

# 炉物理の研究

(第 46 号)

1997年 6 月

巻頭言 .....	平川直弘	1
特集「これからの炉物理を考える」—シニア会員からのメッセージ— .....		3
<b>&lt;トピックス&gt;</b>		
1. NUCEF臨界実験研究会の報告 .....	三好慶典	31
2. 軽水炉によるPu燃焼のためのベンチマーク .....	高野秀機	48
<b>&lt;第29回炉物理夏期セミナー予告&gt;</b> .....	鬼柳善明	55
<b>&lt;委員会報告&gt;</b>		
1. 炉物理研究特別委員会「原子炉システム専門部会の活動」 .....	奥村啓介	57
2. 炉物理研究特別委員会「高エネルギー粒子工学専門部会の活動」 .....	池田裕二郎	59
3. 「消滅処理工学」研究専門委員会 .....	若林利男	61
4. 「遮蔽設計法高度化」研究専門委員会 .....	中村尚司	63
5. 「原子力と先端技術」研究専門委員会 .....	山根義宏	64
6. 平成8年度「学生・若手小委員会」の活動報告 .....	安藤真樹	66
<b>&lt;研究室だより&gt;</b>		
1. 北海道大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻 .....	成田正邦	68
2. 東京工業大学原子炉工学研究所 関本研究室 .....	関本 博	70
3. 京都大学大学院エネルギー科学研究科 エネルギー基礎科学専攻 代谷研究室 .....	代谷誠治	72
4. 動燃大洗工学センター 基盤技術開発部炉心技術開発室 .....	若林利男	75
5. 電子技術総合研究所 .....	工藤勝久、武田直人	77
6. (株)東芝 原子力技術研究所原子炉技術担当 .....	三橋偉司	79
7. (株)日立製作所 電力・電機開発本部 原子力第1部炉心システムグループ .....	瑞慶覧 篤	81
<b>☆事務局だより</b>		
第28回炉物理夏期セミナー会計報告 .....	若林利男	83
平成9年度炉物理部会運営委員一覧 .....		84
運営委員会からのお願い .....		84
編集後記 .....		85
炉物理部会平成8年度収支報告 .....		86
☆「炉物理部会」規約 .....		87
☆部会員名簿 .....		90



(社)日本原子力学会  
炉物理部会

## 巻 頭 言

東北大学工学研究科量子エネルギー工学専攻  
平川 直弘

技術革新の時代であるが、特に計算機や通信環境の変化には目を見張るものがある。炉物理の分野では1昔前には夢としか思えなかった計算が日常的にできるようになり、球形の原子炉が存在しないからには、1次元の拡散計算はむしろ特別の場合となり、数年前までは反応率の計算には適当でない、と云われていたモンテカルロ計算も反応率の標準解を与えるものとして多用されるようになってきた。その意味で計算に関する炉物理は全く変わってしまったとも云っても良いし、逆に云えば数年前のところに止まっていることが許されず、常にup to dateしていかなければならない立場に置かれているとも言える。

翻って炉物理実験について考えてみると、KUCAの大学院生実験で毎年同じことをしているためか、20年前から何が変わったかと問われると残念ながら答えに窮する。これは電気を大量に起こす最善の手段が、磁場のなかで導体を回転させることであるのと同様に、本質的に変り得ないのかも知れない。つまり、元来临界の決定はゼロメソッドであるから、臨界状態の決定は、計測法が如何に進歩しても、FCAで微小反応度の計測に用いられている、自動制御をかけて制御棒の位置の変化の平均を求めるより良い方法はないのかも知れないし、温度係数が $10^{-5} \Delta k/k/^\circ\text{C}$ であるとすれば、環境の温度制御をこれより遙かに良くたとえば $0.1^\circ\text{C}$ 位にしなくては $10^{-5} \Delta k/k$ の変化を捕らえることは難しい。しかし大きな装置の温度を $0.1^\circ\text{C}$ に制御することは不可能でないにしても費用がかかりすぎる。ペリオド測定は下は計数の統計誤差、上は温度フィードバックで制限されるからある狭い範囲でしか測定できないので、高い計数率まで測定できる計測器があったとしても宝の持ち腐れとなる。原子炉中の即発中性子の平均寿命がマイクロ秒より長くは、折角のナノ秒計測の技術も役に立たない。一方、反応率を測定するには、その場測定ということに目をつむりさえすれば、放射化箔以上に位置分解能が良く、外部に与える摂動が小さくかつ線に感じないものはないし、生成した放射能の測定にしても、放射化された物質からでてくる放射線を直接計測する以上に感度の高いものはない。しかし、正確さの点で開腹手術に遙かに及ばないCTスキャンが新技術としてもはやされているのでのも事実である。

もしかすると、我々が、新しく開発されつつある技術について十分な知識を持たないために、それらを取入れることができていないのかも知れない。あるいは計算機の進歩によって、かつては不可能として放棄された技術で蘇るものがあるかも知れない。そのような目で一度原子核物理等他分野で最近開発された技術の応用の可能性を考えてみる必要があるではなからうか。(1997年4月1日記)

## 特集 これからの炉物理を考える —シニア会員からのメッセージ—

これまで部会報「炉物理の研究」では、第43号(1994年3月発行)で「今、炉物理の若手は」として若手(35才以下)の考え方について、また、第44号(1995年6月発行)で「これからの炉物理」として40代を中心とした炉物理への主張・意見について特集がありました。そこで、本号では特集「これからの炉物理を考える」として、シニアの方々(いろいろとご意見はあるかと存じますが、今回は60才以上の方々とさせていただきます)から20~40代の人々へのメッセージを企画いたしました。シニアの方々にこれまでの経験から或いは20~40代の頃を振り返って戴き、現20~40代の人々への今後の炉物理への刺激となる熱いメッセージを賜るべくお願い致しました。

「原子力全体が冬の時代を迎えつつある」という声も、耳にしない訳ではありません。そのような折にこそ、本メッセージが今後の炉物理への熱き刺激となり、炉物理再考(再興?)のきっかけになればと暗に期待した次第です。

年度末のご多忙の中、鋭意執筆ご協力下さったのは、下記の11名の方々です。紙面を借りて御礼申し上げます。

(編集委員)

### <執筆一覧(敬称略)> (掲載は五十音順)

朝岡 卓見	「炉物理」は貴君等の肩に
大塚 益比古	これからの炉物理を考える
桂木 學	原子力の未来と炉物理の活性化について
金子 義彦	炉物理の21世紀
後藤 頼男	閃きに期待する
小林 啓祐	これからの炉物理を考える
清水 彰直	これからの炉物理を考える
嶋田 昭一郎	炉心設計と炉物理
杉 暉夫	21世紀へ向けての原子力
住田 健二	「中性子工学」という立場から
芳賀 暢	自然循環型BWRの経済性と安全性への思い

## 「炉物理」は貴君等の肩に

東海大学工学部原子力工学科 朝岡卓見

炉物理部会報43号の ” 「炉物理」という名の工学” , 44号の ” 「これからの炉物理」について一言” 等を, もう一度読みなおし, それぞれもっともなことを言われていると感じ入っている.

もともと原子炉は, 物理屋が中心になって成功をもたらしたわけで, 量子力学と相対論からスタートして, 20世紀にけんらんたる花を咲かせた物理学にちなんで, Reactor Physics, すなわち炉物理という言葉が生れたのではないかと思われる. しかし20年前からは, 例えば電気では, コンピュータの誕生に伴い物理学不要論が唱えられるなど, 物理学が「キング・オブ・サイエンス」の時代は終りつつあるとも言われている. また従来, 宇宙物理, 地球物理, 生物物理等, 多くの物理学の分野が育てられてきたが, 最近の流れは, 物理的な考え方に立つ広範な科学の総合化へ向っているとも言われている.

原子炉物理も, これらと同じ流れの中にあると考えられ, 現在は原子炉物理学の発展した形として, 物理学的な考え方に立つ Nuclear Engineering になっているのではないだろうか. 名前だけを議論しても仕方がないわけであるが, この50年間の進展にもかかわらず, 原子力エネルギーの開発利用が, まだ社会に完全には受け入れられていないことについて, 「炉物理屋」は無罪放免といえるのだろうか.

第44号の「これからの炉物理」にも, 今後の炉物理の発展方向がいろいろ提案されており, 主要なテーマは大体網羅されていると思われる. これらについて, 中堅, 若手の方々がそれぞれ熟慮され, 「炉物理」という名前が適切でなければ変えてもよいと思うが, とにかくこの輝かしい原子力エネルギー開発利用の歴史の中の1時代を引張って行っていただきたいと望むものである.

我々が若手であった40年前と異なり, 現在は文献とか教科書が数多く存在している. 貴君等には, これらを踏まえた上で, 世界の原子力のリード役を担うような仕事をしていくことが期待されているわけで, 大変なこととは思いますが, だからこそやりがいがあるとも言えよう. 皆様の御活躍を祈っております.

これからの炉物理を考える

大塚益比古

編集委員の岡嶋さんから思いがけず難しい注文をいただきました。

私は来年シルバー会員になります。原子力学会誌、欧文誌、「炉物理の研究」は送られてくるものの、正直なところほとんど目を通しておりませんし、したがって若手や壮年の方々が炉物理について書かれた最近の特集も読んでおりません。そんな人間が特集「これからの炉物理を考える」に寄稿せよといわれてもお役に立つ話にはできそうにありません。

最近の私は、昨年末で勤めを終えたあと、放射線防護と放射線影響の科学者が協働して放射線防護の基礎的な課題に取り組むための組織のお世話を始めたところですが、それとは別に、核廃絶のための小さな学習会に参加しています。

私が核廃絶に関心をもつ直接の動機は、これまでわが国の原子力研究開発利用は平和目的に限るということで、原子力基本法に守られて進められてきましたが、世界の核兵器廃絶の動きがもっと進まない限り、平和利用に対する大きな社会的制約は避けられそうにないことがはっきりしてきたからです。ほとんど一生を原子力とともに過ごしてきた人間の一人として、この仕事は人任せにはできないという思いがあります。

ここで炉物理に関する自分の過去を振り返ると、旧制の大学院学生の折りにグラストン・エドランドの原子炉理論を翻訳する機会に恵まれましたが、これが、私わが国の原子力界に貢献できた唯一のものだったように思います。

その後、わが国で最初に原子力発電を手がけようとした準国営電力会社に就職しましたが、計画が挫折したため、しばらく原研に滞在し、故斎藤慶一氏との共同研究で3次元空間での原子炉雑音の基礎方程式を導いて一時世に認められました。けれども、炉雑音を診断の手段に使いたいような高出力の原子炉では、連鎖反応固有のゆらぎよりも、流体や機械的原因による雑音の方が議論の中心になります。

同じく原研滞在中に、故野沢豊吉氏の主宰する勉強会に参加したお陰で、最も一般的な形のインポートンス理論を思いつきましたが、すでにソ連で発表されていたことを知って論文にしませんでした（それでも残念なので、その後、炉物理の本（共立出版）を書く機会があった折りに書いておきましたが。）その理論形式はとてもきれいなものですが、今日までその実用性を見い出すことができず、また他の分野への応用も思いつきませんでした。

ご存じのように、原子炉理論に関しては、戦時中、ウィグナーやフェルミといった世界一流の物理学者が集まって精力的に取り組んだために、戦後十年以上もたってわが国の原

原子力研究開発が始まった頃には目ぼしい問題はあらかじめ片付けられておりました。それでも私の場合は、まだ良き時代の名残りだったということができましよう。

私は率直に言って、炉理論を含む炉物理という分野がそれほど広くて深いものとは思っておりません。例えば、この分野でこれまで功績のあった、主に海外の学者を思い起こしてみれば、炉理論や炉物理の世界でだけ有名だったという人は稀で、むしろ他のいろいろな分野でさらに有名だった人の方が多いように思います。

炉物理は、原子力工学あるいは原子炉工学のいくつかの分野の科学技術者にとっては、ぜひとも履修しておきたい科目には違いありませんが、今後、炉物理自体を研究する研究室はほとんど成り立たないのではないのでしょうか。少し極端な例をあげると、一般に理工系の研究者は、学生時代に古典力学を習いますが、古典力学を主な研究対象とする研究室は存在しないのではないのでしょうか。

炉物理を研究対象とせず、それを使って働くということは可能です。とくに新しい炉型が次々と提案され開発されるような時代であれば、働き甲斐があるというものでしょう。しかしそのときでも、原子炉設計のなかの炉心設計に話を限っても、炉物理の知識だけではまともな仕事はできかねます。またコンピュータによる新しい計算技法やシミュレーション手法を身につけることも必要でしょう。

始めに申しましたが、いま私は核廃絶問題に私なりに取り組んでいるのですが、例えばアメリカが一度計画して断念したかにみえるハイドロ・ニュークリア・テストの規模の下限値がTNT火薬約4ポンド相当などと聞かされると、半定量的でもよいから一応の検討をして納得したいと考えるものの、高性能火薬のことや衝撃波のことなどまるで無知なために仕事が進みません。

テーマは異なりますが、以前から自分の不勉強を意識してきた問題として、GA社の開発したTRIGA型炉（原研のNSRR炉もその一つ）はとても大きな負の反応度出力係数をもっており、それはジルコニウム・ハイドライドのせいだということまでは承知しているものの、それが理論計算だけでどこまで算定できるものか、固体物理学の知識がないために手がつけられないでいます。

また、原子炉にかかわっていると原子炉安全に関心が向くのは自然の成り行きと思いますが、もし原子炉安全の専門家を目指すのであれば、安全は事故に学ぶという私の哲学からいって、実際に起こった原子炉事故を分析できる腕前が必要です。原子炉事故の起こる

頻度は高くありませんから、国内の事例だけでは不十分で、海外の原子炉事故にもしっかりと取り組む必要があります。

チェルノブイリ事故では、異常な出力暴走はポジティブ・スクラム（制御棒の仕組みが悪かったために、挿入時に一時的に反応度が増加する現象）のせいだといわれたことがありましたが、その後の分析をみていると、それだけでは説明がつきかねています。そうなるともう炉物理の知識だけではどうにもなりません。

欧米では学部と大学院で別の科目を専攻する学生が珍しくないことは以前から知られていますが、何事によらず欧米の真似をすることの好きなわが国で、それだけは一私自身も含めて—どうして真似ないのだろうというのが私の長年の不思議でした。

最近になってようやくその答えがみつかったような気がしているのですが、それは、わが国の社会ではたいていの分野で護送船団方式がとられており、学界までがその例外ではないところに本当の原因があったのではないかと思っています。

しかしその慣習はいま崩れようとしています。若い炉物理の研究者は、炉物理の将来を思いわずらう前に、自分はどんな仕事をしたいのか、どういう人間になりたいのかを自らに問うことから始められることをお勧めしたいと思います。

こんなことで少しはお役に立ちましたでしょうか？

## 原子力の未来と炉物理の活性化について

㈱総合技術情報機構 桂木 學

katuragi@itiro.co.jp

### I. まえがき

筆者が原子炉の炉物理特性解析及び解析用のソフトウェアシステム開発に関わるようになってから、40年が経った。最初のころ、我が国には臨界実験装置は勿論解析用のソフトウェアも皆無の状態であつた。20年以上の開きがあつたと思う。筆者と同世代の方々の夜を日に継いでの努力により、1970年代には、ほとんど欧米に追いつき、肩を並べることができたと思う。それ以来今日まで、我が国は、炉物理の分野で先進グループの中に位置づけられるだけの実績をあげているように思う。

この間に、炉物理分野の主な対象の一つであつた、高速増殖炉の開発は、主として経済性の理由から、スローダウンされ、欧米では早くからやめたに等しい状態にある。さらに、「もんじゅ」の事故は、我が国での高速増殖炉の開発を遅らせ、今後の展開を一層困難にするものと思われる。従来、炉物理の活動が活発であつたのは、開発すべき原子炉システムが世界的なものとして実在し、多くの参加を得ることができたためであつたように思う。

炉物理分野の活動は、我が国では決して低調ではないようである。最近、新しい原子炉の概念についての活動が国際的な連携を持って行われているのは、結構なことであると思う。一方で、活動のハブ(車軸)ともいうべき開発計画がない状態を見ると、第一線からはるかに遠ざかった筆者には、いまや炉物理の活動がどれだけの国内的、国際的広がりを持って行われているのだろうかと心配である。

Social Institutions and Nuclear Energy- II, J.Nucl.Sci.andTech.,32(11),pp.1071~1080 (November 1995) または「社会制度と原子力(その2)」J.JAES,38(1),pp.3~10(1996)のなかで、A.M.Weinberg氏は、長期的な流れでは原子力の利用を続け、さらに拡大することが絶対に必要であるという。その主な理由として、人口増加、特に、中国とインド、これに伴うエネルギー需要の増大を挙げている。続けて、究極の理由として、二酸化炭素の増大を挙げている。しかし一般に、あまり切迫感を持って受け取られていないようである。

### II. わが国とエネルギー・環境問題

地球環境問題は、現実の問題となつてきている。「IPCC第2次評価報告書 IPCC(1995)」では、「人間活動の影響により、地球の温暖化が既に起こりつつあることを示す相当数の証拠がある。温暖化を防止するための方策を実施しなければ、2100年には約2℃の地球平均気温の上昇、約50cmの海面水位の上昇が予測される。」と報告している。1996年7月開催された「気候変動枠組み条約」第二回締約国会議では、IPCC(1995)の報告を高く評価し、2000年以降の具体的措置について、1997年第三回締約国会議までに検討を終えることを定めたマンデートの実施を約した閣僚宣言が出されている。3月中旬の米国副大統領の来日もこのことに関連している。

大気中の温室効果ガスの約60%は二酸化炭素であり、その約80%が、化石燃料の燃焼に起因している。二酸化炭素は、一旦排出されると何百年という長期にわたって大気中に滞留する。二酸化炭素を炭酸塩等の形に固定することは至難の技であり、たとえできるとしても大変なエネルギーが必要であろう。大気中の二酸化炭素量を、産業革命以前(1800年)の水準に戻すことが理想的な対策であるが、とりあえずの対策として、2000年までには大気中の排出量を1990年の水準以下にすることを目標として、努力するこ



とになっている。今の見通しでは、米国と日本は目標を達成できそうにない。二酸化炭素税などが現実のものとなるのかもしれない。

地球環境問題のもう一つに、SOXとNOXの排出に起因する酸性雨の問題がある。広大なアメリカに住む Weinberg 氏は、この問題を局地的なものとして、認識しているかも知れない。これらの酸化物も、化石燃料の燃焼によって発生する。ヨーロッパでは早くから国境を越えた問題との認識があり、「長距離越境大気汚染条約」(ウィーン条約)が、1983年3月に発効し、硫黄酸化物についてはヘルシンキ議定書により、窒素酸化物については、ソフィア議定書により排出の削減と凍結を25カ国が合意している。北米では、米国とカナダは、酸性雨被害の拡大防止のための大気保全の二国間協定に1991年3月調印した。我が国では、環境庁が、1983年から「酸性雨対策調査」を実施している。我が国では、SOXとNOXの排出について厳しい規制が実施されているため、これまでのところ酸性雨による生態系などへの影響は明らかではない。しかし、ようやく、この問題が国境を越えた広域の問題であると認識し、東アジアでの国際的取り組みを進め始めた。1993年10月の「東アジア酸性雨モニタリングネットワークに関する専門家会合」では、東アジアの多くの国で酸性雨が観測されており、経済発展、エネルギー事情等から今後、酸性雨が将来重大な問題となる恐れがあるとの共通の認識が得られ、対応策の検討が始まりつつあるという。

IPCCの推計によれば、日本を含む東アジアの2025年の一次エネルギー消費量は1990年の消費量の約3.2倍、世界のエネルギー消費に占める割合も36%(23%、1990年)に拡大するとしている。燃料別では、化石燃料が圧倒的で、なかでも石炭消費量が最も増加すると見込まれている。中国大陸奥地から偏西風に乗って極東地域に降ってくる細かい砂は、黄砂として知られている。現在、確たる証拠はないけれども、恐らくSOX、NOXも、同じように、国境を越えて極東地域に降ってくる。

### Ⅲ. 東アジアと原子力エネルギー

これに対処するために、Weinberg氏は、21世紀半ば頃までに、大型の原子炉を5000基(W.Haefele教授の2500基に異を唱えて)必要であるといっている。(核融合はその産業への波及効果は別として、エネルギー生産システムとしては、まだ夢であるに違いない)この際、2500か5000という数は問題でない。旧ソ連のチェルノブイリ事故は、原子炉のカタストロフィックな事故が国境を越えた地球環境問題の一つであることを露にした。何百基か何千基かは分からないが、相当数を東アジア海岸や奥地に建設しなければならない。原子力平和利用の基盤となる経済・社会的インフラストラクチャーの無い、原子力安全文化の未発達場所に多くの原子炉を建設することにならないであろうか。放射性物質の大気中・海洋中への排出という、SOX、NOXをはるかに越える地球環境問題が起こらないとは保証できない。

二酸化炭素やNOX、SOXの排出抑制での国際協力と化石燃料に代替するエネルギーとしての原子力の利用拡大に関する他国間協力は取り組みの姿勢の異なる問題である。例えば、二酸化炭素の排出は我が国の例で見ると、産業部門から40.7%、運輸部門から19.4%、民生家庭部門から12.6%、民生業務部門から10.7%、エネルギー転換部門から7.7%となっている。したがって大気汚染物質の排出抑制への対応は、政府が実施する民間の活動の規制を他国間の協力によって行うとか、ODAなどを利用した技術協力をするという問題である。原子力の利用拡大は単なる工学的システムの問題でなく、社会・経済システムの問題で、深く政府の関与する問題であるから、大気汚染問題のような取り組みでは解決されない問題を含んでいるように思う。過度の助言は内政干渉になろうし、下手な技術援助は責任問題に発展しかねない。この問題は均一の原子力安全文化を持つ国々からなるヨーロッパや北米と異なって、殆ど東アジアのこの地域固有の問題である。われわれは成り行きを見るしか方法が無いのであろうか。

Weinberg氏は、この問題を解決する方法として、大型の受動安全炉の実証炉開発計画を進めるよう提案している。残念ながら、この計画の芯になる原子炉は、第一原子力時代の遺物にすぎない、古い酒を新しい革袋に容れたようなもので、一般の共感を呼ばないのであろう。

#### IV. 炉物理の課題

前置きが長くなったが、将来を考える時、われわれは最善の原子炉を選択したのであろうかと心配である。確かに、今の軽水炉は安全に関して十分な実績を持っている。高速増殖炉も然りである。これまで多くの媒質の組み合わせについて、多くの解析が行われて、現在の選択に優るものはないと思われる。しかし、これはあくまでも静特性の解析から得られた結論、乃至はそれから得られたパラメータを用いた近似的解析（近似していると信じている）の結果であり、真理であると断言できない。筆者は定数系の開発をし、解析システムの開発をしてきたが、このような場合に使える定数系にも解析プログラムにも手をつけていない。トランジェント状態の原子炉の解析については、定数問題を別にしても、板状一次元の場合以外は正確な取り扱いはない。トランジェントの問題はしばらく置くとしても、大きなボイド空間のあるような配位について異方性の強い中性子輸送を扱うような定数系を用意はしていないのである。同じように、制御棒による異方性を取り入れた解析用の定数も用意されてはいない。それにも拘わらず実用の炉が安全に運転できるのは、実験で得られたデータに信頼が置けるからである。

軽水型原子炉をとるならば究極の受動安全という概念は、熱水力という機械力に頼る受動安全炉に到達するのかもしれない。しかし高速増殖炉では、まだ選択の余地があるのではなかろうか、実は現在の設計が思ったよりも安全であり、棄てた中にもよいものがあるかも知れない。そして、安全のための重装備を取り除いて、もっとよい性能を持たせる余裕のある設計を採用できるのかもしれない。どうやってこの事を実証すればよいであろうか。一挙にこの目的を達成することは困難と思われる。1960年代、米国にTREATという安全性研究炉計画があった。当時、高速増殖炉燃料開発用の照射炉が安全性に優先するという主張が勝って、この計画は実現しなかった。幸い、我が国には「NUCEF」の中に臨界超過時の炉物理実験装置「TRACY」がある。とりあえずは、この装置を用いて適切な配位についてトランジェント時の炉物理特性を代表する物理量を同定し、その測定をし、トランジェント時の炉特性変化を記述する輸送方程式の解法を確立することである。

高速増殖炉については、「常陽」や「もんじゅ」を活用することができればよいデータを得ることができであろう。まず、常陽をサブクリティカルな状態で、加速器や中性子源を付加して運転し、媒質の種々の状態変動時の炉特性の変化を測定する。その際、うまく熱水力特性が模擬できればこれに超したことはない。また、炉特性の静定の機構まで分かれば一層よい。これに「TRACY」で得られた解析のモデル手法を適用し結論を確度の高いものとして、広範囲な解析に応用する。

恐らくこの段階までに、オールジャパンで、それぞれ分業しつつ努力しても、10年を費やすであろう。しかし、2020年頃までには間に合うのではなかろうか。

もう一つ炉物理の活動を活性化する方策を講じていく必要がある。Virtual Energy System Research Institute とでも呼ぶINTERNETを利用した仮想的な研究所を考えてみてはと思う。近年、一つのことを突き詰めて議論していく機会が少なくなった。炉物理のサークルが大きくなったためと、いろいろなテーマがあることに起因するのであろう。したがって、問題の本質的なことを議論するよりは、試行的な解析や設計を行うことで炉物理の目的を達したと錯覚することはないであろうか。また、解析用のプログラムが精緻を極め、大きなホストコンピューターでなければ使えないから、同じような活動をする人数が限られるという

事情もあるように思う。本来、このような解析は、能力さえあれば誰でもすぐできるようにあるべきであったが、今のような巨大なシステムを作ったについては、筆者も責任がある。しかし、ここ数年の間に急速に状況が変わってきた。40年前、2000WORDSの磁気ドラムを持つIBM650を使っていた頃は想像もしなかったことであるが、今や、2GBのHD、200MHZのCPU、64MBのEMS、128KBPSのモデムを装備したパソコンが200千円台で買え、個人でも相当の機能を持ったパソコンで大型の解析が安価にできるようになった。また、INTERNETが普及し、情報の発信、受信が、個人でも容易にできるようになった。この結果、大きな解析も、自分の家からINTERNET経由でホスト計算機にアクセスして、好きな時に実施できるようになった。

意見交換や論文の発表などをINTERNETによって行うことも可能になった。どこか、適当な、中立的なURLを用意して、そこに炉物理の特定分野の情報を集中して相互に意見交換し、さらに前進するような運営もできないではない。何よりもよいのは、マスコミの統制の外で、自由に質の高い意見交換ができることである。また、料金支払いの問題が解決されなければならないが、解析用のソフトウェアを用意した複数のURLによって、問題意識を持った人が解析に着手することも可能となろう。このような機構を用意することによって、多くの意見を集約し、炉物理の発展に役立てることができるように思う。

以上、炉物理の現状も知らないで、勝手なことを書いてしまったかもしれないが、意のあるところを汲んで下されば幸いである。

## 炉物理の21世紀

日本原子力研究所 武蔵工業大学 併任

金子 義彦

来世紀がどんな時代であるか、その有り様について見通しを聞く機会が多くなってきたが、どの意見も共通してふたつの原則を前提としているように思える。第一は民主主義の継続であり、第二は市場経済である。原子力が勢いを失うことなく社会の成立を支える基盤として発展して行くためには、このふたつの原則に逆らうものであつてはならないし、またありえないと考えられる。原子力にとってこのふたつの原則はかなり厳しい。

原子力のおつてきたあとを振り返るとしよう。原子力技術はおおまかに言うと、軍事利用について最初本格的な開発努力があり、つぎには、発電等のエネルギー取り出しに関心が集中して来たが、最近では、大型加速器の実現など科学研究の道具作りへの寄与が目立つようになった。この三つの過程は立ち上げは時系列的に直列であるが、開発活動は現在でも並列である。

先に述べたふたつの原則を思い起こすと、特に、エネルギー取り出しについてであるが、民主主義の継続は、言い換えると、安全性のより厳しい追求と言える。市場経済については特に説明は要しないが、環境保全という観点が来世紀深くには可成り取り込まれることになろう。高速増殖炉の開発は動かしてはならないものものとして、より安全性が完全な形で実現され、経済性の高い固有安全炉の開発も目標のひとつになろう。このとき、炉物理がかなり重用されることになろう。つぎに、科学研究の道具作りへの寄与であるが、具体的には、Spring-8がひとつのれいであるが、今後は宇宙炉、深海探査船用の動力炉、加速器の工学利用、陽電子利用技術、ミュウオンの工学利用等においてシステムの概念を固める段階から炉物理の寄与が求められよう。近い将来において実現が期待される中性子科学研究センター構想のなかでも多くの炉物理研究の進展が期待されている。

