

IAEA 協力研究計画 (CRP)

「IRDF (国際原子炉核融合ドシメトリファイル) の検証 及び改良」に関する第 2 回調整会議報告

京都大学原子炉実験所

八島 浩

yashima@rri.kyoto-u.ac.jp

日本原子力研究開発機構

核融合研究開発部門

核融合中性子工学研究 Gr

今野 力

konno.chikara@jaea.go.jp

1. はじめに

2015 年 3 月 16 日から 20 日までウィーンの IAEA 本部で IAEA の CRP (Coordinated Research Program、協力研究計画)「IRDF (International Reactor Dosimetry and Fusion File、国際原子炉核融合ドシメトリファイル) の検証及び改良」の第 2 回研究調整会議が開催された。本 CRP の目的は、IRDF-2002 (International Reactor Dosimetry File、国際原子炉ドシメトリファイル) を核融合関連施設や加速器応用 (加速器駆動システムや核破砕中性子源) にも対応できるように、上限エネルギーを 20MeV から 60MeV (核種によっては 150MeV あるいは 200MeV) まで拡張するとともに反応数も 66 から 82 に増やし、データも改訂したドシメトリファイル IRDF の妥当性を種々のエネルギーの中性子場で検証することで、今回の会合では、2013 年 7 月の第 1 回研究調整会議で決められた各参加者の検証状況の進捗報告が中心である。

本会議では、最初に IAEA 核データセクションのヘッドである Forrest 氏からの挨拶、新たに加わった参加者の自己紹介、本 CRP の取りまとめである IAEA の Simakov 氏から前回会合以降の本 CRP の体制、IRDF の改訂状況、IAEA 内での検証状況の報告が行われた後、参加者が行っている検証研究を發表し、今後どのように研究を進めていくかの議論が行われた。参加者はオブザーバー、コンサルタントも含め、日本 2 名 (筆者 2 名)、

欧州 6 名、ロシア 3 名、米国 3 名、南アフリカ 2 名、IAEA6 名の 22 名であった。



参加者集合写真（1 列目の右から 2 番目及び 2 列目の右から 4 番目が筆者）

2. 議論結果

IRDFD データは 10^5eV から 60MeV （あるいは 60MeV 以上）まで幅広いエネルギーの中性子が対象になるため、IRDFD データの検証には種々のエネルギーの中性子場での実験データが必要になる。そのため、本 CRP の第 1 回会合で原子炉、低エネルギー加速器、核融合、高エネルギー加速器で実験を行っている研究者が集められ、本 CRP がスタートした。今回の第 2 回目の会合には、若干参加者の変更はあったが、ほぼ第 1 回目と同じ研究者が参加した。研究分野の内訳では、IAEA からの参加者を除いて、原子炉分野 6 名、低エネルギー加速器分野 1 名、核融合分野 2 名、高エネルギー加速器分野 4 名、核データ評価分野 2 名、崩壊データ評価分野 1 名で、IRDFD データではエネルギーが 60MeV まで拡張されたものの、高エネルギー加速器分野の研究者は少なく、原子炉分野の研究者が多い。そのため、第 1 回同様、原子炉分野での発表、議論が多数を占め、筆者等にとっては専門外の分野のため（筆者 2 名のうち八島の専門は高エネルギー加速器での実験、今野の専門は核融合中性子工学）、必ずしも全てを把握できたわけではないことを予めお断

りしておく。原子炉分野での発表、議論に関心のある方は、直接 <http://www-nds.iaea.org/IRDFftest/> から、発表資料、議事録 (INDC(NDS)-0682 として公刊) をダウンロードして見ていただきたい。以下、著者等が理解した範囲で、各分野の議論の紹介をする。

