

ND2004

(4) 核データ応用関係

日本原子力研究所
岡嶋 成晃
okajima@popsvr.tokai.jaeri.go.jp
千葉 敏
sachiba@popsvr.tokai.jaeri.go.jp
辻本 和文
ktsuji@omega.tokai.jaeri.go.jp

1. はじめに

会議への出発直前に、本誌の編集担当者から岡嶋に原稿執筆の依頼があった。そこで、現地での registration を終え、配布された要旨集から執筆担当分野の「応用」に関するキーワードを拾い出したところ、天体・宇宙物理、医療、核分裂、核融合、核燃料サイクル、核変換、・・・と非常に多岐に亘っていることが判明した。とても岡嶋単独では担当分野を網羅することが出来ないと考え、registration 後の reception や plenary talk の会場において共同執筆者を捜した。その結果、岡嶋の依頼（半ば、強引な頼み込み）によって千葉、辻本が快諾（-!-;）し、本稿の執筆となった。

ここでは、天体・宇宙関係、医療関連を千葉が、核燃料サイクル、核変換関連を辻本が、核分裂、核融合関係を岡嶋が担当した。

2. 天体・宇宙物理、宇宙利用、医療関連の核データ

天体・宇宙物理関連のセッションでは最近の測定と理論に関する発表が行われた。天体、宇宙、医療関連発表は、理論、測定、測定装置等のセッションでも多く行われたが、ここではそれらを一部含めて概説する。

測定では、ロスアラモス、セルン、カールスルーエ、オークリッジ、トライアンフ等における測定が紹介された。ロスアラモスからは、Ullmann と Reifarh が、DANCE (The Detector for Advanced Neutron Capture experiments) についての発表を行った。DANCE は 162 個の BaF₂ 検出器を 4 π 状に並べたものであり、1mg 程度の試料の断面積測定が可能となる。これにより、従来まで測定不可能であった放射性試料等の断面積測定が、熱エネルギーから 100keV 程度までの範囲で可能になるとのことであった。セルンからは n_TOF プロジェクトについての多くの発表があった。従来問題であったバックグラウンドの低減化が行われ、現在までに数種類の核分裂断面積と中性子捕獲断面積の測定が行われて

来た。セルンの測定は1eVから100MeVの範囲で可能な能力を持っており、飛行距離200m、分解能0.3% (1eV)、2.1% (100MeV) というのも驚異的である。現在、日本の提案で熱領域まで下げる計画が進行中である。ロスアラモス、セルンとも放射性核種¹⁵¹Smの測定に興味を持っているのが印象的であり、実際に測定が進行中(一部終了)である。カールスルーエからもBaF₂検出器によるHf及びLu同位体の中性子捕獲を0.9~1.8%の精度で行われた旨の報告がされた。特にisomerが存在する核についてはそれらを生成する断面積も報告された。トライアンフ及びオークリッジでは、放射性同位元素加速による不安定核の断面積測定等の報告が行われた。理論面で特徴的だったのは(天体物理セッションでの発表ではなかったが)ベルギーのGorieryの発表で、ベルギーのグループが長年行ってきた微視的理論に基づく計算を改良し、原子核質量、核半径、分離エネルギーの精度を向上させたとのことである。また、この計算の与えるポテンシャルエネルギー面を用いて核分裂障壁を計算し、二山のパラボラ関数でフィットして統計モデルにおける核分裂計算を行った報告がされた。現状では障壁の誤差が1MeV程度あるので、核分裂断面積の立ち上がりを再現することはできないが今後期待の持てる内容であった。その他、Audiの原子核質量の最新の成果や、TALYS (Koning)、EMPIRE (Herman)の現状報告も天体物理の観点から興味深い研究であった。フランスからの時間依存生成座標の方法による核分裂片の質量分布の計算(Goutte)も様々な応用の点から重要であると思われる。Kratzによるr過程に関連する核データのレビューでは中性子過剰領域での原子核の形状と殻構造の変化の重要性が説明された。またHeilによるs過程に関連する核データでは、滞留核近傍の他に、中性子毒として働く軽い核の核反応の重要性が強調された。

