

話 題

核分裂生成物の核データに関するパネル

出席報告

岡下 宏(原研) 瑞慶覧 篤(動燃)

松延 広幸(住友原子力)

その1

岡下 宏(原研)

昭和48年11月26日から30日まで、北部イタリアのポロニアで、18カ国から61名が参加して、IAEA主催の表記パネルが開催された。わが国からは、住原工の松延、動燃の瑞慶覧、および原研の岡下が出席した。以下に本パネルの概要を報告する。

パネルの目的は、核分裂生成物核データ(Fission Product Nuclear Data, FPND)の利用者および製造者(測定者および評価者)が一堂に会し、利用者は、各FPNDに対する精度ならびに正確度に関してそれぞれ具体的な要求をおこない、これと評価済核データとのギャップを明らかにし、いかなる優先度でこの距離を埋めてゆくかをrecommendationの形で集約することであった。

このパネルは、約1年前から準備され、あらかじめ世界各国の専門家15名に依頼して、各利用分野におけるFPNDの要求ならびにFPNDの現状に関するreviewが作成してあった。パネルはreviewerの報告をもとに、まず全体会議で討論をおこない、その結果を、それぞれ、i)核分裂収率、ii)中性子断面積、iii)壊変データ、iv)遅発中性子データ、およびv)FPNDに関する情報交換のサブグループに分かれてまとめ、全体会議で再び討論、修正の上、これをパネルのrecommendationとして採択するという形で進められた。

SESSION I . FPNDに関する利用者からの要求

1. 動力炉炉心の核設計におけるFPNDの重要性(I. G. Tyror¹⁾):燃料寿命を5%の正確度で推定するためには(1971年IAEAパネルのrecommendation)、熱中性子炉の場合、燃料中に蓄積するFPの寄与を20%の正確度で知る必要があり、そのためには、¹³⁵Xe, ¹⁴⁹Sm, ¹⁴³Nd, ¹⁰³Rh, ¹⁴⁷Pm, ¹³¹Xe, ¹³³Cs, ¹⁵¹Sm, ¹⁵²Sm, ⁹⁹Tcについて7%以上の精度で捕獲断面積データが必要である。高速炉では、FPの蓄積による反応度の減少はさほど問題とならないが、それでも、¹⁰¹Rh, ¹⁰³Rh, ¹⁰⁵Pd, ¹³³Cs, ⁹⁹Tc,

^{102}Ru , ^{147}Pm , ^{151}Sm , ^{107}Pd , ^{131}Xe について20%以上の精度で断面積データが必要である。またこれら核種の核分裂収率も重要で、熱中性子炉の場合、5%以上、高速炉の場合は数%以上(ただし、 ^{147}Pm では2%以上、 ^{151}Sm では0.8%以上)の精度で知られていなければならない。このような結論を導くために、Tyrorは、FPのPoisoning効果、中性子吸収のエネルギー依存性について、詳細な解説をおこない、さらにこれらの効果と核データの不確かさとの関係を、HTGCRやLWRでの例を示しながら解析した。この報告で提出された多くのグラフや図表は、核データと核設計との現状を理解する上で非常に有用である。

2. 原子炉の工学的設計ならびに運転におけるFPNDの重要性(C. Devillers)²⁾ :

i) FPの放出ならびにそれに伴う炉内の汚染, ii) 破損燃料の検出, およびiii)

Shutdown後のFP崩壊熱の問題とFPNDとの関連について報告した。

今日、設計上用いられる燃料破損率の典型的な値は、HTGRで 10^{-4} 、LMFBRで 10^{-3} PWRおよびBWRでは 10^{-2} である。これは、多かれ少なかれ、冷却系にはつねにFPが洩れているということである。もちろん、この大部分は、精製系で分離除去されるが、一部は系内に折出しており、点検時の被曝は避けられない。250 MWe PWR(CNA)定常運転時の冷却材中の放射能は、 ^{133}Xe (67%)、 ^{135}Xe (17%)、 ^{88}Kr (4%)、 $^{85\text{m}}\text{Kr}$ (3%)、 ^{138}Cs (3%)、 ^{133}I (2.5%)などが主成分で、その他に長寿命核種として、 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{95}Zr 、 ^{103}Ru などが認められている。燃料交換や補修作業で被曝するのは主としてこれらの核種によるもので、1973年にCNAの運転作業での被曝は150 man-remであった。LSFBRでは、カバーガスのアルゴン系に集まる ^{133}Xe 、 ^{135}Xe 、 ^{87}Kr 、 ^{88}Kr などが問題となる。長寿命FPの放射能は、燃料破損率が 10^{-3} であることから、腐食生成物放射能(^{54}Mn 、 ^{58}Co 、 ^{60}Co など)と同程度であろう。これらの放射能を推定するため、FPNDの現状をみると、主として核分裂収率のデータに不確かさが多く、 ^{87}Kr 、 ^{88}Kr 、 $^{135\text{m}}\text{Xe}$ 、 ^{89}Kr 、 ^{137}Xe 、 $^{129\text{m}}\text{Te}$ 、 ^{125}Sb などが最も悪い。

破損燃料の検出には、1秒以上のKr、Xe核種の核分裂収率、半減期ならびにガンマ線エネルギーが必要である。また、遅発中性子で検出する場合には、やはり、1秒以上の遅発中性子親核種(^{85}As 、 ^{87}Br 、 ^{88}Br 、 ^{89}Br 、 ^{90}Br 、 ^{93}Rb 、 ^{94}Rb 、 ^{137}I 、 ^{138}I など)のより正確な半減期、中性子収率が必要となる。これらの核データに必要な正確度は10~20%(ガンマ線エネルギーはkeV)程度であろう。

Shutdown後のFP崩壊熱は、原子炉の安全性、熱除去ループの設計などの観点から非常に

大切なものである。UO₂ 燃料の densification が冷却材損失の際問題となることが分かって、米国では最近いくつかの BWR が deration を命ぜられた。しかし、これは、現在の after-heat の推定値が ± 20 % の誤差を含んでいることから生じたものであって、核データの正確度が十分向上すれば、このような問題は生じないはずである。そのためには、主として短寿命 FP について壊変エネルギーおよび半減期がまず、± 10 % の正確度（将来は ± 5 %）まで知られていなければならず、ニュートリノエネルギーデータも 30 % 以上の正確度が必要である。そのほか、計算誤差を推定するために核分裂収率、半減期、分岐比、壊変エネルギー、ニュートリノエネルギーおよび ¹³³Cs の捕獲断面積に関する誤差ファイルが必要であり、また、とくに 10⁵ 秒以下の崩壊時間におけるベンチマーク実験が重要である。

3. 核燃料の燃焼度測定における FPND 要求 (W. J. Maeck)³⁾: 測定法の現状を説明したのち、必要な FPND のリストを提出した。測定誤差と FPND 誤差が燃焼度計算値にどのように影響するかを Error propagation curve で説明し、なぜ燃焼度測定の方で高精度の FPND を要求するかを明らかにした。

核分裂収率は、熱中性子に関してはほしい 2 % 程度で知られており、その測定に必要な経費からみて、これ以上の正確度を要求する正当な理由があるかどうか疑問しいというのが、data producer としての Maeck の意見であった。しかし、放射性 FP のいくつか (¹⁰⁶Ru, ¹⁴¹Ce, ¹⁵³Sm, ¹⁴⁰Ba など) についてまだ改良すべき余地が残っている。

高速中性子に関する核分裂収率は、ほとんど確定しておらず、高速炉燃料の燃焼度測定のためには、ぜひ測定され評価されなければならない。現在、DFR, RAPSODIE, EBR-II などを用いて精力的に実験が進められており、数年後には、その結果がまとめられるであろう。そのとき、とくに注意すべきことは、それぞれの高速炉で得られた収率をそのまま比較してはならないということである。中性子スペクトルの影響が、非常に大きく収率値に作用しているからである。Maeck は中性子エネルギーを決める指標として、²³⁸U と ²³⁵U の実効核分裂断面積比、 σ_{f8}/σ_{f5} を用いることを提案した。