## 閃きに期待する

後藤頼男\*

現役の研究者が教育に参加するのは苦しい体験です。しかし将来を考えると、研究者の教育への参加なくしては原子力の発展は望めないと思います。生き生きとした皆さんの発想が講義を聞く者を刺激するものです。逆に研究者にとっては自分の考えをまとめるチャンスになります。機会があれば是非とも教育に時間を割いてほしい。私も原研の研修所で小さな講義テキストの幾つかを、誰れにも理解できるように書いたことがあります。けつこう時間がかかるものです。しかしどれほど受講者のためになつたかは分かりませんが、たまに自分でそれを参考にする時があります。東南アジアの研修生に計算機の実習としてB1方程式を解き、中性子のエネルギースペクトルのグラフをプロットしてもらったこともありました。出来上がったグラフを見る彼らの得意げな顔を思い出します。PAや防災に関係して、各地、各種の職業の大勢の方に会う機会もあり、原子力の基礎教育の大切さを実感しました。あとから考えてみますと、少しは社会のためになつたような気がするの不思議です。

新しい考えを得ることで、情報が大切であることは言うまでもありませんが、自分の考えを検討するのに役立ちます。自分の近くに議論してくれる人々を持つ人は幸いですが、そうで無くとも情報を通して同じ様な興味を持つ人の考えを理解し、自分の考えを修正することができます。しかもINISなどで適当なキーワードを用うれば必要な情報は得られ、E-Mailが世界を飛び交う時代です。大学を卒業した頃、信濃の木崎湖での夏の学校に何回か出かけたことがあります。昼間の難しい講義のあと夜は各地の大学のほぼ同年配の優秀な人々と話しをし、彼らがどんな研究をしているかが分かり、大変役立つ経験があります。昨年、水戸で開かれたPHYSOR 96に出席しましたが、久しぶりに世界の原子力の動向を伺うことが出来ました。

物理学の真の言葉は、数学である。これはグラシヨウの発言である。しかし、工学の言葉は、数値であると言いたくなる。炉物理においては、数学的厳密性と近似(実用性)とが共存していて、時には互いに反発する。この立場の異なる研究者が車の両輪のように協力しなければ、健全な炉物理の発展はあり得ない。非分離領域での共鳴の自己遮蔽を取り扱うのに用いたProbability Table Methodや原子炉計算で使う非連続因子などの発想は閃きによるものではないだろうか。勿論その背景には色々な苦勞があつたと思いますが、たとへば均質領域の境界で非均質での解と一致し、しかも反応率を保存する非連続因子(Generalized Equivalence Theory)の厳密な理論的裏付けは最近になつて行われています。そう言う意味で、日頃の仕事に追われている研究者は、たまには肩の荷を下ろしてのんびりし、ある期間は焦りのない空想の世界に入ってみることが必要です。炉物理の実験は昔、原子力の仕事について頃、少しやりましたが、重水系での炉雑音(Feynman Alpha)で中性子のバリエーションが制御棒の位置によって大きく変わるのに驚いたことがあります。しかし、その当時に使った装置は思い出しても恥ずかしい物で、装置の近代化は実験成功の重要な要素だと思います。

\*茨城県水戸市見川5-1251-22

## これからの炉物理を考える

京都大学大学院工学研究科原子核工学専攻 小林啓祐

60代以上の者が20-40代を振り返って書くようにとの依頼ですが、今の若い人々が体験していない出来事を含めるために10-60代へと適当に拡張して書かせて頂きます。

1945年(昭和20年)、当時小学校4年生であったが、毎日のようにB29爆撃機1乃至2機が高空に飛来し、住んでいた下関市および関門海峡上空を巡回した。空襲警報が鳴り響き、当然のことながら国民学校(Volks Schule, 今の小学校)の授業は休みになり、それが嬉しかった。高射砲弾発射の轟音が鳴り響き、上空で炸裂した白い硝煙が機体を中心とする円周上に見事に浮かぶがB29は微動もしない。それは米国空軍は日本の高射砲の射程(約7000m?)を知り、その上空、約1万メートルを飛行できる爆撃機B29を開発したからであった。残念ながら我が国の戦闘機はそのような高空に達することは出来ず、例え昇れてもB29はそれよりも高速で飛ぶことが出来、また防弾性能を格段に改善したので、我が国の戦闘機の機銃では撃墜は非常に困難であった。偵察のために何故毎日のようにくる必要があるのか不思議であった。戦後分かったことは、あれは我が国の防空組織にB29が飛来するのに慣れさせ、原爆投下を確実にするための準備であった。

アメリカの飛行機は偵察ばかりかと思っていたある夜、数十機のB29が低空に飛来した。低空を高速で飛ぶ爆撃機を多数の探照灯が照らし出し、高射機関銃の曳光弾が飛行機の後を追いかけるが、もう少しのところまで消えてしまう。この場合も射程が短すぎ、撃墜できなかったのは全く口惜しいことだった。そしてB29は空一面に花火のような焼夷弾を投下し、町の中心部は焼け野原となり多数の死傷者を出した。また関門海峡は1万トン級の大型輸送船から海峡を往復するバス代わりの小船まで何十隻かの見渡す限りの全ての船が沈められ、動ける船は一隻も見えなかった。

それから間もなく広島に高性能新型爆弾が投下された、とのニュースを聞いた。これは高空で爆発するので、防火のためにバケツで水をかけるとき、上空に向かって水をかける必要があり、そのための演習を近くにいる陸軍が行っていると聞いた。

このように子供の頃に見聞した米国との戦争は、その技術力に格段の差があり、戦争というよりは一般市民の無差別な虐殺であった。その最後の大虐殺が広島と長崎の原爆投下であった。核兵器は将来の民族および国家の存亡を決める、そのような重要なことについて勉強したいと言うのが、私が原子核物理および原子炉物理を勉強するようになった潜在的な動機である。

最近ハーグの国際司法裁判所でアメリカは核兵器の使用は国際法に反しないと主張したようであるが、核兵器で一般市民を殺戮することは国際法上認められると主張しているの

だろうか。もし核兵器の使用が国際法上認められものならば、それを他国には保有させないようすることは国家間の平等の原則に反する。またアメリカは核兵器を航空機および艦船で自由に持ち運びできるのに、日本が平和利用のために必要な核物質を運ぶだけで反対する人がいるが、これも国家間の平等の原則に基だしくはずれている。

ドイツも米英との戦争に負けたが、その負け方は日本とは大きな違いがある。地対地ミサイルの V2 号ロケットを初め空対空などの多くのミサイル、Me262 ジェット戦闘爆撃機など米英にない新しい兵器を次々に開発したが、我が国では開戦初期では世界的レベルであった兵器も終わりには米英に全く対抗できない時代遅れのものになっていた。最近のテレビでドイツの最新兵器を導入すべく、民間の若い有能な技術者が戦争末期に購入資金の金塊と共に潜水艦でドイツへ向かったが太西洋で米軍に撃沈され、その金塊が今アメリカ人によって引き上げられようとしているとの報道があった。

このような技術開発の違いが何に由来するののかも知りたくて、1977年に西ドイツのカールスルーエの原子力研究所の INR (Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik) にフンボルト奨学生として留学した。ここには炉物理計算用のプログラムシステムとして KAPROS (カールスルーエプログラムシステム)があり、このコードシステムを構築する者、維持する者、利用する者がいてこのシステムを発展させていた。毎年新しい研究をすれば新しいプログラムが作られる。日本ではこのようなプログラムは個人の所有になり、すぐに他人が使えるようにはならない。

カールスルーエでは新しく作られたプログラムをこのシステムに追加登録すると、研究所の者は誰でもすぐに使えるようになる。私の作ったプログラムも完成するとすぐにこのコードシステムに登録され皆に利用された。帰国して何年もたった後で、今あなたの作ったプログラムで計算しており、使うときにあなたのことを思い起こすと言う手紙を受け取ったことがる。カールスルーエには多くの外国人研究者が短期で滞在しているが、その成果も確実に研究所に蓄積されている。

ドイツ滞在を通じて痛感したことは、ドイツと日本との違いは、個人の能力の差もあるかもしれないが、より大きな点は組織力の差である。全ての研究者の成果を多くの人に利用できるように、毎年の成果が翌年の仕事の基礎になるように、成果が積み重ねられるようにしていることである。カールスルーエからの帰途、1979年にイングランドのウィンフリス研究所を訪問したが、英国では各地の原子力研究所および原子力を研究している大学とコンピュータは回線で結ばれており、例えばロンドン大学で学位論文の仕事で作られた炉物理プログラムでもすぐに英国中の研究所で使えるシステムを作成し運用していると聞いた。英国の人口および研究者数が日本より少なくても、日本以上の成果をあげることが出来、さすがにドイツとの戦争に勝った国であると思った。

約10年前2回目にカールスルーエに滞在した時は、ドイツ、フランスなどヨーロッパ各国の炉物理プログラムシステムを比較検討し、ヨーロッパ共通の炉物理プログラムシ

テムを作る国際的な集まりを定期的を開いていたが、その数年後にそれが完成したと聞いた。それに反し、我が国には残念ながら公的な研究機関および大学で作成した炉物理プログラムを自由に追加し、共通に使えるプログラムシステムは存在しない。いわんや近隣のアジア諸国と共通に使えるプログラムシステムを構築するなど遙かな夢である。

昭和 37 年頃から炉物理の研究を始めたが、当時日本で最初に作られ大学で使える様になった日立製の電子計算機 KDC-1 は IBM 650 クラスで、機械語しか使えなかった。それでも円柱体系の衝突確率法によるセル計算コードを空間積分にガウスの求積公式を使うアイデアで作って最初の論文を書き、英国の *Journal of Nucl. Energy* に出した。この方法は後にスエーデンのカールビックが発展させて彼の学位論文とし、その分厚い学位論文を受け取ったときは、自分の些細なアイデアが生かされたことに驚いた。

アメリカでは IBM704, 7044 など次々に高速の計算機が作られ、FORTRAN で計算しており、機械語でメモリ 4k 語の計算機ではとても太刀打ち出来ないと残念でしょうがなかった。しかしその後大型計算機センターが大学に設置され FORTRAN が使えるようになり、ほっとしたのもつかの間で、計算機のカードリーダーの前に長い行列が出来て、入力するだけでも大変であった。最近ではパソコンが高性能になり、かつ安くなったがそれでも大学の研究費はわずかでもパソコンを買う金はなく、受託研究でようやくパソコンが買えた時は大変に嬉しかった。

次に多群拡散方程式の解法について研究した。1次元の場合通常2回微分は3点差分で近似するがグリーン関数を利用すると、板、円柱、球状体系で厳密な3点階差式を導けることが分かった。これを NSE に投稿して受理されたとき、単純ではあるがアメリカ人も気のつかない式を導けたことが嬉しかった。この方法では断面積一定の領域の境界の中性子束だけを未知数とする厳密な3点階差式が得られ、有限差分近似を使うよりも未知数の数を減らすことが出来る。この方法は後に Doring により多次元の場合に応用された。

しかしこの方法を2および3次元の問題に使うと、グリーン関数を求めるだけで手間がかかりあまり有効ではない。それで多次元多領域の問題を解く方法として有限フーリエ変換法を考案した。この方法でも断面積一定の領域の中性子束および流れを未知関数とする式が得られる。例えば2次元の問題では未知関数は境界線上の中性子束および流れの1次元の関数で1次元の問題になり、3次元の問題は領域境界の2次元の表面上の中性子束および流れを未知数とする2次元の問題になる。この方法を使って2次元 x-y および3次元 x-y-z 座標の多群拡散方程式を解くコードを作成した。

輸送方程式を解く方法としては離散座標法が有名であるが、射線効果(ray effect)が起こる欠点がある。他方球面調和関数法は射線効果は起きないが、式が複雑で任意次数の PL 近似コードを作るのは困難とされてきた。しかしこの先入観を破ってイギリスのフレッチャーは任意次数の2および3次元の PL 近似コードを作った。我々も2階微分方程式の形



を利用すると任意次数のコードを作り安いことに気付き、有限差分法を使って2および3次元の多群球面調和関数法コードを作成した。その後フレッチャーやロンドン大学のウィリアムス、アクロイド教授等によって有限要素法を使った多次元の球面調和関数法コードが作られた。しかし私が参加した最初の国際会議である1990年のロンドン大学の有限要素法の国際セミナーで、球面調和関数法の式を有限差分法および有限要素法で解くとポイドがある場合は中性子束分布に異常が起き、その原因が分からないと云う発表がなされた。

我々も有限差分法では物質境界で適切な球面調和関数法の境界条件が使えないことに頭を悩まし、これが困難の原因であると思い、有限フーリエ変換法で解く方法を考えた。その結果有限差分法を使ったときのような困難は無いことを今年の12月のパリのOECD/NEAでの輸送計算法セミナーで発表した。このときに会ったロンドン大学からの参加者はロンドン大学では依然としてポイド問題の困難は残っていると云っていた。現状では球面調和関数法は米国よりもイギリスで多くの論文が書かれており、世界で最も進んだ国であるが、現時点では我々の方に一日の長があると思っている。

数年前に臨界安全委員会で原研の委員の方から2領域炉心をAveryの結合炉理論を使って結合係数を計算したという発表があった。そのときに共約関数を掛けるべきか否かという議論があった。それは数学的に決まるべきことで、恣意的に決めることではないのではと思った。

数学的にはどうなるのかを考えたところ、共約関数(adjoint function)でなく重要度関数(importance function)を使うと厳密な結合炉の式が導けることに気付きその論文をAnnals of Nucl. Energyへ送ったが、着手してから清書して投稿するまで1週間と云う論文作成の自己の最短記録を作った。約30年も昔、日立の方がAveryの式をどのようにして数学的に導けるかの発表を学会で聞いたことがあったが、非常に難しく全く理解できなかったが、その一つのそして非常に簡潔な答えがこれであると思った。(その方がNSEに出された論文を読み返したが、今も残念ながら理解できない)。

この続きの研究を昨年秋の炉物理国際会議PHYSOR96に発表したときの座長が一般化摂動論で有名なイタリアのガンディーニ教授で、Averyの結合炉理論と比べてどう思うかと尋ねたところ、彼が一般化摂動論を始めたのはアルゴンヌ研究所で上司であったAveryの示唆によるもので彼および彼の理論は良く知っており、彼の理論が近似的なものであることは、その古さを考えれば当然であると云われた。

個々の研究に於いては我が国に優れた研究は多々あると思う。しかし炉物理コードを総合的に使おうとすると、大きな遅れを感じる。

今やパソコンがアメリカ並に普及し、インターネットも一般に利用できる環境が整ってきた。遅滞きながら我が国でも国内でパソコン上で共通に使える炉物理プログラムシステムを構築すべきではなかろうか。

## これからの炉物理を考える

若狭湾エネルギー研究センター 清水 彰直

研究課題の設定 (Problem Definition)、それは研究にとって最も重要なことであり、研究者の最も苦心をする所です。若し、創造的な研究を望むのであれば、研究課題の設定は研究者個人にまかせるのが良いと思います。炉物理部会のような研究者の集団がやるべきことは、「研究成果の適切な評価」であります。

研究として魅力のあるテーマは、境界領域に多くあるように思います。炉物理は物理 (基礎物理ではなく応用物理) と工学の境界領域にある学問であります。最近では医療物理という分野が出て来ましたが、医者からは、物理の論理では人間を対象とする医学は無理だと冷やかされていますが、私は今後の発展を期待しています。また、社会における原子力の安全の問題を扱うには、「文理融合」と云われるような理工学と社会科学の境界領域の仕事が必要となります。境界領域を研究する者の悩みは、評価が適切にされ難いことです。

前置きが長くなりましたが、これからの炉物理の研究課題を2、3挙げます。

### 1) 原子炉における中性子核反応の最適化

炉物理の重要な課題の一つに、物体中のマクロな中性子核反応率に関する定量的分析があります。炉物理の初期には、原子炉に於ける核分裂連鎖反応の実現 (臨界性) が主目的でした。その後、増殖 (或いは転換) という目的が導入され、中性子核反応を核分裂性物質の生成にも利用することになりました。最近では、放射性同位体の消滅に中性子核反応を利用しようとしています。この、臨界性、転換、消滅という三つの目的を同時に、最適に達成する原子炉を求めることがこの研究の課題です。それには、不足する核データの整備や、中性子核反応率を利用目的に適った精度で求める理論的、実験的手法の開発と共に、最適化とは何かという最適化の論理構築が必要になります。

### 2) 原子炉の自己制御性

この課題は、炉物理と安全研究の境界領域に属するものです。先ず、安全上の観点から原子炉の自己制御性を定義します。これは、出力上昇型事故、及び流量減少型事故時発生する過渡状態を、一定の安全基準 (例えば燃料が破損しない) 内に留めうる原子炉固有の制御能力、といったものです。次に、自己制御性を有する原子炉の条件を、炉に固有な反応度係数の条件として定量的に書き下し、次にその条件を満たす炉心構成を求めます。この課題の特徴は、与えられた炉心の安全性を評価するのは逆に、安全上の条件から反応度係数の条件を導き、炉心を探すという手順をとる所にあります。

### 3) ビーム状の放射線に対する輸送理論の開発

現在、中性子の輸送計算に使われている  $S_n$  法は、単一方向に若干の角度の広がりをもって飛ぶビーム状の放射線の輸送問題には向きません。専らモンテカルロ法だけに頼ることになっています。しかし、放射線の利用にはビーム状の放射線を良く使うので、その輸送問題に適した決定論輸送計算法が必要だと思います。現在、平板を対象に角度固有値法という方法を開発していますが、二次元、三次元問題への拡張が望まれます。

これからの炉物理を考える：

炉心設計と炉物理

エンジニアリング開発株式会社技術部

嶋田昭一郎

「これからの炉物理を考える」という表題で、若手ならびに中堅の炉物理屋に、刺激となる熱いメッセージを送る、ということは正直なところ、炉物理がかなり成熟した現段階では非常に難しい課題であると思う。10年ほど前に高転換軽水炉が話題になった時、久々の炉物理の話題が発生したと一時的に炉物理界が沸き立ったが、この例でも分かるように、原子炉界が新しい炉物理を必要とする様な新しい方向に向かった時に、炉物理界は新しい問題により活況を呈する。現状ではプルトニウムの問題、アクチナイドの問題などがそれに当たるであろう。

現在の軽水炉に関係する範囲で炉物理を見ると、断面積の整備、スペクトル計算法（組常数計算法）、近代ノード法を利用した中性子束分布（出力分布）の計算法、モンテカルロ法などの高度な計算手法がほぼ満足するレベルに発達しており、設計では如何に設計者がこれらをうまく活用するかにかかっている。ベテランの設計者はエンジニアリング・センスが非常に発達しており、設計コードはエンジニアリング・ジャッチメントを助けるために必要な道具程度に認識している人が多いと思うので、どうしてもこの分野に設計者が必要とする大きな問題が残っているとは思えない。

そうすると、最初に述べた新しい原子炉の開発に新しい炉物理の活躍の場を求めることになる。今、軽水炉は長期化の様相を呈してきているが、一方次世代炉の開発が必要になっている。高速炉も、将来の原子炉として今のままでは日も芽を見る日は遠い。どちらの炉型にも現実的にして画期的な変換が必要になっているように思える。原子炉設計者の新しい炉心開発を待たずに、炉物理屋が将来必要と思われる新しい炉型を考え、新しい炉物理の分野を切り開いて行くべき時期と思う。過去においても、炉物理のアイデアが新しい原子炉の開発に結びついたように、炉物理屋の活躍を期待したい。

以上

## 2 1 世紀へ向けての原子力

(株) 総合技術情報機構 杉 暉夫

高校生と原子力分野の社会人の想定問答を考えました。その中に、我々の世代から21世紀の人達への希望を込めました。

**生徒会長** 文化祭の行事として「原子力」について討論会を開きます。21世紀に社会へ出て活躍する我々として、しっかりと勉強したいからです。教科書にも記述がないわけではありませんが、社会の第一線で活躍して居られる先輩方のナマの考えをお聞きしたいと思いました。

科学技術庁、日本原子力研究所、大学から原子力分野で活躍しておられる先輩方をお招きしました。今日た。今日は、各々の先輩方の所属される団体から離れ、自由に意見を述べていただくことにします。日頃の疑問点を質問いただき、それに答える形で先輩方の意見と考え方をお聞かせいただきます。

**生徒** 政治・経済の教科書に原子力について「いったん事故が起こると、放射能の及ぼす影響は大きく、放射性物質によって地球上はおおわれてしまう。」と書いてありました。一方、新聞には、日本では原子力発電が発生電力量の1/3を越えたと報道されていました。こんなアブナイものに電力の1/3を委ねるより、たとえ生活が苦しくなっても、もっと安全なものに頼る方がよいと思いますが、お考えをお聞きかせください。

**先輩** 10年程前のチェルノブイリの事故では、放出された放射能が日本にまで運ばれ検出されました。これがどの程度危険なのか判断する一つの方法は、人体への影響を自然放射線と比較することです。これは線量当量という尺度で比較できます。日常平均的に自然放射線から受けている線量当量は年間2.4ミリシーベルトです。これを基準にして危険であるかどうかを先ず判断すべきです。もう一つは、これまで我々の周辺には存在しなかった放射性物質が放出され、それがたとえ少量でも我々に被害を及ぼす可能性です。両方を考えて危険のないレベルです。

我々は放射線や放射性物質をきわめて高い感度で検出できます。これを用いて常に放射線の監視が行われています。そのため、放射線による被害に関して言えば、ミナマタ病、イタイイタイ病、サリドマイドの被害の場合のように、認知できないでいるうちに、被害を受けてしまう事態は起りません。

放射性物質が放出された場合には、被害が生ずるレベルよりもはるかに低いレベルで検知できます。たとえ小さな漏洩でも、原因を取り除きそれ以上の放出を防ぐ努力がなされます。

**生徒** そう言えば、この間、理科の先生が実験室内のチリを濾紙に吸引して放射能を測って見せて

くれました。検出器がケタタマシク鳴り出したのを聞いてビックリしました。

**先輩** 我々は原子炉の炉室から出るときに、必ず手足、衣服に放射能が付いていないかをチェックします。これをハンドブックモニタといいます。さっき言われた実験室のチリが手に付いていたら、手を洗い塵を落とさなければ炉室から出ることはできません。このように、身の回りにある天然放射性物質よりはるかに低いレベルでも施設外へは出さない努力がなされています。

今度の東海村の再処理施設の爆発事故は、幸いにして低レベル放射能を扱う施設であったため、敷地外へ放出された放射性物質の影響を線量当量で表すと、どんな人にとっても身の回りにもともと存在する天然放射性物質よりはるかに小さな値にしかならないと推定されます。爆発の原因は調査中ですが、原子爆弾のような核分裂による爆発ではなく、通常の化学反応による爆発です。

事故はいつも予期しない形で生じます。反省し貴重な経験を後世に伝えていくことが大切です。

**生徒** 爆発が低レベル施設で起きたからよかったものの、これが高レベルの放射性物質を扱う施設で起きたら、チェルノブイリのような大事故になったのではないのでしょうか。

**先輩** それを防ぐのが多重障壁です。高レベルの放射性物質を扱う施設には、幾重にも障壁が設けられ、内部で事故が起きても施設外へは被害が及ばないように設計されています。

現在、世界の主流となっている軽水炉では、燃料は5重の障壁によって閉じ込められています。原子炉全体は格納容器によって覆われていて、TMI事故の際にも炉心は壊れましたが、施設外には被害を及ぼすほどの放射性物質の放出はありませんでした。

一方、チェルノブイリの事故では、格納容器が無かったことと、不安定状態での試験運転の強行のため、あのような大事故に至りました。

TMI事故の経験に基づいて、我が国の原子炉も改善されました。またチェルノブイリ事故を契機に、安全のための国際協力が東側も含めて積極的に行はれるようになりました。

経験を活かし、施設はより完全なものに改善されます。今回の東海村の事故の経験から、高レベル施設の方も再点検されるはずですよ。

1950年代の終り頃、ソ連は人工衛星の成功を華々しく報道し、アメリカは無残な失敗を報道していました。我が国もそのような態度を見習うべきですよ。

関係者の一部に、事故を小さく見せようとして、貴重な情報を隠す傾向があり、それが国民の不信を買う結果となっているのは極めて残念です。失敗は正直に報道し、大勢の人を通して貴重な経験を後世に伝えるべきですよ。原子力開発は一世代で完成するものではないのですから。

**生徒** アメリカではTMI事故以来、原子力発電所の建設は途絶えていると聞きましたが。

**先輩** その通りですよ。かつてはアメリカも世界の先頭に立って原子力開発を推進していましたが、今は国策としては推進しようとはしていません。しかし、原子力開発を積極的に進めようと考えている人達は少なくはありません。軽水炉でも高速増殖炉でも新しい提案が行われています。石油、石炭、天然ガスなど、我が国に比べればあり余る資源があり、そのような背景もあります。

それから、フセインさんのような人の手にプルトニウム(原爆の材料)が渡ってしまうことへの

恐れも、原子力へのブレーキになっています。

**生徒** 原子力開発を行うためには、世界が平和になることが大前提ではないでしょうか、原子力発電の開発より核廃絶が優先すると思いますが。

**先輩** かつて我が国に於いて信長や秀吉がやったように、アメリカは世界に対して「天下布武」をやるようとしているように私には思えます。当時の鉄砲が今は核爆弾であり、物騒極まりない話です。しかし、終戦前の我が国でも、世界平和を武力によって達成することが国是となっていたのですから、ソ連が崩壊し冷戦時代が去ったとしても、アメリカ、フランス、中国がそう簡単に核武装を解除するとは思えません。

核廃絶運動も大切ですが、最近の言われているグローバリゼーションとかボーダレスの動きが、武力による平和維持という考え方を徐々になくしていくと思います。米ソ間の核戦争が起こらなかったことは本当に良い事だったと思います。核廃絶と軍備撤廃を君達の時代に期待します。

**生徒** 最近、世代間倫理という言葉を知りました。原子力にこれをあてはめて考えると、今の大人達の世代が原子力を開発して大量の放射性廃棄物を作り出し、このツケが私達世代に廻って来ることになるので、これが世代間倫理に反するといはれています。政治・経済の教科書にも「原子力発電所から排出される使用済燃料やその他の放射性廃棄物は、増加する一方で最終的な処理技術も確立していない。」と書いてあります。

**先輩** 石油や石炭などの化石燃料から出るCO<sub>2</sub>等と異なり、原子力利用から出る廃棄物は極めて少量です。これはウラン1gの核分裂から石炭3トン分のエネルギーが取り出せることからくるのです。少量ですから、放射能が減衰した後、地下の安定な地層に閉じ込めて無害な形にすることが可能なのです。

最終的な処分方法としては、他にいろいろな方法も提案されているので、もう少し時間をかけて検討してもよいと私は考えています。そういう意味で「最終的な処理技術が確立していない。」と知っているのだと思いますが、教科書を読んだ人はこのようには理解してくれないと思います。

理科、社会のどちらからも原子力は部分的にしか取り上げられないので、誤解されていることも多いと思います。放射性物質は我々の身の回りにも存在しているのですが、よく説明されていないため、これをはるかに下回る放出でも恐怖感が生まれ、原子力のイメージを暗いものにしてしまうのは残念です。私自身、40年程前の核実験によるビキニ・マグロ事件の際、無用の恐怖を抱いていました。

今度の東海村の事故で多くの人の関心が高まったときこそ理解をいただく機会とも考えます。

**生徒** 原子力を止めて太陽エネルギーを利用した方がよいという意見を聞きます。また、原子力の研究開発は税金を使い過ぎるという意見も聞きます。

**先輩** 現時点の技術では、今の原子力発電所に匹敵する大容量の太陽光発電所を作ることは不経済なものになり実際的ではありません。しかし将来、原子力を凌ぐ太陽エネルギー利用の技術が開発さ

れる可能性は否定できません。

税金の使い方については、見通しの立たないものには大金をはたくわけにはいかないということだと思います。しかし、やってみなければわからないものもあるわけですから、可能性のあるものに予算を分配はすべきでしょう。

税金の何%を研究開発の可能性のために割くべきか、これは21世紀に向けてもう一度考え直すべきテーマだと思います。昔、「バターか大砲か」という言葉がありました。今は「福祉か開発か」というべきでしょうか。

**生徒** 21世紀に於ける原子力の果たす役割について意見をお聞かせ下さい。

**先輩** 今後50年程で現在の発展途上国の一人当たりのエネルギー消費が、現在の先進国並に達するといわれています。我が国の50年前は終戦直後でしたが、自家用車など殆ど無く、停電がしょっちゅうでした。発展途上国が、今後50年で我が国が戦後なし遂げたのと同様以上の発展を遂げることは確実です。

