

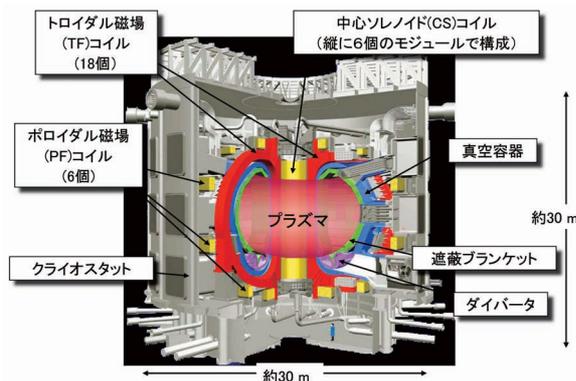
シリーズ解説

我が国の最先端研究開発

No. 1

18 ITER 時代を迎えた核融合研究開発 (I)

将来のエネルギー源として期待される核融合。その研究開発を国際的に進めようとする動きが加速してきた。世界の現状と、今後の課題を紹介する。二宮博正、久保博孝、秋場真人



解説

26 地震動の不確かさを考慮した経年配管の構造信頼性評価手法の開発

—経年劣化が進行した発電用原子炉の配管が地震で壊れる確率は？

長く使われた配管には、さまざまな原因でき裂が発生することがある。そのような配管に地震による揺れが作用すると、どうなるのか。そこでは不確かさやばらつきをどう考慮すればよいのだろうか。伊藤裕人、鬼沢邦雄、杉野英治

巻頭言

1 温暖化対策に大きな役割を果たす原子力利用の国際展開

岸田文雄

時論

2 日本の原子力産業の実力

原子力商戦が本格化し、日本のメーカーの動向と技術に関心が集まりだした。原子力産業をめぐる世界の新しい地図はこれから、どう塗り替えられるだろうか。神田啓治

報告

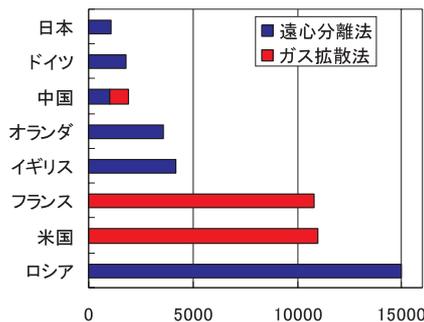
16 日本原子力学会の行動指針と新しい取り組み—「迅速に判断し、活動・行動する学会」を目指したこの1年の活動と成果

河原 暉

解説

30 ウラン濃縮を巡る国際的な動向とわが国の課題

原子力カルネッサンス時代を迎える中で、ウラン濃縮技術への注目が高まっている。世界の原子力産業のプレイヤーは、信頼性と経済性が高い濃縮技術をもつプレイヤーとの戦略的連携を強化しはじめた。山下浩司



追悼

4 伏見康治先生を悼む

大塚益比古

表紙イラスト Schwäbich Hall シュヴェービッシュ・ハルト / ドイツ・バーデン・ヴェルテンベルグ州

シュヴェービッシュ・ハルトという町の名前は、シュヴァーベン地方のハルト(塩の出るところ)という意味。ドイツの先住民族であるケルト人の時代から、塩の産地として発展し、12世紀には神聖ローマ帝国のフリードリッヒ・バルバロッサ時代に、銀貨の鑄造でも知られたところである。

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

連載講座 今、核融合炉の壁が熱い！ —数値モデリングでチャレンジ(2)

35 壁の前で何が起きているか？

核融合を実現するためには、真空容器の中心に、磁気で高温のプラズマを壁から離して閉じ込めなければならない。しかしプラズマの一部は、磁気面の外側にある境界層領域(SOL)に漏れ出し、ダイバータを經由して排出される。今回はそれらのありさまを、数値モデルで紹介する。
畑山明聖, 滝塚知典

連載講座 軽水炉プラント —その半世紀の進化のあゆみ(10)

40 日本の軽水炉開発(4) —第1次改良標準化計画(BWR)

米国から導入された軽水炉は初期の運転段階でさまざまなトラブルを経験する。このため技術の安全性と信頼性を向上させるために、官民は改良標準化に着手。その成果があらわれ、設備利用率は大きく改善していった。

星出明彦, 永井公夫

談話室

46 放射性廃棄物「共に語ろう電気のごみ —もう、無関心ではられない」 地域ワークショップを開催して 鬼沢良子

48 ロスアラモス体験記—核データ部会 「LANL 夏期国際交流学生プログラム」 岩元大樹

会議報告

50 GIF および Euratom における 熔融塩炉研究の広がり 島津洋一郎, 岡野 靖

機関紹介・訪問

52 日立製作所 電力・電機開発研究所 滞在記 吉田 智, 倉健太郎

リレーエッセイ

53 「抱負」松石智美/ 「京の案内人」佐々木隆之

5 NEWS

- 原産年次大会で福田首相が原子力で初の「所感」(下に写真)
- 原産協会が「メールマガジン」を創刊
- 核不拡散問題検討会が提言を官房長官に手渡す
- 世界で運転中の原子力発電所は435基に増加
- JAEA 東海開発センターが、米国原子力学会受賞で記念講演会
- 原燃、再処理工場のしゅん工時期を7月に変更
- 海外ニュース



14 Nuclear News

Dr. Gail H. Marcus の“The OECD Nuclear Energy Agency at 50”を読んで 植松邦彦

ジャーナリストの視点

58 「ストレス抱える原発周辺住民」 村松健治

- 45 書評 木村貴海
- 51 支部便り 荻野晴之
- 56 From Editors
- 59 英文論文誌(Vol.45, No.7) 目次
- 61 会報 原子力関係会議案内, 人事公募,
「2008年秋の大会」見学会, 専門委報告, 新入会一覧,
主要会務, 編集後記

WEB WEBアンケート

- 54 「読みやすさ」と「内容の充実」をめざして
この1年間に寄せられた意見をまとめました。小林容子
- 57 3月号のアンケート結果をお知らせします
学会誌記事の評価をお願いします。 <http://genshiryoku.com/enq/>

学会誌ホームページが変わりました
<http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/atomos/>

温暖化対策に大きな役割を果たす 原子力利用の国際展開



内閣府特命担当大臣(科学技術政策担当)

岸田 文雄(きしだ・ふみお)

早稲田大学法学部卒。日本長期信用銀行、衆議院議員秘書を経て、平成5年の衆議院で初当選(広島県第一選挙区)。昨年9月から現職で、沖縄及び北方、科学技術政策、国民生活、規制改革、消費者行政推進を担当。

エネルギー安定供給の確保と地球温暖化問題への対応という2つの課題の解決のためには、あらゆる有効な対策を最大限に実施せねばなりません。原子力発電は、エネルギー安定供給の確保に貢献できるとともに、二酸化炭素を発電過程で排出せず、ライフサイクル全体で比較しても、単位発電当たりの排出量が石油火力の3%弱であり、地球温暖化対策としても有効な手段です。

我が国の原子力政策の基本方針である「原子力政策大綱」では、原子力発電を基幹電源と位置づけ、2030年以後も総発電電力量の30~40%以上を担うとしています。また、海外においても、原子力発電の導入の機運が高まってきており、世界の多くの国々で原子力発電所の新增設に向けた動きが活発になっています。

こうした中、昨年12月に、私が議長を務めた第8回アジア原子力協力フォーラム(FNCA)大臣級会合が東京で開催されました。本会合では、「持続的発展に向けた原子力エネルギーの平和利用に関するFNCA共同コミニケ」¹⁾として、原子力がエネルギー安定供給確保と地球温暖化対策の双方に貢献し得る有効な手段であるとの認識を共有し、

- (1) 原子力発電をクリーン開発メカニズム(CDM)*の対象とするなど、地球温暖化対策としてもその導入促進を図ること
 - (2) 温室効果ガス排出の長期的かつ有効な削減手段として民生原子力発電の利用を推進するための政策対話を積極的に促進すること
 - (3) 核不拡散、原子力安全及び核セキュリティの確保に努めること
 - (4) 技術的基盤や人材養成、規制体制などの社会的基盤に係わる情報の交換や経験の共有を促進すること
- などを合意しました。地球温暖化対策として原子力発電の導入促進についてこのような声明を出すのは、世界でも初めてのことであり、非常に有意義な会合であったと感じています。

また、本年4月には、フランスとの間で「原子力エネルギーの平和的利用における協力に関する宣言」²⁾が発出され、両国が世界のエネルギー安全保障の強化と地球温暖化に果たす原子力の増大する役割を認識し、原子力に係る様々な取組を行うことで合意しました。

エネルギーの安定供給を図りつつ、2050年に向けた温室効果ガス排出量の大幅削減を実現していくためには、省エネルギー、エネルギー利用効率向上や再生可能エネルギー利用等の他の有力な対策の最大限の実施と並んで、原子力の平和利用の拡大が不可欠です。

そのために、世界的には、

- (1) 地球温暖化対策に原子力の利用拡大が不可欠との共通認識の形成と、利用拡大に向けた国際的な枠組みの構築
 - (2) 核不拡散・原子力安全・核セキュリティの確保のための国際的取組の充実
 - (3) 今後原子力発電を行おうとする国における、人材育成などの基盤整備の取組への積極的協力
- また国内においても、
- (1) 原子力利用に係る安全性や地球温暖化対策への貢献等についての国民との相互理解の促進
 - (2) 高レベル放射性廃棄物の処分場の立地等の重要課題への取組の強化
 - (3) 原子力利用の拡大に資するための研究開発の強化
- などに取り組んでいくことが求められています。

今月、G8北海道洞爺湖サミットが開催されますが、2050年に温室効果ガス排出量の半減という長期目標を掲げた我が国としては、原子力に関して、各国と協調し、核不拡散、原子力安全及び核セキュリティの確保を大前提としつつ、原子力の平和利用の世界的な拡大に積極的に対応することなどを通じて、長期目標達成のトップランナーを務めてまいりたいと思います。今後とも引き続き、皆様の御協力をお願い申し上げます。

*クリーン開発メカニズム(CDM: Clean Development Mechanism): 京都議定書による京都メカニズムの一つ。議定書の削減約束を達成するに当たって、先進国が、途上国において排出削減・植林事業を行い、その結果生じた削減量・吸収量を「認証された排出削減量(クレジット)」として事業に貢献した先進国等が獲得できる制度。

(2008年 5月15日 記)



日本の原子力産業の実力



神田 啓治 かねだ・けいじ

エネルギー政策研究所長
 京都大学名誉教授
 東京工業大学大学院工学研究科博士課程修了。1966年に京都大学原子炉実験所へ入所。94年教授(核物質管理学)、96年大学院エネルギー科学研究科教授(エネルギー政策学)を経て、2002年京都大学名誉教授。

このところ世界各地で原子力発電プラントの新設が行われようとしている。2007年11月にモスクワで開かれた原子力発電所建設国際会議なるものにおいて、冒頭でロシア政府の見解が述べられたが、そこで「世界で原子炉を建設できる会社は5社しかなく、そのうち3社が日本であり、ロシアは6番目の会社になれるかもしれない。そのためには日本と協力体制を築くことが重要である」と強調していた。なるほどそういう見方もあると感心して聞いていた。

確かに、スリーマイル島事故とチェルノブイル事故以降、原子力プラントの新設はスローダウンし、大手メーカーの米国、フランス、英国、ドイツ、カナダ、ロシアでは、建設がほとんど中断していた。しかし、先進国の中で日本だけは少しずつではあるが新設炉を製造し続けていた上、新しい型式のABWRとAPWRの開発を続けてきた。07年5月にはG8サミットの前に日本で電力サミットe8が開かれ、原子力発電が議題となった。原子力は環境に良いという結論に至った。このとき座長を務めたが、各国の考え方の違いに少々驚いた。

さて、日本の原子炉メーカーは現在どこの国のプラント建設を目指しているのか、また、外国の電力会社は日本の技術のどこに期待しているのだろうか。

2004年11月に経済産業省と外務省の強い後押しで日本原子力産業会議(当時)の中に「原子力国際展開懇話会」が設置され、産官学が一体となって日本の原子力産業の進むべき道について議論を開始した。05年11月に米国へ調査団を派遣し、日米間の協力体制が確立できることをお互いに確認しあった。そして、原子力政策大綱に国際展開についての文章が入ったことをもって懇話会は役割を終えた。

懇話会が始まった当初は、中国、インドネシア、ベトナムといったアジア諸国を考えている委員が多かったが、次第に、米国、欧州、ロシアへと対象国が変わっていった。

各国との協議の中で忘れられないのは、日本製鋼所(JSW)室蘭製作所のことである。世界的に原子炉が大型化し、出力100万kW以上になるとどうしてもJSWの

鍛造技術に依らなければならない。フランスのEPRが2基とも三菱重工を通じてJSWの圧力容器を購入したことでわかるように、米国、ロシアにおいてもJSWの話題がしばしば出てくる。07年11月にワシントンで開催された日米エネルギー会議における筆者の講演タイトルも、「JSWについて」で依頼されるほどであった。04年に始まった懇話会では当初、日本の実力は外国から評価されているのかという議論があったが、各国を回るうちに、そのようなことは杞憂に終わった。予想を超える評価のされ方であった。

現在、商談が進んでいるのは第一が米国である。例えば、テキサス電力から引き合いのあった三菱重工のUSAPWRは日本のAPWRの燃料棒を少し長くして出力を上げた米国仕様のものである。内定がきまったときちょうどワシントンにいたが、ちょっとした騒ぎだった。なぜ日本製が良いと判断したのかを関係者から聞いてなるほどと思った。

その翌日、東芝がウェスティングハウスを買収した記念式典に出席した米国政府の高官たちは、口々に東芝の姿勢に感動したと話していた。そしてその日の夕刻、日立がゼネラルエレクトリック(GE)と合併会社を造ることが決まった。誠に劇的な2日間であった。

フランスの連中と話をしていると、「JSWの14,000トン水圧プレスはすごい」と感じているようで、自国用だけではなく輸出用も含めてEPRの圧力容器はJSWに頼みたいといていた。JSWが2010年までに14,000トン水圧プレスをもう1基づくり、2010年からは現在の年間4プラントの製造能力が8.5プラントに増えることになったことを知らせたとき、大喜びをしていた。フランスでも大型プレスをつくってはどうかという話をしたとき、JSWのように世界の信頼を得るのは大変である、米国も中国もJSWに頼んでいるではないかという話にもなった。

最近ではロシアも、市場を国内だけではなく東欧諸国、インド、中国などへ広げたいので、100万kW以上の大型炉となると、「JSWに頼みたい、いっそのこと日本の工場を買いたい」とまでいっている。日ソ原子力協

力協定の改定をこれだけ急いでいるのは、日本の技術を実格的に導入したいからと思われる。ロシアは東芝と08年3月に協定を結んだが、三菱重工、日立とも協定を結びたがっているようである。外務省はJSWを守るために努力している。ロシアについては、「2008年原子力学会秋の大会」で詳しくお話をすることになっている。

英国は2008年1月に原子力白書を発表し、「気候変動の緩和とエネルギー供給保障の確保策として、民間に原子力発電所建設の選択肢を与えることは公益に適している」との政府の暫定的見解を添えた。英国では政策が「白書」という形で発表され、米国や日本の白書とは意味が違う。新設炉の候補として、東芝-ウェスティングハウスのAP-1000、GE-日立のESBWR、アレバ社のEPR、カナダのCANDU改良型のACR 1000の型式から決まららしいが、タス通信によると、英国とは今あまりいい関係にないロシアも参加するとしている。原子力発電プラントのビジネスも世界スケールで動き始めている。

話をアジアに向けて、2008年5月に国際原子力展示会がベトナムで開かれたばかりである。ベトナムは経済成長の著しい国であるが、エネルギー資源の豊かな国であっても原子力発電を導入する方向にあるらしい。プレFS(Feasibility Study)と「原子力法」が国会で承認されるのも間近であり、それが完了すればFSが開始されるのではないかと日本は期待している。最近のことなのでもう少し詳しく書くと、ベトナム政府は展示会の後で、総工費6,000億円をかけて2ヵ所で合計出力400万kWの原子力発電所を建設することに決めた。建設開始は2015年、完成は2020年と見込まれている。ただし、この国では党(共産党の単一支配)と政府、首相、国会という組織の力のバランスがなかなか理解しにくいところがある。ロシアや韓国もチラチラと参入する気配を示しているが、日本にとって本当のライバルはフランスだけらしい。米国国務省は、日本がベトナムと協力することについて前向きである。しかし、インドネシアについては必ずしも賛意を示していない。なかなか困難そうに見える。

アジアといえばやはり中国とインドが大きな市場であ

る。フランス、ロシア、カナダ、韓国など日本以外にも多くの国が参画して激しい争いが起きるものと思われる。フランスは国を挙げて攻めるやり方だが、ロシアの戦略を聞くと、豊富な資金力を活かして資源を含めた複雑な方法を考えているように思える。

各国の原子炉メーカー共通の悩みは人材問題である。我が国も原子力の技術者・研究者が離散しないよう各社それぞれ工夫をしている。米国では給与を高くして人材を集めているようであるが、ロシアとフランスは人材不足を補う格別の方法を考えているように思える。技術の継承と人材育成は、各国とも資金の調達よりも難しいらしい。

我が国の新規原子力発電プラントといえば、電源開発(株)(Jパワー)の大間原子力発電所である。同発電所の特徴としては、①原子力の青森県に建設されること、②世界初のフルMOX装荷が計画されていること、③当初は国策の新型転換炉ATRの実証炉が予定されていたのに、95年に大議論の末ABWRに変わったこと、④安全性と核特性を確認するため、仏カダラッシュでフルMOX-BWRの臨界実験が日本の研究者参加で行われたこと、⑤2006年に全面的に改訂された耐震設計審査指針に基づいて審査された初の新設原子炉であること、などが挙げられる。設置許可は08年4月23日に下り、設計および工事の方法の認可は5月27日に下りたばかりである。設置許可に当たって鈴木篤之原子力安全委員会が談話を発表しているが、なかなかの名文で彼らしい人柄が表れていると感じた。

さて、最後になるが、日本の原子力産業の好調はいつまで続くのだろうか。2030年になると、日本の原子炉も建て替え(リプレース)が始まると思われるが、その頃になると、海外の原子炉よりも国内用の製造が忙しくなるのではないかと。米国はその頃には日本に技術が追いつき、日本とライバル関係になるともいっている。ロシアその他の国も日本と争うようになるのではないかとと思われる。高速増殖炉の開発競争が激化している頃であろう。世界に本格的な原子力時代が来るのであろうか。

(2008年 5月29日 記)

伏見康治先生を悼む

原子力システム研究懇話会 大塚益比古



昨年、白寿を迎えられた伏見康治先生は4月半ばになって食欲をおとされ、入院の後、5月8日に逝去されました。1909年に生れて百年にわたって生きられたこととなります。

原子力に関する、先生の第一の功績は？と問われれば、私は躊躇なく、原子力平和利用の三原則を提唱されたことと答えます。軍事目的の原子力研究は一切行わないための方策として、民主・自主・公開の三原則を含む「原子力憲章・伏見案」を日本学術会議の委員会に提出され（1954、昭29）、その主旨は学術会議の国内声明となり、やがて原子力基本法に取り入れられました（1955）。

その後、学術会議は諸学協会と協同して原子力シンポジウムを3度開催し、その動きが日本原子力学会の誕生となりました（1959）。その折り、先生は世話人の一人として発起人会に加わり、発足後は理事を務められ、後年、会長を務められました（1975～77）。

1956年、関西地区の大学の共同利用のため、研究用原子炉の設置が計

画された折りには、大阪大学理学部長だった先生は、地元住民との折衝の矢面に立ち、候補地が宇治に始まり、高槻、水本村、四条畷に移り、熊取に落ち着くまでの数年間、心身をすり減らす経験をされました。

なお、原子力教育の面では、伏見・大塚訳、グラストン・エドランド著『原子炉の理論』（1955）がありました。

さらに、核融合の基礎研究のため、名古屋大学にプラズマ研究所がつくられた折りには、先生はその設立に努力されたばかりでなく、初代所長を務められました（1961～73）。

原子力行政に関していえば、原子力委員会の原子炉安全基準専門部会長を引き受けられて、原子炉立地審査指針（1964）の制定に尽力されました。

また、いまだに有名な原子力船「むつ」の放射線漏れ事件は1974年のことでしたが、原子力行政のあり方を見直すべしという気運が高まり、翌年、首相の諮問機関として「原子力行政懇談会」（座長の名をとって通称：有澤行政懇）が発足しましたが、1年半の間の正式審議回数は34回に及び、その上、各方面からの意見を調整する必要から、4名の学識経験者（伏見康治、向坊隆、田島英三、青木賢一の諸氏）からなる通称賢人会議が設けられて、正式審議のあった日は、夜食を取って深夜まで

詰めの論議を重ねたと伝えられます。その結果として、従来、原子力委員会のもとにあった原子力安全規制の機能は分離されて、原子力安全委員会の誕生となりました。

ところで、世界はいま、地球温暖化問題をかかえ、さらには石油供給の不安定と価格高騰に直面して、原子力発電への期待は急速に高まっています。けれども、世界的に見れば、核兵器の脅威からくる制約のために、平和利用の健全な発展は容易に期待しがたい状況にあります。しかも、そのような時期に、核不拡散条約（NPT）はすでに崩壊寸前といった状態です。

伏見先生は、かねてから科学者と社会問題との関わりに強い関心をもたれ、とりわけ核兵器廃絶と世界平和のために行動して来られました。世界平和アピール七人委員会は1980年代に入って活動が低下しましたが、先生の熱意によって2004年に再発足することができました。

また、私たちの核拡散問題研究会（1993）はささやかな集まりですが、先生はほぼ毎月出席して下さいました。去る3月25日に開かれた第150回の会合にも、いつも通り電車を使って参加されましたが、これが最後のご出席となりました。今となつては、ただ、ひたすら先生のご冥福をお祈りするばかりです。

（2008年 5月27日 記）



各機関および会員からの情報をもとに編集します。お近くの編集委員(目次欄掲載)または編集委員会 hensyu@aesj.or.jp まで情報をお寄せ下さい。資料提供元の記載のない記事は、編集委員会がまとめたものです。

原産協会が東京で第41回年次大会開催，福田首相が原子力で初の「所感」表明

日本原子力産業協会は4月15、16の両日、東京・港区の東京プリンスホテルで第41回原産年次大会を開催、「人類の持続的発展と原子力の果たすべき役割」を基調テーマに、日本を含む23ヵ国・地域、3国際機関から約890人が参加した。前回の大会は、昨年4月9～12日に青森市で開かれている。

福田総理大臣が所感を表明

今回、現役首相として初めて福田康夫首相が原産年次大会に出席し、原子力の重要性について発言した。開会セッションで、今年7月に自ら議長として開催するG8洞爺湖サミットに向けて、地球環境問題やエネルギー・セキュリティー問題を考えるとき、原子力発電を抜きにして実行ある対策を打ち出すことは極めて困難であることを強調。自ら同サミットで各国首脳に働きかけを行うことを力強く表明した。

福田首相は1月通常国会の施政方針演説では、基本方針の中で、「地球環境や資源・エネルギー問題などにどのような処方箋で対応するのか」との問題提起を行ったものの、具体的には環境関連、省エネ、

新エネなどの技術開発については言及したが、直接原子力については触れていなかった。

福田首相は、「近年、エネルギー安全保障の確立と地球温暖化対策の観点から、世界的な原子力回帰の動きがある。原子力カルネッサンスといわれるこうした動きは、わが国が一貫して原子力開発利用を進めてきたことが、決して間違いではなかったということの証左ではないかと存じております」とも述べてきた。

福田首相スピーチの動画は、原産協会HPからご覧下さい。(http://www.jaif.or.jp/)

大会全般

まず開会セッションでは、今井敬・当協会会長が所信表明を行い、「原子力の利用は、地球温暖化対策のCO₂削減に最も有効であり、日本だけでなく、世界に浸透させなければならないものであります」と強調し、原子力関係者は、「今、活躍すべき、大事な時である。その責任は重大であることを肝に銘じていただきたいと思います」と訴えた。

次いで福田首相が所信表明を行い、原子力開発の



重要性について初めてと言ってよいほど踏み込んだ発言を行った。

セッション1「持続的発展への条件を問う」の議長を務めた茅陽一・東京大学名誉教授は、パチャウリ IPCC 議長が急遽、今大会に出席できなくなったこともあり、今大会の基調となる特別講演を行い、「原子力発電は脱炭素対策のエース」と明言した上で、今後は発展途上国での拡大をどのように行っていくかが大きな課題だと指摘した。

次いで、国際エネルギー機関(IEA)のF. グエン政策顧問が「世界のエネルギー需要の展望とエネルギー安全保障」、国際原子力機関(IAEA)のY. ソコロフ事務局次長が「持続可能な世界のための原子力発電の重要性」と題して講演した。

両氏とも立場は異なるものの、国際社会から見て、原子力発電の重要性が今後ますます高まっていくことは明らかであり、その中でも日本などの果たす役割はさらに高まるだろうと期待感を示した。

午後からのセッション2「環境とエネルギー—大

規模原子力発電開発と台頭しつつある国の戦略とは」では、世界の原子力開発をリードするフランス、ロシア、米国、中国、インド、ブラジル、南アフリカ、日本の代表が熱く自国の原子力開発状況を語った。