燃焼度測定に必要な放射性 FP では、 r 線強度の値が未だ不確実で、これが燃焼度の誤差に大きく響いている。⁹⁵Zr-Nb, ¹⁰⁶Ru, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁰Ba-La, ¹⁴⁴Ce-Pr, ¹⁵⁴Eu, ¹⁵⁵Eu の主要 r 線については 1 % 程度で r 線放出比が必要である。

燃焼度測定で、FP の中性子捕獲断面積は無視できない。たとえば、最も安定した核分裂モニタールとして広く用いられている ¹⁴⁸Nd も、高中性子束照射燃料では、¹⁴⁷Nd (11d, ~300 barn)

の burnin のため、正の誤差を与える。高速炉では、核分裂性核と FP との中性子断面積が 1桁程度しか変わらないので、この問題はさらに深刻である。

4. 保障措置技術における FPND の重要性 (C. Weitkamp)⁴⁾ : 未照射燃料の中性子質問法では、遅発中性子ならびに遅発 r 線に関する正確なデータが必要である。

使用済燃料の測定では、非破壊分析または破壊分析で各種 FP を定量し、その相対比から、照射時間、冷却時間、燃焼度などを推定しようとする、その結果は FPND の正確度に大きく依存する。使用済燃料の測定に重要な FPND は Maeck の要求とほとんど重複する。

5. 燃料取扱いにおける FPND の重要性 (E. Merz)⁵⁾ : 燃料の貯蔵、輸送、再処理および再加工の過程で、燃料中の FP 組成を正確に把握する必要がある、また、それぞれの放射性 FP について衰変特性が知られていなければならない。燃料取扱いに関して言えば、炉設計の場合ほど厳密な値は必要でなく、5~20% の正確度で FPND が与えられれば十分で、現在のデータでほぼ充足されている。

FPND 以外のもので、Th/U 系燃料で $^{238}\text{Th}(n, r)$, $^{232}\text{Th}(n, 2n)$, $^{231}\text{Pa}(n, r)$, $^{233}\text{Pa}(n, 2n)$, $^{232}\text{U}(n, r)$, $^{233}\text{U}(n, 2n)$, $^{238}\text{Pu}(n, r)$ 反応のデータがとほしい。また、高燃焼度燃料中の (α, n) 反応および超ウラン元素の自発核分裂による中性子放出率が不明であり、さらに超ウラン元素のうち ^{237}Np , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{242}Cm などの核種生成量を算出するのに必要な核データが十分でない。

6. 核燃料サイクルの環境問題と FPND (A. K. Gangly)⁶⁾ : 環境への FP 放出源の主なものは、原子炉の運転、再処理施設の運転、原子炉事故、核爆発、臨界事故、廃棄物容器の破損などである。環境問題を扱うときの FPND の利用の仕方は多様であるが、最終的には、線量の計算および人体への障害の推定につながる。原子炉または容器からの FP 放出率の推定、廃棄物処理過程の Chemical fractionation、環境放出に対する許容量の設定などがかなり不確定要素を含んでいるので、環境問題の立場では FPND、とくに半減期、衰変スキーム、衰変エネルギーベクトルについての正確度は現状でほぼ十分であろう。しかし、核爆発に関連して短寿命 FP の核データ、自発核分裂の中性子スペクトルデータ、各種核分裂におけるトリチウム収率などが不備である。また、高速炉の場合、($n, 2n$) 反応が重要になるが、この反応に関する FPND があまり注目されていないのは問題である。

7. 生命科学, 農業, および工業におけるFPNDの重要性(W. K. G. Kühn)⁷⁾: 生命科学では, FPは, メタボリズムの研究, 診断, 治療などに用いられているが, 生体に害を与えない程度に投与しなければならないので勢いトレーサー量を正確に用いなければならない。また, 環境の放射能汚染によるバックグラウンドの監視は必要で, バックグラウンドが使用する放射能の5%を越えた場合には, その効果を考慮に入れなければならない。

農業においては, RIの利用は肥料の開発で非常に顕著であったがFPはあまり用いられなかった。しかし, 照射用線源としての¹³⁷Cs, フォールアウトの慢性照射による発生学, 植物学ならびにエコロジー研究での長寿命FP, ならびに植物の根の発育の研究でのすぐれたトレーサーとしての⁸⁶Rb, カルシウム摂取のトレーサー⁸⁹Sr, 土壌の標識に用いる¹⁵³Sm, ¹⁴⁰Ba-La, ⁹⁵Zr-Nb など用途は多い。

工業では近年非常に多くの利用法が開発されたが, 大別すると, 厚み測定, トレーサーを用いたプロセスコントロール, 透視検査, 熱電気発生, 荷電除去などになるであろう。

以上述べた用途ではいずれもFPNDを必要とする。とくに生命科学の分野では弱い放射線(Auger電子, 弱β線)に関するデータが重要である。

その2

SESSION II : Status of Fission Product yield Data, Compilation and Evaluations.

瑞慶覧 篤(動燃)

標題のとおり核分裂生成収率の評価とデータ編集に関する現状紹介であるが, Lottのdecay heat※)に関するレビュー⁸⁾も含まれており, ECCS(emergency core-cooling system)と深いかつわりあいをもつ問題だけに各国の関心が高く, このパネルのいたるところで話題になった。

Walker¹⁰⁾とCunningham¹¹⁾がそれぞれ熱中性子と高速中性子(熱外領域)による核分裂生成物収率に関するレビューをおこない, Musgrove⁹⁾が測定データのない核種の収率を予測する方法に関するレビューをおこなった。パネルの最終日は各サブ・グループに分かれてまとめ作業に入り, このセッションは収率データの目標精度と現在の精度について討論し, 結果をrecommendationとしてまとめた。以下サブ・グループのまとめを先に述べ, 個々の論文の概要は

※) LottはResidual powerと言っているがここではより一般的と思われるdecay heatと呼ぶ。

あとに述べることにする。

1. 核分裂生成収率サブ・グループのまとめ

a) 短寿命核種の収率に関する要求

Decay heat に関する Lott の論文⁸⁾ で特に短寿命核種の収率データの必要性が指摘された。そこでその面からの目標精度をまとめてみると以下の通りであった。

軽水炉	10%	
高温ガス炉	5(仏)~20%(英)	10分以上
高速炉	20%	1分以上
	15%	1~8時間
	10%	8時間以上
	5%(ソ連)	

ここで高温ガス炉に対するフランスと英国の値に大きなひらきがあり、高速炉に対するソ連の値がかなりきびしい精度を要求している。

収率データの不確かさがdecay heat にどう効いてくるかという問題になると、decay heatが収率とdecay データの関数であるから簡単には推定できないことが一致した見解となり、Lottが追加計算をおこなって3カ月後に報告することになった。これらの短寿命核の収率を測定することはきわめて困難であるから計算にたよらざるをえないだろうが、計算だけではデータの不確かさをおさえることができないので積極的に測定をおこなう必要がある。一方計算に必要な荷電分布等に関する半経験的なモデルを確立する必要性が強調された。

b) 収率データに対する目標精度と各国の測定状況

収率データが関与するあらゆる分野における目標精度と現在の精度がまとめあげられているが、ここでは高速炉の燃焼と炉心設計上要求されるものだけを表1にまとめておいた。表中の現在の精度はRiderがENDF/B-4のデータからとってきたものである。

熱中性子による核分裂収率に関しては要求精度をかなり満足しているが、高速中性子の場合はまだ達成されていない。少なくともここでまとめられた目標精度を達成するまでは測定をおしすすめるべきである。さらに評価作業を助ける意味からもっと高いエネルギーによる収率の測定も必要であることが強調された。

