会議のトピックス(IV)

第 25 回　OECD/NEA 原子力科学委員会 核データ評価国際協力ワーキングパーティ（WPEC） 会合報告

2013 年 5 月 23～24 日、NEA 本部、Paris、France

日本原子力研究開発機構
原子力基礎工学研究部門
核工学・炉工学ユニット　深堀　智生
fukahori.tokio@jaea.go.jp
原子力基礎工学研究部門
応用核物理研究 Gr　原田　秀郎
harada.hideo@jaea.go.jp
原子力基礎工学研究部門　石川　眞
ishikawa.makoto@jaea.go.jp

1.　はじめに

OECD/NEA 原子力科学委員会（NSC）の核データ評価国際協力ワーキングパーティ（WPEC）[1-6]の第 25 回会合[1]が、本年5月にフランスのNEA本部で2日間開催されました。このWPEC会合には、評価済み核データ開発のプロジェクトを持つ米国（ENDF）、欧州（JEFF）、日本（JENDL）、ロシア（BROND）、中国（CENDL）の 5 区域と、IAEA が参加しています。さらに今回は、最近急激にユーザーを増やしているオランダNRG の TENDL プロジェクトが特別に招待されその活動を報告しました。い

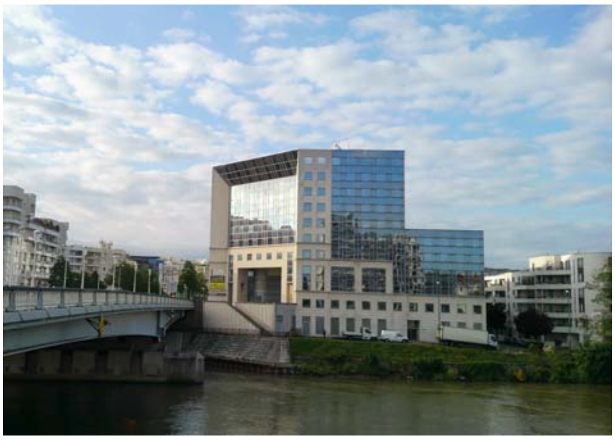

写真 1　OECD/NEA 本部の外観（手前を左から右に流れているのがセーヌ川です）

[1] 本 WPEC 会合は一年に 1 回開かれ、各国の核データ実験研究及び核データ評価の現状を報告し合って確認及び議論するとともに、WPEC の下に設置されているいくつものサブワーキンググループ（SG）の進捗を評価して、今後の活動方針を決定するものです。

つもオブザーバとして参加している韓国 KAERI は今回なぜか欠席でした。また、各 SG の活動経過を報告するために参加したコーディネータを含む総出席者数は、米国 12 名、欧州 7 名、日本 3 名、ロシア 4 名、中国 4 名、IAEA 1 名、NEA 事務局 1 名の計 32 名でした。議長は 3 大ライブラリ代表から選出することになっており、今回は昨年に引き続いて欧州 JEFF の Jacqmin 氏が務めました。なお、以下で報告する内容の発表 OHP は全て、以下の URL で見ることができますのでぜひご覧下さい。

http://www.oecd-nea.org/science/wpec/meeting2013/

2. 核データ測定活動の現状

以下に、本会合において WPEC 参加機関から報告された核データ測定に関する活動の現状をまとめます。

1) NEA データバンク（欧州、韓国）（報告者：A. Plompen (EC-JRC)）

始めに複数同時並行で進んでいる核データ測定プロジェクトの概要が紹介されました。欧州の複数の研究グループが、かなりの予算で、1 つのプログラムを協力して進めています。各参加機関が予算を持ち寄ることにより、EC からの予算の約 2 倍程度の規模になっているようです。以下に概要を纏めました。

プログラム題名	代表者	予算額 (M€)	参加 Gr 数	実施年度
Accurate nuclear data for nuclear energy sustainability: ANDES	**Enrique Gonzalez**	**3 M€ EC ≈6M€ total**	**20**	**2010-2013**
European research infrastructures for nuclear data applications: ERINDA	**Arnd Junghans**	**1 M€ EC**	**16**	**2010-2013**
European facility for innovative reactor and transmutation neutron data: EUFRAT	**Wim Mondelaers**	**0.5 M€ EC**	**1**	**2008-2012**
Challenges in nuclear data for the safety of European nuclear facilities: CHANDA	**Enrique Gonzalez**	**5.4 M€ EC ≈10M€ total**	**36**	**2013-2017**

CERN の n_TOF プロジェクトでは、従来よりも短い 20 m 程度の飛行距離での TOF 測定室整備計画がありますが、この新しい試験室の利用は 2014 年中旬頃とのことです。

IRMM の電子加速器施設 GELINA（**図 1**）を用いた測定では、昨年核データ研究会にて共鳴解析の講義を行ってくれた P. Schillebeeckx 博士による ^{241}Am(n,γ)断面積測定の結果が

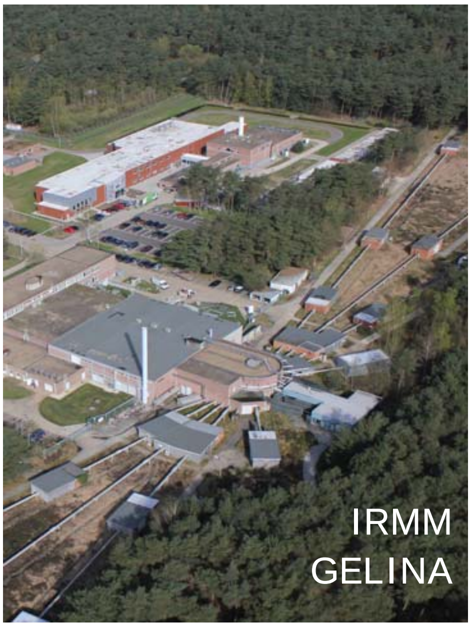

図 1　JRC/IRMM の電子線加速器中性子源を用いた中性子 TOF ビームライン。歴史のある（古い）研究施設であるが、実験室の多くは更新が進み、活発な研究が行われている。

報告されました。彼らのデータをフィットして得られる熱中性子捕獲断面積は、749 ± 35 b とのことです。CERN の n_TOF プロジェクトでは、2 種類の検出器を用いた測定が行われましたが、C_6D_6 検出器を用いた結果は、752 ± 76 b とのことであり、BaF_2 検出器を用いた測定から熱中性子捕獲断面積は示されませんでした。我が国の J-PARC/MLF/ANNRI での測定も含め 4 件の発表が、去る ND2013 でも行われたところですが、同時期に 4 つもの異なるチームが測定を行うというケースは希なことです。この断面積に関しては現役の研究者間でホットな話題であり、詳細検討が可能な特殊な例であるといえます。

n_TOF プロジェクトにおいて核分裂断面積の研究が盛んに行われていること、及び、宇宙核物理を目的とし、放射性核種である ^{63}Ni, ^{93}Zr の中性子捕獲断面積測定及び ^{59}Ni(n,α)断面積測定が行われたことは注目されるべき点です。

核分裂収率の測定について、ILL 及び GANIL において、それぞれ大型の質量分析装置を用いた測定結果が示されていました。この他にも、JYU での崩壊熱測定、PSI の過去の積分実験データ PROTEUS を用いた核データ検証研究、CADARACHE での積分実験準備、核データ測定用放射性サンプルの製造研究、Svedberg ラボでの高エネルギー核データ測定研究など、多様な核データ測定研究活動が報告されました。