先進諸国がエネルギー消費を現状に抑えたとしても、発展途上国の増大したエネルギー消費が上乘せられ、CO<sub>2</sub>等の放出による環境破壊や大量消費による資源枯渇が心配されています。

ここで、世代間倫理についてひとこといわせて下さい。今、原子力発電の主流となっている軽水炉ではウラン資源の僅か0.5%程度しか有効利用できないのです。高速増殖炉の開発に成功すれば、ウラン資源の大部分を利用できるようになります。CO<sub>2</sub>の放出がなく、資源枯渇の心配もない将来の安定したエネルギー源を我々は手中にできるのです。原子力の平和利用に徹してきた我が国が、その分野で世界の先導的役割を果たすことが、正に世代間倫理に叶うことだと思います。

ウラン核分裂が発見されたのは1938年で、第2次世界大戦の直前だったため、原子力は「新型爆弾」として、我々の前に突如としてその姿を現しました。戦時から米ソ二大国の冷戦時代にかけて、膨大な国家予算と人的資源が核兵器開発に注がれました。これらの原子力の軍事利用開発は国民の合意のもとに行われたのではなく、むしろ敵を欺くなら味方をも欺けということで、「突貫工事」で行われました。

平和利用においては、社会に受け入れられることが必須であり、兵器開発のような急速な開発は不可能です。また開発予算の規模、人的及び物的資源、立地条件などから、国際協力も必須となります。さらに廃棄物の問題一つとっても、世代間の協力が必要です。

君達が社会へ出て活躍する21世紀こそ、原子力平和利用開発が本格的にスタートする世紀であって欲しいと思います。

**生徒会長** あっという間に予定時間が過ぎました。短い時間でしたが、原子力とそれをめぐる情勢について、私達を取り組まなければならない問題がいろいろあることを知り、有意義だったと思います。我々と共に討論していただいた先生方にお礼を申し上げます。

今後、いろいろなことを社会の第一線で活躍されている方々から伺う機会を持ちたいと考えて居ります。

「中性子工学」という立場から

大阪大学名誉教授 住田 健 二

炉物理部会報「炉物理の研究」で若手・中堅による「これからの炉物理」を特集した後、シニアによる「これまでの炉物理」？を特集をするから、何か書けとのご依頼、はてなと思いました。本会のスタートに賛同した創設時からの古い会員で、年令もシニアのようですが、私がいわゆる炉物理屋に入るのか疑問です。相当早い時点で「原子炉物理」という名前に抵抗を感じ、出来る限り「中性子工学」という分野の確立をと主張して、諸先輩や同僚から顰蹙（ひんしゆく）を買ってきたので、正当派の方々は私を炉物理屋の仲間とは認めて下さらないと思ってきたからです。落第坊主が優等生の後輩に向かって何をいったら良いのか考えつかず、仕方がないので、回想記を綴って責めを果たします。

1950年台の後半位から原子力の勉強を始めた私達のような者にとっては、学問的な指導者といえる存在がありませんでした。同じ頃に勉強を始めた先輩は沢山おられたと思いますが、その方々も後輩に対して適切な課題や方法論を教えるといった余力はなく、懸命に新しい分野に立ち向かっておられたと思います。ですから、既存の分野でなにがしかの研究や開発の成果を上げてこられた方は、その成功を得た時の手法で原子力に取組もうとされたものでした。しかし、大学卒や大学院終了位の20才台後半からもう少し上位の年代の若手には、そうした過去の体験から来る自信もない代わり、束縛も無かった訳です。

中性子集団の統計的特性を上手く利用して、原子炉の核設計を行う計算法を編み出したのはフェルミ達だと思いますが、それを入門書風に上手く記述したのが化学工学畑の名教科書ライター、グラーストンと解析屋のエドランドの共著、「原子炉の理論」でした。これは伏見先生と大塚さんの手で名訳され、私たちもまずその本のお世話になりましたが、良くできた受験参考書の功罪の様な面があり、世間では物理屋が訳したのだから、あの本の範囲とその延長線上のものが炉物理だと早合点した人が多かったようです。少し勉強したらそうは考えなかったでしょうが、どうも原子力界全般の受けとめ方はそのようでした。もし、一番最初に邦訳されたのが、ワインバーグの本だったり、ヒューズとかヴィルツ・ベクルツの本だったら随分違った展開があったのではないのでしょうか。



私の場合は、原子炉計測の勉強に米国留学（"57-58"）させてもらったのですが、丁度その頃に炉雑音解析やパルス中性子法の初期の実験成果が発表され始め、人為的な反応度変化を与えないでも炉の動特性を観測できることが確認されて大きな関心を持ちました。ピッツバーグでのアメリカ原子力学会でのそれらの報告発表の新鮮さと、未だ建設中だった SHIPPINGPORT 発電所の見学で、炉心横に置いてあった上蓋の厚さに驚いた事が今でも印象に残っています。

帰国してからは、炉計測の方は従にして貰い、制御グループとも連携して、階段状や正弦波状の反応度変化を与えた原子炉の動特性測定という初歩的な実験から始め、JRR-1, 2, 3と測定しました。その中に原子炉雑音解析とか、SHE 臨界集合体建設を手伝ったご褒美で、パルス中性子法にも手を出すことが出来るようになりました。時間依存の中性子密度変化を取り扱う実験技術を修得しつつ、炉動特性と大きな反応度測定それに中性子熱化時間測定というまるでかけ離れた世界を同時に覗けるようになったのです。"64年に大学へ移ってからは、パルス中性子源による中性子波伝播実験とか、京大炉のライナックと飛行時間法、チョッパーの組み合わせによる軽水体系での時間依存の中性子スペクトル測定にも参加、中性子熱化実験の仕上げが出来たのです。その一方では、依然として炉雑音解析とか、パルス炉での過渡現象計測にも興味があり、東大の単発高速パルス炉・弥生の特性試験にも参加しました。

こうした体験を通じて、原子炉を持ってないキャンパス内での研究にはどうしても強パルス中性子源が欲しいと痛感し、特に核融合関連の14 MeV中性子実験には不可欠と判断して方々へ働きかけました。その結果、"78年度からの予算で国内メーカーと協力して自分達の手で強パルス中性子オクタビアンを試作・開発出来ることになり、"80年度には大学連合チームの共同研究が開始出来たのです。またその経験を背景に、米国のより強力な加速器線源（RTNS-2）での国際協力や高速パルス炉の設計・開発・利用研究にも参加したものでした。

この間、我流の方法論で、好き勝手な課題を選び出して仕事を進めてきたように思います。しかし、一人では仕事が出来ない実験屋の習性として、仲間を誘って実験グループを結成し、多少は予算を頂いて必要な実験装置を作るためには、心ある先輩の良き理解と支援は欠かせないもので、それぞれの時代や流行にある程度は同調したことは否めません。ただし、「流行は先取りするより、自分で創り出せ。後追いは絶対にやめろ。」というのが、私の研究室のモットーでした。

振り返ってみると、中性子集団の密度やエネルギー変化の時間的変化の観測から、その集団を支配しているルールとか、その環境条件や体系の特徴を見いだすという手法の発展を追い、その技術的な向上と、対象範囲の拡大に一貫した興味を持ち続けました。これは物理ではなく技術と工学の中間位のものだと思います。中性子工学の名称にこだわった所以です。共同研究者であった方々が、人間的な付き合いはその後に永く続いても、研究面ではお互いの共通目的が達成した段階で協力関係が解消して、次々と変わって行く傾向があったようです。私の興味と、対象の本質へ迫る”物理”指向の相手の姿勢との本質的な違いのせいだったでしょう。しかし、この指向性を異にして、利害を共有する協力関係が、多くの友人や協力者を持ちつづけ、強力なライバルを作らなかったようです。それにしても、良き理解を示された先輩の寛大さと、同僚や後輩、弟子から教えられ助けられた思い出ばかりで、当方の微力が本当に恥ずかしくなります。

原子炉や加速器等によって、放出できる中性子の特性は、強度の時間変化だけでも定常、変調波、パルスと多彩な操作が可能ですし、エネルギー・スペクトルや空間分布も制御可能です。方向だって導波管のような手法で操作できる時代です。しかも、その統計的な特性の取り扱いは、いわゆる「炉物理」用に開発された技法があり、計算機での数値実験にも耐えうるものです。超強高速中性子源の実現は、多彩な核反応利用の前途を予期させます。こうした中性子を駆使する技術や工学が育てば、観察力の飛躍的な増強と物質変換の実際面での能力が磨かれます。狭い意味での「原子炉物理」はその先駆者の一人でしょう。

大学時代の後半に取組んだ核融合中性子工学は、こうした自分勝手な関心の対象の中では珍しく時宜を得たもので、これまでの経験の集大成を展開しうる絶好の場ともなりました。自らの手で生データを産む喜びは味わえなくても、他大学からの仲間や阪大の同僚や学生達が次々と成果をあげてくれたのです。定年退官の前年（'93）には体系に打ち込んだ核融合中性子スペクトルの時間変化の観測から、D-T核融合によるLiブランケットでのトリチウム増殖可能性の世界最初の確証ができました。この実験では国内の共同研究者の協力ばかりではなく、当時はまだ存在していた東西の壁を越えた米国・中国の協力があり、ソ連と東独も次回の実験を予定して参画して来ました。35年前に原研のJRR-1で始めた炉動特性実験から随分と遠い道程でしたが、やっと何かが結実した所で丁度引退の時期を迎えた得た幸せを感謝せずにはおれませんでした。（'97.4.5）

## 自然循環型 BWR の経済性と安全性への思い

原子力発電技術機構 芳賀 暢

昭和 34 年に原子核工学科の修士課程に入学して以来、思えば日本における原子力の黎明期から 38 年間も炉物理に何らかの関わりを持つ専門職として走り続けてきたように思う。この間を大きく分けると、初期においては中性子の挙動についての研究、中期においては原子炉の設計開発に係る研究、そして 50 才代以降には安全評価の分野に転じて炉物理の知見を活用してきた。これらの経験を通して、炉物理研究の最終的な目的が、経済性と安全性の高い発電用原子炉を開発することにあると確信している次第であるが、この観点から何かを申し述べてみたい。

原子力開発の歴史は、経済性と安全性の局面が表裏一体となって、より高度のシステムが開発されてきた経緯がある。しかし、この 2 つの局面は多くの場合に得失が相反する条件によって制約されている。世界の先進国においては、サイトの制約、大容量化による建設費の低減、大容量ユニットを必要とする経済環境、運転管理面の経済性など、主として経済性向上の観点から、出力規模と出力密度の増加、高出力化や高燃焼度化に対する燃料の改良、運転管理システムの機能向上などを推進してきた。同時に、安全確保の観点から非常用炉心冷却系(ECCS)や閉じこめ系の機能拡充、多重性確保に係る各種の設備拡充、原子炉計測制御システムの機能向上など、多額の資金を投じて高度の技術システムによる安全確保が進められてきた。この相互の補完関係に基づいて、より高密度化した技術開発を進める方向は、将来どこまで拡大できるだろうか。

目的が達成される限り、技術的なシステムやプロセスは "Simpler the Better" と云う概念があるが、「経済的で安全な」将来の原子炉を逆転の発想で考えてみたい。基本的に PWR と BWR を区別する必要はないが、ここでは BWR を例に考えてみる。黎明期において、BWR は自然循環型で、ユニット出力と出力密度が小さく、燃料棒も太径の設計であった。このような原子炉は、最近の研究対象とされている固有安全炉の概念にも共通するところもあり、また自然循環型の SBWR とも同一の考えに立脚していると思われる。

しかし、ここでは現存の BWR の基本システムをできるだけ温存した自然循環型を考えて、コストを含めた技術評価を実施することを提案してみたい。提案の骨子は、「自然循環型として本来の冷却性に見合う程度まで出力密度を低減し、不必要な設備を削除し、燃料費、運転費を低減すること」である。このようなアプローチは、現状で存在するシステムをベースに比較評価するので、多くの局面で得失の相互評価が容易になり、また提案内容は長期に亘る新規開発を必要としないので実現の見通しも具体的になるのではないだろうか。以下に要点を述べる。

- (1) 自然循環型にする場合の最大の損失は、圧力容器の大きさを同一とするならばユニット出力が低下、あるいはユニット出力を維持するなら圧力容器の拡大を必要とすること、そして周辺設備へ波及による資本費が増大することと考えられる。一方、自然循環型であれば ECCS 設備の容量削減、再循環ループと再循環ポンプの削除、ジェットポンプの削除、圧力容器と炉内構造物の簡略化、事故評価の単純化などの利益が発生する。また、圧力容器の拡大に伴う損失も、再循環ループなど周辺設備の削除によりコストを相殺する部分が多くある。さらに、圧力容器や炉内構造物の照射脆化が低減し、寿命延長にも寄与すると考えられる。
- (2) 自然循環型になると、低流量時の炉内流動不安定性が増大する不安を指摘されるかも知れない。再循環ポンプトリップなどに起因する流動不安定は、諸外国の例では再循環流量が定格の40%程度に低下した時に発生している。しかし本来の自然循環型設計であれば、ジェットポンプによる流路のくびれを排除できるので、本質的に再循環流量が現行炉の定格流量の40%になることはないと思われる。期待値であるが現行炉の60%流量は確保できるのではないだろうか。つまり、自然循環でも出力は60%程度を維持できることになる。
- (3) 出力密度を低減するのであるから燃料棒を細径にする必要がない。例えば、7 x 7 燃料集合体で十分で、これは燃料製造コストの削減につながる。炉物理面では、太径の方が中性子経済に有利な条件を与え、出力密度が低いことが Xe 反応度の負担を低減して中性子経済をさらに向上させる。一方、低出力密度は燃焼の進行が遅いことを意味するので、同じ濃縮度であれば炉内滞在時間を長く取ることができ、例えば長期間連続運転（1サイクル2年間など）に寄与する可能性を生む。このことは、直接に設備利用率の向上につながり、発電コストに大きな利益を与えるものとなる。
- (4) Pu サーマルなどにおいて MOX 燃料を使用する計画が進行中であるが、MOX 燃料の製造コストや運転管理面のコストが極めて高いことを勘案すると、上記(3)に述べた燃料コストに係る内容は、MOX 燃料の利用において、より以上の利益を生むことになる。換言すると、高出力密度で MOX 燃料を使用する場合に対して、これを自然循環型の MOX 装荷炉心にすれば、燃料コストや運転コストにおいて大きなメリットを生むことになる。
- (5) 設備や設計の変更に伴う資本費の相互比較の他に、運転面において発生する利益を考慮することも重要である。これには、再循環ポンプの排除による所内率の向上、保守点検の容易化、定期点検期間や燃料交換期間（2年に1回を想定）の短縮に伴う設備利用率の向上、さらに機器設備の削減あるいは簡略化に伴う故障発生確率の低減などが考えられる。
- (6) 安全性については、自然循環型の方が本質的に信頼性が高いのではないかとと思われるが、この問題については、コスト評価の数字として具体的に示すことが難しいので、確率論的安全評

価 (PSA) の課題として検討する価値があると考ええる。一方、開発途上国においても原子力発電の導入が進む情勢にあるが、多くの国が大容量のユニット出力を必要とするわけではなく、高度の技術システムを駆使できるわけではない。ここは、単純なシステムに基づく原子力発電プラントを開発するのが国際社会の安全にも寄与すると考えられる。

- (7) 以上に、自然循環型 BWR の特長を整理したが、そのほか数字に表すことが難しいかも知れないが、潜在的なメリットが多く存在する。例えば、PA 対応としての不安の低減または解消、機器故障確率の低減に伴うメンテナンス費の低減、設備利用率を低下させる原因の発生頻度の縮小、ヒューマンエラーの発生頻度の減少、教育訓練の容易化、事故解析の負担減少など、枚挙のいとまもないと考える。これらの事項は、項目(6)に述べた PSA の対象として、これにコストをパラメータに加えて評価すると興味ある結果を得ることができると判断する。
- (8) また、PA (Public Acceptance) や安全性の問題については、コストでは評価できない大きな利益を得る側面もある。この局面を考慮すると、コストの得失分岐点は若干のコスト高 (例えば 10%程度) あっても許容できる潜在的メリットが生まれるのではないかと思う。

以上に、経済性と安全性の両面から自然循環型 BWR の再考に係る私見を述べたが、ここに提起した問題は個人的な見解を述べた極く一部の概念に過ぎない。自然循環型であれば、蒸気条件や熱流動などが現行炉と異なり、これに伴うシステム設計、プラント制御設計等も変わるので、実際には広範囲の技術分野における検討が必要である。また、検討範囲は炉物理、炉設計を出発点として、プラント熱流動、機器・コンポーネントの問題を包括的に取り上げる必要があり、特に建設コスト、運転コスト、発電原価などの問題を評価関数に組み入れた検討を行うことに大きな意義があると考ええる。

これまで、自然循環型 BWR についての提案がなかったわけではない。筆者が知る限りにおいて、日立製作所の村瀬氏らが自然循環型 BWR の概念設計研究をしており、1988 年にフランスのアビニオンで開催された International ENS/ANS Conference on Thermal Reactor Safety で発表をしている。村瀬氏らの発表は、会議の目的から安全面に焦点を当てた研究に止まっていたが、その内容に私は大きな共鳴を覚えた記憶がある。

今回、炉物理研究会誌の編集者である岡嶋氏から、後続の研究者に伝える意見についての原稿を求められたことを機会に、以前から考えていた私見を述べさせて頂いた。内容的には発想の原点を述べたのみであるので、技術的判断に思い違いもあるかも知れない。しかし、提起した問題の本質的な概念を理解して頂ければ幸いである。本件は、小生が 50 才代前半に着手したいと考えていた命題である。実際には、その後の職務の変更により、検討に着手することもなく考えを温存していた。若手の研究者の中で、研究課題として引き継いで頂ける方があれば幸いに思う。

## 〈トピックス1〉

### NUCEF 臨界実験研究会の報告

日本原子力研究所  
三好 慶典

#### 1. はじめに

日本原子力研究所の燃料サイクル安全工学研究施設 (NUCEF) では、定常臨界実験装置 STACY 及び過渡臨界実験装置 TRACY を用いて、燃料サイクル関連施設に関する臨界安全研究が本格的に進められつつある。STACY では、平成7年度から濃縮度10%の硝酸ウラニル水溶液に対して、種々の炉物理パラメータのベンチマーク実験が実施されている。また、TRACY では、平成8年度後半から、同じウラン溶液燃料を用いて臨界事故時の核的挙動を解明するための過渡臨界実験が開始されている。

NUCEF における臨界安全研究のかかる現状を踏まえて、第1回NUCEF臨界実験研究会が、平成9年1月14日、原研の東海研究所で開催された。本会合の目的は、両臨界実験装置による外部利用研究を含めた今後の臨界研究の展開等について広く議論することであり、京都大、名古屋大、近畿大、東工大、九州大、北海道大、東京大の各大学、及び動燃事業団 (東海及び大洗) からの参加があった。出席者は、原研の燃料サイクル安全工学部及びNUCEF試験室の関係者を含めて約30名である。会合では、NUCEFにおける研究の現状と将来計画の紹介、及び各参加研究機関における臨界安全関連研究の現状に関する報告があった。また、原研と各研究機関との共同研究などの形によるNUCEF利用研究の展望についての議論を行った。本稿では、各報告の概要について紹介する。

#### 2. 各研究機関における臨界安全研究の現状

##### (1) 日本原子力研究所

原研からは、定常臨界実験装置 STACY 及び過渡臨界実験装置 TRACY について、各装置の概要と研究内容に関する報告があった。

##### 1) 定常臨界実験装置 (STACY)

###### a) 施設の概要

STACY について、炉心構成、反応度制御方法、運転手順、及び溶液燃料サンプリング方法等の説明があった。STACY では溶液燃料を扱うため、燃料のサンプリング方法及び組成分析精度等が実験データの質を左右する。長期間にわたる実験では、ダンプ槽における蒸発、濃縮等による溶液中のウラン濃度、硝酸濃度の経時変化を考慮することが必要である。運転にあたっては、燃料溶液の給液ラインにおける循環等の起動前準備及び残液回収等の運転後の補助作業が必要とされ、実験は1週間あたり2日から3日実施している。炉心の反応度は炉心タンク内の燃料液位により制御され、制御棒を使用しないためにベンチマークデータに適した体系を構成するこ

とが可能である。また、溶液燃料液位の測定データには、接触式の液位計 (測定精度 $\pm 0.2$  mm) による値を採用し、サーボマンメータは連続監視用に使用されている。STACY の運転制御機器及び燃料サンプリング系を図1に示す。(曾野浩樹氏)

b) 実験計測設備の現状

STACYの実験計測設備の現状と今後整備を予定している装置の概要についての報告があった。STACYでは、実験目的に応じて各種の実験計測設備を用いて炉物理パラメータを測定する。実験計測系では、デジタル反応度計による液位反応度の測定、金線放射化法による中性子束分布、及び金箔による炉出力測定を実施している。また、未臨界度及び動特性パラメータの測定には、パルス中性子法を主に用い、そのためのパルス中性子発生装置及びマルチチャンネルスケーラー (MCS) を整備している。ノイズ測定には、データレコーダと高速フーリエ変換装置 (FFT) を用いている。炉心タンク周囲には、ガンマ線スペクトル及び強度測定のために Ge 半導体検出器、NaI シンチレーション検出器が設置され、未臨界実験にも使用されている。中性子相関実験 (Feynman- $\alpha$ 法、Rossi- $\alpha$ 法等) には、最大8チャンネルのMCSの使用が可能である。さらに、中性子、ガンマ線のリストモード測定及び2パラメータ測定用にワークステーションを導入し、現在データ処理用ソフトウェアの整備を進めている。主要な測定項目と計測設備を表1に示す。(外池 幸太郎氏)

c) 10%濃縮硝酸ウラニル水溶液を用いた臨界実験

STACYは、ウラン溶液、プルトニウム溶液及びその混合溶液の静的臨界特性に関するデータを取得するための装置であり、現在までに、濃縮度 10%の硝酸ウラニル水溶液を用いたベンチマークデータが蓄積されつつある。

平成7年2月23日の初回臨界以降、STACYで行われた実験の中から、①基本炉心の臨界ベンチマーク実験、②温度反応度係数測定実験、及び③反射体反応度測定実験についての報告があった。①の実験では、図2に示すような直径60cmの円筒炉心タンクを用いて、十分な厚さの水反射体がある炉心と反射体の無い裸の炉心の臨界量、動特性パラメータ等が測定されている。ウラン濃度は310g U/lから225 g U/lの範囲である。動特性パラメータの測定には、パルス中性子法とノイズ法が用いられている。測定された臨界体系に対しては、種々の臨界計算コードによる検証計算がなされ、詳細な検討が進められている。連続エネルギーモンテカルロコードMCNP-4Aと核データライブラリーJENDL-3.2の組み合わせでは、水反射体炉心で約0.8%、裸炉心で約0.5%中性子実効増倍率を過大評価している。同一の計算コードでは、JENDL3.2ではJENDL3.1に比べて約1.0%大きくなり、U 235の核分裂断面積等の核データに関する再検討が計画されている。SRACシステムの2次元輸送コードTWOTRANとMCNP-4Aの差はわずかであるが、臨界安全ハンドブックに用いられている我国の標準的な臨界解析システムJACS (MULTI-KENO、MGCL137群ライブラリー) では、他に比較して中性子実効増倍率を小さく評価する傾向が見られ、今後検討する余地があると考えられる。図3に、水反射炉心に対するベンチマーク計算の結果を示す。臨界データとしては、水反射体炉心の方が、裸の体系に比べて周囲の構造材、検出器等の影響 (0.1-0.2% $\Delta k$ ) を受けにくいいため、実験上の系統誤差は小さいと考えられる。

②の実験に関しては、溶液燃料体系の臨界事故時の反応度フィードバック特性を支配する温度反応度係数  $\alpha_T$  の結果が報告された。実験では、炉心タンクに溶液燃料の温度を一定に保つよう保温材を設置し、予めダンプタンクで加熱した溶液（最大 39.5℃）を炉心に給液して臨界液位を測定している。ここでは、基準となる室温（25℃）での臨界液位との差から温度による反応度効果が求められて、15度の温度の変化による反応度は約 -60 セントである。温度係数の解析には、TWOTRAN で求めた各温度の中性子実効増倍率の差を利用する固有値法と C I P E R による摂動法が用いられ、概ね温度反応度の特性を再現している。

③の実験は、平成8年度に実施され、円筒炉心における各種反射体の反応度効果が、臨界液位法及びパルス中性子法により測定された。実験に用いた反射体は、ポリエチレン、コンクリート、ボロン入りコンクリート等の再処理施設の構造材に多く用いられている材質であり、反射体厚さ、ボロン含有率が主要なパラメータとなっている。これまで、反射体効果に関する実験は、軽水臨界実験装置 T C A で水反射体との置換ワースが測定された例があるが、今回の S T A C Y データは、反射体の無い炉心を反応度の基準としている。この実験により、反射体効果の飽和特性（厚さ依存性）が明らかになるとともに、コンクリートが水及びポリエチレンに比べて大きい反射体効果を有することが確認された。これらのデータは、臨界安全解析モデルの検討において基礎的な知見として活用される。反射体効果の解析結果も報告されたが、計算モデル及び評価方法について今後さらに検討を進める予定である。（菊池 司氏）

## 2) 過渡臨界実験装置 (TRACY)

### a) 施設の概要

TRACY の運転方法を含めた施設全般についての概要が報告された。TRACY は外径 50cm、内径 7.6cm のステンレス製円環炉心タンクに  $^{235}\text{U}$  濃縮度 10% の硝酸ウラニル水溶液を給液することにより超臨界実験を行う装置である。炉心タンク中心孔には、制御棒の一種である調整トランジェント棒 (Tr 棒) が設置されている。反応度の添加は次の3とおりの方法で行う。①パルス引抜き：Tr 棒の圧空による引抜き（フルストローク約 0.2 秒）、②ランプ引抜き：Tr 棒の電動による引抜き（最大速度 900cm/分）、③ランプ給液：ポンプによる連続給液（最大流量 63l/分）。添加反応は最大 3 ドル、出力及び積算出力は、一実験当たり、最大 5000MW、32MW・s ( $10^{18}$ fission) に制限されている。TRACY の系統構成を図 4 に示す。（小川 和彦氏）

### b) 計測装置の概要

計画中のものも含めた TRACY 計測装置の概要が報告された。計測項目としては、中性子束、ガンマ線、圧力、温度、ボイド率、液位、放射性物質移行があり、このうち整備が（ほぼ）終了している核計装（中性子束計測）、圧力計及び炉心タンクひずみ計、温度計の仕様、構造が示された（表 2 参照）。他の項目に対する計測装置は、今後整備を進めていく予定である。（會澤 栄寿氏）



## c) 実験の現状と計画

実験のこれまでの経緯、実験結果及び今後の計画について報告が行われた。

TRACYは平成7年12月20日に初臨界を達成した後、定常運転時の特性試験を実施し、平成8年6月25日に初の過渡臨界(=超臨界)実験を行った。その後、一連の過渡臨界特性試験が行われ、9月5日に性能試験を終了した。11月~12月には、使用前検査合格後の初の実験を行った。

定常運転時の特性試験では、臨界量、最大過剰反応度、停止余裕、Tr棒反応度値等の測定を行った。初臨界炉心は、燃料濃度433.3gU/l、遊離硝酸濃度0.89N、臨界液位45.0cmである。また、Tr棒の反応度値は1.84ドルであった。(これが、過渡臨界実験時の最大添加反応度となる。)連続エネルギーモンテカルロコードMCNP-4Aと核データライブラリJENDL-3.2を用いた臨界炉心の解析では、中性子実効増倍率が約1%過大評価となった。これは、核データの精度に主な原因があるものと考えられる。

過渡臨界特性試験では、上記に示した反応度添加方法のうち、パルス引抜により0.8,1.2,1.84ドルの反応度添加を、また、ランプ引抜では1.84ドル、ランプ給液では1.6ドルの反応度添加を行った。図5に反応度添加方法による出力ピークの変化を示す。反応度添加率が遅くなるにつれて、出力の立ち上がりが遅くなり、ピーク値が減少していく様子がわかる。一連の出力変化の解析の結果、出力ピークまでは温度フィードバックが支配的に働いていること及びピーク後の出力挙動は放射線分解ガスによるボイドフィードバックの効果が大きいことがわかった。使用前検査合格後の実験では、パルス中性子実験による $\beta_{eff}$ の測定、ベントガスサンプリングによる放射性物質移行特性の測定等が行われた。今後は、Tr棒を反応度値のより大きなものに交換し、最大3ドルまでの反応度添加実験を行うとともに水反射体付き炉心の過渡臨界実験を行う予定である。(中島 健氏)