2日目の午前、セッション3「世界の原子力ルネッサンスは本物か」では、米国原子力規制委員会(NRC)のP. ライオンズ委員から「国際的な規制協力、安全と安全保障の支え—将来の課題に応える」との基調講演のあと、R. ウルセル・アレバNP社長、岡崎俊雄・日本原子力研究開発機構理事長、金鍾信(キム・ジョンシン)韓国水力原子力社長、A. カマルディノフ駐日カザフスタン特命全権大使、R. バンナーメン米国濃縮会社(USEC)上級副社長、I. レシュコフ・ロシア原子力庁長官補佐官がパネル討論を行った。

原産年次大会の動画(総集編)は原産協会HPからご覧下さい。(http://www.jaif.or.jp/)

(資料提供：日本原子力産業協会)

原産協会が「メールマガジン」を創刊

原産協会は今年4月から、協会の活動を紹介する月刊電子メールマガジン(無料)を創刊した。このメールマガジンは、今年4月まで約2年間発行してきた「原産協会季報」に代わるもので、毎月1回、25日に発行し、その月々の原産協会の活動を紹介する。

インターネットを通じて、会員および原子力関係者と、一層濃密なコミュニケーションを持つことを

ねらっている。

定期購読を希望される方は、以下のリンクから登録をお願いします。

<https://reg18.smp.ne.jp/regist/is?SMPFORM=pin-ldtik-cc6555e741f6caf8356cc448231abaa8>

(資料提供：日本原子力産業協会)

核不拡散問題検討会、「原子力平和利用推進と核不拡散強化のための提言」を町村官房長官に手渡す

また同協会・服部理事長が委員として議論に参加している核不拡散問題検討会(委員長=柳井俊二・元駐米大使)は、「原子力平和利用推進と核不拡散強化のための提言—地球温暖化とエネルギー安全保障の同時解決に向けて」を取りまとめ、柳井委員長が4月15日、町村信孝官房長官に手渡したほか、4月16日に記者会見し、発表した。提言は、外務省、経済産業省、文部科学省などにも提出し、原子力委員会には4月22日の定例会議で報告した。

同提言では、近年の核不拡散上の問題点として、核不拡散条約(NPT)に加盟していないインド、パキスタン、イスラエルの問題、NPTに加盟しながら核開発疑惑がもたれているイラクやイラン問題を指摘、さらには非国家主体が放射性物質を盗取し、ダーティ・ボム(汚い爆弾)としての使用することへの懸念も指摘している。

そのため提言では、(1)国際原子力機関(IAEA)の検証機能の強化として、保障措置協定の「追加議定

書」の締結条件化、(2)原子力供給国グループ(NSG)とIAEAが連携し、対象資機材や技術の最終用途や最終仕向け地の検証体制の創設、(3)核拡散の防止は第一義的には政治的努力の問題であり、技術のみで防ぐことはできないが、核拡散抵抗性のある技術開発の促進——などが重要としている。

また、NPT体制を補完する取組みの強化として、

燃料供給保証構想の重要性を指摘した上で、06年のIAEA総会の特別イベント時になされた6カ国提案やドイツ提案、日本提案、ロシア提案、英国提案などを、「いまやこれをG8等において統合的に検討し、具体化すべき時期に来ている」と訴えている。(提言の内容は原産協会HPに掲載)

(資料提供：日本原子力産業協会)

拡大続く世界の原子力発電，運転中は435基に増加——原産協会が「世界の原子力発電開発の動向」2007/2008年版を発行

2008年1月1日現在，世界で運転中の原子力発電所は435基，合計出力は3億9,224.1万kW(前年は429基・3億8,704.8万kW)となり，運転中の基数は6基増，合計出力は前年を約500万kW上回り，過去最高となった(=表，8頁)。特に，原子力発電所の合計出力は，既存炉での出力増強や，新規炉の出力大型化傾向を反映し，1998年以降，上昇の一途をたどっている。

このデータは，原産協会が毎年行っている世界の

電力会社等へのアンケート調査の結果から得られたもので，原産協会はこの結果を『世界の原子力発電開発の動向2007/2008年版』として4月17日に刊行した。価格は税・送料込みで，7,000円(会員)，14,000円(非会員)。また，原産協会HP(<http://www.jaif.or.jp/>)からその概要を見ることができる。

お問い合わせは原産協会・情報・コミュニケーション部(担当：津田，TEL03-6812-7103)まで。

(資料提供：日本原子力産業協会)

原子力機構の東海開発センター原子力科学研究所，JRR-3の米国原子力学会ランドマーク賞受賞記念講演会を開催

日本原子力研究開発機構(原子力機構)の東海研究開発センター原子力科学研究所(茨城県東海村)は4月14日，テクノ交流館「リコッティ」(茨城県東海村)においてJRR-3の米国原子力学会ランドマーク賞受賞記念講演会を開催した。

当日は，小山田原子力科学研究所長による「研究炉の半世紀の歩みと今後の展望について」の報告の後，授賞式があり，ドナルド・C・ヒンツ米国原子力学会会長から日本原子力研究開発機構の岡崎理事長に認証プレートの授与が行われた。その後，「役立つ研究用原子炉と中性子利用」(原子力機構・藤井保彦)，「新しいパワーエレクトロニクスの動向とシリコン半導体」(産業技術総合研究所・大橋弘通氏)の特別講演が行われた。会場は，自治体，原子力関係者約200名の参加者で満席となり盛況であった。

原子力機構では，今回の受賞は，日本で初めての国産原子炉である研究用原子炉「JRR-3」が，40年



米国原子力学会 ドナルド・C・ヒンツ会長から原子力機構 岡崎理事長へのランドマーク賞の認証プレートの授与の様子

以上にわたる安定かつ安全な運転を通して，わが国の原子力技術の確立および先進的な中性子科学分野の進展に貢献したことが評価されるとともに，今後，産業利用を含めたさらなる貢献への期待が込められたものと受け止めている。

(資料提供：日本原子力研究開発機構)

世界の原子力発電開発の現状 Generating Capacity of Nuclear Power Plants in the World

2008年1月1日現在、(万kW、グロス電気出力)
As of January 1, 2008 (10MWe, Gross Output)

国・地域	運転中 In Operation		建設中 Under Construction		計画中 Planned		合計 Total		Country Region
	出力 Output	基数 Units	出力 Output	基数 Units	出力 Output	基数 Units	出力 Output	基数 Units	
1 米国	10,606.1	104			120.0	1	10,726.1	105	U.S.A.
2 フランス	6,602.0	59	163.0	1			6,765.0	60	France
3 日本	4,958.0	55	256.5	3	1,494.5	11	6,709.0	69	Japan
4 ロシア	2,319.4	27	615.4	8	550.0	5	3,484.8	40	Russia
5 ドイツ	2,137.1	17					2,137.1	17	Germany
6 韓国	1,771.6	20	680.0	6	280.0	2	2,731.6	28	Korea
7 ウクライナ	1,383.5	15	200.0	2			1,583.5	17	Ukraine
8 カナダ	1,342.5	18					1,342.5	18	Canada
9 英国	1,195.2	19					1,195.2	19	United Kingdom
10 スウェーデン	938.4	10					938.4	10	Sweden
11 中国	911.8	11	790.0	8	800.0	8	2,501.8	27	China
12 スペイン	772.7	8					772.7	8	Spain
13 ベルギー	611.7	7					611.7	7	Belgium
14 台湾	516.4	6	270.0	2			786.4	8	Taiwan
15 インド	412.0	17	316.0	6	680.0	8	1,408.0	31	India
16 チェコ	386.0	6					386.0	6	Czech
17 スイス	337.2	5					337.2	5	Switzerland
18 フィンランド	280.0	4	170.0	1			450.0	5	Finland
19 スロバキア	220.0	5					220.0	5	Slovakia
20 ブラジル	200.7	2			135.0	1	335.7	3	Brazil
21 ブルガリア	200.0	2			200.0	2	400.0	4	Bulgaria
22 ハンガリー	194.0	4					194.0	4	Hungary
23 南アフリカ	189.0	2			11.0*	2	200.0	4	South Africa
24 リトアニア	150.0	1					150.0	1	Lithuania
25 ルーマニア	141.2	2	211.8	3			353.0	5	Romania
26 メキシコ	136.4	2					136.4	2	Mexico
27 アルゼンチン	100.5	2	74.5	1			175.0	3	Argentina
28 スロベニア	72.7	1					72.7	1	Slovenia
29 オランダ	51.0	1					51.0	1	Netherlands
30 パキスタン	46.2	2	30.0	1			76.2	3	Pakistan
31 アルメニア	40.8	1					40.8	1	Armenia
32 イラン			100.0	1	36.0	1	136.0	2	Iran
33 インドネシア					400.0	4	400.0	4	Indonesia
34 エジプト					187.2	2	187.2	2	Egypt
35 イスラエル					66.4	1	66.4	1	Israel
36 トルコ					N/A	3	N/A	3	Turkey
37 カザフスタン					N/A	1	N/A	1	Kazakhstan
38 ベトナム					N/A	1	N/A	1	Vietnam
合 計 ()内は前年値	39,224.1 (38,704.8)	435 (429)	3,877.2 (2,940.4)	43 (35)	4,960.1 (5,217.4)	53 (47)	48,061.4 (46,862.6)	531 (511)	Total (previous year)

*出力判明分のみ

The unknown output is not included.

日本原燃，再処理工場のしゅん工時期を7月に変更

日本原燃は5月29日、青森県六ヶ所村の再処理工場のしゅん工時期をこれまでの「08年5月」から「08年7月」に変更する旨を発表した。

同社は、2月14日からアクティブ試験(実際の使用済燃料を用いた試験)の最終段階である第5ステップを行っている。

しゅん工に向けた最後の課題は、第4ステップに引き続き高レベル廃液ガラス固化設備の試験であるが、現在は第4ステップで試験を行ったガラス熔融

炉内の残留物の分析・評価や、過去のデータの評価や実験・解析などにより設備の安定運転条件の検討を行っており、今後、運転方法に関する報告書を取りまとめた後、国の委員会等の場での審議・評価を経た上で同試験を再開する予定としている。

工程変更の理由について、同日、会見を行った兒島伊佐美社長は、「ガラス固化設備に関しての国の委員会などでの審議や試験期間を考慮し、総合的に検討した結果」と述べた。(資料提供：日本原燃)

■施設の安全機能および機器・設備の性能確認

第1ステップ	・せん断・溶解施設のA系列でPWR燃料により確認	・燃焼度 低～中 ・冷却期間 長～中	処理量 約30トン
第2ステップ	・引き続き、A系列でPWR燃料により確認後、BWR燃料についても確認	・燃焼度 低～中 ・冷却期間 長～短	処理量 約60トン
第3ステップ	・第1、第2ステップで確認した事項を中心にB系列で確認	・燃焼度 低～高 ・冷却期間 長～短	処理量 約70トン

■工場全体の安全機能および運転性能確認

第4ステップ	・工場全体の処理性能等をPWR燃料により確認	・燃焼度 高 ・冷却期間 中～短	処理量 約110トン
第5ステップ	・工場全体の処理性能等をBWR燃料により確認	・燃焼度 低～高 ・冷却期間 長～短	処理量 約160トン

海外情報

(情報提供：日本原子力産業協会)

[欧州]

英仏が規制分野で協力、EPRが英国での事前審査対象炉型に

英仏首脳は3月27日、英国で機運が高まる新規原子力発電所の建設に向け、原子力安全や事前認可等の分野で緊密に協力することで合意した。英国ではこれまでに4炉型の包括的設計審査(GDA)フェーズ1を終了。今後、対象炉型数を3炉型へ絞る予定だが、仏アレバ社製EPRが審査対象に選ばれることは確実となった。

英国を訪問したN・サルコジ仏大統領とG・ブラウン英首相の共同声明によると、両国の規制当局は相互に人員を派遣し、共同で原子力安全、セキュリティ、廃棄物管理、原子炉許認可等を検討。原子力

発電所新設に向けた法規制整備を、効率よく迅速に進める考えた。

将来的には、英仏以外の欧州諸国が参加することも想定されており、欧州共通の原子力法規制整備に拡大する可能性もある。

また英仏両国は、国際原子力機関(IAEA)主導の「核燃料供給保証構想」の実現に向け協力することも確認している。

仏電力公社(EDF)の英法人EDF エナジー社は昨年10月、「新設に向けた法規制が整備されれば、政府からの資金援助なしに、EDF エナジー社単体、あるいは他の出資者と共同で、新規原子力発電所を運開させることが十分可能」とするパブリック・コメントを英政府に提出。①新規建設計画に関する申請手続きの合理化、②新設サイト特定のための戦略的サイト評価に関する保証、③採用炉型の事前設計認可の実施、④新たに生じる放射性廃棄物などバックエンド問題への対応——等の施策を英政府が実施

すれば、2017年までに初号機を、2025年までに計4基のEPRを英国で運開させるとの自信を示していた。英仏首脳の本日の合意は、ほぼEDFエナジー社の要求に沿った形となっている。

英国では4月末をメドにGDA審査対象を、①カナダ原子力公社(AECL)製ACR1000(120万kW)、②仏アレバ社製EPR(160万kW)、③米GE日立ニュークリア・エナジー社(GEH)製ESBWR(155万kW)、④米ウェスチングハウス社製AP1000(110万kW)——の4炉型から3炉型に絞る予定だが、今回の英仏合意によりEPRが審査対象の3炉型に選ばれることは、ほぼ確実となった。

エネ大臣は原子力の大幅拡大を主張

一方、英ビジネス・企業・規制改革省(BERR)のJ・ハットン・エネルギー担当大臣は3月26日、原子力発電所新設は大規模に実施すべきであり、その経済効果は英産業界にとって北海油田開発以来、最大規模になるとの考えを示した。

英国最大の労組ユニオンが主催する国際会議に出席した同大臣は、「地球温暖化対策に真剣に取り組み、英国のエネルギー・セキュリティを可能な限り確保するためには、原子力発電を大幅に拡大する必要がある」と言明。そして、欧州の原子力カルネッサンスを牽引するためにも、英国の総発電電力量の約20%を供給する既存の原子力発電所をリプレースするだけでなく、英国内で大規模な新規建設を実施すべきとの自説を展開した。

ハットン大臣は、原子力発電の安全性は十二分に証明されていると指摘し、廃棄物処分問題についても、「処分方法はすでに決定しており、後は処分場を決めるだけになっている」と強調。原子力発電に対する技術面での懸念は払拭されているとの見方を示した。

また大臣は、原子力発電所の建設は既存炉のリプレース分だけでもヒースロー空港の新第5ターミナル建設の3倍もの工事規模であり、1万人分の雇用を生み、経済効果は200億ポンドに達するとの試算を示した。

CANDU 炉は不利に

なおユニオンは同日、英国で採用される炉型について声明を発表し、世界標準となる炉型を選択する

よう要望した。英国産業界が世界標準炉の建設および運転に精通することで、製品およびサービスの海外輸出が見込める、との考えだ。

EPRは、すでにフィンランドとフランスで、実機の建設を開始している。ESBWRとAP1000も、米国や中国で新設プロジェクトが存在している。

これに対し、カナダ原子力公社(AECL)製の最新型CANDU炉であるACR1000は、カナダ国内以外での新設プロジェクトがなく、不利な立場に立たされることになりそうだ。

[フランス]

アレバ社、ウラン採鉱量を5年で倍増へ

フランスのアレバ社はこのほど、エンジニアリング大手テクニップ社とパートナーシップ協定を締結。アレバ社のウラン生産量は年間6,000トン(2007年実績)だが、同協定により、今後5年間で年間生産量を倍増させると意気込んでいる。

具体的には、アレバ社傘下のSGN社が、テクニップ社と合弁会社TSUプロジェクト社を設立。30億ユーロを投じて、アフリカ地域を中心に10鉱山を新規に開発する。10鉱山の中でも特に、イモーラレン鉱山(ニジェール)と、トレッコピー鉱山(ナミビア)の開発を加速させるという。

[トルコ]

トルコ・アックユ発電所の初号機建設で国際入札開始

トルコ電力公社(TEAS)は3月24日、トルコ初となる原子力発電所の初号機建設について国際入札を開始した。入札期限は9月24日。TEASの計画では、地中海沿岸のアックユ地点に3基(合計出力400万kW)を建設するという。これまで候補に挙がっていた黒海沿岸のシノップ地点は撤回されたようだ。

トルコでは昨年、「原子力発電所の建設・運転・売電に関する法案」が成立し、新規原子力発電所の運開後15年間、配電認可を持つすべての電力会社が、原子力発電による電力を一定量購入するよう義務付けられた。これにより原子力発電所の運転者(もしくは出資者)は一定額の回収が保証されることに

なる。

エネルギー資源に恵まれないトルコは、イランやロシアからの天然ガス供給に頼らざるを得ないのが現状だ。R・T・エルドアン首相は「2015年までに初号機を運開させる」と宣言しており、H・ギュレル・エネルギー天然資源相も「20年内に総発電電力量に占める原子力シェアを20%にする」との目標を掲げている。

アックユ1号機に4社が応札

また TEAS はこのほど、すでに4社が応札していることを明らかにした。

入札しているのは、カナダ原子力公社(AECL)、仏建設大手 VINCI 社、仏スエズ社、伊藤忠の4社。応札者は、トルコ企業とコンソーシアムを組むことを義務付けられている。

TEAS によると、そのほかにも仏アレバ社、韓国電力、ロシアおよび米企業が関心を示しているという。

[エジプト]

原子力導入計画にロシアも参画

エジプトのH・ムバラク大統領のロシア訪問に合わせ、H・ユーネス・エジプト電力・エネルギー相とS・キリエンコ・ロシア原子力庁長官は3月25日、懸案となっていた原子力協力協定を締結。これによりエジプトが計画する原子力発電導入計画に、ロシアも参画することができる。

ムバラク大統領は昨年10月、原子力発電開発プログラムに着手することを正式に発表。エネルギー源を多様化させることにより、石油やガス資源を将来世代に遺すと明言。諸外国の協力や国際原子力機関(IAEA)の支援を仰ぎながら、核不拡散の観点から透明性を持った枠組みの中で、初号機を運開させる意向を明らかにしている。建設する基数や炉型、着工時期などの詳細は不明。

[バーレーン]

米国と原子力協力で覚書

米務省のC・ライス長官とバーレーンのK・ハリ

ファ外相はこのほど、原子力発電に関する協力覚書(MOU)を締結した。バーレーンのエネルギー供給安定性とエネルギー源多様化を確保することがねらい。

駐米バーレーン大使館の声明によると、同国はIAEA およびNPT の枠組み内で原子力発電開発を実施する計画。

アラブ諸国は近年、原子力発電開発に意欲を見せており、4月6日からエジプトのカイロで開催される原子力発電に関するワークショップには、バーレーン、エジプト、サウジアラビア、アラブ首長国連邦、ヨルダン、アルジェリア、スーダン、シリアのエネルギー担当大臣が出席するという。同ワークショップはIAEAの助言に従い、2020年までの原子力発電開発計画の立案を目指したものだ。

アラブ諸国は原子力導入の理由として「増大する電力需要や海水脱塩」を挙げているが、イランが推進する原子力発電開発計画に対する政治的な牽制との見方も依然として強い。

[米国]

COL申請、月末までに計9件15基

米国で3月31日、新たに2件の建設・運転一体認可(COL)が、原子力規制委員会(NRC)に申請された。部分申請の2件を含め、これまでにCOLが申請された新規原子力発電所建設プロジェクトは、これで9件15基になった。

ボーグル・サイト

サザン・ニュークリア・オペレーティング社(SNC、サザン・カンパニーの子会社)はアルピン・W・ボーグル原子力発電所サイト(ジョージア州)を対象としたCOLを、NRCへ申請。AP1000を2基建設することを想定している。

SNCのB・ピースリー社長兼CEOは、「ジョージア州では2015年以降に電力需要が大幅に増加する」との見通しを示し、「原子力発電は、環境影響が小さく、安全で、供給安定性が高く、コストの低い電源。今回のCOL申請により、将来の電力需要に対し原子力オプションを保持することができる」と語った。

SNCは2006年8月、ボーグル・サイトを対象と

した事前サイト許可(ESP)もNRCに申請しており、現在審査中である。ESPを取得すれば、COL手続きが大幅に効率化され、早期にCOLを取得できると見込まれている。

サザン・カンパニーは、原子力発電所の新規建設をめざしてCOLの実証を目的としたコンソーシアムであるニュースタート・エナジー・デベロップメントのメンバー企業。昨年5月には、デューク・エナジーと共同で進めていたウィリアム・ステイツ・リー3原子力発電所プロジェクトから撤退。ボーグル・サイトでプロジェクトに、資金と人材を集中する方針を明らかにしていた。

サマー・サイト

サウスカロライナ・エレクトリック&ガス社(SCE&G)とサンティ・クーパー社も3月31日、サウスカロライナ州のバージル・C・サマー原子力発電所サイトを対象としたCOLを、NRCへ申請した。こちらと同じく、AP1000の2基増設することを想定している。

SCE&GのK・マーシュ社長は、「正式に建設を決定したわけではない」としながらも、「原子力発電は安全でCO₂を排出せず、サウスカロライナ州にとって正しい判断」と強調。サンティ・クーパー社のL・カーター社長兼CEOも、「サウスカロライナ州の電力需要が増大する中で、原子力発電は電力供給のカギとなる」とした上で、今回のCOL申請は、原子力発電を引き続きオプションとして堅持する姿勢を示すものと指摘した。

両社は早ければ2011年にもCOLを取得。サウスカロライナ州公益事業委員会等の承認を得れば、COLの取得直後に着工し、ベースロード電源の需要増が予測される2016年頃に初号機を運開させたい考えだ。

SCE&Gも、ニュースタート・エナジー・デベロップメントのメンバー企業だ。

資器材調達も

なおSCE&Gは4月1日、同プロジェクトの実施に必要な主要資器材の調達で、ウェスチングハウス社およびショー・グループと合意したことを発表した。AP1000の建設に必要な大型鍛造品や、工程上重要な原子炉やタービンの部品など、調達のリー

ドタイムが長い資器材を確保するのが狙いだ。

マーシュ社長は、資器材調達はプロジェクト・スケジュールの順守に欠かせない要素と指摘し、「1日も早く正式なエンジニアリング・資器材調達・建設(EPC)契約を締結したい」との意向を明らかにしている。

ウェスチングハウス社のS・トリッチ社長兼CEOは今回の合意を、「米国の原子力カルネッサンスに向けた大きな一歩」として、EPC契約の締結に向け、3者で詳細を詰めていくと語った。

世界的に原子力発電所の建設が拡大する中、大型鍛造品等の供給不足は十分に起こりうる事態だ。プロジェクト・スケジュールの遅延により泥沼に落ち込んだ過去の米電力業界にとって、スケジュールの順守は最重要事項となっている。

[カナダ]

AECLは国内に専念

最新型 CANDU 炉事業で方針転換

カナダ原子力公社(AECL)は4月4日、ACR1000の販売および許認可取得に向けた事業戦略を転換。カナダ国内での事業に集中することを発表した。AECLは、新規建設の機運が高まる英国でのACR1000採用を目指し、英当局に事前設計認可を申請していたが、今回の戦略転換に従い申請を取り下げたことも明らかにした。

AECLのH・マクディアミド理事長兼CEOは、「新規原子力発電所建設プロジェクトが浮上しているいくつかの州で、ACR1000の採用が検討されている」と指摘。「カナダ国内でACR1000を建設することが、世界市場で成功する最良の選択」と強調した。

なおACR1000は、世界の原子力発電市場では不利な立場にある。世界的に大勢を占める軽水炉ではなく、カナダ式重水炉(CANDU)という独特な炉型であることに加え、近年、世界市場を他社に席巻され、カナダ国外での新規建設プロジェクトに採用実績がないことが原因だ。

新規建設を検討する国や事業者にとって、採用炉型が世界的な標準炉であることは、建設コスト削減の観点だけでなく、設計審査や規制の観点からも大きな意味を持つ。また標準炉の建設および運転に精

通することで、製品およびサービスの海外輸出の可能性も開かれる。

世界最大の原子力発電国である米国では、現在多数の新規建設プロジェクトが乱立しているが、米国での採用炉型は、ウェスチングハウス社製 AP1000、東芝製 ABWR、GE 日立製 ESBWR、仏アレバ社製 EPR、三菱重工製 APWR が占めており、最新型 CANDU 炉である ACR1000 の採用は見込めないのが現状だ。加えて英国ではさきごろ、英仏の規制機関の協力強化が発表され、事前設計認可の今後の審査対象から ACR1000 が除外されることは確実視されていた。

AECL にとって頭が痛いことに、カナダ国内での新規建設プロジェクトでの ACR1000 の採用も、不透明な状況にある。オンタリオ州やアルバータ州でのプロジェクトは、経済性の観点から、必ずしも CANDU 炉にこだわらない姿勢を示している。唯一同炉の採用を宣言しているニューブランズウィック州でのプロジェクトも、ピアビリティ・スタディ(事

業可能性調査)では、同炉が建設／運転実績がない点を指摘し、経済性を疑問視する報告が出されている。

こうなると AECL は、一刻も早く国内での ACR1000 建設プロジェクトを実現させ、スケジュール通り、予算通りに建設を実施してみせるしかないだろう。EPR を採用したフィンランドのオルキルオト 3 号機の建設スケジュールが、ずるずると遅延していることは周知の事実であり、AECL はそこにわずかな勝機を見い出せる。そして ACR1000 の好調な運転実績を示すことが、世界市場へのなによりのアピールとなる。

