

話題(そのII)

第2回 IAEA 核分裂生成物核データ会議の報告

(Second IAEA Advisory Group Meeting on Fission Product Nuclear Data, 5-9 September 1977, Petten, Netherlands)

NAIG 飯島俊吾

1. 会議の概況

同名の第1回会議は1973年12月にBolognaで開かれ、その時は松延(住友原子力)、瑞慶覧(動燃)、岡下(原研)の各氏が出席された。今回は私が原研とシグマ委員会の推薦を受けて出席したが、日本からの参加者は一人だけであったので、この報告も充分行き届かない点が多いことを予めお詫びしておきたい。

Petten研究所はご存知の方も多と思うが、アムステルダムから列車で北に40分位行った所にチーズ市場とパイプオルガン教会で有名なアルクマールという町がある。そこからまた、研究所専用のバスで北西に30分位、森や小さい町々や小川や水車の見える牧場等のそれは美しい風景を過ぎて、海岸沿いの堤防の所に研究所がある。この研究所は最近、名前が原子力研究所(RCN)から、エネルギー開発研究所(ECN)と変わった。正門で毎日、入門の度に恐らく非効率な厳しいチェックがあった。会議場は正門近くのホールにあって、直径10m位の円形の室で、壁の片面がガラス張りのスライドと同時通訳の部屋になって居り、秘書たちの控室、食堂も隣接していて大変機能的な国際会議場であると感じた。

会議の出席者は約50名で、西欧、米国で48名、他はカナダ、イスラエル、日本であり、ソ連、東欧からはどういふ訳か参加が無かったが理由は訊き忘れた。

会議のプログラムは、(1)利用者からの要求、(2)FPND(fission product nuclear data)の現状、(3)まとめとIAEAへのrecommendationの作成がテーマである。このうち、(1)と(2)は主にreview paperで構成されていて、それに幾つかのcontributed paperが加えられていた。(表1参照。)この部分を会議の前半の2日半で行なったのであるが、外国人達、特にフランス、イタリア、ドイツの人達は大変な長広舌であり、議長の再三のきつい注意も無視して制限時間の2倍位喋るので、後になる程圧迫され、充分な議論は出来なかった。IAEAも会議は下手だなと思った次第だが、別の見方をすれば、外国人達はこれだけ話したいこと、訴えたいこと、売込みたいことを強く意識しているという事かと思った。

第1表 配布文献リスト(原研核データセンター保管)

Review Papers

- RP 1 b : Review of the existing compilations and evaluations of FPND
(G. Lammer, IAEA)
- RP 2 : Needs and accuracy requirements for FPND of impact to the
environment (L. Lindberg, Sweden)
- RP 3 : Needs and accuracy requirements for FPND in the physics
design of power reactor cores (J. L. Rowlands, UK)
- RP 4 : Needs and accuracy requirements for FPND in the engineering
design and operation of reactors (C. Devillers, France)
- RP 5 : Needs and accuracy requirements for FPND in the out-of-pile
fuel cycle (H. A. C. McKay, US)
- RP 6 : FPND requirements for investigations on irradiated nuclear
fuel materials, burnup, neutron dosimetry, safeguards (W. J.
Maeck, US)
- RP 7 : Status of neutron reaction cross sections of fission products
in the energy ranges of resolved and unresolved resonances
(E. Fort, France)
- RP 8 : Impact of integral measurements on the capture cross section
evaluation of individual fission product isotopes
(H. Gruppelaar, Netherlands)
- RP 9 : Status of fast neutron reaction cross sections of fission
products (S. Iijima, Japan)
- RP 10 : Status of fission product yield data (J. G. Cuninhome, UK)
- RP 11 : Prediction of unmeasured fission yield by nuclear theory or
systematics (H. O. Denschlag, Germany)
- RP 12 : Status of decay data of fission product (J. Blachot, Swiss)
- RP 13 : Status of delayed neutron data (G. Rudstam, Sweden)

RP 14 : Integral determination of FP neutron cross sections

(M. Bustraan, Netherlands)

RP 15 : Integral determination of fission product inventory and decay

power (R. E. Schenter, F. Schmittroth, T. L. England, US)

Contributed Papers

- C 1. J. K. Dickens et al. : Fission product beta and gamma-energy release rates for the time period 2-14000 sec following thermal-neutron fission of U-235. (pp. 11)
- C 2. J. L. Yarnell and P. J. Bendt : Decay heat measurements by fast-response boil-off calorimetry, LA-UR 77-1996. (pp. 16)
- C 3. S. Amiel et al. : Systematics of the half-lives of various fission products. (pp. 16)
- C 4. L. Koch : Status report on fast reactor fission yield in the TACO experiment (pp. 9)
- C 5. M. Lammer : CHAIN, A Fortran code for the calculation of fission product inventories from irradiated nuclear fuel, SAGE Ber. No. 2790 PH-230/177, August 1977. (pp. 203)
- C 6. Ch. Lagrange : Coherent optical model calculations of neutron cross sections for even A Mo isotopes (pp. 42)
- C 7. J. P. Delaroche and Ch. Lagrange : Coherent optical and statistical model calculations of neutron capture cross sections by samarium (pp. 31)
- C 8. V. Benzi : On the total radiation width $\bar{\Gamma}_r$. (pp. 9)
- C 9. G. Reffo : Empirical criteria and theoretical background in the methodology of determining sets of consistent parameters for neutron cross section calculations failing experimental information. (pp. 29)
- C10. G. Langlet et al. : Le programme Francais pour la determination de l'effet des produits de fission dan reacteurs a neutrons rapides. (pp. 27)

