

原子力科学及び工学の物理に関する国際会議

日本原子力研究所

桜井 健

email : sakurai@fca001.tokai.jaeri.go.jp

久語 輝彦

email : kugo@mike.tokai.jaeri.go.jp

奥野 浩

email : okuno@cyclone.tokai.jaeri.go.jp

高野 秀機

email : takano@mike.tokai.jaeri.go.jp

1. はじめに

原子力科学及び工学の物理に関する国際会議(International Conference on the Physics of Nuclear Science and Technology)が、1998年10月5日から8日の間、合衆国のニューヨーク州ロングアイランドにおいて開催された。会議主催者はアメリカ原子力学会(ANS)のReactor Physics Division、Long Island Sectionである。会場はロングアイランドのほぼ中央部に位置するMarriottというホテルである。ニューヨーク市のマンハッタンからロングアイランド鉄道に1時間程乗るとCentral Islipという駅が有る。会場のホテルは、この駅から車で10分程離れた場所にある。

ANS主催による原子炉物理の国際会議が2年ごとに開催されているが、本会議はその1つである。これらの国際会議は3回毎に合衆国外で開催される。前回は水戸でPHYSOR96が開催された。今回の会議参加者は約240名であり、200件余の研究発表が行われた(キャンセルされた発表等があり、正確な発表数は把握していない)。日本からは筆者等4名を含む計12名の参加があった。

本会議は、核データのみならず、原子炉物理や加速器の利用等、幅広い研究分野をカバーしているが、ここでは、核データとその利用に関する発表を中心に、会議の概要を紹介する。日本原子力学会誌に会議報告を掲載するために、京都大学工学部の小林啓祐教授が現在執筆を進められている。会議全体の内容についてはそちらを参照されたい。

2. 会議の概要

プレナリセッションでは、炉物理の現状と将来展望に関して、C.Dunford 氏 (BNL) が核データ、R.D.McKnight 氏 (ANL) がベンチマーキング、K.Hesketh 氏 (英国 BNFL) が燃料サイクル、Y.Azmy 氏 (ORNL) が炉解析の立場からそれぞれ講演を行った。その後のテクニカルセッションは、5 会場に分かれて並行して行われた。会議のプログラムは全部で 10 ページ以上の分量があるため、セッション名の一覧のみを付録に示す。

本会議のトピックスは以下の様に多岐にわたった。

核データの評価・測定・処理法、ベンチマーク	格子計算法
臨界実験	輸送計算法
MOX 燃料炉心	ノード法
燃焼度クレジット	数値計算法
核破碎工学	核熱結合動特性計算法
加速器とその応用	新型炉設計
消滅処理と加速器駆動炉	炉心計測と制御
燃料サイクル	原子炉の医療への応用
モンテカルロ法	保障措置と非破壊測定

これらのトピックス中、MOX 燃料の利用に関する発表が目立った。以下、核データに関連するものを中心にいくつかの発表を紹介する。全ての発表には触れることが出来ないことをあらかじめお詫びする。

(1) 核データの評価とベンチマークに関する発表より

U-235 断面積の再評価が米国を中心として精力的に行われている。ENDF/B-VI も改訂版が 5 まで作られた。C.Lubitz 氏 (米国 Lockheed Martin 社) は、1990 年から 1997 年の間に行われた熱領域と分離共鳴領域の U-235 断面積の再評価作業の経緯を報告した。再評価作業は ORNL、AEA-Technology、Lockheed Martin 社で行われ、その結果は、ENDF/B-VI の改定版に、順次、反映されて来たとのことである。

これらのうち、L.C.Leal 氏は ENDF/B-VI.5 と JEFF-3.T に採用された最新の再評価作業に関して報告した。さらに、この最新の評価結果の積分テストの報告が 2 件あった。C.Mounier 氏 (CEA) は、最新の評価結果を用いると PWR の照射後集合体の U-236 生成量の予測精度が著しく改善すると報告した。C.J.Dean 氏 (AEA-Technology) は 10 の

ウラン系ベンチマーク炉心の臨界性の解析について報告した。最新の評価結果を用いると熱外成分の多い炉心では臨界性の予測精度が改善されるが、減速の大きな炉心では ENDF/B-VI.4 の評価の方が良いとのことである。

