

周年記念特集号

あいさつ

- 1 創立50周年を迎えて 岡 芳明
- 2 創立50周年記念事業を企画して 工藤和彦

祝辞

- 3 創立50周年に寄せて 原子力委員会 近藤駿介
- 4 日本的原子力専門知の追究 原子力安全委員会 鈴木篤之
- 5 日本原子力学会創立50周年をお祝いして 日本学術会議 金澤一郎
- 6 日本原子力学会と共に歩んだ50年 日本原子力研究開発機構 岡崎俊雄
- 7 日本原子力学会創立50周年にあたって 東京電力 清水正孝

Congratulations

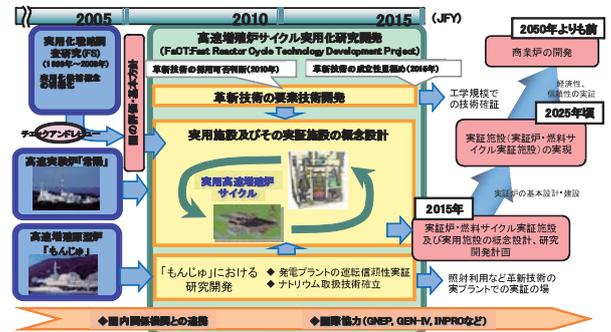
- 8 IAEA Mohamed Elbaradei
- 9 OECD/NEA Luis E. Echavárrri
- 10 韓国原子力学会 Join-In LEE
- 12 米国原子力学会 William E. Burchill
- 16 中国核学会 Guanxing Li

タイムカプセル記事

- 37 テキサスに ABWR を！ 立岩健二
- 37 量子ビーム科学・技術への期待 松浦祥次郎

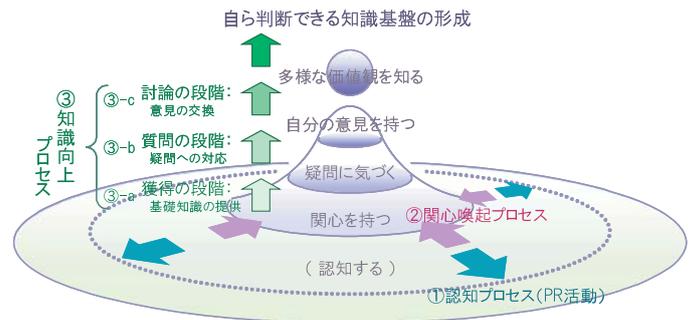
解説

- 17 次世代軽水炉開発の構想と展開
—世界標準を獲得し得る次期軽水炉
開発の経緯と現状
都筑和泰, 笠井 滋, 守屋公三, 鈴木成光, 新井健司
- 22 次世代原子炉と燃料サイクル
研究開発—実用化に向けた FBR サイクル
開発の推進
永田 敬, 一宮正和, 船坂英之, 水田俊治, 名倉文則



FBR サイクル実用化までのステップと FaCT プロジェクトの概要

- 27 原子力の社会的受容性とコミュニケーション 木村 浩



知識涵養のためのコミュニケーションプロセス

- 32 反原発運動の興隆とその後
—原子力をめぐる世論と反対運動の
変遷をたどる 佐田 務

表紙イラスト 深川祭 / 東京都・江東区

深川祭は別名「水かけ祭り」といわれ、氏子たちがビショビショになりながら神輿を担ぐ姿は祭りの盛り上がりを見せる。江戸三大祭りの一つで3年に一度(子・卯・午・酉の年)本祭りが行われる。本祭りは、氏子各町会の神輿、50数基が深川の氏子各町を一周する約8キロのコースを練り歩く。

絵 鈴木 新 ARATA SUZUKI
日本美術家連盟会員・JIAS 国際美術家協会会員

部会活動

- 38 炉物理研究の歩みと役割
炉物理部会
- 42 核融合炉の実現を目指して
核融合工学部会
- 46 人間中心の核燃料学
核燃料工学部会
- 50 放射性廃棄物の安全な処理処分
を目指して
バックエンド部会
- 54 ヒューマン・マシン・システム
研究の展開
ヒューマン・マシン・システム研究部会
- 58 熱流動部会の現状と展望
熱流動部会
- 63 放射線工学部会14年の歩みと今後
放射線工学部会
- 66 原子力の中の加速器・ビーム科学
加速器・ビーム科学部会
- 70 開かれた原子力学会へのさきがけ
社会・環境部会
- 74 保健物理・環境科学部会の活動
と今後の展開
保健物理・環境科学部会
- 78 世界をリードする核データ
ライブラリーを目指して
核データ部会
- 82 ニュークリア・マテリアル
—産業基盤技術
材料部会
- 86 原子力発電部会の活動状況および
原子力発電の今後の展望について
原子力発電部会
- 90 再処理・リサイクル部会の活動
再処理・リサイクル部会
- 94 原子力における計算科学技術の未来
計算科学技術部会

98 水化学の現状と今後の展開

水化学部会

102 原子力安全部会の設立と今後の
活動計画

原子力安全部会

連絡会活動

106 海外情報連絡会の歩みと将来に
向けて

海外情報連絡会

108 学生連絡会活動報告

学生連絡会

110 原子力青年ネットワーク連絡会
(YGN)の歩みと将来の取組み

原子力青年ネットワーク連絡会

112 シニアネットワーク連絡会の
活動報告

シニアネットワーク連絡会

114 原子力平和利用推進における
核不拡散の重要性

核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会

116 歴代会長

118 日本原子力学会事業概要

121 学会資料

学会略年表, 学会データ

学会事務局

前付 創立50周年記念式典のご案内

138 編集を終えて

140 「2009年秋の大会」研究発表応募・
参加事前登録のご案内

141 会報 原子力関係会議案内, 学会賞受
賞者, フェロー賞受賞者一覧, 平成21
年度「シルバー会員」・「永年会員」表
彰, 英文論文誌目次(Vol.46 No.4), 入
会申込要領, 主要会務

後付 祝賀広告

創立50周年を迎えて

第30代会長 岡 芳明
(東京大学教授)



日本原子力学会は本年2月にめでたく創立50周年を迎えました。このゴールデン記念年を、これまで本学会の発展に尽くしてこられた皆様とお祝いできることは誠に幸甚に存じます。

本学会は原子力平和利用の黎明期に創立され、産・官・学の参加する公平公正透明な集団として日本の原子力の研究開発利用とともに発展し、現在は17部会、5連絡会、8支部、正会員約7,000名、学生会員約480名、賛助会員約250社を擁しています。

この間、核分裂のみならず、核融合、加速器、放射線などへと広がる優れた原子力学の学術体系を築きながら、会員相互の研鑽、情報交換と社会への発信などの場として、必要不可欠な機能を果たしています。社会への応用でも原子力発電や放射線利用を中心に幅広く大きな貢献をしてきました。この間の原子力学会の歩みは本特集号にご覧いただく通りであります。

近年、地球環境保護とエネルギー安全保障のための原子力エネルギーの利点が世界的に認識され、原子力カルネッサンスと呼ばれる時代が到来しています。本会が創立された頃に勝るとも劣らない原子力への期待が世界的に高まっています。

我が国の原子力発電について振り返ると、現在は53基の原子力発電所が電力の約3分の1を供給しており、この50年間にめざましい発展をし、貢献するようになったといっても過言ではないでしょう。これをもたらした我々の先輩達の努力に改めて敬意を表したいと思います。歴史的にみると、この50年間は国内の原子力エネルギー利用展開期と位置づけることができると思います。そして現在、日本の原子力産業と研究開発は海外展開、国際化という歴史的転換期にあるのではないのでしょうか。今後50年間は日本の原子力は国内のみならず国際的にも展開し貢献することが求められ、期待されています。

2007年度には日本は約20兆円を化石燃料の輸入で失っています。この額は国内総生産の約4%にも相当します。日本において原子力エネルギー利用を拡大することは地球温暖化防止のみならず、経済的に日本が先進国であり続けるためにも必須のことと考えられます。日本のようにエネルギー資源のない国は世界的に多数あり、原子力に期待する多くの国が存在します。世界をリードして原子力の展開を図るためには過去50年間とは異なる視点と実行力も求められましょう。この期待に応えることは現在、原子力に携わる者の重要な責務であり、本学会の果たすべき役割への期待も大きいところです。

核融合や加速器、放射線利用の分野もこの50年間に大きく発展しました。これらの分野の今後の50年間の展開への期待は原子力エネルギー利用に勝るとも劣らないものがあるのではないのでしょうか。

原子力に関係するすべての人々が広く深く相互研鑽・情報交換と協力を進める場として、本学会が今後も発展することを祈念いたします。

(2009年 1月5日 記)

創立50周年記念事業を企画して

50周年記念事業実行委員長 工藤 和彦
(九州大学特任教授)



昭和34年2月14日に、日本原子力学会が設立されて、本年で50年を迎えます。この間に世紀が変わり、原子力をめぐる状況も大きく変わってきました。創立40周年までのことは木村逸郎40周年記念事業実行委員長(京都大学名誉教授)が述べられているので、それ以後の10年間を振り返るとともに、今回の記念事業についてご紹介をします。

わが国の原子力発電は現在、発電電力量の約1/3を供給し、放射線利用については医療・医学方面はもちろん、農業、工業をはじめとする産業各分野での利用では、その経済規模において発電に匹敵するとまで見られるように発展してきました。この10年で特筆すべきことは、世界中での地球環境問題の認識の深まりとともに、その対策のひとつとして原子力利用に関する再評価、期待が高まったことでしょう。各国が経済発展を追求しつつ温室効果ガス(二酸化炭素)排出量を減少させるには、自然エネルギー利用の推進、エネルギー利用効率の向上などと合わせて原子力エネルギー利用を抜きには考えられないことが次第に理解されてきました。

本学会もこれらの状況変化に対応して、この10年の間に企画委員会を企画委員会と部会等運営委員会に分割して機能を強化しました。また、社会・環境、保健物理・環境科学、核データ、材料、原子力発電、再処理・リサイクル、計算科学技術、水化学、原子力安全の各部会が新たに発足し、シニアネットワーク連絡会、核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会が設置されました。さらに、広報情報委員会の強化やオープンスクールの継続など、社会に向けた情報発信を行う体制を整えてきました。YGN、男女共同参画など若い、幅広い世代への技術・情報継承を進めるための活動も強化されました。

さて、創立50周年記念事業を企画・運営するために一昨年から検討が進められ、学会全理事、支部代表、部会代表からなる実行委員会が組織されました。澤田隆実行委員会ワーキンググループ長のもとで、編集委員会、企画委員会、部会等運営委員会などと連絡を取り、会員からのこの事業に関するアンケートも参考にして事業内容が検討されました。この結果、記念事業として、(1)学会誌創立50周年記念号の発行、(2)日本原子力学会50周年史(CD版)の編纂、(3)記念式典・祝賀会の開催、(4)原子力歴史構築賞の新設、(5)学会事務のIT化などが企画、実行されています。

本誌が創立50周年記念号です。国内外の機関からいただいた祝辞、時事や技術に関する解説記事などは、これまでの10年とこれからの学会のあり方について大いに会員各位のご参考になるものと自負しております。

記念式典と記念祝賀会は4月21日(水)に東京・大手町サンケイプラザにて開催の予定です。式典では、ご来賓として文部科学省をはじめ、米国原子力学会長、中国原子力学会長、韓国原子力学会長の祝辞などを予定しており、また学会の50年を振り返ってとこれからのビジョンを紹介する講演をお願いしております。

記念事業を進めるにあたって、特別な節目の行事であり大々的な行事を行うべきだとのご意見もありました。これについて、学会の状況を鑑み、また、社会からも常に注目されている原子力学会の活動として、これまで準備してきた基金の範囲内で事業を行うという方針で進めてきたことを付記させていただきます。記念品として50周年史CDの配布を全会員に送らせていただくということにしました。このCDには学会50年間の情報をできるだけ詰め込む予定です。

本事業を実行するに際し、多くの学会員の方々のご協力を得ました。誌上をお借りして心からの謝意を表させていただきます。

(2008年 11月20日 記)

祝辞

創立50周年に寄せて

原子力委員会 委員長 近藤 駿介



東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。同大工学部教授、同大原子力研究総合センター長などを経て、04年から現職。

日本原子力学会が創立50周年を迎えられたことを心からお祝い申し上げます。また、この機会に、貴会の発展に尽力された会員諸氏に敬意を表します。

我が国では原子力基本法で原子力の研究、開発及び利用は、平和の目的に限り、安全の確保を旨とし、民主的な運営の下に、将来のエネルギー資源を確保し、学術の進歩と産業の振興とを図り、もって人類社会の福祉と国民生活の水準向上とに寄与することを目指して自主的に推進し、その成果を公開し、進んで国際協力に資することが求められています。私どもは、関係する諸分野における学会にはこの研究開発利用の根幹をなす知識の創造、共有、活用及び公開の要請に応える取組の一部を分担していただいていると認識しており、この点から、特に原子力と関係の深い分野を対象として活動しておられる日本原子力学会に対して、この機会に、このこと厚く御礼を申し上げます。

貴会が開催される様々な研究会活動における新知見を巡っての専門家間での議論は、学術の進歩や産業の振興に多大の貢献をなしてきています。さらに、学会標準の策定活動は、こうした議論の成果を、当該技術の利用に係る安全や健康の保持、環境の保全等の観点、技術進歩を促進する観点、経済・社会活動における技術製品の互換性、利便性の確保の観点から、技術文書に取りまとめて国レベルの「規格」とし、さらにこれを国際社会も尊重するものにしていくものです。1995年にWTO/TBT協定(世界貿易機関/貿易における技術的障害に関する協定)が発効して国際規格を各国の技術規制の基礎とすることが義務づけられて以来、産業競争力の強化の観点からもこの活動の重要性が増してきています。このことから、貴会が標準制定活動を進めておられること、そしてその過程で社会的に有用な研究開発課題を効果的に特定されていることに深く感謝申し上げます。

さらに、国民の福祉向上に役立つ原子力科学技術の普及には、その安全性や他技術に対する比較優位性についての認識が国民に共有されるよう、それらに関する学習機会を学校教育の場はもとより、社会教育の場においても整備・充実していく必要があります。貴会がこのことの重要性を認識して、社会とのコミュニケーションを重要研究分野とする社会・環境部会を設置しておられるほか、この部会を含むいくつかの部会においてその実践活動を行っておられることについても、高く評価し、感謝しています。

ところで、科学技術の成果が国民、さらには人類の享受するところとなるためには、政府と民間がそれぞれになすべきことを効果的に行う必要があります。一般論的には、民間が新技術を懐胎し、これを開発し、その市場を理解し、それを成功裏に市場に供給し、リスク管理を適切に行ってその成功を持続させていくべきところ、政府は基礎研究を推進し、民間の開発活動を支援し、新技術の市場テストを期間を定めて推進する措置を講じるべきです。また既存の規制がこの技術の市場参入を妨げることのないようにするべきです。ここで大切なことは、技術の勝者と敗者を予見できる人はどこにもいないのですから、政府がそれを決めてはならず、公益の求める性能基準を定め、それに基づいて市場を規制し、前述の誘導措置を施すことに徹するべきだということです。

過去50年間、原子力政策においては、この技術の特殊性のゆえに、この一般原則から外れることを少なからず行ってきました。しかし、今後は、原子力技術の特徴ゆえの誘導・規制の仕組みは残していくべきですが、この一般原則により忠実に政策運営を行っていくべきです。このことは、当該技術の持続的発展のためには、関係学会において将来を見据えた知識管理活動が各国の関係学会とのネットワークを強化しつつ、より国際的かつ包括的になされることが重要性を増すことを意味します。貴会がこのことを念頭に今後益々の発展を追及されることを心から祈念し、お祝いの言葉とさせていただきます。

(2008年 12月21日 記)

祝辞

日本の原子力専門知の追究

原子力安全委員会 委員長 鈴木 篤之

国際政治学者、ジョセフ・ナイが『The Paradox of American Power』(Oxford University)を上梓し、米国の力は、ハード・パワー、すなわち強大な軍事力ではなく、強固な民主主義的価値観に裏打ちされた力、ソフト・パワーによるべきであると、主張したのは2001年9月11日後の2002年だったことから、世界的に大いに注目された。私も、アイゼンハワーの“Atoms for Peace”国連演説50周年記念シンポジウムで、これを振り、“The Paradox of Nuclear Power”と題する招待講演を行ったことがある。原子力もまた、核エネルギーの強靭性、ハード・パワーより、それを安全に使いこなす上で不可欠な民主的意思決定プロセスの強靭性、ソフト・パワーにこそ、その価値を見いだすべきことを指摘した。

この、私の話に聴衆は幾分か興味を覚えてくれたようではあるが、その意図は、原子力もまた米国流民主主義と不即不離の関係にある、と短絡的に誤解されたのではないかと、気になっていた。米国流民主主義的価値、あるいは米国流ソフト・パワーは、我々にとって大いに参考にはなるが、唯一無二ではない、と私は感じている。

最近、話題の『ランド、世界を支配した研究所』(文藝春秋、2008)によって、そんな私は少なからず溜飲を下げた。何年もの間、我々にとって羨望的であったランドは、「現実をありのままに理解することに失敗し、一種類の合理性だけが存在するような架空の数学的世界を仮定しているのだ。」と手厳しい。ランド的合理主義の象徴とも言える、フォン・ノイマンの期待効用仮説とそれによる合理的選択理論は、畢竟、仮説であって、森羅万象に当てはまる真理ではない。この事実をランド出身の科学者も無視できなくなりつつある、というのが同書の言わんとするところのようだ。

原子力は、生い立ちからも、科学的合理性だけでその価値を判断することは難しい、という宿命を負っているように、私にはうつる。科学的合理性は、とくに西欧において、その成果があまりにも顕著だったことから、人や社会の選択においても優先権が与えられるべき、との思い込みがわれわれにはないであろうか？ もし、そうであれば、原子力の将来には、その思い込みを拭えるだけの知恵を必要としていることになる。

西欧的合理主義と対極的な東洋的思想こそ見直されるべきとの卓見もあるが、私は、そのような対立的考えでは原子力の未来、とくにグローバルな将来は展望できないと考えている。西欧主義と東洋主義のいずれをも包摂する第三の主義が必要ではないか、そしてその第三の主義を主張すべき国こそ日本ではないか、とときどき思うことがある。

西欧主義と東洋主義をいわば融合し止揚しようとの試みが、インド生まれの碩学、アマルティア・センに見られる。実際、「インドと核爆弾」、「持続可能な発展—未来社会のために」など、原子力と関係のある論考もセンにはある。しかし、原子力分野からの第三の知恵の創出は、原子力安全ひとつをとっても、その専門的詳細に立ち入らざるを得ず、やはり、原子力を専門とする人やグループに期待する外はない、と私は考える。それを、日本原子力学会に期待したい、とおもう。

そのような第三の知恵を、私は、日本の原子力専門知と呼んでおきたい。日本原子力学会という知的集団こそ、その専門知の創出に取り組むに相応しいとおもう。日本の原子力専門知の追究をお願いして、学会創立50周年記念号への寄稿としたい。学会のさらなるご発展を祈念します。

原子力安全委員会では、現在、発電用原子炉の耐震安全性に係る再確認作業に追われており、それは多くの外部の専門家の方々のまさに滅私奉公のご協力に依存している。委員会にとってまことにありがたいことであるが、この体制は日本独特のもので、日本的融合化社会の所産のように私には感じる。第3の知恵の創出にこの作業を通じて少しでも貢献できるよう努めなければ、と考えている。



東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。同大工学部教授、原子力安全委員会委員などを経て、06年から現職。

(2009年 1月7日 記)

祝辞

日本原子力学会創立50周年をお祝いして

日本学術会議 会長 金澤 一郎

この度、日本原子力学会が創立50周年を迎えられるに際し、日本学術会議を代表し、心よりお祝いを申し上げます。

50年前のわが国は、原子力平和利用がようやく緒につきかけたばかりで、米国から輸入した日本原子力研究所の研究用原子炉(JRR-1)が運転を始めて1年余りの頃でした。それから50年を経て、わが国の原子力発電による電力は総発電量の約3分の1を占めるに至り、核燃料サイクルの環もようやく完成に近づいております。また一方、粒子加速器や放射性同位体の利用は、理工学はもちろん、医学や生物学の分野でも著しいものがあります。こうした原子核エネルギーの利用から、より幅広い原子力学応用の進展に至るまで、日本原子力学会は大きな推進役を果たして来られました。またそれを担う人材の養成や倫理規程の制定においても先導性を発揮されております。さらに最近では、地球環境保護の観点から、洞爺湖サミットに向けて声明を発表するなど、学会の存在が社会的にも認められ、高く評価されつつあります。

日本学術会議は、日本原子力学会とは深いつながりがございます。日本学術会議は、日本原子力学会よりも10年早く1949年に発足いたしました。そして、発足当初から、わが国において原子力平和利用をいかに進めるべきかについて議論を深めて参りました。広島と長崎で原子爆弾の惨禍を受けたわが国では、平和利用といえども原子力の研究開発は時期尚早であるという意見が強くありました。しかし、米国のアイゼンハワー大統領の「平和のための原子力(Atoms for Peace)」の方針に沿い、わが国でもこれを推進する動きが出てきたことを受けて、日本学術会議はいち早く、1954年春の総会で原子力の利用について議論し、原子兵器の研究は行わない決意と原子力研究にあたっての三原則(自主、民主、公開)の必要性を強調した声明を発表いたしました。ここで唱えられた平和目的への限定と三原則の順守は、後に成立した原子力基本法の中に盛り込まれたことをご存知の通りです。さらに、この総会の1ヵ月余り前に発生したビキニ海域における第五福竜丸乗組員の死の灰による被ばくの問題を受けて、日本学術会議は原子力問題常置委員会、放射能影響調査特別委員会および原子力特別委員会を設置して、検討を深めて参りました。とくに原子力特別委員会は、原子力研究の始動に伴う成果発表と討論の場として、1957年以来、原子力シンポジウムを開催するとともに、原子力学会検討小委員会を設けて、当初目標とすべき原子力研究の範囲とその学会活動の方針について審議いたしました。そしてそれをもとに1959年2月、日本原子力学会の創立を迎えた次第であります。なお学会の初代会長には日本学術会議の会長を務めた茅誠司氏が任ぜられました。

こうした経緯からすると、日本学術会議は日本原子力学会の生みの親であり、貴学会創立50周年は、日本学術会議といたしましても、わが子の成長を祝う親の気持ちに相通じるものがあります。

その後も、日本学術会議は、貴学会と直接あるいは間接に深い関係を維持しながら、原子力の利用と安全性確保に対して高い関心を持ち、シンポジウムの開催、勧告や対外報告の表出などを積極的に行って参りました。そして、将来の世界とわが国における原子力利用の重要性に対して、今後ともさらに強い連携と協力が必要であると考えます。貴学会の協力を得ながら毎年開催している原子力総合シンポジウムはもとより、さらに幅広く、また深みを増したこれからの関係を念願して祝辞とさせていただきます。

(2008年 12月19日 記)



東京大学医学部を卒業。筑波大教授、東大教授、東大医学部附属病院長、国立精神・神経センター総長、宮内庁皇室医務主管(02～現在)等を歴任。日本学術会議会長は06年より務める。

祝辞

日本原子力学会と共に歩んだ50年

日本原子力研究開発機構 理事長 岡崎 俊雄

日本原子力学会創立50周年、おめでとうございます。

私ども日本原子力研究開発機構は、その前身である日本原子力研究所と核燃料サイクル開発機構(さらにその前身の動力炉・核燃料開発事業団)の時代から、貴学会とともに、原子力の研究、開発、利用を進めて参りました。原子力を取り巻くこの50年を振り返ってみますと、原子力平和利用に向けての気運がみなぎっていた草創期から今日まで、決して平坦な道ではありませんでしたが、常に前向きで真摯な姿勢で原子力の研究、開発、利用に取り組んでこられた先人たちのおかげで、原子力発電が基幹電力の位置を占めるとともに科学技術、工業、農業、医療等の分野で放射線が広く利用され、国民生活の質の向上に大きな役割を果たすに至りました。

今日、私たちが直面しているエネルギーセキュリティ問題と地球温暖化防止という地球規模の大課題を同時に解決するために、原子力が重要な役割を果たしうるということは、昨年開催されました北海道洞爺湖サミットの宣言等に見られますように、原子力に関わる人たちの間だけではなく、広く世界共通の理解になってきているように思われます。そのような共通理解の輪をさらに大きなものとするべく、貴学会とともに、日本原子力研究開発機構も力を尽くして参りたいと考えております。

貴学会が創立50周年を迎えられます本年は、日本原子力研究開発機構にとりましては、「もんじゅ」の運転再開、大強度陽子加速器施設 J-PARC の本格運転開始、国際熱核融合実験炉 ITER 計画及び幅広いアプローチ活動の加速、研究施設等廃棄物処分事業の実施計画に基づく活動開始といった重要な節目の年に当たります。日本原子力研究開発機構は、貴学会等各方面のご支援、ご理解をいただきながら、こうした目前の事業を確実に進めますとともに、将来を見据えた研究開発にも着実に取り組んで参ります。

日本原子力学会の次の50年に向けた益々のご発展を祈念いたします。



大阪大学工学部卒業。科学技術庁科学審議官、同事務次官、日本原子力研究開発機構副理事長などを経て、07年から現職。

(2009年 1月6日 記)

祝辞

日本原子力学会創立50周年にあたって

東京電力(株) 取締役社長 清水 正孝

日本原子力学会が創立50周年を迎えられるにあたり、心よりお祝いを申し上げます。

貴学会が誕生した当時、原子力はまさに新時代到来の象徴であり、国を挙げて、未来のエネルギー源である原子力の平和利用の推進に取り組みました。以来50年、原子力発電はわが国の全電力量の約3割を占め、エネルギー政策においても基軸に据えられています。また、様々な分野での放射線利用は、国民生活の利便性向上に大きく貢献してきました。これもひとえに、貴学会が創立以来、原子力の平和利用に関する研究や技術開発の奨励、研究者間の交流、研究成果の公開等にご尽力されてきた賜物であります。ここに、会員各位のたゆまぬご研鑽、ご努力に対し、深く敬意を表します。

さて、いわゆるポスト京都の温暖化対策の枠組みづくりへの議論が活発に行われている中で、電力会社としては、供給面では、原子力を中心とする「ゼロ・エミッション電源」の活用や、火力発電における一層の高効率化、需要面ではヒートポンプの活用などあらゆる分野での電化の推進により、低炭素社会の実現に積極的に貢献できるものと確信しています。

しかしながら、現在、当社においては、新潟県中越沖地震で被災した柏崎刈羽原子力発電所の停止が続いており、原子力の稼働率は極めて低水準で推移しています。このため火力発電の稼働増によりCO₂の排出量が増加し、環境面でのパフォーマンスが悪化しています。柏崎刈羽原子力発電所においては、点検・評価・耐震強化工事を着実に進め、地震の反省や教訓を踏まえた対策も十分に講じ、災害に強く安全・安心な原子力発電所として再構築するべく努力して参ります。また、原子力事業全体においては、六ヶ所再処理工場の本格稼働、プルスーマル導入の早期実現、高レベル放射性廃棄物の処分場選定、「もんじゅ」の運転再開、六ヶ所MOX燃料加工工場の着工などの課題に直面しています。エネルギーの安定供給という観点からも、原子力発電の本来有する実力が十二分に発揮できるよう、これらの課題解決に向け事業者として全力で取り組んで参りたいと思います。

原子力利用を推進していくためには、国民あるいは地域の皆さまのご理解が不可欠です。国民的合意形成の過程で、貴学会が学術的な検証にもとづき中立的・客観的な見解を表明されることは、課題を解決し、原子力新時代を開くことに貢献するものと確信します。専門家の皆さまの意見や見解は、私ども事業者をはじめ多くの原子力関係機関や団体が実施している原子力理解活動とは違った意味合いを持つものであり、国民一人ひとりが判断を求められる状況が多くなっているこの時代に、ますます必要性が増していると思います。

地球規模の環境問題や資源問題に対応する中で、国際的に原子力が評価されるようになっており、発電利用だけでも全世界で100基以上のプラントが建設・計画されています。こうした中で、これまで着実に平和利用を進めてきた日本の原子力へ期待が寄せられており、国際協力を進めながら、将来に向けて日本の原子力技術を更に高めていくことが重要です。このような観点からも、原子力に関する学術交流・協力の場において、貴学会の果たされる役割は更に大きくなっていくことでしょう。貴学会がこれまでの50年の経験をもとに、更に幅広い活動を展開されることを期待いたします。

貴学会がますます発展し、原子力の平和利用を通じて世界人類の幸福のために貢献されますよう祈念しまして、お祝いの言葉とさせていただきます。

(2009年 2月3日 記)



慶應義塾大学経済学部卒業。東京電力資材部長、取締役、副社長などを経て、08年から現職。

祝辞 Congratulations

I send my warm congratulations to the Atomic Energy Society of Japan on the occasion of its fiftieth anniversary. The society has a well deserved reputation as a centre of excellence for the peaceful application of nuclear energy and it has made a significant contribution to the development of nuclear science and technology in Japan and in the world.

The Atomic Energy Society of Japan is one of the largest academic nuclear societies in the world, with important links not only to international organizations such as the IAEA, but also to national nuclear societies in many countries, across the whole range of nuclear-related fields. I am especially grateful for the Society's continued interest in conferences supported by the IAEA.

Much has changed in the past ten years in the world of nuclear energy. Public attitudes have become less hostile and more and more countries—especially in the developing world—are considering making nuclear power part of their energy mix. This is because of concerns about climate change, instability of energy supply and the huge need for additional energy for development. The expansion in global use of nuclear power puts an increasing responsibility on vendor states such as Japan to ensure that countries to which they sell nuclear technology acquire the expertise and infrastructure to run it safely, securely and responsibly. I am confident that the Atomic Energy Society of Japan will continue to make a key contribution in this field.

The IAEA values its cooperation with the Atomic Energy Society of Japan and looks forward to deepening and strengthening that relationship in the decades to come.

(2009年 1月5日 記)



M. エルバラダイ氏
 Dr. Mohamed Elbaradei
 国際原子力機関(IAEA)事務局長
 1942年エジプト生まれ。カイロ大学
 法学部卒業後、エジプト外務省職
 員、IAEA事務局法律顧問、事務局
 長補佐を経て、97年から現職。05年
 にノーベル平和賞を受賞。

祝辞 Congratulations

On behalf of the OECD Nuclear Energy Agency (NEA), I would like to congratulate the Atomic Energy Society of Japan on the occasion of its 50th anniversary. It is an honour for me to have the opportunity to send you this message from the NEA at such a special time.

Since February 1959 when your society was established, just following the first criticality of the JRR-1 reactor in 1957, your members have always acknowledged that nuclear energy must be carefully considered, as part of a reflective process. They have thus continuously fostered the deployment and enhancement of nuclear energy for peaceful uses. Indeed, AESJ activities have been key in developing high quality nuclear power plants, fuel cycle installations and research facilities based on this approach. This has allowed Japan to become one of the most highly developed nuclear energy nations.

A new era for nuclear energy is beginning to materialise, drawing on its ability to help resolve a number of the environmental and economic challenges that our societies are facing. Members of the international community, and nuclear professionals in particular, welcome this renewed interest based on the contribution that nuclear power can make to the security of energy supply and to preventing climate change, as it does not emit greenhouse gases. The development of nuclear energy can only be conceived based on the highest standards of safety, and the OECD Nuclear Energy Agency has always considered nuclear safety as the first priority in its work. The Agency is highly committed to fulfilling its role as an international forum for sharing information and experience and for promoting international co-operation among its member countries. The contribution of Japan, through numerous members of the Atomic Energy Society of Japan, has always been outstanding.

In October 2008, the NEA celebrated its 50th anniversary and on that occasion published the *Nuclear Energy Outlook*, the first of its kind in the Agency's history. I hope that this new publication, a very comprehensive analysis of the possibilities surrounding nuclear power until the year 2050, will help member countries, including Japan, in deciding on the contribution of this source of energy when designing and implementing national energy policies.

We are confident that the Atomic Energy Society of Japan will continue its development in the future, and will make successful and lasting contributions to the peaceful utilisation of nuclear energy in Japan.

(2008年 11月18日 記)



L. エチャバリ氏
Mr. Luis E. Echavárrri
経済協力開発機構/原子力機関
(OECD/NEA) 事務局長
1949年スペイン生まれ。マドリード
のコンプルテンセ大学院修了後、
ウェスチングハウス社マネージャー、
スペイン原子力安全委員会(CSN)委
員を経て、1997年から現職。

祝辞 Congratulations

In commemoration of the 50th anniversary of the founding of the Atomic Energy Society of Japan (AESJ), it is my honor and privilege to deliver a congratulatory message to your Society and contribute in praise of your enthusiastic efforts for the energy independence during the last three decades in the special commemorative issue of ATOMOΣ.

I, not only as President of the Korean Nuclear Society (KNS) but also a fellow nuclear professional in a neighboring country, very highly appreciate your Society's endeavor in seeking academic and technical progress for the peaceful use of nuclear energy and contributing to the development and advancement of nuclear energy during the past five decades.

After the Agreement for Co-operation between Atomic Energy Society of Japan and Korean Nuclear Society in 1999, Japan and Korea have closely cooperated with each other in many academic fields and areas such as Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety (NTHAS), Korea—Japan Probabilistic Safety Assessment (KJPSA), Joint Session on nuclear materials technology, Cooperation between Japan Atomic Industry Forum (JAIF) and Korea Atomic Industry Forum (KAIF).

As we are all aware, Japan and Korea have been the two neighboring countries and the most enthusiastic devotees for the nuclear power in the North East Asian region. Constructing and operating more than one sixth of the total numbers of the nuclear power reactors in the world, the two countries have continuously aimed for achieving the energy independence from the earlier oil crisis in the 1970s as well as paving the way to overcome the scarcity of the natural resources for the power generation. Recently, the neighboring countries in the North Eastern Asian region including China and India beside our two countries are desperately striving to become one of the world's biggest suppliers of the electricity generated by the nuclear power operations and high nuclear technology providers.

In this regard, the celebration of your Society on this very special occasion coming in February 2009 along with the 40th anniversary of the Korean Nuclear Society (KNS), which is scheduled in May next year, will undoubtedly provide us with an excellent opportunity to appreciate our current rather stabilized energy situations in the two countries and assure of the utilization of the nuclear power to satisfy our growing needs for the green energy and power.

I believe, one of the most impending issues for the upcoming 21st century centers on securing a reliable and continuing energy supply. This reliable and continuing supply



J. リー氏 Dr. Join-In LEE

韓国原子力学会(KNS)会長

Hanyang大学で博士号取得。韓国原子力研究所(KAERI)勤務を経て、08年から韓国原子力安全技術院(KINS)副院長。07年からはKNS会長を兼ねる。

will not only meet the growing demand on energy but also maintain the compatibility with the global environment that we preciously cherish.

This ultimate task has long since been discussed among the nations of common interests with a number of strategies being proposed to reach a common goal in general and to address the individual country's specific needs in particular. Thus, the strategies are unavoidably formulated based on individual country's specific philosophies and policies associated with the global environmental problems, potential energy resources, industrial technologies, economics, politics and so forth. In spite of the safety problems, which undermine the credibility and the public acceptance, nuclear energy is still expected to play a critical role in the worldwide electricity market in the coming centuries and millennia in Korea as well as in Japan. Advanced and next generation nuclear energy systems are being designed with much enhanced safety standards and the energy utilization capability.

Now, the cases of the Three Mile Island in the U.S. and Chernobyl accidents in Ukraine in 1979 and 1986, respectively, have made us clearly aware that there are essentially no borders in the nuclear safety issues. We can never overemphasize the importance of safe operations of the nuclear power plants from the technical, biological and ecological standpoints.

Japan and Korea stand very close in their eagerness in the development of nuclear technology and resolution of safety issues as well as in their geographical locations. Thus, it is to the mutual interest and benefit for the two countries to embark on vitalized technical as well as academic collaborations and communications.

I strongly believe that special anniversaries in the two countries next year shall be aimed at promoting the exchange of information on new findings, technical and academic achievements, and brand new concepts in the areas of nuclear sciences and technology.

Before closing my commemorative remark on your special occasion, I would like to introduce you on the KNS and its activities. The KNS was instituted in 1969 and is currently a home to more than 2,600 individual plenary and associate members and 41 corporate members covering a broad spectrum of academic educational institutions, research institutes and industries. The KNS not only publishes various nuclear related journals, NET (Nuclear Engineering and Technology), which was issued as a SCIE in 2006, and newsletters but also has been providing many forums for exchanging information, promoting collaborative R&Ds, recognizing the members of outstanding achievements and awarding scholarship to young students. Besides, the various activities such as the professional training services, rejuvenate the young generation nuclear network, and inaugurate the student chapters are in service.

Finally, I hope the opportunity will be taken to build closer relations than before in terms of collaborations and communications through the two celebrations of both Societies.

Thank you very much.

(2008年 12月10日 記)

祝辞 Congratulations

On the special milestone of the 50th Anniversary of the founding of the Atomic Energy Society of Japan, this report describes the current status of the peaceful application of nuclear power in the United States (U.S.).¹⁾ It is particularly appropriate to do so at this time when there is a growing consensus that nuclear power can make a major contribution to reducing greenhouse gas emissions, there is a renaissance of interest and intense activity directed at building new nuclear power plants, and there is overwhelming public opinion in favor of extending operation of current nuclear power plants and in support of building new plants.

Performance of the 104 nuclear power plants (NPPs) operating in the U.S. has improved dramatically—from a capacity factor of about 70% a decade ago to 92% in 2007—producing very favorable economics. Operating safety has steadily improved—as measured by numerous performance indicators reported by the U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) and the Institute for Nuclear Power Operations—and, no U.S. plant worker or member of the public has ever been injured or killed by an accident caused by nuclear power. Nuclear power is an emissions-free source of electricity—70% of all U.S. emissions-free electricity is generated by nuclear power. And, new NPP designs provide even greater improvements in construction and operation economics, reliability, and safety.

The U.S. Department of Energy (DOE) forecasts that by the year 2030 the U.S.'s demand for electricity will increase by 30%. Thus, just to maintain the same fraction of electricity from nuclear power would require about thirty new NPPs. Since the beginning of 2006 seventeen U.S. utilities have announced plans to file applications with the U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) to build as many as thirty-three new NPPs. Seventeen of these applications for twenty-six NPPs are currently under review by the NRC. Numerous utilities have placed manufacturing orders for major components for these NPPs. And, two utilities have signed EPC (engineering, procurement, and construction) contracts for four NPPs. These are the first new NPP orders in the U.S. since 1978.

The nuclear renaissance in the U.S. began with the existing fleet of operating NPPs. During the past fifteen years power uprates and capacity factor improvements have increased the power output of U.S. NPPs by the equivalent of adding 26 new 1000 MWe NPPs to the grid. Additional power uprates of up to 15% for five additional NPPs are currently under review for approval by the NRC. And, the NRC has approved 20-year operating license renewals for 50 NPPs. (NPPs are initially licensed in the U.S. to operate 40 years.) Another 18 renewal applications are under NRC review, and letters of intent to renew for an additional 24 NPPs have been submitted to NRC. It is expected that the operating license of all 104 currently operating NPPs will be extended 20 years, and discussions are actively underway concerning the conditions to be met for an additional 20-year renewal.

Each of the new NPPs announced by U.S. utilities employ advanced designs compared to the current U.S. fleet of operating NPPs. Advanced features include new fabrication and construction techniques, digital control and safety systems, emergency systems with higher reliability, greater volumes of emergency cooling water,



W. バーチル氏

Dr. William E. Burchill

米国原子力学会(ANS)会長

イリノイ大学で博士号取得。コンバッションエンジニアリング社, エクセロン社勤務, テキサス大学学部長などを経て, 08年から現職。専門は原子力安全。

¹⁾ Statistics are cited as of December, 2008.

²⁾ ABWR—Advanced Boiling Water Reactor; EPR—European Pressurized Reactor; AP-1000—Advanced Pressurized water reactor, 1000 MWe; APWR—Advanced Pressurized Water Reactor; and ESBWR—Economical, Simplified Boiling Water Reactor.

and capability to use advanced nuclear fuels that produce more energy and less waste. As a group these designs are called ALWRs (Advanced Light Water Reactors). It is generally concluded in the industry that all commercial NPPs to be built in the U.S. during the next two to three decades will be ALWRs.

The five designs in all U.S. new NPP announcements to date are: the ABWR by General Electric/Hitachi, the EPR by Areva, the AP-1000 by Westinghouse, the APWR by Mitsubishi, and the ESBWR by General Electric/Hitachi.²⁾ The ABWR and the ESBWR are boiling water reactors; the EPR, the AP-1000, and the APWR are pressurized water reactors. Each of these designs achieves high reliability of its emergency systems, specifically the emergency core cooling system (ECCS). The ABWR, the EPR, and the APWR are called “evolutionary” designs, i.e., the ECCS has higher reliability because it has more systems in parallel—power supplies and water-delivery trains—than current designs, although the systems are similar to those in current designs. The AP-1000 and the ESBWR are called “passive” designs, i.e., the ECCS delivers water by gravity-feed systems which involve fewer electrically-powered pumps and valves. Reliability mathematics demonstrate that each approach produces a similar improvement in ECCS reliability compared to current ECCS designs.

There are several major challenges to making the nuclear power renaissance actually happen. Four are near-term. Perhaps the foremost challenge is to have sufficient labor, both skilled and degreed. During the last-nearly thirty years nuclear power has not been an attractive career objective for young people in the U.S. Nuclear power, along with many other U.S. heavy manufacturing industries, has an “aging workforce.” Recent estimates by the Nuclear Energy Institute project that about 50% of the U.S. nuclear power workforce will be eligible to retire within the next five years.³⁾ However, the recent slowdown of the overall U.S. economy may cause many retirements to be postponed.

Notwithstanding the retirement situation, skilled labor shortages—electricians, welders, pipefitters, machinists, radiation protection technicians—already confront the currently-operating nuclear power industry. Numerous trade schools have shut their doors during the past decade. Consequently, many utilities have individually or collectively established their own training programs, usually in collaboration with local community colleges. Another shortage involves nuclear engineers needed to design and to operate the plants. Undergraduate enrollments in U.S. nuclear engineering schools reached a low of about 700 students in 1998, and today only half as many U.S. universities offer this degree as twenty years ago. Another traditional source, the U.S. Navy, is producing sixty percent fewer former enlisted personnel as it once did.

Fortunately, the situation is improving rapidly. Utility programs to train new personnel in various labor skills are becoming more widely known and attended. University enrollments in nuclear engineering in Fall 2008 were more than double their number in 1998, and several schools have started, or are considering, new degree programs. The driving force producing these results is the aggressive hiring campaign being conducted by the reactor vendors, the NRC, and specific utilities. However, there still remains a gap by as much as a factor of three in the projected demand for nuclear engineering graduates compared to the number entering the nuclear power workforce.⁴⁾

The second near-term challenge is to re-establish the nuclear industry infrastructure in the U.S. This infrastructure is required to provide all of the structures, systems, and components needed in a NPP. The largest of these are the thick-walled steel vessels that house the nuclear reactors, the steam generators, pressurizers, and the piping that connects these components. The manufacturing technique with which the current fleet of operating reactors were manufactured involved bending thick metal plates and welding them together to form vessels or piping. This technique has been replaced in the design of all ALWRs with ultra-heavy forging in which major sections of a vessel or a complete length of pipe, including all connecting nozzles,

³⁾ “NEI Work Force Report,” Nuclear Energy Institute, December, 2007.

⁴⁾ “Innovative Education and Training Partnerships to Meet Manpower Demands of the Nuclear Renaissance in the United States,” William B. Burchill, presentation in Keynote Session 7, 16th Pacific Basin Nuclear Conference, Aomori, Japan, October 15, 2008.

are formed from a single metal billet by multiple pressing and boring steps. Unfortunately, there is no facility in the U.S. which can produce these very large forgings. The only such facilities in the world are in Japan, France, South Korea, and Russia. However, in late 2007 Areva and Northrup Grumman Shipbuilding announced the formation of a joint venture, Areva Newport News LLC, which will produce ultra-heavy metal forgings in a new facility to be built in the U.S. China also plans to build three ultra-heavy metal forging factories.

Another infrastructure issue concerns manufacture of pumps, pipes, valves, controllers, and other components. The quality of these components must be certified by an ASME (American Society of Mechanical Engineers) N-stamp which is held by the component's manufacturer in recognition of the quality of its manufacturing processes and products. A typical ALWR requires a large quantity of these quality components: about 2,500 valves, 250 pumps, 25,000 feet of pipe, 225 miles of electrical cable, and 90,000 electrical devices. During the construction of the current U.S. fleet of operating NPPs, about 600 companies held an N-stamp; today only about 100 companies are so qualified.

The Nuclear Energy Institute, an industry trade and policy organization based in Washington, DC, conducted three manufacturing workshops—Columbia, SC; Cleveland, OH; San Antonio, TX—during the first half of 2007 in order to stimulate U.S. industry to re-establish this lost manufacturing capability. The response during these workshops has been encouraging, but it is too early to tell the degree to which the U.S. manufacturing infrastructure will be re-established. Meanwhile, reactor vendors and utilities have thus far placed all orders for long-lead-time heavy components overseas, and it is expected that a high fraction of the quality components for the first several new plants will come from foreign sources.

The third near-term challenge is financing the cost of constructing a new NPP estimated to be about \$5 billion. The largest U.S. utility currently operating NPPs has a book value of about \$17 billion, and most are much smaller. Thus, committing to construct a new NPP is literally “betting the company.” To reduce this risk, the Energy Policy Act of 2005 provides three key incentives: a production tax credit of \$18 per megawatt-hour for the first 6000 megawatts of new NPPs, risk insurance against delays in commercial operation caused by licensing or litigation outside a utility's control, and loan guarantees up to 80 percent of the cost of projects.⁵⁾

Currently the financial community's opinion of nuclear power is quite positive since the operating cost of a NPP is below or competitive with any other electricity source, and the lifetime cost, including construction, is likewise positioned especially considering operation beyond an initial 40-year license. This was verified April 8, 2007, when Georgia Power Co. signed an EPC contract with Westinghouse and Shaw Group for two AP-1000 NPPs; it was further verified May 27, 2007, when South Carolina Electric & Gas also signed an EPC contract with Westinghouse and Shaw Group for two AP-1000 NPPs.

The fourth near-term challenge is the regulatory uncertainty associated with licensing a new NPP. The U.S. NRC has revised and streamlined its licensing process since the last U.S. NPPs were licensed. Under the new process the regulatory approval to construct and to operate a new NPP is issued based on an already-approved design (previously certified by the NRC) before construction is begun and significant expenditures are made. Thus, outrageous cost escalations which were experienced during regulatory delays in issuing an operating license following construction of many current U.S. NPPs should be precluded. However, the process is untested. Positive experience with the first several applications, including satisfactory public involvement, is required to build confidence and to reduce the level of uncertainty.

Three other longer-term challenges must be considered. First, NPPs must continue to be operated with the excellent safety record that has been demonstrated during the past two decades in order to maintain public confidence. Second, a long-term method of disposing of highly radioactive waste must be implemented. Third, security must be adequate to preclude diversion of materials that could be turned into nuclear weapons (so-called “proliferation”). The fact that the first of these challenges, operating safety, underlies all other

⁵⁾These provisions are not unique to new NPPs, and similar ones are available to other projects that reduce greenhouse gas emissions.

considerations of nuclear power is widely acknowledged in the nuclear industry. The second and third of these challenges are closely related.

The form and volume of highly radioactive waste can be made much easier to dispose of by extracting it from used nuclear fuel by reprocessing. Reprocessing also allows the remaining nuclear fuel to be recycled to obtain its residual energy content (about two-thirds after its initial operation in a current NPP). During reprocessing security must be adequate to preclude materials diversion; currently this is accomplished using physical deterrents (frequently referred to as “guns, gates, and guards”). Outside the U.S. reprocessing and recycling of commercial nuclear fuel are conducted by France, England, Japan, and Russia for both their own NPPs and under contract for other countries NPPs. China has reprocessing/recycling facilities under construction. Although the U.S. formerly had such facilities, none currently exist at commercial scale.

The U.S. federal government, in response to the 1982 Nuclear Waste Policy Act, selected a deep geologic repository at Yucca Mountain in Nevada for disposal of highly radioactive waste from commercial NPPs. (Highly radioactive waste from defense facilities is disposed of in the Waste Isolation Pilot Project in New Mexico which has been operating successfully for eight years.) On June 3, 2008, the Department of Energy (DOE) submitted to NRC an application to operate the Yucca Mountain repository. Initial operation is forecast to begin as early as 2017. Currently, essentially all used nuclear fuel is securely stored at NPP sites either in spent fuel storage pools or in above-ground, dry casks.

Although the Yucca Mountain repository is currently designed to dispose of used nuclear fuel transferred directly from NPPs, it would be more efficient to reprocess the used fuel and to dispose of only the relatively low volume of highly radioactive waste in the repository. Furthermore, the used nuclear fuel from NPPs is increasingly being recognized as a valuable future asset for retrieval of its residual energy value. These conclusions are becoming widely accepted in the U.S. as they are already elsewhere in the world.

The U.S. DOE is also developing reprocessing and recycling methods which would be inherently proliferation-proof. Under the Advanced Fuel Cycle Initiative the DOE has developed methods in which elements, such as plutonium, which would be potentially attractive for diversion, are always combined with other elements which would make them useless for nuclear weapons. The results of this initiative are now a cornerstone of the Global Nuclear Energy Partnership under which the U.S. and other countries which currently have reprocessing/recycling capability would provide this service to the rest of the world thus reducing the volume of highly radioactive waste, recovering residual energy content of used nuclear fuel, and establishing security against proliferation.

Looking to the future beyond ALWRs, the DOE is leading an international program involving ten countries to design the next generation, called Generation IV, of NPPs. The design objectives of these NPPs include improved economics, safety, and security. Improved economics are expected due to much higher operating temperatures (about 1000°C) producing greater thermal efficiency. Safety is expected to be increased using melt-down proof materials (in some designs). Security is expected to be improved using proliferation-resistant fuels and fuel reprocessing/recycling methods. In addition, the Generation IV reactors include breeder reactor designs that produce more fuel than they consume. Clearly, whether any of these designs is ever considered for commercial application depends on the success of the renaissance which is beginning today with ALWRs.

The American Nuclear Society (ANS) congratulates the Atomic Energy Society of Japan (AESJ) on its 50th anniversary. ANS recognizes the very significant leadership role that AESJ provides in development and application of nuclear science, engineering, and technology both in Japan and worldwide. ANS is a not-for-profit, international, scientific and educational organization composed of approximately 11,000 engineers, scientists, administrators, and educators representing 1,600 plus corporations, educational institutions, and government agencies. Its professional, educational, and outreach activities are conducted through eighteen technical divisions with a wide range of technical focus including nuclear power operations, nuclear installations safety, environmental sciences, biology and medicine, robotics and remote systems, human factors, accelerator applications, fusion energy, and aerospace nuclear sciences. (2008年 12月20日 記)

祝辞 Congratulations

On behalf of the Chinese Nuclear Society, I would like to extend to the Atomic Energy Society of Japan and its members our warmest congratulations for the celebration of the 50th founding anniversary of the AESJ.

In the past 50 years, the AESJ unites the colleagues in the field of nuclear science and technology in Japan, contributes much in academic exchange, scientific journal publication, human resource training, public communication, and so on. Those accomplishments have been widely recognized both in Japan and abroad, the AESJ is a world-wide famous society in the international nuclear enterprise.

Through long and tremendous efforts of scientists and engineers, atomic energy has played a more and more important role in our life, and we are confident it will contribute more for the mankind harmonious future. To meet the requirement of energy demand and environment protection, China has set the policy to develop the nuclear energy actively as an adjustment to the present energy infrastructure.

As the AESJ and CNS are agreement societies, let us strengthen our cooperation and sharing to advance the nuclear science and technology for a better peaceful use. Wish AESJ further success and reputation!

(2009年 1月20日 記)



李冠興氏

Dr. Guanxing Li

中国核学会会長

精華大学物理工学科卒業，中国核工業集团公司(CNNC)を経て，中国工學アカデミー会員，中核北方核燃料元件有限公司(CNNFC)名誉ディレクター。核燃料加工が専門。



広島県・宮島の桜

50周年企画記事

次世代軽水炉開発の構想と展開

世界標準を獲得し得る次期軽水炉開発の経緯と現状

(財)エネルギー総合工学研究所 都筑和泰, 笠井 滋,
日立 GE ニュークリアエナジー(株) 守屋公三明,
三菱重工業(株) 鈴木成光, (株)東芝 新井健司

2006年の総合エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会報告(原子力立国計画)などにおいて、2030年以降に発生すると予想される代替需要に備えるため、「次世代軽水炉を開発すべきである」ということが指摘されてきた。これを踏まえ、2006～2007年度にはフィージビリティスタディ(FS)を実施し、2008年4月には、(財)エネルギー総合工学研究所を中核機関として実際の開発に着手した。現在、「世界最高水準の安全性と経済性を有し、社会に受け入れられやすく、現場に優しい、国際標準プラント」の実現に向け、技術開発を推進している。

I. 開発の背景

原子力は、エネルギーセキュリティや二酸化炭素排出削減の観点から有望なエネルギーであり、世界的にも「原子力カルネッサンス」とよばれる再評価が進められている。米国においては、スリーマイル島原発事故以来30年ぶりの新設計画として、約30件の一括許認可手続が計画・進行中である。EUにおいても、フィンランドで5基目の原子炉が建設中、フランスで1基新規建設中など、原子力政策見直しの動きが広まってきている。また、ロシア、中国、インドにおいては、数10基に及ぶ大規模な新設計画が発表されている。

原子力は我が国においても重要なエネルギー源であり、現在55基の原子力発電プラントが稼働し、電力の約30%を担っている。2005年10月に閣議決定された原子力政策大綱においては、「2030年以後も総発電電力量の30～40%程度以上の供給割合を原子力発電が担うことを目指す」というように、今後も原子力を維持、発展させていく方針が示されている。

しかしながら、現在稼働中の炉の多くは1970年代～1980年代に建設されたものであり、その後、新規建設は低迷している。それに伴って、原子力関係の研究費や技術者数は減少してきている。一方、2030年前後からは、

現在稼働中の原子力発電所の運転終了に伴い、大規模な代替建設需要が発生する見込みである。当面の低迷期を乗り越えて、大規模な代替建設時期まで原子力分野の技術・産業・人材の厚みを維持・発展させていくことが重要な課題である。

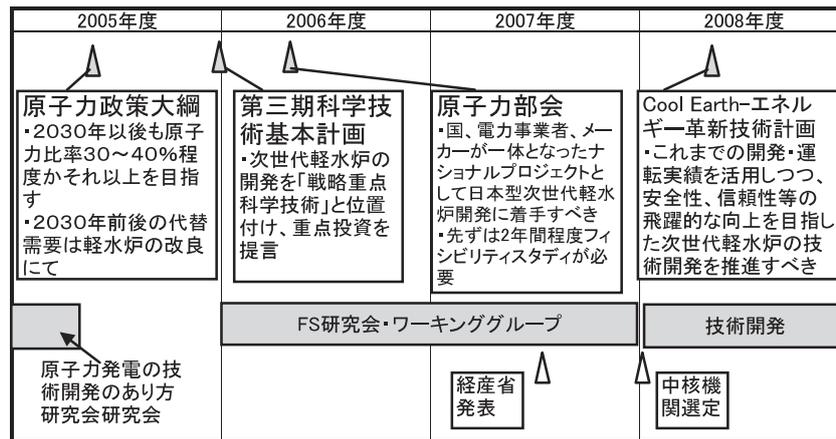
II. 次世代軽水炉開発の検討経緯

以上の状況を踏まえ、次世代軽水炉の開発に係る提言・検討が行われてきている。第1図の上半分にその代表的なものを示す。図中に示すとおり、原子力技術を維持・発展させていくため、次世代軽水炉開発に取り組むべきであることが提言されてきている。

これらの提言を背景として、具体的な検討が進められてきた。その概要を第1図の下半分に示す。まず「原子力発電の技術開発のあり方研究会」で、原子力技術開発における課題と対応の基本的方向が示され、「次世代軽水炉FS研究会・次世代軽水炉開発ワーキンググループ」においては、(財)エネルギー総合工学研究所を事務局として、次世代軽水炉のプラント概念、開発すべき要素技術、国、電気事業者、メーカの役割などが検討された。

これらの検討を経て、経済産業省は、2007年9月、関係者間(国、電気事業者、メーカ)で合意のもと、国、電気事業者、メーカの三者が一体となったプロジェクトとして、次世代軽水炉の開発を進めることを発表した。2008年3月には、経済産業省より次世代軽水炉等技術開発補助事業の公募があり、(財)エネルギー総合工学研究所が中核機関として選定され、プラントメーカ3社(日立GE

Development of Next Generation Light Water Reactor toward World Standard: Kazuhiro TSUZUKI, Sigeru KASAI, Kumiaki MORIYA, Sigemitsu SUZUKI, Kenji ARAI.
(2008年10月22日受理)



第1図 次世代軽水炉に関する提言と検討

ニュークリアエナジー(株)、三菱重工(株)、(株)東芝と一体となって技術開発を推進している。

Ⅲ. プラントのコンセプト

次世代軽水炉が世界標準を獲得していくためには、国内外の電力要件に対応した安全性、経済性の高いプラントであることが大前提である。また、市場投入時期が2030年頃であることを考慮すると、その性能は最新の炉(ABWR, APWR, AP1000, EPRなど)を十分に凌駕することは当然として、2030年頃に想定される他プラントとも競合できることが必要である。そこで、前述のフィジビリティスタディにおいて、国内電力要件の検討、海外炉の比較検討などを実施し、プラントコンセプトを検討した。

その結果、次世代軽水炉のコンセプトを「2030年頃に世界最高水準の安全性と経済性を有し、社会に受け入れられやすく、現場に優しい、国際標準プラント」と設定した。

Ⅳ. プラントコンセプトを実現するための技術開発項目(コアコンセプト)

フィジビリティスタディにおいては、前章で示したコンセプトの実現に向け、具体的な要件を設定するとともに技術シーズの検討を行った。その結果、当面の課題として下記の6つの技術開発項目(コアコンセプト)を抽

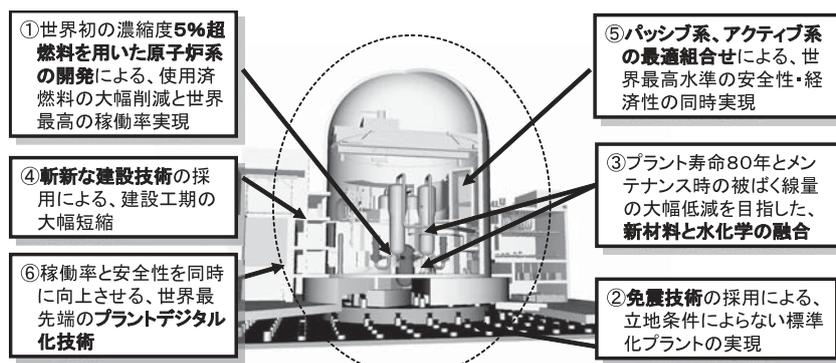
出した(第2図)。

①世界初の濃縮度5%超燃料を用いた原子炉系の開発による使用済燃料の大幅削減と世界最高の稼働率実現

原子炉の経済性を向上させるためには、設備利用率を向上させることが重要である。次世代軽水炉においては、長期運転サイクル(13→24ヶ月)の実現により、燃料取替の頻度を現行の約半分に低減し、世界最高水準の稼働率を実現(現行70～80%台→目標97%)することを目指している。

長期サイクル運転を効率的、経済的に実施するため、濃縮度5%超燃料を採用して、燃焼度を現行の50 GWd/t程度から70 GWd/t程度まで上げるとともに、使用済燃料の発生量を約3～4割低減する。濃縮度5%超燃料は、商用としてはまだ世界的に実現はしていない。次世代軽水炉開発においては、世界に先駆けて濃縮度5%を超える燃料を導入し、使用済燃料の大幅削減と世界最高の稼働率を実現するとともに、燃料分野においても世界をリードしていく。

さらに、現行の軽水炉用燃料の被覆管は、濃縮度5%未満の燃料での取出平均燃焼度約50 GWd/tを想定した性能に留まっている。このため、濃縮度の向上にあわせて、取出平均燃焼度70 GWd/tにも対応できる、高い耐腐食性・耐放射線性を有する革新的材料の開発も併せて実施する計画である。



第2図 プラントのコアコンセプト(設計イメージの一例)

②免震技術の採用による立地条件によらない標準化プラントの実現

現行の軽水炉プラントの耐震設計では、立地条件に応じて個別の設計が必要であり、このためにプラント設計(特に強度設計)の標準化が妨げられているとともに、建設コストの増加を招くこともある。

次世代軽水炉では、免震技術の採用により、国内プラントの標準化を進めるとともに、海外の地震地域向けにも高い競争力を確保することを目標としている。また、建屋や機器の簡素化(コスト低減)、設計想定を超えるような地震に対する安全裕度の拡大(安全性向上)も目標としている(第3図)。

③プラント寿命80年とメンテナンス時の被ばく線量の大幅低減を目指した、新材料開発と水化学の融合

次世代軽水炉では、プラント寿命を現行(40~60年程度)から80年にまで大幅に伸ばすことと、メンテナンス時の被ばく線量を大幅に低減することを目標としている。80年という長期間にわたり、中性子照射・高温水による腐食など厳しい条件下において部材の健全性を確保・向上していくため、新材料を開発するとともに、水質制御や材料表面制御を総合的に最適化していく。

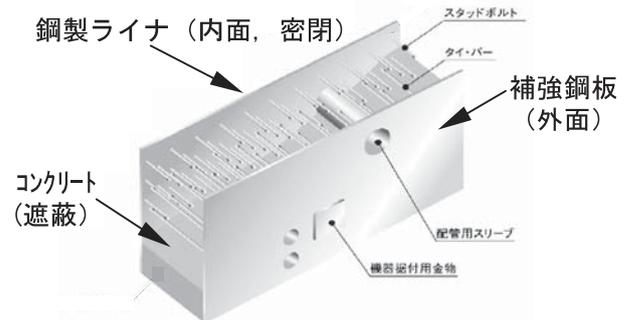
④斬新な建設技術の採用による建設工期の大幅短縮

次世代軽水炉の競争力を高めるためには、短い建設工期で確実にプラントを建設できるということが重要である。次世代軽水炉においては、SC(Steel Plate Reinforced Concrete: 鋼板コンクリート)構造や、あらかじめ工場で配管や機器類を組み込んだ大型ブロックモジュール工法の採用拡大を図ることにより、現場での建築工事、配管工事や機電据付作業を大幅に削減することで、現行の50ヶ月程度を大幅に短縮することを目指している。ここで、SC構造とは、第4図に示すように、モジュール工法によって組み上げた鋼板の強度部材にコンクリートを流し込む工法である。鉄筋コンクリート構造で建設時間のかかる、鉄筋の施工工事、コンクリートの型枠設置・撤去が不要になるため、現地工事の物量削減、建設工期短縮が可能となる。特に次世代軽水炉においては、SC構造を現状の建設のクリティカルパスである格納容器に



一般建築への適用例

第3図 免震装置の適用例



第4図 SC構造のモジュール模式図

も適用することにより、大幅な工期短縮を目指している。

⑤パッシブ系、アクティブ系の最適組合せによる世界最高水準の安全性・経済性の同時実現

次世代軽水炉では、世界最高水準の安全性を有するABWR, APWRと同等以上の安全性(事故発生確率がこれらを下回ることを確保しつつ、2030年頃の実用化にふさわしい高い経済性を実現することを目指す。これまでの運転実績から強みを有するアクティブ系設備(ポンプなど動的機器を用いた系統)とパッシブ系設備(重力や沸騰現象などの自然力を活用した系統)を適切に組み合わせ、安全性、建設コスト・保守性の大幅改善、信頼性を全て兼ね備えた新システムを構築する。

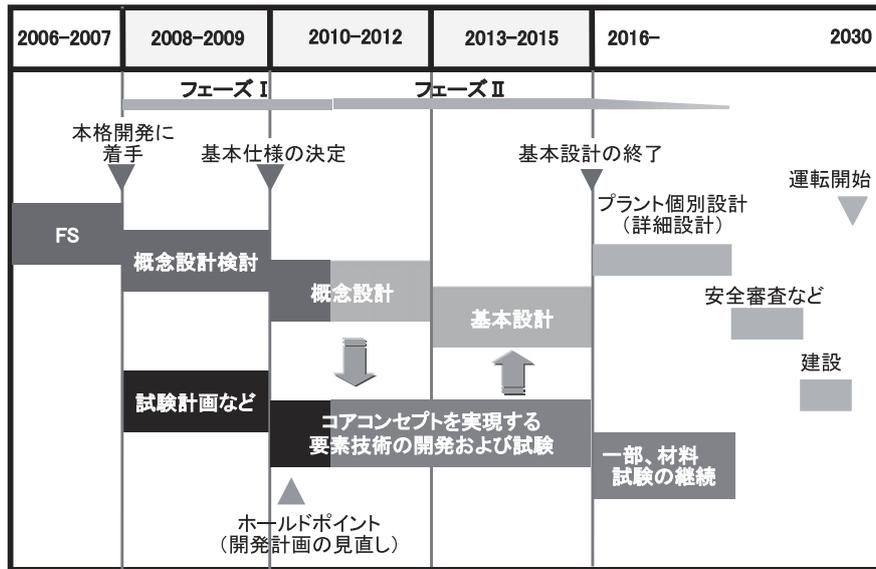
⑥稼働率と安全性を同時に向上させる、世界最先端のプラントデジタル化技術

安全性、信頼性、保守性などを向上させるためには、プラント機器・材料などハードウェアに係る技術開発だけでなく、プラント管理などのソフトウェア面の整備も重要である。次世代軽水炉開発においては、センサ・モニタリング技術、情報分析・評価技術、情報提供技術、情報伝送技術、情報セキュリティ技術など、デジタル化に係る先進の技術を活用することにより、プラントを統合的に管理するシステムを構築し、ヒューマンエラーの低減、保守物量の削減、稼働率の向上を目指す。

V. 開発体制と開発の現状

II章でも述べたとおり、2008年4月、次世代軽水炉開発等技術開発補助事業の中核機関として(財)エネルギー総合工学研究所が選定され、プラントメカ3社が参画して技術開発を推進している。また、一部の開発は燃料メカ、ゼネコンなどとも協力して実施している。開発スケジュールの概要を第5図に示す。開発期間は8年間とし、この時点で基本設計を完了させることを目標とする。その後、照射試験など長期間要する試験を継続して実施するとともに、詳細設計、サイト固有設計を進め、2030年の実用化を目指す。

実規模での試験や照射試験は多くの時間と費用を要することを考慮し、最初の2~3年間では各技術の成立性を評価するための基礎試験、およびそれらを統合する



第5図 全体スケジュール

概念設計検討を実施する。そして、3年目に成果や進捗状況を多面的かつ総合的に評価して、同年以降の開発計画への反映・見直しを検討する(以下ホールドポイントとする)。こうすることで、重要な開発項目に適切に投資することが可能となる。

以下、コアコンセプトごとに2010年までの具体的な開発内容を紹介する。

(1) 濃縮度5%超燃料を用いた原子炉系の開発

使用済み燃料の大幅削減と世界最高の稼働率実現のためには、濃縮度5%を超える燃料の採用が必要であるが、世界的にもまだ実用化されていない。そこで、本格的な開発に先立って、まずその成立性・有効性を確認することが必要である。想定される課題としては、炉心設計への影響、燃料材料の健全性、各燃料サイクル施設への影響評価、見直しが必要な規制項目の整理と関係機関との調整などが挙げられる。

本事業においては、最初の2年で濃縮度5%超燃料導入の影響を定量的に評価し、導入に際して解決困難な技術課題がないこと、導入のメリットが十分あることを確認する。また、濃縮度5%超燃料導入にあたっては、現行のインフラや、規制との関係を整理する必要がある。見直しが必要な規制や規格・基準等を整理・検討の上、関係機関と調整を進めていく。

燃料被覆管材料については、次世代軽水炉の性能を十分に発揮するため、より高性能の新材料開発に早期に着手する。最初の2年間では有望な候補材に対して炉外試験を実施し、ホールドポイントまでに、その後の試験に供する最適な候補材を選定する。その後、選定された候補材に対して、照射試験などを実施する。

(2) 免震装置の開発

免震装置は一般の建物にはすでに多くの実績があり、原子力分野においては、電気協会(JEAG-4614)にて設

計基準がまとめられている。一方、現状では、2006年9月の「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」改訂により、水平・鉛直の同時入力の影響評価、「残余のリスク^{a)}」に関する定量的な評価など、これまでは求められていない評価が必要になっている。

2010年度までは、上記指針に対応するための基礎データの取得を進めるとともに、免震装置導入のコスト削減効果、安全裕度向上効果などを評価することで、免震装置導入の有効性を示す。その後は、実規模でのデータ取得などを進めるとともに、これに基づく規制高度化を進める。

(3) 材料・水化学の開発

プラントの寿命80年を通じて稼働率97%を達成するためには大型改造工事を低減する必要がある。

現行プラントの寿命延長を想定した場合、BWRにおいては、炉内構造材の応力腐食割れ(SCC, IASCC)が主な課題となり、PWRにおいては、蒸気発生器伝熱管の材料開発の2次側の耐食性が課題となる。そこで、次世代軽水炉開発においては、現行材よりも応力腐食割れや耐食性を改善した新材料の開発を進めるとともに、水質の最適化を進める計画である。さらに、被ばく低減の観点から、溶出物の低減や水質浄化系の改善にも取り組む。

(4) 斬新な建設工法(SC構造)の開発

格納容器は事故時に放射性物質を閉じ込める機能を確保するため、高い信頼性が要求される。格納容器内は事故時(LOCA)に高温高圧になり、次世代軽水炉のような静的安全系を用いた場合には、それが長時間続くことも想定される。したがって、格納容器をSC構造とした場合、表面の鋼板が熱膨張することによる座屈の発生や、

^{a)}策定された地震動を上回る地震動の影響が施設に及ぶことにより、施設に重大な損傷が発生すること、あるいはそれらの結果として周辺公衆に対して放射線被ばくによる災害を及ぼすことリスク。

コンクリートの劣化が技術課題となる。そこで、SC 格納容器の、事故時の高温・高圧状態および事故中/事故後の地震に対する健全性を評価する必要がある。ホールドポイントまでは、SC 試験体を加熱したり、高温下でせん断力を加えたりすることにより、事故や地震に対する健全性を予備的に評価し、SC 構造格納容器の成立性を見極める。その後は、実機に近い規模・形状にて試験を進めるとともに解析手法を確立し、設計に必要なデータを蓄積し、設計建設規格としてまとめていく。

(5) 安全システムの開発

アクティブ系、パッシブ系を適切に組み合わせ、簡素な設備・機器数で現在と同等以上の性能を確保する安全システムの検討を行う。検討した安全システムについて、炉心損傷頻度、格納容器破損頻度、経済性などの目標達成度を評価する。この検討結果は概念設計検討に反映する。ホールドポイント後は、検討された安全システム実現に必要なシーズ技術について、システム全体の有効性確認試験を中心とした研究開発を進めていく。

(6) プラントデジタル化の開発

原子力発電プラントに係る多種・多数の情報は、設計・製作(プラントメーカー主体)、運転・保守(電気事業者主体)などの各段階では個別にデータベース化が進められており、それらのおのおのを活用したシステムの開発が進められている。しかし、プラント安全性・信頼性を確保しながら、プラントトータルライフにわたる運用を高度化していくためには、プラントの設計、製作、建設、運転、保守、廃炉までのトータルライフに係る情報をプラントメーカーおよび電気事業者間で共有・一元管理し、先進のデジタル技術を用いて利用するシステムの開発が必要である。

プラントデジタル化技術の開発では、この実現のため、トータルライフにわたる業務プロセスとそこで使用されている情報・データを分析整理し、デジタル化技術の活用が有効なニーズを抽出する。一方、デジタル化に関する先進のシーズ技術を調査し、2030年を見据えて、プラント総合データベースを核としたトータルマネジメントシステムの全体概念を構築する。

さらに、例えば、保守物量低減のための保守支援システム、運転員のヒューマンエラー防止のための運転支援システムなどのサブシステムについて概念設計を実施し、この結果を踏まえて、システム実現に必要な新たなシーズ技術の開発、検証を進める計画である。

Ⅵ. 規格・基準などの基盤整備

次世代軽水炉は、世界標準を獲得し得る高い革新性を有する技術をベースとしており、開発と一体的に必要な規格・基準を整備する必要がある。

フィージビリティスタディにおいては、次世代軽水炉の目標を達成するために、今後、安全当局との調整が必

要な項目を抽出中である。下記にその一例を示す。

- (1) ウラン濃縮度5%を超える燃料の導入
- (2) パッシブ安全系の適用
- (3) 建屋免震設計の適用
- (4) SC 構造の格納容器への適用

これらの項目については、関連する規格・基準の整備、関係機関との調整を行い、ロードマップとしてまとめていく。その際、国際展開戦略にも留意する。

Ⅶ. まとめ

軽水炉としては第3次改良標準化計画以来、約20年ぶりの軽水炉開発プロジェクトとして、次世代軽水炉開発に着手したところである。コアコンセプトとして選定した技術開発は、いずれも世界で勝つことのできる高い目標であり、今後、これらの技術開発を着実に推進することで、世界標準を獲得し得るプラントの構築を進めるとともに、その過程で日本の原子力技術の維持・発展に貢献していく所存である。

著者紹介

都筑和泰(つづき・かずひろ)



(財)エネルギー総合工学研究所
(専門分野/関心分野)エネルギー工学，原子力工学

笠井 滋(かさい・しげる)



(財)エネルギー総合工学研究所
(専門分野/関心分野)炉心燃料設計，プラント安全設計

守屋公三明(もりや・くみあき)



日立 GE ニュークリアエナジー(株)
(専門分野/関心分野)次世代エネルギー技術開発，原子力プラント安全設計，熱流動

鈴木成光(すずき・しげみつ)



三菱重工業(株)
(専門分野/関心分野)軽水炉，高速炉や原子燃料などの原子力関連技術の開発，新設プラント商談の推進

新井健司(あらい・けんじ)



(株)東芝
(専門分野/関心分野)原子炉熱流動，システム設計

50周年企画記事

次世代原子炉と燃料サイクル研究開発

実用化に向けた FBR サイクル開発の推進

日本原子力研究開発機構 永田 敬，一宮正和，
船坂英之，水田俊治，名倉文則

高速増殖炉(FBR)サイクルは、限りあるウラン資源を有効利用し、地球環境保全にも適合し、持続的な社会を支える枢要技術である。この技術の基盤となる次世代原子炉とサイクル研究開発について、これまでの経緯、開発の現状および今後の展望について紹介する。

I. 開発の意義

エネルギー資源の乏しい我が国において、発電しながら消費した燃料以上の燃料を生み出すことのできるFBRの開発に取り組むことは、我が国のエネルギー安定供給に大きく貢献する。FBRを利用し、核燃料のリサイクルシステム(FBRサイクル)を構築することで、軽水炉サイクルに比べてウラン資源の大幅な有効活用が図れ、現在把握されている利用可能なウラン資源だけでも数百年以上にわたって原子力エネルギーとして利用できる。

世界的にも、ここ数年、原油価格の高騰やエネルギー安全保障、地球環境問題に関する懸念の高まりから、これに対処するための手段として、原子力エネルギーに関心を示す国が増大し、その価値が見直される傾向にある¹⁾。2008年7月に開催された北海道洞爺湖サミットでは、日本の提案により、原子力エネルギーの利用拡大に向け、「3Sに立脚した原子力エネルギー基盤整備に関する国際イニシアティブ」を進めることが合意された。3Sとは、核不拡散/保障措置(non-proliferation/safeguards)、原子力安全(safety)および核セキュリティ(security)のことである。また、国際エネルギー機関(IEA)によるG8北海道洞爺湖サミットへの報告書では、温室効果ガスの削減のために、原子力エネルギーの利用拡大が大きく貢献し得ると報告されている。

Research and Development on Next-generation Reactor and Related Fuel Cycle—Promotion of FBR Cycle Development for Commercialization: Takashi NAGATA, Masakazu ICHIMIYA, Hideyuki FUNASAKA, Shunji MIZUTA, Fuminori NAGURA.

