

話題 (その I)

IAEA Consultants' Meeting on Integral Cross
Section Measurements in Standard Neutron Fields
for Reactor Dosimetry に出席して

京都大学原子炉実験所 木村 逸郎

1. はじめに

中性子断面積データを必要とする数多くの分野の中の1つの大きな柱として、原子炉の線量測定という分野がある。つまり、原子炉の中性子を測定するという立場から中性子断面積データの必要性が生じる。今さらこんなことがどうして重要かという感じを抱かれる人もあろうが、原子炉の中性子束を、それも、中性子のエネルギーまで精度よく求めることは、あまり簡単なことではない。また、例えば、原子炉圧力容器材料の照射損傷監視のような場合、年オーダーにわたる中性子照射量を精度よく求めることも大変なことである。欧米の材料照射用原子炉の傍には、このように、材料照射の横軸の値を、責任もって与えようという専門家が必ずいる。そして、それらの専門家が横のつながりを有しているのである。例えば、西欧では EURATOM の EWGRD (ユラトム原子炉線量測定ワーキンググループ)があり、米国では ASTM の線量測定小委などがあり、さらに IAEA には IWGRM (原子炉放射線測定国際ワーキンググループ)がある。

このような原子炉の線量測定用中性子断面積データの重要性は、核データセンター等でも認識され、例えば ENDF/B-IV には Dosimetry File (BNL-NCS-50446, 1975) が作られている。また、これに先立って、1973年9月には IAEA Consultants' Meeting on Nuclear Data for Reactor Neutron Dosimetry が開催されている。これは INDC (NDS)-56/U レポートとして刊行され、原研の宮坂駿一氏が JNDC ニュース 30 で紹介された。

今回のコンサルタントミーティングは、上記会合においてその意義と必要性が唱えられ、さらに昨秋オランダのベテンで開催された第1回 ASTM-EURATOM の原子炉線量測定シンポジウムにおいて、開催の必要性が再確認された結果、今回開催の運びとなった。なお、このベテンシンポジウムのことについては筆者がやはりこの JNDC ニュース 36 で紹介した。

ところで、この会議の表題にある、いわゆる原子炉線量測定のための標準中性子場とは、主として原子炉線量測定用の中性子断面積データをチェックするためのものである。従って、このような場を用いることにより、前述の Dosimetry File の検討を行うことができる。さらに、原子炉の中性子測定法の試験を行うことも可能である。こんなことも、今さらどうしという感じを抱かれる方もあろうが、現在でも Reactor Dosimetry のための中性子断面積データはあまり良い精度で与えられているとはいえないし、さらに、一見精度が良さそうに見えるデータでも、潜在的な系統的誤差が隠れていて、このような積分的評価を必要とするものが多い。

この会議は、IAEAのNuclear Data SectionのM. Vlasov が幹事役になり、ベルギー国CEN-SCKのA. Fabry、米国NBSのJ. A. Grundl及びHEDLのW. N. McElroy が企画した。そして、会議における討論とともに、このような標準中性子場に関する情報を集めた資料集いわゆる compendium を作ることが計画され、そのためのアンケート (questionnaire) が世界中に配布された。(なお、これについて、筆者として思いつく方方にはそのコピーを配布したが、何か御関心ある方は御連絡頂ければ幸甚である) これについては、現在、J. A. Grundl が編集集中である。

会議の方は、1976年11月15日(月)～11月19日(金)の5日間ウィーンのIAEA本部D会議室において開催された。筆者は、IAEAから consultants の1人として招待を受けて出席する機会を得た。なお、このことについては、原研核データ室から関係者への連絡をして頂き、また筆者個人としても関係の方々々に相談させて頂いた結果、数篇の論文の参加と資料提供があった。

2. 会議の出席者とプログラム

2.1 出席者

Consultants' Meeting というのが、いつの間にか大きな会議になってしまった感じ
で、厳密な意味での consultants の名簿は入手していないが一応の出席者リストを以下に
挙げる：

