

原子力歴史構築賞

(3) 核融合研究開発における核融合中性子源FNSの 果たしてきた役割

日本原子力研究開発機構
核融合研究開発部門
今野 力
konno.chikara@jaea.go.jp

日本原子力研究開発機構原子力科学研究所にある核融合中性子源 FNS が、「核融合研究開発における日本原子力研究所（当時）核融合中性子源 FNS の果たしてきた役割（昭和56年以降）」で日本原子力学会原子力歴史構築賞を受賞いたしました。今回の受賞に当たり、FNS 施設で行ってきた核融合中性子工学研究のうち、核データに関わりのある研究についてご紹介いたします。

1. 核融合中性子源 FNS

日本原子力研究開発機構原子力科学研究所（旧日本原子力研究所東海研究所）にある核融合中性子源 FNS (Fusion Neutronics Source) は、コッククロフトウォルトン型の 400kV 加速器で、重陽子を加速し、ビームライン先端に取り付けたトリチウムターゲットに当てることにより、DT 反応で 14MeV 中性子を発生させる装置です（図 1, 2） [1]。ビームラインは 0°ビームラインと 80°ビームラインの 2 つがあり、それぞれの先端にトリチウムターゲットが取り付けられ、独立に 14MeV 中性子を発生させることができます（図 3）。特に、0°ビームラインには、20mA の重陽子ビーム入射時の熱負荷に耐えられるように、直径約 30cm の大型トリチウムターゲットを用いた回転ターゲットシステムが設置されています（図 4）。また、80°ビームラインにはパルス化装置が設置されており、パルス中性子の利用も可能です。FNS は、世界中で現在稼働している加速器型 14MeV 中性子発生装置の中で最高性能の装置です。

FNS 加速器の概要は以下の通りです。

- | | | |
|----------|------|---------------|
| (1) 型 | 式 | 400KeV 重陽子加速器 |
| (2) 直流 | 高圧電源 | 400kV、100mA |
| (3) イオン源 | 大電流用 | : バケツ型 |
| | 小電流用 | : バケツ型 |

- | | | | |
|-----------------------|--|------|---------------------------------|
| (4) ビーム電流及び
中性子発生量 | 0°ビームライン | 40mA | $7.2 \times 10^{12} \text{n/s}$ |
| | 80°ビームライン | 3mA | $3 \times 10^{11} \text{n/s}$ |
| (5) パルス性能 | パルス幅最小 2ns (FWHM)、ピーク電流 80mA | | |
| (6) ターゲット | 0°ビームライン：回転水冷ターゲット、
～37TBq (1000Ci)トリチウム装荷 | | |
| | 80°ビームライン：固定水冷ターゲット、
～0.37TBq (10Ci)トリチウム装荷 | | |

FNSのファーストビームは、筆者が旧日本原子力研究所に入所した1985年より前の1981年8月で、その後27年間、加速器型DT中性子源として世界最大級の中性子発生率と優れたパルス性能を武器に、核融合炉の研究開発に不可欠なトリチウム増殖ブランケット核特性、遮へい、誘導放射能、核発熱、核データ測定・検証等の様々な核融合中性子工学実験を実施し、核融合炉の研究開発において大きな成果を上げてきました。