カナダ国外で CANDU 炉は、アルゼンチン、中国、韓国、パキスタン、ルーマニアの 5 カ国で計 10 基が運転中だ。アルゼンチンでは、CANDU 6 (70 万 kW 級) の新規建設へ向けた動きも活発化している。AECL は、「CANDU 6 については今後も国際展開を継続する」と強調している。

Dr. Gail H. Marcus の“The OECD Nuclear Energy Agency at 50”を読んで

1. はじめに

経済協力開発機構(Organization for Economic Cooperation and Development)/原子力機関(Nuclear Energy Agency)(本文においては以降(OECD/NEA)と略記する)は本年2月1日にその創立50周年を迎えた。その前身であるOEEC(Organization for European Economic Cooperation: 欧州経済協力機構)が設立された時期(1948年4月16日)までさかのぼると60周年になる。これを記念して、ANS Nuclear Newsは2008年2月号で標記の記念記事を集めた。

この記事の著者、Dr. Gail H. Marcusを紹介する。女史はANSの元会長であり、日本の原子力安全委員会に駐在されたこともあり、また東京工業大学の原子炉工学研究所に滞在されたこともある知日家である。さらに、Dr. Marcusは2004年4月から2007年3月までOECD/NEAの総括事務次長(Deputy Director General)をされており、この記事をもとめるには最適の人である。

2. OEEC 時代

OECD/NEA, IAEAなどの原子力関連の国際機関は1940年代にその萌芽を見ており、この記事はその当時のことを理解するために大変役に立つ。

第2次世界大戦終了後、荒廃した欧州の復興計画としてマーシャルプランが立ち上げられ、多額の(計画終了までに125億ドル)資金が欧州(西側)諸国の復興に供給された。この計画をマネージする機関としてOEECが設立された。

1953年、OEEC理事会は戦後のヨーロッパにおけるエネルギー供給問題の解決をするための方策の検討を行った。この報告書は1955年5月のOEEC理事会に報告されたが、それには「原子力エネルギーの利用の重要性」が述べられており、また、そのために欧州諸国の協力の必要性が強調されたものであった。

この報告書の内容に対応するため、1956年にOEEC理事会は臨時にワーキンググループを設置し、OEECの取るべき「原子力エネルギー利用方策」について検討することとした。この検討結果を受け、OEEC理事会は欧州原子力機関(European Nuclear Energy Agency: ENEA)を設立することし、ENEAは1958年2月1日に発足した。

ENEAは欧州のための組織であったので欧州以外の国は正式には参加していなかった。当初のメンバーは、

オーストリア、ベルギー、デンマーク、フランス、西ドイツ、ギリシャ、アイスランド、アイルランド、イタリア、ルクセンブルグ、オランダ、ノルウェー、ポルトガル、スウェーデン、スイス、トルコ、スペインの17カ国であった。ただし、米国とカナダは準加盟国として当初よりENEAに協力していた。

ENEAが設立された時、ENEAは原子力の平和利用に関する協力を行うことにあった。中でも、次の3つに重点が置かれた。

- (1) 共同プロジェクトの設立
- (2) 各国の法制上の違いの調和を図る
- (3) 各国のプロジェクトを検討・協議し、調和を図るための場を提供する

1950年代は各国の原子力開発計画が形成されるのと並行して、

- ① 欧州原子力機関(ENEA)
- ② ヨーロッパ原子力共同体(Euratom)
- ③ 国際原子力機関(IAEA)

などが続々と設立された時代でもあった。

3. OECD への移行とその後

OEECの下で1950年代も法制度の整備、安全問題、放射線防護などの問題が検討され、後にプロジェクトとなる「ユーロケミック計画」、「ドラゴン計画」、「ハルデン計画」などの芽も育てられた。IAEA, ENEAが設立され、世界の原子力発電も拡張し欧米以外でも原子力の利用が拡大して来た時、日本も原子力技術大国への道を歩んでいた。また、世界経済への日本の影響力も無視し得ない時代に入りつつあった。

このような状況の下、日本は1965年OECDに準加盟し、また、1972年4月には正式加盟した。これは欧米以外の国がOECDのメンバーとなった最初の例であり、これに伴い、機関名は、ENEAから「European」の字が消え、NEAと改称されることとなった。

OECD/NEAとなった後の活動については、よく知られているところであり、また、特集記事の中に「NEA年表」として良くまとめられている。記事から読み取れるように、OECD/NEAの活動は最初は欧州のために始まり、原子力国際協力の例となった。その後、日本など西側諸国の加盟があり、加盟国の増加(現在28カ国)とこれに対処するために組織改善とその効率的運用が図られた。さらに、IAEAなど他の国際機関との協力の強化、

GIF (Generation-IV International Forum) の事務局を務める、など国際協力の幅を広げている。

4. おわりに

OECD/NEA は小ぢんまりした組織であるが、その各種委員会の活動は加盟国から年間3,600名の参加を得、その成果は世界的に高く評価されている。さらに、OECD は2007年5月に、チリ、エストニア、イスラエル、ロシア、

スロベニアなどと加盟交渉を開始すると発表した。予想される新規加盟国のうち、原子力に関心のある国はNEA に加盟することも考えられる。

50周年は次の50年の始まりである。現在多くの国際協力の必要性が喧伝されている。よく歴史を理解し、正しい次の国際協力に備えたいものである。

(日本原子力産業協会・植松邦彦、
2008年3月23日記)

学会誌への投稿原稿採否に関する判断条件

2006年11月 編集委員会

編集委員会では、会員の皆様から寄せられる投稿原稿、投書には、謙虚に耳を傾け誠実に対応するようにしています。

記事の内容については、著者に責任がありますが、学会誌へ投稿された原稿を記事として掲載するかどうかについては、編集委員会が判断いたします。

編集委員会が以下のいずれかに該当すると判断した投稿原稿、投書については、記事として掲載することをお断りすることにしています。

- (1) 事実を無視し、あるいは歪曲した意見。
- (2) 文章に論理性がなく、意味不明な場合。
- (3) 掲載することにより、学会の品位に傷がつく恐れがある場合。
- (4) 良識に欠けると思われる意見。例えば、個人あるいは組織への中傷・誹謗、一方的な極め付けなど。
- (5) 美醜、好悪に類する判断が求められている場合。
- (6) すでに掲載された記事と同じ内容を繰り返し主張している場合。
- (7) 商業的な広告・宣伝などを目的とする場合。
- (8) 会員にとって掲載する意味がない。
- (9) 内容がタイムリーでない。
- (10) 内容が正しいかどうか判断できない。
- (11) 関係する機関の了解が得られていない。

なお、「原著者または編集委員会に対する非常識な要求(例えば、極めて短い期限での返答を求めていたり、守秘義務に反する情報開示を求めていたりする場合など)」が求められた場合には、編集委員会としては投書に対し、返答できかねる場合があります。

以上

(註)

学会誌2003年2月号、50頁に掲載した「投稿記事の学会誌への掲載について」の7項目に(8)、(9)、(10)、(11)の4項目を追加した。この4項目は、学会誌2006年9月号、71頁のFrom Editorsに掲載済み。

日本原子力学会の行動指針と新しい取組み

「迅速に判断し、活動・行動する学会」を目指したこの一年の活動と成果

1. はじめに

我が国の原子力界は「原子力立国計画」で原子力推進の方針を明確に打ち出しているものの、原子力に対する国民の十分な理解が得られていないことなど多くの課題を抱えているのが実情です。

こうした状況を踏まえて、当学会としてもこの1年間、理事会運営ボードを軸に、「迅速に判断し、活動・行動する学会」として、原子力界の発展に積極的に関与することを心掛けて活動してきました。そのなかで、平成17年度企画委員会(田中知委員長)がまとめた「理念・ビジョン」を基礎として、学会の果たすべき役割について、社会に対するつとめと会員活動支援の両面から検討を行い、「日本原子力学会の行動指針」(別表)をまとめました。その指針に照らしていくつかの新しい取組みを進めてきましたので、ここに報告します。

2. 行動指針：社会に対するつとめ

ここ2、3年、国の一斉点検の結果判明した不適切な事象や中越沖地震の発生等によって、原子力安全に関する社会の関心がますます大きくなっています。学会としてこうした社会からの要請に答えるべく、以前から標準委員会における標準作成等の活動を精力的に進めてきましたが、このような持続的な活動に加え、原子力安全に対する新たな取組みを開始しました。まず志賀一号炉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組織して調査分析を行い、「制御棒引き抜け事象調査委員会」報告書(平成20年3月)をまとめたところです。続いて、平成20年3月には「原子力発電所地震安全」特別専門委員会を立ち上げました。同委員会では、中越沖地震などで得られた知見や教訓をもとに、関連する他学会(機械学会、地震工学会)と連携して、技術課題の摘出・検討、研究・開発のロードマップの策定、規格・基準に反映すべき事項等についての提言を行います。

さらに、平成20年6月には原子力安全部会を設置して、個別技術分野に関する各部会、専門委員会の取組みを横断的に見るとともに、学会内外の知見や活動を集約し、社会へのわかりやすい説明を行う機能を強化しようとしています。

一方、制定から半世紀を経過し、この間、抜本的な改正のなされてこなかった原子力関連の法令について、原子力施設の安全な利用の観点から実情を踏まえて整備・見直しをするべく、平成20年2月に“原子力法制の在り

方”検討委員会が発足しました。

平成20年度からは、また、広報情報委員会を中心に、社会的影響の観点で重要な事項について技術的見解をまとめる作業を始めます。学会員としての立場で意見を求められる際に、共通の理解に基づいてわかりやすい説明が行えるようにすることをねらっています。このような活動はすでに米国原子力学会等でも行われているところですが、当学会ではこれまで取組みが弱かった部分として、今後強化が望まれます。このような活動の一環として、洞爺湖サミットに合わせ、4月17日には日本原子力学会声明「地球のためのクールエネルギー原子力」を公表しました。

上記のような諸活動を活発化することで、今後時宜に応じた情報を発信してゆき、学会として存在感を高めていくことが重要と考えます。各部会、支部、専門委員会の積極的な協力をお願いします。

平成19年11月の原子力委員会決定の中に「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。」との記述がなされました。原子力学会として、このような期待にどのような形で応えることができるか、企画委員会を中心に検討を開始したところです。

3. 行動指針：会員活動への支援

部会、専門委員会活動が活発に行われることは、学会の学術レベルの向上にとって欠かすことのできない大切な要素です。一人でも多くの会員の方が、原子力学会の複数部会に加入していただきやすいよう、多数部会加入の際の部会費軽減を図りました。

また、学会の発展のためには、幅広い分野で様々な仕事に従事している会員のひとりひとりにとって、学会に加入していることの意義が感じられることが必要です。学会として機能強化すべき課題として、職業人の継続教育への取組みがあります。技術者の自己研鑽を助ける手段としてCPD(Continuing Professional Development)制度を原子力学会として導入し、この5月から運用を開始するとともに、技術者の標準への理解を深めるなど、企業の現場の技術者を対象にした継続教育セミナーも今後企画してゆきます。また、原子力を学ぶ学業優秀な学

生を対象とした「フェロー賞」を新設するなど、学生・若手会員の育成・奨励にも注力しています。

これら諸活動を支えていく上で、学会の財政的基盤を強化することも大切なことです。これに関しては、会員増強に向けた継続的努力とともに、平成19年11月から関係8部会の協力を得て、新規受託事業推進タスクグループが活動を始めています。また、会員サービスの向上と事務局業務の効率化を図るべく、情報IT化を推進しています。

4. 50周年を迎えるにあたり

平成21年2月には本学会創立50周年を迎えます。大きな節目として、それにふさわしい記念事業を計画しています。平成21年4月中旬には記念式典・講演会を予定しており、これに合わせて、学会誌記念特集号を発刊します。さらに、中堅、若手を中心とした、夢のある原子力

の将来ビジョンの策定にも着手しました。また、この機会に、原子力に携わる一人でも多くの方に会員になっていただくべく、この1年を“会員増強キャンペーン”期間としました。

5. むすびに

ここ数年、当学会の性格が、これまでの会員相互の学術面での研鑽を中心としたものに加えて、産官学が連携して、我が国原子力界のかかえる課題に正面から向き合い、社会への主体性を持った働きかけをも期待される組織集団へと変化してきています。この1年間はこうした方向に向けて学会が大きく一歩を踏み出した年だと思います。今後、こうした動きをより着実なものとし、時代に即した学会として存在感を示せるよう、会員の皆さん全員のご協力をお願いするしだいです。

(社)日本原子力学会前会長 河原 暲, 2008年 5月23日 記)

日本原子力学会の行動指針

日本原子力学会は、原子力の平和利用に関する学術および技術の進歩を図り、会員相互および国内外の関連学術団体等との連絡協力等を行い、原子力の開発発展に寄与することを目的とした組織である。設立50周年を迎えるにあたり、今後も不断の自己改革により、常に魅力的な学会であり続けるために、行動指針として、以下のことを定める。

【日本原子力学会の理念、ビジョン】

1. 原子力の平和利用を通じて、人類の福祉と持続的発展に貢献する。
2. 原子力分野の学術および技術レベルの維持・向上に貢献するアカデミックかつプロフェッショナルな集団となる。
3. 高い倫理観を持つ会員で構成され、存在感がある学会となる。
4. 人材育成、学生支援により、次世代の研究者、技術者育成に貢献する。
5. 国際関係を重視し、国際的学協会との連携、特にアジア地区との連携に貢献する。
6. 公平、公正、透明な議論の場となり、国民・地域社会に対して、原子力に関する技術情報の最も信頼できる情報源となる。

【日本原子力学会の社会に対するつとめ】

1. 標準策定を推進する。
2. 産官学にまたがる研究開発のロードマップ作成を推進する。
3. トラブル発生時に的確な知識を迅速に発信する。
4. 原子力技術に関する政策提言に積極的に関与する。
5. 前各号の活動を通じて、原子力と国民・地域社会との共生につとめる。

【日本原子力学会による会員活動への支援】

1. 原子力の学術レベル向上のための活動
2. 原子力施設の安全性・信頼性の維持・向上のための活動
3. 専門能力維持・向上のための活動
4. 原子力分野の教育訓練システムの開発・定着のための活動

以上

我が国の最先端原子力研究開発

シリーズ解説 第1回

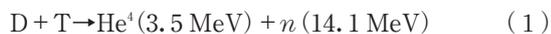
ITER 時代を迎えた核融合研究開発 (I)

日本原子力研究開発機構 二宮博正, 久保博孝, 秋場真人

世界の主要国は、地球規模のエネルギー環境問題を解決する一つの方策として、核融合エネルギーの実現に向けた研究開発に力を入れている。この研究開発を国際プロジェクトとして進める国際熱核融合実験炉(ITER)の協定が2007年10月に成立し、活動が開始された。また、ITER計画を支援するとともに核融合エネルギーの早期の実現に向けた幅広いアプローチ活動も日欧共同事業として開始された。このような状況にある世界の核融合研究開発の状況について2回に分けて解説する。1回目の今回は、核融合研究開発の意義、世界で取り組まれてきた研究開発の課題とその成果、およびITER計画や幅広いアプローチ活動の現況について解説し、次回はITER計画や幅広いアプローチ活動を中心とした核融合研究開発課題に対するわが国の取組みを中心に解説する。

I. はじめに

核融合は、2個の軽い原子核が衝突・融合して、より重い原子核に変わる原子核反応であり、太陽や恒星のエネルギーの源でもある。我々人類は、古代より太陽光を利用してきたが、太陽のエネルギーが核融合反応に基づいていることが発見された後、この核融合エネルギーを地上で実現しようという研究が始められた。地球上で核融合を実現する場合は、第1図に示すように、軽い原子核として重水素Dと3重水素(トリチウム)Tを利用するのが反応を起こしやすいうえ、反応の結果発生するエネルギーも大きい。

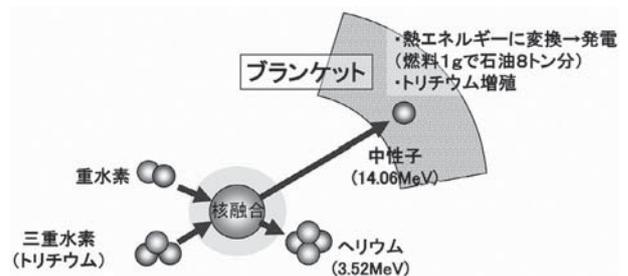


したがって、この反応を制御して起こし、発生するエネルギーを利用するのが、現在、最も有望視されている核融合の方式である。

重水素は、海水中に無尽蔵とっていいほど存在する。トリチウムについては、やはり地中や海水中に多く存在するリチウムを、核融合反応部を取り囲むように設置されたブランケットと呼ばれる機器(第1図参照)の内部に充填しておき、前述の核融合で発生する中性子を当

てて核融合反応で消費した量より多くのトリチウムを生産する(トリチウム増殖という)。したがって、燃料資源的には豊富かつ偏りなく存在するエネルギー源である。さらに、核融合エネルギーは、発電の過程で炭酸ガスの発生がなく、地球温暖化防止の観点からも優れている。このほか、低レベル放射性廃棄物は発生するものの高レベル放射性廃棄物の発生がない、核的暴走がない、「システムに内包する拡散性の放射性物質がすべて施設外に放出される」という想定困難な事態を仮定して評価される潜在的放射線リスクが同出力の原子炉に比べて桁外れに低い、などの優れた特徴を有する。そのため、21世紀後半のエネルギー問題を解決する革新的エネルギーの候補として、核融合研究開発が進められている。

人類が制御し利用可能な核融合反応を起こすためには、重水素とトリチウムの希薄な混合燃料を1億度以上の超高温にして核融合反応率を上げることが必要である。燃料を効率よく加熱して1億度以上に維持するため



第1図 DT核融合反応とブランケットの原理

Fusion Research and Development in the ITER(I): Hiromasa NINOMIYA, Hirotaka KUBO, Masato AKIBA.

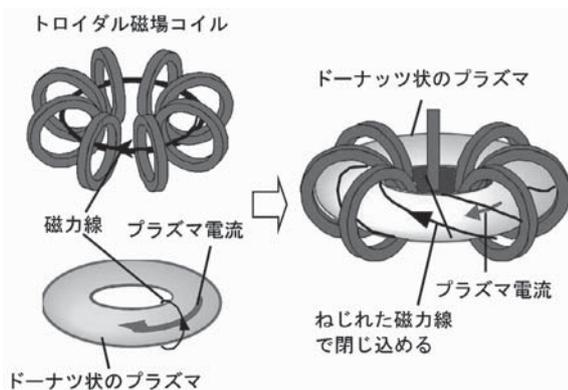
(2008年 5月7日 受理)

には、燃料の持つ熱エネルギーが外部に逃げにくい(保温性の良い)状態にする必要がある。このような超高温では、すべての物質は電子と原子核(イオン)が互いに分離した荷電粒子の集合体(プラズマ)になる。そこで、荷電粒子が磁力線に巻き付く性質を利用して、コイルで発生した強力な磁場空間に燃料プラズマを容器壁から浮かして熱が逃げにくいように閉じ込める「磁場閉じ込め方式」が考案され、研究開発が進められてきた。磁場閉じ込め方式には、閉じ込め磁場の形状や生成方法によりトカマク型、ヘリカル型、逆磁場ピンチ型、ミラー型などがある。一方、磁場閉じ込め方式と全く異なる方式として、レーザーなどで燃料を爆発させ、その時の瞬間的な反力(爆縮)で高温高密度プラズマを生成する慣性閉じ込め方式の研究開発も進められている。現在のところトカマク型による研究開発が最も高いプラズマ性能を達成しており、IV章で詳しく紹介する世界の主要国の国際協力が進められている国際熱核融合実験炉(ITER)もトカマク型である。このため本稿では、誌面の制約もあるのでトカマク型について解説する。

II. 核融合研究の開発課題

トカマクでは、第2図に示すように、強いドーナツ状の磁場(トロイダル磁場)をトロイダル磁場コイルで作成し、ドーナツ状のプラズマ中に流した電流(プラズマ電流)が作る磁場との合成でねじれた磁力線を作り、プラズマを閉じ込める。プラズマ電流は、電磁誘導を用いて、1次巻き線に相当するドーナツ方向に電流を流すコイル(ポロイダル磁場コイル)の電流を変化させ、2次巻き線に相当するプラズマに電流を流す。

核融合反応を起こすためには、プラズマの温度を1億度以上にするとともに、重水素とトリチウムの衝突頻度を上げるためプラズマの密度も高くする必要がある。加えて、温度の冷えにくさの指標であるエネルギー閉じ込め時間を長くする必要がある。このような研究をプラズマ閉じ込め研究と呼び、最も基本となる研究課題である。プラズマの温度を1億度以上にするためには、水に



第2図 トカマク方式によるプラズマの閉じ込め

熱湯を注ぎ、温度を上げるのと同じ原理で高エネルギーの中性粒子ビームをプラズマに入射する、あるいは電子レンジで食物を温めるのと同じ原理で高周波の電波を入射するが、これらを外部加熱という。一方、核融合反応が起こると、反応の結果発生するヘリウム He(以降「アルファ粒子」という)のもつエネルギーを加熱に利用できる。このアルファ粒子による加熱の割合が外部加熱の割合より十分大きな状態のプラズマを燃焼プラズマという。燃焼プラズマを実現し、長く持続させることが核融合エネルギー実証のための最も重要な研究課題である。

トカマク固有の課題としては、プラズマ電流は直流であるため、電磁誘導のみでプラズマ電流を長い時間にわたって流し続けることは原理的に不可能である。このため、高周波や中性粒子ビームを入射することでプラズマ電流を流す電流駆動の研究開発が必要である。さらに、核融合反応の出力密度を上げて装置の小型化を目指した研究(高ベータ化研究)や、目的とするプラズマを持続し続ける定常化研究も重要である。これらプラズマに係わる課題を総称して炉心プラズマ研究開発という。

一方、トカマク装置を構成する機器の開発も重要である。トカマク型核融合発電プラントの仕組みを第3図に模式的に示す¹⁾。発電プラントは、プラズマを閉じ込めるための磁場を発生する超伝導コイル、超高真空を生成・維持する真空容器、核融合反応で発生する中性子を遮蔽しエネルギーとして利用できる熱を取り出すとともにトリチウムの増殖を担うブランケット、核融合反応により生じるヘリウムを排気ポンプで炉外へ排出するダイバータ、プラズマを加熱したりプラズマ電流を駆動するための加熱・電流駆動装置、燃料を真空容器に入射する燃料供給装置、ダイバータ部からの排気やブランケットからトリチウムを回収して燃料供給装置へ送るトリチウム取扱い施設、ブランケットから取り出した熱を使って発電するための熱交換機やタービン発電機のほか、ブランケットやダイバータ等の放射化した機器の保守を遠隔操作で行う遠隔保守装置、電源等から成り立っている。これら、発電プラントに必要な機器・装置の研究を炉工学研究開発と呼ぶ。

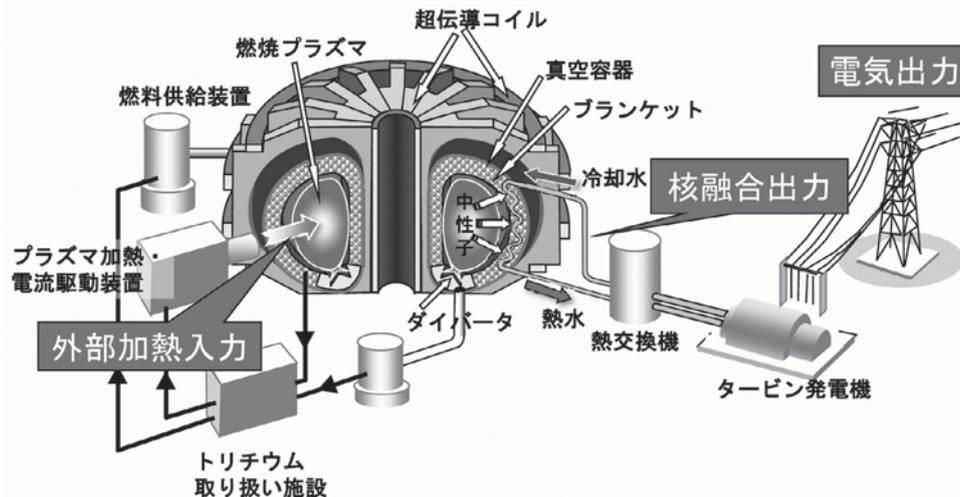
核融合研究では、従来より、炉心プラズマ研究と炉工学研究が車の両輪のように、お互いに密接な連携を保ちながら研究開発が進められてきた。

