

「炉物理部会」主催 第31回「炉物理夏期セミナー」の報告

1999年8月30日～9月1日 (東海大学山中湖セミナーハウス)

東海大学 阪元重康

本年度の炉物理夏期セミナーは、8月30日から9月1日までの日程で、山中湖畔の東海大学山中湖セミナーハウスにおいて開催された。

今年は、「高速炉の将来」と「工学的安全性」をメインテーマに、2件のトピックスを加えた10件の講演と若手研究会、討論会が行われた。以下にセミナーの概要を紹介する。

講演テーマとその概要

トピックス

「湯川・朝永とアインシュタイン」

武蔵工業大学：小沼通二 氏

中間子論の湯川、くりこみ理論の朝永、相対理論のアインシュタインという20世紀を代表する物理学者が、科学と社会についての思索を通じて、今日の核時代にどのような関わったか。また、マンハッタン計画の扉を開いた科学者の多くが、核兵器の廃絶と戦争の放棄に向けて積極的な活動を行ってきたことが、時代的背景と共に説明された。

さらに、現在の原子力平和利用が抱える危険な側面として、プルトニウム利用技術の普及と潜在的核保有国の増加、超長期にわたる放射性廃棄物の管理の問題などがあり、原子力の利用にあたっては、国家主権を超えた機関によるプルトニウムの管理、科学者/技術者が核兵器開発に携わらない強い決意を持つことなどが不可欠であるとの考えが述べられた。

「チェルノブイリの現状」

アイテル技術サービス：青木克忠 氏

「国際原子力安全交流派遣事業」の一環として、チェルノブイリの現状を視察した報告である。1、2号機は故障のため停止中であるが、2000年までに停止する予定の3号機は、電力不足を補うためフル出力で運転されている。

現在心配されているのは、4号炉による2次災害の発生、特に再臨界の可能性であるが、内部の状況が把握できず評価が困難である。昨年10月の会議での報告に共通するのは、“最悪のケースでは、臨界になる可能性を否定出来ないが、そのような事態に至る事はまず考えられない”という点である。現在「国際チェルノブイリセンター」を中心に欧米諸国との間で2国間協定の締結が進められており、これに日本が加

わり、安全が確認された状態での廃炉に向けた活動が行われている。と現状が報告された。

高速炉の将来

「高速炉の置かれている境界条件とブレークスルー」

電力中央研究所：平岡 徹 氏

もんじゅの事故により、わが国の高速炉開発は一気に流動的になった。高速増殖炉は重要な選択肢の一つとなっているが、将来の展望は明確でなく、高速炉開発は非常に厳しい状況にある。

ウラン資源、電力需要、現在稼働中の軽水炉の更新時期などから、2030年頃までに高速増殖炉の実用化を図る必要がある。開発に当たって、高速炉はあくまでも増殖性を重視すべきであり、同時に軽水炉と経済的に競合できなければならない。そのためには、革新的概念の導入が不可欠であり、高速炉に如何に魅力的概念をだし、燃料サイクルコストをどれだけ引き下げるか、炉物理屋の知恵が求められている。

わが国の原子力開発は、研究開発から実用段階への移行がことごとく失敗している。今後は、開発と実用化を一体化し、人=技術を含めて実用炉に継承する必要がある。

「Na 冷却炉の炉物理」

核燃料サイクル開発機構：若林利男 氏

高速炉は、核分裂断面積が小さいため Pu 富化度を上げられる。核分裂当たりの中性子発生数が多く、炉心からの漏洩中性子数を多く出来るので、この中性子を利用し、Pu の増殖/燃焼、MA の燃焼、FP の消滅等に適した炉心の構成が可能である。また Na を冷却材に使用する事により、高温のシステムが出来るので熱効率が向上する。

高速増殖炉の特徴は、高速エネルギー領域で η が急激に増加し、熱中性子炉では核分裂を起こさない Pu-240、Pu-242なども核分裂する。 η が2をどれだけ上回るかは増殖性の点から重要である。ナトリウムボイド反応度は、炉心部では正、周辺部では負となるが総合的には正となる。

現在、わが国に於いては、Pu を効率よく燃焼させる必要性が高まっており、Pu の燃焼効率を高める炉心、MA および長半減期 FP を消滅させるための高速炉の検討も行なわれている。

