



会議のトピックス (III)

第 8 回臨界安全性国際会議 The 8th International Conference on Nuclear Criticality Safety ICNC2007 出席報告

日本原子力研究開発機構
核燃料サイクル施設安全評価研究グループ
須山 賢也
suyama.Kenya@jaea.go.jp

臨界安全性国際会議 (International Conference on Nuclear Criticality Safety – ICNC) は、この分野の会議では世界でも最大のものであり、4年に一度、フランス、イギリス、米国、日本で開催されてきた。しかしながら冷戦終結後のロシアを含む東欧諸国の研究者との接触の増大、特に炉物理・核データのコミュニティにはすっかり有名になった国際臨界安全ベンチマーク評価プロジェクト (ICSBEP) への旧ソ連において実施された実験データの登録が進んで、ロシア人研究者の臨界安全コミュニティに対する寄与が増大してきたことから、ロシアにおいて ICNC を開催する機運が高まり、ついに本年 5 月、サンクトペテルブルグにて第 8 回目の ICNC が開催された。本稿では、その会議の概要、気になった発表のいくつか、そしてその他のお話をご紹介します。

会議の概要

会議はサンクトペテルブルグの郊外にある巨大なホテル Park Inn Pribaltiyskaya で開催された。市内からかなり離れていると言わざるを得ず、事務局の指示通りにそのホテルに宿泊した今回はまさに缶詰といったところであったが、設備が整った良い環境であったと思う。今回の ICNC には、21 カ国から 192 名が参加し 198 の発表があった。我が国からは 9 名が参加した。前回の ICNC が東海村で開催されたため特別であったとしても、ここ数回海外で開催された ICNC には我が国からは全体の 1 割近い参加者 (20 名程度、その内半分は旧原研) があったことを考えると、今回の我が国からの参加人数は非常に残念と言わざるを得ない。一方、フランスは 40 名の人間を送り込み、若手も多く、元気の良さが目立った。地理的に近いというアドバンテージもあるが、フランスが核燃料サイクルを国策として推進し、また臨界安全を重要な技術として位置づけているというこ

とを実感した。我が国の臨界安全研究をどのように進めていくべきか、また、これは決して競争ではないだろうが、大きなパワーを持つ彼等とこの分野でどのようにつきあっていくかを考えさせられたことは確かである。

さて、ICNC2007のweb pageは<http://www.icnc2007.com/>にあるが、そこに示されているように国内で我々が会議をホストする場合と違い、会議の運営は完全に民間の会議会社にまかせてしまっていた。そのため会議へ参加登録などでロシアの研究機関の人とやりとりを行うことすらなく、会議の公式なアナウンスも一次案内以降は無かったので、NEA事務局に「どうなっているの?」と何回か問い合わせをするぐらいであった。あと、



集合写真（筆者はどこかにいるはず）



メイン会場に掲げられたポスター（さすが民営といった感じで力が入っていますね）

顕著な問題は論文集であろうか。セッション毎に論文をまとめていないので、会議中に論文集を見ることが非常に困難であった。また、送付した原稿を丁寧にフォーマットしているのは良いが、あちこちに文字化けがあり、発表者が発表の冒頭で謝る姿も何回か見かけた。ロシア式会議運営が何となく理解された次第である。しかしそれ以外の運営はスムーズで、特に問題となったようなことはなかった。また、ホテル内では宿泊者は無料の無線 LAN が使えたので、ネットワーク依存症の私にはよかった。

セッション概要

会議のセッションは 8 セッションからなっており、2003 年の東海村でのそれとほぼ同様であった。

1. Standards and Methodology for Criticality Safety, including:
 - safety criteria and margins used in assessment
 - bounding approximations, realism application of risk-based and probabilistic methods
2. Critical and Sub-critical Experiments
3. Critical and Sub-critical Benchmark Evaluation, including:
 - selection of applicable benchmark
 - use of benchmark results to quantify code bias (and its uncertainty)
4. Practice of Criticality Safety Design and Control, including developments in use of measurement techniques to demonstrate compliance with controlled parameters such as fissile mass, moisture, etc.
5. Development of Criticality Codes and Methods
6. Evaluation of Nuclear Data used in Criticality Safety Calculations
7. Burnup Credit
8. Assessment of Criticality Accidents
9. Emergency Response and Training

