＜第 45 回　炉物理夏期セミナー　概要報告＞

炉 物 理 夏 期 セ ミ ナ ー 小 委 員 会
担当幹事　中島健、山本俊弘

1.　概要

第 45 回炉物理夏期セミナーを 2013 年 7 月 31～8 月 2 日の日程で、滋賀県高島市の琵琶湖湖畔にある白浜荘において開催しました。参加者は、講師の方々も含めて 59 名（うち学生 19 名）でした。

今回のセミナーでは、「核データと炉物理－断面積測定から実機解析への応用までー」をテーマとして、炉物理解析に不可欠な核データについて、測定、評価といった最上流側のプロセスから最終段階の実機解析の適用に至るまでの各過程について講義または演習を行いました（別紙１参照）。また、炉物理とは直接関係はしないものの、最新のトピックスとして原子力の安全規制の観点から原子力関係者にとって重大な関心のある「新規制基準」と「活断層」に関する講義も設けました。

核データのエンドユーザーである炉物理分野の関係者にとって、普段あまり学ぶ機会のない核データについて基礎から学べる今回のセミナーは、学生のみならず、すでに炉物理の最前線で働く人達にとっても大変貴重な機会であったと思います。関西で開催したこともあってか、関西近郊の学生に多く参加していただき、幅広い世代間のコミュニケーションが実現したと考えています。

2.　アンケート

講義内容については、「基礎から最近の研究まで様々なことが含まれていた。いろいろ勉強できて刺激になった。」等、好意的な意見が多かったと思います。テキストについては、論文形式のものとパワーポイントの形式ものが混在した形になっていましたが、どちらを希望するかの質問に対しては、特に偏った傾向は見られませんでした。　「開催場所は、高くてもよいのでもう少しよい所を」、「開催場所をもう少し考えてほしかった」といった意見もありました。

最後に、本セミナーの開催にあたり、ご多忙のなか講演を引き受けて下さり、テキスト作成と講義に多大のご尽力をいただいた講師の方々、並びに、本セミナーの開催に賛同頂き、ご協力頂いた企業の方々に深く感謝致します。

なお、テキストに掲載されていない講演時に使用した発表資料については、炉物理部会ホームページ上で公開しています。http://rpg.jaea.go.jp/else/rpd/seminar/index.html

別紙１：セミナー実施概要
別紙２：第 45 回炉物理部会夏期セミナー収支報告書
別紙３：講義要旨
別紙４：セミナー写真
別紙５：アンケート集計結果

以上

別紙 1

セミナー実施概要

テーマ：「炉物理と核データ　断面積測定から実機解析への応用まで」

7 月 31 日（水）

12：30～13：20　受付
13：20～13：30　開校式
（(独) 日本原子力研究開発機構　岡嶋 成晃　(炉物理部会長)）
13：30～14：50　講義 1：断面積測定について
（(独) 日本原子力研究開発機構　原田 秀郎）
14：50～15：00　休憩
15：00～16：20　講義 2：断面積評価と断面積共分散
（(独) 日本原子力研究開発機構　岩本 修）
16：20～16：30　休憩
16：30～17：50　講義 3：新規制基準で原子力発電所の安全確保　（大阪大学　山口 彰）
17：50～18：00　集合写真
19：00～21：00　懇親会

8 月 1 日（木）

9：00～10：20　講義 4：核データから炉物理への期待　（長岡技術科学大学　片倉 純一）
10：20～10：30　休憩
10：30～11：50　演習　：共分散データと実験の誤差評価（元京都大学　小林 捷平）
11：50～13：00　昼休み
13：00～14：20　講義 5：いまさら訊けない核分裂の話（近畿大学　大澤 孝明）
14：20～14：30　休憩
14：30～15：50　講義 6：核データ処理：評価済み核データから断面積ライブラリへ
（(独) 日本原子力研究開発機構　長家康展）
15：50～16：00　休憩
16：00～17：20　講義 7：核設計への応用：炉定数調整法
（(独) 日本原子力研究開発機構　石川 眞）
17：30～19：00　夕食
19：00～21：00　若手研究会