「Na 冷却炉の安全性」

核燃料サイクル開発機構：丹羽 元 氏

高速増殖炉の炉心には軽い原子核を持ち込まない事が重要である。開発の初期の段階で Hg、NaK が冷却材として使用されたが、その後は大部分の炉が Na を選択してい

る。Na 冷却 FBR の安全性の問題を要約すると、炉心損傷時の再臨界、Na 漏洩時の燃焼、Na-水反応である。

FBR の実用化に当たっては、再臨界問題の根本的解決が必要であり、炉心溶融の早い段階で溶融燃料が炉心外部に確実に流出する事を実証する必要がある。

Na の漏洩燃焼については、1 次系を窒素雰囲気あるいは2重管構造にする事が提案されている。2 次系の大規模な漏洩については、実験と解析が行われてきたが、「もんじゅ」の事故では想定外の課題が提起された。

SWAT-3 の実験から、2 次ループを持つ FBR においては、IHX の健全性が保たれる限り Na-水反応の影響が直接炉心に及ばない事が確認されているが、将来2次冷却系を削除したシステムの設計を行う場合には、貫通欠損が起らないか、起こった場合にもその影響が炉心に及ばない工夫が必要となる。

「Na 以外の冷却材を用いた高速炉」

日本原子力研究所：岡嶋成晃 氏

初めての高速実験炉 CLEMENTINE には、冷却材に Hg が用いられたが、その後建設された高速炉の殆どは Na 冷却炉である。しかし、Na の取り扱いの難しさとそれに伴う構造の複雑化などから、Na 以外の冷却材を検討する動きがある。鉛冷却は旧ソ連の潜水艦用に研究開発された Pb-Bi 冷却技術を基にしたもので、沸点が高く熱輸送量が大きく、水との反応が不活性などの利点がある。鉛は減速能が小さく吸収断面積も小さい事から、増殖特性が優れている。反面、高い余熱温度、重量が重いといった欠点がある。ガス冷却は FBR 開発の初期から検討されてきたが、高圧技術の困難さから中断されていた。現在検討されているのは、He 冷却が主で AGR,HTGR の技術に基づいている。He は化学的に不活性で、放射化も起らないため、蒸気発生器の製作が容易で中性子吸収と減速効果が小さいために、増殖特性が優れている。反面、密度が低いために高い圧力で使用する必要があり、ポンプ動力も液体金属冷却炉に比べて大きくなる。

「高速炉技術の確立に向けた展望」

富士電機：吉見宏孝 氏

平成7年12月の「もんじゅ」の2次系ナトリウム漏洩で、わが国の FBR 開発研究は停滞したが、海外における百数十件の事故がその後の技術開発の基礎になった事を考えれば、これを貴重な経験として前向きに捉えるべきである。

ロシアにおける40年近い高速炉開発の歴史では、1次、2次系合わせて60回以上のナトリウム漏洩があり、電力網に組み込まれている BN-600 では、27回のナトリウム漏洩を経験している。そうした中から、ロシアは独特の Na 取り扱い技術を取得しており、次期炉の NB-800 では、建設コストを軽水炉(NP-500)の1.15倍と評価

するに到った。

高速炉の開発は、単に軽水炉に代わるシステムとしてだけではなく、核燃料サイクル技術の確立という立場で臨む必要が有る。

工学的安全性

「確率論的安全評価法」

運輸省船舶技術研究所 松岡 猛 氏

安全評価の手法としては、決定論的方法と確率論的方法がある。完璧な工学システムが存在しない限り、何重にも設けられた防護系についても、多重故障を評価しなければならない。そのため確率的安全評価(PSA)という考えが導入された。PSAによれば、実際に事故を発生させる事なく、システムの問題箇所を摘出する事が可能となる。

原子力炉に対する PSA は、情報収集、システム解析、格納容器解析、環境への影響評価、外的事象解析という手順が踏まれる。システム信頼性解析手法としては、フォールト・ツリーが広く用いられてきたが近年様々な手法が提案されている。その中で GO-FLOW 法は、時間依存性の解析、動的システムの解析など優れた機能を持っている。

大規模システムでは信頼性向上のために、系を多重化し冗長性を持たせるが、こうしたシステムの信頼性解析では、共通原因故障の適切な取り扱いが重要であり、今後の一層の研究が望まれる。