(2008年 9月19日 受理)

II. FBR サイクル導入について

FBRは原子炉の種類のひとつであるが、軽水炉と異なり、核分裂反応時に発生する高速の中性子を減速せずにそのまま利用する。この高速の中性子でプルトニウムを核分裂させた場合、核分裂と同時に発生する中性子の数は軽水炉の場合よりも多い。この特徴を活かせば、核分裂エネルギーを取り出しながら、そのままでは核分裂させにくいウラン238をプルトニウムに変換し、核燃料を増殖することが可能になる。そのため、FBRサイクルを構築し、何度もリサイクルすることで、軽水炉からFBRへの移行に必要なプルトニウムを確保しつつ、核分裂し難いウラン238の持つ潜在的なエネルギーを最大限利用し、エネルギー資源の利用効率を飛躍的に高めることができる。

また、FBRは、高い内部転換率と燃料中に蓄積する核分裂生成物(FP)等の核分裂反応への影響が小さいため、FPがある程度蓄積しても長期間の燃焼が可能となり、燃料重量あたりに取り出せるエネルギーが多くなる。現状では高レベル放射性廃棄物としてFPとともに地層処分される予定のマイナーアクチニド(MA)も核分裂させることができるため、FBRサイクルでMAをリサイクルすることで、高レベル放射性廃棄物の発生量を低減できる。

FBRサイクルは、これらの特長から、エネルギーの安定供給、地球環境との調和の取れた発展への貢献が期待され、「環境と経済の両立」等の政策目標の達成に貢献できる技術である。このため、国は2006年3月に定めた第三期科学技術基本計画において、FBRサイクル技術を国家基幹技術の一つに指定し、今後、わが国の総力をあげて推進することとしている²⁾。

Ⅲ. FBR サイクルの実用化戦略調査研究

1997年12月の原子力委員会「高速増殖炉懇談会」の報告等を踏まえ、日本原子力研究開発機構(原子力機構)と電気事業者は、電力中央研究所、メーカ等の協力を得て、1999年7月から『高速増殖炉サイクルの適切な実用化像とそこに至るまでの研究開発計画を2015年頃に提示する』ことを目的とした「FBR サイクル実用化戦略調査研究(FS)」を開始した。

FSは段階に分けて実施され、革新技術を採用した幅広い技術的選択肢の検討評価を行い、有望な実用化候補概念を抽出するフェーズⅠと、引き続き、工学的試験等を踏まえて、複数の実用化候補概念の絞込みを行って実用化に向けて、今後開発すべき技術に対する必須の研究テーマを特定するフェーズⅡで構成された。

フェーズⅠ(1999～2000年度)では、FBRサイクルに対する5つの開発目標(安全性、経済性、環境負荷低減性、資源有効利用性、核拡散抵抗性)と各システムに対する設計要求の策定を行うとともに、これまでの国内外での研究開発の蓄積を活用した技術的選択肢の幅広いサーベイと革新的技術の導入を図り、FBRシステムおよび燃料サイクルシステム(再処理システムと燃料製造システムをいう)の概念検討を行い、有望な実用化候補概念の抽出を行った。

これを受け、フェーズⅡ(2001～2005年度)では候補概念の成立性に係る要素研究や解析とそれらに基づく設計検討を行い、各概念が持つ能力を最大限に引き出すことが可能なFBRサイクルシステム概念を構築した。

FBRシステムと燃料サイクルシステムの有望な概念の検討結果を踏まえて、「酸化燃料を用いたナトリウム冷却FBR」、ピューレックス法の簡素化を図りMA回収も行う「先進湿式法再処理」、燃料粉末の取扱いを改善し遠隔操作により燃料を製造する「簡素化ペレット法燃料製造」の組合せが、前述した5つの開発目標への適合可能性が高く、技術的実現性の面でも有望であると評価し、総合的に最も優れた概念であるとした。

Ⅳ. FBR サイクルの実用化戦略調査研究からFBRサイクル実用化研究開発へ

国は原子力機構がまとめたFBRサイクルの実用化調査研究結果を評価し、「ナトリウム冷却FBR」、「先進湿式法再処理」、「簡素化ペレット法燃料製造」の組合せを実現性が最も高い実用化に際しての主概念とした。また、原子力委員会による「高速増殖炉サイクル技術の今後10年程度の間における研究開発に関する基本方針」に基づき、「もんじゅ」や様々な核燃料サイクル研究開発の施設等を活用し、国際協力を積極的に進め、「実用化に集中した技術開発」に開発の段階を移すべきこととした³⁾。原子力機構はそれまで、FBRサイクル技術の開発

について、将来のゴールを明確にするための戦略的な調査研究を中心に実施してきたが、この国の評価に基づき、「実用化に集中した技術開発」に開発の段階を移すことになったことで、「FBRサイクルの実用化戦略調査研究」を「FBRサイクル実用化研究開発」に変更し、英名を“Fast Reactor Cycle Technology Development”プロジェクト、通称“FaCT”プロジェクトとした。この“FaCT”には、要素技術に裏打ちされた開発によって、「概念」を「事実」へと具体化していくとの想いが込められている。

FaCTプロジェクトではFBRサイクルの実用化像に対して基本的な開発目標を定め、設計要求へ展開し、これらを具体化するべく設計や研究開発を進めている。開発目標は、「安全性および信頼性」、「経済性」、「持続可能性」、「核不拡散性」の4つの観点について定めたものであり、さらに「持続可能性」の下に、環境保全性、廃棄物管理性、資源有効利用性の3つの指標を組み込んでいる(第1表)。FSの設計要求では、異なる概念間での比較を可能とするため、開発レベルの異なるものを一律に評価できるような指標設定を行った。しかし、これらの開発目標を設計要求へ展開するにあたり、FaCTプロジェクトでは、FBR、再処理、燃料製造についてのおのおの主概念を定めて、実用化することに焦点を絞った開発を行うため、設計要求は当該システムの特長を十分に引き出せるように、より具体的な要求を掲げることにしている。

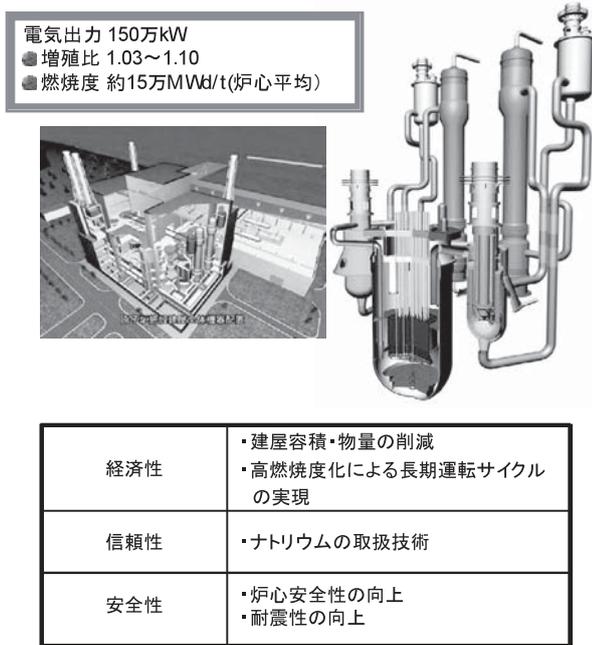
次にFaCTプロジェクトで進めている開発課題について説明する

V. ナトリウム冷却炉FBR技術に係る開発課題

FaCTプロジェクトにおける炉システムでは、実証すべき革新的技術の研究開発を進め、FBRシステムの概念設計を構築することを目指している。これらの課題は、大きくは経済性向上に係る課題、信頼性向上に係る

第1表 FaCTにおけるFBRサイクルの開発目標

開発目標の指標		開発目標
安全性及び信頼性		<ul style="list-style-type: none"> 次世代軽水炉及び関連するサイクル施設と同等の安全性の確保 次世代軽水炉及び関連するサイクル施設と同等の信頼性の確保
経済性		<ul style="list-style-type: none"> 発電原価 投資リスク 外部コスト
持続可能性	環境保全性	<ul style="list-style-type: none"> 平常時の放射線の影響 環境移行物質の抑制
	廃棄物管理性	<ul style="list-style-type: none"> 廃棄物の発生量の低減 廃棄物の質の向上(廃棄物の形態と性状の把握性など) 潜在的有害度の低減
	資源有効利用性	<ul style="list-style-type: none"> 増殖比
核不拡散性		<ul style="list-style-type: none"> 核不拡散 核物質防護のシステム設計と技術開発



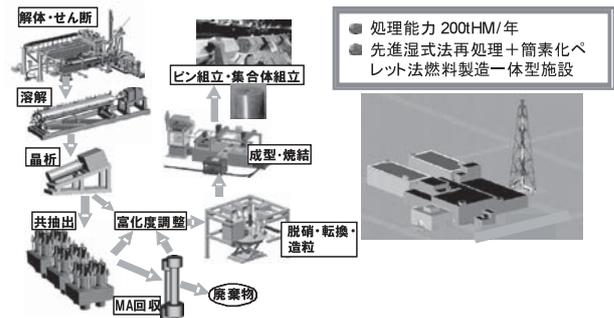
第1図 ナトリウム冷却FBRの概念

課題、安全性向上に係る課題の3グループに分類される(第1図)。経済性向上に係る課題では、建屋容積や物量の低減のために、配管を短縮できる高性能の構造材の開発、システム簡素化のための冷却系2ループ化や1次系ポンプと中間熱交換器の合体、原子炉容器のコンパクト化など、また炉心燃料の高燃焼度化による運転サイクルの長期化を目指した炉心燃料の開発が課題である。これらの課題の中で、「配管短縮のための高クロム鋼の開発」では、蒸気発生器の主要構造である管板や伝熱管の製作性を確認するために、実際に試作を行うことで実機の製作性の見通しを検討している。

信頼性向上に係る課題では、ナトリウム漏洩対策としての配管2重化、直管2重伝熱管を用いた蒸気発生器、保守・補修性を考慮したプラント設計と技術開発等が挙げられる。これらの課題の中で、「保守・補修性を考慮したプラント設計と技術開発」では、不透明なナトリウム中で保守補修を行うために、超音波を利用したナトリウム中目視試験装置の高機能化を要求しており、例えば、目標精度は0.3mmの達成を目指している。安全性向上に向け、受動的炉停止と自然循環による炉心冷却や炉心損傷時の再臨界回避技術、また耐震性向上に向け、大型炉の炉心耐震技術の開発を課題としている。これらの課題の中で、「受動的炉停止と自然循環による炉心冷却」については、1次系全体と相似な1/10縮尺モデルの水試験装置を製作し、自然循環試験による除熱特性を実験的に検証している。

VI. 燃料サイクル技術に係る開発課題

FaCTプロジェクトの燃料サイクルシステムでは、軽水炉サイクルからFBRサイクルへの移行を視野に入れ



経済性	・大型プラント化
環境負荷低減性	・高レベル廃棄物固化体量の削減 ・TRU,高βγ廃棄物量の削減
核拡散抵抗性	・U,Pu,Npの共回収、低除染製品

第2図 燃料サイクルシステム概念

て、先進湿式法による再処理技術および簡素化ペレット法による燃料製造技術の組合せについて研究開発を進めている(第2図)。燃料サイクルシステムについては、システムとして既存の技術にない様々な革新的な技術の採用を目指しており、それらの研究開発でプロセスと機器の両者の成立性を見極める予定である。

1. 先進湿式法再処理

MAをリサイクルする燃料サイクルシステムとして、工程を簡素化した遠隔自動燃料製造法の採用を目指しているため、再処理で高い除染(FPの除去の程度)が必要とならない。この結果、使用済燃料溶解液中のウランの約7割をあらかじめ粗取りする晶析技術の導入により、後工程の処理量を大幅に削減する設備合理化も可能となる。一方、従来の再処理技術にはないMA回収機能を付加する必要がある、経済性の面で一長一短がある。しかし、施設全体では従来型再処理技術を採用した場合と比べ建設費が半減するなど、合理化に寄与する部分の効果が大きい。晶析技術やMA回収技術など革新技術が必要であるが、先進湿式法再処理では、東海再処理施設や六ヶ所再処理工場における多くの湿式法共通の技術的知見を活用できることから、高い確度で技術的実現性を見通すことができる。また、湿式再処理概念を開発の中心としているフランス等との国際協力による技術的実現性の向上も期待できる。

この中で持続可能性、経済性および核不拡散性の向上に関する「晶析技術による効率的なウラン回収システムの開発」では、これまでに照射済み燃料を用いたホット試験により、プルトニウムやFP元素の同伴挙動を把握し、プロセス条件を評価するとともに結晶精製技術の検討にも着手している。

2. 簡素化ペレット法燃料製造

簡素化ペレット法燃料製造では、原料粉末の取扱い工程を大幅に合理化できる一方、MAやFPを含有する原

料を取り扱えるよう、所要の遮へい性能を持つホットセル内に機器・設備を設置し、遠隔で運転、保守・補修する必要はある。

このため、従来の燃料製造技術にはない革新的な機器・設備の開発が必要になるが、基本的な工程操作は従来のペレット燃料製造技術と共通しているため、高い確度で実現性を見通すことができる。

この中で、経済性および核不拡散性の向上に関する「脱硝・転換・造粒一元処理技術の開発」では、プルトニウム富化度を調整するため、現状の送液設備に定量供給槽を追加することで、調整精度の目標値(±2.5%以下)を満足できる見通しを得ている。

Ⅶ. 国際協力

各国は自らの政策として考えるシナリオに基づき研究開発を進めているが、世界と日本とで、開発目標の方向性は一致している。わが国は、FBR サイクル技術の国際標準化も視野に入れ、米仏との協力を中心とした国際協力に取り組んでいる。このような国際協力は研究開発リスクの低減にも効果があると考えられる。

日米仏の3ヵ国協力については、2006年2月に米国エネルギー省が提唱したGNEP構想の中で、同構想の加速を図るための国内外の産業界からの関心表明の募集に対し、同年9月に原子力機構は国内関連各社と連名でJSFR(Japan Sodium Fast Reactor)等の概念を提案した。

この延長上で、中核メーカーに選定された三菱重工業(株)はフランスのアレバ社等と共同で、同省が2007年5月に発表した提案公募(Funding Opportunity Announcement)に対し、わが国の高速炉概念を活用した施策を提案し、他の3つのグループの提案とともに採択されている。また、原子力機構とフランス原子力庁は、この三菱重工業等の共同提案チームを技術的に支援する旨の覚書を2007年6月に、締結している⁴⁾。

また、2007年4月、経済産業省、文部科学省および外務省は、米国エネルギー省と日米の2国間でGNEP(Global Nuclear Energy Partnership)に基づく原子力エネルギー研究開発協力、原子力発電所の新規建設支援等について協力を促進することを目的とする「日米原子力エネルギー共同行動計画」に調印した⁵⁾。

この計画に基づき、2007年6月には、米国ワシントンにおいて、第1回日米原子力エネルギー運営委員会やその下に設置された高速炉技術ワーキン

ググループ、サイクル技術ワーキンググループ等が開催され、今後の協力の進め方等が検討されている。

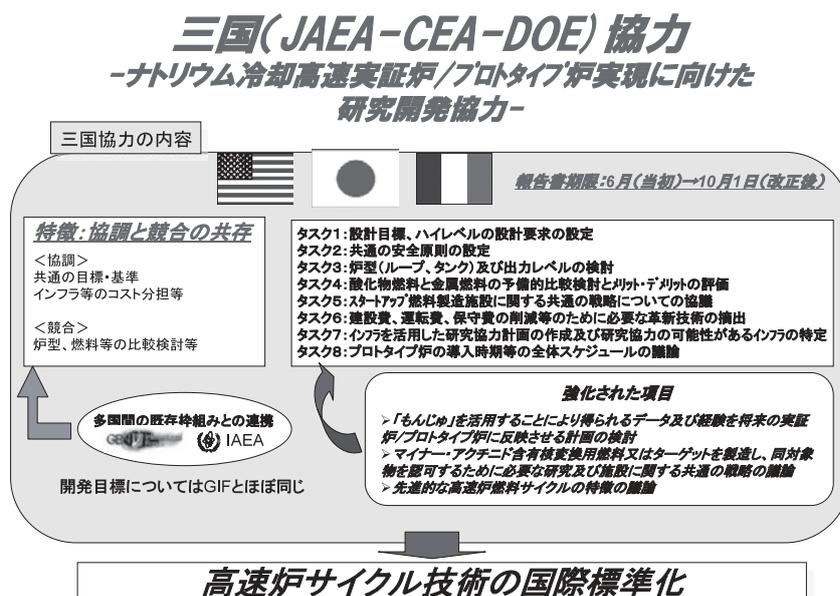
2020年に第4世代原子炉のプロトタイプを運転開始すると宣言しているフランスも加えた日仏米間で、2008年1月、原子力機構、米国エネルギー省、フランス原子力庁の3者は、「ナトリウム冷却高速実証炉の協力に関する覚書」に調印し⁶⁾、高速炉サイクル確立に向け共通の国家戦略を有する3ヵ国が、ナトリウム冷却高速炉の研究開発を相互に調和させ、実用化に向けた研究開発協力を推進することにしている(第3図)。

一方、多国間協力においても、GIF(第4世代原子炉システム国際フォーラム)において、ナトリウム冷却高速炉システムの分野については、フランス、日本、韓国、米国、EUにより研究計画が検討されており、日本は議長国として積極的に計画策定に貢献している。「先進燃料」「機器設計およびバランス・オブ・プラント」、「国際協力実証照射」プロジェクトについてはすでに協力協定が締結され、研究協力を実施中である。

また、国際原子力機関(IAEA)によるINPRO(International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles:革新的原子炉および燃料サイクル国際プロジェクト)については、日本を含む20ヵ国以上の国々が参加して、次世代原子炉システムに関する共通する評価手法の開発をしており、国際的に共通した物差によるFBRサイクルシステム評価に係る認識が共有化されつつある。

Ⅷ. 今後の展望

FBRサイクル実用化研究開発では、これらの研究開発を進め、2010年にその開発成果を評価し、高い確度で



第3図 ナトリウム冷却高速実証炉/プロトタイプ炉実現に向けた日米仏の研究開発協力

の見通しを持って革新技術の採否を判断する予定である。その際に、社会環境の変化や国内外における研究開発の進展に対応し、全体計画の再検討をした上で、採用すると判断した技術の開発をさらに進め、その具体化を図ることとしている。また、革新技術を含むシステム全体としての技術実証のために、実証炉と燃料サイクル実証施設の検討を進めることにしている。

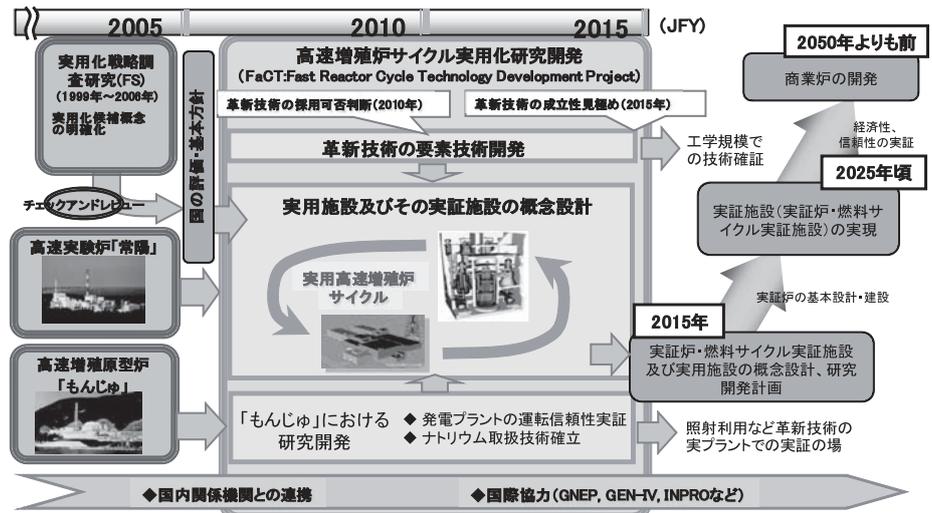
さらに2015年には、高速実験炉「常陽」および高速増殖原型炉「もんじゅ」も活用し、主概念へ

の採用可能性を判断できるところまで具体化させた革新技術を組み合わせ、開発目標・設計要求を満足する実用施設および実証施設の概念設計を研究開発の成果として取りまとめ、FBRサイクルとして適切な実用化像と必要な研究開発計画との明確化を目指している(第4図)。

最後にFBRサイクルの早期実用化にあたっては、FaCTプロジェクトの推進、国内への確実な技術蓄積、国際協力による研究開発リスクの低減がFBRサイクル早期実用化の鍵であり、これらを着実に進めることで、2025年頃に実証炉の運転を開始し2050年以前にFBRサイクルの実用化を図りうるよう研究開発を進めていく。

—参考資料—

- 1) 平成19年度版原子力白書, 原子力委員会, (2007).
- 2) 第3期科学技術基本計画(閣議決定:2006年3月28日).
- 3) 科学技術・学術審議会 研究開発・評価分科会原子力分野の研究開発に関する委員会, 高速増殖炉サイクルの研究開発方針について—「高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズⅡ最終報告書」を受けて, 2006年10月.
- 4) 米国エネルギー省のファンディング・オプチュニティー・アナウンスメント(FOA)に対する三菱重工と仏アレバ社の応募を支援するための覚書: http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/19/11/07111501/001.htm
- 5) 日米原子力エネルギー共同行動計画: <http://www.meti.go.jp/press/20070426001/20070426001.html>
- 6) 日仏米覚書関係: http://www.meti.go.jp/press/20080201008/G_MOU.pdf



第4図 FBRサイクル実用化までのステップとFaCTプロジェクトの概要

著者紹介

永田 敬(ながた・たかし)



日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)原子力構造工学/プロジェクト管理

一宮正和(いちみや・まさかず)



日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)高速炉システム, 高温構造設計/核不拡散, 核燃料サイクル

船坂英之(ふなさか・ひでゆき)



日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)燃料サイクル, 再処理, 燃料製造

水田俊治(みづた・しゅんじ)



日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)炉心材料, 照射効果/ナレッジマネジメント

名倉文則(なぐら・ふみのり)



日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)制御工学/エネルギー戦略, プロジェクト管理

50周年企画記事

原子力の社会的受容性とコミュニケーション

東京大学 木村 浩

わが国において、将来にわたって原子力を継続的に利用していくためには、そのことに対して市民からの納得を得なければならない。本稿では、今までに「原子力の社会的受容性」とひとくりにされてきた課題を、その時系列段階に従って再整理する。また、市民とコミュニケーションする目的として、市民のための「知識の涵養」と、市民からの「信頼の獲得」の2つを示し、どのような点に注意してコミュニケーションすべきなのかを解説する。

I. 原子力の社会的受容性

1. 人びとがあらわす原子力への不安感は社会的受容性の問題ではない

わが国において、将来にわたって原子力エネルギーを継続的に利用していくためには、その社会的受容性が大きな課題となるといわれるようになって久しい。さて、そもそも「原子力の社会的受容性」のどの部分に本当の課題があるのかということは、まず検討すべき大きな問題である。最初にこれを整理したい。

2005年12月に内閣府によって実施された「エネルギーに関する世論調査」¹⁾によれば、「あなたは、今後、我が国の原子力発電について、どのようにお考えですか。」という問いに対して、推進的な意見を回答した者の割合は55.1%であった。また、「現状を維持する」と回答した者の割合は21.7%であった。一方、廃止的な意見を回答した者の割合は17.0%である。つまり、推進的な意見と現状維持の意見をあわせて実に75%以上の回答者が、現在および将来に向けた原子力発電の利用に対して容認の意見を示している。必ずしも一般の人びとは「原子力というものを受け入れがたい」と認識している訳ではないようである。

一方、同調査において、「あなたは、わが国の原子力発電について、どのように感じていますか。」という問いについては、安心側の意見を回答した者の割合が24.8%であるのに対して、不安側の意見を回答した者の割合が65.9%であり、一般の人びとの原子力に対する安心感は決して高いとはいえない。

ここに示したような一般の人びとの原子力に対する認

Public Acceptance and Communication for Efficient Use of Nuclear Energy : Hiroshi KIMURA.

(2008年 12月15日 受理)

識は、他の多くの世論調査・社会調査でも同様に見られるものである。したがって、ごく普通の市民がもっている原子力に対するイメージとは、「原子力は私たちの暮らしにとって必要なのかもしれないけど、何かあれば、やっぱり怖い」というものなのである。普通の市民にとって「原子力」と聞いたときに、「怖い」「不安だ」という感情がわきあがるのはあたりまえのことであって、決して「原子力の社会的受容性が理解されていないから」と単純に理由づけてよいものではない。

さて、内閣府による同世論調査をもう少し詳しく眺めることにする。この調査の中には、原子力エネルギーについてのさまざまな特性を示し、人びとがそれらの特性をどの程度知っているかを調査する質問が含まれている。その回答結果を見ると、「日本の電力の1/3は原子力発電によって賄われている」を知っている回答者が46.8%で最も高く、以下、「原子力発電は、発電の過程で二酸化炭素が排出されず地球温暖化防止に貢献する」35.6%、「使用済みの核燃料から再び燃料として使用できるウラン等を回収(再処理)することによって、ウラン資源の有効利用を図ることができる」34.8%、「燃料のウランは石油などに比べて供給が安定している」30.7%と続く。また「どれも知らない」と答えた者の割合が29.1%である。つまり、一般の人びとは、原子力そのものを受け入れるかどうか判断するとき、原子力エネルギーの特性を十分に理解しているとは必ずしもいえないことも事実である。ここにひとつの課題がみえる。

2. 原子力施設立地に対する NIMBY 感情

原子力の社会的受容性に係わるような問題は、原子力発電所立地に始まり、再処理や高レベル放射性廃棄物の処分など、あらゆるところに生じている。特に、原子力施設の立地に対する人びとの拒絶意識は高い。いわゆる

NIMBY (Not In My BackYard)感情の問題が、原子力の社会的受容性の問題として大きく取り上げられる。

たとえば、筆者が2001年から2002年にかけて実施した調査²⁾によれば、原子力政策に対して賛成した者のうち、自分自身の生活地域に原子力発電所が立地することには反対である者が、実に7割近く(69.3%)にも上った。また、放射性廃棄物処分についても、2007年1月には高知県東洋町が、高レベル放射性廃棄物最終処分地の調査選定に対して、わが国で初めてとなる「応募書」を原子力発電環境整備機構(NUMO)に提出したものの、主には放射能や地層処分に関する住民らの反対感情によって、当時の町長がリコールされ、その後の選挙によって別の町長が当選、結果的に同年4月にはその応募書を取り下げ、調査が具体化するまでには至らなかった。

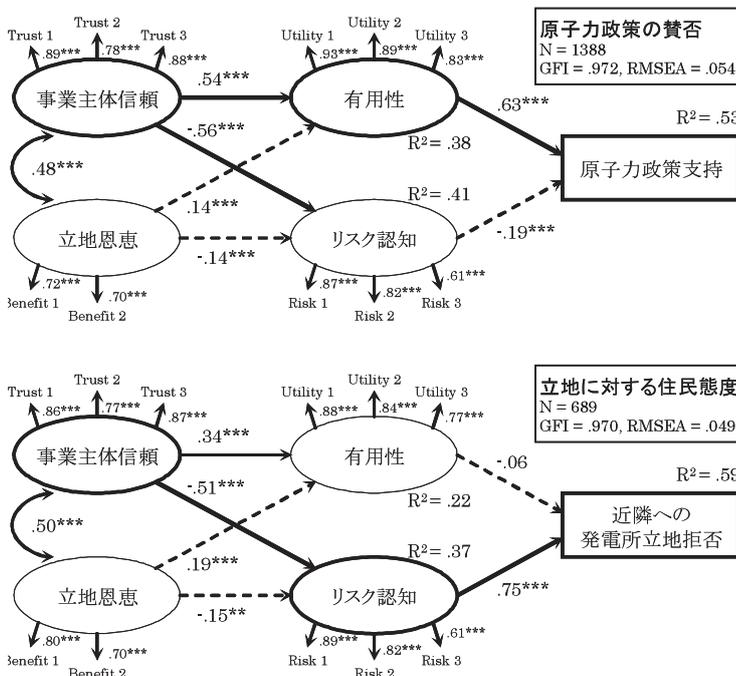
では、なぜNIMBY感情は生じるのだろうか。第1図は、筆者が実施した同調査の結果を、共分散構造分析を用いて分析した結果の一部である³⁾。この分析では、原子力の社会的受容性に係わる判断として、「原子力政策の賛否」という総論的な場面での判断と、「立地に対する住民態度」という近隣立地の場面での判断を取り上げた。一般の人びとがこのように場面の異なる2つの社会的な判断をするときに、原子力に係わるどのような心理的要素が影響するのかを分析している。結果を見ると、「原子力政策の賛否」には原子力発電の「有用性」が、一方、「立地に対する住民態度」には原子力発電所に対する

「リスク認知や不安感」がもっとも大きく影響を及ぼすことがわかる。つまり、社会的判断を求められる場面が異なれば、個々人の判断を決定づける心理的要因はまったく別のものであるのだ。

前節では、普通の市民がもっている原子力のイメージとして、「原子力は私たちの暮らしにとって必要なものかもしれないけど、何かあれば、やっぱり怖い」と表現した。そして、普通の市民が「原子力」と聞いたときに、「怖い」「不安だ」という感情がわきあがるのはあたりまえである。つまり、普通の市民が、原子力の継続利用を容認しながら、しかし近隣への原子力施設立地に対して拒否感情をあらわすのは、「あたりまえ」のことなのである。

だから、原子力に携わっている私たちは、原子力エネルギーをより有効活用できる社会を切り拓いてゆくための一歩として、普通の市民ならば「あたりまえ」の感情から生まれる、この「ややこしい社会的状況」をどうにか乗り越えていかなければならないのだ。

さて、ここでもう一度、第1図を見直してみよう。原子力の社会的受容性に係わる判断に影響を及ぼしていた心理的要素である「有用性」と「リスク認知」には、さらにそれに影響を及ぼす心理的要素である「信頼」が存在する。これは、原子力の社会的受容性に関する判断は、直接的には「有用性」や「リスク認知」という心理的要素によって形作られるが、それらは「信頼」という共通の心理的要素に帰着することを示している。



要因	測定項目
事業主体信頼	Trust1 原子力発電所はしっかりと安全対策をしている
	Trust2 原子力発電所で働く技術者は、発電所の運転をしっかりと行っている
	Trust3 原子力発電所で使用されている機器の安全性は高い
有用性	Utility1 将来の電力使用量を考えると、原子力発電は必要だ
	Utility2 全電力量の1/3をまかなっている原子力発電が、今後も使われるのは当然である
	Utility3 電気の安定供給のためには、原子力発電は必要だ
立地恩恵	Benefit1 原子力発電所周辺の町はいろいろな施設が充実する
	Benefit2 原子力発電所が建設されると、その周辺地域の雇用が増える
リスク認知	Risk1 原子力発電所周辺は放射能汚染が心配だ
	Risk2 原子力発電所の近くで採れた野菜や魚などは食べたくない
	Risk3 原子力発電所で大きな事故が起こるかもしれない、という心配がある
原子力の社会的受容性	原子力政策の賛否：あなたは日本の原子力政策に賛成ですか、反対ですか 立地に対する態度：自分が住んでいる地域に原子力発電所が建設されるのは嫌だ

第1図 原子力の社会的受容性に関する判断を決定する心理的要因(図中において、*p<.05, **p<.01, ***p<.001)
注：共分散構造モデルの採用に際しては、モデル適合度を測定する2つの基準、GFIおよびRMSEAを判断基準として、もっともモデル適合度の高いモデルを採用した。また、立地に対する住民態度は、原子力政策に賛成を表明した回答者のみで分析している。

モデルによれば、「信頼」が高まると、「有用性」をより認識し、「リスク認知」は低減される。つまり、原子力界に対する市民からの「信頼」を獲得することが、立地の場面における「ややこしい社会的状況」に解決の糸口を与えるひとつの「鍵」となりうるだろう。

3. 立地地域における社会的状況

さて、ここで注意しておかなければならないのは、前節で示した市民のNIMBY感情はあくまで施設立地を想定した場面で見られるものだ、ということである。原子力発電所を始めとした原子力施設を「既にもっている」地域の住民は概して、その原子力施設に対して明確には大きな不安感を抱いていない場合が多い。立地地域では、立地段階で生じる住民のNIMBY感情を超えて、次の段階、すなわち、事業者と地域との間に結ばれた「信頼の獲得と安心の醸成」を前提とした、事業者と地域との「共生」の段階へと社会的状況が移行している。この段階で生じる問題と、立地段階の状況で生じる問題を同様の問題として解釈することは基本的にできない。

この「共生」の段階で生じる問題は、長期間をかけて変化する社会のうねりのようなものから生じるものだろう。たとえば、立地から長い歳月が流れることによって、立地に直接関わった人びとの高齢化や世代交代が進み、立地当初の高い意識や信頼関係、意思決定の文脈などが風化してしまうことに起因する問題もある。地方自治体に対する国の方針の変化から地方自治体の統廃合が進み、発電所の立地地域自体の境界が拡大し、対応すべき地域の範囲を再定義しなければならない場面も多くみられる。さらに、将来、発電所の高経年化が進み、その廃止措置を行い、リプレースを検討するときに、その地元自治体がどのような社会体制になっているのか、その時点での発電所の立地地域への経済的貢献はどうなっているのか、地元自治体の活性はどの程度だろうかなど、このような要因は地元自治体がリプレースを容認するかどうかに、大きな影響を及ぼすだろう。

これらの課題については本稿の範囲を超えるので詳しくは述べないが、今までに経験したことのない新しいタイプの社会的受容性の問題に違いない。このような社会的状況に関する検討や研究は、今までのところ、ほとんど見ることができない。しかし、今後近いうちに真剣に取り組まねばならない課題となるだろう。

II. 市民とのコミュニケーション

1. 問題解決への糸口

前章に示したように、一般の人びとは、原子力というものの受容について必ずしも否定的でないが、同時に、原子力そのものを受け入れるかどうか判断するときに、原子力エネルギーの特性を十分に理解しているとは必ずしもいえない。さらに、原子力には根本的に不安感が存

在し、原子力施設の立地の場面では、やはりNIMBYという現象が避けられない。

このようなややこしい社会的状況に対する解決の糸口のひとつとして、本稿では、パブリックコミュニケーション(市民とのコミュニケーション)を提案したい。パブリックコミュニケーションは、2つの目的を持つ。ひとつは、個々人が原子力の利用を納得するかどうかを判断するためのよりどころとなる基礎的な原子力知識基盤の醸成(知識の涵養)である。もうひとつは、原子力界に対する市民からの「信頼」を獲得すること(信頼の獲得)である。これらの目的を両輪として、市民とのコミュニケーション活動を実行していかなければならない。次節から、この2つの方向性を持ったコミュニケーション活動について、詳細に述べる。

2. 知識涵養のためのコミュニケーション

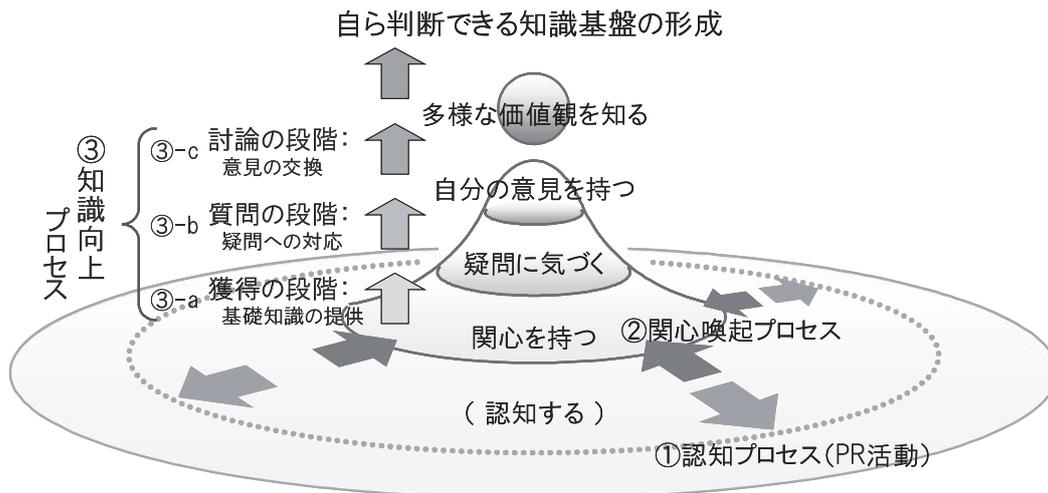
知識涵養のためのコミュニケーション活動は、人びとが原子力の社会的受容性に係わる問題について判断しなければならないような場面において、各個人が責任を持って自ら筋の通った判断できるよう、これを補助するための活動である。決して原子力に対する理解を促進させ、原子力を推進させようということではない。

原子力に関する知識の涵養の活動として、コミュニケーション活動はすでに多く行われている。いわゆるパブリックリレーション(PR)活動はこの類であると考えられる。また、北村・八木らの対話フォーラムの試みや、谷口らによるリスク・シーキューブの活動も、このような側面をあわせもつコミュニケーション活動である。

今までのコミュニケーション活動はある一定の成果を上げていると思われる。しかし、このような活動を通して市民の知識を涵養しようとするためには、大きな障壁がある。それは、このような活動には興味を持った者しかアクションを起こさないことである。

普通の市民は「原子力」のみで生きているわけではなく、それぞれの人がさまざまな社会的文脈や環境の中で生きている。すべての人びとが原子力について関心を持つわけではないし、原子力のことを知らないのは当然のことであろう。だからこそ、市民の関心や知的要求にこたえるように、私たちが適切な情報を渡してゆく必要がある。

第2図は、市民における知識涵養のためのコミュニケーションプロセスを示している。知識を涵養するコミュニケーション活動は、その意味づけから大きく分けると、原子力に関する知識や情報を常に発信し、認知させるための活動(図中①)と、コミュニケーション活動に引き込むための関心喚起活動(図中②)、具体的なコミュニケーションにより知識を向上する活動(図中③、ただし、相手の関心と知識基盤の状態によって、さらに3つのステージにわけている)になると考えられる。



第2図 知識涵養のためのコミュニケーションプロセス

今までに実施されている対話活動の多くは、③の知識向上プロセスに対応するコミュニケーション活動である。これは関心のある人びとが参加する活動であり、そのひとそのひとの知識レベルに応じたコミュニケーションの場を提供する必要がある。

原子力に関心もなく、何も知らない人々にいきなり知識向上プロセスに対応する活動を行っても意味をなさない。そのような無関心で知識があまりない層が国民の大半を占めるのが現実である。そこで、②の関心喚起プロセスに対応したコミュニケーション活動も必要となる。

また、これらの活動を行っていることを常に発信する活動も必要である。それが①の認知プロセスに対応したコミュニケーションである。①および②のプロセスに対応した活動は、従来型のPR活動であるといえるだろう。

さて、これらの活動は、「情報を出していればよい」ということではない。何の目的のために情報や場を提供しているかを考え、また、その対象者のニーズを把握した上で、それぞれの段階に特化したコミュニケーション活動をデザインすべきであろう。

3. 信頼獲得のためのコミュニケーション

次に信頼獲得のためのコミュニケーション活動について考察をしていくが、その前に、そもそも「信頼」とはどのようなものを整理しておきたい。

一般に、相手が信頼できるかどうかは「能力に対する期待」と「相手の意図に対する期待」とで評価される。たとえば、人びとが電力会社を信頼するかどうかは、電力会社が「電気を供給する能力を持っている(と期待できる)か」、「その能力を正しく行使する気がある(と期待できる)か」を合わせて評価し、判断する。この2つが混同されるわかりやすいたとえ話として、山岸は、原子力発電所が近くに建設されるという計画が発表されたときに抱く住民の不安感情について述べている。このような場

合、不安感を払拭しようとして、電力会社や国は原子力発電所の安全性をPRする。しかし、住民はそれを理解しても、不安感情はなくなることはないだろう。なぜなら、電力会社や国がPRしたのは、原子力発電所の安全性確保に関する「能力」であり、このPR活動では、住民の抱く電力会社や国の「意図」に対する不信、つまり、電力会社や国は本当のことを住民には知らせないだろうという認識を、十分にはぬぐいきれないからである⁴⁾。このような「信頼」の読み違いは往々にして起こっている。

さて、それでは、「相手の意図に対する期待」はどのように判断されるのだろうか。山岸は、「相手の意図に対する期待」は、「相手の一般的な人間性(人格的信頼)」「相手が自分個人に持っている感情や態度(人間関係的信頼)」「相手自身が有する誘引構造」に関して情報を獲得し、評価すると解説している。さらに、人格的信頼は、「相手と自分の関係における経験(直接的な経験と、伝聞による擬似的な経験を含む)に基づく信頼(個別信頼)」と「社会的カテゴリーに対するステレオタイプに基づく信頼(カテゴリー的信頼)」によって判断される。(正確には、これらに加えてデフォルト値としての「一般的信頼」が考慮される。詳細は山岸の原著⁴⁾を参照のこと)

また、Metlayは組織の信頼に関するさまざまな研究をレビューし、どのような要素が組織の信頼に影響するのかを整理している。それによれば、組織の信頼とは、公開性(Openness)、頼りがい(Reliability)、誠実さ(Integrity)、真摯さ(Credibility)、公平性(Fairness)、気づかい(Caring)、能力(Competence)で認識されている。ただし、Competenceは他の6つの要素とは別系統であると分析される⁵⁾。各要素の具体的内容を踏まえると、Competenceは「能力に対する期待」に相当する要素であり、他の6つの要素は「相手の意図に対する期待」を評価・判断する要素であると考えられる。

ここに示した2つの見解は、両者とも信頼についてであるが、その切り口が異なる。相手が自分(組織)を信頼

できるかどうかを評価しようとする際に、Metlay は、自分の信頼性というものがどのような要素で構成されるかを示した。一方、山岸は、相手が自分の情報をどのようなチャンネルで獲得するかを示した。すなわち、自分がどんなに信頼に足る(高い信頼性を持った)人物であるとしても、信頼できるかどうかを評価するのは相手であり、したがって、相手が自分に対してどのような情報を持ちうるかが、信頼の獲得について重要であると示唆している。山岸は、「相手の意図に対する期待」を中心に扱っているため、「能力に対する期待」がどのように構成されるのかについて明確には示していないが、相手が自分の「能力」を評価する際に、どのようなチャンネルから情報を獲得するかという面については、両者とも同様であると考えるとよいだろう。

これらの知見を踏まえると、市民からの信頼を獲得するためのコミュニケーション活動は、次のような点を意識して行う必要があることがわかる。前提として、個人および組織が、市民からの信頼を得るに足る素養(高い信頼性)を有することはもちろんである。そのうえで、ひとつは、信頼するに足る「能力」があると市民に認識してもらうことである。もうひとつは「意図に対する期待」の側面として、信頼するに足る「公開性」「頼りがい」「誠実さ」「真摯さ」「公平性」「気づかい」を持っていると認識してもらうことである。

また、これらの情報を伝えるチャンネルとして、個人的なつながりをベースとして、相手にとっての間接的なつながり、すなわち、マスコミやインターネット、口コミなどを最大限に生かす方策、同時に、あらゆるチャンネルから獲得される情報に一貫性を持たせるための個人、組織内、組織間のそれぞれのレベルで協調的な取り組みを考えるべきである。このような活動の積み重ねが、ゆくゆくは、原子力や原子力界についてまわるステレオタイプ、たとえば「原発は原爆と一緒だ」「原子力界はいつまでも隠蔽体質だ」などの、ある種の安易な思い込みからくる人びとの認識を払拭してゆくだろう。

Ⅲ. おわりに

原子力界では市民の理解や信頼を得るために、さまざまな広報活動がなされてきた。たとえば、電力会社が行っている広報活動では、ホームページやパンフレットなどの媒体を利用した情報発信、発電所員による全戸訪問、発電所見学ツアーなどを始めとして、さまざまな活動が数多くなされている。これらのコミュニケーション活動がある一定の効果を上げていることは事実であるが、しかし、必ずしもその潜在能力を十分には引き出しきれていないと感じている。

それは、コミュニケーションする相手が誰であり、その相手がどのような情報が欲しいのかを把握しきれてい

ない面があるためであろう。また、同時に、コミュニケーションの主体にとっても、その活動自体をなぜ行うのか、その活動がどのような効果があるのかということが明らかでなく、たとえ企画段階で明らかであったとしても、その活動を実際に行うスタッフまではその意識が行き渡らず、ただ漫然とコミュニケーション活動がなされていることにも、原因の一端があると考えられる。

たとえば、原子力政策大綱は次のように述べる。

「国、事業者等は、原子力の研究、開発および利用に関して国民や地域社会が知りたい情報は何か、『原子力をどう考えているのか、それはなぜなのか』を知るための広聴活動を国民、地域社会との相互理解を図る活動の出発点に位置付け、それにより得られた意見等を踏まえて、広報や対話の活動を進めていくべきである。また、原子力発電に対する国民の理解を深めるために、国、事業者等は、電力の供給地と消費地の人々の相互理解のための活動を強化するなどの工夫を凝らしつつ、多面的な理解促進活動を引き続き行っていくべきである。これらの活動は継続的に行われることが極めて重要であるが、同時に、それらの活動は効果的で効率的に行われる必要がある。」(29ページ)⁶⁾

社会が納得しながら、将来にわたって原子力を継続的に利用できる状況を創り出すために、今まさに、私たち原子力界が全体で知恵を出し合って、市民とのコミュニケーション——パブリックコミュニケーションを進めてゆかなければならないのだ。

—参考資料—

- 1) 内閣府、エネルギーに関する世論調査、2005。
- 2) 木村 浩、古田一雄、鈴木篤之、「原子力の社会的受容性を判断する要因—居住地域および知識量による比較分析」、原子力学会和文論文誌、2〔4〕、379-388(2003)。
- 3) H. Kimura, et al., "How Region and Knowledge Affect Public Acceptance of Nuclear Power?", *Int. Conf. on Probabilistic Safety Assessment and Management*, Jun., 2004, 3528-3533(2004)。
- 4) 山岸俊男、信頼の構造、東京大学出版会、(1998)。
- 5) D. Metlay, "Institutional Trust and Confidence: A journey into a Conceptual Quagmire", *Social Trust and the Management of Risk*, Earth Publ., 100-116(1999)。
- 6) 原子力委員会、原子力政策大綱、2005。

著者紹介

木村 浩(きむら・ひろし)



東京大学
(専門分野)原子力社会工学、特に原子力の認知、原子力の社会的受容性、パブリックコミュニケーション

50周年企画記事

反原発運動の興隆とその後

原子力をめぐる世論と反対運動の変遷をたどる

佐田 務

日本の原子力開発は、人々の熱狂的な支持の下に始められた。しかし昭和40年代後半になると、社会党やその傘下の労働団体、学生運動、そして都市に拠点をもつ市民運動が、原発立地点における住民運動を支援する形で、反原発運動に参入しはじめる。そしてチェルノブイリ事故後の反原発ブームの到来により、運動は昭和63年に空前の盛り上がりを見せた。しかし、その後の反原発運動は、「もんじゅ」でのナトリウム漏れ事故やJCO事故、美浜発電所3号機での事故などのトピカルな問題では、ある程度の盛り上がりを一時的に見せることがあるものの、全般的には消沈する道をたどっている。

原子力開発には当初、熱狂的な支持があった

日本の原子力開発は、人々の熱狂的な支持の下に始められた。

日本で本格的な原子力開発が始まったのは、昭和30年代初め。当時はほとんどの人々が、原子力に対して大きな期待を抱いていた。例えば、昭和32年8月27日に朝日新聞に掲載された社説は、JRR-1の臨界に際して、このように書いた。

「日本にはじめて“原子の火”がともる日が来た…この日をもたすため、日夜人知れぬ苦労を重ねて来た多くの関係者の努力が、ここに報いられたのである」

また中学校の社会科教科書は、原子力についてこう書いていた。

「原子力が人類を幸福にする時代が必ず訪れるに違いない。それが平和的、建設的方面にのみ利用され、人間のために奉仕する時代、それこそ本当の意味で原子力時代と呼ばれる時代、きみたちはこんな時代の世界について想像できるだろうか」(日地出版「中学三年下」昭和27年)

「原子力…は人類に無限の動力をあたえ、それによって水力も石炭もない砂漠に大きな電気をおこし、それで砂漠を緑の沃野とすることもできる」(古今書院「中学校用社会」昭和32年)

なお昭和20年代から40年代前半までの教科書は、ここ

Survey Analysis of the Movement against Nuclear Power: Tsutomu SATA.

(2008年12月5日 受理)

にあげた記述に限らず、そのほとんどが原子力に対し、好意的に記述していた。

一方、総理府(現内閣府)の世論調査で、調査項目に原子力発電が初めて本格的に登場したのが、昭和43年3月のことだ。原子力の平和利用を進めることについて聞いた当時の調査結果では、賛成が58%、反対が3%。さらに戦後の国内の反原発運動に大きく関わってきた日本社会党も、このころは原発を推進する姿勢を打ち出していた。

世の中は、まさに原子力推進ムードに染まっていた時代だった。

そして、これらの背景には、原子力を含む科学技術の発達に日本の復興や将来の夢を託そうという、時代の意識があった。こうした原子力への好意的な態度は、昭和40年代前半まで続くことになる。

公害問題と「むつ」の事故が転機に

しかし40年代半ばに入ると、科学技術に対する楽観的な価値観が揺らぎ始める。高度成長に伴うひずみともいべき公害問題が、全国規模で顕在化する。この時代は、それまで優勢だった科学技術礼賛に近い考え方が薄れ、科学技術の進歩に伴うマイナスを意識させられ始めた時でもあった。原子力は、その科学技術の象徴の一つでもあった。

そして、昭和49年に原子力船「むつ」の放射線漏れ事故、54年には米スリーマイル島事故が起こる。新聞の論調はこれらの事故を契機として、原子力に対し批判的な見方が混じるようになってくる。教科書の記述も、昭和

50年ごろを境に大きく変わる。推進一辺倒だった記述が大きく変わり、多くの教科書が原子力のプラス面とマイナス面を含めた両論併記へと変わる。

世論調査の結果も、このことを如実に反映していく。総理府が行った昭和59年3月の調査では、今後の原子力開発の割合を「多くした方がいい」36%、「現在程度」33%、「減らした方がいい」9%と回答する結果となり、かつての熱狂的な推進姿勢は薄れていく。

住民運動で始まった反原発運動

ここからは、反原発運動の動きについて述べる。

現状や、あるいはこれから起こるかもしれない事態に対して、その解決や変革を求める集合的活動が社会運動である。その社会運動には、身近な生活に密着したローカルな運動から、社会体制の変革をめざす革命運動まで含まれる。

なおここでは、反原発運動にある程度以上の関わりをもつものに対象を限定するとともに、運動の担い手に注目した上で、住民運動と政治(政党)運動、労働運動、市民運動、学生運動に分類して紹介していく。

住民運動の担い手は、地縁的な結びつきによって構成される。反原発運動の中では、原発立地点にあって漁業権喪失や土地譲渡、生活環境の変化、あるいは万一の事故の際に被る被害の大きさなど、立地点ならではの問題を争点にする場合が、住民運動に分類される。

この住民運動としての反原発運動は、世の中で原子力推進が優勢だった昭和30年代からあった。ただしそれは、原子力に特化した問題というより、ダムや空港、工場、基地、高速道路、新幹線などと同様に、大規模な施設建設に伴う反対運動の性格が強かった。

そこでは、高額な補償金や地元雇用の促進、地域経済の活性化など、平たく言えばお金によって問題が解決される場合が多かった。その過程においては、立地点に影響をもつ有力者の血縁・地縁ネットワークを通じた介入が行われることが多かった。原発の安全性への懸念や政治的信条から反対を唱える個人や組織も存在したが、その数は少なかった。

40年代後半に社会党は反原発に転換

しかし40年代後半に入ると、立地点でのこれらの反対運動に対しては、社会党やその傘下の団体による支援が行われるようになる。争点も原子力の安全性への懸念のほかに、地域住民の意向を無視して大規模事業を進めようとする国の専横に対する抗議など、多彩な視点が加わるようになった。

ここではそれらの運動のうち、労働運動と政党運動による反原発運動について、まず述べる。

戦後の日本で、社会運動が初めて本格的な形で登場したのが、昭和21年のメーデーである。それはゼネスト宣

言や「血のメーデー」事件、安保改定反対運動、三池闘争へと連なっていく。また、政党や労組などに担われることが多かった当時のこれらの社会運動には反体制、反権力志向が強くにじみでていた。当時の運動体には、社会の矛盾を解決するために、社会体制の改革をめざすものが数多くみられた。

一方、昭和29年に「第五福竜丸」がビキニの水爆実験で被爆したことをきっかけに、反核運動が全国的に盛り上がる。この運動は核実験反対署名運動を経て、30年には原水協結成へと結びつく。なお、このころの反核運動の対象は原子力の軍事利用に限られており、その平和利用である原子力発電に反対するものではなかった。

しかし昭和40年代に入ると、このような政党運動や労働運動が、反原発運動に参画し始める。その最初のきっかけとなったのが、昭和41年の長島事件である。この事件は、原子力発電所の建設が計画されていた芦浜を衆議院議員らが視察しようとしたところ、地元の漁業関係者に漁港で阻止されたものだ。その議員の中には、日本社会党の代議士が含まれていた。

この事件を契機に、各立地点で散発的、小規模に起きていた反対運動が、しだいに本格化し連携化していく動きを見せる。それまで原発推進を主張してきた日本社会党は、この事件から3年後の昭和44年に「公害総点検運動」の中で「原子力公害をふくめた長期的な観点に立った公害闘争が組織されなければならない」とうたい、初めて原発への反対に言及。47年の党大会では、原発と再処理施設建設に反対する決議を採択した。そして49年の原子力船「むつ」の事件が起こるに至って、社会党は強硬な反原発路線へとシフト。50年に党の政策審議会は、「核分裂に電力供給を頼る体制にしないこと」を決め、反原発政策を明確に打ち出す。

都市を拠点とする市民運動型が登場

また40年代後半には、反原発運動にもう一つの流れが加わる。都市に拠点をもち市民運動型の反対運動がそれである。

ここでは市民運動を、政治的・社会的問題の解決をめざして、特定の政治信条にとらわれず、市民が公民としての自覚に基づいて行う運動と定義する。

なお国内における市民運動は、昭和30年代の安保反対の中での市民による運動や、昭和40年に発足したベ平連(「ベトナムに平和を！市民文化団体連合」)などに端緒をもつ。

そして40年代の終わりになると、立地点ではなく都会で原発に反対する市民運動グループの動きが出てくる。市民運動型反原発運動の草分けともいえる原子力資料情報室が、高木仁三郎氏などによって設立されたのが昭和50年。同情報室は51年に、「原発・再処理工場反対運動情報・連絡センター」から引き継ぐ形で、『原発斗争情報』

(昭和62年に『原子力資料情報室通信』に改題)の発行を始める。

また50年には京都で、全国各地で反原発運動に取り組む団体や個人が初の全国集会を開催した。53年には、これらのネットワーク組織として誕生した反原発運動全国連絡会が、「反原発新聞」を創刊する。

これらの市民運動は、顕在的には安全性の問題を最大の争点としている。しかし、彼らの主張の根底には、原子力政策が専門家や関係官庁、電力会社によって事実上決まってしまうしくみや中央集権志向への批判、あるいは今の大量消費社会への不満といった、文化様式をめぐる批判をひめる場合が多いのが特徴だ。また、高額な補償金によって立地問題を解決しようとする手法に嫌悪感を示すものも多い。

そして、これらの市民運動の理念や実践活動は、立地点での反対運動の中にもしだいに浸透し交差していく。

公開ヒアリングをめぐる紛争が激化

一方、戦後から数度の興隆を見せた学生運動は、昭和44年の東大への機動隊突入事件をピークとして、一部が尖鋭化するとともに、全体的には消沈していく。しかし運動を担った人材は、ベ平連や沖縄、反戦平和運動、差別撤廃や人権、消費者、無農薬・有機農業、反公害・環境、そして反原発運動などの別の形態の社会運動を興隆させていく。

そして昭和49年に、原子力船「むつ」が出航する。この時に反対派は原子炉の安全性と放射能汚染の懸念などを理由に、出航時に大規模な反対運動を展開する。

なお警察庁が発行する警察白書の中に、反原発運動が初めて登場するのは昭和50年版だ。そこでは「左翼諸勢力…は、原子力船『むつ』の原子炉の安全性に関する疑問と、運航に伴う放射能汚染による生活侵害等を理由にあげて『むつ』反対行動に取り組んだ。…沿岸漁民ら反対勢力は、『むつ』の帰港阻止行動に取り組み、港を土のうで封鎖する構えに出たほか、県外極左暴力集団も介入の動きをみせた」と、学生運動後に尖鋭化した集団による反原発運動に言及した。

さらに昭和55年以降になると、原子力施設を対象とした公開ヒアリングが行われるようになり、反対派はこれに焦点をあてた運動を大規模に展開するようになる。柏崎や島根で行われた公開ヒアリングでは、反対派が数千人規模の大規模な示威運動を展開し、機動隊と対峙する場面が世間の注目を集めた。

一方で、このころは国内の原子力発電所の建設が着々と進み、原発はエネルギー供給面で、なくてはならない存在となりはじめていた。さらに昭和48年と54年に起きた石油危機は、原発に対して追い風となった。そうしたムードの中で、56年には東海再処理工場が本格運転を始め、60年には青森県が核燃料サイクル施設の受け入れを

決定する。反対運動は50年代後半の公開ヒアリングをめぐる紛争を最後に、いったんは沈静化する気配を見せていた。

衝撃的だったチェルノブイリ事故

そして昭和61年に、チェルノブイリ原発事故が発生する。反原発の立場から書かれた『危険な話』や『まだ、まにあうのなら』といった本がベストセラーになりはじめた63年から、国内では反原発運動が全国的な盛り上がりを見せる。63年1月の伊方原発出力調整運転の反対運動に端を発した大規模行動は、日比谷の1万人集会へと連なっていく。

さらにこの反原発ブームのころ、新聞や雑誌はさかんに原発の危険性を懸念する記事を掲載するようになり、多くの教科書も、この事故を大きくとりあげるとともに、かなりのスペースを割いて原子力発電がもつ否定的な側面を記述しはじめた。中学校社会科の教科書では、戦後から現在までの間で平成2年から9年版までの期間が、原子力発電に対して最も批判的な記述が多くなされた時期でもあった。

なお、平成元年版の警察白書では「原発闘争は、従来の農民、漁民や労働組合を中心とした地域的なものから、主婦をはじめ幅広い層の人々が参加した全国的なものへと変化し、63年中の動員数は、最近5年間で最高を記録した」と述べた。

61年に草の根サミット

反原発ブームが起こったきっかけについて、ここではさらに詳しく述べる。

チェルノブイリ事故からおおよそ半年後の昭和61年10月。南西諸島を航海する外航客船「ニューゆうとびあ」の船上では、500人ほどの人々がさまざまな問題を議論していた。

そのテーマは、食べ物、有機農業、リサイクル、福祉、人権、教育、医療、反原発、反核、エコロジー、村おこし、第三世界など。「いのち・自然・くらし—もうひとつの生活を創るネットワークーズの舟出」というキャッチフレーズのもとに、「ばななぼうと」という名称で募集されたこの企画は、さまざまなジャンルを網羅した草の根サミットの性格をもっていた。

この「ばななぼうと」を呼びかけたのは、有機農産物の流通などを手がける「大地を守る会」など7団体。のちにおこる反原発ブームでは、市民運動型の反原発運動を中心的に担うことになる団体のひとつである。

この航行に至るいきさつを記した書籍『ばななぼうと』によると、彼らは多様な分野で、オールタナティブな社会のあり方を提案あるいは実践する市民団体の大合流をめざすと述べている。そして、この書籍『ばななぼうと』の巻末には、「もう一つの生活を創るネットワークーズ

リスト」として、前述したさまざまな問題に取り組むグループの所在地と連絡先が記されていた。そしてこのリストが、のちの反原発ブームを引き起こす重要なツールとなる。

ネットワーク利用で反原発ブームが誕生

その草の根サミットの半年後、『危険な話』の著者である広瀬隆氏は、昭和62年4月に大分市内で講演を行う。この講演を聞いて、原発をとめなければと思った主婦がいた。別府市内でパン屋を営む小原良子氏がその人である。

彼女はその後、広瀬氏や平井孝治氏(九大工学部助手=当時)の講演会を開催。さらに伊方原発を見学した際に地元紙を見て、同原発が63年2月に出力調整実験を行うことを知る。

これを知った彼女は、甘蔗珠恵子氏の手になる小冊子『チェルノブイリ前夜の日本』と、伊方での実験反対を訴える署名用紙を、全国の市民グループに送り始めた。この小冊子は、甘蔗珠恵子氏ののちの著作『まだ、まにあうのなら』の要約版ともいえるもので、淡々とした口語調の語り口の中で、原発の危険性がつづられたものだ。

そのパンフレットの主な送付先となったのが、先ほど紹介した「ばななぼうと」の巻末に掲載された市民グループだったのである。

その送付先となった市民グループからは、思いもよらぬ熱い反応が、返ってきた。彼らはそのパンフレットや署名用紙を独自にコピーし、自らのネットワークを利用してさらにそれを送り始めたのだ。高松行動に始まる一連の行動の「原料」はこの時に、準備されたのである。

そして63年1月、高松市内での反対集会には千人ほどの人々が集まった。その多くは小原氏からのメッセージに動かされて、この時初めて運動に参加した「新参者」だった。市民運動型の反原発ブームはこの時に、誕生したのである。

産直グループが核燃料反対運動に参入

またこのころには、安全な食品を求めて産直運動に携わる主婦たちが、新たな運動の主役として登場する。

例えば、東京の杉並区で無農薬野菜やシンプルな暮らしをめざして活動している「ほびと村」は、自分たちのネットワークを利用して、自分たち独自の反原発運動を展開した。また東京の国立市では、主婦が中心となった「くにたちムラサキツユクサ」が、東京の西地区では「三多摩反原発ネットワーク」が誕生する。

こうした新しいグループが続々と誕生する中で、63年4月の東京行動では、およそ1万人が日比谷公園を埋め尽くした。実行委員会の事務局長は、平成12年に亡くなった高木仁三郎氏。その参加・支援団体には多くの市民グループが名前を連ねた。メディアが反原発運動に強く注

目ははじめたのも、このころからだ。

一方、都内で共同購入を行っていた主婦のグループは、「核燃いらない！青森の農漁業を守る会」を結成。同会は核燃料サイクル施設の建設反対を訴えて署名運動を始め、63年11月に青森県農協中央会に6万人余の署名を持参する。

その青森県ではチェルノブイリ事故後、主婦を中心とする反原発グループが続々と誕生。62年9月になると、そういった8団体が合体して「りんごの花の会」を結成し、核燃建設反対を激しく訴えはじめた。

さらに反原発グループは63年5月、科学技術庁に対し、30万人の核燃反対署名簿を提出。翌平成元年4月に六ヶ所村で開かれた反核燃の日集会には、労組主導ながらも1万人近くが動員されるなど、反原発運動はこのころにピークを迎える。

そして平成2年2月には、核燃料サイクル施設建設を争点とする青森県知事選挙が行われる。激しい選挙戦の末に、現職で推進派である北村正哉氏が当選。しかしこの選挙が、推進・反対両派が激突する最後の舞台となった。

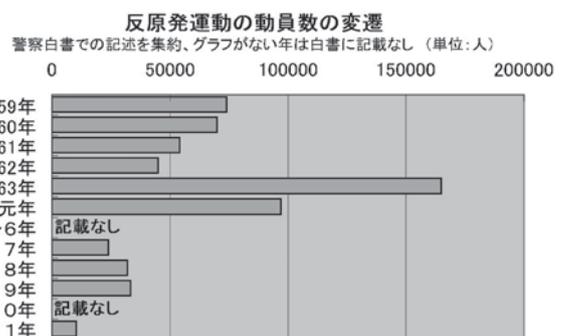
この選挙以降、反原発運動は青森県内のみならず、全国的に沈静化していく。毎年4月に開かれる反核燃の日集会も、平成2年に約4千人を動員したのを最後に、以後は数百人以下に落ち込み、ブームはかげりをみせはじめた。

そして平成2年7月の参議院選挙では、反原発を政治的争点に掲げた候補が複数、立候補。しかし全員が、落選する。

反対運動はローカルで散発的になる傾向

平成7年4月になると、フランスから高レベル放射性廃棄物が、青森県むつ小川原港に輸送される。グリーンピースは、その輸送船を追跡し、その情報を世界に発信した。また同年12月には「もんじゅ」でナトリウム漏れ事故が起きる。

平成8年8月になると、新潟県巻町では原発建設をめぐって全国初の住民投票が行われた。結果は反対票が賛成票をかなり上回り、東北電力は巻原発の建設計画を凍結することになる。



そして平成11年9月に、JCO事故が発生。14年秋には東京電力のデータ不正問題が明るみに出る。しかし、反原発運動はこれらの事故や事件の直後にはいくらかかの盛り上がりを見せたものの、運動自体が全国的に盛り上がることはなかった。

さらに平成16年8月には美浜原子力発電所3号機で、死亡事故が発生する。17年版の警察白書では「これに対し、反原発団体は、電力会社等へ抗議を行うとともに、(プルサーマル導入)計画を中止させるため、集会やデモを行ったが、大きな盛り上がりはみられなかった」と記述した。

また平成19年前半には、電力会社によるデータ不正問題が判明。同年7月には、新潟県中越沖地震が発生する。これらを受けて、反原発団体は、電力会社による情報開示や原子力発電所の耐震性の見直し等を求める抗議活動やデモを行ったものの、運動が広く継続的に盛り上がることはなかった。

変容する反原発運動と世論

ここで、戦後から今日までの原子力に対する世論と反原発運動の変遷について、簡単にまとめておこう。

内閣府(旧総理府)がこれまで行ってきた世論調査の結果をみるならば、原子力についての世論は、昭和40年代前半までは原子力賛成が圧倒的に優勢だった。しかし40年代後半の公害問題や原子力船「むつ」の放射線漏れ事故、TMI事故、そして科学技術に対する見方の変化などにより、50年代に入ると賛成は大きく減る。

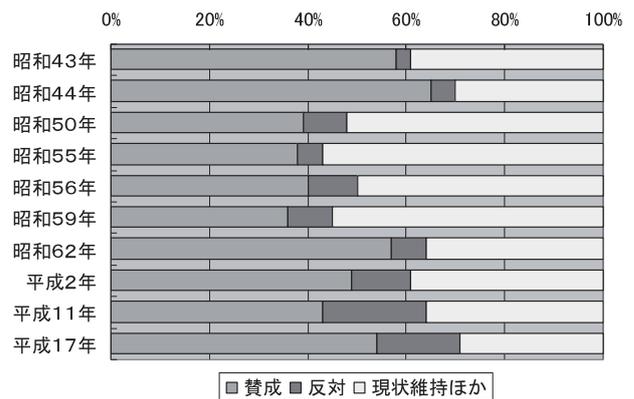
しかしその後、原子力への賛成意見は全般的に少しずつ回復基調にある。その背景には、反原発運動の消沈や、国内では深刻な大事故が起こらなかったことのほかに、国内の原子力発電所が基本的には安定した運転実績を示し、エネルギー供給面で一定の貢献を果たしていることが、人々の意識に影響したと思われる。

その一方で、原子力への反対意見もまた、近年は増える傾向にある。事故直後に増えた反対意見は、事故の記憶の風化とともに落ち着く傾向があるが、事故や事件が続くことが、反対意見をしだいに累積させ増加させている可能性があるといえよう。

なお反原発運動は当初、原子力発電所が立地されようとする地点での住民運動という形で、昭和30年代に登場する。ところが昭和40年代後半になると、社会党やその傘下の労働団体、学生運動、そして都市に拠点をもつ市民運動が、原発立地点における住民運動を支援する形で、反原発運動に参入しはじめる。

その反原発運動は、昭和49年の原子力船「むつ」での放射線漏れ事故と、昭和50年代後半の公開ヒアリングをめぐる紛争で盛り上がりを見せる。そして昭和61年のチェルノブイリ事故と、その後の反原発ブームの到来により、運動は空前の盛り上がりを見せる。

原子力に対する内閣府(旧総理府)の世論調査の結果



そのブームがピークを迎えた昭和63年ごろ、全国では数百ほどの市民団体が、反原発に取り組んでいた。しかし、運動はその後、消沈していく。「もんじゅ」でのナトリウム漏れ事故や巻町での住民投票、JCO事故、美浜発電所事故、東洋町長選挙、新潟県中越沖地震などのトピカルな問題ではある程度の盛り上がりを一時的に見せることがあるものの、反原発運動はしだいにローカルで散発的になる傾向を見せている。

とはいえ、かつての反原発ブームのころに運動を担ったおびただしい数の個人や団体は、今も有機農業や無農薬、食品、人権など、オルタナティブ(対抗文化)を掲げた運動を続けているものが少なくない。運動を担った<原料>は、健在だということができる。

ということは、彼らは何かのきっかけさえあれば、再び反原発への活性化する機会をひめる。そのきっかけとは、そして反原発運動を盛り上げる力の最大の源泉とは何か。それは原発で大事故が起こることにはほかならないのである。

—参考文献—

- 1) 佐田務, 教科書の原子力いまむかし, 電気タイムス, (1994).
- 2) 警察庁「警察白書」1975-2008.
- 3) 日本社会党中央本部「資料日本社会党四十年史」(1986).
- 4) 広瀬隆, 危険な話, 八月書館, (1988).
- 5) 甘蔗珠恵子, まだ, まにあうのなら, 地湧社, (1987).
- 6) ばななぼうと—もうひとつの生活を創るネットワークカーズの船出, ほんの木, (1986).
- 7) 佐田務, 原発論争, 電気タイムス, (1996).