8 月 2 日（金）

9：00～10：20　講義 8：中性子吸収材エルビアを用いた濃縮度 5wt%を超える原子炉用燃料の開発（原子燃料工業（株）　山崎 正俊）
10：20～10：30　休憩
10：30～11：50　講義 9：変動地形学からみた“耐震設計上考慮すべき活断層”
（岡山大学　隈元 崇）
11：50～12：00　閉校式　（京都大学　中島 健　(副部会長)）

別紙２

第45回 炉物理部会夏期セミナー収支報告書

開催場所： 滋賀県高島市安曇川町下小川2300-1　白浜荘
開催期間： 平成25年7月31日～8月2日
参加人数： 60人（講師10人、事務補助1人含む）

単位：円

（１）収　入	消費税の取り扱い	予　算	実績 数　量	実績 単　価	実績 金　額	実績内訳 （部会で徴収）	実績内訳 （事務局に振込）
（14201） 参加費収入							
正会員	不課税		6	7,000	42,000	42,000	
部会員	不課税		21	5,000	105,000	105,000	
学生部会員	不課税		16	0	0	0	
学生非部会員	不課税		1	1,000	1,000	1,000	
非会員	課税		3	9,000	27,000	27,000	
学生非会員	課税		2	2,000	4,000	4,000	
シルバー会員	不課税				0	0	
参加費　計		1,400,000	49		179,000	179,000	0
（14201） 懇親会参加費収入							
一般	課税		28	5,000	140,000	140,000	
学生	課税		19	2,500	47,500	47,500	
懇親会参加費計		500,000	47		187,500	187,500	0
（14265） 見学会費収入	課税				0	0	0
（14241） 広告料収入	課税	0	6	30,000	180,000	180,000	0
（14361） テキスト売上収入	課税	320,000	16	3,000	48,000	48,000	0
（14371） 宿泊費収入							
2泊3日	課税		42	18,400	772,800	772,800	0
1泊2日	課税		7	9,200	64,400	64,400	0
宿泊費計		0			837,200	837,200	0
（14381） 昼食代収入	課税	0	49	1,000	49,000	49,000	0
（14561） 内部共催金収入	内部取引				0	0	0
（14691） 協賛金収入	特定収入(共通)				0	0	0
（14711） 賛助金収入	特定収入(共通)	0	1	30,000	30,000	30,000	0
（14721） 寄付金収入	特定収入(共通)				0	0	0
（14731） 受取利息収入	非課税				10	10	0
（14751） その他収入	課税				0	0	0
収入　小計		2,220,000			1,510,710	1,510,710	0

	(2) 支出	消費税の取り扱い	予　算	実績 数　量	実績 単　価	実績 金　額	実績内訳 (部会で支払)	実績内訳 (事務局で支払)
	(15021) 臨時雇賃金	不課税	0			0	0	0
	(15041) 会議費	課税	400,000			322,458	322,458	0
	会議室使用料					9,000	9,000	
	お茶代					0	0	
	弁当代			54	1,000	54,000	54,000	
	懇親会費					259,458	259,458	0
	(15051) 旅費交通費（実費）	課税	1,450,000			1,082,850	896,400	186,450
	国内旅費					186,450	0	186,450
	宿泊費					896,400	896,400	0
	(15061) 通信運搬費	課税	20,000			1,300	1,300	0
	通信費					350	350	0
	運搬費					950	950	0
	(15091) 消耗品費	課税	0			355	355	0
	(15111) 一般外注経費	課税	300,000			69,027	69,027	0
	(15115) 会場費	課税	0			0	0	0
	(15121) 出展費	課税	0			0	0	0
	(15131) 委託費	課税	0			0	0	0
	(15141) 賃借料	課税	0			0	0	0
	(15151) 保険料	非課税	0			0	0	0
	(15161) 諸謝金（含む源泉税）	不課税	0			0	0	0
	物品諸謝金		0			0	0	0
	金銭諸謝金		0			0	0	0
	(15171) 雑費	課税	50,000			1,890	1,890	0
	(15181) 支払負担金	不課税	0			0	0	0
	(15191) 助成金	不課税	0			0	0	0
	(15291) 内部共催金	内部取引	0			0	0	0
	支出　小計		2,220,000			1,477,880	1,291,430	186,450
	収 支 差 額					32,830		
収支差額内訳	セミナー残金	内部取引				26,264		
収支差額内訳	(15301) 本部繰入金	内部取引				6,566		
	支出　合計		2,220,000			1,510,710		