2)　日本（報告者：H. Harada (JAEA)）

我が国の核データ測定活動について、我が国の核データ測定研究者の交流を加速するために、JENDL 委員会に核データ測定ネットワーク（JNDM-net）が設置されたことをはじめに紹介し、個々の研究については、J-PARC/MLF/ANNRI での中性子捕獲断面積測定、JAEA 東海のタンデムを用いたサロゲート手法による研究、NIRS での高エネルギー重イオン DDX 測定、東工大及び京大ライナックでの中性子捕獲断面積測定、RCNP での高エネルギー中性子核データ測定、FNS での 14 MeV 中性子ベンチマーク実験、NewSUBARU に完成した新しい逆コンプトン光実験コース、KUTL での TTY 測定について、報告しました。詳細は、ND2013 の報告と重複すると思われますので、割愛させていただきます。

3)　米国（報告者：Y. Danon (RPI)）

RPI の Danon 教授が昨年同様に説明してくれたのですが､今年もやはり 25 分程度で 100 ページ以上の資料を説明しました。当然資料の詳細は説明できないのですが、各研究機関・研究者が研究活動状況を OECD/NEA 公開のホームページに示すことに意味があるのかもしれません。

昨年に引き続き、LANL では精力的に測定活動が進捗していることが、測定した核種のリストから伺えます。^{235}U, ^{239}Pu の中性子捕獲断面積の高精度化に向けた研究が行われていることは注目されます。U の結果は、すでに Phys. Rev. Lett.に受理されているとのことです。核分裂に関しては、^{237}Np, $^{239\text{-}242}$Pu, ^{233,238}U が終了し、^{236,234}U, ^{243}Am が進捗中とのことです。核分裂の研究を目的とした新しい Time Projection Chamber（TPC）及び SPIDER の開発状況が報告されました。SPIDER（蜘蛛）とは、Spectrometer for Ion Determination in fission Research の略称です。

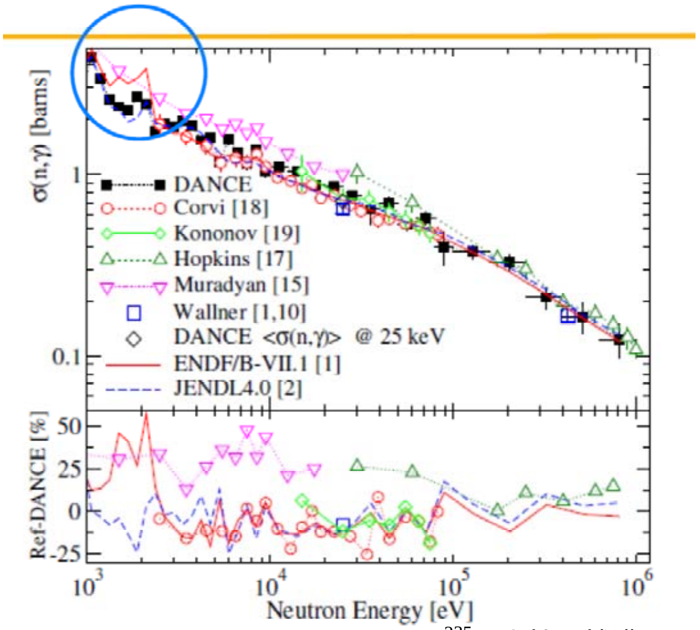

図 2　LANL/LANCE/DANCE での ^{235}U 中性子捕獲断面積測定結果

LLNL では、サロゲート手法を用いた研究成果が多く報告されていますが、この他にも ^{238}Pu の中性子捕獲断面積を世界で初めて実験室環境で測定したこともプレリミナリーな結果として報告しています。ENDF/B-VII.1 よりも 50 %程大きな結果とのことです。

ORNL の研究者は EC-JRC-IRMM の TOF 測定施設を用い、LLNL の研究者は、ブダペストの原子炉施設を用いて、核データ測定を行った結果も報告されており、米国に於いても核データ測定に国際化が必要になっていることを感じさせます。

RPI は、Rensselaer Polytechnic Institute の略ですが、これは大学です。米国の大学からの報告は RPI からだけであり､他は研究機関（LANL, LLNL, ORNL, LBNL, NIST）からです。RPI の電子線加速器施設では、散乱断面積、全断面積、捕獲断面積と多様な測定が行われています。Mo, Dy, Gd の共鳴パラメータに関心のある方は、web サイトを覗いてみてください。

NIST では、中性子標準断面積に関する研究が行われおり、最近の進捗がレビューされています。

4)　ロシア（報告者：A. Ignatyuk (IPPE)）

ロシアでは、(n,α)断面積の測定が MeV 領域の中性子に対し系統的に行われています。^{10}B サンプルに対する測定結果は、ENDF/B-VII.1 よりもかなり小さな結果を示したようです。この他、^{243}Cm の核分裂断面積測定が LSDS を用いて行われた結果が評価値と比較されていました。

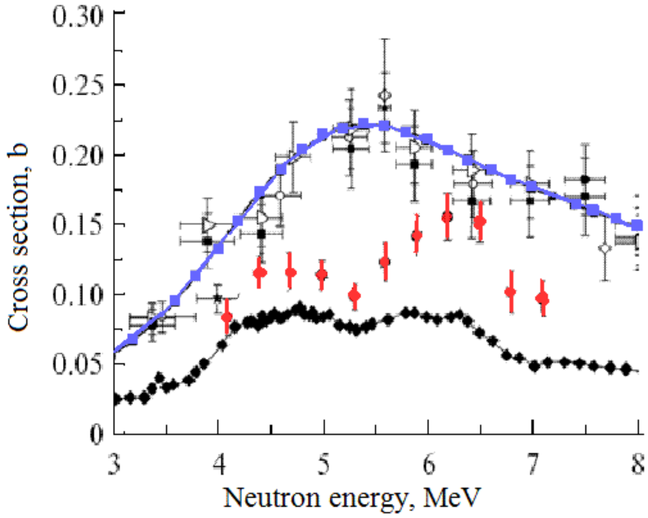

図 3　^{10}B(n,α)断面積の測定結果。赤い点が新しい実験データ、青い線が、ENDF/B-VII.1。

5)　中国（報告者：Zhigang GE (CIAE)）

今回の報告では、中国の核データ測定状況がわかりやすく取りまとめられていました。核データ測定に用いられている加速器は、タンデムとコッククロフト型の静電加速器であり、14 MeV あるいは 4~6.5 MeV 領域の中性子に対する核データ測定が行われています。