- H. K. Vonach (オーストリア)
- A. Fabry (ベルギー, CEN-SCK)
- G. De Leeuw-Giersts (")
- S. De Leeuw-Giersts (")
- H. H. Knitter (ユーラトム, Geel)
- R. Lloret (フランス, CEN, Grenoble)
- W. Mannhart (西独, PTB)
- S. Wagner (")
- U. Farinelli (イタリー, CNEN-RIT)
- I. Kimura (日本, 京大炉)
- W. L. Zijp (オランダ, ECN, Petten)
- I. Girlea (ルーマニア, INT)
- A. K. MacCracken (英国, AEE Winfrith)
- J. G. Williams (英国, ロンドン大学)
- A. H. M. A. Hannan (") (バングラディッシュ)
- J. A. Grundl (米国, NBS)
- W. N. McElroy (米国, HEDL)
- B. Magurno (米国, BNL)

F. J. Rahn (米国, EPRI)
D. Najzer (ユーゴスラビア, J. Stefan 研究所)
M. Vlasov (IAEA NDS)(Scientific Secretary)
J. J. Schmidt (IAEA, NDS)
B. Cross (IAEA, Div. of Sci. Tech. Inf.)
C. Ertec (IAEA Seibersdorf Lab.)
I. Neamu (IAEA Div. of Nucl. Power and Reactors)
J. Phillips (IAEA Div. of Research and Lab.)
G. Lammner (IAEA, NDS)
R. Lessler (//)
K. Okamoto (//)

2.2 プログラム

まず、IAEAのJ. J. Schmidtのあいさつに始った。そして、出席が予定されていたのに急死したソ連のR. D. Vasil'ev氏の冥福を祈ったのち、この会議の意義が説明された。引続いて、J. A. Grundlが企画責任者としてあいさつを行った。彼のあいさつの中でもいわれたことだが、この会議には予想されたよりずっと多くの参会者と論文が出された。その上、この会議の正規のテーマよりもかなり広い範囲の発表まで包含してしまったために、かなり焦点のぼけた感じがしたが、また一方では、より一般的な立場から問題を把握できたともいえるのではなかろうか。末尾に論文その他の発表リストを添付する。この中の番号は正式のものでなく、筆者が便宜上付したものである。それぞれの論文について紹介すれば良いのだが、ここでは題目のみにとどめさせて頂き、御関心ある方の筆者へ御連絡をお願いしておく。なお、日本からの発表は、(13)、(14)、(26)及び(35)の4篇であった。時間が制限されたこととつたない筆者の代読のために、大分味を損ってしまったものの、各論文への反応と関心は随分あったものと感じている。

3. 結論及びリコメンデーション

いわゆるConsultants' Meetingであって、シンポジウム等ではないのだから、この会議の後半はconclusionとrecommendation作りに大半が費された。実は、この案文の最終的なものがまだ手元にないので残念ながら詳しくかつ責任をもって紹介できないが、これらを作成した各グループのメモがバラバラにあるのでそれをもとに極く概略を紹介する。なお、サブグループとしては次の6つがあった：

- (1) Principle of benchmark applications, Overview
- (2) Spectral characterization of benchmark neutron fields
- (3) Integral data in benchmark neutron fields
- (4) Differential cross-section data for reactor dosimetry
- (5) Validation and adjustment of differential cross sections on

the basis of integral data

(6) Review and finalization of conclusions and recommendations of working groups

まず、一般的なこととして、原子炉線量測定が、原子炉圧力容器の健全性監視、燃料サイクルや遮蔽の研究にとって重要であり、さらに今後の核融合炉においても非常に重要だということが示された後、原子炉線量測定の現状がまとめられている。次に、こうした立場での benchmark 実験の意義がまとめられている。さらに、必要な精度について述べている。すなわち、現状では $\pm 2 \sim 3\%$ (1σ) ということと良いが、将来は $\pm 5\%$ 以内に入れるべきであるという。また、感度係数的な考え方が必要であることを訴えている。さらに最新的手法やデータを関係者とともに日常の問題に生かしてゆこうといているのが面白い。最後に、他の IAEA の活動との関係について触れている。