別紙３

講義要旨

講義１　「断面積測定について」

JAEA　原田 秀郎　氏

核データ開発の基盤技術である断面積測定について、主に原子炉を用いた放射化実験による熱中性子捕獲断面積測定法、加速器を用いた中性子飛行時間（TOF）法による中性子捕獲断面積測定法について講演いただいた。原子炉を用いた放射化実験では、反応率と断面積導出法について、Westcott factor の説明を交えながら丁寧に解説がなされた。また、崩壊ガンマ線の測定を例にとり、測定に伴う誤差要因や補正法が紹介された。加速器を用いた TOF 実験では、飛行時間と中性子エネルギーの関係から始まる測定原理、中性子共鳴パラメータの決定法について解説がなされた。更に、核データ測定に利用されている世界の加速器施設の現状が示され、大強度パルス中性子源 J-PARC/MLF/ANNRI を用いた最近の研究成果がトピックスとして紹介された。

講義２　「断面積評価と断面積共分散」

JAEA　岩本 修　氏

実験データや理論計算に基づき評価済み核データライブラリが作成されるまでの核データ評価の方法と断面積共分散について講演いただいた。核データ評価では、共鳴領域、非分離共鳴領域、連続領域における評価法が示され、核反応計算コード CCONE の計算で用いられる様々な理論計算モデル（光学モデル、チャンネル結合光学モデル、励起子モデル、Hauser-Feshbach 統計モデル）、レベル密度、ガンマ線強度関数について解説がなされた。核データ共分散では、共分散の定義から始まり、誤差伝搬、最小二乗法の適用について解説がなされた。特に測定データ間に相関がある場合の誤差は相関がない場合と比べて誤差が大きく異なるため、適切な相関を考慮することが必要であることが示された。JENDL-4.0 の MA 捕獲断面積の共分散評価の例として、Np-237 捕獲断面積と Th-232 捕獲断面積の共分散データが示された。最後に、誤差範囲で一致しない測定データの取り扱い、測定データ間の相関の取り扱い、モデルが含む誤差の評価などの共分散評価の問題点が紹介された。

講義３　「新規制基準で原子力発電所の安全確保」

大阪大学　山口　彰　氏

原子力規制委員会が策定した新規制基準について、その内容、策定経緯と新規制基準の安全確保の基本的考え方について講演いただいた。安全確保の究極の目的は、国民と環境の保護にある。従来の設計基準をさらに強化したうえで、重大事故基準、災害対策を新たに新設し、この三つの規制基準でもって安全確保の向上を図ることを企図している。規制基準と深層防護との関連でいえば、深層防護の前段の炉心損傷の発生防止が設計基準に、後段の影響緩和が重大事故基準にそれぞれ該当する。旧原子力安全委員会時代に定められた定量的安全目標（これは社会との約束事）とそれを達成するための性能目標がリスク管理上必要な指標となる。リスク管理と安全確保とを結びつけるものとして ALALA(As Low As Reasonably Achievable)の原則に従って最高水準の安全を目指すことが必要である。今後の安全対策は、プラント固有の特性を踏まえること、そして、

設計基準を超えた事象は不確かさが大きいので、重大事故対策はシビアアクシデントの不確かさに備えるものであることを踏まえて適切に判断する必要があることが示された。最後に新規制基準の論点と今後の検討課題が示された。