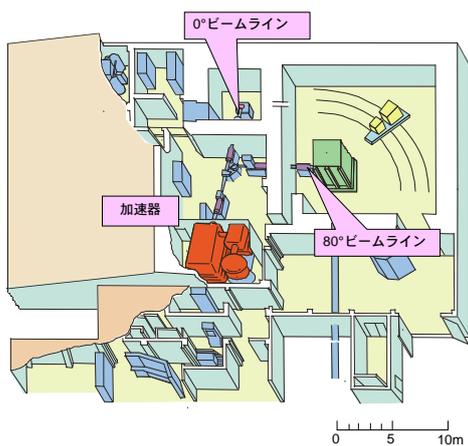


図1 FNS 施設鳥瞰図



図2 FNS 加速器本体写真



図3 小型トリチウムターゲット（上）と
大型トリチウムターゲット（下）

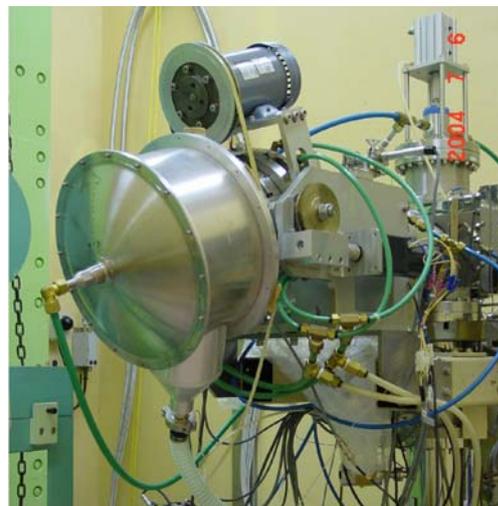


図4 回転ターゲットシステム

2. 日米共同実験

1982年から約10年にわたり、核融合中性子工学に関する旧日本原子力研究所と米国エネルギー省との共同研究プログラムに基づく核融合ブランケット中性子工学実験がFNSで当時の核融合炉物理研究室一丸となって行われました。当時の核融合炉設計をベースにそのブランケットを模擬したユニークな3つの大型体系を用いて(図5,6)、日米共同で(米国側は、カリフォルニア大学ロサンゼルス校とアルゴンヌ国立研究

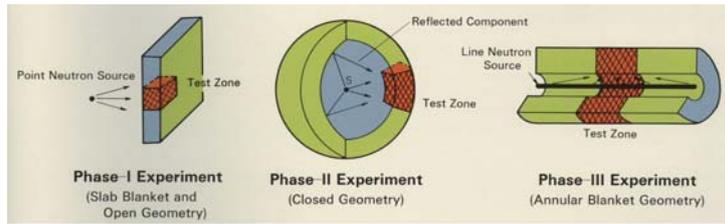


図5 日米共同実験体系概念図

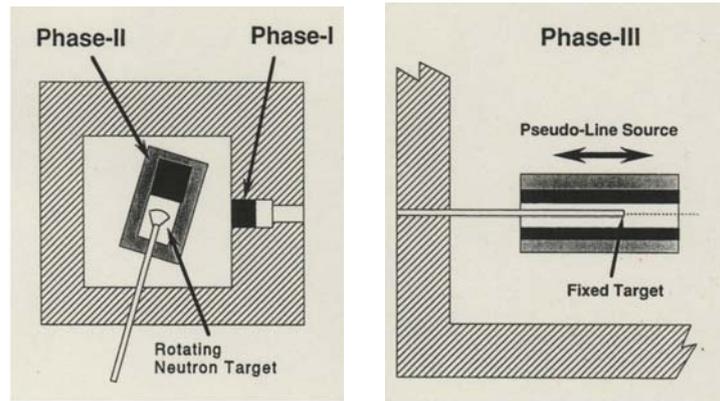


図6 日米共同実験体系配置図

所)、種々の実験データ(トリチウム生成率、中性子スペクトル、反応率、核発熱等)を測定し、また、この実験の解析を公開前のテスト的なJENDL-3.1や公開された正式のJENDL-3.1を用いて行い、JENDL-3.1の整備に貢献するとともに世界の核融合中性子工学研究を大きくリードする極めて優れた成果をあげました[2]。また、この共同研究の中で、誘導放射能に関する一連の実験も並行して行われ、JENDL Activation Fileだけでなく、European Activation Fileの検証にも使われました。本研究の成果により、1991年に日本原子力学会賞論文賞(中村、前川(洋)、池田、大山)を受賞するとともに、科学技術長官賞「研究功労者」(中村)も受賞しました。

3. ベンチマーク実験

核データライブラリーの妥当性検証のためのベンチマーク実験はFNSの初期から現在まで行われています。このベンチマーク実験では、簡単形状、簡単組成の実験体系にDT中性子を入射し、体系内の測定を行う(クリーンベンチマーク実験)[3]

