

## <第40回炉物理夏期セミナー報告>

### セミナー概要報告

夏期セミナー事務局

(株) グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン

第40回炉物理夏期セミナーが2008年8月4日から6日までの日程で、箱根小涌園ホテルコンベンションパレスで開催されました。参加者は、のべ75名(うち学生26名)となり盛況でした。幹事は、近年の炉物理部会運営担当機関の見直し(産学双方からの貢献)の流れを引き継ぐ形で、(株)グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパンが務めました。

今回のセミナーでは、「商業炉の運転・制御とさまざまな最適化」をテーマとし、PWR及びBWRの運転/制御から炉心設計とその最適化(燃料交換最適化を含む)について講義頂きました。また、トピックとして「出力向上の現状と未来」と題して世界的な実施状況の紹介と具体的な安全評価の講義、及び「実機炉心管理と炉物理」と題して炉物理教育のあり方、昨今の炉物理コード開発状況の紹介、今後の開発の方向性などについて講義頂きました。また、若手研究会、懇親会等を通じて関係者のコミュニケーションが深まりました。

参加者からのアンケート回答では、「大学では商業炉について勉強する機会が少なく勉強になった」「普段知る機会の少ないBWR(あるいはPWR)の運転、設計について参考になった。」「出力上昇について勉強になった」「炉物理教育の話は今後に期待する」など概ね好評な意見が寄せられました。一方で質疑応答時間の不足、食事の時の座席配置、スクリーンの大きさ等の指摘事項、来年以降のテーマに関する数々の貴重な意見が寄せられました。これらは整理して来年以降の幹事機関に引き継いで行きます。

セミナーが行われた小涌園は、関東有数の温泉地である箱根に位置し、旧三井家の別荘を引き継いだ美しい庭園を持つホテル、テーマパーク形式のユニークな温泉施設 ユネッサン等を有しています。あいにく雨が多く天候には恵まれたとは言えませんでした。セミナー前後あるいは休憩時間などリラックスして過ごせた事と思います。

最後に、十分なお礼が出来ないにも関わらず、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、熱心に準備、講義下さった講師の方々に心から感謝を申し上げます。また、快く財政的支援を頂いた賛助企業の方々、多数の学生の参加にご協力頂いた先生方に深く感謝致します。

## セミナー実施概要

日程： 2008年8月6日（月）～8月8日（水）

セミナー会場： 箱根ホテル小涌園 コンベンションパレス(会議場)

宿泊： B&Bパシオン箱根 （共に神奈川県足柄下郡箱根町二ノ平1297）

テーマ： 商業炉の運転・制御とさまざまな最適化

参加人数： 75名（内訳：講師9名、部会員20名、学会員4名、非会員16名、  
学生部会員18名、学生会員3名、学生非会員5名）

### ● セミナープログラム

1日目:8月4日(月)

- |             |   |
|-------------|---|
| 13:00       | 受付開始  |
| 13:40       | 開校式   |
| 14:00～15:00 | ①BWRの運転/制御 ～起動操作、パターン調整～<br>狩野 喜二 ((株)東芝)       |
| 15:20～16:20 | ②PWRの運転/制御 ～起動操作、Xe振動の抑制～<br>竹本 吉成 (日本原子力発電(株)) |
| 18:00～20:10 | 懇親会   |

2日目:8月5日(火)

- |             |  |
|-------------|--|
| 9:00～10:00  | ③BWRの取替炉心設計と最適化(取替炉心設計について)<br>木間 暁 ((株)GNF-J) |
| 10:10～11:10 | ③BWRの取替炉心設計と最適化(最適化について)<br>深尾 明弘((株)テプコシステムズ) |
| 14:30～15:30 | ④PWRの取替炉心設計と最適化(取替炉心設計について)<br>市田 裕和(三菱重工業(株)) |
| 15:40～16:40 | ④PWRの取替炉心設計と最適化(最適化について)<br>木本 達也(原子燃料工業(株))   |
| 16:50～17:50 | ⑤トピック1ー出力向上の現状と将来<br>吉川 和宏(日立GEニュークリア・エナジー(株)) |
| 18:00～19:00 | 夕食   |
| 19:00～21:00 | 若手研究会  |

3日目:8月6日(水)