次の中性子スペクトルの求め方については、次の4つに分けてまとめられている。

(1) 中性子束とスペクトルの決定 (全般的なこと)

スペクトルが極めてよく分った benchmark field でスペクトル測定法と計算法の同時比較をすること…… (当然のことであり、既にいろいろ実行されている)

(2) 計算法

中性子断面積データと計算モデルの2つの問題がある。一次元で多群、かつ高次展開の方法がよく使われている。感度解析の重要性が強調される。

(3) 測定法 (微分的)

まず、 ^{235}U と ^{252}Cf の核分裂中性子スペクトルに触れている。次いで、中性子スペクトル測定法の現状をまとめている。ここでは筆者もかなり積極的に討論に加わった。そして、日本における、YAYOIでの仕事やKURでの仕事のこととも盛り込んでおいた。しかし、全体としてみると、中性子スペクトル測定法のまとめとしてはなおすこぶるお粗末の感じである。

(4) 積分的測定法

いわゆる中性子検出器によるスペクトル測定法のことについてまとめている。すでに、ベトナムの会議の workshop 等でも示されたように、最近では SAND-1, RFST-JÜL 及び CRYSTAL BALL が優等生ということが繰り返されている。果して今後ともそうなのか、これが破れるか、わが国からの寄与も期待される。

第3の integral data では、まず精度を $2 \sim 5\%$ (1σ) で測定する必要性が唱えられている。次に、 ^{235}U の核分裂スペクトルに対する平均断面積の測定値間にかなりの不一致があるため国際比較が必要であることが強調されている。とくに、ベルギー国の Fabry と筆者の値の間の約 10% の不一致が有名になってしまい Mol-熊取-Seibersdorf (IAEA) 間の比較をしようということになった。なお、 ^{252}Cf の自発核分裂中性子に対する平均断面積の方は一致が良いようである。その他、いろいろな具体的な反応について述べられているが省略する。

次の differential の点については、会議最終日の最後の最後まで議論が続いた。微分屋と

積分屋とでは体質的にしっくりいかないのかも知れない。しかし、一応まとめの案はできかけていた。まず、エネルギー依存断面積の目標精度5%のことについて述べている。また、ENDF/B-IV dosimetry fileに誤差を入れることが希望されている。その他、具体的な反応のことについて書かれているが省略する。

どのカテゴリーに入るのかよく分らなくなったが重要なこととして、benchmark fieldsの分類のことが示される。これもベネン会議で原型が決ったことであるが、benchmark fieldsを次の3つに分ける。適当な邦訳がまだないのでそのままにしておく。

(1) Standard fields

中性子束の強さ、エネルギースペクトル及び角度分布が permanent かつ reproducible な中性子場であり、研究所間の測定と解析でその特性が確認されていること。そして、少くともいくつかの最重要反応の反応率測定結果が reference file を使った計算値と合うこと。現在のところ、 ^{252}Cf の自発核分裂中性子、1/E 中性子場及びマックスウェル分布熱中性子場がこれに入り、近い将来 ^{235}U の核分裂スペクトルや Σ 設備も入る。

(2) reference fields

Standard field ほど特性がはっきりしないが、一応 permanent and reproducible な中性子場であり、使用者間では reference として十分受け入れられるもの、 Σ 設備や YAYOI などの各種の標準場が、これに入る。

(3) controlled fields

物理的によく定められた中性子場で、限定的ながら非常によく用いられる。このように、この分類法はあまり判然としない点があるが一応の目安になる。より詳しいことは J. Grundl の論文を参照されたい。

最後に、この会議の全体的なまとめについて紹介する：

(1) 1973年9月以後の最も顕著な進歩は次のとおり；

- a. ENDF/B dosimetry file が使えるようになったこと
- b. benchmark fields の特性が明らかにされたこと
- c. benchmarks についての情報が集積したこと
- d. スペクトルと断面積に対する benchmark 測定の応用