(1) 原子炉中性子等を用いた研究

原子炉中性子、 ^{252}Cf 自発核分裂中性子場、熱中性子による ^{235}U 核分裂中性子場、30keV マックスウェル中性子場等での過去及び最近の実験の IRDF を用いた解析結果が Griffin 氏、White 氏、Destouches 氏、Kodeli 氏、Mastinu 氏、Trkov 氏、Plompen 氏から報告され、数 MeV 以上の中性子に感度を持つ反応で実験と計算の一致が徐々に悪くなり、10MeV 以上の中性子に感度を持つ反応では顕著な差が現れ、特に、過去に日本の弥生炉で行われた実験では計算との一致が悪かった。筆者等はこの分野の専門外で、このような中性子場で 10MeV 以上の中性子に感度を持つ反応の断面積の検証が適切とは思えなかったが、他の参加者の関心が大きかったのが印象的である。

(2) 核融合 DT 中性子を用いた研究

この中性子エネルギー領域での本調整研究計画の公式の主研究者は筆者の一人の今野だけであったが、今回新たにイタリア ENEA/Frascati の Angelone 氏が加わった。今野は、i) 20 年以上前に FNS で測定した種々の放射化断面積と IRDF データとの比較、ii) 新たに実施した DT 中性子入射グラフィット、酸化リチウム体系内での反応率測定実験及びその解析、について中間結果を報告した。i) については IRDF に含まれる 82 反応のうち 34 反応の断面積について FNS で測定した実験データと比較し、数反応以外は良く一致することを示した。ii) のグラフィット実験では、IRDF に含まれる 82 反応のうち 40 反応について、DT 中性子だけでなく熱中性子までの中性子エネルギー範囲で、IRDF の断面積の積分検証を行い、また、ii) の酸化リチウム実験では、IRDF に含まれる 82 反応のうち 30 反応について、主に 1keV 程度以上の中性子エネルギーに対する IRDF の断面積の積分検証を行い、ともにほとんどの反応で IRDF のデータに問題がないことを実証した。14MeV 中性子だけでなく、熱中性子、eV 領域中性子、keV 領域中性子に対し、IRDF の半分以上の反応の断面積の検証を詳細に行っていることに高い評価を受けた。今回、生成核種の半減期が比較的長い反応について報告したが、今後、生成核種の半減期が比較的短い反応についても追加で ii) の実験を行うことを提案し、了承された。

Angelone 氏は FNS と同様の加速器型 DT 中性子源 FNG で過去に実施した核データ検証ベンチマーク実験で測定した 7 反応に関する IRDF の検証結果と新たに FNG で DT 中性子のみにより測定した 7 反応の反応率の結果を報告した。過去に実施した核データ検証ベンチマーク実験では IRDF を用いた計算は実験と比較的良く一致したが、DT 中性

子のみにより新たに測定した 7 反応の反応率では実験と計算の一致が悪いものが多く、どうも実験データに問題があると考えられる。更に、Kodeli 氏、Trkov 氏から FNG で過去に実施したタングステン実験の解析及び高速炉での実験結果から IRDFF のマンガン等の捕獲反応の keV 領域の断面積に問題がある旨の問題提起があり、筆者の一人の今野が、FNS でもタングステン実験を再度行い、マンガンの捕獲反応断面積の妥当性を検証することになった。

(3) 高エネルギー中性子を用いた研究

筆者の一人の八島が日本の大阪大学核物理研究センターでの 140MeV p-Li 中性子による $^{209}\text{Bi}(n,xn)$ 、 $^{59}\text{Co}(n,xn)$ 反応断面積測定の途中報告を行った。p-Li 中性子の低エネルギー部分の補正方法として 2 角度照射による差引法と既存の実験データもしくは核データを用いて低エネルギー中性子による寄与を求めて補正する方法で得られた結果を報告した。まだ最終的な断面積データではないので現在解析中の 80MeV p-Li 中性子による実験結果と合わせて最終的な断面積データを出したいと考えている。他にも Maleka 氏が南アフリカ iThemba LABS での 90MeV、140MeV p-Li 中性子による $^{59}\text{Co}(n,xn)$ 、 $^{169}\text{Tm}(n,xn)$ 、 $^{197}\text{Au}(n,xn)$ 、 $^{209}\text{Bi}(n,xn)$ 反応断面積測定を、Majerle 氏がチェコ科学アカデミー核物理研究所での 20~35MeV p-Li 中性子による Au、Bi、Co、Tm の放射化断面積測定及びウプサラでの 40~60MeV p-Li 中性子による $^{197}\text{Au}(n,xn)$ 反応断面積測定の途中報告を行ったが、最終的な断面積データはでてこなかった。共通のエネルギー点 (40MeV 付近) でも実験を行い、結果の相互比較を行った方が良いとの提案があった。また、Pronyaev 氏が $^{209}\text{Bi}(n,xn)$ 反応断面積評価について現状を紹介した。