これは、JENDL-3.2 が軽水炉で約 0.4% k_{eff} を過大評価することに対応し、原研の高野が報告した JENDL3.2、JEF-2.2 と ENDF/B-VI.2 のベンチマークテストの結果と一致している。

T.A.Parish 氏 (米国 Texas A&M 大学) は、ANS のアドホック委員会のウランベンチマーク問題の計算結果のサマリーを報告した。ベンチマーク問題の対象は、1970 年頃に Babcock&Wilcox 社による PWR の燃料集合体の臨界実験で測定された k_{eff} と出力分布である。10 ヶ国から 18 機関が参加した。アジアからはインドと韓国の機関が参加したが日本からの参加はなかった。

P.J.Finck 氏 (ANL) は、ヨーロッパにおける、軽水炉、高速炉、加速器駆動炉等の各利用分野において、精度を改善する必要のある核データについて報告した。これは、軽水炉ではプルトニウムのマルチリサイクル、高速炉では余剰プルトニウムの燃焼という最近の研究動向を反映したニーズである。この報告は OECD/NEA の High Priority Nuclear Data List に基づくもので、この List はインターネット (<http://www.nea.fr/html/science/docs/>らしい) で閲覧可能ということである。

V.McLane 氏 (BNL) は、インターネットで利用可能な BNL の National Nuclear Data Center のサービスの話しをした。評価済み核データファイルでは、ENDF/B-VI の他に、JEF、JENDL、BROND、CENDL が利用可能とのことである。1986 年の開設以来、アクセス数は指数関数的に増加しているとのことである。現在は <http://www.nndc.bnl.gov> から利用可能。

(2) 即発中性子と遅発中性子データの測定、評価とモデリングに関する発表より

D.J.Loaiza 氏 (LANL) は遅発中性子の 7 群パラメータの提案を行った。

W.S.Charlton 氏 (Texas A&M 大学) は、同大学のトリガ型研究炉を用いた Np-237 と Am-243 の遅発中性子収率と 7 群パラメータの測定結果の報告をした。収率の測定結果は、Brady-England による総和計算の結果と良く一致したとのことである。この測定は原研と ORNL 間の協定 (Japan US Actinide Program) に基づく測定である。

B.Fredin 氏 (スウェーデン ABB Atom) は ENDF/B-VI の FP データを用いた総和計算による U-235 の遅発中性子の 6 群データについて報告した。ENDF/B-VI の Ga-84、Ge-86、Ge-87、As-86 と As-88 の収率は異常に大きな値となっており、編集上のミスプリント等が考えられるとのことである。これら収率の値を適切に修正したうえで総和計

算に用いた場合、得られた U-235 の遅発中性子の全収率 (thermal) は Keepin の値と非常に良く一致したとのことである。同様な ENDF/B-VI の FP 収率のミスプリントは、国内では、名古屋大学の親松氏によっても指摘されているが、LANL の England 氏からは、指摘に対して非常に丁寧な回答を得ているとのことである。

R.Sanchez 氏 (LANL) は LANL の過渡臨界実験装置 SHEBA で行われた未臨界度測定の報告をした。測定は、Rossi-alpha 法と Source-jerk 法で行い、2 つの手法間で首尾一貫した測定結果が得られた。TWO-DANT と Hansen-Roach 16 群セットを用いて計算した未臨界度は測定結果と良く一致したとのことである。

原研の桜井は、FCA を用いた実効遅発中性子割合 β_{eff} のベンチマーク実験の報告を行った。

(3) MOX 燃料炉心の特性に関する発表より

MOX 燃料に関するセッションでは、軽水炉等における MOX 燃料炉心の設計研究、核計算手法、やベンチマーク問題とその解析についての発表が数多くあった。軽水炉等における MOX 燃料利用の研究が世界的に精力的に進められている。韓国やカナダから、DUPIC プログラム (Direct Use of Spent PWR fuel in CANDU reactor) における、燃料、熱、核設計の発表が多数あった (KAERI の H.Choi 氏、G.Roh 氏、J.Park 氏、カナダ Eole Polytechnique の W.Shen 氏)。これは、PWR の使用済み燃料を核種を分離せずパウダー化して加工して CANDU 燃料に使用する技術である。廃棄物減容対策の切り札として真剣に取り組んでいるようである。これらは、バンケットにおいて会議主催者側の注目発表論文として取り上げられた。特に KAERI は DUPIC 燃料サイクルを精力的に検討していた。