著者紹介

佐田 務(さた・つとむ)



(専門/関心分野)原子力発電の社会的受容, 原子力をめぐるメディア報道, 安全文化

タイムカプセル記事(最終回)

この企画では、さまざまなジャンルのさまざまな年代の方に、原子力に対する思いを語っていただきます。

これまでの原子力、これからの原子力

テキサスに ABWR を！ ～高まる日本への期待～

東京電力 立岩 健二

2008年12月初旬、米国テキサス州南部の人口2万人の小さな町ベイシティを訪問した。この地域としては珍しく、4年ぶりとなる雪が降っていた。ここはサウステキサスプロジェクト(STP)原子力発電所の最寄り町であり、改良型沸騰水型軽水炉(ABWR)を増設するプロジェクトが進行中である。

当プロジェクトでは、日本で建設・運転実績のあるABWRを日本の原子炉メーカーが供給する予定であるが、当社はABWRの共同開発者・所有者・運転事業者としての実績が買われ、当プロジェクトの実施主体であるSTPニュークリア・オペレーティング・カンパニー(STPNOC社)との間で技術支援契約を2007年3月に締結し、技術面でのコンサルティングを行っている。私はコーディネーターとして、頻繁にベイシティに出張しているが、地元の当プロジェクトに対する期待は高く、市長は「ここではNIMBY(ノット・イン・マイ・バックヤード)ならぬPIMBY(プリーズ・イン・マイ・バックヤード)だ」と歓迎している。そして、雪の舞う寒波が訪

れようと、STPNOC社のオフィス内は熱気に包まれていた。

私は大学で原子核工学を専攻し、原子力事業を通じた社会貢献がしたいと考え東京電力に入社した。そして今、このプロジェクトへの関与を通じて、グローバルスケールでこの目標に一步近づきつつあることを実感し、非常にやり甲斐を感じている。時差の関係もあり、毎朝6時半に出社してSTPNOC社と電話等で連絡をとりあうのだが、いかにして先方のニーズと当社の技術力とをマッチングさせ、プロジェクトに貢献しようかと考えているだけで、沸々とアドレナリンが湧き出てくる。

日本のメディアは原子力について夢のある前向きな報道をすることが少ないが、実際には今ほど日本の原子力業界に、米国をはじめとする世界各国の注目と期待が集まり、国際貢献できるチャンスはないのである。このような時代に原子力事業に従事できる幸運を活かし、今後も情熱と気概をもって邁進していきたい。

(2008年12月20日記)

量子ビーム科学・技術への期待

原子力安全研究協会 松浦祥次郎

量子ビーム利用は各種の加速器の進歩発展によるものであり、今後も各種の量子ビームの強化、高度化に研究開発の努力を集中し、継続することが強く期待される。

わが国で原子力研究開発利用の扉が開かれたエポックにおける象徴は、総合的研究所としての日本原子力研究所(当時)の設立と、それに続き東海村に建設された第1号研究用原子炉(JRR-1)で、わが国初の自続的核分裂連鎖反応が実現したことであった。それから半世紀の経緯を振り返り、今後の半世紀を予想して何を期待するか。

これまでの発展の実績は、今後の原子力にさらに大きな可能性を示している。すなわち「高密度でかつ膨大なエネルギーを発生できる(エネルギー生産)」、「核的、原子的、分子的レベルで物質を多様に変えることができる(物質変成)」、「時間・空間の極微から極大の広い次元を対象に観察・観測することができる(観察観測)」である。

エネルギー生産については、核分裂によるエネルギー

利用システムが精緻さを増しつつ徐々にその規模と内容を拡大し充実する発展が、今後の半世紀をはるかに越える期間継続することであろう。

興味深いのは、物質変成と観察観測の領域での今後の発展である。量子ビーム、なかでも陽子ビーム、中性子ビーム、そしてレーザービームの利用技術超高度化のうえに、その発展は想像をはるかに超える範囲に広がるものと期待される。これらは、多くの分野での学術研究のほか、環境保全・改良、生活の質の向上、希少資源獲得、エネルギー生産などに大きい実際の効果を与えると予想できる。さらに原子力利用技術の一つに中間子工学を新たに追加することになるとも想像される。

2008年12月に、第一期計画が完了したJAEAとKEKの共同施設J-PARC(<http://j-parc.jp>)は、次の半世紀において、量子ビーム研究開発利用の開拓を世界的に先導する、強力な加速器・測定系複合実験システムとなる可能性を有している。(2008年12月17日記)

部会活動 炉物理部会

炉物理研究の歩みと役割

臨界実験が果たした意味とこれから

炉物理部会の前身は、本学会の最初の研究連絡会として設置された炉物理連絡会であり、本部会が取り扱う炉物理研究では、各年代の原子力開発の動向あるいは事故などに対応した研究が進められてきた。原子力導入期には、核データの整備が不十分で、計算精度も十分でなかったことで、臨界実験が不可欠であり、核計算手法の改良を図ることが極めて重要な炉物理的課題であった。本稿では、臨界実験が果たした役割、および国際的交流の場としての OECD/NEA と「炉物理研究」特別専門委員会の活動を振り返るとともに、今後の取組みと課題を提示する。

I. 炉物理部会の歩み

我が国における原子炉の歴史を振り返ると、昭和32(1957)年8月27日に、日本で最初の原子炉 JRR-1 に原子の火が灯り、それ以降、1960年代に次のようなダイナミックな展開があった。

- ・1962年8月23日 軽水臨界実験装置(TCA)の臨界
 - ・1963年10月26日 動力試験炉 JPDR の初発電
 - ・1964年6月25日 京大研究用原子炉(KUR)の初臨界
 - ・1967年4月29日 高速炉臨界実験装置(FCA)の臨界
- また、7国立大学にも未臨界実験装置が設置され、炉物理研究が精力的に進められた。

1959年に創立された日本原子力学会のなかに、1961年に炉物理関係の最初の研究委員会として「臨界実験」専門委員会(主査：武田栄一先生)が設置されている。炉物理連絡会は1967年9月25日に日本原子力学会の最初の研究連絡会として設置され、1993年12月の研究部会制への移行に伴い、炉物理部会となり現在に至っている。

炉物理連絡会の発足は炉物理研究者から非常に期待され、初期から活動的であった。1968年4月に発行された「炉物理の研究」や1969年から開始された「炉物理夏の学校(1985年より夏期セミナーに名称変更)」のテーマから炉物理研究のトピックスを原子力開発における主な出来事と併せて以下に概観したい。

「炉物理の研究」第1号の巻頭言で武田栄一先生は、「炉物理の研究にたずさわるものは原子力研究の方向を決めたり、フィロソフィーを作り出してゆく仕事は自分たちの責任だというくらいの自覚をもってもらいたい」と述

べられている。炉物理研究に原子力開発をリードする役割があることを、今後も自覚して行かなければならない。

1970年代は、1977年に高速実験炉「常陽」が臨界になるなど、高速炉の炉物理が大きなテーマであった。一方、1979年に TMI 事故が発生し、「炉心事故解析」も重要な課題と認識されるようになった。

原子力学会の「トリウムサイクル調査」研究専門委員会の報告書が1980年に発刊されるなど、1980年代になると、トリウムサイクル、プルトニウムの軽水炉利用も議論されるようになった。一方、1986年のチェルノブイリ事故を踏まえ、「受動的安全炉・固有安全炉」の議論が発達した。

1990年代は、オメガ計画などマイナーアクチニドの「分離・変換技術」がトピックスとなり、「加速器駆動システム(ADS)」の議論も開始された。一方、1994年に高速増殖原型炉「もんじゅ」の臨界達成と1995年のナトリウム漏えい事故があり、FBR 開発に大きな成果と痛手となった。

1999年に JCO 臨界事故が発生し、その反省を踏まえて、「臨界安全研究」の重要性がより認識されるようになった。また、2000年代になると、世界的な「原子力カルネッサンス」の動きと我が国の次世代軽水炉開発もあり、「軽水炉高度化・炉心管理」などのトピックスが増加して、現在に至っている。

以上のように、炉物理研究は、原子力開発の根幹を担っており、各年代の原子力開発の動向あるいは事故などに対応した研究を進めてきている。

原子力導入期の炉物理の課題(松浦先生の寄稿)、OECD/NEA などを通じた世界との交流活動と「炉物理研究」特別専門委員会の活動(JAEA・森氏の寄稿)を振り返り、将来の取組みと課題をまとめてみたい。

Steps and Role of Reactor Physics Research—Meaning and the Future of Critical Experiments : Technical Divisions of Reactor Physics

(2008年 11月18日 受理)

Ⅱ. 原子力導入期の炉物理—臨界実験が果たした意味

原子力研究・開発・利用の歴史においてもっとも画期的な仕事のひとつは、1942年12月のCP-1(シカゴパイプ1号)での持続的核分裂連鎖反応の実現とその制御可能性の確認である。これが世界最初の臨界実験であり、この実験によって炉物理理論が初めて実験的に確認され、原子炉が現実的に構築可能な施設となし得ることが確認された。すなわち、核燃料を含む中性子増倍特性をもつ体系の材料バックリングと幾何学バックリングが一致した場合に、その体系内に中性子を媒介とした核分裂の連鎖反応が、外部からの中性子を供給することなく持続的に実現することが確認されたのである。これは、ある材料構成の原子炉の実現可能性を臨界実験によって確認できることを明らかにした。別の見方をすれば、原子炉理論による計算値を臨界実験結果により端的に検証できることを意味している。

臨界実験の際立った特徴は、中性子と原子核の反応という極めて微視的な現象の集合として生じる臨界という巨視的状态を、ボルツマン方程式を介して記述される波動方程式の解として実現できることを示していることである。いわば、微視的視点と巨視的視点を結合していることである。

また、CP-1実験のもう一つの重要な点は、臨界状態への近接を「逆増倍法」という非常に安全な実験方法で実施したことである。臨界状態の形状が即発臨界を引き起こす増倍係数の等値値(約 $0.7 \times 10^{-2} \Delta k/k$)よりずっと精度よく推定できないときに、もし最初から予想臨界形状を組み立てて実験したとしたら、それは恐ろしく不確実で危険な実験となる。現在は精度のよい核データの整備も進み、理論計算値の精度も高くなっているが、もし全く新しい形式の原子炉を臨界にするときは、やはり「逆増倍法」を使用する必要があると考えられる。

幸運なことに、当初から臨界実験における実験精度を $10^{-4} \Delta k/k$ 程度とするのはそれほど困難ではなかった。一方、核データの精度も計算技術も十分でない1950～1960年代では、理論計算の精度を $10^{-2} \Delta k/k$ 以上にするのはほとんど不可能であった。このような事情で、当初は原子炉の構想ごとに臨界実験装置が設置された。

初期の炉物理の指導理論は、原子炉体系の中性子生成、吸収、漏洩のバランスを書き下すボルツマン方程式をエネルギー1群の拡散方程式に形式化し、さらに1次元2階の波動関数に変形し、その固有値として臨界条件を定めるといったものであった。

この形式化の過程では、原子炉体系は核燃料、減速材およびその他の構成材よりなる増倍特性を持つ均質体系として取り扱われる。

実体系は均質でも非均質でもあり得るが、実用原子炉

として工学的に利用する上では、燃料体と冷却材、減速材が分離された非均質体系が優れている。

当初、無限体系の増倍係数評価の手法として4因子公式が考案され、採用された。この手法は、実際的な非均質体系を均質体系に近似的に転換する優れた方法である。

現在では、構想される原子炉に必要な核データを必要な精度で入手することがほぼ可能であり、また計算技術の進歩により原子炉方程式を必要な精度で解くことができるので、ある構成・構造の原子炉の実現可能性を評価するのに、臨界実験は必須ではない。しかし、実際に新型炉の設計検証のためには、予測への高い精度が要求されるので、現在でも臨界実験は不可欠と考えられる。

原子炉物理学研究の初期段階では、核データの整備が不十分であり、計算精度も十分でなかったため、ある原子炉構想の実現性を確認するには臨界実験が不可欠であった。このために、前述のごとく新しい原子炉が構想されるごとに、その実証性確認のための臨界実験装置が設置された。

「Atoms For Peace」宣言以後、開催された第1回、第2回のジュネーブ会議(原子力平和利用国際会議)には、多種多様な原子炉の構想が提案され、それらの実証のための臨界実験装置が建設された。これらを用いた実験が初期の原子炉物理学発展の機関車であったといえる。

わが国においても、1950年代後半、1960年代にいくつかの動力用原子炉の開発が構想され、それらの炉物理の理解および核設計検証のため臨界実験装置が設置され、臨界実験が行われた。

最も基数が多いのは軽水型臨界実験装置(TCA, OCF, NCA, MCA)であるが、このほか軽水冷却・重水減速型炉用実験装置(DCA)、半均質臨界実験装置(SHE、後に高温ガス炉用臨界実験装置VHTRCに改造)、水均質臨界実験装置(AHCA)、高速増殖炉用臨界実験装置(FCA)がある。これらの臨界実験装置は、動力炉概念の成立性確認のほか炉の核特性確認、核特性改良実験等に活用された。

動力炉開発用ではなく、他の特別な用途を目的とした臨界実験装置も設置された。これらには、材料試験炉の安全で効果的な運用に必要な情報を得るために設置された材料試験炉用臨界実験装置(JMTRC)や、時期は少し後になるが、核燃料サイクル施設の核的安全情報を得るための臨界実験装置(STACY, TRACY)がある。これらの施設もその用途を通じて、炉物理の発展に寄与している。

特に、STACYとTRACYで得られていた炉物理的知見により、JCO臨界事故を終焉させることができ、その後の事故原因、事故現象解明に大きく貢献した。

世界的にも独特な炉物理実験施設は京都大学原子炉実験所に設置された教育・研究用臨界実験装置(KUCA)であろう。これは3種の炉心が選択的に使用できる多用途

臨界実験装置である。

原子炉物理学にいくぶんでも手を染めた研究者、技術者にとって、理論分野でも実験分野でも、初めての臨界近接実験というのは冷徹な物理現象の確認とは別の、何か特別な感慨を覚えるものである。

原子炉からすれば、それはいわば原子炉誕生のプロセスである。多くの関係者が今か未だかと見守る中、逆増倍係数がだんだんゼロに収斂を見せると、人々の緊張が高まる。予定通りに近接が進み、最後に、原子炉当直長が「原子炉は〇時〇分に臨界に達しました」と告げると人々の緊張は一気に緩み、拍手が制御室に巻き起こる。

一方、なかなか予定したようには逆増倍係数のゼロ近接が進まない、「どうしたことだ。何かミスがあったのではないか」と関係者間の雰囲気懸念が広まる。よほどのひどい見通し違いがない限り、いずれは臨界に達するのだが、燃料装荷ステップが増すにつれ心配が高まっていく。

これは原子炉の幾何学的バックリングのいたずらで、臨界に近い体系では、臨界固有値(実効増倍係数)に1%の見積もり違いがあると、燃料装荷量には約10%の違いが生じることのためである。すなわち、普通は臨界近くの形状でバックリングに1%の差を周辺燃料の増減でもたらそうとすると、燃料の増減は10%ほどになる。そして、原子炉の体系(構成と構造)が全く新しいときは、相当に進んだ計算法によっても固有値に0.5%ぐらいの見積もり違いはしばしば起こるのだ。数値の1%はそれほど大きいとは感じないが、実物の燃料に10%の差が出るとそれは非常に大きく感じる。根っこは同値のことなのだ。

初めての体系について固有値を計算して臨界体系を推定した研究者にとっては、最善を尽くして計算に自信を持っていたとしても、上記の不確定さは免れない。初臨界近接は気のもめる実験であるに違いなかったであろう。

原子力開発の黎明期では、臨界条件の増倍係数推定値に1%どころか2~3%、時として4~5%の見積もり違いが生じても不思議がないようなものであった。

そこで、初臨界近接時にはしばしば内々に、臨界燃料量のトトカルチョ(totocalcio)が行われた。筆者が参画した初めての初臨界実験はSHEの初臨界(1961年春)であった。当時は計算機の能力も核データの整備状況も現在とはまさに雲泥の差があり、実験主任の先輩研究員が「この計算値ひとつに60万円(当時の大卒初任給は1万円程度)を要したのだ」と威張られても、とてもそれを信用できなかった。臨界燃料量は±20%ぐらいの誤差でおよそこのくらいという程度のものであった。先輩研究員や米国ANLから招聘していた研究アドバイザーはいろいろな理由づけをし、補正済み推定値を求めて賭けられた。筆者は、「どうせその程度の曖昧さがあるなら」と、妻の誕生日にちなんで臨界燃料棒本数を329本と賭け

た。挙句は330本が臨界実験値となった。筆者にとって初めての本格的な炉物理実験はトトカルチョの勝利から始まったのである。これは臨界実験によって核計算値を確認し、核計算手法の改良を図ることが極めて重要な炉物理的課題であったことを示す典型的なエピソードである。

Ⅲ. OECD/NEAの活動と「炉物理研究」特別専門委員会

炉物理研究における世界との交流は、1965年にOECD/ENEA(欧州原子力機関、72年にNEA(原子力機関)に改称)EACRP(欧米炉物理委員会)第6回会合において、我が国の活動を報告したときに始まる。当時、我が国では多くの機関で臨界実験装置や未臨界実験装置が建設されるようになり、61年には原子力学会に「臨界実験」専門委員会、63年に「炉物理実験」専門委員会、65年に「炉解析」専門委員会が設置され、研究開発に関する討議とともに、ENEACRPへの活動報告を取りまとめていた。炉解析専門委員会が終了した67年には、国際的な対応を行う恒久的な組織が必要とされて、原子力学会と旧日本原子力研究所(原研)の両方の委員会として、「炉物理研究」特別専門委員会が設置された。「炉物理研究」特別専門委員会は当初、熱中性子炉、高速炉および遮へいの3専門部会を設置したが、その後、熱中性子炉と高速炉を統合した原子炉システム、遮へい、新たな核融合炉物理専門部会による活動を98年まで継続した。そして、委員会活動にも具体的な成果が求められるようになった99年からは、炉物理部会と連携して、2年間の期限を設けて特定の課題について必要な活動を行うワーキングパーティ(WP)活動に移行した。「加速器駆動炉の炉物理WP」、「軽水炉次世代燃料の炉物理WP」、「新型炉概念WP」、「共用炉物理コードの構築WP」、「加速器駆動核変換システムWP」、「炉物理実験データの保存WP」が設置されて精力的な活動が展開され、その成果は原研のレポートとして公開されている。「炉物理研究」特別専門委員会は2005年の日本原子力研究開発機構の発足に伴い廃止されたが、NEAの炉物理積分データ保存に関するプロジェクト(IRPhEP)のための「炉物理実験データの保存WP」は、現在もシグマ委員会の下で活動を続けている。

一方、NEACRPは当初、高速炉の研究開発に重点を置いていたが、開発計画の遅延が明確になったため、軽水炉の高度化、高温ガス炉、分離核変換、核融合炉物理など、多様な対象を取り扱うようになった。我が国からは、トピックスとして高転換軽水炉、分離核変換(当時は消滅処理と呼んだ)、高温ガス炉などを提案するとともに、ベンチマーク活動でも稠密格子子燃焼計算、核融合炉ブランケットのトリチウム生成率測定、3-D輸送計算などで主導的役割を果たした。91年には、NEACRP、

NEANDC(核データ委員会)およびこれらの実働部隊であるNEAデータバンク委員会によって構成されていたNEAの科学プログラムの再編成が行われ、それまでの炉物理・核データのみでなく他の分野の比重を高めることとし、NEANSC(原子力科学委員会)が設置された。NEANSCは政策決定の場であり、NEACRP等で行われていた専門的なタスクは、WPなどを設けて3年以内の期限で実施することとされた。その後のNEANSCの活動も炉物理に関係するものが多く、WPPR(プルトニウムリサイクルに関するWP)、WPPT(分離変換に関するWP)などを経て、現在、WPRS(原子炉システム科学)、WPNC(臨界安全)、WPEC(核データ評価国際協力)、WPFC(燃料サイクル科学)が活動している。

OECD/NEAは持続可能なエネルギー開発への寄与を目的に種々の活動を進めており、特にNSCは基盤技術開発の重要な国際的拠点となっている。NEAを通して得られた主要国の情報は、我が国における研究の進展に極めて有用であったし、専門家会合の開催やベンチマークテストの実施も我が国の炉物理研究に大きな刺激を与えた。近年、我が国においては、原子力関連予算が削減され、研究者・技術者の減少とともに試験・研究施設の老朽化が進んでいる。その一方で、基礎・基盤研究の重要性が謳われ、その方策が模索されている。このような状況において、OECD/NEAによる国際協力は各原子力先進国の情報や動向を知る上で重要な場であり、我が国の原子力基礎・基盤研究の効率的な継承・発展にとって極めて貴重である。

IV. 将来の取組みと課題

原子力導入期の炉物理においては、臨界実験が不可欠であったが、現在では核データの精度が向上し、また計算技術の進歩により原子炉方程式を必要な精度で解くことができるので、ある構成・構造の原子炉の実現可能性の評価に関しては、臨界実験は必須ではなくなっている。しかし、新型炉や新型燃料を実際に使用するための実証性の確認に関しては、臨界実験の必要性は高い。そこでOECD/NEAの活動のなかでも炉物理積分データ保存に関するプロジェクト(IRPhEP)が進められている。

一方、原子炉の炉心設計・炉心特性の予測に関する要求精度も高くなり、臨界実験などの役割も変わってきている。J-PARC核変換実験設備については、原子力学会「2008年春の年会」の炉物理部会企画セッション「J-PARC核変換実験施設の現状と展望」¹⁾で議論を行うとともに、核変換実験施設や新たな炉物理実験施設について議論するため、本年度から原子力学会内に「アクチニド・マネジメントに関する炉物理実験設備」研究専門委員会が、炉物理部会に「次世代炉物理実験施設活用方策」

検討会が設置された。

また、炉物理部会では、今後の炉物理研究、開発、協力関係、教育、炉物理部会運営などを自由に議論するため、「炉物理の将来展望に関する討論会」²⁾を2008年6月30日に開催した。

産学から30名程度の参加があり、炉物理研究の今後の取組みと課題を議論し、以下のような課題を抽出した。

- ・ 将来の原子力開発における幅広い炉型概念の研究の必要性と進め方の議論
- ・ 持続性、安全性、廃棄物、核拡散の問題解決への炉物理の革新的なアイデアの活用
- ・ 炉物理研究・教育における「教養」レベルのシンプルな炉物理教育体系の構築、「炉心管理担当者」レベルの適切な教科書作成や社会人のための再教育システムの構築
- ・ 産学の関係を築く観点から、現場にある研究ニーズの掘り起こし方法の検討
- ・ アクチニド・マネジメントのための新たな炉物理実験施設に向けた幅広い議論
- ・ 臨界試験などの試験データの実機炉心設計・安全評価への活用手法の高度化
- ・ 核データ評価などにも活用できる燃焼計算向けの「きれいな」実験データの必要性
- ・ 次世代軽水炉開発における5wt%超燃料の臨界試験と臨界安全評価手法の高度化、およびこれに向けた議論
- ・ 発電プラントデータを産学で共同に利用できる体制作り

炉物理部会では、このような議論を継続しつつ、上記の課題の解決に向けた努力、関係者の連携強化も重要な活動の一つとしたい。

原子力学会50周年に当たり、武田栄一先生の「炉物理の研究にたずさわるものは原子力研究の方向を決めたり、フィロソフィーを作り出してゆく仕事は自分たちの責任だというくらいの自覚をもってもらいたい」との心構えを忘れず活動を行っていききたい。

(執筆担当：電中研・松村哲夫、
原安協・松浦祥次郎、森 貴正)

— 参考資料 —

- 1) 炉物理部会企画セッション「J-PARC核変換実験施設の現状と展望」・議事録
(http://typhoon.jaea.go.jp/rpd/meetings/aesj_2008_s_jparc.html)
- 2) 炉物理の将来展望に関する討論会・議事録
(http://typhoon.jaea.go.jp/rpd/meetings/future_rpd.html)

部会活動 核融合工学部会

核融合炉の実現を目指して 国際研究協力と我が国の立場

核融合炉の実現を目指す国際研究協力は、実験炉 ITER の建設が開始され、さらに幅広いアプローチ(BA)活動も本格的に始まって佳境に入った。核融合炉実現の第一の鍵は炉心プラズマの成立であるが、長い道のりを経て、加熱エネルギーと発生エネルギーがバランスする臨界プラズマ条件が日欧の装置で実現するに及んで、炉工学研究の重要性が増している。その中で、我が国の核融合研究コミュニティの中心組織としての核融合工学部会の役割はますます大きくなる。

I. 核融合は地球を救えるか

昨年6月、青森市で開かれた第7回核融合エネルギー連合講演会は、基調テーマとして「核融合は地球を救えるか」を掲げた。

現代人に突きつけられているエネルギー・環境問題、とりわけ過剰な化石燃料の燃焼による膨大な二酸化炭素の排出がもたらす地球温暖化の懸念は、人類全体の、或いは近代文明そのものの行方を左右する重大局面に至ったといえる。

一方、現実の国際社会は依然、国益の激しく衝突する修羅場である。我々は、問題がグローバルだからといって国際社会を動かす足許の“ナショナルな衝動”に目をつぶることもできない。まことに人類は難しい局面に立ち至った。

しかし、これは我々が善と信じてひたすら追い求めてきた“進歩”の一つの帰結でもある。現代人の享受する便利・快適は、ほんの少し前の世代の感覚なら王侯貴族のそれであって、直面する問題の深刻さはその代償であろう。この矛盾の思想レベルでの解決には、大宗教者、大哲学者を必要とする。しかし、凡夫たる我々も取りあえず“目前の危機”の回避に努力する責務がある。子孫に安定をプレゼントするか、彼らを不安と混沌のうちに置き去りにするか、まさに正念場である。

核融合エネルギー連合講演会が掲げた冒頭の問いかけは、その問題意識の率直な吐露であった。

II. 核融合炉実現のロードマップ

「核融合エネルギーの実現に向けた取り組み体制につ

Towards Realization of Fusion Reactor—International research collaboration and Japanese standpoint: Fusion Engineering Division

(2009年 1月13日 受理)

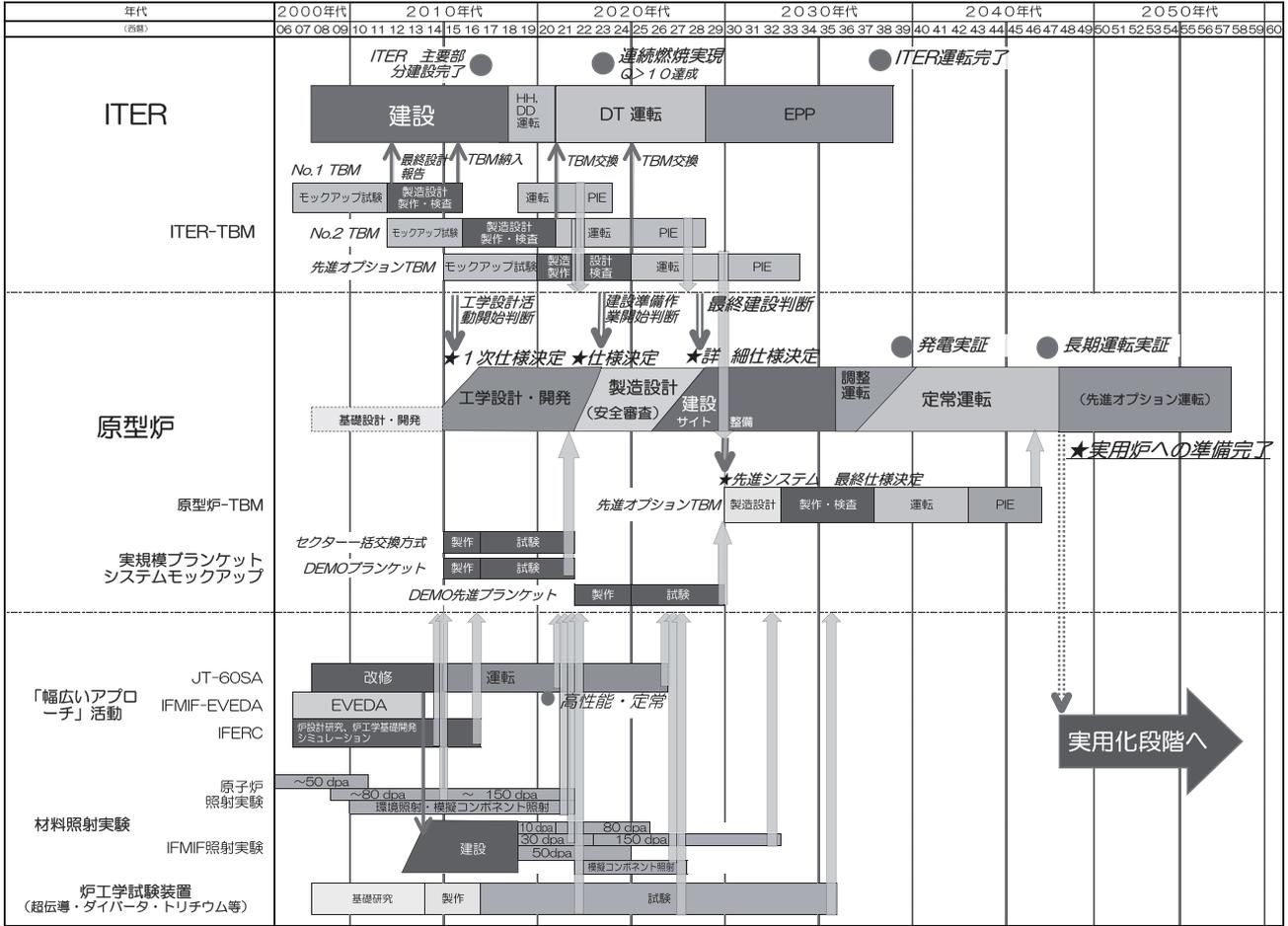
いて」という、文部科学省による一昨年10月の検討依頼に対して、昨年6月、核融合エネルギーフォーラム傘下のITER・BA技術推進委員会は「核融合エネルギー実用化に向けたロードマップと技術戦略」と題する文書を起草してこれに応えた。文書は、(1)21世紀中葉までに核融合エネルギーの実用化の目処を得るためのロードマップ、(2)産業界を含めた日本の技術戦略・枠組み・役割分担、の2点を骨子とし、(2)について660項目に及ぶ必要技術と条件を整理して進捗を評価した上で、(1)についてスケジュールを設定した。第1図がそれである。

核融合開発にはこれまで、“研究者の興味”として許容されるレベルをはるかに超えた巨額の公共財が投入されてきたが、依然、長期エネルギー需給見通しに関するいかなる政策文書にも「〇〇年から核融合炉を投入する」とは書かれていない。突き詰めればこのロードマップは、

「本世紀中葉に核融合炉を市場投入する準備ができていなければ、核融合開発は人類の抱える問題の解決に貢献できず、したがって継続する意味がない」という、いわば関係者の退路を断つ宣言である。「投入する準備ができていなければ」とは歯切れが悪いが、実際の投入はそのときの経済情勢による、の謂いである。

III. ITER 計画

核融合開発は、宇宙開発などと並んで国際協力で行われている巨大技術開発であり、その中心はITERである。ITERは、1985年11月のレーガン・ゴルバチョフ会談で東西両陣営の雪解けの象徴として着手が合意され、1988年に米、ソ、日、欧の4極によって概念設計活動が開始された。引き続き、1992～2001年には工学設計活動が行われて設計が定まり、4年間の交渉を経て2005年、建設サイトが南仏カダラッシュに決まって2008年から建設が開始された(第2図)。現在、サイト整備工事が着々と進められている。途中、米国の離脱と復帰、中国、



第1図 核融合炉実現へのロードマップ



第2図 南仏カダラッシュのITER建設現場
(写真はITER機構の提供)

韓国およびインドの参加があって、現在は7極がこれに参加している。

ITER計画において我が国は、ホスト極たる欧州と並ぶ準ホスト国として、国内研究ではJT-60による世界最高のプラズマ性能の実証を行い、先端機器調達においても大きな貢献をするなどして主導的な役割を果たしている。

ITERの最大の目的はトカマク装置による炉心プラズ

マ、とくに重水素と3重水素の核燃焼プラズマの実証であり、超伝導コイル、ダイバータを初めとする高熱流束機器、遠隔操作システム、トリチウム燃料循環・取扱い技術など、将来の発電炉のトカマク装置が実現すべき機能をすべて備えている。

ITERでは、誘導加熱によるパルス運転モードではフラットトップ400から500 s、総計30,000回の運転で $Q = 10$ (エネルギー増倍率)を目指し、さらに、動力炉に必要な定常運転($Q = 5$ 以上)の達成を目的とする。第一壁中性子束は 0.5 MW/m^2 、中性子フルエンス 0.3 MWa/m^2 である。

IV. ITERでのTBM計画

原型炉に向けた最重要炉工学課題がブランケットの開発である。ブランケットは、炉心プラズマでの核融合反応で発生した高速中性子のエネルギーを熱に変換して冷却材に伝え、同時にその中性子と、装荷されたなんらかの化学形態のリチウム原子核との反応によって、燃料であるトリチウムを生産する。核分裂原子炉では、熱と核分裂生成物が同じ場所で発生し、前者だけが取り出されて、後者は燃料の寿命の間その場所に“居続ける”のに対して、核融合炉ブランケットでは、同じ場所で発生する

熱とトリチウムの双方を連続的に、しかも別々に炉外へ取り出さなければならない。この“二重輸送問題”は工学的には極めて難しく、ブランケットの最適形態については決着がついていない。ITERのTBM(Test Blanket Module)計画は、そのための最重要ステップである。ITERは一義的には炉心プラズマ閉じ込め性能実証装置であるが、原型炉の基本仕様の確定に向けて最大の問題がブランケットである以上、その後の進展はすべて、小規模ながらトリチウム増殖性能と発電を最初に実証するTBMにかかる。

ITER計画中のTBMの性格については注意すべき点がある。ITER本体とそれを用いたプラズマ実験は、その建設・運転から成果の共有まですべて国際協力で行われるのに対してTBM計画は、ITER本体の共通スケジュール管理の枠内ではあるが、各極がそれぞれの開発計画に基づいた独自の概念について行う。いわばITER本体は国際協力、TBMからは国際競争である。ただし、参加極のすべてが単独で独自のブランケットを構想し、製造し、試験をする力を備えている訳ではないので、その場合には他に“相乗り”することになる。したがって、各構想のそれぞれに、主たる担当極(リード極)と従たる担当極(パートナー極)とがある。現在の構想とリード極を第1表に示す。

我が国では、日本原子力研究開発機構が中核となって進めてきた水冷却ペブルベッドブランケット構想をリード極として担当するが、大学等が中心となって進めてきた各種先進ブランケット研究についても、国際協力をも視野に入れてモジュール開発を進める予定である。

V. 幅広いアプローチ(BA)活動

ITERの成果を補強・補完して実証炉の実現を目指す幅広いアプローチ(Broader Approach: BA)活動が2006年に日欧間で合意された。ITERの建設サイトを巡る交

第1表 各極が示したTBM参加の立場

TBMの方式	日	欧	米	露	中	韓	印
固体増殖/He冷却	△	○	△	△	○	○	△
LiPb増殖/He冷却	△	○	△		○?		○
固体増殖/水冷却	○		△		△		△
液体Li増殖	△			△		△	
溶融塩増殖	△						

○：リード極，△：パートナー極(2008年4月時点)



第3図 青森六ヶ所村のITER BA建設現場

渉は、最終段階で日欧のいわば一騎打ちになって膠着状態に陥ったが、プラズマ実験を主眼とするITERのみで一気に原型炉の実現につなげるのは難しく、炉工学を中心とした周辺課題の研究開発が不可欠である、との認識は関係者の間に共通であったから、ITER建設サイトが取れなかった方がその課題を主体的に引き受ける、という追加案の提示によってその膠着が解けたのである。我が国は、いわばITERサイト誘致に関して一敗地にまみれたが、BAに係わる主要研究施設はすべて日本国内に建設されるので、考えようによっては、炉工学研究の中心拠点としての立場を確保して実を取ることができた。

BAは次の3プロジェクトからなる。

1. JT-60 SA(サテライトトカマク計画)

ITERの第一壁熱・中性子負荷は、主として材料の信頼性の面での不確実性を反映して、安全側に抑制されているが、その分、装置全体が出力に比して巨大なものになっている。将来の動力炉では、経済性の観点からこれを避けなければならないので、ITERの運転と並行して、プラズマの閉じ込め圧力を上げて炉のコンパクト化を図る、いわゆる高ベータ化が必要である。原子力機構那珂研究所のJT-60Uを改造してこれに備える計画である。

2. IFMIF-EVEDA(国際核融合材料照射施設

—工学設計・工学実証活動)計画

核融合開発の最も重要な炉工学課題が高エネルギー中性子照射を受ける材料の開発であり、そのための施設として開発が進められているのが国際核融合材料照射施設(International Fusion Material Irradiation Facility: IFMIF)である。核融合の実用化には、高い中性子照射に耐え、しかも放射化レベルの低い材料の開発が不可欠であるが、ITERは、動力炉で予想される50~100 dpaのフルエンスを実現できない。既往の核分裂炉を用いた材料試験は中性子エネルギーが核融合のレベルに達せず、量子ビーム照射はフルエンスが不足して、微視的な欠陥の研究は行ってもバルク材料の健全性を確認することができない。これに対してIFMIFは、加速器からの高エネルギー重陽子ビームを液体リチウムターゲットに照射し、発生する核融合炉条件に近い中性子束をバルク材料に照射してその機械的強度の変化・寿命を実証する。文字通りあぶって、曲げて、引っ張って、という徹底した実証的材料試験施設である。

IFMIF本体の建設は、サイト、建設主体その他につ

いて未定の状態であるが、最も重要なコンポーネントである加速器と照射用テストセルの開発が青森県六ヶ所村で行われ、ターゲットのリチウムループが原子力機構大洗に作られる。後者は、FBRのナトリウムループの実績を重視した決定である。

IFMIFの第一準備段階であるKEPは、2000年以来、IEA傘下の国際協力として進められてきた。他極を排除する目論見は含まれていないが、今後は、BA活動を通じて日欧が中心に開発を進めることになる。

3. IFERC(国際核融合エネルギー研究開発センター)

先のロードマップにあるとおり、原型炉の設計作業はITER、TBM、IFMIFの成果が出揃ってから始めては遅いので、それらと並行して行われ、各装置の成果をそのつど供給しながら進められる。IFERCの一方の柱である原型炉設計・R&D調整センターはそのための拠点となる。もう一方の柱はITER遠隔実験センター、計算機シミュレーションセンターを包含したもので、ITERへのアクセスの便を大幅に拡げて最大限の成果を上げるためのものである。

VI. 核融合工学部会について

現在、日本原子力学会には17の部会があるが、核融合工学部会は、1993年に発足した同制度の第一号設置部会である。というより、本学会の部会制度自体が、核融合分野からの提言によって設けられたものである。核融合工学部会の前身は、1973年に発足した核融合研究連絡会であるが、同連絡会で中心的な役割を担われ、部会制度の提言者となられた宮健三東大教授(当時)の目論見は、次のようなものであったと記憶する。

核融合炉の実現は、反応にあずかる原子核からなる燃料物質を高温で一定時間閉じ込める炉心プラズマの成立を前提とし、発生エネルギーを発電に導く炉工学がそれを支える。炉心プラズマと炉工学は、いわば核融合炉実現の車の両輪である。一方、プラズマ科学は蛍光灯から宇宙プラズマに至る広がりを持って、それ自体一つの大きな学術体系を形成し、核融合プラズマはその一部である。すなわち、その裾野は原子力学会に及んでいるが、プラズマ研究コミュニティ自体の中心は本学会外にあり、ほぼ本学会に包摂されている炉工学研究コミュニティがそれと協力して核融合炉の実現を目指すには、炉工学研究者が本学会内である程度の独立性を維持して、プラズマ研究コミュニティと対等の立場で協力を推し進める必要がある。

この設置趣旨については当時、「これは分派活動ではないか」との批判が一部にあったと記憶している。上述のように、制度発足はある意味で核融合分野固有の事情によって促されたのだが、その後、数多く設置された各部会の活発な活動状況を見れば、当該制度は、原子力学

会全体の融合を損なうことなく、それぞれの学術分野の深化を促すという好ましい結果をもたらしていると思う。ただし、一抹の懸念もある。

核融合分野の大きな問題の一つに、研究者人材の継続的確保がある。商用炉の実現は早くても2050年以降と想定される核融合開発には当面、研究のみあって産業がないから、若者がこの分野に係わる道も研究者としてのそれに限られ、当然、他のエネルギー開発分野に普通にある産官学の人事交流もない。したがって、若い世代がこの分野に飛び込むことは、それ自体文字通り“人生を賭ける”ことである。現今の核融合研究者のシニア世代は、ほとんどがキャリアの初期に核分裂分野で活動し、その後、核融合分野に転進した経験を持つが、若い世代は最初から核融合のみに係わり、他分野の活動歴はほとんどない。懸念は、その方々の学会活動が核融合工学部会のうちに限られれば、それだけでなくとも規模が小さく、他との交流の乏しい核融合研究コミュニティがますます孤立して、次第に縮小していくのではないか、という点である。

核分裂と核融合は、ともに高エネルギー核事象として材料や熱流動などに多くの共通点を持つ。若い世代は常に他分野に目を向けて、自らのうちに柔軟性・流動性を涵養しておくことが求められ、シニア世代は、核分裂と核融合の間の垣根をできるだけ低くして、人事交流その他を活発に行う制度を整備する努力が求められよう。

現在、核融合部会の活動の柱は、国内においては核融合エネルギー連合講演会および核融合夏期セミナー、2国間協力事業としての日韓セミナーの主催、米国原子力学会核融合工学部門の主催するTOFE(Topical Meeting on Fusion Engineering)の共催、国際コミュニティの行事としてISFNT(International Symposium on Fusion Nuclear Technology)への協力、などである。核融合エネルギー連合講演会は、プラズマ核融合学会と本会の共催であるが、本会側の担当は実質的に核融合工学部会単独である。またISFNTは、前記宮健三先生のご尽力で始まって過去8回のうち3回までが東京で開催されていることからわかるように、我が国の核融合コミュニティが実質的にリードしてきた。これらは、前述の“ある程度の独立性”を持って核融合炉の実現に向けて協力態勢を構築するという核融合工学部会設立の目的の、まさに具体化である。

(執筆担当：九州大学・清水昭比古)

—参考資料—

- 1) 「核融合エネルギー実用化に向けたロードマップと技術戦略」、核融合エネルギーフォーラム、ITER BA技術推進委員会、(2008.6)。

部会活動 核燃料工学部会

人間中心の核燃料学—一次の50年を考える

知識集約型産業である核エネルギー産業のマネジメントコストは他の産業分野と比較して過剰である。多様な現場に対応し、限られた人材の有効利用、全体の知識マネジメントの合理化とサービス品質の向上という観点から、核燃料に関する戦略的な知識の再利用、体系化、深化を実施する必要がある。核燃料部会の活動の一部を総括しながら、今後の50年の問題設定を試みる。

I. 50年後

今から50年後の科学、技術、人、文化について、一人の技術者として何が語れるであろうか？21世紀前半は20世紀までの実験科学、理論科学、計算科学の次のデータ科学の時代であるという意見がある。2020年には膨大なデータの集積と既存の科学大系のデジタル化が進み、量子コンピュータは磨きがかかり、既往の情報資源を知的に統合したデジタル情報の総体に人間の知恵が及ばなくなるという予想がある。今から50年先は2020年予測のさらに約40年後であるから、情報処理のためのコンピュータの使用電力と発生する熱は新たな温暖化問題をもたらしているかもしれない。人口が半減した日本でも化石燃料や再生可能エネルギーだけでは人々が求める生活レベルを維持することができなくて、エネルギー源としての核エネルギーが大半となるかもしれない。そのような先の話なので、核燃料部会も、原子力学会も、普遍性の高い学問的な内容だけが残り、直交する内容だけが束ねられて別の名前の学会へと発展しているであろう。その時に何が実現しているのだろうか？荒唐無稽といわれるのを覚悟のうえで、あえて核燃料に関する50年後の合理的なエンジニアリングの姿を以下のように予想してみたい。

「核燃料に関するデータ、理論、モデル、計算コード、加速試験等の知的基盤が確立し、実炉の核燃料と区別のない“コピー：デジタル燃料”がコンピュータ上に実装され、製造時データ、原子炉の設計仕様、実機の運転履歴、モニタリングデータを“コピー：デジタル核燃料集合体”に入力するだけで、様々な分解能、粒度で核燃料の健全性を診断することが可能になる。

この時、燃料の照射後試験(PIE)は実用的な意味を失い、“コピー：デジタル核燃料集合体”の検認と教育的な意味だけが残る。デジタル化された核燃料、デジタル化

された核燃料集合体、デジタル化された炉心がシームレスにつながり、再処理、貯蔵、輸送などの安全性の評価についても直前の状態のコピーを、それぞれの評価モジュールにコピーするだけで安全性が評価できる。また、核不拡散性、環境適合性、資源論、経済性などの技術外部性の変化に基づく設計変更もインターオペラビリティ(相互運用可能性)のある評価モジュールとのインターフェイスを通して透明性高く完璧に実施される。確立された知見は背景知識としてモジュール化され、不確実な事象は想定されるすべてのシナリオを包含するホリスティックなリスク論によって適切に処理される、……」

このような“コピー”実現への道程を、以下、核燃料連絡会の設立に遡って検討してみたい。

II. 4半世紀前の核燃料連絡会の設立と活動

核燃料は、それまでの科学技術の常識をリセットし、その基礎に立ち戻ることによって、その設計、製造、改良、改善が進められてきた。原子力システムは核反応を制御し、利用するためのシステムで、核的特性は最も重要な特性として登場した。既存の使用経験に基づく材料選択の枠組みは不十分で、核特性を基軸にして材料選択を根底から見直すことが要請された。また温度や化学的な条件の厳しさに加えて、材料の内部構造に継続的に損傷を与える照射という過酷な条件は、格子欠陥の挙動についての深い理解を要請した。こうした新たな条件を十二分に配慮した上で核燃料の健全性を適正に評価することは容易なことではなく、困難を克服するため優れた専門家が数多く集まり、叡智を結集して問題解決にあたった。原子力エネルギーの本格的な利用が始まった頃の初期トラブル、例えば燃料被覆管のサンバースト破損の抑制、水素化物の配向の制御や燃料棒の SCC, PCMI, PCI, 腐食等々の問題解決には、そうした専門家集団の使命感に燃えた粘り強い調査、分析と経験に基づく洞察力が大きな役割を果たした。

核燃料部会の前身である核燃料連絡会が設立されたのは、原子力学会年會が開催された1984年3月30日で、会

Human Centric Nuclear Fuel Science—A Perspective for Next 50 Year : Nuclear Fuel Division

(2009年 1月23日 受理)

員同士の情報交換を主目的とする任意的な性格の組織であった。この時期は核燃料に関する一連の課題についての経験が積み重ねられていた時期で、高度の安全性、信頼性を達成しつつあった核燃料の専門家集団の格好の情報交換の場となった。発足時の連絡会メンバーは110名で、核燃料連絡会の会報 No. 1 は1984年5月に発行された。また世代を超えた緊密な情報交換の機会として、1986年7月17～19日に、第1回核燃料夏期セミナーが岐阜長良川ハイツで開催され、同年の12月の会報には「軌道に乗った核燃料連絡会」との記事がある。核燃料関係者、専門家の結集が固められた時期である。さらに1991年6月には「地球環境と社会に優しい原子力技術を願って」といった記事も出るようになり、1992年のリオでの環境サミットの開催前年という時代を反映したグローバルな視点も披露されていた。

Ⅲ. 核燃料部会の設立：連絡から連携へ

学会内で専門分野を代表する組織として部会制度が提案されたのは1991年、制度が発足したのは1993年で、同年3月28日の核燃料連絡会総会で核燃料部会への移行が承認された。その間の経緯は、連絡会発足以来の会長で初代の核燃料部会長の故三島良績東京大学名誉教授による「核燃料研究連絡会から核燃料部会への移行について」(部会報 No.19, pp. 2-3, 1993年6月)に明示されている。部会への移行の理由を要約すれば、連絡、情報交換を主体にした連絡部会から学会内で専門分野を代表する組織としての部会への発展である。つまり現場の多様な経験、トラブルに関する情報交換の次は、共通の目標の確認と目標達成、問題解決のための連携である。産業界は現場での設計、製造、技術、使用、管理の全ライフサイクルを通じた経験を適切に理解し、生産効率、信頼性や燃料性能、経済性の向上といった目的の達成に邁進する。大学、研究所は、そこに通底する科学あるいは技術の学術的な基礎を確立することに注力する。また、安全のための規格、基準、教育、審査などの制度設計は官産学が協力してあたることになる。学会では、それぞれの開発や研究の現場での新たな成果や経験、課題、プロジェクトの状況、思索の結果を持ち寄り、それぞれの事象を深く多面的かつ適切に理解し、解釈し、制御するための研究開発について議論される。さらに他分野や関連分野の国際的な研究動向に関する意見交換を行い、知的基盤を拡充し、そうした成果を社会に還元するための知的連携基盤を確立する。こうした活動は多面的かつ複雑で、様々な整理の仕方が考えられるが、部会名称の核燃料そのものに視座を定めて、以下、「核燃料コモンズ」とでもいうべき核燃料部会という共通の場、結節点の基本的役割を考えてみる。

核燃料に関するデータ、情報、知識の発生に伴う知的基盤形成の状況は、個々の学会発表、オリジナル論文投

稿などの個別的な活動を通して展開されている。また部会としての意思表示は、核燃料夏期セミナーの実施、部会報の発行や、学会での企画セッション、特別セッション、部会講演会ほかの部会提案のプログラムによって実施されてきている。詳細は部会ホームページ

<http://www.soc.nii.ac.jp/aesj/division/fuel/>を参照されたいが、今後の学会活動の方向を検討するための資料として、2001年春の年会以降の核燃料部会関係の特別セッション、部会講演会を眺めてみる。多様なテーマの内容をあえて分類すると、

- ・ 国際的な情報交換、連携
 - 中国/韓国
 - 日・米・仏・英/OECD/
- ・ 試験研究炉と大学共同利用
- ・ 炉型(ATR/GCR/Generation IV)
- ・ 軽水炉燃料の高度化・高燃焼度化、水化学
- ・ 核燃料サイクル/トリウム燃料サイクル/MA

等々となる。それぞれの時点で、部会員の多くが関係し、興味を持っていたテーマで、全体を並べて見ても、部会構成員の活動を反映したバランスのとれた活動になっている。

しかしながら、核燃料に関する課題をホリスティックに眺めた時、いくつかの重要な課題が見落とされていることがわかる。例えば、

【国際的な視点】 インド、ドイツ、ロシア、ウクライナ、カザフスタン、ブラジル、南アフリカ連邦、台湾、インドネシア、ベトナムなどの活動、さらには核不拡散性、環境適合性、資源論などの技術外部性；さらには国際的な視点からの技術標準、知的基盤の確立戦略；……

【学術的な視点】 酸化物の物理、化学、欠陥の基礎；溶融塩、ガラスなどの物質科学的な基礎；人工物ライフサイクルとしての核燃料のライフサイクル工学；複雑システムのモデリング、設計、メンテナンスの基礎；特に経年変化に関する予測の科学；人間の特性を配慮した説明(理解促進)方法、マニュアル作成方法などの工学一般の基礎；……

【技術戦略的な視点】 新たな情報獲得のための技術戦略、例えば、先行照射や加速器、計算科学活用による“加速実証試験”；上記の技術標準、知的基盤の戦略の中での安全審査/規制；活力のある多様な人材糾合・人材有効利用のための研究開発計画、包括的なビジネスモデルほか；長期的かつ発展的な人材確保のための教育戦略；技術史的な観点からの既往の成果の集約と新規プロジェクトの組織論；……

などがある。

すでに共催等の実績があり、軌道に乗っている「材料、核融合部会との共同日韓合同セミナー：原子炉燃料・材料挙動に関する日韓セミナー」、「高温材料化学国際会議」、燃料ふるまいに関しては、「ANS LWR Fuel

Performance Meeting, ENS Top Fuel, AESJ/ANS/ENS 共催の水炉燃料挙動専門家会議(Water Reactor Fuel Performance Meeting)を出発点にしての米国, 欧州, アジア 3 極での交互の開催」などを基軸に, 情報交換から連携, さらに核燃料に関する体系的な知的基盤の共同構築とメンテナンスなどが冒頭のデジタル“コピー”作成へのステップとなろう。核燃料に関して重要な情報全体を俯瞰的に眺め, 現状では問題意識の希薄な重要課題について, 他部会との連携も視野に入れつつ部会として具体的かつ刺激的な議論を開始することは, 現部会員のより積極的な参加をもたらすだけでなく, 将来の新たな活動を展開する部会員(若手と他分野の専門家)を獲得するための有効な方策と考えることができる。

【広報】 部会メンバーの貢献によって核燃料部会のホームページは着実に情報を積み重ねている。こうした地道な準備の先には, 主として部会員の一部を対象とした年 2 回の会報や部会活動の議事録のアーカイブといった Web 1.0 型の一方向のサービスだけでなく, Web 2.0 でも議論されているように, ネット上の不特定多数の日本語を理解できる人々を, スタテックなアーカイブの受動的なサービス享受者ではなく, 核燃料部会員への提言, 連携提案をするような能動的な参加者として積極的に巻き込んでゆくための“しかけ”が必要であろう。そのためには, 内容の充実とともに核燃料プロパーの専門家だけでなく, 他分野の人々へのサービス, インターフェイスが重要になる。

国際化の出発点となる英語化に関しては, 具体的目標を確認した上でのホームページの英語化が必要であろう。上記の核燃料部会メンバーが主体的にかかわって国際的ローテーションに加わっている国際会議の開催の機会に, 英文ホームページを核燃料部会の国際連携に関するポジションペーパーとして位置付け, 核燃料部会構成員の将来計画を基にした主体的な分担を通して拡充することが考えられる。これまでの部会が関与した水炉燃料挙動専門家会議(Water Reactor Fuel Performance Meeting), 原子炉日韓夏期セミナー, 軽水炉燃料国際会議, ジルコニウム国際会議などについての総括と今後の展望を準備することから始めたらよい。

また, ガス炉, 研究炉, 材料試験炉, 実験炉, 船用炉, 「ふげん」, 「もんじゅ」等々の研究開発に焦点のあてられた炉型の核燃料や, 商用目的の軽水炉においても, 設計だけされたもの, 試作品だけのもの, 1 回限りあるいは短期間の限定的な使用に留まった事例など, 貴重な経験については, 科学博物館と協力して, 将来, 参照可能なように適切な方式でアーカイブ化しておくことが望ましい。いうまでもないことだが, 核燃料の健全性の達成と経済的な合理性の向上は, 多スケール, 多原理として特徴付けられる核燃料に関する諸事象を総合的に再編して核燃料集合体あるいは炉心として組み立てられていく

プロセスとして理解することが必要で, 個々の断片をつなげる「物語」として記録することが必要である。

こうした積極的なサービスを部会として実施してゆくことも大切であろう。

1. 情報活動の展開：部会の活動や各国の核燃料関係の活動をリンクするためのポータルサイトの構築

原子力学会誌での核燃料技術の基礎「連載講座」の内容や大学の基礎的研究(例：計算物理, 腐食, 物性, 熱拡散率, 水素, 溶接他)の講義録, 関連セミナー, 電子教材へのリンク, 専門委員会等での深掘りした検討結果, 例えば「燃料の高燃焼度と廃棄物処理の関係」, 「核燃料技術基盤の高度化」, 「核燃料技術基盤の高度化」, 「先進的原子力システムにおける燃料・材料」, 「軽水炉燃料に関する技術戦略マップ」, 「燃料高度化ロードマップ」, 「高度化原子力エネルギーシステムにおける燃料・材料問題」等々の要約とそれぞれのサイトへのリンクなどが定常的な部会の活動となろう。そうしたリンクのネットワークは著名な複雑系の解析によれば 6 ノード程度で全関連サイトにたどり着くことができるとされているので, リンクのネットワークとして定常状態に達するにはそれほど時間を必要としないであろう。核燃料に関する連携のためのポータルサイト構築の次は, 繰り返しコピーされるキーワードや時代時代のトレンドを雰囲気として反映したバズワード, 重複情報の処理である。冒頭の“コピー：デジタル核燃料集合体”は, 冗長で論理的な矛盾も含む断片情報のコレクションを整理, 調整, 補完して, 核燃料そのものと同一の論理的な整合性を備えたデータ, モデルの集合体へと組織化することによって実現する。それは上記の 2020 年予測ほど楽観的でないと考えるが, 膨大な知見を整理するための国際標準の策定の作業の積み重ねを通して論理的な整合性を向上させながら段階的に達成するものであろう。

2. 国際的な貢献やビジネス展開への配慮を基にした燃料関係の国際標準策定, リーダーシップの発揮

核エネルギーの利用に関するマネジメントコストは他の産業分野と比較して極めて大きい。多様な現場に対応し, 限られた人材の有効利用, 全体のコストと合理化とサービス品質の向上という観点から, 戦略的な知識の再利用, 体系化, 深化を実施する必要がある。言語的な障壁, 専門性の壁, 暗黙知・知的財産権・セキュリティ・リスク・安全・安心などの取扱いに関しては, 旧来の枠組みを超えて解決すべき課題は多い。マネジメントコストの増大は, 核エネルギー平和利用に関する産業そのものの存続に影響を与えかねない。こうした文脈の中で国際標準の策定は検討されるべきで, そこでは

今まで以上のリーダーシップが要請される。

IV. 核燃料情報の流通^{るづ}

核物質は、核的エネルギーの担体で、核的、化学的形態を変えて物質としてのライフサイクルを形成する。物質(ブツ)としては、鉱床からの採掘に始まり、濃縮、燃料製造、核レベル、電子レベル、原子レベル、欠陥レベル、マイクロ組織レベル、寸法、外観の検査・解析結果から使用前、使用中の核燃料棒・集合体としての健全性、さらには使用後の貯蔵、再処理、廃棄物の管理状態に至るまでの“物流”があり、それぞれの段階に対応したデータが発生し、データ間の関係は知識として整理される。現場で発生した生データから、データベース、知識ベース、確認試験、安全基準、安全指針などを経て現場へと還元されるプロセスは情報のライフサイクルとして整理される。新しい事実は次々と追加され、学会、部会等々を通して伝達される。核燃料の中で生起している現象についてデータ、モデルを計算機システムの中に取り込み、核燃料のダイナミックなふるまいをシミュレートするデジタルモデルが作成される。核燃料、燃料棒集合体のデジタルモデルを所定のデジタル炉心に挿入した時に、デジタルへの操作と仮想的なデジタル原子炉と実機のふるまいが区別つかなくなる。それが冒頭の“コピー：デジタル燃料集合体”を機能面から眺めたイメージであるが、その実体は燃料製造の現場から、原子力プラント

での運転データ、貯蔵・再処理・再利用・廃棄に関わるデータと、ネットワーク上に分散した膨大な知識とが、それぞれの現場に適合するようダイナミックかつ正しく再構成されるような“やわらかい”ものであろう。

紙幅の都合で要約するが、“やわらかさ”の基本には、核燃料を利用する目的、誰もが理解できるような目的を実現するための根本が“核燃料コモンズ”として共有され、その意味、価値(こころ)が、多様な経路(文脈)を通じてすべての人々に理解されるよう流通(るづ)する状態がある。また、それが冒頭の“コピー”を実現する路であろう。

V. おわりに

核燃料のこれまでの50年を適正に総括しながら次の50年の核燃料の歴史をどう設計し、世代を超えて創ってゆくのか? 専門家の真価が試されているといえる。様々なシナリオが想定される次の50年を考えながら、日常的な研究開発活動を楽しみながら議論し、連携する場として部会が役割を果たし、構成員のそれぞれがそれぞれにとって実りある物語を創ればと考えている。

(執筆担当：東京大学・岩田修一)

—参考資料—

- 1) *Nature*, 440[23], 398-417(2006)など.



部会活動 バックエンド部会

放射性廃棄物の安全な処理処分を目指して 幅広い研究分野を結ぶバックエンド部会

2000年原子力発電環境整備機構(NUMO)設立, 2002年高レベル処分場公募開始, 2007年高知県東洋町の応募と撤回, 2008年 TRU 廃棄物についても公募開始……。バックエンド部会が発足して10年が経過した。この間, 部会誌『原子力バックエンド研究』の発行, セミナーの開催等さまざまな活動を行ってきた。バックエンド部会が関係する分野の研究の進展と今後の展望について述べる。

I. バックエンド研究を支援するために

バックエンド部会は, 使用済み燃料再処理, 廃棄物処理処分という, いわゆる核燃料サイクルのバックエンド領域に関連して行われるさまざまな専門分野の研究活動を支援し, その発展に貢献することを目的として1997年に設立された。2001年の再処理リサイクル部会の設立に伴い, 再処理分野は同部会に活動の場を移し, バックエンド部会は廃棄物処理処分を主とした研究分野を対象として活動している。2008年10月現在, 部会員数653人と原子力学会の部会の中で最大の会員数を擁している。部会誌の発行やセミナーの開催, 発表支援, 研究会支援, 国際会議支援, 表彰等のさまざまな部会員の支援活動を行っている。

1. バックエンド部会の歩み¹⁾

バックエンド部会の前身は1984年に発足した放射性廃棄物研究連絡会であり, 1993年に放射性廃棄物部会に改組された。1997年に再処理分野を含んでバックエンド部会が発足したが, 2001年の再処理・リサイクル部会の設立に伴い, 再処理分野は同部会に活動の場を移し, バックエンド部会は廃棄物処理処分を主とした研究分野を対象として活動している。しかしながら, 設立目的「原子力利用にともなう放射性廃棄物の発生・分離・管理・処理・無害化・処分等のバックエンド領域に関して行われるさまざまな専門分野の研究活動を支援し, その発展に貢献すること」はいささかも変わっていない。

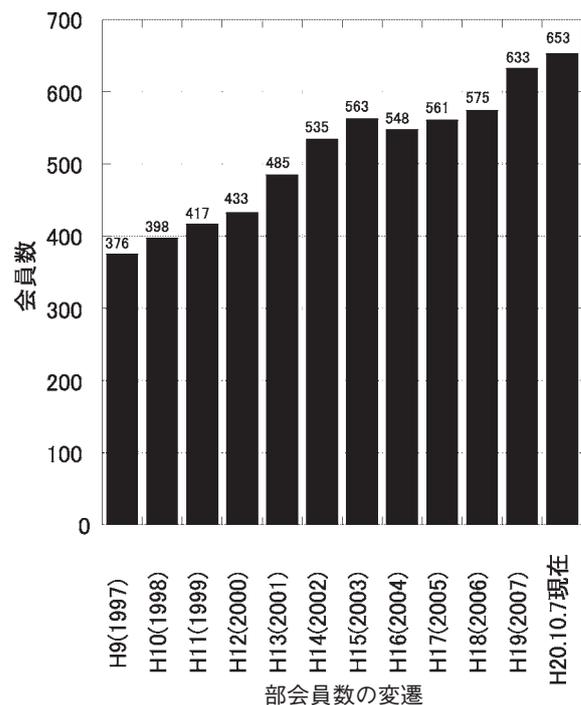
バックエンド領域の研究はきわめて範囲が広く, 原子力工学はもとより, 材料工学, 土木工学, 化学工学, 地

質資源工学, 生物学, 考古学, 社会科学, 行政にまで広がっている。時間スケールでは, 光計測のピコ秒の桁から処分の数万年以上, 空間スケールでは, 原子サイズから生物圏サイズまで, ダイナミックレンジの広い研究を含んでいる。このため, 部会員同士でも研究内容がつかめにくいことも多々生じる。このため, 部会員がバックエンド領域の概要をつかみ, それぞれの進展状況を適時に知ることができるよう, 部会誌の発行, セミナー開催等さまざまな部会としての支援活動を行っている。

2. バックエンド部会の様々な活動

(1) 部会誌『原子力バックエンド研究』の発行

部会独自に研究論文誌『原子力バックエンド研究』を発



For Safety Treatment and Disposal of Radioactive Waste :
Division of Nuclear Fuel Cycle and Environment.

(2008年 10月30日 受理)

行している。1994年に「放射性廃棄物研究」の名で第1号を発刊し、1997年の部会設立とともに名称を変更し、現在に至っている。初期のうちに査読制度を確立し、ISSN番号を取得するなど、部会誌ではあるが学術誌としての意義付けを行っている。また、2007年からWEB(<http://www.soc.nii.ac.jp/cgi-bin/aesj/backend/wiki/index.cgi>)から入り部会誌を選択)公開を開始し、誰でも閲覧でき参照しやすい形にしている。

(2) セミナー、部会講演会の開催

夏期セミナーや週末基礎講座、原子力学会における特別セッションでの講演会を開催している。本部会に深い課題や時事、あるいは原子力全般に関する課題について専門家による講演を行うとともに、特定テーマに関する個別討論会や部会員の方々の活発な意見交換を行っている。特別講演については、適宜「原子力バックエンド研究」に再録を載せ、参加できなかった部会員への情報提供を行っている。週末基礎講座は主に学生を対象として実施してきたが、2007年から一部公開し無料でも一般参加もできるようにした。

(3) 国際会議の支援

過去大きな国際会議を3回主催および後援した。1994年10月24～26日に京都で開催された米国材料学会(MRS)の「放射性廃棄物管理の科学的基礎」(通称:MRS94)、1997年10月26～31日に仙台で開催された「地下におけるアクチニドおよび核分裂生成物の化学および移行挙動」に関する第6回会議(通称:Migration'97)、1999年9月26～30日に名古屋で開催された米国機械学会(ASME)の「環境修復と放射性廃棄物管理に関する国際会議」(通称:ICEM99)である。これらの会議の開催により、多くの部会員が国際会議に参加した。また、これら会議の収益金を利用して、その後のセミナーや若手研究者助成、研究会支援活動を実施している。

(4) 助成、支援活動

若手研究者が海外で発表する場を増やすため、海外発表助成制度を続けている。年数名ではあるが、これまでに10名以上が助成を受けている。また、彼らによる国際会議報告は「原子力バックエンド研究」に掲載されている。

バックエンドに深く係わり、かつ予算的支援のない研究グループに財政支援も行っている。

(5) 社会への説明活動

中立的な立場としての学会活動として、社会への説明活動を試みている。具体的には(2)項の週末基礎講座の一般公開もその一環であるが、今後は、NPO等のリーダー的な方々への説明や講師登録・派遣等を検討している。

II. バックエンド研究の進展

1. 高レベル廃棄物処分に向けて

動力炉・核燃料開発事業団(現、日本原子力研究開発

機構:JAEA)により、1992年に「高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書—平成3年度」(通称H3レポート)⁸が、核燃料サイクル開発機構(現JAEA)により1999年に「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ」(通称H12レポート)⁹が公表され、サイトを特定しない場合の高レベル放射性廃棄物の処分の安全性について評価がなされた。その後、2000年6月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」が公布され、10月には原子力発電環境整備機構(NUMO)が設立された。

H12レポートにより、安全性を担保できる処分場の形がある程度決まり、この分野の研究内容が大きく変化していった。それまでは、安全評価パラメータ(例えば、放射性同位元素の吸着分配係数や拡散係数)の取得が大きな項目であったが、吸着の機構解明等、より詳細で科学的信頼性を高めるための研究にシフトしていった。例をあげると、固体(岩石や粘土等)表面への元素の吸着モデルとして表面錯体モデルが提唱され、それに伴い無機溶液化学(特にアクチニド元素)研究が進められた。放射光技術の発展とも重なり、X線吸収分光法(XAFS)や時間分解蛍光測定法(TRLFS:Time-resolved laser fluorescence spectroscopy)等を使ってイオン周りの水分子の配位状態を調べ、放射性同位元素がどのように固体表面や溶液中に存在しているか等の研究が活発に行われた。

また、H12レポートでは簡単な評価に留められていた部分についての研究も開始された。これまで、放射性物質は溶液内で主にイオンとして存在し、固体(岩石や粘土)と吸着脱離を繰り返しながら拡散や移流により移動するというモデルで評価されていた。これに対して、コロイドとして移動するシナリオが考えられ、地下水中のコロイドへの吸着、放射性同位体自身の低溶解度によるコロイド生成とそれらの移行挙動についても研究が進んだ。地下水中のコロイドについても、無機(岩石の劣化による粘土コロイド等)だけでなく、有機コロイド(低分子有機酸、フミン酸、フルボ酸等高分子)についての研究が盛んに行われている。さらに地下での微生物についても研究が始まっている。このほか、ナチュラルアナログ(天然類似現象)研究や錯体構造に関する理論・計算科学研究も進められている。

一方で、サイト選定に向けた具体的な研究も進められている。実際の処分場を建設・操業・閉鎖するための研究が土木学会との共同作業³⁾で開始された。ここで、サイト選定のための調査・評価、人工バリアの設計と製作、地上施設の設計、地下施設の設計・建設、廃棄体埋設と閉鎖に関する技術が検討された。1日5本のガラス固化体の設置(年間1,000本、4万本設置に40年)を設定し、処分場を複数のパネルに分け操業すること等の前提でさまざまな設計案が作られている。処分地の岩の種類

等により処分深度が決まり、その岩や人工バリアの特徴に応じて処分場全体の大きさが決まる。一例をあげると、堆積岩で深度500 mだと地下処分場の大きさは約1.8 km²程度、花崗岩で深度1,000 mだと1.5 km²程度で、掘削に伴い発生するズリ置き場として地表に0.4 km²程度必要となる。このほか、廃棄体受入れ施設や緩衝材の製造・検査施設、換気、排水施設等も詳細に設計され、地上施設はズリ置き場も含めて約1 km²程度となる。

また、地下研究施設の整備に伴い、地下についての理解が深まりつつある。岐阜県にあるJAEAの東濃地科学センターにおいては、花崗岩地層を中心とした研究が進められている。地下の掘削に伴う周辺岩盤の変形等の調査、地下水流動現象の調査、地下水そのものの測定(化学的特性)が行われている。同じく北海道幌延町の幌延地層研究センターでは、堆積岩系の地層に関する同様な研究の進展が期待される。

2. TRU 廃棄物の処分に向けて

電気事業連合会と核燃料サイクル開発機構(現 JAEA)により2000年に「TRU 廃棄物処分概念検討書」(通称第1次 TRU レポート)が公表され、2005年に「TRU 廃棄物処分技術検討書」(通称第2次 TRU レポート)⁴⁾が公表され、サイトを特定しない場合の TRU を含む放射性廃棄物の処分の安全性について評価がなされた。TRU 廃棄物のうち、体積割合で約19%が地層処分相当、約18%が余裕深度(深度50~100 m)相当とされる。地層処分相当の廃棄物の例としては、再処理工場のオフガス系から出てくるヨウ素フィルタ(廃銀吸着剤)、ハル/エンドピース等がある。TRU を含む廃棄物であるが、実は安全評価においては TRU 核種の影響は小さく、注目される核種は I-129 と C-14 である。

ヨウ素廃棄物は、再処理工場のオフガス系のヨウ素フィルタと低レベル放射性廃液として発生する。その多くはヨウ素フィルタ中でヨウ化銀として存在する。放射性ヨウ素 I-129 は、半減期が極めて長く(1,570万年)、また多様な化学形をとり、主に陰イオンとして存在するため岩石等への収着が小さく移動しやすい、という性質を持っている。このため、I-129 については人工バリア内での減衰、天然バリアによる移行遅延をあまり期待できず、廃棄体からのヨウ素の放出を低減させることに注力されている。この分野の研究は日本が先行しており、さまざまな固化体が提案されている⁵⁾。現在、主に研究されている固化方法は、セメント固化、HIP 法による石英結晶化、BPI ガラス固化であり、これら固化体からのヨウ素の放出挙動について詳細な研究が続けられている。

C-14の放出源のひとつにハル/エンドピースがある。ハル(被覆管せん断片)には、主に不純物窒素の放射化による C-14 が含まれており、腐食に伴ってその放出が生

じると考えられている。このため、ハルの地下環境中での腐食挙動に関する研究が行われている。また、放出される炭素のある割合は有機物形態になることが知られている。有機物形の炭素は岩石への収着性が低く、地下を移動しやすいと考えられており、その岩石等への収着挙動が調査されている。また、生成する有機物の化学形やその生成機構についても研究が進められている。

TRU 廃棄物の中には硝酸塩を多量に含む廃棄体(例えばアスファルト固化体)がある。処分場閉鎖後にこれらの廃棄体から硝酸塩が溶け出してきたとき、それらの塩が地下水の性状をどのように変えるか、他の人工バリアや天然バリアに悪影響を与えないか等について研究が行われている。現時点では硝酸塩の具体的な影響についての情報は少なく、処分場設計において、これらの廃棄体を地下水下流側に配置する等の措置をとることになっている。硝酸塩に対する影響に関する定量的な情報が得られることが期待される。また、硝酸塩を廃棄体に混ぜずに分解する方法に関する研究も開始されている。

金属廃棄物を地下に処分する際、金属と地下水の接触により金属の腐食が起きるとともに、水の還元による水素発生が予測されている。特にアルカリ性の水の場合、アルミニウムを含む金属で水素発生型の腐食が起こることが知られている。処分場建設に使用される多量のセメントにより地下水性状が強いアルカリになることも予想され、処分場での水素蓄積が懸念される。このため、地下水の pH を強アルカリにしないようなセメント「低アルカリセメント」が開発されている。

3. ウラン廃棄物の処分に向けて

ウラン廃棄物は他の廃棄物と異なる特徴を持っている。まず、ウランは非常に長い半減期を持っている。U-238は45億年、U-235は7.2億年であり、減衰を期待することはできない。しかもウランには多くの娘核種が存在し、時間と共にそれらが蓄積していき、放射能としては増加するという傾向がある。一方で、ウランは非常にありふれた物質でもある。土壌中の平均濃度は0.03 Bq/g 程度あり、リン酸塩肥料や石炭焼却灰中には数 Bq/g 程度含まれる場合もある。自然界に存在するウランの娘核種であるラドンによる吸引被ばくは世界では年間1.1 mSv(日本では約0.5 mSv)にもなる。現在、日本に存在するウラン廃棄物は200 l ドラム缶換算で約9万本であり、そのうち0.1 Bq/g 以下のものが約7割を占める。これらウラン含有率の低い廃棄物については、「放射性物質として扱う必要のないもの」として規制対象から外すこと(クリアランス)が検討されている。クリアランスのレベルとして、IAEA はウランなどの天然起源の放射性物質に対し1 Bq/g を提唱している(K-40については10 Bq/g)。クリアランス対象とならないウラン廃棄物の処分法については現在検討中である。

4. すでに処分の始まっている廃棄物

上記の廃棄物以外では、極低レベル放射性廃棄物および低レベル放射性廃棄物の処分が始まっている。

極低レベル放射性廃棄物の処分例としては、旧日本原子力研究所のJPDRの解体に伴うものがあり、サイト内でのトレンチ処分が行われている。このような極めて濃度の低い放射性物質を含む廃棄物はサイト内でのトレンチ処分、クリアランスレベル以下の場合是一般廃棄物としての取扱いまたは再利用の対象とすることができる。

青森県六ヶ所村の低レベル放射性廃棄物埋設センターにおいては、発電所から発生する低レベル放射性廃棄物の処分が始まっている。1号廃棄物埋設施設では均質な廃棄物が138,555本(ドラム缶, 2008年7月末現在), 2号廃棄物埋設施設では不均質な(配管等を含む)廃棄物が62,064本処分されている。

これらの廃棄物の処分実施にあたっては、発生場所での廃棄物内の含有放射能測定技術の開発が大きく寄与している。

Ⅲ. 今後のバックエンド研究

バックエンドの分野は、核燃料サイクルの中でも最後の部分となるため、他の分野の変化に合わせて研究を進めていく必要がある。例えば、再処理方法が変更されれば、そのとき発生する廃棄物も変化し、その処理処分に対応する必要がある。このような大きな変化ではなくても、原子炉での燃料の燃焼度の変化(高燃焼度化)やMOX燃料の使用によって、組成の異なる廃棄物が発生する。今後予想される上流側の変化は下記のような項目がある。

- ・ MOX燃料の軽水炉での使用
- ・ 燃料の高燃焼度化
- ・ 廃止措置による廃棄物発生とクリアランス
- ・ 先進リサイクル技術の採用
- ・ 高速炉の実用化
- ・ 高速炉使用済み燃料の再処理

・ 核変換処理

このような状況に対応するため、他の研究分野、部会との連絡を密にしていく必要がある。バックエンド部会としても、積極的に他の分野・部会と協力していきたいと思う。また、部会員への情報提供も適時に行うことを心がけたい。すでに述べたように、部会誌『原子力バックエンド研究』をWEB公開しているが、さらに利便性を高めるため、個々の論文について査読通過後直ちにWEBに公開する体制を整えている。今後は電子媒体への移行などにより経費の圧縮並びに掲載料の値下げを検討している。

現時点での最優先課題は、高レベル廃棄物処分場のサイト選定であり、そのためには処分技術を高めていくだけではなく、わかりやすく説明することが重要となる。このため、一般市民を対象とした実効性のあるイベントを考えていきたい。

今後の核燃料サイクルの確立および来るべき高速炉時代に貢献するため、バックエンド部会は、ますますの研究の発展を支援していく。

(執筆担当：九州大学・出光一哉)

— 参考資料 —

- 1) 佐藤正知, 他, 20周年特集記事, 原子力バックエンド研究, 11〔2〕, 1(2003).
- 2) 核燃料サイクル開発機構, わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ, (1999).
- 3) 駒田広也, 他, “高レベル放射性廃棄物処分の事業化技術”, 原子力バックエンド研究, 5〔2〕, 67(1999).
- 4) TRU レポートについては次のアドレスで公開中, <http://www.fepc-atomic.jp/nuclear/waste/tru/index.html>
- 5) 藤原啓司, 他, 原子力バックエンド研究, 6〔1〕, 51(1999).