(4) 核データ評価、崩壊データ評価

Chechev 氏から IRDFF の崩壊データの改訂、Zolotarev 氏から新規追加あるいは改訂された断面積データの現状について報告があった。

(5) 中性子スペクトル調整コード紹介

本 CRP に関連して、Greenwood 氏から中性子スペクトル調整コード STAYSL PNNL コード、Destouches 氏から CEA で開発中の data shaping コード ENCORCES 及び中性子スペクトル調整コード CALMAR コードの特徴、有用な機能の説明があった。STAYSL PNNL コードは既に公開されており、ENCORCES、CALMAR コードも今年中に NEA から公開予定。

(6) 実験データを用いた中性子スペクトル調整コードの性能比較

本 CRP に関連して、測定した反応率データから中性子スペクトルを導出するために各研究機関で使われている種々の中性子スペクトル調整コードの性能比較を新たに行うこ

とが IAEA から提案され了承された。この性能比較の練習問題として実験データ提供の要請があり、筆者の一人の今野が本 CRP で原子力機構 FNS で実施したグラフィット実験のデータを練習問題の一つとして IAEA に提供することになった。IAEA は練習問題として使う実験データを 5 月 20 日までに収集し、2015 年 9 月頃に IAEA が参加を呼びかけ、2017 年 4 月を目処に練習結果をまとめるようである。

3. おわりに

今回の CRP の研究調整会議は全 3 回開催される研究調整会議の真ん中の会議であったためか、実験をどう進めているかの報告がメインで、実験結果はあまりでてこなかったのが少し残念であった。最終会合は 2 年後の 2017 年 3 月を予定していることが IAEA からアナウンスされた。最終会合では多くの実験結果が報告されることを期待する。筆者等も、今後、最終会合に向けてそれぞれの実験をまとめ、IRDF の検証に貢献していく所存である。

参考 1 : 会議アジェンダ



Second Research Coordination Meeting of the IAEA CRP F41031

“Testing and Improving the International Dosimetry Library for Fission and Fusion (IRDF)”

16 - 20 March 2015
IAEA Headquarters, Vienna, Austria
Meeting Room C 0739

AGENDA

(presentation's time is approximate and includes questions and breaks)

Monday, 16 March 2015

09:00 - 09:30 **Arriving**

09:30 - 10:30 **Opening session**

Welcome address - Robin Forrest, Section Head (NDS)
Administrative announcements - Alexander Öchs (NDS)
Election of Chairperson and Rapporteur - All
Approval of Agenda - All

Current organizational and technical issues of CRP - S. Simakov (NDS)

Session 1: Individual Presentations on Progress and Future Research Work

10:30 - 11:30 P. Griffin, "Advanced UQ Approaches to the Validation of Dosimetry Cross Sections in Reactor Benchmark Fields"

11:30 - 12:30 C. Destouches, "Progress of the CEA contribution to IRDF validation: experimental data and codes"

13:00 - 14:00 *Lunch break*

14:00 - 15:00 P. Mastinu, "Measurement of 30keV Maxwell-Boltzmann neutron spectra: Status after the 1st CRP meeting"

15:00 - 16:00 I. Kodeli, "Validation of IRDF-v1.04 (&v1.05) Dosimetry Library using SINBAD Shielding Benchmark Experiments"

16:00 - 17:00 M. Angelone, "Benchmarking of IRDF against 14 MeV neutron Experiments"

17:00 - 18:00 C. Konno, "Preliminary results of IRDF benchmark test at JAEA/FNS"

