

IAEA 研究協力「核廃棄物変換のための マイナーアクチニド核分裂収率データ」 第 3 回調整会議に出席して

日本原子力研究所核データセンター

片倉 純一

katakura@ndc.tokai.jaeri.go.jp

1. はじめに

核廃棄物には、Cm 等の長半減期のマイナーアクチニドが含まれている。これらのマイナーアクチニドは燃料の燃焼度とともに増加する。このマイナーアクチニドを核変換により短半減期の核種に変換する試みが加速器利用等で行われている。この検討のためには、信頼できるマイナーアクチニドの核分裂収率データが必要であるが、従来評価されている収率データは、熱中性子、核分裂中性子、14 MeV 中性子についてであり、加速器利用等で必要とされる高エネルギー中性子による核分裂収率データやエネルギー依存を取り入れた信頼性のある核分裂収率データ及びそのシステムティックスは整備されていないのが現状である。このため、IAEA では CRP (Coordinated Research Program) を企画し、入射エネルギー 150 MeV までの核分裂収率を予測可能なシステムティックスを作成することを計画した。この CRP は 4 年計画で 1997 年に始められ、最初の年に第 1 回調整会議、2 年後の 1999 年に第 2 回調整会議が開催され、CRP 最後の年の 2001 年に第 3 回調整会議が開催されたものである。

2. 概要

第 3 回調整会議は、平成 13 年 10 月 29 日から 11 月 2 日までウィーンの IAEA 本部で開催された。別添に Agenda を示す。本研究協力には核分裂収率のシステムティックスで有名な米国の Wahl や核分裂収率の研究で有名なドイツの Denschlag が参加しているが、病気等により今回の会議には参加できなかった。その代わり、フランスに滞在中の Tsekhanovich が Denschlag の代理で参加し、Wahl、Denschlag の報告を行った。このため、今回の参加者は、筆者に加え、英国の Mills、オランダの Duijvestijn、中国の Liu、ロシアの Goverdovski、ウクライナの Kibkalo、カザフスタンの Zhdanov、ベ

ラールの Maslov、フランスからは前記の Tsekhanovich の他オブザーバで Storrer、Ethvignot (当時米国 Los Alamos に滞在中) であった。Secretary は IAEA の Lammer である。前回の会議では、議長を Denschlag が務めたが、今回は欠席のため、Mills が議長を務めた。会議では、各参加者よりこれまでの作業の進展等について報告した。

2.1 参加者からの報告

ユーザーの立場から Storrer は、フランスにおける R&D の傾向を踏まえ、工学的応用で必要とされている核データの優先順位について説明した。優先順位を 3 段階に分け、それぞれの問題点及び必要とされるデータについて説明した。この内容は、10 月につくばで開催された核データ国際会議の発表とほぼ同じものである。

文献調査、データ編集については、Denschlag の代わりに Tsekhanovich が中性子、陽子、重陽子等各種の入射粒子による核分裂収率の測定に関する文献収集について報告した。187 件の文献がリストアップされている。それぞれを、入射粒子、質量分布等データの種類に分けて分類している。データ編集については、中性子入射のデータを Liu が、重陽子等の入射によるデータを Mills が報告した。

新しい測定として、Ethvignot が Los Alamos との共同で 26 個の Ge 検出器からなる GEANIE を用いて実施した中間エネルギー領域の中性子によるウランの核分裂収率について報告した。この報告も核データ国際会議で発表されたものである。(最も、Ethvignot 本人は、参加できず、代理で発表してもらったようである。) また、 $^{235}\text{U}(n,f)$ の非対称核分裂から対称核分裂への変移についての Lawrence Livermore グループの仕事についても紹介した。この測定も Los Alamos の GEANIE 検出器を用いたものである。両者とも同時計測の手法を用いて励起関数や FP 核種の生成断面積を求めている。また、Storrer と Tsekhanovich は最近フランスで行った $^{245}\text{Cm}(n,f)$ の測定について報告した。 $^{245}\text{Cm}(n,f)$ は半減期が長く (8500 年) 燃料中に燃焼度とともに蓄積され (特に、MOX 燃料では蓄積量が大きくなる) 廃棄物管理等で重要となる。このため、ILL (グルノーブル) と CEA の共同で測定されたものである。高精度の結果が得られている。Zhdanov は ^{233}Pa や ^{236}Np 等のマイナーアクチニドについての陽子入射の測定 (30 MeV 以下) 及び Multi-Modal fission による解析について報告した。この解析では、非対称分裂に通常の S1 (Standard 1)、S2 (Standard 2) に加え、S3 (Standard 3) のモードを取り入れている。各核分裂モードのパラメータのエネルギー依存性、質量依存性を調べている。