(2) 本会議で得られた最も顕著な結論は次のとおり；

- a. 3つの standard fields におけるカテゴリー1の反応(1973年の報告参照)については、反応率の測定値は ENDF/B-IV を用いて計算した反応率の計算値と一致する。
- b. reference fields や controlled fields とカテゴリー2の反応(上に同じ)の知識を改良するための benchmark fields を使う実験は原則的に一致する。

(3) 本会議で出された重要な recommendation として ENDF/B-IV の使用、 ^{235}U 核分裂中性子に対する重要な反応の平均断面積データ間の不一致の軽減、benchmark fields の特性等について研究所間の協力、IAEAによるこうした面への支援と試料の提供など、約

10項目のことが挿唱されている。

4. おわりに

極めて粗雑なる報告に終わってしまったが、この分野の近況について少しでもお知り頂ければ幸甚である。

なお、この会議を通じ、IAEAの方々、とりわけ岡本浩一氏には大変お世話になり、いろいろコメントやら御助言を頂いた。心から謝意を表したい。

また、この会議出席にさいしいろいろ御協力頂いた方々にも深く感謝している。

なお、本会議の報告は近く出版される予定であるが、とくに急いで論文等について情報を求められる方は筆者まで御連絡下さい。

Consultants' Meeting
on Integral Cross-Section Measurements
in Standard Neutron Fields for Reactor Dosimetry

Vienna, 15 - 19 November 1976

(MONDAY, 15 NOVEMBER)

Opening of the meeting (Dr. J.J. Schmidt, IAEA)

SESSION I. OVERVIEW

Chairman: Dr. J.A. Grundl

- (1) Benchmark neutron fields for reactor dosimetry.
(J.A. Grundl, NBS)
- (2) Power reactor pressure vessel benchmarks (F. Rahn, EPRI)
- (3) One Material Experiments in the Frame of Power Reactor
Pressure Vessel Benchmarks (G. DeLeeuw-Gierds, S. DeLeeuw,
CEN/SCK)
- (4) Remarks on physical quantities and terminology used in
neutron metrology. (S. Wagner, PTB)

SESSION II. Spectral Characterization of Benchmark
Neutron Fields

Chairman: Dr. W.N. McElroy

- (5) Spectrum characterization and threshold reaction rate
measurements in the neutron field of VIPER by
M.H. McTaggart (J.G. Williams, London Univ.)
- (6) Review:
Spectral characterization by combining neutron spectroscopy,
analytical calculations and integral measurements.
(W.N. McElroy, HEDL)

(7) Review:

A Review of the standard fission neutron spectra of ^{235}U
and ^{252}Cf . (H.H. Knitter, Geel)

(8) Standards for thermal neutrons at PTB.

(S. Wagner, PTB)

(9) Fast Neutron Standards at PTB. (S. Wagner, PTB)

(10) A Californium-252 fission spectrum irradiation facility
for neutron reaction rate measurements by J.A. Grundl,
V. Spiegel, C.M. Eisenhauer, H.T. Heaton, II, D. Guliam
and J. Bigelow. (J.A. Grundl, NBS)

(TUESDAY, 16 NOVEMBER)

(11) In-pile neutron spectroscopy: status

(G.de Leeuw, CEN-SCK, Mol)

(12) Spectral characterization of the NISUS neutron field by
J.G. Williams and A.H.M.A. Hannan

(J.G. Williams, London University)

(13) Studies of neutron standard fields in the fast source
reactor 'YAYOI', by A. Sekiguchi et al.

(I. Kimura, KURRI, Osaka)

(14) Thermal Neutron Standard Field with the KUR Heavy Water
Facility by K. Kanda et al.