- |             |   |
|-------------|---|
| 9:00～10:00  | ⑥燃料シャフリング手順の最適化について<br>木村 佳央 ((株)中電シーティーアイ) |
| 10:10～11:10 | ⑦トピック2ー 実機炉心管理と炉物理<br>山本 章夫 (名古屋大学)         |
| 11:10       | 閉校式   |

- 講義要旨

「①BWRの運転/制御 ～起動操作、パターン調整」狩野 喜二 ((株)東芝)

起動制御を理解する上で必要となる反応度と熱水力の基本についての説明、炉内核計装の説明、ABWRプラントの特徴であるN格子、FMCRD、RIP、自動化システムの説明、実際の起動実績の紹介などが行われた。

EOCにおける反応度余裕の設計値の具体的な量について質問があり、コーストダウン運転を許容すれば余裕ゼロでも実質問題は無く、最後まで定格出力を保つ必要がある場合でも0.2～0.3%  $\Delta k$  程度の余裕があれば十分である事、運転期間が延びる可能性がある場合には、反応度余裕を大きめに取っておく場合もあるとの回答があった。

「②PWRの運転/制御 ～起動操作、Xe振動の抑制～」竹本 吉成 (日本原子力発電(株))

炉心設備に関する説明からはじまり、プラント起動操作、零出力時炉物理検査など、基本的なPWRの運転・監視、Xe振動の抑制に関する説明があった。日本で唯一BWR/PWR両方を有する電力会社ならではの説明が特徴的であった。

軸方向の出力分布はBWRの方が気にするべきではないのかという 質問に対して、BWRは炉内の中性子束分布をリアルタイムに測定できる検出器を備えているため出力分布の監視を詳細に実施している一方、PWRではボイドもなく制御棒もほとんど全引き抜き状態であることから出力分布の変化が緩やかであるため炉外中性子束検出器による軸方向分布を監視すれば良いとの回答があった。

「③BWRの取替炉心設計と最適化(取替炉心設計について)」木間 暁 ((株)GNF-J)

炉心構造や(燃焼度・反応度など)用語の定義から、取替炉心設計で要求される様々な条件(炉停止余裕・最大線出力密度など)に至るまでの説明があった。また、取替炉心設計では、経済性や安全性、融通性などをバランスよく組み合わせる能力が必要であり、今後の長期サイクルや出力向上に際してそのような能力が益々要求されるだろうという話があった。

炉停止余裕の評価基準、利用コード等について質問があり、0.99以下の固有値を基準とし、設計コードを用いて計算しているとの回答があった。

「③BWRの取替炉心設計と最適化(最適化について)」深尾 明弘((株)テプコシステムズ)

炉心設計最適化とは、安全性と経済性を両立した「よい炉心」を探索する事と、具体的な設計について説明が行われた。昨今の最適化システムの性能向上は目覚しいが、良い結果を出すためには炉心設計者の技術力向上が引き続き重要であるとの説明があった。燃料配置、解析ツールを実際に操作してのデモがあり、受講生に炉心設計の難しさを実感する事が出来た。

炉心の対称性について質問があり、昨今は経済性の向上の為に自由度を高めるために1/8対称性はくずれており、1/4対称が多いこと。海外の小さな炉心では1/2対称での設計例もある事が紹介された。

「④PWRの取替炉心設計と最適化(取替炉心設計について)」市田 裕和(三菱重工業(株))

PWRの取替炉心設計についての講義が行われた。BWRの炉心設計と同様に、炉心設計の目的として、安全性、経済性、運転性が挙げられ、それぞれをどのような炉心特性で評価していくのかという説明があった。質疑応答にて、冷却材中にホウ素が存在するPWRでは、燃料にガドリニアなどの中性子吸収性物質が使われているのか？また、それはなぜなのか？との質問があった。これに対して、ホウ素のみで余剰反応度を抑制しようとする、どうしても水質の悪化が避けられないため、PWRでも燃料には中性子吸収性物質を入れているという回答があった。

「④PWRの取替炉心設計と最適化(最適化について)」木本 達也(原子燃料工業(株))

炉心設計の最適化のタイミングは複数あり、それぞれのタイミングで異なる条件、目的、アプローチで最適化を行っていることの説明があった。その上で、各フェーズにおける最適化の考え方と実現方法等が説明された。自動最適化システムはそれに頼るのではなく、うまく活用する事が大切であること、炉心の高度化に伴うさらなる研究開発が必要であるとまとめられた。