評価については、Liu 及び Mills がそれぞれ中性子入射核分裂収率評価及び UKFY3 評価の現状について報告した。Liu の仕事は、この CRP での契約で評価を行ったものであり、既存の ENDF/B-6、JEF-2、JENDL-3、CENDL-FY との比較も行っている。また、共分散の評価も行っている。

システムティックスについては、森山 - 大西モデルの改良の可能性について筆者が報告した他、Wahl のシステムティックスの改良の進展について Wahl に代わり Tsekhanovich が報告した。 $Z=90 \sim 98$ 、 $A=230 \sim 252$ 、入射エネルギー200 MeV までの範囲に適用できるように改良を試みている。高エネルギー領域のシステムティックスは、 ^{238}U の陽子入射のデータを用いている。質量分布、荷電分布、中性子放出量について広範囲なシステムティックスを構築している。このシステムティックスは、CYF プログラムとしてコード化されている。Wahl に照会すれば入手可能と思われる。

理論的な研究については、Duijvestijn が Brosa モデルをベースに核温度依存性を持たせた改良について報告するとともに測定との比較も行い理論計算の現状について報告した。Goverdovski は核分裂におけるポテンシャルエネルギーの重要性を指摘する報告を行った。Kibkalo は、励起エネルギーがほぼ同じ光核分裂と中性子や陽子入射の核分裂の違いについて述べ、この違いは角運動量による可能性が高いと報告した。ただ、この報告に対しては、光核分裂のデータは、入射光子が単色ではなく、制動輻射による光子を使っているため、励起エネルギーが実際はかなり違っているためではないかとの指摘があった。Maslov は、核分裂断面積の計算及び高エネルギー領域における second chance fission や third chance fission の影響について報告した。

2.2 今後の予定

以上、参加者からは、ユーザーからのニーズ、測定データの現状に加え、様々なアプローチによる高エネルギー領域のマイナーアクチニドの核分裂収率を予測する試みが報告されたが、現状では、測定データがあるものについてはある程度再現することが可能であるが、測定データの無い領域に、それらのモデル、システムティックスがどの程度適用可能か、すなわち、誤差がどの程度であるかについては不明である。したがって、この CRP の入射エネルギー150 MeV までの信頼できるシステムティックを作成するという目的には、まだ、到達していないという認識であった。このため、本年度で終了することになっている本 CRP をどのようにして終息させるかが議論となった。

議論の結果、各モデル、システムティックスによる Intercomparison を行ってはどうかとの提案があり、各参加者が所持している方法でそれぞれベンチマーク計算を実施し、お互いの結果を比較することになった。この比較により、現在利用できるモデルやシステムティックスの精度をある程度把握することが可能となる。このベンチマーク計算を実施するため本 CRP を1年間延長するという提案を IAEA に対して行うこととなった。このため、どのようなベンチマーク計算を実施するかを議論し、ベンチマーク問題を設定した。このベンチマーク計算では、既にある測定データとの比較と測定の無い核種及びエネルギー領域での計算との2本立てとし、現状の把握とモデル間の違いを明確にする。スケジュールとしては2002年の6月までに測定との比較計算、9月までに測定の

無い領域での計算ということになった。結果の検討等は 2002 年 11 月以降にウーンにて行う。なお、延長が認められない場合も考えられるので、認められなかった場合は、ベンチマーク計算の規模を縮小し、本 CRP 作業の範囲内として実施し、5 月までに報告書を作成することとなった。