宇宙利用関連では、中高エネルギー断面積の計算(MARSの現状)や断面積測定(Uppsalaグループ等)等の発表が行われた。MARSの著者であるMokhov氏は、高エネルギー側でCEM2003やクオークグルーオンストリングモデル(LAQGSM03)を組み込む一方、低エネルギー側では我々が行っている軟回転体模型+チャンネル結合法による弾性散乱及び非弾性散乱断面積の詳細解析の結果を取りむなど、精度に非常に気を遣っているという印象である。医療分野では、単一光子放出トモグラフィーや陽電子放出トモグラフィー(Qaim)、粒子線治療のための核データ(Dicello)、粒子線による細胞破壊のモデル化と核データ(Ballarini)、医療照射に伴うドシメトリー(Jones)についてのレビュー講演等が行われた。

3. 燃料サイクル、ADS (Application : Fuel Cycle, ADS)

オーラルセッションでは、4件の口頭発表があった。第4世代(GEN-IV)原子炉や加速器駆動炉(ADS)等の革新的原子炉システム導入を想定した幾つかのシナリオに対して、それぞれのシナリオのサイクル特性に影響を与える核種・反応を定量的に評価した、非常に興味深い研究であった。特にマイナーアクチノイド(MA)を含む新型炉の設計では、MA核種の断面積データの不確かさが炉心特性に与える影響が大きく、こうした新型

炉の設計研究ではMA核種の断面積データの充実が不可欠であることが示された。また、断面積データと同様に設計精度を適切に評価するために断面積データの共分散の整備も重要である点も指摘された。

ベルギーのSCK・CENで建設を計画しているADS実験炉計画MYRRHAについて、計画の概要と現状について紹介があった。MYRRHA計画は、高速中性子の照射場を提供すると共にADSの基礎研究等を行う多目的利用のADSの建設を計画しており、感度解析の結果を基に核変換を目的としたADS開発のために必要な核データが提示された。ADS研究開発については、核融合中性子と溶融塩燃料体系を組み合わせた熱中性子ADS体系に関連して、黒鉛体系中での実験結果も紹介された。

また、軽水炉MOX燃料軽水炉の解析における非等方散乱の影響を定量的に評価した結果も報告され、我が国におけるプルサーマルの導入を前に時宜を得た研究であった。

今回の会議においては、本セッション以外の発表やポスター発表でMA断面積データに関連して多くの発表があった。主なものとして、欧州を中心としたHINDAS計画やCERNのn_TOF実験、米国での先進的燃料サイクルイニシアチブ(AFCI: Advanced Fuel Cycle Initiative)の一環としてのLANLでの測定等のMA核種の断面積データの測定が挙げられる。また、積分実験による核データの検証も系統的に行われている印象を持った。この背景には、近年のADSによる核変換や米国におけるAFCI、GEN-IV原子炉等の新型炉の設計研究において、MA核種の核データの重要性が認識されている事が挙げられる。また、断面積データと同様に共分散データの重要性が多くの研究で指摘されていた。

MA断面積データの測定・整備等に関しては、米国・欧州の現状に比べて、日本の現状は遅れており、日本においてもMA核種の核データの系統的な測定や検証が不可欠であるとの印象を強く持った。

4. 核分裂関連の核データ

米国ではENDF/B-VIの後継ライブラリーとして、ENDF/B-VIIの準備を進めており、その予備版を用いたベンチマークテストが報告された。予備版では、ENDF/B-VIに比べて、 ^{235}U 、 ^{238}U の共鳴パラメータが再評価され、断面積データが見直された。その結果、ENDF/B-VI、JENDL-3.3、JEFF-3.0で見られたような低濃縮U軽水炉体系での実効増倍率の計算と実験の不一致が改善することが報告された。