III. 世界の核融合研究開発の進展

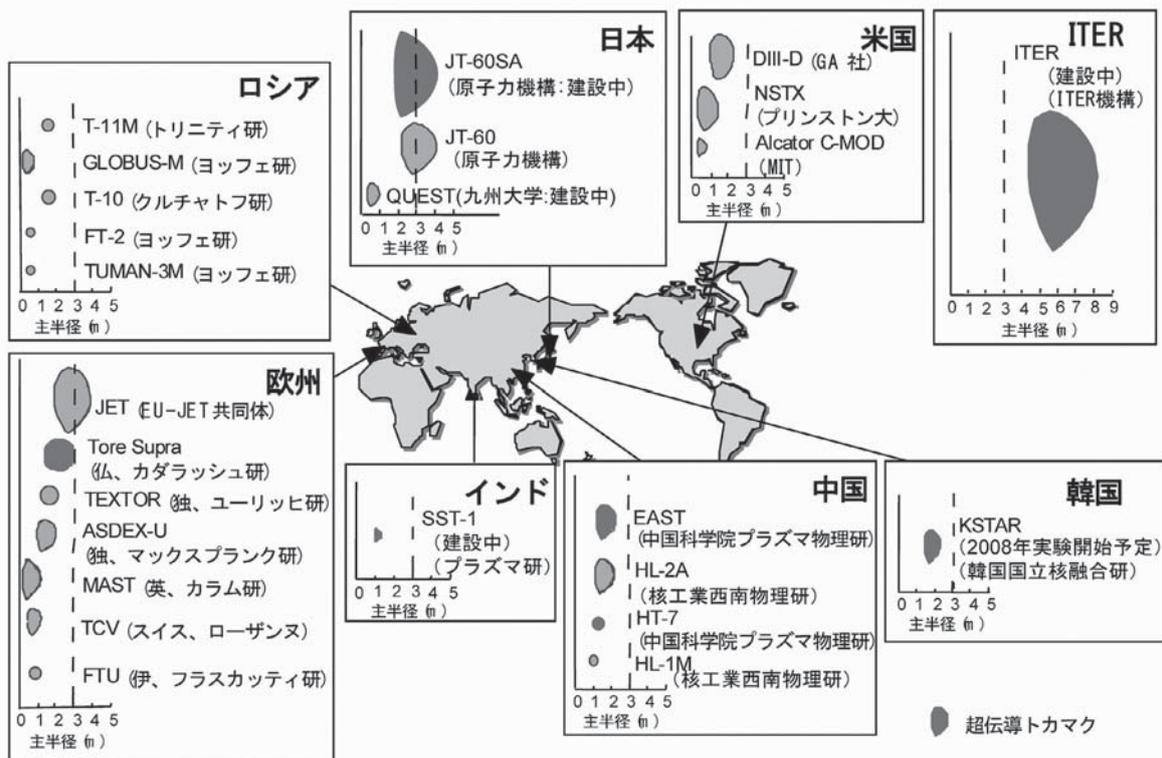
1. 炉心プラズマ研究開発の進展

(1) 世界で進められている炉心プラズマ研究開発

トカマク装置を用いた核融合研究は、世界の先進国において精力的に行われている。第4図に、ITER計画の参加極のトカマク装置を示す。日本では、日本原子力研究開発機構のJT-60において、ITERおよびITERの次



第3図 トカマク型核融合発電プラントの仕組み



第4図 ITER計画の参加極のトカマク装置

の段階の原型炉へ貢献するための実験が進められている。また、IV章で詳しく述べるが、幅広いアプローチ活動のサテライト・トカマク計画として超伝導装置 JT-60 SA の建設も始まった。さらに九州大学で建設が行われていた小型のトカマク装置 QUEST の実験運転も2008年6月から開始される予定である。欧州は、多くのトカマク装置を有しており、精力的な研究が進められている。日本の JT-60 と並ぶ大型トカマク装置 JET では、実際の核融合炉の燃料である重水素とトリチウムを用いた DT 実験も行われ、現在は ITER のための実験が進められている。米国では、DIII-D、Alcator C-Mod など

の中型装置で先駆的な研究が進められている。ロシアはトカマク装置発祥の地であり、多くの小型のトカマク装置による研究が進められている。最近、アジアでの研究が盛んになり、中国では、トロイダル磁場コイルおよびポロイダル磁場コイルの両方に超伝導コイルを用いた世界初の中型トカマク装置 EAST が2006年に実験を始めた。韓国、インドでも、それぞれ超伝導トカマク装置である KSTAR、SST-1 の建設が終了し、実験開始に向けて調整中である。

(2) プラズマ閉じ込め性能の進展

核融合発電に必要なプラズマの特性は、ローソン図(第

5図)によって示される。ローソン図では、横軸に核融合反応で重要となるプラズマ中のイオン温度、縦軸にイオン密度とエネルギーの閉じ込め時間の積をとる。図の右上のU字型の曲線が核融合発電に必要な条件を示す。このU字曲線は、(核融合反応によって発生する出力)/(プラズマを加熱するための外部からの入力)で定義されるエネルギー増倍率 Q が30に相当する。その下の2番目のU字曲線は、エネルギー増倍率が1、つまり核融合出力が外部加熱入力と同じ条件(臨界プラズマ条件またはゼロ出力条件)を示す。この図からわかるように、トカマク装置のプラズマ性能は着実に向上し、これまでにJETとJT-60の重水素を用いた実験で、DT換算をしたエネルギー増倍率が1を越えるプラズマ条件が得られている。また、JT-60では5.2億度という世界最高のイオン温度が得られている。一方、JETのDT実験では16 MWの核融合出力を得ている。さらに、核融合反応で発生したアルファ粒子により予想通りにプラズマが加熱されていることなどが明らかにされた。

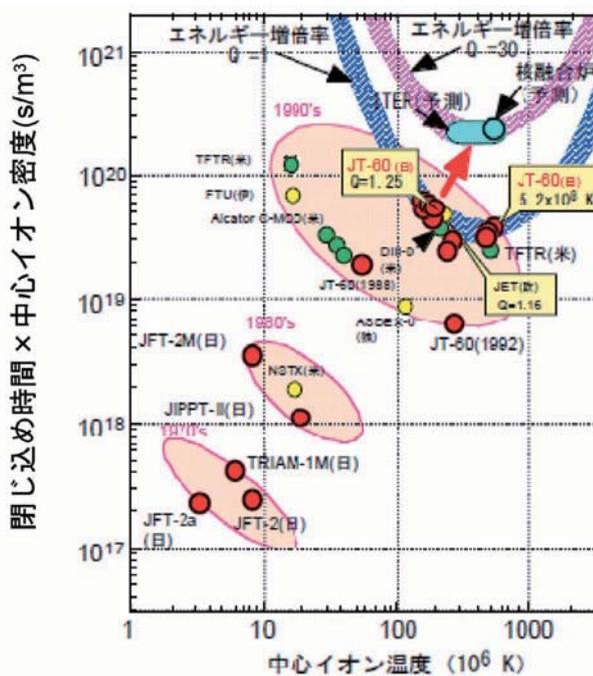
(3) 輸送障壁による閉じ込め性能の改善

プラズマ中では、温度や密度の空間勾配が原因で引き起こされる電場や磁場の集団的な揺らぎにより、熱や粒子の大きな拡散が生じる。この大きな拡散をいかに回避して閉じ込め性能の良いプラズマを得るかということが炉心プラズマ研究開発の当初からの大きな課題であった。この閉じ込め性能の改善には、輸送障壁と呼ばれる熱や粒子の拡散を遮蔽する層をもつプラズマの発見が大きなブレークスルーをもたらした。第6図に示すプラズマの周辺部に輸送障壁をもつ閉じ込め改善モード(Hモード)では、最も基本的な閉じ込め状態であるLモード

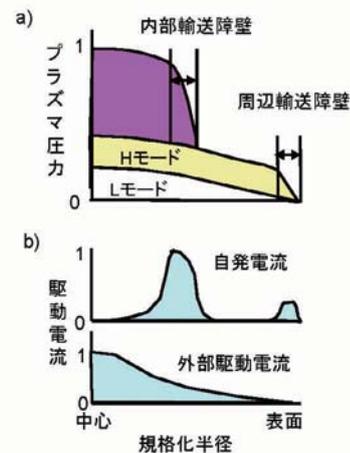
ドの約2倍のエネルギー閉じ込め時間が得られる。現在では、このHモードは、世界の多くの装置で得られ、十分な信頼性がある。ITERでは、このHモードを標準運転モードとしている。一方、プラズマの中心部が改善される運転モードもあり、特にJT-60で発見された内部輸送障壁は、閉じ込め性能を大きく向上させた。JT-60では、内部輸送障壁を有するプラズマによって、世界最高のエネルギー増倍率1.25を得た。

(4) 自発電流を用いたプラズマ電流の維持

II章で述べたように、トカマクの運転のためには電磁誘導によらない方法でプラズマ電流を長い時間流し続ける必要がある。高周波を用いた電流駆動の実証はほぼ終了しており、JT-60では3.6 MAの大電流を駆動維持し、九州大学の超伝導小型トカマク装置 TRIAM-1M ではプラズマ電流値は20 kA と小さいが5時間強持続することに成功している。しかし、外部から高周波や中性粒子ビームを入射する電流駆動方式ですべてのプラズマ電流を賄おうとすると、それに必要な電力が大きくなる。そこに大きな転換をもたらしたのが、自発電流駆動の実証であった。自発電流とは、プラズマ内の圧力勾配が高い場合に自然に流れる電流であり、三大トカマク(TFTR, JET, JT-60)ではほぼ同時期に実証された。プラズマ電流の大半をこの自発電流でまかなう方法は、経済的な核融合炉を実現する上で鍵となる重要な技術となった。閉じ込め性能の改善をもたらした輸送障壁を持つプラズマでは、大きな圧力勾配が生じるので大きな自発電流を得られる(第6図)。JT-60では、プラズマ電流の80%を自発電流が占める放電を実証するとともに、自発電流の割合の高い放電で高い閉じ込め性能をより長い時間維持する実験を進め、すべてのプラズマ電流を電磁誘導によらない状態で約8秒間維持することを実証した。このとき、プラズマ電流は自発電流が70%、残りが中性粒子ビー



第5図 プラズマ特性の進展(ローソン図)



第6図 輸送障壁による閉じ込め改善と自発電流；
(a)プラズマ圧力の空間分布、(b)自発電流と外部駆動電流の空間分布

ムによる電流であった。これにより、ITERの長時間運転や核融合炉の物理基盤が得られた。

2. 炉工学研究開発の進展

トカマク装置の大型化に伴い、炉工学技術も順調に進展してきた。特に1992年から2001年まで実施されたITER工学設計活動において、第7図に示すようなトカマクを構成する主要な機器の実規模あるいは実機に拡張可能なモデルの製作と試験等を行う大規模な工学R&Dが国際共同で実施された。図の中の国旗は、国際共同に参加した極を示しており、一番上の極が国際共同の中心になってR&Dを進めた。その成果²⁾を以下に簡単に紹介する。

(1) 超伝導コイル技術

ITERに使用する超伝導コイルには、ドーナツ状のプラズマを取り囲むトロイダル磁場コイル、プラズマの位置制御を行うポロイダル磁場コイル、そしてプラズマ電流を誘導するポロイダル磁場コイル(中心ソレノイド・コイルと呼ぶ)がある。トロイダル磁場コイルは1体が高さ約13 m、幅約9 m、重量約290トンもの巨大なコイルである。一方、中心ソレノイド・コイルは、ITERのコイルの中でも最大の約13テスラ(T)の磁場を発生する。これまでに、実機とほぼ同じ外径3.6 m、高さ2.8 mのコイルを製作し、要求性能である13 Tの磁場の発生に成功した。

(2) 真空容器技術

ITERの真空容器は、JT-60などで採用された薄肉2重壁構造と呼ばれる構造を採用している。これまでに実

機と同じ高さ15 mの真空容器構造を試作して、精度 ± 5 mmで製作できることが実証された。

(3) ブランケット技術

ITERのブランケットは、プラズマからの中性子を遮蔽することが主な機能で、真空容器内に約400体のモジュールを設置する構造となっている。複雑な冷却構造を持つ異なる材料で構成されるため、熱間等方圧加圧法(HIP法)と呼ばれる従来は小型の金型等の製作に使用されていた特殊な接合技術が採用された。これまでにほぼ実機大のブランケットをHIP法で製作する技術が開発されている。

(4) プラズマ対向機器技術(ダイバータ)

ダイバータの表面は炭素繊維複合材料やタングステンで覆われ、核融合炉内で最も高い20 MW/m²もの熱負荷が入射する。これまでに、このような高熱負荷に耐えるこれらの材料と冷却構造との接合技術の開発に成功するとともに、冷却管の中にねじりテープを入れて除熱効率を約2倍に向上させた特殊な冷却管を開発した。

(5) 遠隔操作ロボット技術

ITERでは400体の中性子を遮蔽するためのブランケットを炉内から遠隔操作ロボットで取付・保守を行う。これまでに実機と同じ4トンのブランケット・モジュールを精度 ± 0.25 mmで取付、取外すことができることを実証している。

(6) 加熱・電流駆動技術

ITERでは大別して中性粒子ビーム入射加熱装置と高周波加熱装置の2つの加熱・電流駆動装置が採用されている。中性粒子ビーム入射加熱技術では、1 MeV・20 mA



第7図 ITER工学設計活動で実施された主要な工学R&D

/cm²のイオン源の開発が必要であった。このような性能のイオン源を一気に開発することは困難であったため、負イオン電流密度31 mA/cm²と1 MeV・0.02 Aの負イオンの加速を実証した。

以上に示した工学 R&D の成果により ITER の技術的な見通しが得られ、炉心プラズマ研究の進展も踏まえ ITER 建設に向かつての国際的な合意が得られた。

IV. 今後の研究開発の課題

重水素を用いた炉心プラズマ研究開発および炉工学研究開発は大きく進展したが、核融合エネルギーを実証するためには本格的な DT 実験による燃焼プラズマの実現やその維持、およびそのような環境下での炉工学技術の総合的な試験が必須となる。(1)式でわかるようにプラズマを加熱するアルファ粒子のエネルギーは発生する核融合エネルギーの約20%であるので、エネルギー増倍率が1のプラズマでは、アルファ粒子による加熱は20%程度であり、残りの80%は外部加熱となる。今後は、アルファ粒子による加熱が主体となる燃焼プラズマの達成と制御が目標となる。このような燃焼プラズマの実現を目指しているのが ITER 計画である。ITER 計画では、核融合炉に必要な様々な工学技術の中性子環境下における総合的な試験も行われる。さらに核融合炉では、増殖ブランケットによって燃料であるトリチウムを生産する必要があるが、そのための試験も行われる。

また、炉心プラズマ研究では、ITER 計画を先導する研究を進めるとともに、ITER の次の段階である原型炉において経済性が見通せるために圧力(プラズマ密度×温度)が高いプラズマの定常運転法の確立が課題である。一方、炉工学では、原型炉の設計検討や核融合エネルギー利用に必要な R&D を行い、原型炉の概念を構築するとともに、材料照射施設の設計を通じて長寿命材料開発に見通しを得ることが課題である。これらの炉心プラズマ研究、炉工学研究の課題に取り組むのが、幅広いアプローチ活動である。

以下に、2007年から正式に始まった ITER 計画および幅広いアプローチ活動について紹介する。

1. ITER 計画

ITER 計画は、核融合の科学的小および技術的妥当性を検証するための核融合実験炉を、日本、欧州連合、ロシア、米国、中国、韓国、インドの7極の共同で実現するものである³⁾。2007年10月に「イーター事業の共同による実施のためのイーター国際核融合エネルギー機構の設立に関する協定」が成立し、国際機関「イーター国際核融合エネルギー機構(以降「ITER 機構」という)」が発足した。ITER は、南フランスにあるカダラッシュに建設される。ITER を構成する機器の約9割に相当する部分の

調達、ITER 機構の監督の下に参加各極が責任を持って分担して製作し ITER 機構に納入する。残りの1割は、参加極が分担して拠出する資金で ITER 機構が直接調達する。建設には10年を予定しており、その後、20年間の実験運転を行う。

ITER は原型炉の前の実験炉であり、燃焼プラズマの制御、原型炉につながる長時間燃焼および工学技術の各種試験を行うことを目指して、以下の技術目標が設定されている。

- ・電磁誘導によりプラズマ電流を駆動しているプラズマにおいて、エネルギー増倍率 $Q \geq 10$ の下で、300～500秒間の燃焼を達成すること
- ・電磁誘導によらない方式で電流を駆動しているプラズマにおいて、 $Q \geq 5$ の下で定常運転の実証を目指すこと
- ・ $Q \sim$ 無限大の運転の可能性も保持すること
- ・原型炉に必要な工学機器を統合し、その有効性を実証すること
- ・高熱負荷機器などの将来の原型炉の構成機器の試験を行うこと
- ・トリチウム増殖ブランケット概念(テスト・ブランケット・モジュール)の試験を、核融合プラズマに対向する内壁での中性子負荷およびその積算量がそれぞれ0.5 MW/m²以上、0.3 MWa/m²以上の条件で行うこと

ITER の設計は、ITER 工学設計活動^{4,5)}およびそれ以降行われた広範囲の物理的⁶⁾、工学的研究開発を通して検証された技術的成果に基づいている。第8図に ITER の鳥瞰図を、第1表に主なパラメータを示す。ITER は既存の大型トカマク装置である JT-60や JET のほぼ倍の大きさの装置である。また JT-60や JET のコイルが銅製であるのに対し、数百秒以上のプラズマ燃焼時間を目指しているため、超伝導のコイルを採用している。

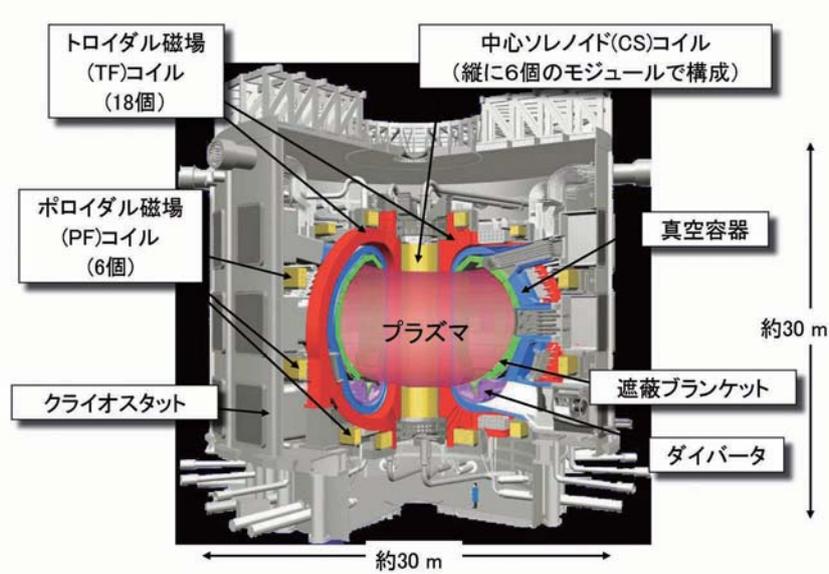
2. 幅広いアプローチ活動

ITER 政府間協議の過程で、日欧は、ITER 計画と並行して ITER 計画を支援するとともに核融合エネルギーの早期の実現に向けた研究開発プロジェクトである幅広い

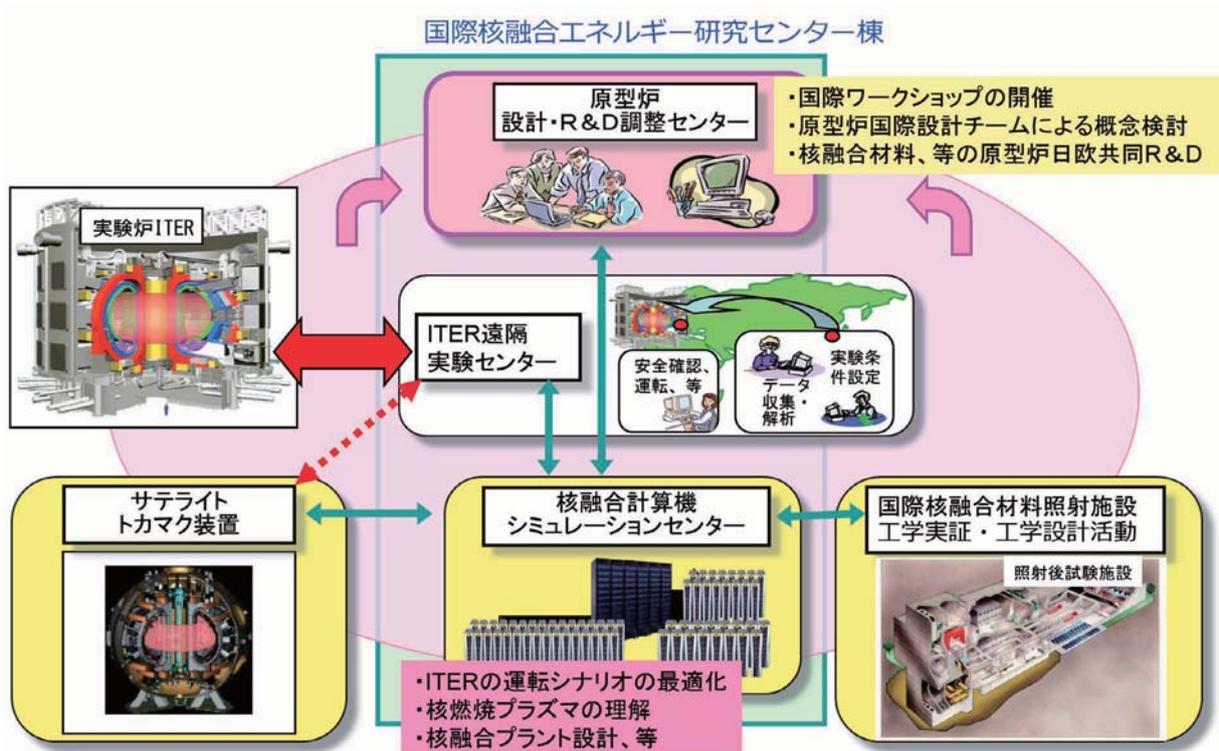
第1表 ITER の主なパラメータ

全核融合出力	500 MW
Q (核融合出力/外部加熱入力)	≥ 10
プラズマ主半径(R)	6.2 m
プラズマ小半径(a)	2.0 m
プラズマ電流(I_p)	15 MA
トロイダル磁場(B_T) at 6.2 m	5.3 T
プラズマ燃焼時間	≥ 400 s
外部加熱・電流駆動入力	73 MW ^{a)}
14 MeV 中性子平均壁負荷	≥ 0.57 MW/m ²

^{a)} 運転段階において合計110 MW まで増設の可能性あり



第 8 図 ITER の鳥瞰図



第 9 図 BA 活動の全体像

いアプローチ活動(以降「BA 活動」という)を日欧共同事業として実施することにした³⁾。2007年6月に、「核融合エネルギーの研究分野におけるより広範な取組を通じた活動の共同による実施に関する日本国政府と欧州原子力共同体との間の協定」が発効し、活動が始まった。BA 活動では、第 9 図に示すように、3つの事業、国際核融合エネルギー研究センター、国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動、衛星トカマク計画が行われる。国際核融合エネルギー研究センターと国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動は青森県

六ヶ所村で、衛星トカマク計画は茨城県那珂市で実施される。これらの事業は、事業ごとに任命された事業長が策定し、運営委員会で承認された事業計画に従って進められる。

(1) 国際核融合エネルギー研究センター

国際核融合エネルギー研究センターでは、以下の3つのセンター活動が進められる。

(a) 原型炉設計研究開発調整センター

核融合原型炉の概念設計を行い、合理的な概念を確立する。また、原型炉の実現に向けて、物理的・工学的 R

&D 課題を抽出し、予備的な R&D を実施する。この R&D 項目としては、原型炉開発において最も重要なトリチウム増殖ブランケットの開発に関係する技術が挙げられている。

(b) 核融合計算機シミュレーションセンター

スーパーコンピュータを用いて、燃焼プラズマの挙動解析や材料の照射効果等の計算・解析を行い、その成果を ITER の運転シナリオの最適化や原型炉の設計等に反映させる。

(c) ITER 遠隔実験センター

国際インターネット回線を用いてカダラッシュの ITER と六ヶ所村を結び、ITER サイトの制御室と同様の環境を構築し、六ヶ所村から ITER の実験や実験結果の評価を可能とする。

(2) 国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動

重水素-トリチウムの反応で発生する 14 MeV の中性子が核融合炉を構成する材料に与える影響を評価するには、実際に 14 MeV の中性子を使用した材料照射試験が不可欠である。そのための試験装置の検討(国際核融合材料照射施設の概念設計および要素技術開発活動)が国際エネルギー機関のもと、日、米、欧、露の協力で実施された。BA 活動では、この試験装置の建設判断に資する工学設計の実施ならびにそれを保証する実証データの取得を行うための工学実証・工学設計活動を行う。本活動では、加速器のプロトタイプ試験装置やターゲットのリチウム試験ループ設備を建設し試験するとともに、実機大の照射テストモジュールのヘリウムガス流動・原子炉模擬照射試験などの実証試験を行う。また、それと並行して、装置の工学設計を進める。

(3) サテライト・トカマク計画

本計画は、JT-60の本体を超伝導トカマク(JT-60 SA)に改修し、日欧協力によるサテライト・トカマク計画と国内計画であるトカマク国内重点化装置計画(科学技術・学術審議会、2003年1月)との合同計画として実施する。ITER の運転シナリオの最適化や新しいアイデアを ITER に適用する前に試験することなどによって ITER に貢献することを目指している。また、原型炉に必要な定常高ベータ運転法の確立を目指し、プラズマの閉じ込め、安定性、非誘導電流駆動、ダイバータ熱・粒子制御を研究する。これらの物理・工学研究に加え、ITER で活躍する優秀な研究者・技術者を育成に貢献することも大きな目的の一つである。

V. まとめ

本稿では、核融合研究開発の意義、世界で取り組まれてきた研究開発の課題とその成果、および ITER 計画や幅広いアプローチ活動の現況について紹介した。今回は ITER 計画や幅広いアプローチ活動を中心とした核融合研究開発課題に対するわが国の取組みを中心に解説する。

—参考文献—

- 1) 上田良夫, 他, “よくわかる核融合炉のしくみ”, 日本原子力学会誌, **46**, 845(2004).
- 2) “特集/ITER 工学 R&D における成果”, プラズマ・核融合学会誌, **75**, Supplement, (1999).
- 3) “特集 動く ITER 計画—日本における核融合研究開発の新段階—”, 原子力 eye, **53**, 2(2007).
- 4) “特集/ITER 設計報告”, プラズマ・核融合学会誌, **73**, Supplement, (1997).
- 5) “特集/ITER 工学設計”, プラズマ・核融合学会誌, **78**, Supplement, (2002).
- 6) “Progress in the ITER Physics Basis”, *Nucl. Fusion*, **47**, (2007).