3. おわりに

入射エネルギー 150 MeV まで適用できる核分裂収率のシステムティックスを作成するという本 CRP の初期の目的を達成するには至っていない。このことは、核分裂現象の理解が、まだ、定性的な理解にとどまっており、定量的な理解になっていないということを反映している。マイナーアクチニドの核変換の検討に必要な信頼できる核分裂収率データを得るという実用的な面のみならず、核分裂現象の理解を深めるためにも、測定及び理論的考察の両面から今後も、核分裂収率データの検討を継続する必要がある。なお、予定されているベンチマーク計算が予定通り行われれば、核分裂収率の予測精度についてある程度の信頼性を得ることができるであろう。ただ、旧ソ連からの参加者は、どうも歯切れが悪く実際に、期日まで計算ができるか疑わしいところである。

別 添

Revision 2001-10-29

Third Research Co-ordination Meeting on
**Fission Product Yield Data Required for Transmutation of Minor Actinide
Nuclear Waste**

IAEA Headquarters, Vienna
29 October - 2 November 2001

AGENDA

1. Opening

- 1.1 Opening speech by A. Nichols (Head, Nuclear Data Section)
- 1.2 Introductory remarks, announcements by M. Lammer; election of Chairman
- 1.3 Adoption of Agenda, discussion of time schedule

2. Presentation of papers by participants

Listed below are the presentations by participants with titles of papers if I have received them already, or according to their last presentations or titles of their Research Contract/Agreement proposals. The presentations do not necessarily have to follow the order given below.

2.1 User requirements

F. Storrer: "Priority Nuclear Data Needs for Industrial Application"

2.2 Collection of literature, data compilation, data bases

H.O. Denschlag: "Measurements of Product Yields from Fission Reactions Induced by High Energy Neutrons, Protons, Deuterons, Alpha-Particles, other Charged Particles and

Photons. Collection of References” - presented by I. Tsekhanovich.

R.W. Mills: Compilation of d-, t- and α -induced fission yield data.

Computer file of compiled data.

Liu Tingjin: “Compilation of neutron-induced fission-product yields”

2.3 *New experimental results*

T. Ethvignot et al.: “Intermediate Energy Neutron-Induced Fission of Uranium: Product Yields and Isomer Studies”

W. Younes et al.: “Transition from asymmetric to symmetric fission in the $^{235}\text{U}(\text{n},\text{f})$ reaction” - presented by T. Ethvignot.

Presentations by F. Storrer and I. Tsekhanovich on recent measurements at the ILL Grenoble using the Lohengrin facility.

S. Zhdanov: Development of a multi-modal approach to the description of fission product yield data for actinides (title of research project proposal).

2.4 *Evaluation*

Liu Tingjin: “Evaluation of fission yield data for reference and minor actinides”.

R.W. Mills: status of UKFY3 evaluation, new developments.

2.5 *Systematics of yield data, simple and empirical models*

J. Katakura: “Study of Fission Product Yield Data at JAERI”.

A.C. Wahl: “Systematics of fission product yields” - presented by I. Tsekhanovich.

2.6 *Theoretical investigations*

M. Duijvestijn et al.: “Nucleon induced fission at Intermediate Energies”.

A.A. Goverdovski: Evaluation of chain yield data for high-excitation fission of minor actinides (title of research project proposal).

Yu.V. Kibkalo et al.: “Phenomenological model for fragment mass and charge distributions in actinide nuclei fission”.

V. Maslov: Emissive fission influence on the energy dependence of fission yields (title of research project proposal).

3. **Outlook**

3.1 *Development of an evaluation*

Discussion and conclusions (should be included in the final publication): how can the results of this CRP be used for the development of an actual evaluation; which/how much research work would still be necessary.

3.2 *Proposal for the future of this project*

Discussion and conclusions on whether and how the project of this CRP can be continued:

- Is it worthwhile and is there sufficient work within the proposed tasks to continue the project as a CRP (= proposal of an extension of the CRP by another year). In this case a justification would have to be formulated.
- Or would rather the continuation of the research in the frame of 2 or 3 individual contracts be a feasible alternative (-> formulation of a recommendation).
- Or should we just publish what we have together with our conclusions from 3.1 above.

3.3 *Final publication (CRP report)*

Discussion of contents and arrangement of contributions; formulation of CRP summary; schedule for finalization of contributions and assembly of document.