

1979 Vol.21 No.1

日本原子力学会誌



*Journal of the Atomic
Energy Society of Japan*

創立20周年記念特集号

わが国原子力研究の20年

誕生・揺籃期の裏話

20周年に寄せて“ひとこと”

(付 事務局20年雑記・略年表)

社団法人 日本原子力学会
ATOMIC ENERGY SOCIETY OF JAPAN

日本原子力学会誌

Vol. 21, No. 1 (1979年1月)

目次

創立20周年記念特集号

(口絵)歴代会長写真

創立20周年を迎えて.....	山本賢三	1(1)
創立20周年記念事業実行委員長として.....	小澤保知	2(2)
わが国原子力研究の20年—その概観と展望—.....		3(3)
1. 炉物理・炉工学	2. 核燃料・炉材料	
3. 化学・化学工学	4. 保健物理	
5. 安全性	6. 核燃料サイクル	
7. 原子力教育	8. 原子炉開発	
誕生・揺籃期の裏話.....		87(87)
20周年に寄せて“ひとこと”.....		99(99)
—憶い出, 苦言, 提言, 要望, など—		
(付・事務局20年雑記・略年表).....		123(123)
会報(行事予定, 各専門委報告, 編集後記, 主要会務, 他).....		128(128)

編集委員

委員長	渡辺亮治(金材研)							
理事	石原健彦(原研)	大田正男(九大)	関谷全(阪大)					
委員	宇津呂雄彦(京大炉)	大野新一(原研)	大野正剛(東芝)	金川昭(名大)				
	金子義彦(原研)	川崎了(原研)	佐野川好母(原研)	白形弘文(原研)				
	高橋幹二(京大原研)	高橋洋一(東大)	竹内栄次(中部電力)	田中義一郎(放医研)				
	中嶋龍三(法政大)	西原英晃(京大)	古屋広高(九大)	堀雅夫(動燃)				
	水田宏(NAIG)	宮下恭一(三菱電機)	村田裕(武蔵工大)	山本研(動燃)				
	龍福廣(原研)							

Twentieth Anniversary Commemorative Issue

CONTENTS

Collected Papers Covering Progress
of Nuclear Research in Japan 3 (3)

1. Reactor Physics · Reactor Technology
2. Nuclear Fuels · Reactor Materials
3. Nuclear Chemistry · Chemical Engineering
4. Nuclear Health Physics
5. Nuclear Safety
6. Nuclear Fuel Cycle
7. Nuclear Education
8. Reactor Development

Early Days of Nuclear in Japan 87 (87)

Comments from Society Members

—Reminiscences, counsel, suggestions, requests *etc* 99 (99)

From the Secretariat—Chronological table, Informative digrams..... 123(123)

Monthly Published by

Atomic Energy Society of Japan

c/o Japan Atomic Energy Research Institute

No. 1-13, Shimbashi 1-chome, Minato-ku, Tokyo, JAPAN.

《学会事務局》 (105)東京都港区新橋1-1-13 (東電旧館106号室) Tel.(03)503-6111~25(内線616), 直通(03)591-1927
(関西支部) (550)大阪市西区靱本町1-8-4 大阪科学技術センター内, Tel.(06)441-3682
(中部支部) (460)名古屋市中区栄2-17-22 名古屋科学館・中部科学技術センター内, Tel.(052)231-3070
(東北支部) (980)仙台市一番町1-1-30 (やまと生命ビル) 東北原子力懇談会気付, Tel.(0222)67-0021

歴代会長

(敬称略)



初代 茅 誠司
(昭34～35年度)



第2代 故菊池正士
(昭36～37年度)



第3代 故瀬藤象二
(昭38～39年度)



第4代 一本松珠璣
(昭40～41年度)



第5代 大山松次郎
(昭42～43年度)



第6代 矢木 栄
(昭44～45年度)



第7代 武田 榮一
(昭46～47年度)



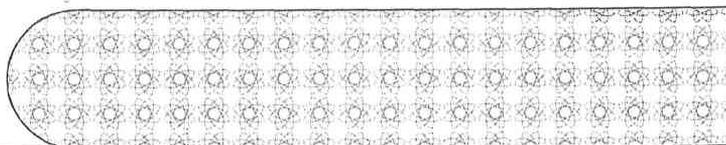
第8代 宗像 英二
(昭48～49年度)

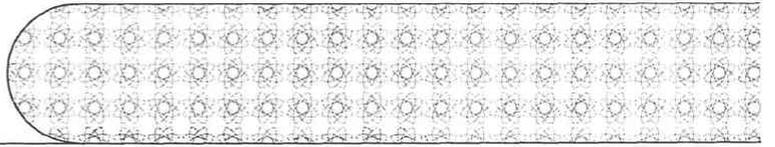


第9代 伏見 康治
(昭50～51年度)



第10代 故大山義年
(昭52年5月～7月)

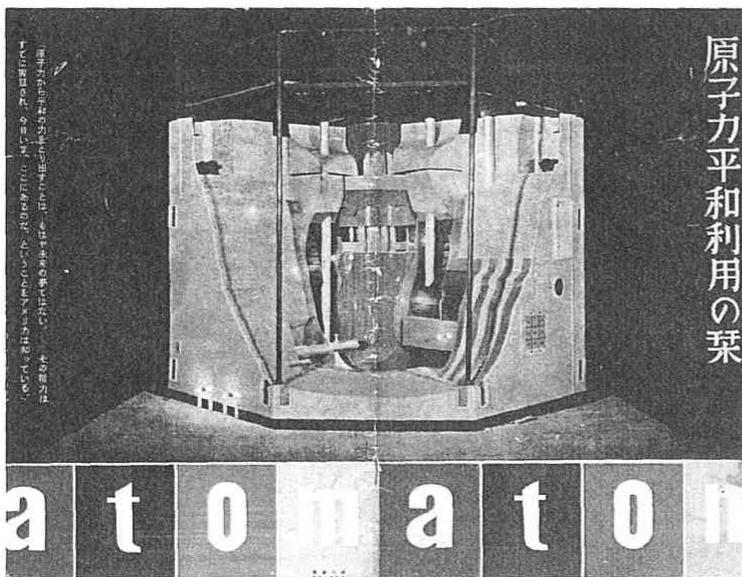




創立総会 (昭和34年2月14日 学士会館)



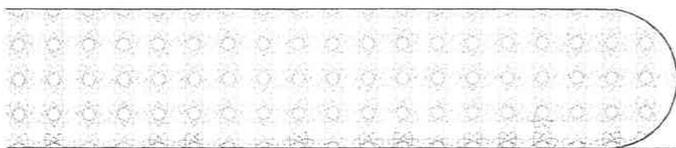
第1回 原子力研究総合発表会の懇親会
(昭和35年2月12日 学士会館)



原子力利用博覧会パンフレットの表紙 (CP-1模型) (昭和30年11月)



創立当時の会員募集パネル



創立20周年を迎えて

第11代会長 山本賢三
日本原子力研究所

昭和30年の原子力基本法の制定, 原子力委員会の設置に続いて, 翌31年科学技術庁(原子力局), 日本原子力研究所, 原子燃料公社(後の動燃事業団の一部), 32年には放射線医学総合研究所, 日本原子力発電(株)が発足し, またこの時期に阪大, 東工大, 京大, 東北大, 東海大に原子力課程が設置された。こうした最初の一群が出発した後の昭和34年2月14日に日本原子力学会が誕生した。もっともシンポジウム形式の学会的活動はそれに先立って始められていた。

当時, 原子力はまさに新時代到来の象徴であり, 政府筋, 科学・技術・産業・経済・政治などの各界はこの受入れに積極的であったことはいうまでもない。しかし一方, 体制の未熟・不備などから反対ないし慎重論も一部にはあった。原子力のもつ高度の科学・技術性と新しい産業への期待, それをもたらす絶大な利益とうらはらの危険性, 必然的に発生する新規の国際関係など, 広汎な効果と影響力をもって展開されるこの巨大科学に対し, わが国が取り組むことは未曾有のことであった。関連する各界の先達は勇気と抱負をいただきこれに身を投ぜられて諸方策の作製や開発の基礎づくりをされたのである。

本学会の設立もその一環をなしている。初代茅 誠司会長を初め理事, 監事, 企画・編集委員の諸氏の構成は科学・技術の諸分野にまたがり, その伝統は今日も続き原子力が総合科学として育ち形成されていることを物語っている。この20年間を顧みると, 原子力は今や国として最重点の課題に成長し, また世界にまたがる諸問題を提起し, 協力関係をつくりつつ時に大きく揺れ動いて今日に至った。最近わが国でも創立100年を数える学会があらわれ, それに比べて本学会の歴史はまことに浅いが, その間における学会をとりまく原子力界の激動ぶりは優に100年の変遷に匹敵するものといえる。

昨年秋にはわが国の原子力発電設備容量は水力のそれを上回り米国に次ぐ原子力普及国になった。研究開発面では先進技術の消化から始まり, 軽水炉の国産化, 各新型分裂炉, ATR, FBR, VHTGR, ウラン濃縮等の自主技術開発, また安全性, 放射線利用, 核融合, 基礎科学・技術などの研究で高い水準に達し, 国際協力の場合や国際的学術集会でしばしば高い評価を受けるまでに至った。これは諸先輩による布石・育成と関係者の努力がもたらしたものであり, それに高度経済成長が助勢したということになる。

そこでこの20周年に当って, 先ずはめでたしと述べるのであるが, またそれには今後活かされるべき反省が伴うものであり, この機に当面迎えている新情勢から長期の展望にわたって分析と方策を怠るわけにいかない。このことは原子力関係有識者の共通の認識であろうと思う。

エネルギー政策におけるわが国の原子力開発路線は一応描かれているといえる。しかし, エネルギー生産システムは多くの因子にもとづく社会の判断でその受入れが決まるのであり, またそれは時に流動する国際的制約下におかれている。したがって, 遠い将来までひと筋道とは限らず, 紆余曲折はありうるとみななければならない。路線の硬直化は危険であり, 常に弾力的対応と先導的評価の作動していることが必要であると考え。

本学会は原子力関係の幅ひろい科学・技術者の大半を網羅した会員約5,000名の人材集団であり, 会員は個人の自由な立場で相互に啓発されつつ意見形式ができるわけである。現在23の課題につき専門委員会が活動しているのであるが, こうした活動などを通じて様々な可能性, 先見性の培われることが, 原子力界における本学会の一つの基本的役目であると思う。

創立20周年記念事業実行委員長として

副会長
北海道大学 小澤保知



昭和34年2月14日、茅会長のもとに発足した日本原子力学会が20周年記念の式典を来る2月13日に神田学士会館に於いて迎え、「記念特集号」、記念講演、第1回原子力技術開発賞、学会マークの制定等の諸行事を晴やかに行う事は誠に喜ばしい事であります。

既に100年を迎えた国内外の諸学会に比べれば、その齢は誠に若く、これから活潑な春秋を迎える学会であります。研究開発に長い経験を有するアメリカ原子力学会が漸く25周年を迎える事を考えます時、その歴史の重味は軽視さるべきでなく、深く回顧反視し21世紀を翹望すべきでありましょう。

石油禁輸に触発された、有効エネルギー供給に対する危機感の昂りにも拘らず、核不拡散に関連しての米国のエネルギー政策に対する判断の複雑さのために、原子力科学技術全般に対して、やや戸惑いが、我が国および米国の各界の一部にも見られる事は誠に残念な事であります。

エネルギーの有効需要が豊富な国々では貧富の格差が少なく、不十分な国では格差が増大する事実に鑑み、2000年前半に予想される数十億の世界の人々に平均10 kW程度のパワーを解放し続けて、安定活潑な社会生活を保障するには、先進国から開発途上国への資本ならびに技術の移転を行い、慎ましいエネルギー利用、低エネルギー弾性値即ち付加価値の高い技術開発を促進し、質の高い生活水準達成が21世紀の世界の希望でありましょう。我が国にとっては、短期的には石油資源取得の自由度拡大、石炭等化石燃料の有効利用、水型発電炉の定着が極めて重要であり、学会関係者の健全な努力に培われた自信と精進が希まれる次第であり、長期的には増殖炉、核融合炉、太陽エネルギー、水素利用へと発展が展望されますので、核融合研究の伸展に伴い本学会の責任は益々大となりましょう。宇宙進化の例をとるまでもなく、核反応に基く原子核エネルギーは、原子・分子反応による原子エネルギーと相携えてエネルギー工学で大きな責任を果すべき使命を担っている次第であります。これら技術開発に伴う技術的・経済的困難を考える時、裾野の広い関連科学技術の振興と調和が重要となり、他方国際協力による技術開発が益々重要となると思われる次第で、本学会がさきに「第2回環太平洋会議」を成功裡に実施致した機能が、更に広い国際協力へと発展する事が希まれます。

最後に、この度の20周年記念事業に御協賛を頂戴いたした関係諸機関、学会員の皆様、また企画実行に当られた企画・編集両委員会委員、事務局職員の方々々に感謝申し上げますと共に、漸く20歳の青年学会の特徴を発揮すべく会員各位の学会への一層の御貢献を御願い致す次第であります。

わが国原子力研究の20年

— その概観と展望 —

まえがき 本学会の創立10周年にあたった1969年は、わが国の原子力利用がようやくその実用期を迎えた年であった。その後10年を経た今日、原子力発電設備容量は1,268万kWにも達しようとしており、また、新型転換炉「ふげん」、高速増殖実験炉「常陽」の建設・臨界が達成されて、新しい時代の黎明を迎えようとしている。さらに、核融合エネルギー利用についても、炉心プラズマの研究の進展にともない核融合炉工学の研究が開始されるにいたった。しかし、一方では原子力の安全性がこれらと並行して各方面からますます注目されるようになり安全性の研究が重要視されてきた。この間に起こった「石油危機」を契機として、将来の安定したエネルギー源としての原子力に対する期待が一層たかまってきた。

本学会の創立20周年記念特集号の編集企画にあたって、この10年間に焦点をあてた「わが国原子力研究の概観と展望」について各分野ごとにまとめることとしたが、単に過去の華々しい研究成果の羅列に終るのではなく、むしろ学会としての立場から、過去への峻厳な反省に立って展望することを特に心がけたつもりである。執筆は各分野について第一線でご活躍の方々をお願いしたものであり、それぞれ個性的なものになったことは止むを得ないところである。何分にもページ数が限られており十分意を尽くし得なかった部分も少なくないと思われる。これらについては将来別に「解説」等で補足してゆくことを考えている。過去20年間に解決し得ずらに将来に継ぐべき問題や、あらたに提起されるべき問題等、わが国の原子力研究に些かでも貢献することを期待している。

(編集委員長 渡辺 亮治)

1. 炉物理・炉工学

核物理・核データ

核物理・核データの研究の歩んだ道

1. 初期を回想して

Fermi が天然ウラン・グラファイトの集合体を使って人類はじめての核分裂連鎖反応の実験を行なったのは今から36年前のことである。これはその当時のこと

であるが、実験の計画を立てるにあたって、まず、連鎖反応が果して実現する見込みがあるのか、に始まって、次に、連鎖反応を実現するためにはどのような準備が必要であるかの検討——具体的には燃料のウランや減速材のグラファイトの中に含有される連鎖反応に有害な不純物の許容限界、燃料や減速材の必要量の計算等——を行わなければならなかったわけである。しかしながら、それらの計算を行うために必要な原子核の物理定数——中性子反応断面積と称する量で、これが今日核データといわれるものの主体である——がすでにすべて測定されて揃っていたわけではない。必要な一つの値に対して幾つかの異なる測定値が報告され

ていた場合もあったであろうし、また重要なデータがまだ得られていなかった場合もあったであろう。連鎖反応の計算を担当した核物理の専門家達は、まず第一の場合については、互いに異なる測定値(複数)を検討して最も信頼できると考えられる値を選定し、第二の場合については、核物理の実験家に要請して急いで測定を行なってもらった。しかし、それが間に合わない場合もあり、そのときには最後の手段として、核物理の知識で判断してこの位の値が妥当であろうと推測される値を使用した。連鎖反応の実験は、このようにして行われた計算の結果のとおり成功した。未知の核データの値を推定するにあたっては Fermi の天才的判断にまつところが多かったという。

学会の20周年記念特集の冒頭をこのように陳腐な昔話で書き出すことはいささか気が引けるが、しかし、原子力の研究と開発における核物理の位置、役割がよくこの中に織り込まれているのでご勘弁いただきたい(本項でいう核物理は、核物理の中で原子力平和利用の研究と開発に深い関係にある部分を指すのであって、普通の意味での核物理全般ではないことを念のためお断りする)。

わが国で原子力の平和利用の研究と開発、いわゆる R&D が開始されたとき、原子核物理がこの R&D の中で置かれていた位置は、Fermi が核分裂連鎖反応の実験を行なったときの様子とは全く異なっていた。わが国の R&D は、まず研究用の原子炉を、続いて動力炉を輸入することを主軸とし、それに並行して開発のための研究を進めるといって開始された。原子炉の核特性を計算する上で必要な群定数は炉の輸入前から供給された。原子炉の特性を研究する原子炉物理あるいは核計算の分野は R&D の中心に位置して、華々しい脚光を浴びたが、これらの研究の中で使われた群定数は“与えられた定数”といった性格になっていた。

群定数は核データを処理して作られるものであるが、その核データを提供する責任を担う核物理の研究は、太平洋戦争による研究の中絶、戦後の一時期における占領軍による(原子核の)研究の禁止、戦争による破壊と疲弊等のために非常に立ち遅れてしまっていて、必要な核データをすぐに揃えよといわれても、それができる状態にはなかった。当時核物理の研究者に要求されたことは、速やかに中性子に関する研究を開始し、先進諸国の水準に追いつけという莫然としたものであった。

2. 高速増殖炉開発の基礎研究の一端を目指して

核物理の研究の展開は節を改めて記すこととして、ここでは原子炉の R&D の進展を追うこととしよう。開発の第一目標である熱中性子炉に対しては、外国から導入された群定数を使って核計算が行われたことは前に記したが、やがて、炉物理、核計算の研究に従事していた人々の中から、使っている群定数が果して適正妥当なものであろうか、しかし妥当でなかったとしても、どこがどのように悪いのか全くわからないという懐疑といら立ちの声が聞かれるようになった。その声は、第二目標である高速増殖炉の R&D においては再び同じ轍を踏んではならないという声に変わった。言い換えれば、高速増殖炉の開発にあたっては、われわれ自身でよく吟味した核データを使って、われわれ自身で作った群定数を持たなければならないということであった。

原子炉の核計算を行うために必要な一揃の群定数を作るのに要する核データは、核種の数において、またエネルギーの範囲において、さらに反応の種類において広範なものである。それを揃えるためには、既往にさかのぼって世界の文献を調べることから始めなければならないが、これは2,3人の少数の人ではできないことである。学会の主導の下に広く会員の有志の協力により、核データの収集・整備の活動を行うことを目的として、本学会に「シグマ」研究専門委員会が設置されたのは1963年2月であった。核データの主体である中性子反応断面積をあらわす記号としてギリシャ文字 σ のシグマという文字を使うのが通例であるので、中性子反応断面積委員会という意味でこの名称がつけられた。

3. 国際協力

この時期は諸外国でも、またわが国でも、原子炉の R&D が熱中性子炉から高速中性子炉の分野へ拡がり始めた時期である。高速中性子炉ではエネルギーの高い領域の核データが多量に必要な。また他方、原子炉は次第に大型化した。大型炉ではわずかの計算誤差が大きな金額の利得または損失に結び付くので、計算に用いられる群定数のもとになる核データの精確度に対する要求は厳しくなる。このような量と質の両面の変化に伴って、当時欧米の原子力先進国の間では、すでに米英加の3国の間で行われていた、核データの測定と収集に関する国際協力をさらに多くの国々に拡大しようという動きが始められていた。

われわれの学会の動きがこのような国際的な呼び掛けに少しでも先行していたことは、タイミングがよかったというべきであろう。シグマ委員会が発足して間

もなく、IAEA から招請があつて、その年の5月から国際核データ委員会の前身である国際核データ作業グループにシグマ委員会の主査が参加することになった。続いてわが国は1965年2月には OECD の核エネルギー機関(現 NEA)に(準)加盟し、翌年1月からその傘下の中性子データ収集センターの活動に参加することになった。さらにその4月からは、欧米核データ委員会(現 NEA 核データ委員会)に参加できることになった。

OECD-NEA の中性子データ収集センターに参加したことの効果は非常に大きかった。それは参加諸国で測定された核データは、国際協力の精神によって、このセンターに供出集積され、われわれは自由にそれを引き出して使えるようになったからである。この核データ流通の組織は、数年の後には、IAEA 国際核データ委員会の努力によってソ連を含む全世界に拡大された。

4. 評価済核データ・ライブラリの作成

このようにしてデータ収集の問題が解決することになると、評価済核データ・ライブラリの整備がシグマ委員会の次の主な仕事となった。

冒頭に記した昔話の中の、核データの測定値の不一致、未測定の核データの処理の問題は、歳月の経過とともに複雑になっていた。その理由は、一つには必要な核データが量において多くなり、質において厳しくなったことであり、もう一つには、炉物理、核計算の内容が複雑精緻になるのに伴い、これらの分野の人々が核データの分野の研究まで同時に消化することが困難となったためである。この事態に対応して生まれたのが「核データの評価」という新しい分野である。これは、核物理の知識を使って重複する互いに一致しない測定値を整理検討して最も信頼できると考えられる値を定め、あるいは測定の困難等の理由で測定が行われていない、いわゆる未知断面積を核物理の理論計算により推定するという仕事である。

原子炉の核計算を行うにあたっては、必要な核データが全部揃っていないなければならない。データの評価が行われていても、それが部分的あるいは断片的であっては最終の用には役立たない。ここに「評価済核データ・ライブラリ」、あるいは「評価済データ・ファイル」を作ること、すなわち開発に必要な評価済核データの体系を整備することが必要になる。

1969年には、シグマ委員会と原研の研究者が協力して、英独米の評価済核データ・ライブラリを、主に炉物理、核計算の立場から比較検討して核データを選定

し、それによって高速炉用群定数 JAERI-FAST SET を作成した。一方“われわれの手で評価したデータ”でライブラリを作り、それによって群定数を作ることは、シグマ委員会の当初からの目標であり、そのための研究はすでにこの以前から始められていたが、その結果として高速炉用評価済核データ・ライブラリ JENDL (Japanese Evaluated Nuclear Data Library)-1 が完成し、公開されたのは1977年10月であった。評価済核データ・ライブラリで先鞭をつけたのは英国であり、ドイツ、米国がこれに続いたが、その中で最も充実しているのは米国の ENDF/B である。JENDL-1 は公開の前にもまた後にも、機会あるごとに炉物理の積分実験との対比による総合テストを受けた。特に NEA 炉物理委員会による国際ベンチマーク・テストで優れた成績をあげた。作成に関係した人々は、JENDL-1 は ENDF/B に勝るとも劣らない信頼性を持っているという自信を深めている。

研究の概観

1. 核物理の研究

原子力平和利用の R & D における核物理の役割には、開発に必要な核データを測定するという直接的な寄与のほかに、それらの測定を支える原子核物理の基礎を固めるという間接的な側面があるが、ここでは誌面の都合上核データ、その中でも主体である核断面積の研究に重点を置いて概観を試みる。

この分野で最も早く研究を開始したのは東海村の原研である。核物理に関係のある設備としては、まず、湯沸し型原子炉 JRR-1 と 2 MV のバンデグラフ加速器が設置され、その後、重水減速の研究用原子炉 JRR-2 および JRR-3、電子線型加速器、5.5 MV のバンデグラフ加速器等が加えられた。3つの原子炉には、パイロオキシレータ、クリスタルモノクロメータ等が付設され、熱中子あるいは低速中子の吸収断面積の測定等が行われた。中速領域(数 eV から約 100 keV の間)の中性子断面積の研究は、線型加速器を中性子発生源として用い、ウランを初めとし多くの核種について、全断面積、捕獲、散乱の部分断面積等の測定が行われている。バンデグラフ加速器による高速炉の開発に必要な高速中子の散乱断面積の研究においては、高性能の中性子飛行時間測定装置が開発され、広い領域の核種について多くの有用な結果が得られている。原子炉内の中性子スペクトルの解析に用いられるしきい反応断面積の研究が、原研計測グループと京大炉の研究者

の協力で2 MV バンデグラフ加速器を用いて行われている。これらのほか、未知断面積の計算を行い、また測定の結果を解析し、核データに関する系統的理解を深めるための核物理の理論的研究が意図的に行われている。

ややおくれて、京大炉が熊取に設立された。ここでは軽水減速の研究炉と電子用の線型加速器を中心として研究が行われている。核分裂中性子のスペクトル、あるいはそれに近い中性子スペクトルについての平均断面積値は、核データの評価上一つの有効な資料であるが、すでに20種を超える反応について測定が行われている。米国の Rensselaer Polytechnic Institute の Block 教授を迎え、東工大の研究者の協力を得て行われた鉄フィルタ法による 24 keV の中性子反応断面積の測定は、バックグラウンドの少ない定点測定であり、これも核データ評価の有力な資料となるもので、すでに多くの重要反応について測定が行われている。これらのほか、チョッパーを用いた鉛等の熱中性子断面積の測定、原子炉を用いた核分裂生成物の研究、等が進められている。

これらの2機関に続いて、各地の大学の工学部等において核データを目指した研究が開始された。北から順に、東北大では、4.5 MV のダイナミトロンによる研究を中心として高速中性子の反応断面積、 γ 線発生断面積等の研究が行われている。統計理論による核分裂生成物の質量収率の計算が行われ、その結果は、収率が未測定の Pu の同位体に対してよい予測を与えていたことが最近判明した。

東工大では、京大炉における共同研究のほか、コッククロフト・ウォルトン加速器等により、主に 14 MeV の中性子の捕獲反応に関する研究を理論計算と測定の両面から行なっている。

立教大では、14 MeV の中性子の陽子による散乱断面積の精密な測定が行われた。

名古屋大では、バンデグラフ加速器を用いて、14 MeV 中性子を含む高速中性子による放射化核種のうち短寿命のものについて、放射化断面積の研究を行なっている。

九州大では、14 MeV 中性子による放射化核種のうち長寿命の核種について放射化断面積の研究を行い、理論的な説明を試みている。

ここに記した大学における研究には、核融合炉のブランケット内の中性子および γ 線の輸送問題、ブランケットにおける元素変換率等の計算に必要な核データの研究が多くなっているが、これは大学の研究が核

分裂炉に関心が薄いということの意味するのではない。

2. 核データの評価

わが国における核データの評価活動の大部分はシグマ委員会の中で行われた。シグマ委員会は、発足の年すなわち1963年は、科学技術庁からの原子力平和利用研究委託金と原研からの補助によって運営されたが、この委託金は1年で打ち切れ、次の年からは全部原研の研究経費によって賄われて現在に至っている。[学会の「シグマ」研究専門委員会(1965年度からは「シグマ」特別専門委員会)の委員は同時に原研のシグマ研究委員会の委員であるという一体の関係で両委員会が運営されている。シグマ委員会の活動は原則として2年ごとに「会誌」に報告されている]。ここでは誌面の都合で、高速炉の核計算に必要な核データの評価を中心として概観を試みよう。

最初の約4年は、未知の反応断面積を核物理の理論により計算する方法の研究にあてられた。光学模型という考え方によって描写される原子核反応の過程を計算する電算機コード ELIESE を初めとし、複合核から核子が蒸発する過程、中性子の捕獲反応、核分裂反応等の計算のコードが作成された。

次の約4~6年、すなわち1967年から1971~73年にかけては、上記の核物理の理論的手法と反応断面積の測定の経験の蓄積とをもとにして、高速炉のR&Dに重要な核データの評価が行われた。その主な内容は、①Al, Fe, Cu の (n, α) , (n, p) , あるいは $(n, 2n)$ 反応断面積の評価、②Cの全断面積の評価、③Cr, Fe, Ni, Mo の高速中性子捕獲断面積の評価、④ ^{238}U の中性子非弾性散乱断面積の評価、⑤U, Pu の核分裂断面積を初めとする各種の核データの評価、⑥Ta, Ni, Fe, Cr, Na, O の弾性および非弾性散乱断面積等の調査、⑦核分裂生成物の核データ(高速炉用)の評価、等である。

続いて、これらの評価の結果を土台として、評価済核データ・ライブラリ作成の作業が開始された。データ・ライブラリにおいては、原子炉の核計算で対象となる全核種について、核データが0~15 MeV の全域にわたって一貫して揃っていなければならない。さらにこれに加えて、全エネルギー点において部分断面積の総和が全断面積に一致していなければならない。これらの要請を満たすための評価の作業は原研の核データ研究室(現：核データ・センター)員で構成された JENDL-1 編集グループによって行われた。データ・ライブラリは改良、充実を積み重ねて完全なものへと近づいて行かねばならない。第2版 JENDL-2 作成の作

業は目下進行中であり、近く終了の予定である。

シグマ委員会ではこれまでに記した事項のほかに、標準断面積の評価、熱中性子散乱法則の評価、熱中性子散乱に関する文献目録の作成、核燃料計量核データの調査収集、核分裂生成物の崩壊熱を計算するために必要な核データの収集と評価、群定数を作成するための計算コードの整備と群定数の作成——具体的には、高速炉核計算用、熱中性子炉および高速炉用の2種類の核分裂生成物群定数、遮蔽計算用群定数の作成——等が取り上げられ、そのあるものはすでに完了し、あるものは現在継続中あるいは進行中である。それらについての詳細は委員会の2年ごとの報告を参照されたい。

回顧と希望

ほとんどゼロの状態から出発した核物理・核データの分野はこの20年間に着実な発展を遂げた。評価済核データ・ライブラリ JENDL-1 の完成には2つの意義があった。その1つは高速増殖炉の開発を自主的に行うための基礎の1つが固められたことである。もう1つは、この事業が本学会の主導の下に原研、大学、産業界の研究者の長年にわたる協力の結果として成し遂げられたことである。中でも産業界の研究者が評価の仕事の中で果たした貢献が大きかったことは特筆されるべきであろう。

しかしながら、データの測定という面を見るならば、われわれのこれまでの成果は豊富であったというわけにはゆかない。JENDL の作成が可能であったのは、評価の対象として必要なデータを国際協力によって自由に入手することができたからである。核データの国際協力は「能力に応じて貢献し、必要に応じて配布を受ける」という原則で運営されており、JENDL はその恩恵に支えられて誕生したのである。わが国が経済的に強力になった今日、核データ測定の面におけるわれわれの貢献がわが国の能力にふさわしいものであるか、という諸外国の無言の批判が背中につきささるようになり、厳しく感じられる。

核物理・核データの分野では、核分裂炉の範囲の中に限っても、アクチニドの核データ、核分裂生成物崩壊熱に関する核データ、原子炉内におけるγ線による発熱に関する核データなど、今後も努力を続けなければならない問題が残っている。核融合炉開発のための核データはこれからが正念場であり、また医療を初めとする多くの放射線利用の分野からは、原子炉の開発

におけるとは別の種類の核データの信頼できる値の供給が求められている。

核物理・核データの分野は開発の中で地味で、縁の下の力持ちの役割であるが、開発の基礎を担う自覚と他の分野からの励ましとによって、今後もその役割を押し進めてゆかねばならない。

(元東北大・百田光雄)

炉 物 理

過去20年間の炉物理研究を網羅することは、膨大な研究成果と限られた誌面からまず出来ない相談だが、幸いなことに最初の10年間の研究については「本誌」11〔2〕に、またその時の執筆資料が『炉物理連絡会会報』第6～9号に掲載されている。したがって、ここでは主として後半の10年について研究の動向を概観する。

まず、炉物理研究活動に特有な、研究者間の横の研究連絡組織である各種専門研究委員会は、それぞれの研究分野が孤立し始めた傾向もあり、10年前当時よりはかなり数が減っている。現在存続している炉物理関連の専門委員会には、「シグマ」、「炉物理」、「炉中性子工学」専門委員会がある。1968年に発足した「炉物理連絡会」は、先の「炉中性子工学」研究専門委員会と共に、特に大学間の研究交流の場として活動を続けている。また、この連絡会が若い研究者のために企画する「炉物理夏の学校」も、昨年ですでに10回の開催を数えた。大型研究施設の共同利用に対する要望は大学間で特に強く、現在各所で原子炉の共同利用が行われている。まず1961年には原研原子炉(JRR-2, -3, -4)、続いて1965年に京大原子炉(KUR 後に KUCA)、1971年に東北大金材研付属施設(JMTR)、1972年に東大「弥生炉」、1974年、76年には立大炉および武工大炉がそれぞれ利用を開始して来た。このうち炉物理関連の共同研究は、施設の利用目的に従って京大炉と東大炉に集中している。

研究発表の場としては、通常の「春の年会」、「秋の分科会」とは別に、1973年6月には「高速炉物理に関するトピカル・ミーティング」が、同年10月には東京でIAEA「高速炉物理国際会議」が開催された。トピカル・ミーティングは、学会の新規行事として、テーマを絞って十分討論を行うように企画されたが、平板的なものに終わった感がある。このような行事は、従来海外か

らのトピックスに刺激されて研究を伸ばして来たわれわれの研究態度を改めたいと再企画されるべきであろう。

近年、国家プロジェクトによる動力炉開発が活発化し、研究活動もそれによって潤うことが多くなって来ている。しかし開発すべき炉型および開発機関が絞られたことにもよって、現在徐々に炉物理研究者の層が薄くなってきていることは否定できない。

研究活動の概観

1. 炉定数

満足な核データもない時代、MUFT, GAM等の海外の炉定数ライブラリを収集、検討することから始まったわが国の炉定数作成・評価作業は、つい最近に至るまで、「シグマ」委員会の炉定数グループが中核となって作業を先導してきた。このグループは、1967年に英国核データ・ライブラリ('63)よりMUFT型炉定数、1970年には熱中性子炉用F.P.炉定数を作成したが、これらはあまり有効には使われなかった。時を同じくして、原研、メーカーでは熱中性子炉での共鳴吸収の問題などが盛んに研究され、共鳴積分の実測値と計算値との比較から、核データへ種々の要求が出された。高速炉用炉定数は、シグマ委員会の作業から派生して各機関で個別に作成されたが、このことが以後のわが国における炉定数の混乱を生む要因となった。この時期には、軽中重核の弾性除去断面積平均化の問題、非分離領域での共鳴パラメータ発生法、共鳴間の干渉効果などが、原研を中心としてメーカー、大学で精力的に研究された。作成した高速炉用炉定数の評価は、ベンチマーク積分実験、モックアップ実験の解析を通して原研、メーカーで進められた。積分実験データを使って断面積を調整する方法は、主に原研で研究が行われたが、その採否については、核データ、炉物理家間で議論が沸騰した。この問題は、現在でもまだ十分に議論し尽くされたとは思われてはいない。

わが国では、熱中性子炉、高速炉を通じて、標準化した核データ・ライブラリを一貫して炉定数作成に使用することをあえて行わなかったため、研究成果間の有機的なつながりができずにきた。現在高速炉系では、ようやく同一の炉定数を使う兆しが見えてきた。遅きに失しはするが、われわれの過去の研究成果を整理し、後世に役立てるためにも、今からでも熱中性子炉系についても、統一した炉定数を作成し使用すること、また高速炉、熱中性子炉、遮蔽に共通した群構造と

炉定数を作成することなどが必要ではないだろうか。

2. 臨界実験と解析

10年前に働いていた熱中性子炉系の臨界実験装置は、現在すでに半数近くが解体されている。メーカー間で一時は争って設置した装置も、今は1体しか存在していない。現在使用している臨界実験装置では、熱中性子炉系にはSHE, TCA, JMTRC(以上原研), NCA (NAIG), DCA(動燃)があり、高速炉系にはFCA(原研)がある。また、1974年8月に臨界になったKUCA(京大炉)は3炉心を持つ複数架台方式で、熱中性子から中速中性子系までの実験をねらっている。

核データと解析法が対になった、いわゆる data & method が主流となっている今日、精度の高い測定の地道な積重ねが必要となる。現在までに、臨界実験装置を用いて数多くの実験が行われているが、測定法の開発と実測値の公開という点では、主として原研の研究に依る所が大きい。例えば、「本誌」16[3]および19[6]に解説されているように、反応度測定法については、空間依存性などを取り込むことに多大の努力が払われ、-35\$程度までを5%以内の精度で測定することが可能になった。また軽水格子系では、濃縮度の異なる多様のUO₂格子およびPuO₂-UO₂格子を用いて、反応度、出力分布などの測定値が多数求められた。高速炉系ではFCAにおいて、U系およびPu系のベンチマーク炉心を用いて諸積分量の測定が行われ、密度係数法、セクター法などの測定法の開発がなされた。

一方実験解析については、問題を突き詰めるような詳細な解析が少ない。実測値と計算値の不一致を解明する研究では、一般に計算家の怠慢が目立つ。解析結果など研究成果の設計への反映は、昔軽水炉において失敗に終わったが、これは技術導入の際のわが国の後進性を示すもので、炉物理家だけが非難されるべき筋合のものではない。だが、この件では、研究者間で何か打つ手はなかったのだろうかという反省もある。

国家プロジェクトとして建設された「常陽」、「ふげん」においては、モックアップ実験から原子炉設計、建設、運転に至るまでの作業が、自国内で初めて一貫して行われた。両者共に成功裡に終わっているので、炉物理家の寄与は評価されるべきであろう。しかし、国家プロジェクトといえども、英国の臨界装置でフル・モックアップ実験が行われた「もんじゅ」の例のように、自国内ですべてが行われるというものではない。一時は大きな話題となった高速臨界集合体における中心反応度値の、実測値と計算値との不一致の問題は、断面積、遅発中性子などの核データの精度向上と

測定法の改良から解決を見た。この例が示すように、炉物理上の問題の解決には、測定法と解析法の両輪を改良して行くことが必要である。今後は上述の研究環境と兼ね合わせて、これらを大局的な見地からどう進めて行くかを考えねばなるまい。

3. 熱中性子散乱

熱中性子散乱の理論は、1960年ごろには非常に美しい形で定式化されているが、個々の物質への適用の面で大変興味ある分野であり、測定と解析的研究が熱心に進められた。わが国では主にシグマ委員会の場で理論計算やコード開発が行われ、1975年過ぎに終了した。“終了した”ということとは、世界の趨勢でもあったのであり、米国でも組織された研究者グループの知識のタンクを保存しなくても良いのか、という議論があったと聞いている。わが国では測定研究がほとんど皆無のまま、炉物理研究者の関心からそれて行ったのであり、割り切れない心残りを感ずる。現在、北大のライナック・パルス冷中性子源での研究のほか京大の高中性子束炉計画、高エネルギー研の大強度パルス中性子源計画が進められている。これらは、主に物性、分子物理の研究を指向したものであるが、原子炉材の散乱法則の問題も決して終わっている訳ではなく、この方面の研究にも役立たせて欲しいと願っている。

4. 中性子スペクトル

炉中性子スペクトルの測定・解析研究は、大学、原研において大変活発に行われており、「本誌」19[2]に「総説」が載せられている。炉中性子スペクトルは有用な情報量なのだろうかという疑問がかなり以前から持たれている。計算と測定がなかなか合わないだけでなく、エネルギー領域によっては測定値相互間にも10~20%くらいの差が残されているからである。測定法の改善のために、国際的にも標準的中性子場の確立、反応率測定の相互比較が採り上げられており、わが国でも京大炉重水設備、「弥生炉」等がその候補として研究された。

一方、京大炉・京大ではライナックによる TOF 法で、 ThO_2 , Fe, Al, Ti, Li, Zr 等の一連のピル中の中性子スペクトル測定が行われた。この測定は大変価値の高いものである。ただ、計算はピーク下の 200 keV 以下で、ほとんどいつも測定値よりも著しく低い結果になっており、刺激的な問題を提示している。

最近、大学で 14 MeV 中性子を使って、Li 等の体系からの漏洩スペクトルの測定と精密な解析が行われており、輸送理論計算の方法、群定数の作成方法等の面で著しい進展を見せている。

こうして、もう一度初めの問題を振り返ってみる

と、炉中性子スペクトル研究は、前述の「総説」でも述べられているように、この研究の波及効果が広く炉物理・炉工学の基礎を固めるのに役立っていることは確かである。ただ、いま一步定量的な知見という点で不満がある。今後の課題としては、測定法の改善と共に、スペクトル・データを生かすためには、計算手法、群定数作成、感度解析などの理論研究が必要であろう。また測定については、例えば可燃毒物の入った格子系熱中性子スペクトル、高速炉系で遠方において強い中性子束勾配を伴って熱中性子化して行く過程のスペクトル、等は実用上非常に有用であり、多くの分野が開かれている。

5. 計算法、数値解析、計算コード

発電用炉心設計のための大型拡散コードは、ちょうど10年前には完全に外国依存型であった。この10年来の特徴は、炉の国産化、研究・開発の自主化が地についてきたことであり、ソフトウェアについてもすべての領域において、計算の大型化、精密化と共に、計算法の開発が大学、原研、メーカーで進められてきた。特に、大型拡散計算を精度を落とさずにより速くという研究が、この数年来盛んに発表されている。炉計算コードの進歩と現状については「本誌」17[6]に「特集」として良くまとめられている。

一方、計算機とその付属設備の最近の進歩は、ここで改めていうまでもなく目覚ましいものである。man-to-machine 対話などは、ちょうどプロのバイオリニストが楽器から自分の意志を引き出すように、まことに楽しいものであり、ともすれば無味乾燥なソフトの分野にも人間と技術の交流が生まれてきているのだと思う。

1970年の「炉物理・炉工学分科会」のさい、“炉物理研究の将来”と題するパネル討論会が開かれた。当時、米国において炉物理研究者の大幅削減が行われたことの危機感と、大学における炉物理研究の伸び悩み、軽水炉導入に伴って高速炉以外の分野での研究の将来展望の暗さ、等がこのパネルのモチーフであった。

それから8年経過した。われわれが気付くのは、第1に、大学での炉物理研究の著しい充実であるが、これは原子力学科に優秀な学生が集まり、学科が定着してきたためと考える。第2は、原研において炉物理研究者が激減していることである。原研はいつも基礎研究の面で最大の貢献をしてきたのであり、この事態は非常に憂慮すべきものである。第3は、メーカーにおいて外国依存から脱け出て炉物理の意義が見直されてい

ることである。メーカーでは炉物理自体の研究は少ないが、炉物理の基盤の重要性の認識はかつてないくらい高まっている。

この10年の歴史を眺めて見た時、8年前の危惧を超えて、地についた良い研究が陸続として出てきていることに改めて驚く。その意味で、研究活動は将来に対しても期待できるものと思う。ただ、そのためにも原研の充実を改めて強く望みたい。

(動燃・大竹 巖, NAIG・飯島俊吾)

核 設 計

核設計のための研究開発は、①設計余裕低減のための設計精度の向上、②炉心性能向上のための新方式の提案、の2つに大別され、日本においても過去20年間、この両面における努力が続けられてきた。しかし、その成果を振り返ってみると、それは必ずしも常にバランスの取れた形で遂行されたとはいいがたく、この間の事情はかつて本学会炉物理連絡会会報「炉物理の研究」誌上において、次のような指摘を受けた通りである。「不幸にして日本の原子力研究は与えられたものを消化するという形でスタートしたために、炉物理研究者も与えられた体系に対して核特性をいかに正確に計算するかという精度の点にウエイトがありすぎたように思えてならない。ドップラー係数の計算精度の向上も結構だが、たまには(中略)ドップラー係数をもっと大きくするにはどうすればよいかという新しい提案くらいはほしい。しかし形状、個数密度等がすべて与えられているという境界条件の中で仕事をしていると、どうしても精度の方へばかり眼が向き勝ちである。逆にこの点をたたき過ぎると、非常にスマートではあるが現実からは遊離し過ぎたお遊びを始めて、その実用化への努力を忘れてしまう。」

20年間の後半になって、日本の核設計者もようやく上記②の炉心性能向上のための新方式の提案に関して見るべき成果を出すようになった。「常陽」、「ふげん」の成功に果たした核設計者の役割は言うに及ばず、軽水炉に対しても日本において新しい改良案が出され、現実の問題として議論されるようになってきている。かつて重点的に取り組んだ設計精度の向上に対する努力と相まって、日本の核設計研究もようやくバランスがとれてきたといってよいのではなかろうか。

設計精度向上をめざして

核設計およびそれと不可分な核物理、炉物理の分野における研究開発の成果は次の4つに大別される。

- (1) 核定数の整備
- (2) 設計計算手法の開発
- (3) 実験技術の確実と実験データによる検証
- (4) 炉心運用計画の立案

(1)の核定数の整備に関してはシグマ研究委員会が決定的な役割を演じてきており、その中の幾つかの成果(高速炉用炉定数、核分裂生成物炉定数等)は「日本原子力学会賞」受賞の榮に輝いている。核定数整備の仕事に誠に幅広く、また絶えざる保守改良が必要であるという点で核物理屋から核設計屋に至る広い層の協力が不可欠であるが、このような研究協力が成功した貴重な例の一つであろう。ただ、核設計側からの積極的なフィードバックという点で一部十分でない面があったことをわれわれは深く反省している。炉の運転データが豊富に得られるようになって、臨界実験の段階では不明であった問題点が顕在化してきており、核定数整備に対する新たなニーズが高まっている現在、一層の協力関係の上に立った活動が期待される。

(2)の設計計算手法の開発に関して主流を占めてきたのは輸送・拡散問題である。核設計の立場から電子計算機の容量、速度の点でネックになるのは輸送・拡散問題であり、計算時間の短縮と計算精度の向上という矛盾する2つの要素といかに調和するかが大きな課題であった。「学会賞」受賞論文を眺めてみても第1回のInvariant Imbedding法から始まって拡散方程式の解法に関するもの2件、衝突確率法に関するもの1件が挙げられるが、前者の研究の背後には加速法、合成法等の多くの研究成果があり、また後者は日本における伝統的な成果を伝承するものである。比較的最近ではこの分野への有限要素法の適用も活発になっている。計算機の性能向上は日進月歩であり、これに対応して、より詳細な3次元核熱コードあるいは時間依存多次元コードの開発が要求されてくるであろうが、一般にこのような超大型コードの開発は、国内専門家の力をより結集して進めて行く体制が望まれる。

(3)の実験技術の確立と実験データによる検証も核設計を全面的に支えてきた分野である。初期に建設された幾つかの軽水炉臨界集合体では、いずれも実験と計算とのつき合せが系統的に実施され、設計手法の精度把握に寄与した。DCA, FCAはそれぞれ「ふげん」、「常

陽」の炉心特性に関する設計値とその設計余裕を決めるのに基本的な役割を演じたし、「もんじゅ」の設計に対しては Mozart 計画が大きく貢献した。これらはずべて炉物理実験・理論の分野における研究の蓄積が核設計と有効に結び付いたものであるが、今後さらに高出力状態での各種データが得られるにつれて、炉物理と核設計に共通の新たな問題が多く提供されることになる。

最後の(4)炉心運用計画の立案は、日本における研究開発が比較的先行し、しかも実機への適用においても有効性を示した分野である。より広く最適化技術を中心とした分野と考えるとき、「学会賞」に関しても論文賞1件のほか、かなりの数の「奨励賞」を受賞しているのが特徴的である。核設計とは核熱・燃焼計算を通じて関係するが、ここでは何よりも計算の高速性が要求され、先に述べた拡散コードを例にとっても、時間短縮に対するニーズはいまだ強いものがある。このために計算精度は犠牲になり勝ちであり、この欠点をできるだけ取り除くためには、炉心からの実測データを学習制御的にフィードバックさせて行くことも必要になる。さらにもっと広範囲な原子炉運転管理システムへと発展して行けば、各種システム技術はもちろん、データバンク、man-machine interaction 等の先行的な計算機技術が要求されることとなる。

新しい核設計をめざして

わが国における核設計のルーツといえば国産1号炉の別名を持つ JRR-3 の設計である。重水減速天然ウラン金属燃料を使った実験炉で、もちろんわが国に先例はなく、また本格的な電子計算機もない時代に電動計算機を使って設計されたものであるが、設計通り順調に運転が続けられている。これに先立って外国からの導入ベースで建設されていた JRR-2 は、その原設計が必ずしも十分でなく、高濃縮ウラン燃料を採用する等、日本の研究者の手で設計変更がなされた。またこの時期国内では相次いで自己技術で実験炉を作ることになり、例えば HTR では実験炉として初めて酸化ウランペレット棒状燃料が採用された。

ここで忘れてならないのは、わが国独自の着想で始められた平均質炉のプロジェクトのことである。燃料経済の向上と再処理の単純化という、誠に今日的な目標をかかげて1958年から数年間にわたり検討され、臨界集合体の建設にまで進んだが、最終的に炉として実現するには至らなかったのは誠に残念である。

このころから商用炉として軽水炉を導入する動きが活発になり、その研究、試験用として JPDR が輸入されたが、この炉の出力を2倍にして燃料照射場として利用するためのプロジェクトが進められ、現在軽水炉の主流になっている細径の燃料棒を世界で初めて採用する等、軽水炉炉心設計の基礎が築かれた。

このように原子力の研究開発の初期から、核設計の分野においても常に性能向上を求めて独自の成果が出されてきたが、それが必ずしも系統的な積み上げでなかったこともあって、やがて次々に導入される軽水型商用炉においては、制御棒パターンの決定等運転方法に独自性を出しつつも、基本的には米国で設計された炉心そのまま採用する時代がしばらく続くこととなる。しかしこの間蓄積された運転経験を背景に、やがて主体的な炉心改良の動きが具体化し、例えば福島4号機炉心ではバーナブルポイズンに関する改良設計が採用されている。1976年にはプラント利用率向上と炉心運用単純化をねらった改良型 BWR 炉心が提案され、現在燃料集合体の Lead Test Assembly の照射試験を実施する安全審査が終了した段階にある。同様の目的に対して異なったアイデアに基づく炉心も提案され、現在軽水炉標準化の動きの中で日本独自の軽水炉炉心設計の方向が模索されている。

核設計の研究開発の分野で1978年は画期的な年であったといえる。わが国の総力を結集して開発を進めている高速実験炉「常陽」が完成し、新型転換炉の原型炉「ふげん」が11月13日には定格出力に達した。いずれも核設計に着手してから炉となって実を結ぶまでに実に20年近くの歳月を必要としており、その息の長さをあらためて思い知らされる。核設計の立場からその歴史を振り返ってみると、「ふげん」については何よりもプルトニウム燃料の使用が特筆すべきことといえる。これが炉心特性の向上、核燃料サイクル面からの位置付けの観点からの自然な帰結であったとしても、軽水炉においてさえ経験の乏しいプルトニウム利用の先行的実施は、自己技術に対する信頼の上に立った大きな決断であった。「ふげん」に引き続き、新型転換炉の実証炉の設計も1975年から着手されており、日本独自の炉の実用化が期待されている。

「常陽」に対しても数々のアイデアが盛り込まれているが、ここでは特に各界の設計取りまとめ者、設計担当者、研究者間の協力が目覚ましかった。モックアップ実験を中心とした炉心特性に関する研究開発の成果はこの協力関係の賜であり、これに関して「学会賞」2件が贈られている。一方高速原型炉「もんじゅ」について

ては毎年設計が積み上げられており、いよいよ1979年より本格的な建設に着手する予定であるが、実証炉以後の炉心については倍增時間をさらに短縮するニーズも強く、増殖比をより大きくする新しいアイデアが待望されているといえる。

以上、精度向上、性能向上の両面から核設計の歴史を概観してきた。この2つは相互に絡み合い、絶えず新しいものを付け加えながら、らせん状に発展して行くものである。そして何よりも、同じ専門の者、異なる専門の者の間の種々の協力関係がますます重要になってきていることを最後にもう一度強調しておきたい。

(日立・松岡謙一、竹田練三)

(付記 松岡謙一氏は12月25日急逝されたので、本稿は同氏の遺稿となっていました。謹しんでご冥福を祈ります。)

核 融 合

わが国の核融合研究の出発は、日本原子力学会の発足とはほぼ一致している。学会誌の最初の論文は、阪大工学部の直線ピンチの実験報告である。この実験は、名大工学部のトーラス実験、東大理学部のテーダ・ピンチのアイデアなどとともに、わが国の核融合研究の草分けとなっているものである。

ところが、学会発足数年後、核融合研究はプラズマの不安定性に悩まされ、苦難の道を歩むことになる。学会発足と同時期に開催された1958年の「第2回ジュネーブ会議」で華々しく展示された核融合装置は、装置のスケールアップによって核融合条件の実現に進むことができるとの考えによって建設されたものであったが、すべて不安定性のために挫折してしまった。

その反省として、不安定性を支配するプラズマの物理学の研究を構築し直し、核融合研究のベースを補強する必要性が広く認識されるようになった。わが国ではこれに応じて、1961年名大にプラズマ研究所が付置され、共同利用(研究)の研究所として、わが国の研究の中核としての役割を果たすこととなった。

このような情勢を反映して、学会発表も1963年頃より極端に減少し、反対に日本物理学会での発表が増加した。この期間には、核融合の学会発表は同じようにプラズマを扱うMHD発電の分科に寄生していた。学

会誌としては、「解説」、「講演」、「資料」などの形で会員の核融合への関心をつなぐ努力を続けていた。

その後世界的には、1965年頃より不安定性の強弱についての見分けがつくようになり、核融合への展望が開けてきた。さらに1969年には、ソ連のトカマクT-3での数100万°Cのプラズマの閉じ込めが、ソ連と英国との共同計測により確認され、核融合炉の炉心条件を目指す研究開発が強化されるようになった。一方このような機運を受けて、世界的に核融合炉に関心が集まり、炉の設計、ニュートロニックスの研究などが始まった。そして1969年には、英国原子力学会(BNES)が主催して、核融合炉設計に関する世界最初の国際会議がカラム研究所で開かれた。

わが国では、1969年から核融合の特定総合研究の6年計画が始められ、核融合を明確な目標とする目的研究が原研を中心として組織された。これとともに、本学会での核融合の活動が再び活発になり、核分裂炉関係の専門家が核融合の研究をするようになってきている。また、学会に「核融合炉調査」研究専門委員会(1971年10月~1975年9月)、「核融合炉」研究専門委員会(1975年10月~現在)が設けられ、炉物理、トリチウム、材料などの多くの原子力分野と関係のある「核融合炉工学」を本学会の中に定着させるための活動が続いている。

わが国の核融合研究の概観

わが国の核融合研究は、物理的研究を主眼とした第1期、核融合炉指向への過渡期となった第2期を経て、核融合炉目的研究の第3期を迎えている。

1. 第1期(ほぼ1956年~1967年)

わが国で最初に制御核融合に興味を持ったのは、物理学、電気工学、溶接工学、原子力工学の学者であって、1956年頃から研究が始まった。一方、原子力の一種として核融合に大きな関心を持っていた原子力委員会は、1958年核融合専門部会を設け、研究の推進方策を諮問した。これが契機となって核融合研究の現状認識と展望について研究者の間で大論争がまき起こった。相当規模の実験装置を建設して組織的な研究を始めるべきであるとする主張(B計画)と、まず基礎的な研究を行なって研究実績を積み重ね、人材を養成すべきであるとする主張(A計画)とが鋭く対立し、研究者を2分する形となって、一時膠着状態となった。最終的には、湯川、菊池、伏見、嵯峨根らの調整により、まず、プラズマ研究所を設立し、核融合制御の原理となるプラ

ズマの体系的な研究から着手することとなった。これによって、プラズマ基礎研究から漸次核融合目的の研究に向かうという基本路線が定まった。この論争は、多くの専門分野の混成部隊とならざるを得ない核融合研究者の間の相互理解を深める効果があって、その後の研究の推進に役立った。

この期間の多くの研究をバランスよく要約することは困難であるが、例示的に主なものを次に列記する。

- ・アルフエン波(東北大)
- ・磁場とプラズマ流の相互作用(原研)
- ・プラズマベータトロンによる高速大電子流の生成(東大)
- ・マイクロ波圧によるプラズマ加速(東大)
- ・ヘリカル不安定性(東大)
- ・テーパピンチプラズマの端安定化(日大)
- ・真空ギャップスイッチ(東工大)
- ・プラズマの計測と加熱(理研)
- ・トーラス放電(電試)
- ・振動の少ないトーラスプラズマ(名大)
- ・イオンサイクロトロン共鳴加熱(名大プラ研)
- ・プラズマの非可逆膨脹(名大プラ研)
- ・回転不安定性, ハリス不安定性(名大プラ研)
- ・電子サイクロトロン共鳴加熱(名大プラ研)
- ・プラズマの負吸収による電子サイクロトロン周波数, 同高周波の異常輻射(名大プラ研・京大)
- ・共鳴プローブ(名大プラ研など)
- ・ヘリオトロン(京大)
- ・円錐型プラズマ銃とプラズマ加熱(阪大)
- ・高エネルギー粒子入射方式のミラー(阪大)
- ・8字型ステラレータ(大阪市大)

これらの研究は、プラズマ核融合の研究に必要な基礎技術、プラズマ物理に関するものであり、世界的に認められたものもある。しかしながら一方では、世界の核融合を目指す研究への寄与がほとんどなかったという批判もあった。いずれにしろ、この期の目的としていた「プラズマ核融合研究の基盤造り」には十分成功したと考えられる。これはその後のわが国の研究が順調に進展したことが裏付けている。

2. 第2期(1968年～1974年)

上述のように、海外では1965年頃から不安定性の強弱についての見通しがついてきたこと、トーラスプラズマで初めて“安定な”プラズマを得たこと(大河トーラス)などから、核融合への展望がひらけてきた。わが国でも、核融合の基礎固めができてきたので、その基盤の上に核融合を目指した一歩を踏み出すこととなった。これが第2期である。

この期の目標は、端的に言って、数100万°Cのプラズマ閉じ込め特性を明確にすることであった。それには、ある規模の装置が必要であるので、「核融合を明確に意識した総合研究装置的プロジェクト」が必要であるとの考えが打ち出されていた(日本学術会議核融合特別委員会)。このような考えを受けて原子力委員会は、1968年核融合を特定総合研究として推進することを決定し、その基本計画を定めた。

また、大学では、1972年度から3年間の特定研究「核融合」が実施され、名大プラ研では、1971年度から3ヵ年計画が進められた。これらによって、大学関係の研究は一層強化され活発になった。

この期の主な成果は次の通りである。原研ではJFT-2, JFT-2aの成果が注目される。アスペクト比の小さい(太い)トーラスプラズマを閉じ込めるトカマク装置JFT-2では、電子温度700万°Cのプラズマでエネルギー閉じ込め時間約20 msを得た。これは、わが国で初めて大型の100万°C台のプラズマを生成し、閉じ込めたものであった。さらに、トカマク型の比例則を低アスペクト比まで拡張した点で意義があった。

軸対称ダイバータ付きの非円形断面トカマク装置JFT-2aは1974年に完成し、世界唯一のダイバータ付き装置として注目された。この装置はその後、ダイバータ効果、不純物の振舞いの解明などにユニークな研究成果を挙げて高く評価されている。

理研は、これらの研究の計測(分光、マイクロ波など)につき協力し、特定総合研究の実を挙げた。同じ特定総合研究のなかで、電総研では、円形および非円形断面のスクリーピンチ装置のTPE-1とTPE-1aが建設された。大電流の発生・制御技術が開発され、それによってイオン温度約50万°Cのプラズマが得られた。

名大プラ研では、小型のステラレータ装置JIPP-T・Iにおいて、当時新しい拡散機構として問題になっていた対流セルの存在を測定するなど、トーラスプラズマの拡散に関して優れた研究を行なった。また、阪大、広島大との3者の共同研究として行われたレーザーとプラズマの相互作用の研究では、強力なレーザー光が非線形効果により異常吸収されることを実験および理論の両面より明らかにし、世界的に注目される成果を挙げた。

阪大では、200 J, 2ビームのレーザーをターゲットに当て、数倍の爆縮をわが国で初めて実証した。

京大のヘリオトロンD装置では、磁気リミター磁場配位のなかにプラズマが閉じ込められることを確認す

る成果を得た。

これらのほかに、大学関係では、トラスプラズマの閉じ込めと加熱、高ベータプラズマ、イオン加熱、イオン波動現象、レーザーによる核融合、計測、計算機シミュレーションの研究が行われ、それぞれに成果を得ているが、ここでは割愛する。

以上は、プラズマに関する研究である。この期で重要なことは、プラズマ物理に加えて炉設計、炉工学、炉心工学の研究が始まったことである。プラズマの研究も最終的には核融合炉を目指しているので、炉への関心は古くからあった。古くは、電気学会核融合専門委員会において、わが国で初めて核融合炉についての総合的な報告がされている(同学会技術報告第72号:核融合における技術一現状と問題点一,同専門委員会編,1966年3月,p.10~15)。さらに、1971年および1973年には、日本原子力学会誌の「特集」として、核融合炉が取り上げられている(核融合炉の概念と問題点:「本誌」13,275~295,1971;核融合炉技術の現状と展望:「本誌」15,712~758,1973)。

具体的には、ほぼ炉心条件にあるプラズマ(reactor grade plasma)を閉じ込めるトカマク装置である「臨界プラズマ試験装置」の設計が1973年頃から原研で始められた。また、同所ではほぼ同時期に核融合炉ブランケットのニュートロニクス実験、トカマク炉の設計研究が始められた。

3. 第3期(1975年~現在)

この期に入ってわが国の核融合研究は、従来のプラズマ物理に加えて、核融合炉炉心工学から核融合炉工学に及ぶ幅広い展開を始めるとともに、研究の質も一層高いものとなり、世界の核融合研究の第一線に伍するようになった。

原子力委員会は1975年核融合研究開発を、前期よりさらに積極的に推進するため、特別研究開発計画(いわゆる国のプロジェクト)に指定し、その基本計画を定めた。また、研究開発の実質的かつ技術的総合調整を図り、国として一貫した研究開発を行うため、核融合会議を設けた。また、日本学術審議会には、特定研究領域推進分科会核融合部会が設けられ、大学関係の研究の総合的審議が行われている。

研究の進展に応じて、研究センターの設置などの制度的補強が行われ、研究費も相当増額されてきている。このように研究規模が拡大するとともに、物理・工学という学問と、それを支え進歩させる技術の両面の重要性が認識されてきている。大型装置を建設している組織において、物理から技術にわたる広い知識が

必要なことは当然であるが、一方大学においても、学問的研究とともに、技術の開発への関心が高まり、その成果が見られるようになった。また、装置の製作にかかわる民間企業でも相当のプラズマ物理の知識を備えるようになってきている。わが国のこのような傾向は、核融合という未知の大規模な科学技術に取り組むためには肝要なことである。この点でも、わが国の核融合は順調に成長していると判断される。

最近の主要な成果は次の通りである。まず、JFT-2aにおいて、 $q=1.3$ という q 値*の低い安定な放電のできることを示されたことである。 q 値は、トカマク型閉じ込めの効率に関係する重要な要素であるが、この結果を核融合炉でも実現できれば、従来の $q=2.5$ 程度の炉に比べれば効率で約1桁の向上となる。

ミラー磁場での閉じ込めは、ほぼ理想的な性能に達している。しかし、これだけでは炉心条件として不十分であり、端損失を抑制することが不可欠である。最近、名大プラ研のRFC-XX装置、筑波大のGamma-6装置において、高周波およびタンデムミラー**を使うことにより、この抑制の可能なことを示す有望なデータが得られた。ミラー炉の立場では、このデータを炉条件までスケールアップする際の比例則が次の研究課題である。

以上のほか、JIPP-T-II装置(名大プラ研)におけるプラズマの位置制御、低域混成共鳴加熱、レーザーによる爆縮、JT-60装置(原研)に関する技術開発、レーザーによる高純度プラズマの生成、高出力レーザーの開発などの成果がある。また、炉工学では、リチウムセラミックス(Li₂O)のブランケット物質としての有用性証明のための一連の実験およびブランケットのニュートロニクス実験は、世界的に優れたものである。

準備中のものとしては、JT-60、ヘリオトロンE、大出力レーザー爆縮実験、超電導コイル技術開発があり、炉工学では、材料、トリチウム、トリチウムの生物影響などの研究開発がある。これらについては、近い将来に優れた成果を期待したい。特に原研のJT-60装置は、核融合炉心の条件に近い臨界条件**の実現を目標とする装置であって、TFTR(米国)、JET(EC)、T-