「原子力システムの安全」

日本原子力研究所：秋元正幸 氏

原子力システムの安全性とは、ウランの採掘から放射性廃棄物の処分に至る各施設に起因する放射線被曝に関わるものである。個々の施設に着目した場合、施設の立地・設計から解体の各段階での安全を考える必要があり、共通した安全確保の考え方は、設計ベース事象や多重防護である。

現在原研で行われている安全性研究のうち、炉物理に関係の深い分野は、軽水炉の高経年化対策として、機器構造材の経年変化と信頼性の研究、燃料サイクルの安全性研究として、NUCEF による臨界安全性、過渡臨界時の燃料溶液の挙動などである。その他にも、放射性廃棄物の処理処分、環境放射線に関する安全性研究も行われている。

「軽水炉の安全性」

高度情報科学技術研究機構：藤城俊夫 氏

原子力施設では、トラブルや事故の教訓がその後の設計や運転に反映されるよう、安全性向上の研究や技術開発に多くの投資が行われており、軽水炉の安全性に関しては、既に技術基盤が整備されている。現在の安全性研究の課題は、軽水炉利用の高度

化に伴う高燃焼度化と MOX 燃料の利用に関わる安全評価に重点が置かれている。

高燃焼度化に伴ない燃料の健全性に関わる種々の問題が発生するが、反応度事故を模擬した実験から、高燃焼度燃料ほど破損のしきい値が低下する事が明らかになり、その結果は、安全審査にも反映されている。MOX 燃料についても、FP ガスの放出がウラン燃料に比べ大きい事が明らかになり、ガスプレナム体積を大きくするなど、結果が設計に反映されている。

若手研究会について

2日目の夕食後、若手研究会（研究発表及び自由討論）を行ない、参加者は18名であった。研究発表は2件で、修士課程2年生の東北大学・平沢善孝氏及び北海道大学・北野彰洋氏がそれぞれの研究テーマについて発表を行った。通常の学会発表と違って時間の制限が無いため、活発で多岐にわたる議論がなされた。

自由討論（炉物理の果たす役割）

若手参加者の炉物理に対する抱負が述べられ、炉物理に長く拘わっている参加者から、

- 1) 高速炉実現のために残された時間は少ない。実現に向けて、今こそ炉物理屋が頭を使うときだ。
- 2) 大きな目標を定め、その実現に向けて努力する事が大切だ。
- 3) 炉物理の原点は実験にある事を忘れないように。
- 4) 最近の炉物理は、あまりにも細かい点に気を奪われていないか。
- 5) 炉物理屋も昨今の原子力の閉塞状態を打開するための活動を行う必要がある。などの意見が出された。

セミナー収支報告書

(1999年12月2日)

収入の部

項目	金額	備考
セミナー関係		
参加費	153,000	内訳 部会正会員 6,000×12= 72,000 学生部会員 3,000×5= 15,000 学会正会員 8,000×2= 16,000 非会員 10,000×5= 50,000
協賛金	270,000	9件 30,000×9= 270,000
寄付金	30,000	2件
別売テキスト代金	6,090	会員2冊、非会員1冊 (含:送料)
預金利息	44	
小計	459,134	
宿泊食事関係		
宿泊費(63人・泊)	317,500	内訳 一般参加者 243,000 講師・補助学生分 74,500
昼食代(63食)	63,000	内訳 一般参加者 46,000 講師・補助学生分 17,000
懇親会参加費	57,000	
小計	437,500	
合計	896,634	

支出の部

項目	金額	備考
セミナー関係		
テキスト印刷費	120,000	
講師謝礼	100,000	
講師車馬料	75,000	
講師宿泊・昼食費	63,500	
学生部会員参加補助金	40,000	
補助学生宿泊・昼食費	28,000	
若手研究会費	6,531	
通信・輸送費	11,750	協賛企業へのテキスト送料を含む
現地調査交通費	3,440	
送金手数料	735	
その他	506	現地でのコピー(コイン式)使用、他
小計	449,462	
宿泊・食事関係		
宿泊費	317,500	
昼食代	60,847	
懇親会費用	62,212	
小計	440,559	
合計	893,080	

1999年度セミナー 余剰金 ¥6,613円