会議の後半の2日間は4つのワーキンググループ (fission yield, decay data, delayed neutron, cross-section) に分れて、それぞれまとめと IAEA への recommendation の原稿作りを行なった。出席者の意見の最大公約数をとる調整が主で、討論自身は余り深くは出来なかったが仕方が無いのであろう。欧州の連中はふだん交流が大変盛んで、そこでずい分と突込んだ討論をやっている、又、米国も Schenter 等は会議が終わってから、ECN や カダラッシュ等を各々数日連続して訪問し討論や交流の提案をしているようであった。私の場合は日程に追われている感じで、一般的な用意というか、Schenter の行動ぶりを見てつくづく反省させられる思いがした。

以下、全体としての結論と、FPND の各カテゴリーについて、印象を交え乍ら概要を紹介しよう。私は cross section のグループに属したし、会議後にポーニアやカダラッシュを訪ねて詳細を聞いた事柄もあるので、これについて稍くわしく述べたいと思う。

2. 全体的な結論

- (i) 今後もうこうした advisory group meeting を開くべきかどうかについてはみな可成り懐疑的であった。先程挙げた4つのグループ(テーマ)のような heterogeneous な人々を一堂に集める理由は、利用者の要求が変化している分野では有効なのであろうが、FPND の分野ではむしろ今後は専門家会議の方が実質的であろうとの意見である。
- (ii) 核データのリクエスト・リスト WRENDA についてリクエストの内容として根拠薄弱、非現実的なものが可成り多いことが認められている。WRENDA または FPND プログレス・レポートにリクエストの根拠をはっきり記述すべきであるとの結論であった。又、WRENDA に、cross-section 以外のリクエストも含めて、WRENDA を見れば全ての要求が判るというようにするのが良いという意見であった。
- (iii) Review paper RP1b で G. Lammer が IAEA の立場から FPND の編集、評価活動のリストを出したが、大変好評であり、毎年こういうリストを IAEA が改訂し出版する事が要望された。
- (iv) 今後の会合として、cross-section については核理論計算のさい用いる諸パラメタの系統性に関する専門家会議、又、capture cross-section の状況についての測定者・評価者の専門家会議を開くことが要望された。遅発中性子については今年中に INDC が会議を開く予定になっている。

3. 核分裂収率

英国の Cuninham (RP10) とドイツの Denschlag (RP11) のレビューがあった。最近、

二つの新しい編集が出版されて居り、一つはE. A. C. Crouch (At. Data Nucl Data Tables, 19 No.5(1977)), もう一つはM. E. Meek and B. F. Rider (NEDO 12154-2(1977))のものである。

この2篇の著者は広範な評価の意味で共に名高いが、お互いに誤差評価の点で著しい喰違がある。表2にRP10からの抜粋を掲げるが、1973年時点と比べて、Crouchはよりpessimisticな誤差評価を行ない、Meek-Riderはよりoptimisticになっている。その結果、1977年の両者の誤差評価にひどい喰違が生じてしまっている。

又、質量収率値自体でも、例えばPu-239のthermal fissionの場合、Crouchの2.91% (A=107), 1.10% (A=109) に対してMeek-Riderは3.37% (A=107), 1.65% (A=109) を採って居る。このくらい異なると他の分野にも種々影響が出て来そうであり、今迄Meek-Riderの評価値を我々は無条件に使っていた向きもあつたが注意が必要であると感じた。

表2. 核分裂質量収率の評価値におけるパーセント誤差値
(RP10 p.42, Table 20からの抜粋)

Fissile Nuclide	Evaluation	Percentage errors reported (1σ)						
		A=95	A=103	A=106	A=133	A=137	A=140	A=141
²³⁵ U (thermal)	Crouch 1973	2.0	6.0	12.0	0.5	1.0	0.5	3.0
	" 1977	1.6	6.4	6.6	2.8	1.3	1.2	1.9
	Meek-Rider 1973	0.7	2.0	1.4	0.5	0.5	0.5	1.4
	" 1977	0.7	1.4	1.4	0.5	0.35	0.5	1.0
²³⁹ Pu (thermal)	Crouch 1973	5.0	7.0	4.0	5.0	6.0	5.0	4.0
	" 1977	2.9	4.3	3.8	9.5	2.9	5.9	3.3
	Meek-Rider 1973	2.0	2.8	2.8	1.4	1.0	1.0	2.8
	" 1977	2.0	2.0	2.8	0.7	0.5	1.0	2.8
²³⁸ U (fast; pile)	Crouch 1973	6.0	13.0	9.0	—	7.0	2.5	—
	" 1977	4.3	6.4	7.7	6.1	5.6	2.1	20.0
	Meek-Rider 1973	2.8	2.8	8.0	2.8	4.0	2.0	8.0
	" 1977	1.4	2.0	4.0	1.4	1.0	1.4	2.8