* q はトカマク放電の安定係数。

** ミラー磁場の両端に別のミラーを置き静電ポテンシャルを利用して閉じ込める方式。

** 臨界条件とは、D、Tプラズマの核融合反応出力がプラズマの損失と釣り合う条件をいう。JT-60では、この条件の温度、密度、閉じ込め時間を水素プラズマで実現する計画である。これらの条件はそれぞれ5~10 keV、(2~10) × 10¹³ cm⁻³、0.2~1sである。

10M(ソ連)とともに世界の研究の先端を行くものである。同装置は特に、磁場閉じ込めの最大の課題である不純物制御研究のための設計上の工夫がこらされており、その稼動が期待されている。

今後の展望

わが国の核融合研究は、質・量ともに大きく発展し、世界の第一線に伍している。したがって、一昔前のように、海外と国内の展望を別々に議論することは、困難になってきた。以下は、わが国の展望であるとともに世界の展望でもある。

まず、炉心についていえば、トカマク型において最近の PLT 装置(米国)の実験により、炉心条件到達への最後の大きな障害と考えられていた捕獲粒子不安定性は、それほど激しくはないと判明した。さらに上述の JFT-2a 装置の低 q 放電により、閉じ込め効率向上の見通しが開けてきた。また、臨界条件を狙う JT-60 装置などが建設されているので、トカマク型で炉心条件に到達できる可能性は極めて高い。

オープン系では、上述の日本の成果により着実な進展があったが、炉への見通しを得るには TMX 装置、MFX 装置(ともに米国)という2段階のスケールアップの結果が必要である。

慣性閉じ込めでは、米国、日本などの成果により着実な進歩が見られる。今後は、Shiva 装置(米国)、激光4号(日本)などの実験結果を踏まえ、さらに大型の Nova 装置(米国)、激光12号、電子ビーム爆縮などにより、臨界条件に到達することが予想されている。

ステラレータ型では、建設中のヘリオトロンE装置の結果が、その後の展開を左右するであろう。また、高ベータ型で今後大きな進展は予想しにくいであろう。

このような展望を単純化すると、トカマク型、慣性閉じ込め、ミラー型の順で炉心条件に近づいている。そして、今後数年の間に炉心各方式の優劣が明白になり、方式の取捨選択が行われるであろう。

核融合炉工学では、その重要性が最近強く認識されてきたが、研究そのものは初期段階にある。炉心の場合と違って、炉工学はまったく未経験のものを創造するのではなく、原子力工学、電気工学などですでに開発され、あるいは実用化されているものの延長である。この際大切なことは、必要な分野の知識、技術、人材を核融合に移入することである。この意味で本学会の核融合に果すべき役割は重大であるといえよう。

次に、国際協力について述べる。核融合炉の実用までには相当の長期間を要し、その開発規模も巨大である。このために国際協力により、開発リスクと経費負担を軽減することが考えられるのは当然である。最近の IAEA での次期大型トカマク炉の国際共同試設計、国際エネルギー機関(IEA)での各種協力協定、日米での協力計画の検討などのいろいろの動きから見られるように、国際協力は今後ますます活発になるであろう。さらに進んで、国際的に共同して装置を建設し、研究を行うような国際共同事業も行われるであろう。

国際協力は、今後核融合開発推進の際の重要な要素になると考えられる。国際協力を活用しつつ、日本の自主技術を開発するよう研究開発計画を推進しなければならない。

最後に、以上の記述はなるべく客観的になるように努めたが、やはり、著者の個人的色彩の強いものになってしまった。特に、成果として取り上げた部分では、より優れた成果を見落していることをおそれている。これは著者の不勉強によるものであり、関係者のご寛容をお願いするものである。(原研・森 茂)

放射線物理

放射線物理研究の拠点は本学会よりはむしろ物理学会や応用物理学会にある。ところが、原子力研究の成果の中には、放射線物理の進歩に支えられているものが多く、一方放射線物理の発達も原子力の進歩に刺激されることが少なくない。したがって、原子力研究における放射線物理分野の歩みとは、つまり原子力と放射線物理との交わりの歴史ということになる。

放射線物理は放射線と物質との相互作用をその研究対象とするが、原子力との接点の一つとして、炉材料の照射損傷理論の確立が重要である。その発達の第1期は、わが国の原子力研究の開始時にはすでに終わっていて、照射損傷量の評価の手法等主要な事項は一応確立していた。第2期は、1960年前後に始まる計算機シミュレーションの導入で、その草分けの一つに原研で行われたユニークな研究がある。ところがそれに続く諸外国での計算機シミュレーションには、当時われわれには想像もつかなかったほどの計算時間が費やされている。第3期は、高速炉、核融合炉計画の進展に伴

うもので、14 MeV 中性子による照射損傷量の評価の精密化が試みられている。放射線物理の側からみるとわが国はこの第3期にも遅れをとったようである。

新しい型の放射線計測器の開発に、放射線物理が一役買うのが普通である。1960年頃の半導体検出器の開発時には、原研グループが活躍した。計測器材料のW値およびFano因子等の理論的・実験的研究は、放射線物理上基本的に重要な問題である。種々の気体・流体のW値を測定しようとする地味な努力が、立教大・理研グループ等によってなされてきた。熱発光線量計の開発の初期には、基礎的研究が幾つかなされたが、開発には遅れをとったようである。中性子線を熱発光で測定しようという試みもあり、原研グループが顕著な貢献をしている。また、原子爆弾被爆地帯の瓦の熱発光を利用した線量評価の研究が、京大グループ等によってなされたことは有名である。熱発光は年代測定にも利用されているが、最近電子磁気共鳴を利用した年代測定が山口大グループによって開発された。

放射線物理と原子力のもう一つの重要な交点は、保健物理の分野にある。1960年代の後半にマイクロ・ドジメトリという言葉が流行した。放射線作用を評価するのに、線量すなわち物質に付与されたエネルギーの総量だけでなく、エネルギー付与の形態を具現する別のパラメータを導入しようとするものである。わが国の原子衝突や放射線物理の研究者は、この問題に大きい関心を示し、重要な貢献をしてきた。マイクロ・ドジメトリの問題は根本的には未解決で、今後も興味の対象となる。

放射線物理のこの20年間の話題の一つに、1963年のチャネリング効果の発見がある。これは結晶軸方向にイオン・ビームが通過しやすいという現象である。チャネリング効果の応用の一つとして、励起原子核の 10^{-17} s程度の寿命測定法の開発があるが、これには原研・東大教養グループの貢献が大きい。チャネリングの発見を契機として、イオン・ビームと原子力との関係が深くなってきた。第1にイオン・ビームの材料表面層分析への利用法が確立してきたこと、第2に核融合炉壁材料とイオン・ビームとの相互作用の研究が、核融合炉開発上重要であると予想されるからである。チャネリング現象の研究はわが国で比較的早く始まったが、それ以外のイオン・ビーム分析法の確立には遅れをとっている。チャネリング効果を用いた表面構造の研究等今後に残された問題が多く、その開発が期待される。

原子力の側から放射線物理に望まれることは、原子

衝突に関するデータの集積とそれを利用者に使いやすい形に呈示できるようにすることである。IAEAを中心とした国際的な動きもあるが、わが国ではいち早く名大プラ研で軽元素間の低エネルギー原子衝突について、理論的裏付けを考慮した詳細なデータ・コンパイルレーションがなされてきた。重元素についての同様な試みは、今後に残されている。この場合には量子力学に基づく理論的裏付けは期待できず、半古典的理論と実験データとの比較検討が先行するであろう。

原子力の諸分野で放射線物理が必要となるのは、その分野の進歩の途中においてである。20年間を顧みると、わが国の原子力研究においては外国の放射線物理に対する依存度が強かったように思われる。原子力研究の健全な発展のためには、基礎と応用の緊密な連けが必要であろう。この意味でわが国において放射線物理が原子力の発展に十分機能したとはいえない。今後原子力各分野の問題点を放射線物理研究者がいち早く察知できるよう、両者の協力態勢を整えることが望まれる。

(名大・伊藤憲昭)

計測・制御

計測、制御の中で特に原子炉計装、動特性、制御、運転の分野の研究開発は、原子炉の種類および規模の変遷と密接な関係をもって進歩発展してきた。すなわち過去20年を振り返ると、第1期はJRR-1が臨界になった1957年から数年間で、民間でも研究炉を持つようになった研究炉指向時代であり、放射線検出器、電子回路、データ処理装置が原子炉に適用される型で発展し、クリーンコードの動特性実験なども大いに進んだ。技術的には半導体検出器、電子装置の半導体化もこの時期に開発された。第2期は、JPDRが運転開始された1963年ごろから数年間で動力炉指向時代といえる。この間に急激に進歩した他分野の技術も導入され原子炉計装・制御関係も著しい質的变化をみた。すなわち、原子炉計装は炉内計装に移り、それに伴って小型核分裂電離箱が開発され、中間出力系として検出器出力のゆらぎを利用したキャンベル法などが採用されるようになった。またオンライン計算機の導入によって性能計算が可能になり、動力炉の最適運転ができるようになった。動特性モデルも、計算機の発達によってアナログ方式からデジタル方式にかわり、大型でしかも詳

細な計算が可能になった。なお、動燃事業団の発足もこの時期であり、Na冷却高速炉特有の計測、制御の開発も大いに進んだ。

第3期は、1966年東海1号の運開に引き続いて敦賀1号、美浜1号、福島1号などの商用炉が相次いで運転開始された1970年ごろより現在までの間で、動力炉の信頼性および稼働率の向上を指向した時期と考えてよからう。炉計装の計算機化、診断、大型計算機による管理、超音波などを利用した検査技術、計測の遠隔化、自動化などの研究開発が進んだ。また、計算機の発達によって動特性計算コードもより詳細化された。計測の分野においても、個々の計測器によるデータのほかに相互の相関をとったり、総合的なデータ処理によって個々の計測で得られない情報を得るといった、システム的な技術が発達した。制御方式の面では、炉心の中性子束分布の局所的なひずみを避けるため、再循環流量制御(BWR)、ケミカルシム(PWR)といった方式も工夫された。

以上のことは、本学会の研究専門委員会の変遷をみても、よくその傾向を表わしており、学会活動がわが国の研究開発を先導し大きな役割を果たしてきたことを物語るものである。

研究専門委員会	期間(年/月)
1. 「炉雑音解析」(研究)専門委員会	63/6~67/3
2. 「原子炉動特性測定解析」 //	67/4~69/3
3. 「原子炉動特性」 //	69/4~71/3
4. 「原子炉システム最適化技術」 //	69/4~71/3
5. 「原子炉計測」 //	69/4~73/3
6. 「原子力システム技術」 //	71/4~73/3
7. 「原子炉プラント動特性制御」 //	71/4~73/3
8. 「原子炉診断技術」 //	73/4~77/3
9. 「炉計測システム」 //	73/4~77/3
10. 「意志決定法の原子力工学への適用技術」 //	75/4~79/3
11. 「高速増殖炉」 //	68/10~74/9

上記の第1期には学会の専門委員会活動はまだ定着していなかったが、1~5までは第2期で、主に動力炉を目指した個々の技術に関する委員会である。6以降が第3期で、やはり診断を含めたシステム的アプローチが顕著である。11は高速炉全体に関するものであるが、一部計測制御の分野も取り上げられており、特に高速炉特有の安全に関する計測が重点的に議論された。

今後この分野の大きな問題は、負荷追従の達成および大型計算機による原子力発電所の管理技術の開発で

あり、さらに核融合炉などへの技術移転もそろそろ考えねばならない時期であろう。

なお、本章ではわが国の学会発表、専門委員会などの活動を中心にして原子炉の計測制御におけるあゆみを総合的に記述した。

放射線計測

放射線計測は炉物理、保健物理、遮蔽などの分野にも関連しているが、ここでは炉工学的な見地から見た検出器およびその周辺について述べる。中性子検出器についてはJRR-3で炉外中性子検出器が初めて国産化された。また、炉内中性子検出器は1965年ごろから開発に着手し、現在ではわが国BWR発電所のほとんどに装荷され実用化に成功している。中性子検出器の進歩としてはFBR開発に歩調を合わせ、600°Cに耐える核分裂計数管およびCICの完成および550°Cの炉内中性子検出器の完成が報告されている。さらにHTGRでの利用のため検出器の一層の高温化が進められている。また、検出器改良の方向としてワイドレンジモニタ用の検出器の開発、長寿命型インコアモニタの実用化、自己出力型検出器の開発等が挙げられる。一方、 γ 線や β 線の検出器としてはNaIシンチレータやGM計数管等が従来より広範囲に使われているが、LiドリフトGe検出器が1965年以降実用化され、その後高純度Ge検出器も実用化されて高分解能スペクトロメータとしての使用は日常のものとなった。最近ではさらに、常温で使用可能な、高効率なCdTe, HgI₂, GaAs検出器の開発に努力が注がれている。また、個人被曝検出器として、従来からポケットチェンバ、ガラス線量計等が用いられてきたが、最近ではTLDが広く使用されるようになった。放射線計測電子回路の分野では、半導体技術の発達に伴う小型電子計算機の発達は目覚ましく、データ処理技術の急速な進歩が挙げられる。例えば、波高分析器については、当初真空管式256チャンネル波高分析器が代表的なものであったが、昨今では計算機付多チャンネル波高分析器が開発され、広く実用化される運びとなっている。

また、放射線モニタも小型化、モジュール化されたものが各プラントに設備されるようになり、計算機、データ処理システム等と接続する例が増加している。これに伴ってCAMAC, IEEE-488規格等に見られるインターフェイスやデジタル母線標準化の動きも活発になった。

一方、発電所における放射線管理は、最近ALARA

(as low as reasonably achievable)の考え方が導入され、オンラインでの極低レベルの放射線計測が要求されるようになり、計測方式、データ処理方式の改良開発が行われている。具体例として排気筒排気ガスの放射能監視システム、保健物理用各種放射線モニタ、環境放射線モニタシステム等の開発が挙げられる。また、原子力発電所の放射線計測作業の自動化、省力化のためのシステム開発も進められており、自動核種分析システム、プラント放射線管理の自動化システム等が実用化されるようになっている。

原子炉動特性

JRR-1に始まる研究炉からガス炉、軽水炉、高速炉、ATR、高温ガス炉等、すべての原子炉について動特性解析の研究が実施されてきた。動特性モデルは熱工学的パラメータの実験的改良の積重ね、あるいは手法の進歩に助けられ、より厳密化してきている。また、計算の道具も極く初期にはアナログ計算機が使用されたが、まもなくデジタル計算機が使用され始め、1970年ごろからはハイブリッド計算機も威力を発揮し始めた。

原子炉の安定性を確かめるために、パイルオシレータ法による原子炉伝達関数の実測が多くの研究炉や実証炉、最近では「常陽」等で実施されて、動力炉特性の基礎が築かれた。パイルオシレータによる原子炉動特性の基礎実験の結果の一つとして空間依存性が観測され、空間依存動特性の解明が1960年代初期から始まり、モード展開法、ノード展開法等の手法に引き続いて、最近では応答関数法による空間動特性解析が行われた。またシンセシス法、有限要素法による2次元空間動特性解析へと発展してきている。Xe空間動特性の理論的研究はより古くから行われてきており、最近美浜3号機でのXe振動制御の実施例が報告されている。

わが国の動力炉は1963年の動力試験炉JPDR、1965年の東海1号機の臨界に始まり、1963年以降商業用軽水炉が続々と建設されてきているが、商業炉の動特性実機試験の例としては、福島1号機について過渡応答試験と解析を行なったものがある。今後、この種の過渡応答試験による結果と計算結果の比較により、動力炉動特性モデルも実証的裏付けのある地について行われて行くであろう。実機のデータは雑音成分を含んだものが一般的であり、雑音成分を含んだシステムの研究もここ10年活発になってきており、カルマンフ

ィルタ法等によるパラメータ同定、A-R法による動特性研究も最近の特徴である。

また、Na冷却高速炉プラントの動特性解析の一環として、Na加熱貫流ボイラの動特性、安定性解析コードの開発が実施された。これらのコードによる解析結果は、動燃事業団その他の大型試験装置による実験データにより検討され、その妥当性が確認されている。

原子炉制御

初期の古典的制御技術の段階では、研究用原子炉において制御棒駆動装置、出力自動制御系、制御リレー回路などの開発が行われた。計算機制御の原子炉への応用としては、起動前および停止時点検を含めた運転自動化の研究が1965年初期に完成した。商業炉の運転自動化はいまだに実施されていないが、最近ではNaループ全自動化システムが開発された。その後電子計算機の発達と共に動力炉の運転監視にこれを利用することが盛んとなった。さらに電子計算機の周辺機器も急速に発達し、原子力発電所の中央制御室には最近の計算機応用技術の進歩が大幅に取り入れられ、プラントの監視制御にCRTディスプレイシステムが活用されている。原子力発電所の業務は、運転監視、制御、データ管理を初め保安、補修等と多岐にわたり、かつこれらに伴う情報量は単機容量の増大と共に飛躍的に増加しているため、プロセス計算機が導入された。

また、制御棒駆動制御系、安全保護系等の制御回路の信頼性向上策として、最近の半導体技術の進歩を利用し、従来の電磁式補助リレーから成る制御回路の半導体化が実施されている。

BWRの場合、炉の出力は炉心流量または制御棒によって制御されるが、熱的制限条件を満足するように制御する必要がある。どのような運転制御をしたら各制限の範囲内で希望する出力に到達できるかを任意の時点で予測できる炉心運転監視システムが最近開発され、すでにオンラインテストに成功している。今後、軽水炉の基数が増大するにつれ、原子力発電所についても夜間に出力を下げる必要が生じ、大幅負荷追従研究も活発になろう。

最適制御の理論が原子炉制御に取り入れられたのは1965年前後であり、Xe毒作用に対する最適炉停止法、原子炉の出力変更最短時間制御、中性子束分布の最適化、燃焼度の最適化等の研究が行われた。中性子束分布および燃焼度の問題は相互に関連もあり、パラメー

タの数も多く、初期の基礎的段階を経て軽水炉または新型炉への適用を目指して燃焼制御計画、燃料交換計画等精力的研究が進められ、実機に適用するところまでできている。このほかにも最適理論の適用される範囲は広く、上記以外にここ10年間でも、未臨界度または反応度推定、放射線監視系最適化、最適炉心設計、最適遮蔽、原子力発電所を含む電力系統の最適運用、さらには原子力発電需要に対し核燃料資源の有効利用の面から最適な炉型式の選定を行うという、動力炉設置運用計画まで広範囲に及びそれぞれの成果が上がってきている。今後これらの成果およびさらに発展して行く研究開発が実際面で活用されるような努力が望まれる。

原子炉計装および運転

過去20年間において原子炉計装に大きな変革をもたらしたものは、次の3点である。

第1は、電子回路の半導体化である。1962年ごろから学会にもその成果が発表され、1965年ごろには動力炉への導入も考えられるようになった。これによって計装が小型になり、機能および信頼性が大きく向上した。

第2は、炉内計装への移行である。研究用原子炉では検出器を炉心外に配置して1点近似のデータで炉を運転していたが、動力炉が導入された1965年ごろから検出器を炉心に配置する炉内計装が検討され、東海1号のガス炉ではボールの照射により、JPDRではワイヤー照射により炉心の中性子束分布が測定された。さらに軽水型商用炉では中性子検出器を多数炉心内に配置した本格的な炉内計装が採用され、特にBWRでは走向型中性子検出器を用い、中間出力領域ではキャンベル法が開発されて、次に述べるオンライン計算機の導入と相まって炉内の性能計算が可能になり、最適運転の機能が著しく向上した。1968年より始まった「高速増殖炉」専門委員会では、比較的熱的条件も厳しいNa冷却高速炉において、中性子検出器のほかに熱電対や流量計も炉内に配置することを考え、炉心の安全性を主眼として大いに議論された。特に重水炉では、自己出力型検出器による中性子束分布の測定に関する研究が精力的に行われ、これは他の型式の炉にも適用されつつある。

また、ハルデンプロジェクトで開発された計装燃料は、JPDRにも装着され、運転制御はもちろんのこと炉の設計、安全性、信頼性の向上にも大きく貢献した。

第3は、オンライン計算機の導入である。原子炉と電子計算機は歴史的にみると非常に密接な関係がある。共に1940年ごろにその技術が急速に成長し、炉計装も計算機も1960年ごろから半導体化が始まった。早くから計算機を最もよく利用したのも原子力の分野であろう。複雑かつ膨大な技術計算を要する原子炉の開発は、計算機なくしては考えられないといっても過言ではない。

オンライン計算機の原子炉計装への利用は、1955年ごろのフランスや英国のガス炉で、燃料破損の検出や位置決めのためにデータロガーとして使ったのがその始まりと考えられる。その後、1963年ごろには米国その他で炉心性能計算のために、本格的なオンライン計算機が商用炉に設置されたが、わが国では1965年ごろより、研究炉を用いて計算機による直接制御や最適制御の研究が行われ、引き続いて軽水型動力炉を対象とした性能計算のシミュレーション実験が始まり、商用炉が運開し出した1970年ごろには、その成果が学会にも発表されるようになった。以後、この分野は急速に発展し、炉計装の計算機化も進み、1972年ごろには制御盤をCRTディスプレイにおきかえたものが学会に発表された。さらに、最近ではオペレータガイダンス、診断、予測などの機能を備えるようになり、実用化されるようになった。運転員の誤動作を防止し、運転員の意志決定が安全に実行されるために、マン・マシン・コミュニケーションシステムがその基本的考え方の中に取り入れられている。また、計算機の構成については、従来のハイラーキシステムよりもマイクロコンピュータなどを用いてモジュール化した分散システムが多く採用され、機能と信頼性がより向上した。「常陽」や「ふげん」にもオンライン計算機が設置されており、データ処理その他に利用されている。

なお、最近、原子力発電所運転の効率向上、運転員の被曝低減を目的として、パトロール点検の無人化のための移動式点検装置の開発や、配管その他の非破壊検査のための超音波による自動検査装置の開発が盛んになってきた。

原子炉診断技術

原子炉の診断技術は、動特性理論から導出される反応度平衡および炉雑音解析などを基盤として1971年ごろより取り上げられ、原子炉の稼働率向上の点で重要視され、本学会でも1973年よりこれに関する研究専門委員会が設置された。

初期のころはアナログ式のデータ処理が主体であったが、電子計算機の発達と共に例えば高速フーリエ変換の手法も取り入れられ、最近では小型電子計算機によるデータ処理技術が広く活用されるようになった。また、研究開発の対象も研究炉における技術取得を基盤として JPDR 動力試験炉等で経験を積み商業炉への応用開発が活発になってきている。

最初は、異常状態を検知するモニタとして利用されたが、さらに、その原因を判定するために異種の信号の相関をとる方法やA-R法などが開発され、さらに幾つかの異常判定技術も提案され、それに関連してソフトウェアの開発にも優れた成果が挙げられている。

また、軽水炉では、原子炉プラントに発生する異常の兆候を炉雑音とか音響から検知する雑音解析による原子炉診断システム、あるいはルース・パーツモニタなども有力な手段として開発されている。

高速炉の分野では、現在までは、炉外ループによる温度、音響、流量等の雑音信号を用いた異常検知の基礎実験が主体であった。1978年4月に「常陽」が臨界に達して低出力時の雑音解析が成功裡に実施されたが、今後、高出力時における種々の異常診断実験の実施およびその成果が期待される。

(日立・山田周治, NAIG・野村 孜)

伝 熱 ・ 流 動

始 動 期

原子力発電の技術は結局、核エネルギーをいかに効率よく熱エネルギーに変えて利用するかということに帰する。以下に述べる伝熱・流動関係の大きな成果は、わが国の原子力開発のスタート時に、優秀な熱関係研究者が多数集まったことがその要因の一つといえよう。

原子力でもエネルギーのコストを安価にする必要がある。すなわち、動力炉の単位出力当りのコストを安くするには、熱効率を大、単位出力当りの装荷燃料費を小、燃料体単位表面積当りの熱流束を大にするとともに、バーンアップも上げることが基本的に重要なことになる。そのうちの2つは熱に関するものである。熱効率を大にするという技術の要請は火力発電でも同

様のことで、結局、原子力の問題として新たに加わったのは、それに特有な伝熱・流動の問題であった。

本学会創立のころは、原子炉に対する評価がまだ定まっておらず、実用になりそうな各種の炉型について比較研究が進められていた。伝熱・流動に関しては、各炉型の冷却材ごとに研究開発が進められたものの、小型の常圧ループや単なる液溜め容器などで実験が行われていたに過ぎない。それらの実験は、原子炉メーカーや大学で開始されたほか、原研もメーカーなどに間借りをして実験が進められた。

このような状態の中であって、国産1号炉(JRR-3)の設置を目指して、わが国初の炉心流動モックアップ試験が行われたことは、今後の開発のやり方を示したという点で意義のあることであった。

当時は、初めてのことであり、先進国の研究の追試に近いものがほとんどで、学会誌への研究論文の投稿も少なかったが、少しでも先んずくべく試行錯誤的研究も強力に開始された。これは、あとで大きく花を咲かせる原動力となった。

発 展 期

原研東海研究所が一応整備された1960年ごろから、伝熱・流動の研究は大きく発展し始めた。このころになると、コルダーホール型炉、水冷却炉、水均質炉、平均質炉およびNa冷却高速炉などの開発の構想が一般に定着し、それぞれの開発スケジュールに合った研究開発が進められるようになってきた。

しかし、第2回ジュネーブ会議では、原子力はまだ商業段階ではなく、商業化のためには相当な研究開発を必要とするという意見が大勢を占めていた。わが国はこれを原子力はまだ先のことと誤解し、原子力スローダウンの時期を迎えることになったのである。ところが、原子力先進国は原子力の商業化のための研究開発を強力に進めたのである。しかも、後進国の西独もこれにならった。わが国は、先進国より遅れて出発した上に、その差をさらに広げられて、西独にも追い抜かれる状態となったのは、誠に残念というほかはない。

したがって、研究予算も原子力先進国に比べてかなり少ないものであった。それでも曲がりなりにも予算が毎年つくようになり、戦後初の本格的研究がスタートすることになった。それにより、それぞれの冷却方式について、以下に述べるような研究開発が華々しく進められて行ったのである。

1. ガス冷却

コールドホール型炉の炉心では、比較的太い1本の燃料棒の環状流路をガスが流れる構造になっており、性能のよいフィン付管で伝熱量の増加を図る努力が英国やフランスで進められていたが、さらに改善の余地のあることが認識された。一般に、フィンは流れに平行に付けるのが常識であったが、流れに直角に付けると、流れの乱れが増加して、熱伝達の増加割合が流れの抵抗増加割合より大きくなることがわかった。コールドホール型炉もこのフィンを採用したが、わが国で局所的に高温点が発生するおそれのあることが指摘された。そのため、原電にコールドホール型炉の導入が決まると、燃料棒の安全性の実証も兼ねて炭酸ガス的高圧ループが原研や原子力メーカーなどに設置されて伝熱・流動の研究が進められた。

また、原子炉の出口温度を高温化してプラント熱効率を高める炉型が考えられ、わが国でも原研で平均質ガス冷却炉の概念が出された。ガス冷却方式に比べると、熱効率は良いが熱伝達率は悪いのが欠点なので、熱伝達率を向上させる方法が検討されていた。その一つとして、燃料を濃縮ウランとすることによって炉設計の自由度の増加で燃料体の伝熱面積を増加させる一方、乱流促進体の研究が進められた。しかし、炉として不都合な点があり、高温ガス炉は、これを機に各国ともスローダウンした。しかし、伝熱・流動の立場からは色々な成果を得ることができた。また、高温ガスループによる実験では、高温下の断熱は予想された以上に悪く、断熱構造体内でかなり大きい自然対流が存在することがわかった。

2. 水冷却

1950年代の原子力発電に対する見通しとして国内では、ガス冷却炉が先行するがいずれ軽水炉が主流になるという確信があった。そこで、わが国でも軽水炉の研究開発を進めることになり JPDR も導入された。その軽水炉の伝熱・流動で最も問題となったのは、BWR はもちろん PWR も表面沸騰(伝熱面近傍以外の水はサブクーリング)を許したために生ずる沸騰に伴う伝熱・流動であった。そのために、この方面の研究は極めて盛んになり、学会発表でもこれに関する研究が主流を占めるようになった。

研究内容は、沸騰伝熱機構の基本が問題となったので、それに関するものがまず示された。沸騰熱伝達は伝熱面の過熱度に支配されること、熱伝達率は流束の影響をあまり受けないが、限界熱流束は主流の影響をかなり受けるなど、数多くの成果が得られた。特に、

沸騰気泡が浮力と関係なく伝熱面より飛び出すことがわかったほか、沸騰気泡の急激成長の状況が解明され、さらに沸騰気泡の伝熱面付着部分で乾いているのはほんの小部分で、それ以外はミクロン・オーダーの薄い液膜に覆われ、その液膜部分が沸騰伝熱を極めて良好にしていることも解明されるなど、わが国の沸騰伝熱の研究はにわかに世界の注目を集めるところとなった。そのほか、バーンアウトは伝熱面より発生離脱した蒸気と、伝熱面に向かう対向流の限界として発生することも実証された。また、限界熱流束、特にその実験値のバラツキが大きいことが問題となり、原子炉メーカーや原研で各種条件の装置を用いた共同研究が進められた。特に、試験部をまったく同一寸法にしてそれぞれのループで実験したところ、水温が飽和温度でクォリティ0付近でのバーンアウト熱流束のデータが最もバラツキしており、ループの動特性がそれに大きく影響することが示された。

一方、冷却材流出事故時の状況を適確に知る必要が生じ、原子炉メーカー3社でその実験が進められ、その成果は原産で評価(SAFE プロジェクト)されたが、定性的傾向はよくわかったものの、大型実験装置によるより精度の高い実験の必要性が改めて認識された。その結果、原研に ROSA が設けられることになった。

3. 液体金属冷却

高速炉の冷却は当初 NaK(融点 -11°C)を常温で液体として使用することが考えられ、原子炉メーカーなどでその取扱技術習得用のループが設置された。その後、Na(融点 98°C)冷却に切り替えたものの、当初のNaKの貴重な経験が生かされることになり、原研や動燃では、Naループによる取扱技術習得を主体に実験が進められた。これらは追試的要素が強かったが、来たるべき高速炉の開発の礎となった。

液体金属の伝熱については、当時世界各国で得られていた実験値は、いずれもマルチネリーリヨンの理論値よりも低く、数多くの研究者の関心を集めることになった。日本でもその原因の究明が行われ、結局、液体金属の酸化や汚れ、ガス混入などその主な原因であることがわかった。

また、平均質炉にBiを利用することが考えられ、ガスリフト方式による流動の実験が原研で実施され、それなりの成功を取めた。しかし、炉そのものに問題があり、開発が中止となったのはまことに残念なことであった。

巨大化期

昭和40(1965)年代に入ると、第3回ジュネーブ会議で先進国が原子力商業化に踏み切ったことがわかり、わが国でも大規模な原子炉開発のプロジェクトが設定されるようになり、研究開発も多様化する一方、巨大化の時代を迎えることになった。

1. ガス冷却

以前の高温ガス炉では、黒鉛被覆からのF.P.炉内放出が問題であった。これが1965年代の初めに、被覆粒子の採用により大きく改善されたことから、わが国で再び見直されるようになり、原研では、多目的高温ガス炉の開発が採り上げられた。その伝熱・流動に関する実験装置として、常圧の高温ヘリウムガスループ、高温高圧のヘリウムガスループ、高温高圧の水素ガスループおよびJMTRのインパイルループ OGL-1が設置された。これらのループには Hastelloy X などの使用のほか高温構造に工夫がなされ、OGL-1で1,000°C、40気圧の条件で燃料照射実験が行われて好成績を得た。引き続き原研では、大型構造機器試験ループでの伝熱流動試験を行うべく準備を進めている。

前述した高圧下の断熱問題以外に伝熱・流動で問題となっているのは、層流化現象である。すなわち、加熱による加速によって熱伝達率が低下する現象である。この機構については、いまだにはっきりしない点が多いが、その解明は着々と進んでいる。一方、実際の熱交換器の伝熱面を透過する水素量は、1,000°C、40気圧にもなると膨大な量になるが、原研では、伝熱面にコロライズ処理を行うことにより、その量を1/50程度に下げ、耐久性の点でも西独の水蒸気混入法よりも優れた結果を得ている。

なお、2次系の開発に関し、工業技術院の指導のもとに、原子炉メーカーが大型ループなどを設置し、各種の研究開発が盛んに行われている。

2. 水冷却

JPDR 出力倍増計画での開発試験に、高圧と常圧の大型ループによる伝熱と流動の試験、ATR の開発試験として、世界最大の発熱量14 MW の HTL、大型流動ループ CTL および冷却材流出実験装置などが、それぞれ原研と動燃に設けられて実規模での試験が行われ始めた。特にHTLの試験は、多数本の棒から成る模擬燃料体での信頼性のある実験データを提供し、各国から注目される一方、ATRの設計を確実なものにした。

軽水炉の工学的安全性の主体は伝熱・流動の問題であるが、原研には実規模級の ROSA や再冠水実験装置が設置され、ECCS の効果などに関して米国の成果をしのぐ成果が得られたほか、原子炉メーカーでも大型実験装置が設けられた。これらを用いて得られた燃料体の伝熱関係式は米国でも利用されている。また、反応度事故における爆発的沸騰現象に関して、NSRR での実験により、燃料破損で高温の燃料組片が冷却水中に飛び込む場合に発生することを米国に先がけて見出した。以上のことから、米国、西独、フランス、スウェーデンなどの国際協力での研究で、日本はリーダーシップをとるまでになった。

3. 液体金属冷却

わが国で高速炉の開発が決定されると、原子力先進国の例を踏まえ、2 MW 容量の発熱部を有する Na ループを初め流動関係の大型試験施設が動燃に設置された。これらの成果により、「常陽」の開発は順調に進められた。さらに、「もんじゅ」の開発では、小型試験装置に続いて50 MW 容量の Na 加熱蒸気発生器の試験も、諸外国以上に順調に実施されている。

高速炉の安全性で重要なものの一つに、蒸気発生器の Na-水反応の問題があるが、動燃ではその反応機構から実際の状態までを詳細にかつ幅広く研究し、各国の関心を呼んでいる。また、炉心における Na の突沸現象は反応度事故につながるおそれが大きいので、その機構や防止策について、動燃、原研、大学、原子炉メーカーなどで研究が進められてきた。原研では、Naの溶存ガス飽和量が沸騰時期に大きく関係し、常圧以下の実験でみられる過熱度大の急激な沸騰開始は、常圧以上での沸点の高温化とともに溶存ガス飽和量が水の場合と反対に大きくなるので、急激沸騰は起りにくいことを世界に先がけて示し、この問題も大きな山を越えることになった。

将来の展望

1. ガス冷却

高熱流束下で層流化が発生する現象は、高温ガス炉の性能向上にとって大きな問題であるとともに、乱流、層流の発生問題でもあるので、流体力学上の基本問題でもある。最近はこの問題の解明に対する関心が高く、日本での研究が世界の先鞭をつけているといっても過言ではない。そのことは大変喜ばしいことであるが、研究費の不足などで、他国に追いつかれないようにしたいものである。

2. 水冷却

安全性に関する大規模な試験が進んで大きな成果を挙げているものの、まだ一般性のある伝熱・流動の関係式は見出されていないのが現状である。また、伝熱・流動に基礎をおくわが国の安全解析コードは、残念ながらもまだ米国には及ばない。この解決には、一般性のある伝熱流動関係式を求める研究とともに、数値解析のベテランの参加が必要であろう。

3. 液体金属冷却

Naの沸騰問題については一応の山は越したといってもよいが、実際の燃料体での沸騰問題については、今後の研究に待たねばならないことが多い。また、ガス冷却型炉も考えての高速炉の炉心の溶融に関する伝熱・流動の研究について、わが国は欧米にかなり立遅れているので、反省の必要があろう。

4. 核融合炉の伝熱・流動

超高温プラズマと壁面間の伝熱、ブランケット発熱部の伝熱流動、超伝導磁石の極低温の安定な保持、真空での燃料ガスの給気と排気、慣性閉じ込めの伝熱・流動など、核分裂炉より以上に幅広く高度の問題が山積している。しかしこの解決には、有為の人材がなにより必要で、それには若い優秀な人材が医者、弁護士などに流れている現状をなんとか変えたいものである。

(原研・鳥飼欣一)

構造・機器

構造強度・機器に関する問題は当初日本では原子力工学の問題であるという認識が薄かった。例えば、わが国の大学工学系学科を見渡すと、土木、建築、機械、精密、船舶、航空等には必ず構造機器強度に関する研究室が存在し、多い学科では数講座に及ぶものもある。ところが原子力(核)関係の学科の中でこの問題を講座単位で扱っているのはいまだに東京大学だけといっても過言ではない状態である。しかし最近では、原研、船研、動燃、工学センター等の研究開発機関においても、民間会社においても、構造・機器関係の優れた研究が数多く発表されるようになり、生産される構造・機器は世界でも一流といわれるまでになった。しかしながら国際的に眺めると、2年ごとに1,000人ぐらいが出席して開かれるSMiRT会議(原子力構造力学会議)を初めPVT会議(压力容器工学会議)などの大きな国際

会議では、日本の占める役割はもっと大きくなってしかなるべきで、今のところまだこの方面の人口不足の感がある。

この数年PWRではSG問題、BWRではSCCとノズルクラック問題などで原子力発電所の稼働率が下がり、ようやく解決の兆しが見えてはいるが、原子力における機器の研究の重要性が改めて認識されてきたので、将来は次第に良い方向に向かうと思われる。本稿では、応力解析、構造機器の故障と対策、安全性研究などを中心としてこの方面の概観を述べる。

まず最初に、原子力工学における過去20年間の応力解析を論じる場合に最大のインパクトは、大型電子計算機の出現と有限要素法に代表される離散化手法の発展であろう。もともと有限要素法は1950年代に米国ボーイング社の技師達が大型航空機の構造解析を行うために考案したのが最初であり、原子力分野に応用され始めたのはそれからしばらく経ってからである。したがって、初期の原子炉圧力容器の応力解析は、可能な限り解析的な公式を用い、また構造体を幾つかの要素(球殻、円筒殻など)に分け、その部分で解析解を用いながら力や変形の結合を適当に行なって一応の解を得るという半解析的手法(多体接続法)が設計に適用された。また、このような簡易手法では压力容器ノズル部などの複雑な形状を取り扱うことは不可能であるため、光弾性法なども併用された。また、差分法が用いられたこともあるが、境界条件の処理や応力集中部などでは問題が残った。その後、電子計算機と有限要素法の飛躍的な進歩により、数年前は極めて困難とされていたノズルの詳細な形状変化を3次元的に考慮した応力解析が現在ではルーチン的に行えるようになってきた。特に最近では、3次元でかつ弾塑性の応力解析や、過渡的温度変化に伴う熱応力解析などもかなり高精度に解析できる体制になっている。さらに、原子炉特有の問題である中性子照射による構造体の応力ひずみ挙動やクリープ変形挙動についても解析がなされている。このような構造力学に関する解析のみならず最近の有限要素法の傾向は、温度や中性子の拡散問題などの移動現象をも同時に解いてしまおうという点に特徴がある。また、動的問題への有限要素法の応用例は原子炉および建屋地盤の耐震設計を飛躍的に発展させた。

このように、有限要素法は最近の大型電子計算機の発達とともに今後ますます発達し、原子力工学における各種の構造解析において最も重要な地位を保持し続けるものと思われるが、特に今後の研究開発に待たれる

点としては以下のようなものがある。第1に、電子計算機が発達したといっても複雑な原子炉構造の応力解析を十分な精度で行うには相当な費用と労力を要する。したがって、設計基準の合理化をさらに図ると同時に、応力解析用コンピュータ・コードの面での改良がまだまだ多面的になされる必要がある。第2に、この種のソフトウェアに対する高い価値が与えられると同時に、各人各社が開発したソフトウェアの共同利用が進むべきである。この理由は、ソフトウェアは多くの人が利用するにつれて内容が充実すると考えられるからである。第3に、特に原子炉構造解析において重要となるが、材料の構成方程式として十分吟味されたものを用いることなしには、得られた結果に信頼性が乏しいということである。高速炉開発、高温ガス炉あるいは核融合炉のように高温域や照射下におけるクリープなどが材料の構成方程式に影響を与える場合には、特にそうである。第4に、応力解析における前後処理法(pre- and post-processor)に今後はますます力を入れるべきと思われる。特に、入出力における膨大なデータ量をいかに限られた人手によって処理できるかが、応力解析そのものにも増して重要となろう。

以上、一般的な話となったが、わが国のこの方面のレベルは国際的にひけを取っておらず、今後とも米国とともに世界をリードする立場にいるといっても過言ではない。この理論の一つは、関東と関西を中心としたこの方面の学際的な会合が極めて頻繁に開かれ、情報交換システムがほぼ完璧であることが挙げられよう。

次に、ハード的な面に話題を変えると、戦艦大和を造り得たわが国の設備と技術は、戦後も製鋼、造船、压力容器、重電機、溶接等の技術の発達を促し、大型で高度の技術を要する原子力機器製造には比較的容易に対応できたといえる。原子炉压力容器用の鋼板ならびに鍛鋼器を例にとって、世界最大級のを製造し得る会社は世界の半数以上日本にあるのが実状である。大型の材料を、特に破壊じん性を劣化させることなく製造する研究は製鋼会社と機器製造会社で行われ、機器製造に必要な溶接加工等の研究も進み、今では原子力プラントの圧力バウンダリーを形成する機器や格納容器等は、国内用はもとより輸出用も多く製造され、日本の高い品質が評価されている。

周知のように、軽水炉においては稼働率を上げることが効率の上で最も重要となるが、各種の機器の故障がしばしばその妨げとなるのが現状である。例えば、PWRにおけるSG伝熱管において減肉、アルカリ割れ、デントイングなどが生じ問題となったが、2次系

の水処理と PO_4 処理からAVT(All Volatile Treatment)に変更することで解決された。さらに、材料の変更あるいは加工法の変更などによる対策がとられており、問題解決の日も近いと思われる。

次に、BWRにおいては1次系ステンレス鋼配管の応力腐食割れ(Stress Corrosion Cracking, SCC)が問題となった。原子炉において最初にSCCが問題となったのは、10数年前のドレスデン1号炉の2次系の6インチバイパス系である。その後、間もなく日本でも原研のJPDR压力容器の溶接オーバーレイに、またしばらくして幾つかのステンレス鋼配管にSCCと思われる割れが発見されたが、この当時は特殊なケースとして認識され、多数の商用発電所で起こる全般的の問題に発展するとは思われていなかった。ところが、1974年にドレスデン2号炉に再循環系バイパスライン、またその翌年に炉心スプレイ系のステンレス鋼配管の溶接継手近傍にSCCが発見された。さらに、同種の機器について日米のBWRを検査した結果、幾つかの原子炉でSCCが発見され、その後のBWR稼働率が極端に悪化したことは記憶に新しい。1974年の発見以来、わが国においては官民一体となってステンレス鋼配管機器のSCCの原因究明に努力した結果、ようやく各種の暫定的ならびに抜本的な設計などの変更を施すことによりSCC問題の結着する日も間近いという認識が持たれ始めている。しかし、SCC問題に関してこれまでの経過を思うと、これだけ莫大な発電稼働率低下という犠牲を払う前に、ドレスデン1号炉あるいはJPDRでSCCが発見された時に根本的な原因究明と対策を行っておけばと、今さらながら悔やまれる。なお、1974年のSCC問題以来、発電所および製造メーカーが払った努力の一つ一つは相当評価すべきものがあり、今では逆にその幾つかは逆に米国などへ技術輸出するまでになっている。この意味でも、わが国の原子炉機器製造メーカーの技術力は国際的であると自他ともに評価されている。

さて、原子炉構造機器は原子炉の安全性と極めて密接な関係を有していることは周知の通りである。現在の構造機器の安全性の考え方は破断前漏洩(Leak Before Break, LBB, 破断または破壊に至る以前に冷却系が漏洩し破断または破壊を事前に検知する)が常に成立することであり、原子炉構造機器に関する安全性研究もLBBを立証することに集約される。また、万一の事故の発生時に、その波及効果を最小限にとどめて安全性を確保し、二次的の事故を防止するための研究もなされる。このような観点から、わが国では国家予

算を投資して、人的には国公立および民間を問わず両者の協力によって効率的に構造安全研究を実施するという方針がこの数年貫かれている。これらを類別すると、

- (1) 構成機器の設計基準を確立するための試験研究
- (2) 構成機器の健全性の評価に関する試験研究
- (3) 構成機器の安全性評価に関する試験研究
- (4) 構成機器の検査技術の精度向上のための試験研究
- (5) 構成機器の性能向上のための試験研究

となる。これらの成果は、毎年各研究者が集まって成果報告会において発表されている。また、それぞれの機関から成果報告書が出されて一般にも公けにされている。これらのあるものは国際会議などでも発表され、わが国の研究内容のレベルの高さが評価されているものも少なくない。ただ、ここで問題として指摘しておきたいことは、これらの研究成果の一つ一つが効果的にその後の原子炉構造設計や施工などに反映されているかという点である。また、幾つかの研究成果を立体的にとりまとめて総合的に原子炉の安全性を評価するまでに至っているかという点である。残念ながら、筆者らの感想では否定的な解答しか出せず、この一つの原因は本稿の冒頭でも述べたように、まだこの方面の人口の層が薄いことによる、余裕のなさによるのではないかという気がする。

以上、原子力構造機器の研究に関して述べてきたが、この方面を網羅するにはほど遠く、ただ筆者らの主観から気付いた点を並べたにすぎない。

最後に、この方面の優れた研究者、技術者が今後数多く育って、日本の原子力の発展に寄与されることを望みたい。
(東大・安藤良夫, 矢川元基)

遮 蔽

わが国の遮蔽研究の流れ

わが国の遮蔽研究の流れはおおよそ次の4つの時期に分けられる。

1. 黎明期(1956～1958年)

この時期は国公立機関、大学、民間の遮蔽関係者、同好の士が日本原子力産業会議の原子動力研究会(原動

研)に集まり、海外文献を中心に勉強をしていた時期で、研究面では遮蔽コンクリート施工法や迷路設計法などの実際問題が取り上げられていた。

2. 第1期(1959～1964年)

この時期は造船界が中心となり、かねて強く要望されていた遮蔽研究用原子炉(JRR-4)が原研に設置されることが決定したところより、JRR-4が臨界に達する直前までの期間である。

この時期は、理論的な取扱いが比較的簡単で、実験のための線源入手が容易なγ線を対象に多重層透過、空気散乱、後方散乱およびストリーミングの研究が各機関で積極的に行われた。

1963年秋の本学会「分科会」に初めて遮蔽部門が独立の一部門として設けられ、また1964年6月には「遮蔽」研究専門委員会の設立が認められて活動を開始した。これにより遮蔽がやっと学会の場に市民権を獲得することになる。それまでの遮蔽研究者の情報交換の場は、原動研遮蔽グループと原子力船研究協会(原船協)に設けられた二つの遮蔽グループであった。原船協の遮蔽グループの一つは、JRR-4に設置される遮蔽実験設備の仕様、遮蔽実験テーマや利用態勢等の検討を行うグループで、各機関から研究者、技術者が集まり作業が行われた。他のグループは遮蔽計算コードグループ(SCG)である。SCGは電子計算機を利用した本格的な遮蔽コードを開発・整備しようとする研究者の集団で、委託研究費を利用して各種の遮蔽計算コードが開発され、遮蔽定数表が作成された。

3. 第2期(1965～1974年)

第2期は、原子力第1船の遮蔽モックアップ実験の開始から原子力船「むつ」の放射線漏れ事件までの約10年間である。

第1期の終りごろから遮蔽研究は本格化し、研究体制も徐々に整備され、研究発表の数も増加してきた。1965年秋には、その春臨界に達したJRR-4を利用して、原子力第1船の遮蔽モックアップ実験が、原船団・原研・船舶技研の三者協同研究として実施された。この実験は、わが国における初めての本格的な中性子-γ線遮蔽実験で、多くの遮蔽研究者が参加して理論・実験の両面で多くの貴重な経験を得ることができた。JRR-4の完成により、今まで困難であった中性子遮蔽実験が可能となり、多重層透過やストリーミングに関する基礎実験が引き続き実施された。また、これに関連して測定器の開発が行われた。

第2期の中ごろになると、より高速・大型の電子計算機が利用可能となり、従来不可能と考えられていた多

群計算やモンテカルロ計算が可能となった。このような気運を反映し、SCGを初め各機関でより詳細な1次元、2次元の除去・拡散コードや輸送コードの開発・整備が行われた。また、遮蔽計算に用いられる中性子群定数を統一し標準化する必要性が認識され、一部の機関で作業が開始された。

この時期は、一方で高速炉計画が具体化し、高速炉遮蔽の研究も開始されている。1967年には動燃事業団が発足し、高速炉開発に関するR&Dが一括してここで実施されることになる。1971年には東大の高速中性子源炉「やよい」が臨界に達し、高速炉のための遮蔽実験に利用され始めた。

第2期は、このように種々の遮蔽研究が進められたにもかかわらず、一方では年とともに遮蔽にたずさわる研究者、技術者の減少と一部機関における遮蔽研究予算の削減、民間からの研究成果の発表件数の減少という好ましくない傾向が現われてきた。このような傾向にあるとき1974年9月、出力上昇試験途上にあった原子力船「むつ」の7線エリアモニタが警報を発して放射線漏洩が発見され、以後これが政治・社会問題へと発展して国民の関心を集めることとなる。この事件を契機に遮蔽研究の流れも新しい方向に向かう。

4. 第3期(1975年～現在)

「むつ」の放射線漏洩については、その直後に行われた調査と2次元輸送コードによる解析をもとに運輸省・科技厅合同の「むつ放射線しゃへい」技術検討委員会においてその原因が追求され、中性子に対する遮蔽設計に欠陥があったことが明らかにされた。また、総理府の「むつ」放射線漏洩問題調査委員会においても、技術面からの調査に加えて遮蔽研究の実態、原子力船の開発体制や開発と研究の間に存在する問題などについて幅広い角度から鋭い分析が加えられた。

「むつ」の遮蔽に関しては、改修設計に用いる計算法を確認するための遮蔽モックアップ実験が原船団において立案され、1975年暮から原船団・原研・船舶技研の共同研究として再度JRR-4を用いて実施された。

「むつ」の遮蔽解析には2次元輸送コードが採用され、複雑な遮蔽体系のストリーミング解析に極めて有効な計算手法であることが認識された。「むつ」問題発生以来、各プロジェクトはこの2次元輸送コードを用いて一斉に遮蔽の見直し計算を開始するとともに、2次元輸送コードの整備、改良、計算精度と適用限界把握のためのベンチマーク実験と解析に関する研究が開始された。

また、環境あるいは放射線作業従事者の放射線被曝

を可能な限り低く押えようという国の要求に応じて、空気散乱(スカイシャイン)評価法や輸送容器、加速器などの遮蔽に関する研究も開始された。

第3期は「むつ」問題に触発され、上記のような研究が一斉に開始されるとともに、民間を中心に若手研究者、技術者が漸次増加の傾向を見せ始めた。また第3期は核融合炉開発計画が本格化し、ニュートロニクスの一部として遮蔽に関する理論的、実験的基礎研究が2,3の機関を中心に展開し始めている。

反省と今後の課題

放射線遮蔽は、有害な電離放射線から人体、機器、材料を防護することであり、遮蔽設計の良否はプラントの安全性、経済性、性能を確保する重要な要素である。遮蔽がこの目的を達成できるためには、遮蔽研究の成果が正しくプロジェクトに反映されるとともに、同時にプロジェクト側から遮蔽に対して問題提起がなされなければならない。

原子力を自主開発している国々では、遮蔽設計法の改良と遮蔽研究の促進が相互に密接に結合しながら発展しており、独自の遮蔽設計法と遮蔽理論が生み出されている。

わが国でも多くの発電用原子炉あるいは研究用原子炉が建設されてきたが、そこでの遮蔽設計は建造とともに終り、そこから遮蔽研究への寄与は生れてこなかった。唯一の例外と考えられ、遮蔽研究者の総力を挙げて実施した原子力第1船の遮蔽モックアップ実験も、実験終了とともにプロジェクトの中に埋没し、その後のフォローアップがまったくなされなかった。すなわち、わが国の遮蔽研究はほとんどプロジェクトとは無関係に、学問的な興味によるか、海外からの情報に触発されることにより進められてきたといえるのではなからうか。

これは、プロジェクト側に遮蔽を設計・建設した経験を有する遮蔽工学専門家が極めて少なかったという事実と、わが国の原子力開発が軽水発電炉を中心として導入技術に依存していることも関連するが、遮蔽はすでに確立された技術であるという認識が底流にあり、プロジェクト内における遮蔽設計者の声が十分に汲み取られなかったためではないかと考える。遮蔽研究者の側にも、研究成果を実際問題に適用してみることに必ずしも熱心であったとはいえない一面があったことも事実である。遮蔽研究の必要性が正しく認識されるためには、まず、これらの点を反省してみる必要

があるのではなからうか。

次に重要なことは、系統的な研究努力と研究者間の密接な相互連絡による協力体制をいかに維持するかという問題である。すなわち、ある遮蔽研究課題に対して、遮蔽分野ばかりでなく、必要ならばそれに関連する他の分野(核物理、炉物理、熱・機械工学、材料、建設等の)の研究者・技術者も協力して基礎から応用まで、系統的にかつ徹底した研究が行える態勢を作ることが必要である。研究者は問題の所在を十分に検討し、互いに分担を決めて研究を進め、相互の連絡によってすでに結論を得たもの、早期に解決を要するものなどを分類、把握し、無駄のない研究を進めるようにしなければならない。このような研究体制が正しく機能するためには、これを把握し、組織化し、実行させることのできる責任体制がしかるべき機関におかれる必要がある。

わが国の遮蔽研究における今一つの特徴は、多くの遮蔽研究者・技術者が片手間に遮蔽の研究をしたり、仕事をしており、遮蔽専門家になり切れない事情にあることである。研究者や技術者が一朝一夕に育つものでなく、長期の計画のもとに育成して行かねばならないにもかかわらず、現実はかなり厳しいようである。この問題は、制度上、人事上の問題もあり、簡単に解決できるような性質のものではなさそうであるが、しかし多くの実際の経験を必要とする遮蔽工学の分野では一考を要する問題である。さらに問題は、一般にプロジェクトが遮蔽専門家育成ということに配慮がなく、他からの借りもの人事で間に合わせるという態度に終始してきたことである。これは開発の一つの目的である開発に伴う技術的諸経験を身をもって修得し、かつその技術を次の開発に継承して行くという問題意識を希薄にすることとなる。実際の経験を有する遮蔽専門家の育成にプロジェクトは留意すべきであると考ええる。

人材養成に関して今一つの問題は、大学に遮蔽工学を専門とする講座が置かれていないことである。もちろん研究の自主性という大学の特徴を生かして研究を進めているところもあり、遮蔽に関する講義も積極的に進めている大学もあるが、原子力施設の性能や安全性、経済性を担保する重要な要素である遮蔽工学に関する教育が、放射線安全や保健物理の講義や実験の一部として行われるだけで十分であるかどうか、人材養成機関としての役割を有する大学として検討する必要があると考える。

さて、遮蔽研究の今後の課題であるが、遮蔽設計が

設計者にとって身近なものとなるためには、まず設計目的に応じた設計法の普遍化と標準化が行われなければならない。この普遍化、標準化のためには、設計手法の確認、検証のための理論、実験両面からの基礎研究、基礎データの蓄積と評価および実プラントの設計、建設、運転等の諸経験から得られた各種資料の蓄積と評価が必要である。

第2の課題は漏洩問題である。第5回遮蔽国際会議で英国の Avery が次のようにいっている。すなわち、「原子の火がともされて ¼ 世紀が過ぎ、この間に 1,000 基近い原子炉が建設されたが、これらの原子炉の失敗について細かく調べると、それらの大部分は放射線漏洩の問題である」と。すなわち、現在も将来も放射線漏洩は遮蔽設計上の最も困難な問題であり、多くの研究努力を集中すべき課題である。

第3の課題は、機器の保守・点検時の放射線作業従事者の被曝低減化対策としての遮蔽設計の問題がある。この問題は一つは冷却材中の腐食生成物によるもので、他の一つは中性子漏洩による機器、構造物の放射化による。これらの問題の解決にはプラントの運転経験に基づき資料の蓄積と評価が必要であろう。

第4の課題は、遮蔽設計に対する要求精度と設計計算における誤差評価の問題である。前者はその時点での遮蔽の技術水準、他分野の技術水準あるいは経済性から決められるであろう。後者は線源評価、遮蔽体系のモデル化、計算理論、核定数と遮蔽定数等の諸要因に分割して分析していかねばならないであろう。

第5の課題は、遮蔽実験に関する問題である。最近では電子計算機の発達により研究が計算主導型になっているが、計算手法を検証して問題の物理的イメージを明確にするための実験が積極的に行われる必要がある。特に軽水炉の中性子漏洩、高速炉・核融合炉の遮蔽では、高速中性子、中速中性子が対象となるので、これらの中性子に対する実験が必要であり、そのための線源装置と測定器の開発、実験技術の工夫が要求される。

第6の課題は、核融合炉のニュートロニックスの分野との協調である。それは核融合炉の各コンポーネント中における放射線輸送、放射線損傷、発熱さらにストリーミングの問題は、遮蔽研究者が核分裂炉の遮蔽で苦労してきた問題であるからである。

今後の遮蔽研究の発展が原子力の発展に大きく寄与することを期して筆をおく。

(核物質管理センター(原研)・宮坂駿一)

2. 核燃料・炉材料

核燃料資源

核燃料資源というとき、トリウムの賦存概要の報告など、トリウムに関する報告が皆無ではないが、利用度・原子炉型などにも関連して、探鉱活動はウランに集中している。

日本では2000年までに約40~50万トンの天然ウランを消費するとの試算がある。この量は西側世界の確認資源量の20%、推定追加資源を加えてもその10%となる。さらに2020年ごろまでには約30万トンが必要とされている。現在の世界情勢や日本の資源不足(10年間自給率数%)を考慮すると、前記ウラン量の確保は困難となる。

わが国における含ウラン鉱物の最初の発見は、1894年菊地安による岐阜県苗木で採取・同定されたフェルグソン石であり、戦前戦後を通じてペグマタイトおよびその近傍の漂砂鉱床中に含ウラン・トリウム鉱物が産出するのみで、その他に鉱床はないものと思われていた。

原子力予算成立と共に1954年ウラン探鉱が開始、2ヵ年の予備調査後、1956年地質調査所は「全国的かつ組織的な調査研究(10カ年計画)」を実施、20万km²をカーボンにより調査すると共に全国100ヵ所以上の兆候地を研究し、「花崗岩を基盤とする堆積岩中の層状鉱床が最も期待できる」こと、また全国10地域16,000km²の有望地域の存在を報告した。

一方、1956年設立された原子燃料公社は、地質調査所の概査の後を受けて人形峠地域を初め主要地区の企業精査を行い、人形峠・東濃等で約10,000トンのウラン埋蔵量を把握した。その後1964年からは人形峠で湿式による製錬テストプラントを稼動し、人形峠鉱石による塩化ウラニル・UF₆などの生産を行なっている。

この間、①類例少ない組織的カーボン実施と鉱床の発見、②従来日本に皆無とされた鉱脈型および堆積型ウラン鉱床の存在を確認、③人形石(学名Nyngyoite)を発見・同定。④「PNCプロセス」なる一貫製錬法を確

立、したことが成果として挙げられる。

民間企業による国内探鉱は、鉱山局の助成金で多く実施されたが、積極的とはいえず成果は挙がらなかった。

「国土の狭さ」、「地質年代の若さ」のため多量のウランは期待できないし、環境・鉱害問題から鉱山開発は日本では非常に難しい状況にある。低品位ウランの回収技術開発・鉱害防止などを安全にして資源確保の努力が必要である。このため海外ウラン資源の安定確保の必要が生ずる。国は長期契約・スポット購入・自主開発輸入を3本柱として、1972年原子力委員会は「1958年以降の必要量の1/5を自主開発輸入によってまかなう」と政策を打ち出した。他方、電力各社はオイルショック前、約10数万トンの手当をしていたが、ウラン取引は同ショック後ウランカルテル、ウラン協会等の活動もあって、価格の改定など長期契約に問題が生じると共にスポット購入を含め売り手市場に転じている。この中で海外探鉱努力はニジュール・アクター・プロジェクトは成功し、1978年7月生産に入った。これら民間の活動に対し、金属鉱業事業団は成功払い融資を行い、国際協力事業団・海外経済協力基金、日本輸出入銀行等が国としての援助を実施している。さらに1966年、国自らの探査活動として動燃事業団は1966年海外調査を始め、現在約20プロジェクトを推進している。近来この成果が期待できる段階にきたとはいえ、①自らの取得のみならず世界のウランの安定供給を目指す、②資源国の地域社会への寄与を心がける、③ウラン偏在が強いので的確な探査努力をする、④探鉱技術者を育成する、⑤資源国と日本との、国を初め関連機関の協力体制を確立する、など総合的見地から遺漏のない努力が必要である。

英国などで検討されてきた海水からのウラン抽出も、科技庁予算で四国工業試験所、動燃・専売公社が吸着剤の基礎的研究を進めてきた。

通産省は1976年工業化を指向し実験を続けた結果、動燃は0.1%台の吸着・イェローケーキの回収に成功し、坑内水、製錬廃液など低濃度液からのウラン回収に向って進んでいる。吸着剤の性能向上・リサイクル等の基礎的問題が工学的問題解決に主要な要素と考えら

れる。200カイリ時代に入り海水への挑戦も忘れてはならない。トリウムの必要性については、高温ガス炉等への利用・開発実用化の消長にかかっている。現在の必要量程度の世界の賦存概要は把握されている。日本でも国内外のウラン探鉱で数地区において、0.1%台およびn%台の ThO_2 存在が発見されたが、精査はされていない。

本学会草創期資源関係会員も多く活発であったが1970年ごろから沈滞し、活動はほとんどなくなっている。

資源小国日本として原子力平和利用の輸出をも考慮し、資源確保にも多面的な考慮を必要とするであろう。

(動燃・橋本好一)

酸化物燃料

わが国が原子力平和利用研究開発を始めた1955～56年頃は核燃料の面では、米国では金属あるいは合金燃料から酸化物(UO_2)燃料へと移行する時代であった。初期に用いられていた金属、合金燃料がその燃焼実績から照射性能上問題があることがわかり、一方酸化物燃料は研究が進むにつれて照射安定性に優れ、また高温水に対する反応も小さいところから、1954年にはShippingport PWRの燃料として用いられることになり、翌55年にはそのための天然 UO_2 焼結ペレットが製造され、57年には炉が稼動した。この炉での酸化物燃料の成功がその発展を促し、軽水炉燃料として世界を風靡するに至ったのである。

酸化ウラン(UO_2)燃料

わが国では最初に導入を決めた炉がコールダーホール型であったため、核燃料の生産研究はまず金属ウランの製造から始まったが、米国など先進諸国の動向から大学、原研、民間における基礎的研究は、その初期から酸化物(UO_2)や炭化物(UC)等のいわゆるセラミック燃料についても行われ、さらに一時期ではあったがこのころにはNaについてもその製錬や金属あるいは酸化物の製造研究も若干行われた。

わが国ではそれまでにも、金属酸化物工業に関しては粉末製造や成形加工技術においてもかなりの実績があったから、 UO_2 の取扱いやその製造加工についても

比較的容易に受け入れて研究開発も進めることができたが、その頃の欧米先進諸国と異なり、いきなり核燃料として UO_2 と取り組んだので、燃料としての意義やその特性の認識は十分でなく、このため少ない予算と人数でしかも急いで開発すべき問題としては重複や無駄と思われることもあった。しかし、これは照射試験の経験もなく、海外の文献からその炉内挙動を知るのみの当時としてはやむを得ないし、また研究としては実効性ばかりを狙うことは必ずしもよいとはいえず、むしろあるレベルに到達するまでは必要なことであったといえよう。

酸化物燃料の研究は、まず UO_2 粉末の製造について行われたが、原料としてはUNH, ADU, UF_6 などが用いられ、メーカー各社はそれぞれの工程を開発して品質の揃った焼結性の良い粉末を工業的に得ることに努力し、またこれらの粉末を用いて高密度ペレットを製造する工程が各社のノウハウとして開発された。