部会活動 ヒューマン・マシン・システム研究部会

ヒューマン・マシン・システム研究の展開

本稿では、ヒューマン・マシン・システム研究部会の概要と活動内容を紹介するとともに、部会活動に密接に関連するヒューマンファクタ研究、ヒューマンインタフェース技術および高度情報処理技術の近年の進展についてまとめる。また、未来の原子力プラントの運転や保守に関する技術への夢を語る。

I. HMS 研究部会の歩み

ヒューマン・マシン・システム研究部会は、1989年3月発足の「マンマシンシステム研究連絡会」(初代会長若林二郎先生、2代目近藤駿介先生)を引き継ぎ、1997年11月に「ヒューマン・マシン・システム(以下 HMS)研究部会」へ移行したもので、原子力分野のHMS研究および他分野への応用等の研究活動を支援し、その発展に貢献することを目的としている。

1. HMS 研究部会の概要

(1) 部会発足の経緯

原子力技術では、その膨大なエネルギー密度を取り扱うことから生じる巨大エネルギープラントの設計と運用における安全性と信頼性に関し、人と機械との関わり、技術と社会との関わりがあり方が一般社会においてますます問題視されてきている。「マンマシンシステム研究連絡会」では、そのような問題意識をもとに、主として、プラント運転におけるマンマシンインタフェースの改善やヒューマンファクター(HF)の改善における諸問題を取り上げて活動してきた。HMS研究部会においては、これまでの活動を機軸としつつも、さらにその取り扱う領域を拡張して、

- ・プラントの保修技術のあり方
- ・原子力システムのリスクベースの運用のあり方
- ・原子力発電に関わる燃料サイクルシステムのあり方

など、トータルライフから見た原子力プラントの設計や運用・廃棄のあり方、原子力の環境との調和や安全性のあり方まで、原子力技術と社会との調和における技術社会的側面の諸問題にも、関連の部会や諸学会とも連携を拡げて、活動を展開することとした。

(2) 歴代部会長および会員数

設立からの歴代部会長は以下の通りである。

1997～1998年度 吉川榮和(京大)

1999～2000年度 木口高志(日立)

2001～2004年度 北村正晴(東北大)

2005年度 吉川榮和(京大)

2006～2008年度 五福明夫(岡山大)

また、会員数は現在約130名であるが、今後の新たなHMS研究を担う若手の積極的加入を期待している。

2. 部会の活動内容

(1) 主な提言活動

部会では、夏期セミナー、年会での企画セッションなどに加え、原子力以外の国内国外研究者とのシンポジウム開催など異分野交流に取り組み、開かれた原子力のイメージアップに努めてきた。近年、わが国原子力の社会的受容性低下につながる問題頻発を踏まえ、例えば、1999年に発生したJCO臨界事故では「JCO臨界事故に関する見解」¹⁾をHMS部会から公表し、主にHFの観点から、事故原因の解明と再発防止策の提言を行った。また、2002年には「東京電力による自主点検データの隠蔽・改竄事件に関する声明」²⁾を公表し、わが国では、とかく精神論的に議論・実践する傾向がある社会組織要因・安全文化について、本格的に工学的な取組みを始めるべきことを提言した。一方、HFの重要性を啓蒙すべく、2002年9月から6回にわたって連載講座「ヒューマンファクター」³⁾を原子力学会誌に掲載した。この連載講座は、その後、「ヒューマンファクター10の原則」⁴⁾として出版され、具体的事例を参照しながら現場の問題解決に役立つ最低限のポイントを提示した。

(2) 最近の活動傾向

過去に多くのHMS研究部会会員が取り組み、わが国の計算機化中央制御室実用化に結実した研究開発の成果は、最近の世界的な原発建設ラッシュに貢献している。しかし、今後の国内原発新設計画の不透明さ等から現在、国内ではHMS関連の新規研究開発プロジェクトもなく、その研究活動は低迷している。一方、米欧、中国等で本格化する新規プラント建設、米欧、日本で長寿命に達した在来炉改造やその代替用新型炉の計装系設計に資する技術伝承・人材育成の必要性という世界的背景

下、急速に進化するIT技術を活用する新たなHMS研究への期待が高まっている。このような中、他学会の原子力関連の委員会や共生社会技術に関する研究会と連携して、HMS研究調査委員会にてHMSに関する技術動向を調査している。その成果は、新しい運転支援技術のコンセプトとしてまとめられている⁵⁾。また、国際会議の共催、協賛や国内ワークショップの共催などを継続するとともに、若手部会員が海外で学術的発表または討論を行うための助成を行うなど、いくつか具体的な施策もとり始めている。

(執筆担当：京大・吉川榮和，東芝・滝澤洋二)

II. 関連技術の進展と現在

1. ヒューマンファクター研究

原子力分野でヒューマンファクター(HF)の重要性が認識されたのは1979年のTMI-2事故を契機とする。さらに、1986年のチェルノブイリ事故によってHF研究の必要性が高まり、国内の試験研究機関にHF研究を推進する組織が設立され、電力、プラントメーカーの共同研究なども加えて、2000年頃まで盛んに研究が行われた。

まず、原子炉の異常状態に対処する運転員の認知行動に関する知見を深めるために、原子炉シミュレータを用いた実験的研究が各所で実施され、取得されたデータの分析に基づいて運転員の認知過程のモデルが構築された。初期の研究は主に個人行動の表層的側面を対象としていたが、やがて判断、思考などの心理的側面が、さらにチーム行動も対象とするようになり、運転チームのコミュニケーションや協調行動、そのチームパフォーマンスへの影響についても知見が蓄積された。

こうして構築された認知モデルに基づいて、ヒューマンエラーの発生メカニズムの解明や、人間信頼性解析の手法開発が行われた。特に、第1世代と呼ばれる行動主義的な人間信頼性解析の欠点を克服するために、人間の認知特性を考慮に入れた第2世代手法の開発が試みられた。認知モデルに基づいて人間行動をコンピュータシミュレーションにより評価する手法の開発が行われ、人間機械系の総合的評価に有用であることが示された。

現場からの事故・不具合報告を分析して、ヒューマンエラーの原因をつきとめ、再発防止や水平展開などの教訓活用につなげるための分析手法の開発と、ヒューマンエラー事例ベースの構築が行われた。この過程で、エラー分析に有効なエラー分類や、エラー防止の基本的考え方などが確立された。これらの成果は、現在では当然と見なされるようになった組織的リスクマネジメント活動の基盤をなすものであり、これまでのHF研究の成果で最も重要なものの一つであるといえよう。

教育訓練の分野では、想定外の状況への対応能力向上をねらった教育訓練、チームパフォーマンス向上訓練、熟練保守作業員の技能継承を促進する教育訓練などの研

究が行われ、多くの成果が現場に適用された。また、運転手順書や作業要領書に関する研究が行われ、エラー低減のための改善が行われた。運転手順書に関しては、想定外の状況へ対処するために、従来の事象ベース手順書に加えて、徴候ベース手順書が導入された。

チェルノブイリ事故を契機に安全文化の概念が提唱され、その重要性が認識されたことにより、わが国でも安全文化に関する研究が行われた。その結果、高信頼性組織に共通する組織的特徴が明かになり、安全文化を評価するための基準や具体的評価指標、安全文化を醸成する方法論などに関する知見が蓄積された。組織的安全マネジメントの重要性がますます高まっている現在、これらの知見の有効活用が望まれる。

2. インタフェース技術

日本の原子力発電所中央制御盤の設計は、米国からの技術導入による第1世代盤、TMI-2事故の教訓を反映して国産化された第2世代盤、さらに集約化、デジタル化が進んだ第3世代盤と進化してきた。

第3世代盤は、運転員の監視・操作エリアをコンパクト化して運転員の作業負荷を低減することと、運転クルー全員が重要な情報を共有し、円滑なチーム協調を促進することを目標として開発・設計された。その主要構成要素である運転コンソールでは、コンパクトな空間でプラント全体の監視・操作を行えるようにするため、タッチオペレーション機能付きのVDU(Video Display Unit)などの集約・可変型インタフェースデバイスを多用するとともに、操作の自動化の拡大と運転ガイド機能の強化によって、運転員の作業負荷の低減を図っている。もう一つの主要構成要素である大型表示盤は、プラント状態を俯瞰的に把握するための固定ミミック表示、重要パラメータのトレンド表示、重要警報の集約表示などで構成され、運転クルーが中央制御室内のどこからでも重要情報にアクセスできるような設計を実現した。警報に関しては、状況に応じて重要な警報だけを優先的に提示する警報抑制技術が実用化され、第2世代盤から導入された。

第3世代盤である新型中央制御盤の開発は、ユーザ側専門家が初期の段階から参加する職制的体制をとることによって、技術主導ではなく、使う立場に配慮しつつ進められた。開発の過程においては、モックアップを作成して運転有資格者を被験者とする認知実験とユーザビリティ評価を繰り返し、その結果を設計に反映する手法がとられた。このような人間中心設計の方法論が、原子力発電所など大規模複雑システムの間機械系設計の標準スタイルとして確立された。また、デジタル技術も含む中央制御室設計に関する国内外の規制ガイドラインや民間規格が制定され、HF研究の成果や先端情報技術を原子力分野に導入する基盤整備が進んだ。

先端的なインタフェース技術としては、人間のメンタ

ルモデルに基づいてより積極的に人間の思考を支援できるインタフェースの研究が進んだ。たとえば、生態心理学の諸概念を応用し、業務の階層的な目標手段関係や制約をインタフェース上に明示するエコロジカルインタフェース、機械側が状況や人間の意図を理解し、これに応じて表示内容や表示形態を変化させるアダプティブインタフェース、高度自動化によって人間の負担を極限まで減らす自律型プラントなど、将来プラントにとって有望な概念が提唱された。

3. 高度情報処理技術

これまで原子力施設の運転、監視、診断、制御、保守保全において、人工知能、ニューラルネット、ファジィ、遺伝アルゴリズム、知能ロボット、人工現実感などの高度情報処理技術の応用が、他分野に先駆けて試みられてきた。しかし、一般産業に比べて高度情報処理技術の現場への導入のペースは必ずしも速やかではない。これは、原子力が一般産業よりも格段に高い信頼性と安全性を要求されているためである。

例えば、原子力プラントの異常診断における最大の問題として、過去に経験した不具合の範囲を超える広い事象を迅速、確実に同定することが求められ、単独の手法に基づくシステムでは、その原理がいかなるものでもこの要求に応えることは期待できない。そこで、広い範囲の事象を確実に同定するために、互いに原理の異なる複数の手法を組み合わせる「方式の多様化」が提唱された。

異常診断のようなオンラインのシステムと比較すると、オフラインの各種支援システムにはすでに実用化されたものや、実用化が検討されているものが多い。たとえば、新型中央制御盤の機能に組み込まれた運転操作ガイド機能や警報フィルタリング機能が代表的であるが、これらの基礎には20年前に人工知能として研究されていた技術がある。保守保全の現場では、系統、機器の隔離操作手順を作成、検証するシステムや、個人用情報端末(PDA)に組み込まれた点検補修作業ガイドツールなどがある。こうした支援システムや支援ツールは、地味ではあるが、原子力施設の運転管理の信頼性向上に大いに貢献している。また、原子力プラントの保守におけるヒューマンエラーを低減したり効率向上を図ったりするために、仮想現実(VR)や拡張現実(AR)を応用した保守作業員支援システムの研究や技術開発が進められた。

先端的3次元CG/CAD/CAE、VRなどの技術によって、プラント設計の効率化、高信頼化が図られている。いまや、機器レイアウトの確認や干渉チェックでプラスチックモデルに頼る必要はほとんどなくなり、計算機上の仮想空間でできるようになった。炉心設計においても、ソフトコンピューティングを含むさまざまな手法を使って、柔軟な最適化ができるようになった。

デジタル情報処理技術の急速な発展とともに、原子力施設の計装制御においてもデジタル化の流れが進ん

でいる。制御系へのデジタル計算機の導入に加えて、安全保護系を含む総合デジタル化システムが開発された。安全保護系に関しては高度な信頼性が要求されるため、ソフトウェアのV&V(Verification and Validation)のための開発プロセスが確立され、その成果が技術規格として制定された。また、ハードウェアに関しては、自己診断機能を充実するとともに、フェイルセーフ機能の強化が行われている。さらに、計装系のデジタル化も着々と進んでおり、CBM(Condition Based Maintenance)を可能とするセンサ技術や検査システム、また、それらの高度信号処理技術の開発も進められている。

(執筆担当：東大・古田一雄，筑波大・古川 宏，エネ総研・大賀幸治，三菱重工・渡邊長深)

III. 未来の原子力プラントの運転・保守

205X年、日本電力第二原子力発電所10号機は、電気出力140万 kWhで順調に運転を続けている。運転を担当しているのは、3名の運転員と、SA1およびSA2と呼ばれる2種類のセーフティエージェント(SA)である。SAは人工知能技術を駆使した知的エージェントで、運転員とSAは自然言語で会話をを行い、協調して業務を行っている。機械知能にありがちな決定論的な判断を防ぐために、SA1はより「慎重でリスクを避けるタイプ」、SA2はより「探索的で創造的な判断を行うタイプ」のAIプログラムが実装されている。時にSA同士の判断が異なる場合もあるが、その意見を参考にして運転員が最終判断を下す。

運転員は自分専用の情報提示スクリーンと、3名で共有する大型のスクリーンを用いてプラントの安全性に関わる重要なプラント変数の時間変動を把握している。詳細なプラント機能の状態はSAが把握しており、運転員は他の運転員に問い合わせるようにSAに問い合わせることで、プラント機器の状態を確認できる。

(運転員)「プラント熱バランス状態を報告してくれ。」
(SA1)「現在、熱効率は40%。すべてのパラメータは正常範囲です。海水温の変動に伴う日変化は1%以下です。」

「復水器の1週間分の熱バランスをグラフ表示。最大変化で規格化し、ここ10年間のデータを重畳表示。」
『了解』

SA2は過去のプラント統合データベースから必要な情報を瞬時に読み出し、パラメータ変動を要求した運転員のディスプレイに表示する。

「昨年と比べると熱バランスの変動量が多少大きいようだが、10年レベルでは特異な状況じゃないな。」

この時代になっても、トラブルの発生がないわけではないが、過去の経験と高度な情報処理のおかげで、後になってこれは十分防ぐことができた指摘されるトラブルはここ10年の間は発生していない。

『トラブル情報センターから重要度レベル3の報告が入っています。』

「内容を表示してくれ。」

画面上に、発生したトラブルの概要が表示される。

「制御棒駆動機構の制御信号へのノイズ混入か。当発電所とのハードウェアの類似性は？」

SAは設計情報データベースへアクセスし、トラブル情報センターからの情報と比較・照合を瞬時に行う。

『制御棒制御回路のチャンネルBには、トラブル発生プラントと同じ型の制御ユニットが使われています。』

「異常発生の可能性と影響範囲は？」

『プラントの詳細なモデルを用いて影響進展評価を行います。終了しました。運転への影響はないと思われます。』

「よし。当該制御回路信号の監視レベルを今後1週間レベル5に上げて監視を強化。異常が見い出せない場合は報告の必要なし。」「了解』

SAにとっては、運転員の生理/心理状態の監視も重要な仕事である。常時、顔映像、音声や、遠隔脳機能測定装置からの信号をSAが解析処理している。メンタルストレスや、脳に対する過度な負荷が推定されると、本人にその事実が通知され、その運転員からの操作命令は直接には実行されず、他の運転員とSAの確認・承認を得て初めて実行されるPhase IIと呼ばれるモードに移行する。導入当初は運転員の間から反発が多かったが、SAを運転員と同等に考えるようになった今では、ヒューマンエラーを防ぐ重要な手段と評価されている。

『アトム運転員、顔色悪いですよ。熱もありますね。』

「そうなんだよ。脳機能負荷レベルのモニタを強化して、レベルが落ちたら教えてくれ。」「了解です。』

トラブル発生時の対応も、SAと運転員、現場保守員や現場に設置の自律型ロボットの高度な連携により、以前に比べて格段に信頼性の高い対処がなされている。

『再循環系の計装配管に微量な漏れの兆候があります。』

「可能性のある異常進展シナリオをレベル4で探索。』

『了解。処理中。終了。配管の漏洩は、冗長系への切り替えにより原子炉本体の運転には影響しません。』

並行して状況モニタリングし、より広範囲に事象進展の可能性を検討していたSA2が追加情報を提供する。

『付加情報です。漏洩蒸気が隣接した制御弁の制御用電気系統に影響を与える可能性があり、制御弁誤閉が発生すると、原子炉安全系の動作に悪影響を与えます。類似の事例が2013年5月に米国の原子炉で発生しています。』

「そうか。では、現場の状況を確認して対処する必要があるな。保守員を第2レベルの装備で現場に派遣しろ。スクリーンに現場画像を。」「了解』

第2レベルの装備では、保守員はシースルー型HMD

を装備し、小型カメラの映像は中央制御室にも転送される。現場にはデータ蓄積型の小型センサが多数設置されている。蓄積されたデータは、通常時は中央制御室には送られないが、第2レベルの装備で作業員が現場に入ると、データリンクチャンネルを通じて自動的に送信され、SAにより多面的に解析が行われる。

『12時間くらい前から、露点のわずかな増加が認められます。配管振動のデータには、1ヶ月前から通常とは異なるモードの振動が含まれ、配管の減肉の可能性あります。』

「よし、移動ロボットを使ってEMATで配管の減肉プロファイルを測定しろ。』

保守員は移動ロボットを使ってEMATセンサデータを収集する。データは直ちにSAにより解析され、制御室の画面上に配管の減肉プロファイルが表示される。

「材質と流動状態が同様な配管と減肉トレンドを比較。』

『了解。今回の異常発生状況は、第五発電所3号機で発生した事象と類似しています。その時の原因は、溶接作業時の残留応力と配管振動による局所減肉加速です。』

「その時の対策は？」

『定期点検での配管交換と配管サポート追加です。』

様子を見ていた運転員が事態の重大性を指摘する。

「おい、作業員の視点カメラの映像を見ると、減肉箇所の配管の表面の色が段階的に変化してないか？」

「配管の色？ モニタリング画像を再生。赤外領域、振動の分布も重畳表示。」「了解』

画面には、当該配管が大きな温度勾配を持ち、振動分布が複雑に変化している様子が映し出される。

「配管破断の可能性もあるな。配管を隔離、スタンバイ系に切り替える。』

このように人間とSAの連携により、高い信頼性で異常事象への対応が可能になっているのである。

(執筆担当：東北大学・高橋 信，岡山大学・五福明夫)

— 参考資料 —

- 1) 日本原子力学会 HMS 研究部会, JCO 臨界事故におけるヒューマンファクター上の問題, 日本原子力学会, (2000).
- 2) <http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/division/hms/news/TEPCO200209.html> (2008.10.31)
- 3) 連載講座 ヒューマンファクター, 日本原子力学会誌, (2002~2003).
- 4) 日本原子力学会 HMS 研究部会, ヒューマンファクター10の原則, 日科技連, (2008).
- 5) 電気学会次世代の原子力運転保守技術調査専門委員会, 次世代のプラント運転支援技術, 大学教育出版, (2007).

部会活動 熱流動部会

熱流動部会の現状と展望

熱流動部会は、委員会活動や国際会議開催など様々な活動を通じて、原子力分野における熱流動技術の発展、規格・基準の策定、人材育成等に貢献してきた。本稿では、そのような熱流動部会の設立の経緯、主な活動の経緯、関連する技術分野の状況とそれに対する熱流動部会の貢献などについて紹介し、今後の部会活動に対する展望を述べる。

I. 熱流動部会の歩み

1. 熱流動部会設立の経緯

熱流動部会の前身である熱流動研究連絡会は、1990年4月に発足した。同年10月に発行された「熱流動研究連絡会ニュースレター(号外)」に、当時の秋山守委員長の挨拶とともに、「最近の技術開発の急速な進展に伴い、熱流動研究への要求はますます多様化し、複雑化、高度化しており、新しい実験技術の開発による熱流動現象の微細にわたる構造と挙動の把握及びそれらの総合とスケールアップ、そして理論的裏づけの強化、熱流動数値解析手法の高度化など、多くの問題が残されている。また、これらの作業を通じて新しい熱流動関連分野の開拓とそれによる全産業分野への大きな波及効果が期待される。本研究連絡会は原子力における上記のような熱流動研究に携わり、関心を持ち、意欲ある会員相互の情報交換や研究協力の一層の推進を図ることを主たる目的とするものである。」との設立趣意書が掲載されている。

1992年1月に発行された熱流動研究連絡会ニュースレター第5号に、秋山委員長が、新年のご挨拶とともに、「熱流動研究連絡会も近く発展的に名称を変え、新たに熱流動部会としてスタートする方向で検討が進んでおりますが、これは組織としての基盤を強化し、かつ責任体制を明確にしていく上で、極めて歓迎すべきことであると存じます。」と述べられている。これは、当時の核融合研究連絡会の申入れにより、企画委員会で部会(部門)制導入について検討が行われていることを踏まえたものだった。続く第6号(1992年4月)には、当時の成合英樹新委員長が、活動の具体的な目標の一つに「部会制導入にいつでも対応できるようにしておく」ことを挙げられ、学会企画委員で固めた総務委員会を中心に部会(門)

Present Status and Prospect of the Thermal-Hydraulics Division : Thermal-Hydraulics Division

(2008年 11月 4日 受理)

制移行の検討が積極的に進められ、部会規約が策定された。そして、1993年3月28日の熱流動研究連絡会第6回会員総会/熱流動部会第1回会員総会で、部会運営に係る内規が承認され、宮崎慶次初代熱流動部会長のもと新しい組織が発足した。部会員数は、発足当時約180人だったが、その後、着実に増加し、現在、当初の約2倍に達している。

2. 熱流動部会の主な活動の推移

(1) 委員会活動

委員会活動は、以下に紹介するように、その時々に関連分野の状況をよく反映しており、大変興味深い。

熱水力学解析 熱流動研究連絡会の時代以前の1983年に「熱流動数値解析」研究専門委員会が設置された。これが、原子力学会における熱流動関係の委員会の最初のものであった。当時、TMI事故を契機として、保守的な予測を目的とした評価モデル(EM)に対し、現象を忠実に解析する最適予測(BE)モデルの必要性が認識され、その開発が精力的に進められた。そしてさらに、より洗練された数値解析によって様々な熱流動現象を再現しようとする試みがなされており、そのような状況が同委員会設置の背景にある。この研究専門委員会は1985年に発展的に終了し、「熱流動数値解析」特別専門委員会が発足した。この委員会は、日本原子力研究所と動燃事業団(いずれも当時)、および電力中央研究所から委託を受けて調査研究活動を行い、さらに1988年からは、「熱流動数値解析高度化」特別専門委員会として活動を続け、その成果を報告書¹⁻³⁾にまとめた。

熱流動部会に移行した1993年には、これらの委員会活動の成果に基づき、テキスト⁴⁾を朝倉書店から出版し、これを使って熱流動部会の主催で講習会「気液二相流の数値解析の基礎から応用」を東京と大阪で開いた。これらの委員会活動や講習会は、若い研究者の熱流動数値解析への意欲を高め、関連分野の研究の進展に多大な貢献を果たした。熱流動数値解析・安全評価に関する活動

は、その後、「熱流動数値解析の信頼性評価」研究専門委員会(1991年)、「熱流動解析の革新技術」研究専門委員会(1991年)、「原子炉熱流動の微視的シミュレーション」研究専門委員会(1996年)、「多次元二相流構成式に関する評価」研究専門委員会(2000年)、「炉心・燃料・機器の合理的な熱流動評価・開発手法」調査専門委員会炉心・機器熱流動評価分科会(2005年)などとして引き継がれ、一貫して熱流動部会の重要なテーマとなっている。

1990年代、二相流現象の数値シミュレーションの研究が精力的に進められ、より高度化する一方、シミュレーションの検証に必要な微視的な二相流データが少ない状況が浮き彫りにされた。このため熱流動部会では、二相流シミュレーションの高度化に必要な二相流測定技術に関する研究状況を調査分析するとともに、数値シミュレーションの実用化のためにはどのような二相流データが、また、どのような二相流計測技術の開発が必要かを検討するために、1999年に二相流計測技術者と計算機シミュレーション開発者により構成される「二相流計測に関する評価」研究専門委員会を設置した。この委員会は2001年に終了し、その報告書を基に2003年にテキスト⁷⁾を森北出版から出版した。その後、二相流データベースを整備してシミュレーションコードの検証・精度向上に役立てることを目的に、2002年に「二相流データベースの評価・整備」研究専門委員会が設置された。この委員会で整備されたデータベースは、熱流動部会のホームページ上で公開されている。なお、この活動を引き継ぐため、2008年に「二相流データベースの整備(更新)・詳細評価」研究専門委員会が設置された。

シビアアクシデント対策 1991年、当時の原子力工学試験センターの委託により「格納容器内熱流動挙動調査研究」特別専門委員会が設置された。これは、TMI事故やチェルノブイリ事故を経験し、原子炉格納容器の重要性が再認識されたことが背景にあり、軽水炉を中心に事故シナリオと関連する熱流動挙動に対する国内外の現状を調査整理し、その後の研究に役立てようという目的だった。一方、シビアアクシデントに関する規制の動きとして、1992年に原子力安全委員会により原子炉設置者と行政庁に対し対応すべき方針が示され⁸⁾、これを受けて、当時の通産省と電気事業者がアクシデントマネジメントの整備に関する報告書を取りまとめ、そこに示された整備方針は、原子力安全委員会によって、自主的努力として妥当なものとした⁹⁾。委員会活動はこのような規制の動きと並行して進められ、1994年に報告書¹⁰⁾が取りまとめられたが、活動は1997年まで続いた。当時のシビアアクシデントに関する熱流動研究の状況については、学会誌39巻の特集¹¹⁾としてまとめられているが、委員会での調査研究により、熱流動現象の物理機構の解明と評価が、シビアアクシデント対策および指針類への反映や将来炉への適用などを考える際にきわめて重要であ

ることが認識された。そこで、1997年には、当時の原子力発電技術機構からの委託を受け、「シビアアクシデント熱流動現象評価」特別専門委員会が発足した。この委員会は、シビアアクシデント時の熱流動現象のほとんどが原子力安全研究協会より発表された、いわゆる軽水炉格納容器設計に関する民間自主基準¹²⁾に関係していることから、この民間自主基準の熱流動に関連する部分を中心に調査研究を行い、2001年にその成果を報告書¹³⁾にまとめた。シビアアクシデントに関しては、その後も検討が進められ、現在「シビアアクシデント時の格納容器内の現実的ソースターム評価」研究専門委員会が設置されている。

高経年化対策 「経年劣化と熱流動」研究専門委員会は、高経年化プラントが多くなりつつある状況で、原子力プラントの機器の経年劣化が関与するトラブル事例を調査し、経年劣化事象に支配的影響を及ぼす熱流動現象を洗い出すとともに、それらに関する研究開発の現状を調べることを目的に1994年に発足した。この研究専門委員会は、1996年に「経年変化と熱流動」特別専門委員会へと発展的に引き継がれ、1998年に報告書¹⁴⁾がまとめられた。この活動は、原子力学会において原子力発電プラントの高経年化をテーマとして取り上げた最初のものであり、軽水炉の高経年化対策に対する関心が世界的にも高まっている今、時代を先取りしたものだ。

核熱水力安定性 1998年、炉物理部会と共同提案で「核熱水力安定性」研究専門委員会を設置した。核熱水力安定性はBWRの開発当初から重要な問題とされ、安全設計審査指針でも「出力振動を生じてもそれを容易に制御できる設計であること」とされているが、1980年代にLa Salle 2号炉やCaorso炉などで予想外の不安定を経験し、改めて関心が高まったことが背景にある。この問題は核と熱水力の両面が関わる複雑な現象であるため、炉物理と熱流動そして制御の専門家による議論が不可欠として共同提案となった。この委員会は3年間の活動の後、成果をまとめ学会より出版した¹⁵⁾。その後、この委員会での検討を踏まえて、学会標準委員会では2005年に「BWRの核熱水力安定性評価基準」を策定した。この標準はすでに公開審査も終了し出版を待つばかりである。

最近の状況 原子炉の熱水力安全は、熱流動部会のこれまでの委員会活動の主要部分であり、大きな成果を上げてきたといえよう。しかし、近年、燃料の高燃焼度化、MOX燃料の導入、炉出力の向上などを含めた軽水炉の高度利用や長期利用が見込まれ、また、シビアアクシデント対策を含めた新型軽水炉の開発、最適評価手法を利用した安全評価手法の高度化、規制基準の性能規定化と学協会規格の規制における活用など、状況の変化が生じている。

こうした状況を踏まえ、産官学の専門家が一堂に会し、産業界の技術導入シナリオに即して熱水力安全評価

に係る課題を同定し、それらの課題ごとに対応する技術の到達点および重要度の検討を進めるとともに、安全審査に必要な規格・基準の高度化など適切な目標と目標達成への時系列的なステップを明らかにして、技術戦略マップにまとめることを目的に、2007年に「熱水力安全評価基盤技術高度化検討」特別専門委員会が設置された。国内外で、大規模な実験施設を使った熱水力安全研究がどんどん縮小されており、このまま状況が推移すれば、上述のような新たな需要に適正に対応できるのかどうか懸念される。そういった面からも、この委員会の検討の成り行きが注目される。

エネルギーセキュリティや環境保全の観点から、世界的に高速炉開発を加速する動きが見られる。我が国でも、発電や燃料増殖だけではなく、軽水炉の使用済み燃料に蓄積したマイナーアクチニド元素の燃焼や超長半減期核種の消滅、あるいは水素製造など、多様な実用化の姿が示され、高速原型炉の活用研究や高速実用炉の概念設計研究が推進されている。このような状況を受け熱流動部会では、高速炉の炉心・機器の熱流動・安全性に関する調査研究・評価および設計の合理化・規制への活用のためのロードマップ策定を目的として、2007年に原子力安全基盤機構の委託による「高速炉熱流動・安全評価」特別専門委員会を設置した。これ以外にも、「放射線誘起表面活性現象」研究専門委員会(2007年)などが設置されている。さらに発電炉部会の下に設置された「原子炉出力向上に関する技術検討評価」特別専門委員会でも、多くの熱流動部会員が中心的に活躍している。

(2) 国際会議の開催

熱流動部会(あるいは部会員)は、多くの国際会議に積極的に関与し、関連する分野の発展に貢献してきた。以下に、熱流動部会あるいは部会員が関与してきた多くの国際会議のうち、主なものについて述べる。原子炉工学全般にわたる研究情報の交換を目的に毎年開催されている ICONE にも熱流動部会員が多く関わっているが、日米の機械学会の共催であり、熱流動部会が主体的に関わっているわけではないので、ここでは省略する。

NUTHOS この「原子力熱流動・運転・安全に関する国際会議(NUTHOS)」は、約20年の歴史を誇り、その特徴は、関連する幅広い分野をカバーすること、運営を若手研究者に委ねること、また、東アジア地域で開催されることである。立ち上げの頃は、原子力市場が東アジアに移りつつあったにもかかわらず、大きな国際会議のほとんどが欧米で開かれていた。この意味で東アジア地域に大規模な専門家国際会議を根付かせることは極めて有意義なことだった。基本的には米国原子力学会熱水力部門が企画し、主催と運営を現地に任せるやり方だった。近年は、現地の学会の主体性をより尊重し、企画の段階から東アジア地域の学会の熱水力部門が連絡を取り合いながら計画を立てていくようにしている。第1回目は

1984年に台北で開催され、第2回目は日本原子力学会が初めて主催する国際会議として1986年に東京で、第6回目が2004年に日本原子力学会の主催により奈良で、第7回目が昨年、韓国ソウルで開催された。この間、NUTHOS シリーズは、東アジア諸国の産官学各界の指導的立場の人々や研究者・技術者のみでなく、欧米諸国からも多くの参加者を得ている。これは地域の求心力とともにこれまでのNUTHOS シリーズの成功を物語っている。

NURETH 1997年9月に「第8回原子炉熱水力に関する国際会議(NURETH-8)」が京都で開催された。この会議は、各種原子炉、核燃料サイクル、核融合炉など原子力利用の全分野に関わる熱流動諸問題について最新の学術的研究成果を発表し、討論し、研究開発の進展と国際交流を図ることを目的とする。アジア地域では初めての開催とあって、当時の文部省および国内関係団体からの支援を受け、熱流動部会は米国原子力学会熱水力部門と協力して全力でこれに取り組み、国内および海外23ヶ国からの多数の参加者を得て、成功裏に開催することができた。この会議は、その後もほぼ2年ごとに、米国、ヨーロッパ、アジア地域で交互に開催されており、炉設計・安全性に関わる重要問題の解決と、関連する学術的基盤の発展に大きく貢献し、この分野の最も権威のある会議の一つとして世界的に認知されている。次のNURETH-13が、今年金沢で開催される予定であり、これを成功させるべく、熱流動部会としても積極的に協力している。

NTHAS 1998年10月、韓国プサンで、日韓の原子力学会主催、熱流動部会共催、原子力産業会議協賛で初めての「原子力熱流動・安全性に関する日韓シンポジウム(NTHAS)」が開催された。それぞれ原子力を熱心に推進しているにもかかわらず、互いに近くて遠い存在だったので、研究情報の交換を通じて交流を図ろうとするものだった。また、この会議の前後に、学生セミナーを開催し、学生間の交流も図っている。この会議は、その後、2年ごとに日韓で交互に開催され、双方の熱流動分野の研究者の交流を深めている。昨年11月には、NTHAS-6が沖縄で開催された。

II. 「熱流動部会」が対象とする技術と研究の進展と現在

熱流動部会の関連する技術分野の状況は、学会誌の特集あるいは解説・総説でも読み取ることができ、それらは、また、先に述べた委員会活動とも対応している。本章では、重複を避けるために、委員会活動で述べたことについては繰り返さないこととして、熱流動分野全体の状況をまとめた特集あるいは解説を引用して、熱流動研究の進展を見ることにする。

1994年の特集「熱流体工学と原子力」¹⁶⁾では、単相流に関し、加速流(ガス炉)、サーマルストライピング(高速

炉), 自然対流・共存対流・成層流(ガス炉, 高速炉), 複雑流路形状, PWR 設計を取り上げ, 二相流に関し, 急激な過渡現象(蒸気爆発, 軽水炉 LOCA 時の圧力波伝播・臨界流, 高速炉の ULOF), 不安定流動(BWR, 高速炉の蒸気発生器), 重力支配の過渡現象(ATR, 自然循環 BWR), 定常沸騰と燃料集合体設計(BWR, サブチャンネル解析), 多成分・多相流に関し, シビアアクシデント時の熱流動現象(軽水炉, 高速炉)について述べている。そして, 「原子力プラント開発では, 熱流体挙動が最も重要な課題の一つとして行われてきた。現象の理解と計算技術の進展は, 『熱流体工学』と呼ぶにふさわしいものとなりつつあり, 他の産業への波及効果を及ぼしつつある。しかし, 精度向上という面でもまだまだこれで十分というわけではなく, まして直接シミュレーションにより設計に必要な解を得る段階は先のことである。扱う体系も一層複雑かつ精度が要求されるようになりつつある。このようなわけで, 今後とも熱流体に対する研究はまだまだ重要なものとして続くことであろう。」と結んでいる。

6年後の2000年の解説「日本における原子炉熱流動研究の現状」¹⁷⁾では, 軽水炉については限界出力や DNB 評価, 核熱水力安定性, 流動励起振動, 受動安全機能と次世代炉といった項目が解説されている。これらは, 軽水炉の性能と経済性向上に不可欠な研究開発であり, また美浜 2 号機の伝熱管破断事故などの運転経験から提起された課題を克服するための研究である。一方, 高速炉では, サーマルストライピングや温度成層化などの熱過渡現象, 流体励起振動, ナトリウム燃焼が研究開発として述べられている。これらは, 「もんじゅ」やフランスのフェニックスの運転経験を踏まえた研究課題である。また, 高速実証炉のトップエントリーシステムの課題(多液面揺動, ガス巻き込み, 自然循環)および関連する革新技術開発の現状が示されている。そして, 最後に, 「最近では計算機の進歩と相まって複雑な現象のシミュレーション解析技術が向上し, 多くの事象がシミュレーション解析により, あるいは実験と解析の組合せにより解明できるようになってきた。今後さらに微視的シミュレーション技術を積極的に取り入れた機構論的視点に立つ手法の開発が進み, 各種原子炉の開発や設計に広く活用されることが期待される。」と結んでいる。シミュレーション技術が進歩し, わずか 6 年間で実用化への期待がさらに広がっている状況がうかがわれる。

このように, 伝熱流動分野は, 原子炉プラントの設計, 安全性, 運転性能向上, トラブルの解決, 次世代炉の開発のすべてにわたり多大な貢献をしている。また, これらの研究成果は, 学協会の規格策定や解析コードの開発, 実験データベースの構築として具体的に結実したことは注目に値する。

その後 10 年近くが経ち, これらの課題のいくつかは,

もう一段高いレベルに目標を据えて研究開発が続けられている。次世代軽水炉プロジェクト¹⁸⁾や高速炉の FaCT プロジェクト¹⁹⁾でも伝熱流動技術が担う役割の重さは増している。高速炉システムについては 13 課題が挙げられ, 原子炉容器のコンパクト化や自然循環など, その多くに伝熱流動が深く関連する。高速炉の自由液面からのガス巻き込みの研究²⁰⁾を例にとると, 数値解析では, 自由液面のモデル化に関して CIP 法, MARS 法および VOF 法を, 乱流に関しては直接シミュレーション, ラージエディ・シミュレーションおよびレイノルズ平均法を比較するなどして主要なモデル化法の評価を行い, 実験では, 粒子画像計測法(PIV 法)や動的 PIV 法, 液面傾斜角測定など最新の計測技術を用いて, 後流渦, せん断流起因の渦, くぼみ渦など支配的なガス巻き込みにつながるメカニズムについて実験し, さらに大規模実験によりスケール効果や形状効果を確認する。このようにして解析手法を検証し, 不確かさを評価したうえで, 解析コードを駆使して注目すべき物理量を決定し, ガス巻き込み発生判定式を導出する。この例に見られるように, 現在あるいは将来の伝熱流動技術(実験技術と数値解析技術の連携)が次世代原子炉開発を牽引する姿を想像するに難くない。

III. 熱流動部会の将来の取組みと課題

熱流動部会は, 委員会活動や国際会議開催など様々な活動を通じて, 原子力分野における熱流動技術の発展, 規格・基準の策定, 人材育成, トラブルの解決等に幅広く貢献してきた。これらの活動を通じて果たした役割は, 一言でいえば, 「熱流動の基礎現象と実用化とを結びつけるパイプ役」といえるのではないだろうか。それは, すなわち熱流動部会のアイデンティティを意味する。今後も, このアイデンティティを保ちつつ様々な活動を展開し, 原子力の持続的発展に貢献していかなければならない。現在, 原子力界では, 軽水炉の高度利用, 高経年化対策や新型炉開発, 新たな規制の導入などの新しい課題が浮上し, 人材育成や技術の継承という課題もある。原子力の基盤技術としての熱流動技術を担当する熱流動部会は, 部会活動を通じてこれらの課題に真剣に取り組むことにより, 今後も, 原子力分野における熱流動技術の発展, 規格・基準の策定, 人材育成, トラブルの解決等に貢献し, 原子力研究開発の牽引者としての役割を果たすことができると考える。

熱流動技術は原子力の様々な分野の基盤技術となっていて, 今後もそれは変わることはないと考えられる。そして, それぞれの問題を解決するには, 問題が専門的になればなるほど, 他分野の専門家との連携が必要となる。したがって今後は, 委員会設置の際, 「核熱水力安定性」研究専門委員会のように, 他の基礎部会との共同提案や関連する複数の応用部会との共同提案も考慮する

必要がある。

現実問題として重要性が増している軽水炉の高経年化対策の例では、現状のように、現場での経験に基づいて対策を立てればよいのであれば話はそれで終わるが、より合理的かつ効果的な高経年化対策を目指すとするれば、経年劣化事象についての理解をさらに深める必要がある。その場合、材料研究が主となろうが、材料の環境条件を決める要因に熱流動が深く関係しているので、問題解決のためには、材料と熱流動、数値計算の専門家の連携が必要になると予想される。経年劣化事象の数値シミュレーションを考えると、プラント全体のマクロの熱流動によって決められる局所の条件が材料組織内の物質移動を伴うミクロの変化を支配するという意味で、ナノスケールからマクロスケールまでの多重スケールの問題となろう。多重スケールの熱流動問題は、これまでも、「マルチスケール輸送現象の解析」研究専門委員会で検討されているが、実プラントの高経年化対策につながるより具体的な成果を目指すなら、さらに検討が必要だ。これまでの知見を系統的に整理するとともに研究開発によって新たな知見を獲得することにより、経年劣化事象に関するより合理的で信頼性の高い判断基準を提案できよう。

物質移動(あるいは化学変化)については、シビアアクシデント時の熱流動現象の例がある。これは多成分・多相流の問題でもある。熱流動部会で、物質移動・化学変化を伴う多成分・多相流の問題を含む現象を対象とした委員会は、前述のシビアアクシデント関係の委員会や「原子力プラントにおける火災や燃焼化学反応を伴う熱流動問題」研究専門委員会があった。このような問題は、他の、たとえば、核燃料サイクル関係のプラントでも遭遇する可能性はないだろうか。再処理プラントは化学プラントだといわれるが、そこには熱・物質移動と材料の問題が集積されている。この種の問題はこれまで熱流動部会では取り扱われていない。

前述のように、熱流動分野では数値解析技術の研究開発が重要な部分を占めている。初期の頃、数値解析では個別効果試験や総合試験の結果や実プラントでのデータをいかに精度よく再現するかが問題だった。しかし、最近では、数値シミュレーションの結果を検証するミクロな熱流動データを取得する実験手法がなく、逆に、実験で確認できない物理現象のミクロな情報を、理論に基づいた数値シミュレーションによって得るといった例さえある。そして燃料集合体の設計でも、Design-by-analysisのように、莫大な経費のかかる実証試験に頼らずに設計が可能ではないかという期待も生まれている。実証試験が全く不要になることはないだろうが、そのような考えが生まれるほど数値シミュレーションが進歩したことは確かだ。しかし、まだまだ数値シミュレーションが十分信頼できる段階に達したとはいえず、今後も、実験によ

って物理現象を把握したり確認したりする必要性が減じることはないだろう。新しい研究開発を実験と解析の両面から進め、現象の解釈・評価に抜け落ちのないようにすることが重要で、それとともに、熱流動現象を本当の意味で理解する技術者を育てなければならない。しかるに現状では、そのような目的で利用できる実験施設とそれを使った実験的研究がどんどん減少しており、憂慮すべき状況にある。そういう問題への対応という意味でも、「熱水力安全評価基盤技術高度化検討」特別専門委員会の策定する熱水力ロードマップに期待したい。

(執筆担当：京都大学・三島嘉一郎、
大阪大学・山口 彰, JNES・成合英樹)

—参考資料—

- 1) 日本原子力学会, 原子炉における熱流動数値解析の現状, (1986).
- 2) 日本原子力学会, 原子炉における熱流動数値解析の現状(Ⅱ), (1987).
- 3) 日本原子力学会, 原子炉における熱流動数値解析の現状(Ⅲ), (1988).
- 4) 日本原子力学会, 原子炉における熱流動数値解析技術の高度化, (1990).
- 5) 日本原子力学会, 原子炉における熱流動数値解析技術の高度化(Ⅱ), (1991).
- 6) 日本原子力学会熱流動部会編, 気液二相流の数値解析, 朝倉書店, (1993).
- 7) 日本原子力学会, 混相流計測法, 森北出版, (2003).
- 8) 原子力安全委員会, 発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策としてのアクシデントマネジメント, (1992).
- 9) 原子力安全委員会, 軽水型原子力発電所におけるアクシデントマネジメントの整備について, (1995).
- 10) 日本原子力学会「格納容器内熱流動挙動調査研究」特別専門委員会, シビアアクシデントと新型軽水炉の熱流動挙動研究の現状, (1994).
- 11) 成合英樹, 他, シビアアクシデントに関する熱流動研究の最近の動向, 日本原子力学会誌, 39[9], 739-752(1997).
- 12) 原子力安全研究協会, 次世代型軽水炉の原子炉格納容器設計におけるシビアアクシデントの考慮に関するガイドライン, (1999).
- 13) 日本原子力学会, シビアアクシデント熱流動現象評価, (2001).
- 14) 日本原子力学会「経年変化と熱流動」特別専門委員会, 原子力プラントの経年劣化と熱流動, (1999).
- 15) 日本原子力学会「核熱水力安定性」研究専門委員会, BWR核熱水力安定性評価の現状と課題, (2001).
- 16) 成合英樹, 他, 熱流体工学と原子力, 日本原子力学会誌, 36[1], 3-29(1994).
- 17) 成合英樹, 他, 日本における原子炉熱流動研究の現状, 日本原子力学会誌, 42[2], 81-101(2000).
- 18) 経済産業省, 世界標準を獲得し得る次世代軽水炉の開発について, (2007).
- 19) 日本原子力研究開発機構, 高速増殖炉サイクル実用化研究開発「FaCTセミナー」開催結果および資料集, JAEA-Review 2008-009, (2008).
- 20) 大島宏之, 他, 「数値解析によち自由液面からのガス巻き込み評価指針」の解説(解説B), JAEA-Research 2008-049, (2008).

部会活動 放射線工学部会

放射線工学部会14年の歩みと今後

放射線をキーワードとして

放射線工学部会の発足の経緯と発足後の主な活動、部会を構成する各研究分野とその現状を紹介するとともに、今後の部会としての課題をまとめる。

I. 放射線工学部会の歩み

1. 部会の発足

原子力学会内には、放射線に関連する様々な分野の研究者がいるが、共通したテーマや手法があるにもかかわらず、それぞれ他の学会で活動するなど、原子力学会内でまとまって活動ということがほとんどなかった。「放射線挙動」研究専門委員会の会合で、たびたび学会内の「放射線関連研究者の共通の場を作ることの必要性」が議論され、放射線計測や保健物理等の研究者と相談して提案した結果、1994年(平成6年)に「放射線工学研究連絡会」として企画委員会から設立が認められ、1年後に放射線工学部会に移行した。放射線工学部会は、現在17ある原子力学会の部会の中でも、6番目と早くに出来た部会である。放射線物理と計測、放射線遮蔽、放射線防護と線量評価の3分野は、互いに関係する内容が多くて、会員相互の情報交換や研究協力の推進を図ることを目的として、さらに、放射線の利用、特に工学的利用分野も視野に入れることを目指した。部会員の人数は200名を目指すことにして、当初の100名余りから現在では293名(2008年10月現在)と増えている。放射線工学部会(Division of Radiation Science and Engineering)という名前は、米国原子力学会の放射線防護・遮蔽部会(Radiation Protection and Shielding Division)を参考にして、さらに放射線物理・計測や放射線の工学利用の分野も広く包括する名前として採択された。最初の部会長に私(中村)、副部会長に森名大教授が選任され、その後森教授の定年退官に伴って、中沢東大教授が副部会長に選任された。

2. 部会の活動

部会活動としては、当初は放射線計測や利用を中心と

する部会はなかったもので、活動分野を幅広く考えて、年会での企画セッション、夏期セミナーの開催、様々な組織が主催するワークショップ・研究会・講演会への協賛などを行っている。部会が主催した最初の夏期セミナーは、1995年7月19～20日にホテルメゾン軽井沢で、「放射線の防護と利用」というテーマで行った。また当部会は、他の部会に先駆けて、「放射線工学部会ニュースレター」を1995年4月6日に第1号として発行した。さらに、部会員の名簿を作成して、電話、ファックス、電子メールアドレスを整備してネットワークを作り、それを活用して、電子メールやファックスで様々な情報を部会員に早く伝えることを進めた。例えば、国際会議、研究会、講演会等の案内、論文紹介などである。

その後、当部会と関係が深い、加速器・ビーム科学部会が1998年に、保健物理・環境科学部会は2000年に設立され、さらに2000年に核データ部会もできて、オーバーラップする部分も多くなり、部会活動の独自性を出す必要と、関係の深い部会との活動協力を進めることが必要になってきていて、その取組みが進められている。

なお、2001年7月に第1回が韓国ソウルの漢陽大学で開催されたISORD(International Symposium on Radiation Safety and Detection Technology)を当部会が共催することになり、第2回は2003年7月に私が馬場教授と共同で東北大学で開催し、その後、2005年7月には中国太原市の放射線防護研究所で開催、来年2009年7月には石橋九大教授が中心になって北九州市で開催されることになっている。この国際会議には放射線工学部会が大きく関わっている。

II. 「放射線工学部会」が対象とする技術と研究の進展と現在

1. 対象とする技術分野

放射線工学部会が対象とする分野は、おおむね、(1)放射線挙動・遮蔽(生成、輸送)、(2)放射線計測(物理計測、線量計測)、(3)放射線線量(線量評価、換算基準)と分類

14 Years Activities of Division of Radiation Science and Engineering and Future Tasks—Keyword is Radiation : Division of Radiation Science and Technology (2008年 10月27日 受理)

できる。

放射線挙動・遮蔽の分野は、原子力施設や加速器施設の放射線安全設計に必須である。しかしながら、放射線に対する安全性と施設の経済性から相反する要求があり、その解決策を見出すためには精度の高い放射線遮蔽設計が必要とされる。放射線の輸送コードには、レプトン(ガンマ線, 電子)系とハドロン(中性子, 陽子など)系があるが、現実的には両方をともに考慮すべき場合も多く、ともに放射線工学として極めて重要である。計算コードについて、近年ではコンピュータの能力が向上したために、汎用性が高いモンテカルロコードの使用が多くなる趨勢となっており、遮蔽体の厚さが特に厚い場合などを除いて離散座標コード等の使用が少なくなりつつある。ガンマ線・電子のモンテカルロ輸送コードは、世界的に電子ガンマ線シャワー(EGS)コード(平山らが開発)が標準的に使用されており、現在でもコード改良の努力が継続されている。モンテカルロコードが好まれる状況にはあるが、計算体系が大きい場合などは、モンテカルロ計算では計算精度が不十分となる。スカイシャインの計算ではビームラインレスポンス法に基づくSHINE 3等のコードが開発されてきた。

ハドロン系の輸送コードは、低エネルギー領域(約20 MeV 以下)ではモンテカルロ中性子光子輸送コードMCNP 5.1等が使用される場合が多く、高エネルギー領域を取り扱う場合には粒子重イオン輸送コード(PHITS, RIST と東北大で開発)やモンテカルロ中性子光子輸送コードMCNPX が使用される。PHITS の高エネルギー部分の計算はそれまで開発されてきた核子中間子輸送コードNMTC/JAERI と重イオン入射現象を取り扱えるJQMD を統合しており、重イオン医療への適用ができるなど、その適用範囲が広い。一方、レプトン系(ガンマ線, 電子)コードの場合と違い、ハドロン系コードは物理モデル計算に基づいているため計算結果の検証に注意すべき場合がある。

高エネルギー加速器施設については、放射線挙動に関わる実験研究も進展している。国内(CYCLIC, HIMAC, KEK など)、海外(ISIS, BNL, SLAC, FANL など)の施設で、厚いターゲットまたはそれに起因する放射線輸送の実験研究がなされた。これらの一部はJ-PARC の設備のための放射線挙動研究の側面があった。一方、医療用電子加速器で電子エネルギーが10 MeV を超える場合には、光核反応中性子の存在を考慮した遮蔽解析が確立してきた。日本原子力研究開発機構高崎研究所のサイクロトロンやBWR 原子炉タービン建屋にかかわるスカイシャインでは、系統的な実験データが取得された。

放射化物のクリアランスに関わる研究では、あらかじめCo-60等の発生を抑える材料を使った低放射化コンクリートなどの開発研究が注目を集めている。また、クリアランスに関わる低レベル放射線測定用のガス循環放射

線検出システムの開発が進んでいる。

放射線計測については、放射線被ばく評価・放射線管理に関して、ガンマ線だけでなく高エネルギー中性子にも対応できる携帯型半導体線量計が登場してきた。放射線管理などの分野では、迅速に測定できて感度も高くダイナミックレンジの広い放射線2次元画像検出器イメージングプレートの利用が著しく進展し、従来型の写真フィルムの使用はまれになってきた。物理・工学研究のための物理計測の立場では、半導体検出器よりも高いエネルギー分解能を目指す極低温マイクロカロリメータの高性能が実証されるようになった。さらに、微細加工技術を応用し2次元画像の取得を可能にするマイクロストリップガスチェンバMSGC(またはマイクロピクセルガスチェンバMPGC)が注目されており、J-PARC などでの実用的使用が期待される。一方、シリコンやゲルマニウムに代わる新しい半導体(InSb, TeBr, ダイヤモンド等)を利用した検出器の開発も活発である。物理実験または核データ実験用の位置検出型の比例計数管・ドリフトチャンバや、荷電粒子弁別型ブラッグピーク検出器の開発も継続して行われている。原子力施設での利用を目指すレーザー共鳴による同位体選択イオン検出器の開発や光ファイバによる位置検出型検出器も近年、目覚ましい進歩を遂げている。

中性子検出では、宇宙空間や高層大気中の中性子・ガンマ線・荷電粒子の測定に関心が高まっており、そのための放射線弁別特性が優れた検出器の開発がなされた。これには、異なる減衰時間のシンチレータを積層してひとつの光電子増倍管で測定するホススイッチ検出器の開発が注目される。高エネルギー中性子のドシメトリー測定では、Bi 箔を利用して数100 MeV 領域までの系統的な測定を可能にする技術開発がなされた。

放射線検出器のための電子回路では、多チャンネル計測を想定した前置増幅集積回路ASIC の性能向上がみられる。また、NIM モジュールやCAMAC モジュールを使用しないで高度な放射線計測が可能になるフレキシブルプログラミングゲートアレイFPGA などの機器の発達がある。また、多量の波形データを容易に蓄積できるようになり、ソフトウェアによるデジタル波形弁別も高性能になってきた。医療応用では、医療用PET 用の深さ方向情報をもつガンマ線シンチレーション検出器などの研究が始まっている。一方、検出器開発のための粒子シミュレーションでは、上述のEGS コードやPHITS コードなどが使用されることが多くなった。放射線計測の近年の動向をまとめると、コンピュータ技術(集積回路の微細加工技術とソフトウェア技術)を放射線計測に応用し、多チャンネル化、画像化、小型化、ソフトウェア処理を実現する方法や、加速器駆動未臨界炉に代表される高エネルギー化の流れがあるといえよう。

放射線線量に関わる分野では、産業技術総合研究所を

中心に、放射線検出器の基準や放射線場の基準確立の研究が着実に進行している。また高エネルギー領域を中心に線量換算の研究も進展している。深度の深い遮蔽体の場合(平均自由行程の100倍)のガンマ線ビルドアップ係数などの整備が進んでいる。また高エネルギー中性子では、加速器による $\text{Li}(p, n)$ 反応を使った中性子標準場の確立のための研究が進展した。

2. 部会の取組み

本部会では、上述の分野について、年会・大会の通常の発表や企画セッションなどにおける討論を通じて、コミュニケーションを図っている。年会、大会ともこの分野の発表は、毎回60~80件あり活発な討議が行われている。放射線遮蔽線量標準などに関わる研究専門委員会の活動がある。また、毎年、夏期セミナーを開催するとともに、他部会と協力(4部会)した日韓夏の学校にも参加して、若手・学生の育成や啓蒙に努力している。国際的な取組みとしては、放射線遮蔽国際会議や国際放射線計測シンポジウムの日本開催においてホスト機関を支援している。

Ⅲ. 放射線工学部会の将来の取組みと課題

原子力の平和利用を進めていく上で、「放射線」は避けることができないキーワードである。原子炉の安全性や廃棄物処理の問題でも、最終的に問題となるのは「放射線・放射能」である。I章の「放射線工学部会の歩み」で述べたように、放射線工学部会は、原子力学会の様々な分野で活躍している研究者が原子力学会内でまとまって活動することを主たる目的として設立された部会である。放射線工学部会の特長である幅の広さ(放射線が、原子力関係の様々な研究分野に関連している)から、学会内で、より対象を明確にした部会が増える中で、どのような役割を果たすべきかという方向性を明確にして、活動することが必要になってきている。また、「応用物理学会放射線分科会」、「日本保健物理学会」、「放射線管理学会」等、原子力学会以外の放射線に関連した学協会では、部会員が活動しているという側面にも留意する必要がある。具体的な課題について、他部会や他の学協会と

協力して取組みを行うことは重要なことであり、すでに「企画セッションの共同開催」、「日韓夏の学校」の4部会共同開催や、他の学協会との「夏の学校の共催」(応用物理学会放射線分科会、放射線計測研究会、日本アイソトープ協会、日本保健物理学会)を行っている。

しかしながら、放射線工学部会が、発足の目的に即した役割を果たしていくためには、放射線をキーワードとする本部会の各分野およびそれに基づいた部会としての課題を明確にすることが必要になっている。本部会が責任を持っている研究専門部会の一つである「放射線遮蔽」研究専門委員会では、専門委員会の課題として、放射線遮蔽・放射線挙動分野の現状と課題を分析し、当面および中長期の「ロードマップ」を作成する活動に取り組んでいる。応用物理学会の放射線分科会でもすでに「ロードマップ」が作成されている。放射線工学全体についても、課題を明確にするためには、これらの取組みを踏まえ、部会としてのロードマップを作ることが必要であり、どのような体制で検討するのかということも早急に検討して取組みを進めていく必要がある。

日常的な活動として強化していく必要があるのが、部会員相互の様々な情報の交換である。ニュースレターを通じて、関連する研究会等の情報交換は行われているが、「研究協力の推進を図る」ためには、部会員の行っている研究内容に関する情報交換が重要である。放射線というキーワードを共有しているとはいえ、部会が対象としている各分野の研究成果の発表の場は様々である。互いに関係する内容が多いとしても、すべての分野の研究状況を把握することは容易ではない。年会や大会での企画セッションもこのような場であるが、部会員が自分の周辺の関連分野の研究情報を知るという意味では不十分である。部会の発足当初に、部会員が発表した論文やレポートの情報の投稿を基に「ニュースレター」に掲載する取組みを行ったが、投稿による情報提供が不十分で、機能しなかった。この種の情報交換は部会の活動の基盤であり、情報の収集と提供の仕方を検討し、新たな形で実現することが必要である。

(執筆担当：東北大学・中村尚司、九州大学・石橋健二、KEK・平山英夫)

部会活動 加速器・ビーム科学部会

原子力の中の加速器・ビーム科学

Identity・国際化・医学物理・若手奨励

1998年、的場優九州大学教授(当時)を初代部長として発足以来、10年の活動を総括する。日本物理学会ビーム物理領域、日本加速器学会など大きな関連学会がある中、本学会部会員の特徴である利用技術を前面に出し、大学原子力実験施設応援、研究会活動共催、韓国を基軸とした国際協力、利用技術のハイライトとしての研究開発的医学物理、若手奨励、新たな方向を述べる。

I. 加速器・ビーム科学部会の歩み

1. 趣旨と意義

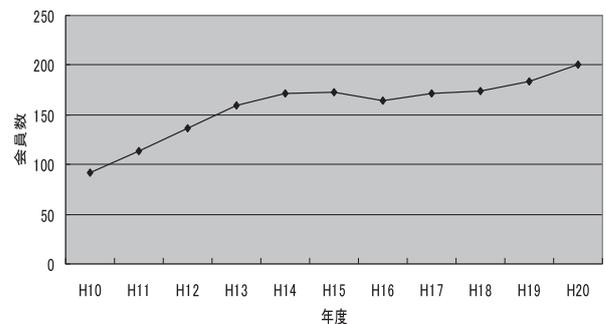
1998年に本部会は設立された。当時は、その15年ほど前から、大中小放射光源、自由電子レーザーの開発・建設・利用の大きなトレンドがあり、原子力界の研究機関、大学、企業も大きく参画することとなった。また、その頃は原子力発電・核融合装置の成熟化のため、業界の業務・人材確保に大きく貢献したのではないかと感じる。その当時、関連の学会というと日本物理学会、応用物理学会、本学会が主に発表の場であった。しかし、日本物理学会にはまだビーム物理領域がなく、応用物理学会も物性・半導体分野が主流であるゆえ、分散状態であった。そのような中、本部会が設立されたことは、特に本学会での加速器科学技術に携わる者にとって、母屋ができたような喜ばしい気分であったことを記憶している。

2. 模索から定常化へ

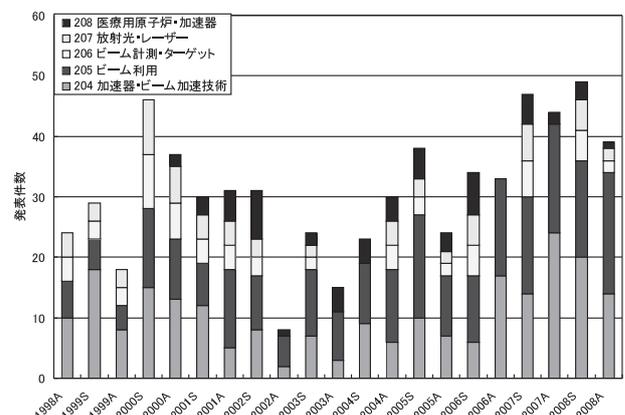
その後、加速器界は統合と組織化の方向に向かうことになる。日本物理学会ではビーム物理領域が設立され、柴田徳思高エネルギー加速器研究機構教授(当時)の多大なご尽力で、科研費細目「ビーム物理」が設置された。また2004年には、それまで2年に1回開催であった加速器科学技術発表会と毎年のリニアック技術研究会が実質統合された形で日本加速器学会が設立された。

このように関連の大規模な組織が林立する中で、本部会の存在意義とIdentityを議論し続け、活動を模索してきた。正直、部会員のほとんどはそれら学会の会員で

もあり、かなりの方々は幹部でもある。結果、原子力利用技術主体、加速器原子力応用プロジェクトの応援活動、韓国との合同サマースクール・合同セッション、研究開発的医学物理、大学原子力実験施設連絡会等、特徴を出しながらここまで発展してきたといえる。第1、2図がその証拠である。部会員数もようやく200の台に乗った。一般講演数もおおよそ右肩上がりの傾向で、学会全体でも発表数上位となっている。特にここ数年、企画WGを設け、ややオーガナイズドであるが、発表の増加と内容の充実を行っている。以下にその主な活動を紹介



第1図 会員数の推移



第2図 一般講演数の推移

Accelerator and Beam Science in Nuclear Society—Identity, Globalisation, Medical Physics, Encouragement of Youth : Division of Accelerators, Beams and their Applications

(2008年 11月 6日 受理)

する。

3. 原子力利用技術主体

加速器開発・ビーム物理においては、日本加速器学会や日本物理学会ビーム物理領域の方が本家といわざるを得ない。本部会の特徴は、やはり原子力利用技術であるべきである。部会員のほとんどが、放射線工学部会、核データ部会にも属して、いわば二足のわらじを履いている。逆にこれを強みととらえて、利用技術を主体として活動している。注目に値する利用項目としては、加速器駆動炉、加速器ベース中性子源、小型中性子源の核物質評価応用、高時間分解能放射線化学分析、医療用先進小型加速器開発、可搬型加速器開発・原子力応用などが挙げられる。

4. 加速器原子力応用プロジェクトの応援活動

設立から数年間、的場先生・第2代部会長今西信嗣京大教授(当時)ら主導で京都大学原子炉実験所のシンポジウム活動を利用させていただき、シンポジウムを行った。そこでは、それまでになかった原子力系大学実験施設と国立研究機関の加速器・利用研究者が一堂に会し、現状報告・課題・将来計画を議論する場を作った。その議論はJ-PARCの活動に反映された。また京大炉のFFAG(Field Fixed Alternative Gradient)による加速器駆動炉計画、九州大学のFFAG利用計画などが、それら議論の中から成就に至った。

5. 韓国との合同サマースクール・合同セッション

この国際活動は本部会の最重要イベントとあって過言でない。学会の国際化の動きに同調する形で開始している。前述したように、部会の規模も必ずしも大きくなく、かつ規模の大きい関連学会の類似の活動がある中、韓国との協力のみ焦点を絞って実施してきた。特に日韓合同サマースクールには部会挙げて運営している。これは核データ部会、放射線工学部会、炉物理部会と共同で運営している。第4、6代部会長である東北大・馬場護教授、北大・鬼柳善明教授のリーダーシップ、および東工大・井頭政之准教授らの韓国ネットワークを活用し、韓国側はKAERIのDr. B. H. Choi, Dr. J. Chang, Dr. Y. O. Lee, PAL/POSTECのProf. W. Namkung, Prof. I. S. Koらが主導している。以下にその4回の概要を示す。

第1回、日時：2004年7月26～30日、31日は大強度陽子加速器(KOMAC)サイト見学、会場：韓国 Pohang Accelerator Laboratory, 共催・支援：韓国 Proton Engineering Frontier Project(PEFP; 韓国陽子加速器プロジェクト), 韓国原子力学会, Pohang Accelerator Laboratory(PAL), 参加者：90名

第2回、日時：2005年7月24～26日、27日はJ-PARCサイト見学、会場：茨城県東海村リコッティ、共催・支

援：東京工業大学COE, 日本原子力学会北関東支部, 韓国原子力学会, 参加者：80名

第3回、日時：2006年7月24～26日、会場：韓国 Daejon(大田), INTEC(Int. Nucl. Eng. Training Center), 主催・共催：韓国原子力学会(KNS), 日本原子力学会(AESJ), 韓国陽子加速器プロジェクト(PEFP), 韓国原子力研究所(KAERI)核データ評価研究室, 参加者：計110名

第4回、日時：2008年8月5～8日、場所：九州大学伊都キャンパス(福岡市), 主催・共催：日本原子力学会(AESJ), 韓国原子力学会(KNS), 参加者：計103名。第4回の集合写真を第3図に示す。

筆者が中心にやった第2回において、全日程終了時、日韓の学生が握手し抱き合って別れを惜しんでいた光景をみて、将来に向けた良き若手交流の機会が作れたと実感した。今後も2年ごとに韓国で回して実施予定である。

日韓合同セッションについては、学会発表の英語化の可能性も鑑み、日韓原子力学会の年会か大会に英語で合同セッションを設けている。ここまでの概要を以下に示す。特に第1回は九州大学石橋健二教授の強いリーダーシップで開催された。

第1回合同企画セッション、場所：佐世保(2003年3月27日(木)13:00～16:20, C会場), 「国際セッション—加速器・ビーム科学/核データ部会合同」, (1) Summary, (2) Nuclear Data, (3) Beam Sources, (4) Medical, (5) FEL, 日韓でそれぞれ1件ずつ

第2回、日時：2004年10月29日、場所：竜王, 韓国 (1)Advanced Accelerator & Technology, (2)FEL, (3) Radiation Damage Study with Accelerators, (4)Nuclear Data for Accelerator, (5)Neutron Beam & Optics, 日韓でそれぞれ1件ずつ

第3回、日時：2005年10月、場所：八戸, 日本, KAREI/PAL/GIST から4件, KEK/JAERI/SPring 8 から4件

第4回、日時：2006年11月1日、場所：慶州, 韓国 (HyangBiPa A Hall, Hotel TEMF, Gyeongju, Korea),



第3図 第4回日韓合同原子力サマースクール(加速器・核データ・放射線工学・炉物理)(九州大学伊都キャンパス)



第4図 第2回韓国原子力合同セミナー講演者
(韓国原子力学会年会サイトにて)

韓国側講演 6 件, 日本側講演 3 件

第5回, 2007年9月28日(金)13:00~14:30, 場所:
北九州国際会議場, 北九州市, 日本, 副題「韓国におけ
る加速器関連研究の最前線」(韓国側より講演 3 件)

第2回講演者の集合写真を第4図に示す。

6. 部会賞の設置と奨励

2004年, 学会全体の動きに呼応し, 第5代部会長 原
子力機構・水本元治氏(当時)中心に2つの部会賞が設定
された。部会賞が加速器・ビーム科学に貢献の顕著な個
人か団体を対象とし, 実績を重視したものとなっている。
一方, 優秀講演・若手奨励賞は, 一般講演から推薦
を受け, 文字通り若手奨励が趣旨である。ここまで, 部
会賞1件, 優秀講演・若手奨励賞4件の受賞があった。
この分野は研究の規模が大きく, 多くの共同研究者も必
要で成就まで時間も掛かる。論文数と受賞数が他の分野
に比べ研究規模が大きいせいもあり多い方でない。その
打開になり, 少しでも若手研究者・学生の激励になるこ
とを期待したい。部会員の方々にも積極的推薦をお願い
したい。

II. 「加速器・ビーム科学部会」が対象とする 技術と研究の進展と現在

1. 世界とわが国での動向

現在, 加速器界は3名のノーベル物理学賞に沸きか
えている。しかしながら, 2年前の米国・ECでのILC
(International Linear Collider)予算の大幅凍結は深刻で
あった(Black December)。欧米の加速器科学技術のみ
ならず, 高エネルギー物理の人材確保に暗い影を投げか
けている。わが国では理論の実証の観点でのノーベル賞
への貢献の高いKEK-Bファクトリの成功, J-PARC加
速器の完成, 理研XFELの建設など大型プロジェクト
では朗報が多い。日本の役割がますます重要となる次の
プロジェクトとしてERL(Energy Recovery Linac)が期
待される。医療応用では粒子線がん治療施設の発展が目
覚ましい。群馬大で臨床が始まり, 今年度になって新たに
3施設の建設が決まった。PETの普及も目を見張るも
のがある。また小型システム開発も, 京大・九大の

FFAG, 立命館大みらくる, 三菱重工のCバンドライ
ナックがん治療装置完成, 広島大等や三菱電機の小型電
子リングX線源, 東大・アキュセラの非破壊検査・が
ん治療用Xバンドライナックなど活発である。一方,
卓上レーザーによる陽子線がん治療システム開発, レー
ザー電子コンプトン散乱単色X線・ γ 線源でも日本は
世界を先導している。これらプロジェクトには部会員の
有力メンバが主導的に加わっていることは誇れること
である。

第3代部会長である田川精一・阪大産業科学研教授が
当時の科学技術庁の委託で, 放射線利用の経済規模と日
米比較を行なった委員会の工業利用部会座長として, 放
射線応用の経済規模を詳細な分野の内訳も含めて調査し
た。トータルで約8.6兆円でGDP(494兆円)の約1.7%が
加速器を含めた放射線応用であった。部会活動とは直接
関係ないが, 加速器利用の経済規模が初めて明確になっ
た活動を紹介させていただいた。

ここに部会の組織だった貢献の1例を紹介する。2005
年に大学原子力教員協議会の下に, 東北大・石井慶造教
授を中心として大学原子力実験施設連絡会を組織した。
大学原子力実験施設代表者で構成され, 現状・課題・将
来に向けた発展的協力を議論している。結果的に当部会
主要メンバが加わっていることになる。昨年からシンポ
ジウム(2007年7月近畿大, 2008年7月京大宇治)も運営
され, 強い連帯感が培われている。特に2008年度から5カ
年計画で開始された文科省量子ビーム研究開発拠点事業
にも貢献した。これは将来ILC, ERL, 小型陽子・中性
子源の開発と利用に直結する研究拠点とサテライトネッ
トワークによる要素技術開発Complexである。多くの
メンバと組織がサテライト拠点として参画している。来
年度も追加公募が見込まれている。欧米での加速器開発
の厳しい情勢から日本の役割が重要となる中, 部会の組
織立った活動が, 国家プロジェクトや部会員の組織の将
来計画にも貢献し続けている。

2. 研究開発的医学物理・研究会専門委員会・ 啓発書出版

粒子線がん治療施設の普及, 放射線医療全般の安全向
上のため, 理工系大学院出身の医学物理士の重要性が認
識されている。しかし診療放射線技師と厚生労働省の一
部から強い懸念が示され, その国家資格化の動き, 行政
職からのステータスの向上は十分に進展していない。米
国では医学物理士は6,000人に達しているが, その40年
掛けた単調増加は放射線医療科学技術の開発と普及と同
調して達成されている。本部会が関与する医学物理は技
術開発を重視し, その結果として人材育成が達成され
るとの理解の上で, 研究開発型医学物理を称している。部
会員が所属する大学の医工連携放射線医療グループが中
心となって, 放射線医療と医学物理をテーマとした化学

放射線治療科学研究会をこの5年間9回の共催してきた。また、日本原子力学会に当部会幹事の特別専門委員会を設置し、研究開発と人材育成の連携等を議論してきた。研究専門委員会に2007年度から移行させ、今に至っている。ここまで以下のトピックスの研究開発の方向、協力および人材育成の方向などを議論した。

放射線治療の最前線(IMRT(Intensity Modulated Radiation Therapy), IGRT(Image Guided RT), 動体追跡, 体幹部定位照射, ガンマナイフ, サイバーナイフ, トモセラピー, 陽子線, 炭素線, BNCT(Boron Neutron Capture Therapy), 小線源治療), 医学物理(業務, 資格, 教育, 欧米の状況, 安全), 研究開発(ピンポイントビーム(リニアックピンポイントX線源, FFAG, レーザープラズマ陽子加速, 自由電子レーザー, マイクロイオンビーム), 治療(VMAT, Rod IMRT, 患者位置決めシステム関連, 呼吸性移動に絡めた照射システム関連, 粒子線スポットスキニング, 照射領域可視化システム), 診断(4D CT, PET(Positron Emission Tomotherapy), MRI(Magnetic Resonance Imaging), 単色X線イメージング), 生物学, 放射線薬品送達システム(BNCT, X線DDS(Drug Delivery System), 放射線化学反応とラジカル捕捉剤), 生体シミュレータ(モンテカルロ数値解析, 粒子法, 血流イメージング, 地球シミュレータによるDDS設計), 社会受容性とビジネス化(社会経済的な価値戦略, ベンチャービジネス)。現在その議論の結果を, 部会員を中心に啓発書『放射線治療と医学物理』に共同執筆し, 養賢堂より出版予定である。今後の放射線応用・医学物理に興味を持つ学生を増やし, 学会員を増加させることに貢献できることを期待している。

Ⅲ. 加速器・ビーム科学部会の将来の取組みと課題

1. 国際化の進展

日韓のサマースクールと合同セッションが5年経って定期的に定着することができた。一方, 東工大・名大21世紀COEや東大GCOE等プログラムによって, 国際ネットワークが発展している。国際化活動に中国等も加わっていただく準備も整ってきたといえよう。すべてを単独で行わず, 他学会と連携することも肝要である。第6回日韓合同セッションは来年に日本物理学会ビーム物理領域国際WGと連携して, 中国も加えて実施を計画している。また筆者がメンバであるICFA(International Committee for Future Accelerator), および議長を務めるPanel on Advanced and Novel Accelerator(部会員である京大・野田章教授, 原子力機構・羽島良一氏も委員)

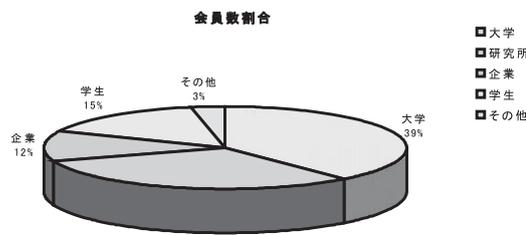
にて, 従来からのICFA委員会が承認する国際性と高い内容のものに承認される“ICFA endorsed workshop”に加えて, ICFA Panelのみで承認できるPanelメンバが少なくとも1名が運営に関わり, 地域が限定されていても可の“ICFA Panel endorsed activity”の2種類を使い分けることが決った。つまり本部会が運営している日韓合同サマースクール・セッションもICFA Panel endorsed activityとなり得て, ICFAという加速器分野のプレステージのロゴを冠することができる。本部会の国際活動のステータスの向上のため, 以後, 積極的にICFA Panel endorsementを得ていきたい。これはICFA Panelの活動を高めることにも貢献する。培われた世界ネットワークで大学原子力実験施設の国際共同利用などへの発展も本部会で議論していきたい。外国から研究員や学生を受け入れることのみならず, 高エネルギー物理の世界のように, トップクラスの日本人学生を世界的に著名な大学院・研究施設に共同利用, 短期・長期留学・インターンシップさせ, 世界のリーダーを育成することも肝要である。