## (2) 京都大学

京都大学からは、ファインマン- $\alpha$ 法による未臨界度測定をテーマに発表があった。京都大学では、ファインマン- $\alpha$ 法で測定される $\alpha$ 値の変化から反応度の変化を検出することを、京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)を用いて実験的に試みてきたほか、この方法に関するさまざまな理論的検討を行ってきた。

今回の会合では、ファインマン- $\alpha$ 法による反応度測定の原理の説明があった後、京都大学で開発された独自の方法が、KUCAにおける測定結果とあわせて紹介された。

通常、ファインマン- $\alpha$ 法は、一定の未臨界度の体系と中性子源を組み合わせ、パルス駆動型検出器が一定の計数率で中性子を検出している状態で測定を行う。測定結果を統計処理したのち $\alpha$ 値をフィッティングにより求めるので、良好な統計精度を得るためには比較的長時間の測定となる。

京都大学では、短い時間で測定を打ち切り、統計処理により $\alpha$ 値を求め、短い時間間隔で $\alpha$ 値を繰り返し求めることにより、 $\alpha$ 値の変化から反応度変化を検出している。この方法では統計精度が悪いので、繰り返し測定される $\alpha$ 値の変動は大きくなりがちであるが、 $\alpha$ 値の時間変化を統計的に処理し、変化の傾向を求め、結果として反応度の変化を知るこ

とができる。この方法によれば、たとえ体系が臨界を超えて検出器の計数率が時間とともに上昇するような場合であっても、 $\alpha$  値を求めることができ、臨界に近いところでの反応度変化を検出することが可能である。図6には、臨界近接を行いながらファインマン- $\alpha$  法により  $\alpha$  値の変化を測定した様子を示す。

なお、本発表に対する質疑応答では、必要な測定器に関して質問があり、従来型のパルス駆動型検出器、マルチチャンネルスケーラ (MCS)、データ処理装置があれば、純粹に受動的な方法で測定が可能であることが説明された。また、適用可能な未臨界度について、中性子実効増倍率が 0.9 程度までならば、 $\alpha$  値から未臨界度を決定できるとのことである。(代谷 誠治氏)

### (3) 名古屋大学

名古屋大学からは、中性子束分布の測定をテーマに、新しく開発された検出器の紹介があった。名古屋大学では位置検出型の検出器の開発を進めており、新しい検出器を KUCA における実験で用いて適用性を確認しているほか、Flux Tilt の測定に応用している。

今回の会合では、先端にシンチレータを取り付けた光ファイバー型検出器と位置検出型比例計数管が紹介された。

光ファイバー型検出器は、先端に中性子シンチレータが取り付けられており、中性子の検出により発生した光パルスは光ファイバーを通して光電管に導かれる。光ファイバーは細く、軽いいため、先端部を駆動装置により移動させることが可能である。KUCA の固体減速架台において燃料集合体の隙間の中を検出器の先端を移動させ、計数率の変化を測定することにより、中性子束分布を得ている。図7に KUCA における測定例を示す。

一方、位置検出型比例計数管は、一本の長い比例計数管であり、二種類の信号を出力する。この出力信号の比から感度のあった位置を知ることができる。この装置の場合、KUCA の燃料集合体を検出器に置き換え、高さ方向の中性子束分布を直接測定することができる。図8に KUCA における測定例を示す。ここでは、異なった制御棒・安全棒配置で測定を行っており、未臨界度が浅くなると中性子束分布が余弦分布近づく様子が示されている。もっとも深い未臨界度は約 4\$ であり、測定に要した時間は約 20 分である。

KUCA における実験では、位置検出型比例計数管を用いた中性子束分布測定により、体系の固有値間隔が求められている。また、光ファイバー型検出器で中性子束歪み量を測定し、体系の固有値間隔や、制御棒により投入される反応度との関係が調べられている。

発表後の質疑応答では、比例計数管の中性子スペクトル感度と Flux Tilt 計算との関係や、位置検出型比例計数管のサイズ及び位置分解能について質問があった。これに対し、Flux Tilt の計算においては、まだ、中性子スペクトルがきちんと織り込まれていないこと、位置検出型比例計数管の全長は、最大で 1.2 m、位置分解能は、ガスの内圧にも依存するが、概ね 2~3 mm 程度であるとの説明があった。(三澤 毅氏)

(4) 近畿大学

近畿大学からも、ファインマン- $\alpha$ 法をテーマに、解析手法について新たな方法が提案された。臨界に非常に近い体系あるいは臨界体系は、統計的に見て不安定な体系であり、従来のファインマン- $\alpha$ 法では統計解析が発散する傾向が強く、適用性が悪かった。

京都大学の発表ではこの点を克服するため、短い時間幅で測定を打ち切りながら小刻みに $\alpha$ 値を求める方法が提案されたが、近畿大学からは、計数率の測定データを解析する前に、階差フィルターを適用することにより低周波成分を除去する方法が報告された。

報告の中では、 $\alpha$ 値を求める際に必要なフィッティング式についても、階差フィルターを適用した場合について定式化され、また、KUCA実験の結果から、1次、2次、3次と高次の階差フィルターを適用すると、低周波成分の影響を効果的に除去できることが示された。図9にKUCAにおいて臨界超過状態でファインマン- $\alpha$ 法を実施したときに、フィルターを適用しない場合と適用した場合の測定結果の違いを示した。フィルターを適用することにより、長いゲート幅で統計が発散する傾向を効果的に抑えることに成功している。

質疑応答では、高次フィルターのデメリットについて質問があり、統計精度が悪くなる旨の説明があった。また、これに関連し、通常臨界状態における測定では1次フィルターを、臨界超過のような、よほど不安定な測定を行った場合でも2次フィルターを用いれば、良好な結果が得られるとのことである。(橋本 憲吾氏)

(5) 東京工業大学

東京工業大学からは固体燃料パルス炉の解析を目標として開発された動特性解析コードの概要とTRACY解析への適用可能性について報告が行われた。同コードは時間依存の1次元多群拡散近似コードであり、球、平板、円筒体系を取扱える。反応度フィードバックは、温度フィードバックであり、計算によって求めた各空間メッシュ点の温度変化から、温度点毎の群定数セットをもとに反応度計算を行う。TRACYのような溶液燃料体系への適用には、熱膨張、放射線分解ガスボイド等の効果を取り入れる必要がある。(小原 徹氏)

(6) 九州大学

九州大学からは、トリウム燃料炉心の臨界実験について報告が行われた。この実験は、京都大学原子炉実験所との共同研究としてKUCAを用いて行われている。実験では、臨界近接、余剰反応度、制御棒価値、中性子束分布、カドミ比、放射化箔による測定等を実施している。

また、報告と併せて平成9年度より発足する「炉雑音計測法の高度化の新しい応用」研究専門委員会(日本原子力学会、主査:九州大学 的場 優 教授)の紹介が行われた。

(工藤 和彦氏)

(7) 動力炉核燃料開発事業団

動力炉核燃料開発事業団(動燃)からは、重水臨界実験装置(DCA)を用いた最近の実験的研究について紹介があった。

まず、DCAについて簡単な説明があったのち、DCAにおいて実験が行われたATR体系と未臨界度測定実験体系について、WIMS-CITATIONあるいはWIMS-TWOTRANを用いた決定論的手法による解析と、SCALE-KENOを用いたモンテカルロ法による解析について比較が示された。さらに、SCALE-TWODANTにより解析もあわせて紹介され、この組み合わせによる解析が良好なC/E値であることが示された。

また、炉雑音解析の実験について、九州大学と共同で行っているパルス時系列データ収集の試みが紹介されたほか、京都大学と共同で行っているファインマン- $\alpha$ 法による測定では、約0.9の中性子実効増倍率を2分の測定で検知できたことが示された。また、ミハルゾ法による測定のため、Cf線源検出器を開発し、適用性の確認が行われていることが説明された。また、今後の新しい実験手法として、ウェーブレット解析や、計算機直接入力システムの開発を検討しているとのことである。

図10に、現在DCAにおいて実施可能な炉雑音測定システムを示す。(大谷 暢夫氏)

### 3. まとめ

今回の会合における報告は、臨界安全関連テーマの中で主に実験的研究に関するものが中心であったが、最近のハードウェア・ソフトウェア両面の進歩を取り入れた測定が多くなっていることが特徴としてあげられる。

STACY実験に関しては、報告にもあったように、未臨界度測定手法、炉物理パラメータ測定手法等の適用化のための研究に有効であると考えられる。ここでは、最近の著しい計算技術の進歩も踏まえて、実時間処理による臨界安全管理技術の実現が一つの目標となるであろう。また、これに関連して、新たな中性子検出器を利用した実験及びデータ処理の可能性も示唆された。

一方、TRACYによる過渡臨界実験に関しては、反応度フィードバック特性を解明するために、放射線分解ガスボイドの挙動を明らかにすることが必要であり、そのための測定装置の開発の重要性が指摘された。また、臨界事故時の解析手法の改良に対しては、評価の目的に応じて種々の解析モデルによるアプローチが当面必要となるだろう。

原研では、現在、溶液燃料に関する静的・動的特性の基礎データの蓄積を中心としてSTACY、TRACYの実験を進めているが、今後、データ処理方法の改善を図るとともに、ノイズ測定等の炉物理実験のシミュレーションコードの開発を進める予定である。また、実験データの詳細な評価のためには、微少な変形効果を取り扱える新たな解析手法等の確立も必要である。

本会合は、定期的で開催し、具体的な利用形態についてさらに検討を重ねていくことになったが、実験及び解析両面において、広く臨界研究に関心のある方々の参加をお願いする次第である。

なお、本稿をまとめるにあたっては、原研の外池幸太郎氏と中島健氏に協力していただいた。ここにお礼申し上げる。

表1 STACYの計測設備

測定項目	測定法	実験系設備	本体系設備
1) 臨界液位			触針式液位計
2) 液位反応度	ペリオド法 パルス中性子法	デジタル反応度計 中性子発生管、高速MCS	
3) 中性子束分布	計数管スキャン法 金線放射化法	検出器駆動装置 井戸型NaIシンチレーション 検出器	
4) 動特性パラメータ 未臨界度	パルス中性子法 ノイズ法 Benett法 高エネルギーガンマ線法	中性子発生管、高速MCS データレコーダ、高速フーリエ変換器(FFT)、パルス間隔測定系 高速MCS, Labo-system Pure-Ge検出器、NaI	
5) 熱出力	中性子源挿入法 金箔放射化法 溶液燃料FPガンマスペクトル解析	MCS、データレコーダ $\beta - \gamma$ 同時計数装置	起動用中性子 分析設備

表2 TRACY の計測設備

計測項目	本体系設備	実験系設備
中性子束	核計装	核計装 (過渡対数2系統のみ)
ガンマ線	放射線量率計	放射線量率計 (整備中)
圧力	圧力計 (炉心タンク下部、槽ベント系)	炉心タンクひずみ計 (整備中)
温度	温度計 (炉心タンク底部)	温度計 (軸方向10点)
ボイド率	—————	ボイド率計 (未整備)
液位	蝕針式液位計 マイクロ波液位計	—————
放射性物質移行	—————	気相部試料採取器 (整備中)
データ収集装置	本体系データロガー	実験系データロガー

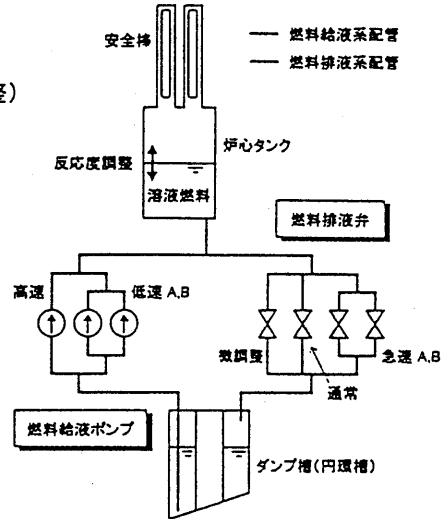
運転制御機器(1)

■ 反応度調整(=燃料液位調整)

- ◆ 炉心タンク燃料給液
  - + 高速給液ポンプ
  - + 低速給液ポンプ
- ◆ 炉心タンク燃料排液
  - + 微調整排液弁 (通常排液弁)

■ 緊急停止(スクラム)

- ◆ 安全棒挿入
  - + 中性子吸収材 B<sub>4</sub>C
- ◆ 燃料排液
  - + 急速排液弁
  - + 通常排液弁



燃料サンプリング

■ 燃料サンプリング

- ◆ ダンプ槽サンプリング装置 (実験開始前)
- ◆ 炉心タンクサンプリング装置 (実験終了直後)

■ サンプリング試料定量分析

- ◆ 燃料密度 ..... 小数点以下4桁の精度
- ◆ ウラン濃度 ..... 約±0.6%
- ◆ 硝酸濃度 ..... 約±1.1%
- ◆ 不純物濃度 ..... 約±10%
- ◆ FPガンマ線分析 ..... 約±3~5%程度

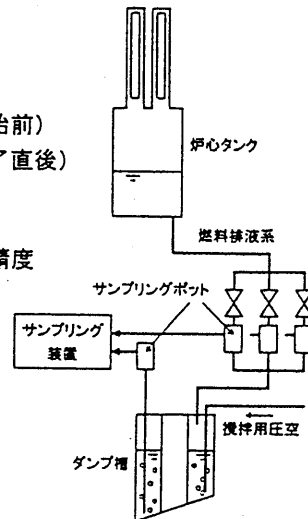


図1 STACYの運転制御機器及び燃料サンプリング系

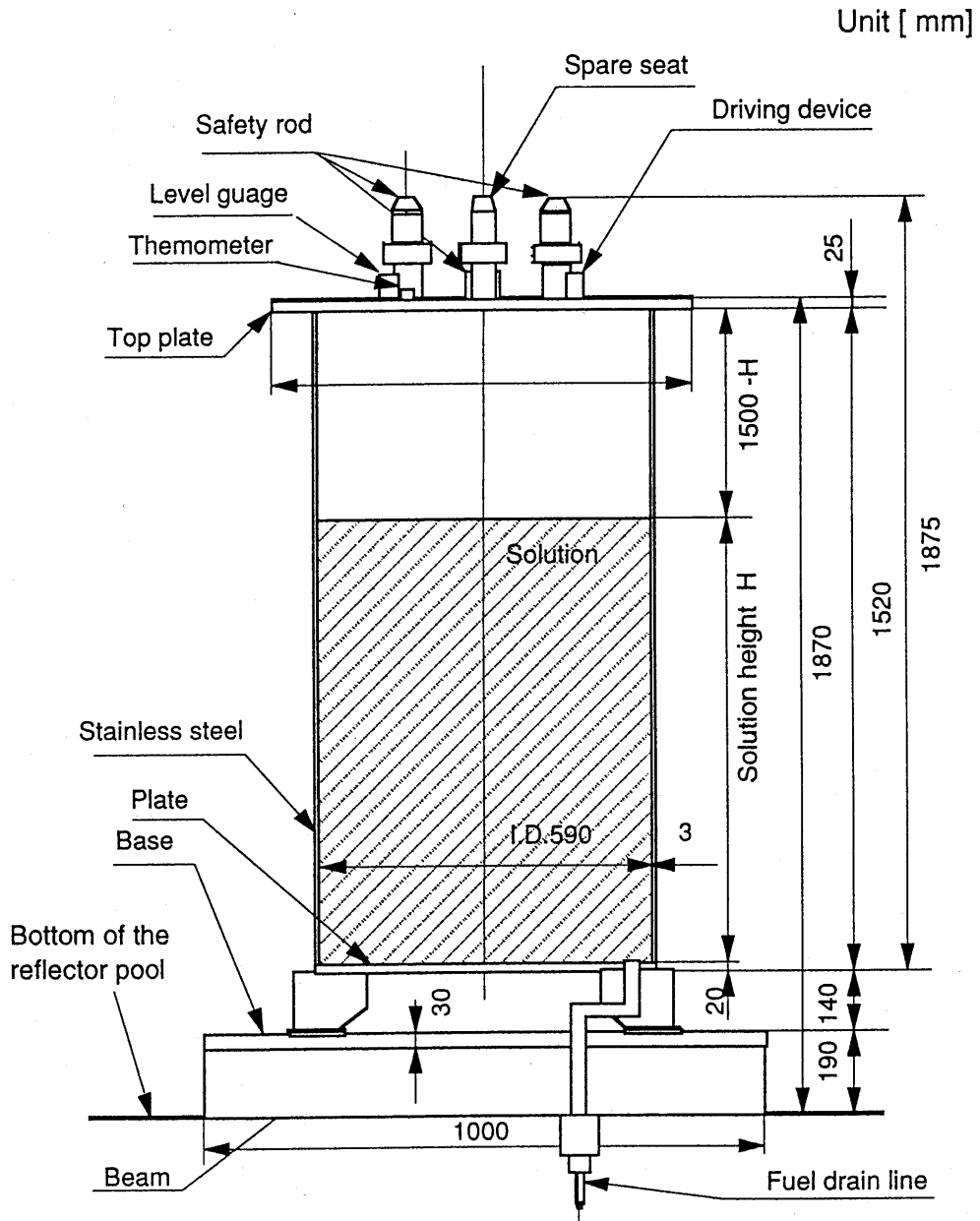


図2 STACYの600φ円筒炉心タンクの断面図



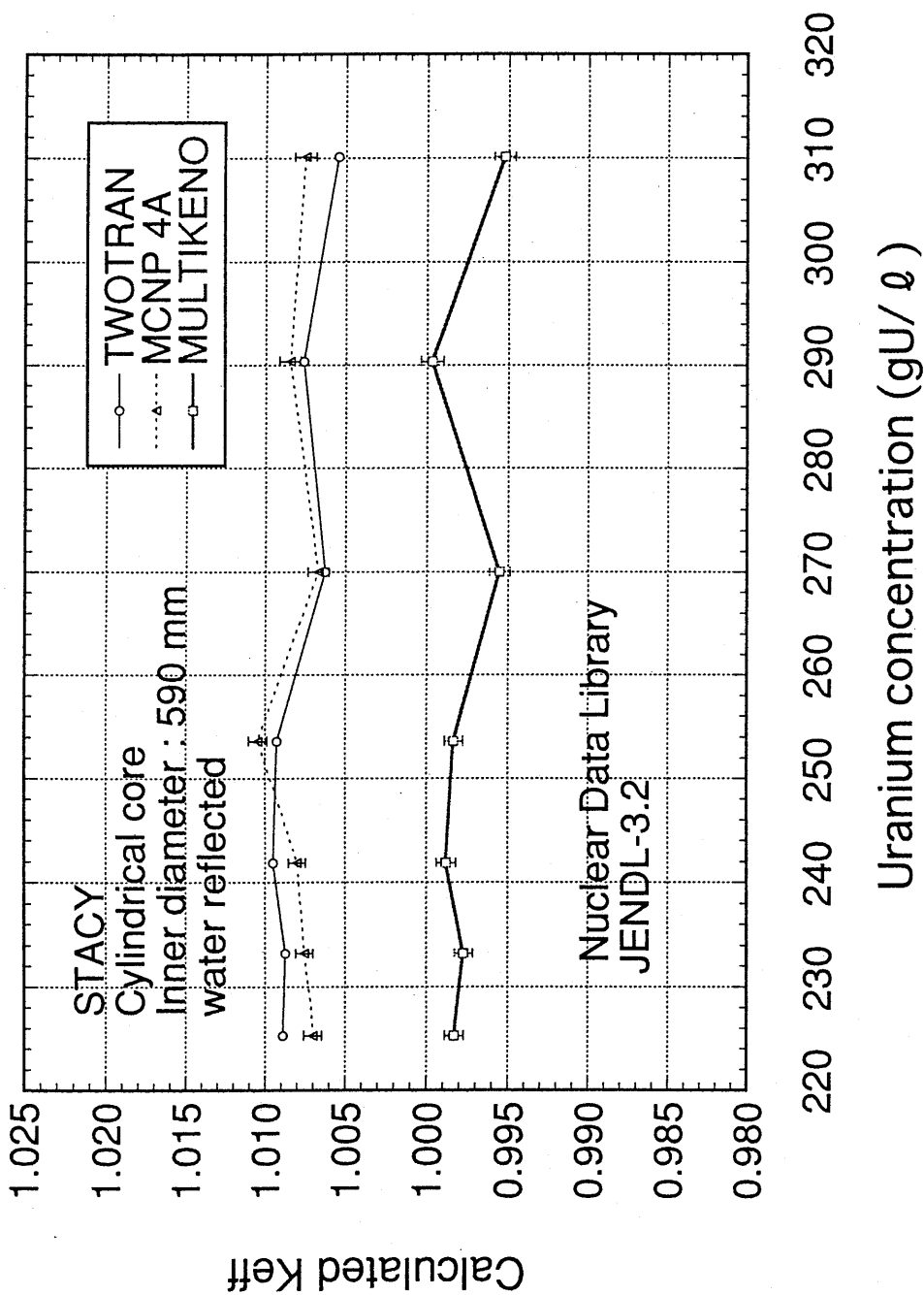


図3 水反射体炉心に対するベンチマーク解析結果

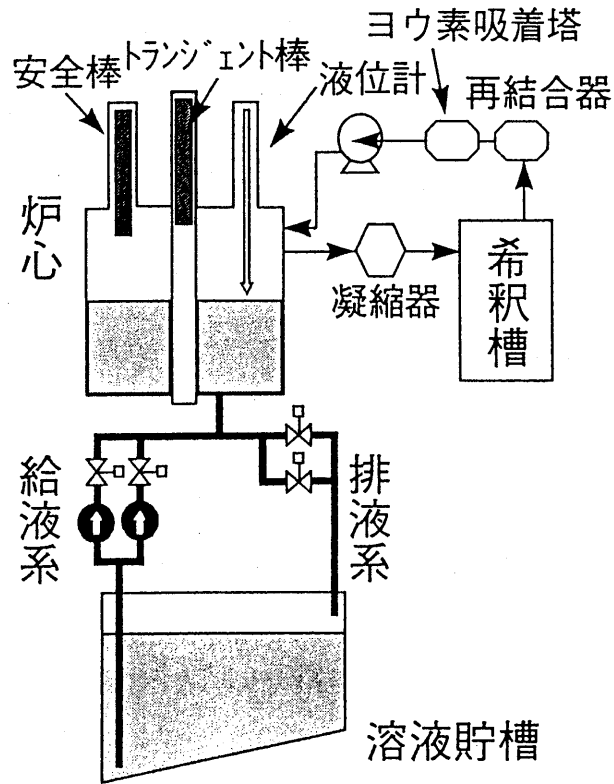


図4 TRACYの系統構成

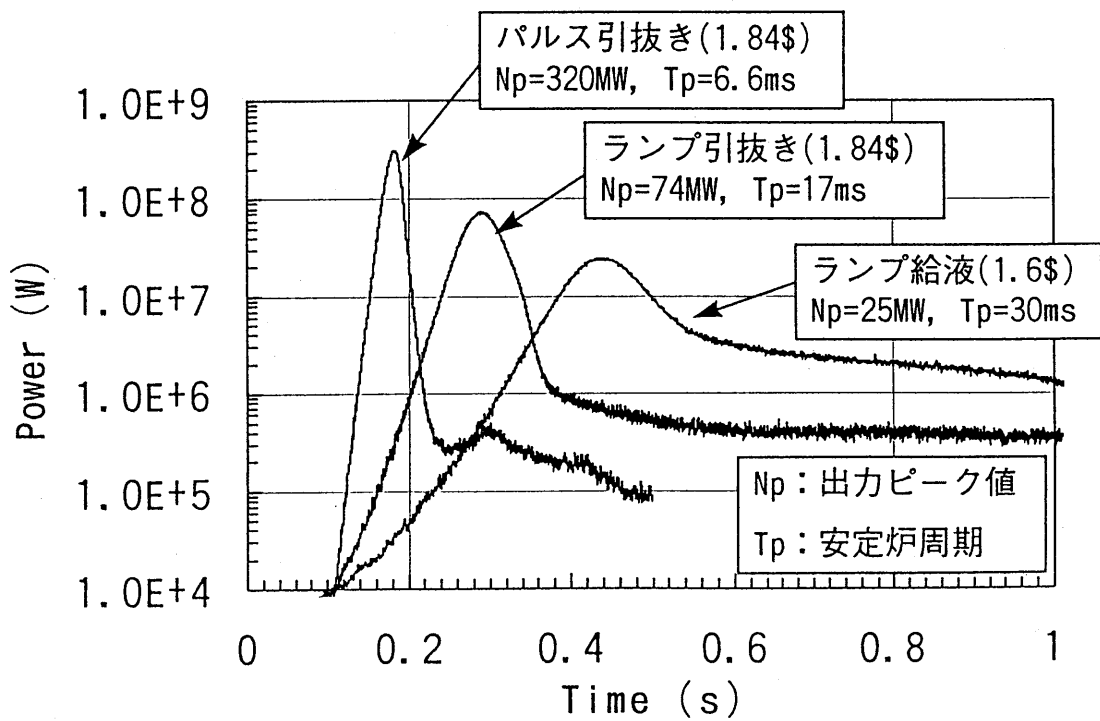


図5 TRACYの出力変化の比較

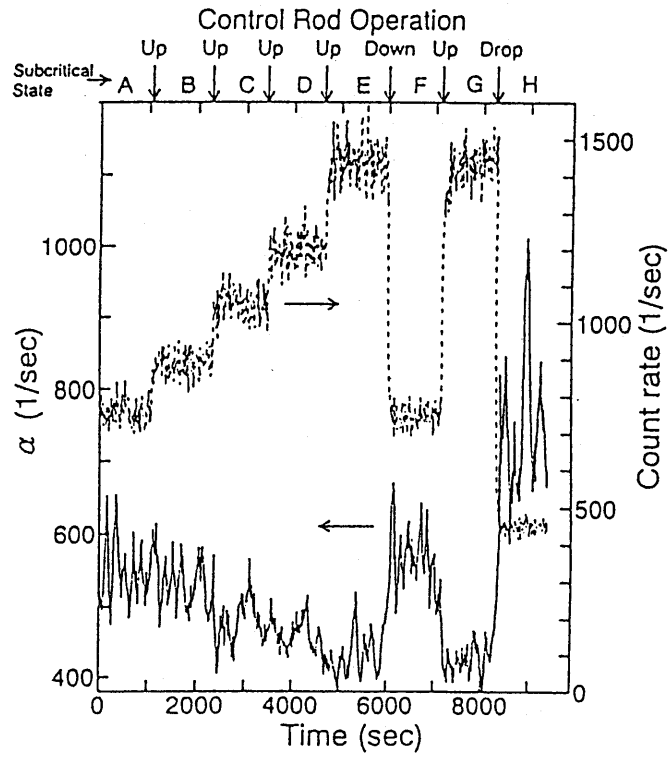
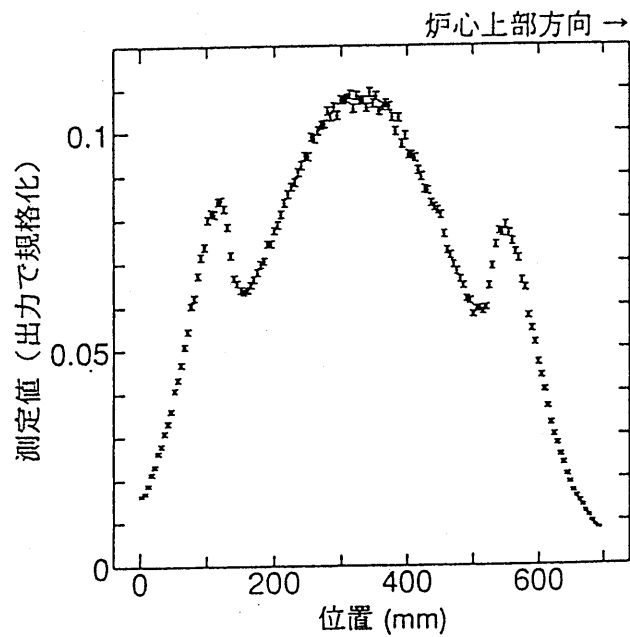


図6 未臨界度の変化と $\alpha$ 値 (Feynman- $\alpha$ 法) の変化 (KUCAにおける測定例)



Run No. 4428-2 (約0.493cmバンチング)

図7 光ファイバー型検出器により測定された中性子束分布  
(KUCA にて LiOH シンチレータを使用)