各国で収率に関する測定が目下進行中であるが、そのなかから主なものをあげると。EURATOM

Table 1. REPORT OF THE SUBGROUP ON REQUIREMENTS FOR FISSION YIELD DATA:
(EXCLUDING INDEPENDENT YIELD AND DECAY HEAT REQUIREMENTS)

1. Measurements required by users

Serial	Purpose of yield measurement	Nuclides for which yields are needed	Fissioning nuclei	Required accuracy % (1σ)	Accuracy achieved now % (1σ)	Comments	Priorit				
4.	Fast burn-up	a) <u>Long-lived and stable nuclides</u> $^{106}\text{Ru}, ^{133}\text{Cs}, ^{137}\text{Cs},$ $^{144}\text{Ce}, ^{143}\text{Nd}, ^{145}\text{Nd}$ $^{146}\text{Nd}, ^{148}\text{Nd}, ^{150}\text{Nd}$	^{232}Th	≤ 5	≤ 15	This is the largest and most stringent current yield data requirement. See also serials 5 and 6 * except ^{106}Ru at present 6-12% and ^{137}Cs 6-10%	2				
			^{233}U	≤ 2	≤ 10		1				
			^{235}U	≤ 2	≤ 3 *		1				
			^{238}U	≤ 5	≤ 8 *		1				
			^{239}Pu	≤ 2	≤ 3 *		1				
			^{240}Pu	≤ 10	≤ 20		1				
		b) <u>Short-lived nuclides</u> $^{95}\text{Zr-Nb}, ^{103}\text{Ru}$ $^{140}\text{Ba-La}, ^{141}\text{Ce}$	^{241}Pu	≤ 3	≤ 6		2				
			^{242}Pu	≤ 10	≤ 20		2				
			^{237}Np	≤ 10	≤ 20		2				
			^{241}Am	≤ 10	≤ 20		2				
			^{243}Am	≤ 10	≤ 20		3				
			8	Fast reactor physics design calculations	$^{83}\text{Kr}, ^{84}\text{Kr}, ^{85}\text{Kr}, ^{86}\text{Kr},$ $^{99}\text{Tc}, ^{101}\text{Ru}, ^{102}\text{Ru}, ^{129}\text{I}$ $^{133}\text{Cs}, ^{131}\text{Xe}, ^{132}\text{Xe},$ $^{133}\text{Xe}, ^{134}\text{Xe}, ^{135}\text{Xe},$ $^{136}\text{Xe}, ^{147}\text{Pm}$		^{235}U ^{239}Pu	≤ 20	$\leq 10^{**}$	** except ^{129}I which are $^{235}\text{U}=12\%$ $^{239}\text{Pu}=16\%$	1
									$\leq 10^{**}$		

** all the estimates are based on the preliminary ENDF/B (IV) evaluation except in certain cases where review papers give a larger estimate.

ND=No data available

がRapsodie で²⁴³Amまでを含めた測定を行っており、^{235,238}U, ²³⁷Np, ²³⁹,
^{240,241}Puに関しては1974年までに完了し、残りは1977年までに終える予定である。
 フランスは同じくRapsodie を使った実験をほぼ完了しており、Phenix による測定は
 1975年までに終える予定である。英国はPFRを使ってNdアイソトープと長寿命FPの測定
 をおこなっており、類似の実験がCrouch によってDFRでなされている。米国はEBR-II
 で照射したサンプルを質量分析器で測定しており、質量分布曲線が描ける程度に全質量数範囲をね
 らっている。またEBR-IIでは中性子エネルギー依存性をみる実験もおこなわれている。

2. 発表論文(resiew papers)の要約

(1) Residual Power due to Fission Products, (M. Lott)⁸⁾:

Lott は照射燃料からの熱放出量が核分裂エネルギー全体の5~6%もあり、非常冷却系や使用済燃料の輸送、取扱い及び再処理上重要な量であるにもかかわらず、その放出量に関する積分実験がきわめて少ないことに驚いている。また1973年IAEA Paris symposium においてその重要性はAorenとWeinberg によって裏づけられていると前おきして、このレビューではまず計算値間の比較をおこない、そのあとに計算値と実験値の比較をおこなっている。

i) 計算値間の比較

このパネルのために各機関に対して相互比較用の2つの問題を与え、その結果を比較した。しかし満足な解答をよせたのは3機関だけであったので、過去に発表されているデータを取り入れて比較した。

- 問題 1. ²³⁵U, ²³⁹Pu, ²³³Uの熱中性子による1回の核分裂後、および²³⁵U,
²³⁹Puの高速中性子による1回の核分裂後に発生するdecay heatの計算値
- 問題 2. 中性子の捕獲なしで、核分裂が毎秒1回の割合で1年間燃料を照射した場合の
 decay heat の計算値

図1は計算値間の比較をDevilleersの値に対する比であらわしたものである。図1の上の部分に示したように10³秒以下では冷却時間とともに計算値間のばらつきは小さくなる傾向にあり、10⁷秒以上ではShure, Tasakaの値に発散する傾向がみられる。10⁴秒以上にあるEnglandの計算値は彼が用いたCINDERプログラムの誤りによるものらしい。Shureの値は軽水炉における1971年ANS Standard に用いられたものであり、運転中の出力比