著者紹介

二宮博正(にのみや・ひろまさ)



日本原子力研究開発機構
(専門分野・関心分野) 炉心プラズマ研究,
トカマク研究開発

久保博孝(くぼ・ひろたか)



日本原子力研究開発機構
(専門分野・関心分野) 核融合プラズマ研究
開発

秋場真人(あきば・まさと)



日本原子力研究開発機構
(専門分野・関心分野) 核融合炉工学, プラ
ンケット工学, ダイバータ工学。

地震動の不確かさを考慮した経年配管の構造信頼性評価手法の開発

経年劣化が進行した発電用原子炉の配管が地震で壊れる確率は？

日本原子力研究開発機構 伊藤 裕人, 鬼沢 邦雄,
原子力安全基盤機構 杉野 英治

栄誉ある第39回日本原子力学会賞 特賞・技術賞を拝受する光栄を与えられたことを心から感謝する。本稿では、受賞論文の内容に関する私たちの取組みを紹介する。

応力腐食割れが発生した配管に地震による揺れが作用したときの健全性を評価する際には、地震荷重の大きさ、応力腐食割れによるき裂の発生・進展等の経年劣化について不確かさやばらつきが存在する。私たちは、これらの不確かさやばらつきを定量的に評価する確率論的破壊力学(PFM)解析手法を用いて、配管等、構造機器に損傷が発生する確率を評価する研究を進めている。また、地震時の原子炉の安全性評価における重要な入力条件となる地震動の発生に係る不確かさを考慮した地震動評価手法を開発した。従来、これらの手法は独立したものであったが、これらを統合して、プラント敷地周辺の地震動発生確率を考慮し、経年劣化した配管に地震荷重が作用する場合の破損確率の評価手法を開発した。

I. 原子力発電所の構造機器の健全性 (安全性)評価でなぜ不確かさ？

国内で初期に建設された原子力発電所は、すでに30年を超える運転が行われている。今後も更なる長期間の運転が見込まれるため、配管などの安全上重要な構造機器が長期間にわたり健全性を維持できるかどうかは重要な課題である。原子力発電所の配管では、き裂が発生・進展する応力腐食割れ(SCC)や配管の厚さが減少する減肉等の様々な経年劣化が起きることが知られている。中でも応力腐食割れは、配管が溶接によりつなぎ合わされている箇所において、電力事業者の検査により数多く報告されており、設備の健全性、さらには原子炉の安全性を評価する際には重要な経年劣化事象の一つである。

また近年、兵庫県南部地震(1995)、中越地震(2004)等の大地震が発生し、これらへの対応や最新の知見を反映

して原子力発電所の耐震設計指針が改定された。その後も中越沖地震(2007)が発生するなど、地震時における原子力発電所の配管等の健全性は重大な関心事となっている。

応力腐食割れが発生した配管に地震による揺れが作用したときの健全性はどのように評価すればよいだろうか。従来は、これまでの経験から考えられる最大の地震や、最も劣化した状態を想定して、破損するか、破損しないかを判断する定性的な健全性の評価が行われてきた。ところが、地震荷重の大きさの設定には最新の知見を反映してもまだ不確かな要素があると同時に、実際の材料特性や、応力腐食割れによるき裂の発生・進展等の経年劣化については、やはり不確かさやばらつきが存在する。設計時には、これらの不確かさやばらつきを考慮して、ある一定の余裕を持って健全性を維持できるように検討している。私たちは、これらの不確かさやばらつきをできる限り明らかにして、定量的に評価を行う確率論的破壊力学(PFM)解析手法を用いて、配管等、構造機器の健全性、すなわち運転期間中に損傷が発生する確率を評価する研究を進めている。また、地震時の原子炉の安全性評価における最も重要な入力条件となる地震動の発生に係る不確かさを考慮した地震動評価手法を開発した。

Development of Structural Reliability Evaluation Method for Aged Piping Considering Uncertainties of Seismic Motions ; How to Evaluate the Failure Probability of Aged Piping in Nuclear Power Plant due to Earthquake : Hiroto ITOH, Kunio ONIZAWA, Hideharu SUGINO.

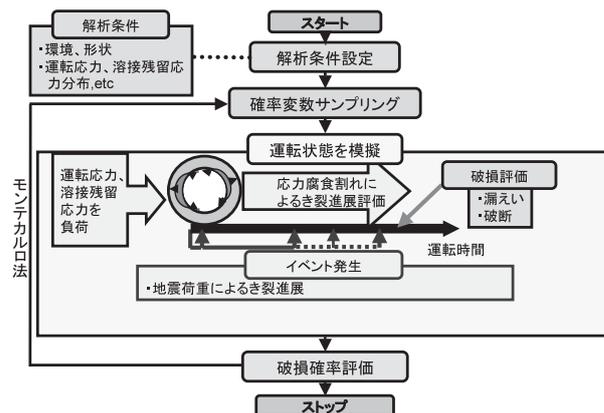
(2008年 2月15日 受理)

従来、これらの手法は独立したものであったが、これらを統合して、プラント敷地周辺の地震動発生確率を考慮し、経年劣化した配管に地震荷重が作用する場合の破損確率の評価手法を開発した。以下に、まず大きな荷重が作用した場合に配管が破損に至る確率を計算する確率論的破壊力学(Probabilistic Fracture Mechanics:PFM)解析手法、次に地震荷重の大きさを計算する手法を述べる。そして、それら両者ともに確率を取り扱うことから、両者を組み合わせた方法の意味と重要性を述べることにする。

Ⅱ. 材料特性や経年劣化に関する不確かさやばらつきを考慮する確率論的破壊力学

確率論的破壊力学(Probabilistic Fracture Mechanics: PFM)は、材料特性や経年劣化(き裂の寸法等)に関する不確かさやばらつきを考慮して、構造物の破損確率を定量的に評価する手法である。確率論的破壊力学の基本概念であり、材料特性や経年劣化を確定値として扱う通常の破壊力学は、1920年のGriffithのガラス等の脆性破壊の研究に始まり、1940年代に起きた船舶の破壊事故を契機として脚光を浴びるようになった。1972~74年には、広く今日まで原子炉設備の設計に用いられているASME(米国機械学会: American Society of Mechanical Engineers)のBoiler And Pressure Vessel Codeや米軍の航空機に関する規格に取り入れられ、本格的に実用されるようになった。この頃、航空機や原子力発電所の圧力容器等の構造信頼性の研究に本格的に破壊力学が取り入れられ、確率論的破壊力学の研究も始まった。1980年代には、米国で確率論的破壊力学を取り入れた規則も規定され、当時開発されたいくつかの解析コードが90年代まで代表的なものとして利用されてきた。現在も、確率論的破壊力学は原子炉圧力容器や配管等の信頼性を評価する上で有用性が示されている。

私たちは、このPFM解析手法に基づき、原子炉圧力容器や配管の健全性を評価するプログラムの開発を進めている。き裂が存在することを仮定した原子炉圧力容器に加圧熱衝撃などの過渡荷重が発生した場合について、運転年数と破損確率の関係を評価するプログラムPASCAL(PFM Analysis of Structural Components in Aging LWR)を開発して、PFM解析手法の有用性を示した¹⁾。配管の信頼性評価に対しては、原子炉冷却材圧力バウンダリーの配管溶接部に発生したSCCを考慮して、配管の破損確率を評価する解析コードPASCAL-SC(PFM Analysis of Structural Components in Aging LWR-Stress Corrosion Cracking)を開発した²⁾。第1図にPASCAL-SCの評価法の概要を示す。経年に対する破損確率はモンテカルロ法によって評価する。モンテカルロ法は本問題のように数式を解くことによって解を求



第1図 PASCAL-SCの評価フロー

めることが難しい場合に有効な手法である。PASCAL-SCでは不確かさやばらつきを表す確率変数をサンプリング(乱数を用いて確率変数の値を決定)し、プラントの運転状態を模擬して破損するかどうか評価する。この手続きを多数回繰り返すことにより破損確率を求める。例えば、100万回この手続きを繰り返して1回破損した場合、破損確率は100万分の1となる。

前述のように、米国では1980年代からPFM解析コードの開発が進められており、原子炉圧力容器に対してはVISA-II³⁾やOCA-P⁴⁾が、米国原子力規制委員会の規則においても使用されることが認められている。また、配管の破損確率評価については、Harrisらの配管破損確率評価コードpc-PRAISE⁵⁾が広く知られている。私たちは、これらの既存の解析コードに最新の知見を反映するとともに、国内の技術基準や民間規格の考え方を採り入れ、国内で適用可能な解析コードとしての整備を進めてきた。たとえば、PASCAL-SCでは、非定常な地震荷重による疲労き裂進展および溶接残留応力分布の影響を考慮できるように手法の高度化を図った。さらに、国内の規格・基準を反映して、より現実に沿ったPFM解析コードの整備を進めている⁶⁾。

Ⅲ. 地震動発生に係る不確かさを考慮した地震動の大きさとその発生確率

地震がいつ起きるか、またどのような大きさの地震動が発生するのかは、その発生のメカニズムが明らかにされていない現状では、不確かな現象としてとらえ、発生する確率として求めることが重要である。すなわち、小さな地震は数多く頻繁に発生するが、大きな地震は滅多に起きないというような、地震動の大きさとその発生確率の関係をどれだけ精度よく求められるかが重要である。

評価を行おうとする原子力発電所の敷地において、ある大きさを超える地震動が発生する頻度を求める手法として、地震ハザード評価手法が有効であるといわれてい

る。

この地震ハザード評価手法は、敷地周辺で過去に生じた地震の大きさと発生頻度に関する情報と、ある大きさの地震が発生した場合の敷地内での揺れの大きさ、すなわち最大加速度などの地震動の強さを用いて、敷地固有の地震ハザードを評価するものである。評価結果として、地震動の大きさとその発生確率の関係(地震ハザード曲線)が得られる。

従来の地震ハザード評価手法では、地震動の強さを推定するために距離減衰式を用いるのが一般的である。この距離減衰式は、地震動強さを推定するために過去の地震記録から統計的に算出した評価式であり、その多くは地震の規模を表すマグニチュードと震源距離から最大加速度などの地震動強さを推定できる簡便な式である。しかし、敷地周辺の地震環境(震源特性や伝播経路特性)を詳細には考慮することができない。

最近では、震源での断層の破壊過程や地殻内の伝播特性を考慮した、いわゆる断層モデルによる地震動評価手法が確立されており、強震動レシビ⁷⁾としてまとめられている。この手法は、すでに東海地震などを対象とした地震防災用の地震動評価に利用されたり、平成18年9月に改訂された新耐震設計審査指針において、基準地震動 S_s を策定する際に用いることが明記されるなど、広く活用されている。地震ハザード評価に関する研究でも、従来の距離減衰式と併用して、ある程度震源が特定できる地震を対象に断層モデルによる手法が用いられているが、震源が特定できない場合についても、震源の位置や断層の種類などを勘案して、震源が特定できる場合に加えて評価することが重要である。そこで、私たちは、震源を特定することができない地震についても、従来の距離減衰式に替えて断層モデルによる地震動評価手法を適用することを提案し、新たに地震ハザード評価コードSHEAT-FM(Seismic Hazard Evaluation for Assessing the Threat to a facility site—Fault Model)を開発した⁸⁾。このSHEAT-FMコードによる地震ハザード評価の特徴を以下に述べる。

SHEAT-FMコードでは、断層モデルによる地震動評価手法として、統計的グリーン関数法を採用した。この手法は、人工的に作成した小地震波形を断層の破壊過程に従って重ね合わせることにより大地震による強震動を合成するものであり、震源を特定することができない地震のように、適当な小地震観測記録が得られていない場合にも有効である。この手法では、断層の長さや幅、方向等、震源特性に関わるパラメータ(断層パラメータ)が必要になるが、形状に関するパラメータについては、経験式をもとに気象庁マグニチュードから自動的に設定される。また、不確定性の大きいパラメータについてはロジックツリーを適用して確率変数として扱える。そして、地域特性を考慮してこれらの断層パラメータを設定

することで、敷地周辺の地震環境を反映した地震動を評価することができ、しかも予測された地震動は、建屋・機器などの地震応答解析にも利用することができる。

また、SHEAT-FMコードでは、地震動評価のほかに、地震発生過程のモデルについても最新の知見を取り入れている。活断層地震やプレート境界地震では、ほぼ一定の時間間隔で発生すると考えられ、活動間隔や最新活動からの経過時間を基にした更新過程モデルを導入している。このモデルでは、現在を基点とし今後ある期間における地震の発生確率を評価することができ、過去の活動からの経過時間が短い震源では発生確率が小さく、経過時間が長い震源では発生確率が大きくなる特徴がある。これにより、地震ハザード曲線を、例えば10年確率や20年確率のように今後の運転年数に対応した評価が可能となり、経年配管の地震時破損確率を算出するのに有用な情報を得ることができる。

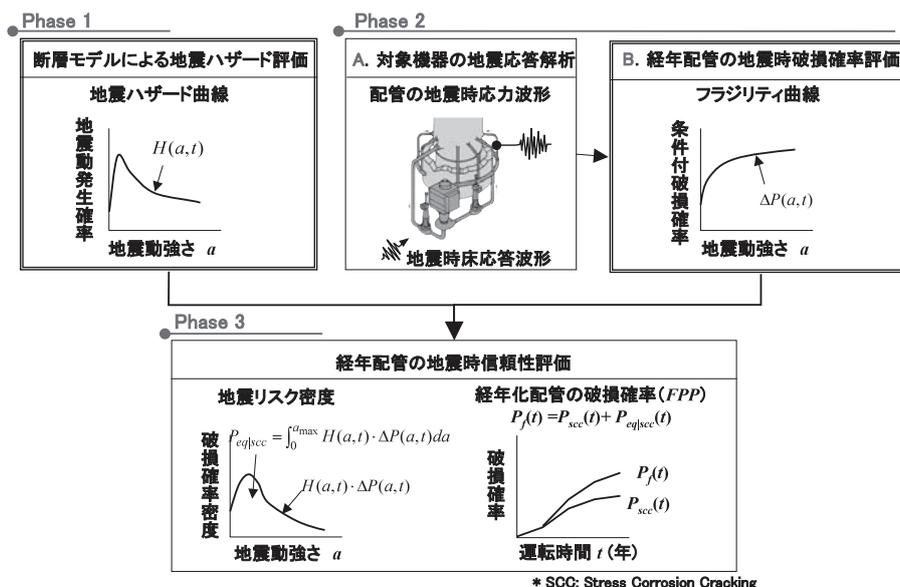
IV. 地震動の不確かさを考慮した経年配管の構造信頼性の評価

地震動の不確かさを考慮した経年配管の構造信頼性評価手法の概要を第2図に示す。II章で求めた地震動の大きさと地震動によって配管溶接部のき裂が成長して破損に至る確率との関係とIII章で求めた地震動の大きさとその発生確率との関係は、いずれも地震動の大きさが共通の指標となっており、第2図に示すように掛け合わせることができる。これによって得られる曲線は、配管溶接部の耐震性を表しており、この曲線の面積が地震動による配管の破損確率となる。また、運転年数に対応した評価期間ごとに同様の手順で破損確率を求めると、運転年数の経過に伴い、地震動による破損確率がどのように変化するか、その傾向を知ることができる。

このように、経年配管の破損確率に及ぼす地震動の影響を確率論的に、かつ定量的に評価する手法はこれまでになかった。この手法を用いれば、例えば複数の溶接線、あるいは複数の配管系統について同様に破損確率を算出して相互に比較することによって、相対的にどの部位に破損リスクが集中しているのかを知ることができ、原子力施設の維持・管理において効率的な対策のための情報として活用できるものと考えられる。

V. 最後に

中越沖地震(2007)では、既設の原子力発電所において設計を上回る地震動が実際に発生している。原子炉機器の地震時の健全性評価において、発生確率が極めて低くても、発生した場合に多大な損傷を引き起こす可能性のある非常に大きな地震の発生とその影響を考慮することは意義があり、本手法はこれを可能にした。本手法では、



第2図 地震動の不確かさを考慮した経年配管における構造信頼性の評価フロー

地震動の不確かさや経年劣化に関する不確かさを考慮して運転時間の経過に伴う破損確率の変化を評価することができ、このようなリスク情報を参考にすることで、重点的、合理的な供用期間中検査の実施が可能となる。今後は、供用期間中検査の効果や検査精度を考慮した、より現実的な破損確率評価手法の開発や、規格・基準類の改訂に貢献していきたい。

—参考文献—

- 1) 小坂部和也, 鬼沢邦雄, 柴田勝之, 鈴木雅秀, “原子炉圧力容器用確率論的破壊力学解析コード PASCAL ver.2の開発”, 日本原子力学会和文論文誌, 6〔2〕, 161 (2007).
- 2) 伊藤裕人, 鬼沢邦雄, 柴田勝之, 確率論的破壊力学解析コード PASCAL-SC 及び PASCAL-EQ の使用手引き, JAERI-Data/Code 2005-007, 日本原子力研究所, (2005).
- 3) F. A. Simonen, K. I. Johnson, *et al.*, *A Computer Code for Predicting the Probability of Reactor Pressure Vessel Failure*, NUREG/CR-4486. (1986).
- 4) R. D. Cheverton, D. G. Ball, *OCA-P, A Deterministic and Probabilistic Fracture-Mechanics Code for Application to Pressure Vessels*, NUREG/CR-3618, (1984).
- 5) D. O. Harris, D. Dedhia, S. C. Lu, *Theoretical and User's Manual for pc-PRAISE, A Probabilistic Fracture Mechanics Computer Code for Piping Reliability Analysis*, NUREG/CR-5864, UCRL-ID-109798, (1992).
- 6) 伊藤裕人, 鬼沢邦雄, “確率論的破壊力学解析による構造機器健全性評価手法に関する研究—再循環系配管の破

損確率に及ぼす供用期間中検査頻度の影響”, 日本原子力学会「2007秋の大会」予稿集, H 05, (2007).

- 7) 入倉孝次郎, “強震動予測レシピ—大地震による強震動の予測手法”, 京大防災研年報, 第47号 A, (2004).
- 8) 杉野英治, 鬼沢邦雄, 鈴木雅秀, 断層モデルによる地震動予測手法を用いた地震ハザード評価コード SHEAT-FM の使用手引き, JAERI-Data/Code 2005-008, 日本原子力研究所, (2005).

著者紹介

伊藤裕人(いとう・ひろと)



日本原子力研究開発機構
(専門分野) 確率論的破壊力学

鬼沢邦雄(おにざわ・くにお)



日本原子力研究開発機構
(専門分野) 破壊力学

杉野英治(すぎの・ひではる)



原子力安全基盤機構
(専門分野) 耐震

ウラン濃縮を巡る国際的な動向と我が国の課題

経済産業省資源エネルギー庁 山下浩司

原子力カルネッサンス時代を迎え、各国がこぞって原子力発電所建設に積極的に動いている中、原子力発電に欠かせないフロントエンドの獲得競争が激化している。その中でもウラン濃縮は、ウラン資源と並んでその価値が高く重要なものである。信頼性・経済性の高い濃縮技術は非常に高度であり、すでに世界の原子力産業のプレイヤーはそのような濃縮技術を持つプレイヤーとの戦略的連携を強化しようと動いている。本稿では、濃縮の国際的な状況と戦略を解説した上で、我が国が認識しておくべき課題を中心に説明を行う。

I. 濃縮の重要性

現在商業化されている濃縮技術のうち、最もコストが低いといわれる遠心分離法は、長期にわたり安定的に遠心分離機内部の胴体が回転し続けなければならない。そして、そのためには極めて高度な精密加工技術などが要求される。このような技術を持つ国は、世界中にどこにでもあるわけではない点において希少性が高い。また、テロ活動の脅威、冷戦の終結による軍縮の動きから世界的に核不拡散を目指す動きが活発化している。IAEAは、核不拡散の観点から核燃料供給保証構想を打ち出し、遠心分離技術を持たずとも核燃料の供給が受けられる世界を目指している。このような核不拡散に向けた動きもまた、濃縮技術を持つ国を政治的に減らそうとしている点において濃縮の希少性を高めている。さらに、ウラン資源は埋蔵する国に限られており、さらに採掘してしまえばなくなるという点において希少性が高い財である。そこで、ウラン資源を有効利用するために、天然ウランの濃縮機器への投入量を減らすかわりに、濃縮の役務を増やし、濃縮ウランの絞りがす濃度(テイル濃度)を下げることで必要とされる濃縮ウランをより多く生産することができるため、濃縮役務は、希少な財であるウラン資源が節約できる点において希少性がある。

II. 世界と我が国の濃縮需要

世界の濃縮需要は、WNA (World Nuclear Association) の調査によれば、現在約50,000 tSWU程度とされている。

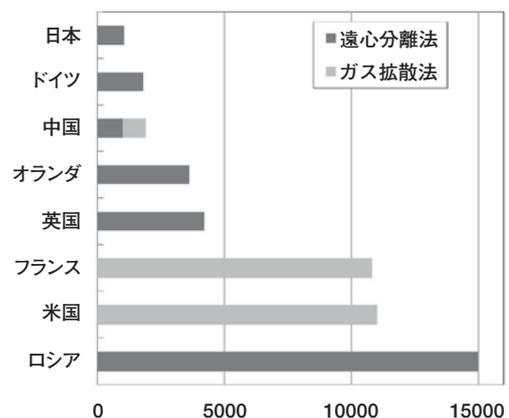
International Trends and Issues Facing Japan with Uranium Enrichment : Koji YAMASHITA.