4. 遅発中性子データ

RudstamのレビューRP13が要点を得ていて良い論文であった。最近は on-lineでの同位元素分離技術が広く用いられ短半減期核種の研究が著しく進展した。その結果、1973年には遅発中性子の先行核が42核種判っていたが、現在では68核種について判っている。(potential precursorの数は約100と推定されている。)RP13では、これらの核種の半減期、分岐比(中性子放出確率 P_n)、遅発中性子スペクトルデータが大変要領良くまとめられている。遅発中性子のマクロな特性(グループ毎の β 値やスペクトル等)の評価は現在では先行核の詳細データから積上げる事が充分可能であるとRudstamは主張している。例えばU-235の場合、先行核のデータから求めた遅発中性子放出数 ν_d は $(1.49 \pm 0.09) \times 10^{-2}$ であり、他方 ν_d の直接測定は $(1.65 \pm 0.04) \times 10^{-2}$ である。0.0016の開きがあるが、Sr, Y, その他質量数100, 147の所の先行核の P_n 値を定める事が出来れば解決しそうだと言っている。現在判っている先行核は原子炉計算に必要な全先行核数の $90 \pm 6\%$ 迄来ているとの事である。

会議での結論として、U-235, Pu-239, U-238について ν_d を $\pm 3\%$ の精度で要求するが、現状は表3に示すように特にU-238に対しては不充分であり、この測定が要求されている。その他、遅発中性子スペクトル、分岐比值、等についても今後の研究の recommendationが行なわれた。特に、分岐比については5-10%の精度が要求されるが、現状測定されている核種(48核種)のうちの70%について未だ精度が足りないと結論された。

5. 崩壊データ

崩壊データについてはBlachot(RP12), Schenter(RP15)の報告が主で、特にRP15の崩壊熱についてのレビューが素晴しかった。日本の理論研究から吉田(NAIG), 田坂・笹本(原研)氏の仕事も頻繁に引用されていた。

崩壊熱の実験的研究は1973年にORNLのA. M. Perey達のレビューがあったが、その後、米国のORNL, IRT, LASL, BAPL, Berkeley研究所や英国Winfrieth, フランスのCadarache等で11件程の測定研究が行なわれている。(日本でも東大彌生炉で秋山氏達が測定中である。)

理論研究の新しいものはみな総和計算方式のもので、これは計算方式自体は問題ないので使用する崩壊データファイルで分類する事になる。米国のENDF/B-4, 日本での吉田, 田坂達のもの、英国, フランス, 東独, スウェーデン等が夫々の崩壊データファイルを作って居り、これらを使った崩壊熱曲線の相互比較や測定値との比較が行なわれた。

総和計算結果の不確かさの解析の必要性が最近強調されている訳であるが、この意義について

表3 中性子照射核分裂による遅発中性子放出数(10⁴ fission 当り)

(RP13よりの抜粋)

標的 核種	Tuttleの編集・評価 ⁽¹⁾			Besant et al. ⁽²⁾ 速中性子データ	既知先行核 ⁽³⁾ に よる総和計算
	評 価 値	速中性子データ	熱中性子データ		
²³² Th	5 4 5 ± 1 1	5 4 7 ± 1 2			
²³³ U	6 9.8 ± 1.3	7 2.9 ± 1.9	6 6.4 ± 1.8		
²³⁴ U	1 0 6 ± 1 2	1 0 6 ± 1 2			
²³⁵ U	1 6 9.7 ± 2.0	1 7 1.4 ± 2.2	1 6 5.4 ± 4.2	1 6 4 ± 6	1 4 9 ± 9
²³⁶ U	2 3 1 ± 2 6	2 3 1 ± 2 6			
²³⁸ U	4 5 0.8 ± 6.0	4 5 1.0 ± 6.1		4 3 9 ± 1 7	3 8 3 ± 3 3
²³⁷ Np					
²³⁸ Pu	4 5.6 ± 5.1	4 5.6 ± 5.1			
²³⁹ Pu	6 5.5 ± 1.2	6 6.4 ± 1.3	6 2.4 ± 2.4	5 9.8 ± 2.2	5 9 ± 7
²⁴⁰ Pu	9 6 ± 1 1	9 6 ± 1 1			
²⁴¹ Pu	1 6 0 ± 1 6	1 6 3 ± 1 6	1 5 6 ± 1 6		
²⁴² Pu	2 2 8 ± 2 5	2 2 8 ± 2 5			

(1) R. J. Tuttle, Nucl. Sci. Eng. 56(1975)37

(2) C. B. Besant et al., communication to this panel

(3) RP13での計算

注) Second chance fission が起っていない限り, 速中性子データも熱中性子データも変わらないはずなので, 比較, 評価出来る。

Schenter は次の理由を挙げている。

- (a) 基礎データファイルのどの部分を今後気を付けて改訂すべきかを知ること、
- (b) 測定値と総和計算値とのずれが正常な誤差範囲のものであるのかそれとも未検出のかくれた誤りによるものであるかを知ること、
- (c) 異なる親核分裂核についての崩壊熱の差は fission yield 丈によるはずなので、感度解析を通じて例えば良く測定されている U-235 についての崩壊熱データから、他の核への外挿値を得やすくなること、
- (d) パルス照射データと有限照射データ間の関係づけをはっきりさせる事が出来ること。

余談だが、従来感度解析は例えば高速炉特性の予測の不確かさを求める。或は必要な核データの要求精度を定める等の目的に使われて来ているが、私は上記の Schenter のあげた項目のうち (b) が重要な積極的活用であり、今迄実際には等閑にされていたのではないかと思う。この (b) の考え方は今後種々の問題で積極的に進め得るものと思う。