2. 重点科学技術分野

本稿で述べたように, ここまで加速器駆動炉, FFAG, 研究開発型医学物理など変遷してきている。今後, セキュリティ・原子力保全応用, E(Extreme)UVリソグラフィ, ナノテク応用, マイクロビームPIXEなど有望な分野と考えられる。それらは最近2回の企画セッションでも取り上げた。新たな有望分野を的確にとらえ企画セッションをより魅力的にしていきたい。

3. 若手研究者・学生部会員の増加

部会員の所属の内訳を第5図に示す。さらなる学生の入部会を推進したいところである。学会学生ポスターセッションでの優秀賞ではあるが, 当部会の学生が常に多く受賞していることは自負に値すると考える。もっと女性部会員も増やしたく思う。研究開発的医学物理など魅力的分野のPRも有効かと考える。



第5図 部会委員所属内訳

(執筆担当: 東京大学・上坂 充)

部会活動 社会・環境部会

開かれた原子力学会へのさきがけ 水先案内人としての社会・環境部会

1999年に発足した社会・環境部会。直後にJCOの臨界事故があり、以降、短期間のうちに、後に原子力スキャンダルと呼ばれるトラブルが続発した。それは原子力学会が社会に開かれた学会を標榜する契機を与え、生まれたばかりの社会・環境部会はそのさきがけとなる形で、これらのトラブルにもまれながらも、社会への扉作りを目指す活動や地道な研究に取り組んできた。学会創立40年の節目に創設された当部会のほぼ10年の活動と今後の道筋について紹介する。

I. 社会・環境部会の歩み

1. 社会・環境部会発足の背景

社会・環境部会が発足したのは、1999年3月、広島大学で開かれた春の年会においてである。当時の京都大学の木村逸郎先生、東京大学の鈴木篤之先生らが中心になり、献身的な準備を進められた結果である。原子力学会を支える多くの部会が、原子力によってエネルギーを生み出す仕組みの要所を技術的に探求し、その原理原則をより深く理解し、もって技術の進歩に役立てようという、優れて専門技術的研究集団である中であって、社会・環境部会は、技術のみ向上してもそこに社会の理解が伴っていかないと、原子力システムが社会に対して貢献するという本来的な価値を産むことにならない、という現実に目を当て、その領域を研究対象として、その前進への貢献を目的としたものである。第1回の総会となった広島大学の会場に集結した43名の参加者を前に、議長を務められた木村先生は、この部会の設立は遅きに失した感もあるが、学会設立40年という人生に例えれば不惑の年に誕生したのも意味がある、と述べられた。

2. 社会・環境部会とその活動の特徴

社会・環境部会は存在そのものが本学会の中であってユニークであるが、活動にもユニークな点が多々ある。それらを歴史的変遷も加味し、簡単に紹介する。

(1) 部会員

発足当時の部会員数は8月時点で188名を数え、その後年々増加し、2008年7月時点で316名になった。原子力学会の年齢構成を考えると、この10年間に相当数の人

が学会を辞去したにもかかわらず、それを上回る新規加入者があったということで、これは有意義なことである。部会員の約1割は女性が占め、最近、学会に入会した若い女性の同時入部会が目立つ。

(2) コアグループ

社会・環境部会の活動を担った組織である。これは運営委員会とは別に、自由闊達なグループ内の意見交換によりそれぞれが部会員を取り込み、活動する、という鈴木初代部会長の発想によるもので、設立当初は運営や研究に関する30のグループが作られた。中でも最も活発であったのは、チェインディスカッションを企画するグループといくつかの研究グループであった。現在も研究はコアグループが主体である。

(3) チェインディスカッション

チェインディスカッションは、これを提案された当時の日本原子力研究所の松浦祥次郎先生によると、わが国古来の連歌にならい、問題点をつかみ次につなげていく議論の中で、部会が直面する問題の解決に役立つ材料を拾っていく、という趣旨で、JCOの臨界事故直後に第1回が開かれた。4回までは部会独自の行事として行われたが、その後、学会員が集まりやすい春の年会と秋の大会に合わせて行われるようになり、また内容的にも話題提供者による講演を入れるようになって、今日に至っている。

(4) 内部討論会と一般公開の討論会

チェインディスカッションも一般公開であるが、その他にも原子力が社会と大きな関連を持った、例えば、刈羽村でのプルサーマルを巡る住民投票、東電問題、もんじゅを違法とした名古屋高裁金沢支部判決等々の事象が起きたとき、それに対して学会員がどう向き合うか、再発を防止するためにはどのようなことを重視するべきか、そのような観点での一般公開のシンポジウムを行っ

てきている。特に東電問題では、原子力学会が社会に対して開いている2つの窓である倫理委員会と社会・環境部会が意識を共有し、共催となった。

(5) 表彰

部会表彰ができるようになって、社会・環境部会も他部会同様、表彰制度を設けた。社会・環境部会の表彰の特徴は、表彰される者が部会員であることを要件としないことである。特に原子力やエネルギーに対する理解活動に取り組む高校生を奨励することで、彼らへの激励とその活動支援に力を入れている。

II. 「社会・環境部会」が対象とする技術と研究の進展

1. 対象とする研究・活動領域

社会・環境部会では、社会と原子力との関係に関する研究および活動を中心に実施している。その活動は大きく分けて、本領域において重要な課題で、かつ、これから基礎的な研究を必要とする「研究課題」と、地道な実践により着実な効果を期待する「具体活動」とがある。これらが社会・環境部会における研究・活動の両輪となって、社会と原子力とのお互いに尊重する関係を築く一助となることを期待している。

2. 研究課題への取組み

(1) 社会的問題を引き起こすメカニズムの分析

原子力には、国をはじめ、地方自治体、地元住民、国民、事業主体、学協会、マスコミ等々の多くのステークホルダーが関わっている。その結果として、ステークホルダー間のコミュニケーションに起因した社会的問題を内包するような状況が生じる。たとえば、軽微なトラブルであってもマスコミによって事実以上に誇張されて報道されてしまう状況は、そのひとつとして挙げられる。なぜ、このような状況が生み出されるのだろうか。そのメカニズムを探索するための研究が必要とされた。

手法としては、たとえば定性システム・ダイナミクスがある。これは、ある問題を内包する状況に、関係する要素同士の因果関係を正負の符号をつけてフィードバック系を形成し、そのフィードバックループを廻すことによって、問題解決の「てこ」を見い出すものである。この手法を用いて、現在の原子力報道が行われる状況をモデル化すると、よくいわれている「現場からの迅速な情報発信」が非常に重要であること等が見い出される。

このように、社会的問題を内包するような状況が生じるメカニズムを知り、それに対応する方向性を見い出してゆくような分析は、今後も重要になってゆくだろう。

(2) ファシリテーションフォーラム研究

ファシリテーションフォーラムとは、原子力に関連するステークホルダー、その中でも特に原子力について情報を発信していかなければならない人びとのコミュニ

ケーションを促進(ファシリテーション)する場(フォーラム)の提案である。

たとえば、原子力広報活動の整理とその理論的位置づけの提案がなされている。これを現場にフィードバックすることにより、従来から実施されている原子力広報活動自体の質の向上を目指している。

また、原子力PR館の活動をより有効なものとするために、PR館説明員相互の情報交換会、コミュニケーターズ・コミュニケーション・ミーティング(COMCOMミーティング)を2007年度より定期開催している。この中で、PR館説明員は原子力に関する基本的知識の再確認やコミュニケーションに係わる知見、そして、もっとも重要であるお互いの情報・知識・経験の交換と共有が行われる。

これらの活動は参加者から有用であると評価されており、今後も継続して実施してゆく予定である。

(3) マスメディア報道と原子力世論

原子力に係る世論は多数調査されており、継続的な世論調査の価値は非常に高い。しかし、中立、公正、公開の立場で学術的かつ継続的に実施されている調査は充分とはいえない。そこで、原子力学会がそのような原子力世論の動向調査をしようというのが本テーマである。

地域を限定した一般市民と原子力専門家とを調査対象者とし、調査結果を分析整理することにより、専門家の原子力に対する考え方を世間に示すひとつの機会とし、一般市民と専門家の原子力に対する考え方の相違を明確にし、一般市民が専門家を知る機会にすると同時に、専門家の冷静な自省を促すきっかけとする。

また、規制側ならびに事業者側のプレスリリースの内容と対応するマスメディア報道の内容とを比較・分析したり、マスメディアに関する既存の学術的研究をもとに報道記事を分析したりすることにより、規制者および事業者からの情報発信のあり方を検討している。

3. 具体活動への取組み例

(1) プルサーマル安全性に関するQA集作成

2003年8月から2005年9月にかけて、古屋廣高九州大学名誉教授を主査としたコアグループを発足させ、世の中で喧伝されているプルサーマルに関する安全面での指摘事項に対して、学会としての立場からこれを解説するQA集作りを行った。

安全性に対する懸念の指摘は、2001年の刈羽村におけるプルサーマル受入れに関する住民投票の際、現地で配布された反対派のビラから抽出した。そこに指摘されている事象の解説や、それに対する技術的対策に対して、具体的なイメージを持ってもらえるための表現をいかにやさしくできるか、その検討に多大な時間を費やした。委員には地域住民への説明会等の経験のある学会員以外の方々にも参加していただいて助言を得た。

できあがったQA集は、一般市民を対象にしたQA集と、その根拠を明示した詳細版からなり、それに市民向けのプルサーマルそのものの説明が加わり、CD-ROMにして、実費価格(1,000円)で販売している。今後、現行版の公開や内容の更新の方法について検討していく。

(2) マスメディア勉強会の実施

マスメディア勉強会は、記者に原子力現状および研究開発の状況を理解してもらうとともに、マスコミ関係者と原子力学会の専門家との関係を密接にし、パイプをたく、広くすることを目的に、2006年8月から始まった。

マスメディア勉強会のテーマについては、記者の関心の高い話題を取り上げることとし、事前に、関係の記者会(文部科学記者会、経済産業記者会、科学記者会等)の幹事から話題の希望を調査する。そして、その話題に詳しい原子力学会の専門家に講師をお願いする。

勉強会は新聞の夕刊記事の編集作業が終わる18時以降に、大学の講義室や原子力学会事務局で、サイエンスカフェ風のリラックスした雰囲気の中で行われている。質疑応答は活発で、都合で出席できなかった記者からは、配布資料の入手の希望が毎回あり、マスコミ関係者の期待の高さもうかがわれる。

(3) 原子力の安全管理と社会環境ワークショップ

原子力施設の安全を確保するためには、施設・設備のハード健全性を中心とした安全規制だけでなく、運営管理などの人的要因にも配慮した安全規制が重要であると認識されて久しい。これまでこのような側面での安全確保に関して、多くの研究開発が行われ、また規制制度も見直されてきたが、トラブルや不祥事は根絶されない。

そこで、原子力の安全管理と社会環境に関する現状と課題の把握を目的に本ワークショップが始まった。2007年3月に第1回が開催され、2009年3月には第5回を数える。「品質マネジメント」「ヒューマンファクター」「社会技術」の3分野から知見を持ち寄って、原子力事業者や規制主体等々が、今後実施すべき活動のロードマップを描くことを最終目標として活動を続けている。

(4) ポジションステートメント作成に向けて

社会・環境部会は、社会に対する原子力学会の「窓」の役割を担っているが、その役割の1つは社会の関心が高い原子力の問題をわかり易く説明することである。2008年度からその取組みの一環として、ポジションステートメントの作成を学会に提案した。活動の中心は学会の広報情報委員会であるが、当部会はWG主査を出すなど推進役として積極的に参画している。この活動の目的は、原子力の重要な事柄について、学会としての見解をわかり易く説明した資料をまとめ、原子力学会員なら誰でもこの資料を使って容易に説明できるようにすること、そしてこれを学会のホームページに掲載し、広く公開して原子力学会の見解の透明性を高め、社会に対するオピニオンリーダーの責任を果たすことである。原案は各

部会が起案して、学会内の意見を公募した上、理事会運営ボードで承認・決定する。個々の案件の位置づけは各部会の判断により「見解」、「提言」、「解説」等が選択できることとしている。学会全体として半期に10件程度ずつ作成する予定で、最初の10件は2009年春完成の予定である。

III. 社会・環境部会の将来の取組みと課題

本章ではまず、原子力発電所立地地域の会員と将来を担う若手会員から本部会に寄せられたご意見を紹介し、それを踏まえた上で部会の将来の取組みと課題を述べる。

1. 地域の会員、若手会員の部会活動へのご意見

(1) 『社会的合意を願って』(新野良子氏、柏崎市民)

原子力の平和利用のひとつとして原子力発電所が計画、実用化されて久しい。その間、国や企業、立地住民も世代交代しており、地球環境も世界の情勢も国民気質までも大きく変わった。そしてこの数年、食、医療、年金問題等国民の身近な施策が行き詰まり、不安や不信が増大しているが、決して原子力界も例外とはいえない。

このことは、コミュニケーションの不具合と、国民不在のまま、それぞれの分野の合理性のみが追求され続けてきた結果のように思える。

いずれの問題も、信頼が失われたことにより、情報公開や透明性、公正公平なルールや規制が望まれている。情報には、タイミングと正確さが要求され、ルールや規制には第三者の中立性が不可欠であり、共に信頼と情熱が欠かせぬものと考えられる。

また大きな問題が起きた場合、まずは現状を見極め、過去を評価し、手順を明らかにしながら責任のあり方や未来が示されることで、多くの合意が得られるものと考えられる。

中越沖地震後、地元にも様々な評価が説明されているが、住民の得たい情報提供になっているのだろうか。チャンスはたびたびめぐって来ない。住民の側からもいろいろな意見が出されており、皆が歩み寄り、信頼を築きながら前に進んで行きたいと模索している。

まずは、積み残されてきた社会的合意の糸口を見つけ出し、待ったなしの環境問題にも取り組んでいくべきだと考える。

(2) 「やっぱりこれからは原子力なんですか？」

(菅原慎悦氏、東京大学大学院修士2年)

同世代の人に自分の専門分野を説明すると、このような反応が返ってくることが多い。

私たちの世代の多くは、原子力に対して、賛否を問わず、さほど強い感情を抱いていないように思う。少なくとも、私の同世代の知人のなかで、「原子力」という言葉に対して明らかな嫌悪感を抱く人はいない。

しかし昨年、大学院に進学して初めて原子力の世界に

触れ、その空気にいささか驚くことがあった。例えば、「『反対派』には通用しない」「メディアは悪いようにしか報道しない」など、過度にネガティブな発言をししばしば耳にする。また、研究過程で電力会社や自治体の方と話す機会も多いが、「この学生は『反対派』ではないか」という警戒感を持たれているように感ずることもある(無論、私の力不足が大きいが……)。

だが、“反対派”に言質をとられまいとするよりも、主張すべきところはもっと堂々と、かつ率直に話していくほうが、少なくとも若い世代にとっては、原子力を身近に感じてもらいやすいと思う。多くの若者にとって今の原子力があまり魅力的に映らないのも、この辺りに原因の一端があるかもしれない。

私がいる研究室では、このような話題について教員や学生たちとよく議論をする。広く使われている“社会的受容性”とは何か、“信頼”とは何かなど、根本的なところまで話は及ぶ。悩み、そして議論を重ねながら、工学系の中では数少ない“社会系”の研究者として、原子力と社会のより幸せな未来を築いていけるよう、私自身も努力していきたい。

2. 将来の取組みと課題

(1) 自己改革の継続と徹底

私たちは社会的受容性を論ずる前にまず、「自分達は正しいことを言っているのに世の中の人たちが不勉強だから理解されない。一般の人達にもっと勉強してもらわないといけない」という発想を完全に払拭しなければならない。理解されないのは自分達の情報発信の仕方に問題があったからで、世の中の人達に理解されるような情報発信の仕方を我々が改めて考え直し、改善するという自己改革こそが最優先課題である、との考えを将来の取組みの出発点とした。東洋町の前町長田嶋裕起氏が昨年上梓された著書『小さな町の原子力戦争』の中で「原子力の専門家の説明が難しすぎる」ため、町民への説明が並大抵でなかったことが切々と語られている。原子力のことを普段、考える機会がほとんどない市民を前にして、短時間で処分場の必要性や安全性を説明できる人は原子力学会の中であって果たして何人いるだろうか？ 少なくとも情報の受け手側に問題があるのではなく、発信側に問題がある、ということは、このことを考えれば自明であろう。

(2) 社会的受容性の現状と課題

当部会の最大の課題は社会的受容性の向上への取組みであるが、その社会的受容性の現状はどうであろうか。2005年にIAEAが実施した18カ国の世論調査報告¹⁾によれば、原子力発電所の新設への賛成比率は下から5番目

の21%。しかし、現状維持の比率は18カ国中最大の61%で、両者を併せた原子力発電に肯定的意見は82%もある。韓国に次いで2番目に高い。わが国の社会的受容性はさほど悪くないともいえる。これは前項の若手会員の声でも裏付けられている。しかし、高レベル廃棄物処分場の立地問題は相変わらず難航し、原子力発電所の新規立地場所は次から次へと反対運動によって断念に追い込まれている。その大きな理由の1つは世界共通のNIMBY問題である。必要性は理解できるが自分はそのリスクを負いたくない、という、平均的市民にとっては至極普通の考え方によるものである。原子力施設だからいや、というよりも、ごみ焼却設備であろうが原子力施設であろうが迷惑施設は来てもらいたくない、というものである。

(3) ベストプラクティス

30年近く新規建設が途絶えていた米国ではニュークリア・ルネッサンスが始まっている。原子力発電所建設に関する最新の世論調査²⁾によると、「米国人の69%が『明確に』新規原子力発電所建設を支持している」との結果が得られており、この世論を背景に次々と新規建設計画が報告されている。米国でのこの世論の好転はNRC、NEI、INPOなど様々な機関の努力の賜物であるが、当部会が目指したいのは米国原子力学会(ANS)の果たした役割である。米国では中立機関であるANSが原子力の支持回復のため、原子力界の先頭に立って多大な汗を流してきているのである。同じ立場にある我々は今後の取組みとしてANSの果たしてきた役割をベストプラクティスとして参考にしたい。

その1つは前章でも触れた「ポジションステートメント」である。2つ目は「原子力技術の解説」である。当部会でもプルサーマルQA集を発行した実績があることを前章で紹介したが、残念ながら、これまでの実績はこの1つだけである。今後、対象範囲を広げ、「原子力技術の解説」資料の充実に取り組みたい。この取組みの一環として、原子力学会内のオープンスクールを始めとする様々な教育活動で使われているノウハウやツールを集め、原子力学会の共有資産として後世に残していくことも併せて取り組むことも重要な課題の1つである。

(執筆担当：東京大学・諸葛宗男、
日本原燃・三島 毅、東京大学・木村 浩)

—参考資料—

- 1) Global Public Opinion on Nuclear Issues and the IAEA Final Report from 18 Countries, IAEA, (2005. 11).
- 2) Three-Fourths of Americans—A Record High-Support Nuclear Energy, New Survey Finds, NEI, (2008. 9. 29).

部会活動 保健物理・環境科学部会

保健物理・環境科学部会の活動と今後の展開

保健物理・環境科学部会は2000年に設立された。本部会の対象は、「人間」、「環境」、「放射線」、「被ばく」、「影響」のキーワードで表される分野であり、原子力分野の中で不可欠な分野のひとつとして、保健物理・放射線防護の実践的研究と基本理念の構築を推進することを大きな目的としている。また、公衆との直接の接点を担う重要性に鑑み、特に「環境科学」を重要なキーワードとして、先進的かつ学際的な議論を展開している。今後、原子力や放射線利用は、アジア地域において大きく発展することが予想されており、アジア地域における本分野の中心的な役割を果たし、国際的により積極的に活動することが求められている。

I. 保健物理・環境科学部会の歩み

1. 部会設立の目的と活動のスコープ

保健物理・環境科学部会は、78人の発起人により2000年(平成12年)に設立された。原子力研究・技術開発は黎明期より目覚ましい発展を遂げ、近年では従前からの意味合いの原子力分野にとどまることなく、核融合あるいは加速器・ビーム科学をはじめとして包含する領域の裾野を拡大した形での発展が目指されている一方で、その発展に伴う新しい研究開発分野に対して安全性も追求されてきた。さらには、旧来からの技術に対しても安定という意味から安全もより強く求められている背景が当時にはあった。この安全を求める気持ちは、一般公衆や関連する周辺分野の人々からだけでなく、原子力に携わる我々自身の内からも求められた経緯があり、当「保健物理・環境科学部会」の設立に至っている。現在の部会員数は210名である。

原子力の安全の確保には、原子炉安全、燃料安全といった個々の技術において工学的安全を保証するのみならず、保健物理的、環境科学的な視点が必要不可欠である。保健物理・環境科学部会が対象とするのは、「人間」、「環境」、「放射線」、「被ばく」、「影響」といったキーワードで表される分野であり、①線量測定・評価、②放射線影響・リスク、③放射線管理、④環境放射能、⑤環境安全評価、⑥放射線防護の理念と基準について、精力的に活動が行われている。

歴史的に見ると、保健物理は、放射線作業者の被ばく管理を中心的な課題として立ち上げられた。原子力利用の発展とともに対象分野が広がり、対象とする人は放射

The Activity and Future Development of Health Physics and Environmental Science Division of AESJ: Health Physics and Environmental Science Division

(2008年 10月30日 受理)

線作業者のみから一般公衆を含むようになり、環境科学的な自然放射線、ならびに放射性廃棄物を考慮する場合には環境放射線および放射能という視点が重要視され、空間的、および時間的な広がりを持った考察が要求されるようになってきている。一方で、放射線生物・影響に関する知見の蓄積に伴い、放射線リスクをどのように評価するかといった視点も重要となっている。このように、原子力が含む内容が深く広くなった現在、その推進の一翼を担う保健物理学や環境科学も対象範囲が拡大し、対症療法的な個々の対処法・管理手法ではもはや済まなくなっており、全体を安全の視点から見通した基本的理念を構築すべき時代に至っている。

本部会では、現在、大きな原子力分野の中の重要な位置を占める分野のひとつとして、保健物理・放射線防護の従来からの実践的研究の推進に加えて、基本理念の構築を新たな目的としている。また、公衆との直接の接点となるという重要性に鑑み、特に「環境科学」を重要なキーワードとして、他分野との連携を視野に入れた学際的かつ先進的な議論を展開している。

2. これまで開催した学会企画およびシンポジウム等

本部会では、設立当初より、学会における部会企画セッションや総合講演の開催、シンポジウムの主催および共催を積極的に進めてきた。本部会の活動の概観として、これまで開催した学会企画およびシンポジウム等を以下に示す。

(1) 学会企画および主催シンポジウム等

特別報告「ICRPの最近の活動」(2000年)

総合講演「原子力防災と保健物理」(2000年)

総合講演「加速器の放射線管理」(2000年)

総合講演「ICRPの新しい勧告の動向」(2000年)

総合講演「環境モニタリングと環境動態研究」(2001年)

総合講演「放射線源の管理」(2002年)
 総合講演「討論：保健物理・環境科学研究における若手研究者の夢」(2005年)
 総合講演「公開討論「放射線教育の現状と課題」」(2005年) 社会・環境部会協力
 総合講演「原子力施設の環境影響評価における不確実性」(2005年)
 総合討論「国際放射線防護委員会(ICRP)の最近の動向と防護のキーワード」(2003年)
 企画「緊急時における支援体制」(2002年)
 企画「放射線障害防止法改定の意義と現場の対応」(2003年) 放射線工学会合同
 企画「放射性廃棄物地中処分と生態圏影響評価」(2004年) バックエンド部会合同
 企画「低線量放射線リスクと社会」(2004年) 放射線工学会合同
 企画「東アジア地域の総合的な放射線・放射能監視システムの構築」(2006年)
 企画「炭素14の環境中移行研究の現状と今後の展開」(2006年)
 企画「原子力施設の環境影響評価における不確実性」(2006年)
 企画「自然放射線被ばくに関する放射線防護の動向」(2007年)
 企画「核融合実験と放射線安全」(2007年) 核融合工学会合同
 企画「再処理施設の環境影響評価」(2008年)
 企画「ICRP 2007年勧告のインパクト」(2008年)
 第1回原子力国際ワークショップ「台湾編」(2004年)
 第2回原子力国際ワークショップ「韓国編」(2004年)
 企画シンポジウム「新しい障害防止法を考える」(2004年)
 (2) 共催シンポジウム等
 「放射線防護分野の現状と今後の課題—IRPA-10より」(2000年) 東大主催
 「環境保健物理2000」(2000年) 京大主催
 「放射線防護の新しい考え方」(2001年) 東大主催
 「環境放射能」研究会(2001～2008年) KEK 主催
 「新しい放射線防護体系の論点」(2001年) 東大主催
 「トリチウム安全工学」(2001年) 京大主催
 「低線量放射線影響に関する国際シンポジウム」(2002年) 電中研主催
 「施設環境放射能動態専門研究会」(2002年) 京大主催
 「International Symposium on Transfer of Radionuclides in Biosphere」(2002年) CRPC 主催
 「保健物理の歴史的変革」(2003年) 保物セミナー2003 実行委員会主催
 「ICRP 2005年新勧告の論点」(2004年) 日本保健物理学会主催

「第8回環境放射能・放射線夏の学校」(2006年) 夏の学校運営委員会主催

II. 保健物理・環境科学部会の対象分野と主な活動

1. 保健物理分野の活動

保健物理分野は放射線防護を軸とし、線量評価、放射線測定、防護システム開発に関する研究など、現場実践的な議論から、放射線安全に関する仕組みづくりに至る幅広い項目までを包含している。全世界的な動向を注視しつつも、今後さらに拡大するであろうアジア地区の原子力開発の基盤となる放射線安全を適切に確保するために、地域の先導的な役割が強く期待されている分野である。自然放射線源の防護に関する議論などは、その典型のひとつである。

保健物理分野の展開のために部会設立直後に着手したことは、研究発表会を活性化することであった。第I章に示したように、特別講演や総合講演、部会企画セッション、他部会との合同企画など、様々な方法を「駆使」することで情報交換、意見交換の場を設け、時の話題の魅力的なテーマを設定するように努めた。その結果もあり、現在では、時として会場があふれるような状況になっている。

これらレギュラーにある年会、大会での企画以外にも、各種の研究会、勉強会が、当部会の主催、共催にて開催されている。象徴的な企画は2004年に開催された「原子力国際ワークショップ」と銘打つての以下の会合である。限られた部会予算の中、台湾の謝牧謙氏(輔仁大学)、韓国の申相云氏(KHNP)に來日いただいて、東アジア各国の原子力、放射線安全の状況を報告いただき、部会員と率直な意見交換を進め、活動に国際性を出すよう工夫した。この種の国際的な会合を毎年開催することは不可能ではあるが、国際的な動向の激しい保健物理分野の最新知見を交換するとともに、このような場をなんらかの工夫をすることで定期的に提供するものが、当部会の重要な役割である。

◆第1回原子力国際ワークショップ「台湾」

日時 2004年2月28日(土)13時30分～17時
 場所 東京大学原子力研究総合センター本館5階505室
 講演1「台湾における原子力発電への日本の協力の現状」
 日本原子力産業会議政策企画本部マネージャー
 高橋誠一郎氏
 講演2「台湾の原子力事情に関する最新情報」
 核能科技協進会常務取締役 輔仁大学兼任教授
 謝牧謙氏

◆第2回原子力国際ワークショップ「韓国」

日時 2004年3月12日(金)13時30分～17時
 場所 東京大学原子力研究総合センター本館5階505室
 講演1「韓国の原子力産業の現状：海外への積極的展開」

日本原子力産業会議

アジア協力センターマネージャー 中杉秀夫氏

講演 2「韓国の原子力事情に関する最新情報」

韓国水力原子力発電株(KHNP)原子力環境技術研究所
放射性廃棄物研究グループ長 申相云氏

2. 環境科学分野の活動

環境科学分野は、環境中における自然放射線(能)および人工放射性核種の時間的・空間的な分布・分配を解明し、様々な経路を通じてそれら環境放射線(能)の人間への移行とその影響を評価するものである。環境科学分野においては、研究対象が多岐にわたるため、他の学協会、さらに、原子力学会においても他の部会と協力しながら研究を進めている。

環境科学分野の部会活動としては、次のようなテーマを取り上げて、大会の部会セッションの開催や研究連絡会を立ち上げてきた。

2001年秋の大会では、「環境モニタリングと環境動態研究」を取り上げた。大気圏核実験により環境中に放出された人工放射性物質の人への移行評価を行うため、我が国では国立研究所を中心として、降下物、土壌、農作物等のフォールアウト核種の測定が行われてきた。地方自治体の衛生研究所等により、原子力発電所などの原子力施設周辺における環境モニタリングも行われてきた。これらのデータは環境中に添加された汚染物質の環境動態を解明する貴重な資料である。現在、これらのデータを用いて環境防護に関する研究が進められている。

2002年秋の大会では、「緊急時における支援体制」を企画した。1999年9月のJCO臨界事故は様々な事故時支援体制の反省と教訓を残した。それらを踏まえて防災基本計画の見直しが行われ、茨城県、福井県に原子力緊急時支援・研修センターが、また、全国21ヵ所にオフサイトセンターが設置された。見直された防災基本計画および原子力緊急時支援体制について、情報を共有するとともに、緊急時における学会(部会)や研究者などの役割などについて議論を行った。

2005年秋の大会では、「原子力施設の環境影響評価における不確実性」を取り上げた。原子炉施設の個人リスク等の確率論的評価や放射性廃棄物のクリアランスレベルの設定等の不確実性を考慮した安全評価が実施されている。環境動態研究分野では、土壌-農作物移行係数や固液分配係数などの環境パラメータに関して、ばらつきの大きさや変動要因を明らかにする研究が進められている。環境影響評価において、その不確実性を考慮して評価を行うことは今後ますます重要となる。

2005年3月23日に、日本学術会議から「放射性物質による環境汚染の予防と回復に関する研究の推進」の報告書が公表された。この中で、広域の環境放射線と放射能の監視、放射性物質による環境汚染の予防と回復、研究

体制の強化と人材育成の必要性について述べている。原子力エネルギー利用の拡大に伴う放射性物質による環境汚染から、国民を防護するための方策を幅広い視点から見直しを行っている。本部会では、東アジアにおける原子力開発の進展に伴い、放射性物質の放出の潜在的機会が増加していることから、2006年春の年会において、「東アジア地域の総合的な放射線・放射能監視システムの構築」を取り上げた。2008年10月に青森で開催された第16回環太平洋原子力会議(PBNC 2008)において、アジア各国の代表者から原子力開発計画が示された。多くの原子力発電所が将来建設される予定であり、東アジア地域の放射線・放射能を監視する総合的なシステムを構築することは、ますます重要となってきた。

2006年秋の大会では、「炭素14の環境中移行研究の現状と今後の展開」を企画した。炭素14は原子力施設や放射性廃棄物処分施設の環境影響評価において極めて重要な核種の一つである。炭素14に関する施設の安全評価においては、モデルおよびパラメータに極めて保守的な仮定を用いて評価するケースが多い。一方、地球温暖化の予測においては、生態圏での炭素循環の定量的理解が不可欠であり、炭素14等の炭素同位体を利用した研究が進展してきた。このような研究をさらに発展させるため、保健物理・環境科学部会の中に「炭素14環境移行研究連絡会」の研究会を立ち上げ、研究会活動を継続して行っている。資金的に十分ではないため、大会時に随時研究連絡会を開催し、研究内容や研究協力体制について意見交換を行っている。今後、この研究連絡会が中心となり、原子力分野と一般環境分野での炭素14を含む炭素同位体循環について、相互の連携が進むものと期待している。

2007年秋の大会では、「核融合実験と放射線安全」を取り上げた。ITER(国際熱核融合実験炉)協定の署名が行われ、ITER建設が始動した。国内でもITER・BA計画が具体化しつつあり、核融合研究も新展開を見せようとしている。そのような中で、核融合工学部会と保健物理・環境科学部会の交流企画として開催し、核融合と放射線安全に関して双方の立場で情報交換し、共通する課題を見つける機会を提供することは有意義であった。

2008年春の年会では、「再処理施設の環境影響評価」を取り上げた。六ヶ所村再処理工場は現在使用済燃料を使用してアクティブ試験が実施されている。アクティブ試験は5ステップあり、第4ステップが2007年8月31日より開始され2008年2月14日に終了し、引き続き第5ステップが開始された。わが国最初の大型再処理工場から放出される放射性物質の環境への影響に関して、アクティブ試験の結果を考察し、本格操業に関する評価が必要である。

このように、環境科学分野においては、研究対象が多岐にわたるため、部会企画セッション等を開催し、他の研究分野との交流・連携を深めるとともに、環境科学分

野の最新の研究テーマの取組みを進めてきた。前述したように、「炭素14環境移行研究連絡会」による他分野との連携や、環境防護などの新しい研究が進められている。

Ⅲ. 保健物理・環境科学部会の将来の取組みと課題

以上で述べたように、本部会は保健物理と環境科学の分野の問題点や国際状況に対応しつつ、活発な活動を展開してきた。放射線防護の基本となるICRP勧告が2007年に改定され、新たな放射線防護の枠組みを取り入れていくことになる。しかし、これらの放射線防護の考え方や安全基準は、これまでどちらかというと欧米諸国の文化や経済・社会状況の中で議論され育まれた基本理念に基づいていると考えられる。一方、これからの原子力や放射線利用は、アジア地域において、大きな発展が予想されている。保健物理分野においては、文化や経済、社会状況の多様性の幅が大きいアジア地域においても十分に受け入れられるような放射線防護の理念や安全基準の構築が今後の重要課題である。

環境科学においても、アジア地域全体の放射線・放射能監視システムのネットワークの構築が重要な課題であるとともに、炭素14の環境移行に関する研究のような地球温暖化に対応した研究や地域の特殊性に注目した地域全体の影響に関する研究がますます重要になる。また「環境防護」の新たな理念を明解化やその具体的な方策の検討も新しい研究の一つの基軸として考えられる。

我が国は、アジア地域の保健物理や環境科学において、最も成果を上げてきた国であり、ICRP、国連科学

委員会(UNSCEAR)、国際原子力機関(IAEA)、など国際機関でも重要な役割を果たしてきた。今後も、日本が保健物理や環境科学の分野においてアジアの意見をまとめて国際的により積極的に活動することが望まれる。そのためにも、我が国での本分野での研究成果が牽引力となり国際的にリーダーシップをとって、研究成果をまとめていくことが重要である。

本部会は、このようにアジアの研究をまとめ、国際的にもイニシアティブな研究を促進するために、保健物理や環境科学の分野の新たな方向性の研究の活性化を目指した活動を進めなければならない。この分野は、原子力に関わる様々な分野との学際的な研究が必要であることも重要なポイントである。そのためにも、学会内の他の分野と協調して活動を進める必要がある。この分野の研究の重要性を学会全体に認識してもらうためにも、他の部会との共同企画行事などもこれまで以上に開催する必要がある。

本部会の課題としては、保健物理の基礎的な部分である放射線影響やリスク評価の分野の研究者を増やし、保健物理や環境科学について総合的な議論ができるようにすることである。また、今後の新たな研究の展開を進めるためには、若手研究者の力が必要である。これらの問題に対応するためには放射線影響に関する積極的な取組みや、これまで進められてきた若手研究者を増やすこととその研究を支援していく体制を促進することも重要な課題である。

(執筆担当：放医研・米原英典、名古屋大学・飯田孝夫、放医研・内田滋夫、東京大学・小佐古敏荘)



部会活動 核データ部会

世界をリードする核データライブラリーを目指して 核データ研究活動と核データ部会

核データライブラリーは原子力研究開発利用に必要不可欠である。その精度向上が、原子力の安全性と経済性の向上に直結する。そのため、日欧米は独自の核データライブラリーの開発整備にしのぎを削っている。核データ測定実験と理論計算が核データ研究を支える。実験結果と計算結果を基に、核データの真の値を推定するのが核データ評価である。評価結果を所定の書式にまとめてライブラリー化することによって、初めて核データを利用することができる。核データ利用分野は拡大している。原子力産業のグローバル化に伴い、核データライブラリーの国際標準化が予想される。国際標準化において我が国の意見を十分に反映させるためには、我が国が世界をリードする核データライブラリーを保有していることが必須である。

I. 核データ部会の歩み

核データ研究活動は、原子炉などエネルギー生産原子力研究開発のための基礎データベース構築を使命としてスタートした。しかし、原子力エネルギーシステムの多様化や放射線利用の進展などに伴い、核データの守備範囲は、放射線工学、加速器・ビーム科学、材料科学、物理学、生物学、医学、環境科学、天体核物理学へと広がっている。核データについての詳しい紹介は、少し古いが、学会誌の連載講座「核データ」¹⁾に掲載されている。また、馬場による解説²⁾が最近の学会誌に掲載されているので参照されたい。

核データ部会は、このような核データ分野の活動を集約し発展させることを目的として、2000年3月に部会員約120名で発足した。そして、設立総会を2000年春の年会(愛媛大学)の機会を得て開催した。現在の部会員数は約170名で、9年間で約50名(約40%)の増加である。運営委員会を当初より14名で構成している。任期は2年で重任・再任を妨げないが、部会長と副部会長については暗黙の了解で重任しないことになっている。

我が国においては、核データ分野、特に評価済み核データライブラリーの整備・高度化に関しては、古くからシグマ委員会を中心に活動が展開されてきた。そして、世界有数の核データライブラリーである JENDL の開発などの成果を上げてきた。これまでの核データ活動は、主

に、原子炉の開発に不可欠な基礎データとして、我が国独自の素性のわかった信頼性のある核データライブラリーを整備する必要性から行われた。

しかし、上記の核データニーズの多様化に対応して、核データ分野の裾野を広げ、核データ活動をより活性化させることが重要である。そのためには、核データ関係者間の情報伝達と議論をさらに円滑にする必要がある。また、核データ研究に必要な実験や理論などの基盤活動をさらに活性化するとともに、若手人材の育成が重要である。このような観点から、シグマ委員会にシグマ検討小委員会を設置し、核データ活動に関して種々の角度から分析・検討した。その結果、核データ部会の設立を目指すこととし、上記の設立に至った。

核データ部会の特別な活動としては、設立当初から平均して毎月1回のペースで「核データニュースレター」を電子メールで発行している。また、上記のように2001年には連載講座「核データ」を学会誌に掲載した。

核データ部会は他部会(炉物理部会、加速器・ビーム科学部会、放射線工学部会等)と共同しての活動も多く、これまで日韓合同セッションや日韓サマースクールを定期的に開催している。日韓合同セッションは、日本あるいは韓国の原子力学会会期中に特別合同セッションとして開催している。日韓サマースクールは、若手の交流を通して人材育成を図ることを目的としている。学生や若手研究者を対象とした、基本的内容と最先端トピックスを含んだ授業と実験・実習などで構成されるプログラムを基本として開催している。日韓交互で開催し、講師を含めて毎回100名程度の参加者である。

また、旧日本原子力研究所主催の伝統ある「核データ

*Aiming at a Nuclear Data Library Leading the World
—Nuclear Data Research Activity and Nuclear Data
Division : Nuclear Data Division*

(2008年 10月31日 受理)

研究会」についても、2006年度からは核データ部会が引き継いで主催している。学会開催時における部会行事と並んで重要な部会員の情報交換の場となっている。

II. 対象とする技術と研究の進展と現在

1. 対象とする技術：核データ

核データ部会が対象とする技術は、高精度核データライブラリーおよびそれを構築するために必要な実験や理論計算などの科学技術である。究極の目標は、種々の分野の研究者・技術者が満足して利用できる理科年表のような高精度核データライブラリーの構築である。

例えば、新しく原子炉を設計しようとする時、原子炉内での中性子の減速と吸収、漏れを正確に追跡し、臨界を達成するように炉心の組成と形状などを決定する必要がある。同時に受動的安全性を確保し、外部への放射線の漏洩や材料の放射線損傷を抑えることも必要である。また、核燃料の同位体組成変化を正しく予測し、適切な増殖比を達成することも必要である。

そのためには、原子炉構成核種の中性子核反応などに関するデータを、関与するすべての核種とエネルギー範囲にわたって正しく知ることが不可欠である。具体的なデータは、中性子による核分裂、捕獲、散乱などの核反応断面積とその温度依存性、2次粒子のエネルギー・角度分布、核分裂即発中性子数、同遅発中性子数などである。それらを集大成しライブラリー化したものが核データライブラリーまたはファイルと呼ばれている。この核データライブラリーは、原子炉、核燃料施設、加速器施設などの設計と運転に不可欠である。また、設計精度、したがって設計裕度を直接左右する点で重要である。

このような事情により、欧米各国と日本は国際協力を進めつつも、ENDF(米国)、JEFF(欧州)、JENDL(日本)など、独自の核データライブラリーを開発・整備してきた。

核データに対する要求精度はデータの種類によって異なる。臨界性に直結する核分裂断面積と核分裂即発中性子数の場合には、1%程度およびそれ以下という極めて高い精度が要求されている。これまでの努力によって、核データライブラリーの精度は、在来型の原子炉や核融合炉に関しては基本的な要求を満たす水準に達してきた。

2. 核データ研究の進展と現在

核データ研究は、“核データの真の値”を推定し(評価という)、結果を適切にライブラリー化することを使命としている。そして核データ研究は、評価の基礎となる「核データ測定」「核データ理論計算」および「核データ評価と結果のライブラリー化」に大別できる。

(1) 核データ測定

核データに要求される精度は、一般に、現在の理論計算予測精度を超えているのが常である。そのため、評価

において実験データは不可欠である。信頼できる実験データの取得は、核データ研究における主要な分野を形成している。実験精度の向上には、検出器や測定法などの実験手法の高度化と中性子源の高性能化が本質的である。これらを両輪として実験が推進され、ブレークスルーが達成されてきた。

検出器や測定法などの実験手法の高度化の例が、2次中性子やガンマ線、荷電粒子の微分断面積測定用スペクトロメータの開発である。近年では、全立体角型の高感度・高分解能ガンマ線スペクトロメータが開発され、革新炉や次世代炉で重要なNp, Amなどのマイナーアクチノイド(MA)データの測定精度向上に貢献している。また強力な核破砕中性子源も、実験データの精度向上に極めて大きな貢献をしている。

(2) 核データ理論計算^{1,2)}

すべてのエネルギー点での測定は不可能で、また、不安定核のデータなど実験が不可能な場合も少なくない。このような場合には、理論モデルを用いた計算が不可欠である。そのためには、最新の理論モデルに基づく計算コードが必要である。計算コードの開発も、日欧米それぞれ最新の原子核理論モデルを取り入れて行われている。

日本でも様々なモデルの開発が行われた。日本独自のベータ崩壊に関する大局的理論は、崩壊熱に関して世界で最も予測精度の高い日本の評価データの基礎となり、理論モデルの重要性を示した。最近では、チャンネル結合光学モデルなどの複数の核反応モデルを組み合わせた計算コードが開発され、JENDLアクチノイドファイルJENDL/AC-2008や次期のJENDL-4の評価計算に使用されている。

(3) 核データ評価とライブラリー化

実験データと計算結果を基に、さまざまな手法を組み合わせ、核データの真の値を推定(評価)し、応用分野で利用できるよう所定の書式にまとめてライブラリー化を行うことが重要である。

従来の核データ評価は実験値と計算値をにらむ伝統的な(評価者の個性に依存する)手法で行われてきた。しかし、最近では定量性を確保するために、積分データからのフィードバックを感度解析によって反映する試みが行われるようになってきた。感度解析には核データの共分散データが必要である。JENDL-3.3は、2002年に公開された当時、共分散データが世界で最も充実したライブラリーであった。その後、革新炉の検討などで感度解析のニーズが広がったことにより、米国の最新評価済ライブラリーENDF/B-VII.0でもすべてのデータに共分散データを付与するような努力が払われている。

2002年のJENDL-3.3公開後、JEFF-3.1が2005年、ENDF/B-VII.0が2006年に公開された。日本では、問題点を指摘されたJENDL-3.3のデータに対する改善を

行ってきた。また、JENDL-3.3以降の新しい測定データ等を評価に取り入れ、ほぼ全面的にJENDL-3.3の見直しを図っている。さらに、核燃料の高燃焼度化や廃棄物処理等で要求が高まってきたMAや長寿命核分裂生成物(LLFP)に重点を置いた評価も進めている。そして2009年度に、世界で最も先進的な内容の核データライブラリーであるJENDL-4としての公開を目指している。その一環として、前述のJENDL/AC-2008を2008年に公開した。これには、 ^{225}Ac から ^{255}Fm までの半減期1日以上79核種のデータが収録されている。JENDL-4は、ENDF/B-VII.0やJEFF-3.1を凌駕する性能が得られることが期待できる。

(4) 核データライブラリーの現状と課題

現在の核データライブラリーの精度は、在来型の原子炉や核融合炉に関しては、基本的な要求を満たす水準に達している。しかし、より高精度の設計や高燃焼度化への対応、MAの利用と核変換などを目的とする次世代炉や革新炉の研究開発には、まだ多くの課題が残されており、新たな取組みが必要とされている。

また、大型加速器と未臨界炉を組み合わせた加速器駆動システム(ADS)、医療応用を含む加速器利用、中性子による材料損傷や電子デバイスの誤動作など、中性子の関係する応用分野が拡大している。また、イオン入射に対しても核データが要求されるようになってきている。すなわち、核データ分野の守備範囲を拡大することが要請されている。

3. 部会の核データ研究への寄与

これまでの核データ測定、計算、評価などの研究活動については、研究者個人の自由な発想あるいは活動を、シグマ委員会の場で集約し、組織化する形で進められてきた。このため、核データへの新たなニーズや裾野の広がりへの対応が必ずしも十分でない面もあった。

そこで核データ部会としては、基本的にシグマ委員会の伝統を受け継ぎ、研究者・技術者間の情報交換および問題提起の場として核データニュースレター、春の年会や秋の大会における企画セッション、核データ研究会などを提供してきた。また、優秀な研究開発成果に対して核データ部会賞の授与を行い、核データ研究活動の活性化を図ってきた。このように、核データ部会は、核データ研究を推進するための環境整備を行うことによって、核データ研究活動にこれまで寄与してきたといえる。

核データニーズの拡大が予想される今後は、核データコミュニティの限られたマンパワーで効率よく核データライブラリーの高度化を達成する必要がある。そのためには、研究者個々人の自由な研究活動を最大限尊重することを基本として、核データ部会が我が国の核データ研究の方向性を示すことも必要であると考えている。

III. 部会の将来の取組みと課題

前に述べたように、核データライブラリーについては、これからも、応用側からの要求に応じることが肝要である。そのため、核データライブラリーに含まれる核種、エネルギー範囲、反応の種類、および共分散誤差データの付与といったライブラリーの完備性の追求が重要である。また、要求精度を満足すべく、更なる質の向上に向けた研究を継続して行うことが重要である。この完備性と質の向上が、今後の核データ活動の基本となる。

例えば、軽水炉の高燃焼度化、MOX燃料使用、燃焼度クレジット導入による臨界安全管理などを考慮した原子力の安全性および経済性の向上やADS核変換などの革新的原子力システムの研究開発に関連して、MAや核分裂生成物の断面積や核分裂収率などについて、より高精度のデータが要求されている。また、粒子線先進治療分野では、人体構成元素である軽核(C, N, O等)に対する高エネルギー反応断面積が、中性子・陽子以外の重イオン入射に対しても必要とされている。

したがって、核データ測定の将来は、入射粒子の種類、エネルギー、標的核種を拡張した断面積の系統的な精密測定を行い、断面積評価や理論モデルの検証に役立つデータの生産を継続して行うことが基本路線となる。さらに、これまで測定が困難であった反応に対しても、測定技術を新規開発して、世界初の断面積測定に挑戦する実験研究も望まれる。例えば、逆コンプトンガンマ線や軽イオンによる代理反応を使った間接測定がその一つの候補として期待されている。

短・中期的な展望としては、マンパワーを結集して、J-PARCや理化学研究所RIビームファクトリー(理研RIBF)などの最新の国内大型加速器施設を活用した断面積測定を積極的に進めるべきであろう。J-PARC物質生命科学実験施設では、冷・熱領域~500 keVの高強度中性子ビームを用いた実験として、MAやLLFPの中性子捕獲断面積測定などの系統的な測定が大学・原子力機構合同チームで計画されており、準備が着々と進められている。理研RIBFでは、不安定核ビームを用いた実験や逆反応運動学法による核反応生成全核種の質量・電荷分布や運動量分布測定などを行える可能性がある。また、その他の国内加速器施設(東北大CYRIC、阪大RCNP、JAEA東海タンデム、放医研HIMACなど)を有効活用した特色ある核データ測定や海外の加速器施設(米国LANL、ロシアJINR、スウェーデンTSL等)での国際共同実験を展開していく取組みも必要であろう。

さらに今後、実験が困難な場合についての核データ要請が強まることに伴い、核反応理論モデルに基づく断面積計算の高度化は従来にも増して重要となる。

今、原子核そのものの世界が大きく広がろうとしてい

る。理論上、約1万種類の同位体(約2,700核種が既知)の存在が予測されている。理研 RIBF では、そのうち約6,000核種を RI ビームとして今後利用できるようになる。RI ビーム核反応実験による不安定核(中性子過剰核や陽子過剰核)の特性の探査により、安定核中心に展開してきた核構造・反応の理論研究がこれからの10年間で大きく進展することが予想される。特に、不安定な核分裂生成核に対する理論予測の向上に貢献することが期待される。

核データの完備性の視点から、特定の反応チャネルに限定するのではなく、例えば、全放出エネルギーにわたるエネルギー分布を包括的、統一的に記述可能な理論が必要とされている。核子-核子相互作用に基づき核構造・反応を統一的に扱える微視的なモデルの予測精度向上に伴い、その成果を核データ評価用核反応モデル計算に積極的に応用していくべきであろう。残された課題の一つとして軽核がある。核子数がせいぜい十数個程度と少ないために核の個性が強く、中重核で成功した統計的なモデルの適用に限界があると考えられる。クラスターや少数多体系の最新核理論の知見を取り入れた専用計算コードの開発が望まれている。さらには、計算機性能の飛躍的な向上により、重核の核分裂ダイナミクスに関する研究の進展と核データ評価への応用も期待される。また、粒子・重イオン輸送シミュレーションに用いられる核反応理論モデル(カスケードモデルや量子分子動力学など)に関する研究も今後の重要なテーマの一つである。これら核理論の最前線に深く関連した研究については、今後、核物理コミュニティとの協力を積極的に考えていくべきであろう。

核データは使われてこそ存在意義があり、その研究成果が社会に還元されることになる。核データの最も重要なユーザーは将来にわたり原子力エネルギー分野であろう。しかしながら、特に発電炉の設計や許認可の際に、国産の評価済核データライブラリー JENDL の最新版が必ずしも使われていないという現状がある。したがって、今後の核データコミュニティの課題として、炉物理や臨界安全、原子炉メーカーなどのユーザーコミュニティと協調して、「国産設計・解析コード+JENDL」のトータルな核設計手法を構築し、国内外での許認可審査を受けるための戦略的体制を築く必要がある。このような議論には大学や研究機関、産業界の協力が不可欠であり、核データ部会が大いに寄与することが期待されるどころと考えられる。

さらに、エネルギー分野のみならず、原子力の裾野を広げている放射線利用や放射線工学分野(先進医療、宇宙開発、新材料開発、放射線影響評価など)に関連した核データの量・質の拡充にも貢献していく必要がある。中性子ばかりでなく、入射粒子の種類やエネルギーの拡張といったデータの多様性が要求される分野であ

る。これらの分野との協力関係をさらに進めて、共同して応用テーマを新規開拓していく取組みも、今後の核データ研究の展開として期待される。

将来の核データ評価体制に目をむけると、従来、シグマ委員会という場に高度な専門性をもつボランティアが集うシステムがあった。これにより核データ評価活動が維持され、評価側と利用側が膝をつき合わせた議論を行うことが可能となっていた。また、そこに大学や研究機関、そして産業界で活躍する、新しい評価や利用の担い手が恒常的に加わっていくことで新人の発掘だけでなく、活動の水準が維持されていた。

これまでの伝統の中にある良き部分は残しつつ、先に述べた許認可にも対応可能な「JENDL を利用した国産設計・解析コード」を構築した上で、国内に限らないユーザーからの声に確実に答えるための体制を構築していくことが重要である。さらにいうと、ENDF や JEFF といった世界の他のライブラリー評価陣との情報交換などでも積極的に議論をリードしていく、新世代の人材を発掘し長期的視点で育成していくことが必須であると思われる。

基礎データである核データは、すべての原子力開発の原点である。それを我々の力で評価し準備することができて初めて、原子力を自らのエネルギーとして利用する基礎を固めることができるのではないだろうか。

欧米も含めた世界の原子力開発利用の活発化を背景に、我が国の原子力メーカーが世界展開を図ろうとしている。すなわち、今後の原子力のグローバル化に伴い、設計に用いる核データライブラリーの国際標準化が進むことが予想される。この時、我が国の意見を十分に反映させるためには、世界をリードする核データライブラリーを我が国が保有していることが必須である。

そのため、今後の核データニーズを見通し、国内の核データ研究についての将来を展望し、必要な研究計画や役割分担を議論することが重要である。また、外部に向けての核データの必要性を発信し、さらに人材育成を推進することも重要である。そのためには統括組織が必要であり、それを担うのが核データ部会の今後の使命であると考えている。

(執筆担当：東京工業大学・井頭政之、
東北大学・馬場 護、九州大学・渡辺幸信、
JAEA・片倉純一、文科省・須山賢也)

—参考資料—

- 1) 吉田 正, 他, “連載講座「核データ」”, 日本原子力学会誌, 43[5~8], (2001).
- 2) 馬場 護, “核データ活動における大学の役割”, 日本原子力学会誌, 50[10], 635~639(2008).

部会活動 材料部会

ニュークリア・マテリアル 産業基盤技術

原子力学会材料部会が発足して以来、今年で8年目を迎える。その間、原子力材料に係る様々な社会的な動きがあった。その中で、原子力発電プラントの高経年化や次世代炉の開発に向けた材料研究の重要性が高まり、研究者の努力によって、技術開発のみならず、材料の物理・化学の基礎に至る学術研究にも進展の跡が随所に見られるようになってきた。原子力エネルギーの高効率安全利用に向けて、「新鮮」かつ「明快」な材料研究成果が求められており、それに向けた原子力材料部会活動の一層の活性化が望まれている。

I. ヒストリー

1. 発足と活動目的

材料部会は、原子力学会の活性化を目指した部会活動の強化の一環として、当時(1999年)の原子力学会企画委員長の山脇道夫東大名誉教授の呼びかけが発端となり、初代部長として石野 栞東大名誉教授(東海大教授)のもと、2000年度に材料部会として発足した。部会長は現在7代目となっており、この間、多くの部会活動が企画され、発展的に継承されてきた。

2. 経緯

2008年5月28日現在で、部会員の総数は243名であり、大学関連86名(うち、学生18名)、研究機関69名、民間企業77名、その他11名から構成されている。部会には運営委員会が設けられ、部会長、副部会長、財務、編集、広報、国際学術、国内学術および庶務幹事を担当する委員長および委員の計15名が配置されている。

これまでに行った部会の主な事業内容としては、特定課題検討会、夏期セミナー、日韓セミナー、日中韓セミナーおよび日韓夏の学校の韓国開催等があげられる。特徴的な点は、これらの開催が核燃料部会および核融合工学部会との3部会合同企画であったことで、部会間の交流が促進され、それぞれの専門分野の研究に触れることができた。材料分野と核燃料分野あるいは核融合工学分野との接点となる研究は比較的多く存在することから、今後もこの連携協力を続けることが肝要である。また、最近新設された水化学部会や原子力安全部会との連携協力も必須であると考えられる。

Nuclear Materials—The Key to the Nuclear Industrial Development : Division of Nuclear Materials

(2008年 11月 6日 受理)

3. 日韓交流事業の展開

2002年秋に神戸で開催された秋の大会において、第1回目の日韓セミナーを開催した。以来、2008年秋で第13回目を数えた。第2回では、中国からの参加もあり、日韓中の3ヵ国セミナーとして佐世保において開催した。この活動を日韓双方の原子力学会の活動として軌道に乗せるため、2003年秋に第3回のセミナーを韓国のYongpyeongで開催すると同時に、KNSの燃料・材料部会とAESJの燃料・材料・核融合工学部会との間で日韓共同によるセミナー開催に関する協定を結んでいる。2009年には、AESJとKNSがそれぞれ発足以来、50周年および40周年の節目を迎えるが、KNSでは40周年記念式典を済州島での年會に併せて執り行う予定になっており、次回の3部会合同の日韓シンポジウムを済州島にて開催する案が検討されている。

2008年度 第7回夏期セミナー(箱根)



2007年度 第3回日韓夏の学校(ソウル)



4. 特定課題検討会

材料部会の活動の一つに特定課題検討会の設置があり、低炭素ステンレス鋼の応力腐食割れの発生の機構解明に向けた研究討論の場を提供した。この活動の発端は2001年7月に判明したBWR炉内構造物のひび割れ発生であり、その後の研究機関での調査結果を踏まえて、原子力学会活動として、「シュラウド等の割れの原因と対策に関する知見を共有し、研究開発の方向性を探る」ことを目的とする「シュラウド等材料問題検討会」を2002年12月末に発足させた。検討内容は、「低炭素ステンレス鋼等の環境助長割れに関する知見の現状を整理するとともに、検査診断や保全等の関連技術の現状を調査し、その結果に基づき、今後進めるべき研究課題をとりまとめて提言する」とされた。第1回検討会を2003年3月に実施し、第2回(2003年7月)および第3回(2003年11月)検討会を開催した後、その成果を報告書にまとめた。また、材料挙動の理解を深めるため、日本金属学会との共催で、「原子力エネルギーの高効率安全利用と材料・システムインテグレーション」シンポジウム(2001年11月)および「原子炉用ステンレス鋼溶接部の応力腐食割れ支配因子の検討」セミナー(2003年10月)を開催し、シュラウドのひび割れの機構に焦点を当てて議論を行った。

この活動を通して得られた成果としては、一つの現象(低炭素ステンレス鋼のひび割れ)を全日本的な体制のもとで議論し、現実に生じている事象と知識を共有して、各機関あるいは研究者がその機構解明の研究に携われたことである。原子力学会に限らず、金属学会においても取り上げられ、材料科学的な視点からのアプローチも研究の進展に奏功したと考えられる。照射影響の有無に関わらず、応力腐食割れのより一般的なメカニズムを理解しようとする姿勢は、予断を許さない経年材料の挙動予測研究において重要である。

II. ミッション

材料部会が対象とする技術分野等の紹介として、ここでは、5つの事例を紹介する。

1. 高経年発電プラント

軽水炉発電プラントの経年に伴う機器構造材料の特性変化を監視および予測する技術の開発は、最重要課題といえる。原子力材料に限らず、材料の経年変化は、材料を構成する原子が熱拡散により、移動することに起因する。照射下では、エネルギー粒子線の衝突により、原子が弾き出されるため、さらに原子の移動が促進される。元来、ほとんどの材料は、材料特性を向上させるため、加工や熱処理により、不安定な状態に持ち来たされており、いわゆる非平衡(準安定)状態で使用されている。したがって、材料は使用中に、より安定な状態に近づこうとする。そのためには、原子の移動(拡散)が不可欠であり、高温ほどあるいは照射下ほど、原子の移動が顕著に

なる。軽水炉の使用温度である300℃前後という温度は、熱拡散による原子の移動を考えた場合、決して高い温度とはいえず、例えば、鉄中の銅原子が300℃で60年間に移動する距離は、およそ3nmに過ぎない。ほとんど動けないのである。しかし、照射下では、弾き出しなどにより、銅原子が集まり、銅クラスタを形成し、脆化を発現させることはよく知られている。照射下における原子移動を科学的な根拠に基づいて、高精度に予測する技術開発が必要とされている。

一方、実機材料の経年変化を効率的・効果的に監視する技術は、現場における運転管理において、極めて重要である。破壊検査および非破壊検査法の技術開発は重要なミッションの一つである。また、検査法のみならず、検査すべき個所や検査すべき時期を効率的・効果的に選定する能力が不可欠であり、ここでも材料学にとどまらず、機械システム、溶接熱輸送などの総合力が問われており、材料とシステムの統合的理解が重要となる。そのため、材料部会のみならず、他の部会あるいは他の学協会との連携活動の場を提供することも部会の重要なミッションの一つである。

高経年プラントに係る維持規格・基準または各種標準の策定における学協会の役割の重要性が指摘されている。学協会は、産官学連携作業を実施する格好の場であり、公正さ、公平さおよび公開性を確保するための仕組みが構築されていることから、維持規格・基準の策定に係る手続きを適正に行うことが可能である。

一方、学協会間の連携も不可欠である。原子力学会の部会間あるいは原子力学会と金属学会、機械学会、電気協会あるいは腐食防食協会との間の連携もまた重要である。原子炉の維持規格・基準に関しては、機械学会および電気協会の関与および貢献は甚大である。一方、腐食防食協会、金属学会あるいは材料学会などの学協会との連携はほとんど見当たらないようである。第1図は、高経年化に向けた規格基準の策定が多くの分野の融合と学協会の連携協力に支えられることを示したものである。炉内構造物においては、原子炉環境、構造体の応力分布および構造材料の照射影響が時間とともに変化することを認識する必要がある。地震は構造体の応力分布に影響を与えるであろう。このような複雑な事象の理解とそれに基づいた維持規格・基準の策定は、それぞれの専門家が結集して初めて可能であることが容易に推測できる。これまでの原子炉に関わる社会的諸問題が材料に直接関わっていたことや多くの原子炉が高経年を迎えている現実を鑑みるにつれ、今後の維持規格・基準の策定においては、これらの材料関連の学協会との連携が不可欠である。

学協会の役割が重要と認識されているが、その活動は活発であるとはいいがたい。これは体制および運営(財政)上の問題であり、産業界や国の支援が必要である。



第1図 高経年化に向けた維持規格・基準の策定を支える分野および学協会例

2. 先進原子力システム

高効率発電プラントの開発には高温材料の開発が必須である。一般に、高温では原子が動き易くなり、経年変化も生じ易い。原子間結合力の強い高融点金属やセラミックス材料がその候補材と考えられているが、いずれも、脆性材料の範ちゅうに入っており、支持構造体としての役割を担うには荷が重過ぎるといえよう。構造材料に、ある程度の延性が求められているのは、万が一、材料にき裂が発生しても、き裂先端において塑性変形が生じ、き裂先端を鈍化させて、そのき裂の伝播を抑制しようところにある。

次世代炉には様々な型式が考案されているが、それらの運転温度は軽水炉よりもはるかに高い値に設定されている。構造材料として候補になっている材料は、現時点では、ほとんどの型式においてフェライト・マルテンサイト鋼である。通常、火力発電プラントにおいて使用されているフェライト・マルテンサイト鋼の使用温度は、最高でも600℃前後とされているが、火力発電プラントの運転温度を650℃に上昇させると、発電効率が5%上昇し、二酸化炭素の排出量は3%削減されると試算されており、その経済効果は決して小さくはない。しかし、次世代炉においては材料の高温での強度が得られただけでは、実用化は困難であり、耐食性や耐照射性能の向上が不可欠である。また、腐食や酸化も原子移動を伴うことから、一般に、高温では腐食が生じやすくなる。

材料強度や腐食は、いずれも材料分野の課題ではあるが、より専門的な立場から見れば、やや毛色の異なる分野でもあり、材料挙動の予測には、それぞれの専門家の協働による総合的な議論と判断が必要となる。材料部会の役割の一つとしては、これらの分野間の学際的・学融合的な研究討論の場を提供し、より優れた性能や新しい機能を持つ材料の開発に貢献することがあげられる。

3. 核融合ブランケット

核融合炉構造材料開発は、素材開発段階から実証段階に入っており、ITER-Test Blanket Module(TBM)を実際に製作する段階に来ている。そこでは、材料を組み立てる技術、すなわち加工性や溶接性等の製造性の技術開発が必要になっている。溶接は熱の出入りを伴い、材料組織は熱の影響を受けるため、溶接される物体の形状や大きさによって、溶接後の材料組織が変化する。したがって、溶接部の挙動は、その溶接部に特有の熱履歴に依存することから、その挙動を予測するためには、その部分に特化した緻密な計算と豊富な経験が必要とされる。さらに、構造が複雑な溶接部の場合は、溶接後の検査方法の開発も必要となる。このような技術の情報は、個人や単一のグループの力量を超えるものであり、知的情報の交換や技術開発協力が不可欠であることはいうまでもない。ここにおいても、材料部会の重要なミッションとして、関連するコミュニティの研究者に総合的な討論を行う共通の場を設けることがあげられる。

核融合構造材料開発の一つの重要なテーマとして、微小試験片技術開発がある。これは、核融合環境下における材料挙動を調査するための強力中性子源を用いた照射実験において、限られた照射容積を有効に利用し、十分な照射データベースを得るために必要な技術である。しかしながら、微小試験片で得られたデータベースを設計に利用するためには、微小試験片に係る規格・基準を策定する必要がある。この作業は、機械学会や電気協会および米国材料試験協会(ASTM)などとの連携が重要であり、ここにも部会の果たすべき役割が見えてくる。

4. 材料・システム統合

以上のように、3つの事柄における材料部会の役割について述べてきたが、いずれにおいても、材料に特化した技術開発や学術研究では、総合技術(工学)の集大成ともいえる原子力プラントの開発および安全管理には不十分であり、材料とプラントシステムの相互作用に重心を置いた技術開発あるいは学術領域への展開が重要になっている。第2図に示すように、材料はプラントを建造するための基盤となるものであるが、素材とプラントを構成する材料とでは、むしろ別物と考えておくべきといえる。これは、原子力プラントに限ったことではないが、プラントの構造体の一部では、溶接時やその後の使用場所により、熱履歴、負荷応力や負荷モード、腐食環境、照射環境などが異なるため、同じ素材であっても使用される場所が異なれば、寿命も異なってくるのは必然であり、材料が置かれたトータルの意味での環境を把握しておくことが肝要となる。これは、決して容易なことではなく、学術として展開させるためには多くの困難を伴うと予想されるが、今後を担う世代に期待して止まない。

当面のところ、材料・システム統合技術および工学の



第2図 原子力プラント建造の基盤となる材料技術であるが、使用される環境により、個々の材料挙動は経年とともに異なっていく。

発展を促進することが材料部会の重要なミッションと位置付けられよう。

5. 人材育成

材料部会では、率先して日韓協力事業を展開してきた。今後は、この活動を中国やインドにも拡張していくべきといえよう。東アジアおよびインドにおける原子力エネルギーの安全利用に貢献するためには、それらの国々の当該分野の学生や若手研究者との交流によるお互いのレベルアップが不可欠である。材料の専門家を育てることも必要であるが、材料・システム統合の専門家の育成が今後はますます重要になっており、他の部会、他の学協会、他国のコミュニティとの積極的な交流活動を実施していく必要がある。EUでは、先進原子力材料に係る国際セミナーが昨年から開催されている。米国および日本での開催も検討されており、必要な財源の獲得に向けた準備が進められている。

Ⅲ. イシュー

原子力材料における緊急の技術的課題は多くはないが、Ⅱ章に関連させて、3つの事柄について今後の材料課題を紹介する。

1. 材料特性評価と材料挙動の高精度予測

科学的根拠に基づいた材料挙動の機構論的理解のための学術的課題がいくつか存在する。照射脆化予測に関しては、(1)高照射量域における脆化の程度の照射量依存性と脆化支配因子の解明、(2)溶接熱影響部の照射脆化評価、(3)商用炉・研究炉データ相関、が重要になっている。特に、脆化支配因子が運転年数30年程度の低照射量域とそれ以降の高照射量域とで変化する可能性もあり、その実証試験とそれに応じた予測式の高精度化が望まれる。これまでの研究から、不純物銅濃度の少ない我が国の圧力容器の照射脆化は、60年間の使用に十分に耐えると予測されるが、安全性を確認するための監視試験は、今後

も継続的に実施しておく必要がある。効率的・効果的監視試験の実施には、材料挙動の機構論的理解が不可欠であることはいうまでもない。

2. 革新的原子力材料の開発

材料の経年変化は材料を構成する原子が動き回ることによって起因することは前述したとおりである。経年変化を抑制するためには、動いた原子を元の状態と同じ環境に戻してやればよいことになるが、熱力学がそれを許してくれないことは周知の事実である。しかし、照射下では照射粒子との衝突で生成された空孔が、同時に、あるいは別の衝突で形成された格子間原子と出会うことで、対消滅する現象が生じているので、出会う場所を数多く提供してやることで、照射損傷の形成を抑制できると考えられる。実は、多くの材料(格子)はすでにこの機能を発現しており、100 dpa(すべての原子が100回格子点の位置を変えることに相当する損傷量)の高損傷量の照射により、材料劣化は生じているものの、この対消滅により、材料の形状は維持され得るのである。

材料内に高密度の「出会いの場所」を提供することで、革新的な原子力材料が創出される可能性がある。

3. 核融合材料の開発

ダイバータ、第一壁材、構造材料、増殖材、増倍材など、核融合炉開発を目指す材料開発研究は山積している。一方では、ITER-TBMの製作が始まろうとしている。候補材料はブランケットの型式に依存し、その材料要件も異なっている。現実的な路線と開発要素の強い路線の研究開発が並行して進められているが、それらの成果はクロスカットの可能な技術として発展する 경우가多く、核融合炉材料研究者と核分裂炉材料研究者の一層の連携協力が不可欠である。TBM製作におけるメーカーの役割は大きい。材料研究者による素材の研究は進展したが、実際に構造物を製作するための技術開発はメーカーに依存する部分が多い。

Ⅳ. エピローグ

システムに組み込まれた素材は、材料としての役割を果たすための材料要件なるものを満たさなければならない。材料要件は人が設定するものであり、材料が使用される「トータルの環境」を理解しておくことが不可欠である。システムに置かれた素材に対し、システムを熟知し、「新鮮で」、「明快な」、材料要件を与えることができれば、その材料は生涯役割を果たすことができると思われる。結局、材料部会の活動は、この材料要件と材料の限界について総合的に論じることのできる場を提供することでありと思われる。

(執筆担当：京都大学・木村晃彦)

部会活動 原子力発電部会

原子力発電部会の活動状況および原子力発電の今後の展望について

原子力発電の安全性および信頼性の更なる向上を目指して

わが国では、現在53基の商用原子炉が運転中であり、発電電力量全体の約3割を賅っている。地球温暖化防止やエネルギー安全保障の観点から、原子力発電が果たす役割は大きく、原子力産業界を中心とした原子力発電の安全性および信頼性の更なる向上を目指した取り組みが推進されている。本稿では、このような取り組みおよびこれに関連した原子力発電部会の活動状況、ならびに原子力発電の今後の展望について述べる。

I. 原子力発電部会の歩み

1. 設立の趣意

わが国の原子力発電は、1963(昭和38)年10月のJPDR(日本原子力研究所の動力試験炉)に始まり、1966(昭和41)年7月の商用発電開始から42年が経過している。

この間、徹底した安全性重視のもと、技術開発、運転、保全に対する努力が積み重ねられ、膨大な工学的経験が蓄積されてきた。現在は、プラント寿命を見通した安全かつ信頼性の高い管理を確立する段階にある。しかし、原子力発電を取り巻く社会的環境は依然厳しく、新たな立地・建設は非常な困難を伴う状況にある。

一方、発電時に二酸化炭素を排出しない原子力発電は、地球温暖化防止に極めて有効であり、さらに昨今の世界的なエネルギー需要の増大や原油価格の急激な変動を契機として、改めてその重要性が評価されている。

このような状況から、(1)今日における原子力の意義および将来の見通しを論ずること、(2)蓄積した工学的経験や知見の活用、ならびに安全かつ信頼性の高い管理手法や新しい発電システムに関する研究等を活性化し、国内に留まらず世界をリードすること、(3)社会に情報発信し、産業活動と地球環境の調和に貢献するべく活動すること、は原子力学会の使命である。

原子力発電部会は、多岐にわたる原子力発電の関係分野を横断的に結び、発電プラントの状況を学会活動に反映することを目的として2000年に設置された。同部会で

は、原子力発電の安全性の確保、信頼性・効率性の更なる向上などに貢献するため、幅広く活動を行っている。

2. 活動の方針および内容

(1) 活動方針

原子力発電の発展に貢献するため、原子力発電の現状と課題、ならびに今後の方向性等に関する会員の理解を深める活動を基盤として、外部へ向けた情報発信も行うことを基本方針としている。

また、原子力発電という大きなテーマのもとに、関連する技術分野および組織(電力会社、メーカ、研究所、大学等)の枠を越えて活動している。

(2) 活動内容

上記の活動方針に基づき、(1)原子力発電の最前線情報の共有および発信、(2)現状の課題と必要な研究に関する情報の共有および議論、(3)原子力発電の全体的な動向や方向性の総括およびその発信、(4)会員間での意見交換機会の設定、などの活動を行っている。

具体的には、①企画セッション(会員間の情報交換および交流を目的とした講演会等を、春の年会や秋の大会にて実施)、②他産業との交流会(他産業の良いところを学ぶ機会を、年1回程度実施)、③夏期セミナー(学生、若手技術者との交流を目的とした講演会および見学会を、年1回程度開催)、④ホームページによる情報発信、などの活動を展開している。

II. 原子力発電の現状と課題

1. 原子力発電業界の現状

原子力発電所の安全性および信頼性の更なる向上を目指した原子力産業界の取り組みの一つとして、本章では、日本原子力技術協会(以下、原技協と略す)が行って

Activities of Operation and Power Division and the Future Prospects of Nuclear Power Generation : Operation and Power Division

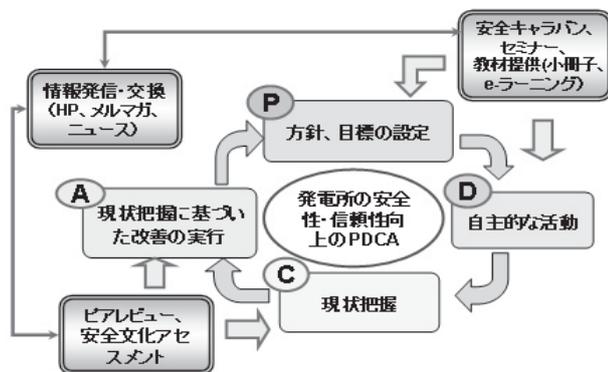
(2009年 2月2日 受理)

いる発電所を対象とした活動について述べる。

まず、原技協設立までの経緯を記す。1979(昭和54)年のスリーマイル島原子力発電所2号機事故を契機に設立された米国原子力発電運転協会(INPO: Institute of Nuclear Power Operations)および1986(昭和61)年のチェルノブイリ原子力発電所4号機事故を契機に設立された世界原子力発電事業者協会(WANO: World Association of Nuclear Operators)において、発電所の安全性と信頼性を向上させるための取り組みとして、ピアレビューが実施されている。わが国では1999(平成11)年のJCO事故を契機にニュークリアーセイフティネットワーク(NS ネット)が設立され、翌2000(平成12)年からピアレビューが開始されるとともに、安全文化の醸成活動が始められた。