(2008年 3月14日 受理)

このうち、日本の需要は約5,900 tSWU(出典：原子力ポケットブック2007年版)であり、主にUSEC, URENCO, 日本原燃などからの供給を受けている。今後、国際的に原子力発電所が整備されるにつれ、濃縮需要はさらに伸びていくことになるが、現在、第1図にある通り、ロシア(15,000 tSWU)を含む世界の濃縮工場の供給力は48,000 tSWU強であることから、供給に余裕はない状況である。このため、なんらかの理由で濃縮工場が期待していたほどの役務能力を得られない、あるいは現在、技術開発を行っている濃縮工場が順調に立ち上がらなかつたとすれば、濃縮役務は今後、供給不安に陥る可能性がある。

III. 濃縮技術の動向

濃縮技術は、大別してガス拡散方式、遠心分離方式、レーザー濃縮方式が知られており、それぞれ第1表に示すような特徴がある。以前は、ガス拡散方式が欧米の主



第1図 世界各国の濃縮容量

第1表 各濃縮技術の特徴

	メリット	デメリット
ガス拡散法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 設備に稼働部分が少ない ・ 大容量の処理が容易である 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1段当たりの分離計数が小さい ・ 電力消費量が多い ・ 大規模でないとならば経済性がない
遠心分離法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 分離係数が多い ・ 電力消費量が少ない ・ プラントの分割建設ができる ・ 小規模でも経済性がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 構造的に複雑で、高度な技術が必要である
レーザー濃縮法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 分離係数が多い ・ 建設費を大幅に低減できる可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高性能なレーザーの開発が必要である

流であったが、同方式は、電力消費量が遠心分離方式の数十倍程度とコスト競争力の観点から劣っている。このため、世界的には、ガス拡散方式は衰退し、遠心分離方式がメジャーな技術となりつつある。また、レーザー濃縮方式は、我が国においても1987年から2002年まで研究を行い、今後20年間は実用化が困難という理由で研究を断念しており、現在はGE日立が商業化を目指して米国にて研究を行っているのみである。

IV. 遠心分離技術の世界的動向

遠心分離技術には、米国USEC社(米国エネルギー省の濃縮部門を引き継ぐ形で設立された米国燃料公社が民営化された組織)が開発をしている技術、URENCO社(独・英・蘭の各国政府が共同で設立した組織)の技術、ロシアの技術、そして我が国日本原燃の技術がある。遠心分離機の性能を決める数式は(1)式で与えられ、回転胴の高さに比例し、回転胴の回転速度の4乗に比例する。

$$SWU \approx \frac{\pi}{2} \rho D \left[\frac{(M_2 - M_1) V^2}{2RT} \right] L \quad (1)$$

ただし、 ρ ：ガス濃度

D ：自己拡散係数

$\Delta M = M_2 - M_1$ ：分離アイソトープの分子重量差

V ：回転胴の回転速度

R ：気体定数

L ：回転胴の高さ

T ：温度

先に述べた各技術によって設計の考え方が異なるため、例えばUSEC方式は高さを確保し、1機あたりの遠心分離性能を高める一方、ロシア方式は、1機あたりは非常にコンパクトであるが、カスケードに接続する遠心分離機をより多くするといったような具合である。この各国の遠心分離機について、これまでの動きを整理したいと思う。

1. 欧州

欧州は、1970年に英・独・蘭のアルメロ協定を締結した上で、3カ国で遠心分離機の共同開発を行い、この3カ国が設立したURENCO社は現在、9,600 tSWUの容量を保有している。また、2003年、AREVA社は濃縮技術を独自に開発するのではなく、URENCO社の技術を採用した工場(フランス・George Besse 2工場)を整備するため、アルメロ協定にフランスも加盟した。AREVA社とURENCOとのJoint Venture(ETC社)が遠心分離機の製造を行うこととなっており、2009年より商業運転の開始を予定している。

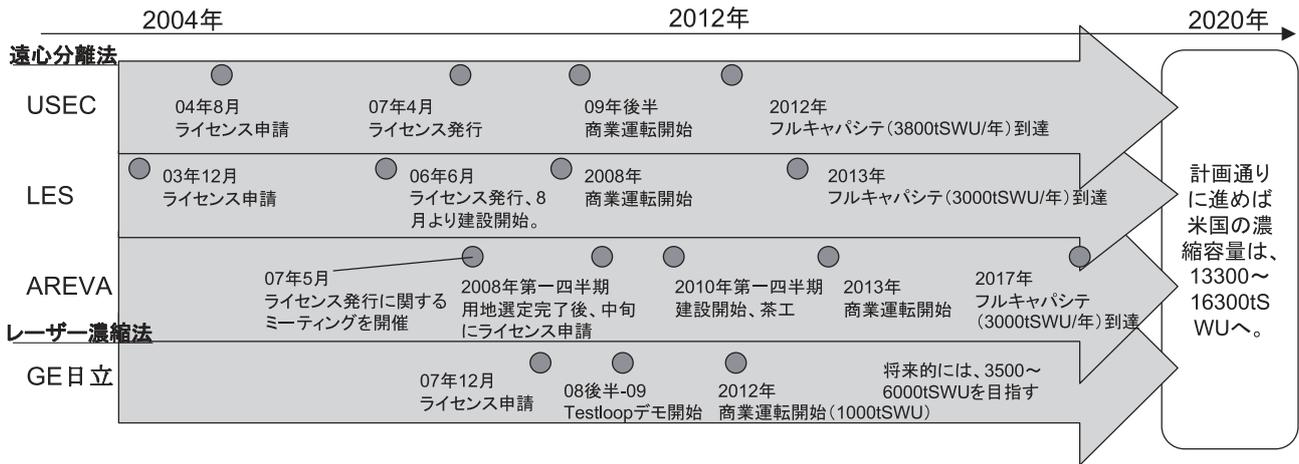
2. 米国

米国の濃縮設備の整備動向を第2図に示す。1985年まで米国エネルギー省が開発していた遠心分離技術を引き継いだUSECが商業化に向けて取り組んでいるほか、URENCO社、AREVA社(技術はURENCO社のもので採用)が濃縮工場整備に向けた取組みを行っている。このほか、GE日立のレーザー濃縮の商業化に向けた取組みも行われており、すべてが計画通りに進捗したとすれば、第2図に示すように、2020年ごろの米国の濃縮容量は13,300~16,300 tSWUになる見通しである。

なお、米国エネルギー省は、今年から濃縮工場建設に対する2 billion \$の債務保証制度を設けることとしている。

3. ロシア

ロシアは、これまで軍事利用目的もあったことから、濃縮容量を拡大してきており、世界最大の濃縮容量を持つ国となっている。しかし、プーチン大統領は、原子力産業を強化する方向性を打ち出し、濃縮施設を軍用から民事用へとシフトさせ、ロシアの原子力産業の強化を目的として、ロシアが核燃料を世界に供給する構図を目指している。具体的な取組みとしては、2006年1月に、安定的で、核不拡散が厳格に担保できる形での原子力へのアクセスができるようにするため、既存のアンガルス



第2図 米国の濃縮工場整備の見通し

クのプラントをベースとして国際濃縮ウラン供給センター(IUEC)構想を発表し、現在、世界から賛同国を募っているところである。

4. 日本

我が国は、1959年に理化学研究所で試作された遠心分離機が、原子燃料公社、動力炉・核燃料開発事業団、核燃料サイクル開発機構、そして日本原燃に引き継がれている。1992年に日本原燃が濃縮工場を操業以降、1,050 tSWU/年の容量を整備したものの、予定していた寿命が達成できず、現在は7系列のうち1系列しか稼働していない(したがって、現在の我が国の濃縮役務供給量は150 tSWU以下)。

一方、日本原燃では、2000年より新型遠心分離機の商業化に向けた技術開発を行っている。2010(平成22)年度頃を目途に新型遠心機による濃縮サービスの提供を開始し、10年程度かけて1,500 tSWU/年を達成する計画がある。

V. 原子炉メーカーによるフロントエンド部門の垂直統合の動き

原子カルネッサンス時代では、原子炉のメーカーがこれまで原子力発電の導入経験がないような国あるいは電気事業者に対しても販売を伸ばすチャンスである一方、特に、こうした新規参入事業者は、ウラン資源や濃縮、燃料加工などの核燃料調達をどうするかという問題に直面することになる。このとき、原子炉メーカーが自社の原子炉販売とパッケージで燃料調達の支援を行うことで、新規参入事業者は安心して燃料を調達できることになる。逆に、燃料調達の支援を行えない原子炉メーカーは、すでに原子炉メーカーに頼らずに自前で燃料調達を行っている経験ある電力会社の市場しか狙えないということになり、今後、市場シェアを奪われていくことになる。仏 AREVA 社は、もともと核燃料サイクルの垂直

統合に早くから着手していたこともあり、燃料調達の支援が行えるという点において圧倒的競争力を有している。実際に、中国では、昨年11月のサルコジ大統領中国訪問の際、AREVA 社から中国への第三世代原子炉2基(報道では、80億ユーロ相当(1兆2,900億円相当)とされる)の販売契約が成立したが、この際、AREVA 社とは天然ウランの長期供給契約の締結も行ったとされる。

このような事態に、東芝も資源国との関係強化を図っており、昨年、カザフスタンのウラン資源開発プロジェクトに参画するとともに、カザフスタンの国営会社・カザトムプロム社に対して、東芝が有するウェスティングハウス社の株式の10%を譲渡し、資本関係を構築している。ただし、AREVA 社がカザフスタンの権益に参画したのは1996年であり、10年以上の時を経ていることになる。

このようなフロントエンドの垂直統合の動きはウラン資源のみならず、すでに濃縮においても見られる。GE日立は、オーストラリア Sillex 社から購入したレーザー濃縮技術の商業化に向けた技術開発を行っており、2012年から商業運転を開始(開始時は1,000 tSWU)し、将来的には、3,500~6,000 tSWU/年の容量を目指していると発表している。また、AREVA 社は、コスト競争力の点で劣るガス拡散方式を早急に遠心分離機に切り替えるべく、単独で濃縮の技術開発を行うことなく、URENCO 社の技術を活用する形でフランス国内に遠心分離機を導入した濃縮工場(George Besse 2 工場)を整備しているところである。さらに、ロシアにおいては、2006年1月に国際濃縮ウラン供給センターを整備すると発表し、昨年、ウラン資源開発から濃縮、原子炉製造までを行う企業の持株会社・国営原子力企業アトムエネルギープロム社を設立した。

VI. ウラン資源国の戦略的な動き

濃縮を戦略的に囲い込みたいという動きは、原子炉メーカーだけではなく、自国のウラン資源により付加価値をつけて販売したいとの思惑から、ウラン資源国においても濃縮を確保する動きがみられる。本章では、カザフスタンとカナダの動きを紹介する。

1. カザフスタンの例

カザフスタンは、世界第2位のウラン資源埋蔵量がある国であり、同国の国営原子力会社であるカザトムプロム社は資源をイエローケーキのまま販売する(例：オーストラリア)のではなく、付加価値をつけて輸出することに高い関心があるとされている。同社は、カメコ社からカザフスタン国内への技術移転により転換工場の整備するほか、ウルバ核燃料工場を積極的に活用し、加工済みの核燃料を世界に対して販売することに意欲的である。ただし、カザフスタンでは、濃縮技術を保有しないため、2006年7月、カザトムプロム社はアンガルスクを想定した濃縮工場に対して、ロシアと50—50%のジョイントベンチャー設立の合意文書に調印した。さらに2007年9月には、カザトムプロム社は、ロシア・アンガルスク IUEC 社に10%のシェアを確保し、ロシアの濃縮工場にカザトムプロム社が濃縮役務を確保できる体制を整備しようとしている。

2. カナダの例

かつて連邦政府および州政府が所有していた企業が民営化された企業である Cameco 社は、濃縮ビジネスに関心があった時期がある。1996年に同社は USEC が当時開発を試みていたレーザー濃縮法の技術開発参画に合意したほか、2002年には、ウレンコ社、ウェスティングハウス社、エクセロン社(米国の大手電気事業者)などとともに、米国において\$1.1 bil 規模のウラン濃縮工場を建設することに合意していた(これはその後 LES プロジェクトに進展、ただし、Camco 社は2003年3月に撤退)。現在は、濃縮ビジネスに参画できていないが、今後、同社の濃縮役務を有するプレイヤーとの協力関係に注目したいところである。

VII. 濃縮に対する日本政府の対応

我が国は55基の原子力発電所を持ち、原子力の冬の時代も着実に原子力技術を維持・発展させてきた国である。これまで説明をしてきたように、濃縮に関して国際的な変化が起こっている中、今後、我が国の原子力発電所における核燃料供給のセキュリティを確保する観点から、(1)日本原燃が現在開発を行っている新型遠心分離機による濃縮工場を経済性の高い形で立ち上げることと併

せて、我が国の原子力産業発展の観点からも、(2)我が国の国および電気事業者、原子炉メーカーは、濃縮工場を持つ国、海外事業者との戦略的協力関係の構築・強化を図ることが重要になってきている。

1. 新型遠心分離機の技術開発

我が国の核燃料サイクルの自主性を向上し、核燃料供給のセキュリティを確保する観点から、日本原燃株の国際競争力のある新型遠心分離機の技術開発は最重要課題である。2002年より資源エネルギー庁は、このような取組みを支援すべく、核燃料サイクル開発機構(現・日本原子力研究開発機構)から同社に引き継がれた濃縮技術の開発に対し、これまで約110億円に及ぶ補助金による支援を実施してきた。また、このような資金支援に加え、総合資源エネルギー調査会の原子力部会の下に置かれたウラン濃縮技術評価ワーキンググループにおいて、有識者も含めて技術課題の検討が行われている。この日本原燃における濃縮事業に関しては、遠心分離機の長寿命化、安定した遠心分離性能の実現などといった課題を解決し、国際競争力を持つ形での商業化が極めて重要な課題である。

2. 濃縮工場を持つ国や事業者との協力関係の構築・強化

前述した通り、電力会社のみならず、原子炉メーカーが戦略的に濃縮役務を獲得する動きがある中、今後、電力会社や原子炉メーカーが濃縮役務を安定確保するため、海外の濃縮工場建設への出資や日本国内への海外技術を導入した濃縮工場建設といった動きも出てこよう。また、日本原燃で技術開発を行っている新型遠心分離機が真に国際競争力を持ちうるものであれば、世界に対して濃縮サービスを販売することや、核不拡散を確保した上での新型遠心分離機の海外輸出もまた可能性がありうる。

先述した通り、すでに海外の原子炉メーカーや、ウラン資源国の濃縮取込みに向けた動きを踏まえれば、少なくとも濃縮工場を持つ国や事業者、濃縮技術を必要とする資源国との原子力分野における関係強化を図ることは意義があるものと考えられる。

VIII. 終わりに

軽水炉の原子力発電が世界的な標準であり、今後もしばらくの間は軽水炉原子力発電所を中心として建設されていく以上、引き続き濃縮は、ウラン資源とあわせて核燃料サイクルの中で重要な位置づけを占めることに疑念はない。このような重要性を我が国も認識をして自国内での濃縮工場を持ち、また技術開発も行っている。しかし、現状は世界の濃縮事業者と互角に競争できるような

状況にはない。一方で、濃縮は冒頭説明した通り希少性が高いため、世界の原子力産業のプレイヤーは濃縮技術を持つプレイヤーとの戦略的連携を強化しようと動いている。したがって、まずは、国際競争力のある国内濃縮工場の立上げに努めるとともに、世界の核燃料サイクル産業の潮流に乗り遅れず、我が国の国益にかなう国際的な協力関係の構築・強化に積極的に取り組んでいくことが、原子力大国である我が国の今後の課題であると考え

る。

著者紹介

山下浩司(やました・こうじ)



経済産業省資源エネルギー庁
(専門分野・関心分野)国際企業戦略/政府
開発援助(ODA)/原子力産業の国際問題

広告記事(PRのページ)新設と募集のお知らせ

1. 広告記事(PRのページ)の募集

学会誌では、一般広告以外の広告記事(PRのページ)を新たに掲載することとしました

・掲載場所

- ① 従来の広告のページと同じ位置
- ② 「学会誌記事の最後で会報の前」(新規)

・掲載料金

- ① 従来の広告のページと同じ位置に掲載する場合は、一般の広告料と同じ
- ② 学会誌記事の最後(会報の前)は80,000円/頁

・広告記事のページ数：1～2頁(2頁の場合は「見開き」とする)

・掲載条件：広告記事ページの右上に(広告記事)または(PRのページ)と記載する

2. 広告記事原稿の提供等

・版下は広告出稿主が提供する

・カラーの場合は出稿主がカラー印刷代を負担する

・生原稿の場合は一般広告と同じ(版下・フィルム制作費として20,000円、版下支給の場合はフィルム制作費として5,000円を別途申し受けます)

(学会誌の広告記事としてふさわしくないと編集委員会が判断した場合は掲載をお断りする場合があります)

連載講座

今、核融合炉の壁が熱い！ —数値モデリングでチャレンジ

第2回 II-2 壁の前で何が起きているか？

慶應義塾大学 畑山明聖, 日本原子力研究開発機構 滝塚知典

II. 壁の前で何が起きているか？ —プラズマの攻撃

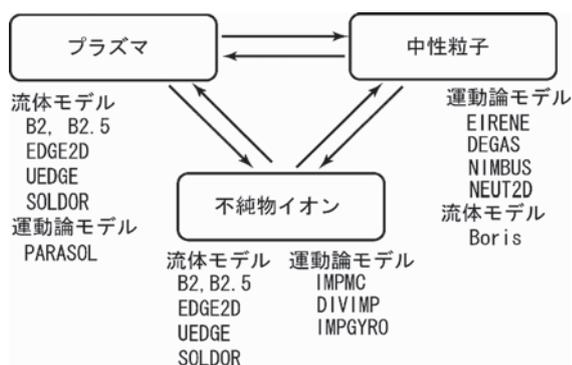
2. 数値モデリングとシミュレーションの現状

前回II-1章を踏まえ、本稿では、いよいよSOLダイバータプラズマのモデリングの現状を紹介する。シミュレーションでは、前回第II-4図に示した境界プラズマ層中での①プラズマ、中性粒子および不純物の輸送過程、②電離、励起などの原子・分子過程、③プラズマ-壁間に形成されるシーズ、さらには、④プラズマ-壁相互作用などを相互に矛盾なく、モデル化し考慮しなければならない。

第II-5図は、プラズマ、中性粒子および不純物イオンに対する代表的なシミュレーションコードを分類したものである。図に示したように、これらのコードは、①流体モデル、②運動論モデルの2種類に大別される。

(1) 流体モデルと運動論モデル

流体モデルが適用できるためには、粒子の平均自由行程 λ が考える系の特徴的な長さ L に比較して十分短いこと、すなわち、クヌーセン数 $K \equiv \lambda/L$ が1より十分小さいことが、必要条件となる。このとき、衝突が頻繁



第II-5図 境界層プラズマシミュレーションコード

The Fusion Reactor Wall is Getting Hot!—A Challenge towards the Future for Numerical Modelling (2) : Chap. II What is really happening between the plasma edge and the wall?—2. Defence from the plasma attack: Akiyoshi HATAYAMA, Tomonori TAKIZUKA.

(2008年 2月22日 受理)

各回タイトル

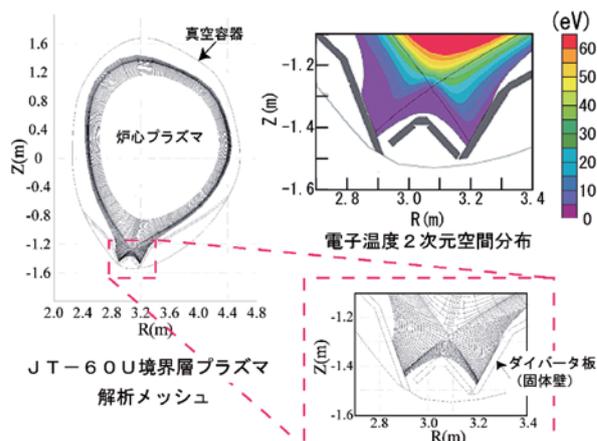
第1回 I. はじめに; II-1 壁の前で何が起きているか?

で粒子の速度分布がMaxwell分布から大きくズレておらず、個々の粒子の速度ではなく、流体としての平均速度と平均エネルギーを考えればよい。反対にクヌーセン数が大きく、速度分布の非平衡性(Maxwell分布からの大きなズレ)が問題になる場合には、後で具体的に紹介するように、個々の粒子の運動を論じる運動論モデルを適用することが望ましい。以下、境界層プラズマを構成する各粒子種について、このことを考えてみよう。

(a) プラズマ

プラズマは磁力線に束縛され、主に磁力線に沿って輸送される。この場合、系の特徴的な長さとして、SOL上流からダイバータ板までの磁力線の長さを考えることができる。大型トカマク(JT-60U, JETなど)では、 $L \sim 50$ m程度であり、また、ダイバータプラズマの典型的な密度、温度($n \sim 10^{19} \text{m}^{-3}$, $T \sim 50$ eV)に対して、 $K \sim 0.1$ 程度となる。流体モデルはおおむねよい近似となる。

第II-5図に示したB2コード^{1~3)}などの流体コード群は、トカマク型を対象とする。トロイダル方向(前回第II-1図のプラズマ電流の方向)に物理量は一樣であると仮定する(軸対称性)。プラズマ流体の運動を、ポロイダル断面(第II-1図のプラズマ電流に垂直な断面)に投影し、2次元での解析を行う。第II-6図に流体コードによる境界層プラズマ解析のメッシュ生成例を示す。いずれのコードも、イオン密度 n_i 、磁力線方向の流速 $u_{||}$ 、電子温度 T_e 、イオン温度 T_i の4つの物理量を取り扱う。



境界層プラズマシミュレーションにおけるメッシュ生成例と結果の1例(低温非接触プラズマ構造の形成)

第II-6図 メッシュ生成例

準中性条件 $n_e \approx n_i$ を仮定し、プラズマ粒子は磁力線垂直方向に拡散係数 D で拡がると近似して、①イオン密度連続の式、②磁力線方向の運動方程式、③電子、および④イオンのエネルギー方程式を連立して解く。第II-6図のような空間メッシュで、例えば差分法を用い、時間的发展問題、または定常問題として、これら n_i , $u_{//}$, T_e , T_i の値を各メッシュで求める。境界条件、拡散係数、熱伝導係数の標準的な与え方については、文献1), 2)などを参照されたい。

プラズマ中では準中性条件を保ち続けるように、上述のシース領域以外でも、電場が生じ得る。電場が存在すると、プラズマは電場と磁力線との両方に垂直な方向にドリフト運動 ($E \times B$ ドリフト) を始める。このようなドリフト運動は、コアプラズマの閉じ込め、境界プラズマの流れの構造、内側と外側ダイバータプラズマの非対称性などに重要と考えられている。そこで最近では、流体コードにドリフト運動の効果を取り入れる試みが精力的に行われている¹⁾。また、これらトカマクを対象とした2次元コードに加えて、LHDのような軸対称性のないヘリカル系を対象とした3次元コードの開発も進められている³⁾。

上に述べたように、SOLプラズマに対して流体近似はおおむねよい近似であり、上記コード群は実験解析、装置設計などに広く用いられている。しかし急峻な温度勾配がある場合や、また、ELMと呼ばれるコアからの熱パルスが生じる場合、さらに壁に近いシース領域では速度分布がMaxwell分布から大きくズレる。こんなとき、速度分布関数を直接求めるPIC (Particle in Cell) 法やモンテカルロ法など粒子モデルに基づく運動論的なアプローチが威力を発揮し、流体モデルでは見えてこない様々な現象を、理解し、明らかにしていくことができる。

しかし運動論的なアプローチ、特にPIC法を空間スケールが大きい境界層プラズマ全体に適用するには、計算機の能力が飛躍的に向上した現在においても、莫大な計算コストを要する。したがって、これら運動論的なアプローチによって得られた知見をできる限り反映する方向で、流体モデルの改善が行われている。例えば、シースを介したプラズマ-固体壁間でどのように粒子とエネルギーが流出するかなどを、“正しい境界条件”として流体モデルに反映することができる。

(b) 中性粒子

プラズマと異なり中性粒子は磁力線に束縛されない。したがって、中性粒子輸送の特徴的な空間スケールは、プラズマの場合に考えた磁力線方向の距離とはならない。むしろ、磁力線に垂直方向のプラズマの広がり、中性粒子輸送を考える場合の特徴的な距離としてふさわしい。前回述べたように、SOLプラズマの径方向の減衰長 Δ_{sol} (SOL幅と呼ばれることもある) は短い。例えば、上流SOLでは数cm以下になる。多くの場合、中

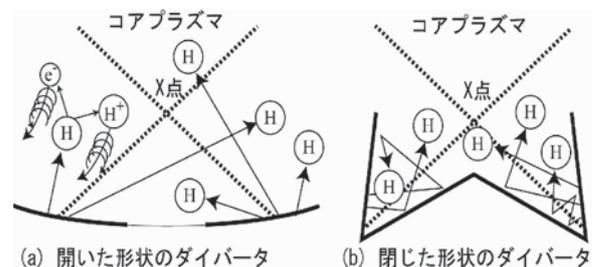
性粒子の電離や荷電交換の平均自由行程は $\lambda_n \geq \Delta_{\text{sol}}$ であり、クヌーセン数 $K = \lambda_n / \Delta_{\text{sol}}$ が1より十分小さいという条件は成り立っていない。そのため、境界層プラズマを対象とした中性粒子輸送コードの多くは、第II-5図に示したように、運動論的なアプローチを用いている。

このアプローチでは、中性粒子軌道を直接に追跡し、衝突をモンテカルロ法により模擬する。第II-7図に示すように、電場、磁場に束縛されない、“気ままな”中性粒子は、壁との衝突を繰り返しながら、励起や電離衝突を行い、やがてイオンとなり、磁力線に沿ってダイバータ板に戻り、リサイクルする。壁、特にダイバータ領域近傍における壁の形状が、中性粒子の挙動、ひいてはダイバータプラズマの特性を決める極めて重要なファクタとなる。第II-7図(a)のようにダイバータ領域の壁が、プラズマに向かって開いている形状だと、ダイバータ板で中性化された低温の粒子が、そのままコアプラズマに入ってしまうこともある。ダイバータプラズマが低温にならずに、コアが冷却されるので好ましくない。これに対して、第II-7図(b)のような閉形状ダイバータは、ダイバータ領域の中性粒子密度を高め、ダイバータ領域だけを低温に保つことができる。こうしたダイバータ板や壁の形状効果を見る上で、運動論的なアプローチは非常に威力を発揮する。

(c) 不純物イオン

不純物“中性”粒子については、上に述べた理由から、モンテカルロ法による運動論的なモデルが適用されることが多い。一方、不純物“イオン”については、燃料プラズマ同様、流体モデルで扱う場合と運動論的なモデルで扱う場合に分類される。B2, B2.5, EDGE 2D, UEDGEは、不純物イオンも流体として扱う、いわゆる多種流体 (multi-fluids) モデルであり、一方、IMPIC, DIVIMPなどはモンテカルロ法を用いた運動論的なモデルに基づいている。上に述べた流体モデル、運動論的なモデルのメリット、デメリットがそのまま当てはまる。さらに不純物特有の問題がある。

燃料水素イオンの場合には電離価数は最大1価であるが、不純物は多価電離する。壁材がタングステンのような電離価数 Z の高い金属である場合、その数十価に及ぶ電離状態一つ一つを、流体モデルでは別々の流体とし



第II-7図 中性粒子とダイバータ形状

て扱わなければならない。また、現在の装置でよく用いられているカーボン材料の場合、前回述べた化学スパッタリングが生じ、メタンなどの炭化水素がプラズマ中に放出される。プラズマ中での複雑な化学反応過程を流体モデルでモデル化するには限界がある。一方、テスト粒子の軌道を追跡するモンテカルロモデルでは、計算コストがかかるものの、多価電離過程や化学反応過程を模擬することは比較的容易である。