このように基礎から始めた成果は、従来の酸化物工業において把握していた技術に重ねて、1959年には早くも住友金属鉱山に UF_6 を UO_2 に転換する250 kg/M規模の施設が設置され、翌60年には三菱金属鉱業に500 kg/Mの UO_2 粉末製造試験施設がつくられるなど短期間にかなり著しい進展があった。またペレットの製造加工についても1959～60年にかけて東芝、日立、三菱原子力工業等で小規模施設が稼動し、1961年には古河電工で1.5トン/M規模の施設が動き始め住友電工も加わり、これらの施設で作られた UO_2 燃料は未臨界実験装置やJPDR等に供給、実用されて国産技術の開発と確立に役立った。

このような生産研究には大量生産技術が品質管理上からもまた経済面からも必要であったが、ほかに核燃料に特有な計量管理と臨界の問題を伴う。各メーカーではこれらの面も含めて順調に展開し、また後にはメーカー間の統合などもあって、現在ではJNF、三菱原子燃料および原子燃料工業の3社で合計年産900トン以上の UO_2 燃料製造加工能力を有しており、ジルカロイ被覆管の加工も含めて、現在の日本での核燃料サイクル関連工業で唯一の自給態勢を確立した部門である。ただ、大量のプルトニウム燃料(MOX燃料)製造を必要とする現在においても、いまだ燃料製造施設における臨界量の問題は海外にコンサルトせざるを得ないことは残念である。

燃料物質としては UO_2 のほか、照射安定性や熱的あるいは機械的性質の改善を狙って $\text{UO}_2\text{-ZrO}_2$ 、 $\text{UO}_2\text{-ThO}_2$ 系などの固溶体型や、 $\text{UO}_2\text{-BeO}$ 、 $\text{UO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系

などの分散型燃料についても一時期若干の研究が行われた。

軽水炉用の酸化物燃料体としては、ジルカロイ被覆の焼結ペレットが主流を占めていたが、製造法としてはほかに hot press, hydraulic pressing, slip cast, extrusion, swaging (vib-swage), vipac, high energy impaction 等のほか、サーメットあるいは分散型燃料として picture frame 法などがあったが、無方針方式というか、なんでもやってみる旺盛な研究心によるのか、短期間、小規模ながらこれら全部についてあちらこちらで試験が行われた。一つにはそのころはまだ照射試験も照射後試験もほとんどできない状態であったから、このような比較的手をつけやすい問題に研究が集中したものであろうが、このあたり一考を要するところであろう。

これらの中で海外情勢からもやや見込みがあると思われたのは swage 法と vipac 法(および両者併用法)であり、1962年ごろからこの2方法、特に後者に関して原子力5グループのほか原燃、原研も参加してなかなかの壮観であった。また、これらの燃料棒製造方式では高密度で径の大きい UO_2 粒子を必要とするので、プラズマ溶射、融解塩電解、sol-gel 法などによる粒子製造もあわせて研究された。vipac 法については、工程がペレット法より簡易で遠隔操作に適するという評価から、1962年に原子力局の肝入りで振動充填研究会が設けられ上記機関が参加した。これから発展して1963年には二酸化ウラン燃料 (pellet および vipac) 共同照射研究会(UO_2 共研)が生まれ、各社でのいたずらな競争を排して共同研究により冗費を省いて効率を上げ、またその成果も広く公開して相互に活用することとなった。局の補助金は1963~65年の3ヵ年に出されたが、実際の照射や照射後試験およびその解析、評価は1965~72年の長期にわたり多くの時間を要した。しかし、これはわが国での黎明期における燃料設計、燃焼挙動の解析、評価手法の確立等の技術開発に役立ち、燃料研究者間の問題把握や相互認識、また各社間の協力体制を整えるという点ではなほだ有用であった。

他に高温ガス炉用燃料としての被覆球状粒子があるが、その製造や性状の研究は現在も進行中である。

UO_2 燃料(粉末および焼結体等)の相状態や熱伝導性等の物性、性状の研究は、コールド状態では日本でも大学、原研、民間で早くから行われ、その成果に相当見るべきものがあつた。1961年ごろからセラミックス燃料に関する日米研究協力が米国から提案され、原子力

局とAECの担当者間の話合いで1963年春に具体化し、同年5月東海村で第1回専門家会議が開催されたが、まだ期間の短い日本での研究—特に基礎的研究—にこの面の大先輩たる当時の米国が相当注目し評価したことは関係者に自信を持たせ意欲向上に役立った。この研究協力は1970年まで続き計6回の会議が日米で交互に持たれ、情報交換と研究者の相互認識上非常に有効であった。その後日米間で別に高速炉に関する研究協力協定が発足したので、その中の燃料材料ワーキンググループの活動がこれに代わるような形でいつとはなしに終えんした。現在はこの高速炉協定に基づいてMOX燃料を主とする情報および資料の交換、研究協力等が行われ成果を挙げている。

核燃料として最も大切な照射挙動の研究に関しては、1970年にJMTRが実動するまでは海外炉やJRR-2, JPDRなどの国内炉による小規模照射試験が行われていただけであつて、海外先進諸国の膨大な成果には到底太刀打ちできず、研究者、技術者としては切齒扼腕の感があつた。前述の UO_2 共同照射や1967年から原研が参加し日本も利用できるようになったハルデンプロジェクトは、その意味でこの当時非常に有効であり、日本としては貴重な経験を得たのであつた。問題は試料送付に極めて長期間を要すること(この点現在はずっと厳しくなっている)と、照射後試験は1967年から原研のホットラボが稼動したが、第1次試験は海外に委託することが多かったから隔靴搔痒の憾みがあつたことである。このような状態は当時は致し方なかつたとはいうものの、乏しい自前のデータに海外の諸情報を加えて照射中の核分裂生成物の移行や形態変化あるいは燃焼中のO/U、融点、密度分布変化等についてソフト、ハードの面でかなりの成果を上げていたにもかかわらず、最後まで徹底して見極めることが少なかつたように思う。他の国で問題にしている点ばかりに目を向けず、目的を明確にして、自らのデータは乏しくとも、詳細な徹底した研究に日本の特色を発揮すべきであつたといえよう。

さらに、燃料要素は材料とくに被覆管とは一体のものであるにもかかわらず、日本におけるこの面の組織的な研究開発が今に至るもほとんど行われていないことは甚だ遺憾である。これは開発のシステムティックな方法論も含め、被覆材のみならず他の面でも問題として追求すべきことと考える。

混合酸化物(UO_2 - PuO_2 , MOX)燃料

UO_2 - PuO_2 系のいわゆる混合酸化物(MOX)燃料については、1958年の第2回ジュネーブ会議で初めて米国の Hanford 研究所と英国の Harwell 研究所からそれぞれ1編ずつの論文が提出された。日本でもプルトニウムは将来の高速炉燃料として理解していたが、当時はウラン燃料さえ十分把握していなかったからプルトニウムはまだ先のことと考える人も多かった。しかし1960年代初期に米国ではプルトニウムの軽水炉リサイクルを実証するためのPRTRが稼動し始め、一方日本でのウラン資源量はあまり期待がもてないことが次第に見当がつき始めるに至って、プルトニウム軽水炉利用が大切なこととして次第に認識され始めた。しかしまだ研究の段階であり、物が物だけにいろいろな意味でその取扱いは極めて慎重を要し、かつ費用もウランの場合の比ではないので、まず原研、原燃で取扱いを開始することになった。原研では1963年にプル特研が稼動して60g以下のプルトニウムを取り扱えるようになり分析を初め各種基礎研究を開始した。原燃では同年米国の NUMEC 社に大量取扱い施設の詳細設計を発注、翌年から建設にかかり1965年11月に完成、暫時の UO_2 による試運転の後、翌年1月から MOX 燃料につきその物性や性状の測定、分析、燃料製造加工試験に入り、引き続き原研との共同研究による TCA を用いる炉物理実験や各種照射試験を開始した。グローブボックスの使用に慣れておらず、初めてプルトニウムの量的取扱いであったから、安全体制、緊急体制も含めて万全を期して慎重に計画を進めたが、幸い比較的短期間で習熟し、その後の基礎をつくることができた。

上記のように、わが国でプルトニウム燃料の研究を始めた1966年当時は軽水炉リサイクルを主目的とし、MOX ペレットおよび sol-gel/vipac 両方式による燃料体の製造試験が行われた。これまでの UO_2 燃料での経験が役立ってかなり早くに成果が上がり、1968年には GETR で、また1969年にはハルデン炉で国産被覆管を用いた sol-gel/vipac 燃料とペレット燃料との照射試験を行なったが、いずれも健全性が証明された。上述の炉物理実験も軽水炉リサイクルを目的として始めたもので、その後10年余にわたって詳細なデータを集積し、燃料設計の基礎が整備されて現在は実用のための実験を行なっている。一方、照射研究は引き続き JPDR-II 計画と SAXTON-III 計画に参加して実証試験

に進む予定であったが、結果は後者のみが実現し、1971年に1集合体と4燃料棒(ともにペレット燃料)が照射され、その後2本の燃料棒については GETR での追加照射も含め38,000 MWD/T まで燃焼を行い、その健全性の実証と種々の照射データが得られて最終評価は1977年に終了した。国内炉では JPDR-II 計画の挫折により、実用炉の美浜1号炉および敦賀炉で集合体照射による実証を行う予定で計画され、美浜炉用の燃料はつくられたが同炉の故障のため遅延を余儀なくされている間に、そのころから起こった米国での GESMO 問題の影響により情勢は停滞し、さらに1976年末以降の米国の原子力政策の余波をもろに受け、現状はソフト面での検討や燃料設計段階にとどまっており、実現が難しくなっている。しかし、このまま傍観することなく国の方針を明確にし、実現のために必要な施策を早期に打つと共に技術確立を急ぐべきである。軽水炉リサイクルの実施は日本の主張であるエネルギー確保上のみならず、将来の高速炉実用化に至る技術開発と確立の道程としても、核燃料サイクルの面からも必要であると考えからである。

1967年10月原燃を吸収して新型転換炉と高速増殖炉ならびに核燃料の開発を目的とする動燃事業団が発足すると共に、これら新型炉のための MOX 燃料の設計、製造が必要となったので、1972年早々に燃料製造施設を完成させ、以来1978年初めまでに「常陽」用燃料約1.5トン、重水臨界実験用ならびに「ふげん」用燃料を計約30トン製造加工した。これらの燃料は現在それぞれの炉で健全に燃焼しつつある。このほか各種実験用、照射試験用、試作用試料等も供給し、現在までに取扱ったプルトニウムの量は600kgを超えているが、これらにより計量管理や臨界の問題も含めて取扱い安全性と燃料の健全性の技術はほぼ確立されたといつてよく、またこの実績は海外諸国のそれと比べて遜色はない。現在は施設の改善と引き続き各炉の新型燃料や取替燃料等の製造準備中である。

しかし、今後次第に高次同位体が増すこと、また保障措置、核物質防護の面からの要請も厳しくなると考えられること等から高放射性プルトニウムの取扱いが必要となることが予想される。そのための被曝低減化、遠隔自動化、機器の保守、修理の点、さらに大量生産方式やプルトニウムの保管方式についても、その工程や施設の問題を含めてまだ解決すべき問題は多く、この点地道な研究開発を続けている英、西独、ベルギーなどと共同して協力を深めてゆく必要がある。燃料製造工程としても、わが国ではいったん放棄した sol-gel 法

等も再度考慮する必要がある(この点英国では sol-gel 法にすでに20年近くもの研究実績を有し、近く実証試験に入ろうとしている)。

MOX 燃料の物性、性状の解明、炉内挙動の解析とコード化、それらに基づく燃料設計と評価、燃焼管理、データバンキング等、各方面にわたる広範な研究開発が国内外各機関の協力の下に進められているが、まだ質、量ともに十分とはいえず今後の強力な展開を希望する。

しかしながら、世界的にみても MOX 燃料の真の展開は正にこれからである。この辺りでそろそろ外国の模倣から脱し、熱しやすくさめやすい国民性を改めて独自の研究開発を明確な方針の下に地道に気長に進める時である。また、基礎面を担当すべき大学、諸研究機関の役割とその活動の場の在り方についても考慮を要する。
(名大・天沼 僚)

新 型 燃 料

新型燃料の定義はそれほど明確ではないが、ここでは金属系燃料を含めて、炭化物系燃料および高温ガス炉用燃料に焦点を合わせて、わが国における研究の流れを振り返り、今後を展望してみる。

金 属 系 燃 料

この分野の研究は、1965年に着手されたウランの溶解鑄造試験に始まる。研究開発の流れは次の4つに大別できる。

- (1) 金属ウラン燃料体の試験研究および冶金学的研究からJRR-3燃料要素開発プロジェクトへの進展
- (2) Al-U合金燃料の国産化のための冶金学的研究
- (3) 東海炉燃料の安全性評価のための炭酸ガス酸化実験など、ならびにモニタリング
- (4) 金属ウラン改良のためのウラン合金の研究

それらのうち、(1)については鑄造、加工、熱処理、検査に関する多くの成果が得られ、JRR-3の2次装荷以降の燃料国産化に生かされた。(2)についても同様に国産化に貢献した。(3)についてはモニタリング技術および燃料体評価法の確立により、原子炉運転に寄与した。(4)については各機関において改良研究が進められるとともに、1962年から4年間、学術振興会に金属ウラン

共同研究準備会が設けられ、U-1% Mo合金共通試料について参加機関分担による各種試験(熱サイクル、機核的性質、組織など)が行われた。また金属燃料検査法の標準化についても検討が進められた。

その後、動力炉燃料として酸化物を代表物質とするセラミックス燃料へと移行したが、最近米国では高速炉ブランケットに ^{233}U - ^{232}Th 合金燃料の適用を図るなど、金属燃料の特性を生かす研究も開始されているので、金属燃料の将来をこの機会にもう一度展望してみるのも無意味ではない。

炭 化 物 系 燃 料

わが国でも燃料増殖率の向上、ひいては核燃料資源の有効利用を第一義として、高速炉用の新型燃料、すなわち炭化物、チッ化物等の燃料が研究されてきた。

1. 製造(調製)の研究

まず炭素熱還元法やアルケン法によるUCペレットの調製法から手がけられた。この分野については、すでに1962年に開催された“Carbide in Nuclear Energy”会議(英国)に2編の報告がみられた。これを契機として研究が活発となり、UCのほか UC_2 や U_2C_3 の調製も試みられ、それらの物性研究も進歩した。さらにアーク融解法、水素化物・炭素反応法など多岐にわたる調製法が研究された。しかしながら、製造の難易さ、経済性の観点から炭素熱還元法が主流となり、1960年代後半には、わが国においてもUCペレットの製造技術はほぼ確立するに至った。一方、UNやUCNの調製が研究され、試料がそれらの物性研究に提供されるとともに、一連のNaCl型化合物の研究のためにUP、USの調製も試みられた。しかしながら、プルトニウム取扱設備は動燃事業団と原研だけに局在していた関係で、U・Pu混合炭化物系燃料の研究は上記2機関、とりわけ原研で行われてきた。アーク融解法による(U, Pu)C、その相安定化を図った(U, Pu)C-W燃料の調製のほか、水素化物・炭素反応法によるPuCや Pu_2C_3 の調製、水素化物・チッ素反応法によるPuN生成条件の検討など比較的基礎段階の研究が展開されてきた。その後、原研大洗研究所にプルトニウム燃料研究棟が建設されるに及び、U・Pu混合炭化物系燃料の開発研究にさらに道が切り開かれることになった。

2. 物性の研究

1960年代半ばから、主としてUC、UCN、UNの熱力学的性質についての研究が精力的に行われてきた。なかでもUC-UN固溶体の正則溶液仮定に基づく熱力学

的考察や、U-Pu-C-N-O 5元系の統計熱力学計算などはその後の研究に大きく貢献した。1968年のウィーン・パネルを経て、1973年の日米・熱力学セミナーではほぼウラン化合物の熱力学的諸量は出揃った感がある。しかし、プルトニウム化合物については依然として未確定のものが多い。相関係ではUC・UC₂合成反応およびUC₂脱炭反応によるU₂C₃生成機構が検討されるとともに、化学的性質に関連してUN, UCN等の酸化、加水分解などが調べられた。またレーザー・フラッシュ法によりUCからUS, UPに至る各種物質の熱拡散率が測定されたほか、UCNの高温熱膨脹係数、UNの弾性率、UC中の炭素拡散係数などが求められた。その他磁性や電気抵抗に関する実験によりNaCl型化合物の電子構造が検討され、また中性子回折法によりU₂N_{3+ δ} の欠陥構造が追求された。このように物理化学的性質の研究は相当に進展したが、炭化物系燃料の健全性を判断するための重要な指標である燃料の機械的性質、スエリング挙動、被覆材との機械的あるいは化学的相互作用などについては、まだ初歩的な研究段階にとどまっている。

3. 両立性の研究

1967年ごろより、炭化物系燃料と被覆材との両立性が研究され始め、特に被覆材への浸炭を防ぐ目的で燃料の改良法の研究や被覆材の選択が検討された。Naボンド方式燃料ピンでは、Na中の不純物酸素によってステンレス鋼への浸炭が促進されることが明らかにされた。核分裂生成物と被覆材との相互作用に関連して、ステンレス鋼およびハステロイ-X合金のヨウ素による高温腐食現象が調べられた。

4. 照射挙動の研究

1970年ごろから、UC, UC₂の低照射実験が行われ、焼鈍試料の電気抵抗、格子定数および核分裂生成ガス放出測定によって照射損傷の回復過程が調べられ、同系燃料の照射挙動の解明に大きく寄与した。またUC中のBa, Moの挙動解析やRu, Rh, Pd析出物の同定のほか、固体状核分裂生成物によるスエリングの評価も行われた。JMTRによる照射実験(～20,000 MWD/T)では、UC, UCN, UN各燃料の健全性が確認された。最近では、単結晶UCの照射損傷、加速器による燃料のチャンネリング現象やプリスタリング現象の解明が行われている。核分裂生成ガス放出挙動は、JRR-3に設置された核分裂ガスループによる実験で詳細に調べられ、特に低温(1,000°C以下)における擬反跳とノックアウト放出の重要性が指摘された。

5. 今後の展望

以上、炭化物系燃料の研究経過を振り返ってみた。この間、本学会の中に「炭チッ化系核燃料」研究専門委員の会および「核燃料挙動」研究専門委員会が設けられ、関係機関の情報交換に役立てられたことは有意義であった。

さて、炭化物系燃料を将来の高速炉の新型燃料としてどのように位置づけるかの計画については、各国ほぼ出揃った感がある。その意義、R&Dスケジュール、酸化物燃料との切換え計画などについては、ANSのAdvanced LMFBR Fuels会議(1977年10月、アリゾナ)の論文集に詳しくまとめられている。安全性研究について長年月が費やされてきた酸化物燃料の場合とは異なり、炭化物系燃料の研究はまだ日が浅い。研究開発項目は山積している。特にプルトニウム取扱設備が動燃事業団と原研だけに局限されている事実は、大学、民間の支援と協力を必要とする本分野の発展に大きな障害となっている。また、最近の大学における原子力研究が核燃料物質離れの傾向にあることも、問題を将来に残すものと考えている。

高温ガス炉用燃料

わが国における高温ガス炉用燃料の開発研究は、古くは原研における平均質炉計画(1958～1962年)にさかのぼる。平均質炉燃料の特徴は、UO₂核から反跳により核分裂生成物をその外側の黒鉛母材中に放出させ、再処理を容易にさせようとしたものである。ところが、ほぼ同時期に進められていた海外の高温ガス炉計画では、これとは逆に核分裂生成物のUO₂核(あるいはUC₂核)内閉じ込め方式が採用されており、そのため被覆粒子燃料の研究がすでに始められていた。その情報が入手されてから、一部の国内メーカーが被覆の検討を進めてみたが、平均質炉計画の中止によりそれ以上の進展は見られなかった。1966年ごろに改良ガス炉燃料への適用を目指したUC燃料・SiC被覆の研究が小規模になされた程度である。

しかしその技術は、1969年に原研において始まった多目的高温ガス炉計画の主要課題とされた被覆粒子燃料の開発に引き継がれた。被覆粒子燃料製造のため、国内メーカーはゾル-ゲル法によるUO₂核(直径～600 μm)の調製、それへの熱分解炭素層および炭化ケイ素層の被覆など、重要技術の開発に努めてきた。一方、原研では燃料検査法の技術開発を進めてきた。このような両者の協調により、数年を経ずして国産被覆粒子の性能は先進Dragon計画でのそれに十分匹敵しうるレベルまで到達した。現在、多数の被覆粒子を黒

鉛母材中に分散して押し固めた燃料コンパクトの製造と照射試験, 同コンパクトが黒鉛スリーブ中に挿入された燃料棒の高温高圧炉内ループ(JMTR のOGL-1ガスループ)による照射試験等が展開されており, 多目的炉用燃料および燃料要素の健全性評価に有用なデータが多数得られつつある。その他, 被覆粒子中における燃料核の移動現象(アメーバ効果)の解明, 燃料の高温性能向上を図る ZrC 層被覆の研究, 高照射下でも安定な黒鉛材料の開発など, わが国における高温ガス炉用燃料研究の進展には目覚ましいものがある。

なお, 実用高温ガス炉で使用される可能性の高いトリウム燃料について, 原研では1974年より研究開発に取り組み, すでにゾルゲル法によるトリウム燃料核の製造プロセスを確立している。また燃料核への BIS O 被覆も試みられている。

高温ガス炉とくに多目的炉では, 従来の原子炉より高い温度領域の耐高温燃料が必要になるので, その研究開発には周到な計画に基づく精力的な努力が必要である。
(原研・下川純一)

炉心材料

金属材料

炉心材料は原子炉材料の中で最も過酷な条件下で使用されるものであり, その性能の良否により原子炉の運転, 稼動が大きく左右される。そのため, 材料性能に関し一般の工業材料では見られないような多くの厳しい要求がなされている。実用されている炉心金属材料の種類, 内容は極めて応範囲で多岐にわたっているから, それらの個々について述べることを避け, 以下では, それらの中で最も重要と考えられる軽水炉および高速増殖炉の燃料被覆管, チャンネルボックスを代表例としてとり上げ, ここ20年間の推移と得られた成果および今後の展望を概括的に述べる。

1. ジルカロイ燃料被覆管

(1) 初期の研究開発

わが国における原子力用ジルコニウムの研究は1953~54年ごろに始まる資料調査活動に端を発し, 引き続き米国で試作された地金, 小インゴットを輸入してその加工性を主とする検討がなされた。1957年からは学

振を中心とした研究活動が, 国内で加工したジルコニウム試料を用いて多数の機関の参加により鋭意進められ, その後のジルコニウム研究開発の礎となった。

ジルコニウム地金(スポンジ・ジルコニウム)の技術開発は比較的早期に行われ, 1956年にはジルコンサンドからスポンジまでの一貫プラントが稼動開始し, 1957~58年にかけて U. S. AEC 向けに多量の高品質スポンジが輸出された。その後プロセスの改良もなされたが, スポンジ製造技術はほぼこの時期に確立したといえる。

この初期の段階では原子力研究補助金によるジルコニウム, ジルカロイの研究が多く実施された。例えば, 理化学研究所による添加元素の影響や日本溶接協会による溶接条件の研究などがある。前者は1960年の「第1回原子力研究総合発表会」で発表された。

1957年ごろよりジルカロイの融解, 加工の研究が始められ, 消耗電極式二重アーク融解法の採用や熱間および冷間加工における加工条件の検討がなされた。

ジルコニウム分析に関しても同じく1957年に研究会が発足し, 機器分析の活用, 標準試料の設定など分析方法の開発促進に貢献した。

(2) 被覆管の工業化と実用化

被覆管の工業化研究は国内2社で1959年ごろより始められた。この被覆管製造技術の推移は大きく4段階に分けられ, 1960年以降の抽伸仕上げによる試作時代, 1968年からの圧延仕上げによる工業化時代, 1970年から数年間の実炉用量産化時代, そして今日の本格量産時代に至っている。

初期の抽伸仕上げの製品は, 原研JPDRテストアセンブリーに採用され, 当時の ASTM 規格を満足するものであったが, 炉内燃料挙動の解明につれ延性, 水素化物析出方位, 結晶粒度, 集合組織などの要求仕様がより厳しくなり, これらの性能の改良研究が数多く実施された。結局, 含有酸素量を若干高めに狙い圧延法による高加工度仕上げの後, ひずみとり焼鈍する方式が適切であることが判明した。そこで1967~68年には国内各社は精密圧延機を導入設置して製品性能の向上と安定化に努めた。これによるジルカロイ被覆管製品は JMTR, ハルデン炉, サクストン炉などの多くの照射プロジェクトに採用され, 実績の積み上げが図られた。1970~72年には海外での実用炉での使用実績を得るため比較的多量の被覆管が輸出された。また, 同時期に原研 JPDR-II 炉心用の被覆管全量が国産化され, 引き続き敦賀発電所取替燃料用被覆管も製作されるに至り, 量産化の時代に入った。それ以降は「ふげん」初装荷用被覆管の完全国産化を初め商業炉用被覆管の国産

化も軌道に乗り現在に至っている。

ジルカロイ被覆管の製造および検査に関する個々の技術にはわが国独自のものも多く、これらの基盤の上に立った国産被覆管は今日では外国品を十分凌駕する高品質となっている。

(3) 検査および評価試験

検査法標準化のため1960年検査専門委員会(原子燃料公社主宰)が発足し、燃料被覆管についても諸検査法が詳細に検討された。この結果は1964年「燃料要素およびその構成部材の標準試験法」としてまとめられたが、これはその後のわが国の検査技術の確立に大きく貢献した。

検査法に関する研究開発も種々の成果を挙げている。その1例として内径測定をとりあげてみると、1962年ごろは管端部のマイクロメータ測定のみによっていたが、その後空気マイクロメータによる全長測定がとり入れられ、さらに電気マイクロメータの導入が実施された。現在では超音波パルス方式に移行しており、精度および検査速度が格段に向上している。

1964年発足した原子力安全研究協会燃料安全専門委員会では、ジルカロイ被覆管の使用の際の諸性能の共同研究が毎年継続して実施されており、耐圧性、水素吸収と水素化物、バースト特性、照射挙動、変形挙動など極めて広範囲のテーマに及んでいる。この成果は内外の学会などで発表され、世界的にも注目されている。

2. チャンネルボックス

国内におけるBWR用ジルカロイ・チャンネルボックスの初期開発は1959年ごろより始められたが、本格的な技術開発は1967年からであった。長さ方向における振れや曲り等の精度が厳しく、これを満足させるべく国産技術が研究開発された。その中でも電子ビーム溶接法、特殊寸法矯正法は海外にも類を見ない独自のものである。

1971年には原研JPDR-II用の全量国産化、1972年の敦賀発電所への試用など着実に進化した。これらは現在まで数サイクルの使用にもならぬ異常なく十分な品質水準を示している。その後、多量生産体制も確立し、国内商業炉に数多くの納入実績を挙げている。

3. ステンレス鋼被覆管

初期には軽水炉用としてSUS304被覆管も研究され、1971~72年には原子力船用として納入された実績がある。

高速増殖炉用ステンレス鋼被覆管の初期の研究開発

は1966年ごろより始められたが、本格的試作は動燃事業団のSUS316被覆管試作計画に基づき1968年ごろから開始された。SUS316ステンレス鋼管は一般工業材料として広く使用されており、その製造技術も一応確立されているとみなされるが、高速炉用被覆管の場合には、それに加えて新たに種々の研究開発を必要とする。

スエリングと高温クリープの観点から鋼質清浄度、微量成分、焼鈍条件、結晶粒度、仕上加工度の適切な選定が、また厳しい寸法精度、健全性が要求されるため特殊な加工方法、検査方法が必要で、これらに対し動燃事業団を中心として国内の関係各社、各機関で多くの研究開発が実施されてきている。照射に伴う挙動の解明も重要で、DFR(英)やラプソディ炉(仏)など海外の高速炉を利用した中性子照射試験や、加速器を用いたイオン照射試験が長年続けられている。

高速炉用被覆管は当初より国産品使用が基本方針であり、1972年には「常陽」マークI初装荷用被覆管の全量が国内2社より納入され、現在も同マークII用被覆管の製造が進められている。さらに「もんじゅ」用被覆管の諸試作も、長期にわたり前記の研究成果を反映させつつ進行中である。

4. 今後の展望

最近のジルカロイの研究開発は出力上昇時やLOCA事故の際の挙動に焦点が置かれている。前者はペレットと被覆管の化学的あるいは力学的相互作用に関するものであり、被覆管内面に金属薄層をライニングしたバリア管の開発が急がれている。また、後者については高温における酸化現象の解明に重きが置かれている。その他、より高い使用温度での耐食性改善のためニオブウム添加合金の特性が検討されている。このような若干の小改良は予想されるが、基本的にはここ当分ジルカロイの使用が継続されることは明白であり、多量化に伴う品質および経済性の面での向上を期待したい。

高速増殖炉の炉心構造材料としては、今後316ステンレス鋼の改良や高ニッケルのFe-Ni-Cr系合金の開発が本格的に進められようとしている。実用化のためには、照射特性、高温強度、Na耐食性、溶接や製管を含めた製造技術および検査技術などを、諸特性、諸技術間のバランスをとりながら総合的に研究開発しなければならない。動燃事業団を中核としつつ各国立研究所、大学、民間会社等がこれを支援し、また独自の寄与をなしつつも全体として整合的な成果をあげ得るよ

うな、一本化された研究開発体制の整備充実に努める必要がある。

(住友金属工業(株)・小西隆男, 金材技研・白石春樹)

非金属材料

炉心(近傍を含む)で用いられる非金属材料には, C, BeO, MgO, Al₂O₃, Li₂O, SiC, B₄C, Eu₂O₃などの希土類酸化物, SiO₂ ガラス, Al₂O₃-SiO₂ 系繊維などがあり, それぞれ各種の特徴をもっている。これらは耐熱性に優れたものが多く, 原子炉の高温化が求められる際に重要視されることは核燃料ミートの例からも明らかである。したがって, まだ燃料以外で実用されているものは少ないが, 今後, 作動温度を高めようとするれば漸次重要性が増し各部分に使われよう。

1. 原子炉用黒鉛

1954年ごろから主な黒鉛電極メーカーにおいて, GCR 用を目指して個々に研究が開始され, 55年には炭素協会に特殊炭素専門部会ができて各界との協力態勢が整い, 55年に原子力平和利用試験研究費がつけられて, 57年には早くも外国品にほぼ匹敵するものを製造し得るに至った。すなわち, 嵩比重が約1.7以上と高いものが粒度調整とピッチ等含侵処理により達成され, さらにホウ素や希土類元素の含有率を0.5 ppm以下とした高純度品がCCl₂F₂(フロン)などによる高温抽出処理技術によって得られた。0.1 ppm以下の微量ホウ素の分析方法が必要となり, クルクミン発色吸光度法その他が研究され, 1962年にはJISも制定された。

最初に遭遇した困難は, 炉内放射線の重照射に耐え得ることをいかに実証するかで, 当時国内ではこれができなかった。結局, 東海1号炉で国産品は使用されず, それは今日まで及び, それ以来主力メーカーの原子炉用黒鉛開発への熱意が冷却していくこととなった。その後, ガス炉は英国のAGRを経てHe冷却に変わり, 出口温度750°Cあるいはそれ以上のHTGRやVHTRへと推移し, わが国の目標は後者へと飛躍していった。

黒鉛材の速中性子照射効果は約550°C以上で徐々に変化し, 照射焼結による緻密化とスエリング膨脹とが一般に増大しやすい。さらに酸化, 温度変動や地震に伴う衝撃的応答などに耐える性質なども要求される。これに対しては, 十分密度が高く微小でありながら結晶度の高い結晶子が乱方位に集合し等方性で高強度のものが好ましいことが海外の研究で明らかにされた。

原研が1968年から多目的高温ガス炉の研究を開始し, またHTGRの導入も考えられるに及んで, 学振第117委員会などが中心となりそれに協力して基礎科学的な研究や外国品の性質の測定が進められた。そしてピッチの炭化過程におけるメソフェーズの成長合体を制御し, 粉碎, 成形および焼成技術の研究を集積することによって, 最近かなり目標に近い, しかも十分大型の黒鉛材が国内メーカーにより開発された。さらに, その非破壊検査方法も原研やメーカーの協力も得て筆者の研究室で進展しおおむね可能となった。まだ欠点なしとはいえないが, 少なくとも現時点で世界の一流品に比し優るとも劣らないものが得られつつあるから, GCRの時の轍を踏まぬように官民協力して, 炉内挙動の確証に努力し自主技術の成熟完成を期したいものである。これはやがて, MSBRや核融合炉などの一層高度の要求をも満たし得る材料の開発へとつながってゆくとと思われる。

2. BeO, MgO, Al₂O₃ など

BeOは1955年ごろ高純度化の研究が民間会社で始まり, 焼結方法や諸性質の測定がなされた。昭和40年(1965)代に近づき公社や大学で, さらに無機材研でも詳しい研究が始まり, 世界のレベルに達したように思われた。しかし照射安定性がいま一步不足し, 毒性による公害が心配され, かつ高価なため実用化は進展していない。MgOやAl₂O₃は他分野で科学的技術的研究がよく進み問題はないようである。

3. B₄CとEu₂O₃ など

FBRの制御用として重要視され, 1973年にソ連で専門家会議が開かれたが, その前後から研究が盛んになった。フェルミ炉のB₄Cが入手され, それを研究する小組織ができ1976年に成果がまとまった。動燃は海外照射を進め, データを集めて国内での研究の中心となり, 大学やメーカーがこれに協力している。B/C, カサ密度, 粒径その他によってHe放出やスエリングが変化するが, 研究者間でデータの不一致が残り今後一層の研究が望まれる。また¹⁰B核の反応消耗は速く寿命は短いから, 一方でEu₂O₃を主体とする長寿命制御棒が望まれている。これは1973年ごろから動燃と協力して東工大で研究が進んでおりなかなか有望である。将来は照射による熱伝導性の低下をいかにして防ぐかが問題になると考えられる。

4. β-SiCと高温断熱材

β-SiCによる炉内温度モニタが1971年ごろから東工大で研究され一応実用化された。高温断熱材としてはSiO₂ ガラスブロックとAl₂-SiO₂系繊維ブランケット

が1973年から原子力製鉄研究組合で詳しく研究され、1,000°Cで長時間使える見通しが得られた。さらに高温で使用できるものとして、Si₃N₄ 質など有望と思われるものがあり、研究が望ましい。

(東工大・鈴木弘茂)

構造材料

最近の10年を中心として、この20年間のわが国における軽水炉、高速炉および高温ガス炉に使用される構造材料に関する研究の概要と将来の展望について以下に述べる。

軽水炉用材料

1. 原子炉圧力容器用鋼材

この20年間、わが国の原子力プラントは大容量化の一途をたどり使用鋼材の超厚肉化や大型化が著しく、破壊靱性や均質性の向上、より小さい照射脆化感受性等のニーズが強く各分野で種々の研究が行われてきた。原子炉圧力容器用鋼材としては、わが国にあっては鋼板では初期を除き ASME SA533B Cl. 1 鋼が、また鍛鋼品では SA508Cl. 2 鋼または Cl. 3 鋼がそれぞれ用いられてきている。

米国では1967年以来、軽水炉圧力容器の健全性を実証するため HSST(超厚鋼技術)プログラムが実施されてきたが、その成果は ASME の破壊靱性基準等に反映されており、その果たした役割は誠に大きい。これに対しわが国では、米国に比べて小規模ながら日本溶接協会が共同研究が行われたほかは、大学・研究所・機器および材料メーカーで次のような研究開発が実施されてきた。すなわち、鋼材の製造技術面では、真空脱ガス法による非金属介在物・ガスの低減、大型鋼材の造塊法や脱水素処理法等、また鋼材の加工技術面では、成形加工した超厚鋼板の水焼入れ技術、超厚材やステンレス鋼肉盛等の各種溶接方法、溶接部の非破壊検査法、再熱割れ防止法等、さらに鋼材の品質面では、化学成分・熱処理と強度・靱性との関係、超厚鋼材の均質性、破壊靱性、照射脆化、疲れ亀裂成長等、がそれに当りいづれも大きな成果を挙げている。

わが国の軽水炉においては、当初よりほぼ全面的に国産鋼材が使用されてきているが、上記のような研究成果をベースに鋼板、鍛鋼品、鋳鋼品ならびにそれらの

溶接継手を含めた原子炉圧力容器用鋼材の品質の向上は誠にめざましいものがある。

ASME では原子炉圧力容器用鋼材として、上記鋼材以外に強度の高い SA542Cl. 1 鋼や SA543BCl. 1 鋼の適用を認定しており、わが国でもこの種鋼材の破壊靱性、溶接性等の研究が行われてきた。しかし前者では水素脆性、後者では継手性能等の問題が残されており、U.S. NRC の原子炉大型化規制や保守主義等から、当分の間はこの種高強度鋼の実用化はないものと予測される。

原子炉圧力容器用鋼材の照射脆化については、Cu, P 等の不純物元素の影響、焼なまし効果、破壊靱性等が米国を中心として研究され、関連基準に適用されるに至っている。わが国では1963~65年における BR-2 を用いた鉄鋼の照射試験研究合同委員会や1970~71年における JMTR 利用委員会で各種鋼材の照射脆化研究が行われたが、それ以降は必ずしも体系的な研究は実施されておらず、国産の鋼材・溶接継手を対象とした照射脆化データの整備が望まれる。

2. 蒸気発生器用材料

蒸気発生器用材料としては、胴、管板、水室、伝熱管があるが、前3者については特に技術的問題は少ないので、ここでは伝熱管について述べる。

ここ数年來、米国やわが国で運転中の PWR では蒸気発生器伝熱管(Inconel 600)に減肉、応力腐食割れ、デンティング等による故障が生じ、種々の対策研究が行われてきた。わが国では幸いにもデンティングは生じていないが、これは2次系の水処理や復水器の管理技術が優れているためと見られている。減肉や応力腐食割れの対策としては、2次側の水処理におけるリン酸塩処理から AVT(All Volatile Treatment)への切換え、復水脱塩装置の設置、全厚拡管の採用、管支持板の設計変更、応力腐食割れ抵抗のより優れた材質への切換え(Inconel 600 管に特殊熱処理を施工)等が挙げられ、それぞれ広範な研究の裏付けが行われており、問題点解決の見通しは明るい。

わが国では、発電用熱機協会において蒸気発生器の信頼性実証試験が1975年から5ヵ年計画で行われており、伝熱管の腐食現象の定量的確認のための腐食シミュレーション試験、腐食に及ぼす熱流動特性確認のための大型熱流動試験、仮想事故状態における安全性確認のための伝熱管破断試験が進行中であり、その成果が期待される。

3. 配管材料

配管材料の中で最も重要なものは、PWR では1次

冷却水配管(主として 316 ステンレス鋼), BWR では再循環系配管(主として 304 ステンレス鋼)であるが, ここでは後者の応力腐食割れ問題について述べる。

米国やわが国で運転中の BWR ではここ数年来配管系に応力腐食割れが発生し種々の対策研究が行われてきた。すなわち, 材料面では 304 ステンレス鋼から炭素鋼または 316 L, 347 L ステンレス鋼への切換え, 応力面では溶接後溶体化処理や管内面水冷溶接法, 高周波加熱による応力分布改善法の採用, 環境面では起動時の脱気等が挙げられる。

わが国では原子力工学試験センターにおいて, 溶接部等熱影響部信頼性実証試験が 1977 年から 5 ヶ年計画で実施されている。本研究は BWR 配管系の応力腐食割れ発生原因の確認, 対策方法の有効性, 割れが成長した場合の安全の確認を行うことを目的としており, その成果が期待される。

4. 格納容器用鋼板

格納容器用鋼板としては主として ASME SA516 Gr. 70 (JIS SGV49) が使用されてきた。格納容器は外壁が大気にさらされるため事故時の不安定破壊が重要とされ, 1972~73 年に日本溶接協会において脆性破壊の発生特性, 伝播停止特性等が研究された。

最近わが国では大型化対策として, PWR では SA 543B Cl. 1 鋼の適用性や SGV49 鋼に対し溶接後熱処理なしで許容最大板厚を 38 mm から 45 mm に上げるための研究, BWR では SPV50 鋼(降伏点 $>50\text{kg/mm}^2$) の適用性の研究が機器・材料メーカーで行われた。いずれも鋼板および溶接継手に対する各種破壊靱性試験, 溶接性試験より成る大規模研究であり, これらの認定は発電用熱機関協会でなされた。以上の成果を踏まえて, PWR では 45 mm 厚の SGV49 鋼, BWR では SPV50 鋼がいずれも近く実用される予定である。

高速炉用材料

わが国における高速炉用材料の研究は主として「常陽」や「もんじゅ」を対象としてなされてきた。材料技術上の問題としては高温強度, 耐食性, 照射損傷等があるが, ここでは鋼材と Na の共存性について述べる。

鋼材と Na の共存性については解明すべき問題が多く, わが国でも 1970 年ごろから動燃を初め機器・材料メーカーにおいて Na ループ等による研究が行われてきた。すなわち, Na 中における腐食・質量移行, それに伴う強度・靱性の変化挙動, Na 中における自己融着・腐蝕, Na-水反応による損耗等がそれであり, Na 環境

として温度, Na 中の酸素濃度, Na 流速, Na 流量, 運転時間等の影響が調べられてきた。

以上のうち, 2 次 Na 系ではオーステナイトステンレス鋼と $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$ 鋼のバイメタリックループで構成されるため, 前者では浸炭が, 後者では脱炭がそれぞれ生じやすく, 材料表面における炭素移行やそれに伴う機械的性質の変化挙動が研究されてきた。特に蒸気発生器伝熱管の候補材である $2\frac{1}{4}\text{Cr-1Mo}$ 鋼については, 炭化物安定化元素の添加や熱処理の影響等の研究がなされた。

今後の研究課題としては, Na 環境下におけるクリープ・低サイクル疲れや自己融着・磨耗データの整備, Na の異常環境効果の把握等が挙げられよう。

高温ガス炉用材料

1970 年から原研において多目的高温ガス実験炉の建設が計画され研究開発が行われてきたが, 一方, 工科院においても 1973 年から大型プロジェクト「直接還元ガス利用による直接製鉄の研究開発」を発足させ, これを受けた原子力製鉄技術研究組合でも超耐熱合金の開発研究等が行われてきた。特に He 雰囲気中, $1,000^\circ\text{C}$, 10^5h , クリープ破断強さ 1kg/mm^2 以上を有する合金の開発がキーポイントとなっている。

学振高温ガス炉耐熱材料研究委員会では 1972~73 年に上記候補合金について調査研究が行われたが, その後上記研究組合参加の材料メーカーより候補合金の提案がなされ, それらを対象に原研や金材技研を中心に He 雰囲気中の腐食やクリープ破断特性等が研究されてきた。

現在まで He 雰囲気中の腐食挙動は微量に存在する H_2 , CO , CO_2 , CH_4 等の量とその比率, 合金構成元素の種類とその含有量等によって影響され, また He 雰囲気下のクリープ破断特性は腐食挙動と関連する等, He 環境効果はかなりのことが明らかにされてきたが, 現象は複雑であり, 今後設計に必要な使用環境下の高温特性データの一層の整備が望まれる。

(三菱重工・薄田 寛)

核融合材料

わが国における研究開発は 1963 年に研究テーマとし

て一部研究機関で認められ、その後急速に進んでいるが、分裂炉材料の研究開発と一緒に進んでいる現状にある。融合炉材料は分裂炉材料の研究開発と密接な関係にあり、分裂炉材料の成功なくしては成り立たないであろう。しかも分裂炉材料の延長線上で解決できるものでなく、本質的に未知領域も多く含んだ新しい研究開発が要求される。最近核融合炉の概念が明確になるにつれて材料に要求される諸特性も明らかになり、材料の研究開発の方向付けができるようになってきた。この背景のもとに学会、講演会、研究会、専門委員会などが活発に開かれるようになり研究開発の第一歩を歩み出している。例えば本学会の核融合材料 W. G.、「強力中性子源」研究専門委員会、京大炉核融合炉材料専門研究会、金属学会の高融・金属材料基礎研究会および学振122委員会核融合材料小委員会などがある。

主として基礎的研究の役割をもつ大学関係では、文部省特定研究「核融合工学」により、材料の重照射効果および水素との相互作用の研究が進められている。

また一般研究は、大学を中心にした電子線、イオンおよび中性子照射による照射損傷、プラズマ-壁面相互作用の素過程、プリスタおよびスパッタリングなどの表面現象、両立性、低原子番号材料の表面被覆などがある。そのほか材料中のトリチウム透過、水素脆性、SiC、SiNの照射特性もある。科学技術庁、通産省関係では原子力委員会策定の「核融合研究開発基本計画」に基づき、主として工学的研究開発に原研、金材技研、名工試、理研などが従事している。民間企業も原子力平和利用研究委託費を受けて研究開発に参加している。まず原研では、広範囲の分裂炉材料の研究活動と同時に核融合の中核研究機関として目標を絞った研究開発を進めている。例えば、JT-60 真空容器材料の選択試験、スパッタおよびプリスタリング、核データの整備、電子線、イオンおよび中性子による照射挙動、Mo合金の脆性改良、高温融体材料の物性、Li₂O材料の物性および照射特性などがある。金材技研では、新材料開発の総合的な研究機関として Mo などの高融点金属を中心にプリスタリング、He脆性、高温機械的性質、SiC、SiNの被覆技術、溶接などの研究が行われている。また、Moの溶接につき原研との共同研究も進んでいる。名工試ではC、SiCのスパッタおよびプリスタリング、理研では真空壁面現象および原研、金材技研との加速器によるHe照射効果の共同研究がある。民間ではステンレス鋼、ニッケル基合金の工業的技術は確立されており、分裂炉材料として高い水準にある。しかし、高融点金属ではいまだ大型構造物素材の製作経験がなく、今後

の大きな発展が望まれる。

核融合炉材料の研究開発の基本的な考え方は、(1)材料の重照射、(2)大型構造物の製作、(3)新材料の開発、などの3分野に分けられる。この基本方針は今後10~15年の間、主に実験炉をめざしてステンレス鋼、耐熱ニッケル基合金の照射挙動、クリープおよび疲労、大型構造物の確証試験を行う長期計画と、原型炉以降をめざす高融点金属(Moなど)の試作、確証試験などを行う長期計画とがあり、両者は若干の時間的ズレはあるにせよ一緒に進める必要がある。

一方、わが国の研究開発を外国と比較すると、(1)研究開発が遅れているので加速すること、(2)研究開発の組織化を進め効率的、有機的に行うこと、(3)研究開発施設の整備、拡充を図ること、など至急解決すべき問題点がある。施設、機器の面からみると、短期計画では大型構造物確証試験機の質量の拡充、長期計画では新合金開発用の試作開発機器装置、また両者においては照射試験用施設とくに模擬試験に有効なイオン加速器、強力中性子源の整備が重要となる。また研究人口の面では、材料人口の絶対量が少ない上に分裂炉材料の研究開発と重複しているため、人口増を図る必要がある。研究開発を推進するため、組織化された機能を持ち各研究機関と研究計画、実行、成果などにつき調整できる頭脳としての実行組織が大切であろう。

国際協力については、現在日米間には HF112 照射、INS 計画、新合金開発計画など、日独間にはプラズマ-表面相互作用の Textor 計画などが課題にのぼっており、今後ますます強力に進める必要があるとともに give and take の協力のもとで、何が日本の役割かを十分に考える必要があろう。1978年7月核融合材料分科会報告書がまとめられているので、核融合研究開発の関係者は一読していただきたいと思っている。

(原研・長崎隆吉)

ホ ッ ト ラ ボ

ホットラボが原研に初めて完成したのが1961年9月で、わが国最初の本格的ホットラボである。冶金、化学の2つの部分から成る規模としては大型の施設である。燃料、材料などの照射影響の研究をするためには、照射用の原子炉と共に不可欠の施設であるが、まず炉で照射が目的通りうまく行われなければならない。当

時は照射についての規制上の問題や技術上の問題でなかなか難しく、照射試料がホットラボまで来ず、燃料は海外炉で照射した UO_2 試料の試験を行っていた。材料試料は1962年2月ごろ JRR-2 よりホットラボへ入ってきたと思う。

このころ原電東海炉の燃料、材料のモニタリング計画も具体化して専用の施設を原研ホットラボに増設することになり、1964年12月完成し翌年より本格的な実用燃料の試験が始められた。これが最初の実用燃料の試験になる。この試験では、すでに数100体の試験により、数多くのコールダーホール改良型燃料の貴重な試験結果が得られた。

高速炉用 Pu 系燃料の研究のための照射燃料試験室 (AGF) の計画が1965年ころより動燃で進められ1970年完成した。これは最初の気密型の α - γ セルより成るホットラボである。以後、一連の高速炉用燃料材料の照射後施設である照射材料試験室(MMF)、集合体用の充実した大型 α - γ 施設の(FMF)、など立派な施設が動燃において完成している。AGF, MMF では海外炉や JMTR で照射した試料の試験を行い、高速炉用燃料材料の多くの試験結果を得ているが、近く「常陽」の集合体の本格的な試験もFMFで行われ、これに伴い3施設で一連の流れに乗った組織的な試験が行われ、高速炉の研究開発に活躍することになる。

大学や民間によるホットラボの整備も1965年ころより盛んになり、研究炉付属施設、大学共同利用施設、教室付属施設など比較的大規模のものから、小量取扱施設に至る数多くのものが整備され、それぞれ特色ある燃料や材料の基礎的な研究の成果をあげている。民間では、三菱重工(株)、日本核燃料開発(株)などの施設が完成しており、実用炉との関連深い問題についての研究成果があげられている。

原研ではこの間、東海研の各研究炉の照射も順調になり、かえってホットラボ処理能力の不足が生ずる事態となったが、JMTRホットラボの本格的運転開始と

共にバランスのとれた状態となっている。

ホットラボの技術面では、初期には経験もなく海外のものをまず参考にしてきた。遠隔操作の機器類の整備も不十分であり、極端にいうとマニプレータ1つで何もかもという状態であった。時間をかけて地道に技術開発を行い、積み上げによる解決を行うべき性格の分野であり、これは全体として着実に行われてきたと思う。セルの内装機器類でも、通常のをいかにして遠隔操作を行うかに腐心していた時代から、セル専用のものを初めから設計し、独自のものを製作するようになってきた。いまや施設、内装機器の問題も自力で解決していくまでになった。したがって、これらの中には世界水準以上の優秀な性能のものも数多く現われ、使用されている。それだけ技術者も周辺技術も育ってきたわけである。1979年からは軽水炉の実用燃料の照射後試験が開始される段階になった。これは実物大の燃料の高精度で数多くの試験結果を効率的に得ると同時に、処理する技術がホットラボ作業の上で実証されるものである。

今後、廃棄物の処理、処分、環境への影響などの研究、高速炉用燃料の再処理と廃棄物の処理の研究などのための新しい分野の大型施設が続々整備される計画で、ホットラボ施設の数も20を超えることになり、ますますホットラボ技術者の活躍が期待されることになる。

一方、燃料や材料の照射研究をホットラボ側から見ると、試料の製作、キャプセルの製作、照射、照射後試験と一連の流れに長時間を要し、その上種々の規制がますます厳しくなる現状では、他のそれに比べて決して得な研究とはいえない現状であり、これらがもっとうまく進められ、より多くの実験が行われ、種々の関連分野で使用される貴重な結果を独自に蓄積することができるよい方法はないものかと思う次第である。

(原研・松本徳太郎)

*

*

*

*

*

*

3. 化学・化学工学

炉 化 学

炉 化 学 の 内 容

炉化学は原子炉化学の略称であるが、本学会の専門分野分類では、核化学・炉化学として分類されることが多い。炉化学の定義は確としたものはなく、その名を冠した外国の成書も見当たらないが、筆者は炉化学を「原子炉(広義には核反応装置)の開発に関連する化学および化学工学」と定義している。したがって、その内容には核化学(核反応, 放射化分析, RI 製造, ホットアトム化学などを含む), アクチノイド(または超ウラン)の化学, 同位体分離, 核燃料・炉材料の化学(製造, 高温挙動, 照射挙動などを含む), 炉内放射線の化学, 燃料サイクルの化学(ウラン濃縮, 再処理, 廃棄物処理などを含む)などが含まれ, 本「特集」の分類では, この化学・化学工学部門のほとんどすべてと, 核燃料・炉材料のかなりの部分を含むことになる。

このように, 炉化学は一筆者の見解では一非常に広範囲な学問領域であるので, その中に含まれるそれぞれの分野について概観されることが望ましく, 事実本「特集」でもそのように企画されている。したがって本章では, 本「特集」分類では十分にカバーされていないと思われる炉化学の分野として, (1)核化学に関連した分野, (2)アクチノイド(超ウラン)の化学, (3)炉内化学反応について簡単に概観し, さらに炉化学一般の今後の展望についてふれる。

核化学に関連した分野

核化学関連分野として, 炉化学の立場から関心のある分野は, 核反応データ, RI 製造, ホットアトム化学, 放射化分析などが挙げられる。このうち核反応データについては炉物理・炉工学の部門で, また RI 製造についても化学・化学工学部門の後半で詳しく述べられているので, ここではふれない。

ホットアトム化学は, 1934年に L. Szilard と T. Chalmers によって最初に見出された核反跳効果に端を発しているが, この20年間では, ホットアトム効果を利用する数多くの RI 製造法の開発などに係わる応用研究と, チャージスペクトロメータなどを用いたホットアトムの挙動解析などの基礎的研究の発展が注目される。今後もさらに斬新なホットアトム効果を用いた RI 製造法の開発と, さらに詳細な各種のホットアトムの挙動解析が進められるものと期待される。

放射化分析では, この20年のかなり初期の時期にほぼ分析技術としては確立され, その後は放射化分析法の特徴を生かした種々の応用分析法の発展が注目される。放射化の手段としては, 原子炉の熱中性子だけでなく, 高速中性子の利用や加速器による放射化などの発展がみられた。今後は各種重イオンを用いるなど, さらに新しい手法を用いた各種の放射化分析法の開発されることが期待される。

一般に, 核化学関連分野では, 今後は重イオンを含めて多様な各種核反応の研究の進展が期待される。

アクチノイド(超ウラン)の化学

アクチノイド元素は, 20年前の1958年には102番元素(Ne)の発見をめぐって激しい論争が行われていた。しかし, その後アクチノイドの最終元素 103番(Lr)は1961年に見出され, さらにその後104, 105, 106番などの元素の発見が報ぜられ, アクチノイドから超アクチノイド元素へ製造研究の対象が移行した。この間, 従来米国のカリフォルニア大学の G. T. Seaborg らのほとんど独壇場の観のあった超ウラン元素の研究に対し, ソ連の G. N. Flerov らの研究がほぼ対等もしくはそれ以上の水準にまで追いついたことが注目される。ただ, わが国のこの分野での遅れは決定的である。学会会議がすでに数年前にその立ち遅れを強く警告し, この研究のために最小限必要な設備の設置を勧告したが全く実現していない。

現在, 世界的にはさらに原子番号の高い超重元素の製造が種々試みられている。

一方, 主としてアクチノイド元素について, その核的および化学的性質がかなり明らかになってきた。こ

れは米国を中心に行われた ^{252}Cf など超キュリウム元素の大量生産計画によって、これらの元素のマクロ量が得られるようになったことが大きく寄与している。この結果、アクチノイド元素の溶液化学的な性質はもちろん、固体化学的な性質についてもかなり明らかな知見が得られるようになった。これらについてはさらに活発な研究が展開されるものと期待されるが、わが国の寄与はほとんど期待できない現状である。超ウランの研究は、わが国にとって最も遅れの大きい分野であり、一部の研究者の努力にもかかわらず、20年間全くブランクであったといっても過言ではないほどである。今後、できるだけ速やかな充足を期待したい。

炉内化学反応

炉内での化学反応としては、原子炉による化学生産を目的とした放射線化学反応と、炉材料の両立性に関係する諸反応とがある。前者はいわゆる化学原子炉による化学生産であり、米国、西ドイツおよびわが国で研究が展開されたが、期待された成果は挙げなかった。しかし、わが国が展開した数少ない組織的研究として注目される。

後者は、高温高照射下での炉材料の化学反応(腐食反応)であり、いくつかの炉型において数多く経験されてきた。動力炉開発の初期では、水均質炉や液体金属燃料炉などいわゆる流体燃料炉の開発が試みられたが、これらの計画はいずれも材料の両立性の問題のため中止された。現在、動力炉として最も広く用いられている軽水炉では、燃料被覆管や冷却配管での腐食を経験している。これらの腐食現象は、炉材料の材質(加工履歴も含めて)と環境条件(温度、微量成分濃度、照射量、応力など)によって変化する複雑な現象である。実際には、それぞれの場合に適当な対策が講ぜられたが、炉内化学反応については、その基礎的な研究の充実が切実に期待される。軽水炉はほぼ完全な導入技術であり、わが国は材料の腐食などのトラブルに対応するための基礎データはほとんど持たなかったため、その対応に苦しんだ。しかしこれを契機として、材料の自主的な研究の必要性が認識されたのは喜ぶべきことである。特に今後の開発が予定されている高温ガス炉、高速炉あるいは核融合炉については、さらに高温、高照射下での材料の反応に関する知見を得ることが必要である。高温ガス炉などでは、材料の開発についてかなり積極的な姿勢がうかがえるが、より幅広い組織的な研究が今後必要である。

炉化学の今後の展望

ここで概観したのは、筆者の定義する炉化学のごく一部に過ぎないが、わが国の炉化学20年の歩みは必ずしも満足すべきものではない。もちろん一部の研究所や大学において特色のある研究成果は挙げられているが、わが国でのこの分野の組織的な研究はウラン濃縮など一部の分野を除いては甚だ弱体であり、原子力技術への寄与は極めて小さいように見える。これはわが国の原子力開発が導入技術に主として頼ってきたことと無縁ではない。しかし将来は、わが国のエネルギーの自立のためにも導入技術だけに頼ることは難しく、自主技術による開発が必要になるものと思われる。自主的な開発では、化学的な問題が最も解決の困難な問題であることは20年の原子力の開発の歴史の教えるところである。すなわち今後の原子炉開発は、炉化学の寄与如何によって決定されるといっても過言ではない。高温ガス炉、高速増殖炉さらには核融合炉までの今後の原子炉開発での多くの問題に対応できる基礎的な研究の充実を特に要望したい。(名大・内藤奎爾)

放射線化学

化学・化学工学部門の一部をなす放射線化学はまた放射線利用部門の一部をなしており、この放射線利用は核エネルギーの熱利用(狭い意味での原子力利用)と並んで原子力の車の両輪をなすはずのものである。しかし放射線(およびラジオアイソトープ)の化学利用、医学・生物学利用等の研究については本学会以外の場でとりあげられることが多く、放射線化学を「原子力研究」に入れることについて疑問視する向きもある。10年前の「本誌」の“原子力研究10年の歩み”にはとりあげられているが、その後も本学会での研究発表は依然として少ない。この点を考慮して研究面より実際応用面に重点をおいて20(+アルファ)年の動きを追ってみる。現在までの期間を大まかに1950年代、1960年代および1970年代の3期に分けることがわが国放射線化学の流れを見る上で便利であろう。

第 1 期

創生誕生の期であり学協会の時代ということもできる。本学会創立以前の1955～61年とすることができよう。

放射線化学の研究は、放射線源が身近に利用できる戦後になってから先進国で本格的に行われるようになった。わが国でも1955年放射線高分子研究懇談会(事務局 東大・雨宮研究室)がつくられたが、同年の第1回ジュネーブ会議ではまだわが国からの研究発表はなかった。

1956年、照射装置第1号として理化学研究所に設けられた ^{60}Co は僅か200 Ciのものであった。同年の第1回日本アイソトープ会議で放射線化学の3編の発表がなされた。海外からの情報の流入と国内大学・研究所における研究の進展に刺激され、産業界の関心が高まり約80社の協力で同年末(財)日本放射線高分子研究協会が設立され、翌年から翌々年にかけて大阪および東京の両研究所が開設され、1957年茨城県東海村に設けられた原研放射線応用部と並んで活発な研究活動を始めた。

放射線源をみると、1957年三菱電機により放射線化学用のバンデグラフ加速器第1号がつくられ、また翌年には原研放射線応用部に画期的な10,000 Ciの ^{60}Co 照射施設が完成した。この1958年には第1回放射線化学討論会が開かれ、また第2回ジュネーブ会議でわが国からも3編の放射線化学の論文が発表された。

産業界の積極的な動きに対応して1958年には原子力産業会議に放射線化学部会がつくられ、翌年には原子力委員会に放射線化学懇談会(翌1960年専門部会)がつくられ、国に対して放射線化学の中央研究機構の設立が強く要望され、これに基づいて国から原研に対しその準備が指示された(1961年)。

本学会はこの第1期の後半の時期に創立された。

第 2 期

成長展開期でありほぼ1962～71年の間としてよからう。高崎研の時代ということもあるいは許されるかもしれない。

第1期の5年にわたる原子力産業会議および原子力委員会放射線化学専門部会の検討要望が実を結び、1963年には中央研究機構としての高崎研究所が原研に設けられることとなった(準備室は1962年)。産業界が先

に設立した研究協会の東京研究所の研究員は逐次新研究所に吸収され、さらに1967年には残っていた大阪研究所も原研に移管されて高崎研究所の組織下に入り、協会はその目的を達成して11年の歴史を閉じることとなった。

産業界の強い要望を反映して高崎研究所は施設の増強に努めるとともに(現在加速器3+2(大阪)基、 ^{60}Co は国内最大の800,000 Ciを所有)、工業化のための研究として繊維のグラフト重合、エチレンの高重合、トリオキサンの重合およびプラスチックの改質の4プロジェクトについて中間規模試験(のち開発試験)を進め、新聞紙上等にもしばしば成果が報じられるようになった。試験研究にあたっては民間企業から多数の研究員を迎え入れ、また研究所の運営に関して産業界・学界を代表する学識経験者の意見をきく運営委員会をもち、中央研究機構として機能することに努めた。

1965年には放射線化学会が発足し、翌年から学会誌「放射線化学」の発刊を始めた。大学・原研等における研究の成果はこれら内外の学会誌に積極的に発表され始めた。

この間高崎研究所とフランス原子力庁との研究協力協定(1965年締結、以来両国交互で連絡委員会14回)、化学用原子炉等に関する米国・ブルクヘブン研究所との協力協定(1967年)、東南アジアを対象とするIAEA主催の放射線化学研修コースの開設(1970年)等、国際的にも注目される動きをした。現在またRCA食品照射研修センターの計画がある。

一方、企業における放射線の工業利用のさきがけをなしたものは、1964年の住友電工による電線絶縁材料ポリエチレン等の放射線架橋による改質であり、これは次の第3期にはその他の電線メーカー11社でも採用され、わが国における加速器利用の最大のものとなっている。

放射線照射による発泡ポリエチレンの製造研究が東レ、積水化学工業等で1966年完成し3年後には工場生産が始められ、この技術は米国、ヨーロッパへも輸出された。現在国内では放射線法1、化学法2の割合で生産が行われている。

食品を照射して殺菌、殺虫、発芽防止をして貯蔵流通の改善に資する計画が、じゃがいも、玉ねぎ、米、麦、ソーセージ、かまぼこおよびミカンの7品目について国内関連研究機関の分担のもとに原子力特定総合研究として1969年に始められた。高崎研担当の照射技術についてはミカンを除いて現在すべて完了している。

このような情勢を反映して1968年には放射線照射振興協会が科学技術庁の許可をうけて高崎研究所構内にひらかれ、照射の試験と普及の業務を始めた。さらに民間の照射サービス事業第1号として翌年には日本アイソトープ照射協同組合(栃木市, 現在 ^{60}Co 360,000Ci 所有)が発足した。対象としては先進国同様に医療器具の殺菌が過半を占めている。