しかし、原子力のより一層の安全性向上による原子力産業の活性化を目指し、2005(平成17)年に原技協が設立された。これは、NS ネットと電力中央研究所にあった原子力情報センターの機能を統合・再編するとともに、民間規格の整備促進などの機能も備えた原子力産業界の総力を結集したものである。

原技協の活動のうち、NS ネットを引継いだ活動内容を第1図に示す。



二重枠内太字：原技協の活動， P：計画， D：実行， C：評価， A：対策実行

第1図 原技協の安全性および信頼性向上への活動内容

2. ピアレビュー活動

原技協が行っている主な活動の一つとして、ピアレビューがある。「ピア(Peer)」とは「同僚」という意味であり、発電所での業務経験があるピアで構成されたチームが、発電所の運営状況を専門的な立場からレビューする。

ピアレビューは、検査とは異なり合否を判定するものではない。発電所の安全性と信頼性の向上を目指し、自主保安活動の推進を支援するためのものである。現場観察をベースに、業界の最高水準に照らして、発電所の運営における課題を抽出し、何が根本的な問題で、どう改善したらよいかという提案を、発電所側とレビューチー

ムが納得いくまで議論して見つけ出す。あわせて、長所も見つけ出す。主要な対象分野は、運転、保修、技術支援、放射線防護、運転経験、組織と管理体制の6分野であり、十数名のレビューチームが2週間かけて行う。原技協設立以降、INPO および WANO の手法を取り入れ、海外の経験豊かなレビューワーカーの参加も得て7発電所で実施した。

得られた長所については、他の発電所の改善に活用されている。一方、各発電所に共通的な課題に対して、原技協は2008年度から発電所の改善活動の支援を始めており、今後さらに支援内容の質を高め継続していく。

3. 安全文化醸成活動

JCO事故は、安全文化の欠如が何をもたらすかを事例によって示したものである。不断の安全文化醸成活動が強くと求められることから、原技協は次の活動を行っている。

安全文化アセスメントは、安全文化が醸成された理想的な状態を定義しておき、発電所の現状を評価し、理想状態とのギャップを認識し、その幅を縮めていくためのものである。現状を評価する視点として第1表に示す「原技協 安全文化の7原則」を制定し、これに基づいて安全文化アンケート調査を行い、発電所の長・短所をとらえる。その上で、発電所員にインタビューを実施し、個人の意識、発電所特有の状況や事実を把握し、気づいた事項に対して発電所の参考となる改善例を示す。今までに5発電所で実施した。

安全文化アンケート調査については、発電所のみならず、広く原子力産業界の約1万人を対象として、NS ネット時代から3年間隔で2回実施した。調査の分析結果は、安全意識を高めるために対象事業所で活用されている。

第1表 原技協 安全文化の7原則

- 1 安全最優先の価値観が組織と個人に徹底されている
- 2 安全へのトップのコミットメントとリーダーシップ
- 3 業務に安全確保の仕組みが組み込まれている
- 4 円滑なコミュニケーション
- 5 問いかけ、学び、是正する姿勢
- 6 潜在リスクの認識
- 7 自由にものが言える職場環境

安全キャラバンは、安全意識の高揚をはかるためにFace to Faceで意見を交換する場である。専門家の講演のほかに、前述の調査の分析結果をもとに組織内部の議論を深めたり、他社の良好事例についての意見交換を行ったりする。発電所以外も含めた累積回数は100回を超えている。

このほかに、セミナーについては、体験型や研修型の安全セミナーを続けている。さらに、安全文化e-ラーニングも開設しており「知識から意識、そして行動へ」

は、利用者数が1万人を超えている。

Ⅲ. 原子力発電の今後の展望

1. 原子力発電プラントの将来展望

2005(平成17)年10月に策定された「原子力政策大綱」では、「2030年以降も総発電電力量の30~40%程度かそれ以上の供給割合を原子力発電が担う」などの基本方針が示されている。さらに、2006(平成18)年8月にまとめられた「原子力立国計画」では、「電力自由化時代の原子力発電の新・増設、既設炉リプレース投資の実現」、「安全確保を大前提とした既設原子力発電所の適切な活用」、などが示されている。

現在、わが国では53基の原子力発電所が稼働しており、これらの有効活用の観点では、経年変化の技術的評価に基づく計画的な保守・保全活動や、出力増強、長期サイクル運転の導入などにより、設備利用率向上に取り組むこととしている。

一方、新・増設プラントとしては、建設中の泊3号機、島根3号機、大間原子力発電所を含め、今後13基の建設が計画されている。また、2030年前後から既設原子力発電所の代替として、次世代軽水炉の採用が見込まれている。次世代軽水炉は、世界標準を獲得できる高い革新性を有するコアコンセプトを実現すべく、国・電気事業者・原子力プラントメーカー共同で開発に取り組んでいる。

2. 沸騰水型原子力発電(BWR)の展望

(1) 既設原子力発電所

現在、国内では30基のBWRが稼働中である。プラント供用期間を、技術的評価を行った上で延長することや、発電出力を増加することで、既設原子力発電所の価値をより高める検討を、安全性確保を前提に進めている。主な取組みについて以下に示す。

- (1) プラント供用期間延長を受けた保守・保全活動の強化のために、検査技術、補修技術の開発、規格基準類の整備に取り組んでいる。
- (2) 今後、運転サイクルが最大24ヶ月まで延長可能となる。24ヶ月間、最大出力で運転継続できるような高燃焼度燃料の採用検討、運転中の機器状態監視技術の開発などにより、設備利用率向上に取り組むこととしている。
- (3) 欧米のBWRでは約20%の増出力を達成した事例もあり、わが国でも既設原子力発電所の増出力に取り組む必要がある。当面は、原子炉出力を変えずにタービンなどの機器効率向上による増出力が主流となると思われるが、将来的には欧米並みの大幅な増出力実現を目指している。

(2) 新・増設プラント

わが国で開発された改良型BWR(ABWR)は、十分な運転実績を蓄積しており、高い安全性、信頼性を有している。この実績をベースに、国内では今後10年間で10基

のABWR建設が計画されているほか、米国や欧州においても建設が計画されており、BWR技術を世界市場へ展開中である。さらに、官民一体で次世代炉開発に着手しており、そのコアコンセプトに対するBWRの取り組みについて以下に示す。

- (1) ウラン濃縮度を5%超とし、高燃焼度化の開発を進めている。また、現状の燃料サイズを大型化し、燃料体数を削減することで、システム簡素化や保守軽減を図ることを検討している。
- (2) 免振技術の適用により建屋や機器の標準化・簡素化を図る。大型免振装置の性能確認試験などに取り組んでいる。
- (3) 供用期間80年を実現するため、材料技術開発のみならず、部材の使用環境改善まで含めた総合的な検討を進めている。BWR材料では、耐応力腐食割れ性等を改善した材料の開発に取り組んでいる。また、炉水中の不純物濃度を低減する大容量の炉水浄化系の開発や、機器・配管表面への放射能付着抑制技術開発に取り組んでいる。
- (4) 建設工期の大幅短縮の観点では、大型ブロックモジュール工法の採用拡大の検討を進めている。
- (5) 設計基準事故およびシビアアクシデント対策として、アクティブ系設備、パッシブ系設備の最適組合せにより機器物量を削減し、経済性に優れ、安全性も高い原子炉系設計に取り組んでいる。
- (6) 最先端のデジタル技術により、高度な状態監視、設備評価を実現し、保守作業量の削減を目指している。また、プラント運転・運用に必要な情報をタイムリーに提供することで、ヒューマンエラー要因の低減を図り、最適な運転監視システムの開発に取り組んでいる。

3. 加圧水型原子力発電(PWR)の展望

(1) 既設原子力発電所

PWRでは、既設プラントの稼働率向上、有効活用を目的として、高経年化対策を踏まえた保全高度化、長期サイクル運転、ならびに出力増強等に取り組んでいる。

特に、保全高度化に関しては、安全性確保を前提とし、検査結果等の適切性を審査した上で、運転サイクル期間の延長などを可能とする新検査制度が導入されることを踏まえ、その前提となるプラントの安定運転、信頼性向上を目指した長期的な予防保全プログラムの構築に取り組んでいる。また、耐震安全の分野では、新潟県中越沖地震を踏まえ、経年変化を考慮した耐震評価技術の高度化、耐震余裕の定量化等に取り組むこととしている。現行の保全技術の例として、1次系水環境条件下で発生するPWR特有の応力腐食割れに対し、検査精度を向上したインテリジェントECT(Eddy Current Test:渦探傷検査)や発生因子とされる高残留応力に対する応力改善技術を適用している。将来的には、これらの保全の高度

化、有効活用によって欧米並みのプラント稼働率の向上を目指していく。

(2) 新・増設プラント

世界初の改良型 PWR (APWR) として、日本原子力発電株敦賀発電所 3, 4 号機の建設が準備中であり、また、この APWR をベースにした米国向け APWR (US-APWR) / 欧州向け APWR (EU-APWR) を世界市場へ展開中である。US-APWR / EU-APWR は、世界最高の熱効率による世界最大級の電気出力 170 万 kWe 級の大容量プラントであり、送電網の発達した国向けの炉型である。US-APWR については、米国での標準設計認証 (DC) 申請が 2008 年 2 月末に米国原子力委員会 (NRC) に受理され、本格的な審査が開始されている。また、US-APWR の設計はすでに米国の電力会社により採用され、建設・運転一括認可 (COL) 申請が行われた。

一方、中型炉では 110 万 kWe 級 ATMEA 1 (新型第 3 世代原子炉) を AREVA NP 社と共同開発中である。これは、世界中の市場に展開できるように、規制要求だけでなく各種の顧客要求に応えることを目指した PWR である。

また、2030 年前後からの代替建設需要をにらみ、官民一体で次世代軽水炉開発に着手した。次世代軽水炉のコアコンセプトに対する PWR の取り組みについて以下に示す。

- (1) ウラン濃縮度を 5% 超として高燃焼度化し、また、プラント熱効率向上のため 1 次冷却材温度 (Thot) を上昇させる計画であり、課題となる耐食性を改善した燃料被覆管材料の開発を進めている。
- (2) 免震技術適用により、地震条件によらないプラント設計の標準化を図ることとしている。
- (3) プラント寿命 80 年や Thot 上昇といった厳しい環境条件への対応を考慮した蒸気発生器伝熱管材料の開発に取り組んでいる。
- (4) 建設工期短縮の観点で、SC (鋼板コンクリート) 構造の適用範囲拡大や大型ブロック化、モジュール化の拡大の検討を進めている。
- (5) 安全性については、世界最高水準の安全性を有する APWR と同等以上の安全性を確保しつつ、2030 年頃にふさわしい高い経済性を実現するシステムを検討している。
- (6) IT 技術を活用したトータルマネジメントシステムの開発により、保守作業量削減等に取り組んでいる。

4. 「もんじゅ」の研究開発と高速増殖炉の将来への反映

国家基幹技術である高速増殖炉サイクル技術の開発における一つの柱として、高速増殖原型炉「もんじゅ」で

は、10 年程度以内を目途に所期の目的である発電プラントとしての信頼性の実証、運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立を達成すべく研究開発を行っている。さらに、FBR 実用化に向けた研究開発の場として活用・利用の検討を進めている。

発電プラントの信頼性実証としては、安全・安定運転を達成させるとともに、性能試験により、プラント系統・機器が設計性能を発揮することを確認し、設計とその手法の妥当性を検討する。また、性能試験では、臨界・炉物理試験、プラント特性試験などを実施し、その評価結果は設計技術評価として集約する。

運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立としては、ナトリウムの不純物挙動、放射性物質の冷却系内移行挙動評価など、ナトリウム管理技術の確立、原型炉の原子炉容器、1 次主冷却系配管、蒸気発生器伝熱管の供用期間中検査技術など、ナトリウム取扱技術を含めた保全技術の確立を行う。

「もんじゅ」の燃料の高度化など炉心高度化として、中性子照射機能、長期運転サイクル化、高燃焼度燃料開発などを進める。また、高性能機器、運転保守技術の「もんじゅ」での実証も行い、さらに許認可における安全設計や評価が将来の許認可のベースとなることを考慮し、設計に用いる解析コードの整備・使用経験を含めた許認可に係わる経験や知見をまとめ、実証炉・実用炉へ反映していく。

国際協力としては、日仏 2 国間技術協力、IAEA の高速炉技術ワーキンググループ、第 4 世代原子力システム国際フォーラムなどにおいて、マイナーアクチニド含有燃料実証プロジェクト (GACID) やプラント動特性、炉心特性評価、ナトリウム熱流動評価、供用期間中検査、ナトリウム化学分野などの国際共同研究を進めていく。

「もんじゅ」の利活用では、「もんじゅ」は世界でも貴重な高速増殖炉研究施設であり、国内外の研究開発拠点として、共同研究のみならず、将来を担う人材の育成の視点も踏まえながら研究開発を進めていく。

運転再開後の「もんじゅ」では、研究開発の中核としての活動の中で、原型炉の運転・保守経験、ナトリウム技術などの評価結果・技術知見などを集約し、別項で紹介した高速増殖炉サイクル実用化研究開発 (FaCT プロジェクト) や将来の高速炉の設計、建設、試験、運転へ反映するとともに、共同研究を通じて国際的な高速炉開発へも貢献していく。

(執筆担当：中電・豊住健司、三葛武文、
原技協・河島弘明、JAEA・向 和夫、東芝・畠沢 守、
三菱重工・清水俊介)

部会活動 再処理・リサイクル部会

再処理・リサイクル部会の活動

開発支援と情報発信を目指して

2001年3月の設立以来、再処理・リサイクル部会はセミナー、国際ワークショップ、学会企画セッション等を通して、関係各機関の研究技術開発と若手技術者育成を支援し、燃料サイクル分野の社会的な理解度を深めるために、中立公平な情報を外部に向けて発信している。米国の国際原子力エネルギーパートナーシップ(GNEP)に代表されるグローバルな燃料サイクル分野の活動にも取り組み、今後もタイムリーかつ積極的な情報発信および理解獲得を目指していく。

I. 部会の歩み

設立から現在までに至る主要な活動内容をふり返る。

1. 設立

(1) 設立趣旨

再処理・リサイクル技術に関し、基礎的知見と工学的経験の整理・評価・適用、安全で信頼性／効率性のある管理手法、安全性・リスク評価、設計から廃止措置に至る望ましい規制システム、新しい再処理システム等の研究を活性化させ、国内に留まらず世界をリードするとともに、社会に発信し、産業活動と地球環境の調和に貢献する。また、国内外の研究機関、大学との連携、海外の学会への情報発信も含め、過去の経験と最新技術開発動向を議論し、今後の再処理のあり方を提言していく。

(2) 活動理念

論理的かつ中立公平に国内外へ情報発信すること、常にオープンで透明性を保つこと、研究者に学習・経験の場を与え次の世代を育てること、を基本理念とする。

設立総会の写真を第1図に示す。

2. 活動経緯

(1) 学会での企画セッション



第1図 設立記念総会の集合写真

Activities of Reprocessing and Recycle Technology Division:
Reprocessing and Recycle Technology Division
(2008年10月31日 受理)

年に1～2回、原子力学会において、主に原子力の専門家に向けた講演会、技術討論会を主催している。

(2) 再処理リサイクルセミナー

毎年、主に一般向けにサイクル技術開発状況および方針の説明と議論を行うため、セミナーを開催している。開催地は日本各地で、2004年の青森では一般参加者からの全質問に誠実に回答し、原子力と燃料サイクルの理解に努めた。また、2005年の敦賀では地元高校生が授業の一環として参加し、開催後の討論会も含めて熱心な議論を展開した(第2図)。

(3) 国際ワークショップ

ほぼ2年に1回、世界各国の技術研究者を招いて、国際的な技術開発動向と将来展望を議論している。特に、2008年は「アジアの原子力展望」と題してアジアと欧米の研究者による討論会とし、今後2年ごとに日印中韓の4ヶ国持ち回りで開催することとなった。

国際ワークショップ以外にも、海外との協調に積極的に、2001年11月に米国原子力学会燃料サイクル・廃棄物処理部会と、2004年2月に欧州原子力学会と協力協定を締結した。また、2005年つくばでのGLOBAL国際会議は当部会が中心となって開催した。

(4) ぎんぎん技術セミナー



第2図 敦賀セミナーでの会場風景

若手研究者の育成と純技術論の探求を目的に、泊り込みで徹底的に議論する場である。

(5) 部会表彰

2005年度より部会表彰を開始した。燃料サイクル分野で功績、業績のあった会員、優秀論文を発表した研究者を毎年表彰し、栄誉をたたえている。また、セミナーやワークショップの優秀ポスター発表者も表彰している。

II. 再処理・リサイクル技術

再処理・リサイクル部会が対象としている技術・研究の進展の現状と将来展望を俯瞰する。

1. 再処理・リサイクル事業

燃料サイクル(再処理・リサイクル)の概要を第3図に示す。国内の原子力発電所(軽水炉)で発生する使用済燃料は、再処理工場で化学的に処理され、回収されたウランとプルトニウムは再利用される計画である。当面、回収プルトニウムは軽水炉燃料となるが、将来的には高速増殖炉(FBR)の燃料となる。

我が国の再処理事業は、東海再処理工場本格操業開始の1981年1月(ウラン試験は1975年9月)に始まり、約30年の実績がある。六ヶ所再処理工場(第4図)の建設が1993年4月から始まり、近い将来の運転開始を目指している。処理能力は800 t/yrで、国内原子力発電所の使用済燃料の大半を処理できる。このことは、我が国の本格的なリサイクル路線の到来を意味し、将来のエネルギー危機に対する大きな備えが構築されることを意味する。

日本原子力研究開発機構(JAEA)の東海再処理工場は、いくつかのトラブルを乗り越え、安定運転を確保し、再処理運転保守技術を国産レベルに到達させた。また、ウラン脱硝、混合転換、ガラス固化、種々保障措置など、数々の優位技術を開発してきた。こうした過去30年に及

ぶ成果は、六ヶ所再処理工場や次世代再処理技術開発に活かされている。

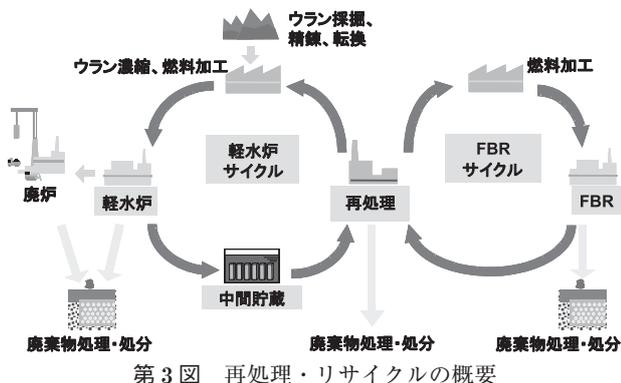
日本原燃(JNFL)六ヶ所再処理工場の主工程技術は、上記技術を除いては、フランス(主工程など)、英国(廃液蒸発)、ドイツ(排ガス処理)から導入されている。主工程は国内外で実績のあるピューレックス法を用い、使用済燃料の一時貯蔵、せん断、溶解、分離、精製、脱硝の各工程を経て、ウラン酸化物およびウラン・プルトニウム混合酸化物(MOX)を回収する。現在、アクティブ試験の最終段階にあり、2009年竣工の予定である。

2. 再処理・リサイクル研究開発

JAEAが中心となって、FBRサイクル実用化研究開発(FaCT)を推進中である。FaCTでは、将来の基幹電源としての核燃料サイクルに求められる安全性、経済性、資源有効利用性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性に対する目標を定め、FBRサイクル、すなわち、FBR、FBR再処理、FBR燃料製造の主候補概念として、酸化物燃料ナトリウム冷却型FBR、先進湿式法再処理、簡素化ペレット法燃料製造の各技術を開発している。

FBRの課題は、ポンプ組込型中間熱交換器開発等による建屋容積・物量削減、ナトリウム取扱技術の開発、炉心安全性・耐震性の向上などである。先進湿式法再処理のプロセスフローを第5図に示す。再処理の課題は、晶析による効率のウラン回収技術の開発、アクチノイド元素(U/Pu/Np, Am/Cm)の回収技術開発などである。燃料製造の課題は、脱硝・転換・造粒一元処理技術や遠隔製造技術の開発などである。以上の課題解決により、安全性、信頼性、経済性、資源有効利用性、環境負荷低減性、核拡散抵抗性に優れた次世代システムの確立を目指している。

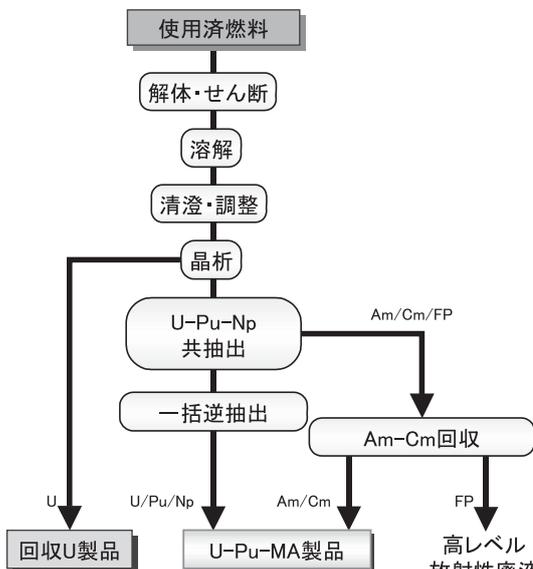
FaCTの副概念として、金属燃料FBRと乾式再処理・



第3図 再処理・リサイクルの概要



第4図 六ヶ所再処理工場



第5図 先進湿式法再処理のプロセスフロー

燃料製造技術も開発されている。電中研と JAEA が中心となり、更なる経済性、核拡散抵抗性の向上を目指している。

一方、FBR 平衡時代の前に到来する軽水炉から FBR への移行期の検討も開始されている。原子力政策大綱で FBR の導入開始は2050年頃と予想されており、軽水炉の寿命を考えると、FBR に完全に移行するには60年以上の年月が必要となる。この移行期間の再処理工場(六ヶ所再処理工場の次の第二再処理工場)は、軽水炉、プルサーマル炉、FBR の使用済燃料を処理するため、柔軟性が要求される。第二再処理工場の検討にあたっては、これまでの運転、補修および改善等の実績を十分反映することがまず必要である。さらに、原子力燃料サイクルのトータルコスト低減、環境負荷の低減、固有の安全性の確保も不可欠であり、日本の国情に適合した燃料サイクル(再処理・リサイクル)システムの確立が望まれる。

3. 各国の再処理技術開発状況

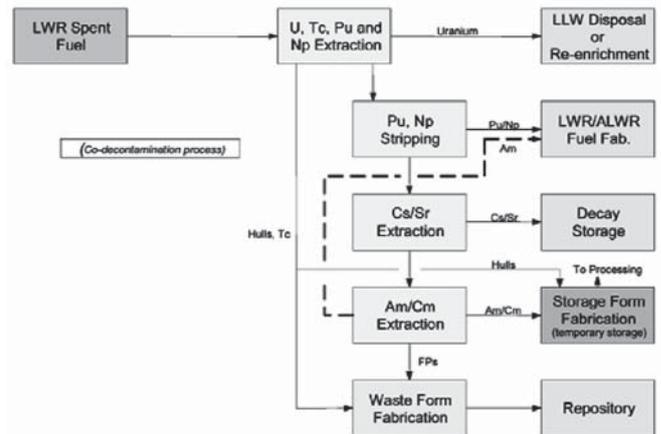
日本国内においては、前章で記載した技術以外に、次の技術が開発されており、現在移行期への適用性を国の検討会で評価中である。コプロセスング法は、核拡散抵抗性向上を目的に検討した U/Pu 共抽出技術である。Pu を単離しないこと以外は現行の再処理技術(PUREX 法)と同じである。FLUOREX 法は、フッ化物揮発法で U を粗分離した後、先進湿式法で U/Pu を回収するハイブリッド再処理技術である。超臨界直接抽出法は、PUREX 法の溶媒 TBP と超臨界二酸化炭素を用いて固体から直接アクチノイドを回収する技術である。NCP 沈殿法は、U 粗分離と U/Pu 共回収を沈殿法(沈殿剤: NCP)で行う技術である。イオン交換法は、イオン交換/抽出クロマトグラフィによりアクチノイドを選択的に分離回収する技術である。

米国では、GNEP 計画において、軽水炉使用済燃料の削減(高レベル廃棄物処分場の有効活用)を目的に、アクチノイド燃焼用の高速炉とアクチノイドと Cs/Sr の再処理(分離回収)システム(第 6 図)を開発している。

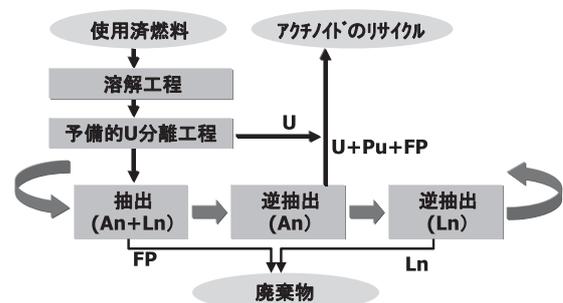
GNEP は国際原子力エネルギーパートナーシップで、米国以外の国々も協調しており、現在 4 企業グループが設計提案している。

フランスは、ラアーグに 800 t/yr 規模の再処理施設を 2 基有している再処理先進国である。2006年の廃棄物管理法に基づき、高レベル廃棄物の分離変換、地層処分、中間貯蔵の 3 選択肢の研究開発を継続している。次世代の再処理技術としては、まず U/Pu を共抽出する COEX 法を開発し、次に、全アクチノイドを回収する GANEX 法(第 7 図)を開発する計画である。

アジアでは、インド、中国、韓国が積極的な原子力計画を打ち出している。インドは、2010年に高速原型炉の運転開始を目指しており、再処理技術として当面、改良 PUREX 法(Pu 非単離、アクチノイド・Cs/Sr/Pd 回



第 6 図 GNEP 計画における再処理フロー



第 7 図 GANEX 法の概略フロー

収)、将来的に乾式法の開発を進める計画である。中国は、2020年の高速原型炉の運転開始を目指し、再処理技術として当面、PUREX 法ベースの大型湿式再処理施設の建設を計画している。韓国は、2028年の高速原型炉の運転開始を目指し、再処理は容認されていないが、使用済燃料処理を目的に乾式法技術開発を推進中である。

Ⅲ. 課題と将来の取組み

日本では、今まで首相が原子力について言及することはなかったが、福田総理が原産大会での挨拶で「産官学が連携して、原子力分野の技術力を強化し、安全を確保しながら国民の理解協力のもとに、原子力の利用を進めていくことが大変重要である。」と述べた。

また、北海道洞爺湖サミットの共同宣言で「我々は、気候変動とエネルギー安全保障上の懸念に取り組むための手段として、原子力計画への関心を示す国が増大していることを目の当たりにしている。これらの国々は、原子力を、化石燃料への依存を減らし、したがって温室効果ガスの排出量を減少させる不可欠の手段と見なしている。我々は、保障措置(核不拡散)、原子力安全、核セキュリティ(3S)が、原子力エネルギーの平和利用のための根本原則であることを改めて表明する。」とうたわれた。

ウラン資源も、石油と同様に有限であり、原子力エネルギーの持続的な平和利用には、燃料サイクルが必須となる。技術力強化、安全(3S)確保、国際的理解協力を

進める上での、課題と取組みを示す。

1. 課題

燃料サイクル事業の技術的課題は、高速原型炉「もんじゅ」の運転再開と六ヶ所再処理工場の竣工、および両施設の安定・安全運転の継続である。

研究開発の技術的課題は、開発中の技術の実用化プロセスの構築と考えられる。次世代再処理技術は、FaCTプロジェクト、軽水炉からFBRへの移行サイクル検討、公募研究、米GNEPを初めとする国際的枠組み等の中で、種々開発されている。これらは、現状小規模、実験室レベルのものが多く、実規模、工学レベルへの展開に際し、改めて技術選択と資源集中が必要になる。実用化上の課題を十分調査し、専門家の英知を結集して解決策を提示する戦略が重要になる。

3Sを確保するための課題は、非核保有国で唯一再処理を許されている日本の権益の確保、国際原子力機関(IAEA)への積極的な協力、開発済みの各種保障措置・安全技術を維持・拡張、更なる核物質管理、放射性物質閉じ込め技術を開発、と考える。

国際的理解協力の課題は、幅広くかつ地道な情報発信活動の継続と考えられる。再処理リサイクルセミナー等の活動から、まだまだ国民、特に次代を担う学生の理解は十分でないと感じる。原子力界全体で理解活動に取り組む必要がある。

2. 再処理・リサイクル部会の取組み

高速原型炉「もんじゅ」の運転再開と六ヶ所再処理工場の竣工、および両施設の安定・安全運転の継続は、我が国のリサイクル路線を堅持するため重要である。JAEAとJNFLには、技術基盤を維持・向上させ、建設や運転で得られる知見を継承し、既存技術の改良や次世代技術へ発展させることが期待される。再処理・リサイクル部会も技術的観点で全面的に支援していく。

軽水炉からFBRへの移行期に稼動することとなる第二再処理工場では、当初は大部分軽水炉使用済燃料を処理するので、現行軽水炉再処理技術の高度化適用を視野に入れることとなる。一方、FaCTプロジェクトではFBR平衡期を対象に革新技術を開発しているが、第二再処理工場への適用性も考慮する必要がある。当部会では、昨年度よりサイクル技術検討ワーキングを開催し、現行の再処理技術およびFaCTで開発中の革新技術に対して率直な意見を交換している。今後も、この活動を中心として忌憚ない技術的議論を展開して、移行期および平衡期に適した再処理技術の確立に提言を行う。

3Sの確保に関しても、関係諸機関、関係者との議論を繰り返すことにより、日本の国情に適した技術開発を支援していく。特に、東海再処理工場が開発・確立された保障措置関連技術は、IAEAに高く評価されており、

その維持発展に協力する。エネルギーの大半を海外に依存する我が国は、その備え(U, Puのリサイクル利用)の手段を持つことは必須である。今後の再処理工場運転に伴う種々不具合を未然に防止する方策など、各種の具体的技術課題についても学会として客観的な立場から検討し、必要に応じて提案を行っていく。3Sの課題解決には、日本全体での取組みが必要であり、原子力学会およびバックエンド部会、核燃料部会、原子力発電部会、原子力安全部会、核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会とも協調を図る。

国内外における理解活動促進には、冒頭に記載した各種部会活動を活用していく。再処理リサイクルセミナーを原子力に関係する地域で一般市民・学生を対象として開催し、わかりやすく説明して議論することにより、国内におけるパブリックアクセプタンス獲得を目指す。国際ワークショップでは、諸外国の研究者を招聘して理解活動の情報交換と国際協力を深める。2008年10月に開催したワークショップはアジアおよび欧米諸国の賛同を得て、今後「アジアの原子力展望」と題して、燃料サイクル分野を中心に、これ以外の分野にも範囲を拡張して継続していく。



第8図 第1回「アジアの原子力展望」会議

(執筆担当：日立GE・深澤哲生，東京大学・田中 知，電中研・井上 正，電中研・天野 治，JAEA・野村茂雄)

—参考資料—

- 1) 原子力学会再処理・リサイクル部会ホームページ <http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/division/recycle/top.html>
- 2) 再処理・リサイクル部会，“再処理・リサイクル技術開発と我が国の開発への提言”，日本原子力学会誌，50[9]，562(2008)。
- 3) 天野 治，“再処理・リサイクル部会(RRTD)の活動”，日本原子力学会誌，50[9]，567(2008)。
- 4) 佐賀山 豊，他，“高速増殖炉サイクルの技術開発”，日本原子力学会誌，50[6]，363(2008)。
- 5) 船坂英之，他，“高速炉の変遷と現状；第9回再処理関連の歴史と現状”，日本原子力学会誌，50[4]，247(2008)。
- 6) 小島久雄，核燃料サイクル工学概論，JAEA-Review 2008-020，(2008)。

部会活動 計算科学技術部会

原子力における計算科学技術の未来

計算科学技術部会の取組み

熱流動、構造、材料、電磁気等の多岐にわたる分野・区分横断型部会として2002年9月に部会が発足し、計算機科学、計算技術、解析手法等の研究者が集まり活動を進めている。本稿では、活動の歩み、核計算、伝熱流動、構造の分野での研究開発の現状と今後の課題について報告する。計算科学技術への社会の期待の大きさを考えたとき、計算工学分野の研究者が結集し、ミクロからメゾ、マクロの幅広いスケールのシミュレーションにより実機規模の検証ができるアプローチを議論できる場としての部会活動をさらに進めていくことが必要である。

I. 計算科学技術部会の歩み

原子力研究の歴史では、中性子物理を中心として、実験ではすべてを模擬できない場合に、数値実験により技術の進歩を図ってきたという事実がある。原子力工業界の活動でも、炉心設計、燃料熱水力、安全設計、構造設計、耐震設計などの多くの分野で計算工学の技術を活用してきている。技術継承は大変な重要なテーマとなり、解析の妥当性、信頼性の確保のためのベンチマーク解析、解析技術自体に重点を置いた活動も必要になってきている。このような状況下で、原子力に係わるすべての計算工学の分野の研究者が一堂に会して、計算工学の研究を通して交流することはきわめて重要なことであり、そこに計算科学技術部会の存在意義がある¹⁾。

計算科学技術部会は、計算技術、計算科学、さらに計算機科学に立脚した研究を対象とした部会である。対象となる研究分野は、核、熱流動、電磁気、構造、材料、システム、再処理、廃棄物関連など多岐にわたっており、分野・区分横断型の部会となっている。

2002年秋の大会時の2002年9月16日に設立総会が開催され、それ以降、7年間にわたって活動している。活動は、部会長、副部会長および総務、企画、出版・編集、広報、経理、表彰の小委員会により分担して進められている。部会長、副部会長と小委員会委員長により運営委員会を形成して、年に3～4回の運営委員会を開催している。また、春の年会時の総会では、役員、活動、予算

について議論するとともに、部会表彰も実施している。

部会員は2003年3月に210人であったが、2008年8月には学生5名も含めて240人と増加している。潜在的にはもっと多くの計算科学技術の専門家がいるはずであり、部会員の増強活動が必要であると感じている。

主な活動としては、熱流動部会との共催により「Dr. フォーラム」を秋の大会時において開催している。これは、若手研究者により、博士論文のテーマについてまとまった成果を時間を気にせずに発表してもらい、それについて討論するものである。1泊2日で行われ、昼夜の討論を通じて、研究の内容だけでなく、研究の取組み方、研究のあり方等について新しいアイデアが得られるものとして評判の良い企画となっている。国内外の会議の共催や協賛によって、計算科学技術関連の研究者の集まる場を提供している。さらに、2007年春の年会より、計算科学技術セッションを開催している。発表テーマは、熱流動、構造力学、材料科学、非破壊検査、中性子工学、計算手法、可視化技術など多岐にわたっている。毎回、発表件数は30件程度であり、計算科学技術について発表と討論を1.5日間にわたり実施している。また、2003年春の大会を1回目として部会企画セッションを11回開催し、ある特定のテーマについて数件の講演と討論を実施している。専門委員会の報告やタイムリーなテーマを選んで実施していることもあり、講演室がほぼ満員になっている。2008年9月には「耐震設計とスーパーコンピューティング技術」と題して開催し、好評を博し、マスコミにも取り上げられた。

広報活動としては、部会員にホームページやメーリングリストを通じて活動を部会員に周知している。ニューズレターを年に2回作成しており、部会の方針、計算科学技術に関わる解説や「一話一言」、部会での活動、表彰

Future of Computational Science and Engineering in Nuclear Power—Approaches from Computational Science and Engineering Division: Computational Science and Engineering Division

(2008年10月22日 受理)

の公募についてまとめている。これはホームページに掲載され、部会員以外にも公表している。さらに、2006年4月から2007年2月にわたり、日本原子力学会誌に「計算科学手法と原子力分野における応用」として、講座を連載した。これはその後、小冊子として出版し部会員に配布した。この小冊子を Dr. フォーラムや部会企画セッションにおいて積極的に配布して部会の活動を広く伝えるよう努力している。2007年以降に会員が15%程度増加しており、このような出版による広報が重要であると認識した。部会に係わる委員会活動も進めており、研究専門委員会、特別専門委員会が計算科学技術部会の担当として実施され、その活動成果が部会企画セッションへ反映されている。

2003年度より部会賞を設置し、部会功績賞、部会業績賞、部会奨励賞、部会 CG 賞、部会功労賞を授賞している。部会賞については、より多くの応募があるように、応募方法、周知の方法について検討を進めている。

本部会は設立後6年間の経過した。この間に部会員も増加し、活動も部会企画セッションや Dr. フォーラムのように定期的に進めてきている。さらに、国内外の会議の主催、講習会等を開催し、計算科学技術分野の学問としての発達に寄与していくことを検討している。

II. 原子力分野における計算科学技術の現状と課題

1. 核計算

核計算分野において、計算手法と計算科学技術は両輪のごとく発展してきた。計算機の能力が比較的低かった頃、といってもわずか10年ほど前であるが、近似的な取扱いに基づく計算手法が最も現実的な選択であった。例えば、2群拡散理論に基づく近代ノード法がその代表である。近代ノード法では、粗メッシュ内を均質化し、関数展開により求められた大局的な出力分布と別途求められた集合体内の局所出力分布を合成し、3次元の燃料棒出力を評価する。本手法は炉心解析の高度化に大きく寄与したが、出力合成に伴う不確かさや集合体内部の非均質性や集合体間の中性子エネルギースペクトルの変化など、近似的な取扱いに起因する不確かさが内在するのは否めない。近年、計算手法に起因する不確かさを最小限とする Best Estimate を目指して、より直接的に取り扱う計算手法やコードの開発が推し進められてきている。

この背景には、PC クラスタを中心とした安価で高性能な計算環境の発達がある。プロセッサ当たりの性能向上もさることながら、高速ネットワーク接続を備えた分散メモリ型の計算機クラスタが、比較的安価に入手できるようになった。これらの計算環境を十分に活かすべく、計算コードの設計・実装において、分散・並列計算が積極的に利用されるようになった。例えば、実機軽水炉を対象とした、3次元詳細メッシュ体系での多群輸送

計算²⁾や、3次元 Characteristics 法に基づく非均質計算³⁾がその一例である。また、計算コードの Verification & Validation (V&V) の目的で、連続エネルギー・モンテカルロ計算も積極的に利用されている。従来では、計算時間の観点から、実施が困難であった大規模体系の解析や燃焼計算への適用、また最近では動特性問題への応用への試みも行われている。

一方、オブジェクト指向スクリプト言語を用いたコード開発や、描画用プロセッサを用いた数値シミュレーションといった新しい試みも行われている^{4,5)}。前者は、既存のコードやデータを活用し、柔軟性・拡張性・保守性に優れたシステムを効果的に開発できる有効なアプローチである。今後、核設計のみならず、熱流動解析や構造解析とのカップリングシステムへの発展に期待したい。また、後者は従来に比べて100倍以上高速となる可能性を秘めており、今後の発展が期待される。

近年では、手法開発とコード開発はより密接になりつつある。その結果、対象分野と計算科学技術の両方に精通する技術者が求められる。このニーズに対する人材をどのように育成するかが今後の課題であろう。

2. 伝熱流動

伝熱流動分野における計算科学技術の発展と利用の拡大は目を見張るものがある。それは数値流体工学(CFD)技術の進展(例えば文献6)によることはいうまでもないが、商用ソフトウェアが安価で利用できるようになり、CFD が身近になったことも一因である。CFD 技術開発あるいは CFD を利用した研究発表は増加の一途をたどっている。伝熱流動は、計算科学技術部会の活動においてももっとも重要で活発な分野のひとつである。

CFD が活用され始めた背景には、CFD 技術が成熟したことに加え、計算機技術の進歩も重要な役割を果たしている。従来に比べて低コストで手軽に高性能計算機を利用できるようになったことは、CFD 利用の裾野拡大をもたらした。また、2012年に完成予定の次世代スーパーコンピュータの計算能力は地球シミュレータの250倍⁷⁾である。将来に向けて、CFD のさらなる進展と普及拡大は確実な情勢である。

加圧熱衝撃やボロン希釈混合、温度成層化などは重要な熱流動現象であるが、1次元システムコードでは所定の精度や空間解像度が得られない。これが、原子力分野での CFD 利用を加速した一因であり、原子炉安全解析では CFD に対する期待が高まっている。しかし、CFD コードには乱流や熱伝達、混相流、化学反応などに多くの経験モデルが用いられているので、安全評価の確信度を高めるためには CFD コードの検証が必要である。まず重要な現象に関する体系化された実験データの整備が必要である。モデルの性能評価を行うとき、メッシュサイズなどに起因する数値的な精度と物理モデルそのものの精度の問題とを明確に区別する基準も必要である。欧

米を中心に、安全解析にCFDを利用する上で重要な現象を同定し、モデルの検証データを体系化するとともに⁸⁾、CFD利用指針を作成する試み⁹⁾がなされていることは注目される。

CFD技術と計算機技術の発展と普及によりCFDが身近になるとともに使用経験が蓄積された。計算科学は原子力工学の発展には不可欠である。単相流についてはすでに多くの実績があり、商用CFDコードも広範に活用されている。混相流や反応流などはその現象の複雑さゆえ未だ課題が多いが、実験データの蓄積と計算機パワーの向上により、近い将来にブレークスルーがもたらされるであろう。安全解析にCFDコードを適用するときには、結果の信頼性と不確かさの評価が不可欠であり、CFDコード利用指針の確立や評価結果の不確かさに基づき適切な安全裕度を設定する方法論の提案が課題である。

昨今は研究者が自らプログラムを組むことは少なくなった。そのゆえか、ユーザー効果(解析者が異なれば解析結果に差異が生じること)が真剣に議論される状況である。精度やモデルを精査することなく手軽にCFDコードを利用することを戒めるとともに、CFD技術者の質の向上と裾野拡大を図ることが望まれる。原子力ネットワークの時代、熱流動・安全解析のための標準コードに対するニーズと期待は高く、国産標準コード開発プロジェクトを興すことも一案である。

3. 構造

原子力分野における構造の問題は、原子炉压力容器や配管系、蒸気発生器、シュラウドなどの構造機器等に発生する応力・ひずみの評価と形状の設計の問題と、それらを構成する材料の強度特性(破壊靱性、疲労特性、クリープ、腐食等)の把握に関する問題に分けられる。特に原子力に使われる材料は、高温での使用、長期にわたる使用、放射線照射の影響などを受けるため、それらの影響も加味した材料強度特性の把握が重要となる。

以前は、材料強度特性を把握するには実験しか方法がなかった。しかし、最近では、分子動力学法、モンテカルロ法、転位動力学法などの計算科学的アプローチにより、照射脆化のようなある種の材料強度特性に関しては、そのメカニズムを理解できるようになりつつある。依然、実験的アプローチの優位性は揺らがないが、原子力極限環境を模擬する実験条件を整えることは大変難しく、高価でもあるため、今後の計算科学アプローチに期待するところは大きい¹⁰⁾。

現実の構造物の内部に発生する応力やひずみを直接計測する手法はないため(ひずみゲージは構造物表面のひずみ・応力を直接測定することしかできない)、比較的早い時期から有限要素法が構造解析に用いられてきた。原子力構造分野が有限要素法の発展、さらには計算力学の確立に果たした役割は大変大きい。しかし、原子力構造分野では、当時の先進的な取組み(Design by

Analysis)として、設計規格が2次元の線形弾性解析を基礎とする設計理論体系に基づき整備されたことと、国内では長らく欠陥の存在が許容されなかったことから、その後の計算力学の発展が設計に反映されなかった。このため、研究者レベルでは、さまざまな非線形解析手法の開発や破壊力学手法の開発が進められたものの、たとえば自動車業界のように、設計段階において、自動車の丸ごと衝突解析などを行うという発想はなかった。

しかし、原子力の分野でも、次世代炉の開発において炉条件を正確に把握し、そこでの構造設計を行うためには、3次元熱弾塑性解析が必須となってきており、また、さまざまな連成解析が行われるようになってきている。また、大きな変化として、21世紀に主役となる超並列計算機環境で効率的に稼働する次世代の計算力学システムADVENTUREの開発が1997~2002年に行われ、オープンソースのADVENTUREシステム¹¹⁾がリリースされたことにより、状況は一変する。詳細は、2001年12月号の日本原子力学会誌に「計算科学とバーチャル実証試験—学振未来開拓ADVENTUREプロジェクトが提示する近未来」¹²⁾に譲るが、実験の補完にすぎなかった構造解析が、数億節点規模の大規模解析モデルを用いて直接実機の丸ごと解析が可能なレベルに変ぼうし、従来の実験ベースの「実証試験」の代替を志向する「バーチャル実証試験」の主要な手段となりつつある。

構造・材料の問題を従来の慣例に従い分けて記述したが、実機のバーチャル実証試験においては、構造と材料の問題は不可分であり、ミクロからメゾ、マクロの広いスケールの理論、アルゴリズム、ソフトウェアが、互に刺激しあいながら進展し、統合され、新しい工学アプローチを生み出していくものと期待している。

III. 計算科学技術部会の将来の取組み

本稿を書くに当たって創刊号から最新11号のニュースレター¹³⁾により、当部会歴代部会長等による巻頭言をホームページからダウンロードし、目を通して見た。創刊号では、時代の先頭を走っていた原子力のコンピュータ利用が設計等の基準への過度の依存により牽引車としての地位を失い、自動車産業などにトップの座を奪われている現状を踏まえつつ、実験よりもリアルなシミュレーションが可能となりつつある今後を期待を込めた矢川初代部会長の稿があり、また、第2代の竹田部会長は原子炉設計のVirtual realityにより、実験に置き換わる計算科学の応用を語られた。第3代の岡部会長は計算科学技術部会の活動を部会員や原子力学会員に、より“見える”ようにするために、下記の具体的な課題を挙げている。

1. 計算科学技術に関する解説の学会誌への連載
2. 学会の年会あるいは秋の大会での部会企画講演
3. 若年研究者のためのセミナー

4. 部会ホームページの充実

5. 部会員への有用情報の発信。例えばセミナー、研究会、国際会議、各機関の活動、新聞発表などの会員へのメールの発信

これらの課題はこの後を引き継いだ歴代部会長を中心とする役員諸氏の尽力により、「計算科学手法と原子力分野における応用(のち小冊子への編集)」, 2003年春の年会総合講演「計算科学の方向」を初めとする、その後の春・秋の企画セッションの開催、熱流動部会との共催による「Dr. フォーラム」、専門分野としての「計算科学技術分野(第Ⅲ区分コード番号313)」の設立等、多くがほぼ実現され継続されてきている。また、部会員への有用情報の発信についても、メーリングリスト、ニュースレターを活用中であり、やや質素な印象のある部会ホームページについても、今年度の広報小委員会により華麗な変身を遂げる計画が練られているところである。

このように、当部会は着実に実績を上げつつ部会としての形を整え、部会員数も増加傾向にはあるが、米国原子力学会の当該部会である MCD(Mathematics and Computation Division)の1,000人を超える会員数¹⁾と比べると現状の部会員数約240名はやや少ない感がある。そこで至近の目標として、今年度は以下の活動方針を掲げている。

- (1) 情報発信
- (2) 学会発表と論文投稿の呼びかけ
- (3) 次世代コンピューティングシステムへの貢献
- (4) 国内外会議、セミナー等の開催、共催、協賛
- (5) 部会員の増加
- (6) 部会賞の授賞

(2)の論文投稿に関しては、論文投稿時に当部会の専門分野コードを設けるよう、編集委員会に働きかける予定である。また、部会員の増加については、様々な機会をとらえて部会入会への働きかけをする予定である。

さて、以上のように、部会設立から7年目に入り、これまでおよび現在の活動を振り返ったが、「実験に置き換わる計算科学の応用」や「現実の運転条件を超えた事故条件下における原子炉の挙動のシミュレーション」など部会発足当時からの“夢”、“期待”、“あるべき姿”に対する将来の取組みについてはどうあるべきであろうか。

筆者はメーカーの研究所に入社以来、原子炉の安全解析、熱流動解析に従事し、現在は、規制側の安全解析・評価に係わり、コンピュータの性能や解析コードの変遷・高度化を身をもって体験しているが、結果を得るのに数ヶ月かかるような数値シミュレーションには、それがいかに詳細であってもあまり魅力を感じていない。計算対象の空間的・時間的な規模によるが、予測精度はまずまずながら多角的な検討が可能な計算コードがまず必要であり、今後の技術継承の観点からもコンピュータの性能に見合った計算精度と計算時間で解析でき、か

つ、不確かさを定量的に評価できる解析技術および技術者の育成が重要と考えている。

一方、地球シミュレータを始め、計算性能が数年で1桁以上高速化するハードウェアや計算機アーキテクチャーの発展があり、その機能を使い切るソフトウェア、評価手法の開発も重要である。大規模数値シミュレーションは、実験に置き換わる計算科学の具現の一つの形であるが、大規模並列計算は既存のプログラムでは困難で、コードの再構成が必須という¹⁾。したがって、それらに係わる計算科学者と利用者としての解析技術者との連携が重要であり、部会活動では、設立の原点に立ち返り原子力に係わるすべての計算工学分野の研究者が一堂に集まり、計算工学の研究をとおして交流できる企画を立てていく必要がある。

(執筆担当 東北大学・高木敏行, 原燃工・巽 雅洋, 大阪大学・山口 彰, 東京大学・吉村 忍, JNES・笠原文雄)

—参考資料—

- 1) 計算科学技術部会設立趣意書, <http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/division/csed/intro/>
- 2) M. Tatsumi, *et al.*, “Performance of a Fine-Grained Parallel Model for Multi-Group Nodal-Transport Calculations in Three-Dimensional Pin-by-Pin Geometry”, SNA 2003, Sep. 2003.
- 3) 儀宝明德, 他, “Characteristics 法に基づく3次元輸送計算コードの開発;(2)ASMOC 3Dに基づいたSHIKOKUコードの開発・検証”, 原子力学会「2008年秋の大会」予稿集, A 32, (2008).
- 4) K. Yokoyama, *et al.*, “MARBLE: A next generation neutronics analysis code system for fast reactors”, PHYSOR 2008, Sep. 2008.
- 5) 小玉泰寛, 他, “GPUの汎用開発環境CUDAを用いた中性子輸送計算の高速化”, 原子力学会「2008年秋の大会」予稿集, A 39, (2008).
- 6) H. Ninokata, “Computational fluid dynamics and simulation-based design approach for tight lattice nuclear fuel pin subassemblies”, NURETH-12, Oct. 2007.
- 7) 姫野龍太郎, “次世代スーパーコンピュータがもたらす新たな地平”, 原子力学会「2008年秋の大会」予稿集, TN 16, (2008).
- 8) D. Bestion, “Review of available data for validation of NURESIM two-phase CFD software applied to CHF investigations”, NURETH-12, Oct. 2007.
- 9) OECD/NEA, Best Practice Guidelines for The Use of CFD in Nuclear Reactor Safety Applications, NEA/CSNI/R, 5 (2007).
- 10) 日本原子力学会材料部会, “高度開閉技術が原子力材料研究に与えたインパクト—最新技術でここまでわかってきた”, 日本原子力学会誌, 50(10), 630-634, (2008).
- 11) <http://adventure.sys.tu-tokyo.ac.jp>
- 12) 吉村 忍, “計算科学とバーチャル実証試験—学振未来開拓 ADVENTURE プロジェクトが提示する近未来”, 日本原子力学会誌, 43(12), 1185-1190(2001).
- 13) 計算科学技術部会ニュースレター <http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/division/csed/activity/newsletter.html>
- 14) 計算科学手法と原子力分野における応用, 原子力学会計算科学技術部会編, p.56(2007).

部会活動 水化学部会

水化学の現状と今後の展開

プラント運転の安全性・信頼性の一層の向上を目指して

水化学は原子力学会における50年の活動の中では比較的若い学問分野である。原子力プラントの本格的稼働開始後、燃料破損に伴う放射性核分裂生成物の放出、放射性腐食生成物の蓄積によるプラント停止時の線量率の増大とこれに伴う従事者の被ばく線量の増大など、原子力発電プラントでの冷却水に係わる諸課題に対応するため、1970年代半ばから学会活動が始まった。部会としては、24年間にわたる「研究専門委員会」としての活動を経て、2007年7月にスタートした若い部会である。プラントの安定運用に直接係わる技術であり、ニーズ志向の強い分野で、構成部会員も化学だけでなく、機械、電気、物理ほか、幅広い専門家の集団である。水化学管理は、構造材料、燃料の健全性に直接、間接的に関与しているため、プラントの安定運転と密接につながっており、その改善を通じて積極的にプラントの信頼性向上に寄与しようとしている。同時に、プラントの安全管理上、避けて通ることができないプラント内外の放射線場にも深く関わっている。本稿では、水化学部会の実プラントの安定運転への寄与と同時に、学問体系としての基盤技術について紹介する。

I. はじめに

原子力学会が設立された当初から、燃料、核分裂生成物関連を中心とした化学分野は間違いなく存在したが、現在でいう水化学の面影は見ることができなかった。火力プラントを中心とした材料の腐食の研究そのものは、1900年初頭のMITのW. R. Whitneyらに端を発しており、1960年代には、MITのH. H. Uhligの教科書『Corrosion and Corrosion Control』が世に出て、冷却水の各種薬液処理など伝統のある分野を形成しているが、原子力に固有の水化学として頭をもたげてきたのは、P. Cohenの『Water Coolant Technology of Power Reactors』(1969年)が草分けで、国内では1970年代半ば頃から形を成してきたものと考えられる。

一方で、敦賀1号炉、福島第1発電所1号炉、美浜1号炉など、国内の第1期の軽水炉が運転を始めると、軒並み燃料破損に悩まされ、構造材の腐食に係わる諸課題への対応に忙殺されると同時に、その対応に係わる従事者の被ばく線量の増大という課題に直面した。このため、冷却水の採取・分析、被ばく低減を主対象とした水化学制御に係わる研究が増大してきた。そうして、1982

年、「水化学」研究専門委員会が発足し、電力会社、原子力関連メーカーと大学、その他の技術者、研究者が一堂に会して議論する場が形成された。当時から、世界的にも水化学関連の技術交流組織を持つ国は珍しく、世界に先駆けて、水化学分野の組織化がなされたものと考えられる。

以下、原子力学会活動としての水化学の歴史を振り返り、これまでの主要成果をレビューするとともに、現在直面する課題とそのための対応戦略、水化学部会としての役割について記述する。

II. わが国の水化学の歴史

1959年に日本原子力学会が設立されて以降、日本原子力学会誌には10年ごとに記念特集として、各分野の技術の進歩が紹介されている。水化学に係わる主なトピックスを国内外の動向と合わせて第1表に示す。

現在の水化学分野に係わる技術紹介は、1979年の20周年特集で、「軽水炉は完全な導入技術で、材料の腐食などのトラブルに対応する基礎データを持たず、苦しんだが、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」との記述が見られたのが最初で、1989年の30周年特集では、1986年に一定期点検あたりでの被ばく線量が世界最小という当時のチャンピオンデータを記録した後でもあり、「被ばく線量の問題は収束に向かい、これからは材料との関連が重要である」と記されている。水化学分野における研究開発のベクトルも、BWRでは応力腐食割れ(IGSCC)、PWRでは蒸気発生器の伝熱管

Latest Experiences and Future Research of Water Chemistry—To Establish Advanced Water Chemistry Technologies as One of Key Technologies for Safer and More Reliable Plant Operation: Division of Water Chemistry
(2008年 11月 4日 受理)

第1表 水化学の歴史的イベント

イベント	特記記事
1959年 日本原子力学会設立	
1969年 学会10周年記念誌 敦賀-1炉運転開始	原子炉化学では核分裂生成物, 超ウラン元素に言及 翌年, 福島第1-1炉, 美浜-1炉運転開始
1977年 原子炉水化学国際会議(英国)	水化学管理, 放射性腐食生成物挙動等を議論(以後2~3年ごと)
1979年 学会20周年記念誌[炉化学]	動力炉の燃料・構造材の腐食に係わる化学の重要性に言及
1982年 「水化学」研究専門委発足	以降6期にわたり100名近くの会員で研究会活動
1986年 定期点検当り世界最小被ばく線量達成	19人レム/プラント(柏崎刈羽1号機)[原子力学会賞特賞]
1988年 第1回 JAIF 水化学国際会議(東京)	
1989年 学会30周年記念誌[炉化学]	原子炉冷却系の水化学の重要性, 研究状況を紹介
1991年 第2回 JAIF 水化学国際会議(福井)	
1993年 日台水化学 세미나(台北)	水化学の経験を共有化(2年ごと, アジア水化学セミナーに移行)
1998年 第3回 JAIF 水化学国際会議(柏崎) 国際ラジオリシスワークショップ(川崎)	ラジオリシスと電気化学について議論(以後1~2年ごと)
1999年 学会40周年記念誌[原子炉水化学]	高経年化炉対応による水化学による予防保全を紹介
2003年 アジア水化学セミナー(福岡)	アジアでの水化学の経験を共有化(2年ごと)
2007年 水化学部会発足	核燃料部会, 材料部会ほかとも協調した活動を指向

の腐食に重点が移行し, 1999年の40周年特集では, 高経年化プラントの予防保全についての記載が中心となっている。

このように, プラントでのさまざまなニーズに応じて, 主対象とする課題も変遷してきたが, この数年, プラントの出力向上に代表される利用の高度化, 高経年化対応, そして燃料の高度化が原子力分野の中心議題となるにつれ, 従来にもまして, プラントの運用において, 水化学の重要性が高まってきた。材料, 燃料の部門との協調の重要性も指摘され, 先行して部会化した両部門ほかと連携するため, また, 継続性を持って水化学標準や水化学ロードマップ¹⁾の制定・改訂を行うためには, 部会化が不可欠との判断から, 2007年に水化学部会として再発足した。部会発足の経緯は「原子力プラントにおける水化学の課題への取り組み」²⁾に詳しく記載した。

Ⅲ. 水化学技術の現状

原子力プラントの中で水化学技術は, プラントの運転状況に応じて比較的フレキシブルに対応可能な運用管理技術として直接, 原子炉の安全性, 信頼性, 経済性等に係わっているのが特徴といえる。すなわち, 構造材の腐食損傷の抑制, プラント線量率, 廃棄物発生量の抑制などの目的に沿ってプラント独自の水化学制御を採用している。水化学部会では, ①被ばく・廃棄物低減, ②構造材・水相互作用(SWIS), ③燃料・水相互作用(ZWIS), ④水化学ロードマップフォローアップ, ⑤化学管理, ⑥定例研究会の6つの小委員会を組織して, 活動を行っている。以下, 主要な技術動向を紹介する³⁾。

1. 放射線被ばく線量低減への対応技術

プラントの作業従事者の受ける被ばく線量に関して

は, かつて世界をリードする立場であったものが, 現状, 残念ながらわが国のレベルは世界の中で劣位にある。この原因として, 作業量や運転サイクル期間があるといわれている。プラント線量率を見る限り, むしろわが国のプラントは世界的にも優位な位置づけであるが, 運転サイクル期間が米国等に比べて短く, 定期検査頻度が多いうえに, 定期検査時の作業量が多い。今後, プラント利用の高度化や燃料の高度化が進むに伴い, 水化学の観点からは放射性腐食生成物の蓄積が加速され, 線量率が増大する可能性があるため, 事前の抑制策を準備することが必要である。

これまで, 国内BWRのプラント線量率抑制手法として, 炉内に適量の鉄クラッドを持ち込み, 燃料棒表面に⁶⁰Coを固定化して炉水放射能濃度を低減する手法と, 逆に, 給水系からの鉄持込みを極力低減しニッケル濃度を高めて, 配管表面への⁶⁰Coの取込みを抑える手法が提案され, おのおの実機に適用されてきた。一見, まったく逆の方向のように思えるが, それぞれ配管表面への⁶⁰Co蓄積抑制の基本に沿った発想に基づいており, 線量率抑制に貢献し, 世界の中でもトップレベルの成果をもたらしている。近年では, これをさらに改良し, より良い鉄制御を指向しつつある。

また, プラント線量率を抑制する技術として, 従来, BWRで適用されてきていた亜鉛注入が, 昨今は, わが国のPWRにも適用されつつある。この技術は配管表面の酸化皮膜中に亜鉛を取り込ませることで⁶⁰Coなどの放射性腐食生成物の蓄積を抑制するものであり, 特に強還元環境下で効果が大きい。すでに実績もでてきており, その評価に基づくきめ細かな水化学制御により線量低減に寄与していくものと期待される。

2. 腐食環境緩和技術

構造材の健全性確保はプラントの高経年化対策上、重要なポイントとなり、総合的な対応が必要である。その中で、水化学には、供用期間中材料が使用される環境をマイルドにすることで、腐食を抑制し材料の寿命を延伸する効果をもたらすことが期待される。

BWRでは、商用運転の開始以来、構造材料のIGSCCが重要課題であったが、近年になってこの状況は変わらず、多くの努力が継続されている。この中で、IGSCCの機構解明と並行して環境面からの改善技術の開発が推進され、当初の水素注入に加え、貴金属を炉内に注入し少量の水素との組合せで腐食環境を大幅に改善する技術(NMCA)が実用化された。NMCAの普及と並行して、わが国では、TiO₂注入など、より効率的、経済的な環境緩和技術の開発が進められている。また、PWRにおいても水素による強還元環境を基礎にしながらも、1次系での応力腐食割れ(PWSCC)対策の観点から水素濃度の最適化に関する検討が進行中である。

上記のBWRでの水素注入は定格運転時が対象であるが、一方、温度変化が大きく、過渡的な応力条件が厳しい原子炉起動時の環境で腐食性成分を抑制する手法が国内で提案され、世界で始めて実機に適用されている。起動時には給水系が使えないため、通常運転時の水素注入とは異なる注入モードが必要である。環境緩和は運転サイクルの全期間にわたり継続することが理想であり、起動時水素注入はこの点を改善するものとして、すでに数プラントでの適用例がある。このような環境改善技術の効果を検証するため、腐食電位(ECP)センサによる炉内での直接計測と解析モデルを組み合わせた評価が採用されている。今後、環境面での改善効果を維持基準のなかに反映していくため、これらの評価プロセスを標準化していくことも重要な課題となっている。

また、2004年に発生した美浜3号機2次系配管破損事故に端を発する流動加速腐食(FAC: Flow Accelerated Corrosion)問題への対応も、今後、水化学が取り組むべき重要課題のひとつである。

3. 燃料高度化への対応技術

構造材の健全性維持あるいは線量率低減のための水化学制御の変更、さらに軽水炉利用高度化に際しては、燃料への悪影響に細心の注意が払われる。これまで、BWRにおける水素注入やNMCA、それにBWR、PWR共通のZn注入のいずれでも、まず燃料への悪影響がないとの見通しを得て採用し、燃料検査でこれを確認している。

その一方で、燃料被覆管材の腐食評価では、炉外実験による実炉事象の再現が難しいという理由で、一部高温蒸気条件下の加速試験を除くと、実炉あるいはインパイル実験炉でのデータ取得に頼ることが多かった。実炉と

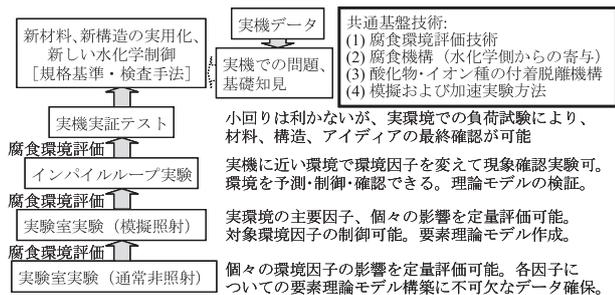
炉外実験のギャップに関する因子の一つとして、放射線照射下で水が分解して生成する腐食性成分の影響が考えられ、この影響を加味することで、このギャップが埋められる見通しも得られている。燃料の高度化に伴う被覆管材の腐食あるいは水素吸収に伴う諸課題についての知見を先取りし、耐食性の高い材料を開発するためには、温度による加速と同時に、腐食性分解生成種の影響を加味することが重要である。さらに腐食機構の解明が進めば、開発期間の縮小が達成できるものと期待される。

燃料に係わる無視できないもう一つの動向は米国Callaway炉で顕在化し、米国およびフランスで深刻な課題となりつつあるPWR燃料の軸方向出力異常(AOA: Axial Offset Anomaly)である。サイクル末期に燃料表面にクラッドに伴われてボロンが析出し、燃料上部で出力が極端に低下して、所定の炉出力が得られなくなる事象である。国内では、燃料サイクル期間が短く、これまで事例は報告されていないが、ロードマップでも検討されているプラント利用の高度化に伴い、サイクル期間が伸張されると顕在化する可能性がある。燃料上部でのサブクール沸騰、クラッド濃度などとAOAの相関を明確にして、あらかじめAOA対策を講じておくことが、電力の安定供給の観点からも強く望まれる。現在、IAEAが中心になり、水化学の視点から、クラッドの析出とボロン濃縮の相関を機構論的に解明するプロジェクトが進行している。核燃料部会、発電炉部会とも協力し、AOA発生の未然防止に努めることが重要である。

4. 水化学を支える共通基盤技術

原子炉における腐食環境は、火力発電プラントほかの冷却系と比較すると、放射線照射の影響が顕著である点が特徴である。プラント全体の腐食環境の把握と放射線の直接あるいは間接照射下での冷却水と被覆材・構造材の相互作用の解明を行うことが不可欠である。

放射線照射が腐食環境に与える影響を定量化し、実験室での再現実験を可能とする技術の確立が急務となる。腐食環境の定量化は理論的な評価、すなわち、ラジオリシスモデルによる評価と高温水化学センサを用いた実験的な評価、を両輪として展開する必要がある。同時に、放射線照射効果を加味した上で、腐食環境が材料に及ぼす影響を、材料と水の境界に位置する酸化皮膜の挙動、特性評価を通して、定量化することが不可欠となる。また、酸化皮膜あるいは析出した酸化物は、相互作用の結果であると同時に、相互作用を加速あるいは緩和する働きがあるため、腐食あるいは析出過程を解明すると同時に、それらの腐食に及ぼす影響を評価することが肝要である。これらの知見に立脚して、材料と水化学の相互作用の再現実験、加速実験技術を確立して、線量率の低減、構造材および燃料の健全性の維持・向上ならびに放射性廃棄物発生量の低減のための技術開発に資することが重



第1図 原子炉構造材・燃料・水化学の基礎研究から実証研究までのアプローチ

要である。

各課題に共通な基盤技術としては、第1図に示すように、4つの具体的項目、(1)腐食環境評価技術、(2)腐食機構(主として水化学側からの寄与)、(3)酸化物・イオン種の付着脱離機構、(4)模擬および加速実験方法を取り上げた。腐食環境評価では、BWR, PWRのいずれでもラジオリシスモデルが共通手段となる。これまで、主として腐食環境の理解の手段として適用されてきたが、さらに積極的に、モデルの高精度化、標準化を図り、水化学制御を、燃料、構造材の信頼性確保の手段として、認知されるようにすることが重要である。また、各種高温水化学センサの信頼性向上を図り、水化学制御の有効性確認のモニタとして採用することが急がれる。かかる基盤技術に支えられて、非照射あるいは照射模擬条件の基礎実験から、実験炉を用いたインパイル実験、そして実炉での実証実験へと規模を拡大し、着実にデータを蓄積して、目的とする燃料、構造材の信頼性確保、被ばく線量および放射性廃棄物発生量の低減に資することが重要である。

IV. 今後の展望

火力発電プラントほかのエネルギー源を凌駕して、中核エネルギー源の座を占めるためには、プラントの線量率および放射性廃棄物発生量を極限まで低減し、クリーンプラントを実現することが重要である。特に、原子力エネルギー受容性の判断の一つが放射線環境にあることを考えると、これを極低レベルに低減することは大きな意義を有する。この実現のためのハードルは高く、達成は一筋縄ではゆかぬことは承知しているが、「次世代軽水炉」の開発でも、被ばく線量を現状の約1/10に低減する目標を掲げている。革新的なアイデアの創出が必須であるが、水化学の果たす役割は大きい。

燃料、構造材共に、諸課題のルーツは腐食にある。前

章にも記載したように、原子炉固有の放射線の直接あるいは間接照射が腐食環境あるいは腐食現象に及ぼす影響が大きい。この影響はラジオリシスモデルを用いて予測、定量化可能である。燃料・構造材の腐食現象は、それぞれの分野に閉じこもって解決せず、材料・核燃料・水化学の各部会が一体となって取り組んで初めて解決できるものとする。その手始めとして、昨年度から合同企画セッションの試みも開始している。

諸外国先行炉の事例を参考に問題解決に当たればすむ時代では、与えられた課題に逐一对応すれば済むが、世界のフロントランナとの自覚を意識すると問題の発生箇所を予測し、事前に対処する必要がある。燃料の高度化、プラント利用の高度化そして高経年化対応が同時に進行し、それぞれが最大限の努力を発揮して、新しい概念、ハードを作り上げてゆくと、それぞれのカバーする領域以外で新しい課題が発生する可能性が高い。原子力発電部会、熱流動部会も含め、異なった領域をカバーする部会との協調が必然的に重要となる。

水化学部会の抱える問題の一つは、学術機関からの参加が極端に少ない点である。水化学という分野の発生が、プラントの運用に深く関わっていたため、具体的な課題が外部から十分には理解されなかった経緯もあって、関係者以外からの参入の障害となっていたと考える。将来の人材確保の観点も含め、透明性を高め、広く人材を集め、技術の裾野を広げ、高めることが必要である。

水化学に関する技術体系の標準化、規格化も重要な課題であり、これを通じ、原子力プラントの信頼性向上、安定運転に寄与していく所存である。

(執筆担当：日立 GE・布施元正, JAEA・内田俊介,
東京大学・勝村庸介, 三菱重工・荘田泰彦,
原電・瀧口英樹)

—参考文献—

- 1) 「水化学ロードマップ検討」特別専門委員会, “原子炉水化学ロードマップ”, *ATMOΣ*, **50**, 307-312(2008).
- 2) 水化学部会, “原子力発電プラントにおける水化学の課題への取組み—水化学部会ゼロ歳の抱負”, *ATMOΣ*, **50**, 506-510(2008).
- 3) 「水化学標準」研究専門委員会, “原子力の安全と信頼を支える水化学の役割と課題—軽水炉新時代の技術課題への取組み”, *ATMOΣ*, **49**, 365-370(2007).