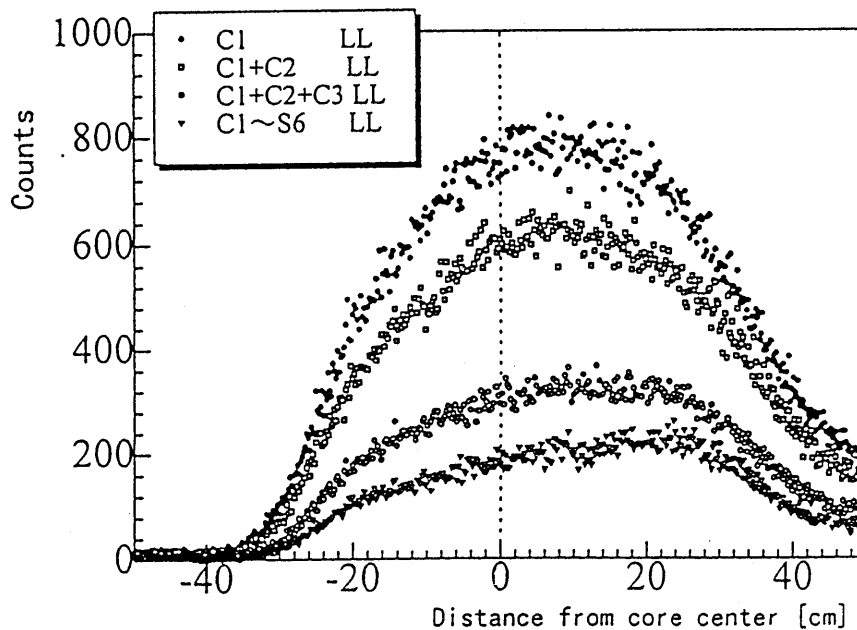
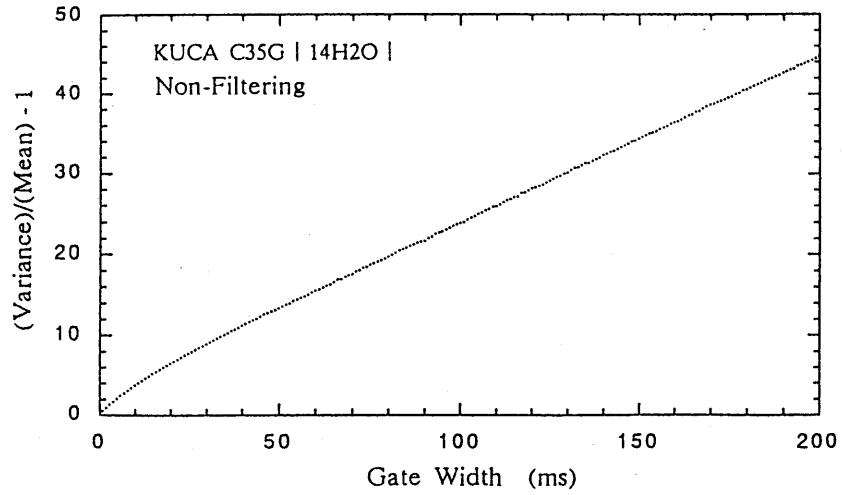
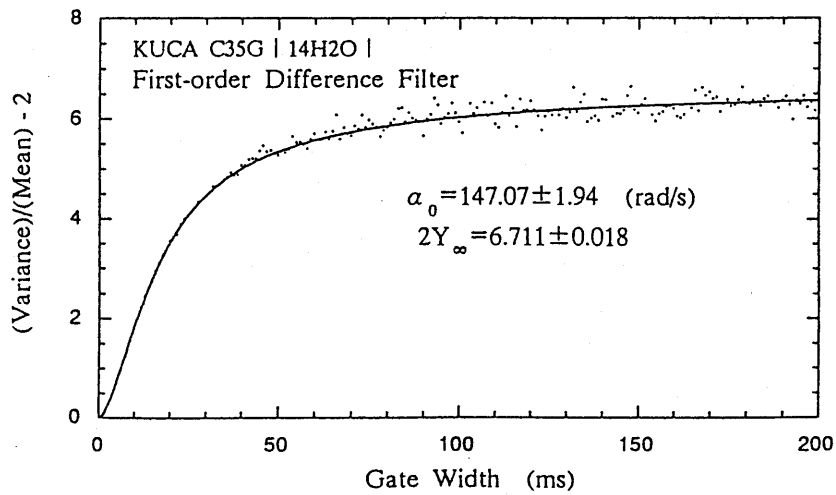


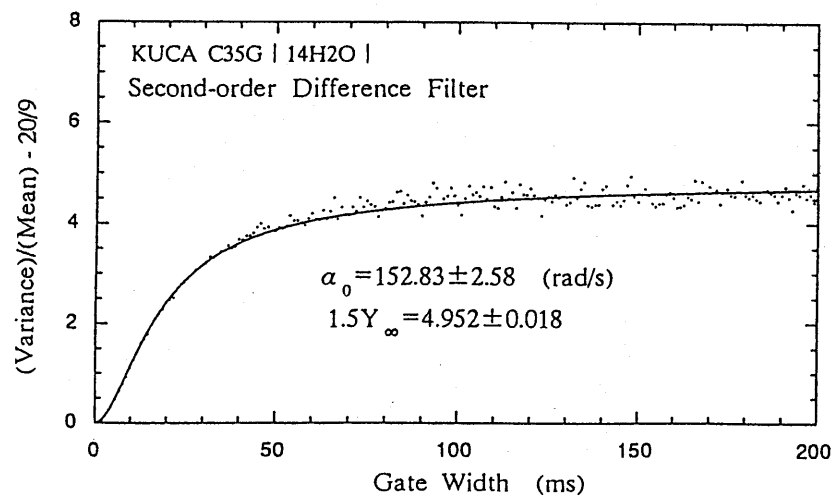
図8 位置検出型比例計数管により測定された中性子束分布  
(KUCA にて測定を実施)



(a) フィルター非適用



(b) 1次階差フィルター適用



(c) 2次階差フィルター適用

図9 階差フィルターの効果 (Feynman- $\alpha$ 法)  
(KUCAにおいて臨界超過状態で測定を実施)

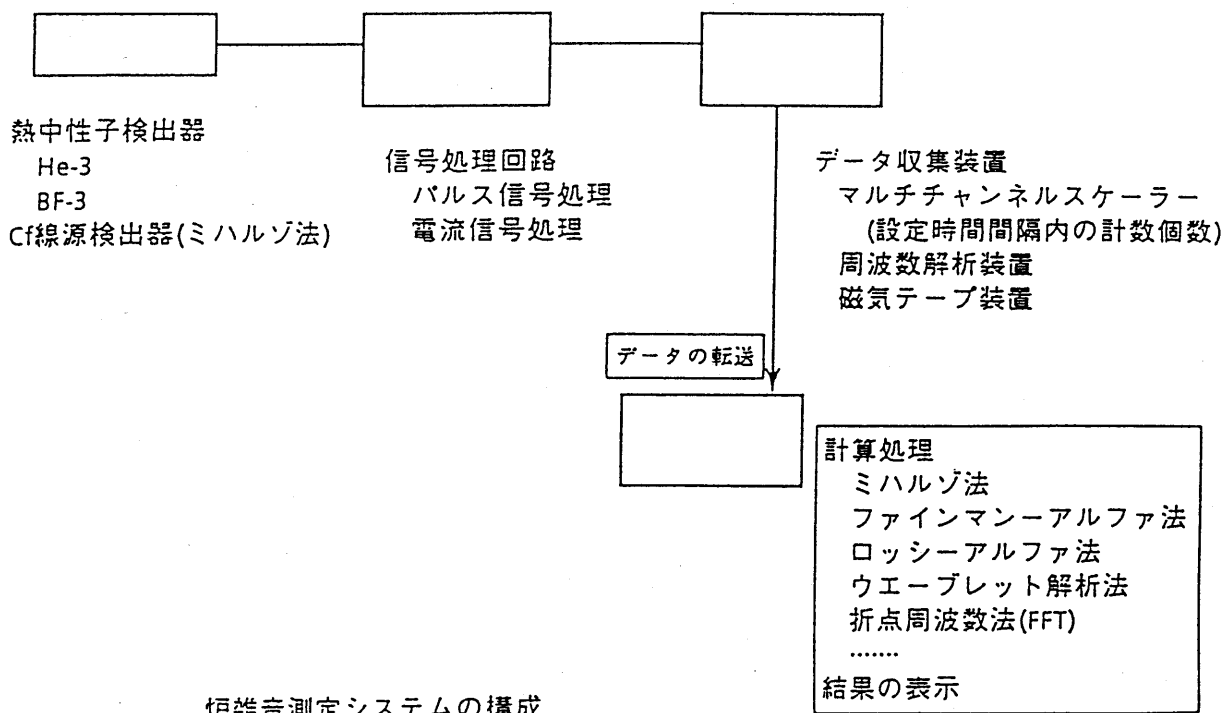


図 10 DCA に整備されている炉雑音測定システム

## <トピックス2>

### 軽水炉によるPu燃焼のためのベンチマーク

原研 高野秀機

#### 1. OECD/NEAのMOX燃料PWRリサイクリングベンチマーク

Phase I ベンチマークは、1992年11月から1995年3月まで、PWR及び高速炉におけるPu燃焼特性の物理的課題を検討し、その結果は以下の5冊のレポートにまとめられている。(1)Physics of Plutonium Recycling, (2)Plutonium Recycling in PWR, (3)Void Reactivity Effect in PWR, (4)Plutonium Recycling in FBR, (5)Fast Plutonium Burner Reactors.

Phase IIベンチマークは、Phase Iの結果を受けて、1995年10月からPuをPWRでリサイクルする場合のPu消費量、マイナーアクチニドの生成量、使用済み燃料の毒性及び動特性パラメータへの影響等を評価する目的で開始された。参加は10ヶ国から16機関で日本からは、原研、東北大、名古屋大、大阪大が参加した。

計算モデルは、Fig. 1に示すように燃料、被覆管、減速材からなる円柱化セルモデルであり、減速材比の異なるすなわち水対燃料体積比が2.0 (標準、S-PWR)と3.5 (高減速、HM-PWR)の100%MOX燃料PWRにおいて現行のウラン燃料PWRからのPuとリサイクルPu燃料を3:1に混合してリサイクルを5回まで行い、各サイクルでの同位体組成、反応度パラメータ等を比較検討するものである。データと手法の比較のために、各サイクル毎にPu富化度及び組成を与え各反応断面積の比較等を行った。計算条件及び解析項目は以下のようである。

##### ・燃料仕様

Fuel:	10.02g/cm <sup>3</sup> , T=900K, 10%Pu+90%U
Clad:	6.55g/cm <sup>3</sup> , T=600K, Zr-nat
Moderator:	0.7195g/cm <sup>3</sup> , T=573K, H <sub>2</sub> O+500ppmB

##### ・燃焼パラメータ

冷却期間:	照射前2年、照射後5年
燃焼度:	51,000MWd/ton
線出力:	178W/cm(S-PWR), 280W/cm(HM-PWR)
バッチ数:	3
Pu富化度:	各サイクルの34,000MWd/t時点の反応度をS-PWRの第一サイクル時の値にあわせる。

##### ・解析項目

同位体組成:	原子数、密度、原子数割合
断面積:	捕獲、核分裂、(n, 2n)

同位体組成:	原子数、密度、原子数割合
断面積:	捕獲、核分裂、(n,2n)
反応度:	ボロン、温度係数、ボイド係数、反応度バランス
放射能及び毒性:	重要指定核種毎

計算結果の主な概要は以下のようである。

- (1)標準初期炉心の無限増倍係数で最大8%の差が見られたが、12機関の結果は1%の間に集中していた(Fig.2,3)。Phase Iの結果より各機関の一致はよくなった。
- (2)反応度パラメータでは、ボロン価値、減速材温度係数は比較的よい一致を示したが、ボイド反応度、ドップラー反応度に大きな差が生じた(Fig.4,5)。特に、ボイド効果における漏れ効果の検討が必要である。また、U-238の非弾性散乱断面積及びFPについての考察が必要である。
- (3)Puの消費量は比較的よい一致を示したが、MAの生成量にかなりのばらつきがあったため、燃焼初期及び末期での巨視的断面積の詳細な比較が必要とされた。また、高減速炉心では、MAの生成量が少ないことが確認された。
- (4)計算結果の差をさらに議論するには、共通の核データに基づく計算手法の比較が必要であり、核データへのフィードバックには積分実験データによる検証が必要である。
- (5)PWRによるPu利用は十分実用化できるが、5リサイクル時にはボイド係数が正になる点に留意する必要がある。

## 2. イナートマトリックス燃料ベンチマーク

参加国は、日本(JAERI)、スイス(PSI)、イタリア(PoliMI)、フランス(CEA)、ドイツ(TUI)、ベルギー(ECN)、アメリカ(MIT)の7ヶ国である。燃料形態としては、(1)5PuO<sub>2</sub>-35ZrO<sub>2</sub>-50Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-10MgO、(2)5PuO<sub>2</sub>-35ThO<sub>2</sub>-50Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-10MgO、(3)4.4PuO<sub>2</sub>-94.9ZrO<sub>2</sub>-0.7Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、(4)4.3PuO<sub>2</sub>-93.1ZrO<sub>2</sub>-2.6Bnatであり、現行のPWRのセルモデルを用いてk-inf.、反応率、原子数密度、ドップラー反応度、ボイド係数、ボロンワース等の積分値を比較検討した。Pu組成には、核兵器級Pu(WPu)及び原子炉級Pu(RPu)の両方が考えられた。一例として、Fig.6と7に燃料形態(1)におけるWPuとRPuを使用した場合について示す。使用コード及び核データライブラリーは、JAERI:SRAC/JENDL-3.2、MIT:MCNP-ORIGEN2/ENDF/B-V、PoliMI:WIMS-D/ENDF/B-IV、PSI:ELCOS/JEF-1/BROND2(Er)である。WPuのケースではPu組成はPu-239が94%であ



検討及び精度よい計算手法の開発が必要である。

(3) 積分データ: MOX、イナータマトリックス燃料臨界集合体積分実験及び燃料サンプル燃焼実験解析が必要である。

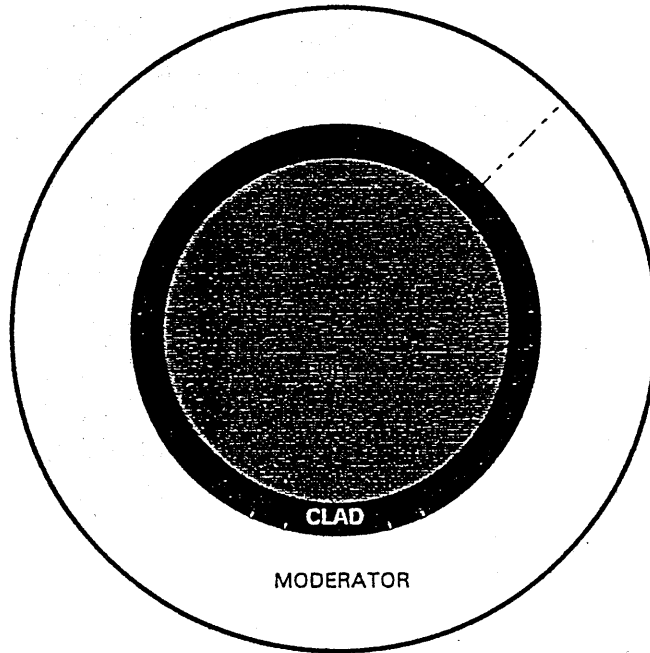
#### 4. 核データの課題

Pu、U-238及びマイナーアクチノイド核種の断面積、FP断面積、Am-241等の分岐比、核分裂エネルギー及び生成量等の精度向上が必要である。

#### 5. まとめ

Puを軽水炉及び高速炉で燃焼させることが世界的な課題となっている。そのため、OECD/NEAを中心に国際ベンチマーク計算が行われ、現在使用されている核データと計算手法の問題点が明らかにされた。最近、連続エネルギーモンテカルロコードがコンピュータの性能アップとともに計算手法の基本解を与えるものとして使用されているが、これらのコード間においても計算結果に無視できない差が存在し、ましてや、U-235やPu-239の基本核データに不確かさがある現状においては、連続エネルギーモンテカルロコードの核特性予測精度に限界があることが確認された。そのため、積分実験データの取得が必要であり、現在、日本(NUPEC)とフランス(CEA)で進められているミストラル計画: MOX燃料PWR/BWR模擬臨界実験等の結果がベンチマーク問題として提案されることが望まれている。今後、炉物理的及び核データの検討課題として以下のような点が考えられる。

- (1) 高精度ベンチマークテスト及び感度解析を利用した核データへのフィードバック: 積分データ実験の必要性と連続エネルギーモンテカルロの活用。
- (2) 核データの再評価: 微分データ測定の必要性と限界。
- (3) 感度解析を利用した統合断面積ライブラリーの検討。



$R_3$ : External Radius of the cell

$R_2$ : External Radius of the clad

$R_1$ : External Radius of the fuel pin

$$R_1 = 0.4127 \text{ cm}$$

$$R_2 = 0.4744 \text{ cm}$$

For the standard PWR..... $R_3 = 0.7521 \text{ cm}$

For the HM-PWR..... $R_3 = 0.9062 \text{ cm}$

In the different zones, the materials are:

$0 < R < R_1 \Rightarrow$  The fuel material

$R_1 < R < R_2 \Rightarrow$  The clad

$R_2 < R < R_3 \Rightarrow$  The moderator (*The water at nominal conditions, Pressure 155 Bars and Temperature: 313°C*)

Fig. 1標準(S-PWR) 及び高減速(HM-PWR)PWR のセル計算モデル

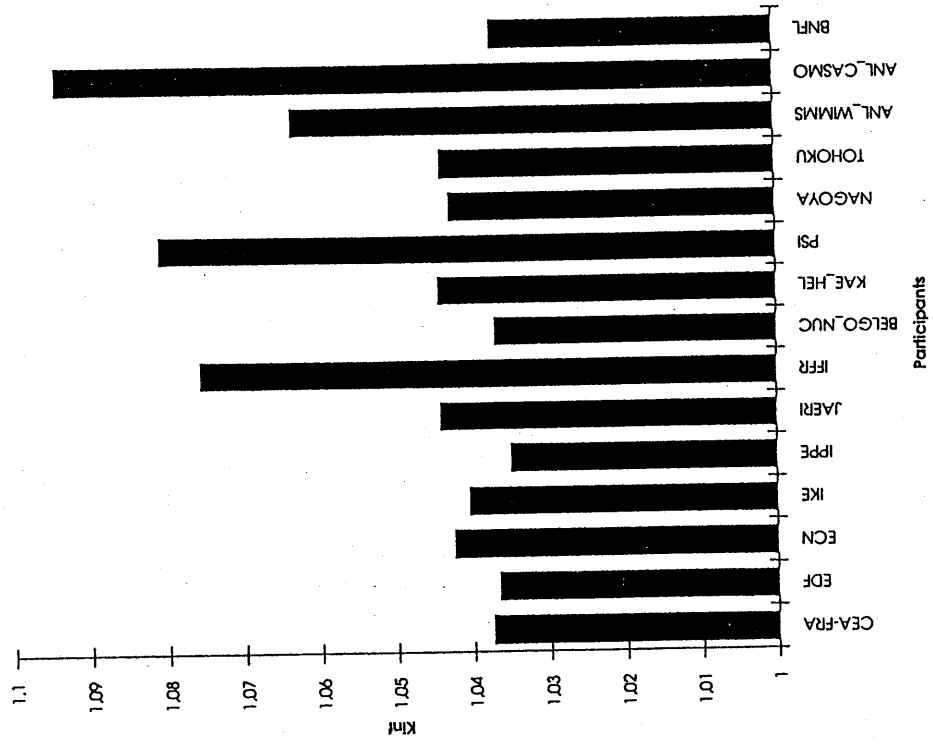


Fig.3 HM-PWR セル計算におけるk-inf の比較

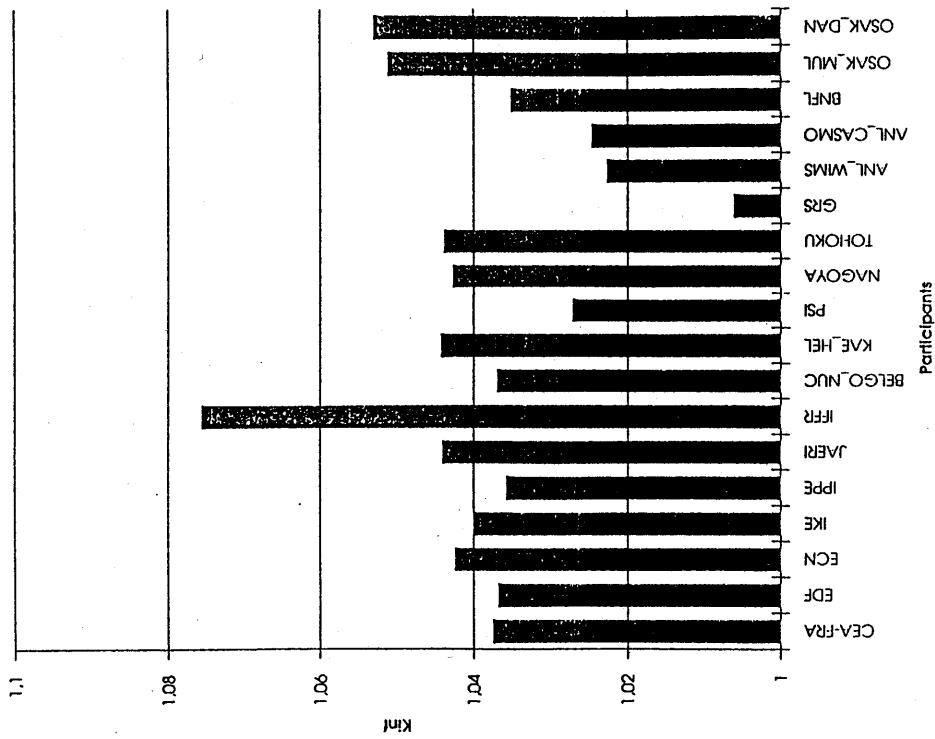


Fig.2 S-PWR セル計算におけるk-inf の比較

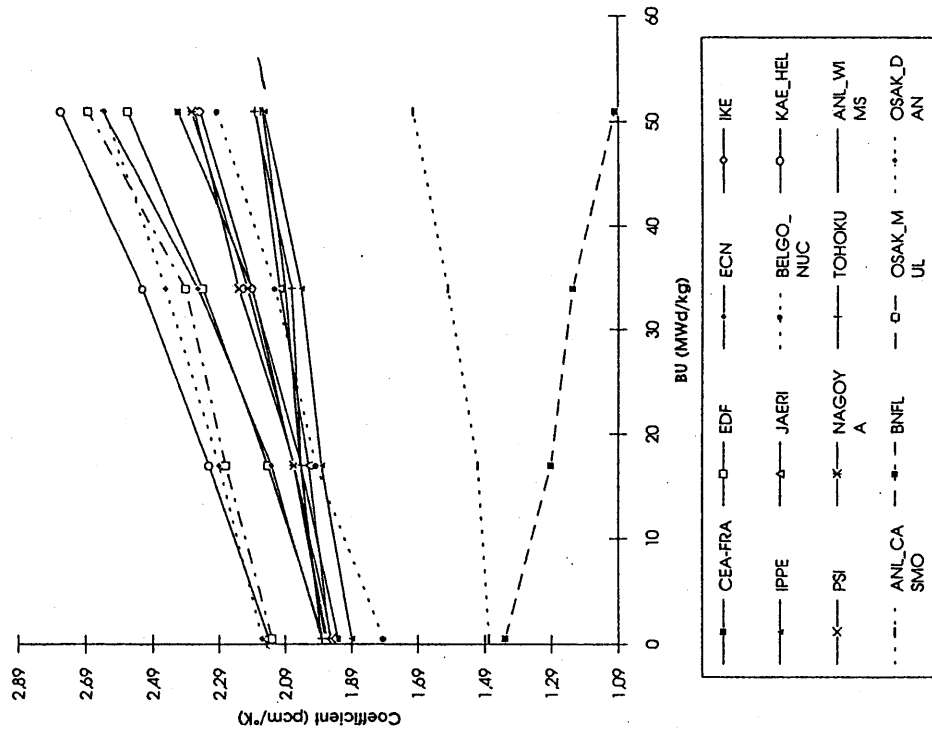


Fig. 4 HM-PWRにおけるボイド反応度の比較

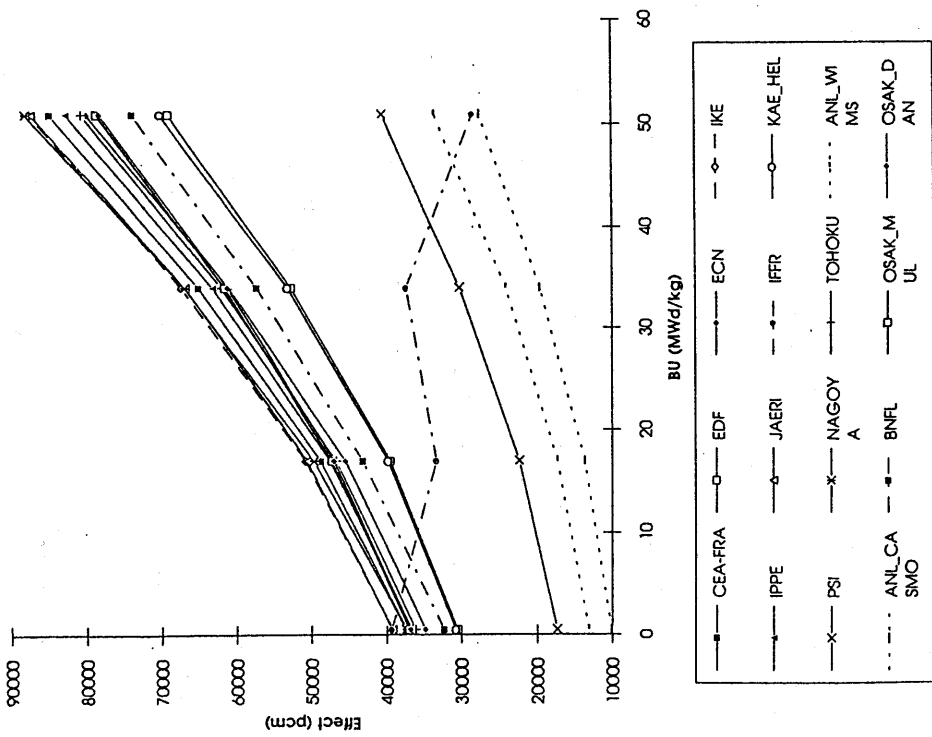


Fig. 5 HM-PWRにおける燃料温度係数の比較

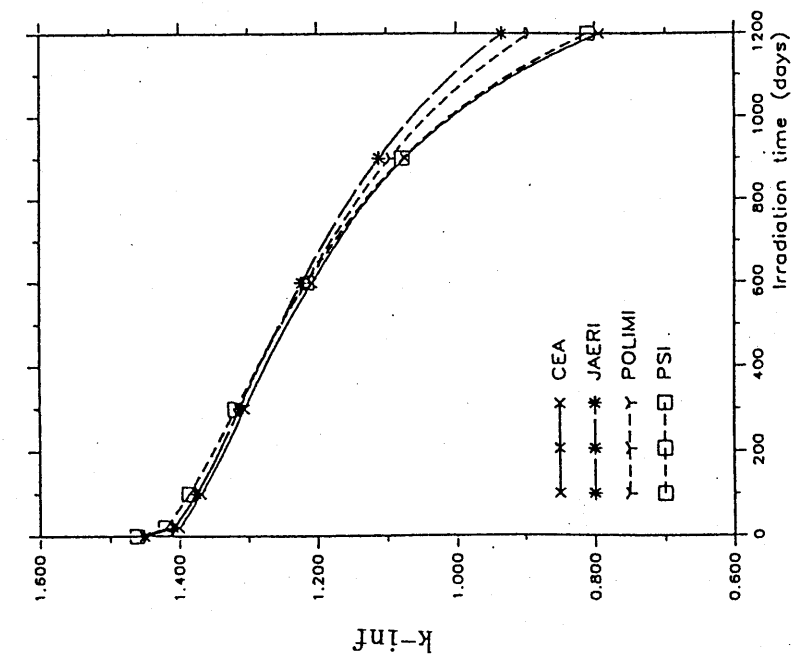


Fig.7 RPu燃焼におけるk-infの比較

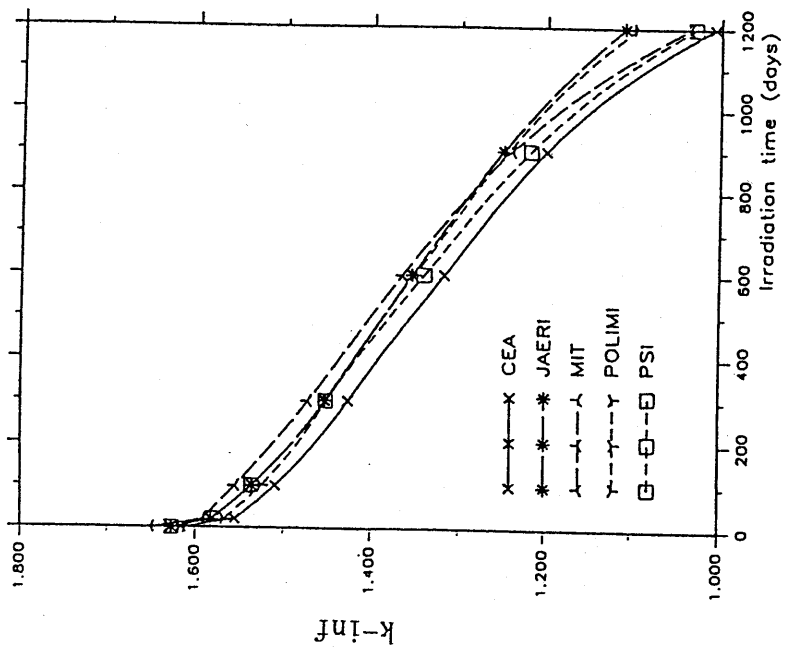


Fig.6 WPu 燃焼におけるk-infの比較

## <第29回炉物理夏期セミナー予告>

### 第29回炉物理夏期セミナー

テーマ：原子炉動特性と制御&原子力と大型加速器

日時：1997年7月28日(月)、29日(火)、30日(水)