$$P/P_0, \quad \frac{P}{P_0}(\infty, t_s) = A \cdot t_s^{-a}$$

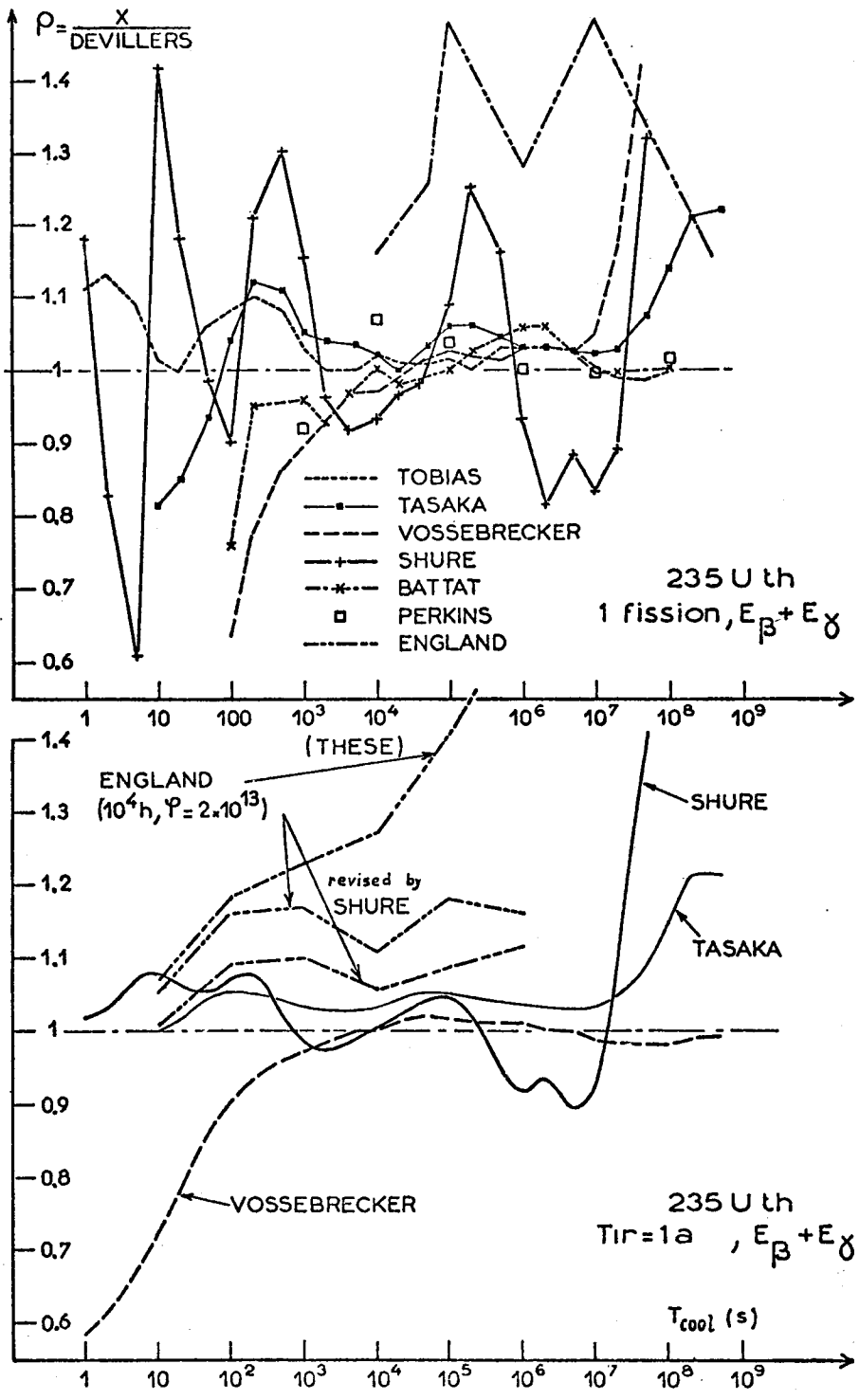


FIG.1: $^{235}\text{U th}$ -Comparison of evaluations.

が冷却時間 t_s の階段関数値 A, a であらわされている。この論文には計算値間のばらつきに関する検討もなされている。

図 1 の下に示した 1 年間照射した場合の積分値に関しては最近の Devillers, Tobias, Tasaka の計算値は 5% 以内で一致している。Shoue の値もここではよい一致を示しているが 10^7 秒以上では発散の傾向がある。同様な傾向は Tasaka の計算値にもみられる。

全般的な印象として Devillers と Tobias による最近の評価値は全冷却時間でよく一致しており、数少ない FP 核種だけを用いた古い計算値も $10^2 \sim 10^3$ 秒ではよく一致している。

ii) 計算値と実験値の比較

図 2 は 1 例として $^{235}\text{U}(n, \text{th}, f)$ における β -decay heat の計算値と実験値を比較したものである。冷却時間 10^3 秒以上の計算値 (Devillers, Tobias, Scobie and Scott) は $\pm 5\%$ 以内で一致しているが、実験値間では実験誤差 $\pm 10\%$ をはるかにこえたくらいがいをみせている。例えば 10^4 秒で $\text{Mc Nair}/\text{Mc Mahon} = 1.3$ 。

iii) 結論

- ① 基礎データの誤差から生ずる計算値の誤差を推定すること。
- ② 基礎データに関しては短寿命核種のデータをとること。現在 β -decay spectrum のはかられていない核種が 163 個もある。
- ③ 計算精度の向上をはかるための積分実験が必要。

(2) Prediction of Unmeasured Fission Product yields,

(A. R. deL. Musgrove)⁹⁾:

i) 質量分布曲線

質量分布曲線を作成するには通常質量数 72 から 160 までの質量収率の測定値が必要であるが、最も測定値が豊富な $^{235}\text{U}(n, \text{th}, f)$ でも測定値がないものもあり、何らかの方法で推定する必要がある。多くの場合測定値間をなめらかな曲線でつないで内挿する方法がとられているが、この方法は測定データのギャップ (測定されていない所) が少ない場合は問題ないが、ギャップが大きい場合または質量分布の微細構造が問題の場合には不適當である。そこで代表的な予測方法を簡単に紹介すると以下のようになる。

(a) Sidebotham の方法: これは最も直接的な方法であるが ^{240}Pu のように測定データが全くない場合に適用されている。この方法では 2 つの仮定がなされており、即ち、1) 軽・重核分裂片のピーク中は質量数によらない、2) ピークの位置は質量数軸上を移行する。従って既知の質量分布を全体として移行させ、中性子放出前の質量分布曲線は対称点 (symmetric mass

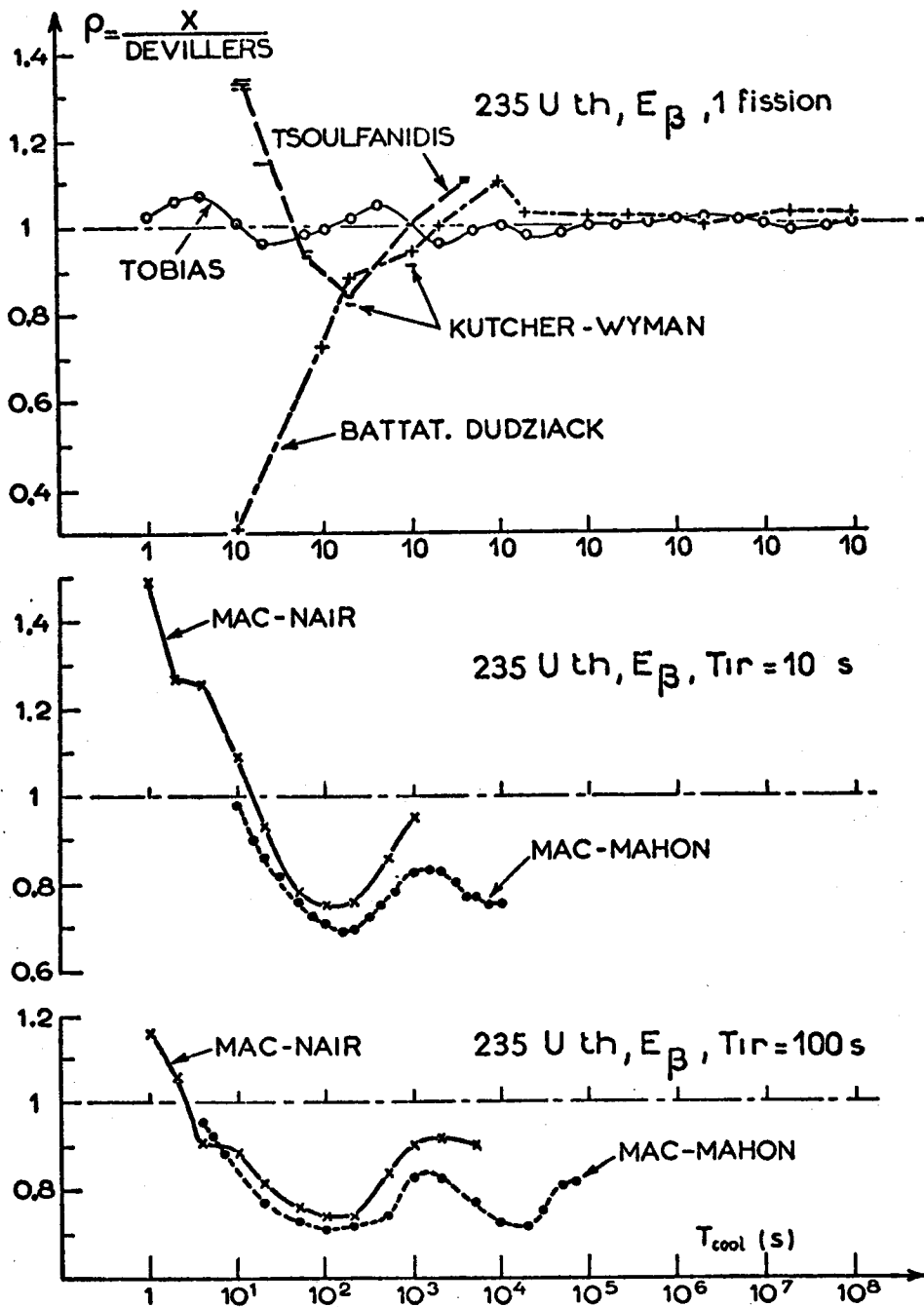


FIG. 2: $^{235}\text{U th, E}$ -Comparison of evaluations and experimental results.