今回の会議で我々が注目したのは、臨界安全の分野でも、*risk-based and probabilistic methods* という所謂 PSA の概念を臨界安全評価に持ち込んだ評価手法の発表があったことであり、これからの新しい潮流になるのかもしれないと感じさせた。また、*uncertainty* も一つのトピックとしてあげることが出来ると思う。これらのことは、臨界計算自体の精度はすでにかかなり向上しており、計算手法の開発とか計算精度向上以外の研究テーマがクローズアップされている現在の臨界安全研究の状況を反映したものであろう。以下、炉物理・核データ分野にいる方にも興味のあるようなセッションや発表について報告をする。紹介した論文の括弧内には論文のタイトル、論文集の巻、及びページを示してい

る。

● Critical and Sub-critical Experiments

核燃料再処理のプロセスにおいては溶液状の Pu を扱う必要があるが、希薄な Pu 溶液の場合には条件によっては反応度温度係数が正となることが予測されていた（例えば T. Yamamoto and Y. Miyoshi, "Mechanisms of positive temperature reactivity coefficients of dilute plutonium solutions," *Nuclear Science and Engineering*, **142**[3], pp.305-314 (2002))。Normand 等の発表 (Experimental Determination of The Temperature Effect of Dilute Plutonium Solutions, Vol.1, pp197-201) は、それを実験的に検証するために、フランス IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire; フランス放射線防護原子力安全研究所) が CEA-Valduc の B 装置において実施した実験の報告であった。実験のテクニックも高度であるが、Pu 溶液を扱う実験が実施可能であったという点が興味深い。発表では詳細な温度係数のデータは提示されなかったが、プレリミナリな実験結果によると、やはり正の温度係数を持ちそうだとの報告がなされた。最終的な実験報告が注目である。

● Critical and Sub-critical Benchmark Evaluation

ベンチマーク評価の分野では、やはり Briggs 等による国際臨界安全ベンチマーク評価プロジェクト (ICSBEP) の現状報告 (Growth And Expansion of The International Criticality Safety Benchmark Evaluation Project and the Newly Organized International Reactor Physics Experiment Evaluation Project, Vol.2 pp.20-24) が重要であろうか。我が国もこれまで STACY における低濃縮ウラン溶液実験データや TCA での臨界実験データの提供などで、ICSBEP の拡充にはずいぶんと尽力をしてきた。最近の ICSBEP は従来の臨界実験データの枠を超えたデータ、例えば遮蔽ベンチマークや臨界警報装置に関するデータまでその範囲に含めだした。主な臨界実験データは網羅し尽くしたのか、後述する IRPhEP が立ち上がってきたため、活動のベクトルが以前から異なってきたのかもしれない。一方、炉物理実験データについては、NEA 主導の炉物理実験データ保存プロジェクト IRPhEP が活動を開始している。今後新規の炉物理実験データを得ることが困難になる状況や、IRPhEP の活動は我が国の資金でサポートされていることを考えると、我が国関係者の IRPhEP に於けるプレゼンスのさらなる向上が望まれると強く感じた。

● Development of Criticality Codes and Methods

最近の連続エネルギーモンテカルロコードの広まりによって、臨界計算の精度向上の競争は一段落したようにも感じられるが、一方でいかに便利に計算コードを利用できるようにするかという観点の仕事はますます盛況なようである。研究の本質ではないと思われる方もいらっしゃるかもしれないが、魅力的な機能をコードに付加することでユー

ザーを増やすことができれば、許認可コードとしての立場をさらに揺るぎなきものにする事が出来ようし、計算精度がほとんど同じであれば、ユーザーはより便利なコードを選ぶであろう。そのあたりが純然たる研究だけでは終わらない臨界安全性分野の特徴なのかもしれない。例えば、今回の ICNC では、Winstanley 等による英国における臨界計算補助コードの開発状況（Future Developments in Criticality Modelling and Data Analysis in British Nuclear Group, Vol.1 pp.352-355）で、3次元グラフィックをつかった計算体系の図示やモデル作成、CAD とのリンクなどが紹介された。実際の臨界安全評価では、すべての体系を詳細にモデル化するよりは、反応度的に保守的になる安全評価モデルを作成するが、必要とされるリファレンス解を得るためには、こういった機能があると計算評価者は助かる。また、この発表では臨界計算の入力データや出力結果をアーカイブしておく機能も紹介されたが、計算結果の品質保証の観点から見て必須の機能であると感じ、まさに安全評価用のツールとしての機能の拡充に力が入れていることが理解された。米国の Bowman 等による SCALE 開発状況の発表（New Criticality Safety Analysis Capabilities in Scale 5.1, Vol.1 pp.403-407）も可視化の部分に力をいれたものであり、いかにわかりやすく入力と計算結果をユーザーに提示するかという観点からも開発競争が続いていることを示唆していた。

● Burnup Credit

毎回盛況の燃焼度クレジットのセッションであるが、今回も多く発表がなされた。筆者の興味もそこにあり、自らも発表を行った。以下に興味深かった数件の発表についてご紹介したい。