第 3 期

1971, 72年より現在に至る時期であるが, その性格づけは難しく, ここでは仮りにプロセッシング拡大期と呼ぶ。

放射線と物質との物理化学的反応の研究, 放射線による水素製造・有機原料物質の合成の研究等の基礎研究から, 含フッ素エラストマーの開発, 高分子半透膜の開発, 塗料のキュアリング研究, 水性塗料の開発, 低温注形重合による有機ガラスの開発, 酵素の固定化研究, 原子炉内化学反応の研究, 等の応用研究まで広範な研究が進められている。

化学工業界では熱収縮性プラスチックチューブ・シート生産が1976年日東電工で始められたが, ただ米国のように食品の包装, 鋼管の防食被覆等に莫大な量が使われる段階にはない。このほか前期に基礎固めされたプロセスの普及拡大が進み, それに伴って加速器の普及も著しい。放射線源の増加(出力)は石油危機当時は別として年率平均30%に及んでおり盛況といつてよい。

食品照射では1972年に照射ジャがいもの市販が認められたが, 他品目については健全性試験が完了していないとして許可になっていない。ジャがいも専用の照射施設として北海道士幌農協は ^{60}Co 300,000 Ci により1973年以來30,000トン/年(3ヵ月)を発芽防止処理しており, これは世界最大の規模である。

また, 環境保全にかかわる研究として排煙, 排水, スラッジ等の照射処理研究が進められている。高崎研究所と荏原製作所の行なった共同基礎研究に基づき, 鉄鋼業窒素酸化物防除技術研究組合は新日鉄の若松焼結工場において排煙3,000 Nm^3/hr (アンモニアを1%添加)の1.5 Mrad 電子線照射1ヵ月連続運転試験を行い NO_x 80%, SO_2 95%を同時除去し, 稼働率も97%という好結果を得た(1977~78年)。ただ企業化の見通しをたてるためには, さらにスケールアップした工業化試験が必要であるという。

民間照射企業の第2としてラジエ工業(高崎市, 現

在 ^{60}Co 460,000 Ci 所有)が1973年照射を始め, さらに現在日本アイソトープ協会の1,500,000 Ci 医療器具殺菌専用施設の計画(滋賀県信楽町)も進められている。ただし, わが国の医療器具殺菌の大部分にはまだエチレンオキサイドガスが用いられている。

中心的研究機関である高崎研究所ではこれらの多面的情勢をふまえて, 1973年には高分子材料の研究開発以外の研究も積極的にとりあげることにし, それまで続けてきたテーマの大幅な改廃を行い, また翌年から定期的にテーマの中間評価を行なっている。さらに1977年には放射線利用技術の開発研究および核エネルギー生産システムに寄与する研究を含めた広い分野について, 長期構想をまとめ2000年に至る新路線を示した。

また, 従来の国際会議のほか新たに, 放射線プロセッシングとして広く問題をとらえその振興普及に資するための国際会議が日米英仏の関連学協会の共催で1976年プエルトリコ, 1978年マイアミシティーで開かれたが, 第3回を1980年日本で開催する動きがある。

展 望

全体として拡大傾向にはあるが, かつて成長展開期には金の卵を生む放射線化学とまでいわれたものが, ここ暫く(とくにわが国で)経済的に在来法にとって代わるだけの魅力あるプロセスの開発がなく, 化学工業界の不振と相まって国内産業界の意欲関心は一部を除き低調である。性急に工業化を志向するよりもこの際, 原点にかえて問題を見直してゆくことの必要性を説く人も多い。いずれの考え方をとるにせよ, 将来の30年史あるいは50年史に「放射線化学」の項目が生き残るか否かは関係者の今後の精進努力にかかっている。(原子力環境整備センター・石原健彦)

再 処 理

概 観

再処理の研究開発は, 1956年原研・動燃(当時原燃)の設立と同時に, これらの機関で着手された。再処理の方法として湿式法・乾式法の両方に関心が持たれ,

化学および工学の両面から研究開発が行われてきた。

湿式法では、主に溶媒抽出法に関心が持たれ、昭和30年(1955)代中ごろまではウランおよびトレーサー量の核分裂生成物を用い、各種溶媒の抽出機構、分配係数、溶媒損傷などの化学的研究が活発に行われた。しかしながら、昭和30年代後半にはこれら研究者のほとんどの関心は、核分裂生成物およびアクチノイドの放射化学的研究に移り、プロセス化学的な研究はかなり限られたものとなった。昭和40年(1965)代に入ると原研、その後動燃内にミニキサーセトラを備えたPu実験設備が整備され、原研の再処理試験計画の実施および動燃再処理工場の建設計画を背景に、Purex法ケミカルフローシート設計・改良に関する研究が積極的に行われ、これらの計画実施に貢献したほか、亜硝酸によるPu回収フローシート、Np回収フローシートなど、みるべき数多くの成果が得られている。

一方工学的研究の面では、1959年から原研で再処理試験計画と呼ばれる最小工学規模(50 kg/日)の再処理試験施設を設計・建設する計画が進められた。外部状況の変化による計画の変更やウラン試験結果による大幅な装置改造などを経て、1968年にJRR-3使用済み燃料を用いてホット試験に入り、約600 kgを処理して約300 gのPuが回収された。これらにより、わが国における再処理技術の基礎は固まったといえよう。この施設は、動燃工場要員の教育訓練に供せられた後1970年に閉鎖され、この後原研での再処理研究は乾式法に集中することになり、湿式法の研究は中止された。

昭和50年(1975)代に入り、動燃では動力炉開発の一環として高速炉燃料の再処理技術の研究開発に本格的に取り組むことになり、「もんじゅ」の再処理が必要となる昭和60年(1985)代の初めごろまでに高速実験炉および原型炉燃料の再処理が可能な施設を完成させることを目標に、関連研究開発が積極的に行われるようになった。この高速炉再処理技術の開発は国内自主技術によることを目指し、プロセスには技術達成度見通しの点からPurex法が選択された。研究施設として、ケミカルフローシートの開発・実証試験を行うための高レベル放射性物質研究施設および機器・システムの実規模工学試験を行うための工学試験棟の建設が予定されており、昭和50年(1975)代中ごろにはこれらの施設を使った研究開発が開始される予定である。また、再処理試験施設の設計と並行して現在、燃料体の機械的解体・せん断、Na不活性化、溶解、清澄化、抽出、Pu還元分離の各装置開発、ポロオキシデーション法、Iodox法の開発などが行われており、今後は金属廃棄物減容

処理、溶媒回収、遠隔保守などの技術開発の実施も計画されている。

工業化の面では、国内の再処理需要に対処するため、動燃で0.7トン/日の再処理工場を海外技術の導入により東海村に建設することになり、1966年にその詳細設計が仏国サンゴバン社に発注され1971年着工、74年完成、77年からホット試験が行われている。

このような技術開発のほかに、東大で再処理主要機器の最適制御法、抽出工程の最適設計などの理論的研究、遠心抽出器の実験的研究が行われている。

乾式法については、とくにフッ化物揮発法に関心もたれ、1958年から原研でこの化学的研究が開始された。昭和30年(1955)代後半には、塩化物揮発法の研究も行われたがPuの回収ができないことから間もなく中止された。昭和30年代後半から40年代前半にかけては、世界的にフッ化物揮発法への関心が高まり、原研でこの工学面からの研究にも着手されたが、プロセスの安定性・信頼性の面での不安が大きいことから、昭和50年代初めには、この工学的研究は中止された。この時期京大でもTh燃料を対象としたフッ化物揮発法の研究が行われた。現在のところ、乾式法の研究対象は主に、酸化揮発による使用済み燃料中からのトリチウム除去、再処理回収U・Puの製品転換(UO₂, UF₆, PuO₂, UO₂-PuO₂など)、多目的高温ガス炉燃料の前処理に向けられている。

このように過去20年を振り返ってみると、有望と考えられた乾式法の挫折、唯一の実用性のある再処理法としてのPurex法の地位確定、そのPurex法についても、経験豊かな海外技術によっても詳細設計に着手後10年以上たってようやくホットの試験に入ることができた現実をみて、再処理技術が如何に難しいものであるかを感じざるを得ない。

軽水炉を対象としたPurex法技術は、その基本技術は一応確立されているといえようが、関連廃棄物処理処分法は開発途上にあり、他の原子力施設と比べて環境への放射性物質の放出量が大きく、工場の運転実績も世界的にみてあまり得られていない。このために、一般住民にとって安全性への不安が大きく、国内におけるサイトの入手は極めて困難なものとなっているのが現状である。また最近では、再処理により回収されたPuの核兵器転用に対する国際的危惧が高まり、問題をより複雑なものとしている。

今後の展望

再処理分野の研究開発課題は、(1)軽水炉使用済み燃料を対象とした Purex 法技術の開発、(2)高速炉・高温ガス炉など新型炉使用済み燃料を対象とした Purex 法の適用、(3)乾式法など新しい再処理法の開発、(4) Th 燃料再処理技術の開発に分けることができる。

1. 軽水炉使用済み燃料を対象とした

Purex法の開発

軽水炉燃料再処理工場の規模は5トン/日程度が実用規模とされており、将来は需要の増大によってさらにこれを上回ることが予想される。それゆえ、動燃工場で提起されている問題に加えて、処理能力の増大に伴う問題が新たに加わってくる。これら軽水炉燃料の再処理に関連して今後とも取り組まれるべき研究開発課題は、以下の通りである。

①工場運転経験の蓄積、②製品転換技術の開発実証、③放射性物質放出量の低減化(ヨウ素, ^{85}Kr , ^3H などの捕集・固定化)、④廃棄物発生量の低減化(塩フリープロセスの開発)、⑤臨界安全形状寸法装置の処理能力増大(抽出塔、脱硝塔など)、⑥被曝線量の低減化(遠隔保守技術の開発)、⑦運転の自動化・省力化(使用済み燃料取扱い、インライン分析など)、⑧保障措施技術の開発(計量管理、閉じ込め・監視システム・機器)、⑨核不拡散性技術の開発(混合抽出・転換、部分除染など)、⑩安全性実証(火災・化学爆発など)。

2. 高速炉・高温ガス炉など新型燃料再処理への

Purex法の適用

高速炉の使用済み燃料は、軽水炉のそれと比べて、燃料形状、Na 同伴、高燃焼度、高 Pu 含有量、短冷却時間などの相違がある。このために、燃料のせん断、Na不活性化、溶解不溶性残渣の存在、溶媒の放射線損傷、Pu 取扱い上の臨界安全性、ヨウ素除去などの問題がより顕著となる。また、高温ガス炉の場合は、炭素・炭化ケイ素などで多層に被覆された粒子燃料が使用されるため、軽水炉・高速炉とは異なった前処理法の開発が必要となる。

3. 乾式法など新しい再処理法の開発

乾式法の欠点の一つとして除染係数が低いことが挙げられていたが、最近核拡散防止の観点からこれが逆に利点とされ、乾式法に再び関心が持たれてきている。安定性の優れたプロセスが見出されれば、将来実用化の可能性は十分にある。

4. トリウム燃料の再処理技術の開発

将来の Th サイクルの導入に備え、この再処理技術の開発も重要である。わが国はエネルギー資源に乏しく、使用済み燃料は再処理し、回収した U, Pu を再使用することは不可欠である。このために、今後わが国において再処理を中心とした核燃料サイクルを確立していくことが最も重要な国の方針の一つとなっている。これを実現していくには、さきに述べた研究開発課題に取り組み、これを解決していくことが必要となる。これには、海外との技術格差が極めて大きいわが国の置かれた現状からみて、先進海外技術を積極的に活用していくことは不可避であろうが、基本的には日本の地域的特殊性を考えて自主的に現状技術を評価し、必要ならば未知の技術をも主体的に開発していくだけの姿勢と能力を身につけることが必須であろう。現在のわが国の再処理技術体制は、これら多くの課題に対応していくにはあまりにも弱体であるといわざるを得ないが、自主開発の芽を育て、得られた成果は積極的に活用していくことによって、再処理研究の今後の展望が開けてくるであろう。(三菱金属・八木英二)

廃棄物処理

放射性廃棄物は、本学会の創立以前から、わが国では発生していた。それはラジオアイソトープの利用から発生したものであり、創立の前年に障害防止法、原子炉規制法が制定されてはいたが、本格的な放射性廃棄物対策はまだ存在していなかった。むしろ必要とする段階ではなかったといえよう。

学会創立の1958年は、最初の本格的施設として、原研東海研究所の放射性廃棄物処理施設の建設が開始された年である。それ以降20年間は、次のように3大別されよう。

第1期(1958~1965年)

この期間には、原研の JRR-2~4, JPDR, 京都大学の KUR, 放射線医学総合研究所等、各種研究開発施設の整備が図られ、これらの施設からの放射性廃棄物を対象とした処理施設が設置された。これらの処理施設は、それ自体が研究開発的な性格を帯びており、対象とする放射性廃棄物の質および量の推定、処理プロセ

スの選定等はわが国での実績がないので、海外先進国の資料に頼って行われた。このような時期にあたって、原子力委員会は廃棄物処理専門部会を1961年に設置して放射性廃棄物の処理処分に関する基本的考え方を審議させた。この部会は、1964年に基本的考え方とともに発生量の推定、研究開発等について報告した。

1963, 64年には、(財)放射性同位元素協会が障害防止法上の廃棄業者の資格を取得して、全国的な集荷網と貯蔵所とを設置したこと、また原研の再処理試験施設に関連して高レベル廃棄物に関する検討および貯蔵施設の建設が行われたことなどが特筆される。

第2期(1966～1971年)

この期間は、原電の東海1号炉に始まり同社の敦賀炉、関電美浜1号炉を経て、東電福島1号炉に至る先駆的な発電炉が稼動した時期である。

放射性廃棄物の面では、これら先駆的な発電炉の設置に伴って、それぞれに処理施設が設けられた。しかし、気体および液体の形での環境放出についてわが国の状況に適合するよう考慮は払われたが、基本的には導入した思想に基づくものであり、次の第3期において改善や増強を必要とするようになった。

一方、研究開発機関の廃棄物処理においては、ようやく自らの資料や解析によって処理施設の計画ができる段階となり、国外の資料等は補助的なものとなった。

JMTRを主発生源とする原研大洗研究所の処理施設(1968～1971年)がその例である。また1966年、原研が障害防止法上の廃棄業者の地位を得て、放射性同位元素協会が集荷した放射性廃棄物の処理を開始したのもこの段階である。

1969年設置された原子力局の放射性固体廃棄物処理処分検討会が、低レベル廃棄物の海洋投棄を4候補海域と共に提案した時点(1971年)で第2期は終わる。

第3期(1972年～現在)

原子力委員会の環境・安全専門部会の設置、資源エネルギー庁の設置、OECD Nuclear Energy Agencyへの加盟などに始まるこの期間には、発電炉および再処理等の本格化に伴い、それらに付設する放射性廃棄物処理施設が、わが国情に適するよう配慮されるようになってきた。1975年に軽水炉に対する環境放出放射能による周辺公衆への線量目標値の設定にみられるようなALAP原則の適用と共に、放射性固体廃棄物のサイト内蓄積量の増大に対して関心が払われるようになってきた。

固体および固化廃棄物対策として、低レベル放射性廃棄物に対しては、海洋投棄と陸地処分が検討されている。国内的には前記検討会の報告に基づいて候補海域の調査が実施され、また上記専門部会の固体廃棄物分科会において、試験的海洋処分用セメント均一固化パッケージの暫定指針、海洋処分の安全評価方針、陸地処分施設指針等が1973年に提案された。また国際的には、Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter(ロンドン条約、1972年)への調印(1973年)等が行われた。一方高レベル廃棄物に関しても検討が進められ、原子力産業会議の核分裂生成物等総合対策懇談会において、群分離-消滅処理が採り上げられ(1973年)、また石油危機を契機に創立されたInternational Energy Agency(1974年)の長期研究開発項目として、放射性廃棄物管理が特に高レベル廃棄物の処分に重点をおいて組み込まれることになり、日本もこれに参加した(1974年)。

1975年に設けられた原子力委員会の放射性廃棄物対策技術専門部会では、このような状勢を受けて、次の検討を進めた。すなわち、安全評価分科会では原子力安全局が作成した海洋処分の環境安全評価書の検討を、研究開発分科会では低レベルおよび高レベル廃棄

表1 IAEA が主催、共催した放射性廃棄物管理に関する主な会議

開催年	テーマ	開催地
1959	Disposal of Radioactive Wastes	Monaco
1962	Treatment and Storage of High-Level Radioactive Wastes	Vienna
1965	Practices in the Treatment of Low- and Intermediate-Level Radioactive Wastes	Vienna
1966	Disposal of Radioactive Wastes into Seas, Oceans and Surface Waters	Vienna
1967	Disposal of Radioactive Wastes into the Ground	Vienna
1968	Treatment of Airborne Radioactive Wastes	New York
1970	Management of Low- and Intermediate-Level Radioactive Wastes	Aix-en-Provence
1972	Management of Radioactive Wastes from Fuel Reprocessing	Paris
1976	Management of Radioactive Wastes from the Nuclear Fuel Cycle	Vienna

物の管理に関する計画立案を、基準分科会では廃棄の技術的基準の検討を、それぞれ行なっている。

1976年10月8日、原子力委員会は「放射性廃棄物対策について」を決定し、考え方、目標および推進方策を示した。そして10月21日には、(財)原子力環境整備センターが設立され、長期保管および処分の一元的実施体制への第一歩が踏み出された。

研究開発機関にあっては、Pu 燃料の製造加工、高速増殖炉の設置、照射後試験等の段階に入り、Pu を含む廃棄物の対策を考慮した処理施設が、大洗、東海両地区において具体化されつつある。

以上の3段階を通じ、わが国での放射性廃棄物管理(Radioactive Waste Management)に関する研究開発は精力的に行われ、その成果は国内外で発表されて注目を集めつつある。表1にIAEAが開催した主な会議を示した。

また、IAEAのTechnical Report Series No. 87, "Design and Operation of Evaporators for Radioactivity Wastes" (1968年)は、わが国で執筆されたものであることも特記に値する。

以上概観したように、わが国の放射性廃棄物対策は、原子力開発の進展あるいは高度化に追随して大きな支障をもたらすことなく対処してきたといえよう。一般工業水準の高いこともあって、放射性廃棄物の区分や減容濃縮の面では世界の水準に達しており、細心の配慮を含めた運営面においては、高度の成績を示していることは環境放出量の著しい低減化にも現われている。しかし国際的な視野からは、放射性廃棄物の発生から処分までの体系を確立するという観点から、種々不十分な点のあることを指摘しなければならない。管理体系の目標の把握設定、発生源対策、固体および固化廃棄物の隔離(長期貯蔵と処分)、責任体制や費用負担等の社会的に公衆の安全確保を長期的に確保する制度の確立等の面において、バランスの採れた体系の必要性への認識がまだ不十分である。この意味では、放射性廃棄物管理について体系的な認識を持つ人材の養成が最も欠けている点であるかもしれない。現状から、近い将来、遠い将来へと連続した時系列の中で、戦略を考えることが今後必要であろう。

低レベル廃棄物については、海洋処分が試験的投棄の段階に入ろうとしており、やや遅れて陸地処分の実施へと計画されている。高レベル廃棄物については、今後10年程度のうちに固化および工学貯蔵の、今世紀末に隔離の、それぞれ実証試験が想定されており、今

後の放射性廃棄物の管理には大規模な研究開発努力が必要とされる。

原子力発電規模が世界第2位となったわが国は、その自然的環境、社会的条件からも、また学問水準、技術水準、経済的能力からも、放射性廃棄物管理の面において、先駆的な役割を果すことが国際的にも期待されている。(日揮・阪田貞弘)

同位体分離

現時点で産業的規模で工学的に意義のある同位体分離はウラン同位体分離である「ウラン濃縮」と水素同位体分離である「重水製造」である。しかも、両者とも産業的規模は極めて大きく原子力産業における主要産業の一つと目されている。そして、さらに近い将来、同じ水素同位体分離であるトリチウム同位体分離のかなりの規模での発展が見込まれている。しかし、ウランおよび水素同位体分離以外に特に産業規模で発展が見込まれる同位体分離は現時点では見当らず、将来もあまり期待できない。若干関心の持ち得るものとしてリチウム、ホウ素等が挙げられるが、量的にも大したことはなく、特に産業と呼び得るほどのものへの発展の可能性はほとんどない。

同位体分離を産業としてみる場合、もっとも重い元素であるウランと、もっとも軽い元素である水素にほとんどの関心が集中されていることは特徴的である。そして、両者とも本質的な基本現象としては同じ同位体分離でありながら、質量数の大きな隔りから工学的に有意な実際的な分離法としては学術的にも技術的にもほとんど共通点はなく、むしろ基本的に異質な分離技術となっている。

一方、同位体分離を熱力学的エネルギー効率の立場でみると、実際的な分離法が桁はずれに低いエネルギー効率のもとで行われている場合が多いことも同位体分離の大きな特徴である。このことは理論的にエネルギー効率の飛躍的向上の可能性をもつ分離法の開拓と、その技術的可能性の工学的追求の課題が原理的に残されていることを意味する。

よって、同位体分離の分野における研究はその目的意識から、具体的目標としてウラン濃縮を直接的に志向するもの、水素同位体分離を直接的に志向するもの、直接的に志向しないまでも前2者の目標を強く意

識しているもの、およびその他のものの4つに分けられる。その他のものとしては、特に具体的な目標に結びつくことなく同位体分離法自身の理学的あるいは工学的な基礎研究と目されるもの、ウラン、水素以外の特定の同位体分離法として意義の高い分離法の開発研究と目されるもの、および同位体分離というよりはむしろ分子論的な力学パラメータの実験的研究とみなされるものがある。

さらに性格的には、実用的な同位体分離法の工学的技術開発と直接結びつく極めて実際性の高いものと、理論的可能性の追求の立場をとる基礎理学的なものとの分けられ、両者がかなり明確に区別されるものこの分野の研究の特徴である。

実用的研究においても基礎的研究においても、産業的意義のもっとも高いウラン濃縮を志向しているものが当然もっとも多く、特に実用的研究としては、わが国においてナショナルプロジェクトとして精力的に研究開発が進められたガス遠心分離法に関するものが多い。1959年に原子力平和利用委託研究として始められたガス遠心分離ウラン濃縮法の研究開発はちょうど20年の歳月を経て、一応パイロットプラントの建設という現実的な成果と実績を挙げるに至っている。その間、同研究開発を支えて推進するに大いに貢献したかなり多くの研究成果が報告されている。これらは純粋に工学的な目的研究的立場に徹して行われているものが多く、地味ながら着実かつ直接的な寄与において十分に評価され得るものである。ガス拡散法、ノズル分離法に関する研究成果も多く報告されており、かなりの水準の成果を挙げているが、結果的には、これらの方法がプロジェクトとして採用されなかったこともあって、研究意欲は漸次落ち込んでいってしまっている。ここに実用的研究のもろさというものが感じられる。プロジェクトへの採用、不採用がその決定段階では必ずしもそれらの研究成果のみを純粋に学術的に評価して行われたとはいえず、決定後の両者の命運は正に決定的である。

一方、ウラン濃縮を志向した基礎的研究としては、息長く執拗に研究が続けられている化学分離法が特筆に値する。平衡分離過程であることからエネルギー効率が高く、液相操作であることからフッ化物ガスが不要かつ高濃縮への適用不可などの本質的長所が魅力であるこの方法は、現時点ではすでに実用工学研究の段階に入っており、他の実用濃縮法との経済性の比較が工業的に有意な条件下で行い得るまでの進展をみせている。しかし、それが完全に優位に立つためには、

今後さらにいくつかの飛躍的進展が必要であり、特に最大の魅力であるエネルギー効率の飛躍的向上の利点を十分に活かし得るための根本的な工夫が必要と思われる。

また、レーザー同位体分離によるウラン濃縮研究も近時盛んに行われている。個別分離過程であるがゆえに分離度が高く、1回の工程で十分に所定の製品濃度が得られること、分離基礎過程における所要エネルギーが極めて僅少であることから高いエネルギー効率が期待できることを特長とするこの方法も、すでに基礎理学的研究段階を経て実用化基礎工学的研究に向っている。ここで、この方法は個別分離過程であるがゆえのもう一つの基本的特質である、操作が分子あるいは原子個体レベルの処理となることに由来するいくつかの工学的困難性を克服しなければならないが、これらに関してはかなり厳しい評価判断も一方ではあり、今後の開発研究の進展はかかる工学的困難性の評価指摘に直接的に答えるかたちで行われる必要がある。その研究計画の妥当性は十分に吟味されねばならない。

水素同位体分離については、重水製造の立場では、わが国においてはその需要度が必ずしも明確でなかったこと、および確立された経済性の高い技術としての硫化水素-水二重温度交換法GSプロセスの存在が大きかったことなどから、ウラン濃縮に比べて格段に関心が低かったが、近時トリチウム分離に関する需要が見込まれるようになって、にわかに関心が高まってきた。トリチウム同位体分離は、将来的には核融合炉燃料としてのトリチウムの濃縮および回収技術として関心が持たれているが、当面はむしろ核分裂炉および同使用済み燃料再処理施設よりの排ガス、排水中の放射性核種としてのトリチウムの分離除去および重水炉重水中のトリチウムの分離除去技術として重要である。

同位体分離の立場でみるときは、重水素の分離もトリチウムの分離も分離機構上は基本的に同等とみなされるが、実際的な工業規模でのプラントを考える場合には、トリチウムが放射性核種であるための考慮が当然必要である。特に安全性にかかわる評価は大きく異なることも考えられる。例えば、爆発規模での事故はトリチウム分離施設においては絶対に許されず、その可能性のある分離法の評価はトリチウムと重水素で大きく異なることになる。

GSプロセスに代わり得る重水製造法としては、水-水素交換法がもっとも関心が深く、特にわが国においては環境保全の立場から毒性の強い硫化水素を大量に使用するGSプロセスのプラント建設はほとんど不可

能と考えられていることから、その関心は特に強い。この方法のすべては触媒の性能如何にかかっており、その開発研究が精力的に進められている。近時、疎水性触媒の開発によりその性能に飛躍的な向上がみられたが、経済性の確立にはさらに一段の進展が必要である。次いで、水素、水蒸留法については、水素蒸留法は分離性能の点からはGSプロセスにまさりながら極低温高圧液体水素を大量に扱う技術の困難性は現時点でも変わらず、水蒸留法はその低い分離効率を向上させる技術の進展は特にみられず、ともに重水製造法としての有利な発展はない。

トリチウム同位体分離は重水製造と違って対象濃度および処理量の範囲が多様であり、経済的に適当な方法はそれらの条件により異なることも考えられるが、大量処理の場合はおおむね重水製造と同等と考えてよい。しかし、高圧水素を大量に扱う方式は、地震等のいかなる災害時にもプラントの絶対安全を保証しなければならない立場からは著しく不利であり、この立場からは水蒸留法は極めて有利である。しかし、トリチウム同位体分離法の諸種条件下における総合的比較評価を行うための基礎工学的な研究成果はほとんどみられず、この方向の研究の進展が強く望まれる。

同位体分離プラント設計の基盤となるカスケード理論の研究は、そのほとんどが遠心分離機によるウラン濃縮プラント設計の立場で行われており、非微小分離係数の厳密なカスケード理論が対称分離および非対称分離工程についてほとんど確立されている。この分野における研究が大きな成果を得ているのは、それが純粋に理論研究であり得たことに基因しているといえる。

その他、熱拡散法、電気泳動法、質量拡散法などの研究が分離法の性能解析の立場で行われている。

概して、同位体分離の研究は実学的であり、それが分離法の研究である限りは、明確な目的意識と工学的な位置づけのもとで行われる必要があり、それなくしては学術的にも、実際的にもその研究の意義を見出すことはほとんど困難であることが、同位体分離研究のもっとも大きな特質である。(名大・金川 昭)

RI の製造と利用

わが国のラジオアイソトープ(RI)の利用の歴史は、

1937年から理化学研究所でサイクロトロンによって製造した ^{14}C 、 ^{13}N 、 ^{24}Na 、 ^{32}P などがトレーサーとして生物学の研究に利用され、戦争の激化によって中断されるまで数年間にわたっていくつかの先駆的な業績を挙げたことに始まる。戦後は1950年4月に ^{125}Sb が初めて米国から輸入され、引き続いて各種のRIが輸入されるようになって、本格的なRI利用が始められた。当初は利用が医学と理化学の分野に制限され工業利用は禁止されていたが、1951年からはこの制限も撤廃され、わが国のアイソトープ利用は急速に進展した。早くも1951年5月、ひろくRIの研究者、利用者の参加をもとめて日本放射性同位元素協会(現・日本アイソトープ協会)が発足したことは、その後今日までの理工学、医学、農学などの分野でのRIの利用の普及と発展に大きな寄与を果した。

1956年に日本原子力研究所が設立されるに当たって、原子炉によるRIの国産化が重点目標の一つとされた。原研は原子炉によるRIの製造を計画するための基本方針として次の3項目をかかげた。

- (1) 特に需要の多い ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{131}I 、 ^{198}Au などと、短寿命で輸入の困難な ^{24}Na 、 ^{42}K 、 ^{82}Br などの製造を優先する。
- (2) 品質はすでに輸入されている外国製品と同等またはそれ以上のものとする。
- (3) できるだけわが国の実情に即した独自の技術を開発する。

1957年12月、原研のラジオアイソトープ製造研究室において、JRR-1によって ^{24}Na 、 ^{42}K 、 ^{56}Mn 、 ^{65}Cu 、 ^{76}As 、 ^{82}Br 、 ^{198}Au などの製造実験が開始された。1959年には ^{35}S 50 mCiが初めて配布された。1961年3月にはRI試験製造工場が完成し、1962年には ^{24}Na 、 ^{32}P 、 ^{42}K 、 ^{64}Cu 、 ^{82}Br 、 ^{132}Cs および ^{198}Au の7核種、計612 mCiを初めて有償頒布して131万円の収入をあげた。なお、これらのうち ^{132}Cs はリニアックで製造した特殊なRIで、米国などに輸出されて高く評価された。1964年には平屋建2,900 m^2 のRI製造施設が竣工し、1966年には内装工事が完了した。また原子炉の整備も進んで、JRR-2が1964年から、JRR-3が1966年から、さらにJMTRが1970年からそれぞれRIの製造に利用されるようになった。これらの情勢を踏まえて、1965年2月、原研に“アイソトープのゆりかごから墓場まで”をモットーとして、RIの製造、頒布、輸入、RI利用技術の開発、RI技術者の養成、放射性廃棄物の処理の受託などを行うアイソトープ事業部が設置された。

1967年には、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{131}I 、 ^{198}Au など大需要核種の量

産体制が整備され、またホットアトム効果を利用した高比放射能の ^{32}P および ^{51}Cr が製品化されるとともに、 $2\text{mm}\phi\times 2\text{mm}$ 、 10Ci のラジオグラフィ用 ^{192}Ir 線源の頒布も開始された。線源についてはその後1973年、 ^{192}Ir の 100Ci 線源がJMTRによって製造されるようになった。

さらに最近では、食塩電解槽水銀の計量用の ^{197}Hg 、ラドンシードに代わる ^{198}Au グレイン医療用線源などが開発された。また、診断用RIとして急激に需要の増加している ^{99}Mo については、 ^{235}U の核分裂生成物から溶媒抽出によって無担体で製造する技術の開発を進め、1977年7月、1回 10Ci 規模の製造に成功した。この場合、1回の製造で約 $1,000\text{Ci}$ の核分裂生成物を取り扱い、I, Xe, Krなど揮発性のRIを安全に処理する必要がある。

このように原研では、20年間のたゆみない努力によって、精製RI 22核種、線源RI 4品目および有機標識化合物を生産するようになり、その中にはホットアトム効果を利用した高比放射能の ^{32}P 、 ^{51}Cr 、 ^{64}Cu など他に類を見ない独自の製品や、電解槽水銀計量用の ^{197}Hg や航空機の非破壊検査用の ^{197}Ir 線源など、利用者と密接に協力して開発したRIが少なくない。これら原研のRIの製造技術の開発に対して、1977年4月第9回学会賞「特賞」が贈られた。

しかしながら、わが国で使用されているRIのうち、原研の製造したものの占める割合は決して大きくない。1977年度に日本アイソトープ協会で配分されたRIのうち、 ^{60}Co (52万Ci)、 ^{137}Cs (3,436Ci)、 ^{241}Am (80Ci)、 ^{147}Pm (4,700Ci)、 ^3T (790Ci)、 ^{131}I (140Ci)、 ^{99}Mo (1,500Ci)などはすべてが輸入品で、原研の製品は ^{192}Ir 、 ^{198}Au 、 ^{32}P 、 ^{85}Sr 、 ^{42}K 、 ^{24}Na 、 ^{64}Cu などを数えるにすぎない。輸入RIのうち ^{137}Cs 、 ^{147}Pm 、 ^{241}Am は再処理廃液から回収されるものであり、 ^3T はその国産化が今後の課題となっているので輸入されるのが当然であるが、 ^{60}Co は大量製造の体制が確立しているカナダなどより割高なので、 ^{131}I は安定した定常供給を行うことができないため、また ^{99}Mo は製造量と年間の製造回数が少ないため、製造技術は確立されているにもかかわらず外国製品と競合できない状況にある。

原研がRIの製造頒布を本格化した1960年代半ばには、わが国はすでに外国産RIの有力な市場として既成の機関や企業の利害が錯綜しており、その間隙をぬう形で国産RIの頒布を進めるのは容易ではなかった。この過程で、原研の業務はRIの1次製品の製造に限定されることとなった。また、利用に対しても外

国技術の影響が大きく、利用技術の開発と密着した形で製造技術を開発していくことは、上記の ^{192}Ir 線源や ^{197}Hg など少数の例外を除いて困難であった。さらに、わが国の原子力開発の歴史は先進諸国に比べて浅く、少数の研究炉、試験炉が動力炉の開発から基礎研究や技術者の養成にいたる幅広い目的に使用されており、RI製造として必要な設備や運転上の要求が必ずしも十分に満たされない。その上、研究開発を主目的とした国家的な研究機関が、毎週一定の曜日の一定の時刻までに一定の質と量のRIを確実に届けなければ成り立たないRIの製造頒布事業を遂行するのは決して簡単なことではない。

原子力開発利用長期計画にみられるRI製造に関する国の方針も、1961年の「アイソトープの大半を1965～70年に国産化する」から1967年の「原研中心に長期安定的生産を図る。長期的に採算性を志向し、可能なかぎり国産化を図る」を経て、1972年の「短寿命、特殊RIは原研および国内機関で供給し、広く一般に普及している核種については経済ベースでの供給を、さらに長期的には民間企業で商業ベースでの供給を期待する」に至るまで目まぐるしいまでの変化をみせている。

1977年10月末わが国の ^{99}Mo や ^{192}Ir の大半を供給していた米国のGETRがNRCによって運転停止を命ぜられたため、わが国のRIの需給が一時混乱した。これを端緒としてRIの国産化が改めて問題となったが、上記の多くの問題点を克服して実現可能なRIの国産化の方策を樹立するのは容易ではない。

加速器によるRIの製造は、戦後1958年再建された理化学研究所のサイクロトロンによる ^{24}Na 、 ^{42}K など短寿命核種の製造供給が小規模に行われたのみで中断されていたが、最近理化学研究所、放射線医学総合研究所、東京大学医科学研究所などのサイクロトロンによって中性子欠損核種の製造と利用の研究が行われるようになり、1974年、日本メジフィジックス社が ^{67}Ga 、 ^{111}In 、 ^{123}I 、 ^{201}Tl など診断用RIのサイクロトロンによる商業生産を開始した。その後、これらの核種の需要は順調に伸展しており、第2号サイクロトロンの設置されるのも遠い将来ではないと考えられている。

一方、利用の進展は大きな問題もなく概して順調であった。医学利用では1958年10月、大日本製薬(株)が放射性医薬品の輸入を開始し、同年12月には同社によってヨウ化ナトリウム- ^{131}I が放射性医薬品として初めて製造された。1959年には放射性医薬品の一部が薬価基準に収載され、放射性医薬品による診療に初めて健康保険が適用された。1962年には(株)ダイナボット・ラジ

オアイソトープ研究所がわが国最初の放射性医薬品専業会社として発足した。1970年代に入ると、それまで医学利用の主流を占めていた ^{131}I と ^{198}Au に代わって、 ^{99}Mo の娘核種である $^{99\text{m}}\text{Tc}$ が利用されるようになった。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ は各種の標識体として多くの臓器の診断に用いられており、シンチカメラなど測定機器の進歩によって急速に普及した。わが国の放射性医薬品の市場はすでに100億円の規模に達している。今後は加速器で製造される中性子欠損核種による診断と、大型加速器による速中性子、重粒子、中間子などによる治療が発展するものと期待されている。

理工学分野でのRIは、研究機関ではトレーサーとして、工業では厚さ計、密度計、レベル計、ガスクロマトグラフ、非破壊検査装置などのRI装備機器として利用されている。最近では ^{252}Cf の中性子源としての利用技術の開発が進められている。

1956年3月第1回が開催された「日本アイソトープ会議」は、RIに関する研究発表の場として重要な役割を果たした。しかし、その後日本アイソトープ協会による「理工学における同位元素研究発表会」の開催(1964年以降)、本学会における発表等の情勢の変化により、その性格を転換してきた。(原研・阿部俊彦)

4. 保健物理

内部被曝

内部被曝管理が重要視される理由

放射線管理は、人体の被曝形式の観点から、外部被曝管理と内部被曝管理とに分けられる。内部被曝管理が重視される理由には、技術的視点からのものと社会的視点からのものがある。まず、前者から述べる。

内部被曝管理が重視されなければならない第1の理由は、人体内に入って臓器・組織に沈着した放射性物質を体外に排泄・除去する積極的な有効手段はないということである。いい過ぎであるという批判があるとするれば、実用手段として使える医学的処置法はないといえる。

第2の理由は、外部被曝管理の場合に使われている個人被曝線量計、すなわち個人モニタ(フィルム・バッジ、ポケット線量計、TLDなど)のような簡便な線量計がないということである。

第3の理由は、体内に入った放射性物質による人体の被曝線量を測定・評価するには、高度な技術と知識を必要とするし、それを使って求められたとしても、外部被曝の場合に比べると、その値の精度はかなり悪いという点である。

以上挙げた3点を技術的視点からの理由とすれば、

以下の3点は社会的視点からの理由といえる。

第1は、体内に放射性物質が存在するということは、その量のいかんにかかわらず、心理的不安感を抱かせるに十分な根拠となり得る。

第2は、内部被曝とくに内部被曝管理について正しく、適切な知識を持った人が非常に少ないという点である。放射線管理の専門家といえども例外ではない。まして、専門外の人の場合はなおさらである。また、内部被曝についての知識を持ち合わせる人はいても、内部被曝管理について語ることのできる人は少なく、この両者の違いの理解にすら欠ける者が多い。

第3は、上記の2つの点に関連することであるが、世間一般に放射線・原子力利用の危険性を主張するための論拠としては、内部被曝の問題は格好の材料であり、話題である。

ヒューマン・カウンタをめぐる

わが国におけるヒューマン・カウンタの第1号機は原研保健物理部において設計・建設されたものである。この種の装置に対する一般の認識と理解がほとんどなかった当時において、この建設・製作の直接担当者は予算の獲得などに並々ならぬ苦勞をし、ほとんどの部分が彼らの手によって組み立てられた。その経験は、その後国内各所に建設されたヒューマン・カウンタにいろいろの面で貢献をした。特筆に値することである。

第2号機は、放医研に設置されたものである。これ

は、大型の本格的な規模のヒューマン・カウンタであったこと、国立研究機関に設置された最初のものであったことの2点で注目される。また、全身放射能測定に対する学界などでの関心が芽生え始めたのもこのころからである。

放医研につづいて東大に、大学としては最初のヒューマン・カウンタが原子力教育研究設備の一つとして建設された。予算当局の理解を得るのに意外に年月を要し、計画開始から完成まで足かけ7年を費やした。放射線管理の目的で用いられる現場のヒューマン・カウンタの開発に役立つことを主要目標として設計された。原子力発電所における実務型ヒューマン・カウンタの第1号機である敦賀発電所のものは、東大ヒューマン・カウンタの経験を基として作られ、これが国内の原子力発電所のヒューマン・カウンタの基本型となった。

現在、研究教育機関における大型ヒューマン・カウンタは、京大、長崎大、広島大、千葉大等にあるが、放射線管理あるいは保健物理の視点から注目され、かつ最も装置としての機能を発揮、活躍しているのは、原子力発電所におけるものである。

ヒューマン・カウンタに対する呼び方には、大別して3つある。①ヒューマン・カウンタ、②全身放射能測定装置(Whole Body Counter)、③全身モニタ(Whole Body Monitor)である。ヒューマン・カウンタはわが国特有の呼び方である。これらの呼び方の違いは、いかなる目的でこれを用いるかの違いを示しているという観点から興味がある。

ヒューマン・カウンタについての今後の問題として、次の3点を指摘しておく。

第1は、目的を明確に意識して装置を設計・製作する必要があるということである。このことは、ヒューマン・カウンタについて議論する場合にもあてはまる。この点から、前述した呼び方の違いにも改めて心にとめるべきである。

第2は、装置の開発、新しい装置の工夫・製作よりも、装置の使い方に関する研究と理念の整理が必要であるということである。現場において放射線管理の目的で用いられる場合には、とくにこのことが大切である。

第3は、大型の本格的ヒューマン・カウンタの国内での地理的分布を検討する必要があるという点である。関東以北には皆無、四国にも1台もない。九州は長崎大の1台のみである。放射性物質による身体汚染をもたらす、精密測定を必要とする事態はいろいろの

形で、いろいろの地域で起り得る。その点を考えると、現状はいささか心もとない。

バイオアッセイをめぐって

放射線管理に関連する排泄物中の放射能測定の実務と、それに関する研究に本格的に着手したのも原研が最初である。ヒューマン・カウンタによる体内放射性物質の測定の実用化と普及の見通しが必ずしも楽観を許さなかったため、排泄物の測定、いわゆるバイオアッセイによせられた期待は大きかった。

当初この種の系統的研究は実質的には原研の保健物理部におけるスタッフのみが行っていた。尿中放射性物質の測定のルーティン化を目指した沈殿法の開発、糞の前処理としての灰化法の実用化などへの努力は、派手な原子力開発・利用の陰にかくれた地味な仕事ではあったが、人々の安全を確保するために不可欠であった。医学領域の人間ですら心理的に尻込みするこの種の仕事を、理工系のスタッフを中心に推進しつづけた原研における直接担当者の努力は銘記されるべきであろう。

尿中の放射性物質の測定を日常業務として本格的に最初に実施したのは、東海発電所である。被検対象者と測定試料数の多いという現実的条件から、当時の技術的水準としてはユニークな方法でグロース・ガンマ測定を採用し、担当者が尿の測定に専任となるという形をとった。ヒューマン・カウンタの使用が夢物語である当時としては他に選択の余地はなかった。華々しい本邦第1号の商業用原子力発電所のなかで、労働者の尿を日夜測定していたという事実を知る人は極めて少ないであろう。しかし、ヒューマン・カウンタによる測定に主役の座を譲り渡すまで、尿測定はまさに内部被曝管理の主要業務であり、それによって得られた永年の経験と情報は極めて貴重であった。

ヒューマン・カウンタの実務への導入によって、尿(および糞)の測定はある意味で、その歴史的役割をおえた感があった。しかし、Puを取り扱う作業が国内で本格的に開始される見通しが立つに至ってから、尿測定の重要性が再び認識されるようになった。体内のPuの測定には、従来のヒューマン・カウンタは実質的には無力である。Pu取扱いは今後とも国内の一部の特殊事業所(動燃など)に限られるので、主にそれらの機関で開発が進められることになろう。

バイオアッセイに関する今後の問題点として3点を挙げておこう。

第1は、ヒューマン・カウンタによる測定との適切な役割分担についての検討を進め、内部被曝管理業務の一環としての尿(あるいは糞)の測定の位置づけを明確にし、正しく認識する必要がある。

第2は、放射線管理・保健物理の実務としての測定技術の開発・向上に、より以上の関心を寄せ、力を注ぐ必要がある。

第3は、地味ではあるが、実際上の意義が大きくかつ不可欠なこの仕事に対して、原子力関係者が正しく、妥当な理解を持つべきである。

線量評価に関連して

内部被曝によって人体が受ける線量評価の問題点の所在は、系列的に並べると次のようになる。すなわち、①環境中の放射性物質の量(および挙動)、②人体内への摂取量、③体内各臓器・組織への沈着量、④臓器の被曝線量、それによる⑤生物学的影響である。

これらのうち①は極めて重要である。外部被曝の管理に際しては、個人モニタによって得られる線量に関する情報が実際上の一般的指標となる。しかし、内部被曝の場合は、それによる被曝線量を情報として得ることはできないので、環境中の放射性物質の濃度を管理の一般的指標とせざるを得ない。前者が被曝線量基準に対応するものとすれば、後者すなわち内部被曝の直接的な管理対象は環境基準に対応するものである。したがって、内部被曝管理にとって最も有効な研究の対象もここにある。いかえれば、環境中の放射性物質の量をいかにして少なくするかということこそが問題なのである。

②～⑤は、人体に関する問題点である。広義にいう医学的問題点とも呼び得るであろう。体内に入った放射性物質の挙動に関する生物・医学的知識、臓器の大きさとか化学的組成に関する情報などがそれに該当する。日本人のいわゆる標準人(Standard man, Reference man)をどのように決めるかという問題、欧米人について得られ、それに適用している数値をそのまま日本人にあてはめてよいのかという問題などもそうである。また近年、原子力領域に大きな旋風をまきおこしたホット・パーティクルの問題も、この範疇に入るのである。この種の問題は、学問的な興味の対象となりやすいし、研究としての態をなしうるものである。したがって、研究対象とする人は、数は少なくともあつが絶えることはないであろう。

しかし、留意する必要があることは、これらの医学

・生物学的研究の成果を得るということは、内部被曝管理の実務にとって必ずしも不可欠条件ではないということである。現在入手しうる医学・生物学的知見が学問的に妥当でないことがわかり、より妥当な値が現われたとしても、それによって内部被曝管理の実際の仕事が大きく左右されることのないようになっているべきである。それが望ましい姿であるし、卒直に言って、それが現状であろう。この点に関する認識は専門家の間でも意外に不足している。

内部被曝管理に関しては、現場の経験者・担当者と学者・研究者とのギャップは予想以上に大きい。放射線管理とは実務である。実務は絶えず動く、そして時間とともに有形無形の経験が蓄積される。学者・研究者の多くは、現場が情報を提供しないといって非をとる。しかし、情報を提供される側がその情報を受けとめ、現場のかかえる問題に役に立つ現実的の回答を返すだけの能力を持っているという信頼を現場に抱いてもらうことが、何にもまして必要であろう。

(東大・吉沢康雄)

外部被曝

本学会の創立当時、外部被曝線量測定器として JIS に定められていたものは医療用の X 線および γ 線の 2 種類のフィルム・バッジだけであったが、現在では、広領域フィルム・バッジのほか熱ルミネセンス線量計等多くの測定器が開発、実用化され、広く使用されるようになった。

フィルム・バッジは原子炉や RI の利用拡大に伴い、中性子線、 β 線およびより広いエネルギー範囲の γ 線の測定が可能な測定器としての開発が進められ昭和 30 年(1955)代後半に実用化された。その後、精度の向上と湿度による潜像退行防止の開発が進められ、現在では 3 ヶ月使用した場合の検出限界線量は 20% の誤差範囲で 20 mrem まで改善されている。

熱ルミネセンス線量計は原理的に線量測定に適用可能であることは以前から知られていたが、素子の物理・化学的不安定性や素子間の感度のバラツキが多かったため実用化が遅れていた。松下電器中研等の研究開発の結果、昭和 40 年代後半に実用化されるにいたった。熱ルミネセンス線量計はフィルム・バッジに比べて感度が良く、エネルギー依存性も少ないという長

所を有する反面、フィルムのように1個の検出器から得られる情報量が少ないこと、目視による線量評価ができずすべての素子を測定しなければならないこと、測定後の証拠が残らないこと、などのため利用範囲が限られていた。しかし最近、素子の測定時間を20 sec程度に短縮するとともに素子の識別と測定結果の記録が可能な自動測定装置が開発されたため、単に個人被曝線量測定器としてばかりでなく、管理区域の出入管理にも利用できるようになり、今後はその利用範囲が拡大するものと思われる。

このような γ 線の個人被曝線量測定器の研究開発に比して中性子線のそれには大きな進展はみられなかった。中性子に対して反応断面積の異なる元素を用いた熱ルミネッセンス線量計による測定法は原研で、エッチ・ピット測定法について京大炉で開発が進められ一応の成果は得られているが、まだ実用化されておらず、速中性子によるフィルム中の反跳陽子飛跡を自動計数する装置もまだ開発途上であり、今後の成果が期待される。

事故時被曝線量測定器の開発についてはIAEAの主催する研究協力に原研が参加し、1970年から4年間にわたる国際相互比較実験等を通して核分裂片飛跡検出器を主体とする測定法は高く評価された。これらの測定器は事故時測定器として活用される機会は少なくなったけれども、他の目的、例えば通常人間が立ち入らないような高線量率場、特に中性子線量率の高い場の線量率測定などに活用されている。

このような個人外部被曝線量測定器の研究開発とともに、胸部に装着して測定した値と全身線量ならびに各臓器線量との相関を明確にすることは、最近のICRP勧告等からみても、今後の主要な研究開発の課題となることは必須であり、この分野の研究開発の進展を期待したい。

外部被曝測定においては、前記の個人外部被曝線量測定法とともに作業空間線量率測定法の研究開発も主要な課題である。 β 線による作業空間の従来の線量率測定法は複雑で、精度も必ずしも満足すべきものでなかったが、測定法が β 線のエネルギーと対象とする測定部位(深さ)とに依存するため開発が遅れていた。原研で開発した直読式 β 線吸収線量測定法はプラスチック・シンチレータとシングルチャンネル波高分析器とを用い、特定波高のパルスのみを計測することにより、指先、皮膚など測定しようとする部位の吸収線量を直読できるもので画期的な成果といえよう。この測定法は表面汚染検査計としての機能も付加してすでにサー

ベイ・メータとして実用化されている。また、 γ 線による空間線量測定のスーベイ・メータについては、検出器として低線量率の場合は感度の高いGM計数管を、高線量率の場合はGM計数管の窒息を防止するため電離箱をそれぞれ使用している。測定結果の整合性と信頼性を向上させるため、これらに代わって検出器として、大きさの異なる2組のプラスチック・シンチレータと写真機の絞りとを用い、低線量率と高線量率の場合とで絞りによりシンチレータを使い分けることによって、 $10 \mu\text{R/h} \sim 100 \text{R/h}$ の領域の線量率測定が可能なスーベイ・メータが開発実用化された。

外部被曝線量測定器や空間線量測定器に限らず、すべての測定器は常に正しく校正されていなければならない。放射線測定器は他の測定器と異なり、放射線と物質との相互作用を媒介として間接的に線量を求めるものであるから、一層校正が重要となる。校正方法が不適切であったために次のような失敗をした例がある。GM計数管のように感度の方向依存性のある測定器に対して、点状線源を用いてビームとGM計数管の長軸とが直角にした場合と平行にした場合との感度比はおおよそ10:8になる。したがって、大容積線源の表面またはその近傍の線量を測定する場合、校正法が違っていると両者の差は20%になり、測定結果の信頼性を著しく失うことになる。これと類似する問題として校正時の照射条件がある。フィルム・パッジをfree air中で照射した場合の吸収線量を100とすると、ファントム表面に装着した場合の吸収線量は1 MeV γ 線で20%、数10 keV γ 線で200%高い値となる。この傾向は速中性子照射の場合も同様である。したがって、ある放射線場の空間線量率を測定するための測定器の照射、校正はfree air中の照射でよいが、人体の被曝線量を測定するための測定器の照射、校正はファントムを使用し、測定しようとする目的量に応じて測定器の装着位置を変えなければならない。人体の最大吸収線量を求める場合は一般にファントムの表面に、人体中心部の吸収線量を求める場合には表面と中心部とに装着し、両者の関連を求めておかななければならない。

外部被曝や施設の放射線安全管理においては、測定の高信頼性、高精度、高度の整合性、無矛盾性が厳しく要求されることである。これを確保するためには、すでに諸外国において制度として導入されているように、国際標準と校正された国家標準、これと校正された高精度標準というような校正の連鎖、つまりトレーサビリティシステムをわが国においても早急に確立する必要性を痛感する。

本学会と直接係わりのある問題ではないが、放射線作業従事者の被曝線量登録管理制度が、原子炉の設置、運転に関する規則の規制を受ける大手原子力事業所職員を当初の対象として実施されたことは、今後この制度の拡大と相まって個人被曝管理の充実に寄与するものとして期待される。

(原研・沼宮内弼雄, 宮永一郎)

施設の放射線管理

施設におけるモニタリングに関する技術開発の動向と現場における管理上の問題点を述べる。

前半の約10年間に、放射線管理用測定器および測定技術の開発と各種施設における実務上の経験を通して、わが国における放射線管理の方式がほぼ確立されたといえる。後半においては、モニタリングにおける測定評価に関する技術の開発が行われたほかに、商業用発電炉や再処理工場などの建設稼動に伴い、すでに開発された技術と管理経験の大型施設への活用が図られた。研究用施設を含め施設の大型化に伴う放射線管理上の問題点として、作業規模の大型化に対応するための、特に効率的モニタリング方式の確立に努力が払われた結果、大型施設における放射線管理の方式もほぼ定着するに至った。

しかしながら、最近数年間において被曝低減、特に定期検査時などにおける工事作業者の管理の強化、および原子力委員会の線量目標値の適用など、環境への放射性物質の放出低減化に伴う測定評価の精度向上が一層要求されるようになった。これらに対応するための技術開発が行われ一部成果が得られているが、さらに10数年の管理経験の蓄積と新技術の導入による効率的な総合システムの開発が望まれ、そのための努力が行われ始めている。

作業環境におけるモニタリング技術

外部放射線のモニタリング技術については前節で述べられているので省略する。

空気汚染モニタリング技術に関しても、当初は輸入技術のわが国への適用と改良が中心であったが、その後の開発により、特殊な施設に対するものを除き充分実用性のある測定器、測定法が確立され、測定指針(例

えば作業環境測定に基づく測定のガイドブック)が制定される(1976年)に至った。

放射性塵埃に対しては、モニタリング上必要な微小エアロゾルの発生、測定評価技術が開発(大学、原研、放医研)されるとともに、必要な捕集性能を有する国産濾紙が実用されるようになった。Pu に対しては、自然の Rn 娘核種を分離測定できる、いわゆる Pu モニタが実用されるようになり、肺沈着量の評価上重要な Pu エアロゾルの粒径分布の評価技術もほぼ開発され、 α 施設の管理方式の確立に寄与した。

放射性ヨウ素に対しては、原研型ヨウ素サンブラの試作と捕集材(活性炭)、ヨウ素の性状や湿度などの諸条件に対する捕集効率の依存性およびその改善法の実験的調査が行われ(原研)、モニタリング方式もほぼ確立された。さらに環境への線量寄与を評価する観点から、放出時および放出後の性状調査のためのサンブラの開発が行われている。

^3H に関しては、防護具類の改善とともに、加速器における ^3H ターゲットの取扱いや重水炉の補修作業時などにおける ^3H 管理方式が確立された。特に呼気中水蒸気の捕集測定法は現場における ^3H の内部被曝の管理に有効である。ただし、核融合におけるような ^3H ガスの大量取扱いのために、混在する他の放射性ガスと識別測定でき、またメモリ効果のないモニタの開発や、水素ガス成分と内部被曝に寄与する水蒸気成分とを弁別定量できるようなモニタリング方式の確立などの技術開発が進められている。

表面汚染モニタリングは、汚染密閉性のチェックおよび空気汚染モニタリングの補助手段として汚染管理に極めて有効であり、放射線管理の実務において重要な役割を果たしてきた。最近では、作業者の退室時の身体汚染の表面汚染を自動的に監視するための全身表面汚染検査装置が開発され、原子力発電所など外来工事業者の出入りの多い施設に採用されている。なお、放出放射性物質のモニタリング技術に関しては、軽水型発電炉に対する放出放射性物質測定指針(1978年)に示されるように、線量目標値に適合する測定技術はほぼ開発された。環境線量に比例するような量を直接測定できるスタックガスモニタの開発(原研ほか)も行われてきたが、今後はさらにモニタリング精度の向上のため、特にスタックガスモニタの安定性の向上などを含め効率的なモニタリング方式確立のためのシステムの開発が不可欠である。

防護技術

防護マスクについては、捕集材の性能および着用時の密着度を含む総括捕集性能試験法の開発(原研, 電中研など)により, 国産の防護マスクの性能向上が図られ, また着用時の密着度試験法や現場における密着度の簡易検査法が確立され, セル内除染作業などにおける内部被曝の防止に寄与してきた。現在簡易な送気式マスクなど作業性と捕集性能のよいマスクの開発が急務である。また, その他の防護具類については, 使用寿命の延長や使用後の廃棄物量の低減化のための素材の選択など, 経済性の観点からの開発および使用法の確立が望まれる。

以上のように, 核融合や大量のPu取扱施設などで必要な特殊なものを除き, モニタリングはほぼ確立されたと考えてよい。今後の測定器類の開発に関しては, 測定感度の向上よりは, むしろ現場における実用的な観点から取り扱いやすく, 安定性のよいものの開発が望まれる。また, 防護方法決定のための費用-利益解析の適切な導入方式の確立, 管理に要求される測定精度の明確化とこれに適合した管理方式の確立, さらにこれらを総合して計算機によるデータ処理装置を導入した管理システムの開発が重要な課題となろう。

(原研・吉田芳和)

5. 安全性

工学的安全性

安全性研究の考え方

原子力の安全性確保の基本は, 原子力の利用開発を図るにあたり, 放射能を安全に管理して周辺の住民および職員の健康と安全を確保することにある。このため原子炉施設等の安全性確保にあたっては, 次の3つの段階の多重防護の考え方をとっている。

(1) 第1の段階は, 安全上余裕のある設計を行い, 製作においては厳重な品質保証を行い, 施設および機器が設計どおり製作されていることを確認することである。

また, 運転に入ってからには厳重に監視, 点検および保守を行うことによって施設や機械の故障が起らないようにし, また故障が生じたときはそれを早期に発見して補修を行うことである。特に圧力バウンダリの亀裂の発生および進展に対しては厳重な検査を行い, 亀裂の発生を早期に発見することに努める。また亀裂の発生を検知を見落した場合にも, 亀裂が進展して貫通亀裂になったときは, 冷却材漏洩検出装置によって亀裂長さが限界亀裂長さに比べてはるかに小さい段階で貫

通亀裂を検知することである。

(2) 第2の段階は, このような対策を行なっても機器は故障し, 人は誤操作を行うという前提のもとにおける対策である。このための機器には多重性および独立性を持たせ, いかなる場合にも原子炉を停止することのできる安全系を設ける。また, 設備や機器の損壊に基づく事故の影響を軽減するため, 必要に応じて工学的安全施設を設けるなどして, 機器の故障, 誤動作および人の誤操作があっても大きな事故に発展することがないように対策を講ずることである。

(3) 第3の段階は, 上記の対策を行うことによって原子炉の安全は確保できるが, さらにほとんど起ることがないと考えられる機器の故障までを想定して, 想定事故に対する評価を行い, 周辺の公衆の安全を確保するための所要の安全対策を講ずることである。

以上の多重防護の考え方に従って, 原子炉施設等の安全性を確保するための安全基準, 指針, 解析モデル等の判断資料に基づいて, 総合的に安全性が確保され, これまでも原子炉施設等は高い安全確保の実績を示している。

しかしながら, 原子炉の開発および改良, 容量の大型化, 集中立地に対応し, また安全性に関する知見および建設・運転経験の蓄積等による知見の増大に対応して, 上記の基準, 指針, 解析モデル等の判断資料を整備し, かつ安全余裕をより定量化するために安全性研究が実施されてきた。

上記の(1),(2)および(3)の各段階における研究は、広い意味では安全性研究といえることができるが、(1)および(2)の一部は主として原子炉施設の性能を保証するための開発研究であって、炉物理・炉工学、核燃料・炉材料および化学工学の分野である。安全性研究とは、周辺の住民および原子炉施設の職員に対して、放射線被曝を防止して健康と安全を確保するための研究であって、上記(2)の一部および(3)の範囲のものである。

わが国における安全性研究の推移

わが国の安全性研究は、1963年ごろから始まった軽水型原子力発電炉に関する安全性研究に端を発したといえよう。すなわち、1963年に日本原子力産業会議安全特別研究会にSAFE(Safety Assessment and Facilities Establishment)プロジェクト小委員会が設けられ、日立、原子力事業、三菱原子力が政府の原子力平和利用委託費の支出を受けて冷却材喪失事故に関する小規模プラントモデルによる総合試験に着手した。また、1963年ごろより原研において压力容器鋼材の中性子照射脆化に関する試験を始めた。その後原研は、SAFEプロジェクトの小規模プラントモデルに続く大規模プラントモデル実験のため、ROSA(Rig of Safety Assessment—冷却材喪失事故実験装置)計画を1968年より着手した。

軽水炉の安全性研究を広範に推進するようになったのは、1972年に原子力委員会に設けられた環境・安全研究専門部会の安全研究分科会の中間報告書が提出され、これに示された安全性研究を実施するため、原研が1973年に安全工学部を設置してからである。軽水炉の安全性研究は原研のほか金材技研、船研および動燃でも実施し、また国からの委託研究費を受けて民間でも強力に実施するようになった。その後1976年3月に原子力工学試験センターが発足し、電源開発特別会計の資金で各種の信頼性実証試験を行うようになり、また電力会社も1976年より安全性研究に多額の予算を計上することとなった。

一方、新型転換炉(ATR)および高速増殖炉(FBR)の開発を行うため1967年に動燃が設立され、軽水炉以外の動力炉の開発を推進することとなった。これに伴い、動燃は1970年に大洗工学センターを発足し、ATRおよびFBRの安全性研究を広範に推進することとした。

軽水炉, ATR, ガス炉

1. 原子炉燃料体に関する安全性研究

軽水炉およびATR燃料体の照射挙動の研究は、原研が1967年よりノールウェーのHalden計画に加盟して、これによってJPDR-II燃料およびATR燃料の確性試験、 $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ 燃料の挙動、燃料被覆管の水素破損、ペレット-被覆管の機械的相互作用および焼きしまり現象の解明を動燃および日立、東芝、原燃工と共同して行なってきた。また、JMTRを用いて1973年より燃料被覆管の水素破損および焼きしまり現象を解明してきた。さらに原研は、1975年よりスウェーデンのInter-Ramp計画および76年より同国のOver-Ramp計画に加盟し、燃料棒出力急上昇に伴う燃料損傷限界の究明を行なっている。現在 UO_2 ペレットの焼きしまり現象および燃料被覆管破損原因の解明はほぼ完了し、主な研究目標はペレットと被覆管の相互作用の究明である。これは将来原子力発電容量の占める割合が大きくなることにより、原子力発電所の負荷追従運転を行わなければならないので、原子炉出力の増減によるペレットと被覆管の相互作用が燃料の健全性に及ぼす影響を明らかにするためである。

軽水炉燃料安全性評価プログラムの整備開発は原研で1973年より開始し、FREF-1, GAPCON-THERMAL-1, 2, FREG-3, FRES-1, FREC-3, FEM-1, FEMAXI-1などのプログラムが整備され、Halden炉およびInter-Ramp実験の結果とかなりよい一致をみている。

原子力発電所で使用する3.6m長の燃料の試験施設として、原研は1974年より実用燃料試験施設の設計に着手し79年10月より運転に入る予定である。また沸騰水型燃料の試験のため、日本核燃料開発(株)でも燃料試験施設を1977年に完成し試験設備の拡充を行なっている。

一方、多目的高温ガス炉用燃料の被覆粒子の照射試験は1970年より開始した。

2. 構造安全性に関する研究

原研では1963年ころよりノッチシャルピー試験による压力容器鋼材の中性子照射脆化の研究を行い、1969年より压力容器ノズル部の疲労亀裂伝播および低合金鋼の高温水中腐食疲労に関する研究に着手し、1973年よりステンレン鋼の応力腐食割れ挙動の研究に着手した。応力腐食割れの研究は、その後金材技研、電中研、原子炉・材料メーカーおよび電力会社でも実施された。また、三菱重工はSG細管の減肉現象およびその

