

IAEA「核融合炉用核データ」諮問会議について

IAEA Advisory Group Meeting on Nuclear Data for Fusion Reactor Technology

1986年12月1～5日（ガウシヒ、東独）

日本原子力研究所 前川 洋

標記会議の第1回は1978年ウィーンで開催され、日本から原研の関泰氏が出席した。この報告書はIAEA-TECDOC-223(1979)としてまとめられている。今回は2回目の会議で、東独ドケレスデン市から40kmほど離れた小村 Gaussig で開催された。会場はホストであるドレスデン工科大学(TUD)のゲストハウスで、昔の領主のものと思われる館が利用された。

参加者は20ヶ国と2国際機関から計40名であった。(表1参照)日本から住田健二(阪大)、神田幸則(九大)の両氏と筆者の3名が出席した。米国と同数の3名が日本から出席したことで、会議の主催者であるIAEAを喜ばせた。出席予定だった4名が欠席し、イタリアのG.Reffoはビザの取得が遅れ、3日目からの出席となった。

会議の目的は、

- (1) 核データに対する要求について前回の会議からの変化、並びに、既存核データがその要求精度を満たしているかの確認、
- (2) 核融合関連核データの最近の測定、評価並び理論計算のレビュー、
- (3) 要求されている核データの測定、編集、評価及び理論計算についての内容の確認と検討、
- (4) 今後の活動とその調整についての勧告と方法の作成、
- (5) ETR/INTOR計画のための核データファイル(INDL/F**)整備計画の作成、である。

最初の3日間は招待レヴューペーパーを中心に報告がなされた。セッションIの「核融合炉工学用核データに対する要求」で6件、セッションIIの「微分核データの実験と理論研究の現状」で9件、セッションIIIの「核融合炉ニュートロニクス計算用既存核データファイルの現状」で4件、セッションIVの「積分実験とベンチマークテストの現状」で5件の発表があった。発表論文のタイトルを別添に示す。会議中に約半分の論文が別刷として配布された。論文番号に○印のあるものが配布済みのものである。興味ある読者は出席した3名の誰かにコピーを要求していただきたい。

これらの発表に基づいて、参加者が4つのワーキンググループ(WG)に分かれて討議を重ねた。WG-Iは第1日目の夜に、WG-II～IVは4日目に会合が持たれ、結論と勧告がまとめられた。それらは5日目の全体会議で報告され、討議された。以下、ワーキンググループ報告の内容を主体に報告する。

* 本稿は原子力学会誌の「国際会議の窓」に投稿したものを加筆訂正した。

** International Nuclear Data Library for Fusion

WG-I 「ブランケット、遮蔽及び放射化問題に対する核データの要求と既存核データの現状」

座長：F.Mann, 書記：M.Scott

E. T. Cheng が示したタタキ台を基に討論が進められた。まず、核融合で重要な元素及びどんな核データが必要であるかが検討された。それらを表2と表3に示す。中性子束を決める輸送計算では σ_t 、DDX、 $(n, 2n)$ が重要であるなど、まとめられた結果は常識的なものであった。

各構成材料に対する核データの要求精度と既存核データがそれを満たしているかが検討された。表4に検討結果を示す。この表は最終報告を基にしており、会議中に作られた表と若干異なっている。(例えば、Pと言う分類はなかった。) この表は各材料の全体的現状を示したもので、個々の核種についての議論ではない。

WG-II 「微分核データの実験と理論の現状及び要求を満たす可能性の現状」

座長：H. Vonach, 書記：H. Conde

微分断面積の現状として、WG-Iのまとめが妥当であると了解された。要求された測定精度はDDX(3%)を除き、現在の技術で達成できると判断された。

- (1) 軽核(Li, Be, C, N, O)では、R-マトリックスが⁶Liの低エネルギーのみで有効なので、他の核種も含め、色々なエネルギーでの実験値が必要である。
- (2) 軽中核(Al, Si, Mg, Ca)では、Coupled channel, DWBA, Hauser-Feshbachモデルが良い結果を与える。
- (3) 中重核(A=50~209)では、実験値の多いNbのデータが理論モデルの検証に有効である。