場所：NTT北海道セミナーセンター

住所 札幌市中央区南22条西7丁目

Tel 011-552-8400 Fax 011-552-9300

交通機関 電車 三越前またはすすきのから乗車、幌南小学校下車  
徒歩3分

タクシー 札幌駅から約20分

第1日 7月28日(月)

参加登録受付 12:00~

開校式 13:00~

(原子炉動特性と制御 I) 13:15~15:05

- |                 |             |
|-----------------|-------------|
| 1. 原子炉の非線形動力学入門 | 金野 秀敏 (筑波大) |
| 2. カオスと原子炉の話    | 辻 雅司 (北大)   |

(原子力と大型加速器 I) 15:20~17:10

- |                 |                   |
|-----------------|-------------------|
| 3. 大型ハドロン中性子源計画 | 古坂 道弘 (物質構造科学研究所) |
| 4. 中性子科学研究計画    | 向山 武彦 (原研)        |

(懇親会) 18:00~20:00

第2日 7月29日(火)

(原子炉動特性と制御 II) 9:00~13:50

- |  |             |
|--|-------------|
| 5. 炉物理 $\beta_{\text{eff}}$ をどのようにしてはかるか | 岡嶋 成晃 (原研)  |
| 6. 空間高次モード固有値を測る                         | 橋本 憲吾 (近畿大) |
| 7. TRACYとはどんな装置                          | 中島 健 (原研)   |
| 8. チェルノブイリ事故の始まり                         | 若林 利男 (動燃)  |

(原子力と大型加速器 II) 14:00~15:50

- |                     |            |
|---------------------|------------|
| 9. 大電流電子線型加速器の開発と利用 | 江本 隆 (動燃)  |
| 10. 中小型加速器の役割       | 鬼柳 善明 (北大) |

(若手研究会) 19:30~

第3日 7月30日(水)

(原子炉動特性と制御 III) 9:00~10:50

1 1. PWRキセノン振動のアキシャルオフセット制御とは

島津 洋一郎 (三菱重工)

1 2. BWRの出力は本当に振動するか(非線形安定性)

堀田 亮年 (東電ソフトウェア)

(閉校式) 11:00

参加費(テキスト代含む):

炉物理部会員 6,000円、学会正会員 8,000円、学会非会員 10,000円

学生部会員 3,000円、学生正会員 4,000円、学生非会員 5,000円

宿泊費: 5,750円 (一泊三食付き) (4人部屋、ベット机付き)

懇親会費: 3,500円

その他: 7月31日(木) 日本原子力学会北海道支部行事

泊原子力発電所見学積丹半島一周ツアー

(ツアー参加費: 1,000円程度)

(申し込み方法)

所定の申込用紙に必要事項を記入し、下記に郵送またはFAXして下さい。参加費は前金でお願いします。振り込み口座番号は申込用紙に記載してあります。尚、申込用紙は炉物理部会員のいる機関に配布しますが、必要な方は下記にお問い合わせ下さい。

(申し込み締め切り)

6月10日(火) (定員90名、先着順)

(問い合わせ、申込先)

〒060 札幌市北区北13条西8丁目

北海道大学工学研究科量子エネルギー工学専攻

鬼柳善明

Tel: 011-706-6650 Fax: 011-706-7896

E-mail: kiyanagi@hune.hokudai.ac.jp

## 〈委員会報告1〉

### 炉物理研究特別委員会「原子炉システム専門部会の活動」

原研 奥村 啓介

原子炉システム専門部会では、主として炉心解析法や炉物理実験に関する国内諸機関の最近の研究成果や今後の計画を紹介して頂いている。平成8年度部会は、27名の専門委員と11名のオブザーバーで構成され、第44回と第45回の計2回の会合が開催された。これらの会合では、以下のトピックスが取り上げられた。

第44回会合 (平成8年7月17日 原研本部第1会議室)

#### (1) 汎用モンテカルロコードMVP/GMVPコードの改良 (原研 奥村啓介)

次期公開版として整備を進めている光子・中性子輸送モンテカルロコードMVP/GMVPの改良内容が紹介された。主な改良内容は、(a)ENDF-B/VI形式のファイル6への対応、(b)時間依存問題への対応、(c)Pointwise Response Libraryによる反応率計算機能の追加、(d)汎用線源発生ルーチンの開発、(e)燃焼計算機能(MVP-BURN)の組み込みである。

#### (2) PWRにおける炉内核計装データの採取と処理の概要 (三菱重工 島津洋一郎)

現行PWRの炉内核計装の現状として、出力分布パラメータに対する計測方法および測定データの処理方法に関する説明と、測定値と計算値との比較などが紹介された。

#### (3) KUCAにおける位置検出型計数管や光ファイバー検出器を用いた実験

(名大 三澤毅)

中性子束を簡便かつ短時間に精度良く測定するための新しい検出器の概要と、そのKUCA実験への利用について紹介された。位置検出型計数管は、検出感度が高いため未臨界状態での測定に効力を発し、固有値間隔の測定などに利用されている。光ファイバー検出器は、先端に付ける発光物質を変えることにより、全エネルギー中性子束、高速中性子束、ガンマ線などを測定することができる。これらの新しい検出器の開発により、これまでは考えられなかった炉物理実験への応用が可能となってきた。

#### (4) ABWRにおける全MOX炉心の開発 (日立 青山肇男)

MOX燃料の本格利用研究の一環として行われたABWRによる全MOX炉心の検討結果が報告された。初装荷炉心、移行炉心、および平衡炉心の解析が行われ、最大線出力密度、最小限界出力比、炉停止余裕、安定性減幅比、ほう酸注入系反応度等の特性が設計限界内にあることが示された。



第45回会合 (平成9年3月10日 原研本部第1会議室)

(1) TRACYを用いた過渡臨界実験 (原研 中島健)

TRACYで行われた過渡出力特性試験の概要と今後の計画が紹介された。これまでの実験では、添加反応度やその添加方法を変えた場合の過渡出力や炉内温度分布などの経時変化が測定されている。ピーク出力の値は、重み調整した温度フィードバックのみを考慮した1点炉動特性モデルで良く評価できることが示された。また、ボイド(放射線分解ガス)フィードバックによるものと思われる出力の2次ピークが観察されるなど、興味深い結果が得られている。

(2) BWRにおける炉内核計装データの採取と処理の概要について (東芝 狩野喜二)

第44回のPWRにおける現状報告に引き続き、BWRについても報告して頂いた。3次元核熱結合計算コードをプロセス計算機に内蔵して、過去の学習データやLPRMおよびTIP測定値との比較で局所出力分布を評価する方法により、その評価精度が過去のオフライン方式に比べて大きく向上していることが示された。また、今後の動向として、可動部の廃止、信号処理のデジタル化、高精度オンライン処理などが挙げられた。

(3) 高速増殖炉1号の開発と炉心設計の現状 (原電 濱田正男)

これまでの高速増殖炉設計研究の経緯とともに、実証炉1号プラント設計研究の現況が報告された。また、軽水炉と競合できる実用炉プラントの開発を目指し、安全性と経済性向上のための新しい取り組みが紹介された。

(4) OECD/NEA主催 決定論的3次元放射線輸送コードセミナーについて

(京大 小林啓祐)

1996年12月2~3日にOECD/NEA/NSCの主催でパリで開かれたセミナー"Seminor on 3D Deterministic Radiation Transport Computer Programs, Features, Applications and Perspectives"に関する報告と、同専門委員がその場で提案した3次元ボイド問題に対する輸送ベンチマーク問題の紹介である。このベンチマーク問題の採用決定は、OECD/NEA/NSCにおける検討結果待ちである。

## 〈委員会報告 2〉

### 炉物理研究特別委員会「高エネルギー粒子工学専門部会の活動」

原研 池田 裕二郎

これまでの核融合炉と遮蔽の専門部会を統合して、今後展開が期待される高エネルギー粒子工学に関する研究の活動母体として機能し、研究活動の受け皿になるべく新しい専門部会「高エネルギー粒子工学専門部会」が発足した。平成8年度はこれまでの各専門部会での活動を継続するとともに今後の専門部会のあり方や運営方法等を議論した。その結果、核融合関係WG（リーダー井口委員／補佐今野委員）、加速器遮蔽WG（中村委員／坂本委員）、高エネルギーライブラリーWG（大山委員）が設立された。

第1回会合（平成8年8月23日開催）では、旧専門部会の総括と課題の抽出が行われた。また、以下の点について、報告があった。

#### （1）核融合中性子工学研究の現状

核融合中性子工学研究の進展の様子が高橋委員より報告された。70年代の核融合ニュートロニクスの出発、80年代の研究の爆発的進展、90年代の予算カットの時代及び来世紀のこれからのニュートロニクスにおける研究の背景、研究体制、実験施設及び主要な実験項目が紹介された。研究活動の成果はFENDLEライブラリーに反映されており、当面の課題としてITER開発に必要な中性子工学の研究があるが、今までの蓄積された研究手段は加速器での中性子工学に大いに役立つものである。

#### （2）加速器遮蔽に係わる研究活動とWG活動の提案

加速器遮蔽に関する活動の提案として、中村委員より加速器遮蔽専門家会合に関連した活動の現状と今後の予定が報告された。来年5月に日本で開催する第3回会合では、遮蔽ベンチマーク解析のまとめ、減弱距離の検討結果等を本専門部会の成果として発表するとともに、会合の開催準備を本部会の下で行うことが提案され承認された。その他99年の遮蔽国際会議の開催、放射化断面積データの整備等についての質疑があった。

#### （3）高エネルギー核データ群定数について—使用者側からの要求—

高エネルギー核データ用ライブラリーについて検討を行うWGの提案が大山委員より報告されるとともに、深堀氏から核データ評価側の活動及び小迫氏から断面積処理について紹介があった。シグマ委員会での50 MeVまでのJENDL High Energy Fileの完成に伴い、利用者側が使いやすい形態等を検討するとともに、1 GeVまでの中性子及び陽子入射での各種反応断面積データの整備に協力する活動である。これらの活動は時節を得た計画であり、国際標準にもなるようにすべきとのコメントが出された。

第2回会合（平成9年3月18日開催）では、各WGの活動が報告された。また、99年に日本で開催する第9回遮蔽国際会議（主催：原研）の準備状況について報告があった。トピックスとして、以下の3つの紹介があった。

(1) ヨーロッパの高エネルギー中性子実験

千葉委員よりSATURNE (仏) 及びUPPSALA大学 (スウェーデン) の加速器施設及びそこでの核データ測定の様子が紹介された。SATURNEでは陽子及び重陽子がAl、Fe、Zr、W、Pb及びThに入射したときのスポレーション中性子のスペクトルを測定しているが、同加速器は本年9月にシャットダウンされる。また、UPPSALA大学の加速器センターではLi(p, n)反応からの中性子を利用した(n, p)反応及び(n, n)反応断面積の測定を行っている。水素の弾性散乱断面積の測定グループ間の相違等の質問があった。

(2) 加速器遮蔽に関する最近のトピックス

SATIF-3における日本側の発表内容(概要)が紹介され、線量当量換算係数及びベンチマーク実験解析の質疑があった。また、平山委員より、加速器放射線に関する情報交換としてつくばで開催されるSARE-3の経緯、準備状況等が紹介された。

(3) 中国における加速器を用いた研究

大阪大学に客員研究員として来日している中国科学院近代物理研究所の王鉄山氏より中国での加速器施設、低エネルギー陽子及び重陽子が金属ターゲットに入射したときの生成X線・ガンマ線スペクトルの研究、金属内での水素の挙動の研究等が紹介された。D<sub>2</sub><sup>+</sup>及びD<sub>3</sub><sup>+</sup>の分子ビームではX線のスペクトルに差が見られ、X線の発生機構でエネルギー保存則が成り立っているのかとの質問が出された。

最後に、平成9年度の活動方針が以下のように確認された。

- ・加速器遮蔽WGではSATIF3のフォローアップを行い、遮蔽ベンチマーク解析等を進めSATIF4へ向けた活動を行う。
- ・核融合中性子工学WGでは、前記報告書から中性子工学に関する検討課題を抽出し、体制づくりをしながら検討を行う。また、FNSの共同利用に向けて利用の形態、支援体制を検討し、損傷パラメータの検証にFNSを用いることを考える。
- ・高エネルギーライブラリーWGでは、遮蔽や消滅処理等の安全審査関係の基準となる計算コード体系を設定し、データの要求及び整備を進める。作業に当たっては、関連するWG及びΣ研究委員会と密接な連絡を行う。

以上

## 〈委員会報告 3〉

### 「消滅処理工学」研究専門委員会

動燃 若林利男

本委員会は、平成7年4月より発足して2年間が経過した。2年目の委員会では、群分離・消滅処理に関して幅広い検討を行うために、地層処分の専門家の人に講演してもらい、群分離・消滅処理の役目、目指すもの等について議論を行った。このような意見交換は、お互いの考えを理解し、今後の研究に反映するという観点から、非常に有意義であった。また、第9回の委員会は、文部省科学研究費基盤研究(1)(A)長寿命核廃棄物の消滅処理の基礎研究班と合同で研究会を開催した。このような試みは始めてであり、今後とも関連する委員会との交流を進めていくことが重要であると考え。平成8年3月以降に開催された委員会の主要な議題を以下に示す。

(1) 第5回 平成8年5月9日 電中研本部

- ・自ら整合性を有する原子力システムの研究 (東工大 齊藤正樹氏)
- ・岩石型燃料によるPuの燃焼 (高野委員)
- ・地層処分から消滅処理への期待 (原研 中山真一氏、東海大 大江委員)

(2) 第6回 平成8年7月16日 三菱重工丸の内本社

- ・燃料サイクルの経済性について (東電 鈴木委員)
- ・地層処分と群分離・消滅処理

(話題提供)

地層処分から群分離・消滅処理技術へ要求するスペック (東海大 大江委員、原研 中山真一氏)

群分離・消滅処理技術が目指すもの (原研 向山幹事、東工大 北本幹事、電中研 井上幹事)

- ・会議報告 第2回「加速器駆動消滅処理技術と応用」に関する国際会議 (原研 滝塚幹事)

(3) 第7回 平成8年10月1日 航空会館

- ・地球科学から見た地層処分の現状と将来への課題 (日本福祉大学 水谷信治郎氏)
- ・地層処分システムの安全評価における信頼性について (動燃 梅木博之氏)
- ・第4回OECD/NEA群分離・消滅処理国際情報交換会議の報告 (電中研 井上幹事)

(4) 第8回 平成8年12月2日 東洋ニュークリアサービス(株)

- ・東電における消滅処理関連研究の概要 (東電 高木委員)

- ・原子価調整を利用したMAの群分離技術 (日立製作所 深澤哲生氏)
- ・高速実験炉「常陽」におけるNp-237燃焼特性の測定と評価 (動燃 青山卓史氏)
- ・第4回OECD/NEA群分離・消滅処理国際情報交換会議の報告 (電中研 井上幹事、原研 滝塚幹事、動燃 若林幹事、原研 久保田委員)

(5) 第9回 平成9年1月31日～2月1日 京大医学部芝蘭会館  
科学研究費「長寿命核廃棄物の消滅処理の基礎研究」班との合同研究会

1月31日

- ・群分離消滅処理研究開発の動向 (原研 向山主査)
- ・新しい消滅処理法の探求 (東大 中沢正治氏)
- ・群分離技術の進歩—湿式処理と乾式処理— (動燃 小沢委員、電中研 井上幹事)
- ・核分裂研究の現状と問題点 (阪大 馬場宏氏)
- ・廃棄物としての高レベル放射性物質の特性—環境倫理学の観点から— (京大 加藤尚武氏)

2月1日

- ・消滅処理の方法と比較—原子炉と加速器炉— (動燃 若林幹事、原研 滝塚幹事)
- ・科学研究費研究報告と討論
- ・消滅燃料開発の現状 (原研 小川委員)
- ・今後の消滅処理研究の進め方

## 〈委員会報告4〉

### 「遮蔽設計法高度化」研究専門委員会

主査 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター  
中村 尚司

本委員会は、最近の遮蔽計算手法に対応し、より高度化した放射線遮蔽設計法の確立を目的として96年4月に発足した。現在46名の委員で活動を行っている。

第1回会合(5月31日開催)では、まず中村主査から本委員会設立の経緯について説明があり、その後幹事より委員会での講演内容(テーマ)に関する提案がなされた。ワーキンググループ(WG)活動に関しては、遮蔽設計WG、加速器遮蔽WG、核融合装置遮蔽設計WG、原子力WWW情報の調査WGの4件の活動が提案され、了承された。また4月に米国で行われたANS Topical Meetingについて報告があり、今後大強度陽子加速器における遮蔽計算、放射化が問題となること、計算コードのパーソナルコンピュータへの移行が促進される傾向にあること等が紹介された。

第2回会合(9月9日開催)では角田氏(三菱総研)よりJASPER実験解析における利用実績からDORT, TORTコードの使用経験について、柴田氏(東大核研)より大型ハドロン計画(JHP)の概要と放射線対策について講演がなされた。DORTに関して空間および角度メッシュの取扱いのDOT3.5との違いや深層透過問題における問題点等について紹介され、TORTはDORTの大部分を継承して開発された3次元輸送計算コードであり、両コードとも解法の評価はまだ定まっていないことが紹介された。JHP計画に関しては加速器の建設計画及びその利用に関する説明がなされ、放射線対策上の問題点としては3GeVリングで既存の遮蔽を使用すること、遮蔽厚は土壌の放射化で決まること、遮蔽の概算は従来の方法で可能であるが、細かな点では信頼できるデータが不足していること等が紹介された。

第3回会合(12月20日開催)では浅野委員(原研)よりSPring-8の現状とビームライン遮蔽について、高津氏(原研)より国際熱核融合実験炉ITERの工学設計の現状と遮蔽設計について講演がなされた。SPring-8の遮蔽設計の考え方について、線源としてLINAC, シンクロトロン, 蓄積リングを挙げ、これらのビームロスが入射時, 加速時, 出射時の3つの運転モード毎に見積もられていること, 放射光の線源スペクトルの評価手法としてSTAC8コードが用いられていること, ガス制動放射線や光中性子, 蓄積電子ビーム損失の遮蔽解析には経験式(データ)が用いられていること等が報告された。またITER遮蔽設計における現状の課題として、機器遮蔽においてはブランケットや真空容器でのヘリウム生成量の低減が、また生体遮蔽においては超伝導コイルのメンテナンス時に真空容器を引き抜いた際の、敷地境界における線量率の低減が重要であること等が紹介された。

第4回会合(3月21日開催)では、Dr. Vylet(SLAC)より「Shielding and radiation safety aspects of two SLAC facilities」と題する講演、Dr. Rokni(SLAC)より「Shielding and radiation measurements at the final focus beam line at SLAC」と題する講演、奥野委員(間組)より有人宇宙開発における放射線安全対策の現状について講演がなされた。また各WGの活動報告を行い、遮蔽設計WGではDORT/TORTコード計算環境の整備がほぼ完了したこと及びコードに関する文献の調査結果、加速器遮蔽WGでは加速器構造体・空気・遮蔽体の放射化データの調査結果、核融合装置遮蔽設計WGでは専門家による講演のまとめ、原子力WWW情報の調査WGでは現状の調査結果が報告された。

## 〈委員会報告 5〉

### 「原子力と先端技術」研究専門委員会 平成8年度活動報告

#### 1. 本委員会の特徴

本委員会は1994年4月から2カ年間設置された「原子力への先端技術応用」研究専門委員会(主査・加藤敏郎(名大・工))を発展的に引き継いで、1996年4月から2カ年間の予定で、森千鶴夫(名大・工)を主査として設置が認められた委員会である。この委員会は設置目的に次の3点を掲げ、特徴ある活動を目指している。

①本委員会は中部地区の原子力関連分野の活性化を第一の目標に掲げており、原子力学会中部支部と連携しながら活動する。

②本委員会の委員による研究専門委員会に加えて、公開のシンポジウム、トピカルミーティング等を企画・開催し、広く情報発信の機能を果たす。

③先端技術と委員各自の研究テーマとの関連を重視し、各委員が関連の先端技術をそれぞれの研究活動に、具体的にかつ積極的に取り込むことを促す。

上記の設置目的を達成するために、具体的には(1)原子炉・システム・安全、(2)燃料・材料、(3)計測・制御・分析、(4)燃料サイクル、(5)環境・ヒューマンサイエンスの5分野に便宜上分け、各分野に特有の問題、あるいは各分野を横断する問題を選定しつつ、活動を進めている。

#### 2. 平成8年度の活動状況

平成8年6月と平成9年3月に研究専門委員会、平成8年8月にシンポジウム「先端技術と原子力」を開催した。

平成8年6月6日開催の研究専門委員会は、燃料電池(中部電力・江崎義美)、太陽電池(三洋電機・津田信哉)、NaS電池(日本ガイシ・美馬敏之、渥美淳)を話題として取り上げ、原子力以外の将来のエネルギー源に関して、その技術動向と展望について検討した。

平成9年3月6日の研究専門委員会では、バックエンドに関係した話題を取り上げた。まず動燃の簡素化湿式再処理について動燃・小島久雄氏より発表があった。この再処理で検討されている晶析法(ウランを多量に含む溶液の温度を下げることによって、溶解度を超えるウランを塩として析出させ分離する技術)の可能性と問題点について、活発な議論があった。もう一つは、原研で検討が進められているPu処理用岩石型燃料に関連したものであり、原研・室村忠純氏からこの研究の目的、燃料開発の現状と照射データの一部が発表された。さらに、この岩石型燃料の炉物理面からの成

立性を含めて、Pu利用新型軽水炉（超高燃焼炉）に関する話題が、特に詳細な核計算法の現状紹介を含めて、原研・高野英機氏からあった。参加委員は互いに専門分野を異にしているが、研究の背景、基礎的な考え方について活発な意見交換を行った。

シンポジウム「先端技術と原子力」は、平成8年8月19日に名古屋の愛知厚生年金会館で、「人類の将来を担うエネルギー開発の現状を知る」という副題のもとに開催した。基調報告として、「人類の将来を担うエネルギーについて」と題して茅陽一氏（慶応大・教授、名大・理工科学総合研究センター各員教授）、「原子力燃料サイクルの実像」として金川昭氏（名大・名誉教授）から講演を頂いた。その後、将来のエネルギー源として、燃料・太陽電池、核分裂炉、核融合炉の三つの立場から話をうかがった。まず中部電力・小林勇氏から「燃料電池・太陽エネルギーの技術開発の動向」についての話があった。高効率の高温型燃料電池の実用化までは未だ相当の研究が必要であり、また太陽光発電については実用域に達しているが、量の確保の点で過大な期待はできず、こうした点を十分踏まえてうまく使い方を今後も工夫すべきであると主張された。次に「高速増殖炉技術開発の動向」と題してして日本原子力発電・鐘ヶ江直道氏から、実証炉として進められている設計作業のうち、トップエントリー方式の採用、免震構造の採用、蒸気発生器の一体化といった技術の位置づけについて、詳細な説明があった。新しい技術を実用化して採用するまでの実証作業の大変さが聴衆に感銘を与えた。最後に「核融合炉開発と核分裂工学との共通技術」と題して、東大・田中知氏が軽水炉技術として40数年間蓄えられてきた知見を、核融合炉技術開発にも積極的に生かすべきであり、また単純に外挿出来ない技術の場合にこそ新しい技術への萌芽を含んでいるの、それを見極めるべきであるとの主張を展開された。

### 3. 今後の予定

平成9年度も、8年度と同じような頻度で委員会が開催される予定である。まだテーマ等は未定であるが、本年の8月21日（木）、22日（金）に名古屋の愛知厚生年金会館で恒例のシンポジウムが開催される予定である。

（文責 名古屋大学工学部原子核工学科・山根義宏）



## 〈委員会報告 6〉

### 平成8年度「学生・若手小委員会」の活動報告

日本原子力研究所 安藤真樹  
andoh@fca001.tokai.jaeri.go.jp

「学生・若手小委員会」も平成8年度で発足以来丸3年となった。平成8年度では、委員長を原研・安藤、副委員長を三菱重工・木村が拝命し、「炉物理夏期セミナー」での「若手研究者発表会」及び「若手の集い」の開催や「炉物理学生・若手ネットニュース」の発行を行った。以下に本小委員会の活動内容を報告する。

#### (1) 「炉物理夏期セミナー」での活動

「若手研究者発表会」では、「学生・若手小委員会」発足以前より学生を主体とした研究発表会を行ってきた。「学生・若手小委員会」の発足後は、さらに「若手の集い」と銘打った自由討論会なるものを催している。年2回の原子力学会の発表会でも学生による発表はかなりの件数に上ると思われるが、発表時間が短く、質疑においても遠慮しがちである（あるいは発表の準備で余裕がない？）ため、学会においては学生を交えての討論はほとんどなされていないのが現状である。こういった状況の中、夏期セミナーにおける発表・討論会は学生・若手同士で議論する非常にいい機会であるといえる。

さて、本年度の夏期セミナーでは、2日目の夕食後から「若手研究者発表会」と「若手の集い」が開催された。「若手研究者発表会」では、東北大と名古屋大の学生の発表が1件ずつあった。本発表会では質問やコメントなど多数出てかなり活発に議論がなされた。しかしながら、学生のセミナーへの参加者数はかなり多くまた旅費補助等の宣伝をしていたにも拘わらず、学生からの自主的な発表の申込はほとんどなく、発表件数も例年に比べて少なかった。後半の「若手の集い」では、特に討論のテーマを設けず各研究機関での研究活動の紹介を行ってもらうこととした。若手ネットニュースにおいて事前に宣伝を行ってきたが、原研以外の機関からの研究紹介はなく、对学生や相互のアピール不足を感じた。

#### (2) 「炉物理学生・若手ネットニュース」

本年度は「炉物理学生・若手ネットニュース」を9本発行した。配付先は70名（機関）に及んだ。発行した若手ネットニュースを読み返してみると、メイン行事である「炉物理夏期セミナー」での「若手研究者発表会」に関連したニュースが半分近くを占めていた。誌上で議論が出来ないかといくつか議題を提供したが、レス

ポンスはあまりなく発行者からの一方通行となってしまった。さらに活発な意見交換のために、いわゆるメーリングリスト形式の採用も検討する必要があると考えられる。

本年度発行した「炉物理若手ネットニュース」での主なトピックスを以下に示す。

「SRAC95コードの配布について」(第8号)

「今後の若手研究者発表会のあり方について」(第13号)

「群分離・消滅処理に関する研究報告」(第15号)

「アリゾナからの”まゝ、若い風”」(第16号)

以上、本年度の「学生・若手小委員会」の活動を報告させていただいた。これまで当小委員会では、「炉物理夏期セミナー」と「炉物理学生・若手ネットニュース」を中心に活動してきたが、ややマンネリ化してきた感を否めない。炉物理部会の規約には当小委員会の活動内容として「若手・学生の入会を促進する」とあるが、学生の立場で考えると炉物理部会に入る必要性が本当にあるのか疑問である。炉物理部会とは何なのかを学生に対してもっと明確に示す必要があると感じる。学術的なこと以外では、学生vs仕事人サッカー大会「Reactor Physics Cup '96」の企画なども考えてみたが、全国に散らばる部会員を集めての催しとなると実行に移すことは難しく断念した。やはり炉物理夏期セミナー同様、半年以上前からの準備が必要であると思われる。