(I. Kimura, KURRI, Osaka)

(15) The coupled fast reactivity measurements facility (CFRMF)
by J.W. Rogers, Y.D. Harker and D.A. Millsap

(J.A. Grundl NBS)

(16) Status of Fission Yields Used for Fast Reactor Dosimetry

(G. Lammer, IAEA)

SESSION III. Integral Data in Benchmark Neutron Fields

(17) Review of microscopic integral cross section data in
fundamental reactor dosimetry benchmark neutron fields

(A. Fabry, CEN/SCK, Mol)

- (18) Comparison of Integral Cross Section Values of Several Cross Section Libraries in the SAND-II Format
(W.L. Zijp and H.J. Nolthenius ECN, Petten)
- (19) Ratios of Measured and Calculated Reaction Rates for Some Known Spectra
(W.L. Zijp et al. ENC, Petten)
- (20) General Remarks on the Benchmark Studies
(W.L. Zijp, ECN, Petten)
- (21) Intercomparison of the intermediate energy standard neutron field at the NISUS and Mol-ΣΣ-facilities by means of absolute fission chambers, by A. Fabry, J.G. Williams and A.H.M.A. Hannan, D. Azimi-Garakani.
(J.G. Williams, London Univ.)
- (22) Activation foil data for NISUS, ΣΣ-Mol and ^{235}U fission spectrum by A.H.M.A. Hannan and J.G. Williams
(A.H.M.A. Hannan and J.G. Williams, London Univ.)
- (23) Integral cross section measurements with regard to the low and high energy part of the Californium-252 neutron spectrum
(W. Mannhart, PTB)
- (24) Integral cross-section measurements in the fast neutron spectrum from a U-235 fission plate
(D. Najzer, Ljubljana, Inst. J. Stefan)
- (25) Fission product yield ratios for ^{235}U fission by thermal and ^{252}Cf neutrons
(S. Wagner, PTB)
- (26) Measurement and evaluation of threshold reaction cross sections in standard neutron fields
(I. Kimura, RRI, Osaka)
- (27) Quality control and calibration of miniature fission chambers by exposure to standard neutron fields. Application to the measurement of fundamental integral cross section ratios, by A. Fabry and I. Girlea
(A. Fabry, CEN/SCK)
- (28) Measuring of a few integral data in the ΣΣ neutron fields
(I. Girlea, INT, Bucharest)

- (29) Progress report on detector cross section benchmark measurements in the Tapiro reactor, by M. Martini, P. Moioli, F. Shrito. (U. Farinelli, Casaccia)
- (30) Comparison of DETAN-74 and ENDF/B-IV cross section data in 620 groups (W.L. Zijp, Petten)

Recommendations

(WEDNESDAY, 17 NOVEMBER)

SESSION IV. Differential Cross-Section Data for
Reactor Dosimetry

Chairman: Dr. B. Magurno

- (31) Remarks concerning the accurate measurement of differential cross sections for threshold reactions used in fast neutron dosimetry for fission reactors, by D. Smith. (M. Vlasov)
- (32) Comments on excitation functions of threshold reactions used in reactor neutron dosimetry (M. Vlasov, IAEA)
- Status of the energy-dependent cross sections for reactor neutron dosimetry in the range 13 - 15 MeV (H. Vonach, IRK, Vienna)
- (33) Status of the ENDF/B-V dosimetry file (B. Magurno, BNL)
- (34) Cross-section requirements for reactor neutron flux measurements from the user's point of view by M. Mas and R. Lloret (R. Lloret, CEN, Grenoble)
- (35) Evaluations of $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$, $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ and $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ cross sections by T. Asami (I. Kimura KURRI, Osaka)

Recommendations

(THURSDAY, 18 NOVEMBER)

SESSION V. Validation and Adjustment of Differential

Cross Sections on the Basis of Integral Data

Chairman: Prof. U. Farinelli

General proposals of methodology for cross-section
validation and adjustment

(U. Farinelli, Casaccia)

- (36) Foil activation detectors - some remarks on the choice
of detectors, the adjustment of cross-sections and the
unfolding of flux spectra by A.K. McCracken and A. Packwood
(A.K. Mac Cracken, Winfrith)

Discussion and Recommendations

(FRIDAY, 19 NOVEMBER)

SESSION VI. Conclusions and Recommendations to the IAEA

Charman: Dr. J.J. Schmidt or Dr. M. Vlasov
Dr. J. Grundl

Review and finalization of conclusions and recommendations
of the working groups. Recommendation for next meeting.

Closing and adjournment of the meeting.
(Prof. U. Farinelli,
Dr. J. A. Grundl)