point) に対して軸対称であることを利用して未知の曲線をうる。Sidebotham によるとこの方法で予測された収率の誤差はピーク近傍で 20%, 分布曲線の両端で約 10% 程度である。

(b) Crouch の方法: 中性子放出前の質量数 M の分裂片から μ 個の中性子を放出する確率 $P_\mu(M)$ を導入して中性子放出後の収率 $Y(M)$ を

$$Y(M) = y(M) \cdot P_0(M) + Y(M+1) \cdot P_1(M+1) + Y(M+2) \cdot P_2(M+2) + \dots$$

で計算する。ここで $y(M)$ は中性子放出前の収率である。分布関数 $P_\mu(M)$ としては Poisson 分布,

$$P_\mu(M) = \frac{\exp(-\bar{\nu}) \cdot (\bar{\nu})^\mu}{\mu!}$$

$$\text{但し, } \sum_{\mu=0}^{\infty} P_\mu(M) = 1$$

を仮定し, 平均中性子放出数 $\bar{\nu}$ は測定値または半経験値を用いた。Crouch は $Y(M)$ として最初は各ピークに対して 1 つのガウス関数を用いたがうまくいかなかったため, 後には 1 つのピークに対して 2 つのガウス関数をあてはめた。その結果測定値との一致は平均して $\pm 0.2\%$ std. をえている。この方法で未知の収率を精度よく予測できる見通しがついたので目下この方法で評価作業を進めている。

ii) Charge Division and Dispersion

Independent yield を計算するのに通常簡単なガウス型荷電分布関数 $P(Z)$ を用いてきたが, Amiel と Feldstein が Rochester Conf. ('73) において原子番号 Z の偶奇性を考慮しなければならないことを指摘している。即ち, Z が偶数の場合と Z が奇数の場合を同じガウス型分布関数であらわされない。Amiel と Feldstein によると $^{235}\text{U}(n_{th}, f)$ で Z が偶数の場合は平均して 25% 大きな収率を与え, Z が奇数の場合は 25% 小さな収率を与えることがわかった。そこで Musgrove はこの even-odd effect をとり入れる 1 つの試みとして分布関数 $P(Z)$ を

$$P(Z) = \frac{1}{N(A)} \frac{(1+C)}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{(Z-Z_p)^2}{2\sigma^2}\right]$$

と仮定し, さらに最確電荷 (most probable charge) Z_p の UCD 仮定にもとづく Z_p

からのずれ ΔZ に対して

$$\Delta Z = - \left\{ \alpha + \beta (A - 132) \right\} \dots\dots\dots \text{heavy fragment}$$

$$\Delta Z = \left\{ \alpha + \beta \left[(A_F - A) - 132 \right] \right\} \dots\dots\dots \text{light fragment}$$

と仮定してパラメータ σ , α , β , C を決定した。その結果 $^{235}\text{U}(n_{th}, f)$ では収率の計算値がWahlの評価値よりも実験値とよい一致を示した。Zの偶数値に対する収率は約20%大きく、これは先に述べたAmielとFeldsteinの25%とよく一致している。

Musgroveの方法でえられた分布 $\sigma = 0.569$ はWahlの評価値 $\sigma = 0.56 \pm 0.06$ とよく一致しているが、KX-ragの測定値 $\sigma = 0.40 \pm 0.05$ とは大きくくいちがっている。

(3) Status of Fission Product Yield Data for Thermal Reactor, (W. H. Walker¹⁰):

実用的な観点から熱中性子核分裂における収率データの現状を紹介しており、主に推奨値をうるのに使われた測定データと評価方法に関する系統的な考察がなされている。論文の最後には過去2年間に行われた評価値をもとに ^{233}U , ^{239}U , ^{239}Pu 及び ^{241}Pu のWalker独自の評価値がまとめられている。このなかにはENDF/B-IVのデータが含まれている。

i) 評価とデータ編集の現状

過去2年間におこなわれた評価はMeek and Rider (NEDO-12154, '72) Crouch (IAEA/SM-170/13, '73), Lammer and Eder (IAEA/SM-170/13, '73), Walker (AECL-3037, Part II), ENDF/B-IV, '73)の5つである。評価方法としてはMeek and RiderとCrouchが電算機に組み込まれた誤差評価ずみのデータ・ライブラリーを用いた自動化による方法をとっており、WalkerとLammer and Ederは質量分析のデータを重視した評価法をとっている。

Walkerは質量分析以外の測定データを用いて評価する場合の作業経過を5段階に分けて各段階における誤差について詳細な検討をおこなっている。

ii) 測定データの現状

$^{235}\text{U}(n_{th}, f)$ の収率測定はよくおこなわれており、データ間の不一致も殆んどなくなった。今後は精度をあげる必要がある。原子炉の核計算上で最も不確かさの大きいFPはSm同位体である。質量分析法でSmとNdの原子数比をとってみると約15%のばらつきがある。

$^{235}\text{U}(n_{th}, f)$ はデータ評価の標準値としてしばしば用いられる。従ってより精度の高い標準値をうるにはこれまで比較的測定されていない質量分布の谷間あたりの測定値が要求される。

^{239}Pu と ^{241}Pu に関しては ^{103}Ru と ^{106}Ru の収率, Kr/Xe 比及び Cs の収率に関するもっと数多くの測定値が要求され, 新しく測定すべきものとしては $\text{Pd}-\text{In}$ 領域の収率がある。

Decay heatなどの計算においては1つの質量数に対して3~4個のcumulative yieldが必要である。収率が1%をこえるものに限定してもdirect yieldはchain yieldの約2倍必要である。ところが $^{235}\text{U}(\text{n th, f})$ に対しては約70%程度cumulative yieldとdirect yieldがある。しかし, これらの多くはデータ間に不一致のあるものや, 1個の測定値だけの場合である。 ^{233}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu に対しては測定値は殆んどない, 従って $^{235}\text{U}(\text{n th, f})$ にあわせて半経験的なモデルを用いて計算する方法にたよらなければならない。

(4) Review of Fission Product Yield Data for Fast Neutron Fission, (J. G. Cuninghame)¹¹⁾:

この論文では高速中性子による核分裂生成物収率の測定法にはじまり, 測定データの編集と評価の現状をおさらいし, 後半では収率の入射中性子エネルギー依存性, 荷電分布について述べている。三体分裂についてもふれられている。

測定法に関してはWalkerのレビュー論文で詳細のべてあるので, ここでは高速中性子核分裂の測定で広く用いられている測定法の精度と適用性が簡単にのべられている。

i) 高速中性子核分裂収率の評価

過去5年にさかのぼって, その間に新しいデータをとり入れて再評価をおこなってきた評価データはつぎの4組である, Crouch (AERE-R 7394, '73), Lammer and Eder (IAEA/SM-170/13, '73), Meek and Rider (NEDO-12154, '72), Von Gunten (Nucl. Sci. Eng., 42(1970) 191)。これらの評価内容は省略して, 相互比較の結果をみると図3のようになる。図3には1例として ^{239}Pu の場合の平均値からのずれを示したものである。 ^{235}U および ^{239}Pu では $\pm 2 \sim \pm 4\%$, ^{238}U では $\pm 8 \sim \pm 10\%$, ^{232}Th では $\pm 15\%$ であり, 通常言われている程一致の度合は悪くない。