部会活動 原子力安全部会

原子力安全部会の設立と今後の活動計画

原子力安全部会は、2008年7月に設立総会を開いた新しい部会である。本部会は、安全確保の基本的考え方、体系的な原子力法制、より合理的な安全規制等、原子力安全に特有な課題について、研究者間の交流と情報交換を行う。また、原子力安全は様々な技術分野の知識を総集すべき分野であることから、学会内外の他の組織と積極的に協力する。原子力安全は社会的関心の大きな問題でもあるから、学会外部から示される期待に対応する活動も進めていく。

I. 原子力安全部会の歩み

原子力安全部会は、2008年6月の理事会で承認され、7月に設立総会を開いた新しい部会である。現在は今後の活動について方針案を定めた段階であり、まだ活動の成果と呼べるものはない。ここではまず、設立に至った経緯と設立の趣旨について紹介する。

近年、原子力学会をはじめとする学協会は、原子力安全に関して従来以上に直接的に貢献することが期待されている。たとえば、規制行政当局からは規制に必要な技術基準の性能規定化等が進む中で規制上の要求事項を具体化するために、また産業界からは自らの安全確保への取組みについての説明責任を果たすために、標準・規格の策定が期待されている。産官学でどのような研究を実施すべきかという、安全研究ロードマップの策定への期待もある。産業界における原子力施設の安全やリスクに関する情報の共有・発信なども学協会が担うべき役割の一つである。

原子力学会は、こうした社会からの要請に応えるべく、以前から標準委員会における標準作成などの活動を精力的に進めてきたが、このような持続的な活動に加えて、原子力安全に関する新たな取組みも行ってきた。2007年3月に明らかになった志賀1号機の臨界事象に関して、多様な専門家からなる調査委員会を設置して調査分析を行い、2008年3月にはその成果を「制御棒引き抜け事象調査委員会報告書」としてまとめている。2007年7月の中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の被災に対しては、2008年3月に「原子力発電所地震安全特別専門委員会」を発足させ、関連する他学会とも連携して、技術課題の抽出・検討、研究ロードマップの策定、規格・基準の策定に向け、中心的な役割を担おうとしている。

技術基準の性能規定化等よりさらに大きな安全規制の

法的枠組み、すなわち原子力法制についても、抜本的な見直し案を検討すべく、2008年2月に「原子力法制のあり方検討会」を発足させている。2008年度に入っては、広報情報委員会を中心に、原子力安全に限らず社会的影響の観点で重要な事項について、学会としての技術的見解(ポジション・ステートメント)をまとめる作業を始めている。また、2007年11月の原子力委員会決定で「学会等は、異常事象に関する事業者等の発信情報や報道内容等に対して専門家の見解が求められる場合には、国や事業者から独立した中立的な立場から適宜にわかりやすい解説をすることができるような窓口として原子力110番を設置するなど、体制の整備について検討することを期待する。」との記述がなされていることに対し、この期待にどう応えるか、企画委員会を中心に検討を進めている。

原子力学会では、原子力安全にかかわる個々の専門分野、たとえば、材料、燃料、炉工学、炉物理、熱流動といった技術分野についての部会はすでに設置されており、それぞれの部会はその中で積極的に活動し、原子力安全についても個別の分野ごとに議論・検討されてきた。しかしながら、原子力安全そのものを対象とし、安全の横串を通ず機能を有する部会は設置されていなかった。

学会理事会はこうした現状を踏まえ、また、前述の制御棒引き抜け事象を契機として、原子力安全にかかわる活動をより積極的かつ横断的に進めていくことが必要と認識し、その活動の基盤として、「原子力安全部会」を設置することとした。本来、部会はボトムアップで設立されるのが原則であったから、こうした理事会主導の部会設立は異例のことである。

原子力安全の対象は、原子力発電、再処理をはじめとする核燃料サイクル、放射線利用、放射性物質の輸送、放射性廃棄物の処分等の分野における、立地、設計、運転、保守、解体といったきわめて広範囲にまたがる。また、これらの検討のためには種々の専門分野の知識を総

合化し、各分野においても原子力安全を意識した活動を推進する必要がある。

原子力安全部会は、原子力安全に特有の分野において、知識の集約や普及・向上に努める。本部会はまた、学会内外の専門家・専門組織と協力して、原子力安全に係る事項について議論・検討し、知識の集約と体系化を図る。すなわち、本部会のみが安全を検討するのではなく、各機関・各分野における原子力安全に係る活動が推進されるよう、協力および支援の活動をする。

原子力安全に対しては、事業者、メーカー、研究機関、規制当局、地方自治体、立地地域住民等、多くのステークホルダが関与し、かつ、原子力安全を正しく理解することを欲する人も多い。本部会は、公平・公正な立場で、原子力安全に係る事項を適切に整理・分析してその結果を広く発信していくこととする。特に、一般の方々や立地地域住民に対しては、安全問題をわかりやすく解説していくこととする。

II. 原子力安全に特有の分野における課題と部会の取組み

原子力安全の確保のためには、前述のように、多くの分野の専門知識を総合化することが必要である。しかし、「原子力安全」はそれ自体がひとつの専門分野であり、特有の検討課題がある。ここで、原子力安全に特有な課題とは、原子力安全確保の基本的考え方、体系的な原子力法制および規制上の要求事項を具体化した指針・基準類、より合理的な安全規制のあり方、より実効的な原子力防災、長期的な原子力安全研究計画、安全解析手法の高度化や結果の利用法、安全にかかる問題でのコミュニケーションなどである。こうした問題に対しては、本部会が自ら取り組んでいくことになる。

1. 原子力安全確保の基本的考え方

原子力の安全はどうすれば確認あるいは論証されるのか。深層防護の思想など、このような問題に係る基本的な考え方は、IAEAの安全基本原則等に示されており、国際的に共通認識がある。わが国においては、1984年に旧原研の佐藤一男氏(後に原子力安全委員会委員長)が『原子力安全の論理』なる書物をまとめ、それが原子力安全界のバイブルのひとつとなっている(2006年2月にその改訂版である『改訂 原子力安全の論理』が出版されている。)

しかし、こうした基本的な考え方についても、たゆまぬ見直しは必要である。今後は特に、確率論的安全評価(PSA: Probabilistic Safety Assessment)の考え方を反映していくことが課題である。PSAは、単に原子力に係る施設や活動がもたらすリスクを定量化する技術ではない。PSAは、深層防護の思想がどれほど十分に実現されているかを検証する技術であり、放射性物質に対する

多重のバリアと深層防護の関係、安全評価における事象分類の論理的説明、設計基準事故とシビアアクシデントの関係、施設を構成する機器の信頼性と施設のシステムとしての安全性能の関係、安全設計の妥当性評価における単一故障の仮定の説明等に有用な知見を与えるものである。

7月3日の原子力安全部会設立総会では参加者より、安全確保に関する基本的な考え方は、若年層まで含めて十分な理解が大事との意見があった。本部会は研究会を設置して、さらに確固たる安全の論理について検討するとともに、それをわかりやすいガイドにまとめて関係者に広く普及していく活動を進めていく。

2. 体系的な原子力法制と指針・基準

わが国の原子力法制については、長期間にわたって抜本的な見直しがなされてこなかったことから、東京大学において「原子力法制研究会」の活動が始まっている。その成果について、より開かれた場で議論すべく、原子力学会は2008年2月に「原子力法制のあり方検討会」を発足させている。

原子力安全委員会も、安全審査のための指針の体系化を検討しており、原子力安全・保安院も基準類の整備を性能規定化とともに進めている。しかしながら、この指針・基準類について、関係者の中に「あるべき姿」の共通イメージが得られているかは疑問である。法的には安全規制の判断基準は「災害の防止上支障がない」ことであるが、現在の指針・基準類が必要十分なものかどうか、その整備は誰が担当すべきかなど、根本に立ち戻った議論が必要である。

さらにもっと大きな原子力法制の全体体系については、長い間議論さえ行われてこなかったという状況にある。わが国は、基本設計を入念にチェックして設置許可を与え、詳細設計は基本設計に照らしてチェックするという段階規制を基本としている。このため、サイトが決まらないと設計の妥当性の審査が行われなるとか、設置許可内容の拘束が強く、実際の機器の実力が規制に反映されない、安全性向上のための改造でも手続きが面倒などの問題点が指摘されている。また、事業規制が基本であり、物質規制や施設規制でないことからくる問題もある。一方、米国では建設と運転の許可を同時に与えるコンバインド・ライセンス制度の導入など、制度改革が進んでいる。わが国のプラントメーカーの国際化が進む中で、原子力法制全体の見直しは必然であり、その検討の場は開かれたものでなければならない。この課題に対しては、本部会内に研究会を設置し、東京大学の原子力法制研究会の成果等を踏まえて検討していく予定である。

3. 合理的な安全規制のあり方

規制のあり方については、従来から「効果的・効率的

規制(Effective and Efficient Regulation))や「継続的な改善(Continuous Improvement)」といった、国際的に共通の合言葉がある。こうした方向性の下、わが国でも、規制当局による検査のあり方が変わり、また、リスク情報(PSAの結果)を活用する規制も模索されている。

しかしながら、リスク情報を活用する規制についても、関係者の認識は必ずしも一致していない。原子力安全委員会は安全目標案を提示するに当たって、安全目標は規制の妥当性を判断するために用い、少なくとも当面は個々の施設の安全性の判断には用いないと表明しているし、原子力安全・保安院もまた、規制は原則として決定論的規則に基づくべきであり、PSAの結果は決定論的規則に代表される規制システムの妥当性を判断するのに用いると表明している。これは、PSAが安全に係るデータを集約する以上に専門家の工学的判断を集約する手法であることを思い起こせば当然のことであるが、それが関係者の共通認識になっていないために、規制へのリスク情報の具体的活用は必ずしも進んでいない。

本部会はこの問題についても研究会を設置し、原子力法制の研究会とも連携しつつ、リスク情報の活用に係る基本的な考え方について再整理することを含め、より合理的な規制に向けての提案をまとめることとする。

4. 実効的な原子力防災

原子力防災については、国際的に共通の考え方に立脚すべきであるとともに、わが国に特有の問題については独自に検討を進めていく必要がある。国際的には、IAEA安全基準においてすでに原子力防災に関する要件文書もまとめられているが、わが国の防災は、たとえば計算コードに頼りすぎるなど、必ずしも国際基準に合致していない。また、わが国に特有の問題としては、わが国では重大な事故を起こす原因としては常に地震が大きな要素として挙げられており、原子力防災においても地震時の防災を考えていくことが必要であるが、必ずしもこうした問題は明示されていない。

原子力防災は、国や地方自治体による体制整備と密接につながるが、本部会はこの問題について技術的観点から継続的に取り組み、より実効的な防災のあり方について提案をまとめていく予定である。ただし、当面は、Ⅲ章に述べるように、昨年の中越沖地震において、関係者間あるいは公衆への情報伝達が必ずしも適切にはなされなかったことに鑑み、地震時の情報伝達のあり方に重点を置いて検討することとする。

Ⅲ. 他の部会との協力や外部への情報発信

本部会の目的は、原子力安全に関連した研究者間の交流と情報交換を積極的に行い、また、研究活動を支援する(すなわち、従来の部会同様、関係者の交流の場とする)とともに、原子力安全に関係する事項について情報

を発信し、原子力利用における安全確保とそれに関する理解の促進に貢献する(すなわち、従来の部会以上に、外に対して発信することである(「原子力安全部会規約」による))。前者への取組みについては前章に述べたとおりである。後者については、材料、燃料、炉工学、サイクル施設、廃棄物処分、炉物理、熱流動、耐震等を専門とする、学会内外の他の組織と協力して取り組むことになる。また、「原子力安全」は社会的関心の大きな問題であるから、学会外部から示される期待に対応する活動を進めていくことも必要である。以下、部会外とかかわる活動の方針について記述する。

1. 安全研究ロードマップの策定

原子力安全・保安院は規制基準の性能規定化を図り、詳細規定は学協会の協力を期待している。これを系統的に進めるために、原子力安全・保安院は原子力安全・保安部会の下に原子力安全基盤小委員会を設置して、規制ニーズ、安全研究、規格基準の関係を整理している。これに対して原子力学会は、標準委員会が以前より標準策定を進めてきた。これに加えて、標準委員会は標準策定のロードマップの策定も図っている。

原子力安全に係る研究は大きな予算を必要とするものであり、その実施に当たっては、産業界と規制当局との研究が、大きく重複することなく、しかしそれぞれに独立性をもってなされるように調整されるべきこと、規制のための研究は規制ニーズに合ったものであり、かつ、標準策定のロードマップに示されるスケジュールに合ったものであること等が必要である。このため、学会内外のいくつかの組織が、安全に係る技術分野ごとに、長期の研究ロードマップの策定を図っている。

本部会は、原子力安全に特有の分野については自ら研究ロードマップの策定の中核となるが、それとともに、安全研究ロードマップ策定活動全般をモニタし、安全研究が全体として系統的にかつ無駄なく進むよう、関係者との調整を図っていく。

2. 原子力発電所の地震安全への貢献

前述のように、原子力学会はすでに、「原子力発電所地震安全特別専門委員会」を設置している。従来、原子力学会では地震についての活動は活発でなかったが、この専門委員会は、地震・地震動、建屋・機器の応答および耐震性から、原子力施設としての安全性までを通して検討する。

本来、地震時の原子力施設の安全目標はどうあるべきか、また、原子力安全は地震・地震動や建屋・機器の耐震性とどうつながっているかを明確にした上で、建屋・機器の耐震性が検討されなければならない。原子力学会はこうした地震と原子力安全のつながりを重視してこの特別専門委員会を設置したのであり、そのためこの専門

委員会は設置時から、「原子力安全部会設立後は同部会を関連部会とする」との方針を示している。本部会は同専門委員会の活動を側面から支援していくことになる。

3. 原子力安全についてのポジション・ステートメント作成

原子力学会の広報情報委員会は、原子力・放射線の利用に関し、社会的関心の大きな事項について、学会としての共通認識を見解、提言、解説等の形でわかりやすい資料にまとめていく予定である(これを「ポジション・ステートメント」と呼ぶ)。

原子力安全にかかわる事項はしばしば大きな社会的関心と呼ぶことから、本部会は広報情報委員会に協力して、原子力安全に関する事項(前章で述べたように、原子力安全の論理、原子力発電所の安全性、原子力施設の地震に対する安全性、リスク情報を活用しての規制など)について、部会内の意見を集約してポジション・ステートメントを作成する。

4. 緊急時の情報伝達

I章に述べたように、原子力委員会は学会に対して、緊急時に公衆に対してわかりやすい説明をする体制を整えることを要請してきている。本部会は、部会内に研究会を設置し、緊急時の関係者間の情報伝達のあり方、公衆への情報提供のあり方について検討していくこととする。具体的には、技術分野ごとに、緊急時に解説のできる専門家をノミネートし、メディアの要請に迅速に応えられる体制を整備する。

一方、中越沖地震では、全体として原子力発電所の耐震設計の妥当性が確認される一方、防災のあり方や緊急時の情報伝達には課題も見受けられた。このため、同研究会はこうした問題についても併せて検討する。なお、原子力防災そのものや、リスク・コミュニケーション全般は、部会として、別途より長期的に検討する課題と認識している。

(執筆担当：東京大学・班目春樹，
JNES・阿部清治，三菱重工・澤田 隆)



連絡会活動 海外情報連絡会

海外情報連絡会の歩みと将来に向けて グローバル化時代における期待と役割

海外情報連絡会は1973年に設立されて以来、諸先輩方によって引き継がれ、原子力学会50年の歴史の中で、35年をともに歩んできた委員会活動である。活動の目的は、(1)本学会と海外の原子力機関の協力を推進する、(2)本学会および海外の原子力関連学会会員相互の融和を促進する、(3)海外の原子力に関する情報伝達と調整を図ることの3つであり、また、日本原子力学会の海外情報連絡会と米国原子力学会(ANS)日本支部の両方の役割・活動を担ってきた。その歴史を振り返るとともに、グローバル化時代における本連絡会への期待と役割などについて述べたい。

I. 海外情報連絡会の歩み：歴史的側面

海外情報連絡会は、その設立に際して日本在住の米国原子力学会の会員が中心になっていたので、日本原子力学会の海外情報連絡会と米国原子力学会(ANS)日本支部の両方の役割・活動を担ってきた。現在でも連絡会の22%はANS会員であり、これまで日本支部から清瀬量平、堀雅夫、岡芳明、二ノ方壽の4氏がANSの理事に就任している。

これまでの35年間の連絡会活動を通じて整備されてきた、海外情報連絡会・ANS日本支部とANSとの関係について、以下説明する。

1. ANS 日本支部のANSとの連絡・交流

現在、ANSには海外の7支部を含む53の支部がある。海外支部はANSの国際委員会を通じてANS内や他の海外支部との交流・連絡を行っている。日本支部は、年2回ANS年会の際に開催される国際委員会で、支部の活動報告や日本で開催する国際会議の連絡・周知などを行っている。また、ANS会長の来日時には、支部主催で講演会を開催してきた。

2. ANS 日本支部の規約・運営

ANSの各支部は一般に支部独自の活動を行っており、支部の裁量でANS会員でないメンバーを活動に参加させることができる。これらANS各支部の活動規範はANSの会則に基づく支部規約(Bylaws)によっている。

日本支部は1998～99年にANSと協議して日本支部の

規約の整備を行った。日本支部の場合は、AESJ連絡会との2重の役割を有している点で、規約の内容はANS支部の標準のものとは異なっている。

この規約整備の頃、東工大の客員教授で来日していたGail Marcus(後のANS会長)が日本支部に入会したので、規約や支部運営に関していろいろアドバイスを頂いた。Marcus教授が特に指摘した点は、支部役員の選出の際に、立候補の意志のある会員のためにその手続きを実行可能にしておくことで、その趣旨を入れた選出方法を策定した。この辺りが、学会のガバナンスに関して、役員選出でローテーション・序列を重んじる日本と、定数以上の候補が原則で、一定数の署名を集めて立候補した自薦候補が実際に当選して運営に参加している米国との相違点である。今後も連絡会・学会の活性化のために意欲のある人の積極的な参画を期待したい。

3. ANS トピカル・ミーティングの日本開催への協力

ANSでは、GLOBAL(原子力ビジョン、燃料サイクル)、NURETH(原子力熱工学)、ICAPP(原子力発電プラント)、PYSOR(原子炉物理)などのトピカル会議シリーズを米国内および海外で定期的に開催している。ANSの学術的会合の開催運営方法として、部会が企画・プログラムなどの学術的部分を担当し、開催地の支部が共催としてロジスティクスなどで協力することになっている。このために、日本で開催されたGLOBAL-97(1997年)、NURETH-8(1998年)などでは、会議を企画・運営・主催するグループ・機関を助けて、日本支部がANSの全国プログラム委員会(ANS関係全会合の開催を取り仕切っている)に申請して承認を得るなどの協力をしてきている。

History and Future Role for Foreign Professional Societies Coordinating Committee : Foreign Professional Societies Coordinating Committee

(2008年 10月30日 受理)

II. 将来に向けて

1. グローバル化時代における連絡会への期待

長年、原子力発電プラントの新規建設が途絶えていた米国において、2005年エネルギー政策法の成立がきっかけとなり、昨今の地球温暖化対策への意識の高まりや原油価格高騰等があいまって、続々と新規の建設・運転が一括申請され、原子力カルネッサンスの動きが世界的に加速されることとなった。一方、これと並行して、目前にある現実的な課題であるエンジニアリング、調達、建設に係る人材不足や資材価格高騰等にどう対処していくかということが、話題の中心になりつつある。世界に原子力技術が拡大していくことに伴い、特に新規導入国において、いわゆる3S(安全、セキュリティ、保障措置)を確保していくことが重要になっている。このように、今日の原子力の世界では、国内問題として解決できない、あるいは海外との協力を必要とする課題がますます増加している。その意味で、現在および将来に向かって、海外情報連絡会の役割の重要性は増してきているといえよう。

ひるがえって、我が国では政府および電気事業者の皆様のご尽力により、80年代、90年代を通じても着実に原子力発電所の建設を行ってきた。欧米での新規建設が冷え込んだこの期間も、技術を維持・研鑽できたことで、我が国の原子力産業は原子力エンジニアリング並びに製造技術の分野で世界のトップグループに属している。

原子力技術は、原子炉や系統設備を対象とした各種の解析評価技術から、プラント・エンジニアリング技術、製造・加工技術、建設技術、そして保全技術までも含めた総合技術である。我が国では、これらの技術を人材と共に生きた技術として伝承し、発展させてきたこと、これが我が国の原子力産業界の大きな強みとなっている。

今、原子力カルネッサンスの動きの中で、世界の原子力市場が急速に拡大し始めている。したがって、我が国の蓄積された良質の技術を世界市場に提供して、国際社会の持続的発展に貢献することが我が国の原子力産業界の使命であると考えている。そのためには、現在にも増して、我が国の原子力技術に関する情報等を世界に向けて発信していくことが重要である。海外情報連絡会としては、そのような機会や枠組みを確立していくことの検討・企画が今後の課題といえよう。また、このような取り組みに対するアンテナを高くし、積極的に参加することも考えていく必要がある。

現在、海外情報連絡会は、ANS日本支部としての活動、海外情報を国内に紹介する講演会開催が主たる活動となっている。今後は、それに留まることなく、世界の先端としての我が国の技術の紹介や原子力に関連する諸課題に対する意見、提言等も含めて、国際社会に向けて情報を発信していくことを、このグローバル化時代に

における海外情報連絡会の新たな取組みとすべきである。

2. 今後の海外情報連絡会の役割

10年ほど前には、海外情報連絡会の意義が薄れ、もはや存続する意味はないのではないかとといった議論もなされたと聞いた。しかし、最近の原子力を巡る国際情勢を勘案すると、ますます海外情報連絡会の活動を活性化していかなければならないと感じている。今後の本会の活動について一考してみたい。

地球温暖化問題への対処、原油価格の高騰、エネルギー安全保障を背景に原子力エネルギーの利用を考える気運が国際的にも高まっており、原子力カルネッサンスといわれているように、中国、インド、東南アジア、中東なども含め、今後、原子力平和利用推進の動きは活発化していくものと考えられる。そのような中、洞爺湖G8サミットでの日本のイニシアチブ、またグローバル化した原子力産業界における日本企業の重要性、そして次世代の原子力システムに関する国際協力の進展などは、原子力開発に関与するものとして頼もしいものであり、今後、我が国が果たしていく役割はますます大きくなると思う。

グローバル化していく現代社会の中で国際動向をしっかり分析・把握し、会員の皆様や関係者に的確な情報を発信することはますます重要になってくるものと考えられる。年会や秋の大会などで国際情勢を分析するセッションやワークショップなどを海外情報連絡会で設けて公開で議論するといったことも企画してみたい。また、すでに述べてられているように情報の収集だけではなく、海外に向けて情報を発信していくということも大切である。

日本は55基の原子力発電所を運転し、商業規模での核燃料サイクルを推進する非核兵器国である。NPT体制の中で日本ほど平和利用の権利を享受している国はない。しかし、このような地位を短時間で築いてきたわけではなく、原子力政策の透明性確保、核不拡散規範の遵守と国際貢献への努力など、平和利用と核不拡散をしっかり両立してきた多くの実績と経験、長い歴史がある。一方で、依然、日本の平和利用に対しては非常に厳しい国際社会の目もあることを忘れてはいけないし、また新たな核不拡散の課題への対応も求められている。

今後もこれらの取組みとその情報などを積極的に発信して、国際的に信頼性・透明性を確保する努力は強化し継続していく必要がある。また、本連絡会の歩みで紹介があったANS日本支部としての役割についても、最近の国際情勢、日米関係などを踏まえて前向きに見直していく必要があるのではないかと考えている。今後とも会員の皆様の協力を得て、海外情報連絡会では“塩”となる情報の収集、分析、そして国内外への発信を心がけていきたい。末筆になるが、これまで本会に関与されてきた諸先輩方に感謝と敬意を表したい。

(執筆担当：原子力システム研究懇話会・堀 雅夫、
三菱重工・山内 澄、JAEA・千崎雅生)

連絡会活動 学生連絡会

学生連絡会活動報告

自由な交流・意見交換を広げる活動

学生連絡会は、原子力学会所属の学生のみで構成され学生の意見を基に運営を行っている。他の学会組織との違いとして入れ替わりが激しい点がある。学生連絡会の存在を知るの大体が大学院生になってからで修士の2年間は短く、すぐに進学か就職か進路を考える必要があり、2年周期でほとんどの学生が入れ替わる。毎年変わる運営委員長を中心に自由な活動を行っている。

I. 学生連絡会の歩み

1. 発足の経緯

学生連絡会の設立は10年前の1998年、学会50周年と時を同じくして学生連絡会も10周年を迎える。当時の設立背景としては、学生相互の交流の少なさ、さらに原子力に対する厳しい社会的背景から、将来に対する漠然とした不安があった。そのような中、将来、原子力分野で活躍する学生が相互に交流・意見交換し、正会員の社会人との交流を活発にする受け皿となる組織を設けることが、原子力の将来を考えていく上でも必要であると思われた。このような背景から、原子力学会内に学生連絡会は設立された。学生連絡会の活動目的は、学生会員相互の情報交換を通して、学生の研究活動を支援し、将来的な原子力学会の発展に貢献することである。

2. 活動実績

現在行っている活動の中心は、年2回開催される学会でのポスターセッションである。それに加えて、学生セッション、勉強会、運営委員会の開催、HPやメーリングリストでの情報交換などを行っている。ポスターセッションは学会にも参加学生にも好評をいただいた。その理由は内容に制限を設けていないため、修士1年生の未完成データでも発表可能であることや、口頭発表と同一の内容でも可能であること、また、口頭発表よりも議論を交わしやすいなどのポスター発表特有のものがある。そして、各支部で旅費を支援する制度が実施されているので、遠方の学生が参加しやすい形になっている。2008年春の年会では、学会メーリングリスト、各支部での呼びかけを行ってもらい9大学24人、2008年秋の大会では9大学37人のポスター発表があり、交流を深めた。

その他のイベントとして、原産年次大会における学生セッションの開催、勉強会の開催がある。学生セッションは、2006年の原産年次大会での開催を機に2008年で3年続けて開催している。勉強会の第1回は「原子力系資格勉強会」と題して、放射線取扱主任者・技術士1次試験・核燃料取扱主任者についての情報交換を行った。第2回は学生の間で原子力の技術だけでなく倫理の必要性が話題となったこともあり、北村正晴先生を筆頭に倫理委員会の方たちをお招きし、「原子力倫理勉強会」と題して技術倫理の事例について学んだ。インターネットでは学生連絡会のホームページ作り、原子力系の学生に必要な情報に特化した原子力用語辞典の作成、メーリングリストでの企画の立案や議論を行っている。2008年10月現在でメーリングリスト加入者は10大学21人となっている。

設立当初から変わった点として運営委員の募集方法がある。興味がある人の参加を歓迎する体制は変わっていないが、過去には世襲制として各大学で一人辞めると引継ぎ要員として新しい人員を送り出していた。現在はSNWと共催している「学生とシニアの対話」、シンポジウムなどで運営委員に興味を持った学生、まだ研究室に所属していないが、原子力について興味があるというこ



学生ポスターセッションの様子

とで学部2年生から参加している学生など、運営委員の構成は自由度が増し、幅広い意見を反映し活動を行っている。

II. 学生連絡会の将来の取組みと課題

1. 今後の展開

原子力系を学ぶ学生にとって簡易に情報交換の可能な開かれた場があることや学生間の交流を深め、意見や議論を交わすことは有意義なことである。学生連絡会の今後の展開として、縦と横のつながりの強化と拡大を行う。

日本原子力学会に所属する学生会員数は500人弱である。しかし、運営委員として中心となる活動をしている学生はたった十数人であり、関東圏に集中しているのが現状である。全国から学生を頻繁に集めるのは費用、日程的に困難であり、現在、年2回の運営委員会を関東圏で開催し、会の方針を話し合っている。全国ネットワークの強化としてwebカメラを用いたテレビ会議を行い、情報交換の場を作ることが考えられる。

活動を関西圏にも広めていく可能性として、近畿大学の学部生で構成されているエネルギー研究会「NEDE」という団体がある。彼らはエネルギー問題について理解を深め、各種体験学習を進めている組織で、近年は学生ポスターセッションへの参加や学生連絡会と共催で勉強会を開催するなどの活動を行っており、今後更なる協力が期待される。

国内のネットワーク構築とともに、今後は海外の学生組織との連携も視野にいれていく。これからは日本の原子力技術が世界で活かされる時代になる。その時代を担う上で海外と抵抗なくコミュニケーションできる能力が必要となる。学生連絡会は、学生が今後海外に出るに当たってのトレーニングの場としての役割を果たす。

こういった活動を広めていく上で学生が不公平なく参加し、意見交換並びにイベントの企画運営ができるようにする。そのためにも、企業や研究機関、大学からの寄付を視野にいれ運営資金の確保を進め組織の構築を行っていく。

縦のつながりとして、「学生とシニアとの対話」と題して、日本の原子力業界の黎明期に活躍されたシニアネットワークの方々との定期的な対話や青年ネットワーク連絡会との意見交換を行っている。

この世代を超えた交流をより拡大していきたい。拡大を考えている範囲は小中高生、そして原子力を専門としない大学生である。学生に話を聞くと、原子力を専門に

決めた理由として直接触れることのできる場や対話など、身近に感じる経験が多い。直接触れることのできる場や対話は、原子力を身近に感じてもらえるという点で重要である。

学生連絡会としてまずはJAEA、原子力事業者、指導教員の方々の手伝いをする形で小中高生に原子力、放射線を伝えることに携わろうと考える。学生連絡会として経験を積んだ後は、各大学の学園祭などに原子力・放射線をわかり易く伝える催し物などの企画運営を行っていく。その中で原子力以外の大学、学部の学生、特に教育系、医療系の学生との交流を重視していきたい。

学生は社会人特有のしがらみがなく自由な身分である。原子力学会へ所属していても就職は他分野でもかまわないし、学生の間だけの活動ということで縛られることなく活動ができる。そういった点を活かし、学生連絡会が社会との架け橋となり、原子力への理解の手助けとなることに期待する。

2. 100周年記念誌に向けて

学生連絡会は設立10周年ということで、学生連絡会の現役から経験者は20代～30代前半である。100周年記念誌が出版される頃には学生連絡会OBはシニアネットワークに加入し、今の原子力カルネッサンスを思い出話に50年後の学生と対話をしているだろう。50年後の自分と日本の原子力がどうなっているか、どうしていきたいのかをこの場を借りて学生代表として述べたい。

嶋田は原子力・放射線の教育について革新を起こしたいと考える。そのために解決すべき課題の一つとして、自然放射線の測定方法がある。現状では身近にある自然放射線として、食べ物や人体のカリウム40があげられる。その測定方法はNaIシンチレーション検出器を用いている。中学校において教師が、ガンマ線のスペクトルのピークを指して、「これが自然放射線だ」と説明しても、中学生が理解するのは容易ではない。中学生に対して教えるには数字を示すだけでは不十分であり、五感を使って理解する方法が必要である。現状では放射線を可視化する装置として霧箱が最適であるが、霧箱を使って放射線を見る場合はウラン鉱石などともと放射能が高く、人々にとって少し特殊な物質を用いる場合が多い。今後は身の回りの自然放射線を可視化して義務教育の現場で使えるような測定器を開発し、50年後には多くの日本人にとって放射線が身近な存在になっていることを期待する。

(執筆担当：東海大学・鈴木 将、東京大学・嶋田和真)

連絡会活動 原子力青年ネットワーク連絡会

原子力青年ネットワーク連絡会(YGN)の歩みと将来の取組み

I. 原子力青年ネットワーク連絡会の歩み

1. YGN 発足と設立趣意

原子力青年ネットワーク連絡会(以下、YGN:Young Generation Network)設立のきっかけとなった出来事は、1999年に米国で開催された国際会議 Global 1999のプレナリーセッションで会議初日に企画されていた、EU、米国、カナダ等すでに存在している他国のYGNを中心とした若手セッションであった。当時、日本にYGNが存在していなかったことから、Global企画委員からの要請により、東京電力株の高木直行氏(現、東海大学)が会議へ出席した。また、2000年にスロヴァキア首都 Bratislava で開催された国際原子力青年会議 IYNC (International Youth Nuclear Congress, Bratislava)に、日本原子力発電株(以下、原電)の植松眞理マリアヌス氏(現、日本原子力研究開発機構(以下、JAEA)出向)が出席し、各国YGNの若手に日本YGNの設立を熱望される。帰国後、YGNの設立について、当時の若手でボランティアの集まりとして活動を開始していた「原子力若手技術者勉強会(1998年～現在)」のメンバーとともに本格的な議論を行い、原子力学会に働きかけ、35歳以下の原子力学会員が会員となるYGNの設立が認められた。

その後、2001年3月に日本原子力学会春の年会(武蔵工大)において設立総会が開催され、正式発足となった。

設立趣意は、原子力開発に携わる若手世代間の連携を強めるとともに、国内外種々機関との対話を通じ、若手が本来持つ活力を引き出し、国・機関を超えた若手の連携と自己啓発の促進により、原子力全体の活性化を図り、原子力技術の継承および新たな若手の育成に貢献することである。設立後、これまでに以下の4名が代表となり、現在に至っている。植松眞理マリアヌス(原電:2001～04年)、太田宏一(電力中央研究所:2004～05年)、田川明広(JAEA:2005～07年)、石寺孝充(JAEA:2007～現在)。カッコ内は、所属と本連絡会の在籍年度である。

2. YGN 活動の歴史

(1) 国内活動

YGNの国内活動は、主に次の4種類である。(1)春の年会、秋の大会において企画セッションを開催し、若手間の見識を広げること、(2)学生やシニアとの対話を通じ、各世代間の連携を図ること、(3)学会内外への情報発信を行うこと、(4)原子力学会内の委員会に委員を輩出し、若手の立場で学会運営に携わること。

(1)については、若手として何ができるのかということに主眼を置いて、これまで活動を行っている。福島県知事('02秋)や原子力委員長('06春)との意見交換や原子力が死に至るシナリオ('03秋)などの現在の原子力に対する問題提起、ゲーミングシミュレーションを用いた教育ツールの開発('08春)、地層処分の課題解決に向けて若手研究者の今後の展望についての議論('08秋)など、若手としてエネルギーな活動を展開した。また、再処理部会('02秋)、「もんじゅ研究利用」特別専門委員会('06春)、学生連絡会とWIN-Japan('06春)、シニアネットワーク連絡会(SNW)('07秋、'08春)など、他部会・連絡会等と協力した企画も実施するとともに、企画セッションで行われた議論の内容について学会誌に報告している。

(2)については、学生連絡会等と協力し、大学生、大学院生と若手技術者・研究者の対話等を実施している。また、原子力産業会議 Youth Forum('01)や溶接学会若手の会('05)など、原子力学会外においても企画・交流を行っている。

(3)については、学会内へは学会誌に「YGNのページ」を設置していただき、活動報告や情報発信を連載させていただいた。学会外へは、原子力産業新聞、電気新聞、月刊産業とエネルギー、エネルギーレビュー、月刊エネルギーへの寄稿や原子力eyeでの連載('01.1から18ヶ月)を行っている。また、YGNがワーキンググループ活動として取り組んでいるゲーミングシミュレーションを応用した原子力教育ツールは、NHK福井からも取材を受け、その特集が放送された。WEBページは、4万3千ページビューを超えるアクセス('08.9.8現在)がある。

(4)については、企画委員会、奨学金基金運営委員会等にYGN運営委員から毎年、委員を輩出している。

(2) 海外活動

YGNの海外活動は、主に次の2種類である。①国際会議の若手企画に参加し発表を行うこと、②世界各国のYGNと交流を図ること。

①については、YGNの世界大会となるIYNCやAsia Workshopへの参加である。これらに参加することで、各国のYGN活動や原子力界の現状について意見交換を行っている。②については、韓国、スウェーデン、米国などのYGNメンバーが日本に訪れた際に意見交換等を行い、お互いの情報交換と親睦を深めている。スウェーデンYGNとの意見交換会においては、スウェーデンおよび日本YGNの活動内容や、スウェーデンにおける原子力利用の現状について紹介を行い、両国における原子力利用や電力事情などについて意見交換を行っている(写真)。また、ANS所属の若手研究者との意見交換会においては、ANSの若手が取り組んでいる原子力理解活動の紹介や、YGNが制作したゲーミングシミュレーションを応用した原子力教育ツールの紹介などを行い、両国の現状などについて意見交換を行っている。

II. 原子力青年ネットワーク連絡会の将来の取組みと課題

1. YGN活動の現在と今後の展開

YGNは、35歳以下の学会正会員および学生会員のおよそ千数百名がYGN会員として活動する資格を有している。現在は十数名の運営委員が中心となって企画・運営を行っており、2ヶ月に1回の割合で運営委員会を開催して、活動内容について議論を行っている。

YGNの今後の取組みについては、まず、I-1節で述べたようなこれまでの活動を継続して、より積極的に行っていくことを基本として考えている。これまでに開催した年会・大会における企画セッションでは、県知事や原子力委員長、各分野の専門家の方々など、若手個人



2006年10月スウェーデンYGNとの交流(@東京)

として関わることの難しい立場の皆様にご協力をいただくことができた。これは、日本原子力学会の連絡会として存在しているYGNならではの活動であり、このような方々へ若手としての意見を述べ、また、若手に対してご意見をいただける機会を設けることが、若手にとって非常に有意義であると考えている。さらには、企画セッションの開催を通していろいろな立場・分野の方々との面識を持ち議論を交わすことは、若手の見識を広める上で非常に重要であるとともに、得られた人脈は若手世代の将来にとって非常に価値のあるものであろうと考えている。そのため、今後とも年会・大会において魅力的な企画セッションを開催し、若手の成長に貢献できるよう努めたいと考えている。

また、国際会議への参加や海外の若手との意見交換会は、世界各国の若手の活動、原子力の現状等を肌で感じることでできるよい機会であり、若手世代が幅広い視点から現状を把握し、将来に向けた確かなビジョンをもって取り組むために必要不可欠なことであると考えている。英語に接する機会が少ない業務に従事する若手にとっては、海外の知識を得られるだけでなく、英語によるコミュニケーションを経験する貴重な機会でもある。こういった点から、海外の若手との交流を今後とも積極的に展開し、若手の成長の機会を数多く作れるよう貢献したいと考えている。

2. 将来に向けた新しい取組み

YGNは、自己研鑽の場としてより多くの若手が参加し、自主的で精力的な活動を行う組織を目指したいと考えている。現在のYGN活動は、運営委員中心となって企画セッションや意見交換会等を企画・運営し、35歳以下の学会員がその企画に参加する形での活動が主となっている。このような、運営委員が企画した活動に受動的に若手学会員が参加する組織ではなく、より多くの若手が能動的にYGN活動に参加して自己研鑽を行えるような組織を目指したい。そのため、例えばワーキンググループ(以下WG)等を積極的に設置し、現在活動しているゲーミングシミュレーションWGのように、有志が目的をもって何かを製作したり、「若手技術者討論会」といったWGを設置して意欲のあるメンバーが集まって意見交換を行うなど、多くの若手世代が自主的に参加して活動する組織を構築することを考えている。また、将来的には部会や支部と連携して、様々な分野にまたがった全国規模の活動を行う組織を目指すとともに、各国のYGNとも連携し、国際的にも幅広い活動ができる組織を目指したい。

(執筆担当：JAEA・田川明広，石寺孝充)

連絡会活動 シニアネットワーク連絡会

シニアネットワーク連絡会の活動報告

学生の夢啓発，一般市民の理解促進に奔走

I. シニア・ネットワーク連絡会の歩み

1. 発足の経緯

次世代を担う学生たちが原子力を学問として学ぶだけでなく、原子力界を正しく理解し、自らの問題として考え、世界で積極的に貢献しようという気概を持つことが必要で、そのために我々シニアが一役買うことが求められている¹⁾。2004年の秋に原子力学会企画委員から「エネルギー問題に発言する会」に、原子力を志す学生達を支援する活動を一緒にしませんかとの呼びかけがあった。同会はわが国のエネルギー自給率の低さを憂い、また若者の理工離れや親子の原子力職場忌避の風潮に危機感を募らせている原子力産業界OBが相集い、2001年10月発足したボランティア団体である。早速、学生連絡会運営委員長の母校である武蔵工大で2005年7月に学生21人、シニア10人で開催、引き続き約半年間全国4ヶ所で開催した。この活動は大変意義があると大学の先生や学生に評価され、また文部科学省や経済産業省でも技術伝承、原子力教育、原子力広報として注目された²⁾。そこで、この活動を全国各地で継続的に行うために、大学の先生方や研究機関出身のシニアの方々の参加も仰ぎ、2006年5月に学会の傘下に「シニアネットワーク連絡会」(SNW)を発足することとなった³⁾。

2. SNWの理念と活動方針

SNWの理念と活動方針を以下に記載する。

(理念)

日本原子力学会・シニアネットワーク(SNW)連絡会は、会員それぞれが培ってきた知見と経験を活かし、(略)世代間の対話と様々な交流を通して学術の発展と技術の伝承ならびに人材育成に協力し、真の理解者を広げることを目指します。

(活動方針)

① 世代を越えた対話

私達は率先して次世代を担う若者との対話の機会をつくり意見を聴き疑問に答え励まし、シニアの経験と考えを伝え若者に夢と希望を与え彼らが次世代を担う

気概を自ら育む手助けをします。(略)

② 啓発活動

私達は原子力関係者のみならず一般市民および教育現場の先生方やマスコミ関係の方々の(略)正しい理解を助ける目的で、公開シンポジウム・市民講座或いは講演会などの啓発活動に(略)取り組みます。

③ 講師の派遣など

私達は国が推進する「原子力人材育成プログラム」および「広聴・広報事業」などを支援し、求めに応じて企画支援、講師派遣などを行います。また大学・学校教育・企業の社員研修、地域の(略)イベントにも企画支援、講師派遣など協力します。

④ 協力団体・協会員と水平的なネットワークの構築

私達の目指す理念と活動方針に賛同する団体と協力し、学会員以外の賛同者は協会員として迎え入れ、それぞれの地域に適した水平的なネットワークを結び、SNWの活動をより広く有機的に展開します。

3. 活動実績

(1) 世代を越えた対話⁴⁾

2005年7月に武蔵工大で開催して以来、2008年10月末までの約3年間で25回、延べ43校、参加した学生の人数は814名(うち学部生397名、大学院生417名)、シニアは延べ332名、教員は92名。これまで実施した大学は、北大、武蔵工大、福井大、近大、阪大(以上は3回)、八戸工大、東北大、東大、東工大、東海大、愛知教育大、福井工大、京大、神戸大、九大(以上は2回)、茨城大、筑波大、東京海洋大、名大、九工大、慶応大、長崎大学教育学部(以上は1回)の22校である。2008年度は11月以降にも5回開催予定であり、年度末には30回、参加学生も1,000名に達すると予測される。

対話の対象学生は、当初は原子力系大学学生だけであったが、原子力産業界に進むのは工学系全般であることから、原子力系以外の学生にも枠を広げている。さらに初等中等教育でエネルギー、原子力、放射線についての正しい知識、認識を持ってもらうために、将来、教師になる教育系大学学生との対話を2007年愛知教育大で、さらに2008年は長崎大学教育学部でも実施した。

対話会では、大学側が主体となって希望者を平均30～40名募り、10時または13時から開始。まず、シニア代表

Activities of Senior Nuclear Engineers Net Works for Nuclear Education and Public Acceptance: Senior Net Work Committee

(2008年 11月 4日 受理)

からエネルギー問題や地球環境問題等対象学生に適した基調講演約45分、その後、約2時間、グループ(学生5~6人、シニア2人)に分かれて学生たちが希望した個別テーマで対話、その後、各グループ学生が発表、質疑、講評、17時過ぎに対話会終了後は大学構内などで懇親会を行い、さらに親密な対話を行っている。

学生たちは原子力、放射線、実社会などにいろいろな不安、疑問、意見を持っている。我々シニアは世界のエネルギー情勢、地球環境問題に関する広い知見、長年の原子力職場における開拓者としての実体験、管理者経営者としての視野、また大きくうねった過去半世紀の生活体験などを持っている。対話を通じて、学生たちは世界とわが国の実情、将来展望を把握、原子力への大きな期待、夢、また社会が求める人材像を描くことができている。さらに対話会だけにとどまらず、その後の発電所見学会に同行、また学生と個人的メール交換などフォローもしている。

参加した学生ですでに卒業後、原子力界で活躍している者が上司の許可を得て対話会に参加したり、また学会2008年秋の大会の対話の成果発表で、あの対話会で得たことが大変勇気を与えてくれているという話も聞いた。

(2) 啓発活動

原子力界の多彩な関係者や一般社会人を対象としての啓発活動として、シンポジウムをこれまで2年半で9回開催した。テーマは、例えば「原子力に対する不安とは？それにどう対処するのか」、「世代を超えて皆で語ろうー原子力が元気になるには我々に何ができるか」、その他、原子力規制のあり方、国と地方の問題、教育問題、社会と原子力界のコミュニケーションなどSNWにふさわしいテーマを取り上げ、ジャーナリスト、NPO代表、規制当局、電気事業者、地元、原子力OBなどに登壇願っている。参加者は当初は80人であったが、最近では160~220名と増え、フロアとも活発な討議となっている。

このほかに執筆による啓発活動も積極的に行っており、月刊誌「原子力 eye」に2007年度は「原子力老若問答」を12ヶ月連載、2008年度も引き続き同誌に「原子力ざっくばらんーざっくばらんーざっくばらん」を連載中である。さらに学会誌11月号から原子力学会50周年記念企画として「シニアの自論」を掲載中である。

(3) 講師の派遣など

原子力文化振興財団の講師派遣事業にSNW所属シニアの知見経験を活用したいとの申入れがあり、2007年度から提携した。対象は、全国各地で自治体などが主催する講演会や研究会、エネ庁主催の原子力施設見学会である。参加するのは一般市民のほか、教員や中・高・大学生も含まれ、大変やりがいのある活動である。派遣回数には2007年度には延べ93回、2008年度は予定も入れて105回、要請のつど会員シニアから講師を募って派遣している。

また、原子力人材育成プログラムで採択されたいくつ

かの大学からSNWにコミュニケーション能力開発やプラント保全技術教育などの授業要請があり、対応している。さらに、対話活動を原子力関連企業の新入社員研修にも応用したいとの要請があり、過去3回実施した。

(4) 協力団体との水平的なネットワークの構築

発足当初の会員は60名ほどであったが、2008年10月末現在205名、うち協力会員は39名である。会員の約40%が原子力関連企業関係者、約35%が大学と研究関係、約20%が電力関係、約5%が政府関係である。

シニア主体の団体とのネットワークとしては、エネルギー戦略研究会(EEE会議)、エネルギー問題に発言する会とは大変緊密な連携関係にあり、最近では、シンポジウムの共同開催、政策提言などを行っている。

また、地方の原子力懇談会組織とも連携しており、特に学生との対話では、その地方の主として電力会社OBの方々の参加など連携関係にある。

II. シニア・ネットワーク連絡会の将来の 取り組みと課題

- (1) 世代を超えた対話活動は、原子力系大学はほぼ定着したので着実な継続、次に、原子力以外の工学系全般は要請に応じて漸増、将来、教師になる教育系大学とは人脈主体に徐々に対象校を増やしていきたい。学生との対話のフォローの意味からも大学での授業、企業の新入社員など若手技術者との対話も要請に応じて対応したい。
- (2) 公開シンポジウムの対象はこれまで原子力関係が主体であったが、今後は、より多くの一般市民の参加を促すように、テーマ、講師陣を拡充していきたい。
- (3) 正しい情報、正論を一般市民、それもオピニオンリーダー、女性、教員などへ発信し、さらに双方向の対話へも展開できるよう全国の講演会、研究会の講師経験者を増やしたい。また執筆活動も、専門誌から一般誌への執筆の機会を増やしていきたい。
- (4) 我々の活動は継続こそが力となる。そのためにも多くの会員の参加、特に若手シニアの入会が望まれる。
- (5) 理解促進活動は全国に展開する必要がある、関東に偏っている会員構成を地方在住の会員を増やし、また地方の原子力推進組織(原子力学会支部、原子力懇談会など)との連携、さらには地方の拠点作りを推進したい。

(執筆担当：元原子力委員・竹内哲夫、三菱重工・金氏 顕)

—参考資料—

- 1) 竹内哲夫、エネルギーレビュー、2006.10.
- 2) 金氏 顕、原子力 eye、52[8]、(2006).
- 3) 科学技術動向 No.66、p.6(2006.9)、文部科学省科学技術政策研究所発行.
- 4) 竹内哲夫、金氏顕：「シニアによる原子力教育の取り組み」静電気学会誌 第32巻、第3号(2008).

連絡会活動 核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会

原子力平和利用推進における核不拡散の重要性

原子力学会における核不拡散連絡会の活動

グローバルなエネルギーセキュリティおよび環境問題の観点から、原子力はその重要性が見直されつつあるが、同時に核不拡散への取組みは欠くことのできない重要なテーマとなっている。2008年には北海道洞爺湖サミット G8 声明として「3S 構想(Integration of Security, Safeguards and Safety)」が提唱され、核不拡散の動向を認識することが一層必要かつ重要となった。日本原子力学会においても、原子力研究者・技術者自らが原子力関連技術の研究開発推進において、核不拡散・保障措置・核セキュリティへの取組みの重要性を認識することが必要と考え、本連絡会が設立され、本年初頭より活動を開始した。本稿では、設立の経緯、連絡会活動状況および、今後の課題と方向性、将来の展望について紹介する。

I. 核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会の歩み

1. 設立の経緯

近年、次世代核燃料サイクルなど原子力技術の開発に当たっては、核拡散抵抗性や保障措置への考慮が不可欠となっており、関連技術の開発、設計・建設を担当する実施主体が効率的に業務を進めるためには、設計の初期段階から核拡散抵抗性や保障措置について十分な認識をもって対応することが重要である。また、わが国は1999年にIAEAと締結した保障措置協定の追加議定書により、新しい概念に基づく保障措置が適用されており、2004年からは統合保障措置が適用された。原子力に携わるすべての関係者が、この状況を十分認識した上で原子力技術の研究開発を推進することが必要になってきている。また、2001年9月11日の同時多発テロを契機として、世界的に核セキュリティの重要性に対する認識が高まっており、その一環として、一昨年12月に実施された原子炉等規制法の改正および原子力委員会における「原子力防護専門部会」の設置、検討などの動きがある。加えて、核物質および原子力施設に対する妨害破壊行為も核物質防護の対象となるなど、核セキュリティにおける情勢は大きく変化しており、原子力関係者の理解とその対応が求められている。

Significance of Nuclear Nonproliferation in Promoting Peaceful Use of Nuclear Energy—Activities of Nuclear Nonproliferation Committee at Atomic Energy Society Japan : Nuclear Nonproliferation, Safeguards, Nuclear Security

(2008年 10月27日 受理)

このような原子力を取り巻く最近の諸情勢に鑑み、核不拡散・保障措置・核セキュリティについての情報交換促進および原子力関係者の核不拡散等に対する認識をさらに高め、同時に、今後の人材育成に資することを目的に「核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会」(以下、核不拡散連絡会)が2008年3月に新設され、活動が開始された。なお、国内には核不拡散の政策や技術に係る、より詳細な議論の場として「核物質管理学会」があるが、両学会が相互に連携することにより、核不拡散への取組みのさらなる増強が図れるものと期待する。(http://www.soc.nii.ac.jp/aesj/division/npt/site/)

2. 連絡会活動状況

同連絡会運営には、会長に中込良廣京都大学名誉教授、副会長を久野東京大学客員教授があたり、運営委員9名の計11名から構成される委員会を設置しスタートしたが、現在、すでに会員数は50名を超えている。

これまでの連絡会の活動は、2008年3月に催された原子力学会春の年会にて第1回総会および講演・パネルディスカッションを開催した。同年の秋の大会でも、企画セッションを催し、数十名の参加者のもと活発な議論がなされ、学会員の核不拡散に対する関心の高さが示された。また2008年10月20日には核物質管理学会(INMM)日本支部との共催により「核物質管理学会と大学生・院生の施設見学交流会」を開催した。今回、三菱原子燃料(株)(MNF)の協力により、同社の原子力発電所燃料製造施設(茨城県東海村)の見学が実施された。同社は日本で唯一、六フッ化ウランからの転換工程を含む燃料加工施設である。本交流会では、核物質管理、保障措置が適用されている現場を実際に体感することができた。また燃

料検査に用いる一連の自動化された検査機器などを目の当たりにすることにより、効率的かつ的確な品質管理がなされていることを理解することができた。さらに次世代を担う学生とともに、国際的な核不拡散問題への取組み、学会のあり方などについて意見交換を行った。学会のあり方においては、若年層および学生会員の増強、学会活動の活性化について議論し、学生および学会運営側の間で、双方の考え方を共有するとともに、課題を明確化する機会を得ることができた。

以上をまとめると、2008年度の活動は第1図の通りである。

II. 核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会の将来の取組みと課題

1. 国際保障学検討会の設置

昨年度秋の大会にて紹介されたように、核不拡散分野の人材育成の観点から「国際保障学検討会」を、本連絡会および核物質管理学会(日本支部)の共催下に設置し、同連絡会員を含む他機関のイニシアティブによる核不拡散に係る研究結果などについて、専門家とともに、より深く議論することができる機会となることを意図した¹⁾(第2図)。現在、東京大学大学院原子力国際専攻では、グローバルCOE下において核不拡散に関する研究の一環として「国際保障学研究会」が設置され、産業界・電力界・原子力の研究開発機関などの若手の原子力研究者・技術者・計画推進者とともに、アジア地域燃料サイクル

戦略研究、核拡散抵抗性の最適化研究、CTBT運用体制研究、次世代保障措置情報解析研究などが行われているが、同活動の研究結果がある程度まとまった段階で、本検討会(学会)が開催される予定であり、核不拡散の専門家とともに、より深い議論がなされることを期待している。

2. その他将来に向けての活動構想

温暖化ガス問題に対し今世紀に取り組むべき解決策として、再生可能エネルギー利用の追求、化石資源の効率的利用(CO₂ガスの回収・隔離を含む)と並び、原子力利用の大幅拡大が現実的なオプションとして挙げられているが、ここでの「原子力利用拡大」は、単なる核燃料の軽水炉による効率的利用ではまったく解決策にはならない²⁾。プルトニウムの有効利用をグローバルで推進することにより、エネルギーセキュリティ上初めて大きく貢献することができるが、このオプションでは、「社会受容性」が大きな課題とされる。ここで、一般的な意味での社会受容性ととも重要なことは「核不拡散」問題の克服であろう。今後、先進国に限らず、プルトニウムが利用される場合や多国間管理による核燃料サイクル等を想定した「核不拡散対策」について、核燃料サイクル政策においてイニシアティブをとるわが国が率先して検討していくことは極めて重要なことと思われる。しかし、今後の原子力の研究開発を議論する場である日本原子力学会においては、ある程度「核不拡散」の認識はあるものの、米国等諸外国に比べれば、我が国においてかかる議論は決して充分になされてきたとはいいがたく、議論も直面する国内核不拡散問題に限定され、グローバルな視点での核不拡散・保障措置について踏み込んだ議論はあまりなされてきていないといえる。

米国を筆頭に原子力先進諸国が、原子力平和利用と同じレベルで核不拡散問題の重要性を認識し取り組んでいる状況を見つめ、核燃料サイクル等原子力技術開発推進とともに、「核不拡散」問題とその対策について国際的な視野から議論することが、今後、原子力研究者・開発者に強く求められている。本核不拡散連絡会が、前述の「核物質管理学会」や「国際保障学検討会」との協働により、原子力学会における議論の場として発展していくよう、またそれに向けた会員の増強等活動の活性化を図っていきたいと考えている。

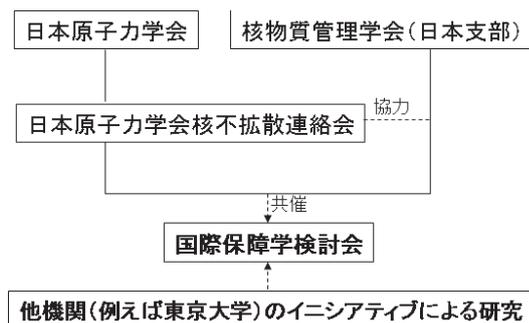
(執筆担当：東京大学・久野祐輔、
JAEA・鈴木美寿、JAEA・勝村聡一郎)

— 参考資料 —

- 1) 読売新聞2008年9月20日夕刊(関連記事)。
- 2) 超長期エネルギー技術ロードマップ報告書, エネルギー総合工学研究所, (2006)。

	2008年		2009年
	7, 8, 9月	10, 11, 12月	1, 2, 3月
日本原子力学会	秋の大会 ▲ ▲ 第1回部会等運営委員会議		春の年会 ▲
部会、学会及び大学等との連携		▲ 施設見学交流会 INMM-Jとの共催	国際保障学 検討会 ▲ INMM-Jとの共催

第1図 2008年度の活動



第2図 国際保障学検討会の設置

(社)日本原子力学会 歴代会長



初代
茅 誠司



第2代
菊池正士



第3代
瀬藤象二



第4代
一本松珠璣



第5代
大山松次郎



第6代
矢木 榮



第7代
武田榮一



第8代
宗像英二



第9代
伏見康治



第10代
大山義年



第11・12代
山本賢三



第13代
伊藤俊夫



第14代
山本 寛



第15代
藤波恒雄



第16代
堀 一郎



第17代
三島良績



第18代
伊原義徳



第19代
飯田孝三



第20代
内藤奎爾



第21代
林 政義

第22代
秋山 守第23代
住田健二第24代
成合英樹第25代
齋藤伸三第26代
宅間正夫第27代
芹澤昭示第28代
田中俊一第29代
河原 暲

氏名	就任年度・任期	氏名	就任年度・任期	氏名	就任年度・任期
初代 茅 誠司	昭34.2.14~36.5.24	11・12 山本 賢三	52.8.30~55.5.16	22 秋山 守	10.5.27~12.5.24
2 菊池 正士	36.5.24~38.5.27	13 伊藤 俊夫	55.5.16~57.5.21	23 住田 健二	12.5.24~14.6.25
3 瀬藤 象二	38.5.27~40.5.27	14 山本 寛	57.5.21~59.5.21	24 成合 英樹	14.6.25~15.6.24
4 一本松珠璣	40.5.27~42.5.27	15 藤波 恒雄	59.5.21~61.5.22	25 齋藤 伸三	15.6.24~16.6.22
5 大山松次郎	42.5.27~44.5.23	16 堀 一郎	61.5.22~63.5.24	26 宅間 正夫	16.6.22~17.6.22
6 矢木 栄	44.5.23~46.5.27	17 三島 良績	63.5.24~平成2.5.22	27 芹澤 昭示	17.6.22~18.6.22
7 武田 榮一	46.5.27~48.5.16	18 伊原 義徳	2.5.22~ 4.5.22	28 田中 俊一	18.6.22~19.6.19
8 宗像 英二	48.5.16~50.5.16	19 飯田 孝三	4.5.22~ 6.5.24	29 河原 暲	19.6.19~20.6.19
9 伏見 康治	50.5.16~52.5.16	20 内藤 奎爾	6.5.24~ 8.5.29		
10 大山 義年	52.5.16~52.7.16	21 林 政義	8.5.29~10.5.27		

日本原子力学会事業概要

平成11年度～平成20年度

■平成11年度

日本原子力学会創立40周年を記念する行事の開催、中国・四国支部の新設と広島大学での「1999年春の年会」の開催、新潟工科大学での「1999年秋の大会」の開催、社会・環境部会の創設、海外原子力学会との協定の締結等の事業を行いました。また、各種専門委員会、部会、連絡会等を活発に運営するとともに、内外における多くの学会合を主催あるいは関連学協会との共催により実施するなど、内外に向けた諸活動を実施しました。さらに、定款の変更および倫理規定制定の準備、3部会(「保健物理・環境科学」, 「核データ」, 「材料」)の新設準備並びに関東・甲越支部および北関東支部の新設準備を進めました。

その中で、平成11年9月30日に発生した東海村ウラン加工施設における臨界事故は、日本の原子力政策の根幹を揺るがすほどの事故であり、原子力利用を推進している当学会もこれを重く受け止め、学会長声明を発表し、改めて安全文化の維持と醸成を学会員に訴えました。

■平成12年度

公益法人に係わる法規に基づく定款の変更に伴い、関東・甲越、北関東の2支部の設立と、評議員の選挙が行われました。また愛媛大学での「2000年春の年会」、青森大学での「2000年秋の大会」も現地のご協力で成功裏に終えることができました。部会は、保健物理・環境科学、核データ、材料、原子力発電の4部会が発足し、全体で13部会と活発な活動が進んでいます。

標準委員会は、平成11年度から活動を開始しましたが、「使用済燃料・混合酸化物新燃料・高レベル放射性廃棄物輸送容器定期点検基準」が本学会の標準の第1号として作成されました。原子力分野の安全性・信頼性確保のために、同委員会の活動がますます重要になっていくと考えられます。また平成11年9月のJCO事故について、安全調査専門委員会が調査活動を行ってきましたが、その重要性および様々な角度からの研究成果が蓄積されたことを受けて、JCO事故調査委員会を発足させました。さらに、学会員のあるべき姿勢を示した倫理規程も原案がまとまり、学会誌11月号、学会ホームページに掲載、広く学会員のご意見を頂き、武蔵工業大学の年会でも報告いたしました。

現在の学会は、本会創立当初に決められた仕組みに則っておおむね運営されており、最近の実情に合わない

面も多々起ってききましたので、将来構想検討会を発足させ、学会活動全般の見直しを始めました。運営形態が大幅に変更される可能性があり、活動は数年にわたると考えられますが、会員のご意見を反映して進めていく予定です。

■平成13年度

「2001年春の年会」を武蔵工業大学、「2001年秋の大会」を北海道大学で開催し、現地のご協力を得て、盛会裡に終えることができました。特に「秋の大会」では、部会企画による日韓合同セッション、学生連絡会ポスターセッションなど、新しい試みも行われました。

部会活動では、「再処理・リサイクル部会」が発足し、14部会により活発な活動が続けられています。

平成13年6月に制定された倫理規程については、倫理委員会を発足し、その運用上の諸問題を検討することとしました。

標準委員会では、昨年度に引き続き、発電炉、原子燃料サイクル、研究炉などの標準作成・制定を進めました。

編集関係では、学会誌の充実、英文論文誌の査読改善・電子化に引き続き努力する一方、従来、学会誌に掲載されていた和文論文等を分離し、和文論文誌を平成14年3月に創刊。これにより、明確な内容・目的を持った3誌体制が完成しました。

■平成14年度

「2002年春の年会」を神戸商船大学、「2002年秋の大会」をいわき明星大学、「2003年春の年会」をアルカスSASEBOでそれぞれ開催し、現地のご協力を得て、盛会裡に終えることができました。一般公開のパネルディスカッションや国際セッション、日韓中合同シンポジウムなどの開催により、一般市民への情報提供や、国際化にも努めました。部会活動では、「計算科学技術部会」が発足し、15部会により活発な活動が続けられています。標準委員会では、作成した標準の普及と正しい理解を図るための、標準講習会を実施しました。

■平成15年度

「2003年秋の大会」を静岡大学、「2004年春の年会」を岡山大学でそれぞれ開催し、現地のご協力を得て、盛会裡に終えることができました。このとき、特別講演をはじめ部会・委員会共催のチェインディスカッションや標準

委員会のセッションを一般公開とし、一般への情報提供にも努めました。

トピックスとしては、ワークショップ「Atoms for Peace in Japan(Asia)」を開催し、原子力平和利用の50年の歴史を振り返るとともに今後50年のあるべき姿の分析提言、技術士「原子力・放射線部門」の設置およびその運営への積極的協力、さらに、学校教育の副読本としても活用されている『原子力がひらく世紀』の改訂版の発行等の活動を行いました。

■平成16年度

「2004年秋の大会」を京都大学、「2005年春の年会」を東海大学でそれぞれ開催し、現地委員会の協力を得て、盛会裡に終えることができました。大会・年会では、特別講演(「迫りくる巨大地震とその揺れの特徴」,「海と風とエネルギー」)をはじめ、原子力のコミュニケーションに係るチェインディスカッションやバックエンドの講演、放射線教育に係る公開討論、美浜3号機事故特別セッション等を一般公開とし、一般への情報提供と意見交換にも努めました。また原子力総合シンポジウム(「原子力は、社会への説明責任をいかに果たすべきか」)を学協会共催幹事学会として開催しました。

トピックスとしては、部会・支部活動への貢献に対する部会表彰・支部表彰の実施や本会の発展に顕著な貢献をした正会員・推薦会員へのフェローの称号授与、平成17年度から奨学金を貸与する奨学生の選考を行いました。また、中国核学会、オーストラリア原子力協会との協力協定締結を行いました。JCO事故調査委員会では、調査結果を「JCO 臨界事故 その全貌の解明」として刊行しました。さらに、男女共同参画学協会連絡会の副幹事学会として男女共同参画活動の推進を担っております。

■平成17年度

「2005年秋の大会」を八戸工業大学、「2006年春の年会」を日本原子力研究開発機構大洗研究開発センターでそれぞれ開催し、現地委員会の協力を得て、盛会裡に終えることができました。大会・年会では、特別講演(地域における工学教育の実践、我が国の原子力政策と地域社会、茨城の陶芸)をはじめ、原子力と地域の共生フォーラム、男女共同参画シンポジウム、日本原子力研究開発機構への期待と今後の展開、等を一般公開とし、一般への情報提供と意見交換にも努めました。また原子力総合シンポジウム(「原子力はエネルギー逼迫・環境保全時代の主役になりうるか」)を幹事学会として開催しました。

トピックスとしては、部会・支部活動への貢献に対する部会表彰・支部表彰の実施や本会の発展に顕著な貢献をした正会員・推薦会員へのフェローの称号授与、奨学生の選考を行いました。

■平成18年度

「2006年秋の大会」を北海道大学、「2007年春の年会」を名古屋大学でそれぞれ開催し、現地委員会の協力を得て、盛会裡に終えることができました。大会・年会では、特別講演「北海道が支える日本の原子力」,「中部国際空港の運行と安全」,総合講演「もんじゅの運転再開に向けた取組みと課題」,男女共同参画ワーキンググループ、原子力青年ネットワーク、学生連絡会、シニア・ネットワークによる講演と意見交換会、チェインディスカッション「原子力学会の説明責任とは何か」,緊急報告会「志賀原発一号機の臨界事象等に関する報告会」などを一般公開で実施し、一般への情報提供と意見交換にも努めました。また、原子力総合シンポジウム(「社会の発展に貢献する原子力科学技術」)を幹事学会として開催しました。その他、部会・支部活動への貢献に対する部会表彰・支部表彰の実施や本会の発展に顕著な貢献をした正会員・推薦会員へのフェローの称号授与、奨学生の選考を行いました。

トピックスとして、教育関係では、原子力人材育成プログラム推進への積極的に関与・支援したほか、原子力立国計画への対応として人材育成活動への提言を行いました。また、学会の円滑な運営を目的とし、多くの委員会に関係する諸課題を迅速に判断・解決するため、理事会運営ボードを立ち上げました。

ISO TC 85(原子力エネルギー)およびISO TC 85/SC 5(核燃料工学)関係では、国内審議団体として経済産業省より承認され活動を開始しました。また、会員増強キャンペーンを推進し、前年度と比べ、109名(正会員60名、学生会員49名)の増加となりました。

■平成19年度

「2007年秋の大会」を北九州国際会議場、「2008年春の年会」を大阪大学でそれぞれ開催し、現地委員会の協力を得て、盛会裡に終えることができました。大会・年会では、特別講演(我が国におけるプルトニウム利用サイクル技術開発-現状と展望ほか)をはじめ、制御棒引き抜け事象に関する調査報告、原子力立国に向けた人材育成、原子力カルネサンスと日本の原子力外交、原子力発電所のトラブルと規格・規制などの企画セッションを公開にて開催し、一般への情報提供と意見交換にも努めました。また、学生によるポスターセッションも継続して実施しました。大会および年会で開催した「新潟県中越沖地震柏崎刈羽原子力発電所地震報告会」には多くの参加者があり、活発な意見交換が行われました。また、「エネルギーセキュリティと地球環境問題の一体的解決に向けて」をテーマとして原子力総合シンポジウムを幹事学会として開催しました。

出版関係では、より親しみやすい学会誌とすべく、学

会誌の愛称を「ATOMOS」とし、誌面の刷新を図りました。論文誌の Web による同時公開など国際化を進め、海外からの投稿が増加しました。

さらには「迅速に判断し、活動・行動する学会」として改めて理念、ビジョンおよび行動指針を明確にし、社会の要請への対応と会員活動への支援の観点から新たな取組みを行いました。具体的には、原子力発電所地震安全特別専門委員会、原子力法制の在り方検討委員会の設置、原子力安全部会設立や CPD 制度導入の準備、定期的なプレスリリースのほか、洞爺湖サミットに向けての学会声明の発表等を実施しました。また、原子力・放射線分野を学び修めた成績優秀な学生を対象とした「フェロー賞」の新設、部会・支部活動への貢献に対する部会表彰・支部表彰の実施、本会の発展に顕著な貢献をした会員へのフェローの称号授与、奨学生の選考などを行いました。

さらに、会員増強活動の結果、前年度と比べ個人会員が36名(正会員25名、学生会員10名)増加し、会員数は7,706名(社)となりました。その他、事務局の情報IT化の推進を図りました。

■平成20年度

年会・大会関係では、「2008年秋の大会」を高知工科大学、「2009年春の年会」を東京工業大学でそれぞれ開催し、現地委員会の協力を得て、盛会裡に終えることができました。特別講演(龍馬の魅力・やっぱり龍馬は生きている、極地の氷から地球環境を探る)をはじめ、原子力をめぐる世論調査とマスメディア報道、新潟県中越沖地震に関する調査報告と日本原子力学会の取組みなどの企画セッションを公開にて開催し、活発な意見交換が行われました。学生によるポスターセッションやウェルカムレセプションも実施しました。

会議・シンポジウム関係では、「グローバル時代をリードする原子力の新潮流」をテーマとして原子力総合シンポジウムを幹事学会として開催しました。また、10月には青森でPBNC 2009を日本原子力産業協会との共催で開催しました。2009年5月東京にて開催される ICAPP 2009の準備も、原子力発電部会を中心に進めています。

出版関係では、すでに実施している論文誌の Web による同時公開に続いて、日本原子力学会誌の1959年創刊号以来のバックナンバーの全文 Web 公開の作業を進め、一部の公開を開始しました。また学会誌4月号(本号)を創立50周年記念号として刊行準備を進めてきました。

表彰関係では、従来の学会賞とともに、原子力・放射線分野を学び修めた成績優秀な学生を表彰する「フェロー賞」贈呈、部会・支部活動への貢献に対する部会表彰・支部表彰の実施、本会の発展に顕著な貢献をした会員へのフェローの称号授与、奨学生の選考などを行いました。新たに創立50周年を記念し「原子力歴史構築賞」を設立し、候補を募集しました。

情報化関係では、Web 上での学会会員情報システムが12月より稼働し、オンライン入会申込みやクレジットカードによる会費支払いにも対応可能となりました。今後、会員サービスの一層の向上に努めてまいります。

現在、創立50周年記念事業 WG を中心に、2009年4月21日の創立50周年記念式典・祝賀懇親会の準備を進めております。また、公益法人制度改革に伴い、必要な検討も進めています。

会員数は、創立50周年にあわせ、会員増強キャンペーンを実施し、前年度と比べ個人会員が124名(正会員105名、学生会員19名)増加し、7,823名(社)となりました。

学会資料

学会略年表(1999~2008年)

1999年(平成11年)			
1月8日(金)	第5回企画委員会	〃	第2回企画委員会
19日(火)	第5回編集委員会	22日(木)	第415回理事会
25日(月)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 36 [1]発行	〃	第2回総務幹事会
28日(木)	第409回理事会	〃	第1回国際活動委員会
〃	第6回総務幹事会	25日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 36 [7]発行
〃	第2回役員選考委員会	30日(金)	日本原子力学会誌, 41 [7]発行
〃	第4回国際活動委員会	8月25日(水)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 36 [8]発行
〃	第4回学会賞選考委員会	30日(月)	日本原子力学会誌, 41 [8]発行
30日(土)	日本原子力学会誌, 41 [1]発行	31日(火)	第3回編集委員会
2月5日(金)	第3回役員選考委員会	9月7日(火)	第3回企画委員会
25日(木)	第410回理事会	10~12日	「1999年秋の大会」(新潟工科大学)
〃	第7回総務幹事会	22日(水)	第416回理事会
〃	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 36 [2]発行	〃	第3回総務幹事会
28日(日)	日本原子力学会誌, 41 [2]発行	〃	第2回学会賞選考委員会
3月8日(月)	第6回企画委員会	〃	第2回国際活動委員会
16日(火)	第6回編集委員会	25日(土)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 36 [9]発行
18日(木)	第411回理事会	30日(木)	日本原子力学会誌, 41 [9]発行
〃	第8回総務幹事会	10月22日(金)	第1回倫理規定制定委員会
〃	「創立40周年記念事業」第3回実行委員会	25日(月)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 36 [10]発行
〃	第5回国際活動委員会	28日(木)	第417回理事会
22~24日	「1999年春の年会」(広島大学)	〃	第4回総務幹事会
25日(木)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 36 [3]発行	30日(土)	日本原子力学会誌, 41 [10]発行
30日(火)	日本原子力学会誌, 41 [3]発行	11月1日(月)	第1回標準委員会
4月22日(木)	第412回理事会	15日(月)	第4回企画委員会
〃	第9回総務幹事会	16日(火)	第4回編集委員会
25日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 36 [4]発行	25日(木)	第418回理事会
30日(金)	日本原子力学会誌, 41 [4]発行	〃	第5回総務幹事会
5月10日(月)	日本原子力学会創立40周年記念式典	〃	第3回学会賞選考委員会
11日(火)	第37回原子力総合シンポジウム	〃	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 36 [11]発行
17日(月)	第7回企画委員会	26日(金)	第1回学会誌編集幹事会
〃	第6回国際活動委員会	30日(火)	日本原子力学会誌, 41 [11]発行
18日(火)	第7回編集委員会	12月1日(水)	第3回国際活動委員会
25日(火)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 36 [5]発行	2日(木)	第2回倫理規定制定委員会
26日(水)	第41回通常総会	8日(水)	第2回標準委員会
〃	第413回新旧合同理事会	13日(月)	第1回役員選考委員会
〃	第10回総務幹事会	22日(水)	第2回学会誌編集幹事会
30日(日)	日本原子力学会誌, 41 [5]発行	25日(土)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 36 [12]発行
6月9日(水)	第1回企画委員会	30日(木)	日本原子力学会誌, 41 [12]発行
15日(火)	第1回編集委員会	2000年(平成12年)	
24日(木)	第414回理事会	1月7日(金)	第5回企画委員会
〃	第1回総務幹事会	11日(火)	第3回倫理規定制定委員会
〃	第1回学会賞選考委員会	18日(火)	第5回編集委員会
25日(金)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 36 [6]発行	〃	第2回役員選考委員会
29日(火)	日本原子力学会誌, 41 [6]発行	25日(火)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 37 [1]発行
7月13日(火)	第2回編集委員会	27日(木)	第419回理事会

ゝ	第6回総務幹事会	26日(水)	第425回理事会
ゝ	第4回国際活動委員会	ゝ	第2回総務幹事会
ゝ	第4回学会賞選考委員会	ゝ	第1回国際活動委員会
30日(日)	日本原子力学会誌, 42[1]発行	ゝ	第1回選挙管理委員会
2月7日(月)	第3回学会誌編集幹事会	28日(金)	第2回欧文論文誌編集幹事会
10日(木)	第3回標準委員会	30日(日)	日本原子力学会誌, 42[7]発行
23日(水)	第420回理事会	8月4日(金)	第3回学会誌編集幹事会
ゝ	第7回総務幹事会	21日(月)	第2回選挙管理委員会
25日(金)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 37[2]発行	25日(金)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 37[8]発行
28日(月)	日本原子力学会誌, 42[2]発行	30日(水)	第6回標準委員会
3月2日(木)	第4回学会誌編集幹事会	ゝ	日本原子力学会誌, 42[8]発行
6日(月)	第4回倫理規定制定委員会	31日(木)	第8回倫理規定制定委員会
8日(水)	第6回企画委員会	9月4日(月)	第4回学会誌編集幹事会
13日(月)	第1回欧文論文誌編集幹事会	12日(火)	第3回企画委員会
14日(火)	第6回編集委員会	15~17日	「2000年秋の大会」(青森大学)
23日(木)	第421回理事会	16日(土)	第2回編集委員会
ゝ	第8回総務幹事会	ゝ	第3回拡大総務幹事会
ゝ	第5回国際活動委員会	25日(金)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 37[9]発行
25日(土)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 37[3]発行	27日(水)	第426回理事会
28~30日	「2000年春の年会」(愛媛大学)	ゝ	第4回総務幹事会
30日(木)	日本原子力学会誌, 42[3]発行	ゝ	第2回国際活動委員会
4月7日(金)	第5回学会誌編集幹事会	ゝ	第2回学会賞選考委員会
20日(木)	第422回理事会	30日(土)	日本原子力学会誌, 42[9]発行
ゝ	第9回総務幹事会	10月6日(金)	第5回学会誌編集幹事会
ゝ	第4回標準委員会	10日(火)	第9回倫理規定制定委員会
25日(火)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 37[4]発行	25日(水)	第427回理事会
30日(日)	日本原子力学会誌, 42[4]発行	ゝ	第5回総務幹事会
5月10日(水)	第7回企画委員会	ゝ	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 37[10]発行
11, 12日	第38回原子力総合シンポジウム	30日(月)	第3回選挙管理委員会
16日(火)	第7回編集委員会	ゝ	日本原子力学会誌, 42[10]発行
ゝ	第2回欧文論文誌編集幹事会	11月2日(木)	第6回学会誌・第3回欧文論文誌編集幹事会
24日(水)	第42回通常総会	6日(月)	第1回役員選考委員会
ゝ	第423回新旧合同理事会	14日(火)	第4回企画委員会
ゝ	第40回評議員会	21日(火)	第3回国際活動委員会
ゝ	第5回倫理規定制定委員会	22日(水)	第428回理事会
25日(木)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 37[5]発行	ゝ	第6回総務幹事会
30日(火)	日本原子力学会誌, 42[5]発行	ゝ	第3回学会賞選考委員会
6月5日(月)	第1回学会誌編集幹事会	25日(土)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 37[11]発行
7日(水)	第1回企画委員会	30日(木)	日本原子力学会誌, 42[11]発行
13日(火)	第1回編集委員会	12月1日(金)	第7回学会誌・第4回欧文論文誌編集幹事会
21日(水)	第1回欧文論文誌編集幹事会	7日(木)	第2回役員選考委員会
ゝ	第6回倫理規定制定委員会	12日(火)	第7回標準委員会
22日(木)	第424回理事会	13日(水)	第39回原子力総合シンポジウム運営委員会
ゝ	第1回拡大総務幹事会	18日(月)	第1回JCO事故調査委員会
ゝ	第1回学会賞選考委員会	20日(水)	第3回編集委員会
25日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 37[6]発行	ゝ	第8回学会誌・第5回欧文論文誌編集幹事会
30日(金)	日本原子力学会誌, 42[6]発行	25日(月)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 37[12]発行
7月3日(月)	第2回学会誌編集幹事会	30日(土)	日本原子力学会誌, 42[12]発行
11日(火)	第2回企画委員会		
12日(水)	第5回標準委員会		
25日(火)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 37[7]発行		
ゝ	第7回倫理規定制定委員会	1月10日(水)	第5回企画委員会