健全性の研究を1972年より実施している。現在では低合金鋼の高温水中腐食疲労の伝播挙動の研究が日、米、英および西独等の共同研究として実施しており、新しい圧力容器鋼材の照射脆化、配管の亀裂伝播挙動およびステンレス鋼の応力腐食割れ対策に関する研究が進められている。また、最近は破壊力学的手法に基づいて、より定量的な破壊靱性の評価についても研究されるようになった。

構造安全性の研究の特徴は、1975年度より電源開発特別会計の予算で各種の信頼性実証試験が実施されてきたことである。すなわち、原研における配管信頼性実証試験、原子力工学試験センターの蒸気発生器信頼性実証試験、バルブ信頼性実証試験、溶接部等熱影響部信頼性実証試験、ポンプ信頼性実証試験、原子力発電施設耐震信頼性実証試験などである。

一方多目的高温ガス炉では、原研で1973年ころより高温ヘリウム中の腐食、クリープ挙動および高温下中性子照射脆化などの耐熱金属材料の研究を開始した。

3. 原子炉冷却材喪失事故に関する研究

熱水力挙動に関する研究は、1963年にSAFEプロジェクトが発足し66年に所期の成果を挙げて解散した。この小規模プラントモデルに続く大規模プラントモデル実験は原研で実施することとなり、1968年にROSA-I装置を予算化した。ROSA-Iはブローダウン挙動の解明と実験解析を目的としたもので、1970年12月に実験を開始し73年3月に所期の成果を挙げて終了した。その後PWRのECCSの有効性の解明と実験解析を目的としたROSA-IIの建設に着手し、1974年2月に実験を開始し77年7月に所期の成果を挙げて実験を完了した。現在はBWRのECCSの有効性の解明と実験解析のためにROSA-IIIを建設し、1978年7月より実験を開始した。

ROSAはシステムを模擬した総合試験であるので、個々の現象を解明する個別試験も必要である。このため原研は、再冠水実験を1973年より計画し74年より実験を開始した。また、電源開発特別会計の予算で大型再冠水実験装置の建設を1976年度より着手し、78年度中に完成させる予定である。一方BWRの再冠水実験は日立が1974年より77年まで実施し、また電力共研予算で現在日立において蒸気雰囲気中の炉心スプレイ分布実験装置を建設している。東芝ではブローダウン中の熱伝達の研究および臨界流構造の研究を実施した。

BWR Mark II 格納容器圧力抑制系の試験は、原研が1976年および77年にかけて1/6スケールの試験を東電などの受託研究として実施し、1977年より電源開発

特別会計の予算で実寸の1/18セクター試験装置を製作し、79年より実験開始予定である。また、動燃は1968年より実規模安全性試験装置の建設を開始し、70年よりATRのECCS性能の確認および安全評価解析を実施した。

一方原研は、米国のLOFT(Loss of Fluid Test)計画に1976年より参加しているが、現在までに非核実験を完了した。また、熱水力挙動の基礎研究は東大、京大、東工大および宇都宮大などでも実施している。

冷却材喪失事故時の燃料被覆材の挙動の研究は原研では1973年に計画し74年に水蒸気-ジルコニウム反応の実験を開始した。この研究は金材技研および三菱原子力でも実施している。原研では、現在燃料集合体の水蒸気中ふくれ試験を実施している。

SAFEプロジェクトでは格納容器スプレイによるF.P.の除染効果と減圧効果も実施し、その後東芝では1975年より直径1.5mの格納容器モデルを用いて実験を実施しているが、原研では1975年より電源開発特別会計予算により高さ20m、直径7mの格納容器モデルによるスプレイ効果試験装置を建設し、77年10月より熱除去試験、78年5月よりヨウ素の気液分配試験を実施している。

安全性に関する試験研究とともに、原研では1969年より75年まで原子力コード委員会・軽水炉安全性コード専門部会において、国内外のLOCAに関するコードの整備を行ってきた。一方1973年より原研でLOCA時安全性評価コードシステムの開発を開始し、第1次原型版を完成すると共に米国のWREMコードを整備した。

4. 反応度事故に関する研究

PWRの制御棒噴出事故、BWRの制御棒落下事故などの想定反応度事故時の炉心および燃料のふるまいを研究するため、原研では1967年よりNSRR(Nuclear Safety Research Reactor)計画を立案し、その内容が詳細に検討された。1972年にこの予算が認められ、NSRRは73年6月より建設された。NSRRは1975年6月30日臨界となり、その後引き続いて燃料破壊実験を行ってきている。

NSRR計画は各国が高い関心を示し、現在米国のPBF(Power Burst Facility)計画と研究協力協定を締結し、研究成果と研究員の交換を行なっている。

5. 耐震に関する研究

耐震に関する安全性研究については、近年における地震学の急速な進展、解析手法、実験技術の進歩等により原子炉施設の耐震性について、より正確な安全評価

が可能になった。このため地震の実測データの分類分析, 設計用地震動の作成, 建設および構造物の応答解析, 建物と地盤との相互作用の研究などが建築研究所, 電中研その他電力, メーカー, 建設会社によって実施されている。

6. その他

以上述べた以外にも, 原子力施設から環境への放射能放出に関する技術開発の研究が実施されており, また最近原子炉施設の確率論的安全評価手法の開発に着手した。

熱中性子炉に関する将来の展望

動力炉開発の初期において, 軽水炉は技術導入によるものとし, 軽水炉の安全性研究も技術導入ベースで, わが国独自の研究が行われていなかった。このような状態ではわが国における動力炉に関する Public Acceptance が得られず, 1973 年前後より軽水炉に関して安全性研究を広範に実施するようになった。現在ではわが国の安全性研究の成果は著しく, 米国および西独と対等の立場で相互に技術情報交換を行うようになった。安全性研究の成果は世界共通の財産となるべきものであり, 今後とも各国と連携して相互に補完する研究を行なって軽水炉の安全性研究を早期に完成する必要がある。

軽水炉の安全性研究の大部分は1982年ころまでに完了するであろうが, その後は多目的高温ガス炉, 新型転換炉のみならず高速炉についても実用化を目指して安全性研究が活発となり, また新型炉の開発研究とその実用化のための安全性研究が軽水炉のように次第に分化していくであろう。(原研・村主 進)

FBR の工学的安全性研究

1. 経緯

わが国で, ナトリウム冷却高速増殖炉(FBR)安全性研究を含めた諸研究はかなり古く, この炉の特質から液体金属の安全な取扱い研究(1956~, 日立), 各種ナトリウム(Na)ループによる材料, 機器の試験(1960~, 原研), 高速臨界実験装置(FCA)による実験(1967~, 原研), 高速中性子束炉(弥生)による研究(1971~, 東大), また電中研と米国 APDA との協力によるエンリコ・フェルミ炉の運転および関連研究があった(1966~)。

一方1967年, 動燃が発足し, 国のプロジェクトとし

てFBR を開発することになって以来, 「常陽」の建設, 運転(1977年 臨界, 1978年 50 MWth), および「もんじゅ」の設計を進めているが, 両炉の実現のため安全性研究は積極的に行われて来た。

2. FBR 安全性研究の分類と内容

FBR の工学的安全性に対する基本方針は軽水炉と変りない。このため, (A)プラントの異常や事故の発生を未然に防止し, 発生しても, これを(B-1)局限化し, (B-2)抑制し, (C)最終的に放射線被曝をできるだけ低減化するという, 3~4つの段階のそれぞれに安全対策を樹てるよう研究がなされている。

(1) 事故防止

このうち(A)事故の発生の防止のため, まず, 炉が固有の安全性を持つ必要があり, 「常陽」については, FCA にプルトニウムとウランの混合炉心を組み, ドブラー係数や Na の気泡係数など設計値を確認した(1968~)。「もんじゅ」については, 英国原子力公社と共同で, ウィンフリスの ZEBRA 炉により, 同様に安全上の炉物理特性が確認された(1971~72)。

次に, プラントの主要機器, 緊急炉停止系, 熱除去系の信頼性が確保されている必要があり, 「常陽」の主要機器の実寸大の原型を試作し, 水中または Na 中で性能試験を行なった(1972~)。特に, 安全棒は地震時を模擬して, 偏心した状態でも炉に挿入されることを確認した(1971)。「もんじゅ」の主要機器についても, ほぼ同様な試作と試験がなされ(1971~), 耐熱衝撃特性も調べられ, また後備(バックアップ)炉停止機構の性能につき試験がなされている(1975~)。蒸気発生器については大規模な試作および試験を行い, 優れた性能が確認され(1974~), また燃料についても試作を行い, その健全性を JMTR や海外の高速炉を利用して確認している(1969~)。破損燃料検出系のほか炉内各燃料チャンネルごとの異常状態を速やかに発見するよう, 即応性の熱電対, 小型 Na 流量計や蒸気発生器の感度の良い水漏洩検出器が開発された(1970~)。主冷却系のステンレス鋼製配管には高温, 低温の Na が流れるが, 「Leak before Break」が確保されることを確認するため, エルボ, ノズル部など人工欠陥をつけたものを含む配管構造モデルにより, 低サイクル疲労, クリープ疲労あるいはクリープ座屈などに関する構造強度を高温大気中および Na 雰囲気中で調べた(1970~)。また, 崩壊熱の除去についてはモデル実験(1971~)などにより設計を次第に改良している。

次に, 機器, 構造物の耐震特性を確認するため, 「常陽」では炉容器を囲む黒鉛遮蔽体の $\frac{1}{2}$ モデルにより,

静的、動的荷重試験を行い(1970～71)、「もんじゅ」も同様に主要機器である格納施設、炉容器、蒸気発生器の伝熱管群について縮尺モデルによる試験を行なっている(1977～)。高温用で地震も考慮した配管支持法はループ型FBRでは重要であり、油防振器(1970～71)のほか耐放射線特性の良い機械式防振器(1972～)も開発し、軽水炉にも利用されている。

軽水炉に比べて材料、運転条件などが異なるFBRでは、機器の高温構造設計基準を整える必要があり、「常陽」(1971)のほか「もんじゅ」についても検討をしている。

(2) 事故の局限化抑制化

次に、前記(B-1)、(B-2)事故の局限化、抑制化に関連し、炉内の局所異常(ピン接触、閉塞、流量低下)に基づくNaの過熱、突沸、伝熱特性の低下、その伝播を調べるため、電気ヒータピン(1～37本)をNa流中に入れて実験し、予想したほど苛酷でないことがわかった(1970～)。次に、何らかの理由により反応度が急激に挿入されたり、冷却能力の低下、喪失した場合、燃料ピン、被覆管が破損して溶融燃料がNaとの相互作用(FSI)を起し、また燃料が移動、逸散、落下したり、これらの結果、圧力波が発生する状況を調べるため、炉外においてFSIの実験(1971～)や被覆管の健全性試験(1975～)を開始し、並行してGETR(1974～,米)、CABRI(1974～仏、独)およびTREAT(1978～,米)、ETR(1978～,米)のインパイル・ループにより、各国と模擬事故の共同実験を行なっている。また、局所のみならず全炉心について安全評価ができるよう計算コードを開発し、この検証、改良のための上記炉内外の試験の解析作業が進められている(1970～)。

一方、計算モデルの詳細、大型化に伴いコードの管理、維持の省力化と、会話型図形処理のような計算結果の迅速処理とを目的としたユーティリティ・プログラムを開発し、実用化した(1974～)。

次に、炉内で圧力波が起る時の機器の応答を確かめるため、炉容器の1/7.5～1/15のモデルの中を低爆速火薬を爆発させ、容器の塑性変形によるエネルギーの吸収状況を確認した(1972～)。別に、蒸気発生器伝熱管破損時のNa-水反応は、大、中、小規模で試験されて有用な設計データが得られた(1970～)。

(3) 放射線被曝低下

最後に、前記(C)放射線被曝低減化に関連し、燃料からのF.P.の放出、移行を調べる実験がNaインパイル・ループ(1972～原研,72～東芝)でなされ、かつ、これらを除去する方法も研究された(1972～)。

格納容器内における放射性物質の放出、沈着を確認するため、小型容器によるNa火災(1968～)、格納容器施設の火災時健全性(1976～)、エアロゾル挙動(1979～)を調べ、また強アルカリ性のNaエアロゾル捕獲フィルタの開発(1973～)がなされた。

3. FBR 安全研究の将来

以上述べたFBR工学的安全性研究の成果は、「常陽」、「もんじゅ」の建設、運転に有効に利用されているが、今後FBRの大型化、実用化のための課題として、炉物理上は固有の安全性を確保ないし改善しつつ増殖率を上げること、大型機器の信頼性を高める研究、事故の経過をより正確に記述できるよう計算コードの充実と、大型炉内模擬事故実験の実施、照射済燃料材料に関する安全性試験、燃料、F.P.を含むNaエアロゾルの捕獲、低減対策があり、さらにFBR燃料サイクル上必須な使用済み燃料の輸送、再処理および再加工に関連する安全上の諸問題と考えられる。当面、順調に運転している「常陽」からの貴重なデータを有効に利用し、国の内外で行われている解析および試験をより充実させたい。
(動燃・望月恵一)

環境安全性

環境安全性の諸問題は、他章の主題である原子力施設の工学的安全性および放射線の管理体制・方式と切り離して考えることはできない。というのは、一たん放射線や放射能が施設外に放出されると、これらをコントロールして個人および集団の被曝を低減することは、不可能ではないにしても極めて困難だからである。第一義的な環境の安全性は、施設側において講ぜられる諸方策によって確保されなければならない。

環境安全性なる言葉には、単に放射線被曝に関係するものだけでなく、自然環境保全の問題とか、数量的に表わすことのできない原子力に対する不安感といった面も含まれていることも忘れてはならない。立地の環境問題という場合、放射線以外の要因が大きな重要性を持っている場合が多い。しかし本章では、放射線、放射能が施設から放出されてから人の被曝をもたらすまでを、環境安全性の問題と考えることとする。

環境中での放射性物質の挙動

施設から放出された放射性物質は、まず大気中または水中で拡散する。大気拡散に関しては、原子力開発の当初から理論的、実験的研究が進められ、その成果は原子炉等の安全評価に役立ってきている。今後一般化されたモデルによる計算が個々の地域にどの程度適応できるかを実証するための調査を進め、地域特性を加味した計算方法を開発することが必要であろう。さらに、微粒子の地表、植物等への沈着機構や降雨の効果についても研究を要すると思われる。

一方、海洋における諸問題は、核燃料再処理工場の建設計画が進められたことに伴い、1966年より総合的調査研究が行われて東海地区海域における評価方法が提示された。同調査研究の一つの結果として、1968年には拡散につづく放射性物質の食物連鎖に関する研究の場として放医研に臨海実験場が設けられた。これらの成果は再処理施設の安全性評価のための貴重な資料となった。

大気拡散につづく陸系の環境における食物連鎖を含めた移行の問題については、海に比べて体系的な研究はあまり行われていない。わが国の大原子力施設がすべて海岸に作られていることのほか、陸系環境が海に比べて不均一であり、多くの相を含む複雑な系をなしていることのためであろう。しかし、万一の事故を考え、また現在放射性廃棄物の地中処分が現実の課題となってきたことから、土壌、地下水中の挙動につき研究を進める必要がある。

長寿命核種の環境への放出、蓄積の可能性を考えると、静的平衡状態の議論だけでなく、環境各セクター間の移行速度等、時間のファクターを加えた動的解析が必要となるであろう。最近、研究の方法として Concentration factor method (CF法)と Systems analysis method (SA法)とがあるといわれる (IAEA, ICRP) が、後者による環境放射能の影響解析法はわが国においても開発されつつあり、成果が期待される。

環境中における放射性物質の化学的変化については、重要な問題ではあるが情報が極めて少なく、今後の研究にまたなければならぬ面が多い。

1975年には、学会会議から政府への勧告に基づいて、大学における環境放射能研究の場として金沢大・理に「低レベル放射能実験施設」が設置されて活動を始めた。

モニタリング

原子力施設周辺の環境モニタリングの基本的考え方は、原研発足当初1956年に確立されたといえる。その後、施設規模の増大、放出モードの変化、また社会的要請の変化等に応じ、さらに使用される計測器の進歩を取り入れることにより具体的方法は変化してきた。技術的進歩でいちじるしいものの中にはテレメータシステムの採用、TLDの利用などを挙げることができよう。原子力施設に由来する低レベル放射線成分を、自然バックグラウンド放射線と区別して定量的に把握することにも努力が払われ、実用に耐える計測器も開発されている。

環境中の各種物質に含まれる放射性核種の同定、定量については、方法を基準化する努力が続けられてきた。核爆発実験からのフォールアウト測定のため gross activity 測定法を定めた「放射能測定法」(1957年)に始まり、フォールアウト中の主要核種について順次マニュアルが制定されていったが、近年は原子力施設起源の核種に重点を移しつつある。測定法も計測器の進歩を反映して GM 計数器→NaI(Tl)シンチレータ→Ge(Li)半導体検出器および液体シンチレータの利用へと変っていった。複雑な化学操作はできるだけ避けて、スペクトル解析による同定、定量にもっていくという方向は今後も続くであろう。しかし、 γ 線を放出しない核種やごく微量の放射性物質に対しては、化学的、放射化学的手法を用いることは不可欠である。モニタリングの目的には、試料の前処理を含めて化学操作の自動化に努力を払う必要がある。

このようなマニュアルの制定と並行して、正確、精密な分析、測定法の研究も活発に行われ、基礎的データとして大いに役立っていることはいうまでもない。

また、IAEAやWHO等が行なっている放射能の国際相互比較(intercomparison)に、わが国からも参加して国際協力の実を挙げている。

線量目標値の制定

1976年には原子力委員会によって「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に関する指針」が決定され、具体的に使用すべきパラメータ等を決めた「評価指針」も発表された。数値は米国の値を踏襲したが、米国の原子炉1基当りの年線量当量を決めているのに対し、わが国では1サイト当りの年線量当量に同じ値を

適用するとしたことと、ヨウ素による線量当量計算にわが国では安定ヨウ素の摂取量が多い事実を考慮に加えたことが特徴である。発電用軽水型とことわっており、ALAP の考え方に基づく値とされてはいるが、他の原子力施設について同様な値が定められていないため、現実には同一の値が他の施設にも準用される傾向にある。

国際基準との対応

環境放射線問題に限ったことではないが、わが国においては放射線防護の基準として法令上も実務上も、ICRP 勧告を尊重することとされており、この方針は今後とも変わらないであろう。ここ20年の間にICRP 勧告は何回か改訂され、現在の1977年勧告(ICRP Publication 26)となった。勧告そのものの内容をここに述べる必要はないであろうが、本稿に係る重要事項として、環境影響の評価にあたって次のことを考慮する必要性を強調しておかなければならないであろう。

- (1) 最適化(optimization)の考え方の重視(ALAP, ALARA の定量化)。
- (2) 公衆の被曝に関して集団線量当量(collective dose equivalent)の使用。できれば man-Sv あたりの金額の明示。
- (3) 環境への放射能放出レベル等に関する認定限度(authorized limit)の設定。
- (4) 線量当量預託(dose-equivalent commitment)の考え方の導入。
- (5) 体内被曝算出法の改善と公衆への適用。

その他の課題

環境安全性研究の主な目的は、原子力施設に由来する放射線と放射能による人の被曝(個人の線量当量と、ある集団の集団線量当量)を、できるだけ正確に推定し、その結果を施設側にフィードバックすることにあると考える。その研究は、一方において科学として国際的な場における討議に耐えるものでなければならないが、他方、その国、その地域の特性に基づく多数のデータを必要とするという特徴をもつ。今後とも研究を充実すべき一つの理由はここにある。

環境に関する調査、研究の成果は上述以外にも多数挙げることはできるけれども、人員、研究費、大学の講座数等においては原子力分野全体の中で占める比率は決して大きいとはいえない。原子力開発にあたる科学者、技術者が環境安全の基本をしっかりと弁まえた上で自らの課題と考えて対処していくことが、今後ますます必要となっていくであろうことを考えると、まずさしあたって、原子力工学科の中に保健物理も含み環境放射線の問題を扱う講座を設けることを提案したい。

1973年春の本学会「年会」における菊池正士氏の「原子力発電の安全性とパブリックアクセプタンス」という論文発表が直接のきっかけとなって、原子力安全性に関する本学会の役割についての討議が行われ、種々曲折はあったが、1975年以来、学会内に「原子力安全」調査専門委員会が設けられて、環境問題を含めた広い立場から地道な検討が進められている。世界唯一の原爆被災国民として、またビキニ事件を体験したのとして、国民が原子力、放射能に特殊な感情を持つことは事実であるが、放射線を人間活動の所産としての環境諸要因の一つとして幅広くとらえる努力を払うことによって、原子力環境安全性の問題は大きく前進するであろう。

(放医研・伊沢正実)

6. 核燃料サイクル

核燃料サイクルから見た 各種原子炉の在り方

わが国における原子炉は、発電用原子炉に限れば、初期に導入されたコールドホール型を除けば、現在は軽水炉が主流を占めている。国の長期的見通しとしては、軽水炉・高速増殖炉路線が主であり、新型転換炉、CANDU 炉などが補完的原子炉として考えられている。

また発電用原子炉の燃料は、東海1号炉の燃料が金属燃料であるのを除けばすべて酸化燃料を使用し、U-Pu サイクル採用に繋がっている。

原子力発電は火力等他の発電方式に比べて資本費は高いが、安い燃料費で対抗できる点が根本的特徴となっている。しかし、安い燃料費を得るには現在の核燃料サイクルの路線として採用している U-Pu の単一サイクルを活用し、しかも資本費の高い核燃料サイクル関連施設のスケールメリットを最大限に活用する必要がある。資源論的立場から U-Pu サイクルのほかに U-Th サイクルの導入が議論された時期もあったが、この導入は炉型の多様化にも係わることとなり、また主要な核燃料サイクルの施設能力の分散になり、わが国の核燃料サイクルからみた原子炉の在り方として好ましい方向にあるとはいえない。今後とも、単純な U-Pu 核燃料サイクル路線に沿った原子炉を採用することが重要である。

わが国のような小資源国とくに核燃料の自給できない国にとって、燃料利用効率の高い原子炉を核燃料サイクル的に採用することが必要である。この点、わが国の路線は、新型転換炉、高速増殖炉と燃料利用効率が現在の軽水炉よりもより高いものを求める方向にあり、これは燃料サイクルコストの低減化の面からも当を得ている。

さらに、資源を節約するという意味からすると、炉外インベントリを小さくできる原子炉の採用と、核燃料サイクルの確立とが必要であり、幸いにわが国の原子炉型の路線と核燃料サイクルの路線とは同一方向に向いているといえる。

現在、国際核燃料サイクル評価(INFCE)の場で議論されているように、核拡散防止の線に沿った核燃料

サイクルの採用ということは避けられない問題として具体化してくると思うが、この場合 U-Pu サイクル以外に U-Th サイクルの採用とか Denatured サイクルの採用などが論議されるであろう。しかし前述の理由で、燃料サイクルコストの低減が原子力発電にとり重要であるだけに、核燃料サイクルの多様化は好ましくない。

U-Pu サイクルに固執したとしても、核拡散防止という観点から、現在採用している核燃料サイクル技術に、なんらかの技術的修正が加えられることは予測しなければならぬ。この場合、原子炉の在り方として、このような修正された核燃料サイクルに追従できるものであることが必要となる。わが国の路線にある原子炉は、このような修正された核燃料サイクルに追従できるものであるが、燃料設計、燃料取扱、炉心管理などの面で従来の原子炉の設計および運転の大幅修正も要求されるかも知れぬ。この点、経済性の要求を満たしつつ技術上の要求をも満足していける原子炉を考えておくことが必要となる。

核燃料サイクルからみた原子炉の在り方を要約すると、

- a. 炉型の多様化は核燃料サイクルの多様化を生み出さぬ程度でとどめるべきである。
- b. 炉型は、核燃料サイクル関連施設のスケールメリットを有効に使い、核燃料サイクル技術の継続性を保証できる炉型であるべきである。
- c. 核拡散防止の面から発生する核燃料サイクルへの要求を、吸収できるような炉型であるべきである。
- d. わが国のような小資源国にあっては、燃料利用効率が高く、資源消費節約を図ることができる原子炉型であるべきである。

核燃料サイクル・アップストリーム

1. ウラン資源確保

小資源国であるわが国として、ウラン資源の確保、開発輸入をめぐる情勢への配慮が重要である。わが国の電力会社は、ウラン市場の低迷期に積極的に海外ウラン生産者との交渉に乗り出し、一応1995年までの需

要を確保するための長期契約を行なったが、現状は買手市場から売手市場に変わり、ウラン価格もポストもので\$40/lb. U_3O_8 を超える状況になっている。エネルギー資源に対する資源保有国政府の関与は増大し、単純購入が困難な現状に到達している。資源の安定的確保、単純購入に対するバーゲニングパワーの観点から、開発輸入が施策の重要課題である。近年資源保有国の資源ナショナリズムが進み、交通・通信・発電・水道等の設備建設を求めてきている。西独とブラジルとの原子力開発上の総合的協力は、先進資源消費国と発展途上資源保有国の補完関係を示す好事例であり、多くの示唆を与える。原子力発電技術、燃料サイクル技術、許認可の知識等を資源確保に結び付けた点で、新しいウラン資源確保パターンの出現と見ることが出来る。

資源国であるアフリカ諸国、オーストラリアあるいはカナダといった国はそれぞれ事情、政策の視点が異なり、戦略的にアプローチする必要があるが、同時に秩序あるウラン市場形成への協力姿勢が重要となる。ウランのほとんどを海外に依存しなければならぬわが国にとり、世界市場の安定化がなくては自国への供給安定化はあり得ない。ウラン資源確保戦略を長期にわたり一貫して展開していくためには、技術、人材、資金を備え、探鉱からウラン生産、備蓄までの一貫政策をとり、ある程度のリスクも吸収できる体制を国内に整えて行く必要がある。

2. わが国のウラン濃縮技術開発

(1) 開発経過

1958年12月原子力委員会は「核燃料開発に対する考え方」を発表し、ウラン濃縮に関しては「国情に適した技術を促進する」として、理研等の研究機関における基礎研究を支援する姿勢を表明した。その後これら基礎研究と核燃料経済専門部会の調査活動により、ガス拡散法、遠心法およびノズル法の特徴が次第に明らかになってきた。1967年には原子力委員会に核燃料懇談会、69年にはウラン濃縮研究懇談会を設置して研究開発の進め方を審議し、次の方針を決定した。

- a. 1970~72年度の3ヵ年を特定総合研究とし、研究対象はガス拡散法および遠心法とする。
- b. 本計画の終了時は両方式の成果を評価し、その後の方針を定める。

この方針をうけ、ガス拡散法については理研、原研が、遠心法については動燃が中心になって開発し、その成果に基づき原子力委員会は、1972年に次の方針を決定した。

- a. 遠心法については、1985年までに国際競争力のある濃縮工場を稼働させることを目標に、パイロットプラントの建設、運転までの研究開発を特別研究開発計画(国のプロジェクト)とする。
- b. ガス拡散法については、国際共同事業への参加をより意義あるものとするため、基礎研究を継続する。

この決定は、遠心法がガス拡散法に比べて電力消費が少なく、比較的小規模でも経済性が損われず、需要の増加に合わせた工場の段階的増設が可能であり、国産工場に適した技術であると判断されたことによる。

この方針決定以降、動燃は国の総力を結集して研究開発を実施し、その成果により現在パイロットプラントを人形峠に建設中で1979年にはその部分運転を開始する。

わが国の遠心法の技術水準は1973年以降急速に向上し、主要機器である遠心分離器の性能は、すでに国際的競争に耐え得るものになった。また、プラントシステムについても数次のカスケードの経験が現在のパイロットプラントの設計、建設に反映されているので、その初期の運転経験を取得することにより、早期に経済的に国際競争力のある実用濃縮工場の建設は可能と判断されるに至った。

(2) 今後の展望

(1) 濃縮役務需給：濃縮需要の予測は、基本的には原子力発電計画と炉型の選択により決定されるが、このほかPuおよび回収Uリサイクルの導入時期とその割合、濃縮プラントのテイル濃度など核燃料サイクル上の諸元により影響を受ける。わが国の原子力発電開発規模は、1978年の資源エネルギー庁の発表によると、1985、90、95年でそれぞれ3,300万kW、6,000万kW、1億kWとなっている。またPu、Uリサイクルも1990年前後から本格化すると考えると、濃縮需要は1990年以降には年間6,000 tswuを超えることになる。これに対する供給は、米国とユーロディフの既契約分が発電計画に合わせて後送りになると考えて、1990年で年間約5,500 tswuとなり、この辺の時期がわが国の濃縮需給のクロスポイントになると見込まれる。

(2) 国際情勢とわが国の立場：濃縮役務の供給は全世界的に米国に依存してきたが、最近欧州のユーロディフ、ウレンコの市場参加により、米国の独占体制は次第に崩れつつある。この事業は核燃料サイクル事業の中でも経済的、技術的に高度に集中的であり、国際経済上にも大きな影響をもち、かつ核不拡散問題からみても国際安全保障上も重要な意味をもっている。

すでに世界第2位の原子力発電国となったわが国としては、回収Uの再濃縮を含めた健全な核燃料サイクルの確立は必須の条件であり、濃縮は大きな柱の一つである。また、この事業は前述のように国際情勢の影響を受けやすいので、その事業化は早急に進めるべきであり、遅くなればなるほど困難な条件が付加されてくることが考えられる。

(3) 今後の展開：わが国の濃縮需給のクロスポイント、国際情勢からみた市場参入の時期、さらにはわが国の使用済み燃料からの回収Uの価値利用からみて、1990年以前に本格的核燃料戦略に基づく核燃料サイクルをわが国に定着させることが必然的要求になる。

また、巨大な投資とそれだけに経済性の保証とが必要この事業の着手に当っては、実証規模のプラントの建設、運転経験が必要である。海外の濃縮開発の実例をみても、パイロットプラントに引き続き、数100 tswuの実証プラントが建設、運転されている。わが国としても、現在建設中のパイロットプラントに引き続き、200~300 tswuの実証プラントを1984年に部分運開し、少なくとも1,000 tswu程度の第1期実用プラントを88年頃には運転開始することが必要である。このための技術的基盤はすでに確立しており、今後はこの開発ステップに必要な遠心機の量産化技術およびプラントシステムの合理化の検討が重要となる。また、実用時期の濃縮事業主体を早期に決定し、これを支援する十分に経済性を追求できる産業界体制を整備することが、この事業確立に欠くことのできない要件である。

3. ウラン燃料

わが国の発電用原子炉の燃料は大半が軽水炉用 UO_2 型燃料であり、その製造技術はほぼ確立したと云ってよい。数年前には燃料破損等が多く発生したが、かえって UO_2 燃料の生産品質保証の確立が厳しく要求され、これに対処して燃料設計の改善、燃料検査工程の多重化などが取り入れられ、現在では原子炉運転規制と併せて、ほぼ問題は解消するに至った。それにもかかわらず、世界的にみて燃料製造工場の生産規模は、年間数100 t程度のもので多く、かつ原子力発電所の建設の遅れ、発電所稼働率の低下等が原因となり、工場稼働率が低い。今後ウラン燃料製造施設は、燃料取扱い時の被曝の低減化、製品の高品質水準の維持のため、完全自動化を取り入れることが重要となり、また経済的メリットからは、生産規模がもう1桁大きくなる必要がある。また、原子炉側の負荷追従運転への

要請に伴うベレット・被覆管相互作用を加味した燃料の改善も重要であり、一部設計の面では改善がなされ、燃料製造の面では被覆管への内面コーティング技術の採用などが検討されている。いずれにせよ、経済、製造技術両面を考慮に入れ、核燃料サイクル全体からウラン燃料製造に評価を加えることが重要になる。

核燃料サイクル・ダウンストリーム

1. プルトニウム燃料

核燃料としてPu燃料使用の可否を論ずることは、対象炉型にかかわらず、全世界のU埋蔵量がさほど豊富でないという資源論の立場からU資源の有効利用を論ずることに等しい。わが国のLWR-FBR型の路線は小資源国、省核燃料資源の立場から、U資源への依存を極力少なくする方策をとっているが、短期的にはFBRに利用する以上にLWRからPuが生成するため、省核燃料資源の見地からPu燃料を利用するATR等補完的炉が検討されている。Pu燃料が核燃料として積極的に市場に受け入れられるための研究課題は、①安価なPu燃料の安定供給の可能性を追究し、②ナショナルセキュリティとしてPu燃料を利用する場合の、核燃料サイクルにおける利損の評価を行い、③さらに純技術的には、各炉型に対応したPu燃料の炉心特性および燃焼特性の掌握、④燃料製造技術の確立が主要な課題といえる。

(1) わが国のPu供給は、東海再処理施設および第2再処理工場以降の大規模施設に依存するほか、海外委託再処理により確保される。一方Pu需要は現在運転中の「常陽」、「ふげん」および1985年度臨界を計画している「もんじゅ」に加え、ATR大型炉の定常需要で、この需要量は東海再処理施設のPu供給量にほぼ等しい。したがって、FBR実証炉および他の炉型のPu需要に対応するためには海外委託再処理のPu引取り、および第2再処理工場の稼働が不可欠になる。

他方、Pu燃料とU燃料の燃料サイクル全体からのコストを比較すると、 UO_2 燃料コストは転換・濃縮・加工コストが一定であれば U_3O_8 の原料価格に比例して上昇し、残存のPu価値の増大に従い減少するし、Pu燃料コストは再処理・転換・加工コストが一定であればPuの価格に従い上昇する。Pu価値はこの両者のコストの一致した所、すなわちインディファレント・バリュウで定められ、 U_3O_8 の価格に比例して上昇などすることになる。現実にはまだPuリサイクルが実施されPu市場が確立されていないので、Pu価値は未

確定であるが、今後廃棄物処理処分の未確定要素を含め、諸経費の上昇と U_3O_8 の価格の上昇とがバランスした時点で、Pu の経済的利用が実現する。

(2) Pu の有効利用と核燃料サイクルの確保は、単に上記の経済面の問題でなく、国家安全保障の点からも検討する必要がある、実用化まで長期技術開発期間を必要とする原子力開発分野にあっては、Pu 利用価格がある程度経済的に不利であっても、その供給源が安定であれば、実用化推進に踏み切ることが重要である。

(3) Pu の原子炉内特性とUのそれとを比較すると、中性子断面積が大きく、中性子利用率も大で、燃焼時にフェニックス特性を示す。例えば ^{239}Pu および ^{241}Pu は、典型的な軽水炉の中性子スペクトルでは ^{235}U の約2倍の核分裂断面積をもち、通常の UO_2 燃料領域にPu が装荷された場合、大きな出力ピーキングを生ずる。したがって、わが国の原子炉型(補完炉型を含め)にPuを用いる場合、炉型に従ってPuの炉心特性、燃焼特性を掌握し、使用する必要があることは論をまたない。

(4) わが国でのPu燃料製造技術は、「常陽」用として集合体119本、MOX量で1.6tを1975年に製造、「ふげん」用として集合体100体、MOX量で18tを1977年に製造し、特に後者は単一炉用Pu燃料としては世界最大量であり、また1965年以来すでに総計30tのMOX燃料製造実績を有するなど、世界有数の製造技術を持つに至った。Pu燃料製造施設は核燃料サイクル上の他施設と同様、数基以上の炉を対象に燃料を供給できる能力が要求されるが、今後施設の建設に当っては、既開発の自動化機器をシステムとして導入して機器の大規模化、核物質管理、安全管理、被曝低減化、施設管理など諸管理システムの合理的導入を配慮することが重要である。

2. 再処理

再処理が核燃料サイクルの「^{かなめ}要」であることは論を待たない。わが国では東海再処理施設がホット運転に入り、第2再処理工場建設が計画されているが、核物質防護、保障措置の面から、再処理施設よりの生産物の形態が国際的に論ぜられている。すなわち、回収Puの形態が単身のものではなく、Pu-U混合物とされるもので、再処理工程での coprocess、転換工程での coconversion が求められている。核燃料サイクルの立場からすると、転換生成物はPu燃料製造工程の原料粉末としての仕様を満足させる物性、化学的純度を持つことが重要である。また、仕様を満足する粉末を製造できる原液

が coprocess から得られなければならない。現在日米西独等各国が各自独特の技術を開発中で、いずれ国際的認識の下で転換技術が確立されることが重要である。回収Uもまた核燃料サイクル上重要な位置を占め、 ^{235}U の含有量に従って炉へのリサイクルが配慮される。この場合、再濃縮のみでなく、ATR等補完炉への直接利用も重要な課題となる。

いずれにせよ、今まで論じてきた核燃料サイクルの評価は、この再処理に始まり再処理に戻るといって過言ではない。

他方、LWRとATRの使用済み燃料は同一再処理施設で処理は可能であるが、FBRの使用済み燃料の再処理についても調査、開発試験を進め、将来に禍根を残さないよう配慮する必要がある。

3. 放射性廃棄物

放射性廃棄物は核燃料サイクルの各段階から発生するが、U採鉱、精錬、転換、濃縮、燃料加工などアップストリームでは、天然の放射性物質が発生する。天然放射性物質濃度は比較的低い、濃度と発生量との積で示される放射性物質の量が比較的大きいのが特徴である。使用済み燃料再処理、Pu燃料加工など核燃料サイクルダウンストリームでは、原子炉で生成したF.P.の大部分およびアクチナイド等の人工放射性物質が廃棄物の中に含まれてくる。後者の高レベル放射性廃棄物や α 廃棄物のような長寿命の廃棄物の管理、処分に関しては、保健安全および環境面、法的小および体制面、経済面、国際問題など広範な問題を含んでいる。

世界的にも数年前から、核燃料サイクル施設から発生する放射性廃棄物の管理方式が検討されたが、さらに米国の原子力政策の変更に伴って INFCE の設置など、内外情勢は大きく揺れ動いている。

INFCE にあっては、核燃料サイクルの各段階における廃棄物(定常運転廃棄物のみでなく、保守作業に伴う廃棄物、施設閉鎖に伴う廃棄物を含め)の発生量と放射能量とを原子炉1GWe/年ベースで算出し、10、50、100GWe規模におけるインパクトファクターを比較している。比較に当っては、廃棄物のコンディショニング、一時貯蔵、輸送、地層処分を標準化し、インパクトファクターとしては、保健・安全面、環境面、核不拡散および保障措置面、法的小および体制面、経済面の5つが示されている。

わが国のU-Pu核燃料サイクルから生ずる廃棄物、特に高レベル放射性廃棄物および α 廃棄物の管理は不可欠の問題であり、さらに、これら廃棄物の最終貯蔵または処分法の確立は、核燃料サイクル施設のデコミ

ッシングに伴って生ずる放射性廃棄物の体制的管理戦略の確立と共に、迫られている重要課題である。

小資源国のわが国として、省核燃料利用は不可欠条件であり、それは世界の一員としてのわが国に与えられた政策でもある。このように見るとき、核燃料サイ

クルの一環が欠けることは全体を崩壊させることであり、以上の各部門を単独に論ずることは許されない。

相互調和の中で、わが国のエネルギー政策が健全に進展するものであり、原子炉を含めて核燃料サイクルの調和ある開発の重要性を知る。(動燃・鈴木 進)

7. 原子力教育

大学における原子力教育

わが国における原子力開発の進捗とあいまって、大学における原子力教育はすでに20年を超える歴史を歩んできた。1956年に東海大工学部に原子力専攻が開設され、翌57年には東工大、京大、阪大にそれぞれ大学院原子核工学専攻の課程が設立された。以後今日に至るまで、大学における原子力教育は原子力産業界とともに成長し、一つの成熟期を迎えようとしている。

原子力教育の20年間は、これを大きく3つの期間に分けて考えることができよう。第1期は昭和30年(1955)代の初頭より、京大、東大、東北大、阪大に原子力(核)工学科の創設、北大、名大、九大の各大学に原子力関係の講座の設置および設備等の整備が順次行われていた時期である。大学から原子力工学を学習した学部卒業生が出たのは1964年が最初である。この初期の原子力教育では、まず多様な原子力科学技術に対処させようという考え方に沿って、基礎学力を弾力的に身につけた学生を送り出すことに重点が置かれていた。また、大学が寄与することのできる基礎的な研究テーマが多く存在していた時期でもある。

第2期は、原子力発電所が商業運転を開始し、またわが国産業界の高度経済成長期に対応している。前述の諸大学では原子力教育と研究の最初の基礎固めが終了したが、一層の拡充を図るため学術会議原子力特別委員会における検討を経て、大学における原子力研究の将来計画が立案されて政府に勧告された。さらに当時すでに共通講座などの形で原子力教育を行っていた名大、北大、九大にも、それぞれ特徴のある原子力学科が創設され、近畿大原子炉工学科とともにほぼ全国にわたる原子力教育の態勢が整えられた。産業界は大学における原子力教育の価値を認識し、人材の受入れ

も確立して行った。他方、産業界から大学における原子力教育への要請も出されるようになった。1971年には本学会に「大学における原子力教育」研究専門委員会が設置され、各大学間の原子力教育の在り方と産業界からみた問題点などが話し合われた。さらに1973年に開催された「原子力工学教育計画の最適化に関する日米科学協力セミナー」はこの時期における原子力教育に国際的な立場から光を当てる機会となった。

1973年の石油ショック以来、原子力はエネルギー資源の問題に大きくかかわっており、その中で重要な位置を占めるようになった。原子力発電所の大規模化など、原子力利用の進展につれて原子力の安全性や環境保全などの議論が活発となり、一方国際的には米国の核不拡散の政策が打ち出され、原子力開発の歩みに影響を及ぼしている。また従来の核分裂炉に加えて、核融合炉の研究開発が進められるようになっている。これらの事情は大学の原子力教育に反映しており、各大学で行われている原子力工学科のカリキュラムの改訂に際して、核燃料サイクル、原子力安全工学、核融合工学などの科目を加えている例が多い。各大学で教育組織拡充の計画は一応完成し、現在は定常的に学部卒業生、大学院修了生を社会に送り出しており、研究用の大型施設の設置も順次進行している。先発の大学では、大型設備のうち一部はすでに10~15年の稼働を続けており、基礎研究ならびに学生の教育に多くの成果を挙げている。その成果を踏まえ、かつ最近の原子力を取りまく新しい趨勢を勘案しつつ新たな設備の計画が進行または立案されている。1972年には神戸商船大に原子力動力学科が設置され、原子力教育に新しいメンバーが加わった。また64年に発足した原子力教育協議会はすでに23回開催され、原子力教育ならびに研究の改善・振興に協力している。

原子力の教育と研究は20年前、物理学、化学、機械工

学、電気工学、材料工学など既設の専門分野の境界領域にある新しい分野として出発した。したがって、初期の教育に際して原子力を体系化されたものとして教えることは困難であり、それぞれの分野の手法、見方で原子力の研究教育に当たった。このような困難があったにせよ、当時は教官にも学生にも新しいことを学ぼうとする熱意と喜びがあったのではないか。そして20年、すでに見たように原子力の教育にも体系化と定常化が進んでいる。教育の重要性に鑑み、常置委員会として新たに再発足した本学会の「原子力教育研究」特別専門委員会で原子力工学科の標準カリキュラムの問題を取り上げているが、標準化の是非は別として、一見して各大学のカリキュラムにはすでにかんがりの類似性が見られる。原子力教育発足当時の教官が停年退官される年代に達し、新たに原研や動燃で原子力研究にたずさわっていた人や、原子力工学科出身の若手が教官に昇進していることも定常化とは無縁ではあるまい。科学研究費交付の独立部門として「原子力学」が認められるようになり、研究の推進に大いに役立っていることは原子力が学として体系化されてきた恩恵の一つに数えることができる。

原子力の教育研究が原子力の開発利用という社会的要請の一翼を担っていることはいうまでもない。その意味では原子力工学科の標準カリキュラムを作成して教育内容を改善し、社会の要望にそった卒業生を送り出す必要があると思われる。しかし一方、大学が創造を目指す場所であるならば、教育の面でも標準カリキュラムを突き破っていくような情熱もまた必要ではなからうか。そのためには、ただ講座や設備の拡大を求めただけでなく、講座間、大学(学部)間の枠を越えた総合的教育の実施や、諸外国との対等な立場での国際交流を広めることなどが望まれる。

教育の基本は単に学問技術の伝達にあるのではなく、原子力教育といえども人間教育の一つではないだろうか。そこで原子力教育も初心に帰って、学ぶことの喜びを伝え、正しい使命観と判断のある卒業生を世に送り出す努力をすることが、将来にわたる健全な原子力の発展に貢献する道であろう。

炉物理「夏の学校」

本学会主催の「炉物理「夏の学校」」が炉物理連絡会の幹事校の世話で毎年開催されるようになって、ちょうど今年は10年目に当る。本学会の活動の中でも、教育面に主力をおいた息の長い行事の一つである。

この企画は、本会内に炉物理連絡会が結成され、一つには研究者に対するサービスとして、「炉物理の研究」誌を発行するのに並行し、後進育成のため大学院生と共にメーカー・電力会社・研究所に勤務している若手を対象としているのが特色である。

これらの事情を反映して初めの頃は講師をできるだけ多数迎えて、炉物理の中心課題を多く網羅する方針がとられた。しかし、テーマが多岐にわたりすぎたとの反省から、最近では2,3の主テーマを中心とするパターンがほぼ慣行化している。経費、運営、参加者数などいくつかの問題もあるが、何の制約も受けず自ら勉強テーマを選び、日頃直接には接触しにくい講師陣を迎えての寺子屋的雰囲気を楽しむ声も強い。自らが講師になるかどうかに関係なく、毎年のように参加している中堅以上の研究者も少なくない。これを追う若手、新鋭層が企画や運営の中心へ参加しやすい形にもって行くのが今後の「夏の学校」の緊急課題であろう。また今後化学・材料関係の「炉化学「夏の学校」」のようなものが期待されよう。

大学共同利用施設での共同教育

京大炉では、1975年夏から臨界実験装置による共同教育が行われている。各大学から大学院学生が数名ずつ集まり、関係教官が分担して教える方式である。1978年は東大を除くすべての原子力関係学科をもつ大学が参加し約40名の学生の教育が行われた。

原子炉に関する基礎的理解に欠けるという教育形態の欠陥をかなり補う効果があると認められて、年々希望者が増加し、1979年度からは従来の2週間を3週間に増やし60名まで受け入れるよう検討されている。

東大原子力工学研究施設は、原子炉開発のための基礎研究、原子力工学の総合的研究、大学院学生の教育研究を目的として1967年度に設立され、大型設備による他大学や研究機関との共同研究を行うことを特徴としている。「弥生」は研究用の高速中性子炉としてわが国唯一のものである。核融合炉ブランケット設計基礎実験装置は、わが国の大学で最初の核融合炉工学の広い分野を含む基礎実験設備であり、ライナックはピコ秒パルスの発生、原子炉との連動を行う特徴のある装置である。「弥生」およびライナックは他大学や研究機関との共同研究に供せられており、大学院学生の教育にも成果を挙げている。

さらに立教大および武蔵工大炉の共同利用が着実に進められている。

日本原子力研究所における教育

1958年度に JRR-1 による運転訓練課程が原研で始まった。これより発展して59年に原子炉研修所が設置され、高級、一般、基礎、保健物理専門の各課程で順次開かれて行った。一般課程では原子力工学一般について講義、実験、原子炉運転訓練を大学のレベルで実施している。高級課程の研修生は、一般課程の講義に出席すると共に、特定の研究室に配属されて特定テーマについて研究に従事する。基礎課程は原子炉運転要員のための基礎訓練である。保健物理専門課程では保健物理に関連した講義、実験を行い、その後保健物理部の各研究室に配属されて原子炉等諸施設の現場実習を行う。1970年度から研修期間の短い諸講座が相次いで開設され、さらに76年度には時代の要請に対処するため大きな改訂が行われ、一般課程は9ヵ月と6ヵ月の2つのコースを含むよう拡張され、また3ヵ月で修得する原子炉工学専門課程が誕生した。また従来の基礎課程を中止し、期間を1ヵ月に短縮した原子力入門講座が新設された。

特記すべき事項としては、日本全国で原子炉主任技術者の資格をもつ人々のうち約50%が一般課程の修了者で占められていることである。最近の受講者の動向を見ると、保健物理専門課程や原子力計測講座、教養講座に申込みが多く、少数の研究者の研修よりもむしろ多数の原子力関連実務者の研修をどうするかが問題となりつつあるように見受けられる。

原子炉研修所とは別に1957年、ラジオアイソトープ研修所が設立され、61年に高級課程、63年に専門課程を開設し、また58年以降外国人を対象とするユネスコ・コース、IAEA コース、FPTA コースなどの国際コースも実施されている。専門課程は密封線源コース、オートラジオグラフィ・コースなどの専門のテーマについて実施するもので、社会の要請に応ずるようなテーマが選ばれている。

放射線医学総合研究所養成訓練部

放医研養成訓練部の課程は、すべて大学卒業者を対象としている。

1959年より開講の放射線防護課程は1,300名を超え、放射線安全管理者の需要をみたす上に大きな役割を果たしている。

このほか核医学課程、RI 生物学基礎医学課程、環境

放射線モニタリング技術課程が各年1回開講されている。また1961年にアジア太平洋13ヵ国の研修生を対象とした国際課程、64年から12年間にわたり放射線医薬品の安全管理を目的とした放射性薬剤課程を12回、医療監視員放射線防護課程を1975年と76年に3回実施している。研究所の付属機関で行う養成は少人数を対象として数週間に限られた専門教育ということにならざるを得ない。しかし、原子力開発の進展、研究機関や産業界からの要望などを勘案して、研修課程や内容をたえず改善する熱心な努力が払われている。

茨城総合高等職業訓練校原子力科

雇用促進事業団茨城総合職員訓練校原子力科は、1962年に中堅技術者養成を目的として開設された。学生定員は20名で高卒後2年間の訓練で、就職は原子力産業の発展とともに企業への比率が高まっている。

原子力科の歩んだ16年間に、職員訓練の中ではそれなりの理解を得て訓練予算の確保、訓練用機器の整備、指導員の充足等が図られたが、原子力界の進歩にはかなりの遅れを生じている。今後、職員訓練が一層重視され、職業訓練短期大学校への方向づけの中で、原子力中堅技術者の本格的な養成機関としての発展が望まれよう。

BWR・PWR 運転訓練センター

原子力発電の健全な発展のための産業界における教育活動の一環として、原子力発電所の運転員の教育訓練課程がある。安全かつ効率的な運転には、高度な知識と運転技術を有し、状況が的確に判断でき、迅速かつ適切な措置のとれる運転員を養成する必要がある。

BWR 運転訓練センターはこのような要請に応じて東京電力福島第1原子力発電所の近くで1974年から運転員の訓練を開始した。一方PWR 関係では、福井県敦賀市に原子力発電訓練センターが設立され、1974年からシミュレータを用いての訓練が開始された。

今後建設されるプラントが大型化し、各方面での改良標準化が進められるに伴い、運転員の能力もより複雑かつ高度のものを求めるようになるであろうから、これに対処できるようシミュレータを初め訓練プログラムや指導方法の改善を図っていくことが今後の課題であろう。

以上の諸機関の活動に加えて、原子力知識の社会への活発な普及に対して原子力文化振興財団の活動があ

る。他方、季刊誌“広領域教育研究”は原子力の広い周辺から理科教育の一環として、広く自然理解を通じて原子力教育の中高校教育の浸透に地道な努力を行なっている。

石油禁輸に触発された有効エネルギー供給に対する危機感の昂りにもかかわらず、核不拡散に関するカーター政策に関連しての判断の複雑さのために先進諸国の各界の一部に原子力科学技術に対し、やや戸惑いが見られないとは限らない昨今、技術文明の将来に明るい展望を開くことが極めて重要である。このために原子力エネルギーの担わなければならない役割と責任の重大性に鑑み、原子力工学教育の基盤の一層の深層化を関連科学技術を重視することによるバランスのとれた教育体制の確立に努力することにより、ようやく世

界的に進みつつあるエネルギー工学の基幹に原子エネルギーを位置づける努力が望まれる。他方、「第2回環太平洋会議」で人材養成計画が熱心に討議されたように、さらに次回以降の同会議ならびにIAEA-UNESCO等を通じての原子力教育の国際交流の窓を開いて行く必要がある。

最後に、本稿は山本 寛、西原英晃、井上和彦、住田健二、柴田俊一、安 成弘、西村和明、山崎弥三郎、飯田博美、川長水広、塩官広海、檜木 幹夫、山本幸典、石塚京助の各氏のご援助ならびに提出された資料に基づくものであることを記し、感謝の意を表します。

(北大・小沢保知、東工大・山室信弘)

8. 原子炉開発

軽 水 炉

運転・建設状況と展望

世界の原子力発電所は発注済みおよび計画中のものも含めて現在総数約700基、総発電設備容量約6億1千万kWに達しているが、炉型別には軽水炉(沸騰水型: BWR, 加圧水型: PWR)が圧倒的に多く全体の86%を占める。運転中、建設中、発注済みのそれぞれに占める軽水炉の割合は83%, 91%, 97.5%と、時とともにその地位を確固たるものにしていく。

わが国の運転中の原子力発電所は1978年10月に東京電力福島第1原子力発電所4号機(78.4万kW)が営業運転に入ったことにより16基となり、その設備容量は956万kWに達し、英国(33基884万kW)を抜き米国(71基, 5,360万kW)に次ぐ世界第2位にランクされることとなった。この結果、運転中原発の全発電設備に占める割合も8.5%にアップしたが、78年度中にはさらに中部電力浜岡2号機、関西電力大飯1号機、原電東海2号機の3基の運転入りが予定されていることから、日本の原子力発電設備容量は78年度末には1,000

万kWの大台を突破し1,200万kWに達する見込みである。また昨78年7, 8月の月間発電量で原子力が初めて水力を抜いたが、77年度の電力9社の発電量比率(火力58.3%, 水力13.9%, 原子力7.8%)からみて、わが国の発電量構成が実質的に火力-原子力-水力の順になるのも時間の問題となった。現在、前述の営業運転中16基のほかに建設中10基(903万kW)、建設準備中8基(694万kW)、電調審決定済み7基(703万kW)の計33基(2,562万kW)が1985年度までには運転開始することになっている。このうち原電東海1号機(ガス冷却炉: 16.6万kW)以外はすべて軽水炉(BWR18基, PWR 15基)である。(表-2参照)

一方、将来の原子力発電開発規模は1985年度までに2,600~3,300万kW、1995年までに1億kWとされているが、原子力発電の将来の主流に位置付けられるFBRの実用化を迎えるのが1990年代と想定されることから、少なくとも21世紀初頭までの原子力発電は軽水炉が大勢を占めるものと考えられている。現在の軽水炉はその発電原価が一般的には石油火力の約60%程度であり、発電原価に占める燃料費の割合が少ないため、将来予想される燃料費の上昇の影響が比較的小さい等、石油火力、石炭、LPGに比して経済性を有するが、1990年代になるとウラン資源の面からも発電原価がFBRのそれを上回り、その後は次第に経済性をもちこたえられなくなってくるものと予想される。

表 2 原子力発電所の運転・建設状況(電気事業用)

(昭和53年10月31日現在)

	設置者	発電所	所在地	型式	電出力 (万 kW)	電調審 決年月	着工 年月	運転開始 年月
運 転 中	日本原子力発電	東海	茨城県那珂郡東海村	GCR	16.6	34.12	36.3	41.7
	"	敦賀	福井県敦賀市明神町	BWR	35.7	40.5	42.2	45.3
	東京電力	福島第一原子力-1	福島県双葉郡大熊町, 双葉町	"	46.0	41.4	42.9	46.3
	"	" -2	"	"	78.4	42.12	44.5	49.7
	"	" -3	"	"	78.4	44.5	45.10	51.3
	"	" -4	"	"	78.4	46.6	47.5	53.10
	"	" -5	"	"	78.4	46.2	46.12	53.4
	中部電力	浜岡原子力-1	静岡県小笠原郡浜岡町	"	54.0	44.5	46.2	51.3
	関西電力	美浜-1	福井県三方郡美浜町	PWR	34.0	41.4	42.8	45.11
	"	" -2	"	"	50.0	42.12	43.12	47.7
	"	" -3	"	"	82.6	46.6	47.7	51.12
	"	高浜-1	大飯郡高浜町	"	82.6	44.5	45.4	49.11
	中国電力	島根原子力	島根県八束郡鹿島町	BWR	46.0	44.5	45.2	49.3
四国電力	伊方-1	愛媛県西宇和郡伊方町	PWR	56.6	47.2	48.4	52.9	
九州電力	玄海原子力-1	佐賀県東松浦郡玄海町	"	55.9	45.5	46.3	50.10	
	(小計)			(16基)	(956.2)			
建 設 中	日本原子力発電	東海第二	茨城県那珂郡東海村	BWR	110.0	46.12	48.6	53.7(予定)
	東北電力	女川原子力	宮城県牡鹿郡女川町, 牡鹿町	"	52.4	45.5	46.5	57.12(")
	東京電力	福島第一原子力-6	福島県双葉郡大熊町, 双葉町	"	110.0	46.12	48.3	54.10(")
	"	福島第二原子力-1	" 富岡町, 楡葉町	"	110.0	47.6	50.8	57.5(")
	中部電力	浜岡原子力-2	静岡県小笠原郡浜岡町	"	84.0	47.2	48.9	53.10(")
	関西電力	大飯-1	福井県大飯郡大飯町	PWR	117.5	45.10	47.10	53.10(")
	"	" -2	"	"	117.5	45.10	47.11	54.6(")
	四国電力	伊方-2	愛媛県西宇和郡伊方町	"	56.6	50.3	52.12	57.3(")
	九州電力	玄海原子力-2	佐賀県東松浦郡玄海町	"	55.9	49.7	51.5	56.3(")
	"	川内原子力-1	鹿児島県川内市	"	89.0	51.3	53.末	59.7(")
	(小計)			(10基)	(902.9)			
建 設 準 備 中	東京電力	柏崎刈羽原子力-1	新潟県柏崎市, 刈羽郡刈羽村	BWR	110.0	49.7		59.12(予定)
	"	福島第二原子力-2	福島県双葉郡富岡町, 楡葉町	"	110.0	50.3		58.8(")
	"	" -3	"	"	110.0	52.3		59.4(")
	関西電力	高浜-3	福井県大飯郡高浜町	PWR	87.0	53.3		58.8(")
	"	" -4	"	"	87.0	53.3		59.2(")
	九州電力	川内原子力-2	鹿児島県川内市	"	89.0	53.7		60.7(")
中部電力	浜岡原子力-3	静岡県小笠原郡浜岡町	BWR	110.0	53.10		60.3(")	
	(小計)			(7基)	(703.0)			
合 計					33基	2,562.1		

(注) 1. 着工年月は工事計画認可の日とした。2. 運転開始予定年月は、原則として昭和53年度施設計画によった。
3. 建設準備中とは電源開発調整審議会で決定し、工事計画認可を受けていないものをいう。

わが国の軽水炉の開発

わが国の原子力開発は1955年の原子力3法成立により正式スタートし、軽水炉については原電、東電がBWRをゼネラルエレクトリック(GE)社から、関電がPWRをウェスティングハウス(WH)社から導入することとし、それぞれ1966年に敦賀1号機、67年に福島第1原子力1号機、美浜1号機と相ついで建設に着手した。一方、国内原子力機器メーカーは昭和30年(1955)代後半以来、東芝、日立がそれぞれGE社と、また三菱がWH社と軽水炉に関する技術援助契約を結び、上

記輸入軽水炉の建設に際し、原子炉系機器の一部下請製作、タービン発電機プラントの一部または全部の製作・据付を担当し、設計・製造・建設にわたり軽水炉技術の習得に努め、引き続き建設される軽水炉の国産化への基盤を固めていった。その後、軽水炉プラントは80万、110万 kW 級と大容量化が急ピッチで進められているが、1号機輸入、2号機から国産という火力以来の考え方を踏襲し、最新技術を国産化の中に採り入れながら世界的な大容量化の動向に対応できるポテンシャルを高めており、現在国内メーカーが主契約者となって建設するプラントについては95~96%以上の国

産化率に達している。しかしわが国における軽水炉技術は耐震設計、放射性廃棄物処理など独自の技術が実っているものもあるが、総じて輸入技術の上に立つ開花である。わが国と同様米国導入技術を出発点としながら短期間に消化し、技術援助契約を断ち切って独立してすでに10年になる西ドイツはしばしば対比される場所である。ただこの背景には国の手厚い財政援助と、大規模な基礎研究開発の実施のように、西ドイツにおいて国家的に強力な原子力産業政策があったことは見逃せない。すなわち1966年までの10年間に政府の原子力支出は、西ドイツの約3,000億円に対しわが国ではその30%に満たないことをみてもわかる。現在、国内の原子力産業は110万kW級軽水炉プラントを年間7~9基生産する能力をもつに至っているが、オイル・ショック後の電力需要の伸び悩み、地域住民のコンセンサスが得られないこと等による立地難から、建設計画の遅延により建設のペースは年間1~2基程度であり、新型炉開発に対するものも含む多大な研究投資と恒常経費により過去21年間に累積赤字1,300億円を計上するに至っている。他方、世界的な原子力利用の増大傾向のなかで原子力後発国への軽水炉プラントの輸出が期待されるが、西ドイツ、フランス等と異なり以下に述べるようにウラン濃縮、再処理サービス等との抱き合せにより商談を進めることのできないわが国にとっては、軽水炉技術の輸出は、米国はもとより上記の国々とも太刀打ちできない状況にあるといえる。

軽水炉プラントの建設については技術がほぼ確立したといえるものの、わが国の原子力開発利用が欧米諸国に遅れて始まったこともあり、燃料加工分野以外では核燃料サイクルについてその事業形成が遅れており、大部分を海外に依存した脆弱な体質を有している。原子力発電が本格化するに伴い、これを支える核燃料サイクルの基盤を強化するため、ウラン濃縮、使用済み燃料の再処理、放射性廃棄物の処理処分等に関し、事業として確立させることが緊急の課題であるとの認識に立ち、昭和50年代になってようやくわが国の核燃料サイクルもその体制確立に向って本格的に動き出し始めたというのが実情である。

機器の故障と稼働率の低下

軽水炉はすでに成熟した技術との認識のもとに米国から導入されたが、以来種々の故障を経験し、その信頼性、安全性に疑義がさしはさまれ、また近年、稼働

率が低迷したことからその経済性までも批判の材料となって来た。このことはパブリック・アクセプタンスや立地問題にはねかえり、原子力発電開発計画を遅らせる一因ともなった。しかし、ここで注目すべきことは、故障が相次ぎ運転実績を低下させたのは概して初期の輸入プラントであったということである。ここ数年來、BWRでは配管等の粒界応力腐食割れ(SCC: Inter Granular Stress Corrosion Cracking)、PWRでは蒸気発生器伝熱管の減肉腐食(Wall Thinning Corrosion)等の材料、水質、システム・エンジニアリング、機器製造技術に関連したトラブルが米国を初めわが国においても相次いで発生した。

BWRのSCC問題は冷却材再循環系バイパス・ライン等の使用環境条件的にも類似し、構造的に類似性のあるタイプ304ステンレス鋼製配管系等に見付かっている。SCCが発生・成長するには材料上、応力上好ましくない環境が重なる場合であり、これらが重ならないようにすることによって解決できるが、新プラントの建設の場合、試運転段階の場合あるいは運転プラントの場合に対し、それぞれ各段階に適した種々な対策を考え、すでに実機に適用してきている。

PWRの蒸気発生器伝熱管の減肉腐食は、蒸気発生器2次側の水処理に使用されていたリン酸塩が管支持板の伝熱管貫通部等熱流動性のよくない部分で濃縮し、インコネル製伝熱管表面を局部的に腐食して肉厚を減少させた現象である。これを防止するため、その後水処理を濃縮のおそれのないボラタイル処理(AVT: All Volatile Treatment)に変更し再発防止対策は成功した。

原子力発電所におけるこれら故障等の発生に際しては、原因究明、補修工事およびその安全性の確認を慎重に行うと共に、類似の事象が他の箇所にないか等について十分な点検を行うため、必要に応じて長期にわたって運転が停止されることがある。