最近の実験データ、理論計算の結果を Schenter 達は最小自乗法で解析して居り、この結果を含めて会議での結論は次のようであった。

- (i) 現在の U. S. NRC の崩壊熱暫定基準値 (ANS standard + 20%) は非常に過大評価である。特に、U-235 についての以前の誤差評価、約 ± 7% (1σ) に比べ、冷却時間 20 - 10⁴ 秒では 2 - 4% の精度を推奨出来る。(この新しい推奨値を近く NRC にプロポーズするとの事である。)
- (ii) 現在の崩壊熱予測の要求精度と現状の比較を表 4 に掲げる。これによると U-235, Pu-239 については優先度 I (ゆるい要求精度) の要求はみたまされている。米国は優先度 II でややきつい要求精度 (2 - 5%) を強く要望して居り、この場合 Pu-239 については現状ではまだ不十分であると結論している。また U-233 については多分事情は U-235 と同じであろうが、実験的裏付けは乏しい。
- (iii) 最近の崩壊熱測定は非常に注意深く行なわれているのでこれをベンチマーク化する事が望ましい。つまり、測定条件、データの処理などを明確に記録して今後の理論計算との正確な対比を出来るようにしておくことが必要である。
- (iv) 個々の FP 核データについて、半減期、崩壊エネルギーデータの喰違いがまとめられた。この他、RP15 では冷却時間の関数として γ 線、β 線スペクトルの測定値と計算値の比較が示されたが、一致の良さに感銘を受けた。一例を図 1 に掲げる。

表 4. FP崩壊熱についての要求精度, 優先度 (括弧内),
および現状精度

(会議の "Conclusions and Recommendations"
の原稿より抜粋)

核分裂 親核種		冷 却 時 間				
		1-20S	20-10 ⁴ S	10 ⁴ -10 ⁶ S	10 ⁶ -10 ⁷ S	10 ⁷ -10 ⁸ S
<u>thermal</u>	%					
²³⁵ U	要求	10(I), 5(II)	5(I), 2(II)	10(I), 5(II)	10(I), 5(II)	≦ 5 (I)
	現状	4-8	2-4	1.5-3	3-5	3-5
²³⁹ Pu	要求	10(I), 5(II)	5(I), 2(II)	10(I), 5(II)	10(I), 5(II)	≦ 5 (I)
	現状	8-15	2-6	2-6	3-5	3-5
²³³ U	要求	10(II), 5(III)	5(II), 2(III)	10(II), 5(III)	10(II), 5(III)	≦ 5 (II)
	現状					
²⁴¹ Pu	要求	30(I), 15(II)	15(I), 6(II)	30(I), 15(II)	30(I), 15(II)	≦ 15 (I)
	現状					
		10 ² -10 ⁷ S	10 ⁷ -10 ⁸ S	0-10 ⁵ Sの積分値		
<u>fast</u>	%					
²³⁵ U	要求	10(I), 5(II)	≦ 5 (I)	10 (I)		
²³⁹ Pu	要求	10(I), 5(II)	≦ 5 (I)	10 (I)		
²³⁸ U	要求	30(I), 15(II)	≦ 15 (I)	30 (I)		
²⁴¹ Pu	要求	30(I), 15(II)	≦ 15 (I)	30 (I)		
²³² Th	要求	30(II), 15(III)	≦ 15 (II)	30 (II)		

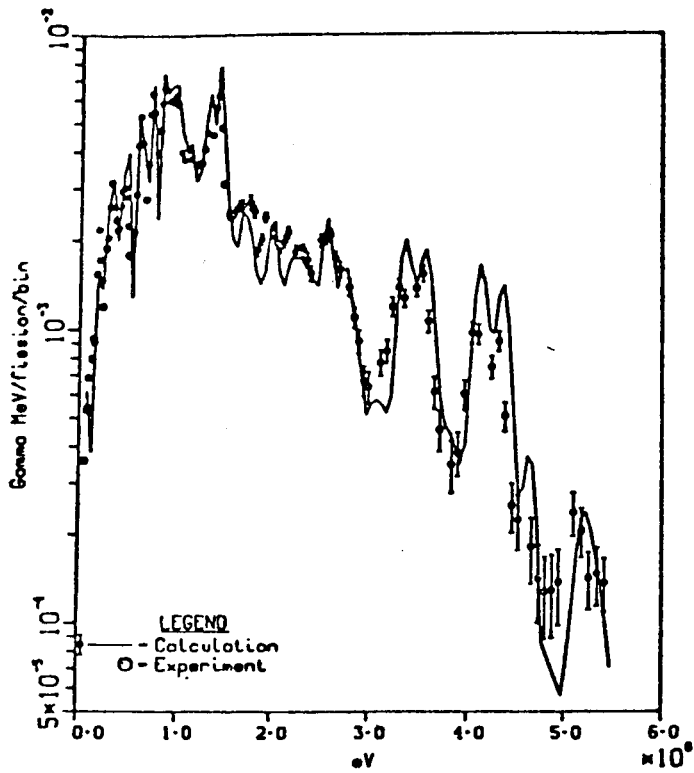


Fig. Comparison of calculation with ORNL
100 s irradiation experiment, 210.0 s decay