燃焼度クレジットの解析では、使用済燃料の軸方向燃焼度分布を考慮した時に中性子増倍率が增大すること（端部効果）が知られており、それをいかに扱うか、また、大きな反応度を与える燃焼度分布をいかに決めるかが問題となっていた。フランスの Cabrol 等の発表（Determining an Axial Burn-Up Profile for BUC Criticality Studies by Using French Database of Axial Burn-up Measurements, Vol.2, pp. 249-254）は、La Hague の再処理工場において 30 から 40 GWd/t の範囲にある約 1200 体のフランスの PWR 燃料集合体を対象に測定した燃焼度分布のデータをまとめたもので、この結果によると、燃焼度分布はどの燃料集合体も互いによく似ており、これまで NEA の燃焼度クレジットベンチマークで採用されてきた燃焼度分布（CEA が提供したデータ）に近いとのことであった。これは、帰納法の国フランスらしい研究成果であり、また、非常に重要な知見であると思う。我が国にも再処理工場があるわけで、同様な測定結果を提示して相互比較を行えるとさらにデータベースが拡充するだろう。一方、使用済み燃料の燃焼度分布を考慮しなくても良い設置方法など他のアプローチもあり得ると思えた。

燃焼度クレジット導入のための個々の技術的要素は十分なレベルにあると多くの人が

考えているが、それがなかなか実現しないのは、精度がよいと思われる炉心管理データの正しさを客観的に提示できないためともいえる。日本の Yoshioka 等の発表 (Advanced Method for Criticality Safety Analysis Coupled with Keno and a Fuel Design Code, Vol.2, pp.1-5) は、炉心解析コードから KENO 用の断面積を作成するツールを作成することで、炉心管理に使用されるデータと臨界安全評価に使用されるコードを組み合わせることで安全評価に利用することを提案していた。燃焼度クレジット導入のための検証用データが限定されている現状を考えると、実機データが利用可能となればかなりのインパクトがある。燃焼度クレジット導入成果の最終的な利用者であるはずの電力会社の協力が重要になるう。

ベルギーの企業ベルゴニュークリア社が幹事会社となっていて行っている使用済燃料を対象にした反応度測定実験 (REBUS) は、これまでもいくつかの国際会議などでその概要が紹介されてきたが、本会議においては 7 件の発表でそれが言及され、さらに 5 件の発表ではそのデータの解析結果が提示されるなど、かなりデータの評価が進んだ印象であった。日本の Yamamoto の発表 (Preliminary Analysis of Irradiated UO₂ Fuel Core in REBUS Program, Vol.2, pp.151-155) は UO₂ 燃料の解析結果を示していたが、取得されたデータが公開され、他機関でも利用できるようなれば、燃焼度クレジット評価用の標準データとしての位置を得るのではないかとの印象を持った。

● Special Session on PIE data

公式セッションとは別に、使用済燃料同位体組成に関する特別セッションが開催された。前回の東海村でも同様の趣旨で特別会合を行ったが、今回は NSC/WPNCS (臨界安全性ワーキングパーティー) の中に PIE データに関する専門家会合 (EGADSNF) が設立され、そのお披露目と、未公開 PIE データの NEA からの配布を可能とするための情報収集の目的で開催された。筆者が EGADSNF の議長であることから、NEA 事務局と相談しつつ準備を行った。NEA、日本、フィンランド、英国からの発表があった。英国からは彼等が作成した PIE データのデータベースに登録してあるデータを NEA に提供可能であるとの発表があり、日本からは JNES が測定したデータが紹介された。

ICNC の場を良い意味で利用してさまざまな情報の発信や共有を行うことが、この分野の研究の活性化につながると思われるので、これからは PIE データだけでなく、他のテーマについても同様の試みが行われることを期待したい。