学生・若手小委員会は全国の炉物理の研究を行っている学生と若手（そして若手でない方）との重要な接点である。学生・若手の研究活動や交流が活発となるよう、今後とも「学生・若手小委員会」の活動に対して炉物理部会員の皆様のご協力をお願いしたい。

<研究室だより 1>

北海道大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻  
 応用原子科学講座 放射線計測分野  
 原子力システム工学講座原子炉設計制御システム工学分野

北海道大学工学部原子工学科は、今年30周年を迎えます。最近の大学改革の流れは当学科にも訪れ、大学院重点化が昨年平成8年5月に完了しました。工学部自体の組織も本年4月に大学院工学研究科が運営主体になります。

大学改革に、なじみのない方は、一体どうなったのだろうと思われるでしょうから、少し説明を加えておきます。他の大学はまた独自の改革をすすめておられるでしょうから、これはあくまで北大工学部の例です。

基本的には、教職員は大学院に所属します。したがって学部は教職員がいない兼務の状態になります。学生はおりますので、学科は残ります。私たちの学科は原子工学科で、以前のままでしたので、30周年になるわけです。他の学科では、大学院の専攻と学科は別々に混じりあっているところもあります。原子工学科は、大学院の専攻名は、原子工学専攻から量子エネルギー工学専攻と名前が替りました。これが教職員の所属する専攻名です。

工学部(工学教育) 大学院工学研究科(高度専門教育)	系の名称 旧学科名	情報エレクトロニクス系 電子工学 電気工学 精密工学 情報工学	物理学系 機械工学第二 原子工学 応用物理学	材料・化学系 合成化学工学 応用化学 金属工学	社会工学系 資源開発工学 衛生工学 建築工学 土木工学
	現学科名	システム工学 電子工学 情報工学	機械工学 原子工学 応用物理学	応用化学 材料工学	資源開発工学 環境工学 都市工学 土木工学
	系の名称 専攻名	情報エレクトロニクス系 電子情報工学 システム情報工学	物理学系 機械科学 量子エネルギー工学 原子物理学	材料・化学系 分子化学 物質工学	社会工学系 環境資源工学 都市環境工学 社会基盤工学

北海道大学工学部と大学院工学研究科の新旧組織

参考までに、他の専攻、学科を図にリストします。

大学院重点化は研究重視大学という意味ですが、研究費はほんの雀の涙ほどの増額に成るだけで、大規模な実験的研究は期待できないでしょう。

北大大学院工学研究科 量子エネルギー工学専攻の講座(分野)名

応用原子科学講座	放射線源工学、放射線計測学、放射線科学の3分野
原子力システム工学講座	原子炉システム設計制御工学、原子力材料システム学、原子力安全工学の3分野
プラズマ理工学講座	エネルギー変換工学、プラズマ真空工学、核融合プラズマ工学

さて、このような改革が進んだために、私、成田は原子炉工学講座から応用原子科学講座(3分野ありその一つの放射線計測分野)所属になってしまいました。原子炉工学講座は、原子力システム工学講座(原子炉設計制御システム工学分野)となり、熊田俊明教授(原子炉熱工学)が担当することになりました。そんなわけでこの研究室だよりは両研究室の炉物理関連の紹介を兼ねさせていただきます。

古巣の原子炉設計制御システム工学研究室では、辻雅司さんの指導で従来からの分岐理論によるBWRの非線形不安定性解析から進んで、Ringhals-1号の試験データを非線形動力学のさまざまなパラメータで評価しています。秋本正さんのLINAC TOF法による遮蔽媒質内中性子スペクトルの測定も従来から行っていました。新しいパソコンの並列伝送による速い時間分析器の利用でより良いデータが得られるようになりました。

インドネシアから留学していたM. ダンダン君は、境界要素法を多領域炉に適用する並列演算に向く方法を考え、実用炉にも境界要素法が使えることを示しました(Physor96ほか)。数理計画法を原子炉制御の最適化に利用できないかを考えて、ニューラルネットワークの学習に用いて見ました。陳炎君がそれを実証し、さらに放射線防護の最適化にも、階層分析法(AHP)、目標計画法(ゴールプログラミング)とともに有望であることがわかりました。

私が放射線計測研究室に移って、この研究室で従来から行われてきた過熱液滴型放射線検出器の開発、低エネルギープラズマ計測の他に原子炉物理も行うことにしました。幸い博士課程の社会人入学が実現し、動燃の小綿泰樹さんが、DCAのボイド係数の博士論文を書いてくれました。

境界要素法は、臨界安全の計算法として役に立つのではないかと、簡単な計算を卒論でやらせています。この方は原研から隣の研究室にきた板垣正文助教授が熱心に教えてくれています。

放射線計測研究室では、電子LINACの仕事も多く行っており、電子銃、ビームモニター、パルス状放射線計測などの他に、最近ではパラメトリックX線の発生も成功しました。これは秋本さんたちの努力によるもので、相対論的電子ビームが結晶に入ると、あたかもX線回折のように単色のX線が可変で発生するもので、検出器の較正や物性研究に役立ちそうです。(成田正邦)

## 〈研究室だより 2〉

### 東京工業大学原子炉工学研究所 関本研究室

原子力離れのこの頃ですが、東工大の原子核工学専攻には多くの志願者が詰めかけています。関本研にもこのところいつも定員以上の希望者があり限界のメンバーを抱えています。4月以降は、関本教授、小原助手の他、博士課程6名、修士課程5名、研究生1名（後期から博士課程進学希望）となる予定です。この内には社会人博士課程在学者が1名、留学生が3名（ロシア、インドネシア、バングラデシュ）含まれております。教官数に比べ学生数が多く、指導が疎かにならなりよう常に戒めています。

具体的な研究テーマはインターネットの<http://www.nr.titech.ac.jp/~hsekimot/home.html>を見て下されば、かなり詳しく書かれておりますので、ここでは省略させていただきます。尤もインターネットの内容は書き換えるのが億劫で少し古いデータになっておりますがご容赦下さい。近い内に書き換えようとおもっております（いつもそう思うのですが、時間がなくて—）。ここでは研究室のプリンシプルに近いことを述べさせていただきます。

原子力に強い逆風が吹き続ける中、「現実動いている原子力システムを安全に運転し続け定着化を深めていくことと、国民に将来の夢を提示しそれを共有してもらうこと」が重要で、両方を共に怠りなくしておかねばなりません。大学としてもこの2つの方向で重要な使命があると考えています。この意味で大学の役割は明日の原子力を支える人材を供給することと原子力の夢を与える研究を行うことだと考えて研究室を運営しております。

残念ながら研究室の研究テーマの中から実験が消えて久しくなりますが、計算機の発展は予想通りで私のやりたかったことは一応着実にやらせてもらってきております。しかし研究室以外の人たちにどれだけ関本研で行われている研究が理解されているのか時々心配しております。特に国内の炉物理専門の人達に必ずしも十分に理解されていないようなので、ここで紙面を借りて説明させていただきます。

計算機の発達には炉物理解析にとって歓迎すべきことでした。計算機が使えなかった時代や能力が低かった時代に使われてきた近似は次々厳密な式に置き換えられてより精度の高い解がえられてきていることは同慶の至りです。しかし私個人としましては精度がよくなったということばかり強調されるのが気になっております。炉物理のような基本方程式がはっきりしている分野では一般的には（例外も沢山ありますが）近似を正しい式で置き換える方が適切な近似式を作るよりも易しいわけで、近似をより正しい式で置き換えることによって精度よい答を得た人はそれまで使われてきた近似法に感謝をすべきだという気がしております。これはまったくオジン臭い考えだと自分でも思っていますが、このような個人的性格から、研究室で計算機を使った研究をしているといっても、大勢とはいささか異なり、今までの計算方法やコードを使って（尤も、新しい対象を扱うということで新しい計算方法を開発することはよくあります。）勝手な原子炉を設計したり、未来のエネルギーシステムを解析したりといったことを行っています。このような目的ですと、精度もそれほど要求されず、計算機も現在のワークステーションで充分で、学生諸君にも充分楽しくやってもらっ

ているとおもっています。

随分色々な原子炉を設計しました。興味のある方は先のインターネットを見て下さい。せっかくですので最近の作をひとつだけ紹介しましょう。輸送可能な小型原子炉で、しかも12年間燃料交換不要、燃え尽きれば原子炉全体を取り替えるというものです。安全に関しましてもUTOP、ULOF、ULOHsが例え同時に起こっても受動的に停止し、いかなる破損もおこらないという今までの安全要求よりはるかに厳しい条件を軽くクリアーします。しかも運転停止後1年間は原子炉を開けるのは極めて困難で核拡散上も優れているというものです。これはいいといって下さる人は多いのですが、もちろん今すぐ建設などと甘い考えは一切もっておりません。夢のひとつと考えています。但し、本当に原子力に対する呪縛が解けたなら、きっとどこかで具体的な開発計画が立てられてもおかしくない原子炉だとおもっています。

原子力の見直しと大学の見直しのクロスする東工大原子炉研では始終どう改革するかを考えさせられています(このようなことに多くの時間をとられるのはたまったものではありません)。6年前に原子炉工学研究所の改組をしたばかりですが、平成10年には大学院重点化にともなう原子核工学専攻の改組がなされる予定ですし、原子炉工学研究所の次の改組の準備もおさおさ怠らぬようにして、議論を続けております。

私はやがていつか人類は原子力を納得して利用することになるだろうと思っています。ただそれまでにかつてのアメリカのように禁核法なるものができ、原子力利用ができない時代が来る可能性なきにしもあらずと感じています。このようなことにならないよう、学生や理解してもらえそうな人に原子力の将来エネルギーとしてのポテンシャルと更に同時にその理想的な利用の困難さを具体的に知ってもらいたいと思っています。このようなことから続けているのが「未来核平衡社会」の研究です。

21世紀を目前に迎え、来世紀のシナリオが色々言われておりますが、不透明でお先真っ暗等と言いながら原子力はだめということでは、21世紀は色々な試みのなされる混乱の世紀となり、原子力は22世紀になって本格化するのではないかと思っています。我々は生きてみることの出来ない未来ですが、未来核平衡社会は22世紀に開始されるのだろうなと思っています。

原子力にとって資源と経済性は容易に解決できるでしょうが、放射性物質に伴う問題は極めて難しい問題で、すべての人間を満足させるのは後1世紀かけても難しいでしょう。核拡散も原子力利用とは別問題といながら原子力専門家も考えるべき問題だとおもいますが、これもまた難しい問題で21世紀すべてをかけてもどこまで満足できる成果が得られるのか心配なかぎりです。にもかかわらず研究費は減らされる一方の状態がこの調子ではまだまだ続きそうです。この状況を変える可能性を秘めた研究をやっていきたいと考えています。

(関本記)

## 〈研究室だより3〉

京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー基礎科学専攻

核エネルギー学講座中性子基礎科学分野

代谷研究室

(京都大学原子炉実験所核エネルギー基礎研究部門核変換システム分野)

### 1. はじめに

当研究室は二つの顔を持った新しい研究室である。一つは、京都大学原子炉実験所核エネルギー基礎研究部門核変換システム分野という顔であり、1995年4月に京都大学原子炉実験所の改組に伴って誕生した。もう一つは、京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー基礎科学専攻核エネルギー学講座中性子基礎科学分野という顔で、1996年4月に京都大学に学部を持たない大学院独立研究科としてエネルギー科学研究科が発足したことに伴って誕生した。両者の関係は、原子炉実験所核エネルギー基礎研究部門核変換システム分野の教官が、協力講座として、エネルギー科学研究科エネルギー基礎科学専攻核エネルギー学講座中性子基礎科学分野を担当し、大学院生の教育に当たるといふものである。

最近、大学の講座は殆どが大講座制となり、大学附置研究所の研究部門は大研究部門制となってきた。ご多聞に漏れず、当研究室も大講座の一分野であり、大研究部門の一研究分野である。エネルギー基礎科学専攻の核エネルギー学講座は二分野で構成されており、もう一つは極限熱輸送分野(三島嘉一郎教授担当)となっている。また、核エネルギー基礎研究部門は四研究分野で構成されており、残りは極限熱輸送研究分野(三島嘉一郎教授担当)、材料照射効果研究分野(義家敏正教授担当)、量子ビームシステム研究分野(客員研究分野)となっている。

### 2. 研究室のスタッフ

当研究室のスタッフは、1997年3月現在、代谷誠治教授、小林圭二助手、宇根崎博信助手となっているが、4月には名古屋大学工学部原子核工学科より三澤毅助手を助教授として迎えることになっている。大学院生は、3月現在、M1に加藤丈始君と山崎朗君の2名がいるが、4月からは彼らがM2に進み、新たにM1として原田孝仁君、D1として卞哲浩君、北村康則君を迎えることになっている。ちなみに、当研究室の院生定員は修士課程各学年2名、博士課程各学年1名となっている。おもしろいことに、今のところ当研究室の院生に京都大学出身者は皆無であり、彼らの出身大学もすべて異なる。加藤君は東京理科大学理学部、山崎君は立命館大学理学部、原田君は大阪教育大学理学部、卞君は名古屋大学大学院工学研究科、北村君は九州大学大学院工学研究科の出身である。

従って、修士課程の院生は、学部学生時代に当研究室における研究テーマを遂行する上で必要な原子炉物理学等の教育を受けていないというハンデキャップがあり、今のところ、どのように教育し、研究指導を行うかということについて頭を悩ましているのが正直なところである。新しい研究室ということもあって、当分の間、試行錯誤を続けな

がら、回答を見い出したいと考えている。もしも彼らが就職でお世話になり、いろいろとご迷惑をおかけしたら、小生の不徳の致すところである。

### 3. 研究の内容

当研究室における具体的な研究内容を紹介する前に、エネルギー科学研究科と原子炉実験所のパンフレットに記載された研究内容を紹介しておく。

エネルギー基礎科学専攻核エネルギー学講座中性子基礎科学分野の紹介文では、「新しい高機能核エネルギー発生機構の探求」という見出しの下に「核エネルギーの安全かつ効率的な発生・利用システムの開発を目指して、中性子を媒介とする核変換エネルギー発生システムの学理と設計手法を追求します。具体的には、トリウム燃料原子炉、加速器あるいは核融合炉と核分裂炉のハイブリッド炉、高性能新型原子炉の核特性に関する基礎研究、核廃棄物の消滅処理に関する基礎研究、高性能中性子源炉の開発に関する基礎研究、臨界安全等の核的安全性に関する基礎研究等を実験を重視して行います」となっている。

一方、核エネルギー基礎研究部門の紹介文では、「21世紀のエネルギー源として必要不可欠な核エネルギーの開発・有効利用を目的として、核・熱・材料の各分野の有機的な連携のもとに実験的・理論的研究を行うとともに、原子力基礎研究の分野での多様なニーズに応えるため、次期線源開発を目指す」とあり、核変換システム研究分野については、「この分野では、より安全で高効率な核エネルギー発生システムとなり得る新しい核変換システムを開発するために、超ウラン元素を含む核データを整備するとともに、中性子輸送と核変換反応に基づくシステムの核特性に関する基礎研究を行っている。具体的には、KUCAあるいはKURを用いた炉物理実験を中心としながら、1) トリウム燃料原子炉、高転換・高燃焼原子炉、消滅処理型原子炉、固有安全型原子炉などの中性子輸送と核変換反応に基づく新たな核エネルギー発生システムの核特性に関する基礎研究、2) 中性子スペクトル可変場などの新しい概念に基づく中性子場を持つ新型研究用原子炉の開発に関する基礎研究、3) 核分裂・核融合あるいは核破碎・核分裂ハイブリッド炉の開発に関する基礎研究、4) 臨界実験による超ウラン元素を含む核データの検証と核計算コードの評価に関する研究などを行っている。核変換システムの核特性に関しては、核変換の連鎖反応に基づくシステムの臨界性に関する検討は勿論のこと、共鳴吸収反応の取扱いなどの炉物理上の諸問題の解決、燃料の燃焼特性や増殖特性並びに超長寿命核種の消滅特性などの解明、システムの核的安全性に関連して、ボイドあるいは温度反応度係数などを決定する物理的要因の解明、動特性を含むシステムの安定性解析、核燃料サイクル施設の臨界安全性などに関する基礎研究を行っている」とある。

現在の具体的な研究テーマは、我が国で唯一の大学が持つ臨界集合体である複数架台方式のKUCAを用いた炉物理実験を主として、1) 熱中性子炉体系におけるマイナーアクチニド核種/ウラン-235核分裂率比の中性子スペクトル依存性の測定と解析、2) 新しい中性子束分布測定用検出器を応用した原子炉領域振動などの原子炉不安定性の核的原因の究明に関連するフラックスティルトや固有値間隔の測定と解析、3) 核燃料サイクル施設の臨界安全の確保に関連した未臨界度モニターの開発に関する基礎研究、4) トリウムを含む炉心の臨界特性の測定と解析などである。また、日本の大学連合と



フランス原子力庁の「次世代型原子炉、特に軽水炉の物理の開発研究分野に関する」協力研究の内、主にボイド係数と温度係数に関するベンチマーク計算を担当しており、超ウラン元素に関連する共同実験などの可能性について探求しているところである。さらに、原子炉実験所の将来計画に関連して、中性子スペクトル工場型研究炉や加速器・原子炉ハイブリッド型中性子源の設計に関する基礎的研究も行っている。

#### 4. おわりに

当研究室では、日仏協力研究や原子炉実験所の将来計画を視野に入れながら、今後もKUCAを中心とした炉物理関連の研究・教育を継続する予定である。当面の間、実験的な研究としては、1) 熱中性子炉体系におけるマイナーアクチニドの核特性の測定と解析、2) 新しい計測技術の炉物理実験への応用、3) 原子炉の安定性に関する実験的研究、4) 未臨界度モニターの高度化などが中心的なテーマになるものと考えられる。これらの研究・教育活動を進める上で、KUCAの整備・拡充が不可欠になると考えられるので、この面でも努力をしたい。また、現在、本格的にトリウム燃料サイクルについての研究を行うために、ウラン-233燃料の取得について学術振興会に働きかけを行っている。さらに、原子炉実験所の将来計画に関連して付設加速器の更新について概算要求を行っている。

これと同時に、今後は、大講座制あるいは大研究部門制の特徴を活かして、熱あるいは材料分野との共同研究も視野に入れて教育・研究活動を行いたいと考えている。これまでも熱の分野とは、KUCAを用いたボイド係数の測定と解析、中性子ラジオグラフィ法による二相流の可視化などの研究で共同研究を行ってきた経験があるので、これをさらに発展させて行きたいと考えている。例えば、原子炉出力振動現象の解明などについては熱の分野との共同研究が必要不可欠と考えられる。材料分野とも、例えば材料中で中性子が付与するエネルギーの計算などについて共同研究を行うことを考えている。

1997年度後半には中国の西安交通大学から外国人招聘学者を迎えることも予定されている。なお、1997年度には前述の量子ビームシステム研究分野に客員教授として炉物理分野の重鎮である土橋敬一郎氏を迎えることになっているので、極めて心強い。また、1997年度には、前述のように、当研究室のスタッフがかなり充実されるので、是非とも飛躍の年にしたいと考えている。炉物理部会の会員の方々には、原子炉実験所の将来計画をはじめ、種々のご協力を仰ぐことになるかと存ずるが、なにとぞよろしくご指導、ご鞭撻下さるようお願いする次第である。

(代谷誠治 記)

## 〈研究室だより4〉

動燃大洗工学センター 基盤技術開発部 炉心技術開発室

若林利男

炉心技術開発室(略称:炉心室)は、高速炉の固有技術を研究開発するために、安全、炉心、燃料、熱流体、構造材料の要素ごとに分類された研究室によって構成された基盤技術開発部に属しています。炉心室は1994年7月1日に大洗工学センターの組織改正によって誕生した新しい研究室です。

炉心室の研究開発の基本方針を以下に示します。

- (a) 実証炉、実用炉、先進的リサイクル炉等の炉心技術開発のために、その基盤である核データ、炉物理、遮蔽等の総合的な研究を行い、炉心設計、解析技術の高度化を図る。
- (b) マイナーアクチニド(MA)及びPu燃焼、FP消滅に関する核データの測定・評価、燃料照射データの評価等の基礎的研究を行い、アクチニド燃焼及び核変換技術の確立を図る。
- (c) 高速炉のPu及びMA利用に関する多様な可能性を示すための革新的炉心概念の検討を行う。

上記基本方針を基にした具体的な研究開発は、(1)核特性評価技術に関する研究、(2)アクチニド燃料炉心の研究の2つに分けることができます。以下に研究開発内容の概要を示します。

### (1) 核特性評価技術に関する研究

#### ①核データ・炉定数の整備

MAやFP核データの整備、JENDL-3.2炉定数の整備を、原研に委託して実施しています。また、平成8年度より、高速増殖炉実証炉の炉心設計のために、統合炉定数の整備を関係各機関の協力の下に実施しています。

#### ②臨界実験、遮蔽実験及び実機炉心特性試験データベースの整備

JUPITER実験(アメリカ:ANL)、MASURCA実験(フランス:カダラッシュ)等の臨界実験データ、大型高速炉の遮蔽実験であるJASPER実験(アメリカ:ORNL)のデータ、「常陽」燃焼データ等のデータベースを進めています。また、MASURCAを用いたPu燃焼炉心の臨界実験(フランスでCIRANO計画と呼ばれている高Pu富化度炉心及びUなし炉心の臨界実験)に参加するために、炉心室より1名研究員をCEAカダラッシュ

研究所に派遣しています。

- ③臨界実験、遮蔽実験及び実機炉心特性試験解析を基にした解析精度の向上  
最新の核データライブラリーと解析手法を用いて、JUPITER臨界実験、MASURCAを用いた高Pu富化度炉心の臨界実験、JASPER遮蔽実験、「常陽」燃焼データ(PIE)等の解析を実施し、解析設計精度の向上を図っています。また、「もんじゅ」性能試験の解析・評価も今後進めていきます。

④核特性解析手法の開発

解析手法の高度化を目的として、3次元六角体系用輸送ノード法コード(NXHEX)の整備、温度核特性に対する設計精度評価システムの開発、設計解析コードのシステム化等を進めています。

(2) アクチニド燃料炉心の研究

①MA核種の核データの整備

「常陽」、東大弥生炉を用いて、MA核種の核断面積測定評価を実施しています。また、大学の協力の下に各種加速器を利用して、MA核種の断面積、希土類核種の断面積の測定・評価も実施しています。更に、平成8年度から4年間の計画で東大弥生炉を用いて、MA核種の崩壊熱測定実験を実施する予定です。

②MA及びPu燃焼炉心及びFP消滅炉心の検討

革新的炉心概念として、MA燃焼及びFP消滅炉心、Pu燃焼炉心(高Pu富化度炉心、U不使用型炉心等)の検討を実施しています。これらの検討については、フランスCEAとの共同研究の一環として、情報交換、共同作業も行われています。

このように、炉心室の研究開発内容は多方面に渡っており、国内の大学や研究機関、フランスCEA等、国内外の幅広い協力を得て、高速炉の炉心に関連する固有技術の研究開発を実施しています。

炉心室の人員は、職員7名(20代が5人)、国際特別研究員1名、CEAからの派遣員1名で構成されています。動燃の国際特別研究員制度は、海外の高速炉開発に携わってきた一流の研究者を招聘して、彼らの知識、技術をトランスファーするとともに有効に活用することを目的として発足しました。

炉心室は、発足し間もない新しい研究室で少人数ですが、若い力と国際特別研究員の豊富な知識と経験を活用して、高速炉の新しい炉心技術の開発に積極的に取り組んでいます。

## 〈研究室だより 5〉

\*\*\*\*\*

### 電総研の中性子標準研究の最近のトピクス

電子技術総合研究所 工藤勝久、武田直人

\*\*\*\*\*

#### 1. はじめに

電総研では、熱中性子から20 MeVエネルギー範囲の中性子標準の確立に関する研究を行い、熱中性子、144keV, 565keV, 2.5MeV, 5.0MeV, 14.8MeVのエネルギー点における中性子フルエンスおよびAm-BeやCf中性子源の中性子放出率の国際的な整合性を確保している。現在は、1keVから100keVのエネルギー領域の中速中性子標準に関する研究を中心に、中性子場に混在する $\gamma$ 線量の測定、ハードとソフトの両面からのデータ処理の高度化に関する研究を行っている。本報告では、これらの研究の概要について述べる。

#### 2. 中性子標準

##### (1) Sc(p,n)反応とSb-Be中性子源を用いた中速中性子標準

バンデグラフ加速器（電圧の安定化および後段加速方式を併用）によるSc(p,n)反応中性子源およびSb-Be中性子源（マンガバスによる中性子放出率測定）により、中速中性子フルエンスの標準化を行っている。

##### (2) D-T, D-D単色中性子エネルギー標準

コッククロフト型加速器により単色性の高い14.00MeVおよび2.413MeV中性子を発生し、スペクトロメータのエネルギー校正およびエネルギー分解能を精密に測定できるようになった。

#### 3. 中性子場に混在する $\gamma$ 線の計測

##### (1) 熱中性子場に混在する $\gamma$ 線量測定

GM計数管自身の(n, $\gamma$ )反応によるみかけの線量寄与を補正できる圧力可変のHe-3ガスフィルター付GM計数管の開発を行い、熱中性子場の $\gamma$ 線量を精密に測定した。

##### (2) レーザー逆コンプトン散乱(LCS)を用いた高エネルギー $\gamma$ 線標準

中性子場に混在する10MeVまでの高エネルギー $\gamma$ 線の線量測定のために、その校正場が必要である。そのため、LCS $\gamma$ 線源を用いた準単色 $\gamma$ 線フルエンス標準の研究に着手した。

#### 4. パルス信号処理

##### (1) デジタル波形処理を用いたイオン飛跡方向の解析

前置増幅器出力パルス信号のデジタル波形解析により、円筒型He-3比例計数管で発生するイオン飛跡の方向がガス増幅へ与える影響について調べた。

##### (2) パルス信号処理系の非直線性の補正方法

同一信号を異なるPHAで測定した時の波高分布の違いを補正する手法を開発した。

5. ガス検出器のレスポンス計算コードNRESPG

(1) 比例計数管のガス増幅率の位置依存性

円筒型He-3比例計数管のガス増幅率の位置依存性を熱中性子ビームにより測定し、その情報をNRESPGモンテカルロ計算コードへ組み込むことにより、計算で求めたレスポンス関数と実験との一致が大巾に向上した。

(2) 減速型中性子検出器のレスポンス計算

NRESPGコードを多領域へ拡張することにより、レムカウンターやロングカウンターなどの減速型検出器のレスポンス関数計算が可能となった。

6. 最近の発表論文リスト

- (1) K.Kudo et al, "Standardization of DT Neutron Field and its Application to Detector Calibration for Fusion Diagnostics", Fusion Eng. Design, 10 (1989) 145.
- (2) K.Kudo et al, "Production of a Reference Monoenergetic Neutron Field Using D(d,n)He-3 Reaction", Nucl. Data for Sci. and Tech. (1991) 533.
- (3) K.Kudo et al, "Characteristic of a New Type of Spectrometer for Measuring Intermediate Neutrons", IEEE NS, 41 (1994) 876.
- (4) N.Takeda et al, "Neutron Response Functions Improved by Taking into Consideration Measured Edge Effect of He-3 Proportional Counter", IEEE NS, 41 (1994) 880.
- (5) N.Takeda et al, "Influence of Direction of Charged Particles Produced by Thermal Neutrons on Pulse Height in He-3 Proportional Counters", IEEE NS, 42 (1995) 548.
- (6) K.Kudo et al, "Investigation of Pulse Height Spectra Obtained by Linearizing the Nonlinearities of Measuring Electronics", Nucl. Instr. and Meth., A353 (1994) 880.
- (7) K.Kudo et al, "Measurements of gamma-ray Dose in a Thermal Neutron Field by Using a He-3 Filtered GM Counter", IEEE NS, 43 (1996) 1851.
- (8) N.Takeda et al, "Nonlinearity of Pulse Height of Recoil Helium in He-3 Proportional Counters", IEEE NS, 44 (1997) 42.
- (9) K.Kudo et al, "Standardization of Neutron Energies at 2.413 MeV and 14.00 MeV", Proceedings of the 9th International Symposium on Reactor Dosimetry held in Prague (1996) (in press).