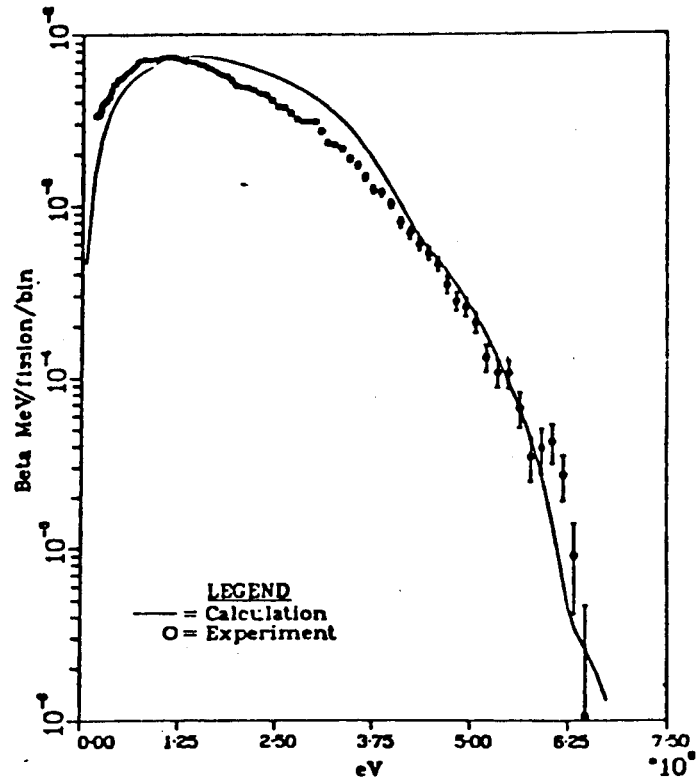


Fig. Irradiation time = 100 s, decay time = 210 s

6. 中性子断面積

(i) 要求精度について

熱中性子炉について利用者からのFPNDへの要求は、反応度に対して2%、温度係数に対して10%の相対精度との事である。熱中性子炉での重要FPは

Tc-99, Rh-103, Xe-131, Xe-135, Cs-133, Nd-143, Pm-147,
Sm-149, Sm-151, Sm-152

であるが、これらのfission yield, cross-sectionについては要求精度は現状で満たされていると結論している。また、Xe-135, Sm-149のcross-sectionのエネルギー変化について10%の精度が要求されているが、これらについては最近の測定データがあるので再評価が要望されている。日本でもFP各核種の感度解析を行なう必要があると思う。

高速炉ではFPの反応度効果(2-4%Δk)を1σで10%、出来れば7%の精度で予測することを望むという事である。この要求精度はそのままbulk FP cross-sectionに対しての要求精度になる。従って、FP cross-sectionの誤差による反応度予測の不確かさを0.15-0.3%Δk以下にしようという訳である。最近、STEK炉(オランダ)、PHENIX-ERMINE炉(フランス)、CFRMF(米国)等でFP核データの積分実験が行なわれている。STEKでは同位元素やbulk FPの反応度測定、PHENIX-ERMINEでは燃料やFP同位元素を2年にわたって照射し質量分析や反応度測定を行っており、CFRMFでは放射化法でactivation cross sectionが測られている。これらの測定は未だ予備的段階のものもあるのであるが、bulk FPの実効吸収断面積を炉のスペクトルの関数として測定値を並べてみると、STEKの結果に比べてPHENIX-ERMINEの結果は系統的に15%程小さかった、とLangletがC-10の論文中で述べている。フランスの事として詳細は秘密で判らないのであるが、余談だが、PHENIXをこういう目的に使っている事に感嘆して、運転の側から苦情が出ないかと訊ねた所、苦情はあるがCEAが認めた計画だからという事であった。話しを元にもどして、こういう訳で、先程述べた要求精度が現状で満たされているのかどうか、未だ疑わしいと結論された。

高速炉でのFPの蓄積によるもう一つの核的效果として、ナトリウムボイド反応度への影響がある。前回のBologna会議では原研東稔氏の仕事が紹介されて居り、それによると、大型炉で平均 10^5 MWD/T燃焼度の場合、FPを含めるか無視するかによりボイド反応度は非常に粗っぽく言って約2倍異なる。FPは正のボイド反応度を強める。その後、この問題についてつきつめた研究が少なく、英国のRowlands(RP3)は理論的、実験的研究を行なうべき

であると主張したが、フランスの Barre は、新しい実験を行なわなくても従来の諸臨界実験結果を注意深く見れば可成りの知見が得られるはずだと反論した。出席者は皆この点では知識不足で穏便な結論しか出せなかった。なお、この問題は最近、原研 F C A で小山氏達が広範囲な測定を行なったことを付記しておく。

Bulk FP の capture cross section に対して寄与の大きな、最重要核種は次のものであると考えられている。

Mo-97, Tc-99, Ru-101, Rh-103, Pd-105, Pd-107, Cs-133,
Cs-135, Pm-147, Sm-149, Sm-151.