今後の計画として、2017 年稼働予定の中国核破砕中性子源 CSNS に 2 つのビームライ

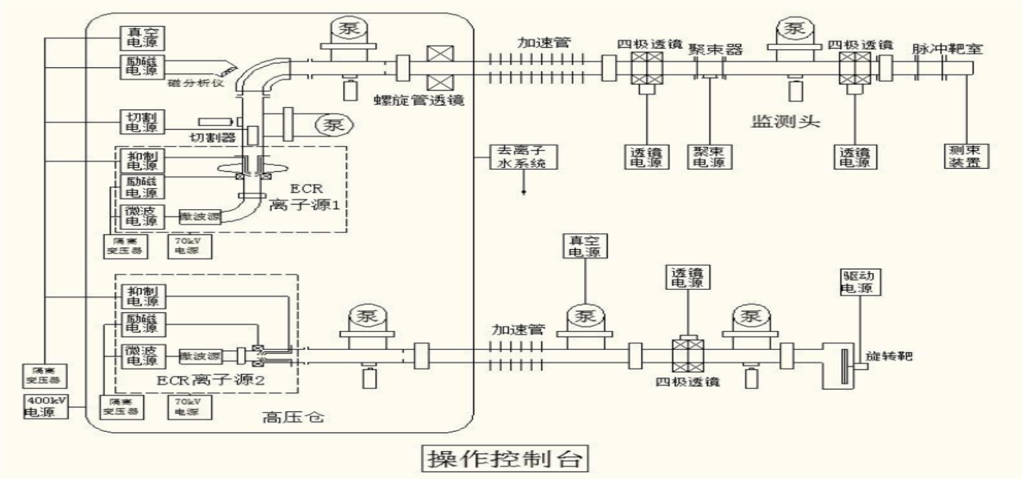

図 4　The Hefei Intensified NEutron Generator(HINEG)のブロック図

ンを核データ用に申請していることが紹介されました。また、Hefei に dT 中性子源 HINEG が建設中であり、2014 年末に完成予定で、核融合及び ADS に関連した核データ測定研究に利用される予定とのことです。The Hefei Intensified NEutron Generator(HINEG)のブロック図を**図 4** に示します。

3.　核データ評価活動の現状

例によって、各評価済核データファイルのプロジェクトからの進捗状況報告が行われました。以下、概要を記載します。

1)　ENDF（報告者：M. Herman (BNL)）

2011 年に公開された ENDF/B-VII.1 後の活動として、いくつかの事項が報告されました。次期改訂への足腰を鍛えるという意味で、評価用コードをはじめとした即発中性子スペクトルや非弾性散乱反応などに関する評価手法、V&V 手法、評価済核データの新しいフォーマット候補としての XML 形式（下記の SG38 の報告を参照してください）及び国際協力による核データファイル作成の試み CIELO（これも下記の新 SG の項目を参照してください）への対応等が報告されました。

ENDF/B-VII.1 の信頼性検証として、2000 ケース程度の ICSBEP に対する臨界ベンチマーク計算、FNS や OKTAVIAN の積分実験に対する遮蔽ベンチマーク計算を行っています。これらに関しては Nuclear Data Sheets **113** (2012)の 12 月号（近年、断面積データを中心としたトピックスの特別号になっている）に発表されました。崩壊データサブライブラリについても言及されていました。また、次世代 V&V に関する ADVANCE システム（迅速（immediate）、自動（automated）、digested feedback（うまい訳が思いつきません。「『こなれた』報告」とでもいうか、ユーザフレンドリーなものかと思います）を旨としています）の開発について報告されました。

核反応モデルコードの開発として、LANL 河野氏作成の、モンテカルロ解析にもつなぐことのできる CoH3 コードが 2012 年 10 月に公開されたこと、EMPIRE3 の改訂（Herman 氏の言によると「1000 もの寄与によるアレクサンドリアへの道（on the way to Alexandia）」ということらしいです）、核分裂をイベントごとに考慮して即発中性子スペクトルを計算する FREYA について報告されました。

積分実験の核データ評価への活用及び ENDF/B-VII 以降の核データ評価に関連する現状の試み（111 の中性子入射及び 1 つの重陽子入射データの評価、5 崩壊データの評価）について報告されました。最も優先度の高い核種は、Pu-239、U-235,238、Fe-56、O-16、標準断面積（まさに CIELO！）及び共分散データだそうです。

2) JEFF（報告者：R. Jacqmin (CEA)）

JEFF に関しては、2013 年中に公開を予定している JEFF-3.2 を中心に報告されました。JEFF-3.1.1 でのベンチマーク結果を反映して、JEFF-3.2 では MOX 燃料システムの性能向上、高速炉や核変換分野へのニーズ対応等が目的になっています。このため、Pu-239, 240、U-238 等の高速領域のデータ改訂、構造材、金属冷却材及び吸収材のデータ改善、γ線データの拡張等が盛り込まれています。この結果、大幅に増加した共分散データを含んだ 472 核種（TENDL からの寄与が 100 核種以上ありますが）の評価がテスト用の JEFF-3.2T2 には格納されています。核分裂収率や放射化断面積の評価も順次行われているようです。

JEFF-3.2 以降については、質的向上を目指して、2016 年頃 JEFF-3.3、2019 年頃 JEFF-4.0 と進んでいくようなことが報告されていました。JEFF コミュニティー他からのニーズのインプットとして、核分裂に関しては軽水炉（EPR、JHR）、高速システム（MYRRHA、ASTRID 計画）及び「信頼性のある」共分散データが挙げられていました。また、industry を含むユーザや EC からのサポート（GEDEPEON→NEEDS）が得られそうで、新しい核データ測定も次々と計画されているようでした。ただし、人的資源の問題はいずこも同じで、また、寄与が期待できる組織によって異なる興味や優先度、ビジネスモデルの齟齬といったことにも配慮の必要があるとこぼしていました。

3) JENDL（報告者：T. Fukahori (JAEA)）

JENDL に関しては、毎度同じような話で恐縮ですが FP 核種を中心とした新しい評価、放射化断面積ファイル及び光核反応データファイルの整備、JENDL-4.0 によるベンチマーク解析結果、JENDL-4.0 以降の品質保証のための改訂、共分散の利用に関するユーザとの議論、2012 年に公開された FP 崩壊データファイル（JENDL/FPD-2011）等について主に報告しました。ベンチマークに関しては、MISTRAL の 2 つの炉心（UO_2 と MOX 燃料）について、JNES の解析結果を基に報告しました。JENDL-3.3 と比較して JENDL-4.0 で解析した場合、MOX 炉心では－0.06 %Δk の変化に対し、UO_2 炉心では+ 0.28 %Δk も変化したこと、この原因は UO_2 炉心では U-238 の捕獲断面積のプラスの寄与が大きいのに対し、MOX 炉心では Am-241 の捕獲断面積及び Pu-239 の平均核分裂中性子数の負の寄与が他のものとキャンセルアウトしているためであることを報告しました。また、JAEA が作成・公開した最新の高速炉用炉定数調整ファイル ADJ2010 についての報告を行いました。最後に、日本のシグマ委員会が 50 周年を迎え、今年 3 月に懇親会が開かれたことを記念集合写真とともに紹介しました。

4) BROND（報告者：A. Ignatyuk (IPPE)）

BROND-3 と ROSFOND-2010 について報告されました。基本的に例年の報告と同様で、あまり進展は見られないのですが、BROND-3 には 120 核種の評価結果が格納されており、

このうち30核種は最も緊急に必要なもの、また8核種のMA核種を含んでいるそうです。500 反応以上の放射化断面積ファイルも作成しており、このうち 30 反応程更新されたようです。

2013 年からロシアが正式に NEA 加盟国になりましたので、従来の IAEA 枠での 1 人の参加から 4 人のフル参加になりました。ただし、なんとなくの感じでしかないのですが、自分の存在感を主張するだけの発言が多いように感じました。とはいえ、少なくとも他の人の発表時間を奪うわけですから、「数は力」だと思い知らされました。

5) CENDL（報告者：Zhigang GE (CIAE)）

こちらはまだ IAEA 枠のはずですが、4 名も参加していました。次期 CENDL は CENDL-3.2 だそうで、Th-U 燃料サイクル及び ADS に関連する高エネルギーファイルに重点を置きたいと考えているようです。評価手法の開発にも熱心なようで、共分散評価や R 行列理論のコード、各国のファイルを用いたベンチマーク計算を通した信頼性検証を行っているように見えました。CENDL-3.2 のサブライブラリとして、放射化断面積、崩壊データ、核分裂収率、熱中性子散乱則について整備を検討しているそうです。