不純物モンテカルロコードは従来、燃料プラズマの分布を固定して与え、不純物輸送における運動論の効果や複雑な化学反応過程を調べるよう利用されてきた。最近のトピックスとして、流体コード(SOLDOR)と不純物モンテカルロコード(IMPMC)との統合化により、燃料水素を流体モデルで、不純物イオンを運動論モデルで扱うようにする試みが、精力的に始められている⁴⁾。

以上、第II-5図の各粒子種について、そのモデル化の概要を説明した。最近では、第II-5図に示したコードを統合化し、相互に矛盾のない解を得ることが可能となってきた。これら統合コードとして、B2-EIRINE, EDGE2D-NIMBUS SONIC (SOLDOR + NEUT 2 D + IMPMC)などのコードがある^{1,2,4)}。

(2) 非接触ダイバータプラズマ

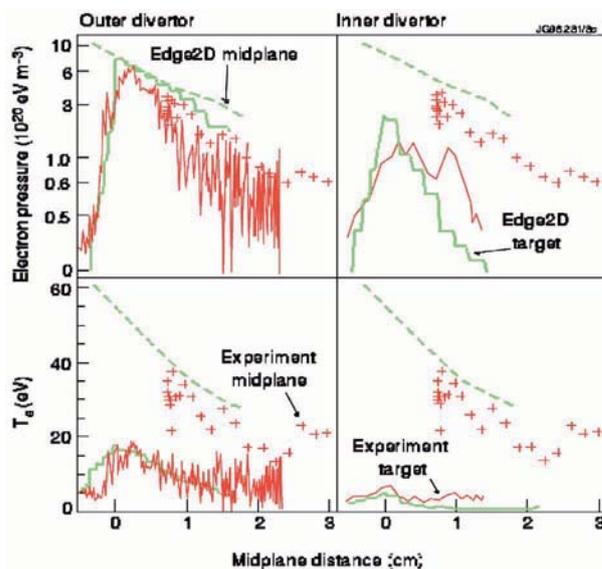
上にたびたび述べてきたように、非接触ダイバータプラズマの理解と制御は、プラズマと壁との相互作用を低減し、核融合炉の長期間運転を実現する上で極めて重要である。数千万度～数億度の超高温コアプラズマと壁とを“非接触”に保つなどという、そんなうまい話はウソに違いないと思われる読者もいるかもしれないが、実際に1990年代半ばから現在まで、実験、モデリングにより非接触プラズマの実証と理解が着実にすすめられてきた。ここでは、まず非接触ダイバータプラズマのシミュレーション例をいくつか紹介する(さらに詳細は、前回参考文献1)第16章参照のこと)。

非接触ダイバータプラズマの形成は、下記のように進展する。コアプラズマの密度を増加させていくと、SOLプラズマの密度も増加し、ダイバータ部は高リサイクリング状態になる。リサイクリングの増大に伴い放射損失が大きくなると、ダイバータ領域のプラズマ温度は低下し、ダイバータ板への熱負荷がまず減少する(power detachment)。このとき放射損失をもっと増すために、ネオン等の不活性ガス不純物を外部から積極的に添加するのも効果的である。さらにコア密度が増大したり、ダイバータ部に中性ガスを大量に注入したりすると、ダイバータ領域の温度はさらに低下する。ダイバータ板前で1 eV程度になると、“プラズマ体積中”でのイオンと電子との“再結合”過程が支配的となる。固体表面での再結合過程と区別して“体積再結合”過程と呼ぶ。このため、ダイバータ板前でプラズマは消滅し、イオン粒子束が著しく減少し、粒子束に関する非接触状態 (particle

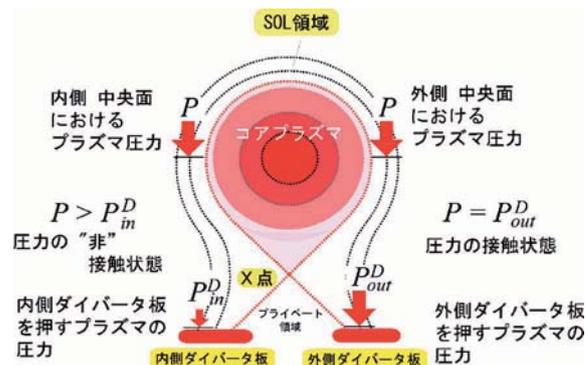
detachment)に移行する。

第II-8図は、JETのダイバータ実験で得られた非接触状態を、先に説明した統合コード(EDGE2D-NIMBUS)によってシミュレーションしたものである⁶⁾。上段の図は、トラス中央面におけるプラズマ圧力 p_{mid} とダイバータ板前面におけるプラズマ圧力 p_{div} とを比較したもので、その径方向の分布を、セパトリックス(前回II-1(1)項参照)からの距離の関数として示している。 p_{mid} の実験値は+、シミュレーション結果は破線で、 p_{div} の実験値が赤線、シミュレーション結果が緑線(EDGE2D target)で示されている。上段の左右はそれぞれ外側と内側のダイバータに対応している。これらを比べて見ると、外側では p_{mid} と p_{div} がほぼ等しくなっているのに対し、内側では p_{div} の圧力が p_{mid} より十分低下している。この様子を概念的に表すと第II-9図のようになる。内側ダイバータ板を押すプラズマ圧力は、上流側の圧力と比較して十分小さい。これを圧力に関する非接触状態 (pressure detachment) と呼んでいる。

このようなプラズマ圧力のアンバランスの原因を考えよう。第II-8図下段の電子温度 T_e がキープポイントとなる。外側ダイバータ板(左図)では $T_{e,div}$ は10~20 eV



第II-8図 JET非接触ダイバータシミュレーション⁶⁾

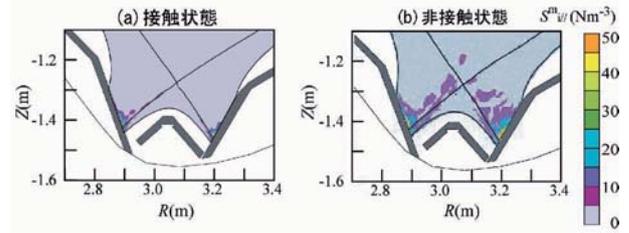


第II-9図 圧力の非接触状態

であり、依然、イオン化が支配的な高リサイクリング状態にある。この状態では、上流と下流で圧力バランスは保たれている。一方、内側ダイバータ板(下段右図)では、 $T_{e,div}$ は5 eV程度まで低下している。 T_e が5 eV以下に低下すると、イオン化の衝突断面積が著しく減少し、これに代わって、イオン-中性粒子間の荷電交換や弾性衝突が支配的となる。このため、イオンが持っていた運動量は中性粒子の運動量に移行する。気ままな中性粒子は、磁力線の束縛を受けず、広く分散する。このようなプラズマと中性粒子との相互作用に起因する運動量移行によって、内側ダイバータ板前面でプラズマ圧力が低下し、アンバランスが生じる。

第II-10~12図は、JT-60 U 周辺プラズマのB2-EIRENEコードによるシミュレーション例である⁷⁾。この例では、コア内部境界電子密度 n_e^{CB} を (a) 低密度 ($1.0 \times 10^{19} m^{-3}$) と、(b) 高密度 ($2.0 \times 10^{19} m^{-3}$) に設定した場合を比較している。まず、第II-10図は、 T_e の空間分布である。低密度の場合には、実験と同様、非接触状態にあり、 T_e は高く、内側ダイバータ板前面でも10 eV以上になっている。一方、高密度の場合には、電子温度が十分低くなり、両側ダイバータ領域ともに非接触状態になっている。

第II-11図は、中性粒子の電離によるイオン生成密度(単位時間、単位体積当りのイオン生成量)分布である。接触状態(a)では、 T_e が高いため板でリサイクルした中性粒子は板近傍ですぐに電離し、電離領域はダイバータ板前面に局在化している。一方、非接触状態(b)では、 T_e が低く板前面では十分な電離が生じない。このため、電離領域 T_e の高い(5~10 eV)、上流側、X点近傍まで移動する。さらに、第II-12図はイオンと中性粒子との荷電交換、弾性衝突による運動量損失量の空間分布を示している。(a)接触状態では運動量損失は板前面の限られた領域であるのに対して、(b)非接触状態ではダイ



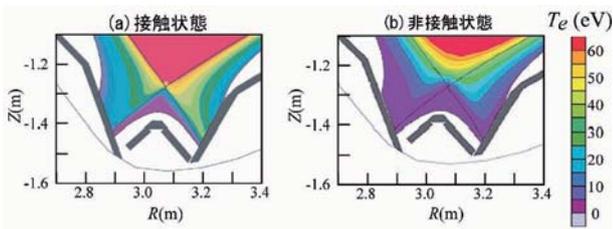
第II-12図 運動量損失分布⁷⁾

バータ前面から電離領域にいたる比較的大きな運動量損失領域が出現している。ダイバータ板前面が低温となり、中性粒子がイオン化することなく存在している。このため、この中性粒子層があたかも、クッションの役割を果たし、プラズマの圧力を吸収している。

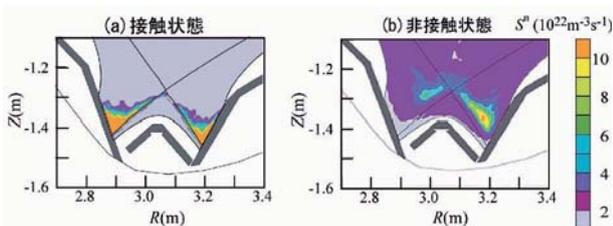
(3) ITER 設計のための予測シミュレーション

以上のような物理現象の基礎的理解とあいまって、境界プラズマの数値シミュレーションはITERなどの設計にも重要な役割を果たしている。ITER設計では、①SOLおよびダイバータ領域での十分な熱除去、②コアプラズマの閉じ込めとの共存性、③ヘリウム灰の十分な排気、などが要求される⁷⁾。

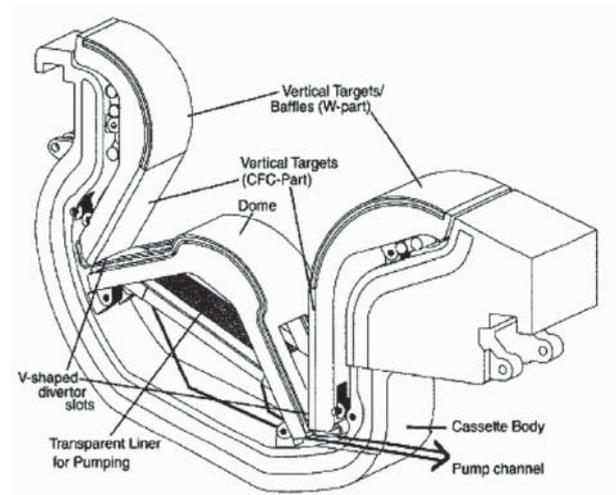
第II-13図に、ITERのダイバータ部のカセットモジュールを示す⁷⁾。分解修理のために、54個のモジュールをドーナツ状に並べる。Vertical Targetと示されているのがダイバータ板である。X点の下方になるところにドームが設置されている。ダイバータ板の対面には、中性粒子反射板が設けられ、ダイバータ領域はV字形状になっている。ドーム下のライナーには、ヘリウムや不純物を排気するためのスリットが設けられている。ドーム下部とライナーとの間は、中性粒子が自由往来することができるような設計になっている。前項でみたように、内側ダイバータ領域の方が非接触状態になりやすく、中性粒子圧力が大きくなりやすい。内側ダイバータで増大する中性粒子を外側ダイバータへ移動させ、外側ダイバータでも非接触状態が生じやすくなるようにして



第II-10図 電子温度分布⁷⁾



第II-11図 イオン生成量分布⁷⁾



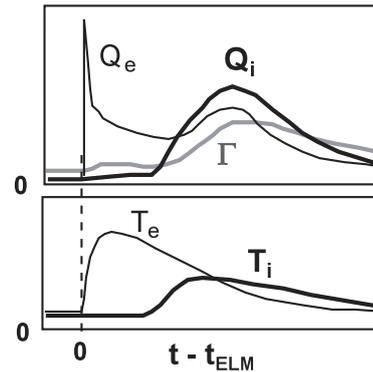
第II-13図 ITERのダイバータ部カセット⁸⁾

いる。このような設計を固める上で、予測シミュレーションが重要な役割りを果たした^{7,8)}。

(4) PICコードを用いた運動論的モデリング

さてここで、運動論的モデルの代表として、超粒子を用いるPIC(Particle in Cell)法を適用した例を紹介しよう。1個の超粒子イオン(電子)は非常に多数の実イオン(電子)をまとめたもので、デバイ長程度の有限の大きさを持っているが、速度としては実粒子と同様に、熱速度を持ち電磁場中の運動方程式に従って動く。SOLダイバータプラズマで、静電場は非常に重要である。例えば、ダイバータ板前面でシース電場が粒子と熱の流入を決めるし、SOL中の流れの形成に $E \times B$ ドリフト運動が影響する。PIC法では、イオンと電子の運動とPoisson方程式の両者間に矛盾がないように解くことで、この静電場を決める。さらに速度分布の決定には、巨視的な電磁力や粒子の損失のしかたとともに粒子間のクーロン衝突が(いかにその頻度が小さくても)重要な役割を果たす。二体衝突モデルと呼ばれるモンテカルロ手法で、この衝突を模擬することが、周辺プラズマの粒子シミュレーションでは肝要である。

トカマクプラズマにおいて、周辺(Edge)のセパトリクス内側でプラズマの圧力勾配が大きくなり、Hモードという高閉じ込め性能を得ることができる。一方、この急峻圧力勾配により局所的な(Localized)不安定モード(Mode)が駆動され、ELMと呼ばれる圧力の崖崩れが発生し、高温で密度の高いプラズマがSOL領域に突発的に吐き出される。このとき、SOLプラズマの速度分布はMaxwell分布から大きくズレることになる。ELMによって吐き出された熱がダイバータ板に流入する様相をPARASOLコードでシミュレーションした結果を第II-14図に示す⁹⁾。まず高いエネルギー成分の電子がほとんど衝突せずにダイバータ板に到達する。平均的な電子温度は依然低いにもかかわらず、瞬間的に大きな熱負荷 Q_e が生じる。電子温度 T_e の振舞いは、衝突で支配された熱伝導でほぼ決まる。プラズマ粒子 Γ とイオンの熱 Q_i の伝播は、音速で支配された対流でほぼ決まる。ELMで吐き出された熱の多くは、この熱対流で運ばれる。このようなPARASOLシミュレーションの観測結果を基にして、流体モデルに適用できる物理モデルを構築することが重要な課題である。



第II-14図 ELM熱流のダイバータ板への流入⁹⁾

—参考文献—

- 1) R. Schneider, X. Bonnin, K. Borrass, D. P. Coster, *et al.*, "Plasma Edge Physics with B2-Eirene", *Contrib. Plasma Phys.*, **46**, 3 (2006).
- 2) D. Reiter, *et al.*, "The EIRENE and B2-EIRENE Codes", *Fusion. Sci. Technol.*, **47**, 172 (2005).
- 3) Y. Feng, *et al.*, "3 D Edge Modeling and Island Divertor Physics", *Contrib. Plasma Phys.*, **44**, 57 (2004).
- 4) H. Kawashima, *et al.*, "Development of Integrated SOL/Divertor Code and Simulation Study in JAEA", *Plasma Fusion Res.*, **1**, 031/1-13 (2007).
- 5) A. Loarte, "Understanding the Edge Physics of Divertor Experiments by Comparison of 2 D Edge Code Calculations and Experimental Measurements" *J. Nucl. Mater.*, **241-243**, 118 (1997).
- 6) A. Hatayama, "High Mach Flow Associated with Plasma Detachment in JT-60 U", *Proc. 19th IAEA Fusion Energy Conf.*, Lyon, France, Oct. 2002, (2002).
- 7) G. Janeschitz, *et al.*, "Divertor Design and Its Integration into ITER", *Nucl. Fusion*, **42**, 14 (2002).
- 8) A. S. Kukushkin, *et al.*, "Effects of Neutral Transport on ITER Divertor Performance", *Nucl. Fusion*, **45**, 608 (2005).
- 9) T. Takizuka, M. Hosokawa, "Particle Simulation of the Transient Behavior of One-Dimensional SOL-Divertor Plasmas after an ELM Crash", *Contrib. Plasma Phys.*, **46**, 698 (2006).

著者紹介

畑山明聖(はたやま・あきよし)

本誌, 50〔6〕, 383(2008)参照

滝塚知典(たきづか・ともり)

本誌, 50〔6〕, 383(2008)参照

連載
講座軽水炉プラント
—その半世紀の進化のあゆみ第10回 日本の軽水炉開発(4)
—第1次改良標準化計画(BWR)

(株)東芝 星出 明彦, 永井 公夫

I. 自主技術時代の到来

1. 原子力発電に課せられた石油危機への対応

エネルギー資源に乏しいわが国は、ウラン資源についてもほとんど全量輸入に頼らざるを得ない。そのために、使用済みのウラン燃料を国内で再処理し、燃え残りのウランとプルトニウムを燃料資源としてリサイクルすることにより、一度輸入したウランを国産資源に変えてゆくこと(準国産エネルギー資源化)は、わが国の原子力発電開発の当初から国の方針であった。このことは同時に、将来のわが国エネルギーの中核となるべき原子力発電の技術、原子力プラントなどの機器・設備を基本的にすべて国産化して、自主技術化を目指すことでもあった。これは米国の軽水炉技術を導入し、国産化して国内原子力プラントメーカーを輸出産業として育てようとしていたドイツ、フランスの戦略と軌を一にするものであった。このため、初号機を輸入、2号機目は原則同じ設計で機器・設備を国産化、3号機目以降から設計を含めすべてを国産化することとし、その過程で米国生まれの原子力技術を、建設主体である電気事業者が習得するとともに、米国と国内の原子力発電プラントメーカーが技術提携をして国内技術の育成を図るというものであ

LWR-Plants - Their Evolutionary Progress in the Last Half-Century—(10) : Light Water Reactors Development in Japan④ ; Improvement and Standardization of BWR (First step) : Akehiko HOSHIDE, Kimio NAGAI.

(2008年 5月26日 受理)

各回タイトル

- 第1回 原子力発電前史
- 第2回 軽水型発電炉の誕生
- 第3回 日本の研究用原子炉の始まり
- 第4回 日本の原子力発電の始まり
- 第5回 米国および日本の軽水炉の改良研究(PWR)
— Shippingport から美浜1号機まで
- 第6回 軽水炉の改良研究(BWR)
— ドレスデンから敦賀1号炉まで
- 第7回 日本の軽水炉開発(1)—軽水炉の導入(PWR)
- 第8回 日本の軽水炉開発(2)—軽水炉の導入(BWR)
- 第9回 日本の軽水炉開発(3)—PWRの改良標準化

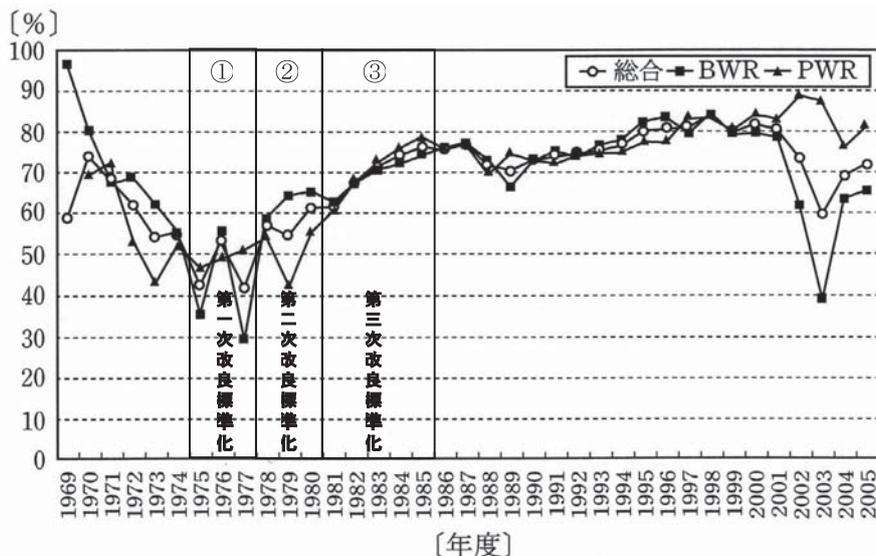
た¹⁾。

しかし、急速に発展した新しい技術であったため、導入間もない商業用原子力発電プラントにおいて、BWR、PWRともにいくつかの初期故障が発生し、原子力発電プラントの稼働率が低迷した(第1図)。それが第4次中東戦争の勃発を契機とする1973年の第1次石油危機、イラン革命を契機とする1978年の第2次石油危機の時期に重なった。石油危機に伴い、世界的に石油火力の新設原則禁止がルール化されたため、原子力発電は国の脱石油政策の中で石炭・天然ガスと並んで「脱石油3本柱」の重要なひとつと位置づけられた¹⁾。そして、原子力発電は石油代替エネルギーの旗頭と目され、早期開発が議論された。

1974年には原子力発電の推進と立地促進のため、「電源開発促進税法」、「電源開発促進対策特別会計法」、「発電用施設周辺地域整備法」の電源三法が制定された。将来の原子力発電設備規模に関しては、1979年8月に総合エネルギー調査会において、1985年度3,000万kWe、1990年度5,300万kWe、1995年度7,800万kWeとの見通しが立てられた。プラントメーカーには年3基建設体制の整備が要求されるようになった。エネルギーセキュリティの面から、初期故障を一刻も早く克服し、軽水炉発電技術の安全性・信頼性を向上させ、稼働率を向上、原子力発電プラントの建設を促進することは、国および電力会社においても、ぜひとも達成しなければならない至上命題であった。

2. 改良標準化計画のスタート

国内自主技術としての定着が急がれることとなり、産・官・学挙げての協力の下に1975年度から1985年度にかけての11年間、3次にわたって「軽水炉改良標準化計画」が展開された。この中で、通商産業省(現経済産業省)では、外国からの導入技術をベースとする軽水炉を国内技術を主体として大きく転換させ、広く国民の信頼を得る、いわば「日本の標準型軽水炉」へと育てていくこととし、国はライセンスに基づく国産化に止まらず、自主技術開発による問題解決を目指した。

第1図 原子力発電所の設備利用率の推移⁹⁾

このような観点から、1975年6月、通商産業省に原子力発電機器標準化調査委員会および原子力発電設備改良標準化調査委員会が設置され、軽水型原子力発電設備、機器の改良・標準化を図るに当たっての大綱方針が示された。本委員会では計画を進めるにあたり、対象とする炉型およびその出力として、BWR、PWRのおおの800 MW および1,100 MW 級のもの計4種類を選択し、また改良標準化の進め方としては、その技術的難易度を考慮して次の2段階方式で進められた。

- (1) 在来炉の改良を基本に格納容器の拡大等による従業員の被ばく低減、作業能率の向上を目的とした第1次改良標準化
- (2) 第1次改良標準化をベースに、機器・システム等の改良を行い、プラント全体にわたって標準化を行う、いわゆる日本型軽水炉を確立することを目的とした第2次改良標準化

この改良標準化計画は官・学・電力・メーカーが一堂に会して議論し、改良の方向も明確であったため、比較的短期間で改良の具体策が合意された。財源は電源開発促進対策特別会計であった。

3. 官民一体の自主技術開発へ

電力会社においてもトップをはじめとして、石油代替エネルギーを確保することが重要であるとの意識が高まり、原子力開発の重要性が再認識された。軽水炉の稼働率の低迷に端を発し、より信頼性の高い原子力発電所を開発するためには従来の1号機輸入、2号機以降これと同じものを国内メーカーに作らせるというやり方を見直す必要性を認め、また、電力会社自身が、トラブルや運転保守の経験に基づいてプラント設計の改良、保守方法の改善を図るために自ら研究開発項目を選定、研究開発費を負担し、原子力発電プラントメーカーと共同で研究に取

り組み、この研究開発の成果を踏まえて改良を行い、これを標準化することが必要であると考えた²⁾。

施策の一つが電力共同研究制度の制定であった。このため1976年度からBWR電力と、PWR電力、PWR/BWR共通共研の3分野に分け、研究テーマを挙げ、国内メーカー育成をも考え、研究開発費の半額を負担して原子力の研究の推進を計ることになった。その研究・技術開発の成果は、後に故障率低減、利用率向上、作業員の被ばく線量の減少などで世界トップレベルの運転実績となって表れた。1976年には、原子力発電施設等の安全性に関する不安を解消し、立地の円滑化に資するため原子力工学試験センターが設立され、我が国独自に大型耐震実証試験をはじめ、溶接等熱影響部、弁、燃料等の信頼性や性能の確証試験が次々と立案され、実規模または実物に近い形で原子力発電施設等の安全性実証試験が実施されるようになった。

II. BWRにおける改良標準化計画

1. BWRに発生した初期トラブルと改良項目

改良標準化のスタートに当たり、改良すべきポイントを抽出し、さらにその改良案の提示が求められた。取り上げられた課題は、当時最も問題となっていた信頼性向上と稼働率向上のほか、運転員・作業員の放射線被ばく低減、放射性廃棄物の低減、建設期間の短縮などであった(第1表)。