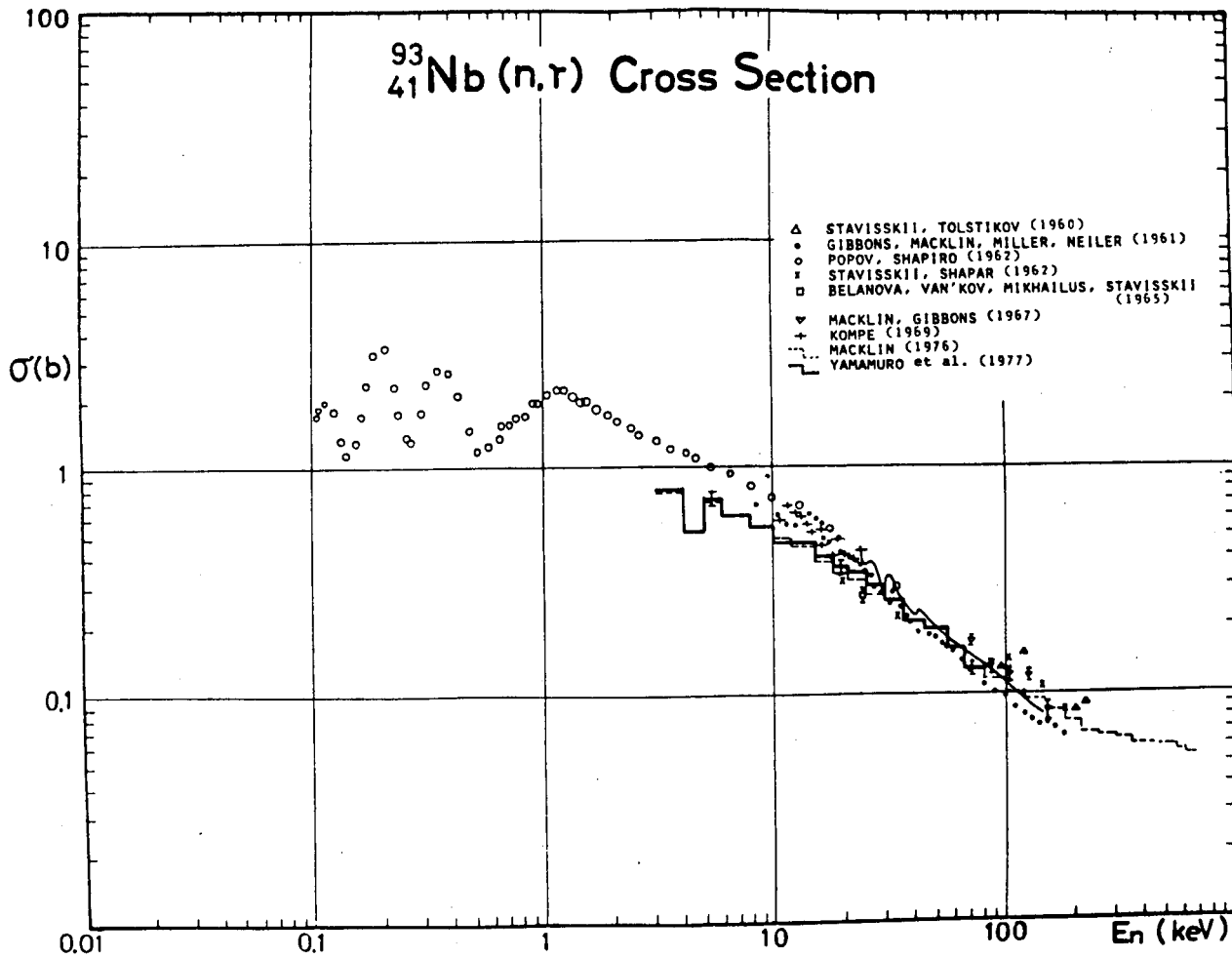
人によっては Cs-135 を落し、Ru-102, Nd-143 を含める事もある。これらの 10 数核種が bulk FP による炉内中性子吸収の約 60% を占めている。この最重要核種群に対しては 100eV - 1 MeV での $\sigma(n, r)$ の要求精度を 10% にしようという事になった。20% 位の精度でも悪くはなさそうなのだが、統計的な打消し合いが成立つかどうか疑問視され、要は系統的誤差を小さくしたいという事である。

実際、FP 核種の $\sigma(n, r)$ 測定値の間にはしばしば随分と大きなばらつきや系統的ずれがある。Nb の例を図 2 に掲げる。最近、米国、ソ連、日本、他で多数の測定が行なわれたが、日本からの提案として、数年に一度ずつ測定者と評価者間の専門家会議を開いて喰違いに關する討議を行なり事を要望し、合意が得られた。

(ii) 断面積の評価のトピックス

中性子断面積の現状については R P 7, 8, 9, 14 に詳しく載っているが、寄与論文の C-6, 9 も仲々面白く重要と思った。これは中性子断面積の理論計算のさいのパラメタ決定についてのもの、トピカルに拾って紹介してみたい。

理論計算のさい光学ポテンシャル・パラメタを定める必要があるが、原子炉内の中性子エネルギー域で一番大切なのは S 波、P 波の neutron strength function, scattering radius, total cross section を十分な精度で再現する事である、というのが C-6, 7 のフランスの Delaroche 達の数年前からの主張である。このやり方を頭文字をとって SPRT 法と名付けている。この主張は正にその通りであって、従来 ENDF/B や JENDL の評価では FP 質量域全部を一つの解析的なポテンシャル式 (Moldauer ポテンシャル, 五十嵐他のポテンシャル, 等々) で表わそうとしたのだが、MeV 以上の total cross section や散乱角分布をフィットする事に重点がおかれていた為、SPRT チェックを行なって見るとどうも旨くない結果になっている。



Delaroche 他のフランス勢は、SPRT法を今回の会議で推奨する結論を出すべきであると猛烈に主張して、他国の人々からそれは行き過ぎだと反発されていた。ラテン民族の口論好きというか興奮し易さは仲々面白く為になった。