6) IAEA Activities（報告者：R.A. Forrest (IAEA)）

主に EXFOR のための実験データ収集に関する核反応データセンターネットワーク（NRDC）、ENSDF に関連する核構造及び崩壊データネットワーク（NSDD）の活動について報告がありました。また、活動中の 3 つの CRP（即発中性子スペクトル、荷電粒子モニタ反応及び医療用 RI 製造、粒子入射ガンマ線放出 PIGE のための核データ）と予定されている 3 つの CRP（国際ドシメトリファイル IRDFF の検証、遅発中性子、一次放射線損傷断面積）について紹介されました。

7) TENDL（報告者：A. Koning (NRG)）

例年と同様の報告でしたが、TENDL の概要、微分検証（As-75、Ge-74）、積分検証（ICSBEP、SIMBAD、崩壊熱）について報告されました。また、JEFF-3.2 への寄与（Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Rb, Sr の同位体をはじめとする 100 核種）についても紹介されました。

4. 活動を終了した、または終了直前のサブグループ報告

1) SG31：革新炉のための核データニーズに応える（コーディネータ：H. Harada）

本 SG は、先立つ SG26「革新炉のための核データニーズ」を受けて、要求精度を満足するためにどのような方向性が考えられるかについて、核データ測定を中心に検討が行われました。WG の主メンバーには、核データ測定の専門家の他、核データ評価の専門家も加わりました。

はじめに、核データの誤差評価の現状を整理するため、重要核種の中から選定した核データについて、各主要ライブラリーを網羅する形で誤差評価の結果を比較しました。この結果、現在の誤差評価には大きな差違が存在するものが多くあることが示されました。核データ誤差の評価方法について、測定データが少ない場合や測定に関する詳細な情報が得られない場合、評価者判断に依存するところがあり、これが差違を生じさせる一因となっています。本 WG の報告書（現在発行準備中です）の付録として、どの程度の測定データが揃っているかを核反応・核種毎に一覧できるグラフを CEA の Frank Gunsing 博士の好意により付加することができたのですが、多くの核データで十分測定データが揃っている例はむしろまれであることがわかります。以下に示す例（同位体存在比 68%の安定核種である ^{58}Ni の中性子捕獲断面積の場合）では、0.1 eV～1 keV 領域の測定データが少ないことや、各研究者の報告した測定誤差を俯瞰することができます。

核データ測定の現状についても専門家によるレビューが行われました。報告書に貢献した専門家の偏りもあり、中性子捕獲断面積に関する記述が中心となりましたが、核破

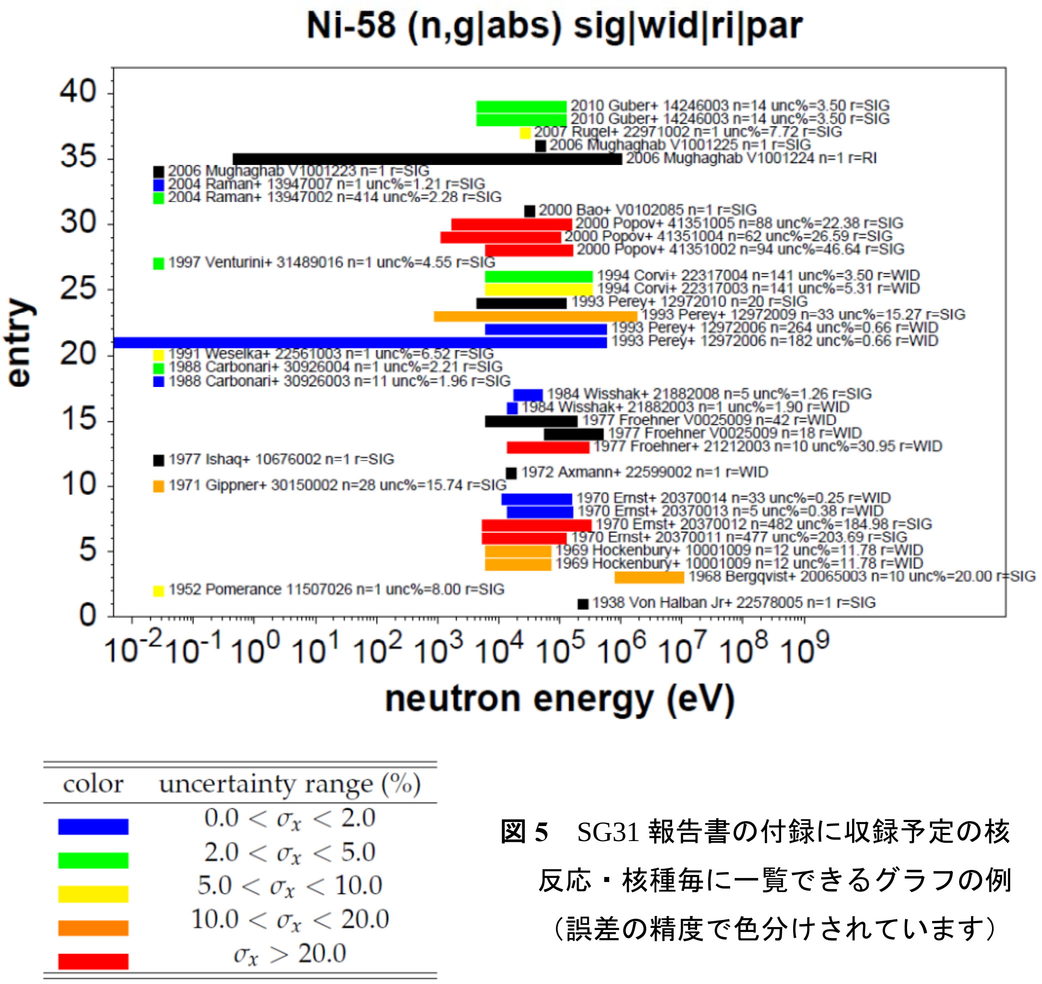

図 5　SG31 報告書の付録に収録予定の核反応・核種毎に一覧できるグラフの例（誤差の精度で色分けされています）

砕中性子源の利用により統計誤差をきわめて小さくすることが現実的となるなどの最新の実験手法の進捗を纏めたこと、さらに誤差要因として何がもっとも重要な因子であるかを具体的に例示できたことは今後につながる成果と考えられます。

結論の中で、見落とされてきた系統誤差要因を見いだすことの重要性、そのためのダブルチェック実験の必要性（微分実験と積分実験の相互比較等）、独立したデータを取得するための国際協力の必要性、精度向上を真剣に議論できる枠組みの構築（例えば、4 年ごとのレビュー）の重要性についても示されました。

2)　SG33：炉物理積分実験データと核データ共分散の統合活用の方法と課題
（同：M. Salvatores (CEA) & G. Palmiotti (INL)）

本 SG は、先立つ SG26「革新炉のための核データニーズ」の重要な提言である「現在の評価済み核データ（微分データ）の精度のみでは、GEN-IV や GNEP の高速炉炉心核設計の目標精度を達成するのは不可能であり、臨界実験解析などの積分データ情報を何らかの形で取り入れて予測精度を向上する必要がある」を受けて、積分データ情報を核設計に取り入れる方法として、現時点で最も有力とされている「炉定数調整法」を研究対象として約 4 年間活動を行ってきました。今回、WPEC 年会に併せて最終会合を開き、以下の結論をもってその活動を終了することになり、Salvatores 氏が WPEC 年会で報告をおこないました（邦訳でニュアンスが変わるといけないので、あえて原文のまま記載させていただきます。ご了承下さい）。