この結果、わが国全体での原子力発電所の稼働率は次第に下降してゆき1977年度には史上最低の時間稼働率46.6%、設備利用率41.8%を記録したが、これらの中にあっても最近運転を開始し、先行炉の経験が生かされている国産プラントは個々には良好な運転実績を挙げているともいえる。配管のSCC、蒸気発生器の減肉腐食のほかにも燃料のトラブル等いくつかの故障例を数えることができるが、それぞれに対する地道な再発防止対策の努力が効を奏し始めたが、1978年度上期は時間稼働率65.3%、設備利用率59.6%とますますの成績となり、77年度の同期実績がそれぞれ42.8、38.9%で

あったことからみると、総じて稼働率の低迷状態から脱却して運転実績の上昇機運を見せ出したといえる。

機器の信頼性実証と改良標準化

軽水炉技術が外国からの導入技術であり、前述のように各種のトラブルが発生したこと等から、原子力開発に対する国民的合意を得るためには、従来から行われている安全研究を引き続き進めると共に、軽水炉の安全性・信頼性が実際に確保されていることを現実に実証する必要がある。このため1975年度より通産省および科学技術庁が分担して原子力工学試験センタおよび原研等に電源3法等を活用して燃料集合体、蒸気発生器、ポンプ、弁類、配管、溶接部等の熱影響部、工学的安全設備等の各種機能に応じた信頼性実証試験、主要機器の耐震信頼性実証試験、放射性廃棄物安全性実証試験を委託し1980～82年度を中心に成果を得るべく推進している。また一方では、電力会社および軽水炉メーカーにおいても、燃料および機器の信頼性向上に関して数多くの自主および共同の研究開発を実施しており、その成果は着実に実プラントに適用されて、軽水炉の改良と定着化が進められてきた。

このような動向を総合すると共に、さらに一步進めて通産省を中心に官民一体となって自主技術による日本型軽水炉を確立してゆこうとの構想が生れてきた。すなわち、自主技術により軽水炉の信頼性、稼働率の向上および従業員被曝低減(表-3参照)を目指した軽水炉改良標準化プログラムである。これは1975年度から始められ77年度に終了した第1次改良標準化と、この成果をベースに範囲の拡大と内容の充実を図り、1980～81年ごろまでに日本型軽水炉を確立しようとする第2次改良標準化の段階に分けて進められている。

第1次改良標準化では、これまでに蓄積された実証技術をベースに、ここ1～2年間の技術開発により確信をもって適用しうる改良策を採用してゆくことと

し、BWRは福島第2・2号機が、PWRは川内1号機がそれぞれモデルプラントに設定された。第1次の特徴は従来からの運転経験に基づく機器設備・サービス工具の集成・採入れ、原子炉格納容器の内径拡大と格納容器内配置の改善による保守点検の的確化、従業員被曝の低減であり、定期検査期間の短縮については、主としてサービス工具等の改良で対処している。標準化については、上記のモデル・プラントのうちサイト条件等の影響を受けない範囲で、その仕様を見直して標準仕様とした。

第2次改良標準化は、1980年以降に設置許可が申請されるプラントに適用するための改良標準化設備の仕様を検討し固めようというものである。したがって、比較的長期にわたる機器設備の改良開発成果も取り入れることができ、定期検査短縮を目的とした機器設備・サービス工具の強化、配置計画等も可能である。標準化は耐震設計、基本配置計画も含めてプラント全般の機器設備にわたり、その範囲を拡大しようという構想である。

これら改良標準化プログラムには設置許可、工事計画認可等の許認可関連の書類の標準化も含まれ、許認可期間の短縮等の合理化も期待される。現在原子力発電所はベース・ロード運転を行なっているが、1985年以降は日間負荷追従運転を行うことも要求されるので、それまでに負荷追従運転時の燃料の健全性を前もって確認しようとする動きもこの改良プログラムの一つとして組み込まれている。定期検査短縮を信頼性向上と検査設備の改良により達成しようとする改良標準化プログラムと並行して、欧米の実態を参考に規制・制度面からも定検合理化を図ろうという動きも出てきている。

改良標準化を通じて、発電プラントの稼働率の向上、許認可業務の簡素化、将来の増産体制の確立、それによるコストの低減など多くの効果が期待されるが、一律なサイト条件が得にくいわが国において、プラン

表3 軽水炉改良標準化の目標

	従来のプラント (500～800MW)	第1次標準プラント の推定 (800, 1,100MW)	日本型軽水炉 の目標 (800, 1,100MW)	手段の一例
信頼性	一部のプラントで要補修箇所あり	ノートラブル	ノートラブル	耐SCC材の開発等(BWR) 蒸気発生器の改良等(PWR) 燃料交換のスピード化等 (BWR)
定期検査日数	90～100日 (補修工事がない場合)	85日程度	70日程度	原子炉容器の蓋一体化装置の開発等(PWR)
稼働率 時間稼働率 設備利用率	プラントによりかなり異なる	75%程度 70%以上	80%程度 75%以上	
従業員の被曝	(100%とする)	65～75%	30～50%	自動検査機器等の大幅導入他

ト全体にわたる標準化がどの程度まで可能であるかはこれからの検討課題である。

また、国の技術基準・規制等の一層の整備ならびに電力会社各社間の基準の一層の統一整備等が、標準化推進の前提条件として必要とされる。

その他、軽水炉をめぐる動向

原子力発電をめぐる、わが国初の伊方原発訴訟が4年8ヵ月ぶりに被告・国側の全面勝訴で一応の決着をみた(1978年4月)。この判決で、原発開発推進に司法の立場から“支持”の審判が下ったことを意味するが、同時に住民の出訴権を認める「原告適格」の判断を下したことも注目される。係争中の他の2つの行政訴訟(東海・福島)だけでなく、各地の原発反対運動の今後の展開にも微妙に影響を及ぼすものとみられている。

これら反対運動を通じ、さらに直接的には原子力船「むつ」の放射線漏れの最終責任の所在が問われたことを契機に、原子力委員会のもつ開発利用と安全規制の2つの機能のうち後者を、原子力安全委員会を設置(78年10月)してこれに分与すると共に、発電用軽水炉は通産省が許認可を一貫して行う(79年1月スタート)など安全規制行政の体制強化が具体化してきた。

また、軽水炉の安全審査に関し、原子炉施設の安全設計審査指針、原子炉立地審査指針、等に「安全評価に関する審査指針」、「耐震設計審査指針」等が新たに加わった(1978年9月)ので、今後はより効果的な審査を期待できる。

原子力発電所の立地難から、海上設置、地下設置等の可能性の検討が従来より各方面で行われているが、これとは趣を異にした動向として、今後15~20年後には必ず直面する原子力発電所デコミッションングについて、国がその検討を採り上げようとしている。

(三菱原子力・浅井英之)

重 水 炉

重水炉開発の誕生

わが国が重水炉の開発に着手したのは、原子力委員会が動力炉開発専門部会の報告を基に国産動力炉の開

発炉型を重水炉に決定した1963年6月であった。この決定を受けて原研は各種重水炉の技術評価を行うとともに、重水、沸騰軽水、炭酸ガス、有機材を冷却材に用いた300 MWeプラントの概念設計を原子力産業5社に発注した。これらを評価検討した結果、沸騰軽水冷却型と炭酸ガス冷却型が採り上げられた。

折から開催された「ジュネーブ会議」などを契機に、わが国の動力炉開発を再検討することになり、1964年秋に動力炉開発懇談会が設置された。熱中性子炉の開発炉型の選定にあたり当時実用化されつつあった軽水炉と比べて転換比のほかにも熱効率のよい炉型も検討対象にしたので、これらを総称して“Advanced Thermal Reactors(新型転換炉)”と呼ぶようになった。

原子力委員会は動力炉開発懇談会の報告を勸案して、1966年5月に、高速炉とともに新型転換炉を開発し、後者の炉型を特に核燃料の多様化と有効利用の観点から重水減速沸騰軽水冷却炉と決定した。

1967年10月に動燃が設立され、新型転換炉の開発が本格的に開始されたが、それまでの1年有餘は原研内に設置された動力炉開発臨時推進本部が新型転換炉の基本開発計画、開発費(約660億円)、原型炉出力(165 MWe)等を決めていった。

また、天然U供給で稼動することと経済性の両立を図るため、まずPuセルフサステイニングサイクルを実現し、次いで天然U専焼の開発に進む方針をまとめたのもここであった。そして、この方針に基づき原型炉の構想概念設計を原子力産業5社に発注し、原型炉の構想を提案させた。

新型転換炉の効果と役割

原子力委員会は新型転換炉の開発を決定した際、その開発意義を次のように示した。

“核燃料の有効利用と多様化が図れること。すなわち天然U所要量とU濃縮所要量を節減でき、特に天然U供給で稼動できて将来高速炉が実用化された場合は、高速炉にPuを効率よく供給する。”

このうち、新型転換炉に天然Uを専焼することは、カナダのGenetilly-1(250 MWe)にみるように、大きな正の冷却材ボイド係数のため炉の安定性に問題あることが判明してきた。一方、新型転換炉に軽水炉を組み合わせて軽水炉の使用済み燃料に含まれるPuを利用すると、軽水炉のUリサイクルの場合と比べ天然UとU濃縮の所要量を各1/3程度節減できる。わが国では当面軽水炉が主流になると予測されるので、新型転換

炉のわが国の核燃料サイクル上の位置づけは、次のように考えられる。“軽水炉の稼動に伴って生れる燃料、特に Pu を有効に利用して天然 U と U 濃縮の各所要量を節減し、併わせてPuの蓄積量を適正にする。”

「ふげん」の開発

原型炉「ふげん」の開発は、関係機関の協力の下に設計・製作・建設を軸に、炉性能、機器、燃料・材料・安全性の各分野で進められてきた。特にシステム設計を確立し、設計と重要機器のノウハウはすべて蓄積することを基本にした。この方針に従い、

- (1) 大洗工学センターに重水臨界実験装置、14MW 熱ループ、コンポーネントテストループおよび安全性試験施設を建設し、炉性能、圧力管集合体と燃料集合体の耐久性、安全性の実証試験などを1969年度末から実施してきた。
- (2) 燃料集合体、圧力管集合体、燃料交換機などの重要機器は、それらの重要部を試作・試験し、次いで実物大の試作・試験を行ってきた。

1. 設計・製作・建設

動燃はまず第1次概念設計を行なって、原子力産業5社から動力炉開発臨時推進本部に提案のあった5つの構想を一つにまとめ、開発計画を具体的に立案した。次いで、設置許可申請できることを目的に第2次概念設計を1968～69年度に表4に示す分担で実施した。これと平行して、わが国が従来あまり開発していなかった分野の設計と開発の速度と質を高めるため、英国から核設計コード等を、カナダから圧力管集合体等に関する技術情報を購入し、特に第2次概念設計から設計と開発に反映させていった。これらについては、大洗工学センター等で行う開発結果を基に改良していくことにした。

表4 「ふげん」第2次概念設計分担

日	立	(主務会社)原子炉本体、炉心設計
東	芝	格納容器、タービン発電機設備
三	菱	1次冷却系
富	士	燃料交換機、工学的安全防護設備
住	友	重水・He系、補助冷却系
電	発・原電	配置計画、土木・建築

「ふげん」の構想を決定する際大きな問題は、燃料装荷を炉の上下いずれの面から行うか、制御方式を何にするか、燃料集合体の燃料棒本数であった。最初の点は、将来天然U専焼にする場合は運転中燃料交換が必要で、その操作は単相流の下で行う方がよいと判断

し、燃料装荷は下方から行うことにした。炉の制御はJRR-3で経験のあるワイヤードラム駆動の制御棒方式とし炉の上面から挿入することにした。最後の点はサバンナリバー研究所の最適評価法に則って評価し、28本クラスター燃料に決定した。

1967～69年当時、Puは価格も高く入手も困難であったので、初期炉心は微濃縮Uを装荷し、その後Pu燃料を装荷していくことにしていた。このため、正の冷却材ボイド反応度対策から1次冷却系を4ループに設計した。

1969年5～11月に実施された新型転換炉評価検討の結果、「ふげん」の建設が認められ、設置許可は70年11月に下り翌12月に着工した。しかし、機器関係の契約が難行したため、安全審査における審議および開発成果も取り入れて設計の合理化を行なった。折からPuの価格が下がり入手も比較的容易になったので、動燃東海事業所のPu燃料製造能力も考慮し、初期炉心の中央部にPu燃料を96体装荷することにした。この結果、冷却材ボイド反応度はほぼゼロになり1次冷却系を2ループに削減でき、また平衡炉心と初期炉心の炉特性の差に対処する必要もなくなった。機器関係の契約は1971年7月に締結され、また施工管理は電発が行うことになった。

格納容器は1973年6月に使用前検査に合格し、原子炉等の機器据付は74年9月から開始された。建設中に、軽水炉におけるステンレス鋼の応力腐食割れ、Pickeringにおける圧力管のDelayed Hydrogen Crackingなどの問題が起り、いずれも対策を施した施工をした。後者については開発試験を行い、それに基づき圧力管接合部の残留応力を除去した。

1977年6月に機器据付を完了し、総合系統試験を行なって系統・機器の性能確認と調整を行なった。78年3月22日に最小臨界、5月9日に全炉心初臨界を達成し、7月29日に25 MWeの初送電に成功した。以後、25%ステップで出力上昇試験を行い、11月13日に100%出力を達成した。現在、定格出力運転に79年3月末から入れるよう努めている。

2. 研究開発(R&D)

開発の初期は、設計コードを整えることと、大型開発施設ができるまでに設計のめどをつける試験を実施することに重点をおいた。後者については、既存の施設を極力利用することにし、原研と東工大のループを用いた燃料の伝熱流動試験等、住友原子力工業における2領域実験、サバンナリバー研究所の制御棒に関する臨界実験等が行われた。R&Dは前述の基本的考えで

進め、その結果を基に「ふげん」の設計を検討し、設計変更あればその裏付試験を行なってきた。R & Dの結果が予期に反したこともあった。例えば、最終燃料集合体のバーンアウト限界が設計値より約15%低くであった。検討の結果、これは燃料集合体が圧力管に寄りかかってその水路を狭くするためと判明した。バーンアウト限界の向上に努め、スペーサ間隔を狭くするとよいことがわかり、燃料集合体のスペーサ間隔は、熱負荷の大きい中央部で26cmにし、端部は42cmとした。規準の変更や技術の進歩により当初の開発計画に追加された大きな項目は、「供用期間中検査」と「非常用炉心冷却系の安全評価指針」に関係したものであった。前者については新型転換炉特有の圧力管と蒸気ドラムに関する開発に重点をおいており、後者については大洗工学センターに実規模で再冠水試験を行なった。現在はこのほか改良燃料(負荷追従性の良い)、運転保守設備の開発も行なっている。

実証炉の開発

実証炉の開発は1973年度から始められた。現在600 MWeプラント概念設計(主契約者は日立で、他の4社が協力)の最終段階にあり、大洗工学センターにおいて炉性能に関する開発試験が進められている。実証炉設計の基本的考え方は次のとおりである。

- (1) 燃料交換方式と重要機器(圧力管集合体、制御棒等)は原則として「ふげん」と同じにする。
- (2) 工学的安全防護設備に常時稼動している機器を活用し、安全に対する信頼性を向上する。
- (3) 計算機を積極的に導入し、プラントの安全性、稼動率等を高めて省力化を図る。
- (4) 36本クラスター燃料を採用し、圧力管本数の削減を図る。
- (5) 燃料交換は停止中に行い、年2回程度とする。

実証炉の設計は、1979年度には調整設計に入り詳細化が予定されている。

なお、Pu 燃料製造施設の概念設計も進められており、重水製造施設の調査もなされている。

海外協力

新型転換炉の開発に関し、動燃はAECLと1972年9月に技術協力協定を結んでいる(「ふげん」とGentilly-1関係に限る)。また、日本、英国、イタリア、カナダは年1回程度 JUICE Meeting を開き、その時々トピ

ックスについて技術討議と技術交換を行なっている。

以上のように新型転換炉に関する設計・技術の知見は大幅に蓄積され、主要な開発施設は整っているので将来の発展基礎は固まったといえる。そして新型転換炉は軽水炉の稼動に伴って生れる燃料、特にPuを有効に利用して天然UとU濃縮の各所要量を節減する効果があるので、近い将来、資する所大きいと思われる。(動燃・沢井 定)

高 速 炉

わが国における高速炉開発20年の歴史は、前・後半のちょうど10年ずつに分けて考えることができよう。1958年からの原研東海におけるブランケット指数実験装置による炉物理実験や、その後実験炉の設計研究等が行われた第1期とも呼ぶべき時期と、その後の動燃の発足から、78年7月の実験炉「常陽」の50MW運転の達成に至る第2期ということになる。そして、これからは原型炉「もんじゅ」の建設および実証炉着工という第3期ともいうべき時代に入ろうとしている。以下に私なりの簡単な回顧を試み、末尾に感想と展望を述べてみたい。

第1期の研究

NaKおよびNaの取扱いは1956年頃から日立で始められており、また電中研でも58年頃には設計研究が行われ、100,000 MWD/T級の燃焼度の炉が提案された。これは当時の高橋実室長らとの論文で、必要性和可能性の予測のようなものであったと記憶しているが、なにぶん東海1号炉が3~4,000 MWD/T、軽水炉でも10,000~20,000 MWD/Tが論じられていた頃のこと無茶な話と思われた方々も多かったようである。最近ではさほど驚くほどの数字でもなく技術の進歩のあとを感じる。

しかし、第1期における原研の果たした役割りは大変大きい。原研は日立のNaシステムの基礎研究に1960年より共同参加し、腐食試験ループを作って種々の経験を積むと共に、ブランケット指数実験をJRR-1で実施した。1964年ころには原研内にNa特研建屋およびループが作られ、また実験炉の予備設計もこれに引き

続いて行われ、さらにメーカー等からの客員研究員を入れて100万 kWe の炉の設計研究も行われた。私などもよく議論に参加したが、当時、世界的にも高速炉開発の機運が高まっていた折でもあり、関係者の高速炉開発への関心は大変強くなった。

メーカー各社もこの間は原子力平和利用研究補助金や原研からの委託を受けて、各種コンポーネントや計測器の研究を進めていたのであるが、電力業界もまた高速炉調査研究・設計研究を続けていた。1968年には電中研が米国原子力開発協会(APDA)との間に協力協定を結んで、日本フェルミ炉委員会が設立された。私もこの計画の企画、立案段階から参画し、フェルミ炉委員会の事務局にあって微力を尽くしたつもりである。これは参加各社の協力を得て、約10年にわたって延べ50名近くを家族と共に派遣するというかなり大がかりなものであり、当時デトロイト・エジソン社のスラー会長の好意が大きな助けとなった。この協力関係による民間ベースでの交流により多くの技術者が実際の高速度炉プラントの体験を得ることになり、その後のわが国の高速度炉開発を支える大きな力となったと確信している。また、大学でも各種の研究が行われたが、高速中性子源炉「弥生」の建設も特筆すべきであろう。なお、この期間に現在BNLに居られるW. Y. Kato氏と当時ドイツ大使館に居られたW. Sahl氏が果たした寄与は大変大きい。主としてKato氏からはFCAの建設、運転に関連した炉物理の面で、Sahl氏からはラプソディー炉での経験を生かしたプラント設計の面で極めて熱心に助言、協力をいただいた。

第2期(動燃事業団の設立)

原子力委員会は1964年9月に第3回ジュネーブ会議が開催されたあと10月に動力炉開発懇談会を設け自主開発に対する国の方針の確立を図った。同会は1965年7月中間報告を提出したが、新型転換炉と高速増殖炉を併置した開発計画が定着していったのはこの頃からであったと思う。両炉についてワーキング・グループが作られ、海外調査団も派遣された結果、懇談会報告書「動力炉開発の進め方」が提出されたのは1966年3月である。

これを受けた原子力委員会は5月に動力炉開発基本方針を決定したが、そこで両炉型の自主的開発を行うことと、これを国のプロジェクトとして推進するための総合調整の機能を持つ新特殊法人を設立することが決まった。こうして高速炉開発の主役は動燃へと移っ

て行くのであるが、その前段階としての1966年6月の動力炉開発臨時推進本部の設置、そこでの研究開発計画の策定と新法人の性格付けの議論、原子燃料公社との調整、そして1967年3月の原子力委員会決定を経て10月の動力炉・核燃料開発事業団の発足に至る間の Sturm und Drang は、今にして懷えば日本の自主技術開発への陣痛であったのか、ともかくもあわただしき数年ではあった。

こうして動燃は発足し、同時に実験炉と原型炉の型式・規模もほぼ現行どおりのものに決定した。そして実験炉の概念設計も原研から動燃へと引きつがれた。

1966年ごろの臨時推進本部において、新法人の性格について、計画の策定と管理・各種調整のみを主務とする機関とするか、自ら研究開発も行う機関とするかの議論があり、原研との連繫についても種々の考え方があった。しかし、結局自主技術開発を強力に一元的に推し進めることになり、原研大洗の敷地の半分を動燃が借用し、各種の研究、試験施設を建設・整備していくことになったのである。最初に着工(1968年3月)されたのは、照射燃料試験施設と2 MW Na ループであったが、その後次々と各種の試験、研究装置が建設された。私は1968年に動燃に移ったのであるが、当時は具体的な研究開発計画の策定に追われる毎日であったが、一方不慣れな予算制度にあって研究開発費の獲得に予期せぬ経験をしたことなども今やなつかしく思い出される。やはりまだ高速増殖炉の必要性がごく一部の関係者以外の人に今ほどよく認識されていない時代であった。こうして原研に設置されたFCAによる研究と海外への依託実験等によった炉物理・核設計研究の一部を除くプラント・コンポーネントの研究開発は、ほとんど動燃大洗に、また高速炉用燃料の研究開発は動燃東海に集中された。1970年に設置された実験炉や新型転換炉関係の施設を含めた大洗の組織は同年大洗工学センターと命名され、その後の発展と共に今や国際的にも著名な自主開発センターとなっている。現在高速炉関係は4部約400人で、実験炉の運転・管理および出力上昇・照射用炉心への移行準備のほか、年間約200件に及ぶ試験研究成果報告をものするという集団に育っている。今日の研究開発を第1期の研究と比較してみたとき、大型コンポーネントの製作・運転の経験、大量のNa取扱い、照射済み燃料取扱いの経験等に非常に大きな発展がみられる。なお自主開発といえども、効率的に開発を進めるためには、国際協力も極めて重要である。動燃発足当時は、国際協力をしようにも相手国側にとって得るものがないからというよう

な理由で色よい返事がもらえなかつたりしたこともままあった。現在では日米間、日英間、日西独仏間に高速炉に関する協力協定が結ばれており、各国とも極めて積極的である。国際的な競争の域にはいれてきたのだなと感じるときが多い。これもナショナルプロジェクトとして皆で協力して努力してきた大きな成果のひとつのあらわれである。

実験炉「常陽」

実験炉「常陽」は、わが国の高速増殖炉自主開発計画の最初の炉であり、原型炉「もんじゅ」の建設に必要な技術的経験の取得と、完成後の燃料、材料の照射施設としての活用を目的としている。「常陽」は目標出力を100 MWとして設計しているが、この炉がわが国に作られる最初のNa冷却型高速炉であることを考えて50 MWを第1期の運転出力として採用した。1970年に着工、77年4月に臨界に達した。「常陽」の設計、製作、据付等は東芝を主務会社とする日立、三菱、富士の4グループが行なったのであるが、関連した研究、開発にはこれらのメーカーのほか大学、研究所等数多くの機関が力を注いだ。燃料の開発も大きな課題の一つであった。高速炉のような複雑なシステムを持ったプラントを初めて開発するというのは、当然のことながら容易なことではない。最初に立てたプラントの概念を根底から覆えすような研究、試験結果が途中で出たりすれば、計画は大幅に変更せざるを得ない。そのような条件の下にあって「常陽」の計画が比較的順調に進められ得たのは、それまでの技術の蓄積と関係者一同の慎重かつ熱心な努力の賜にほかならない。

今後の「常陽」は78年10月末より定常運転に入り、ついで75 MWへの出力を図り、79年より75 MW運転を行う。そして81年ごろには照射試験用の炉心に変更した後100 MWに出力を増す予定である。

なお、実験炉を「常陽」、原型炉を「もんじゅ」と呼ぶように決めたのは1970年のことである。「常陽」はその設置場所の大洗が常陽と呼ばれる地域にあり、この地で日本の教学が培われたことに因み、本実験炉が教学の調和に立つものであることを念願して名付けられた。「もんじゅ」は動燃が開発している新型転換炉「ふげん」の名称と共に釈迦如来の左右の脇土、文殊菩薩と普賢菩薩に由来し、両菩薩はそれぞれ智慧と慈悲を象徴し獅子と象に乗っておられ、その強大な力をもつ巨獣を智慧と慈悲でコントロールしており、原子力の巨大なエネルギーもこのようにコントロールし、科学と教学

の調和の上に立って人類の幸福を望んでいる。これは当時の動燃副理事長清成 迪現原子力委員長代理によって決められたと聞いている。

原型炉「もんじゅ」

実験炉に引き続いて発電設備をもつ原型炉を設置することは、かつての原研や臨時推進本部での計画の中にも早くから盛り込まれていたが、動燃の業務として公式に定められたのは1968年3月、事業団法の規定に基づいて内閣総理大臣が決定した「基本方針」によってである。この時の文書では76年ころという早期の臨界が想定されていた。

結果的には諸般の情勢により78年10月現在予定敷地の環境審査が始まったところであるが、このあと安全審査を経て着工は80年、臨界は86年になると予定されている。「もんじゅ」は国産技術による中間規模の原型炉の設計、製作、運転の経験を通して高速炉発電プラントの諸特性、信頼性、運転性を実証し、将来の実用化段階における経済的な競争力の見通しを得ようとすることを目的としている。原型炉の設計は1968年に始められた。原型炉予備設計では電気出力約30万kW、混合酸化物燃料使用Na冷却高速増殖炉というような大まかな基本仕様のほかは設計概念の選択は設計を担当するメーカー自身の自由に任せられた。この設計は東芝、日立、三菱、富士、住友の5社において行われたが、できるだけ自由な発想でプラントの概念設計をやってもらい、関連産業界の英知を集めようという配慮からである。動燃はこの設計を基に原子炉形式、燃料交換方式、蒸気発生器形式などを決定した。莫大な資金、人材等を必要とする開発プロジェクトを効率的に進めるためには、慎重かつできるだけ速やかに努力目標を絞ってゆくことが必要なのである。基礎をしっかりと固めながら概念をできるだけ絞ってゆくプロセスは、個々の研究開発そのものと同様に重要である。現在蒸気発生器、ポンプ等の関連機器の研究開発も順調に進んでおり、プラントの設計については製作準備設計として設計の細かい詰めを行なっている段階にある。

実証炉など

商用炉の設計は前述のように原研、電中研等で古くから行われ、東電もまた外国文献の広汎な調査の後にメーカーとの共同で1973年ころには150万kWという大型炉を想定して相当詳細な概念付けを行なっている。

動燃も1975年より4次にわたって予備設計を行なっているが、これらを通じて種々の型式・概念等の比較を行なった後、現在「もんじゅ」を基盤とした設計概念を固めつつある。原型炉から実証炉、実用炉へと引き継がれるわが国の高速増殖炉開発計画については1975年に行われた新型動力炉開発専門部会(いわゆるチェック・アンド・レビュー)においても審議され、同部会は原型炉については計画どおり建設を行うことが適当であるとし、さらに「実用化を円滑にすすめるためには昭和60年代半ばまでに、実証炉の建設が必要であると考えられる」という答申を1976年9月にしている。原子力委員会はこの趣旨に沿って今後開発を積極的に推進して行くことを決定しており、今後の開発計画はこの答申に沿ったものとなるが、積極的に推進するためには、まずその主体者が明確にされる必要がある。

今後について

これまで進めてきた高速増殖炉の開発は、わが国の自主技術によって安全で信頼性、経済性のよい高速増殖炉を開発し、わが国の将来のエネルギーの安定供給を図ろうとするにある。今後、原型炉を建設し実証炉、実用炉へと進むに当たって、私を感じている高速炉自主開発の特徴と問題点というようなものを少し分析を試み、述べてみたい。

主たる特徴としていえるのはまず、多くの人材と組織の参加を必要とすることであり、関連燃料サイクルまで含めた広い分野の技術が関連していることである。次には多額の資金を必要とすることであり、3番目としては、大変長期間にわたるプロジェクトであるということである。動燃だけをみても、高速増殖炉開発に従っている人員は約500名であり、そのうち約200名が出向者である。出向元は電力、研究所、メーカー等30社以上に及んでいる。そのほか計画管理、事務部門等への出向者などを考え合わせると、官庁、銀行等まで含めて実に多数の機関、会社が関連している。今後実証炉の開発を効率的に推進するためには、さらに多数のものを総合的に取りまとめて行かねばならない。この大プロジェクトを推進するための主体とその責任を明確にすることが是非とも必要であり、それもまた速やかに明確にされなければならない所以である。

資金については、動燃だけに限っても実験炉と原型炉を含めた高速増殖炉研究開発費は1978年度までに約1,600億円である。今後実証炉のための研究開発費は1,800億円と推定されている。これらのほかにプラン

ト自体の建設費および関連燃料サイクル関係の費用などを合わせて考えると必要資金は相当なものになる。国による積極的な資金負担が望まれる。

時間については、実験炉、原型炉という高速炉プラント建設を目標として動燃が設立されてからでもすでに10年が経っている。新型動力炉専門部会の報告によれば、高速炉が実用化され次々に導入されるのは今世紀末近くということである。それまでおよそ15年かかることになる。動燃設立から数えると約25年、4半世紀のプロジェクトである。技術というものは、単なる資料の蓄積でなく少なくとも大半が「人」によって維持され発展されていくものである。その技術も基礎的な研究による裏打ちから設計、製作、建設、運転等極めて多種多様な分野にわたっている。それらの関連研究者、技術者を10年、20年の長期間にわたって常時維持し発展させてゆかねばならない。その間研究成果は適切に評価され、技術は具体的な形として結実するよう配慮されなければならない。技術の一元化と共にその維持についての格別の配慮が望まれる。

翻って世界のFBRの開発状況を見るに、フランス、ソビエト、イギリスではすでに30万kWe級の原型炉が稼動中であり、なかでもフランスでは120万kWeの実証炉が建設中で、これからいよいよ実用化の仕上げへと進みつつある段階にある。そして昨今の国際情勢からすれば、少なくとも高速炉のようなわが国の基幹産業技術については、自主開発努力が極めて重要であることは明白である。わが国におけるFBRの開発計画は、ナショナルプロジェクトとして実験炉から原型炉へと着実に進展しつつあり、大きな成果を挙げてきた。これからいよいよ実用化の仕上げの時代に入るに際しては、単に研究開発の目標だけに注目するのではなく、ここに述べたような諸点についての十分な配慮と決断が必要であると考えられる。(動燃・三木良平)

ガ ス 炉

概観と現状

日本で最初の原子力発電所は英国から導入され、原電で運転されている炭酸ガス冷却黒鉛炉である。この東海1号機は1957年に計画され、66年に運転開始し、

現在良好な稼働率で運転されている。この9年にわたる長い建設期間に、世界の原子力発電の主流はガス炉から軽水炉に移り、日本でのガス炉の建設はそれ以後全くない。また同じ時期に日本の独創による半均質炉の研究開発が原研で進められたが、1955年から数年間、開発の見込みが立たず中止された。

ガス炉凋落の原因の一つに炉心出力密度の低さがある。東海1号機が0.2kW/lで、福島6号機が51kW/lである。この出力密度向上のため、冷却材をHeに変更し、被覆燃料粒子からなる燃料を用いることによって、ガス炉は高温ガス炉として開発が進んだ。そして出力密度は8kW/lと向上し、軽水炉と経済性でも立ち向えるようになって来た。日本での高温ガス炉計画は、電発が1975年ころに米国GA社からの導入を計画した。不幸にしてこの計画はGA社の経営方針の変更によって中断した。一方原研では1969年より多目的高温ガス炉開発計画が、冷却材温度1,000°Cを目標とする計画として発足した。1975年に概念設計、その後調整設計を実施した熱出力50MWの実験炉は昭和60年(1985)代前半の運転を目指して、1979年度より詳細設計段階に入ろうとしている。

また実験炉機器の安全性実証のため、原研で大型構造機器実証試験ループ(HENDEL)の計画が進められている。工業技術院直接製鉄大型プロジェクト(原子力製鉄技術研究組合、金属材料技術研究所)では1973年からHeループの建設が進められ、78年その完成をみた。こうしたR&DにてHe技術が進むと共に、高温ガス炉の発電利用以外の分野、製鉄、化学工業等への応用の可能性もあるとして、民間でも「高温ガス炉共同研究会」、「高温ガス炉エネルギー有効利用システム研究会」等の研究会組織が誕生した。

原子力開発での最近の傾向として国際協力の増進があるが、高温ガス炉の分野も例外ではない。高温熱源としてのガス炉を最初に達成した西独ユーリッヒ研と原研との協定が近々発効する予定で、安全性では日米間の情報交換も開催されている。

将来への展望

発電炉の導入計画は現在のところないが、高温ガス炉に関して日本の現状をまとめると、

- (1) 原研の多目的実験炉計画は進められよう。
- (2) He技術の開発は今後も進展する。
- (3) 西独および米国との国際技術交流は隆盛になる。

(4) 核熱利用への民間の関心は広く存在する。

高温ガス炉開発の技術的意義は、原子力における高温技術の確立にある。高温核熱源は発電では発電効率の向上、発電以外の分野では化学反応への応用という将来技術の可能性を持つ。開発に伴う諸問題について困難性を指摘する立場もあるが、日本が高温技術を確立する意義を否定する人はないと思われる。

核熱利用推進の場合、開発された技術を国民に役立てるための日本でのシステムを早く明確にすべきであろう。核熱エネルギーが他のエネルギーと比較して割安ならば利用するという消極的な利用者の多い現状に対して、いかなるシステムで具体的に利用するのが日本に最適であるかについて議論を行い、国民の合意を得る提案を行う必要がある。西独では豊富な石炭の自国資源の核熱による有効利用で資源独立国になるという点で合意を得やすいが、日本では独自のインセンティブを作り出さなくてはならない。

発電炉の場合は導入ベースになると思うが、その時にはThサイクルの日本での位置付けが資源論の立場から議論になる。高温ガス炉ではThサイクルが好ましいが、捨てられている²³⁵Uと、同じ親物質であるThの採用をいかに調整するかが問題となるであろう。

前述のように、原子力における高温技術の確立ということは、将来の日本にとって重要な技術開発の1テーマであることは疑いがないにもかかわらず、開発意欲の本当の盛り上がりがないのは残念である。ここで官民一体となって高温ガス炉の日本での開発の意義を、あらゆる立場から議論することが、現在われわれに課せられた重要な議題ではないだろうか。

(東芝・深井佑造)

船 用 炉

船舶推進への原子力利用は昭和30年(1955)代初めから論議されたテーマであったが、関係各方面でたびたび行われた原子力船の経済性試算によっても商業用としての見通しが得られず、実用化に直結した具体的な研究の進展ははかばかしくなかった。本誌創刊以来今日までの20年間に「会誌」上に発表された船用炉(および原子力船)に関連する研究報告は10数篇にすぎないが、この間船用炉の研究開発がなおざりにされていたわけではなく、以下のように多くの一般的な基礎的な

研究が実施されている。

運輸省船舶技術研究所では、その前身である運輸技術研究所時代も含めて、1957年以来引き続いて船用炉の諸特性、負荷応答性、遮蔽、安全対策、振動実験、船型実験等の幅広い研究が行われ、年々多数の研究成果が報告されている。原研では、原子力船の遮蔽研究をその主目的の一つとする JRR-4 を設置し、前後 2 回にわたり原子力船“むつ”の遮蔽モックアップ実験を実施したほか、TCA を用いた臨界実験も行った。また、東京、神戸の両商船大学においても基礎的な研究が実施されており、例えば神戸商船大では船用原子炉の熱水力学特性の実験的研究やプラント動特性の研究等が行われている。

一方民間では、1958年日本原子力船研究協会が発足し、関係各社の研究者が参加して広範囲の調査研究活動を行い、1963年解散するまでの間に約50件の報告書をまとめて刊行した。その後将来に向けての基礎的な研究は日本造船研究協会に引き継がれ活動が続けられている。

1963年日本原子力船開発事業団が設立され、国産技術による原子力第1船の設計建造が開始された。同事業団は前記 JRR-4 における遮蔽実験、TCA における臨界実験のほか、炉心熱水力特性実験、燃料集合体振動実験、計測機器の海洋環境試験、耐衝突構造模型実験その他の研究を実施し報告書をまとめている。これらの成果は“むつ”の試運転および実験航海を通じて順次確認されるはずであったが、1974年9月初臨界後間もなく放射線漏れを起し、計画は一時頓挫した。

以上の船用炉に関する多くの研究のうち、かなりのものが遮蔽に関する研究であり、またモックアップによる確認実験も実施しながら、なおかつ中性子ストリーミングに適切に対処できなかったことについて、筆者は当時この実験に深く関わった1人として誠に自責の念にたえない。基礎的な研究の成果を実際の設計へ反映することは、遮蔽に限らず一般に極めて重要でありまた困難な問題であるが、特に実際の炉の建造実績の乏しい船用炉の開発に当っては慎重な考慮を要するところである。

“むつ”の遮蔽改修と安全性総点検は1981年には終了の予定であり、その後試運転、実験航海を通じて将来の船用炉研究上有用なデータの集積が期待されている。すでに米、独、仏等の諸国では新型船用炉の開発が進められており、わが国においても“むつ”の完成と並行して、さらに将来のための研究開発の推進が必要と考えられる。

原子炉の基本的な要素的な研究テーマは、陸上炉も船用炉も共通するものが多くあり、陸上炉について得られた成果はできるだけ船用炉にとり入れるべきことはいうまでもないが、適用に際しては船用なるがゆえに生じる独特の問題に留意することが大切である。また陸上炉には存在しない船用炉独自の問題に特に重点をおいて研究する必要がある。

すでに多くの機会に指摘されてきたところであるが、今後重点的に研究すべき船用炉独自のテーマとしては、経済性向上のための炉心特性の改善、航行上の必要から生じる急激な負荷変動に対する応答性、燃料交換および廃棄物処理の方策、機器等の振動動揺対策、狭隘な空間内での検査の実施、衝突・浸水・沈没・火災・坐礁・横転・転覆など海難事故時の安全性、全プラントシステムの軽量小型化等が考えられる。

これらすべての研究開発において、とりわけ重要な視点は安全性の確保である。最近 IMCO(政府間海事協議機関)において、原子力船の国際安全基準制定のための検討が進められており、将来の船用炉はこの基準に適合して設計建造することが要求されるようになると予想され、基準適合上新しい研究が必要となることも考えられる。安全を確保して経済性の高い船用炉を開発するため、関係者が効果的に協力できる態勢の整備が切に望まれる。(日立造船・新藤満夫)

研究試験炉

研究炉の流れ

日本学術振興会の原子炉設計の基礎研究(後に JRR-3として実を結んだ)がスタートした1954年を起点とすれば、1979年はちょうど25年目に当り、わが国の研究炉の歴史もちょうど4半世紀を経たことになる。この間の研究炉の建設と開発にはいくつかの段階があった。まず教育訓練から研究炉開発までを含み、中性子源としての広範な利用を目指した JRR-1、-2、近大炉、立大炉、武工大炉、京大炉などの汎用輸入研究炉の建設が進められた。

これについて、計画自体としては JRR-1 よりも先行した JRR-3(国産1号炉)を初め日立炉、東芝炉といった国産汎用炉の建設が続いている。これらの炉では、

設計・製作から建設・運転・管理までを国内技術者の手で行うことの経験取得に重点があり、たまたま汎用炉がその対象に選ばれた感がある。

その後は JMTR, JRR-4, 東大「弥生」, NSRR と特色ある研究炉が建設され、前3者が国産である。ここではもはや経験取得指向性の影は薄れ、特定の目的を主眼にすえた研究炉を、すでにある程度確立した国産技術の延長線上で作り上げた感がある。最近設置が決定した京大高中性子束炉や概念設計段階のJLBもやはりこの流れの中に位置付けられよう。なお、わが国は原子力発電容量で世界第2位となりながら、稼働中の研究炉は11基で、この数は恥しながら世界第7位のものである。不足している部分、例えば動力炉燃料の照射実験など、海外の炉を利用している分野もあるが、炉技術の基礎を支え、裾野を広げる体制づくりは追いついていない感がある。

個々の国内研究炉

1. 輸入汎用炉

・JRR-1(ウォーター・ボイラ型)

今日では世界中で同型の炉を探すことが困難になった濃縮ウラン溶液燃料の均質炉であるが、導入決定当時は研究炉の代表的炉型の一つであった。すでに10年前に休止、その後閉鎖されたわが国最初のこの炉で、特記しておきたいことは、世界的にみてウォーター・ボイラ炉をこのように長期間、さしたるトラブルなしに利用した例はなく、積分出力値で世界最高記録を保持していたこと、炉出力を容易に変化し得たこの炉の閉鎖後、主に放射化分析などの単純な中性子照射利用者が、大変不便を感じているという点である。

・JRR-2(CP-5型)

この炉はわが国最初の大型炉であったためか、波乱の多いスタートをきった。建設中の熱交換器のトラブル、不完全燃料板をめぐる契約上の問題、長時間連続運転に伴う労使紛争と問題が続き、燃料を20%濃縮ウランから93%に引き上げて10 MW を達成した後にも、1次系統重水の漏洩、燃料孔の腐食変形、熱遮蔽冷却水の漏洩などのトラブルが相次いだ。現在では高中性子束を利用したビーム実験や照射実験に対して大きな寄与をなしてきている。改修工事も行われたが、すでに臨界から20年近い年月を経て老朽化が進んでいるこの炉の寿命は比較的近い将来に尽きると判断され、早急な代替案の確立が要望されている。

・近大炉(UTR型)

管理、運営費に圧迫されて窮した研究炉の多い中であって、この変形アルゴノート型炉は今なお人口密度の高い市街地に設置されたまま0.1W から1W への出力上昇を進め、近大はもとより関西地区他大学の学生の教育訓練にも利用されている。なお、その着実性を評価し、生物照射を中心として全国共同利用化を求める声が高い。

・立大炉(トリガ型)

この炉は一時、大学経理上の理由から閉鎖寸前まで追いつめられた。しかし、研究炉といえども、新しい設置地点を求めることは非常な困難を予想されるので、関係者の懸命な努力と文部省の助成によって、放射化分析を中心とした共同利用汎用炉としての立場を確立しつつあるが、運転時間はまだ旧に復していない。

・武工大炉(トリガ型)

同形式、同出力の立大炉ほどではなかったが、やはり私大の経営上の困難に伴う縮少の嵐を受けかけた。この炉では、HTR の閉鎖で東京近郊に医用照射が可能となる炉がなくなることを防ぐべく、文部省の支援の許に医学方面への利用を中心に方向転換が行われ、 n/r 比向上をめざした熱中性子柱や手術室を増設して、その存在意義を高めつつある。

・京大炉(KUR, タンク炉)

関西地区にも研究炉をと、京大・阪大の協力による大学関係者のための計画がスタートしたのは1955年であった。実現には設置場所をめぐる幾多の困難を乗り越える必要があり、61年に熊取町への設置が決定、炉の完成は64年となった。この間の足踏みは、一面では地方自治体である大阪府に、地元からの十分な理解を得るための超党派の話し合いの場を常設させ、またアカデミックな『研究の自由』至上主義に反省を与える効用があった。これは地元とのその後の円滑な関係維持の確保をもたらしている。

当初の炉出力1 MW は1968年に5 MW に上昇され今日に至っているが、すでにこの炉も老朽化の徴候があり、後述のような計画が推進されている。なお、今日では当初構想の関西地区における炉といった地元色よりは、大学協同利用研究炉としての存在意義が強く意識されてきている。

2. 国産汎用炉

・日立炉(HTR, プール型)

国産技術によって初めて臨界に到達した核分裂連鎖反応体系は1961年初めの平均質臨界集合体であるが、冷却系を持つ高出力炉としては、この HTR が同年の

暮に初臨界となった。科学技術庁の助成金を受けて建設され、放射化分析、医療照射にも活用された。酸化ウラン・ベレット燃料の大きな温度係数を利用したわが国最初の熱中性子パルス炉となり、軽水炉の反応度フィードバック機構のモデル研究にも活躍した。しかし最近、一応の任務を果たしたとして閉鎖された。

・東芝炉(TTR, プール型)

同出力・同趣旨のメーカー所有汎用炉として設置された。燃料 U-Al は合金であり、約3ヵ月遅れて臨界となった。この炉でわが国初の原子炉の計算機制御の研究が実施された。研究炉の維持に要する多額の出費を考えると、設置当初に国の補助はあったにせよ、私企業がなおこの炉を運転している努力には敬意を表すにはおれない。

・JRR-3(国産1号炉、微濃縮ウラン重水炉)

1954年の立案開始から、62年の天然ウラン炉としての臨界、完成までに動員された研究者、技術者の数から、この炉の建設はわが国の原子力におけるプロジェクト研究の先駆であった。設計も初期には大学・研究所・メーカーの組合せで5グループが実施し、その関係者の多くは原研の創設期に入所して、この炉の建設や開発を支えた。また製作も原子力産業5グループが参加してその経験を共有した。臨界から1964年の10 MW定格出力までの慎重な特性試験も、計算と実験との比較、予測と現実との照合への努力であった。主目標としてかかげられた RI 生産は1965年ごろから次第に軌道にのっていったが、ビーム実験を含む各種の多目的利用との共存であるため、今日では汎用炉になっている。

1972年からは、当初の天然ウラン金属燃料より1.5%微濃縮 UO_2 燃料への置換が進められ、燃焼度の約5倍延長、同一出力での中性子束のはば倍増が実現した。また炉本体はゆとりのある設計が幸いして、まだ寿命を云々される時期に入っていないが、JRR-2の寿命との関連において、高中性子束炉化が計画されている。

3. 特定目的のための研究炉

・JRR-4(プール型)

原子力船開発計画の一環として遮蔽研究用研究炉として建設された。当初出力の2.5 MW は1976年に3.5 MWまで上昇している。68年ごろから照射利用や炉物理実験その他の利用が増え、諸設備の改善と照射筒の増設を行い中型汎用炉として活躍している。また、このような汎用炉としての見直しから、開放型炉心の設置計画も検討されている。

・JMTR(タンク型)

1960年ごろからの動力炉開発のための材料試験・工学試験用高中性子束照射炉調査が実を結び、わが国最大の研究炉 JMTR が大洗で全出力50 MW に到達したのは、臨界2年後の1970年のことである。

動力炉に匹敵する規模と技術的困難度の高さから、原子力5グループが参加するJRR-3方式で建設された。また、核計装全トランジスタ化に成功した日本最初の炉である。高温照射を含むキャプセル照射・インパイルループなど大型照射設備を有し、最高熱中性子束約 $4 \times 10^{14} n/cm^2 \cdot sec$ を供給しうる世界有数の高中性子束炉である。ただ圧力容器型であるため、軽水炉としては燃料交換が比較的複雑である。また付設臨界集合体を有し、予め複雑な炉心核特性を実験的に検討できる特色がある。この炉の性格上、照射実験はかなりの長期にわたるものであり、また、カプセルやループの開発を要し、その利用成果はようやく次々と実を結び始めた段階にある。

・東大「弥生」(高速中性子源炉)

定常出力2 kW であり、その状態での最高中性子束は 8×10^{11} とさほど大きくないが、高速中性子標準場を持つわが国唯一の存在である。また、単発もしくは繰返しパルス運転が可能となっており、併設ライナックとの同期運転も近々実験に入る。瞬時値としては数GWの出力を放出し、非常に大きな高速中性子束を供給しうる炉でもある。これらの技術開発に大きなウェイトがかかっているため、炉心可動性のある単純な中性子源炉というより、実験炉的な性格も強い。

・NSRR(原子炉安全性研究炉、トリガ型)

公表されている世界最強のパルス・トリガ炉である。強力なパルス状出力を利用した軽水動力炉の燃料ピンの過渡破壊実験が進められており、PWR 用燃料についての一連の実験によって安全審査規制値が変更されるなど、現実的成果を生みつつある。また燃料ピンについてすべての状態の安全性実験をするより、この炉の最も得意とする局面での実験データを米国、西独などにも提供して見返りに他国の未発表データを手に入りしており、国際協力的な性格の強い炉である。今後のNaカプセルによる高速炉燃料の試験、改造によるゆっくりとした出力変動下の燃料破損実験の可能性の検討もなされている。

・京大高中性子束炉計画(KUHFR)

そろそろ寿命が意識されてきた KUR の代替炉として、また大学関係で極めて需要の高いビーム実験用の高中性子束炉として計画され、このほど設置承認が下

表5 日本 の 研究 炉 一 覧
(1979. 1. 1. 現在, 臨界順)

名称	所在地	臨界 (→閉鎖)	型式	熱出力	最高熱 中性子束 ($n/cm^2 \cdot sec$)	最高速 中性子束 ($n/cm^2 \cdot sec$)	燃料 (濃縮度・材料・形状)	減速材	冷却材	反射材	設計者/建設者	所有者
JRR-1	東海村	1957/8/27 →1970/3/31	ウオーターボイ ラ(L-54型)	50 kW	1.2×10^{12}		20%UO ₂ SO ₄ 水溶液	軽水	軽水	黒鉛	米 AI/米 AI	原研
JRR-2	東海村	1960/10/1	(CP-5型)	10 MW	2.0×10^{14}	6.8×10^{13}	93%U-Al液	重水	重水	重水 軽水	米 AMF/米 AMF	原研
近大炉	東大阪市	1961/11/11	UTR(變形アル ゴノート)	1 W	1.2×10^7	1×10^7	93%U-Al板	軽水	軽水	黒鉛	米 ARSS/ 米 ARSS	近大
立大炉	横須賀市	1961/12/9	トリガII	100 kW	4×10^{12}		20%U-ZrH丸棒	ZrH 軽水	軽水	黒鉛	米 GA/米 GA	立大
日立炉(HTR)	川崎市	1961/12/25 →1976/4/30	プール	100 kW	2.7×10^{12}		10%UO ₂ ベレット	軽水	軽水	黒鉛 軽水	日立/日立	東京 原研
東芝炉(TTR)	川崎市	1962/3/13	プール	100 kW	4×10^{11}	1.4×10^{12}	20%U-Al板	軽水	軽水	黒鉛	東芝, NAIG/東芝	東芝
JRR-3	東海村	1962/9/12	UO ₂ ・重水	10 MW	3.0×10^{13}	6.0×10^{12}	N,U→1.5%UO ₂ ベレット	重水	重水	黒鉛	原研/5グループ	原研
武工大炉	川崎市	1963/1/30	トリガII	100 kW	4×10^{12}		20%U-ZrH丸棒	ZrH 軽水	軽水	黒鉛	米 GA/米 GA	武蔵工大
KUR	熊取町	1964/6/25	プール	5 MW	7×10^{12} av.	1×10^{13} av.	93%U-Al板	軽水	軽水	黒鉛	米 IC/日立	京大
JRR-4	東海村	1965/1/28	プール	3.5 MW	2.5×10^{13}	5×10^{13}	93%U-Al板	軽水	軽水	黒鉛	原研/日立	原研
JMTR	大洗町	1968/3/30	タンク	50 MW	4×10^{14}	10^{14}	93%U-Al板	軽水	軽水	Be	5グループ/5グループ	原研
東大炉「弥生」	東海村	1971/4/10	高速中性子源炉	2 kW		8×10^{11}	93%U金属, 円柱	ナシ	空気	鉛	東大/日立	東大
NSRR	東海村	1975/6/30	トリガ	300 kW	2×10^{17} n_{TT} (1×10^{15} n_{TWT})		20%U-ZrH	ZrH 軽水	軽水	軽水 黒鉛	米 GA/米 GA	原研
KUHR	熊取町	(1981予定)	2炉心タンク	30 MW	6×10^{14}	3×10^{14}	93%U-Al板	軽水	軽水	重水	京大/一	京大

りたので、地元の詳細が得られ次第着工される予定である。高濃縮ウラン・軽水減速・冷却・重水反射体出力30 MW という特性は目新しいものではないが、これまで世界各国で計画はされたが実現はしたことの無い複炉心型ビーム実験炉を目指していることは注目に値する。次第に照射への考慮が増えてやや汎用炉化してきて、医療照射への利用も考慮されているが、当初計画では、ビーム実験専用炉に近い構想であった。JRR-2やJMTRと同様に高濃縮燃料確保の問題をかかえているが、KUCAというフレキシブルな臨界集合体を持ち多様な変化に対応できるのは強味であろう。

・JLB計画(繰返し型高速パルス炉)

強力なライナックによるパルス状中性子発生と高速炉に即発臨界直前までのパルス状反応度投入とを同期させ、パルス状の超強力中性子ビーム実験と繰返しパルス照射とを目標とした炉である。学会会議の勧告にも取り上げられ、KUHFRの次に位置づけられる炉型として8年に及ぶ準備と、概念設計がほぼ終了した段階で高濃縮ウラン入手の困難化の問題に直面した。

今後の問題点

まず第1に、米国の核燃料政策の急変によって、わが国の研究炉とくに高中性子束炉への93%濃縮ウラン供

給の将来に対する保証が疑問になってきた。微妙な国際交渉が大詰に近づいている段階で見通しを書くことは差し控えるが、わが国の原子力研究開発体制を根底からゆさぶることだけは指摘しておく。

次に、国内における体制問題としては、今後新しい研究炉に対して責任を持って対応する機関や組織が不明確である。大規模な研究開発を要する新型研究炉となれば100億円、200億円の子算と関係する人員も100人以上に及ぶと予想される。動力炉の開発に対しては、各種の政府機関が整備されてきたが、研究炉にはどうかだろうか。例えば医療用原子炉を考えると、厚生省、文部省さらに科技厅傘下の幅広い要望を誰の責任で実現するか。

それと大型加速器と研究炉の競合関係についてもっと詰めた議論がほしい。新しい炉の設置が一段と困難になるにつれ、漠然とすべてが加速器で代替できるとして片づけてしまい、中性子源としての原子炉の役割を意識的に忘れるのは困る。

なお、各大学から原子炉に触れる機会もない原子力(核)工学科の卒業生が年々かなりの数送り出されている。原子炉だけが核エネルギー源ではないし、炉がなければ教育ができないものではないが、このような現象は日本だけのことである。なんとかしなければならぬことと思うが。

(阪大・住田健二)

あとがき まず、本「特集」にご執筆をお願いした方々がそのための調査等に多大の時間を割いて下さった熱意に心からの謝意を述べたい。また、表面には名前が出ていないが多くの方々が執筆者に協力して資料等を提供され、その陰の力添えの上にこの「特集」が出来上がったことも書き添えなければならない。主に経費上の制限から、編集委員会できめた「項目分け」・「ページ数」・「図式なし」等が制約となり、そのため折角書いて頂いたものを大幅に削らざるを得なくなったことは残念に思われる。編集委員の間では今後それらを記事としてできるだけ生かそうという声が強いの強い。委員の方々には何度も原稿に目を通して頂き、議論も繰返して全体の調整を取って頂いた。通読して見て全般に文章が平易で、各方面の問題点が専門外の人にも良くわかり、訴えるように書かれているように思う。

この作業のために筆者がふだん利用することの少ない空路を何回か用いざるを得ないことになってしまったが、そのたびに思ったことは、滑走路でジェット機が次第にスピードをあげてゆき、不安に満ちた瞬間「ゴトン」と地面を蹴って急上昇を始めるのに似て、種々の情勢のもとで独自に開発を進めてきたわが国の新型炉が、この20周年を前に次々と臨界に達し無事スタートできたことである。この時期に原子力という総合的科学技术の持つ沢山の面につき、偏ることなく、多くの経験も織り込んだ記事が、このように要約された形に出来上がったことは、単なる回顧記録としてだけでなくとどまらず、今までこの方面の仕事に取り組んで来られた方には反省と将来に対する確信を得る上で有意義な記事であろうし、これからの原子力分野の担い手となるべき人々には良き教訓と目標を与え、新たにこの分野に取り組もうとする若い人々には刺激に富んだ指針を与えるものと信じる。

(阪大・関谷 全)

誕生・揺籃期の裏話

歴代会長(推薦会員)の方々のほかに、学会創立までの迂余曲折、日本学術会議原子力特別委員会における論議、設立経過、「会誌」創刊、「年会」・「分科会」設置、支部設立、研究範囲の議論等々、当時には公けにされなかった裏話やこぼれ話をご執筆願った。

(敬称略)

原子力こぼれ話

設立発起人会総代
初代会長 茅 誠 司

筆者は戦後日本の学術体制の建て直しについて深く関係してきたが、その体制の最も重要なものは日本学術会議であって、文・法・経・理・工・農・医の七つの分野からそれぞれの分野の一定の資格を持った研究者それぞれ30名ずつの会員を選ぶことになった。昭和24年1月にそれが発足した。最初は会長に亀山直人、副会長に我妻栄、仁科芳雄氏が選ばれたが、昭和26年になって会員が改選され、会長亀山直人、副会長我妻栄、仁科芳雄氏は再選されたが、仁科氏が途中で死去された後、筆者が副会長に選ばれた。

筆者が副会長になった時の一番重要な問題は原子力の開発に対して日本はどんな態度をとったらよいかという問題だった。平和条約の結ばれる前までは核分裂の研究は禁止されていたが、昭和26年に平和条約が締結されるに及んでその禁止は解かれた。学術会議は学術に関して政府に勧告する役目を持っているので、自然科学からの副会長である筆者としては、原子力の研究に対してわが国がどのような態度をとるべきかは重大な関心事となった。

丁度この時アメリカのメリーランド大学で国際磁気会議が催され、筆者もこれに招待を受け

て昭和27年9月に渡米することとなった。そこでその当時バークレイの放射線研究所でローレンス教授の下で研究していた嗟峨根遠吉君とも連絡をとってアメリカの原子力研究の資料を集めることにした。

渡米に先立って原子力に関するなんらかの提案を27年の秋の総会に提出する目標で第4部を中心にこの問題を討論して来た。ところがアメリカの学会から帰って来てみると様子がすっかり変わってしまっていて、この討論グループから1人去り2人去りで遂に伏見康治君と2人きりになってしまった。元来第4部提案という形をとりたと思っていたが、それも駄目となってこの2人だけで提案することとした。

その内容は「日本が原子力研究にいかなる態度をとったらよいかという政策を決める為の資料を作る目的で、原子力文献を集めてその内容を調査するよう政府に勧告する」というものであったが、これも不評判であったので一步退いて、この勧告をすることに対する学界の意見を聴くということにした。

さて、これを学術会議の秋の総会で筆者が提案説明を行ったところ、大変な騒ぎで「茅ノ提案を引っ込めろ」などという叫びさえ聞えてきた。第一に質問に立ったのは第7部の会員で、それは「茅は右翼、伏見は左翼なのに何故共同提案をしたのか」というものだった。会場はこの奇問に笑声で満ちたが、伏見会員は立ち上がって静かに一言、「私は原子力の研究をしたいからです」。研究を生命とする学術会議の会員は

これを聞いてシュンとしたのを筆者は忘れることはできない。

反対意見の中で声涙共に下ったのが同じ第4部会員の三村剛昂氏のもだった。同君は私の親友である。そして昭和20年8月6日原爆落下の中心から1.5キロ位のところで被爆し梁に打たれて一時は人事不省に陥ったという経験者である。彼は非常な雄弁で反対意見を述べたが、結論は「米ソの対立が解明するまでは原子力の研究をすべきではない」ということであった。

結局この提案は総会では採択されず、取り下げざるを得なかったが、我妻栄副会長は直ちに「この問題は学術会議にとって重要な問題であるから、原子力研究に対して学術会議の採るべき態度を決める為の委員会を設置しよう」という提案をされ、これが即座に可決された。

この委員会は7つの部から2名ずつの会員を委員に選んで構成され、第1部の務台理作氏が委員長に選ばれた。学術会議の第2期は昭和28年暮で任期が切れるので、この委員会は丁度1年間この問題を論議したことになるが、28年秋の総会での報告ではその結論は「あまり多くの文献を集めることは適当でない」というものだった。

昭和29年の第3期の学術会議ではこの委員会は継続され、第4部長の藤岡由夫氏がその委員長となり、筆者は第3代の学術会議会長に選ばれた。

ところが昭和29年3月、自由党と社会党の間でキャスティングボードを握った改進黨が、2億3千万円の原子力研究予算を計上することに成功した。その中心人物は中曾根康弘、稲葉修、斉藤憲三の3氏であった。これは学術会議にとっては寝耳に水で大変な騒ぎとなったが、藤岡委員長の熱心な努力でこれが、通産省の工業技術院の予算として軌道に乗ることになった。

これに次いで内閣に原子力平和利用準備調査会が設置され、藤岡、茅の2人がその委員に任命されて、原子力委員会が作られる迄の準備を行ってきたが、今となってみるとこれ等の事件は懐しい思い出という心地さえる。

(日本学術振興会会長、他)

原子力発電の黎明

創立総会議長
昭34・副会長
第4代会長
一本松珠璣

私が会長を勤めたのは1965年からであったが、丁度わが国最初の東海原子力発電所が臨界に達し、その後苦労を重ねてその年の暮に初送電したが、すぐ熱交換器の蒸気洩れが起り、1年余の苦闘の結果一部使用認可を頂いたのであるが、その後も故障が続き全出力運転許可は2年の会長任期を終る頃であった。

その後1971年2月、「第9回原子力総合シンポジウム」において“原子力発電の最近の諸問題”と題する特別講演を行い、学会誌にも発表した。私は10数年の体験から「原子力発電は未完成である、世界中の原子力発電所は進歩改良の過程にある」と述べ、一部批判もあったがその後の推移は故障が起り修理に苦心し、漸次完成への道を辿って来たのであった。

今日、軽水炉の故障も減り稼働率も向上しているが、あの時の結論で述べたように、この上にもわれわれの原子力発電所完成への努力を必要とすると思っている。(日本原子力発電機)

ますます御発展を

第5代会長 大山松次郎

本会も創立20周年を迎える。早いものである。会員の研究活動も活発に持続しますます発展している現状はめでたい限りである。創立当時のこと、10周年当時のこと等思い出される。

私は第5代目の会長に推された。1967年5月～69年5月の2年間の任期だった。丁度10周年に当るので記念事業として「原子力学会賞基金」を募集し、毎年、論文賞・技術賞・奨励賞などの

「学会賞」を制定することにした。同時に、原子力にゆかりの深いジルコニウムでメダルを作って受賞者にそれぞれ贈呈することとした。

また、京大炉の柴田さんのような活動家の要望もあって「研究連絡会」を作ることにした。

これらの思い出について理事会での甲論乙駁の情景もなつかしい。副会長をつとめて下さった向坊さん、山田さんを初めとして全役員に今さらながら感謝している。学会もその運営は企業の経営のように広い感覚で努力していただきたい。本会のますますの発展を祈りつつ。

(元・超高压電力研究所)

学会設立のころ

設立発起人会世話人
設立実行委員長
昭34~36・企画理事
第6代会長

矢木 栄

原子力学会が設立20年になるという。私も近ごろ原子力にはご無沙汰いたしているので、今さら月日のたつのも早いものだと思う。

原子力の平和利用が具体的に明らかにされたのは、昭和30年国連主催で、ジュネーブにおいて初めて「原子力平和利用国際会議」が開催された時であろう。私は当時東京大学教授として、昭和26年、29年に米国に渡り、古い米国の友人たちに会っていた。その仲間にジュネーブ会議の準備事務局長をつとめていた M.I.T. のホイットマン教授に会い、「米国はいよいよ原子力の平和利用活用にふみだし、多くのクラシファイ(機密)された情報を発表することになった」と聞かされていた。

その事情もあって、その会議に日本代表顧問ということもお引受けして出席した次第であった。実は原子力についての図書は、分散的に1~2年前から国会図書館に寄贈されていたが、この会議はさらに系統的にかつ明瞭に提示されたのであった。またその年に日本原子力研究所が発足し、その翌年(昭31)には東海村の土地選定があったと記憶している。

その環境のもとに、日本学術会議は会議内の「原子力問題委員会」を持っていたが、さらに門戸を開いた「原子力特別委員会」(伏見委員長)を設置した。そのメンバーは学術会議会員のほかに、関係するであろう多くの学協会より集められ、幅の広いものであった。それは原子力の開発はあらゆる科学、特に工学にも関連があると考えられた。それは原子力は新しい未完成の技術であるので、各方面での協力や勉強が必要だし、一方では各産業界にも積極的に原子力を理解して貰う時期であったためだと思う。