統計理論で計算・評価を行なう際のもう一つの問題は平均共鳴パラメタの決定である。特に $\bar{\Gamma}_r$ や S 波共鳴レベルの平均間隔 \bar{D}_s が主要パラメタだが、 \bar{D}_s 値は分離共鳴レベル測定数の不足のためにしばしば大変精度が良くない。その為、例えば Gilbert-Cameron 等のレベル密度公式に現われる a パラメタ (核子フェルミレベルでの一粒子レベル密度) に \bar{D}_s を換算し、 a パラメタを理論計算する、或いは系統性を見て定める手法が採られている。 a の理論計算は米国の Schmittroth が ENDF/B の FP データ評価の際に行なって居り、球形の Wood-Saxon potential でクーロン力を含めて一粒子レベルを勘定し、エネルギーについて適当に平均してこの離散レベル数をレベル密度に変換した仕事がある。C-9 の、イタリアの Reffo の仕事はこれを核変形を含めて拡張し、例えば Pd アイソトープ群について、Pd-105, 108 の \bar{D}_s 値を使って、分離共鳴の測られていない Pd-110 の \bar{D}_s を a と中性子数の理論曲線から推定しようというものである。Reffo は無限の調和ポテンシャルを使って居りクーロン力も無視しているが、この点は改良するとの事であった。ボローニャ研究所に彼を訪ねたさい、Reffo は横軸に核子数、縦軸に種々の変形パラメタについての a 曲線群を書いた図を見せて、一方、変形パラメタ値の表を出して来て Pd アイソトープ群の a 曲線を作図して見せてくれた。成程々々と聞いていると、批判してくれなければこちらの勉強にならないではないかと不満を述べられた。

Reffo はその他に $\bar{\Gamma}_r$ の計算もして居り、Zr-90 についてであったか、E1 giant dipole strength の尻尾の形を使い、低エネルギー共鳴レベルからのガンマ遷移を基底状態近くの離散準位をきちんと入れて相反定理と統計理論で計算すると、離散レベルの強い遷移の為に $\bar{\Gamma}_r$ 値が共鳴レベルのスピン・パリティに強く依存する事を見出した。つまり、valency neutron capture 等を持ちこまなくても複合核統計理論の範囲で同じ結論が得得るという事で興味ある結果と思う。

この他 Reffo はレベル密度式中の spin cut-off パラメタ、核温度表式の修正、その他種々とやっているが、これらは、カタラッシュ、ベッテン研究所との国際協力契約に基づいた仕事であり、互いに何回も会合して断面積の理論計算の方法論を徹底的に討論したとの事である。相互協力により人員の不足を補い、知識、技量を切磋琢磨している事が感じられ、少ない人数乍らその集中度に強い感銘を受けた。

米国では1973年に大量のFP断面積の評価を行ないENDF/B-4に収めているが、次の改訂は今回の会議の様様を見て考えるとの事であった。最近聞いた所では、Kr, Zr, Nb, Tc, Rh, Ag, Cd-113, Xe, Cs-133, Ba-138, Sm-149, Eu-151, 153, GdについてENDF/B-5のために再評価を行なったとの事である。測定活動の方はORELAで σ_{tot} , $\sigma(n, r)$ の広範囲な測定や, CFRMF, EBR-IIでの積分測定が行なわれて居り、その実績と底力は矢張り圧倒的な感じがする。

ドイツはFPNDについては契約によってベッテン研究所に委せているとの事で、カールスルーエ研究所では専ら構造材やアクチニド核種断面積の測定、評価に重点をおいているように思えた。フランスはイタリアのボローニャ研究所との高速炉協定の一部としてFPNDの評価を協同してやっているが、理論研究の主力はボローニャのようである。

今後の見込みとしては、ヨーロッパ勢はFP断面積の測定、評価活動は峠を越し終りに近付いているとの感を持っているようであり、国際協力の関心もアクチニドに向き始めているとの印象を受けた。しかし、私の考えでは、今迄のデータ評価には最新のORELA他の広範な測定結果が含まれていないし、積分測定値の利用も充分とは思えない。微分測定値も未だ大きな不足や喰違ひがあり、仕事をfinishさせるにはもう数段階の努力が必要と感じている。

おわりに

1973年の第1回会議の時と比べて今回迄に至る進歩はまことに著しい。日本ではこの分野は後発であり、最近可成り進んで来たが欧米の方がもっと進んだ。しかし個々には日本でも非常に優れた研究が今回の会議に寄せられていた。山本、相山氏(東北大)の核分裂収率の理論計算、吉田、飯田氏(NALG)の崩壊データと崩壊熱計算、京大炉/東工大のNb, Cs等の $\sigma(n, r)$ 測定、松本、中嶋、村田氏(シグマ委)のレベルスキーム編集、松延、渡部氏(シグマ委)の (n, r) データ編集、菊池、西村氏他(シグマ委)の積分テスト等々はいずれも高い評価をもって引用・歓迎され、大変肩身の広い思いをさせて頂いた。

私のreview paper RP9の作成に当っては多くの方々の協力を頂いた。隈部氏はpre-equilibrium理論での計算結果を送って下さった。山室、浅見明、松延、渡部の諸氏には $\sigma(n, r)$ 測定値について詳細に議論をして頂き、原研核データセンターの五十嵐、中川、成田氏には資料の作成、データファイルの処理、計算をお願いした。又、シグマ委員会のFPNDワーキング・グループの諸氏は、JENDLのFPNDファイル作成の為に随分と急なスケジュールで作業を行なって下さった。おかげでレビューも好評であり、ここで厚くお礼を述べさせて頂く。