2001年(平成13年)

16日(火)	第2回JCO事故調査委員会	〃	第434回理事会
24日(水)	第429回理事会	30日(土)	日本原子力学会誌, 43[6]発行
〃	第7回総務幹事会	7月9日(月)	第1回編集委員会・第1回編集幹事会
〃	第4回学会賞選考委員会	10日(火)	第1回企画委員会
〃	第3回役員選考委員会	17日(火)	第8回JCO事故調査委員会
25日(木)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 38[1]発行	19日(木)	第1回総務財務委員会
30日(火)	日本原子力学会誌, 43[1]発行	23日(月)	第1回国際活動委員会
2月2日(金)	第9回学会誌・第6回英文論文誌編集幹事会	24日(火)	第435回理事会
8日(木)	第3回JCO事故調査委員会	〃	第1回表彰委員会
13日(火)	第10回倫理規定制定委員会	〃	第9回標準委員会
25日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 38[2]発行	25日(水)	第1回支部協議会
26日(月)	第4回国際活動委員会	〃	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 38[7]発行
28日(水)	第430回理事会	30日(月)	日本原子力学会誌, 43[7]発行
〃	第8回総務幹事会	8月3日(金)	第2回編集幹事会
〃	第5回学会賞選考委員会	6日(月)	第9回JCO事故調査委員会
〃	日本原子力学会誌, 43[2]発行	7日(火)	第15回倫理規定制定委員会
3月1日(木)	第10回学会誌・第7回英文論文誌編集幹事会	9日(木)	第1回出版委員会
13日(火)	第11回倫理規定制定委員会	25日(土)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 38[8]発行
14日(水)	第6回企画委員会	27日(月)	第1回広報情報委員会
15日(木)	第4回役員選考委員会	30日(木)	日本原子力学会誌, 43[8]発行
〃	第4回JCO事故調査委員会	31日(金)	第3回編集幹事会
21日(水)	第431回理事会	9月4日(火)	第10回JCO事故調査委員会
〃	第9回拡大総務幹事会	11日(火)	第2回総務財務委員会
25日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 38[3]発行	17日(月)	第2回企画委員会
27~29日	「2001年春の年会」(武蔵工業大学)	19~21日	「2001年秋の大学」(北海道大学)
30日(金)	日本原子力学会誌, 43[3]発行	20日(木)	第16回倫理規程制定委員会
4月2日(月)	第11回学会誌・第8回英文論文誌編集幹事会	25日(火)	第436回理事会
3日(火)	第12回倫理規定制定委員会	〃	第2回表彰委員会
16日(月)	第5回JCO事故調査委員会	〃	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 38[9]発行
19日(木)	第5回国際活動委員会	30日(日)	日本原子力学会誌, 43[9]発行
25日(水)	第432回理事会	10月5日(金)	第4回編集幹事会
〃	第10回拡大総務幹事会	〃	第11回JCO事故調査委員会
〃	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 38[4]発行	9日(火)	第2回国際活動委員会
30日(月)	日本原子力学会誌, 43[4]発行	11日(木)	第1回学会賞選考委員会
5月8日(火)	第7回企画委員会	15日(月)	第3回総務財務委員会
〃	第8回標準委員会	16日(火)	第10回標準委員会
9日(水)	第12回学会誌・第9回英文論文誌編集幹事会	17日(水)	第2回広報情報委員会
14日(月)	第13回倫理規定制定委員会	22日(月)	第12回JCO事故調査委員会
15, 16日	第39回原子力総合シンポジウム	23日(火)	第437回理事会
17日(木)	第6回JCO事故調査委員会	25日(木)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 38[10]発行
23日(水)	第433回理事会	30日(火)	日本原子力学会誌, [10]発行
〃	第11回拡大総務幹事会	11月2日(金)	第5回編集幹事会
25日(金)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 38[5]発行	〃	第2回出版委員会
30日(水)	日本原子力学会誌, 43[5]発行	19日(月)	第13回JCO事故調査委員会
6月5日(火)	第13回学会誌・第10回英文論文誌編集幹事会	20日(火)	第4回総務財務委員会
6日(水)	第6回国際活動委員会	21日(水)	第3回企画委員会
7日(木)	第8回企画委員会	25日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 38[11]発行
14日(木)	第14回倫理規定制定委員会	27日(火)	第438回理事会
22日(金)	第12回拡大総務幹事会	〃	第1回役員候補選考委員会
25日(月)	第7回JCO事故調査委員会	29日(木)	第1回選挙管理委員会
〃	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 38[6]発行	30日(金)	日本原子力学会誌, 43[11]発行
27日(水)	第43回通常総会	12月4日(火)	第2回学会賞選考委員会

〃	第2回支部協議会	〃	第4回役員候補選考委員会
7日(金)	第6回編集幹事会	〃	第4回表彰・推薦委員会
13日(木)	第3回広報情報委員会	30日(火)	日本原子力学会誌, 44[4]発行
〃	第14回 JCO 事故調査委員会	〃	第11回編集幹事会
18日(火)	第2回役員候補選考委員会	5月7日(火)	第18回 JCO 事故調査委員会
25日(火)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 38[12]発行	8日(水)	第6回広報情報委員会
26日(水)	第1回倫理委員会	15日(水)	第6回企画委員会
30日(水)	日本原子力学会誌, 43[12]発行	20, 21日	第40回原子力総合シンポジウム
		23日(木)	第9回総務財務委員会
		25日(土)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 39[5]発行
		28日(火)	第443回理事会
		〃	第5回表彰・推薦委員会
		30日(木)	日本原子力学会誌, 44[5]発行
		6月4日(火)	第5回国際活動委員会
		5日(水)	第7回企画委員会
		6日(木)	第5回出版委員会
		7日(金)	第12回編集幹事会
		〃	第12回標準委員会
		10日(月)	第4回倫理委員会
		13日(木)	第19回 JCO 事故調査委員会
		18日(火)	第10回総務財務委員会
		25日(火)	第44回通常総会
		〃	第444回新旧合同理事会
		〃	<i>J. Nucl. Soc. Technol.</i> , 39[6]発行
		〃	日本原子力学会和文論文誌, 1[2]発行
		30日(日)	日本原子力学会誌, 44[6]発行
		7月8日(月)	第1回企画委員会
		9日(火)	第1回編集委員会・第1回編集幹事会
		16日(火)	第1回総務財務委員会
		〃	第5回倫理委員会
		〃	第20回 JCO 事故調査委員会
		23日(火)	第445回理事会
		25日(木)	<i>J. Nucl. Soc. Technol.</i> , 39[7]発行
		29日(月)	第2回編集幹事会
		30日(火)	日本原子力学会誌, 44[7]発行
		8月2日(金)	第1回広報情報委員会
		13日(火)	第1回国際活動委員会
		25日(日)	<i>J. Nucl. Soc. Technol.</i> , 39[8]発行
		27日(火)	第3回編集幹事会
		29日(木)	第1回支部協議会
		30日(金)	日本原子力学会誌, 44[8]発行
		9月4日(水)	第21回 JCO 事故調査委員会
		10日(火)	第2回企画委員会
		14日(土)	第2回総務財務委員会
		14~16日	「2002年秋の大会」(いわき明星大学)
		24日(火)	第446回理事会
		25日(水)	第1回表彰・推薦委員会
		〃	<i>J. Nucl. Soc. Technol.</i> , 39[9]発行
		〃	日本原子力学会和文論文誌, 1[3]発行
		30日(月)	第4回編集幹事会
		〃	第1回出版委員会
		〃	日本原子力学会誌, 44[9]発行
		〃	

2002年(平成14年)

1月7日(月)	第7回編集幹事会
9日(水)	第4回企画委員会
16日(水)	第5回総務財務委員会
18日(金)	第15回 JCO 事故調査委員会
22日(火)	第439回理事会
〃	第3回表彰委員会
〃	第3回学会賞選考委員会
〃	第2回選挙管理委員会
23日(水)	第4回広報情報委員会
25日(金)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 39[1]発行
29日(火)	第3回国際活動委員会
30日(水)	日本原子力学会誌, 44[1]発行
2月1日(金)	第8回編集幹事会
〃	第3回出版委員会
13日(水)	第11回標準委員会
15日(金)	第16回 JCO 事故調査委員会
18日(月)	第2回倫理委員会
19日(火)	第6回総務財務委員会
25日(月)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 39[2]発行
26日(火)	第440回理事会
28日(木)	日本原子力学会誌, 44[2]発行
3月1日(金)	第9回編集幹事会
12日(火)	第5回企画委員会
13日(水)	第7回総務財務委員会
〃	第3回役員候補選考委員会
19日(火)	第441回理事会
20日(水)	第5回広報情報委員会
〃	第17回 JCO 事故調査委員会
25日(月)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 39[3]発行
〃	日本原子力学会和文論文誌, 1[1]発行
27~29日	「2002年春の年会」(神戸商船大学)
30日(土)	日本原子力学会誌, 44[3]発行
4月3日(水)	第10回編集幹事会
〃	第4回出版委員会
〃	第4回国際活動委員会
18日(木)	第3回倫理委員会
19日(金)	第3回選挙管理委員会
23日(火)	第8回総務財務委員会
24日(水)	第3回支部協議会
25日(木)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 39[4]発行
26日(金)	第442回理事会

10月3日(木)	第6回倫理委員会	〃	第3回出版委員会
4日(金)	第13回標準委員会	18日(火)	第6回総務財務委員会
8日(火)	第22回JCO事故調査委員会	19日(水)	第3回国際活動委員会
10日(木)	第1回学会賞選考委員会	25日(火)	第450回理事会
15日(火)	第3回総務財務委員会	〃	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 40 [2]発行
22日(火)	第447回理事会	28日(金)	日本原子力学会誌, 45 [2]発行
25日(金)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 39 [10]発行	3月5日(水)	緊急討論会「もんじゅ判決と安全確保」
28日(月)	第5回編集幹事会	6日(木)	第5回企画委員会
30日(水)	日本原子力学会誌, 44 [10]発行	〃	第27回JCO事故調査委員会
11月7日(木)	第2回広報情報委員会	10日(月)	第9回編集幹事会
11日(月)	第41回原子力総合シンポジウム	11日(火)	第7回総務財務委員会
	第1回運営委員会	14日(金)	第3回役員選考委員会
12日(火)	第3回企画委員会	18日(火)	第451回理事会
13日(水)	第2回国際活動委員会	25日(火)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 40 [3]発行
15日(金)	第23回JCO事故調査委員会	〃	日本原子力学会和文論文誌, 2 [1]発行
18日(月)	第4回総務財務委員会	27~29日	「2003年春の年会」(アルカス SASEBO)
20日(水)	第7回倫理委員会	29日(土)	第4回広報情報委員会
25日(月)	第2回学会賞選考委員会	30日(日)	日本原子力学会誌, 45 [3]発行
〃	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 39 [11]発行	4月10日(木)	第10回編集幹事会
26日(火)	第448回理事会	15日(火)	第8回総務財務委員会(休会)
〃	第1回役員選考委員会	21日(月)	第452回理事会
30日(土)	日本原子力学会誌, 44 [11]発行	〃	第4回出版委員会
12月3日(火)	第2回出版委員会	25日(金)	第28回JCO事故調査委員会
〃	第6回編集幹事会	〃	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 40 [4]発行
9日(月)	第41回原子力総合シンポジウム	30日(水)	日本原子力学会誌, 45 [4]発行
	第2回運営委員会	5月1日(木)	第11回編集幹事会
16日(月)	第24回JCO事故調査委員会	6日(火)	第9回倫理委員会
〃	第2回役員候補選考委員会	13日(火)	第6回企画委員会
25日(水)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 39 [12]発行	14日(水)	第4回国際活動委員会
〃	日本原子力学会和文論文誌, 1 [4]発行	20日(火)	第9回総務財務委員会
26日(木)	第2回役員候補選考委員会	〃	第5回広報情報委員会
30日(月)	日本原子力学会誌, 44 [12]発行	21, 22日	第41回原子力総合シンポジウム
		25日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 40 [5]発行
		27日(火)	第453回理事会
		〃	第3回表彰・推薦委員会
		30日(金)	日本原子力学会誌, 45 [5]発行

2003年(平成15年)

1月8日(水)	第4回企画委員会	30日(金)	日本原子力学会誌, 45 [5]発行
9日(木)	第7回編集幹事会	6月5日(木)	第12回編集幹事会
14日(火)	第41回原子力総合シンポジウム	6日(金)	第15回標準委員会
	第3回運営委員会	11日(水)	第7回企画委員会
16日(木)	第3回広報情報委員会	16日(月)	第29回JCO事故調査委員会
〃	第25回JCO事故調査委員会	17日(火)	第10回総務財務委員会
17日(金)	第14回標準委員会	〃	第3回支部協議会
21日(火)	第5回総務財務委員会	24日(火)	第45回通常総会
〃	第2回支部協議会	〃	第454回理事会
25日(土)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 40 [1]発行	25日(水)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 40 [6]発行
28日(火)	第449回理事会	〃	日本原子力学会和文論文誌, 2 [2]発行
〃	第2回表彰・推薦委員会	30日(月)	日本原子力学会誌, 45 [6]発行
〃	第3回学会賞選考委員会	7月3日(木)	第1回編集委員会・第1回編集幹事会
30日(木)	日本原子力学会誌, 45 [1]発行	8日(火)	第1回企画委員会
2月3日(月)	第8回倫理委員会	15日(火)	第1回総務財務委員会
7日(金)	第26回JCO事故調査委員会	16日(水)	第10回倫理委員会
10日(月)	第8回編集幹事会	22日(火)	第455回理事会

25日(金)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 40[7]発行	ゝ	第2回表彰・推薦委員会
30日(水)	日本原子力学会誌, 45[7]発行	ゝ	第3回学会賞選考委員会
8月1日(金)	第2回編集幹事会	30日(金)	第8回編集幹事会
25日(月)	第1回広報情報委員会	ゝ	日本原子力学会誌, 46[1]発行
ゝ	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 40[8]発行	2月4日(水)	第3回国際活動委員会
26日(火)	第2回企画委員会	ゝ	第3回広報情報委員会
27日(水)	第1回国際活動委員会	17日(火)	第6回総務財務委員会
29日(金)	第3回編集幹事会	24日(火)	第460回理事会
30日(土)	日本原子力学会誌, 45[8]発行	ゝ	第2回選挙管理委員会
9月2日(火)	第2回総務財務委員会	25日(水)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 41[2]発行
8日(月)	第30回JCO事故調査委員会	27日(金)	第9回編集幹事会
9日(火)	第456回理事会	28日(土)	日本原子力学会誌, 46[2]発行
12日(金)	第16回標準委員会	3月5日(金)	第13回倫理委員会
17日(水)	第11回倫理委員会	8日(月)	第5回企画委員会
24~26日	「2003年秋の大会」(静岡大学)	9日(火)	第7回総務財務委員会
25日(木)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 40[9]発行	ゝ	第2回役員候補選考委員会
ゝ	日本原子力学会和文論文誌, 2[3]発行	16日(火)	第461回理事会
30日(火)	日本原子力学会誌, 45[9]発行	25日(木)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 41[3]発行
10月3日(金)	第4回編集幹事会	ゝ	日本原子力学会和文論文誌, 3[1]発行
6日(月)	第1回表彰・推薦委員会	29~31日	「2004年春の年会」(岡山大学)
21日(火)	第3回総務財務委員会	30日(火)	日本原子力学会誌, 46[3]発行
22日(水)	第2回国際活動委員会	4月8日(木)	第10回編集幹事会
25日(土)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 40[10]発行	13日(火)	第8回総務財務委員会
30日(木)	第457回理事会	15日(木)	第4回広報情報委員会
ゝ	第1回学会賞選考委員会	20日(火)	第462回理事会
ゝ	日本原子力学会誌, 45[10]発行	ゝ	第3回選挙管理委員会
31日(金)	第5回編集幹事会	25日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 41[4]発行
11月4日(火)	第3回企画委員会	30日(金)	日本原子力学会誌, 46[4]発行
11日(火)	第4回総務財務委員会	5月7日(金)	第11回編集幹事会
13日(木)	第42回原子力総合シンポジウム	11日(火)	第6回企画委員会
	第1回運営委員会	12日(水)	第4回国際活動委員会
25日(火)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 40[11]発行	13日(木)	第14回倫理委員会
26日(水)	第2回広報情報委員会	18日(火)	第9回総務財務委員会
28日(金)	第6回編集幹事会	25日(火)	第463回理事会
30日(日)	日本原子力学会誌, 45[11]発行	ゝ	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 41[5]発行
12月5日(金)	第458回理事会	27, 28日	第42回原子力総合シンポジウム
ゝ	第1回選挙管理委員会	30日(日)	日本原子力学会誌, 46[5]発行
18日(木)	第7回編集幹事会	6月4日(金)	第12回編集幹事会
22日(月)	第2回学会賞選考委員会	ゝ	第18回標準委員会
25日(木)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 40[12]発行	7日(月)	第7回企画委員会
ゝ	日本原子力学会和文論文誌, 2[4]発行	8日(火)	第10回総務財務委員会
26日(金)	第12回倫理委員会	22日(火)	第46回通常総会
30日(火)	日本原子力学会誌, 45[12]発行	ゝ	第464回新旧合同理事会
		ゝ	第1回表彰・推薦委員会
		25日(金)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 41[6]発行
		ゝ	日本原子力学会和文論文誌, 3[2]発行
1月13日(火)	第4回企画委員会	30日(水)	日本原子力学会誌, 46[6]発行
15日(木)	第1回役員候補選考委員会	7月2日(金)	第1回編集委員会・第1回編集幹事会
20日(火)	第5回総務財務委員会	9日(金)	第1回企画委員会
21日(水)	第17回標準委員会	21日(水)	第1回総務財務委員会
25日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 41[1]発行	23日(金)	第15回倫理委員会
27日(火)	第459回理事会	25日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 41[7]発行

2004年(平成16年)

28日(水)	第465回理事会	2月4日(金)	第8回編集幹事会
30日(金)	日本原子力学会誌, 46[7]発行	9日(水)	第2回学会賞選考委員会
8月6日(金)	第2回編集幹事会	15日(火)	第6回総務財務委員会
25日(水)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 41[8]発行	18日(金)	第20回標準委員会
30日(月)	日本原子力学会誌, 46[8]発行	22日(火)	第3回国際活動委員会
9月3日(金)	第3回編集幹事会	25日(金)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 42[2]発行
10日(金)	第2回企画委員会	28日(月)	第470回理事会
〃	第16回倫理委員会	〃	第2回表彰・推薦委員会
15~17日	「2004年秋の大会」(京都大学)	〃	日本原子力学会誌, 47[2]発行
21日(火)	第2回総務財務委員会	3月4日(金)	第9回編集幹事会
25日(土)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 41[9]発行	10日(木)	第3回広報情報委員会
〃	日本原子力学会和文論文誌, 3[3]発行	11日(金)	第5回企画委員会
27日(月)	第466回理事会	15日(火)	第7回総務財務委員会
30日(木)	日本原子力学会誌, 46[9]発行	〃	第2回役員候補選考委員会
10月1日(金)	第1回出版委員会	22日(火)	第471回理事会
〃	第4回編集幹事会	25日(金)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 42[3]発行
6日(水)	第19回標準委員会	〃	日本原子力学会和文論文誌, 4[1]発行
13日(水)	第1回国際活動委員会	29~31日	「2005年春の年会」(東海大学)
19日(火)	第3回総務財務委員会	30日(水)	第19回倫理委員会
22日(金)	第1回広報情報委員会	〃	日本原子力学会誌, 47[3]発行
25日(月)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 41[10]発行	4月8日(金)	第10回編集幹事会
26日(火)	第467回理事会	14日(木)	第8回総務財務委員会
29日(金)	第5回編集幹事会	25日(月)	第472回理事会
30日(土)	日本原子力学会誌, 46[10]発行	〃	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 42[4]発行
11月12日(金)	第3回企画委員会	30日(土)	日本原子力学会誌, 47[4]発行
16日(火)	第4回総務財務委員会	5月9日(月)	第11回編集幹事会
19日(金)	第17回倫理委員会	13日(金)	第6回企画委員会
25日(木)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 41[11]発行	18日(水)	第20回倫理委員会
26日(金)	第468回理事会	20日(金)	第9回総務財務委員会
30日(火)	日本原子力学会誌, 46[11]発行	24日(火)	第473回理事会
12月3日(金)	第6回編集幹事会	〃	第3回役員候補選考委員会
9日(木)	第2回広報情報委員会	25日(水)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 42[5]発行
14日(火)	第2回国際活動委員会	26, 27日	第43回原子力総合シンポジウム
〃	第43回原子力総合シンポジウム	30日(月)	日本原子力学会誌, 47[5]発行
16日(木)	第1回運営委員会	6月3日(金)	第12回編集幹事会
16日(木)	第1回役員候補選考委員会	〃	第4回広報情報委員会
25日(土)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 41[12]発行	9日(木)	第7回企画委員会
〃	日本原子力学会和文論文誌, 3[4]発行	14日(火)	第21回標準委員会
30日(木)	日本原子力学会誌, 46[12]発行	15日(水)	第4回国際活動委員会
		16日(木)	第10回総務財務委員会
		22日(水)	第47回通常総会
		〃	第474回理事会
		25日(土)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 42[6]発行
		〃	日本原子力学会和文論文誌, 4[2]発行
		30日(木)	日本原子力学会誌, 47[6]発行
		7月1日(金)	第1回編集委員会・第1回編集幹事会
		12日(火)	第1回企画委員会
		15日(金)	第1回部会等運営委員会
		21日(木)	第1回総務財務委員会
		25日(月)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 42[7]発行
		〃	第2回編集幹事会
		26日(火)	第21回倫理委員会

2005年(平成17年)

1月7日(金)	第7回編集幹事会	25日(土)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 42[6]発行
〃	第4回企画委員会	〃	日本原子力学会和文論文誌, 4[2]発行
18日(火)	第43回原子力総合シンポジウム	30日(木)	日本原子力学会誌, 47[6]発行
〃	第2回運営委員会	7月1日(金)	第1回編集委員会・第1回編集幹事会
〃	第5回総務財務委員会	12日(火)	第1回企画委員会
25日(火)	第1回学会賞選考委員会	15日(金)	第1回部会等運営委員会
〃	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 42[1]発行	21日(木)	第1回総務財務委員会
26日(水)	第469回理事会	25日(月)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 42[7]発行
28日(金)	第18回倫理委員会	〃	第2回編集幹事会
30日(日)	日本原子力学会誌, 47[1]発行	26日(火)	第21回倫理委員会

28日(木)	第475回理事会 ゝ 第1回表彰・推薦委員会	25日(水)	第44回原子力総合シンポジウム 第1回運営委員会
30日(土)	日本原子力学会誌, 47[7]発行	ゝ	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 43[1]発行
8月8日(月)	第2回企画委員会	30日(月)	日本原子力学会誌, 48[1]発行
25日(木)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 42[8]発行	31日(火)	第478回理事会
26日(金)	第2回部会等運営委員会	ゝ	第24回倫理委員会
30日(火)	日本原子力学会誌, 47[8]発行	2月1日(水)	第23回標準委員会
9月5日(月)	第3回編集幹事会	3日(金)	第8回編集幹事会
8日(木)	第3回企画委員会	10日(金)	第2回広報情報委員会
ゝ	第2回総務財務委員会	16日(木)	第2回教育委員会
13~15日	「2005年秋の大会」(八戸工業大学)	ゝ	第6回総務財務委員会
14日(水)	第22回倫理委員会	21日(火)	第8回企画委員会
20日(火)	第476回理事会	22日(水)	第44回原子力総合シンポジウム 第2回運営委員会
ゝ	第2回表彰・推薦委員会	25日(土)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 43[2]発行
25日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 42[9]発行	27日(月)	第9回編集幹事会
ゝ	日本原子力学会和文論文誌, 4[3]発行	28日(火)	日本原子力学会誌, 48[2]発行
27日(火)	第22回標準委員会	3月3日(金)	第5回部会等運営委員会
30日(金)	日本原子力学会誌, 47[9]発行	7日(火)	第2回支部協議会
ゝ	第4回編集幹事会	9日(木)	第9回企画委員会
10月13日(木)	第1回フェロー推薦委員会	14日(火)	第2回国際活動委員会
20日(木)	第3回総務財務委員会	16日(木)	第7回総務財務委員会
25日(火)	第4回企画委員会	ゝ	第2回役員候補選考委員会
ゝ	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 42[10]発行	24~26日	「2006年春の年会」(日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター)
30日(日)	日本原子力学会誌, 47[10]発行	25日(土)	第25回倫理委員会
31日(月)	第5回編集幹事会	ゝ	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 43[3]発行
11月2日(水)	第1回国際活動委員会	ゝ	日本原子力学会和文論文誌, 5[1]発行
ゝ	第1回広報情報委員会	28日(火)	第479回理事会
ゝ	第23回倫理委員会	ゝ	第2回選挙管理委員会
11日(金)	第3回部会等運営委員会	30日(木)	日本原子力学会誌, 48[3]発行
17日(木)	第1回教育委員会	4月7日(金)	第10回編集幹事会
ゝ	第4回総務財務委員会	19日(水)	第10回企画委員会
24日(木)	第5回企画委員会	20日(木)	第3回教育委員会
25日(金)	第477回理事会	ゝ	第8回総務財務委員会
ゝ	第1回選挙管理委員会	25日(火)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 43[4]発行
ゝ	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 42[11]発行	30日(日)	日本原子力学会誌, 48[4]発行
30日(水)	日本原子力学会誌, 47[11]発行	5月10日(水)	第3回広報情報委員会
12月1日(木)	第6回編集幹事会	12日(金)	第11回編集幹事会
15日(木)	第1回役員候補選考委員会	17日(水)	第11回企画委員会
20日(火)	第6回企画委員会	18日(木)	第9回総務財務委員会
22日(木)	第1回支部協議会	19日(金)	第6回部会等運営委員会
25日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 42[12]発行	24日(水)	第26回倫理委員会
ゝ	日本原子力学会和文論文誌, 4[4]発行	ゝ	第3回国際活動委員会
30日(金)	日本原子力学会誌, 47[12]発行	25日(木)	第480回理事会
2006年(平成18年)			
1月6日(金)	第4回部会等運営委員会	ゝ	第3回役員候補選考委員会
10日(火)	第7回編集幹事会	ゝ	第3回選挙管理委員会
13日(金)	第2回フェロー推薦委員会	ゝ	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 43[5]発行
19日(木)	第5回総務財務委員会	29, 30日	第44回原子力総合シンポジウム
ゝ	第7回企画委員会	30日(火)	日本原子力学会誌, 48[5]発行
23日(月)	第1回学会賞選考委員会	31日(水)	第3回支部協議会
		6月9日(金)	第12回編集幹事会

13日(火)	第7回部会等運営委員会	〃	日本原子力学会誌, 48[11]発行
14日(水)	第12回企画委員会	〃	第2回フェロー企画運営委員会
15日(木)	第10回総務財務委員会	12月1日(金)	第6回編集幹事会
〃	第4回教育委員会	20日(水)	第5回企画委員会
22日(木)	第48回通常総会	〃	第26回標準委員会
〃	第481回理事会	21日(木)	第4回部会等運営委員会
25日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 43[6]発行	25日(月)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 43[12]発行
〃	日本原子力学会和文論文誌, 5[2]発行	〃	日本原子力学会和文論文誌, 5[4]発行
30日(金)	日本原子力学会誌, 48[6]発行	30日(土)	日本原子力学会誌, 48[12]発行
7月7日(金)	第1回編集委員会・第1回編集幹事会		
13日(木)	第1回企画委員会		
14日(金)	第24回標準委員会		
21日(金)	第1回総務財務委員会	1月5日(金)	第7回編集幹事会
25日(火)	第482回理事会	11日(木)	第5回部会等運営委員会
〃	第27回倫理委員会	12日(金)	第2回フェロー推薦委員会
〃	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 43[7]発行	15日(月)	第5回総務財務委員会
30日(日)	日本原子力学会誌, 48[7]発行	17日(水)	第6回企画委員会
8月4日(金)	第2回編集幹事会	19日(金)	第4回教育委員会
7日(月)	第1回部会等運営委員会	〃	第3回フェロー企画運営委員会
25日(金)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 43[8]発行	23日(火)	第1回学会賞選考委員会
29日(火)	第1回国際活動委員会	25日(木)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 44[1]発行
30日(水)	日本原子力学会誌, 48[8]発行	26日(金)	第2回国際活動委員会
9月1日(金)	第3回編集幹事会	〃	第2回広報情報委員会
4日(月)	第1回教育委員会	30日(火)	第485回理事会
5日(火)	第2回企画委員会	〃	日本原子力学会誌, 49[1]発行
19日(火)	第2回総務財務委員会	〃	原子力総合シンポジウム2007
20日(水)	第2回部会等運営委員会	〃	第1回運営委員会
25日(月)	第483回理事会	〃	第1回役員候補選考委員会
〃	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 43[9]発行	31日(水)	第30回倫理委員会
〃	日本原子力学会和文論文誌, 5[3]発行	2月2日(金)	第8回編集幹事会
27~29日	「2006年秋の大会」(北海道大学)	8日(木)	第2回支部協議会
28日(木)	第28回倫理委員会	20日(火)	第6回総務財務委員会
30日(土)	日本原子力学会誌, 48[9]発行	22日(木)	原子力総合シンポジウム2007
10月6日(金)	第4回編集幹事会	〃	第2回運営委員会
12日(木)	第1回支部協議会	25日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 44[2]発行
16日(月)	第1回フェロー推薦委員会	27日(火)	第7回企画委員会
19日(木)	第2回教育委員会	28日(水)	日本原子力学会誌, 49[2]発行
〃	第25回標準委員会	3月2日(金)	第9回編集幹事会
23日(月)	第3回企画委員会	12日(月)	第2回役員候補選考委員会
24日(火)	第1回フェロー企画運営委員会	13日(火)	第7回総務財務委員会
25日(水)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 43[10]発行	〃	第6回部会等運営委員会
27日(金)	第3回総務財務委員会	20日(火)	第486回理事会
30日(月)	日本原子力学会誌, 48[10]発行	〃	第27回標準委員会
11月10日(金)	第4回企画委員会	〃	第4回フェロー企画運営委員会
〃	第5回編集幹事会	25日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 44[3]発行
16日(木)	第1回広報情報委員会	〃	日本原子力学会和文論文誌, 6[1]発行
〃	第4回総務財務委員会	27日(火)	第31回倫理委員会
21日(火)	第29回倫理委員会	27~29日	「2007年春の年会」(名古屋大学)
22日(水)	第3回部会等運営委員会	28日(水)	日本原子力学会誌, 49[3]発行
25日(土)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 43[11]発行	4月6日(金)	第10回編集幹事会
29日(水)	第3回教育委員会	12日(木)	第5回教育委員会
30日(木)	第484回理事会	16日(月)	第8回総務財務委員会

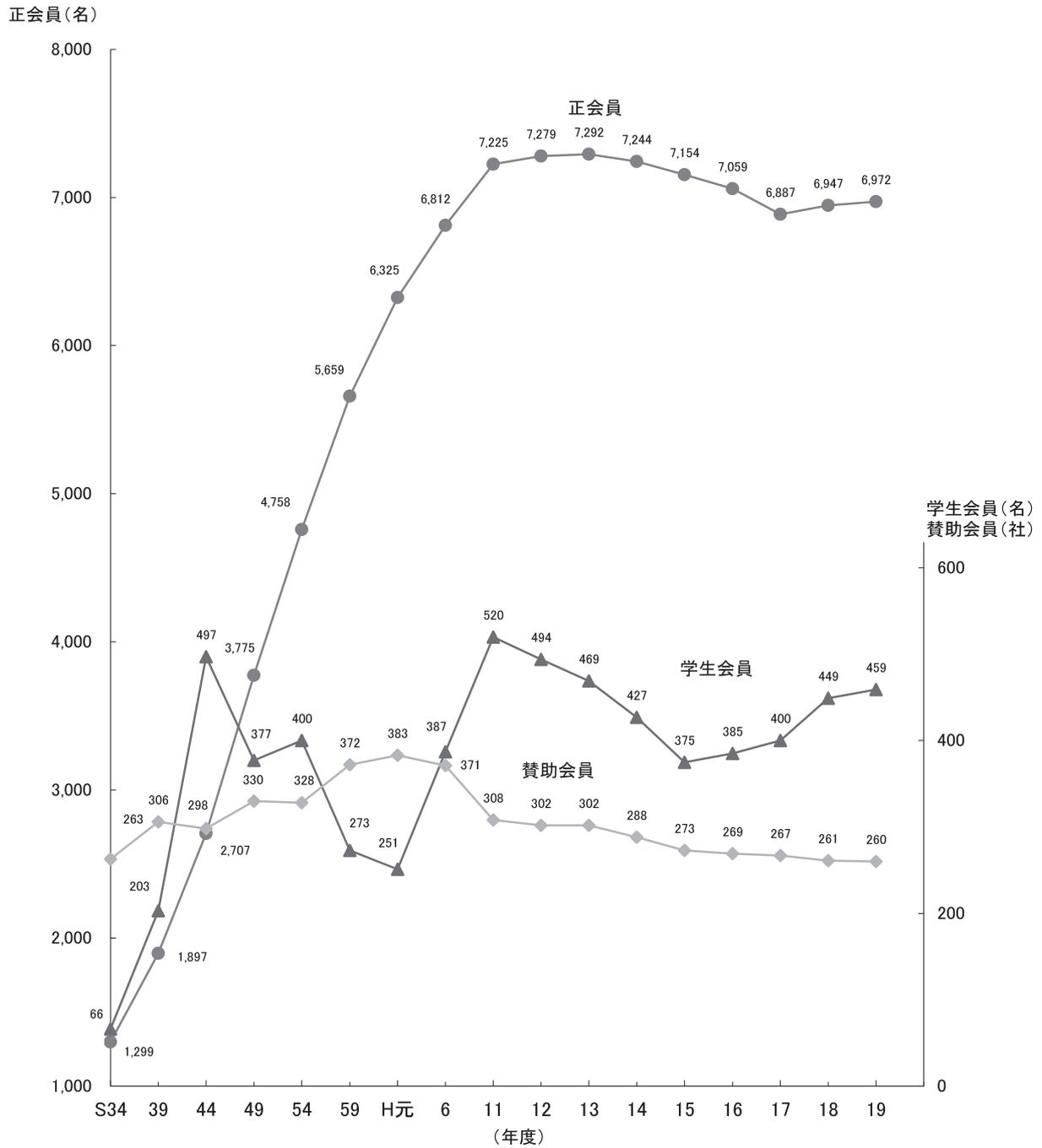
2007年(平成19年)

25日(水)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 44[4]発行	11日(木)	第3回企画委員会
30日(月)	日本原子力学会誌, 49[4]発行	15日(月)	第3回フェロー企画運営委員会
5月8日(火)	第3回国際活動委員会	18日(木)	第1回支部協議会
11日(金)	第11回編集幹事会	25日(木)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 44[10]発行
17日(木)	第9回総務財務委員会	29日(月)	第1回フェロー推薦委員会
〃	第8回企画委員会	30日(火)	日本原子力学会誌, 49[10]発行
21日(月)	第32回倫理委員会	31日(水)	第1回国際活動委員会
22日(火)	第487回理事会	11月2日(金)	第29回標準委員会
〃	第3回広報情報委員会	6日(火)	第5回編集幹事会
23日(水)	第7回部会等運営委員会	8日(木)	第4回企画委員会
25日(金)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 44[5]発行	12日(月)	第35回倫理委員会
28日(月)	第1回フェロー企画運営委員会	13日(火)	第2回教育委員会
30日(水)	日本原子力学会誌, 49[5]発行	14日(水)	第2回広報情報委員会
30, 31日	原子力総合シンポジウム2007	21日(水)	第3回総務財務委員会
6月1日(金)	第12回編集幹事会	22日(木)	第2回部会等運営委員会
7日(木)	第3回支部協議会	25日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 44[11]発行
〃	第6回教育委員会	27日(火)	第491回理事会
〃	第9回企画委員会	〃	第1回選挙管理委員会
〃	第8回部会等運営委員会	30日(金)	日本原子力学会誌, 49[11・12]発行
14日(木)	第10回総務財務委員会	12月6日(木)	第4回フェロー企画運営委員会
〃	第28回標準委員会	7日(金)	第6回編集幹事会
19日(火)	第49回通常総会	10日(月)	第5回企画委員会
〃	第488回理事会	13日(木)	原子力総合シンポジウム2008
25日(月)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 44[6]発行		第1回運営委員会
〃	日本原子力学会和文論文誌, 6[2]発行	〃	第30回標準委員会
30日(土)	日本原子力学会誌, 49[6]発行	25日(火)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 44[12]発行
7月3日(火)	第1回広報情報委員会	〃	日本原子力学会和文論文誌, 6[4]発行
6日(金)	第1回編集委員会・第1回編集幹事会		
19日(木)	第1回企画委員会		
24日(火)	第1回総務財務委員会		
25日(水)	第33回倫理委員会		
〃	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 44[7]発行	1月1日(火)	日本原子力学会誌, 50[1]発行
〃	日本原子力学会誌, 49[7]発行	11日(金)	第7回編集幹事会
30日(月)	第489回理事会	15日(火)	第2回フォロワー推薦委員会
31日(火)	第1回部会等運営委員会	16日(水)	第4回総務財務委員会
8月3日(金)	第2回編集幹事会	22日(火)	第6回企画委員会
25日(土)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 44[8]発行	24日(木)	第492回理事会
28日(火)	第1回教育委員会	〃	第1回役員候補選考委員会
〃	第1回男女共同参画委員会	〃	第2回部会等運営委員会 WG
30日(木)	第2回フェロー企画運営委員会	25日(金)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 45[1]発行
〃	日本原子力学会誌, 49[8]発行	28日(月)	原子力総合シンポジウム2008
31日(金)	第2回企画委員会		第2回運営委員会
9月6日(木)	第1回部会等運営委員会 WG	30日(水)	第36回倫理委員会
7日(金)	第3回編集幹事会	2月1日(金)	日本原子力学会誌, 50[2]発行
12日(水)	第2回総務財務委員会	7日(木)	第3回教育委員会
19日(水)	第490回理事会	8日(金)	第8回編集幹事会
25日(火)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 44[9]発行	19日(火)	第2回国際活動委員会
〃	日本原子力学会和文論文誌, 6[3]発行	20日(水)	第1回学会賞選考委員会
27~29日	「2007年秋の大会」(北九州市)	21日(木)	第7回企画委員会
27日(木)	第34回倫理委員会	25日(月)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 45[2]発行
30日(日)	日本原子力学会誌, 49[9]発行	28日(木)	第2回男女共同参画委員会
10月5日(金)	第4回編集幹事会	3月1日(土)	日本原子力学会誌, 50[3]発行
		6日(木)	第5回フェロー企画運営委員会

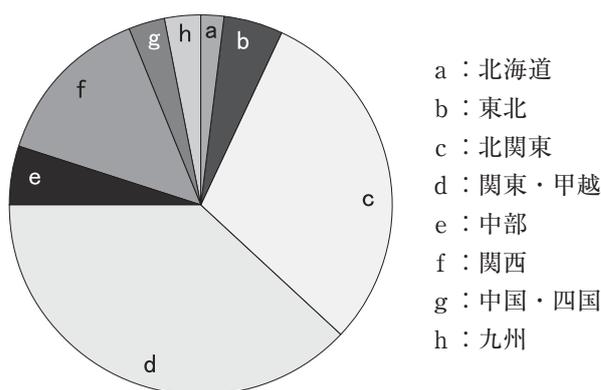
2008年(平成20年)

7日(金)	第9回編集幹事会	22日(火)	第32回標準委員会
10日(月)	第3回広報情報委員会	23日(水)	第1回フェロー企画運営委員会
11日(火)	第3回部会等運営委員会 WG	30日(水)	第496回理事会
〃	第5回総務財務委員会	8月1日(金)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 45[8]発行
17日(月)	第2回支部協議会	〃	日本原子力学会誌, 50[8]発行
21日(金)	第493回理事会	〃	第2回編集幹事会
〃	第2回選挙管理委員会	5日(火)	第2回企画委員会
〃	第2回役員候補選考委員会	6日(水)	第1回部会等運営委員会
26~28日	「2008年春の年会」(大阪大学)	〃	第1回フェロー推薦委員会
25日(火)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 45[3]発行	7日(木)	第1回男女共同参画委員会
〃	日本原子力学会和文論文誌, 7[1]発行	8日(金)	第1回教育委員会
26日(水)	第37回倫理委員会	9月1日(月)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 45[9]発行
4月1日(火)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 45[4]発行	〃	日本原子力学会和文論文誌, 7[3]発行
〃	日本原子力学会誌, 50[4]発行	〃	日本原子力学会誌, 50[9]発行
4日(金)	第10回編集幹事会	〃	第3回編集幹事会
17日(木)	第31回標準委員会	4~6日	「2008年秋の大会」(高知工科大学)
22日(火)	第4回部会等運営委員会 WG	8日(月)	第40回倫理委員会
23日(水)	第4回教育委員会	10日(水)	第2回総務財務委員会
5月1日(木)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 45[5]発行	16日(火)	第3回企画委員会
〃	日本原子力学会誌, 50[5]発行	19日(金)	第33回標準委員会
9日(金)	第11回編集幹事会	24日(水)	第1回広報情報委員会
13日(火)	第3回部会等運営委員会	25日(木)	第497回理事会
14, 15日	原子力総合シンポジウム2008	10月1日(水)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 45[10]発行
16日(金)	第6回総務財務委員会	〃	日本原子力学会誌, 50[10]発行
20日(火)	第38回倫理委員会	3日(金)	第4回編集幹事会
27日(火)	第494回理事会	21日(火)	第4回企画委員会
〃	第3回選挙管理委員会	27日(月)	第1回支部協議会
28日(水)	第3回国際活動委員会	11月1日(土)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 45[11]発行
6月1日(日)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 45[6]発行	〃	日本原子力学会誌, 50[11]発行
〃	日本原子力学会和文論文誌, 7[2]発行	4日(火)	第1回部会等運営委員会 WG
〃	日本原子力学会誌, 50[6]発行	7日(金)	第5回編集幹事会
4日(水)	第8回企画委員会	13日(木)	第3回総務財務委員会
6日(金)	第12回編集幹事会	14日(金)	第41回倫理委員会
12日(木)	第3回支部協議会	20日(木)	第2回部会等運営委員会
13日(金)	第4回広報情報委員会	21日(金)	第5回企画委員会
19日(木)	第50回通常総会	27日(木)	第498回理事会
〃	第495回理事会	12月1日(月)	第2回教育委員会
7月1日(火)	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 45[7]発行	〃	<i>J. Nucl. Sci. Technol.</i> , 45[12]発行
〃	日本原子力学会誌, 50[7]発行	〃	日本原子力学会和文論文誌, 7[4]発行
4日(金)	第1回編集幹事会	〃	日本原子力学会誌, 50[12]発行
8日(火)	第1回企画委員会	5日(金)	第1回国際活動委員会
11日(金)	第39回倫理委員会	〃	第6回編集幹事会
17日(木)	第1回総務財務委員会	15日(月)	第6回企画委員会

第1図 年度別会員数の推移
(昭和34～平成10年度は5年ごと)



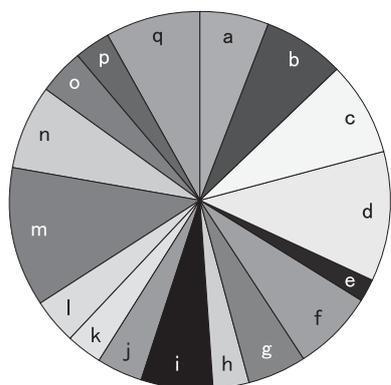
第2図 支部・部会別会員数



- a : 北海道
- b : 東北
- c : 北関東
- d : 関東・甲越
- e : 中部
- f : 関西
- g : 中国・四国
- h : 九州

正会員・学生会員数(2009.01.19現在)

支部名	正会員	学生会員	推薦会員	賛助会員	合計	%
北海道	124	25	0	6	155	2%
東北	346	56	0	13	415	5%
北関東	2109	22	1	21	2153	30%
関東・甲越	2706	146	10	147	3009	38%
中部	352	69	1	17	439	5%
関西	979	95	3	31	1108	14%
中国・四国	198	10	0	8	216	3%
九州	207	53	0	10	270	3%
合計	7,021	476	15	253	7,765	100%

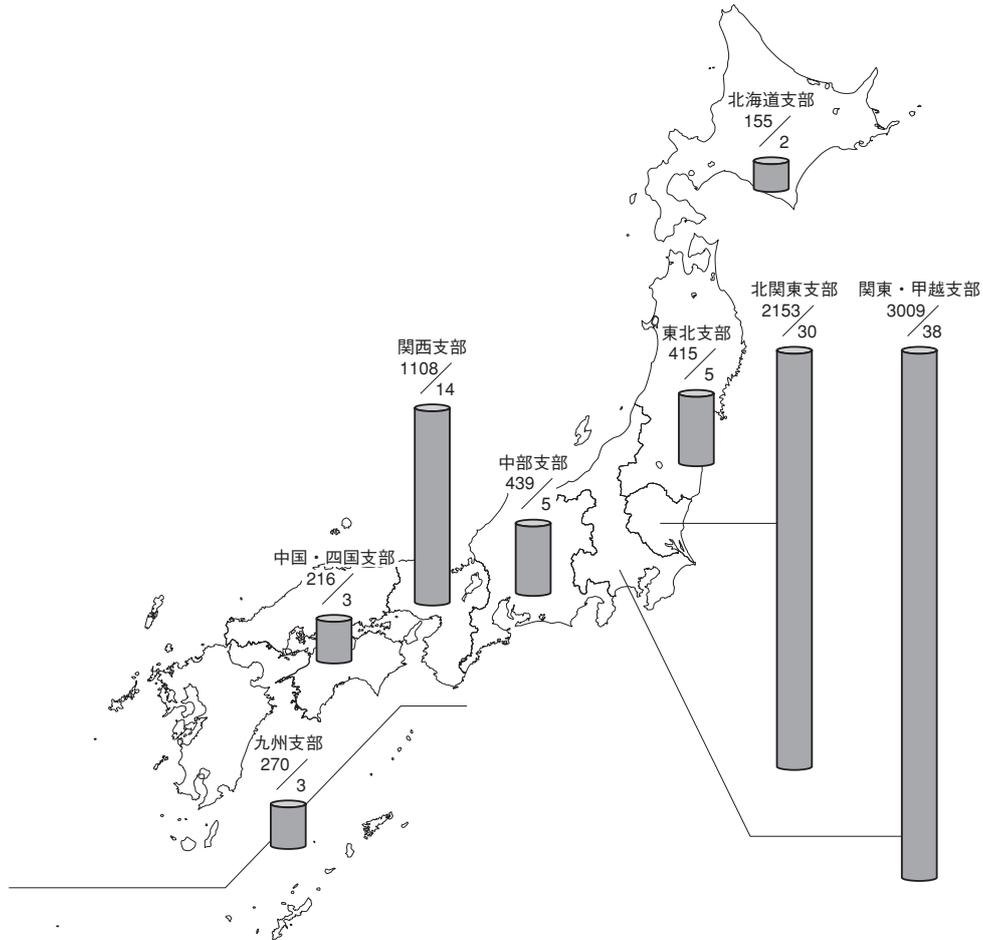


- a : 炉物理
- b : 核融合工学
- c : 核燃料
- d : バックエンド
- e : ヒューマン・マシン・システム
- f : 熱流動
- g : 放射線工学
- h : 加速器
- i : 社会・環境
- j : 保健物理・環境科学
- k : 核データ
- l : 材料
- m : 原子力発電
- n : 再処理・リサイクル
- o : 計算科学技術
- p : 水化学
- q : 原子力安全

部会員数(2009.01.19現在)

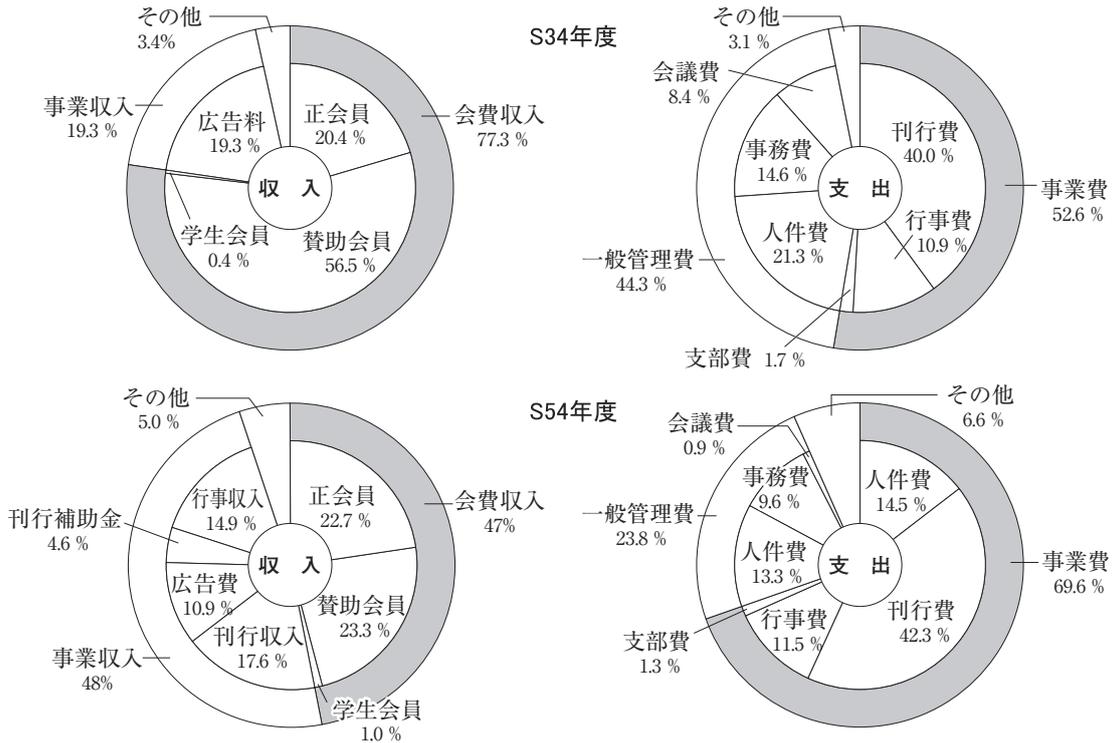
部会名	正会員	推薦会員	学生会員	合計	%
炉物理	344	2	53	399	6%
核融合工学	371	5	57	433	7%
核燃料	406	2	10	418	8%
バックエンド	614	1	30	645	11%
ヒューマン・マシン・システム	127	0	5	132	2%
熱流動	359	3	52	414	7%
放射線工学	249	1	43	293	5%
加速器・ビーム科学	164	1	37	202	3%
社会・環境	307	2	12	321	6%
保健物理・環境科学	223	0	10	233	4%
核データ	153	0	16	169	3%
材料	237	0	23	260	4%
原子力発電	626	1	14	641	12%
再処理・リサイクル	360	1	20	381	7%
計算科学技術	235	0	5	240	4%
水化学	180	0	3	183	3%
原子力安全	416	0	0	416	8%
合計	5,371	19	390	5,780	100%

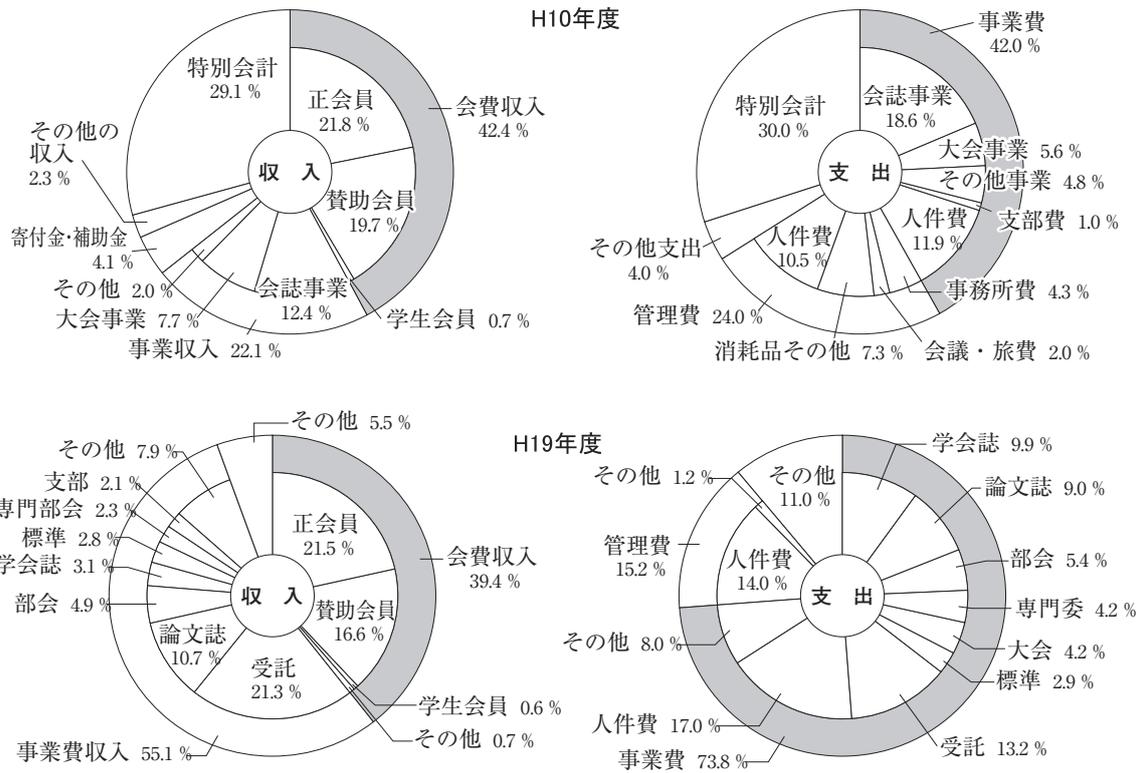
第3図 支部(地区)別会員数



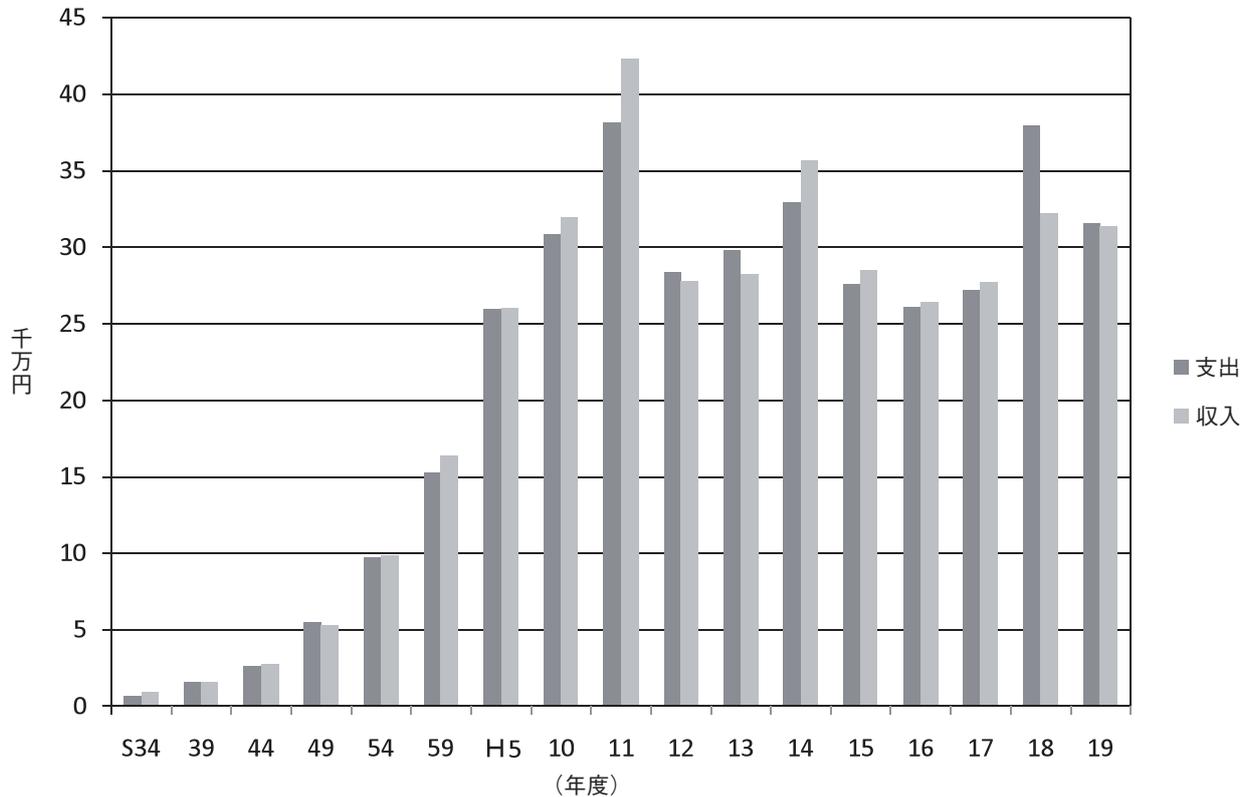
会員数は正会員，学生会員，推薦会員，賛助会員の合計。会員数(名)／%

第4図 学会財政比率の推移



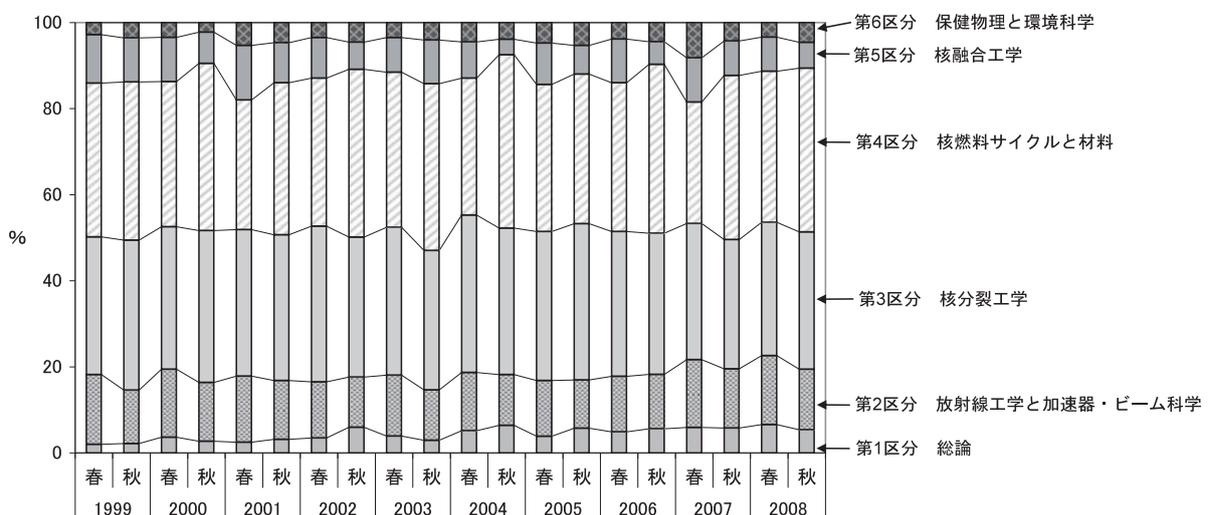


第5図 年度別年間収支額の推移



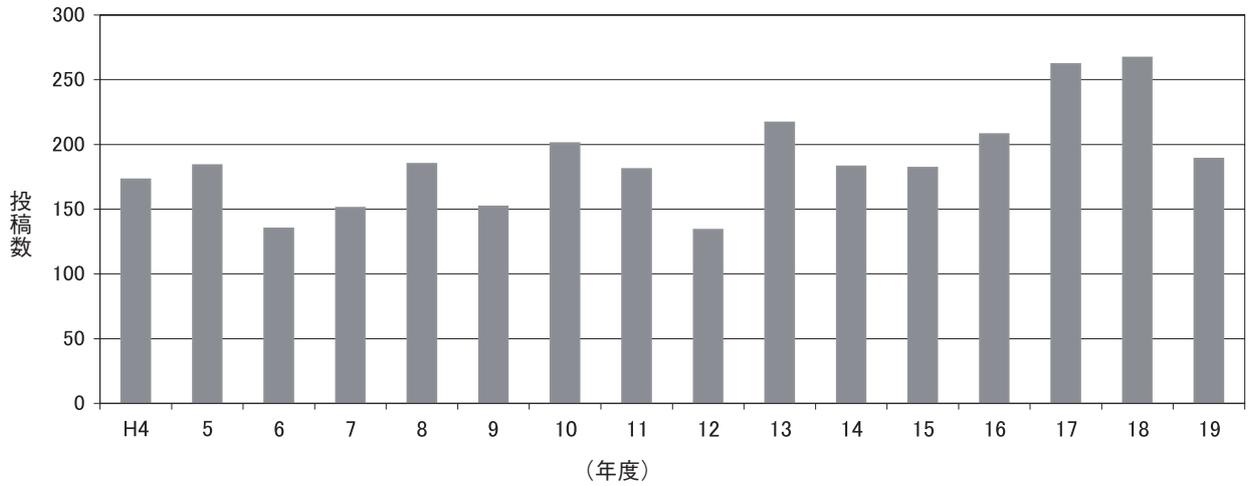
第6図 「春の年会」「秋の大会」における発表件数・参加者数と分野別内訳

年	春の年会		秋の大会			
	地区(会場)	発表件数	参加者数	発表件数	参加者数	
1963(昭和38)	東海大	407			186	
1964(昭和39)	立教大	325			229	
1965(昭和40)	京大	394			218	
1966(昭和41)	東工大	305			378	
1967(昭和42)	東大	356			316	
1968(昭和43)	早大	368			409	
1969(昭和44)	東海大	351			338	
1970(昭和45)	東海大	302	1500		325	
1971(昭和46)	阪大	416	1200		361	
1972(昭和47)	東海大	396	2000		351	
1973(昭和48)	名大	342	1600		278	
1974(昭和49)	東北大	407	1500		440	
1975(昭和50)	東工大	374	2150	府立工研	421	1000
1976(昭和51)	東海大	361	1200	原研東海	425	920
1977(昭和52)	近大	498	1200	北大	561	588
1978(昭和53)	工学院大	389	1200	神船大	509	1500
1979(昭和54)	大阪府技術研	406	1500	原研東海	457	1200
1980(昭和55)	名大	494	1500	東北学院大	413	1500
1981(昭和56)	東工大	443	1500	九大	527	1500
1982(昭和57)	阪大	499	1500	神船大	505	1500
1983(昭和58)	国立教育会館(東京)	449	2000	北大	593	1000
1984(昭和59)	近大	503	1000	原研東海	561	1500
1985(昭和60)	武蔵工大	553	1600	東北大	647	1400
1986(昭和61)	京大宇治	643	1400	九大	664	1200
1987(昭和62)	名大	596	1250	北大	776	1400
1988(昭和63)	東工大	574	1600	神船大	683	1560
1989(平成元)	阪大	592	1500	原研東海	605	1700
1990(平成2)	東大	584	1700	東北大	747	1600
1991(平成3)	近大	649	1450	九大	776	1350
1992(平成4)	東海大	625	1600	名大	761	1500
1993(平成5)	京大	685	1500	神船大	681	1400
1994(平成6)	筑波大	591	1500	北大	1000	1600
1995(平成7)	東工大	661	1600	原研東海	728	1750
1996(平成8)	阪大	717	1450	東北大	700	1350
1997(平成9)	東大	605	1400	沖縄コンベンション	994	1450
1998(平成10)	近畿大	707	1400	福井工大	873	1600
1999(平成11)	広島大	757	1400	新潟工科大	744	1400
2000(平成12)	愛媛大	928	1700	青森大	770	1450
2001(平成13)	武蔵工大	717	1600	北大	880	1500
2002(平成14)	神船大	776	1500	いわき明星大(福島)	636	1300
2003(平成15)	アルカスSASEBO(長崎)	878	1600	静岡大	642	1250
2004(平成16)	岡山大	776	1550	京大	670	1400
2005(平成17)	東海大	696	1550	八戸工大	661	1250
2006(平成18)	JAEA大洗	651	1450	北大	854	1500
2007(平成19)	名大	645	1300	北九州国際会議場(小倉)	935	1600
2008(平成20)	阪大 吹田キャンパス	730	1500	高知工科大	983	1600
2009(平成21)	東工大	705		東北大 青葉山キャンパス		

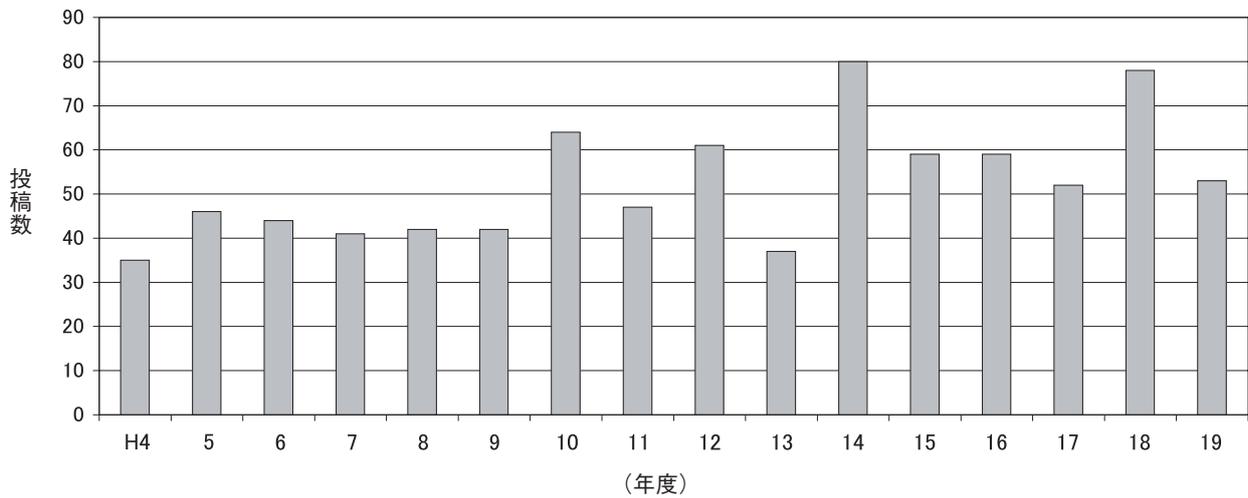


第7図 英文誌・和文誌への投稿状況

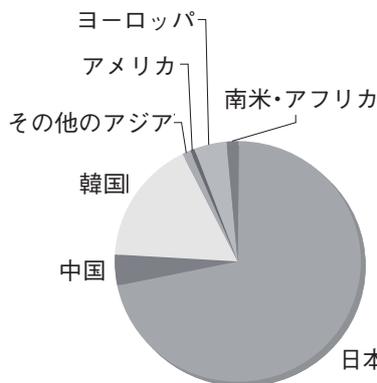
英文論文誌 年度別 投稿数



和文論文誌 年度別 投稿数



平成19年度



平成19年度国内・海外の英文論文誌投稿の割合
(投稿総数189件, 海外割合28.6%)

編 集 を 終 え て

原子力の50年

わが国の原子力研究開発が開始されたのが1950年代後半からであり、ここ数年、本学会や大学の原子力工学が設立50周年の節目を迎えている。あの当時の原子力という命には希望の輝きがあった。新年号での鷺田阪大総長の言葉のように「原子という言葉はかつて、ときめいていた」。会員の多くは意欲に満ちた当時を、あの“ときめき”とともに今も心に秘めておられると思う。だがそれからの原子力発電の発展の歴史と共に、批判側の喧伝と負イメージの醸成に押され、原子力推進を誇りたからかか謳えない時代となって、関係者の苦労ははまだ安らぐことがない。しかしようやく半世紀を経てあの“ときめき”の鼓動が聞こえてきはしないだろうか。人類の発展のためのエネルギー資源として、化学反応から核反応の文明への発展の過程としての原子力開発の重要性が結局は認識されてきたではないか。人々が原子力という言葉から再び希望と明るい未来を連想する日も遠くはないことを願おう。今後の発展と成熟はまさに私たちの“ときめき”度にかかっている。

編集委員長 堀池 寛

数々の難関を一体感で乗り越えてできあがった50周年記念特集

50周年記念特集号の企画は昨春にスタートした。過去の30周年、40周年記念特集号はかなり紙数が多い。いずれも10年ごとの節目として残しておくデータ集、各分野の研究の歩みと今後の展望、座談会等で構成されている。読む目的というよりは、10年間の学会の活動を集約した資料集として編纂することに重きが置かれている。

今回は、記年号としての役割は何か、興味を持って読まれる記念号の記事は何か、読まれ親しまれるという原点に戻って、記念記事の企画・編集に取り組むことにした。予算と企画・編集能力を考慮して、

- ・通常号に半年前から50周年企画記事を掲載する。
- ・特集号の紙数は通常号の2倍程度に抑える。

の前提で取り組むことにした。

まず、昨年7月から副編集長の白川委員と佐田委員に記念特集編集のワーキング・グループ(WG)正・副の長を委ねた。

白川WG長の発案で『原子力の道程：轍の先に』を基本テーマとし、原子力の過去から未来への記事で企画・編集してまとめることになった。実施に当たってはWGが記事項目の選定と綿密な工程表を作り、グループ主査、諮問委員の積極的な協力の下に作業が進んだ。

海外からの祝辞は、日頃の学会との関係から滞りなく届くと思っていたが、一部を除いて最後まで気を揉むことになった。しかし在ウィーンの小溝大使、二ノ方教授ほかのご尽力でやっと掲載にこぎ着けることができた。

記念号の表紙をどうするか大いに迷った。最終的には、画家鈴木新氏の『江戸三大祭りの一つの深川祭り(水かけ祭り)のお神輿』を担ぐ絵を採用することにした。この絵は原子力学会50周年のお祝いという意味と、氏子(会員)がお神輿(原子力)を担ぎ、冷たい水を外からかけられても熱気で吹き飛ばす会員の活力とをかけている。

記念特集の企画・編集は、編集連絡会でそれぞれ分担を決め、自由闊達に論議し、担当委員にすべてを委ねた。いずれにしても両WG長の献身的な努力に負うところが大きいことはいまでもない。ヤング・トーク、アクティブ・トークも、小林、石橋委員がすべてを取り仕切った結果である。

また、通常号と記念号の2つの記念特集を記事の依頼から出版までを一人で鼓舞奮闘した学会事務局の野口さんと学会関連データ・記事の取りまとめを担当された富田氏に感謝したい。

この記念記事が読者にどう受け止められるか、それは読者の判断に委ねられる。企業の経営と同じように、学会誌の記事の企画・編集は、結果責任が問われる。編集委員会は今後もそれを常に意識して記事の企画・編集に励んで行きたい。

学会誌編集長 近藤吉明

これから何をすればよいのか？ 考えるヒントとなることを願った

50周年という大きな節目に記念企画担当の一員となり、昨年の梅雨どきから事務局スタッフとともに苦しみを味わうことになった。

記念企画は通常号と記念号を並行して進められた。

高速炉(2007/7-2008/5)・軽水炉(2007/9-2009/2)に分けて取り上げられた連載講座にも示されているように、世界と日本の原子力が歩んできた道程を振り返り、その轍の先に何があるのか・何を指せばよいのか、を基本構想とした。

通常号の、学会誌創刊期の巻頭言や、シニアの自論、タイムカプセルの企画は基本構想の直接的表現である。

また、原子力と異なる要素を含む新分野の企画として「放射線利用」、「海上安全技術」、「宇宙開発」を取り上げた。ご協力いただいた高エネルギー加速器研究機構(KEK)、海上技術安全研究所(NMRI)、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の各法人に厚く御礼申し上げます。これらの分野が会員の興味を得られるか一抹の不安はあったが、会員からの反応がアンケートをとおして得られ、幸い好評をいただいたことは大きな喜びとなった。今後も原子力以外のエネルギーや、医学・医療分野も視野に入れて異分野の記事の掲載を継続したいと考えている。

本記念号では、進行中の技術解説記事を「次世代軽水炉」、「もんじゅと燃料サイクル」として取り上げた。

これまでも記念号では部会と連絡会の活動報告は骨格をなす位置づけとして掲載されてきた。本号でも17部会、5連絡会すべての報告が掲載されている。横断的に読むことができるよう統一的構成で執筆をお願いした。編集委員としてこれらすべてに目を通すことになったが、AESJの組織としての存在が圧倒的な力として迫りきて、個人の無力感と個人の寄与の重要性を同時に感じる稀有な時間を経験することができた。記念企画はもとより、通常号を形作る記事を執筆して下さった方々に心より御礼申し上げます。

苦労と喜びは人生の陰陽の局面だが、その大きさは比例するわけではない。編集という作業はその量に対して、前者のウェイトが非線形で大きくなる部類に属している。例えば、並行して扱う記事数とともにストレスは急上昇し、50件あたりで発散するという現象が見られる。会員のみなさまの、事務局の原稿納期設計に対する、継続のご協力をお願い申し上げる次第です。

編集 WG 長 白川典幸

過去と今、そして未来とを紡ぐことをめざして

原子力学会が発足した50年前。国内では原子力推進に、熱狂的な支持があったころだ。昨年秋から始めた50周年企画の一つが、巻頭言アーカイブ。それを紹介する説明文を書くために昔の巻頭言を読んでいると、当時の人たちが原子力に対してもっていたさまざまな思いが、蘇ってくるような気がした。また、同じ企画の一つであるタイムカプセル記事では、たくさんの方々に、昔の原子力の思い出や苦労話、そしてこれからへの期待を、熱心につづっていただいた。

この50年で、原子力を取り巻く状況や原子力学会誌はどう変わったか。これからどうなるのか。昨秋からの記念企画やこの記念号では、それをさまざまな企画で、多面的に浮き彫りにしようと試みた。いろいろな人とアイデアをしばり、それをもとにさまざまな人に執筆をお願いした。公募記事では、素晴らしい文章を寄稿された方もいた。

学会がもつさまざまな機能の中でも、ネットワークはとて大きな財産だと思う。人と人が集い、そして議論することで、個人の単純な足し算を超えた成果が得られることがある。いつもの学会誌がそれを追求しているのはもちろんだが、今号ではさらに、過去と現在、そして未来とを紡ぐことで、時系列的な流れの中でのシナジー効果が生まれることも、期待した。刷り上がった学会誌が、そんな思いに達していなかったとしたら、それはひとえに私たち編集に携わる者たちの非力によるものである。

50周年は、あくまで途中の節目。学会誌はこれからも、年輪を重ねていくにちがいない。さて60周年、あるいは100周年を迎えた時の学会誌は、どんな内容になっているだろうか。ずっと未来になって、学会員が今号を見たら、どんな思いを馳せるのだろうか。

編集 WG 副長 佐田 務