新CRP(Coordinated Research Program)がIAEAで認められた。WGからCRPの活動として、V, Cr, Fe, Nb, Ta, ²³⁸UのDDXの測定が提言された。計算モデルの検証のため、²⁰⁸Pbの実験が提案され、IAEAから約100gの²⁰⁸Pbの供給が約束された。

WG-III 「INTOR計画のための国際評価済核データと国際協力」

座長：H. Grouppelaar 書記：R. A. Forrest

ETR/INTORのために1本化した核データファイルが必要であるとの京都会議* (1986年秋)での結果を踏まえて、IAEAの下にINDL/Fを整備することを前提に討議が進められた。その内容、整備の手順、スケジュール等が次のようにまとめられた。

- (1) INDL/Fに含まれる核種数は表5に示す26とし、ENDF/B-VI format とする。
- (2) CENDL(中国)、ENDLに続いて、BROND(ソ連)、JENDL-3、EFF-2、ENDF/B-VIが順次公開される予定である。(表6参照)

* IFRC(国際核融合研究評議会)、日本からは森茂原研副理事長、内田岱二郎名大プラズマ研究所所長が出席。

(3) 5～6名の“expert committee”を組織し、年2回の会議で、部分的なものも含めて公開された評価済み核データから、核種毎に最良と思われるものを選択する。すなわち、評価は行わない。この作業には表7に示す“Review kit”が利用される。

(4) 1988年中にスタートファイルを作成し、評価テスト後、1989年中に各国に配布する。

(5) ファイルの保管管理のため、IAEAの下に1～2名のスタッフを置く。

上記INDL/Fの他に、“Activation File”と“Dosimetry File”についても検討された。

WG-IV 「ブランケットベンチマーク実験と計算」

座長：住田健二、書記：R. Jones

当初予定に無かったWGで、今回の会議の担当であるIAEAのGoulo（ソ連出身）の根回しで急遽実現した。特にこの分野で先行している日本を含む数ヶ国に対し、どのような協力が可能か予め打診があった。

WGとして、計算と実験の両方でベンチマーク問題が提案された。東西のバランス、東側の計算技術と計算機システムの資源の現状等から、最新のTUDの外径50cmのPb球体系の実験が計算のベンチマーク問題として採用された。この実験については“The neutron multiplication of lead at 14 MeV neutron incidence energy,” T. Elfruth, et al., Atomkernenergie Kerntechnik 49 [3] 121-125 (1987) として発表されている。解析の対象となる測定項目はリークスペクトル、 ^{238}U 、 (n, f) 、 $^{65}\text{Cu}(n, 2n)$ 、 $^{27}\text{Al}(n, \alpha)$ の反応率分布、中性子増倍率である。標準的解析に使用する基準核データは、ECNで評価したPbのデータを処理コードと共にIAEA経由で各国に供給する。各国の独立のデータ及び計算コードによる追加解析が奨励された。なお、実験の詳細についてIAEAを通じて配布する。

実験についてのベンチマーク問題として、同じくTUDの実験内容にできるだけ近い実験を可能な機関で実施することが提案された。実験の実施について、イタリア、イギリス、カナダなどが興味を示した。両ベンチマーク問題について各国で実施される結果を踏まえて、1988年秋に専門家会議を開催することがIAEAに要請された。

今回の会議の主な狙いはIAEAの核データ部門の活動をサポートすることであり、WG-IIIの答申が特に重要と考えられる。IAEAのJ. J. Schmidtが前述の京都会議でINDL/Fが提起されたことを強調していた。しかし、このINDL/Fの整備計画はIAEAの中では未承認であり、計画の推進にはIAEAの担当者の努力がかかっている。ブランケットベンチマーク実験と解析は日本が先行しているが、実験解析の中で何が問題となるかは、日本以外では必ずしも良く認識されていないようである。今回のベンチマーク問題は第1段階であり、提案された次の専門家会議で少しは各国の足並みが揃うものと期待される。