一方、C.K.Jo 氏 (韓国 KAIST) からは、フル MOX PWR の高燃焼度化に関する発表があった。燃料ピン間隔を固定し、中空燃料ペレットの空孔部にグラファイトを詰めて減速材対燃料体積比 (以下体積比) を高めている。燃料棒の細径化や燃料棒間隔の拡張による高減速化は燃料集合体製作や熱水力設計に若干の修正が迫られる。ところが、この設計案の利点は、従来の燃料集合体製作技術の他に熱水力設計も変更せずすみ、しかも燃料体積減少によるサイクル長の減少を高減速化により補償している点であり、合理的な設計案であった。

また、J.L.Kloosterman 氏 (オランダ Delft UT) から、軽水炉におけるプルトニウムリサイクルの妥当性を体積比をパラメータとして概略評価した発表があった。体積比が 3 以上の時は少なくとも 4 回のリサイクルが可能であるが、体積比が 2 の時は減速材ボイド係数の観点から 2 回が限度とのことである。

MOX 燃料炉心のベンチマーク問題とその解析について興味深い発表があった。今年 4 月に公刊されたベンチマーク (ORNL/TM-13567) の HELIOS コードによる照射燃料解析の発表が F.C.Difilippo 氏 (ORNL) から有った。特に、Am、Cm の個数密度の C/E 値はそれぞれ 0.4、0.2 とはまだ十分な精度は得られていない。本ベンチマークは、燃焼計算手法、核データの検証に適しているであろう。

MOX 燃料の臨界実験については 2 件の発表があった。S.Cathalau 氏 (CEA) は EOLE 装置による MISTRAL 計画の紹介を行った。K.V.Meer 氏 (ベルギー-SCK CEN) は VENUS 装置による兵器級プルトニウムの MOX 燃料を用いた臨界実験の提案を行った。

(4) 燃焼度クレジットに関する発表より

N.T.Jim Gulliford 氏 (AEA Technology) は、OECD/NEA で進められている燃焼度クレジットのタスクフォースの活動について紹介した。PWR 及び BWR 燃焼燃料の臨界計算及び組成を求める燃焼計算について、比較計算を実施している。対象としている核種は、アクチノイド 12 核種 (U-234, -235, -236, -238, Pu-238, -239, -240, -241, -242, Am-241, -243, Np-237)、FP15 核種 (Mo-95, Tc-99, Ru-101, Rh-103, Ag-109, Cs-133, Sm-147, -149, -150, -151, -152, Nd-143, Nd-145, Eu-153, Gd-155) である。余談ながら、発表の席上で、原研の奥野が担当している BWR の臨界計算及び燃焼計算の計算コード・核データ間の比較に関する報告書を早く作り上げるよう催促され、奥野は赤面の思いをした。

D.B.Lancaster 氏 (米国 TRW Environmental Safety Systems) は、米国の燃焼度クレジット採用の状況を紹介した。DOE が進めているアクチノイドの組成変化のみを取り入れた燃焼度クレジットでは、上記の 12 核種うちの U-236、Am-243、Np-237 を除く 9 核種のみを対象にしている。

奥野は原研における燃焼度クレジット研究の活動を紹介した。その中で、TCA で実施された FP 天然元素 (Sm, Eu, Nd, Cs, Gd, Rh) の反応度効果の実験結果及び実用燃料試験施設で実施された PWR 燃料の照射後試験のデータの解析結果を引用し、紹介した。

(5) 消滅処理、加速器、核破碎物理に関する発表より

加速器駆動型未臨界炉 (ADS または ADR) に関しては、H.Takahashi 氏 (BNL) と D.S.Kim 氏 (KAIST) より、それぞれ高速炉と熱中性子炉の燃焼計算の報告があった。

原研の高野は、OECD/NEA タスクフォースの消滅処理ベンチマーク問題の計算結果のサマリーを報告した。

消滅処理と直接関係は無いが、G.N.Kim 氏 (韓国 Pohang Accelerator Lab.) は、核

データ測定に供するために建設中の 100MeV 電子リニアックと Pohang Neutron Facility に関して報告した。韓国における核データ測定のためのインフラストラクチャー整備が目的であると強調していた。