- Subgroup 33 has succeeded in providing a deeper understanding of nuclear data adjustment methods and of their application.
- The findings of the Subgroup have pointed out that the statistical adjustments methodologies in use worldwide are well understood and essentially equivalent.
- The results of the adjustments indicate, for some important data, common trends for modification even if starting from different basic nuclear data and different covariance matrices.
- priori uncertainties are often significantly reduced. Robustness of the adjustments: the observed trends can “survive” rather severe “stress tests”.（図 6 を参照下さい。）
- Careful use of sensitivity tools and choice of experiments is needed.
- Crucial role of the covariance data used, both those associated to the nuclear data and those associated to the integral experiments.
- The a-posteriori correlations are mainly responsible for the uncertainty reduction of parameters of reference design systems.
- Their physics meaning and appropriate utilization will need further studies. Methodologies can provide a powerful tool for nuclear data (and associated uncertainties) improvement.

- Key role of NEA to provide framework and synergies with new initiatives (in future: CIELO).

なお SG33 の最終報告書は、すでに原稿が完成しており、数ヶ月で NEA の公開報告書として発行されます。全文及びベンチマーク結果が以下の URL にありますので、関心のある方はぜひご覧下さい。

http://www.oecd-nea.org/science/wpec/sg33/#publications

TABLE XI. Impact of correlations on the k_{eff} uncertainty of the "Target Systems."

ABR Oxide	Prior covariances	Posterior covariances
Case 1	1550 pcm	170 pcm
Case 2	1550 pcm	510 pcm
Case 3	1720 pcm	680 pcm
Case 4	1200 pcm	820 pcm
JAEA FBR	Prior covariances	Posterior covariances
Case 1	1310 pcm	220 pcm
Case 2	1310 pcm	490 pcm
Case 3	1560 pcm	610 pcm
Case 4	1170 pcm	900 pcm
ABR Metal	Prior covariances	Posterior covariances
Case 1	1740 pcm	250 pcm
Case 2	1740 pcm	560 pcm
Case 3	2020 pcm	730 pcm
Case 4	1290 pcm	850 pcm
ABR Oxide Recycled	Prior covariances	Posterior covariances
Case 1	1250 pcm	260 pcm
Case 2	1250 pcm	490 pcm
Case 3	1400 pcm	590 pcm
Case 4	1080 pcm	820 pcm

図 6　炉定数調整による設計対象炉心の臨界性予測精度の向上

（SG33 の ND2013 論文から抜粋）

3)　SG35：高エネルギー領域の散乱角度分布（同：T. Kawano (LANL)）

本 SG は、①散乱角度分布データ（対象は Na, Fe, U）の評価手法を改善すること、②散乱データが重要な積分実験データを同定し評価すること、③より良い評価結果を提供することにより、実験者が新しい散乱データ測定実験を企画できるようにすることを目的に、LANL の河野俊彦氏がコーディネータとなって 2 年間活動を行ってきましたが、その使命を完遂したため、今回、WPEC 年会に併せて開かれた会合をもって、終了することになりました。主な成果としては、(1) 散乱角度分布が重要な積分ベンチマーク問題を提示したこと、(2) Ni 同位体の共鳴領域における弾性散乱角度分布を共鳴パラメータから求めることで、Ni 反射体付き体系の臨界予測精度が改善されることを示したこと、(3) 共鳴パラメータから散乱非等方性を計算したものとエネルギー平均値である光学模型計算の差が、積分テストにどのように影響するかが検討され、P1 成分の共鳴構造そのものよりも局所的な P1 の変動が重要であることを示したこと、(4) 共鳴パラメータ並びに角度分布の実際の測定値が無い場合でも、全断面積測定値から散乱非等方性を推定する手

法が開発されたこと、(5) IRMM, RPI 等の実験グループと密接に連携し、主要な軽核、構造材、重核からの中性子弾性散乱の測定の活性化を促したこと、などです。

SG35 の NEA 報告書には重要核種の散乱角度分布の新たな評価結果も含まれ、今年中に作成される予定とのことでした。

5.　活動中のサブグループ報告

1)　**SG C**：高優先度要求リスト（コーディネータ：**A. Plompen**）

本 SG は常置グループとして、優先順位の高い核データをそのインパクトともにアーカイブするために活動しています。核データ測定グループのモーティベーションとして活用されていますが、高優先度要求リスト（High Priority Request List、HPRL）に入れるためには、その精度向上がどの程度利用分野にインパクトを与えるかのレポートを要求しているので、現状では登録が極めて困難になっています。そろそろ、模様替えを検討してもいい頃かと考えていますが、皆さんはどう思われるでしょうか？

2)　**SG34**：共鳴領域の Pu-239 の評価（同：**C.de Saint Jean (CEA)**）

WPEC 年会での報告では夏までに最終結果を提示できるとされていましたが・・・。共鳴パラメータが微分及び積分実験を考慮されつつ評価され、平均核分裂中性子数は JEFF（ENDF）と同様で、核分裂中性子スペクトルについては明確な結論はなく、IAEA/CRP の結果待ちのようです。積分テストで各評価間の不一致があったようですが、新しい活動が必要であると結論されていました。報告書を集積している段階のようですが、共鳴解析及び即発中性子スペクトルについては「青」信号、平均核分裂中性子数、共分散及びベンチマークテストについては「黄」、夏までの最終報告書については「赤」のようです。

3)　**SG37**：核分裂収率評価手法の改良（同：**R.W. Mills (NNL)**）

本 SG は、WPEC 年会に先立ち 5 月 22 日の午後に SG 会合が行われました。まず、Mills 氏から 3 タスク（Task 1：現状の文献や評価手法の比較、Task 2：行われようとしている測定及び参加者の研究を通しての現状の FPY 評価値の相違の理解、Task 3：新規評価値の可能性、フォーマット及び共分散データを含んだ利用）について、確認があり、自身の JEFF-3.1.1 を元にした評価について報告がありました。同様に Task 1 に関し、Kawano 氏（LANL）及び Schmidt 氏から、それぞれ KALMAN を使った Pu-239 の独立・集積収率及び GEF コードを利用した研究について報告されました。Kawano 氏の報告ではベイズ推定を用いて、Pu-239 の 0.5, 2, 14MeV における共分散データ付きの評価を行って ENDF/B-VII.1 へ寄与しています。ただ、現状のフォーマットの範囲内では相関係数をきちんと格納できない等の問題点が指摘されました。GEF コードに関しては 2 体核分裂（波

動関数の局所化）に殻効果を加えた計算をしているようでしたが、何が新しいか参加した深堀には理解できませんでした。

Task 2 に関しては、評価に対する要求として、Vallet 氏（CEA）から崩壊熱計算のための FPY の視点から報告がありました。詳細は割愛しますが、報告によると、崩壊熱計算における最大の誤差要因は FPY であるそうです（図 7）。これに関しては、JENDL/FPD&FPY-2011 を編集した片倉氏（長岡技大）に意見を聴く必要があるかと思います。また、Shu 氏（CIAE）から半経験式（といっても 5 Gaussian Model）を用いた n+U-233 システムにおける質量分布計算に関する報告がありました。この他、現在進んでいるまたは計画されている測定について、Penttila 氏（FPY at IGISOL-4）、Simutkin 氏（FPY at Uppsala University）、Schmidt 氏（ILL/Lohengrin、GSI/SOFIA、GANIL/Inverse Kinematics 等）から紹介されました。