● Evaluation of Nuclear Data used in Criticality Safety Calculations

さて、核データニュースの読者の方が注目されるセッションである。以下の 10 件の報告がなされた。

1. ORNL Methodology for Covariance Generation for Sensitivity/Uncertainty Analyses, Luiz LEAL, Herve DERRIEN, Nancy LARSON, Royce SAYER (Oak Ridge National Laboratory, USA)(Vol.2 pp.25-29)
2. Calculation of critical parameters of Uranyl Fluoride Water, low moderated Uranium Dioxide for updating the German Handbook of Criticality, Robert KILGER, Bernhard GMAL, W. WEBER (GRS, Germany)(Vol.2, pp59-63)
3. Testing of cross Section Libraries for TRIGA Criticality Benchmark, Luka SNOJ, Matjaz RAVNIK, Andrej TRKOV (Jozef Stefan Institute, Slovenia)(Vol.2, pp46-49)
4. Assessment of Titanium Cross Sections, Uncertainties for Application in Criticality Safety, Luiz LEAL (Oak Ridge National Laboratory, USA), R. WESTFALL, D. EGHBALI, Edward Fitz TRUMBLE (Washington Safety Management Solutions, USA)(Vol.2, pp50-52)
5. Comparison of Results from APOLLO2-MORET4 Validation Database Using JEF2.2, JEFF3.1 Nuclear Data, Isabelle DUHAMEL, Stephane EVO (Institut de Radioprotection et de Surete Nucleaire, France)(Vol.2, pp.53-58)
6. Data Evaluation Method for Estimating the Variability in keff of a Nuclear Fuel System due to the Variability of Parameters Characterizing the System, Jens Christian NEUBER, Axel HOEFER (Areva NP GmbH, Germany)(Vol.2, pp30-35)
7. Review of Plutonium Solution Biases, Kirill RASKACH (IPPE, Russia), Calvin HOPPER (Oak Ridge National Laboratory, USA) この発表は「STATISTICAL ANALYSIS OF PST TYPES OF EXPERIMENTS RELATIVE TO EXAMINING “SAFETY APPLICATIONS」(Vol.2, pp.64-68) に変わってしまったようである。
8. Comparison of VIM and MCNP ENDF/B-VII Libraries, Roger BLOMQUIST (Argonne National Laboratory, USA)(Vol.2, pp.218-221)
9. Highly enriched uranium metal cylinders and annuli surrounded with various reflector materials, Bernard JONES, Tyler SUMNER, J. Blair BRIGGS, Leland MONTIERTH (Idaho National laboratory, USA)(Vol.2, pp.17-19)
10. Use of sensitivity methods to estimate validation requirements for advanced fuel processing technologies, R. M. Lell, J. A. Morman (Argonne National Laboratory, USA)(Vol.2, pp.41-45)

タイトルからもわかるが、核データ評価というよりは、その成果の利用 (processed library を使った各コード間の計算結果の比較) が主であった。ENDF/B-VII や JEFF-3.1 など新しいライブラリのリリースが終わっており、今はその精度検証が進んでいるためであろうか。また、SCALE に感度解析コードシステム TSUNAMI が導入されたこともあって、それを使った感度解析結果が多く提示されたが、TSUNAMI による解析結果を提示している

ものを、このセッションに押し込んでしまったようでもあった。WPNCNS を統括する NEA/NSC には核データ分野の活動を統括する WPEC (Working Party on International Nuclear Data Evaluation Co-operation; 核データ評価国際協力ワーキングパーティー) があり、さらに WPNCNS の事務局役は NEA データバンクの中では JEFF のリリース等を担当しているので、ICNC において核データセッションを設けるといふことには、両者の協力を構築するという大きな意義があると思う。このセッションの価値を高めるには、ICNC において WPEC の現状の報告を行うとか、反対に核データ国際会議において、WPNCNS に関与している側からの核データコミュニティへの要望を出す、といった相互交流が重要であると思えた。

次回開催地の決定など

closing session では、会議の総括が行われ、さらに次回 2011 年の開催地が英国の Edinburgh であるとの発表が OECD/NEA/NSC/WPNCNS 議長でもある Jim Gulliford 氏より行われた。彼によると「いい街だよ」とのこと。旅心をくすぐられる場所のようで、4 年後が楽しみになった。

臨界安全関係のセッションは、他の炉物理関係の国際会議でも開催されるが、やはり 4 年に一度の ICNC は専門の会議としての重みがあると思う。この ICNC の開催場所は OECD/NEA/WPNCNS において決定されるなど、WPNCNS の存在意義は益々大きくなっていると見える。一方で、我が国からの WPNCNS への寄与は、最近のベンチマークや傘下にある専門家会議への参加者数などから判断すると、残念ながら下降気味と言わざるを得ないようである。

しかし、今回の ICNC では、相変わらず元気なフランスやいったんは落ち込みかけた活動レベルを SCALE の再生や MCNP のシェア拡大という形で復活させた米国など、各国ともそれぞれの持ち場でパワーを発揮しているのがよくわかったと同時に、あまり新しい研究の芽というか、おおっと思わせるアイデアの発表はあまり多くなかったようだ。予算減少や人員の不足など、明るい話題には乏しいけども、斬新なアイデアや世界をリードする概念を提出していけば、我が国の臨界安全研究は、独自の位置を確保できる余地は十分にあると感じた。我が国の臨界安全関係者が WPNCNS でそのプレゼンスを十分に確保し、将来の ICNC の成功に向けて協力していくこともまた、この分野に居る者の重要な責務だと考えている。