そのようにして原子力特別委員会は原子力に関する研究発表会を原子力研究所を含む36の関連学協会共催のもとに「原子力シンポジウム」開催を企画したのであった。そのシンポジウムは第1回(昭32)、第2回(昭33)、第3回(昭34)が行われたが、毎回盛況で発表論文も197編、264編というように活発なものであった。とくに第3回には原子炉関連に限ったが、数もあまり変らなかったと記憶している。

一方、これと平行して原子力特委の内に原子力学会検討委員会(武田委員長)を設置し、シンポジウムの経過を見守っていた。シンポジウムの結果は内容の量・質および参加者の熱意などより見て学会発足の機が熟していると判断した。そこで学会設立発起人会(世話人：伏見康治、矢木栄、武田栄一ほか大学関係5名、国公研5名、産業界5名の実行委員会)を発足させ、その実行委員会を昭33年11月25日、12月23日、34年1月12日、1月24日と開催して準備を進め、34年1月28日に発起人総会を開き、茅誠司東大総長を発起人総代に選出した。

創立総会は「第3回原子力シンポジウム」最終日翌日(昭34.2.14)、矢木司会、一本松議長のもとに進行して、定款案、社団法人日本原子力学会設置申請者(茅・矢木)を決め、予算・事業計画案の承認、および役員選出を行なった。

このような経過で日本原子力学会が誕生したのであるが、その途中において色々な議論があった。その一つは学会らしく純粋で小規模にという意見もあったが、原子力は将来国の産業にも関連し、研究にも多くの技術問題も取り扱わ

なくてはならないので、いわゆる工学的学会をも指向しなくてはならないという意見が多数を占め、その線に沿って定款なども定められた。

いま20年経過して見ると、初年度においては正会員会費と賛助会員(法人)会費額との比が1:3であったが、今日では1:1になっている。学会の活動も予算300万円程度から現在では1億円に及ぼうとしている由。そして個人会員(約5,000人)会費：賛助会員(法人約300社)会費：事業収入額の比がほぼ同額になっている。このことは工学系学会としてはまことに健全な形になっていると思う。(p.122, グラフ⑤参照)

この基盤の上に、新しい研究討論を積み重ね、新しい開発の進展とともに日本の原子力独自の途を発見すべく、これからが日本原子力学会活動の本番となるであろうことを期待している。

(東大名誉教授)

「会誌」創刊当時の思い出

設立発起人会世話人
初代編集委員長 武田栄一
第7代会長

原子力学会の設立には初期の段階から関与してきた関係もあって、私は初代の編集委員長という重責を務めることとなった。

原子力学会は広い学問分野の研究者、技術者の協力の上に健全な発展が期待されるものであるので、茅誠司初代会長は理事会等で新たに組織された関係者間の融和に特に気を配られたことが思い出される。また「会誌」に対してはただいたずらにアカデミックにはしることなく、またあまりに通俗に過ぎないように慎重に編集することを望まれた。

こういった会長を初めとして理事会の方々の声を受けつつ、編集委員会ではすべてのことを新しく相談して決めていく必要があったわけである。編集委員会のメンバーも広範囲の分野から選ばれていたが、すでに学術会議主催の「原子力シンポジウム」等を通じて相互に顔見知り

の方々が多かったので、和気あいあいのうちに相談を進めることができたように思う。

編集委員会の最初の仕事は刊行物規程、投稿規程といった規程類とか原稿募集要綱、所定原稿用紙といったルーチンの仕事に必要なものを決めることであったが、そのほかに一層重要なことは会誌名をどう決めるか、表紙のデザインをどうするか、また広告をどう取り入れるか等ということもあった。

初期の表紙のデザインについては数種の候補案が出てきて、そのうち最も目立った薄紫色の案が採用されなかったが、最終的には地味で渋い藍色の案に落ち着き、それが予想外に永い10余年間も採用し続けられたのであった。また広告を取り入れることは、馬鹿にならない副収入となるのでやむをえないことであるが、本文と交錯して読み難くならないよう、末尾にまとめて載せる方式を採用したのはその当時としては新しい扱い方であったように記憶している。

さて、いろいろのことが決められても肝心の論文が集まらなくては仕事にならないので、初期の編集委員会では会員から投稿の勧誘を審議したことも再三であった。しかしこういった事情は号を追うにしたがって急速に改善されていた。

次に、原稿が集まると、学会の權威を落とさないためにも、その査読が必要であった。初期のころは査読委員の制度が間に合わなかったために、編集委員が手分けして論文を査読するという一幕もあった。このように編集委員会の仕事はなかなか多忙であったこともあって、「会誌」の第1号を昭和34年6月に送り出すまでは8回、時には深夜に及び編集委員会を開いたことが記録されている。しかし創刊号を出したころには第2号の編集が終っており、第3号の準備にかかる段階まで進めることができたのであった。

さて、話は大分細かい事柄のみに終始してしまったが、学会が主として取り扱う学問分野の範囲については種々の論議が行われてきた。学会の定款には「原子力の平和利用に関する学術および技術の調査、研究」とすべての分野をカバ

一できるように作られているが、学会の設立趣意書の注には、「原子力研究はきわめて広範囲の分野にまたがり、それらを最初から同等の重みでとりあげると、それぞれが薄められ不満足なものとなる恐れがあるので、当分の間、原子炉に直接関係する自然科学と工業技術に重点をおいて活動するのが適当と考えられる」と範囲を狭めて店開きすることが述べられている。一方、編集委員会がきめた「会誌」への“投稿の手引”では「掲載範囲として原子力研究に関連するあらゆる部門を含めるが、今後の投稿によって自然に傾向がきまることを期待し、特に制限しない」として若干の食い違いが見られている。このことは、アイソトープ関係は数年前から発足している日本アイソトープ協会(当時は日本放射性同位元素協会)の活動範囲であること、放射線の人体への影響の関係は同年7月日本放射線影響学会が設立され、そこに流れていったこと等、状況が流動的であったことを物語るものであろう。

最後に欧文論文の取扱いについてであるが、研究論文の内容がオリジナルなものである限り和文、欧文のいずれでもよいということでスタートした。第1巻の中にも英文論文の例が見られたが、和文主体の「会誌」の中に欧文で書かれてもなかなか外人に読んでもらえないのが実状で、「欧文誌」の発行が待たれたわけである。これが実現までにはなお5ヵ年を要したのであった。(p.98, グラフ④参照)(元・東京工業大学, 原子力委員)

思い出すこと

昭41・企画委員長 宗 像 英 二
第8代会長

私が会長を務めた時期は、会費の値上げをせざるを得なくて、それを実施しましたので、会員諸氏にはうらまれたのではないのでしょうか。しかし、それを我慢していただいたので、その後、学会も順調に運営されているかのようで、

とにかく、まずよかったと思っております。

学校を出て社会生活に入り、その3分の2を化学工場などで、残る3分の1に当る16年余を原研で過しました。そして振り返って、最初の10年間位の間に体験したことが、最もよく身につけているためでしょうか、結局、その頃体得したものの上に創意が組み立てられて、仕事を進めたように思います。それゆえに、学卒後10年間に、しっかりした体験を持つことが大切であると痛感します。そして、それは実験的な体得をしたものであって、教わったものではなかったことです。実在する事実を学べば、おのずから道は開けて、私が好んでいう「道は歩いた後にある」ということが、しみじみと感ぜられると思います。(元・日本原子力研究所)

学会の生れる頃

設立発起人会世話人
昭36・副会長 伏見康治
初代中部支部長
第9代会長

その頃のことは最早忘却の海の底に沈んでいるので、憶い出す緒として、「日本学術会議二十五年史」をひっぱり出してきて関係部分を漁り読みしてみた。この「二十五年史」は1974年に刊行されたものであるが、2年ほどかけて資料を集めたりしたものだから、ある程度信用してよからう。まず年表を書いて置く、この年表で、JSCとあるのは日本学術会議、13GAとあるのは第13回総会の意味である。

1952年 5月	サンフランシスコ講和条約発効
10月	JSC 13GA 茅・伏見提案 第39委員会設置(務台理作委員長)
53年 4月	JSC 14GA 原子核研究所設立勧告
5月	原子爆弾災害調査報告集完成
12月	UN 8GA アイゼンハワー原子力平和利用演説
54年 1月	JSC 16GA(第3期出発) 第39委員会藤岡由夫委員長

2月27日	第39委主催原子力シンポジウム		原特委「核融合反応研究の基本方針」
3月1日	第5福竜丸ビキニ水爆実験で被爆 (清水港帰港は3月14日)		〃 「原子炉の安全性について」申し入れ
3月2日	原子炉築造費(235百万円)国会上程	9月	UN 原子力平和利用国際会議第2回
3月8日	原子核特別委員会 第39委員会 原子力憲章草案審議	10月	原特委の原子力学会検討小委員会 原子力学会構想をまとめる
4月	JSC 17GA 「原子兵器の廃棄と原子力の国際管理 の確立を望む声明」 「原子力の研究と利用に関し公開・民 主・自主の原則を要求する声明」 放射線影響調査特別委員会設置 第39委員会が原子力問題委員会とな る	59年2月	第3回原子力シンポジウム 日本原子力学会発足
		5月	JSC 核融合特別委員会発足
		7月	放射線影響学会設立
		10月	JSC 29GA プラズマ研究所設立勧告
10月	JSC 18GA 「原子力の研究・開発・利用に関する措 置について申し入れ」 放射線基礎医学研究所設置勧告		
12月	海外原子力事情調査団(藤岡ミッシ ョン)欧米に派遣		
55年1月	USA「実用原子炉建造に対する技術 援助」の申し入れ		
8月	UN 原子力平和利用国際会議(第1 回)		
10月	ラッセル・アインシュタイン声明に 応える日本科学者の声明		
10月	JSC 20GA 原子力特別委員会設置(原子力学会へ の準備、伏見康治委員長)		
12月	原子力基本法 原子力委員会設置法		制定
56年1月	原子力委員会出発 4月湯川秀樹委員辞意表明		
3月	UN「原子線の影響に関する科学委員 会」SCEAR 発足		
5月	日本原子力研究所設置法		
57年1月	第1回原子力シンポジウム		
4月	JSC 24GA 「核兵器禁止のアピール」 「放射性塵の研究」申し入れ 「発電用原子炉輸入について」勧告		
7月	放射線医学総合研究所発足 第1回バグウォッシュ会議		
58年2月	第2回原子力シンポジウム		
4月	JSC 26GA		

この表を見ていると初期の原子力事情が彷彿として脳裏に浮んでくる。藤岡由夫さん、嵯峨根遼吉さん、矢木栄さんのような方々の顔が現れては消える。服部学君や大塚益比古君らはどこかに笑っているようだ。しかしその当時のことをここに書きおろせるほどにははっきりに出てこないのだ。それで私のその頃の考えの筋道だけをのべて置こう。

出発点は、マンハッタン計画が基礎の学理から出発して、現実に向かって壮大な計画を描き具体化して行く美事さに魅せられたところにある。日本でも大体同じことが繰り返せる条件があると信じた。原子力は最大の国家機密で、アメリカが教えたり、輸出したりするはずがないと思ったからだ。ところがアイゼンハワーの「原子力を平和へ」で話しはひっくり返ってしまった。どんどん流れこんでくる外圧の中で、どうして自主性が保たれようか、それに頼みにしていた原子核物理学者たちからは裏切られたのである。年表には記入してないが、1956年の暮に行われた原子核特別委員会は、でき上がった原子力研究所に対して協力しないという決断をしてみた。これは一つには核研の田無町反対問題がこじれていて核特委がきわめて困難な事態に追い込まれていたことにもよるのであろうが、原子力推進派の杉本朝雄、武田栄一、伏見の3人はまったく青くなったものである。原子力研究所はこうして、核の基礎研究に従事している主だった人々から見はなされたまま出発せざるを得ないことになった。しかし一方から考える

と、原子核物理は原子力の一つの柱に過ぎず、放射線影響、物性、材料工学、伝熱工学、等々の総合科学が必要なのであって、原子力を支えるには新しい学問体系を作ればよいのだと考えられた。これが原子力学会を作ろうとした最初の着想であった。
(日本学術会議会長)

年会・分科会の設置

昭34, 35・編集委員
 昭39, 40・編集委員
 昭51, 52企画理事

大塚益比古

本学会は今春、創立20周年を迎える。その場合、この3月開かれる予定の「昭和54年年会」は実は第17回年会であることに気をとめて戴きたい。

昭和34年2月の学会の創設時の経緯については、別記のとおり、その誕生はとりわけ学術会議原子力特別委員会の尽力に負うものであ

た。

その学術会議は、すでに昭和32年から、原子力に関連のある多くの学協会の協力を得て、毎年「原子力シンポジウム」を主催して来た。それによって広く研究者に研究発表の機会を提供して、この新しい分野の研究が一日も早く充実し発展することを期待したからである。

そのような事情があったので、原子力学会が発足するに当たっては、原子力学会を含む原子力関連学協会の共催のもとに、学術会議の「原子力シンポジウム」を引きついで「原子力研究総合発表会」の名称で開くこととし、そうして原子力学会自体は年会をもたず、この総合発表会を実質的に年会に代わるものとした。

学術会議が世話役をしていたときは、多くの学協会が、程度の差はあっても原子力研究に係わりをもっていたが、原子力学会の誕生とともにその一切が新しい学会に独占されるのは良くないという警戒心(?)が学会の周囲にあって、それら先輩学協会との円満な関係を保つことに相当の意を用いた結果であった。(付表参照)

付表 現在共催35学協会の過去の協力状況

学協会名	昭38~54	昭35~37	昭32~34	学協会名	昭38~54	昭35~37	昭32~34
	(17回) 原子力総合シンポジウム	(3回) 原子力研究総合発表会	(3回) 原子力シンポジウム		(17回) 原子力総合シンポジウム	(3回) 原子力研究総合発表会	(3回) 原子力シンポジウム
応用物理学会	○	○	○	日本高圧力技術協会	○		
化学工学協会	○	○	○	日本鉱業会	○	○	○
火力発電技術協会	○			日本産業衛生学会	○	—	—
空気調和・衛生工学	○	○		日本造船研究協会	○		
計測自動制御学会	○			日本鉄鋼協会	○	○	○
原子力安全研究協会	○	—	—	日本電気協会	○		
高分子学会	○	○	○	日本非破壊検査協会	○		○
電気化学協会	○	○	○	日本物理学会	○	○	○
電気学会	○	○	○	日本分析化学会	○	○	○
電子通信学会	○	○	○	日本放射線影響学会	○	○	—
土質工学会	○			日本放射線技術学会	○	—	—
土木学会	○	○	○	日本保健物理学会	○	—	—
日本アイソトープ協	○	○	○	日本溶接協会	○		
日本医学放射線学会	○	○	○	粉体粉末冶金協会	○		
日本化学会	○	○	○	窯業協会	○	○	○
日本核医学会	○		—	溶接学会	○	○	○
日本機械学会	○	○	○	日本原子力学会	○	○	—
日本建築学会	○	○	○				

ただこの「シンポジウム」ないし「研究総合発表会」は毎年早春に開催する習慣であったので、原子力学会としては秋に別に研究発表の場を設けることとし、「秋の分科会」は間もなく発足した。(昭和36年秋第1回)

* * *

このようにして原子力学会は無事発足したものの、やがて上述のやり方では都合が悪いことがわかって来た。

現役の研究者にとって、学会の存在意義はいうまでもなく自分たちの研究成果を世に問う機会を得るところにある。その意味では「原子力研究総合発表会」と原子力学会の「分科会」がその機会であるわけであるが、そのうちの「総合発表会」については、共催の学協会のいずれかの会員であれば発表することができるわけで、新たに原子力学会に入会する必要は全くない。

原子力学会を設立し、この学会を発展させようと念願するものにとって、このことはまことに困ったことであった。学会を作ったからには、相当数の会員を確保しないことには充実した活動を着実に実施してゆくことは難しい。またそのような差し迫った理由のほかに、学会である以上、自分の年会をもちたいというごく常識的な願望もあった。

当時の学会の企画委員会は、この制約をぜひとも解消したいものだと思感し、学会固有の「年会」を持つべしとの意見を理事会に持ちあげた。しかし当時の理事の多くは、学会設立時の世話役であり、創立に当たって、先輩の学協会との円満な関係の確保に意を用いた当事者でもあったために、簡単にはこの提案は受け入れられなかった。

企画委員会は、局面打開のために一計を案じ、

(1) 過去3回の「原子力研究総合発表会」はその内容を改め、共催学協会からの、いわば代表選手による特別講演や総合報告を中心としたものとし、「原子力総合シンポジウム」とする。

(2) 原子力学会は「年会」をもち、一般会員の研究発表を中心とする。

といった趣旨の構想を立てて理事会に再度検討をお願いした。

こうしてようやくして昭和38年4月、第1回年会が東海大学にて開催された。(p.98, グラフ②参照)

「原子力総合シンポジウム」もまた幸いにして関係学協会の賛同を得ることができ、昭和38年2月第1回を開催した。しかもその後衰退することなく、この2月には第17回シンポジウムを迎えるに至ったのはまことに同慶の至りという他はない。

* * *

今こうして振りかえってみると、ただそれだけの事である。しかし当時の企画委員は、これを学会発展のための重大事と認識して懸命に頑張ったものであった。(電源開発・原子力部長)

関西支部創立当時の思い出

初代関西支部長
昭36, 37・会計理事
昭38, 39・副会長
浅田 常三郎

本学会創立当時は原子力発電の実現に関西電力(一本松珠璣氏)は非常な熱意で研究を始め、APT(Atomic Power Test)の略称で電気試験所、三菱電機、住友化学、大林組、竹中工務店、京大、阪大などの研究陣を集めてガス炉、PWR、BWRなどの設計を中心とした研究会を開き、またRIP(Radiation Improvement of Polymers)の略称で絶縁物の放射線による品質改良の勉強会を開き、原子力産業会議の協力を得て原子力発電の実現に努力した。当時は広島・長崎の恐怖、第五福竜丸の原子灰から漁獲した鮪を投棄するなど、放射能への過度の警戒心が多数の民衆に深く根を下ろしていた。

原子力平和利用の学術研究推進のため昭和34年2月本学会が東京に事務局をおき創立され、関西支部が同年5月13日大阪で発会式をあげ、木村毅一氏、荒勝文策氏、伏見康治氏、吹田徳雄氏、浅田常三郎たちが集り、式後 Weinberg 博士の線量測定の学術講演があった。不肖浅田が34年から3年間関西支部長をひきうけ、幹事諸

氏の援助の下に毎月1回学術講演会と見学会を開き研究の奨励と会員の増加勧誘に尽力した。関西支部は会員のうち関西に在住する者で構成し、創立の際は正会員199名、賛助会員29社、学生会員8名で、経費は初年度15万円、2年目より20万円(現在は70万円)本部から交付された。

原子力平和利用の施設は大学および企業により計画されたが、原爆と原子炉が混同されて関西電力の原子力発電所、京大・阪大共同利用の研究用原子炉、住友原子力宝塚実験所、放射線高分子協会寝屋川研究所、大阪府立放射線中央研究所などの設置に誘致もあったが、反対が盛んであった。原子力に関する解説と安全性の啓蒙講演と設置反対の講演が関係者により各所で行われた。筆者の日記帳を調べると、昭和34年中に各地で49回学術的または解説講演を行っている。32年8月27日高槻町(現在は市)公民館で京大阪大共同研究用原子炉を阿武山附近に設置する目的で附近の居住者たちの諒解を求める公聴会を開き両大学職員による懇切な説明をしたが、現地地方新聞が原子炉は火葬炉と同様で甚だしく風致を害すると記載するものもあり、聴衆の中に説明はよくわかったが自分の住む町に原子炉を設置する事は絶対反対であり、「今後説得に来るならば本人には気の毒だが、竹槍で命はとらぬが足の一本を突きさして、現地住民がいかに反対しているか示すからその覚悟で来い」といい出す者もあった。夜半を過ぎて説明会を終り屋外に出た時、中天に輝く明るい月を眺めて説得がいかに困難であるかをつくづく感じた事であった。

企業と大学などの研究者の努力と、学会と産業会議や原子力局などの応援で、現在各所に原子力平和利用の研究所や、それを利用する医療機関、原子力を利用する工業ができ、また多数の原子力発電所が電力供給の大任を果しつつあるのは感慨無量である。(阪大名誉教授)

× × ×

× 、

中部支部の創立

昭43, 44・企画委員
昭45, 46・企画理事 玉 河 元
第3代支部長

本学会が創立されてから20年、中部支部にとっては創立満10年の記念すべき年に当たっている。当支部が創立されたのは昭和44年で、3月15日に創立総会が名古屋科学館で行われた。中部地区には当初原子力関係の研究機関の数が少なく、名古屋工業試験所で放射線関係の設備が整えられ、研究が推進されていたくらいであった。大学関係でも名大工学部にいまだ原子力関係学科がなく、先発の5大学に遅れて、共通講座の形でいくつかの原子力講座が設置されているに過ぎなかった。しかし地元産業界の原子力技術開発の要望が強く、中部原子力懇談会が中心となって原子力に関するPRを初めとして、多角的に活発な活動を行っていた。折から核融合研究が急速にクローズアップされ、全国の大学による共同研究の場として、プラズマ研究所が設置され、伏見先生を先頭として多くの有能な指導者、研究者により着々と成果を挙げて来た。昭和41年には地元各方面の絶大な後援を得て待望の原子力の学科が名大工学部に設置されることになり、中部地区にも原子力関係の教育研究の場が充実されることになった。このように環境が整備されるに及んで、いよいよ原子力学会支部設立の気運が高まって来た。支部の創設には当時プラズマ研究所長の伏見先生にご出馬願うほかないとの関係者一同の一致した意見で、先生にお願い申し上げたところ、快くお引き受け下さり、先生のご指図の下に支部設立の準備に取り掛ったわけである。お手本としては先輩の関西支部を参考にしたのであるが、まず中部原子力懇談会との関係をどのように考えたらよいか、との問題について関係者間でいろいろ検討を重ねた結果、懇談会と学会とはその性格は自ら異なるものであり、一体としての運営はかえってよくないであろう。両者は不即不

離の関係で行くことにしよう、そして実際の運営は互いに緊密な連携を保ち講演会、講習会の共催等積極的に行うようにしよう、という結論になり、その原則を守って現在に至っている。

事務局をどうするかが一つの大きな問題であったが、幸いにも化学関係学会の支部の合同事務局が中部科学技術センターの中に作られていたので、その中にわれわれの事務局の世話もお願いできることになり支部創設の基礎が固まった。これには中部原子力懇談会関係各位の並々ならぬご尽力の賜であると感じている。また支部の行事として是非取り上げたいと考えたのは、研究発表会を定例に行うことであった。これは若い研究者が学会に出席することは実際問題として難しい場合が多いので、地元で自分の研究成果を発表できる場を与えることが大切であると考えた結果であり、10年の経験でいまだ不満足ながら一応定着したものと思う。過去10年を省みて不満足なことが少なくないが、この経験を生かしてよりよい支部にするよう努力しなければならないと思う。(名古屋大学)

東北支部の設立をめぐって

昭52, 53・副支部長
昭42, 43・企画委員
昭52, 53・企画理事

美山 悌二郎

東北地区における原子力の研究促進と知識普及に資するため、東北支部を設立することとなり、昭和52年9月29日の設立総会をもって支部が発足した。

東北支部を設立しようという空気はかなり前からあったが、会員数が少なく、専門分野が広いため、気運が醸成するには至らなかった。それは昭和45年に東北大長尾教授が本部理事をされる頃までと言われる。昭和50年より東北大塩川教授ついで東北電力美山理事が本部理事となるに及び、支部設立の動きが具体化した。すなわち、東北大百田、塩川、長尾、鈴木進の4教授と東北電力美山理事等が中心となり、昭和52年

6月頃より支部設立の準備が計画された。初めは昭和53年度発足の目標だったが、本部に相談すると「善は急げ」ということになり52年下半年期発足として、8月5日第196回本部理事会で設立の了承を受けた。この時誰も、後になって学生の一部から、この繰り上げがためにするものだと言われるハメになろうとは全く予想されなかった。善意といえども、なかなか理解されないのが現世相のようである。

8月10日、設立発起人会が開かれ、設立総会の時期・議題等が決定された。発起人は東大理学部森田、石松、塩川、斉藤の4教授、工学部梶山、百田、瀬戸、長尾の4教授、医学部粟冠教授、農学部志村教授、金研鈴木、平林、諸住の3教授、選鉱研菅野、本間両教授、速研神山教授、弘前大篠崎教授、秋田大成田教授、岩手大杉田教授、土居名誉教授、山形大大坪教授、郡山日大宇野原教授、新潟大陸路教授、東北原懇鈴木部長、福島原子力沢口次長、東北電力美山理事以上、26名の会員であった。

これと平行して、会員の増強が進められた。当初、東北地区の会員は100名に満たなかったが、理・医など広い分野から賛同を得て、会員は130余名に達し、心強いものがあつた。

9月29日、仙台弥生会館において設立総会が盛大に開かれ、ここに東北支部が誕生した。当日、長尾教授から「東北大学における核融合研究」という記念講演があり多大の感銘を与えた。

支部は下半年より活動を開始した。まず研究発表会が計画され、12月開催が進められたが、開催当日、学生を含む会員以外の人々から妨害があり、開催は延期となる。年が明けて開いたが再び妨害にあい、特別講演を行うにとどまったことは遺憾なことであった。このあと化学会との共催講演会が開かれたのみで昭和53年度はささやかな事業にとどまった。東北支部は誕生の年から試練をうけ、これが軌道に乗るには会員諸氏の暖い支援と協力が必須である。支部活動が、緩やかでも健実、着実に育っていくことを念願してやまないものである。

(東北電力・理事)

研究範囲の今昔を考える

齋 藤 広

原子力学会の草創期における設立事務を担当していた関係から、当時を回想して印象に残っていることの一つは、学会の誕生にあたってその研究の目的とする原子力の研究分野の範囲を、実行委員会がどのようにきめたかということではなかったかと思われる。

もともと原子力の研究分野は、理学・工学・農学・医学などの理論や実験の分野から、法律・政治・経済・社会科学などにおよぶ研究領域の総合化によってなり立つことを建前とする、いわゆる学際思考の典型的な学会である。原子力研究は大規模な研究分野の体系にまで発展する可能性が見通されるだけに、学会の設立にはかなりの配慮がめぐらされたことも当然であった。

そこで、昭和34年2月14日の創立総会で決められた定款の目的には、関連をもつ研究分野を網羅することは用文上も困難なので、「原子力の平和利用に関する学術および技術」との包括的な表現が用いられたが、実質的には設立要項の脚注に、「原子力研究は広範囲の分野にまたがり、それらを最初から同等の重みでとりあげると、それぞれが薄められ不満足なものとなる恐れがあり、それで当分の間、原子炉に直接関係する自然科学と工業技術に重点をおいて活動する」という措置がとられることになった。

かくして、20年にわたる研究開発が積みかさねられ今日に至ったが、現在の学会員は一体どのような構成になっているのだろうか。「表1. 出身専攻部門別表」と「表2. 現在業務別表」を次に掲げてみたい。(1977年版「会員名簿」より)

この表1、表2に基づく学会員の大部分の方々は、それぞれ設立当初に決められた研究分野に占める割合が大きい研究者・技術者であろうと思われる。したがって、長い期間にわたり「当分の間の活動分野の枠」がひきつがれ、関連をも

表1 出身専攻部門別表

専攻部門	会員数()は学生会員
原子力	947 (311)
物理・応物	634 (5)
化学・化学工学	559 (1)
電気・電子	539 (5)
機械	458 (8)
金属	96
探鉱・冶金	103
建築・土木	49
電波・通信	36
数学	35
放射線・X線	31
原子動力学	3 (29)
医学・薬学	29
法律・経済	29
船舶・機関	27
農林・水産	26
計測・制御	22
航空	15
精密	13
材料	8
窯業	5
衛生工学	5
兵	5
その他	262 (6)
合計	3,936 (365)

表2 現在業務別表(回答分のみ)

業務別	会員数
原子核物理・中性子物理	36
核融合・プラズマ物理・MHD	61
放射線物理・計測・計装・遮蔽	119
炉計測・制御・動特性	39
炉物理・炉工学	115
炉設計・開発・システム工学	99
熱伝達・流体力学	70
原子力機器・構造・Na技術など	106
原子力施設・設計・建設・運転・管理	78
核燃料・物性	131
炉材料・照射技術・損傷	124
核化学・炉化学・放射線化学	99
同位体分離・ウラン濃縮	36
燃料サイクル・資源探査	33
化学工学・処理処分など	137
保健物理・放射線管理・医学・生物	105
安全性	68
情報処理・計算	16
原子力行政	11
合計	1,483

つ他の研究分野への直接的な拡幅があまり進められてはいないように見受けられる。

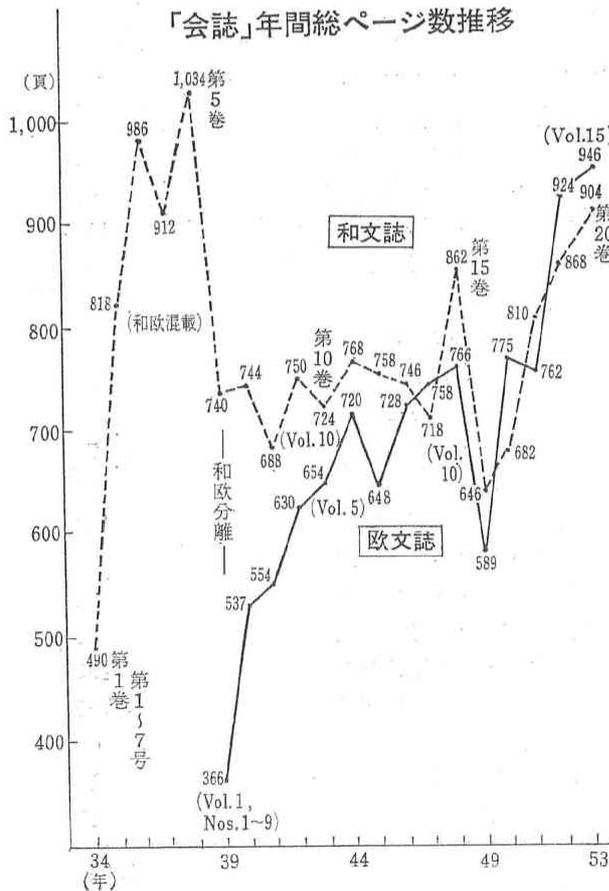
しかし、創立20周年を契機として、関連分野への学際的アプローチを積極化することを考えられてもよいのではなからうか。もちろん、そのようなことは、今までにも検討されてはいるものと思われるが、とりわけ原子力発電を取り巻いている情勢の中で、発電所立地の確保問題が年ごとに厳しさを見せ、立地難に直面しているのが現状であり、さらに住民側とのトラブルも全国的に激化してきているが、その反対運動も組織化され、政治問題化しつつある動向に対し、原子力学会が早急に取り組むことは当然とも言えるのではないだろうか。

それには、自然科学と工業技術部門のほかに、人文科学部門による学会員の参加を求めること

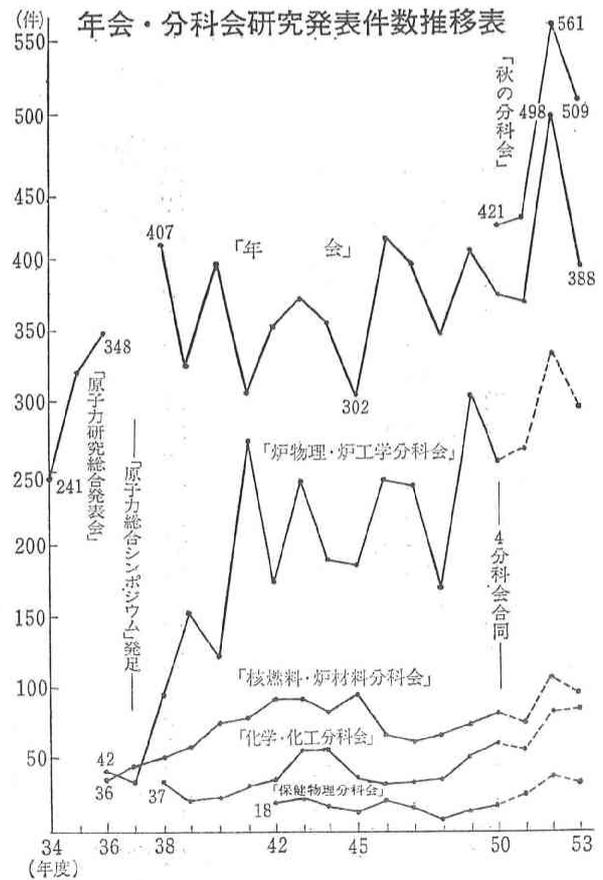
になるが、とくに、原子力発電施設の立地問題に直接関連をもつ地方公共団体の関係担当者も学会員として、他の研究分野の技術者・研究者と同等の立場で、同一のテーブルにおいて研究論議を進めることは、新しい研究態様への方向を示すものとして、極めて大きな意義を見出すことができる。

すでに、前記表2の業務別欄の末項には「原子力行政11」の学会員が加入し、新しい研究体制への端緒が開かれているものと思うが、他方、日本原子力産業会議の会員には、1道、1都、20県(6市・18町・3村)の地方自治体が加盟していることを考え合わせると、学会からの積極的な働きかけに対応・待機している姿勢が十分に整えられているものと考えて差し支えないだろう。(日本文化会議・事務局長)

グラフ①



グラフ②



20周年に寄せて“ひとこと”

憶い出，苦言，提言，要望

20年間にかつて役員・委員長を経験された方々のうち33名，創立当時にいち早く入会された会員で番号2桁会員(51名)のうち19名，および番号末尾00会員(47名)のうち9名，の方々にまったくご自由に“ひとこと”ずつ頂いた。(敬称略)

旧役員・委員長 33名(年度順)

原子力学会の発展を願う

昭34, 35・会計理事 駒井健一郎

本学会の発足時，昭和34, 35年度と会計理事として関係していた頃の会員数は約1,000名くらいであったが，今や5,000名になんなんとし，昨年9月には「第2回環太平洋会議」を主催するなど，国際的にも活躍するまで成長したことはご同慶の至りである。昭和35年に米国ドレスデン1号機の完成式に出席し，米国の原子力発電への華々しい展開に感銘を受けたが，わが国も運転出力で世界2位に達し，模倣から創造へと，幾つかの分野で自主技術の成果が実りつつあることを喜ばしく思う。

当初の学会活動は，原子炉に直接関係する自然科学と工業技術に重点がおかれた。その後原子力研究の広範囲な分野に拡がって行ったのは，時流の要請に応じての動きと思うが，各分野での密度は濃いものに保って欲しい。さらに国際的にも権威ある原子力の技術基準(例えばASME相当)などを，本学会で設定できるようにならぬものだろうか。(併日立製作所)

お祝と期待

(昭34, 35・企画委員)

昭36・企画委員長 向坊 隆
昭43, 44・副会長

創立20周年を迎えられることを心からお祝い申し上げます。

日本の原子力開発はどうなっているかということをよく聞かれます。最近では原子力に直接関連する面からは遠ざかっているのではと断りながら，いつもこう答えています。「大規模実用に近づいたので，解決しなければならない問題が次第にはっきりして来たところでしょう。それらの問題の解決のためにどのくらい努力が注がれるかで，今後エネルギー供給の面で原子力がどのくらい期待に応え得るかが決まるでしょう。」

そのような問題の中には，国内の努力で解決すべきものももちろん数多くありますが，国際協力によらなければ解決しない問題も多いように思われます。

先般，「第2回環太平洋会議」が本会の主催で盛大に開かれた機会に，本会の20年間の成長を思うと共に，今後の国際協力の重要な面にいる思いを馳せたことでした。

どの面をとっても，本会の活動に期待される場所極めて大きいと思います。一層の御発展を心から祈ります。(東京大学総長)

「第1回年会」の頃

(昭36・企画委員)
昭37・企画委員長 吹田 徳 雄
昭47, 48・副会長

本学会が発足して4年目の昭和38年4月、第1回の年会在東海大学で行われた。当時私は企画委員長であったので、この年会的成功を祈った。

幸い発表論文数は400件を超え、当時会員数2,000名足らずの学会としては、その研究水準と会員の質のよさを示していた。仮りに1件に2名の会員が関与していたとすると、約半数の会員が発表したことになる。そしてその秋、従来あった「炉物理」、「核燃料」の分科会に加えて、「炉工学」、「化学・化学工学」の分科会が開かれ、ようやく学会としての形態が整えられた。

また原子力教官協議会が発足し、これを母体として「交換教授講演会」の制度が設けられた。この制度に対し当時の文部省の関係者は好意的であり、もしも必要な経費が学会の枠を越える場合は援助してもよいとのことであった。しかしこれは実現しなかった。(初代原子力安全委員長)

ジルコニウム・メダルの提案

(昭34, 35・編集委員)
(昭37, 38・企画委員)
昭40・編集委員長 三島 良 績

編集理事を仰せ付かったのは昭和39年で、次いで当時の委員長であった野沢豊吉東工大教授の後をうけて40年5月から1年間、編集委員長をやりました。

この間にやったことは37年創刊の「欧文誌」を軌道にのせること、技術報告を研究論文より一段低いように見る風習を改めて、この機会に「和文誌」では両者を論文として扱うようにしたこと、などを思い出します(40年8月号巻頭言)。

学会創立10周年に記念事業として「学会賞」を制定する案が理事会で出、当時企画委員長であった垣花秀武東工大教授と相談して案を立てた時に、私の発案でジルコニウム製のメダルを提

案しました。ジルコニウムでメダルなど出来るのかというご質問に答えて、全軽金属野球大会のチタンの記念賞など示したりした結果、ついに実現し、日本鉱業(株)中研のご尽力で世界初のジルコニウム・メダルができたのでした。

(東京大学)

三つの願い

(昭40, 41・企画委員)
昭42・企画委員長 品川 睦 明

創立20周年を心からお祝い申し上げます。私は、次の三つの宿願をもっています。

(1)放射能を制御する研究の助成。(2)電子エネルギー利用の研究助成。(3)放射線衛生の医師による社会教育。

(1) 原子力を利用するための原子核を変化させると、どうしても放射能物質ができますが、この放射能を制御できないと原子力の健全な利用は望めません。これが不可能という証明はありません。

(2) エネルギーのレベルからいって、熱は1/40 eV、石油はeV、X線はkeV、核力はMeVといえましょう。動力の熱を得るために、人は石油でなければ核力と考えています。X線は核外電子力のあらわれですが、このあたりの動力化が盲点になっています。電子力はクリーンです。

(3) 世間が放射線、放射能を正しく恐れていないのは目に余ります。全医師は公衆衛生指導の一つとして社会教育をし、相談や指導にも当るべきです。そのため医師の再教育や放射線取扱認可制も必要でしょう。(現・松下電子産業(株))

10年前の編集委員会

(昭37, 38・編集委員)
昭42・編集委員長 西野 治

私が編集委員長を勤めた頃に創立10周年があったから、10年前の話になる。当時編集委員会でよく出た話題に次のようなのがあった。原子

うまく行くと思うよ。(現・住友原子力工業(株))

10年前の思い出

(昭40,41・企画委員)
昭43・企画委員長 安藤良夫

私が企画委員長に任命されたのは昭和43年で、本会20年の歴史のちょうど中ほどに当たる。本会では一般に委員長は1年の見習い期間を経てなるのが通例であるが、このときは理事、即、委員長であった。ところがその頃から全国各地で大学紛争の火の手があがり、燎原の火は東京大学にも及び、昭和44年1月には総決算ともいうべき安田講堂の攻防戦があり、その後比較的平穏だった原子力工学科に紛争が飛び火し、これを解決するため身体の大きいことに期待されたのか教室主任を仰せ付かって、労多くして実り少ない日々の連続であった。そのような次第で学会活動も若干おろそかになり、申訳けなく思っているが、久しぶりに顔を出すと会長から「よく来られたな」とお慰めを受けて恐縮したこともあったし、初年度は年会にも出席できず、2年目と振り替えて頂いて責任を全うした。当時と現在では多少違いが、原子力の外圧による試練の道は依然続いており、本会のたゆみない邁進を期待したい。(東京大学)

速やかな論文査読を重ねて要望する

(昭38,39・企画委員)
昭43・編集委員長 西原宏

今から10年くらい前に、会誌「巻頭言」のなかで、論文の査読は速やかにお願いしたい、との要望を述べたことがある。現状はどうかと思ひ、人に依頼して最近の約1年分の本学会「欧文誌」とN.S.E.誌について統計を試みた。

論文の受理から刊行まで、および訂正再受理から刊行までの所要期間は、両誌ともにそれぞれおよそ10ヵ月および6ヵ月程度で有意差は認められない。しかしN.S.E.の場合は、分布が

平均値のまわりに集中しているのに反して、わが「欧文誌」の場合には比較的平坦に分散し、分野によっても遅速があり、迅速に処理されたものと、著しく長い日数を要したものとがあるように思われる。

私の経験でも、査読にあまりにも長くかかり、しかも回示された所見の内容と、長い所要日数とが結びつかないために、若い投稿者の気持が挫かれるのを見て、つらい思いをすることがある。速やかな査読を重ねて要望したい。

(京都大学)

学会事務局との関わり

(昭36,37・企画委員)
昭43,44・会計理事 高島洋一

本学会発足の時に以前科研(現・理研)におられた現事務局長の正本実閑氏が来られ、一方、私自身はやはり科研にいた時に編纂課にいた同氏をよく知っていました。そんな関係からか、最初から学会事務局には親しみを感じています。実際、いつ訪ねても職員の皆さん大変親切で感じがよい。ただ、原稿の締切り期限を守ったことがないので、いつも大迷惑をかけている点、お詫び申し上げたいと思っている。

さて、私は昭和43年、44年の2年間理事の末席を汚していました。大学からの理事は大抵、企画あるいは編集に関係し、自分の職務を生かして学会活動をされていたようですが、私の場合どういうわけか(向坊先生が推挙の由)、会計を担当させられました。当時、会員は期待ほど伸びず、財政も不安で、賛助会員の増加対策、口数の増加などがしばしば理事会の議題に上り、私自身ではなんらそのことに貢献できず、もっぱら節約をお願いしていたような記憶があります。また、事務局職員一同も、実につつましく、アングラ事務室(時折り窓からも出入りできた)で不平もこぼさず協力して下さったように思います。

なお、会計を担当したおかげで、関電の飯田正美さんや三菱原子力の馬場一郎さんなども

・・・・・

「会誌」雑感

昭44・編集委員長 百田光雄

最近の「会誌」は私が編集のお手伝いをしてきた頃と比べて格段に内容が充実し、興味深くなっている。これは本学会の隆盛の反映であり、またもう一つには編集に当たっておられる方々の熱意と工夫の結実でもあろう。「欧文誌」の英文については、今も何篇かに一つの割合で吉田正男氏のご添削を頂いているとのことであるが、英文を直すのは、おそらく著者が原文を書くのに要したのと同じくらい、あるいはそれ以上の忍耐を要する仕事で、長年これを続けて下さっている同氏のご厚意には全く頭の下がる思いがする。「会誌」の毎号を飾っている連載講座は、この間に気づいたことをまとめられたものであろうが、辞書や文法書等では知ることのできない有益な注意が豊富な用例とともに示されている。題名は“英文論文を書く”であるが、英語の微妙なニュアンスがよく説明されているので、英文を書く場合だけでなく、読む場合にも大変に参考になる。なるべく早い機会に“単行本”とされることを期待している。

(元・東北大学)

・・・・・

ひとこと

(昭42, 43・企画委員)

昭45・編集委員長 岐美格

私が編集委員長を命ぜられたのは、昭和45年5月から1年間であった。その頃、いろいろな専門分野の人々を会員とする本学会の情報伝達メディアである「学会誌」の内容が、会員にとって有意義であり、学術専門誌としての風格を失わずに親しみやすいものとするために、総説・解説・資料などの記事を充実すること、会員の研究成果のうち、和文論文は「和文誌」に、欧文論

文は「欧文誌」に掲載するとしても、なお一層、質の向上をはかるために、査読の方策を確立することなど、種々議論したことを思い出す。その後の編集委員会のご尽力で、「学会誌」が常に新鮮な話題を提供し、「欧文誌」が、キーワードを含めて、優れた論文を数多く掲載されるようになったことは誠に喜ばしい限りである。願わくば、20周年を記念して、第1号からの記事や論文の目録を、分類表に従って整理・総括されることを望む。この中には種々の統計資料や、客観的・国際的な年表も併記されるのがよろしかろう。

(京都大学)

・・・・・

学会に望む

昭46・企画委員長 田島英三

エネルギー資源の乏しい日本にとって、原子力開発を進めるべきか否かは、重大な問題である。ところが国民の一部の間には原子力に賛成する意見と、これに反対する意見の二つに分かれていて、一般の国民はその去就に迷っているというのが実情である。これらの意見は、多くの場合に専門家の間にある意見の相違を反映したものといえる。国民の間に意見の相違があること自身はむしろ当然であって、喜ばしいことであるとさえ言えるであろうが、日本の今日の不幸は異なった意見を持った専門家の間で学問的討論を交わす適当な場が提供されないということである。20年の歴史をもつ本学会は異なった意見の専門家に学問的討論をして貰う裏方の一役を買って貰いたいものである。(立教大学)

・・・・・

学会誌の編集

(昭38, 39・編集委員)

昭46・編集委員長 上田隆三

「会誌」をよくするには、よい編集企画を立て、立派な論文を投稿して貰うことが必要である。本学会のような総合学会では全会員に満足

して貰える「会誌」の編集は仲々難しく、歴代編集委員会が苦勞される場所である。私が委員長を仰せ付かったときに前委員長から「会誌」改善のための申し送りをうけた。学会はまだ歴史が浅く、会員はそれぞれ専門分野の学会員でもあるため、慣習の違いにより投稿者と査読委員との間のトラブルもしばしばあった。そこでまず、投稿規程・査読法がしっかりしたものである必要が痛感され、安成弘理事を中心に小委員会で検討していただき、新しいものが出来上がった。これには投稿者用の「チェック・リスト」も加えられた。これらの改正で編集上のいろいろの問題が解決できたと思う。キーワードの採用を決めたのもこの時期であった。最近『学術用語集・原子力工学編』が刊行されたが、学会誌編集上意義のあることと思う。(現・東海大学)

やさしい「会誌」を多数の会員に

昭46, 47・編集理事 穴原良司

「和文誌」をもっとやさしい内容のものにできないものか。これは会費を負担している多くの会員の切実な声である。編集委員会や理事会は本気になって会員のためになる学会誌をつくることを考えておられるのであろうか。

最近号をひらいてみても、「解説」という名のもとに偏微分方程式が縦横にとびまわっている内容のものがある。本学会の会員は、これを解説記事として気軽に読めるほど頭のよい方なのばかりであらうか。

もともと解説欄は、忙しく実務にたずさわる現場の技術者にも、トピカルな内容を平易に、総合解説していただきたいことをねらって登場したものであった。その考え方は、しかし、今やまったく消滅したかのように見える。

他の学会も、学会誌の記事を多くの会員になじみやすいものにしたいと、必死の努力をはらっている。電車の中で吊革にぶらさがりながら読める内容のものにすることをねらっている所すらある。

「原子力学会誌」がいつまでもこんな内容でいるならば私は会員をやめたい。(富士電機製造(株))

企画委員会の思い出

(昭41, 42・企画委員)

昭47・企画委員長 柴田俊一

企画委員を務めさせて頂いてから、もうかなりの年月がたちました。その当時、「研究連絡会」を始めようという話になり、原子力学会以外にはあまり行くところがない(と称する)人たちが、つまり炉物理屋が集まって運動を始めました。いなかに居て、おとなしい筆者はあまり知りませんでした。それまでに炉物理のグループがさんざん学会を荒らした(?)らしく、その反動で、こんなよい企画がいたるところで障害にぶつかりました。しかし、根気強く各方面を説いてまわりました。当時の大山(松次郎)会長にも直談判に行き、やっにご了解を得ました。その時昼弁当をご馳走になり、ついでに「息子の彰(大山先生)をよろしく」と頼まれたのには恐縮いたしました。また、その時、「早く家を建てなさい」と勧められ、「この先どこへ行くかわかりませんので」とお答えすると、「移る時は交換すればよいですよ」と話されたことを思い出します。最近やっ、実験所のそばに、剛(豪ではない)邸を建て、住民の方にも安心され、安全性について理解して頂く上で大変役に立っています。

その数年後、企画委員長の時代に、京大で開いた「分科会」で、学生さんとの間でイザコザがあり、静観していた委員長の姿勢について、少し批難めいた話がありました。裏ではいろいろ手を打っていたのですが、みかけが落着き払っているように見えるので誤解されたようです。もっとも私個人としては、原子力の問題は、まだ経験が十分でないので、あまり権威ぶらずに、卒直な討論と検討をしながら推進する方がよいと信じています。

(京都大学原子炉実験所)

「和文誌」再発足の思い出

(昭41, 42・編集委員)
昭47・編集委員長 安 成 弘

私が編集委員長であったのは昭和47年度、当時、学会の発展のためには、学会誌を魅力的なものにする必要性が強く唱えられた。「和文誌」を“より広く会員に親しまれ、役に立つ会誌”にすることを目標に、「和文誌」の新しい編集方針の検討を開始したのは、47年半ば頃であった。なにしろ、48年1月の15巻第1号を目ざしてのことであり、議論沸騰して大変であったが、編集担当理事であった穴原良司氏初め委員の方々ならびに事務局の絶大なご協力により、強行突破が行われた。表紙も従来よりもカラフルなものに変わった。しかし、私の在任中には、スタートさせることが精一杯であり、多くの問題の解決を後の編集委員会に托すこととなった。あの当時よりすでに6年、学会も20周年を迎えるが、この機に「和文誌」がその目的を達しているかどうか省察することは重要であろう。

(東京大学)

原子力と社会

昭47, 48・企画理事 天 野 昇

原子力学界は他の学問分野と違って、一般社会との深いつながりをもつ宿命を負わされている。このような学問分野の研究者、技術者の集団である本学会には、単なる学問の追求のみでなく、より広い視野に立っての活動が要望される。

わが国の原子力の研究と同様に、本学会もほとんどゼロからスタートしたが、20年間の関係者の努力によって学会としての基礎が固まってきた。20歳の成年に達した学会が今後より大きく発展するためには、もう少し外に向っての学会の意志の表明があってもよいのではないか。原子力は社会問題としてよく議論の対象になる

が、少数の反対意見者がいると、あたかも学界の意見が50-50に分れているような印象を一般の人に与えている。このような誤解をとくためにも、専門家集団である本学会の意志表明は、極めて意義のあることと思う。

(日本原子力研究所)

ハンディクラフト化

昭47, 48・関西支部長 岡 村 誠 三

(1) 石油ショック、資源有限などから急に安定成長が叫ばれ、工業界も高付加価値、少量生産など急に忙しくなった。技術も高度化からさらに小型化の傾向さえ出てきた。他方、資源有限であるからこそ原子力を初め宇宙、海洋、生医工学など大型の科学技術が必要となる。どう結び合わせるか。

(2) 公害とか人間疎外とかの荒波の中で伝統的な手工芸が見直されている。それは工・芸であり手作業性や地域性が高いという特徴をもつ。今日の工業化社会に最も必要なものであろう。ここで手とは、力と頭の表現である。大型化に最も必要なのも手である。

(3) 電子工学で使う細密な部品作りなど超近代的なハンディクラフトではないか。原子力に工と芸の融合を、力と頭を使う手作業を加えることによって、最も地域性の高い科学と技術に育て上げることこそ、ちょうど20周年を迎えた今日の課題の一つではなからうか。(京都大学)

思い出すまま—20周年に寄せて

(昭40, 41・企画委員)
昭48・編集委員長 内 藤 奎 爾

私は本学会の企画委員会および編集委員会の両方に関係したが、やはり一番印象に残っているのは、編集委員長として在任した時(昭和48年度)のことであろう。「前委員会(安委員長)では、会誌を「読まれる会誌」にするため穴原さんを中心に大改革が試みられ、大きな成功を収めて現

在に至っている。私は次のステップとして、編集の今一つの柱である「欧文誌」をやはり読まれる Journal にするため、小委員会を設けて検討した結果、一応の成案を得たので次期委員会へ申し送った。その一部は実現しているが、必ずしも十分な成果は挙げていないように見える。もちろん Journal の方は「会誌」よりもはるかに地味であり、編集にたずさわる方の地味な努力の集積が質の高い雑誌として結実するものであるが、今後も引き続き努力されるよう切に期待したい。在任中、身にしみて感じたことは、事務局職員の方々が熱心に学会事務に精進されたことである。事務局はまさしく学会の「縁の下」の力持ちであるが、原子力学会は本当によい事務局に支えられていることを感謝すると共に、その努力に報いるためにも、よい Journal をつくっていただきたいと念ずるものである。

(名古屋大学)

本学会の新たな任務

(昭46, 47・編集委員)

昭49・企画委員長 青木 成文

本学会が創立された20年前と現在とで、原子力の平和利用に対する国民の理解度はどのように変わっているだろうか。この間に種々様々なトラブルのみが大きく報ぜられ、また原子力が余りにも政治によって動かされているかの印象を与える出来事が多すぎたように思われる。このような時代にあって、本学会は多くの研究成果を発表し、討論して学問的情報の交換に役立ち、大きな足跡を残してきたことは慶賀に堪えぬところではある。しかし、原子力の国民的容認を得るためには、これだけでよかったのか、いま反省してみるべきではなからうか。もちろん学会が原子力のPRをやるという意味ではなく、信頼できる資料集の刊行、各種の技術基準案の検討など、原子力の平和利用を正しく理解できる材料を提供しうる權威を学会が持つことである。次の時代こそこの任務を遂行できるよう、学会をさらに大きく育てなければならない。

(東京工業大学)

包容力のある学会に

(昭44, 45・編集委員)

昭49, 50・企画理事 井本 正介

昨秋10月、富山での鉄鋼協会の秋季大会の会場をのぞいてみた。ちょうど“高温ガス炉用耐熱材料のHe中での酸化”の話で、参加者も多く、討論も非常に活発であった。原子力学会で活躍しておられる方の顔も何人か見えた。一方、その直後、神戸商船大学で行われた本学会の分科会では、プログラムのどこにもそのような話はなく、さびしい、しかも奇妙な感を抱いた。鉄鋼協会でのその企画は大変時宜を得たものだと思うのだが、なぜそれが本学会の土俵の中でできなかったのか。

この20年を振り返って思う一つのことは、本学会の中に、時に性急に学会を純化しようとして、ある分野を排除するに至る傾向のあったことである。放射線物性がその一つの例である。会員が他の学会へ流れ、やがて離れてゆくことのないように、逆に、他の学会の人たちが日本原子力学会の中に共通の討論の場を見付けられるようになることを、切に希望する次第である。

(大阪大学)

企画担当としての4年間

(昭47, 48・企画委員)

昭49, 50・企画理事 渡辺 鏝

私は昭和47年度から4年間企画委員会にお世話になった。その間最も力を注いだ点は、会員へのサービスの向上であった。昨今多くの学会で収支面の苦勞が多いが本学会もその例にもれない。一方、学会の収入の基礎である会費は会員にとって大きな負担となっている。したがって、会費の主要な見返りとして学会誌と研究発表会の質の向上は、会員にとっては勿論、学会としても重大事である。前者は編集委員会、後者は企画委員会の担当である。研究発表会をただ発表者のみの場でなく、聴く人にも役立つ場

・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・

6 文字の英文

(昭37, 38・編集委員)

昭50・編集委員長 飯田博美

本誌の連載講座「英文論文を書く」でおなじみの吉田正男氏のように、他人のしかも専門外の英文論文をこれほど懇切かつ綿密に添削される例を私は知らない。昭和50年私が編集委員長になって間もなく、欧文論文の増加のため、従来のようにすべての英文論文を吉田さんにみて頂くことは物理的に不可能な事態になった。編集委員会での論議をもとにして、吉田さんと全編集理事との話し合いを持った結果が、本誌Vol.18, No. 4に会報「英文論文添削の改定」となったのである。ついで、吉田さん添削の論文をどう区別し表現するかについて、いくつかの英文表記が編集委員会を出され議論百出した。私の語学力で採決する自信がなく、吉田さんのご意見を伺って、現行の“Text edited……M. Yoshida.”に決定をみたのである。当初この表現を見たとき私はちょっと首をかしげたのであるが、よく考え味うほどに簡潔でぴったりの表現だという実感になった。それにしても「英文論文を書く」をまとめて単行本にしていってほしいものである。(放射線医学総合研究所)

・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・

本学会の企画事業

(昭46, 47・編集委員)

昭51・企画委員長 菅野昌義

本学会の事業の中で、重要なものの一つは、春・秋の研究発表会と2月の「原子力総合シンポジウム」であるが、その中で特別講演、総合講演などを公平に各分野に配分することが結構難しいことを知った。ある分野では、その分野の講演がないとその分野の重要性が軽視されるように思えるらしいのである。また、学会で政治的発言を求める者も現われ、それと学問的な発

表との境界を明確にすることが人によって見解が異なるので仲々困難であった。これに比べて、昨年9月の「第2回環太平洋会議」などを見て、学会の国際交流に果たす重要な役割を痛感した。今後、この面での学会の活動を期待したい。先ごろ私共は海水ウラン採取に関する技術交流のため中国を訪問したが、これは中国の原子力学会に当る核能学会から本学会への招請状から端を発したことは意味深い。

今後は、わが国の若い研究者や現場の技術者を鼓舞するような、一層有意義な企画事業が多くなればよいがと期待している。(東京大学)

・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・〇・

「会誌」の使命と編集の目標

(昭45, 46・編集委員)

昭51・編集委員長 鈴木弘茂

昭和51年度の編集委員長を務めさせていただいたが、その間に直面した各種の体験から本「会誌」には次のような基本的な使命があると信じている。

すなわち、原子力開発に山積する多くの問題を解決し、社会の発展を支えてゆくためには、何と言っても基礎となる科学や技術の確立が先決で、それを培う優れた学術論文を厳密・公平な審査をして速やかに掲載することが必要である。と同時に、格調を保ちつつ業界誌に劣らぬ情報や有益な記事で誌面を満たし、会員に親しまれる読み物とすることである。編集委員諸賢やその他関係各位とともにこの目標に向かって努力したつもりである。

しかし、原子力という両刃の剣を扱う専門家の集団である本学会の機関誌としては、真実を伝えて社会の不安や不信に応えるという今一つの使命があるのではあるまいか！私の在任中、最も苦心し熟慮し、当時の伏見会長や理事会の賛同を得て実行したのはこのことであり、今もなお脳裡を離れない。今後も編集委員会の一つの課題になるかもしれないが、後続の若い人たちによくよくお考え願いたいところである。

(東京工業大学)

原子力研究開発と本学会

(昭36, 37・編集委員)

(昭42, 43・企画委員)

昭52・企画委員長 石川 寛

本学会設立以来早くも20年を経過し、その創立20周年を祝うに当たり、その発展の経過を振り返り、学会内外において支援された各位、各団体の長期にわたる努力に敬意を払い、また感謝します。さらに今後日本の原子力開発の力強い背景として、本学会が質・量両面において一層の充実と発展を遂げるよう要望いたします。日本の原子力研究開発は、その戦後の混乱期の無の状態から出発し、その経済的工業的發展とともに大きく発展し成長しました。原子炉の分野のみに限っても、各種の臨界実験装置、研究炉、実験炉、原型炉、発電炉が計画され、さらに建設、運転されています。原子力発電の設備容量は、米国について世界第2位となり、53年末には1,200万 kW を超えようとしています。しかし安全性、環境問題、核不拡散などを重視しながら核燃料サイクルを確立するためには、基礎から応用までの広い専門分野を含めた学会会員の相互協力が必要で、本学会に期待される役割は今後さらに大きくなります。(日本原子力研究所)

原子力研究に想う

(昭50・編集委員)

昭52・編集委員長 石黒 亮二

私共の大学に原子工学科が誕生し、私が原子力の仲間入りをさせていただくようになってからも10年近くなるが、本学会は創立20周年とのものであるので、会員としてはまだ新入りの域を出ない。それでも、お付き合いが長くなるにつれて現状是認の傾向が強くなることは否めず、最近では批判力の不足を反省している。

この分野に飛び込んだ当初にいろいろと感じたことの一つに、わが国の原子力研究では理学的な基礎研究と工業化のための開発が直結されていて、その中間にあるべき基礎工学的な研究が不当に軽視されているのではないかといった疑問があった。最近ではこの傾向はかなり改善されているが、しかしそのことが10年後の今日に安全性研究の遅れをもたらす大きな原因となって顕われて来たようにも見える。

原子炉を社会に定着させるためには、今後の研究態勢の上でなお考慮されるべき多くの問題がありそうに思う。(北海道大学)

番号2桁会員19名(現51名)

(原稿を頂けなかった方は会員番号と氏名を掲載。欠番は退会)

2 吉岡 俊 男

提 言

本学会も創立20周年を迎え、事業活動の充実と増強が逐次図られてきていることは同慶に堪えない。わが国原子力産業界のこの間の発展は目覚ましく、53年末の原子力発電所は稼働中のものは1,200万kWを超え、これに建設中および準備中のものを加えれば、2,600万kWを超

える。これに応じて民間原子力産業界の技術者数も51年度において、16,000人と増加している。本学会の活動もこの趨勢を反映して、学会誌や技術会合等の運営において、産業界の要望に応じてきている。しかし、学会会員数は関係者の努力にかかわらず、産業界発展の趨勢を必ずしも反映していない。これは最近の産業界の技術者が、会社購入の図書を利用し、自ら学会会員となる必要を感じない傾向にあることも一要因であろう。そこで一提案であるが、現在の賛助会員とは別に、企業または団体を対象とする法人会員制度を設け、加入口数に応じて、会費の徴集と学会誌の頒布をする。これによって、学会誌部数の増加と、会誌の発送—会費の徴集の便

が得られることにならないか。関係者のご検討を煩わしたい。(昭34・企画委員, 昭38, 39・庶務理事, 昭45, 46・監事, 昭50, 51・副会長)

(日本原子力発電㈱)

- 3 佐藤 伸(東京工業大学)
- 6 大塚 益比古(電源開発)一前出, p. 93
- 7 向坊 隆(東京大学)一前出, p. 99
- 8 鈴木 徹 男(東京大学)
- 10 三島 良 績(東京大学)一前出, p.100

.....

- 13 上野 忠 男

原研建設課長代理の思い出

本学会が創立した当時、私は日本原子力研究所建設課長代理として東海村で昼夜もなく奔命中でありました。松林には松露が生え、砂浜では「いしもち」という魚がとれました。その頃私は「原子力研究総合発表会」で、“発電用原子炉の地下格納”と題する論文を発表し、注目論文の栄誉に浴しました。その後、私は米国カリフォルニア大学講師となり、教授となりましたが、御無沙汰しました。ローレンス放射線研究所から「原子力工業誌」に、“核爆発の地下格納技術の進歩”を15回連載しました。米国では新規の熱核兵器の研究開発と大規模な地下核実験の継続実施に熱を上げて飽きもせず、追従を許さぬ域に達した模様です。私の発明したニトロメタン爆薬が日本特許になりましたが、建設課長代理の覇気は望むべくもありません。自己紹介になりまして恐縮です。本学会創立20周年を祝し、会員皆様のご発展を願ってやみません。(カリフォルニア大学)

.....

- 14 加藤 正 夫

原子力学会と私

1955年に第1回ジュネーブ会議が開かれてから、日本の原子力もようやく走り出したといえましょう。私はこの世紀の大会議に日本の代表

団の一員として参加し、私のペーパー2通を発表してきましたが、帰国後は原子力態勢作りに随分いろいろのことをさせられました。その頃私は、新たに日本学術会議に設置した原子力特別委員会のメンバーでもありましたので、本学会を作ることにについて議論したことを憶えています。設立発起人の1人にもなりました。そんなわけで若い番号をいただくことになったのでしょうか。学会誌には何回か書きましたが、アイソトープ・放射線利用の仕事が多かったので寄稿数は少ないのです。実は定款にはアイソトープの関係も学会活動の中に含めてありますので、この部会活動を盛んにする方途を考えなければいけないのでしょうか。このことは今までも議論してきましたが、今後も議論を続けていきたいと考えております。(元・東京大学)

- 16 矢木 栄(千代田化工㈱)一前出, p.89

.....