評価作業上最も重要な測定データがかけているものは ^{240}Pu と ^{241}Pu の高速中性子によるデータである。 ^{233}U と ^{237}Np のデータがきわめて少ない事と ^{232}Th と ^{238}U のデータ間に大きな不一致が存在する事も問題である。 ^{235}U と ^{239}Pu に関してはデータ間の一致はかなりよいが, 熱中性子の場合と同程度の精度をうるにはまだ時間がかかる。

ii) エネルギー依存性

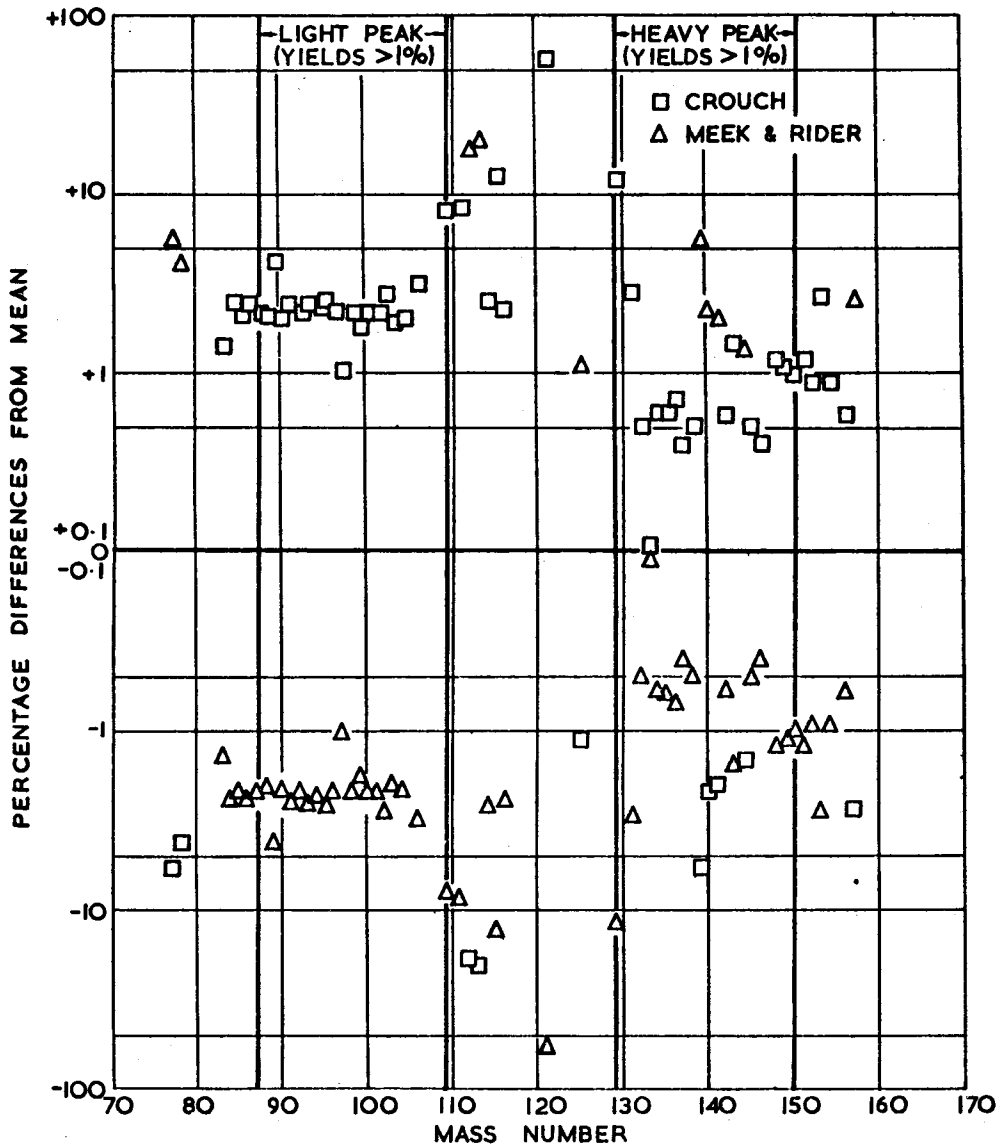


FIG. 3 COMPARISON OF FAST FISSION YIELD EVALUATIONS FOR ^{239}Pu : THE PERCENTAGE DIFFERENCES BETWEEN THE VALUES GIVEN BY THE TWO EVALUATORS AND THEIR MEAN (SEE APPENDIX 1, TABLE 6) ARE PLOTTED.

エネルギー依存性の大きい質量分布曲線上の谷間は核の殻構造によるものであり、一般に入射エネルギーを上げていくとこの影響は打ち消されていって分布は対称になっていく。しかし原子炉の設計や運転上からエネルギー依存性がどの程度重要かという問題が残されている。

実験は中性子スペクトルの異なる炉心でサンプルを照射するいわゆる積分実験と単一エネルギー中性子束を用いるいわゆる微分測定がなされているが、積分測定では中性子スペクトルに関する情報が乏しい。単一エネルギー中性子束による実験結果から現在あきらかになっている点は、

- ① 谷と両翼の収率がエネルギーとともに増大する。
- ② 高速炉のエネルギー領域ではピーク近傍の収率は一定であり、約2 MeVあたりからさがりはじめる。
- ③ 微細構造で影響される核種の収率に関する情報が殆んどない。

iii) 荷電分布

測定データがきわめて少なく、測定値も大きな誤差をもっている。従ってこれらのデータを用いてWahlの方法における補正項をひき出すことはきわめて困難である。最もよい方法は理論的な方法を用いて推定することである。Cunninghamは討論の場で荷電分布に関するもっと多くの情報が必要であることを強調していた。

その3

松延 広幸(住原工)

11月28日のSession IIIは「FPの崩壊データ及び遅発中性子データの現状」がテーマで、スウェーデンのRudstamと、イスラエルのAmielが、夫々レビューを行ない、これに就て討議が交わされた。又、11月29日のSession IVは「FPの中性子反応断面積の現状」がテーマで、フランスのRibonがレビューを行ない、更にFPの中性子吸収に関する積分実験に就て、オランダのBustaanがレビューを行なった。これら4件のレビューペーパーの概要を以下に紹介する。

1. 核分裂生成物の崩壊データの現状(G. Rudstam)¹²⁾ :

FPの半減期、崩壊のモード、ベータ線及びガンマ線のエネルギーと強度等に就て現在迄に収集されているデータの現状と問題点が述べられ、recommendationが与えられた。先ず実験の面から現状と問題点を検討し、長寿命(半減期が時間の単位以上)のFPに関しては大きな問題はないが、半減期が短い(特に分や秒の単位以下)FPに就ては実験が極めて困難であり、従って

短寿命のFPKに関して今迄に我々が知り得た情報には、大きな誤差が含まれている事を指摘している。短寿命核種の測定が極めて困難な理由としては、云う迄もなく核種自身の崩壊の他に、同位元素の迅速な分離、混入している他核種による汚染、娘核の放射能等の問題が挙げられる。このような困難を克服する新しい実験技術の一例として、スウェーデンのISOL-facility (Studs-
svik) で行なっている方法が簡単に紹介された。

次に、こうした新しい実験方法に基づくデータが既に幾つか発表され、利用可能な状態になっているが、十分な解析が行なわれていない preliminary なデータの場合には、データ収集者及び評価者は特に注意を払う必要がある事を警告している。

測定されたデータの精度に関しては、系統誤差 (systematic errors) の推定が極めて難しい事を強調し、発表されたデータの中に1%以上の精度で測られているものがあれば、そのデータは疑ってみるべきだと述べている。

ガンマ線の測定に関しては、Large (Harwell) の Contribution paper を引用して現状を述べているが、ガンマ線の強度と、ガンマ遷移の強さの区別が明らかでないデータがある事、及びK軌道電子による転換係数か、全軌道電子による転換係数かが明らかでないデータがある事がデータ評価を困難にしている原因となっている事が指摘された。現在、availableな崩壊データとして、16件のレポートがレビューされており、附録にはAten (Geel) の半減期及びガンマ線エネルギーのデータ、及びRudstam et al. の半減期のデータが記載されている。