表 1 会議参加者のリスト

List of Participants

Austria	R. Feldbacher, H. K. Vonach
Belgium	H. Liskien
Brazil	R. Dos Santos
Bulgaria	V. Christov, K. Ilieva
Canada	R. Jones
Czechoslovakia	P. Oblozinsky
FRG	R. Böttger
GDR	D. Seelinger, K. Seidel, W. Hansen, H. Helfer
	T. Elfruth, A. Meister, H. Märten, D. Schmidt
	S. Unholzer
India	M. K. Mehta
Iran	H. Payrovan
Italy	V. Rado, G. Reffo
Japan	Y. Kanda, H. Maekawa, K. Sumita
Netherland (EC)	H. Gruppelaar
Spain	R. Caro
Sweden	H. Conde
Switzerland	S. Pelloni
Syria	H. Al Obiesi, M. Torjman
UK	R. Forrest, M. C. Scott
USA	E. T. Cheng, M. Jarmie, F. M. Mann
USSR	A. Borisov, D. V. Markovskij
IAEA	V. Goulo, J. J. Schmidt

List of Absentees

L. R. Greenwood (USA), G. Hale (USA)
S. M. Qaim (FRG), Zhao Zhixian (China)

表 2 核融合炉の開発に必要な核データ

1. Flux Determination
 - * transport calculation σ_t , DDX, (n,2n)
 - * dosimetry $A(n,x)B$
 - * diagnostics
2. Fuel Production
 - * ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{T}$ --- 10 %
 - * ${}^7\text{Li}(n,n'\alpha){}^3\text{T}$ --- 3 %
3. Radiation Hazards
 - * activation $A(n,x)B$, decay data
4. Material Behavior
 - * dpa: recoil spectra, (n,charged), cov.
 - * gas: (n,p), (n, α)
 - * transmutation: cross section
5. Power Generation
 - * kerma: recoil spectra
 - charged-particle spectra
 - * γ -production: cross section
6. Fuel Burnup
 - * d + t, d + d

表 3 核融合炉で重要な核種

Structure	: Fe, Cr, Ni, V, Ti, Al, W, Mn, Si
Breeder/Coolant	: Li, H, O, Pb, Fe, He, Be Al + structure
Multiplier	: Be, Pb
Magnet	: Cu, N, Nb, Al + structure
First Wall/ Diverter/Limiter	: C, Cu, W + structure
Magnet Shield	: C, Cu, W, H, O + structure
Biological Shield	: Ca, Si, Ba + structure
Hybrid	: Th, U, Pu

表 4 核データへの要求精度と現状

	Breeder/ Coolant		Multiplier		Magnet		First wall		Shield		Hybrid	
	%	Met	%	Met	%	Met	%	Met	%	Met	%	Met
Total sigma:												
En < 10 MeV	3	P	3	Y	3	Y	3	Y	3	Y	1	P
En > 10 MeV	1	P	1	N	3	Y	3	Y	1	N	1	P
neutron emission	10	N	10	N	20	P	-	-	3	N	10	Y
			(Y for Pb)								(N for Pu,Th)	
neutron multiplication	-	-	3	N	-	-	-	-	-	-	-	-
el. SAD	10	N	10	N	20	P	-	-	3	N	10	Y
nonel. SAD	not very important											

Y : experimental data exist and evaluations may incorporate such data.

P : partially met.

N : experimental data do not exist or not satisfy requested accuracy.

表 5 I N D L / F に含まれる予定の核種

H, D, T, ⁶Li, ⁷Li, Be, ¹⁰B, ¹¹B, C, O, N, Al, Si, Ti
V, Cr, Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Zr, Nb, Mo, Ba, W, Pb, Bi

表 6 利用可能な評価済核データファイル

Library	Availability	Remarks
ENDF/B-IV	Available	Not adequate for fusion applications
ENDF/B-V	Only parts available	Fusion material evls. less restricted
ENDF/B-VI	Expected to become available	Completed mid 1989; released element by element
EFF-1,2	Largely unavailable at present	Part of JEF 2, except for Li, Al, Si, Pb
JENDL-2	Available	Not adequate for fusion applications
JENDL-3	Available by March '88	Preliminary evaluations are JENDL-3-PR1,2
BROND	Available by Jan. '87	USSR + Dresden (56 nuclides)
ENDL	Available	Not strictly ENDF-V format; large number of materials
CENDL	Available (INDL-V)	China, 14 materials
IRDF	Available	International Reactor Dosimetry File (ENDF/B-V + 10 evaluations from IRK, Vienna)