Coffee breaks as needed

Tuesday, 17 March 2015

Session 1: Individual Presentations on Progress and Future Research Work

- 09:00 - 10:00 K. Zolotarev, "Evaluation of the excitation functions of the $^{238}\text{U}(n,\gamma)$ and $^{238}\text{U}(n,2n)$ reactions"
- 10:00 - 11:00 M. Majerle, "Experimental validation of IRDFF cross-sections in quasi-monoenergetic neutron fluxes in 20 - 35 MeV energy range"
- 11:00 - 12:00 R. Nchodu, "Progress report on measurements of neutron cross sections with quasi-monoenergetic neutrons of 90 and 140 MeV"
- 12:00 - 13:00 H. Yashima, "Activation cross section measurements for Bi and Co by 140 MeV p-Li quasi-monoenergetic neutrons"
- 13:00 - 14:00 *Lunch break*
- 14:00 - 15:00 V. Pronyaev, "On the task of evaluation of $^{209}\text{Bi}(n,xn)$, $x = 2, \dots, 10$ cross sections for the high-energy neutron dosimetry"
- 16:00 - 17:00 V. Chechev, "Action for improving IRDFF Decay Library: Updating decay data evaluations for the radionuclides produced by reactions included in IRDFF"
- 17:00 - 18:00 L. Greenwood, "Revision of the STAYSL PNNL Spectral Adjustment Code to use IRDFF and Extend the Energy Range to 60 MeV"
- Coffee breaks as needed*

Wednesday, 18 March 2015

- 09:00 - 10:00 A. Plompen, "**IRMM projects related to IRDFF**"
- 10:00 - 11:00 M. White, "Updates on the LANL Efforts in Support of Testing and Improving the IRDFF Library"
- 11:00 - 12:00 A. Trkov, "Ambiguity in $^{55}\text{Mn}(n,g)$ in the fast energy range", "Comparison of new $^{238}\text{U}(n,g)$ evaluations above resonance energy range", "On the use of spectrum-averaged cross sections and spectral indices in fast reactors"
- 12:00 - 13:00 R. Capote, "Prompt neutron spectra of thermal neutron induced fission of U-235 "
- 13:00 - 14:00 *Lunch break*
- 14:00 - 14:30 C. Destouches, "CALMAR – ECORCES unfolding code (under publishing process)"
- 14:00 - 17:00 **New Exercise on Spectrum Unfolding (and Radiation Damage ?) Codes ?:**
specific issues, codes and potential users.
(see previous "REAL-84": [INDC\(NDS\)-212](#), [INDC\(NDS\)-198](#), [INDC\(NDS\)-190](#))
- Coffee breaks as needed*
- 19:00 - *Hospitality event: Visit Gösser Bierklinik <http://www.goesser-bierklinik.at/>*

Thursday, 19 March 2015

Session 2: Joint Discussion of Progress and Future Research Work

- 09:00 - 12:30 **all**
- 12:30 - 14:00 *Lunch break*

Session 3: Drafting of the Summary Report of the Meeting

- 14:00 - 18:00 **all**

Coffee breaks as needed

Friday, 20 March 2015

Session 3: Finalisation of the Summary Report of the Meeting

09:00 - 13:00 **all**

13:00 *Closing of the Meeting*

13:00 - 14:00 *Lunch break*

14:00 - *Individual contacts between CRP Participants (who has needs and time) and
NDS Experts (floor A-23, NDS offices)*