出力分担の最適化について、燃料の装荷パターンの影響をどう取り込んでいるのかという質問に対して、バッチ間出力分担の考え方は長期燃料運用計画を立てる段階で1点炉近似で行うとの回答があった。

「⑤ートピック1ー出力向上の現状と将来」吉川 和宏(日立GEニュークリア・エナジー(株))

米国や欧州での出力向上実施例の紹介や、そのための技術(測定精度改善・ストレッチ・設備拡張)の説明があった。さらに、出力向上の安全性評価において、影響を受けるパラメータやLOCA等の事故がおきた場合でも安全性は保たれるという検討結果が示された。

経済性についての質問では、「燃料経済性やプラント熱効率の低下」ならびに「初期投資」と、「発電電力量増加によるベネフィット」の関係だが、後者の方が大きいと見られるとの回答があった。

「⑥燃料シャフリング手順の最適化について」木村 佳央 ((株)中電シーティーアイ)

BWRにおいて、定期検査時の燃料体を炉内シャフリングする際に、どのような順序で行うかにより作業時間が大きく変化する可能性があり、そのためにシャフリング手順の最適化をどのように行うかという説明があった。最適化時にはダブルブレードガイド、装荷遅延燃料やロックセルなど様々な制約を考慮する必要がある。各手順において、未臨界性の確認方法について質問があり、3次元シミュレータにて確認しているとの回答であった。

「⑦ートピック2ー 実機炉心管理と炉物理」山本 章夫 (名古屋大学)

炉心管理技術者と学問としての炉物理研究の関わり方、炉物理教育のあり方など、炉心管理をとりまく現状の紹介と今後の方向性に対する見解が説明された。また、最新の

炉心解析コードの紹介があり、多数のコードが存在するが、方法論は収束しつつあるという説明があった。計算コードの設計・開発にもまた、適切な教育体系が必要であるという考えが示された。最後にモンテカルロ法を万能薬と見なすことのないように、という警鐘がなされた。質疑応答の場面で、学生の中にKUCAやKURで実際に原子炉の運転を経験する人が多くいることは素晴らしいことであり、社会人になってもそのような機会を与えられるようにすべきだという議論がなされた。

若手研究会：8月6日（火）19：00より開催された夏期セミナー若手研究会では、以下の発表があった。参加者は40名近くで、研究会終了後も宿泊施設で深夜まで議論、情報交換が継続された。

- ・ 「GPUの汎用開発環境 CUDA を用いた中性子輸送計算の高速化」小玉 泰寛（名大）
- ・ 「原子炉可視化ソフトウェアの研究開発」奥井 翔太（東工大）
- ・ 「サーメット燃料を用いた小型 PWR の検討」平山 聖（北大）

第40回炉物理夏期セミナー決算

単位：円

収入		備考
参加費	¥285,000	¥5,000×20(部会員)、¥7,000×4(学会員)、 ¥9,000×16(非会員)、¥1,000×3(学生会員)、 ¥2,000×5(学生非会員)、学生部会員18名は 無料、講師9名は無料。
宿泊、食事費	¥1,661,100	宿泊費¥774,200(一般¥6,500×76泊、シングル 確約¥7,550×4泊、学生¥5,000×50泊)、 懇親会¥448,000(一般¥7,500×37、学生・講師 ¥5,500×31)、 2日目昼食¥75,900(弁当¥1,200×32、レスト ラン¥2,500×15)、 2日目夕食¥363,000(¥5,500×66)
追加テキスト代	¥30,000	¥3,000×10
広告掲載料・賛助金	¥360,000	¥30,000(広告)×12
部会補助金	¥100,000	
雑収入	¥271	口座利息
収入合計	¥2,436,371	

単位：円

支出		備考
テキスト印刷費	¥297,675	150部
説明資料印刷費	¥7,308	80部
会場使用料	¥192,750	1日目¥52,500、2日目¥84,000、3日目¥52,500 現地配布物コピー代¥3,750
宿泊、食事費	¥1,842,474	宿泊費¥845,000、1日目夕食¥505,180、2日 目昼食¥75,900、2日目夕食¥396,594、旅行傷 害保険料¥19,800
若手研究会懇親会費	¥13,067	
雑費	¥14,750	運送費¥12,020、振込手数料¥2,730
部会収入へ	¥68,347	
支出合計	¥2,436,371	



<集合写真>



<講義風景>



<若手研究会>