核破砕物理については数件の発表があった。S.Leray 氏(CEA)は、Saclay の SATURNE 加速器の陽子ビーム (0.8、1.2、1.6GeV) を用いた鉛ターゲットと鉄ターゲットの核破砕実験について紹介した。

J.P.Deffain 氏 (CEA) は、核破砕中性子源を利用した多目的照射ベットの概念を提案した。この発表は、1.2GeV、33mA 陽子ビーム、鉛-ビスマス ターゲットシステムと PuO_2 及び UO_2 燃料構成配置により、高速中性子束 $6\text{E}15 \text{ n/cm}^2\text{s}$ 及び熱中性子束 $1\text{E}15 \text{ n/cm}^2\text{s}$ を同時に達成することから注目された。

(6) 高速炉に関する発表より

高速炉について数件の発表があった。ANL より EBR-II 炉の燃料集合体の照射後試験とその解析の報告が 2 件あった。(a)1 件は、R.D.Mcknight 氏によるドライバー集合体に関するもので、(b)他方は、K.N.Grimm 氏によるブランケット集合体に関するものであった。これまでに、EBR-II のドライバー集合体の試験は多く行われて来ており、(a)では C/E だけでなく実験データ (Pu/U 比と燃焼度) 間の相関をもとに、実験誤差の再評価も行おうという試みであった。いずれも、解析は ENDF/B-V.2 を用いて行われた。

CEA より MASURCA 装置を用いた CIRANO 実験の報告が 2 件あった。これは、フランスにおける高速炉を用いた余剰プルトニウム燃焼のための CAPRA 計画をサポートすることを目的とした実験である。(a)1 件は、P.Smith 氏による Degraded plutonium を燃料として用いた実験の報告であり、(b)他方は、G.Rimpault 氏によるプルトニウム富化度を高めた燃料を用いた実験の報告であった。(a)では燃料のプルトニウム同位体組成比を変化させ (Pu-240 : 8~35%)、 k_{eff} 、ゾーン置換反応度値等の測定と解析が行われた。(b)ではテストゾーンのプルトニウム富化度を変化させ (25~54%)、ゾーン置換反応度値、ナトリウムボイド反応度値、高次プルトニウム及びマイナーアクチニドの核分裂率比等の測定と解析が行われた。いずれも、解析は JEF2.2 と ERALIB1 (adjusted library) を用いて行われ、両者の間で解析結果の比較が行われた。

会議の 1 日目には昼食会と BNL へのテクニカルツアー、2 日目の夜にはマンハッタンへのバスツアー、3 日目の夜にはバンケットが催された。

3. その他

ニューヨークの空港（JFK）には多数の白タクシーが客引きをしていた。旅行ガイドブック等の予備知識が有りながらも、白タクに引っ掛かってしまうケースがあった。会場のホテルは、松林に囲まれた大変静かな環境の中に有り、レンタカーを借りていなかった筆者等は出歩くのが大変不便であった。冒頭にも述べた様に、本会議では 200 件余の発表が有り、proceeding は A4 版、2 分冊で、合計 1800 ページ、重さ約 5kg となった。次回の会議（PHYSOR 2000）は、合衆国のピッツバーグにおいて 2000 年の 5 月 7 日から 11 日の間に開催される予定になっている。

付録. 会議プログラム

セッション名の一覧のみ示す。1つのセッションは 3～4 件の論文発表からなる。セッションの番号は筆者が便宜上付けたものである。

10 月 5 日

(AM 8:00-10:00)

(プレナリセッション)

(PM 1:30-3:00)

1. PHYSICS OF MOX FUEL-II
2. MONTE CARLO METHODS-I
3. MEASUREMENT OF PROMPT AND DELAYED NEUTRONS
4. IMPROVED FUEL CYCLE
5. LATTICE PHYSICS METHODS-II

10 月 6 日

(AM 8:30-10:00)

1. COUPLED NEUTRON KINETICS AND THERMAL HYDRAULICS-I
2. PHYSICS OF MOX FUEL-IV
3. TRANSPORT METHODS-I
4. FISSION PRODUCTS
5. REACTOR ANALYSIS: APPLICATIONS-I