講義 4　「核データから炉物理への期待」

長岡技術科学大学　片倉　純一　氏

原子力利用技術と核物理の架け橋である核データに関して、主に炉物理ベンチマーク実験と核データ評価との関連について講演いただいた。核データの測定データベースと評価済核データの世界的な現状が説明された。同一の臨界実験や中性子減速の計算でも、元となる核データや処理の方法、モンテカルロ計算等の計算手法によって依然として有意な差が見られるのが現状である。核物理における核データの測定精度よりも、工学的な応用のほうがより高い精度が要求されているので、ベンチマークからのフィードバックが不可欠である。ベンチマークから核データへのフィードバックの例として、^{235}U や ^{157}Gd の捕獲断面積などがベンチマーク実験に基づいて再評価された例が示された。核データ精度向上は、評価側と利用側の共同作業であるので、利用側も核データに関心を持ち、評価側へ情報提供することの必要性が示された。

演習　「共分散データと実験の誤差評価」

元京都大学　小林 捷平　氏

断面積データをはじめとする実験データの誤差評価という理工学に不可欠の基本的事項を演習形式で学習した。核データ等の実験データを取得する際の実験誤差のもつ特性、取扱い、解析手法について、長さをゲージブロックで測定する際の実例を通して理解を深めることができる内容であった。特に、断面積の測定では、様々な物理量を積み上げて評価することになるので、各物理量間の共分散を考慮した誤差解析が必要になることが示された。最尤推定法のひとつとして、共分散を使った最小二乗法による中性子飛行時間分析でのエネルギー推定の実例、そして、推定値が測定値の最大と最小の範囲から外れるという Peelle's pertinent puzzle の問題が紹介された。測定誤差の情報は、実験者しか知りえない情報なので、論文等で公表する際には、誤差評価に必要な情報を提示することの重要性が示された。

講義 5　「いまさら訊けない核分裂の話」

近畿大学　大澤 孝明　氏

炉物理の分野では詳細まであまり意識することのない核分裂物理について講演いただいた。核分裂生成物の質量分布、核分裂に関するいくつかの基本モデル、即発中性子スペクトルのモデルなどが説明された。二つの核分裂片から出る中性子数やスペクトルの違い、核分裂中性子放出の非等方性といった精密な核分裂の議論は、核分裂というものを日常的に扱っていながら今回の講演であらためて意識させられた問題である。さらに遅発中性子について、遅発中性子発生メカニズム、遅発中性子収率と総和計算、遅発中性子スペクトル、遅発中性子の群（6 群、8 群、12 群）などについて説明がなされた。入射する中性子エネルギーが大きいときの遅発中性子先行核の「落ちこぼれ/成り上がり」モデルや、遅発中性子収率に共鳴構造が存在するために、遅発中性子のより詳細な評価には、収率のエネルギー依存性を考慮して、それを核データファイルにも取り込む必要性などが紹介された。

講義 6　「核データ処理 ： 評価済み核データから断面積ライブラリへ」

JAEA　長家　康展　氏

評価済み核データから SRAC、MVP といった核計算コードで使用される断面積ライブラリの作成方法について講演いただいた。まずは、ENDF-6 フォーマットの評価済み核データからデータを読み取る方法の説明がなされた。断面積のエネルギー間の内挿法、線形化、共鳴パラメータと断面積公式とから共鳴断面積を再構成する方法、0Ｋで評価された断面積を SIGMA1 カーネル拡張法でドップラー拡がりを考慮する方法などが示された。連続エネルギー断面積、多群断面積ごとに断面積ライブラリの作成方法が示された。核データ処理に関する最近の話題として、ENDF-6 に代わる新しいフォーマットが提案されていること、NJOY に代わる新しい国産の核データ処理コードの作成が原子力機構で計画されていることなどが紹介された。