表 7 レビューキットの内容

Numerical data for each evaluation
Graph of data for individual evaluations
Comparative graphs
Documentation
Summary of integral quantities
14 MeV data points
Multigroup Data (3 groups per decade)
Results of runs of checker codes (both format & physical)

別 添

IAEA Advisory Group Meeting on Nuclear Data for Fusion Reactor Technology

Gaussig, GDR, 1-5 Dec. 1986

Review Topics

I. Requirements of Nuclear Data for Fusion reactor Technology

- ①. Nuclear data requirements for fusion reactor transport calculations and testing of ENDF/B-V and VI libraries
E. T. Cheng (GAT, USA)
- ②. Nuclear data requirements for tritium breeding calculations and testing of evaluated nuclear data in Japan
H. Maekawa (JAERI, Japan)
3. Nuclear data requirements for dosimetry and radiation damage estimates
L. R. Greenwood (ANL, USA)
- ④. Requirements for charged-particle light isotopes reaction data for advanced fuel cycles, including two step reaction mechanism
R. Feldbacher (TU Graz, Austria)
- ⑤. Requirements for charged-particle reaction cross sections in the D-D, D-T, T-T and D-³He fuel cycles
N. Jarmie (LANL, USA)
6. Nuclear data requirements for transmutations gas-production and activation of reactor wall and structural materials
F. Mann (HEDL, USA)

II. Status of Experimental and Theoretical Investigations of Microscopic Nuclear Data

- ⑦. Systematics of 14 MeV neutron induced reaction cross sections
S. M. Qaim (Jülich, FRG)
8. Status of experimental and theoretical gamma-ray emission spectra
P. Obložinský (Czechoslovakia)
9. Status of experimental and theoretical double-differential neutron data
D. Seelinger (TU Dresden, GDR)
10. R-Matrix description of neutron production from light charged-particle reactions
G. Hale (LANL, USA)

11. Report on the IAEA Coordinated Research Program on measurements and analyses of 14 MeV neutron data
M. K. Mehta (BARC, India)
- (12.) Excitation of isomeric states in (n,n') reaction
H. Vonach (IRK, Austria)
- (13.) Neutron angular distributions from ${}^7\text{Li}$
H. Liskien (CBNM, Belgium)
14. Standard cross sections for fusion
H. Conde (Sweden)
- (15.) Systematics of (n,2n) and (n,3n) cross section / Systematics of excitation function for (n, charged-particle) reactions
Zhao Zhixiang (IAE, China)

III. Status of Existing Libraries for Fusion Neutronics Calculations

- (16.) Use of Neutron data in the calculations of hybrid fusion reactor blanket
D. V. Markovskij (Kurchatov IAE, USSR)
- (17.) Status of the UK activation cross section library for fusion
R. Forrest (AERE, UK)
- (18.) Status of the European Fusion File
H. Gruppelaar (ECN, Netherlands)
- (19.) Status of fusion-related evaluated nuclear data in Japan
Y. Kanda (Kyushu Univ., Japan)

IV. Status of Integral Experiments and Benchmark Tests

- (20.) Recent joint developments in the field of cross-section uncertainty analysis at Los Alamos and EIR
S. Pelloni (EIR, Switzerland)
- (21.) Review of LiF benchmark experiments and data analysis
M. C. Scott (Birmingham Univ. UK)
22. Benchmark testing of nuclear data on Pb-spheres
K. Seidel (TU Dresden, GDR)
- (23.) 14 MeV integral experiments at OKTAVIAN to check differential data of secondary neutrons
K. Sumita (Osaka Univ., Japan)
- (24.) Blanket benchmark experiments and their analyses at FNS
H. Maekawa (JAERI, Japan)