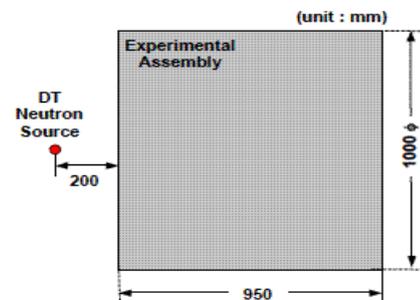


図7 クリーンベンチマーク
実験配置

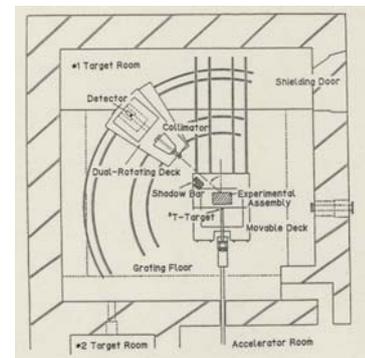


図8 TOF 実験配置

とともに飛行時間法による実験体系からの漏洩中性子スペクトルの測定 (TOF 実験) [4] も行いました (図 7, 8)。これまでに、クリーンベンチマーク実験では Li_2O 、 LiAlO_2 、 Li_2TiO_3 、 Li_2ZrO_3 、 Be 、グラファイト、 SiC 、 V 、 Fe 、 Cu 、 W の 11 体系、TOF 実験は Li_2O 、 Be 、グラファイト、液体窒素、液体酸素、 Fe 、 Pb の 7 体系で実施し、世界的に見ても数少ない貴重なベンチマーク実験データとして、日本の核データライブラリー JENDL のみならず、米国の ENDF/B、ヨーロッパの JEFF の精度検証、修正に有効に使われ、その改訂に多大の貢献をしてきています。

4. 断面積測定

名大との共同研究で 200 反応を超える放射化断面積測定を実施するとともに [5] (図 9)、核データライブラリーを作成する上で評価が困難な軽核に対する荷電粒子放出断面積測定 [6] (図 10) 及び $(n, 2n)$ 反応断面積測定 [7] を阪大との共同研究で実施し、核データの微分測定においても世界をリードする大きな成果を上げています。

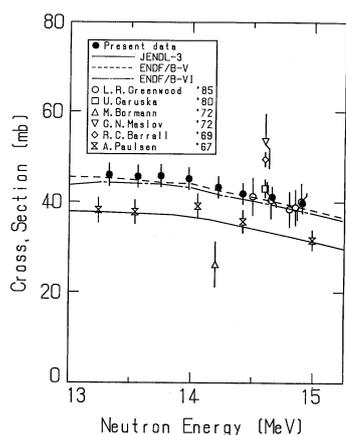


図 9 $^{63}\text{Cu}(n, \alpha)^{60m+g}\text{Co}$ 断面積

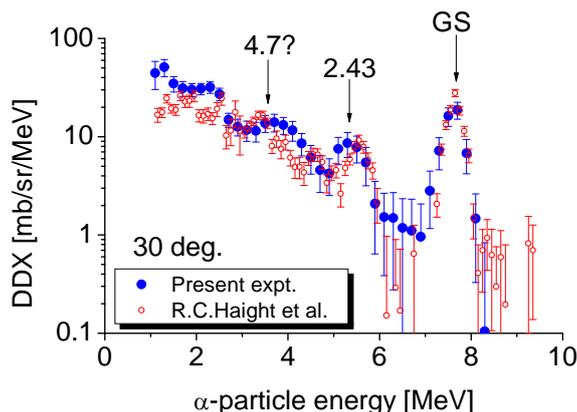


図 10 $^{12}\text{C}(n, x\alpha)$ 反応で 30 度方向に放出される α 粒子の二重微分断面積

5. ITER 遮へい実験

1991 年から国際熱核融合実験炉 ITER の工学設計活動に参加し、約 6 年にわたり ITER の遮へい体を模擬した実機サイズの様々な体系を用いたバルク遮へい実験 [8] (図 11)、ストリーミング実験 [9]、誘導放射能実験、核発熱測定実験、崩壊熱測定を実施しました。これらの実験の解析をもとに ITER の遮へい設計の設計裕度が決定されるとともに、核融合