Task 3 について、4 件の報告がありました。Pigni 氏（ORNL）からは、崩壊熱計算の品質保証における崩壊及び FPY データの共分散の利用について報告されました。ENDF/B-VII データを用いた SCALE による計算を例に紹介され、上述と異なり、U-235 の熱中性子核分裂の場合、γ線及びβ線の平均エネルギーの誤差が主要因であることが示されました。Chadwick 氏（LANL、Kawano 氏代理発表）は LANL における FPY 測定（1.6～14MeV、U-235, 238, Pu-239）、特に Mo-99 生成を、SPIDER 検出器（逆運動学？）で測定する計画について紹介しました。この他、Brown 氏（BNL）は FPY の GND における

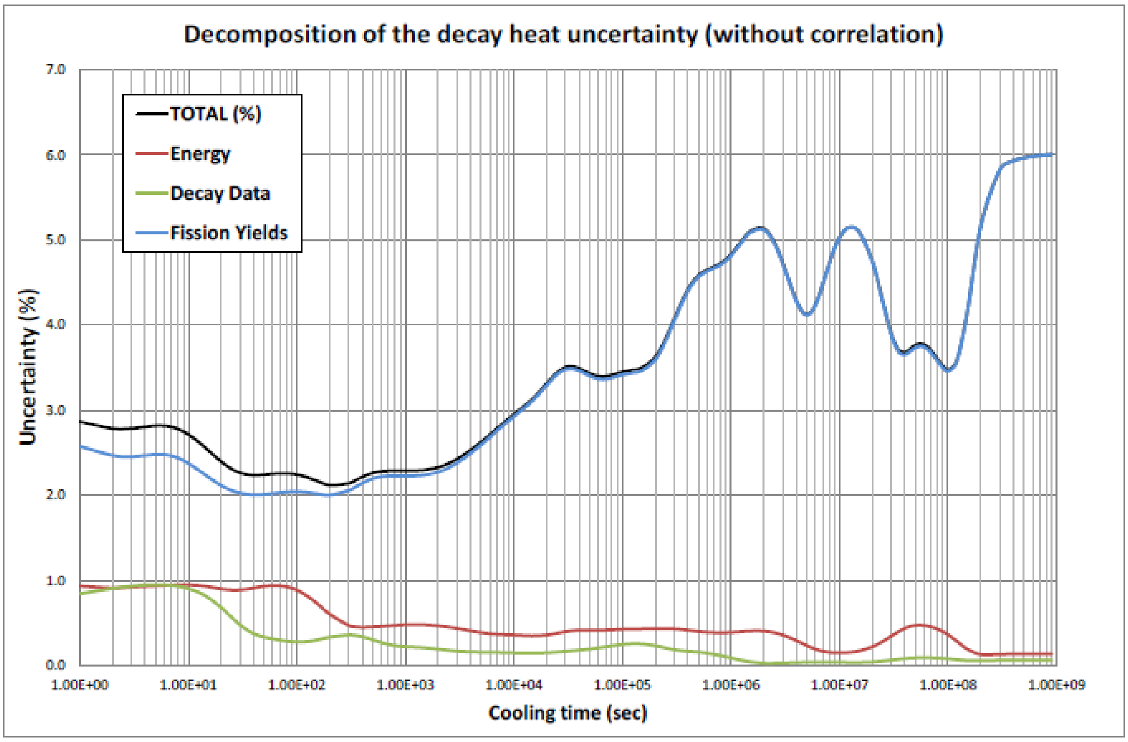

図 7　U-235 熱中性子核分裂からの崩壊熱の不確かさ要因（Vallet 氏（CEA）による）

格納方法について、Schmidt 氏（3 度目の登場）は GEF モデルによる評価について報告しました。

WPEC 年会では上記のまとめ及び今後の活動方針がコーディネータの Mills 氏から報告されました。

4) SG38：新 ENDF フォーマットの構築（同：D. McNabb (LLNL)）

本 SG は、現在の ENDF フォーマットの基礎ができてから 50 年が経過して、現在の核データ研究レベルや計算機環境にそぐわなくなっているとの認識のもとに、近年の計算技術（XML、Python、java など）を活用した新しい核データファイル構造を開発することを目的として、米国 LLNL の主導で昨年発足しました。

最初の SG38 会合は、2012 年 11 月に NEA 本部で開かれましたが、参加者は 30 名以上と非常な盛況であったそうです。この第 1 回会合で認識された新核データファイルへの要求事項は以下のようにまとめられています。

1) 新フォーマットの開発と維持は、国際機関によって統御されるべきである、
2) 核反応、崩壊チェーンなど核物理理論を反映した階層構造を有する、
3) データの入出力には、計算科学でいう API（Application Programming Interface）を定義する、
4) 評価データと処理データなど、物理量としては同じものに対して多様な表現を許す、
5) 全反応チャネルと部分反応チャネルなど、inclusive なものと exclusive なものの両方に対して整合性を持って取り扱う、
6) 評価者や処理者が、格納されたデータを再現しさらに改良できるようにするための詳細情報（Bibliography、EXFOR データベースへのリンク、評価プログラムの入力データ、コメントなど）を提供する、
7) Q 値と質量データなど、重複したデータは可能な限り排除する、
8) 核反応生成物のいかなる粒子・組み合わせも扱える、
9) ユーザーに、データの精度（precision）情報、物理単位、データ内挿を提供する、
10) 近未来（約 10 年間）は、新フォーマットから現 ENDF-6 フォーマットへの変換（backwards-compatibility）を保つ、しかしその後は新機能が付加されていくので ENDF フォーマットには戻れない、
11) 他の核関連データベース（核構造データ ENSDF、核測定データ EXFOR、核モデルパラメータ RIPL など）とデータを共有できる低レベルラッパー（low-level data containers）を装備する、
12) データの操作、検索、作図、処理、変換、品質保証のために、オープンソースを活用する。

上記の要件はかなり LLNL の主張が色濃く取り込まれているようで、報告者には難解なものもありますし、また WPEC 年会に併せて開かれた第 2 回 SG 会合でも長い議論が行われたものもありますので、全てが自明という訳でもないようです。どうやら、この SG38 の本当のねらいは、単にファイルフォーマットを便利にするというだけではなく、核データ研究全体のフレームワークを一新する野心的なことにあるように思えてきました。**図 8** に、コーディネータの McNabb 氏が WPEC 年会で報告した現状と将来のデータ流れの比較を示します。

今回の第 2 回 SG 会合で行われた議論のテーマは、以下に分類されました。1) 低レベルラッパー、2) 核反応データを格納するトップレベル階層、3) 統一して粒子・レベルスキーム・崩壊チェーンを格納できる階層構造、4) データ処理・作図のためのインフラ、5) データを読み書きする API、6) 品質を保証するために必要なテストの定義、7) ドキュメントとガバナンス。

今回の会合では、以下のことが決定されました。雛形は、LLNL がすでに GND（General Nuclear Data）として公開しているのですが、これも基にして、いよいよ新フォーマットを構築する実務作業に入っていくようです。