おわりに、会議の前後に国外から送付されて来た文献、資料のリストを表5a, 5bに掲げる。原研核データセンターで保管されている。

表 5 a 入手文献リスト

Recent ECN publications and preprints
on cross section evaluation and adjustment

(○印は入手済みのもので)

1. J.B. Dragt, J.W.M. Dekker, H. Gruppelaar and A.J. Janssen, Methods of Adjustment and Error Evaluation of Neutron Capture Cross Sections; Application to Fission Product Nuclides, Nucl. Science and Eng. 62 (1977) 117.
2. H. Gruppelaar and G. Reffo, Some Properties of the Width Fluctuation Factor, Nucl. Science and Eng. 62 (1977) 756.
- 3. J.J. Veenema and A.J. Janssen, Small-Sample Reactivity Worths of Fission-Product Isotopes and Some Other Materials Measured in STEK, ECN-10 (1976).
- 4. R.J. Heijboer and A.J. Janssen, Pseudo Fission-Product Cross Sections for a Fast Breeder Reactor, ECN-11 (1976).
- 5. H. Gruppelaar, A.J. Janssen and J.W.M. Dekker, Intercomparison of Recent Evaluations of Some Fission-Product Nuclides, ECN-12 (1976).
- 6. H. Gruppelaar, Tables of RCN-2 Fission-Product Cross Section Evaluation, part 1 (24 nuclides), ECN-13 (1977).
7. Idem, part 2 (13 nuclides), ECN-report in preparation.
- 8. J.W.M. Dekker, Tables and Figures of Adjusted and Unadjusted Capture Group Cross Sections based on the RCN-2 Evaluation and Integral Measurements in STEK, part 1, ECN-14 (1977).
9. Idem, part 2 (13 nuclides), ECN-report in preparation.
10. J.W.M. Dekker and H.Ch. Rieffe, Adjusted Capture Cross Sections of Fission Product Nuclides from STEK Reactivity Worths and CFRMF Activation Data, contribution to this meeting, also to be published as ECN-report.
11. J.W.M. Dekker, H. Gruppelaar, R.J. Heijboer and A.J. Janssen, Fission-Product Capture Cross Sections for a Fast Reactor, Reaktortagung, Mannheim (March 1977), ZAED, Karlsruhe, p. 87.
12. J.W.M. Dekker, J.B. Dragt, A.J. Janssen, R.J. Heijboer and H.Th. Klippel, Neutron Spectra of STEK-Cores for Reactivity Calculations, ECN-report to be published.
13. H. Gruppelaar, J.W.M. Dekker and A.J. Janssen, Neutron Capture Cross Section Adjustment based upon Integral Measurements, to be presented at the ANS 1977 Winter Meeting, San Francisco, ECN-77-102.
- 14. F.J. Luider, Pre-Equilibrium Theory and Slaves of the Master Equation, ECN-17 (1977).
15. F.J. Luider, Note on the Solution of the Master Equation in the Exciton Model of Pre-Equilibrium Theory, to be published in Zeitschrift für Physik A, ECN-77-74.
- 16. T.D. Oei, J.W.M. Dekker and W.H.J. Quaadvliet, Time-of-flight measurements in STEK, ECN-19 (1977).

表 5 b 入手文献リスト(つづき)

1. Radiative capture mechanism in the giant dipole resonance region, Contribution to the International Conference on Selected Topics in Nuclear Structure, Dubna USSR, June 15-19 1976, by G. Longo, G. Reffo and F. Saporetti
2. Compound-nucleus and direct-semi-direct ~~mechanisms~~ ^{contributions} to radiative capture of fast neutrons, Letter al Nuovo Cimento 16 193-198 (1976), by G. Longo, G. Reffo and F. Saporetti
3. Burn-up studies at CEA for fast breeder reactors, NEACRP-L-191 (1977), by J.P. Chaudat, G. Langlet and L. Martin-Deidier
4. Neutron cross sections for 22 most important ^t fission products, Fourth National Soviet Conference on Neutron Physics, Kiev, 18-22 April 1977, by E. Fort, J. Krebs, P. Ribon, Tran Quoc Thuong, E. Merapace, M. Motta, and G. Reffo
5. Fission product and reactor dosimetry studies at Coupled Fast Reactivity Measurement Facility, ENDF-266 (preliminary) (April, 1978), by Y. D. Harker, J. W. Rogers and D. A. Millsap
6. Multigroup and Few-group cross sections for ENDF/B-4 ^f Fission products; The TOAFEW collapsing code and data file of 154-group fission-product cross sections, NRC-1 (March 1978), (LA-7174-MS Informal report), by W. B. Wilson, T. R. England and R. J. LaBauve
7. Abstracts and figures RCN-2 evaluation, FSR-Gr-35 (informal reports) (1977), by H. Gruppelaar.

Sm-147 and natural Sm (Part 28, Part 28 appendices)
Sm-148 (Part 29), Sm-149 (Part 30), Sm-150 (Part 31),
Sm-151 (Part 32), Sm-152 (Part 33), Sm-154 (Part 34).

8. FP cross section data file, RCN-2 evaluation (1977)
9. FP cross section data file, CNEN-2 evaluation (1977)