遅発中性子データに関しては、IPN(ブラジル)の研究炉MB-01で実施された原子炉雑音に基づく新しい測定手法による遅発中性子割合測定が報告された。実験結果から、JENDL-3.3の遅発中性子データがENDF/B-VIやJEFF-3.0よりも良い精度であることを示すとともに、FCAで実施した遅発中性子国際ベンチマーク実験の結果から得た ^{235}U 遅発中性子データの支持が報告された。

^{237}Np を初めとするMA核種の核データ関連では、LANL(米国)が、加速器LANSCEを用いて中性子エネルギー範囲 $10^{-1}\text{eV}\sim 10\text{eV}$ で ^{237}Np 捕獲断面積を測定し、その結果を

最新の評価済核データライブラリー (ENDF/B-VI.8 及び JENDL-3.3) と比較した報告があった。測定結果と評価済みデータは概ね良い一致を示したが、共鳴の谷底では測定値が評価済データより数倍小さな値であった。また、JNC と京大炉が、共同で KURRI の 46MeV LINAC を用いた中性子エネルギー200eV 以下の ^{237}Np 捕獲断面積、1eV 以下の ^{237}Np 全断面積を測定し、その結果を JENDL-3.3 と比較した。こちらも、測定結果と評価済データは良い一致を示したが、この測定は、 ^{10}B 捕獲断面積で規格化しているため、 ^{10}B 捕獲断面積の精度に依存することに注意が必要である。

JRC (欧州) とブカレスト大学は、統計モデルに基づき核分裂の多重モードの考慮を加えた STATIS コードを用いて、Np をはじめ MA 核種の核分裂断面積、即発核分裂中性子数と核分裂スペクトルを計算した。多重モードの考慮により、20MeV までのエネルギー範囲において、これまで測定では得られなかったエネルギー領域での核分裂断面積の予測が可能になるとともに、より現実的な核分裂片残留温度分布と即発中性子の非等方性等の計算が可能になった。これら計算結果と実験の良好な一致が示され、MA 核種の核分裂断面積や核分裂中性子放出数の計算精度の向上が図られた。

MA 核種の積分データの分野では、IPPE (露国) の BFS が大量の Np を所有し、それを用いた臨界実験の実施が有名である。本会議でも、その関連研究がポスターで発表される予定であったが、発表者の欠席のため、取り下げられた。なお、要旨集によると、KALIMER 設計のために構築された BFS-73-1 炉心(20%濃縮金属 U, Na から成る)で ^{237}Np 、 ^{241}Am 、 ^{243}Am の積分測定が行われた。実験解析は決定論的手法によって行われ、実験との比較により ABBN-93、ENDF/B-VI、JEF-2.2、JENDL-3.2 等の予測精度が評価された。この比較に際し、いくつかの補正が実施されたが、その項目・内容及び断面積の予測精度評価結果等は不明である。この他に、仏国の PROFILE 実験や英国の Dounreay 炉を用いた MA 照射実験に対する、最新の核データライブラリーを用いた解析結果が報告された。これらの積分実験データは全体に不足しており、今後もエネルギー領域等を考慮した実験データベースの拡充が必要であることが改めて認識された。

核燃料サイクルでの核データでは、ANL (米国) と CEA (仏国) が共同で、3つのシナリオ (Na 高速炉で (Pu+MA) 多重リサイクル、Pu と MA の階層サイクル、(MOX+Am+Np) PWR と GEN-IV を組合わせたサイクル) に対する核データの誤差解析を行い、どの核種のどの反応断面積の精度向上が必要であるかについて報告した。とりわけ、 ^{241}Am と ^{244}Cm 核反応断面積がサイクル全体に大きな誤差を与えることが示唆された。

冒頭に述べた経緯のため、本稿の構成、記載内容について、執筆担当者間で十分な打合わせを行っていない。したがって、一部内容が重複したり、内容に偏りが見られる。また、担当者の落度から核融合関連の核データを触れていない。これらの責は、すべて最初に執筆を引受けた岡嶋にあり、読者の皆さんに多大のご迷惑をかけたことを深くお詫びします。