- 17 清瀬 量 平

原子力の国際性と社会性

この20年間、激変する国際情勢のもとで、とにかく現在のレベルまでわが国の原子力技術を高めるために本学会の果たした役割は極めて大きく歴代会長、諸役員を初め先輩の方々のご尽力には心から敬意を表したい。さて、我々の年代は20年前にはまだ駆け出しの少壮研究者であり、私を含め多くの人々が国の海外留学生制度その他によって、アメリカやヨーロッパの先進諸国に続々と派遣されて新しい科学技術の吸収に努めた。留学の期間は多分短くても1年はあったから、その間それぞれ何人かの海外の研究者とかなり親しい友人となったはずである。これはフォーマルな研究上の連絡、協力のみでなく、個人的なフレンドシップに基づく原子力専門家のある種の国際的コミュニティを作ったに相違ない。最近ますます重要性を加えつつある原子力に関する国際問題を解決する基盤として、このようなコミュニティにおけるフランクで忌

憚らない意見の交換も極めて重要なことと思う。また、原子力発電の導入に対する社会的合意に関しても、各国ともそれぞれの国情に応じ多くの問題を抱えている現状を見ると、特にアメリカ原子力学会(ANS)は各種国際会議のほか、技術的基準類の作成、安全や環境問題に関する一般向けの解説書の出版など、活発な活動をしている。わが日本原子力学会も、わが国特有の国際的、社会的情勢を背景として、専門家の有力な集団として、原子力問題の国際性と社会性に強い関心を持つことは言うまでもないが、何らかの実効ある活動が今後一層盛んに企画拡大されることを望むこと切である。(昭37, 38・編集委員, 昭41, 42・企画委員)

18 武田 栄一(元東京工業大学)一前出, p.90

19 山本 寛(エネルギー総合工学研究所)

21 江藤 秀雄

学会の思い出

本学会も創立20周年を迎えるとのこと、まことに月日の立つのは早いものである。創立当時を思い出す意味で旧い日誌をひもどいてみると昭和33年には学会の発起人会にも関係していたようだし、学会発足後は評議員、企画委員さらに理事にも名だけは連ねたこともあったようである。昔の「会誌」を改めて見直したいと思ったが、あいにくと放医研を辞任して原研に移った際に荷物の軽減の必要からか、残念ながら目次だけが手許に残っているにすぎない。しかし、昭和35年には「事故時における被曝線量の取扱い基準に関するシンポジウム」に、「基準被曝線量の設定上の考え方と問題点」という題目で、また36年には「安全性をめぐるシンポジウム」に「ウィンズケール原子炉事故に関するMRC 勧告の批判」という題目で、それぞれ参加したことを思い出し大変感慨深かった。本学会の今後の一層の発展を期待したい。(昭36, 37・企画委員, 昭43, 44・企画理事) (日本原子力研究所)

22 大山 彰

20年と今後

本学会の誕生は1959年で、American Nuclear Society の発足と3年余りしか遅れていない。原子力開発の出発が10年以上遅いことを考えるとその差は小さい。おそらく原子力の学会としては世界で2番目に古いのではなかろうか。初期には原子炉それも研究炉に重点があったが、20年の間に原子力発電所の諸問題、新型動力炉、核燃料サイクル、さらに核融合と範囲が広がってきた。会員数は着実に増加し、和文・欧文の定期刊行物への内外の評価も固まり、原子力自主技術の基礎づくりに果してきた役割は大きかったと思う。しかし、今後プラスしてよい新しい活動分野もないことはない。正しいバランスのとれた原子力知識を一般国民のものとするために学会は何を寄与できるか。原子力の基準や規格への寄与はどうか。海外の学界との協力をもっと発展できないか。これらの問題も一歩ずつ考えられることを希望する。(昭34, 35・編集委員, 昭39, 40・編集理事, 昭50, 51・監事) (動燃事業団)

25 佐藤 一男

学会の「成人式」に当って提言

学会設立の話を聞いて、入会申込みをしてから20年たつ。この間さしたる活動もせず、馬齢を重ねるのみだった自らを省りみて、忸怩たる思いである。当時独身だった私にも、高校生を頭にする子供がおり、これがまた最近は一人前の理屈をこねて親父を閉口させるようになった。

学会も創立20年ともなれば、いわば成人に達したわけで、社会的に重みもつくし、同時に責任も生ずることになる。学会の中に科学技術以外の問題を持ち込むことは良くないが、原子力についての社会的な論争の中で、本学会が権威ある専門家集団として尊重され、国民各層から

頼りにされる存在となるべきではなかろうか。そのためには、これまでの活動をさらに充実させるとともに、「同業者のみの閉鎖的集団」に墮することなく、一般社会に、より開かれた窓を持つように努力すべきであると考え次第である。(昭48, 49・編集委員) (日本原子力研究所)

- 23 山崎 文 男(日本アイソトープ協会)
24 大 部 誠(日本原子力研究所)

26 柿原 幸 二

実地経験を主体とした世代の交替を

わが国の原子力開発がようやくスタートに付いた当時は、ちょうど明治の文明開化時代と同じく先進諸国の知識と経験を取り入れることに追われていたため、目や耳を通じただけの観念的知識が幅をきかしていたこともやむを得なかった、と言えよう。

20年を経た今日の日本は、もはや原子力後進国ではない。幾多の原子力施設の建設、運転管理および利用を通して、原子力そのものを自分のからだで感じ取っている研究者、技術者の数には事欠かないはずである。

20年といえば人生の1世代の長さに近い。わが国の原子力もそろそろ世代交替の時期に入ったのではなかろうか。少なくとも安全審査関係(原子炉だけでなく、核燃料や RI 利用も含めて)は1日も早く実地経験の豊富な者を主体とすべきである。頭の中の知識だけにもとづく現在のやり方は、内容の空疎さを形式上の無意味な煩雑さで補う結果となり、原子力の発展の上でも、また真の意味の安全確保のためにも大きな障害となっていると思う。

(現・東京ニュークリヤサービス(株))

- 27 苦米地 顕(動燃事業団)
29 吉 江 充(神奈川大学)

・・・・・

31 須藤 欽 吾

原子力随想

コールダーホール原子力発電所完成、日本大使館にも原子力担当として村田氏(現原研理事長)が赴任、と本邦原子力業界が華々しい幕あけをした頃、ロンドン大学留学中の私が胸膨らませて帰国、東北大選研の核燃料冶金部門を担当して間もなく本学会が発足した。その後20年経過したにもかかわらず一私も転職一予期に反して原子力業界の発展は遅々として進まず、学会活動も多岐にわたり、的を絞りにかかっている感じがする。

枯渇が叫ばれる石油に最も依存している日本としては理想的エネルギー源の出現が切望されるが、この見通しは全然ついていないようである。エネルギー消費増大が避けられない世界情勢下、これが解決の本命は原子力開発にあると考えられる。この好機を逸せず、産学両界相携えて一大飛躍をされるよう祈るとともに本学会の大いなる寄与を望む。(昭39, 40・企画委員)

(現・太陽鉦工(株))

- 35 那須 速 雄(日本原子力発電(株))
39 木 村 健二郎(元日本原子力研究所)

・・・・・

40 内 田 秀 雄

工学的研究

原子力利用のような大規模科学技術の研究・開発は、一言でいえば「科学をシステムの中に具現化する」ことである。それには、科学を工業に結びつける橋渡しの役を果す工学的研究の参加が大切である。原子力開発には長年月を要し、また大がかりな実規模的・実証的研究の積み重ねを必要とするため、工業化の可能性を得るまでの研究への投資とその実施には、国家的さらには国際的協力の下での研究開発が必要で

あるのはいうまでもない。しかし、その計画の中に早期から工学的研究の積極的協力を求めるのでなければ、大規模科学の具現は難しいのである。21世紀における有効な動力源として核融合炉の開発を進めるためには、基礎科学の開発研究に協力する幅広い専門分野の工学研究者を有機的に動員して、スコーピングな研究を地道に重ねてゆく体制をとることが今日大切ではないだろうか。分裂炉20年の歴史もこれを語る。

(昭35, 37・企画委員)

(東京大学)

41 西原 宏(京都大学)一前出, p.102

45 吉島 重和(東京芝浦電気㈱)

・・・・・

46 那須 信治

原子炉の地震問題に取り組んで

原子炉の安全審査のための地震調査が今では非常に細密になり、結構なことと思う。ただ活断層の实在確認およびその活動性能の判定、ひいては耐震工学上考慮すべき断層の取捨という点では、いま一歩前進の努力を要すると思う。この問題は、通常の専門家には至難な問題であるから、然るべき純学術的な研究機関に依頼して、権威ある結論を出してもらう方がよい。

原子炉およびその建屋を岩盤上に設置することが常識になっているが、自己振動周期が短いこの種類の構築物が岩盤上にある場合、かえって地震被害が大きいことがある。もし岩盤上に比較的薄いやや軟質の地層があるとき、この軟質地層に構築物の基礎を置いた方が免震の効果があるのではないかという議論もある。この問題は東海村のコールダーホール型原子炉の設置の際にも議論されたが、結局岩盤まで基礎を下ろすことになった。この考えについては現在賛否半々である。

(元・東京大学)

47 冨澤 豁(慶応大学)

・・・・・

50 松本 政吉

となりの芝生

昔のことです。と言っても原子力事始めの時代からは、かなりたっていました。ソ連のスプートニクが派手に世間をさわがせ、米国はまだまだもたしておいた頃のように憶えています。

生産性本部から原子力安全調査団なるものが米国に派遣され、末席に私も参加しました。ある研究所を訪問し、所内を案内していただいた折、その研究者が私に話しかけてきました。私の英語はまるきりだめですが、大略次のようでした。

「スプートニクの開発はものを作ってとばしてみればよい。まずい点があればそれを直して、またとばしてみる。このような繰り返しを重ねてもものにすることができる。原子炉の研究では、このような繰り返しがいかにも難しい。そのために原子炉の研究開発は、予想外に時間がかかってしまう。」

ウラン濃縮用の遠心分離機は、かなり早い足どりで開発が進んだように思われます。その原因はいろいろあるでしょうが、一つには研究開発のパターンがスプートニク型であったということが挙げられるかもしれません。

前述のような繰り返しのやり難い品物の研究開発を、少しでも研究効率をたかめるにはどうしたらよいかということになりますと、私などの云々できることではありませんが、次のようなことくらいは申し上げられるかと思えます。

個々の研究はどしどし進むが、それらを総合することが非常に大切であるような大型のプロジェクトでは、その体制の中核に有能な人材を集め、強力な部隊をつくっておくことが大変重要であって、これがさかしまになっていると、スプートニク型の研究開発がうらやましく見えてくるのかもしれません。

(昭47, 48・編集理事)

(㈱日立製作所)

56 角田 良吉(富士電機㈱)

57 渡辺 茂(東京大学)

58 菅野 卓治(東北大学)

61 長谷川 正義(早稲田大学)

・・・・・

62 齋藤 實

20周年に想う

わが国の原子力開発と共に歩み続けた日本原子力学会は、先の米国原子力学会・カナダ原子力協会共催の「第2回環太平洋会議」の開催によって、国際舞台上に登場し、国際社会に巣立った若人の如く、いよいよ諸外国の関連学会関係者との技術・情報交流がより血の通った形となり、今後の発展が大いに期待される。これは、学会会員・事務局職員の方々が常日頃の緻密な、きめ細かい配慮、すなわち、「欧文誌」の刊行、国際原子力機関等への各種会合案内の掲載等、徐々に国際視野・連携を拡めるための努力が、ここへ来て“ぱっ”と開花した賜であり、創立当時事務局設置に関与し、創立以来の会員として、ここに改めてその労苦に対し感謝の念を禁じ得ない。今後は、会員相互の学際的連携、総合的学会としての脱皮、諸外国関連学会との国際協調等、多角的・多面的な活動の推進を図られ、技術進歩が早く、巨大技術である原子力開発の最先達として、充実された日本原子力学会となるよう活躍を期待したい。(日本原子力産業会議)

63 伏見 康 治(日本学術会議)一前出, p.91

69 川 島 協(動燃事業団)

70 安 成 弘(東京大学)一前出, p.106

72 岡 島 慶三郎(損害保険料率算定会)

73 倉 本 昌 昭(原子力船開発事業団)

・・・・・

76 成 木 芳

「会誌」への要望

—より良く読ませる為に—

原子力学会員の誰もが考えることは、原子力の学問・技術分野があまりにも広く、自分の分野がまことに狭いということであろう。したがって、学会誌の論文等も大多数の会員には無縁

で、郵送されて来た学会誌もペラペラと一瞥されるだけで捨てられる運命にあるのではないでしょう。一方原子力に関する知識や情報への要求、新しい知見の周知に対する会員の要望は非常に強いものであろうし、情報の国際的な伝達の必要性もますます高くなっている。このようなことから、現在の学会誌に対して以下のような要望を提唱したい。

- ① 技術報告、研究論文、ショート・ノート等は全部「欧文誌」に掲載して「欧文誌」を充実させる。
- ② 「和文誌」に載せる「欧文誌」の和文抄録は活字を大きく読みやすくし、早いページの所へもって来る。
- ③ 「専門委員会報告」も現在のような簡単な議事録でなく、内容紹介を充実させ、活字を大きく読みやすくする。(動燃事業団)

・・・・・

79 片山 信夫

海外で「資源開発現地討論会」を

本学会が発足してからしばらくの間、年中行事の一つとして、「資源探査現地討論会」が毎夏開催された。世話役はそれぞれの現地で探鉱を担当していた原子燃料公社または動燃事業団の方々であった。原子力学会会員以外からも、関心のある人々がいろいろな研究機関から参加して、多彩な情報と意見の交換の場となっていた。

その後、ウラン鉱床の探査の中心は海外に移ったためもあって、最近の数年間はこの「現地討論会」は開かれていないようである。一方、海外での探査の成果も着々と蓄積され、ニジェールのように生産段階に入る地域も現れてきた。外国との関係が複雑なところでは困難であろうが、日本側が主導権を持っている場合には、機をみて海外での現地討論会を開きたいものである。世話を引き受けられる立場の方々にとっては、大変なご苦労とは思いますが。

(昭39, 40・企画理事)

(元・東京大学)

.....

82 奥田 毅

同位体分離の思い出

“同位体分離の思い出”などと書くと、いかにも私がそれをやったように聞えますが、実はワキヤクばかりでした。最初に出会ったのは重水素の問題で、当時、阪大にいましたが、濃縮したといわれる試料を持ち込まれまして、ガイスター管と分光器で水素のバルマー系列を使って調べたのですが、分光器の分解能不足で決定的なことはわかりませんでした。そのうちに D_2 のバンド・スペクトルが明らかになったので、それから手をつけたところカスカに重水素を認めることができました。そのうちに熱核散の方法が発明されて武田栄一さんがメタンを使い C-13 を分離されましたが、これは大型のマス・スペクトル装置が出来ていましたので、見事にとらえることができました。

戦争中に理研からアルゴンについての試料を送って来られたが、これもマス・スペクトルで簡単に A-16 が濃縮されているのが認められました。
(岡山理科大学)

.....

83 吉沢 四郎

創立当時を思い出して

創立20周年おめでとうございます。在籍が永いだけで、お役に立つような活動もできずに、恐縮しております。当時は原子力関係の学科、研究所等が京都大学でも動き出した頃でした。私は本来電気化学、無機合成化学が専攻なのですが、エネルギーに関連が深いので、放射化学、原子核化学などの講義をやれといわれ、勉強しながら始めました。本学会を頼りにしての心細い次第でしたが、専門の研究者、教官ができるまでの数年続けました。また当時、原子炉用高純度黒鉛の研究中で、この面からも勉強のたねを本学会に求めておりました。現在は、エネルギーの有

効利用システムの要素としての電気化学的エネルギー変換に興味があります。システム達成のためには、原子力発電とのカップリングは必ず必要になると思い、その勉強を今まで以上に続けてゆきたいと念願している次第です。

(京都大学)

86 垣花 秀武(東京工業大学)

88 関口 晃(東京大学)

89 西野 治(工学院大学)―前出, p.100

91 田辺 金蔵(神奈川大学)

.....

94 藤井 正一

汚染制御技術の進展に期待

わが国で原子力平和利用が国策としてとり上げられた昭和30年頃、原子力関係施設についての技術導入と研究とが緊急問題となった。当時私は建設省建築研究所に勤務しており、原子力に関する知識をいくらかは持っているということで、この仕事を担当することになり、それが本学会に入会するようになったきっかけである。原子力施設の計画と建設ということは、当時の建築界にとって全く新しい分野であり、活発な研究が行われたが、ひとまず技術が確立されたので、その後あまり新しい研究もないままに今日に及んでいる。

しかし、研究問題がないわけでは決してない。とくに汚染制御(空気・水・表面)の面では、まだまだ研究しなければならないことが多い。最近、原子力関係の分野以外を含めて、世界的に汚染制御技術が進歩してきつつあるが、この方面の研究に意欲を燃やす研究者の出現が望まれる。

(R435, 36・編集委員)

(現・芝浦工業大学)

.....

96 梅田 巖

本学会の権威と役割

原子力利用の推進・反対両派が揉み合う昨今、本会の権威の確立と役割の遂行が切望される。

学者はまず現象を学術的に分析しその結果を客観的に結論づける人であり、政治団体は母体の方針に基づいて先に結論を出しこれを目標に行動するものである。

しかるに、自己主張を先に打ち出し、これを正当化するためのデータを収集して政治的集合の場で発表する人が、あたかも学者であるかの如く振舞っている。政治団体はこれを利用し、一般の人々に原子力に対する不安感を懐かせ、いたずらに混乱を招いている。

学者はまず自己主張の学術的根拠を学会で発

表し、討議されたのち初めて政治団体と係わり合いをもつべきだと思う。学会で討議されることなしに表明された事柄は、学術的に無効であることを認識させるほど学会は権威を持ち、かつ討議の場を用意し、その人が係わり合う政治団体名を「会誌」で示すことは、学会の役割ではなからうか。

(日本鋼管㈱)

98 兵 藤 知 典(京都大学)

99 清 水 榮(京都大学)

番号末尾00会員 9名(現 47名)

(原稿を頂けなかった方は会員番号と氏名を掲載。欠番は退会)

100 山 下 久 雄(慶応大ガンセンター)

200 八 谷 雅 典

原子力固有の専門性を

本学会は関連する分野が広い総合的な工学分野の各専門家の集まりであり、急速に発展しつつあるが発足後20年と歴史も浅く、また会員も本学会だけでなく他学会にも所属している人達も数多いので、本学会の学問体系としての主体性の確立と専門技術の実務的な活動が十分でないように思われる。原子力工学の基礎を構成する炉物理、炉化学、炉工学などそれぞれの専門分野の技術力を向上させることは勿論であるが、我々メーカーに所属している者には、実務的な例えば新エネルギー源としての新型動力炉、さらには将来の核融合炉のような大型原子力システムの研究開発に不可欠な設計・製作・運転に関する工学的技術基準の作成と確立が早急に要望されている。米国では原子力プラントの構造設計基準として ASME Code があり、我が国でも参考にされているが、その中の特に安全性問題に関係深い品質保証体制の確立を我が国にも定着させる活動を提言したい。(三井造船㈱)

400 厚 母 栄 夫

新型炉開発への覚悟

液体金属実験室の片隅でナトリウム (Na) を取り扱っていた20年前を偲んで感無量である。早期から Na の技術開発に着目された当時の上司—N社長, X教授—の先見性には今さらながら頭の下がる思いがする。

高速増殖炉 (FBR) 開発がナショナル・プロジェクトの一つとして取り上げられ、動燃事業団が中心となり、これが実現のため関係者一丸となって未開発技術の開拓に取り組んでいることは、将来のエネルギー供給上きわめて有意義である。オイル・ショックによるエネルギー危機を契機に代替エネルギー開発が叫ばれている昨今、FBR に継ぐビッグ・プロジェクトとして核融合炉開発が注目されている。既に JT-60 計画が進行中なることはご同慶の至りである。例えば、FBR 用 Na 技術についても着々と結実をみているが、実証炉の建設までには工学上の難関に突き当たるであろう。JT-60 以降は FBR 計画を上回る困難を覚悟の上着実に推進されることを祈る。(動燃事業団)

900 斎 藤 良 平(日立プラント建設㈱)

・・・・・

1000 木村 龍雄

地味な仕事を支える役割

原子力発電のパイオニアである日本原子力発電会社が、当時既に原子力発電は商業ベースになったとして、華々しく発足して20余年、最近わが国の原子力発電規模が世界第2位になったそうで、ご同慶の至りです。

日本は原子力の開発に当って平和利用に徹したためか、基礎的な分野の研究開発が後回しとなり、また外国からの技術導入という手っ取り早い方法が選ばれて、自らの技術開発を煩わしいとする空気があったことも否めません。しかし、原子力発電がわが国民の大多数から支持されるためにも、上記世界第2位云々を真実内容のあるものにすることが必要でしょうし、それには発電所ばかりでなく、それを裏付ける関連各分野における地道な活動の蓄積こそ重要なことはいままでもないことでしょう。そういった地味な仕事を支えてゆくものとして、原子力学会が今後果して行かねばならぬ役割はきわめて大きなものと考えます。(電源開発(株))

・・・・・

1200 渡辺 孝章

原子力随想

セラミック核燃料が、長年携わってきた粉末冶金の手法と似ているということで、昭和32年以来、核燃料の開発に係わり合いをもつようになった。

この20年間、わが国では、軍事技術を除いたあらゆる分野の生産技術が躍進を重ね、すでに多くの領域で世界のトップレベルに達した。しかし原子力平和利用の領域では、軽水炉用核燃料加工のみがやっと自立できたにすぎない。ウラン資源、濃縮、再処理、廃棄物処理処分などの核燃料サイクルの諸事業の実用化には、更に10～20年のリードタイムを見込む必要がある。

創立20周年にあたり、初心にかえって、原子力の開発を、常に長期的展望の下に、確実に、根気よく、一歩後退二歩前進させながら、わが国の原子力産業が世界の指導的役割をもつ国の1つになることを念願する次第である。(動燃事業団)

1600 橋谷 博(日本原子力研究所)

1800 井上 頼輝(京都大学)

・・・・・

2000 高橋 次郎

原子力随想

会員番号2000番で、学会創立20周年に寄稿を依頼されたのも何かの縁と思って不慣れた筆を執ってみた。私が原子力に関係したのは学会創立より多少遅れたと思うが、まず原研の外来研究員として材料試験炉(軽水炉)、次いで客員研究員として大型高速増殖炉の設計に、最近ではJT-60(核融合関係)のメーカー共同の詳細設計に参加し、燃料関係では動燃事業団の遠心機の委託研究をうけ、最近では再処理関係の委託調査に従事している。このように垣間見ただけにしても原子力技術の多くに触れることのできたのは、原子力がまだ創成期にあったためであろうが、進歩の速いのに驚かされる。今後の10年間の原子力開発資金は過去10年の数倍と見積られているように、いよいよ充実期に入ると同時に困難さも加わってくると思われる。本学会の活躍をあらためて期待している。(明電舎)

2200 武田 征一(日立エネルギー研究所)

2300 中山 勝馬(日本原子力発電(株))

・・・・・

2700 塩官 広海

原子力随想

偶然のきっかけで昭和48年以来、(株)BWR運転訓練センタにおいて、BWR形原子力発電所

の運転員の教育・訓練をする仕事に携わっている。この仕事は決して華やかなものではないが、原子力発電の実用化を支える重要な仕事だと現在では考える。「原子力学会誌」に原子力発電所の運転技術に関する記事が少ないのではないかと、思った時期もあったが、考えてみると、巨大なマン・マシン・システムの運転は、原子力発電所にかぎられたものではなく、化学プラント等のシステムも同様な問題を抱えているわけであり、これらシステムに共通の人間工学的、生物学的あるいは心理学的研究がなされるべきものであろう。53年に入って、本学会に「原子力教育研究」特別専門委員会が設置され、私も仕事柄その末席をけがしているが、原子力の底辺を拓げる意味で、喜ぶべき企画であると思う。成果に期待している。(BWR 運転訓練センター)

- 3100 深谷 清(日本原子力研究所)
- 3300 笹島 和久(京都大学原子炉実験所)
- 3400 吉田 武司(三菱金属㈱)
- 3500 山崎 敏範(香川大学)
- 3600 清水 健宏(日本原子力研究所)
- 3700 相田 昌男(東京工業大学)
- 3900 後藤 忠(日立エネルギー研究所)
- 4100 石黒 亮二(北海道大学)一前出, p.110
- 4200 河邑 啓太(荏原製作所)
- 4300 斎藤 浩(栗田工業㈱)
- 4400 穴戸 利夫(動燃事業団)

4500 和久田 義久

私の原子力事始め

昭和31年我が国のIAEA加盟に伴って、原子力海外留学生制度が設けられ、昭和34年度の選考に応募した。試験は日常と専門の英会話を主としたものであった。IAEA 養成訓練部 Dr. Cairo の面接、留学先との直接交渉等を経て、同年8月最終的に決定した。その後原子力海外留学者懇談会主催で歓送会が原子力委員長中曾根康弘氏、菅礼之助原産会長等多数出席のもと盛大に行われた。当時海外渡航はまだ自由化さ

れておらず、面倒な手続の末、翌年の正月初め期待と不安とを胸に羽田を発った。ワシントンで1週間のオリエンテーションをうけたあと、目的のBNLに向かった。D. Hughes が暖かく迎えてくれたが、残念なことに、過労による心臓発作でその後間もなく亡くなられた。我々は後任の H. Palevsky を中心に、中性子散乱の研究を続けた。52年東京で開かれた「原子核構造国際会議」で久し振りに会った Palevsky 氏は昔と少しも変わっていなかった。(九州大学)

4600 竹 味 弘 勝(広島大学)

4700 高 橋 信 次(浜松医科大学)

.....

4900 山 本 一 良

うろ覚えのこと

まだ学生会員だった頃だから5~6年も前のこと、一度だけ学会事務局に伺ったことがある。東電旧館の地階で、薄暗い部屋だったように記憶している。資料や書類がうず高く積み、その谷間のようなところに通路があった。用件の終わるのを待ちながら、棚の一角にア行とかカ行とか記された箱がたくさんあるのに気がついた。よく見ると、中は宛名の謄写印刷用原紙板である。毎月学会誌を送っていただくが、その封筒の宛名印刷のためのものらしい。原紙板は会員の数だけあるのだろうから、そこには5,000枚以上あったに違いない。1分間に?枚印刷するとして...と考えると、気が遠くなった。それは事務局の仕事のほんの一部であって、他の仕事をあわせたら何と大変なことだろう。その後、この建物を訪れる機会も、事務局の方々のお世話になることも多いのに、事務局を訪れるチャンスがない。部屋も1階へ移動したと聞いているが。(名古屋大学)

5000 小 林 康 司(日本原子力研究所)

5100 長 井 修一朗(動燃事業団)

5200 堀 江 淳之助(京都大学)

5300 百 武 幹 雄(九州大学)

- 5500 田 地 弘 勝(動燃事業団)
- 5600 橋 本 徳 昭(関西電力㈱)
- 5700 加 藤 道 男(三菱原子力工業㈱)
- 5800 長 坂 秀 雄(東京芝浦電気㈱)
- 5900 本 石 保 夫(木村化工機㈱)
- 6000 正 本 實 閑(学会事務局)―後出, p.121
- 6100 鈴 木 聖 夫(東京芝浦電気㈱)
- 6200 内 藤 文 一(動燃事業団)
- 6300 高 橋 一 雄(北海道電力㈱)
- 6400 石 倉 修 一(三菱原子力工業㈱)
- 6500 中 北 倫 男(東京芝浦電気㈱)



6600 下 村 安 夫

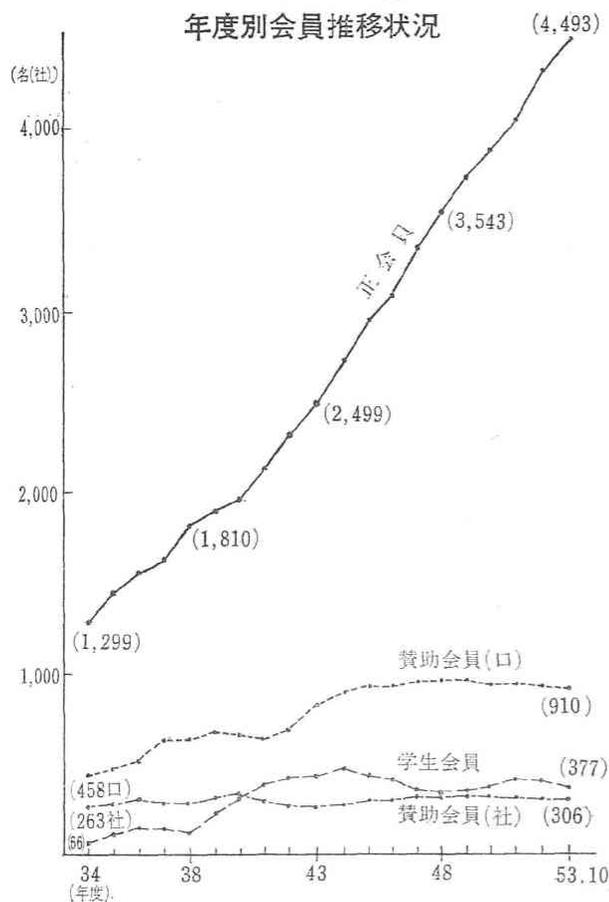
本学会入会と核融合・プラズマ研究

“核融合研究→プラズマ研究→プラズマ・核融合研究”という言葉の使われ方をへて“核融合・プラズマ研究”という言葉が、多く使われるようになってきたと思います。この言葉の使い方

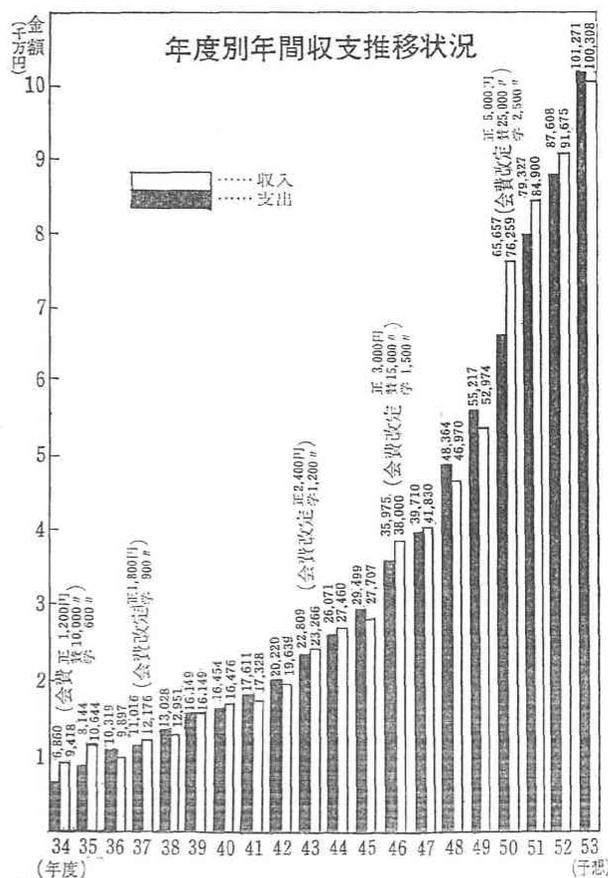
から、核融合研究の苦悩がうかがえると同時に、ここ数年の著しい発展と、核融合炉実現への意欲が感じられると思います。最近の、原子炉エキスパートの参加により、炉のイメージが徐々に明らかになってきたとはいえ、実現にはまだまだ時間がかかりそうです。今後さらに、原子炉のエキスパートを中心として、各ステップ(例えば物理的実証炉,工学的実証炉,商業ベースの実証炉)におけるシステム全体のつめが必要と思います。この検討から炉心プラズマに要求される諸元が、かなり狭い範囲に限定されてくると思います。我々炉心プラズマの研究者は、この狭い範囲の諸元を実現するという明確な目的を持って研究してゆきたいと思い、最近本会に入会しました。
(日本原子力研究所)

- 6700 古久保 雄 二(三菱電機㈱)
- 6800 古 谷 章(動燃事業団)
- 6900 永 山 賢 一(日本原子力事業㈱)

グラフ③



グラフ④



付 事務局20年雑記・略年表

事務局20年のことども

—語り継ぐほどのこともなし—

事務局長 正本実閑

事務局三遷のこと

昭和34年2月14日創立総会の翌々日から事務局は開店した。当時芝田村町の旧東電ビル(現東電旧館)3階東側の原研相談役室の約半分(仕切は衝立なので少しずつ広がった)に事務机2つが貸与された。(その頃米国から帰られた向坊先生より激励された。また、原産の早川淳一・齊藤廣両氏には大変お世話頂いた。)

その年の秋頃、東側から西側の原研企画室の一隅へ同居のため移転(衝立の向う側には阿部滋室長が居られた)。35年10月12日の浅沼事件の時は向いの日比谷病院の大騒ぎが眼下に見下ろせた。同居時代中たびたび再移転の話があっても居据りつづけていたが、遂に地下41号室のアングラ時代に入る。半地階でドライエリアがあり半日陰程度。訪れる人は皆さん驚き・同情下さった(ANSのテンプル事務局長も来訪された)。代々の庶務・会計理事の方々も種々ご心配下さった(瀬藤象二会長には殺菌灯と健康灯を頂いた)。

51年正月早々、宗像英二会長のご配慮と原研当局の格別のご厚意で、現在の1階東側106号室へ三遷。陽の当たる快適な事務室へ入れることになる。倉庫も3階に貸与され、隣の会議室もかなり自由に借用できる。職員一同になり代わって感謝申し上げる次第。

「会誌」のこと

事務局開店当時はなぜか封筒の宛名書きつづき、「学会らしい何かをしなくては…」原子力には無知、「学会ってナニ？」か経験もない、新学会のこととて前例とか慣習は皆無、「何をすべきか…」、当面の目標が定まらないまま“盲蛇におじず”猪突猛進する。まず、「学会通信」(No. 1, 2)につづいて6月から、月刊「日本原子力学会誌」が武田栄一編集委員長の決断と編集委員ご一同の努力でスタートする(当時新学会が月刊誌を出すには10年は要するといわれた)。

(同年7月28日には異例の早さで社団法人設立許可が文部省から通知される。)

現在21巻(通巻236号)を迎えた「和文誌」は、第5巻までは和欧混載で、賛否交々の議論の末「欧文誌」(*J. Nucl. Sci. Technol.*)が分離刊行され、幸い文部省科研費定期刊行物補助金も得られ、わが国唯一の月刊原子力欧文誌として16巻(通巻179号)を迎える。

(「欧文誌」分離議論のエピソードを当時の編集理事野沢豊吉先生に、英文添削について吉田正男氏(当時原研外国課長)に是非書いて頂きたかった。)

「和文誌」を“平易に面白くする”ことは、「欧文誌」分離の一つの条件でもあり毎度改善策が検討されているが、平易さと品位とのジレンマで未だ満足には成熟していないようだ。

学術的会合のこと

「会誌」創刊で新学会は出発・進行した。つづいて学術会議の「原子力シンポジウム」(3回)を引き継いで関連学協会共催の「原子力研究総合発表会」(茅会長の命名による。オフセット刷り予稿集の嚆矢)が、翌35年2月から37年まで3回。38年2月からは「原子力総合シンポジウム」と改められ年中行事となって近く第17回を迎える。同年4月、東海大学を第1回会場として念願の「春の年会」がスタートし今春3月は第17回に当たる。

「年会」より2年前に先発した炉物理・炉工学と核燃料・炉材料の2分科会に、その後化学・化学工学(38年～)と保健物理(42年～)の2分科会が加わり「4分科会」が整って各地で開かれる。50年秋からは4分科会合同で秋季大会的な「秋の分科会」となり、持回りで開催されている(p. 98, グラフ②参照)。

その他ケース・バイ・ケースに、専門委員会(35年～)、交換教授講演会(39年～)、研究連絡会(43年～)、学会賞(44年～)、等々が逐次設置されて学会活動が整う。他方、関西支部(34年～)、中部支部(44年～)、東北支部(52年～)等支部活動も揃った。

学会財政のこと

初年度の年間収支940万円は現在1億円の大台になっている。(p. 120, グラフ④参照)当初は収入の過半を賛助会費に依存していた(個人会費のほかは事業収入は皆無に近かった)が、現在は個人会費・賛助会費収入がそれぞれ全体の4分の1、その他は主に事業収入で、これに広告収入・補助金等が加わる。支出の70%は事業費が占めており、収支構成は極めて健全といえ

よう。(グラフ⑤参照)

ただし、会計面はご他聞に洩れず“火の車”，経費緊縮にも限りがあるが、受益者負担の原則を持して一般会費の値上げは極力避けられている。

会員数のこと

初年度1,600名(社)から5,200名(社)と確かに4倍増にはなっているが(p.120, グラフ③参照)，設立当時の目論見では2,3年を出でずして優に1万名に達する“バラ色の将来”が描かれていた筈。事務局の現能力でも「1万名まではやれるんだがなあ…」と髀肉の嘆をボヤクことしきり、まだまだ程遠い、国内の原子力関係研究者技術者の総数は2万名近くになっているのに。

事務局職員のこと

創立時は男女2人だけ。20年間に計38名の出入りを経て、現在は正本(勤続20年)の他、石川博道(勤続17年。会計・財務・労務)、田村祐三(勤続14年。編集・専門委・連絡会)、黒川泰子(勤続5年。企画・会議)、篠田幸子(勤続5年。編集)、奥野菊代(勤続2年。会員・会費)、泉昌子(勤続2年。国際会議・委託金)、林原俊治(勤続1.5年。編集)の男女各4名。稲生光吉初代庶務理事(昭34・35)により職員給与は国家公務員・行一を標準にすることになり、阿部庶務理事(昭37・38)により退職金制度、その後就業規則(昭49)・給与規定(同)も整備されたので、マアマア世間並み。学会事務はひと口に機械化・能率化ではスムーズに処理できないもので、個々

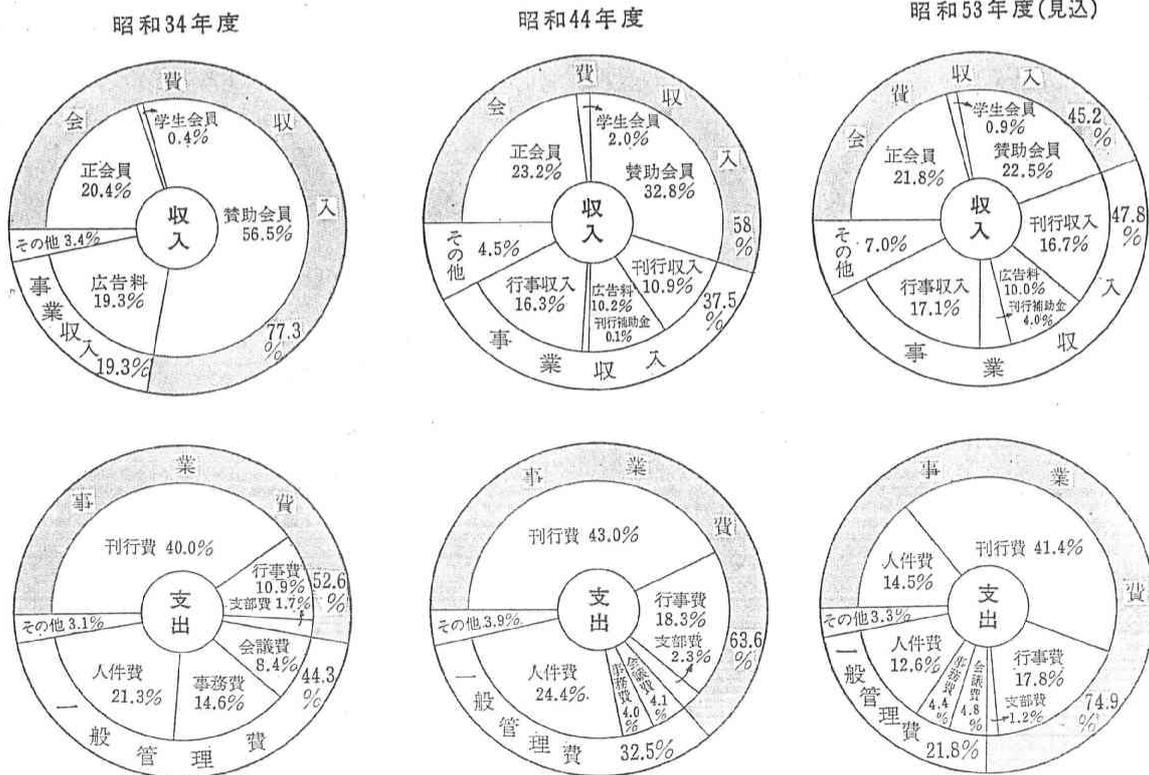
の経験・記憶がモノをいう前時代的な面がある。やはり人間関係・人情の要素が不可欠なので、少数精鋭主義・永年勤続が期待される。抑々事務とは雑用の集合のようなもの、各自1人数役を兼ねているので、スペシャリストにはなれまいが、よくいえばジェネラルに幅広く仕事ができる。それが働き甲斐ともいえよう、日々仲間意識・連帯感を持して和気と明朗な雰囲気を中心掛けている。

事務局今後のこと

学会創立時の“初心を忘れず”この20年の光を現在にあててみると、学会は常に時代に先行し、絶ゆまず成長を持続させるべきことだが、ある程度仕事にも馴れ、経験が重なってくると、とかくマンネリに陥る、厳しく自戒している次第。時流に應える国際交流の面では、正直われわれ事務局は弱い。52年春の「イラン会議」につぐ昨秋の「第2回環太平洋会議」は正に初体験の国際会議であったが、大山彰準備委員長・石川寛幹事委員長初め多数の方々の結集で大成功だった。われわれ事務局も極めて尊い経験を実地学習できたので、今後とも大いに生かさせて頂こう。

かねがね、本会の役員・委員の方々が手弁当で奉仕されていることに敬服しているが、この熱意と信頼こそが、“縁の下の力持ち”を務める事務局の、今後一層の勇猛心を駆り立てる所以のもの、大事にしたい。

グラフ⑤ 学会財政比率推移表



学会 20 年 略 年 表

(1958~1979年)

1958年(昭 33)

- 11月5日 設立発起人会
 25日 設立発起人第1回実行委員会
 // 関連学協会連絡検討小委員会
 28日 第1回定款案検討小委員会
 12月8日 第2回 //
 10日 編集関係小委員会
 17日 財務・事業計画検討合同小委員会
 23日 設立発起人第2回実行委員会

1959年(昭 34)

- 1月12日 設立発起人第3回実行委員会
 24日 // 第4回実行委員会
 28日 発起人総会(学士会館)
 2月12,13日 第3回原子力シンポジウム(学士会館)
 14日 創立総会(学士会館)
 16日 学会事務局開設(原研内に)
 第1回理事会
 5月6日 A.M. Weinberg 博士講演・懇談会
 13日 関西支部創立総会(大阪商工会議所)
 6月22日 原子炉の性能と実験方法講演討論会
 30日 日本原子力学会誌(Vol. 1, No. 1)創刊
 7月28日 文部省より社団法人設立許可(委大第72号)
 10月8日 「日本原子力学会誌」第三種郵便物認可
 11月21日 原子力計測に関する分科会
 12月1日 H. Seligman 博士を囲む討論会・共催

1960年(昭 35)

- 1月19日 原子炉燃料要素の破損検出討論会
 2月11~13日 第1回原子力研究総合発表会・共催
 (学士会館)
 16日 F.W.ギルバート氏講演会
 29日 事故時における被曝線量の取扱基準シンポジウム・共催
 3月22日 原子力気象討論会
 4月28日 第2回通常総会
 5月28日 東芝鶴見・マツダ両研究所見学会①
 6月7日 核燃料討論会
 8日 関西支部②会員総会
 25日 「会員名簿」(No. 1)発行
 7月28日 放射線化学討論会
 9月28日 臨界および臨界未満実験装置討論会
 10月12日 RI 供給討論会

- 11月25日 大山 彰・山本賢三両氏帰国講演会
 12月6日 物理関係討論会

1961年(昭 36)

- 1月17日 ウラン濃縮講演会
 2月4日 安全性をめぐるシンポジウム・共催
 15~18日 第2回原子力研究総合発表会・共催
 (学士会館)
 3月17日 放射線医学総合研究所見学会②
 4月17~19日 原子力計測専門講習会①
 5月19日 関西支部③会員総会
 24日 第1回評議員会
 第3回通常総会
 原子炉容器製作討論会
 6月28日 低レベル放射能計測討論会
 7月12日 L. Silverman, P. Morris 両博士講演会・共催
 13日 核燃料検査講演・討論会
 9月22日 東京大学原子核研究所見学会③
 10月5~7日 ①炉物理分科発表会(日化講堂)
 16日 H.H. Strain, Ch. Fisher 両博士講演会・共催
 25日 燃料再処理とPu 開発パネル討論会
 11月28,29日 ①核燃料分科発表会(学士会館)
 29日 特許法第30条第1項の学術団体に指定される
 12月9日 沸騰水型原子力発電所の動特性と制御
 講演会・共催
 20日 伏見康治氏帰国講演会

1962年(昭 37)

- 1月24日 原子炉用グラフィット総合講演会
 2月13日 原子力研究投資シンポジウム・共催
 原子力分野における非破壊検査シンポジウム・共催
 14~17日 第3回原子力研究総合発表会・共催
 (学士会館)
 3月14日 立教大学原子力研究所見学会④
 5月18日 関西支部④会員総会
 21日 H. Howells 氏講演会
 25日 第2回評議員会
 第4回通常総会(会費改定①)
 6月26日 R.S. Paul 博士講演会
 8月13日 杉本朝雄, 向坊 隆両博士帰国講演会
 21日 C.A. Rennie 氏講演会
 27,28日 ①資源・探査分科研究討論会
 (島根・三瓶温泉)

- 9月21日 垣花秀武, 法貴四郎両博士帰国講演会
 10月3~5日 ②炉物理分科発表会(日化講堂)
 10日 T.G.P. LeClair 博士講演会・共催
 11月1, 2日 ②核燃料分科発表会(阪大・工)
 2日 A.J. Mooradian 氏講演会
 5日 M. Benedict 博士講演会
 9日 U.M. Staebler, J.A. Lieberman 両氏討論・講演会・共催
 20日 研究炉共同利用シンポジウム・共催
 21日 G.A. Vendryes, M.G. Trocheris 両氏講演会
 P. Lévêque 氏講演会・共催
 22, 29日 N.J. Félici 博士講演会・共催
 12月4, 5日 同位体分離シンポジウム・共催

 1963年(昭38)

- 1月17日 R.I. Dautray 氏講演会
 2月22, 23日 第1回原子力総合シンポジウム・共催
 (学士会館)
 3月8日 J.H. Kittel 氏講演会・共催
 3月 「空気・水の放射性汚染度の求め方」JIS原案作成・提出
 4月8~10日 ①昭和38年年会(東海大)
 9日 R.L. Murray 教授講演会・共催
 5月9日 H.J.C. Kouts 博士講演会
 27日 第3回評議員会
 第5回通常総会
 J.G. Morse 博士講演会
 31日 関西支部⑤会員総会
 5月 科技厅委託研究「核物理理論による微視的断面積の数値解析に関する試験研究」へ交付決定
 7月15日 N.F.C. Bishop 氏講演会・共催
 8月27, 28日 ②資源・探査現地討論会(京都・丹後町)
 9月30日~10月3日 ③炉物理分科会(原研)
 10月4日 F.E.J. Sebileau 氏講演会・共催
 18日 カナダ型重水動力炉講演会・共催
 18, 19日 ①炉工学分科会(東大・工)
 30日~11月1日 ③燃料材料分科会(日化講堂)
 11月7~9日 ④化学・化学工学分科会(日化講堂)
 20日 A. Chappellier 氏講演会

 1964年(昭39)

- 2月10, 14日 Leboutet 博士講演会・共催
 12, 13日 第2回原子力総合シンポジウム・共催
 (学士会館)
 2月末 「原子力量記号」JIS原案作成・提出
 3月18日 B.A. Lister 博士講演会・共催
 23~28日 放射線計測講習会②
 25日 「会員名簿」(No. 2)発行
 4月7~9日 ②昭和39年年会(立大)
 25日 *J. Nucl. Sci. Technol.* (欧文誌)創刊
 5月19日 第4回評議員会

- 5月19日 第6回通常総会
 伏見康治博士特別講演会
 23日 関西支部⑥会員総会
 6月4日 B.C. Lindley 博士講演・討論会・共催
 8月18~20日 ③資源探査現地討論会(愛知産業貿易館)
 24日 「欧文誌」第三種郵便物認可
 31日 文部省科研費補助金「和文誌」へ交付決定
 9月25日 第1回交換教授(武田栄一・東工大教授)講演会(東北大・工)
 10月8日 第3回ジュネーブ会議報告講演会・共催
 29日 日本原子力研究所高崎研究所見学会⑤
 11月4~7日 ④炉物理・②炉工学合同分科会(阪大)
 7日 内部放射線被曝パネル討論会・共催
 7, 8日 京都大学原子炉実験所見学会⑥
 25~27日 ④原子力燃料材料分科会(原研東海研)
 30日~12月1日 ②原子力化学・化学工学分科会(日化講堂)

 1965年(昭40)

- 1月18日 M. Greenfield 博士講演会・共催
 2月15, 16日 第3回原子力総合シンポジウム・共催
 (学士会館)
 2月末 「原子力単位記号」JIS原案作成・提出
 3月2日 E. Saeland 博士講演会・共催
 4月5~8日 ③昭和40年年会(京大・工)
 19日 B.B. Cunningham 博士講演会・共催
 5月22日 関西支部⑦会員総会
 27日 第5回評議員会
 第7回通常総会
 8月3~5日 ④資源探査現地討論会(鳥取・三朝温泉)
 30日 文部省科研費補助金「欧文誌」へ交付決定
 9月1日 W. Groth 教授講演会
 8日 H. Westcott 博士講演会
 28日 L. Yaffe 博士講演会・共催
 30日 P. Fent, G. Yagodin 両博士講演会
 10月4~7日 ⑤炉物理・③炉工学合同分科会(原研)
 24~26日 ⑤原子力燃料材料分科会(東北大)
 11月4, 5日 ③原子力化学・化学工学分科会(土木図書館講堂)
 12月2日 原子燃料公社プルトニウム研・原研ホットラボ見学会⑦
 8日 J. Chernick 氏講演会・共催

 1966年(昭41)

- 2月14, 15日 第4回原子力総合シンポジウム・共催
 (学士会館)
 3月29~31日 ④昭和41年年会(東工大)
 4月12日 K.P. Cohen 博士講演会
 5月13日 F.S. Rowland, P.S. Baker 両博士講演会
 14日 V.P. Guinn 博士講演会・共催
 23日 第6回評議員会
 第8回通常総会

- 5月27日 関西支部⑧会員総会
 7月6日 研究炉シンポジウム・共催
 8月2～5日 ⑤資源探査現地討論会(京都・峰山町)
 10月3～5日 ④原子力化学・化学工学分科会(原研)
 11日 T. Tamura 博士講演会・共催
 20日 F.H. Spedding 博士講演会
 24～27日 ⑥炉物理・④炉工学合同分科会(近大)
 26～28日 ⑥原子力燃料材料分科会(原研)

1967年(昭42)

- 1月 「日本原子力学会賞基金」募集開始
 1月28日 放射線事故シンポジウム・共催
 2月14,15日 第5回原子力総合シンポジウム・共催
 (教育会館)
 4月5～7日 ⑥昭和42年年会(東大)
 5月23日 フランスの核燃料再処理技術講演会
 27日 第7回評議員会
 第9回通常総会
 29日 関西支部⑨会員総会
 7月27日 P. Zweifel 博士を囲む懇談会
 8月18,19日 ⑥資源探査現地討論会(垂水市)
 10月2～5日 昭和42年炉物理・炉工学分科会(原研)
 4,5日 // 化学・化学工学分科会(教育会館)
 6,7日 // ①保健物理分科会(原研)
 11月16～18日 昭和42年核燃料・炉材料分科会
 (名古屋科学館)
 24日 W.T.J. Sahl 博士講演会・共催
 12月16日 臨時総会(会費改定②)

1968年(昭43)

- 2月19,20日 第6回原子力総合シンポジウム・共催
 (教育会館)
 3月26～28日 ⑥昭和43年年会(早大)
 4月 「炉物理」連絡会発足
 5月14日 第8回評議員会
 第10回通常総会
 30日 関西支部⑩会員総会
 6月25日 第2回研究炉シンポジウム・共催
 7月23日 S. Siegel 博士講演会・共催
 8月1～3日 ⑦資源探査現地討論会(東濃地区)
 9月5日 J.D. Orndoff 博士講演会
 10月9日 APDA 高速炉講演会・共催
 11月1,2日 昭和43年保健物理分科会(近大)
 2～4日 // 核燃料・炉材料分科会(//)
 4,5日 // 化学・化学工学分科会(//)
 21～23日 // 炉物理・炉工学分科会(京大)

1969年(昭44)

- 2月15日 創立10周年記念祝賀会
 第1回「日本原子力学会賞」贈呈
 (論文4件,技術3件,奨励1件)
 「会員名簿」(No.3)発行

- 2月16,17日 第7回原子力総合シンポジウム・共催
 (教育会館)
 3月13日 H. Piatier 博士講演会・共催
 15日 中部支部創立総会(名古屋科学館)
 29～31日 ⑦昭和44年年会(東海大湘南)
 5月23日 第9回評議員会
 第11回通常総会
 26日 関西支部⑪会員総会
 8月4,5日 ⑧資源探査現地討論会(山口市)
 10～14日 ①炉物理夏の学校(岐阜・秋神温泉)
 9月3日 E. Roth 博士講演会
 10月 「学会賞」特賞新設
 8日 F.P. Cowan 博士講演会・共催
 18,19日 昭和44年炉物理・炉工学分科会(名大)
 21日 F.D. Sowby 博士講演会・共催
 31日～11月1日 昭和44年化学・化学工学分科会
 (仙台)
 11月1,2日 昭和44年保健物理分科会(仙台)
 1～3日 // 核燃料・炉材料分科会(//)
 12日 S. Yiftah 博士講演会
 12月18日 R.P. Lécorché 博士講演会・共催

1970年(昭45)

- 2月12,13日 第8回原子力総合シンポジウム・共催
 (教育会館)
 3月27～29日 ⑧昭和45年年会(東海大湘南)
 5月12日 関西支部⑫会員総会
 19日 N.A. Dollezhal, I.D. Dmitriev 両博士講演会・共催
 26日 中部支部⑫会員総会
 29日 第10回評議員会
 第12回通常総会
 第2回「学会賞」贈呈
 (論文2件,技術3件,奨励2件)
 8月5～7日 ②炉物理夏の学校(原子力普及センター)
 10月1～3日 昭和45年核燃料・炉材料分科会(近大)
 14～16日 // 炉物理・炉工学分科会(原研)
 19,20日 // 化学・化学工学分科会(放医研)
 // 保健物理分科会(//)
 12月18日 臨時総会(会費改定③)

1971年(昭46)

- 2月15,16日 第9回原子力総合シンポジウム・共催
 (教育会館)
 3月2日 U. Hochstrasser 博士懇談会
 4月2～5日 ⑨昭和46年年会(阪大・工), 美浜・敦賀
 両発電所見学会
 28日 中部支部⑬会員総会
 5月18日 関西支部⑬会員総会
 27日 第11回評議員会
 第13回通常総会
 第3回「学会賞」贈呈
 (特賞1件,論文1件,技術3件)

- 8月3～5日 ③炉物理夏の学校(長野・諏訪市)
 9月20～24日 第1回国際原子炉構造力学(SMiRT)会議・共催(ベルリン)
 10月3～5日 昭和46年炉物理・炉工学分科会(札幌商大)
 8,9日 昭和46年化学・化学工学分科会(金沢大)
 // 保健物理分科会(//)
 28～30日 // 核燃料・炉材料分科会(原研)
 12月15日 「会員名簿」(No. 4)発行

1972年(昭47)

- 2月15,16日 第10回原子力総合シンポジウム・共催(教育会館)
 3月26～28日 ⑩昭和47年年会(東海大湘南)
 27日 第4回「学会賞」贈呈(特賞1件,論文3件,技術1件,奨励1件)
 5月10日 中部支部④会員総会
 17日 関西支部⑭会員総会
 23日 臨界安全管理講演会
 24日 第12回評議員会
 第14回通常総会
 8月1～4日 ④炉物理夏の学校(松本アルプス荘)
 10月5,6日 昭和47年核燃料・炉材料分科会(東工大)
 13,14日 // 化学・化学工学分科会(京大炉)
 11月20～22日 // 炉物理・炉工学分科会(京大)
 21,22日 // 保健物理分科会(//)

1973年(昭48)

- 1月30日 イギリスの水炉燃料研究開発講演会
 2月15,16日 第11回原子力総合シンポジウム・共催(教育会館)
 4月1～4日 ⑪昭和48年年会(名大・工)・トヨタ自工, 中部電力浜岡建設所見学会
 2日 第5回「学会賞」贈呈(特賞1件,論文2件,技術2件,奨励2件)
 5月 「山田基金」設置
 8日 中部支部⑤会員総会
 15日 関西支部⑮会員総会
 16日 第13回評議員会
 第15回通常総会
 6月11,12日 第1回トピカル・ミーティング「高速炉物理」(原研)
 8月5～8日 ⑤炉物理夏の学校(山梨・清里)
 9月10～14日 第2回SMiRT会議・共催(ベルリン)
 25,26日 昭和48年核燃料・炉材料,化学・化工,保物合同分科会(教育会館)
 10月 「海外原子力調査研究」連絡会(ANS日本支部)発足
 11月 「核融合炉研究」連絡会発足
 7～9日 昭和48年炉物理・炉工学分科会(原研)

1974年(昭49)

- 2月18,19日 第12回原子力総合シンポジウム・共催(教育会館)
 3月30日～4月2日 ⑫昭和49年年会(東北大)・東電福島原子力発電所見学会
 3月31日 第6回「学会賞」贈呈(特賞1件,論文2件,技術3件,奨励2件)
 4月 「欧文誌」購読制(Vol. 11, No. 4から)
 10日 中部支部⑥会員総会
 5月24日 第14回評議員会
 第16回通常総会
 27日 関西支部⑯会員総会
 8月5～8日 ⑥炉物理夏の学校(河口湖)
 10月1～3日 昭和49年核燃料・炉材料,化学・化工,保物合同分科会(秋田大)
 17～19日 昭和49年炉物理・炉工学分科会(九大)
 11月15日 臨時総会(会費改定④)
 12月25日 「会員名簿」(No. 5)発行

1975年(昭50)

- 2月18,19日 第13回原子力総合シンポジウム・共催(教育会館)
 4月1～3日 ⑬昭和50年年会(東工大)
 2日 第7回「学会賞」贈呈(論文2件,技術3件,奨励3件)
 10日 中部支部⑦会員総会
 5月16日 第15回評議員会
 第17回通常総会
 26日 関西支部⑰会員総会
 7月23～26日 ⑦炉物理夏の学校(新潟・妙高)
 9月1～5日 第3回SMiRT会議・共催(ロンドン)
 11月4～6日 ①昭和50年秋の分科会(大阪工技研)

1976年(昭51)

- 2月18,19日 第14回原子力総合シンポジウム・共催(教育会館)
 3月25～27日 ⑭昭和51年年会(東海大湘南)
 26日 第8回「学会賞」贈呈(論文2件,技術1件,奨励1件)
 4月22日 中部支部⑧会員総会
 5月17日 第16回評議員会
 第18回通常総会
 29日 関西支部⑱会員総会
 6月9日 第2回環太平洋会議第1回準備委員会(国内準備開始)
 7月1日 科技厅委託研究「核融合炉システムの安全性評価に関する研究」の研究委任契約
 19～22日 ⑧炉物理夏の学校(長野・茅野市)
 9月2～4日 核融合炉工学講習会
 10月4～7日 ②昭和51年秋の分科会(原研)

1977年(昭52)

- 1月15日 「会員名簿」(No.6)発行
 3月1,2日 第15回原子力総合シンポジウム・共催
 (教育会館)
 4月7～9日 ⑮昭和52年年会(近大)
 7日 第9回「学会賞」贈呈
 (特賞1件,論文3件,技術2件,奨励2件)
 10～14日 原子力技術移転国際会議(イラン会議)
 ・共催
 21日 中部支部⑨会員総会
 5月16日 第17回評議員会
 第19回通常総会
 20日 科技厅委託研究「核融合炉技術開発上の問題
 点の抽出とその検討評価に関する研究」
 へ交付決定
 31日 関西支部⑱会員総会
 8月1～3日 ⑨炉物理夏の学校(神戸)
 15～19日 第4回SMiRT会議・共催(桑港)
 30日 臨時総会
 (大山会長逝去に伴う新会長の選任)
 9月29日 東北支部創立総会(仙台・弥生会館)
 10月1～3日 ③昭和52年秋の分科会(北大・工)

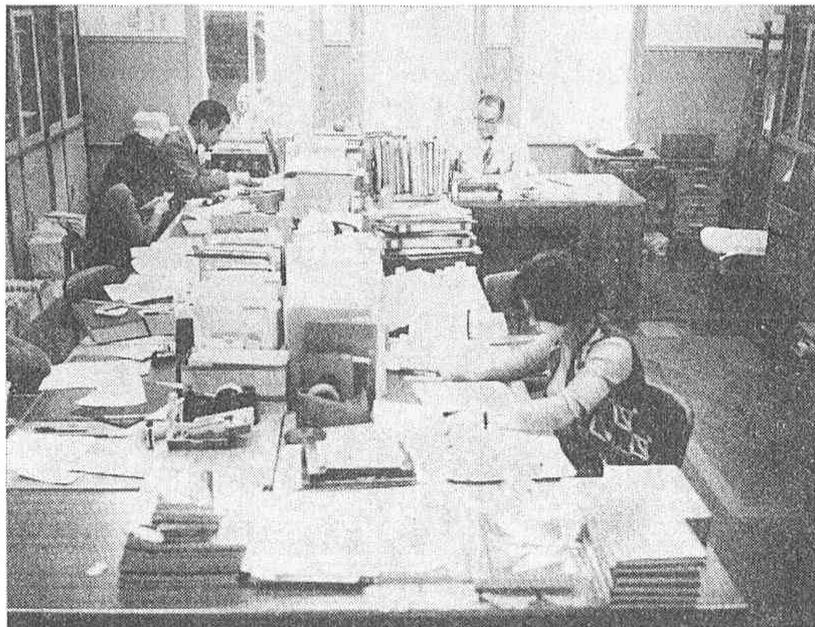
1978年(昭53)

- 1月30日 文部省編「学術用語集・原子力工学編」発行

- 2月8～10日 核融合連合講演会・共催
 15,16日 第16回原子力総合シンポジウム・共催
 (教育会館)
 28～30日 ⑯昭和53年年会(工学院大)
 28日 第10回「学会賞」贈呈
 (特賞1件,論文3件,技術3件,奨励3件)
 4月12日 中部支部⑩会員総会
 5月19日 第18回評議員会
 第20回通常総会
 20日 科技厅「核融合炉研究開発の効果的推進の
 ためのシステム解析」の研究委任契約
 29日 東北支部②会員総会
 30日 関西支部⑳会員総会
 7月30日～8月2日 ⑩炉物理夏の学校(北海道)
 9月25～29日 第2回環太平洋会議・共催(経団連)
 7～10日 ④昭和53年秋の分科会(神船大)

1979年(昭54)

- 1月20日 「会員名簿」(No.7)発行
 2月13日 創立20周年記念式典(学士会館)
 第1回「原子力技術開発賞」贈呈
 14～16日 第17回原子力総合シンポジウム・共催
 (学士会館)
 3月26～28日 ⑰昭和54年年会(大阪府工技研)
 26日 第11回「学会賞」贈呈



ある日の事務局風景