① 今後 SG メンバーが共同作業を行っていくために、BNL が wiki/repository を扱える web サイトを用意する。

② 新フォーマットのβテストを行う担当者を、各ライブラリプロジェクトから指名する。（ENDF: D. Brown、 JENDL: O. Iwamoto、BROND: V. Sinista）

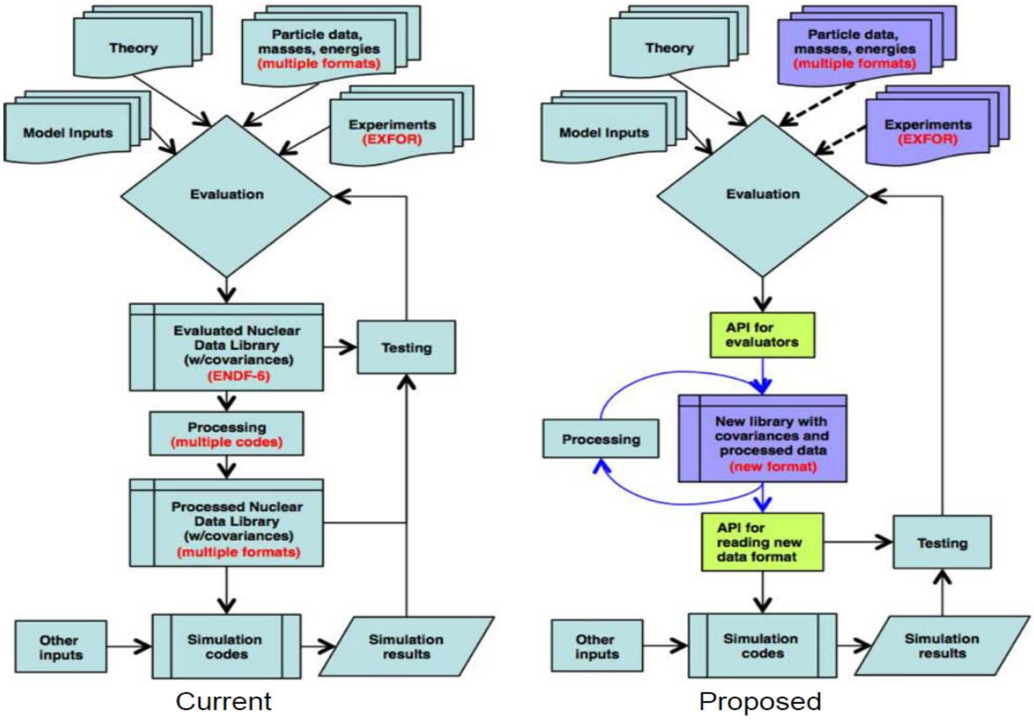

図 8　核データ及び評価の流れの比較（LLNL の McNabb 氏の発表から抜粋）

本 SG38 の活動内容は、以下の URL で閲覧することができます。

http://www.oecd-nea.org/science/wpec/sg38/

6. 新しいサブグループ等の提案と議論

1) 核データファイルの改良のために核データ及び共分散の調整結果を反映する方法

（コーディネータ：G. Palmiotti & M. Salvatores）

今回終了した SG33 では、炉定数調整法が積分核特性の予測精度を向上するために非常に有力な手法であることが確認されたとともに、炉定数調整の結果は、核データ評価の改良にも活用できるのではないかという見込みが得られました。このために、SG33 と同じコーディネータから、SG33 の後継として、以下の活動を行う SG の設置が提案されました。

1) 炉定数調整の結果を核データ評価に反映するために、これまでに得られた知見と課題を整理する、
2) JAEA や INL が開発してきた大規模な炉定数調整データシステムを対象として、炉定数調整結果（共分散を含む）の物理的分析を行い、核データ側へフィードバックする方法論を確立する、
3) NEA で現在進行している国際核データ評価プロジェクト（CIELO）に対して、実際に炉定数調整側からの具体的な提言を行う。

（モニター）R. McKnight (ANL)、M. Ishikawa (JAEA)。

（参加者）各国の炉物理・炉定数調整研究者、核データ評価者、核データ実験者、炉心設計者など。

（スケジュール）2013 年 5～6 月：WPEC と NSC による新 SG の承認。

2013 年夏～秋：新 SG のキックオフ会合（可能であれば CIELO 会合と共同開催）。

2014 年 11 月:炉定数調整結果を核データ側にフィードバックする方法論の中間報告書。

2015 年 11 月：CIELO プロジェクトへの具体的なフィードバック。

2016 年 6 月：最終 NEA 公開報告書の作成。

核設計手法開発の一環として炉定数調整法を開発している JAEA としては、この SG33 後継活動の提案は、炉定数調整法の信頼性をサポートすることになりますので、もちろん最新の JENDL-4.0 に基づく調整結果を提供するなどして、全面的に参加していくことにしています。ただし、調整後の共分散については、微分側の評価に基づく共分散に対して積分データという全く異質の情報を付加しており、その物理的解釈や核データ側への反映は相当に困難であると予想されますので、その点だけは WPEC 年会の席でも注意を促しておきました。最終的に、今回の WPEC 年会でこの提案は承認され、SG39 として新たに発足することになりました。

2)　国際協働評価済ライブラリ開発（CIELO）のパイロットプロジェクト
（コーディネータ：M.B. Chadwick（LANL））

従前（深堀に限ってい言えば 20 年以上前）から統合ファイルについてよく言われていたことがあります（古くて、新しい問題)。「国際的に一つのファイルを作成すれば、効率的だ」です。これに対して、「名前が JENDL なら協力する」と冗談で返していたことを思い出します。もちろん、これは正論で純粋物理量である核データはただ一つに決まるはずですから、そのような取り組みに最終的にはなっていくのでしょう。しかし、まだ時期は早いと思います。この辺の詳細については、2012 年の WPEC の報告[6]に記載したので今回は割愛します。ここでは、その後の動きへの対応をご報告することにします。

ご存知の方もおられると思いますが、ND2013 の最初の基調講演で LANL の Chadwick 氏の CIELO に関する講演後、同国際会議で最初の質問を私が行いました（最初からそのつもりではなく、だれも質問しないので、手を上げたら、最初に指名されてしまっただけなのですが・・・)。「ザワ、ザワ、ザワ」と会場で反応がありましたが、至極真っ当な質問をしただけです。この後、ND2013 会期中に CIELO に関する非公式会合が持たれたのですが、そこでは、先の質問に対する回答で、当面はパイロットプロジェクトのお試し期間で、皆が興味のあるであろう U-235,238、Pu-239 の Big3 と Fe-56, O-16, H-1 に対する共同評価経験の共有ということで、いわゆる「大人の対応」となりました。ただ、いくら素晴らしい完璧な評価をしても、ベンチマークはうまくいかないと予想されます。ベンチマークは、上記 6 核種だけで決まるものではないからです。そのときどうするかを今から考えておく必要があります。

また、これも深堀の感想ですからあまり鵜呑みにして欲しくないのですが、CIELO にもろ手を上げていた JEFF の豹変（どちらかといえば懐疑的な深堀の態度に通じるものとなりました）が、今回の WPEC 年会で感じられました。どうも、CEA（＝industry をはじめとする仏の利用者）の意向が働いているようですが、政治的な向きには全く疎い深堀には正確なことはわかりません。これらの状況があいまって、先ほどの「大人の対応」ではないですが、当面、WPEC の管理下にあるパイロットプロジェクトという位置づけを明確にしていただけましたので、反対はしないことにしました。