最後に、収集データの選択、実験結果の評価、今後必要な実験、及び今迄に発表されたデータに含まれている誤りに就て recommendation を与えている。著者は推奨されるデータとして、Blachot and de Turreil のデータ、Tobias のデータを挙げており、又 Q_{β} 値のデータとしては Atomic Mass Evaluation (1971)、レベルスキームのデータとしては Horen et al. のデータを挙げている。評価に関しては、評価の方法が明らかでないものが多い事、及び誤差が明示されていない評価は使用者に大きな障害をもたらす事を指摘している。総べてのFP核種のうち、availableなデータが存在する核種は極めて僅かであるため、今後新しい技術に基づいて更に測定を続行する必要がある事は勿論であるが、一方今迄に発表されたデータの中には、明らかに誤りと思われるデータがあるので、このようなデータに就て情報を集め、修正して使用者に提供する事が、今回のパネルの義務であろうと結んでいる。

2. 遅発中性子データの現状 (S. Amiel)¹³⁾ :

遅発中性子データを究明する手段としては二通りあり、その一つは原子核構造の観点から攻める方法であるが、これは個々の原子核に就て詳細且つ正確な情報を必要とする事、及び今回のレビューの範囲外であるとの理由から、著者はもう一つの方法、即ちデータ使用の観点から攻める方法を採っている。もう少し詳細に述べると、遅発中性子データに対して要求される精度及び詳しさに對して、available な情報をレビュー、評価し、且つ問題点を指摘しようとするわけである。従ってレビューの焦点は、実験や理論よりも寧ろ現在迄に発表されているデータそのものに置かれており、その意味で今迄になされて来た Keepin, Herrman et al., Tomlinson 等の収集データやレビューを参考にしている。

遅発中性子は多種類の半減期を持った先行核から放出されるから、遅発中性子の時間依存性を時間中で分類すると、多数のグループが作られる。Keepin は照射された核分裂性物質から放出される遅発中性子の崩壊曲線を6組の指数成分に分けている。勿論、指数成分の組をふやす程、実際の崩壊曲線に対する近似は良くなるが、実用性の目的から云うと、6組でも充分満足すべき結果が得られる。

次に、一般に使用される核分裂性核種の遅発中性子生成率 (yield) に関しては、熱中性子から15 MeV 迄のエネルギー領域で充分正確なデータが出ている (特に Los Alamos, Purdue, 及び Argonne で)。遅発中性子収率の系統的及び定量的な説明は Cox によってなされた。²³¹Pa, ²³⁷Np, ²⁴¹Am, 及び ²⁵²Cf の遅発中性子に関しては、精度は落ちるが Chrysochoides, Sangiust et al., Chulick et al. によってデータが求められている。

遅発中性子収率は先行核の累積収率 (cumulative yield) と P_n 値 (中性子放出確率) との積になるが、満足すべき精度で直接 P_n 値を測定している実験は極めて僅かである。P_n 値を測定するには、極く最近になって開発された技術を用いて高度の同位体分離を行なう必要がある。今迄、直接に測定された量は大部分が遅発中性子収率である。核分裂収率に関しては問題が残されている。

最近、Amiel and Feldstein によって行なわれた詳細な解析から、核分裂収率の顕著な偶奇性効果 (±2.5%) が明らかになったが、これによって核分裂収率のデータは大巾に改良される事になる。

次に、遅発中性子のエネルギースペクトルに関しては、高分解能の³He スペクトロメータを用いて Shalev et al. によって遅発中性子のグロス・スペクトル及び個々の先行核のスペクトルの詳細な構造が調べられた。Shalev et al. の他には、²³⁵U と ²³⁹Pu の核分裂から放

出される中性子のグロススペクトルに就て、Fieg が分解能の良い結果を出している。又、Sloan and Woodruff は ^{235}U からの遅発中性子のスペクトルに就て、分離された多くのピークを報告している。

同位体分離を行なった先行核から得られる多数の中性子スペクトルデータが、現在 Rudstam and Shajlev によって処理されつつあり、これは間もなく発表されるであろう。又、Mainz のグループによつて ^{87}Br と ^{85}As の遅発中性子スペクトルの微細構造が求められている。

以上が Amiel によるレビューの概要であるが、このペーパーには遅発中性子に関する多数のデータが、テーブル及びグラフで与えられている。

3. FP核種の中性子反応断面積の現状 (P. Ribon)¹⁴⁾ :

今迄600核種余りであったFPのライブラリーは、今後800核種に迄拡張されるであろうが、此等のFPの中で重要なものは極く僅かである。重要核種の選定はその目的によって変わってくるが、ここではFP核種をその収率と寿命とで7組のグループに分類しており、その中で重要核種は137核種である。此等の重要核種は大部分が安定核又は30年以上の長寿命を有する核種である。

今回userから出されたリクエストは殆ど総べてが中性子捕獲断面積に関するものであり、全断面積に関しては2件、非弾性散乱断面積に関しては皆無であった。

次に今迄に行なわれて来たFP核種の評価では、上記の重要核種が殆ど総べて採り上げられている。特にCookの評価では6核種を除いて全部が含まれている。Cook以外の評価でも $72 \leq A \leq 165$ の範囲に在る約100核種が採り上げられている。

熱中性子断面積及び共鳴積分(RI)に関しては、核種によって値が大きく変わるので、最大15核種程度の中性子捕獲断面積を改良する事によって、FP全体のデータの質を改善する事が出来る。しかし此等の15核種は殆どが短寿命の放射性核種である。極めて大きな捕獲断面積を有する核種に就ては詳しいデータが得られておらず、精度は良くて $\sigma \sim 500\text{b}$ であるが、原子炉に於てはFP核種の飽和現象があるので、これが高精度のデータを必要としない理由の一つになっているようである。

FP147核種の大部分に就て、 σ_{2200} 及びRIの現在の精度は10~20%より良くはない。 ^{95}Nb , ^{99}Mo の σ_{2200} 及び ^{130}Te , ^{144}Nd のRIに於てはファクター2以上の discrepancy が存在する。

次に1KeV以上の速中性子の捕獲断面積に関しては、各評価値と測定値との間で、安定核の場合でも20%以上、放射性核の場合にはファクター2の discrepancy が見られる。又此等の

discrepancy は一般に系統性を有しており、例えばCook のデータは1~5 keV の領域で低い値を示し、又Benz iのデータは1 keV に於てしばしば高い値を示している。日本(JNDC)のデータも1 keV 近傍で一般に約20%程高い値を示している。従ってuserから要求された代表的精度10%は多分満たされない。

非弾性散乱断面積に関しては、discrepancy がファクター10に達する幾つかのケースがあるが、これは σ_{in} の問題に於ける労力が少ないためである。

次にデータの系統性に就て述べると、 σ_{2200} 及びRIに對して系統性が用いられる事は先ず無いが、1~500 keV 領域の捕獲断面積に對しては、系統性をを用いる事が極めて多い。共鳴パラメータやレベルパラメータの平均値に就ても多くのレビューが出ているが、各著者は夫々僅かに異った式を用いたり、或いは、或るパラメータを別のパラメータから求める場合、夫々異ったパラメータ値を用いている。従って、実験に於て直接求めたパラメータでない場合、夫々の平均パラメータセットの間には、しばしば矛盾が見られる。

$\langle \Gamma_\gamma \rangle$ の値ですら、色々な理論値同志の一致は悪い。例えば系統性をを用いて推定値を求める場合に、幾つかの調整パラメータが含まれていても、精度が10%よりも良い最良の実験データとのずれは、平均して30%程度になる。今後、長期間に亘って研究を進め、平均レベル間隔が判つてきても、 $\langle \Gamma_\gamma \rangle$ の値を20%以内の精度で予言する事は不可能であろう。