(AM 10:30-12:00)

1. PHYSICS OF MOX FUEL-I
2. BWR STABILITY ANALYSIS
3. NUCLEAR DATA LIBRARIES
4. FUEL CYCLE OPTIMIZATION
5. LATTICE PHYSICS METHODS-I

(PM 3:30-4:30)

1. PHYSICS OF MOX FUEL-III
2. MONTE CARLO METHODS-II
3. DELAYED NEUTRON MODELING
4. THORIUM CYCLE
5. LATTICE PHYSICS METHODS-III

(AM 10:30-12:00)

1. COUPLED NEUTRON KINETICS AND THERMAL HYDRAULICS-II
2. PHYSICS OF MOX FUEL-V
3. TRANSPORT METHODS-II
4. INDIVIDUAL NUCLIDE EVALUATIONS
5. REACTOR ANALYSIS: APPLICATIONS-II

(PM 1:30–3:00) 1.COUPLED NEUTRON KINETICS AND THERMAL HYDRAULICS-III 2.BURNUP CREDIT-I 3.REACTOR MEASUREMENTS AND INSTRUMENTATION AND CONTROL-I 4.FISSION CROSS SECTION AND HALF-LIVES 5.NUMERICAL METHODS-I	(PM 3:30–4:30) 1.RESEARCH AND TEST REACTORS 2.BURNUP CREDIT-II 3.REACTOR MEASUREMENTS AND INSTRUMENTATION AND CONTROL-II 4.NUCLEAR SYSTEMATICS 5.NUMERICAL METHODS-II
10 月 7 日 (AM 8:30–10:00) 1.REACTOR MEASUREMENTS AND INSTRUMENTATION AND CONTROL-III 2.REACTOR CODE SYSTEMS 3.TRANSPORT METHODS AND APPLICATIONS-I 4.NUCLEAR DATA -MISCELLANEOUS 5.BENCHMARKS AND CRITICAL EXPERIMENTS-I	(AM 10:30–12:00) 1.REACTOR MEASUREMENTS AND INSTRUMENTATION AND CONTROL-IV 2.NODAL METHODS-I 3.TRANSPORT METHODS AND APPLICATIONS-II 4.NEUTRON RESONANCE TREATMENT 5.BENCHMARKS AND CRITICAL EXPERIMENTS-II
(PM 1:30–3:00) 1.REACTOR PHYSICS STANDARDS 2.NODAL METHODS-II 3.SAFEGUARDS AND NONDESTRUCTIVE ASSAY-I 4.NUCLEAR DATA:MISCELLANEOUS TOPICS 5.GAMMA DECAY AND LIFE TIME OF EXCITED NUCLEI	(PM 3:30–4:30) 1.SPALLATION PHYSICS-I 2.NODAL METHODS-III 3.MISCELLANEOUS TOPICS 4.NUCLEAR DATA PROCESSING 5.BENCHMARK POSTER SESSION
10 月 8 日 (AM 8:30–10:00) 1.SPALLATION PHYSICS-II 2.BENCHMARKS AND CRITICAL EXPERIMENTS-III 3.SAFEGUARDS AND NONDESTRUCTIVE ASSAY-II 4.URANIUM-235 DATA AND ANALYSIS 5.COUPLED NEUTRONICS-THERMAL HYDRAULICS:METHODS AND APPLICATIONS	(AM 10:30–12:00) 1.ACCELERATOR APPLICATIONS 2.MEDICAL APPLICATIONS: BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY 3.DECAY HEAT AND ISOTOPIC DEPLETION 4.BORON DILUTION TRANSIENTS
(PM 1:30–3:00) 1.ACCELERATOR-DRIVEN REACTORS 2.BENCHMARKS AND CRITICAL EXPERIMENTS-IV 3.MEDECAL APPLICATIONS:DOSIMETRY AND NEUTRON APPLICATIONS 4.COUPLED NEUTRON KINETICS AND THERMAL HYDRAULICS-IV	(PM 3:30–4:30) 1.FAST REACTORS 2.NEW REACTOR CONCEPTS 3.MEDICAL APPLICATIONS: RADIOISOTOPES AND IMAGING 4.MEASUREMENTS OF NUCLEAR DATA