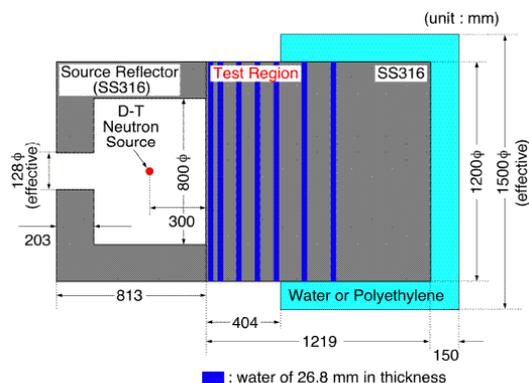


図 11 ITER 遮へい実験体系 (SUS/水バルク体系)

炉用核データライブラリーFENDLの精度を検証し、ITER開発に大きく貢献しました。

6. ブランケット核特性実験

2001年からITERに設置するテストブランケットモジュールのための一連の核特性実験(図12)を精力的に進め、世界に先駆けてテストブランケットモジュールでのトリチウム生成率の予測精度が10%程度であることを明らかにしました[9]。この研究成果により2006年にプラズマ・核融合学会賞技術進歩賞(佐藤、落合、西谷)を受賞しました。

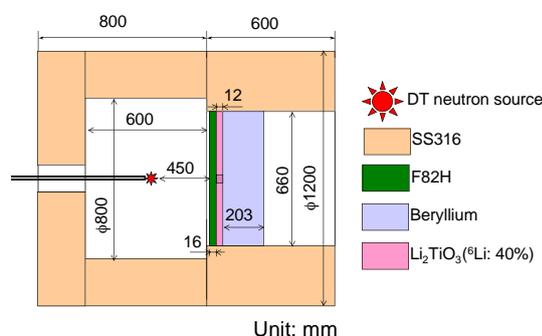


図12 ブランケット核特性実験体系列

7. おわりに

FNSは1981年8月のファーストビームから27年間、核融合中性子工学の研究分野で世界のトップを走り、核データの測定、検証にも大きな成果をあげてきました。FNS建家ができて既に30年以上が経過し、空調設備等の施設の老朽化は否めませんが、運転グループの不断の努力の結果、加速器自体は今でも世界最高性能を維持しています。シャットダウンの危機も何度かありましたが、関係各位のご尽力のおかげで何とか乗り越えてまいりました。FNSでやるべき研究はまだたくさん残っており、共同研究に対するご要望も多数ございます。これからもFNSで新たな歴史を構築してまいりますので、皆様のご支援、ご指導、ご鞭撻を何卒宜しくお願いいたします。

参考文献

- [1] T. Nakamura, et al., Proc. 4th Symp. on Accelerator Science Technol., RIKEN, Saitama, 24-26 Nov, p. 155 (1982).
- [2] Fusion Technol. **28** (1995).
- [3] F. Maekawa, et al., JAERI-Data/Code 98-021 (1998).
- [4] Y. Oyama, et al., JAERI-M 90-092 (1990).
- [5] Y. Ikeda, et al., JAERI 1312 (1988).; C. Konno, et al., JAERI 1329 (1993).
- [6] K. Kondo, et al., J. Nucl. Sci. Technol. **45**, 103 (2000).
- [7] C. Konno, et al., Proc. 20th Symposium on Fusion Technology, Marseille, France, Sept. 7-11, p.1263 (1998).
- [8] C. Konno, et al., Proc. 20th Symposium on Fusion Technology, Marseille, France, Sept. 7-11, p.1473 (1998).
- [9] 佐藤 他, プラズマ核融合学会誌 **82**, 306 (2006).