次にデータの評価に就て述べると、これは従来実験データに基づくか、或いは系統性の調査に基づいて行なわれている。1~500 keV の統計領域で計算から求めた σ_c の平均精度は30~40%より良くはならない。標的核のレベルスキームが判らない場合には、非弾性散乱断面積の計算は不可能であり、従ってこのような場合、 σ_c の不確かさは更に増大する。

現在必要な事は、ほんの僅かの核種に就てデータの質を向上する事である。 σ_{2200} 及びRIに就ては、より良い実験データさえあればこれは可能である。これに對して、非弾性散乱断面積の場合は不確かなデータが多く、これはCoupled Channel を用いた計算に於て改善する事が可能であろう。1 keV 以上の領域で実験データが無い核種の σ_c に就ては、ファクター2の範囲内に納めるのも実際には難かしいように思う。

さて実験に就て眺めて見ると、現在進行中又は計画中の実験は全体としてバランスがとれていない。熱中性子断面積に關しては、ここ10年間に極めて僅かの実験しか行なわれていないが、それでも要求精度の改善には大いに貢献している。熱中性子炉で σ_c の1/4を占める ^{135}Xe に就ては1960年以降測定は行なわれていない。同位体分離を行なった試料を用いて σ_c 及び共鳴パラメータの測定を行なえば、データの改善及び系統性のチェックをする事が可能であろう。非弾性散

乱断面積に就ても同位体を分離した核種を使って測定をしなければ、正しい結果は得られない。

以上がFPの中性子断面積データの現状であるが、リクウエストと対比して次のような事が結論される。

中性子断面積が要求されているFP核種は、2, 3の核種を除くと殆どが安定核である。しかし要求精度はもっと正確に表わすべきである。評価値又は推奨値を含めると、重要FP核種に就ては総べてデータが存在する。安定核及び長寿命核を除くと、1 keV以上の領域で σ_c の精度は30~40%より良くはない。又1 keV以下の σ_c 及び非弾性散乱断面積に就ても精度は悪い。しかし一般的に云うと、現状でも余り問題はない。但し、2, 3の核種に就ては今後、実験と理論の両面から研究を進める必要がある。今後、此等の研究にどの位の努力がかけられるかが、要求精度達成の決め手になる。

4. 積分実験によるFP中性子吸収断面積の決定 (M. Bustraan)¹⁵⁾ :

このレビューペーパーではFPの中性子吸収(捕獲)断面積を積分実験から決める方法、及び現在行なわれている実験並びに結果が詳細に報告された。

先ず積分実験の一般論として、積分実験の意義、現在考えられている実験の分類、facilities、実験結果の規格化の問題、中性子束及びadjoint fluxのスペクトル、及び使用される試料のタイプが述べられた。積分実験で測られる量は反応率又は反応度値であり、従って積分実験の結果は評価断面積の値を誤差の範囲内で、規格化又は調整するために使用される。differentialな実験データと原子核模型に基づいた理論計算と、積分実験データとを組み合わせる事によって、高速炉におけるFP吸収断面積の不確かさ40%(90% confidence level)を10%に逆下げる事が可能であろうと云う点が注目された。実験のタイプとしては、反応度値の測定、放射化の測定、及びtransmutationの測定の3種類が考えられているが、此等の測定を可能にする為の条件や仮定が詳細に解説された。規格化の問題では、標準断面積核種である¹⁹⁷Au, ¹⁰B, ¹²⁷Iの適否が論じられた。

次に現在実施されている積分測定が報告され、熱中性子による測定を対象としたChalk RiverのPTR(Pool Type Light Water Reactor)及びRO(D₂O Moderated Low Power Reactor)と、高速中性子による測定を対象としたStudsvikのFR0(Fast Critical Reactor of the Split Table Type), Idaho(Aerojet Nuclear Company)のCFRMF(Coupled Fast Reactivity Measurement Facility)と、熱中性子及び高速中性子による測定を対象としたPettenのSTEK

(Thermal-Fast Coupled Critical Facility) として、装置及び試料の様
様や測定方法が紹介された。

続いて上記の facilities で行なわれた実験の結果が FISSPROD, RCN, UKNDL
等のライブラリーセットに基づいた計算結果と対比して報告された。又、これと関連して、断面積
を調整する際の principle, 断面積のマージン, 系統誤差, 擬核分裂生成物の中性子捕獲断面積
の調整に就て説明があり, 更に ^{95}Mo , ^{97}Mo , ^{99}Tc , ^{101}Ru , ^{102}Ru , ^{104}Ru ,
 ^{103}Rh , ^{133}Cs , ^{147}Pm , ^{149}Sm , ^{127}I の 11 核種に就ては測定結果と計算値との比較
が述べられた。

最後に述べられた結論の中で、熱中性子捕獲断面積の測定に於ては、照射後、核分裂生成物の試
料中に残存している燃料の量に不確かさがある事が、測定結果と計算結果とが合わない大きな原因
になっており、燃料の残存量の不確かさを 0.01% 程度以下に減らすか、或いは残存燃料が殆ど影
響を及ぼさないような実験体系、又は測定技術を開発しない限り、積分実験の精度は 5% 以下にな
らないであろうとの指摘があった。又、この事は速中性子の場合にもあてはまるが、熱中子の場
合程大きな原因ではなく、他に試料中での中性子の散乱及び自己遮蔽効果に対する中性子スペクト
ルの不確かさが、誤差の原因になっているとの事である。

又、 ^{99}Tc , ^{102}Ru , ^{147}Pm の 3 核種に就ては、どのライブラリーセットを用いて求めた断面積
も、測定結果と較べると大きな値を示しており、逆に ^{149}Sm の場合は常に実験値よりも小さな
値を示しているので、此等の核種に就ては新たに評価し直す必要があるとの事である。

最後に、反応度測定に於ては、現在のところ信頼度の高い標準物質が無い事が問題であり、同じ
事が放射化測定や transmutation の測定についても云えるとの事であった。

References

1. Importance of FPND in Physics Design of Power Reactor
Cores J.G.Tyror AEE, Winfrith
2. Importance of FPND for Engineering Design and Operation
of Reactors C.Devillers CEN, Saclay
3. FPND Requirements for Determination of Nuclear Fuel
Burnup W.J.Maeck Allied Chem. Corp., Idaho Falls
4. Importance of FPND for Safeguards Techniques
C.Weitkamp KFK

5. Importance of FPND for Fuel Handling
E.Merz and M.Laser KFA, Jülich
6. FPND and Environmental Aspects of the Nuclear Fuel Cycle
A.K.Ganguly et al. BARC, Bombay
7. Importance of FPND in Life Science, Agriculture and
Industrial Technologies W.K.G.Kühn and E.G.Niemann
Inst.f. Strahlenbotanik, Hannover
8. Residual Power due to Fission Products
M.Lott CEN, Cadarache
9. Prediction of Unmeasured Fission Product Yields
A.R.deL.Musgrove, J.L.Cook and G.D.Trimble
AAEC, Lucas Heights
10. Status of Fission Product Yield Data for Thermal Reactors
W.H.Walker AECL, Chalk River
11. Review of Fission Product Yield Data for Fast Neutron
Fission
J.G.Cunninghame AERE, Harwell
12. Status of Decay Data of Fission Products
G.Rudstam Studsvik
13. Status of Delayed Neutron Data
S.Amiel Soreq Nucl. Res. Centre
14. Status of Neutron Reaction Cross Sections of Fission
Product Nuclides P.Ribon CEN, Saclay
15. Integral Determination of Neutron Absorption of Fission
Products M.Buistraan Petten
16. List of Compilations, Evaluations and Computer Codes of
FPND (No Oral Presentation)
S.Valente CCDN, Saclay