その他の話題

街へのアクセス

核データの分野に身を置いておられる方々には以前から身近と思われるサントペテ

ルブルグであるが、筆者は実はロシアに行くのも初めてであり、会議以前にロシアに行くこと自体に興味津々であった。ロシア入国には今でもビザが必要なのだが、そのための準備はかなり以前より周到に行わなければならず、また旧ソ連的なイメージ（お役所仕事）のためにビザの発給が遅くなることを覚悟していた。ところが蓋をあけてみれば、意外とスムーズにビザも発給されるし、空港での入国手続きもあっさりとしたものでした。国際社会の中で資源大国としての地位を固めつつあるだけに、人的交流もかなりすすんでいるのだな、という印象。

サンクトペテルブルグに入るには、モスクワを経由してロシア国内の国内線を経由して入る方法と、成田から直行便が就航している他の都市、例えばフィンランドのヘルシンキに行き、そこから若干日本側に戻るように国際線に入る二つの方法が考えられた。ロシア国内の国内線を利用する場合には、モスクワの国内線専用の飛行場までバスやタクシーなどで移動をする必要があり、色々な意味で「危険な臭い」を感じた。そこで今回は後者のヘルシンキ経由で行くこととした。ヘルシンキに行く人なんてそう多くないだろうと考えていたのだが、最近東欧各国は観光スポットとなっているためか、東京－ヘルシンキ間の飛行機は行きも帰りも満席の大盛況であった。ヘルシンキの空港はこぢんまりとしているが綺麗で、乗り継ぎもスムーズであった。

サンクトペテルブルグ到着後は、空港から市内までの移動手段をどうするかが問題であった。バスと地下鉄などの公共交通機関を乗り継いでいくのが原子力機構・国際部が考える標準的手段であるが、残念ながら滞在したホテル（つまり会議場となったのホテル）は市内からかなり離れており、その上地下鉄の最寄り駅との距離もかなりあって、躊躇させられた。やはり、初めての土地では安全確実な方法をとりたいものである。今回は日本人観光客をターゲットに空港からの移動などを行っている会社が有ることを教えてもらい、そこにピックアップをしてもらうこととした。二名で利用したので一人あたりの出費も抑えられて納得できる価格でホテルに到着することができたし、街中の要所、要所ではガイドをしてくれて親切丁寧で感じの良いサービスであった。また帰りのホテルから空港までの移動もお願いできたので、その点もよかった。

ここまで書いたように、我々はとにかく安全確実な方法をとったわけであるが、それは正解であったと思う。まず、今回の出張では地下鉄でスリ集団に囲まれて取られる被害（未遂を含む）を数多く聞いた。これまで何回か国際会議に参加しているが、このような被害を多数聞いたのははじめてであった。聞いてみると、地下鉄の車両に乗る間にバツと押され、おおっと思っている瞬間に仲間がひたたくっていくという手荒なものであったようだ。スリと言うより強盗に近いのかもしれない。日本人参加者の3分の1は未遂を含めて遭遇していたし、フランス人参加者も被害に遭っており、デジカメとかパスポートを取られたと言っていたので、よほどの出没頻度であったのであろう。また、モスクワ経由でサンクトペテルブルグに入った方の鞆がなくなってしまうとれなかった、

とか、空港で鞆が出てきたらカギが壊されて中を物色されていたとか、その手の話も聞いた。観光客が集まってくるのをねらって稼いでいるのであろう。世界中の観光客が集まる綺麗な街ではあるけども、西側先進国の悪いところだけをまねしてしまったようで、残念なことであった。

街の様子など

市内から離れた位置にあるホテルの周辺にはまったく見所が無いので、会議が終わるとホテルのシャトルバスを利用して街中を散歩にでかけた。歴代の皇帝が一生懸命作り上げた街はやはり美しく何処も観光客でにぎわっていた。街を行く女性も颯爽と歩き、ほとんど西側の都市とかわらないなという印象をもった。ビザが必要無くなればもっと多くの人が観光に訪れるのではないだろうか。会場に缶詰であったため、街で食事を取る機会が少なく残念であったが、サンクトペテルブルグはビーフストロガノフ発祥の地と聞いて、いわば元祖〇〇屋のようなお店に行ってみた。食事もよかったけれども、店内も必見の価値有りと思った（これは同行した方も同様に感じたとのこと）。当地を訪れることがあれば、是非行かれることをお勧めする。



観光船が街の中をゆったりと行き来していました



やはりロシアといえばこれですね