Coffee breaks as needed

参考 2 : 参加者リスト

<p>CZECH REPUBLIC Mr. Mitija MAJERLE Nuclear Research Institute Řež Husinec- Řež 130 Řež 25068 E-mail: majerle@ujf.cas.cz</p>	<p>Mr Hiroshi YASHIMA Kyoto University Research Reactor Institute Kumatori-cho, Sennan-gun Osaka 590-0494 E-mail: yashima@rri.kyoto-u.ac.jp</p>
<p>FRANCE Mr Cristophe DESTOUCHES CEA – Centre d’etudes nucleaires de Cadarache DER, B.P. 1 13108 St. Paul Lez Durance E-mail: christophe.destouches@cea.fr</p>	<p>RUSSIAN FEDERATION Mr Valery CHECHEV Khlopin Radium Institute 2 Murinsky prospekt 28 194021 St. Petersburg E-mail: chechev@khlopin.ru</p>
<p>ITALY Mr Maurizio ANGELONE Division of Fusion Centro Ricerche Energia-Frascati, ENEA C.P. 65, via Enrico Fermi 27 00044 Frascati E-mail: Maurizio.angelone@enea.it</p>	<p>SLOVENIA Mr Ivo Kodeli Jožef Stefan Institute Jamova cesta39 1000 Ljubljana E-mail: ivan.kodeli@ijs.si</p>
<p>ITALY-cont’d Mr Pierfrancesco MASTINU Italian Physical Society INFN, Laboratorio Nazionale di Legnaro Viale dell’ Universita 2-35020 Legnaro E-mail: pierfrancesco.mastinu@lnl.infn.it</p>	<p>SOUTH AFRICA Mr Rudolph NCHODU iThemba Laboratory for Accelerator-based Sc. Old Faure Road, Faure 7131, P.O. Box 722 7129 Somerset West E-mail: nchodu@tlabs.ac.za</p>
<p>JAPAN Mr Chikara KONNO Japan Atomic energy Agency Tokai-mura, Naka-gun Ibaraki-ken 319-1195 E-mail: konno.chikara@jaea.go.jp</p>	<p>Mr Peane MALEKA iThemba Laboratory for Accelerator-based Sc. Old Faure Road, Faure 7131, P.O. Box 722 7129 Somerset West E-mail: pmaleka@tlabs.ac.za</p>
<p>UNITED STATES OF AMERICA Mr Lawrence GREENWOOD Pacific Northwest National Laboratory 902 Battelle Boulevard, P.O. Box 999 Richland, WA 99352 E-mail: larry.greenwood@pnl.gov</p>	<p>IAEA Mr Stanislav SIMAKOV (CRP Officer) Head of the Nuclear Data Services Unit Nuclear Data Section Division of Physical and Chemical Sciences Tel.: +1 2600 21717 E-mail: s.simakov@iaea.org</p>

<p>Mr Morgan White Los Alamos National Laboratory T-16, Nuclear Physics Group P.O. Box 1663, MS B243 Los Alamos, NM 87545 E-mail: morgan@lanl.gov</p>	<p>Mr Roberto CAPOTE NOY (CRP alternative Officer) Head of the Nuclear Data Development Unit Nuclear Data Section Division of Physical and Chemical Sciences Tel.: +1 2600 21713 E-mail: r.capotenoy@iaea.org</p>
<p>Mr Patrick GRIFFIN Sandia National Laboratories P.O. Box 5820 87185 Albuquerque, NM UNITED STATES OF AMERICA E-mail: pjgriff@sandia.gov</p>	<p>Mr Robin FORREST Head of the Nuclear Data Section Division of Physical and Chemical Sciences Tel.: +1 2600 21709 E-mail: r.forrest@iaea.org</p>
<p>CONSULTANTS Mr Konstantin ZOLOTAREV Institute for Physics and Power Engineering Bondarenko Sq. 1 249033 Obninsk RUSSIAN FEDERATION E-mail: zki1946@mail.ru</p>	<p>Mr Naohiko OTSUKA Nuclear Data Services Unit Nuclear Data Section Division of Physical and Chemical Sciences Tel.: +1 2600 21715 E-mail: n.otsuka@iaea.org</p>
<p>Mr Vladimir PRONYAEV Institute for Physics and Power Engineering Bondarenko Sq. 1 249033 Obninsk RUSSIAN FEDERATION E-mail: pronyaev@ippe.ru</p>	<p>Ms Valentina SEMKOVA Nuclear Data Services Unit Nuclear Data Section Division of Physical and Chemical Sciences Tel.: +1 2600 21727 E-mail: v.semkova@iaea.org</p>
<p>INTERNATIONAL ORGANISATION Mr. Arjan PLOMPEN EC-JRC-IRMM Retiesweg 111 2440 Geel Belgium E-mail: arjan.plompen@ec.europa.eu</p>	<p>Mr Andrej TRKOV Nuclear Data Development Unit Nuclear Data Section Division of Physical and Chemical Sciences Tel.: +1 2600 21712 E-mail: a.trkov@iaea.org</p>