先に公開された JENDL ドシメトリーファイルをより信頼性の高いものとすべく、データの見直しを行っております。特に、当研究室では核融合中性子場で重要な 14MeV 領域での反応間の整合性に注意を払っております。

これまで紹介した積分実験とともに、14 MeV 中性子源 FNS が核データ測定にとって優れていることに着目し微分データ測定も精力的に実施して参りました。14 MeV 領域の放射化断面測定は、1984 年から測定プログラムを設定し中性子エネルギーが 13.3 ~ 14.9 MeV の範囲で主要核融合構成材を対象に系統的に進めております。これまでに (n, p)、(n, np)、(n, α)、(n, 2n) を中心に 200 反応を有に越える実験データの測定を達成しております。初期において、名古屋大学との協力研究として大きな成果を上げることができました。ここ数年は、質量数の高い材料に焦点を当てて 14 MeV における反応断面のシステムティックの高精度化を目指したデータの測定となっております。また、随伴 α 粒子計数法を中性子束の絶体評価に適用し、一連の断面測定に用いた Al-27(n, α)Na-24、Nb-93(n, 2n) Nb-92m などのモニター反応の絶体測定をおこない絶体値としての有効性を示すことができました。最近の話題として、放射性廃棄物評価で問題となる長寿命放射性核生成断面を測定しております。これは、関連する IAEA-CRP でのデータ要求に応えるものとして進め

ており、現在も順次測定を継続しております。また、14 MeV 中性子反応で放出する2次荷電粒子が誘導する放射化反応の測定を開始しております。これは、この連続反応過程で長寿命放射能を生成する場合が指摘されており、その予測精度を実験によって確かめるために行っているものです。さらに、14 MeV 中性子反応の反跳により材料表面から叩き出される放射性核の数から中性子スパッターリング率の測定も開始しています。これは一次弾き出し原子 (PKA) と関連する量として興味があるところで、叩き出された原子の空気中での飛程からエネルギースペクトルの導出も試みております。今後、PKA ファイルを用いた計算との比較を計画しております。一方、FNSは D-T 中性子のみならず重水素ターゲットを用いることで有力な D-D 中性子源でもあります。これまでに、しきい値の低いドシメトリで重要な反応の放射化断面積を 2~3 MeV の領域で測定しています。また、JT-60U での重水素放電実験に用いる中性子検出器の特性や校正に効果的に用いられております。

いままで紹介してきた一般的な放射線或は放射能の測定と一味違う測定として、最後に核発熱率測定を紹介します。これは、14 MeV 中性子照射による物質中の温度上昇をマイクロカロリーメータを用いて測定し核発熱率を求めるものです。核発熱率は KERMA に関連する量として直接にデータの積分試験を可能とします。これまでに、Li₂CO₃、C、Al、Ti、Fe、Ni、SS-316、Cu、Zr、Nb、Mo、Sn、W、Pb について測定し、実験と計算の比較を行っております。その結果、JENDL-3 を用いた計算は実験値を 30% 以内で予測できることが明らかになっております。

その他、直接核データとの関係は無い活動として、高フルエンスを必要とする各種機能材の 14 MeV 中性子照射効果実験の要求に応じて行くべく FNS の有効利用を徐々に開始しています。いまのところ、共同利用施設では無いので、限られた要望にしか応えることができませんが、FNS の増力計画を進め広い要求に対処して行くべく検討しております。

最後に、核融合炉開発から見た問題点について私見をのべさせていただきます。核データを含む基礎的な実験による核特性の研究は、ともすると第2義的な優先度の低い研究とされがちな印象となっております。確かに、核データと核融合中性子研究は、不確定性で物事を測るならば比較的データベースの充実は進んでいると言えます。核データ評価活動も核融合に関しては JENDL-3 の完成で一段落したと同時に、いわゆる核融合ニュートロニクス研究における直接的なインパクトの減少がここ数年の流れとして、大学での活動の減衰さらに休止という現象として如実に現れております。しかしながら、D-T 燃焼プラズマが核融合炉としての必須の条件であるならば、当然の帰結である 14 MeV を源とした中性子が関与する核的諸量の定量的な把握は、まさに核融合炉が炉として成立するかどうかを規定する条件であることは明白です。中性子核反応がもたらす複雑かつ多様な現象は必ず D-T 燃焼の結果量として目の前に突き付けられるのであるから、ここで、長期的な展望に立って、あるべき姿をもう一度捉え直す時期にさしかかっているようです。