講義 7　「核設計への応用：炉定数調整法」

JAEA　石川　眞　氏

JAEA 石川眞氏より、核データ使用の応用例として断面積調整法についての講義がなされた。講義では断面積調整を実施する理由や日本における高速炉統合炉定数開発の経緯について詳細に説明がなされた。続いて、何故、断面積調整を実施すれば核特性不確かさが減少するかについて理論式を用いた説明がなされた。また、エクセルを利用した非常にシンプルな体系における炉定数調整について実演がなされ、①核特性の C/E 値の改良に寄与するのは、その核特性に対する感度が大きく且つ、調整前の誤差が大きな核種･反応であること、②炉定数調整法が有効であるためには、実験･解析誤差が核データの共分散に起因する誤差よりも小さいこと、③炉定数調整法による核特性予測精度の向上は、核データの共分散が縮小するためであるが、その縮小度合いについては C/E 値は関係ないとの例が具体的に示された。

講義 8　「中性子吸収材エルビアを用いた濃縮度 5wt%を超える原子炉用燃料の開発」

原子燃料工業　山崎　正俊　氏

原子炉利用率の向上と高燃焼度化による使用済燃料の低減を実現するには、濃縮度 5%超のウラン燃料の導入が必要であるが、濃縮度 5%超と臨界安全上の両方の要求を満足する方法として近年提唱されている、エルビアを毒物として用いる燃料の概念について講演いただいた。エルビア入り燃料の核計算手法の検証として、京都大学の KUCA において臨界実験が行われ、既存の臨界安全性評価手法の妥当性が確認されている。濃縮度 5%と臨界安全上等価にするためのエルビア濃度の決定法がすでに確立されている。発電炉で使用した際のエルビアの導入効果の評価が行われているが、濃縮度 5-9%の範囲でエルビアクレジットにより発電コストの改善が確認されている。さらに今後の課題として、エルビア入り燃料の燃焼特性や燃焼燃料組成でのエルビアの核データの検証、エルビア濃度の検認方法、経済性の向上を図るための核設計の最適化、そして、必要とされている ^{167}Er だけの同位体分離方法、などが示された。

講義 9　「変動地形学からみた“耐震設計上考慮すべき活断層”」

岡山大学　隈元　崇　氏

原子力規制委員会が発足以降大きな話題となっている“耐震設計上考慮する活断層”について変動地形学の観点からの講演いただいた。炉物理分野の参加者にとっては、まったく素人の分野ではあるが、今後の原子力の利用において避けて通れない重大な関心のある分野である。現在の耐震設計審査指針に改訂されてから注目を集めている変動地形学という観点から、そもそも断層とは何なのか、変動地形学がいかにして断層判別しているのか、といった基本的な事項を簡易 3D 眼鏡なども使って説明いただいた。 “耐震設計上考慮する活断層”とされていなかった「湯ノ岳断層」が 2011 年 4 月に活動した例では、断層評価に関与した関係者の反省すべき点、今後の課題などが示された。後期更新世の活動性が明確に判断できない場合に、40 万年前以降まで遡って活動性を総合的に評価するとする原子力規制委員会の新たな方針は、首肯できるものがあるとの見解が示された。“耐震設計上考慮する活断層”とは、変動地形学からみた学際的なものよりもむしろ副断層、あるいは 2 次断層といったものまでを包括的に判断していく新たな視点が必要であるということ、断層研究者と実際に施設を扱う工学者との間に齟齬が見受けられるので「全体として高い安全性を有する」という本来の目的から互いに協力し合っていく必要がある、といった見解が示された。