もう何度も書いたので、CIELO の目的はご理解いただけたと思います。今回の WPEC 年会でこの提案は承認され、SG40 として新たに発足することになりました。これに対し、日本からの参加者は、いずれも JAEA 核データ評価研究グループの研究員ですが、Big3 については岩本修氏、Fe-56 に関しては岩本信之氏、O-16 及び IAEA の標準断面積に関する研究計画を通じての H-1 評価について国枝氏となりました。

まだまだ、紆余曲折があると思われますが、皆さんの目の届くところで、活動できるようにしていきたいと思っております。ご意見、ご批判は甘んじてお受けいたしますので、ご遠慮なく深堀までご連絡ください。

7.　WPEC マンデートの改訂と議長の選出

WPEC のミッション（Mandate）は、3 年毎に更新されることになっています。今年がその改訂年に当たっていますので、この機会に、NEA の Dupont 氏が年会席上で示した WPEC の活動目的・組織等のルールを、以下にレビューしておきます。

（WPEC の目的）

NEA/NSC（原子力科学委員会）の下で、以下の活動を行う。

① 核データに関連するトピックス（評価、測定、理論、検証）の情報交換を促進する。
② 核データ重要項目に関する国際協力活動の枠組みおよびサービスを提供する。
③ 核データ専門家の共通の理解と同意を構築する援助を行う。
④ 評価済ライブラリを改良することにより、核データ応用側からのニーズを満たす。

（WPEC の組織）

- ✓ WPEC は、情報交換のフォーラムである。一方、実際の協力活動の枠組みとして、Subgroup（SG）を設置する。
- ✓ WPEC メンバーは、各ライブラリプロジェクト（ENDF、JEFF、JENDL、BROND＋IAEA/FENDL、CENDL）の代表と SG コーディネータからなる。議長は、各ライブラリプロジェクトから、2 年毎に輪番で選出する。
- ✓ WPEC 会合は一年に 1 回開き、各ライブラリプロジェクトとそれに関連する実験活動の進捗をレビューする。核データに関する共通の問題を摘出し、これを解決するための SG を設置する。各 SG の進捗をレビューする。

（WPEC のサブグループ）

○ SG は技術を議論する場であり、実質的に全ての研究者に参加が認められる。
○ SG には 2 年（＋1 年）の期間で、WPEC からマンデートが与えられる。
○ SG のコーディネータは、SG の作業に責任を持ち、WPEC に報告しなければならない。
○ SG のモニターは、マンデートが満たされているかどうかを監視する。
○ SG 会合の場所や頻度に、制限等はない。

今回の WPEC マンデートは、2013 年 6 月～16 年 6 月までの期間ですが、前期間（2010～13 年）のマンデートから、以下の 2 点が改訂されました。

1) 2013 年 1 月に、ロシアが正式に NEA 加盟国となった。これにともない、RUSFOND/BROND が、正式な核データ評価プロジェクトとして認知された。（現在、認知されていない評価プロジェクトは、CENDL だけである。）
2) 従来のマンデートでは、各プロジェクトの代表者の構成について、「測定関係者を一

人含むこと。」と規定されていたが、今回、「測定関係者と、核データユーザー（application）関係者を、一人ずつ含むこと。」に改訂された。

その他、3 年間の間に終了または新規設置された SG のテーマに対応する記述が改訂されています。また、今回の WPEC 会合までの議長は、JEFF の Jacqmin 氏でしたが、次の 2 年間は JENDL の深堀氏が就任することが決定されました。

8.　おわりに（個人的感想）

実は、1989 年の第 1 回の WPEC 会合の直前に開催された WPEC 設立のためのタスクフォース会合[7,8]に、たまたま BNL に滞在していたので、オブザーバーとして参加していました。この時に参加して、現役で WPEC 会合に参加しているのは、ときどき NEA の会合に顔を出す悠々自適（？）の引退生活を送っている C. Nordborg 氏以外は、私と M. Salvatores 氏だけのようです。そんなこともあってか、2014～2015 年の WPEC 議長に推薦していただきました。嘘です。単に、順番で回ってきただけです・・・。議長になったから思うのではなく、近年、日本からの新しい SG の提案が少なくなっているように思われます。SG は 2～3 年で終了し、新陳代謝を良くしてくことが重要と思いますので、是非、ご提案をお願いしたいと思っております。よろしくお願いします。（深堀智生）

今回は、SG31 の報告を終えることが出来、ホッとしているところです。WPEC 活動は、ボランティア活動であり、予算がつくわけではありませんので、国際的なメンバーの力を発揮してもらうには苦労しましたが、よい経験をさせて頂きました。核データ測定の専門家が中心となる SG 活動は WPEC の中で重要と認識されており、今後に繋げることが出来ればと考えています。また、SG31 の報告で、誤差評価の見直しを定期的に行うことが出来る体制の必要性を示したところ、関心を集め議論となりましたが、もう少し具体的な提案を考える必要がありそうです。よいお知恵がありましたら御教示ください。（原田秀郎）

最近の WPEC 活動では、核データ共分散評価に象徴されるように、ユーザーである積分データ評価側からのニーズ提出と、それに答えようとする微分データ測定・評価側との連携が、非常に強くなってきていると感じます。さらに、これは過去の核データライブラリ開発の段階でも部分的には行われてきたことですが、積分ベンチマーク（炉定数調整）の結果を、断片的にではなくより系統的に核データに反映させようとする新 SG39 の試みも始まりました。自分の知らない分野の方と技術的な議論をするのは苦しい面はあるのですが、原子炉応用など最終的な製品の信頼性を確保するためには不可欠なことですので、次の世代の方々にはぜひ続けていってほしいと思います。（石川眞）

以上

写真 2　WPEC 会合の様子

参考文献

[1] 片倉純一：「核データ部会・炉物理部会合同企画セッション　(1)OECD/NEA/核データ評価国際協力ワーキングパーティ（WPEC）の全体像と最近の活動」、核データニュース、No. 87、pp.2-7、日本原子力学会核データ部会・シグマ特別専門委員会（2007 年 6 月）

[2] 片倉純一：「OECD/NEA/核データ評価国際協力ワーキングパーティ（WPEC）会合」、同上、No. 91、pp.1-6（2008 年 10 月）

[3] 片倉純一：「OECD/NEA 原子力科学委員会　第 21 回核データ評価国際ワーキングパーティ」、同上、No. 94、pp.18-22（2009 年 10 月）

[4] 片倉純一：「第 22 回 OECD/NEA 原子力科学委員会核データ評価国際協力ワーキングパーティ（WPEC）(1)会合報告」、同上、No. 97、pp.22-27（2010 年 10 月）

[5] 石川眞、岩本修：「第 23 回 OECD/NEA 原子力科学委員会核データ評価国際協力ワーキングパーティ（WPEC）会合報告」、同上、No. 99、pp.28-40（2011 年 6 月）

[6] 深堀智生、原田秀郎、石川眞：「第 24 回 OECD/NEA 原子力科学委員会核データ評価国際協力ワーキングパーティ（WPEC）会合報告」、同上、No. 102、pp.45-65（2012 年 6 月）

[7] J. Rowlands and C. Nordborg, “Report of the NEACRP/NEANDC Task Force on Evaluation Cooperation,” NEA/NSC/WPEC/DOC(1989)1 (NEACRP-A-1011, NEANDC-A-257), October 1989.

[8] 菊池康之：「核データ評価の国際協力」、核データニュース、No. 35、pp.22-27（1990 年 2 月）