\*\*\*\*\*

以上。

## <研究室だより 6>

### 株式会社東芝 原子力技術研究所 原子炉技術担当

三橋偉司

当研究所には東芝臨界実験装置(Toshiba Nuclear Critical assembly: NCA)があります。NCAは最大出力200Wで、旧日本原子力事業株式会社(NAIG)時代の昭和38年初臨界以来、現在まで約33年間運転を続けています。また、同じ敷地には最大出力100kWで、初臨界が昭和37年の東芝教育訓練用原子炉(Toshiba Training Reactor: TTR)もあり、こちらも現在稼働中です。原子炉技術担当グループは炉心・燃料の核特性、伝熱流動、安全性についての研究開発を行っています。ここでは主として、NCAを使った実験を中心にBWR燃料の核特性に関する実験および解析について紹介します。

#### (1) BWR 炉心・燃料

BWR燃料は7×7燃料棒配列から8×8燃料棒配列へ、高燃焼度化に向けてステップ1燃料(8×8BJ燃料)からステップ2燃料(高燃焼度8×8燃料)、ステップ3燃料(高燃焼度9×9燃料)へと段階的に改良を進めてきました。NCAではこれらのBWR炉心燃料の改良を進めるに当たって、その核特性の実験的検証および燃料集合体核設計コードの検証を主な目的として臨界実験を行ってきました。実験ではこれら燃料の特徴を模擬した体系、とりわけ、ガドリニア入り燃料、水ロッドに着目した系統的なデータを採取しました。また、制御棒の高寿命化を狙ったHf制御棒の導入に関し、NCAではフラックストラップ型Hf制御棒を提案し、その核特性に関する臨界実験を実施しました。

臨界実験の他、実機データの採取も行っています。原子炉停止後、比較的短い期間に適切な核分裂生成物のガンマ線強度分布測定(ガンマスキャン測定)を行うことにより、原子炉運転サイクル末期の出力分布に関する測定ができます。

上記、ステップ3燃料に関する臨界実験等については、東電ソフトウェア殿と共同で研究を実施してきており、その内容や計算コードの検証等について、日本原子力学会、ANSミーティングおよび水戸で開催されたPhysor96などで報告しています。

#### (2) 臨界安全

燃料の高燃焼度化に伴い、燃料の初期濃縮度が高くなってきており、使用済燃料の輸送および貯蔵の臨界安全設計に燃焼度クレジットを取り入れた合理的な設計が望まれています。燃焼度クレジットとは臨界安全設計において燃焼に伴う反応度低下を見込むことです。我が国で初めて燃焼度クレジットを採用した日本原燃殿六ヶ所再処理工場の使用済燃料受入貯蔵施設では臨界管理上、受け入れる使用済燃料の燃焼度を測定します。その計測装置開発にNCAでの炉物理実験や原子力発電所での燃料ガンマスキャン測定の経験が生かされています。また、現在は使用済燃料輸送も含め、燃焼度クレジットの実用化に向けて、核種組成計算コードやライブラリーの改良について検討を進めている他、NCAを用いて未臨界度モニタ開発の

ための基礎実験等を行い、一部結果を日本原子力学会や ICNC'95 等で発表しています。

NCAは我が国において民間で唯一稼働中の臨界実験装置です。メーカーの立場から、BWR炉心・燃料の改良設計に核的側面での実証性を示してきたと自負しています。今後ともNCAが原子力技術の発展に微力ながら貢献できるよう、努力して参りたいと思いますので、皆様の御指導のほど宜しくお願いいたします。

## <研究室だより 7>

(株) 日立製作所 電力・電機開発本部  
原子力第1部 炉心システムグループ  
瑞慶覧 篤

### 1 はじめに

旧エネルギー研究所を母体として、去る1995年2月に、日立研究所、機械研究所及びその他の部所から電力・電機関連の研究者を結集して、総勢約430人の「電力・電機開発本部(Power & Industrial Systems R & D Division)(略称：日立 電開本)<sup>1</sup>が設立され、今日に至っております。本部は、旧エネルギー研究所所在地にあり、常磐線大みか駅近くの日立研究所に隣接した、太平洋を一望出来る風神山の中腹にあります(写真)。旧エネルギー研究所より、所掌範囲は飛躍的に発展し、図に示すように、原子力をはじめ、ガスタービンから高圧遮断機に至る電力と電機関連全般を網羅しております。筆者自身未だに全分野の概要を把握しておりませんが、芸術品のようなガスタービン翼や高圧遮断機の神秘的なアーク放電を見ていると、筆者の如き計算機と格闘している者にはたくましさを感じます。



電力・電機開発本部のかなたに広がる太平洋の眺望

### 2 炉心システムグループの研究内容

原子力第1部炉心システムグループの所掌範囲と研究対象は以下の通りです。

- 1) 軽水炉 : BWR 炉心燃料の開発。
- 2) 高速炉 : 実証炉、実用炉の炉心システムの開発。
- 3) 基盤技術 : 炉定数計算法、燃料体核計算法及び炉心計算法の開発。

<sup>1</sup>Homepage <http://www.hitach.co.jp/Div/pis/web/index.htm>



BWR 炉心燃料の分野では、燃料の信頼性向上、プラントの負荷率向上とともに、ウラン資源節約、廃棄物量低減、燃料サイクル費低減、および長期サイクル運転が求められており、これらに対応できる高燃焼度燃料の開発をしてきました。また、軽水炉でのプルトニウム利用に関しては、MOX 燃料の利用にも優れた炉心特性を持つ ABWR を対象に、全炉心 MOX 燃料装荷の基本的成立性を確認しました。

さらに、高速増殖炉では、ウラン資源を効率よく使うため、高温のナトリウムに耐えられる機器・材料と経済性・信頼性を一層向上させた炉心システムを開発しています。

最近、高速炉の安全性を飛躍的に向上させる可能性があるガス膨張式反応度制御機構 (GEM) 設置炉心の研究も行っております\*).

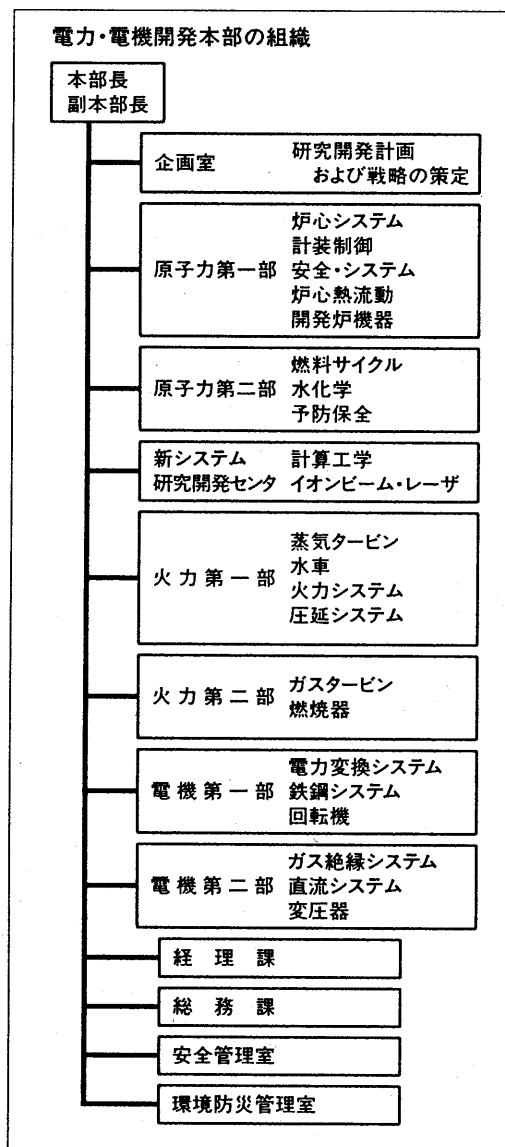
これらの炉心設計を支える基盤技術として、燃料集合体核特性の厳密解を得る目的で、多群モンテ・カルロ計算法に基づく中性子計算・燃焼解析コード VMONT の開発・改良研究を行っております。

さらに、シグマ委員会活動の一環として、核データ評価を行い、その成果を社内の核計算システムに取り込んで、炉定数作成に活用しております。前述の VMONT ライブラリーは、その成果の一つです。

### 3 結言

最近の原子力を取り巻く環境は厳しいものがありますが、上にご紹介しました炉心システムグループをはじめ、他の制御グループ、燃料サイクルグループ等々、全ての原子力関連分野がお互いに協調しながら、広く計算工学、水科学とも密に連携をとり、現場の要求・検証を踏まえながら、全員奮起しております。厳しい現状を、われわれ自らが踏破すべく頑張っております。諸先輩方、諸兄のご指導・ご鞭撻を乞う次第です。

\*) 石田 政義 他、原子力学会誌 Vol. 37, No.4(1995)



<事務局だより>

1996年10月15日

第28回炉物理夏期セミナー収支報告書

参加者：83名

日時：1996年7月29日(月)～31日(水)

場所：茨城県鹿島郡旭村「いこいの村溜沼」

(収入)

参加費		339,000円
内訳：炉物理部会員	4,000 x 27	
学会正会員	6,000 x 14	
学会非会員	8,000 x 10	
学生部会員	1,000 x 13	
学生学会員	2,000 x 3	
学生非会員	3,000 x 16	
テキスト代	1,500 x 88	132,000円
宿泊費	8,500 x 125	1,062,500円
懇親会費	1,000 x 70	70,000円
昼食代	900 x 79 (7/30)	71,100円
	800 x 25 (7/31)	20,000円
賛助金、広告料	30,000 x 11	330,000円
利子		95円
合計		2,024,695円

(支出)

宿泊費及び懇親会費	1,227,989円
会議室使用料	34,556円
テキスト印刷費	309,000円
講師謝礼、交通費	141,720円
学生参加費援助	50,000円
若手研究会懇親会援助	54,100円
昼食代 (7/30)	73,233円
(7/31)	20,000円
コーヒー・菓子代等	43,651円
コピー代	679円
合計	1,954,928円

収支差額 69,767円

第28回炉物理夏期セミナー事務局  
代表 若林利男

平成9年度運営委員

部会長	(1年)	東北大	平川直弘
副部会長	(1年)	北大	成田正邦
庶務幹事	(1年)	東北大	岩崎智彦
財務小委員会	(1年)	三菱重工	佐々木誠 (留任)
	(2年)	九大	工藤和彦
編集小委員会	(1年)	原研	岡嶋成晃 (留任)
	(2年)	日立	丸山博見
セミナー小委員会	(1年)	北大	鬼柳善明
	(1年)	北大	秋本正
学術研究交流小委員会	(1年)	原研	中川正幸 (留任)
	(2年)	京大	小林啓祐
学生・若手小委員会	(1年)	三菱重工	木村純 (留任)
	(2年)	阪大	北田孝典

運営委員会からのお願い

① 部会員のE-mailアドレス

部会内の連絡等を速やかに且つ効率的に行うために、E-mailによるネットワークを構築しようと考えています。そこで、会員各位のE-mailアドレスを庶務幹事までお知らせ下さい。

② インターネットHOME PAGE形式を利用した炉物理部会データベースの構築

炉物理部会に関連の深いデータの蓄積と開示(データベース HOME PAGE の構築)、部会独自のニュース等の配布、部会員同士の情報交換の場の提供を目指して、インターネット HOME PAGE 形式を利用した炉物理部会データベースを構築したら良いのではないかと考えています。そこで、炉物理部会「HOME PAGE」or データバンク等に関するコメントあるいはご意見等を庶務幹事までお知らせ下さい。

③ 編集小委員会からのお願い

編集小委員会では、部会報原稿として、「部会員からの声(自由投稿覧)：内容不問で、自由に投稿、意見を述べられる場」を常時募集しています。また、部会ニュースの在り方を検討するため、及び 部会報「炉物理研究」を充実させるため、会員の皆様のコメントあるいはご意見等を編集小委員会までお寄せ下さい。

連絡先：

庶務幹事 岩崎智彦 (E-mail : tomo@rpl.nucle.tohoku.ac.jp)

(Tel : 022-217-7910、Fax : 022-217-7910)

編集小委員会 岡嶋成晃 (E-mail : okajima@fca001.tokai.jaeri.go.jp)

(Tel : 029-282-5329、Fax : 029-282-6181)

丸山博見 (E-mail : hiromi@erl.hitachi.co.jp)

(Tel : 0294-53-3111)

## 編集後記

第28回夏期セミナー期間中に開かれた運営会議において、突然の編集委員の任期延長と炉物理部会報の編集なる大役を、他の運営幹事から有無を言わず差し向けられた時は、厄年の事例とはこのことかと思いました。とはいえ、拜命後、本誌の構成・内容について、いろいろ考え、改革をしようかと意気込みました。特に、E-mail等のネットワークが充実していく昨今、本誌および部会ニュースの在り方やその意義・内容について見直す時期ではないかと考えました。しかし、時が経つにつれて、「発行しなければ・・・(\*\_\*;)」というプレッシャーに負け、新たな部会報を提案するまでには及ばず、従来のスタイルになってしまいました。今後、本誌および部会ニュースの在り方やその意義・内容について広く部会内での議論が必要かと思えます。今後の編集小委員会活動に期待するとともに、部会員の皆様からのご意見等を積極的に寄せて頂くことを節に望みます。

尚、未筆ながら、投稿依頼の際には、年度末のご多忙な時にも拘わらず、短期間での原稿執筆という無理をお願い致しました。編集生の不作法をこの場を借りてお詫びするとともに、投稿して頂いた方々のご協力に厚く御礼申し上げます。

岡嶋成晃 記

「炉物理部会」平成8年度収支報告

平成8年4月1日～平成9年3月31日

(単位：円)

収 入		備 考
前年度繰越金	3,624,475	含古橋基金1,851,942.-
会 費	454,000	
第12回夏期セミナーテキスト残部売上	15,510	内送費1,510.-
第12回夏期セミナー残金	69,767	
雑 収 入	2,625,471	PHYSOR96より寄付
合 計	6,789,223	

支 出		備 考
会 議 費	23,711	総会(第6回,第7回)
通 信 費	78,470	ニュースレター,夏期セミナー案内,他発送費
「会報」印刷費	135,960	第45号 300部
「ニュースレター」印刷費	30,900	Vol.4 300部, Vol.5 300部
雑 印 刷 費	2,300	コピー代
会 員 事 務 管 理 費	60,000	オフコリス料(@5,000 X 12ヶ月)
そ の 他	5,000	ラベル用紙代
合 計	336,341	

平成9年度繰越金 6,452,882円 (含古橋基金1,865,942.-)

## 「炉物理部会」規約

専門分野別研究部会規程（規程第11号）により、炉物理部会を本規約により設置し運営する。

### （目的）

第1条 炉物理部会（以下本部会）は、炉物理に関連する専門分野の研究活動を支援し、その発展に貢献することを目的とする。

### （部会員）

第2条 学会正会員及び学生会員は本部会員となる資格を有する。

第3条 本部会に参加を希望する会員は、所定の事項を記入した入会申込書に部会費を添えて、事務局に申し出る。なお、退会の際はその旨を事務局に通知する。

### （運営費、部会費）

第4条 本部会の運営費には、部会費、事業収入、寄付、その他をもってあてる。

第5条 運営費については、企画委員会を経て理事会に報告し、その承認を得ることとする。

### （総会）

第6条 総会を年1回以上開催し、本部会の事業、予算、運営等の重要事項について承認を得るものとする。

第7条 本部会の運営は、学会正会員の本部

会員より選ばれた部会長、副部会長各1名及び幹事若干名からなる運営委員会が行なう。運営委員の任期は別に定める。

第8条 事業の実施のため、運営委員会のもとに小委員会を設けることができる。

### （事業）

第9条 本部会は次の事業を行う。

- (1) 定期的に部会報を発行する。
- (2) 随時、技術情報提供等のためのニュースレター等を発行する。
- (3) 学会の学術講演会に積極的に参加する。
- (4) 関連する研究専門委員会、特別専門委員会等の活動を積極的に支援する。
- (5) 討論会、研究発表集会等を開催し、優秀な発表論文については、学会誌への投稿を積極的に奨励する。
- (6) 関連する国内外の学協会、諸機関との共催による研究集会の企画、実施を行い、国内および国外研究協力を積極的に進める。
- (7) 年1回以上、セミナーを開催する。
- (8) 炉物理の理解を一般に広めるため、随時、講演会、見学会等を開催する。
- (9) その他、適切な事業は随時、実施する。

### （変更）

第10条 本規約の変更は、運営委員会の決議に基づき、総会での承認を要する。

## 日本原子力学会「炉物理部会」内規

### 1. [趣旨]

この内規は、炉物理部会規約に基づき、炉物理部会（以下、本部会）の具体的な運営の方法について定めるものである。

### 2. [総会]

- (1) 本部会の総会を、年2回、学会春の年会及び秋の大会時に開催する。
- (2) 総会では、本部会の事業、予算、決算、運営に関する重要事項について、審議する。

### 3. [部会費]

本部会の部会費は、正会員及び学生会員につき、それぞれ年額1500円、1000円とする。尚、学生会員会費については、平成7年4月1日を以て、年間500円に減額する。

### 4. [運営委員会の構成]

本部会に次の役員からなる運営委員会をおく。

部会長	1名
副部会長	1名
幹事	若干名

### 5. [運営委員会の職務]

- (1) 運営委員会は、本部会の運営の中心となり、運営に関する事項を分担する。
- (2) 部会長は、本部会を代表し、本部会の業務を総括する。
- (3) 副部会長は、部会長を補佐し、部会長に支障があるときは部会長の職務を代行する。
- (4) 幹事は、庶務及び各小委員会委員長の職務を分掌する。
- (5) 各小委員会委員長は、各小委員会を統

括する。

- (6) 庶務幹事は、本部会運営の庶務を担当し、学会企画委員会等の窓口となる。

### 6. [運営委員会委員の選任]

- (1) 部会長、副部会長、及び幹事は、学会正会員の部会員の選挙で選ばれる。
- (2) 正副部会長の任期は、2年とする
- (3) 幹事の任期は2年とし、約半数を毎年改選する。

### 7. [小委員会]

- (1) 本部会の事業の実施のために、運営委員会のもとに、小委員会を設ける。
- (2) 部会長は学会正会員の部会員より、小委員会委員を委嘱する。
- (3) 運営委員は、小委員会委員を兼務できる。

### 8. [小委員会の活動]

当面、本部会に以下の小委員会を設置し、各事項を掌握、分担する。

- (1) 財務小委員会……健全な部会運営のための財源確保と支出を分担する。

収入に関する事項

- (1) 部会費
- (2) 一般向け特別セミナー参加料
- (3) 学術集会開催参加料
- (4) 連合講演会予稿集販売
- (5) セミナー資料集・啓蒙資料集販売
- (6) 専門技術情報販売
- (7) 寄付
- (8) その他

支出に関する事項

- (1)部会報出版
- (2)ニュースレター発行
- (3)若手セミナー開催
- (4)学術交流経費
- (5)通信連絡事務経費
- (6)その他

(2) 編集小委員会……技術情報提供のため定期的に出版物の発行業務を行う。

- (1)部会報出版
- (2)ニュースレター発行
- (3)集会資料集、予稿集、資料集などの編集・発行
- (4)その他

(3) セミナー小委員会……会員を対象とした炉物理研究情報提供の企画・開催業務を行う。

- (1)セミナーの企画・開催
- (2)セミナーテキスト・資料集の企画・作成
- (3)その他

(4) 学術研究交流小委員会

- (1)国内連合学術集会の企画・開催

(2)国外連合学術集会の企画・開催

(3)対外協力事業の企画・実行

(4)その他

(5) 学生・若手小委員会……若手研究者及び学生の活動を企画実行する。また、若手・学生の入会を促進する。

(1)若手セミナーの開催

(2)その他

9. [変更]

本内規の変更は、運営委員会の発議に基づき、総会での承認を要する。

付記

(1) 本内規は「平成6年日本原子力学会春の年会」における炉物理研究連絡会総会での議決を経て施行するものとする。

(2) 炉物理研究連絡会は、本内規の施行をもって廃止し、炉物理研究連絡会会員は、本部会会員となる。

(3) 炉物理研究連絡会の財源は本部会が引き継ぐ。



「炉物理部会」 会員名簿 (機関別)

○印は新入会員 会報No.45以降  
(計 258名 平成9年5月26日現在)

- |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 清瀬 量平<br>後藤 頼男<br>五藤 博典<br>相山 一典<br>武田 栄一<br>中原 康明<br>弘田 実弥<br>深井 佑造                                  | トランスミタ<br>○根本 農史<br>○龍 浩一   | 小林 啓祐<br>西原 健司<br>森島 信弘<br>○山崎 明朗   | 岡山理科大 (1名)<br>関谷 全  | 森 貴正<br>山根 剛  |
| 北海道大学 (7名)<br>秋本 正文<br>板垣 善明<br>鬼柳 雅司<br>辻田 正邦<br>成田 富士夫<br>平賀 高明<br>松本 高明                            | 東海大学 (6名)<br>朝岡 卓見<br>織田 浩一<br>阪元 重康<br>砂子 克彦<br>中土井 昭三<br>永瀬 慎一郎 | 京都大学原子炉<br>実験所 (21名)<br>市原 千博<br>宇津呂 雄彦<br>宇根崎 博信<br>海老沢 徹治<br>神田 啓治<br>小橋 昭夫<br>小林 捷平<br>小林 圭二<br>古林 徹<br>桜井 良憲<br>代谷 誠治<br>茶谷 浩広<br>中込 良晃<br>西原 英友<br>長谷 博志<br>○花山 育俊<br>林 正浩<br>下田 薫<br>藤田 頭毅<br>三澤 毅司<br>米田 憲 | 吉備国際大学(1名)<br>錦 織毅夫   | 動燃事業団 (10名)<br>飯島 一敬<br>大木 繁夫<br>岡野 信靖<br>岡村 信生<br>重留 義明<br>白方 敬章<br>中村 詔司<br>長沖 吉弘<br>山口 隆司<br>若林 利男 |
| 東北大学 (6名)<br>岩崎 智彦<br>北村 正晴<br>馬場 護<br>平川 直弘<br>○堀内 敏光<br>○三浦 孝子                                      | 武蔵工業大学(3名)<br>相沢 乙彦<br>○加藤 友章<br>松本 哲男                            | 九州帝京短期大学<br>(1名)<br>大田 正男   | 日本原子力研究所<br>(38名)<br>秋濃 藤義<br>安藤 真樹<br>飯島 進<br>伊勢 武治<br>大井川 宏之<br>大杉 俊隆<br>大野 秋男<br>岡嶋 成晃<br>○奥村 啓介<br>金子 義彦<br>久語 輝彦<br>黒沢 一男<br>近藤 育朗<br>○佐藤 敏信<br>新杉 暉夫<br>須山 賢也<br>関野 浩樹<br>曾野 秀機<br>高田 俊一<br>田中 和文<br>辻本 幸太郎<br>外池 倣孝<br>内藤 正幸<br>中川 宏健<br>中島 健文<br>中野 佳洋<br>中野 美春<br>長尾 統一郎<br>藤村 洋<br>前川 祥次郎<br>松浦 元治<br>水本 武彦<br>向山 伸一郎<br>明午 伸一郎 | 原子力安全委員会<br>(1名)<br>住田 健二   |
| 埼玉工業大学(1名)<br>関口 晃  | 立教大学 (1名)<br>林 脩平   | 名古屋大学 (6名)<br>井口 哲夫<br>石谷 和己<br>伊藤 只行<br>古橋 貴之<br>山根 義宏<br>渡邊 将人  | 船舶技術研究所<br>(1名)<br>小田野 直光   | 電子技術総合研究所<br>(1名)<br>工藤 勝久  |
| 東京大学 (10名)<br>岡 芳明<br>倉橋 智彦<br>近藤 駿介<br>品川 亮介<br>高田 英治<br>渡嘉敷 幹郎<br>○土橋 和夫<br>中沢 正治<br>○中塚 亨<br>○向原 民 | 名古屋工大 (1名)<br>○梅野 正義  | 大阪大学 (7名)<br>伊藤 佳央<br>北田 孝典<br>○木本 達也<br>高橋 亮人<br>竹田 敏一<br>村田 勲<br>山本 敏久  | 電力中央研究所<br>(3名)<br>平岡 徹<br>松村 哲夫<br>横尾 健  | 原子力発電技術機構<br>(2名)<br>駒田 正興<br>芳賀 暢  |
| 東京工業大学<br>(11名)<br>井頭 政之<br>小原 徹太<br>○金井 克太<br>北沢 日出男<br>白井 浩嗣<br>関本 博<br>竹村 一仁<br>○立原 秀和             | 岐阜医療短大<br>(1名)<br>加藤 敏郎   | 九州大学 (3名)<br>石橋 健二<br>工藤 和彦<br>中島 秀紀  | 放射線教育フォーラム<br>(1名)<br>三木 良太   | 放射線利用振興<br>協会 (1名)<br>土橋 敬一郎  |
|   | 岐阜大学 (1名)<br>岸田 邦治  | 大分工業高専<br>(1名)<br>神田 幸則   | 日本原子力文化<br>振興財団 (1名)<br>大山 彰  |   |
|   | 愛知淑徳大学(1名)<br>仁科 浩二郎  | 大阪国際女子短期<br>大学 (1名)<br>堀江 淳之助   |   |   |
|   | 近畿大学 (5名)<br>大沢 孝明<br>小川 喜弘<br>柴田 俊一<br>橋本 憲吾<br>堀口 哲男            |   |   |   |
|   | 京都大学 (6名)<br>○加藤 丈始<br>木村 逸郎                                      |   |   |   |

エネルギー総合工学  
研究所 (1名)  
松井 一秋

核物質管理センター  
(1名)  
古橋 晃

高度情報科学技術  
研究機構 (4名)  
飯島 勉  
中村 知夫  
能沢 正雄  
吉田 弘幸

若狭エネルギー研究センター  
(1名)  
清水 彰直

原子力システム研究  
懇話会 (2名)  
安成 弘  
大塚 益比古

特許庁 (1名)  
居島 一仁

防衛庁 (1名)  
佐久間 雄平

電源開発 (1名)  
木下 豊

海外再処理契約  
委員会 (1名)  
村田 尚之

日本原子力発電  
(3名)

植松 眞理  
武田 充司  
立松 篤

中部電力 (1名)  
金井 英次

東京電力 (2名)  
市村 鋭一  
高木 直行

ANL (1名)  
丁 政晴

アイ・イー・エー・ジャパン  
(1名)  
末広 祥一

アイン技術サービス  
(2名)

青木 克忠  
植田 精

石川島播磨重工業  
(1名)  
倉重 哲雄

ウッドランド(1名)  
梅田 健太郎

原子燃料工業(4名)  
井手 秀一  
伊藤 卓也  
景平 克志  
○巽 雅洋

原子力安全システム  
研究所 (1名)  
西原 宏

(株)原子力エンジニアリング  
(1名)  
川本 忠男

原子力エンジニアリング(株)  
(1名)

小林 岩夫

高速炉エンジニアリング  
(1名)  
亀井 孝信

コンピュータソフト開発  
(1名)  
○志賀 章郎

CRC総合研究所  
(2名)  
角谷 浩享  
○志子田 恵治

清水建設 (1名)  
大石 晃嗣

情報数理研究所  
(1名)  
磯野 彬

新型炉技術開発  
(1名)  
菅 太郎

志賀希金属化学  
工業 (1名)  
志賀 清人

住友原子力工業  
(1名)  
奥田 泰久

総合技術情報機構  
(1名)  
桂木 學

大洋テクノ (1名)  
佐藤 秀雄

田丸屋 (1名)  
望月 恵一

データ工学 (1名)  
松延 廣幸

東芝 (18名)

安藤 良平  
猪野 正典  
馬野 琢也  
川島 正敏  
黒澤 正彦  
小林 裕司  
櫻井 俊吾  
桜田 光一

○瀧川 幸夫  
築城 諒文  
中野 隆文  
野本 昭二  
肥田 和毅  
松村 和彦  
水田 宏宏  
三橋 偉司  
山本 宗也

東電設計 (1名)  
遠藤 信隆

東電ソフトウェア (2名)  
小坂 進矢  
佐治 悦郎

日本原燃 (1名)  
須田 憲司

ニュークリア・デベロップメント  
(1名)  
嶋田 昭一郎

日立エンジニアリング  
(1名)  
山口 正男

日立製作所 (8名)  
○青山 肇男  
内川 貞夫  
大西 忠博  
三田 敏男  
瑞慶覧 篤典  
別所 泰典  
丸山 博見  
三木 一克

日立造船 (1名)  
山田 毅

フジタ (1名)  
石川 敏夫

富士電機 (2名)  
中村 久  
安野 武彦

三井造船 (1名)  
伊藤 大一郎

三菱重工業 (5名)  
木村 純  
駒野 康男  
千田 康英  
田中 豊  
田原 義寿

三菱電機 (1名)  
路次 安憲