別紙４

セミナー写真

（初日、全体記念写真）

（講義の様子）

（若手研究会の様子）

別紙５

アンケート集計結果

2013炉物理夏期セミナー　アンケート集計結果

				学生	社会人
（1）あなたは？　学生です　社会人です					
学生		17	43%		
社会人		23	58%		
（2）参加費・宿泊費と次回以降の開催場所・開催時期について					
参加費は？	高いと思う	2	5%	2	0
	適当だと思う	35	88%	12	23
	安いと思う	3	8%	3	0
宿泊費は？	高いと思う	5	13%	3	2
	適当だと思う	33	87%	14	19
	安いと思う	0	0%	0	0
開催場所は？	都会がいい	15	38%	4	11
	海のそばの地方がいい	13	33%	8	5
	山の中の地方がいい	11	28%	5	6
開催時期は？	8月上旬が適当	30	75%	12	18
	8月中旬が適当	2	5%	0	2
	8月下旬が適当	2	5%	1	1
	7月がいい	5	13%	3	2
	9月がいい	1	3%	1	0
（3）スケジュールについて					
講義時間は？	短いと思う	1	3%	0	1
	適当だと思う	36	92%	16	20
	長いと思う	2	5%	0	2
講義のコマ数は？	少ないと思う	2	5%	0	2
	適当だと思う	34	89%	16	18
	多いと思う	2	5%	0	2
（4）テキストについて					
どちらがよいか	論文形式	12	30%	7	5
	スライド割付	17	43%	5	12
	特にこだわらない	11	28%	5	6
モノクロ印刷でしたが	十分読みやすかった	11	28%	4	7
	見づらいところがあった	21	53%	10	11
	カラーの配布資料が必要	8	20%	3	5

2013炉物理夏期セミナー　アンケート集計結果

（5）今後、炉物理夏期セミナーで取り上げてもらいたいテーマは？
・ 熱水力、機械特性と炉物理とのかかわりなど
・ Sn法、モンテカルロ法や均質化といった計算手法の原理と今後
・ ADSについて取り上げて欲しい
・ 原子力の安全性について
・ 新型炉について
・ 計算手法、アプリケーション
・ 集合体、炉心
・ 臨界安全管理、福島事故対応の今後など
・ 解析、炉心設計における誤差評価、信頼性担保の現状
・ ボルツマン方程式の今～輸送と拡散
・ 海外と日本の炉心設計における違い
・ 教育
・ エネルギー安全保障と原子力の関係について、炉物理の歴史
・ Th炉、溶融塩炉etc.　新型炉の連中も引き込んでほしい
・ 福島関連
・ 計算科学、スパコン、並列化、量子コンピュータなど最前線について
・ 実機の炉心設計、計算コード及び実験の実機への適用
・ 実機解析に関する内容
・ 炉物理とプラント挙動の関係性
・ 実機解析の応用に、より焦点をあてたテーマ、核設計等
・ 計算コードにおける炉物理理論
・ ボルツマン方程式の基礎、臨界安全、未臨界性評価、取換炉心設計

2013炉物理夏期セミナー　アンケート集計結果

（6）そのほか感想を
・ 3日間非常に濃い時間を過ごせて大変勉強になりました。
・ 他大学の学生や先生などと交流ができて非常に有意義な3日間でした。
・ 興味深い内容が多くありました。ありがとうございます。
・ いろいろ勉強でき刺激になりました。基礎から最近の研究まで様々なことが含まれていたので、いろいろ知れました。
・ 学生としては難しい内容も多かったですが、最新のトピックスについて勉強できたことは有意義でした。
・ 学生が一つの部屋ということでしたが、自然と会話できる等、非常に良かった思うのでぜひ続けて欲しい。
・ 今回のセミナーを通して核データに関する理解を深めることができた。いつも“与えられたデータ”として使用していたが、この中にいろいろな歴史が詰まっていることが分かった。また断面積の不確かさの感覚をつかめた。
・ 3日間お世話になりました。ありがとうございました。
・ とても勉強になりました。
・ 今後も継続して下さい。
・ 3日間、特に不便な点もなく快適に過ごせました。
・ 学生時代の合宿のノリ、疲れるのは年くったからか？
・ 発表で用いられたスライドをWebで公開し、入手できるようにして欲しい。
・ 線の重なるような図はカラーのほうが見やすい。
・ 宿泊施設は高くても良いのでもう少し良い所が良いと思います。
・ 核データについては知らないことが多く難しい内容でしたが、その分勉強になりました。
・ 核データを解析に使っている側でしたが、解析で使うまでにどのような処理が行われているか知ることができて良かった。
・ 非常に勉強になりました。ありがとうございました。
・ 初めての参加でしたが、非常に活発なセミナーで貴重な体験ができました。
・ 核データに関して色々とお話を聞けたのは、大変有意義であった。
・ 開催場所はもう少し考えていただきたかった。