改良標準化開始時の1975年には、4基のBWR発電プラントが国内で営業運転に入っていた。運転開始当初は比較的順調に運転していたが、米国先行プラントでも発生していた熱疲労割れや応力腐食割れ(SCC: Stress Corrosion Cracking)による配管、ノズル等のひび、燃料被覆管の損傷などの初期トラブルが発生し、稼働率が

第1表 BWRの第1次改良標準化における改良策

第1次改良標準化計画	
実施期間	1975～1977年(昭和50～52年)
主な成果	<p>[信頼性および稼働率の向上]</p> <ul style="list-style-type: none"> 設備利用率 約70% ・燃料の健全性向上 ・応力腐食割れ(SCC)対策 ・補機冷却の淡水化 ・計装システムの信頼性向上 <p>[定期検査期間の短縮]</p> <ul style="list-style-type: none"> 定期検査日数 約85日 従来プラント90～100日 ・格納容器の改良 ・制御棒駆動機構(CRD)の交換作業改善 ・燃料交換作業の改善(自動化) ・中性子計測装置の交換作業改善 ・核種分析の自動化 ・再循環ポンプの点検性改善 ・主蒸気隔離弁のラッピング改善 <p>[作業者の受ける線量の低減]</p> <ul style="list-style-type: none"> 従来プラントの約75% ・クラッドの発生防止および除去対策 (溶存酸素濃度制御, 低コバルト材の使用, 炉水浄化系の容量増大, 汙過式復水脱塩装置の採用, 給水再循環配管の設置) ・放出放射能低減(ALAP)対策 (気体廃棄物の処理, 液体廃棄物の処理) ・ポンプ, 弁グランド部の改良と弁操作の遠隔化 ・サンプリング装置の改良 ・フィルタ・エレメントの交換, 洗浄の改良
代表プラント[BWR]	福島第二原子力発電所2号機 (1984年2月営業運転) 浜岡原子力発電所3号機 (1987年8月運転開始)

大幅に低下した。また、導入したプラントでは、その点検、補修、取替の際にも作業スペースが狭く、作業が困難で時間がかかる上に、放射線源の近くで作業をしなければならず、作業者の受ける放射線量の低減が課題であった。定期点検も効率的に行えるよう十分配慮されておらず、定期点検期間が長くかかった。

2. 改良標準化計画の概要

高速増殖炉が本格的に商業化すると見込まれる21世紀初頭まで、軽水炉が我が国の原子力発電の主力となることを考え、安定かつ経済的な長期的エネルギー源としての役割を果たすためには従来の経験を踏まえて以下の改良を行い、我が国の国情に適した軽水炉技術を確立することが重要な課題と考えられた。

- 機能の自動化、遠隔化等による保守点検的的確化
- 作業スペースの確保、機器配置の改良、作業能率の向上等による従業員の被ばく低減化
- 機器の信頼性および稼働率の向上

このような機器の改良の成果を踏まえて標準化を推進することにより、プラントの信頼性、経済性の向上および許認可手続の効率化が期待された。プラントの標準化に当たっては、安全設計を中心とする基本設計および改良の成果について、運転実績等により確信のもてる機器類等を中心に標準化を進め、数次のステップをへて初めて下記のような標準化の究極目標が達成されるものと考えられた²⁾。

- ・機器の信頼性の向上および保守点検作業的的確化、効率化などにより、プラントの稼働率の向上が期待できる。
- ・作業スペースの確保、機器配置の改良、保守点検作業の自動化、遠隔化、作業効率の向上および放射線源の低減などにより、作業員の被ばく線量の低減が図れる。
- ・同一設計の機器を繰り返し製作することにより、信頼性の向上に役立つ。
- ・機器、材料の量産化および計画生産が可能になり、経済性が向上する。
- ・安全設計を含めた設計の標準化、申請書類の標準化を図ることにより、許認可手続の効率化が図れる。
- ・機器部品のプラント間の互換性により、建設・保守の効率化、予備品保有量の節減が期待できる。

Ⅲ. 第1次改良標準化項目の概要

BWRに関して第1次改良標準化で取り入れた改良項目を第1表に示す。BWRでは、当時採用の110万kW級BWR-5をベースとして要所要所の設計に関して見直し改良を行い、稼働率の改善、信頼性の向上、従事者の被ばく低減などを図った。改良標準化では、東芝だけでも100件以上の改良案件を提案し、中でも特に重点を置いたのは、分解点検がしやすく、保守性と被ばく低減の面を大幅に改善する案件で、これらの新技術を通して輸入技術からの脱却を図った。改良項目の多くは、東芝が当時建設に着手しようとしていた東京電力株福島第二原子力発電所1号機(2F-1)の設計に際して積極的に提案したもので、改良型格納容器への変更は時間的に間に合わなかったが、それ以外の改良標準化項目の大部分は設計に取り入れることができた。2F-1号機はそれまでの運転経験を織り込んだ日本独自のプラント設計の第1号機であると同時に、改良標準化設計の先行機の役割を担っていた。

第1次改良標準化の成果は既設の原子力発電プラントにも改修により改善策が導入され、新規建設プラントで

は福島第二原子力発電所2号機(1984年営業運転)以降のプラントに反映された。以下に第1次改良標準化項目から主要な改善策を示す。

(1) 改良型原子炉格納容器(PCV)

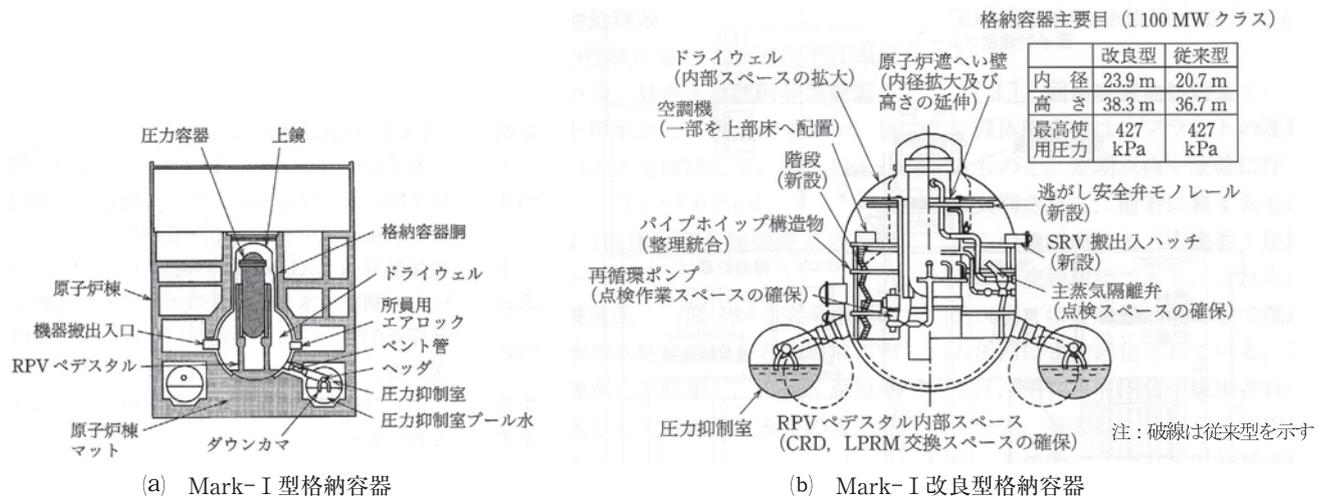
改良標準化作業において、BWR格納容器については、設計、建設、運転実績のあるMark-I型、Mark-II型の改良標準化の検討がなされ、Mark-I改良型およびMark-II改良型の格納容器が設計開発された。その改良目的はドライウエル内作業性の向上および作業員の被ばく低減であり、内部配置の見直し、および原子炉格納容器のスペース拡大による大型化がなされた。格納容器の改良前後を対比してそれぞれ第2、3図に示す。左図は導入された設計、右図が第1次改良標準化による改良後の格納容器設計である。付表に、内径、高さの変化を、カッコ内に改良項目を示す。

東芝はすでに導入初号機の敦賀原子力発電所1号機および導入2号機となる福島第一原子力発電所1号機の定期点検補修の経験から、保守スペースが不十分であることを痛感し、従来のフラスコ状Mark-I型格納容器に

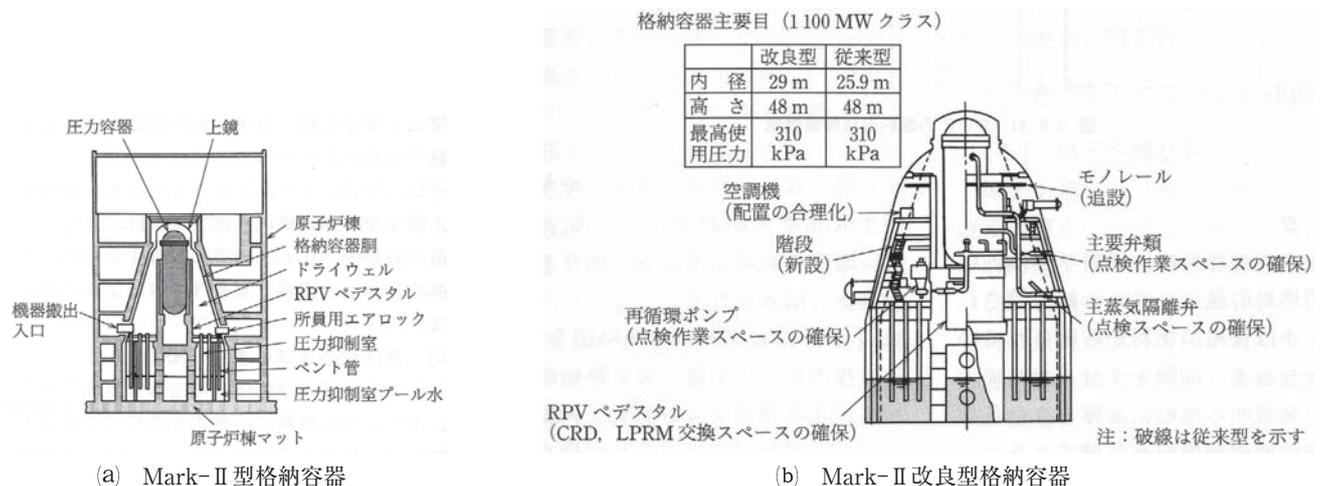
替え、独自の着想で容器内の重要機器を分解点検しやすくする徳利状のMark-I改良型格納容器を考案した。この考えは改良標準化が開催される際の目玉として採用された。

改良点の具体的項目は次のものがある^{3,7)}。

- (a) 作業スペースの確保
 - (1) 主蒸気配管、給水配管ヘッダおよび貫通部位置の互いの分離による供用期間中検査(ISI: In Service Inspection)時の作業スペースの確保
 - (2) 原子炉格納容器空調機上下方向への分離による機器分解スペースの確保
 - (3) 他機器、配管の保守、供用期間中検査時のスペース確保
- (b) 作業性の向上
 - (1) 主蒸気隔離弁の分解治具の検討
 - (2) 逃がし安全弁搬出入ハッチの新設による分解、点検作業の容易化
 - (3) 原子炉圧力容器ノズル部、配管ヘッダ部、貫通部へのプラットホーム、操作架台設置による接近時、



第2図 Mark-I 格納容器の改良標準化^{5,7)}



第3図 Mark-II 格納容器の改良標準化^{5,7)}

および ISI 作業時の時間短縮による被ばく低減

(4) はしごに代わる階段の新設による接近性向上

(2) その他取り入れた改良項目

(a) 応力腐食割れ(SCC)対策

初期の BWR において、溶接等熱影響部におけるクロム炭化物析出による粒界での耐食性低下(粒界鋭敏化)が多発したことから、鋭敏化型 SCC 防止の点から炭素量を低減した低炭素オーステナイト系ステンレス鋼である SUS 316(LC)が電力会社とプラントメーカーの共同研究で開発され、続いて原子力工学試験センターにおいて、溶接等熱影響部信頼性実証試験が行われた結果、1984年に営業運転入りした福島第二原子発電所 2号機以降の BWR 原子炉再循環系配管材料の標準仕様となった。また、炉心シュラウドに関しても SUS 316(LC)は標準仕様となった^{6,8)}。

(b) 供用期間中検査(ISI)の自動化および作業性向上

(1) 原子炉圧力容器ノズル部、配管ヘッダ部、貫通部へのプラットフォーム、操作架台設置による接近時、および ISI 作業時の時間短縮による被ばく低減

(2) はしごに代わる階段の新設による接近性向上

(3) 原子炉格納容器内の再循環ポンプ、主蒸気隔離弁等の重要機器の点検パトロールを遠隔、自動で可能にする監視装置^{4,6,7)}

(c) クラッドの発生防止・除去等

被ばく線源の低減のために、腐食生成物の発生抑制、水浄化能力の向上、放射性腐食生成物の溶出・付着の抑制を目的として、材料の改良、設備・システムの改良、運用技術の改良の3分野で対策が採られた。

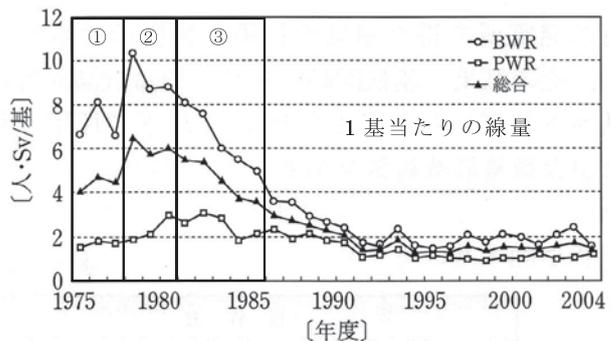
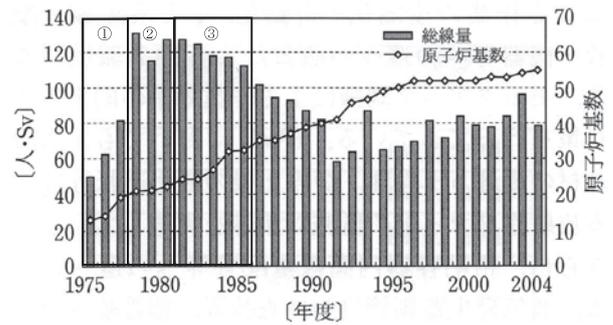
(1) 材料の改良： プラントの放射能低減の観点から、⁵⁹Coの誘導放射性核種である⁶⁰Coを最小限にするため、ステンレス鋼の原材料から不純物として混入するコバルトを通常の濃度レベルより低く抑えた材料を必要に応じて使用した。また、鉄の低減のために腐食環境に応じて耐食材を採用しており、炉心を循環する冷却材の系統の配管材料にはオーステナイト系ステンレス鋼が、他の系統の配管材料には炭素鋼または低合金鋼が用いられた。

(2) 設備・システムの改良： 中空糸ろ過フィルタと混床式脱塩器からなる復水浄化系による浄化能力の強化等が行われた。

(3) 運用技術の改良： 極低 Fe/高 Ni 濃度制御、給水 Ni/Fe 濃度比制御、亜鉛注入等の放射性腐食生成物の溶出や付着を抑制するための水質制御技術が適用された⁸⁾。

Ⅳ. おわりに

本稿では、BWR の改良標準化計画の背景と第1次改良標準化における施策について紹介した。3次の改良標



第4図 原子力発電所の被ばく線量の推移^{a)}

(原子力安全基盤機構：原子力施設運転管理年報)

準化検討が終了し、第1次改良標準化の施策が反映されたプラントが次々と営業運転入りした1985年度末には、軽水炉の運転基数は32基、原子力発電の年間発電電力量は2,452万 kWe、総発電電力量の26.3%を原子力発電が供給し、石油火力発電(25.2%)を初めて上回るとともに、総合平均設備利用率^{a)}も過去最高を記録した。BWR 1基当たりの総被ばく線量の推移には改良標準化による顕著な改善効果が現れてきた(第4図)。引き続き第2次改良標準化計画における施策が着手され、第3次改良標準化の成果は、BWR ユーザー・メーカーの国際的な共同作業による改良型沸騰水炉(ABWR)として結実することとなる。

^{a)}総合平均設備利用率： BWR, PWR の国内原子力発電プラント全数を基にした設備利用率(= (発電電力量 kWh) / [(認可出力 kW) × (暦時間数 h)] × 100 (%))

—参考文献—

- 1) 宅間正夫, “わが国の原子力発電の歩み”, 放射線教育, 9[1], (2005).
- 2) 豊田正敏, “軽水型原子力発電所定着化への道”, 原子力工業, 40[4], (1994).
- 3) 一木忠治, “軽水炉の改良標準化と格納容器の改良標準化設計”, 東芝レビュー, 31[12], (1976).
- 4) 原子力発電設備改良標準化調査(Mark-I 沸騰水型軽水炉に関するもの)に関する報告書, 東京芝浦電気, (1978).
- 5) 葦原悦朗, “BWR プラントの最近の動向と今後の開発”,

東芝レビュー, 33[12], (1978).

- 6) 益田恭尚, 一木忠治, “東芝における BWR プラントの計画と設計”, 東芝レビュー, 35[5], (1980).
- 7) 永田徹也, 原子力ハンドブック, 第Ⅲ編 6 章「原子炉プラントの概要」, オーム社, (2007).
- 8) 神田 誠, 藤森治男, 山崎健治, 原子力ハンドブック, 第Ⅲ編 4 章「原子炉の材料と水化学」, オーム社, (2007).
- 9) 佐藤和秀, 原子力ハンドブック, 第Ⅳ編 3 章「原子力発電所の運転管理・教育訓練」, オーム社, (2007).

著者紹介

永井公夫(ながい・きみお)



(株)東芝

(専門分野/関心分野)軽水炉プラント設計

星出明彦(ほしで・あけひこ)

本誌, 50[3], pp.173(2008)参照。



書評

希土類とアクチノイドの化学 (Lanthanide and Actinide Chemistry)

Simon Cotton 著, 足立吟也監修, 足立吟也・日夏幸雄・宮本 量訳, 335 p. (2008. 1), 丸善.
(価格5,145円税込) ISBN-13: 978-4621079379

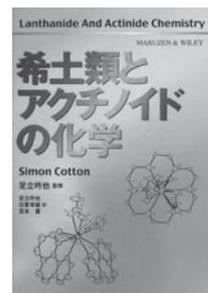
テレビ, パソコン, 携帯電話, ハイブリッド車など, 日常使う製品の発光・磁性材料, 充電電池など, 私たちの身の回りには「希土類」材料があふれている。また, いうまでもなく, わが国の電力の30%強は原子力発電によるものであり, ウラン, プルトニウムなどの「アクチノイド」も, すでに私たちがお世話になっている元素である。本書は, これらの「希土類」と「アクチノイド」を1冊に集約し, 周期表の3族元素について基礎から体系的に解説した教科書である。現在, 英国アプリンガムスクール化学科上級教員の著者は, 「希土類」と「アクチノイド」の解説書をいくつか出版していて, 無機化学の教育に経験が深い。

本書の章立ては, 1. 希土類を学ぶにあたって, 2. 希土類—その基礎と熱化学, 3. 希土類の金属と化合物, 4. 希土類の配位化学, 5. ランタニドの電子的性質と磁気的性質, 6. 希土類の有機金属化学, 7. はみ出し者の元素: スカンジウム, イットリウム, プロメチウム, 8. 有機化学に用いられ

るランタニドとスカンジウム, 9. アクチノイド入門, 10. アクチノイドの2元系化合物, 11. アクチノイドの配位化学, 12. アクチノイドの電子的・磁気的性質, 13. アクチノイドの有機金属化学, 14. 超アクチノイドの合成と化学であり, 最後の章では, 原子番号104番以上の超アクチノイドの化学的性質についての最新の情報も知ることができる。また, 進展の著しいランタニド化合物を用いた有機合成反応に一つの章を割いていることも本書の特徴である。

本書の原書名は“Lanthanide and Actinide Chemistry”であるが, 和訳のタイトルを「希土類とアクチノイドの化学」とした理由とランタニドなどの名称の使い方について, 初めに訳者による解説が追加されている。本書ではランタニドの15元素に加え, スカンジウムとイットリウムも扱っているため, 和訳はより適切なタイトルである。本書は学部から大学院向けの教科書らしく, 各章ごとに理解の目標, 演習問題と解答, 参考文献が多数用意されていて, 読者の理解と発展に役立つよう配慮されている。さらに, 訳者により各元素の命名の由来や多数の訳注が追加されていて, 原書以上に読みやすいものとなっている。身近な元素「希土類」と「アクチノイド」の違いがわかる教科書として, 学生だけでなく, 若い研究者・技術者にもお勧めしたい。

(日本原子力研究開発機構・木村貴海)



談話室

放射性廃棄物

「共に語ろう電気のごみ—もう、無関心ではられない—」 地域ワークショップを開催して

NPO 法人 持続可能な社会をつくる元気ネット 鬼沢 良子

今では家庭や事業所から出るごみは、分別して適正処理されることは当たり前になっている。そして、各分野では、3Rの推進が積極的に行われている。

高知県東洋町の一連のマスコミ報道から、高レベル放射性廃棄物問題に関心を持ち、資源エネルギー庁の国民理解促進に関する公募に応募して、昨年12月から全国5地域(名古屋・札幌・松山・福岡・福島)でのワークショップを開催した。テーマは「電気のごみ」。原子力発電所から出る高レベル放射性廃棄物と処分地について、様々な立場の人が参加して意見を出し合い、毎日の生活に欠かせない電気をつくる時に出るごみについて、自分のこととして共に考えようという試みである。

1. はじめに

持続可能な社会をつくる元気ネット(以下、元気ネット)は、2001年「市民が創る環境のまち“元気大賞”」を創設し、毎年、その事業を継続して、市民・事業者・行政の連携による地域環境活動を市民の立場で応援してきた。7回目になる今年の元気大賞は、ビジネス、カルチャー、ライフスタイルという3つのカテゴリーからなるコンテスト「eco japan cup 2007」(主催:環境省・銀行・環境ビジネスウイメン)と連携して、ライフスタイル部門の地域版として実施した。そして、エコプロダクツ展のイベント開催もでき、連携の環が大きく広がった。

全国の地域環境活動グループやNPOと連携しながら、市民相互交流による学び合いを推進してきた東京に拠点を置くNPOである。

2. プログラムのねらい

国からの一方的な政策紹介ではなく、各地のオピニオンリーダーの方々と一緒に、情報のあり方、不安を解消するには等を考え、様々な意見を出し合うものである。

地域ワークショップ(以下、WS)は、参加者に率直な発言をしていただくために、10名くらいで5つの班に分かれ、各班ペアの地域ファシリテーターで進行する企画である。特にプログラムの進行で心がけたことは、開催地域の人々が主役になり、地域と連携すること。

まず、進行役のファシリテーター依頼のため、元気ネットが過去の様々な活動を通してできたネットワークや今までのつながりから、地域環境活動のキーマンを訪問することからスタートした。お会いして趣旨を説明する

が、「原子力、高レベル放射性廃棄物」と聞いて、最初はどなたも困惑の表情が見られた。ひとつ目の高いハードルだった。

しかし、私たちが毎日使用している電気のごみの問題であり、最終処分地を日本のどこかに造らなくてはいけないことから、一人一人の問題として考えるためのWSであること等を説明するうちに「無関心ではられない」課題であると同感していただけた。各地とも、10~12名のファシリテーターが決まるまでには、たくさんの時間と説明を要したが、それほどこのテーマは、今までほとんどの人が考えて来なかった課題だったといえる。

3. 地域進行役(ファシリテーター)の役割

WS当日に向け、ファシリテーターとの事前打合せを行った。急な依頼であり、忙しい中で引き受けて下さったことで、全員が一同に揃うことが困難で、各地とも数回に分けて進行の仕方、キーワード設定など相談しながら決めていったが、この打合せが、大変重要であった。

ファシリテーターを各方面の方をお願いしたことから、ファシリテーター同士が初対面という状況になった。WSは、ファシリテーション次第でいかようにもなる「ナマノモ」である。当日の朝、始めて全員が揃った時に、お二人の個性が出し合えるようにグループファシリテーターの組合せを決めた。そして結果的に、ファシリテーションを効果的に展開できた班は、参加者の主体性を引き出し様々な意見が出て、気づきを促し、建設的な対話ができた。またビジュアル化が大変うまい班もあった。反対にファシリテーターが中立的でないため、ファシリテーションがうまく機能できなかった班は、不満の言い合いになってしまった。しかし、午前と午後の何度かのグループ発表やその後の全体共有で、ファシリテーター自身や参加者もお互いに違いを学ぶいい機会だったと思う。

4. 多様な参加者での対話の重要性

次のハードルは、参加者集めだった。多様な意見と考え方を知るために、様々な立場の人と、このテーマに関心のない人、年代の違う人が集まるように募った。地域WS開催の情報発信は、個人的つながりから、ファシリテーターが所属する組織のメーリングリスト、NPOサポートセンターなどいろいろ試みた。

しかし、ファシリテーターの中にも「このテーマで積極的に参加者を募れない」という声もあった。これは、地域で原子力賛成か反対かの色分けで見られる恐れであると思われる。今まで、原子力賛成か反対かの両極の関係しか見えてこなかったからだと思う。日本のエネルギーについて、高レベル放射性廃棄物や処分地についてなど、日常会話ではほとんどされることなく、原子力発電所の立地も最終処分地もどこか人ごとで、無関心だったからだと思う。

中でも一番の驚きは、自治体の対応の違いだった。県、市町村では放射性廃棄物の広報が全く行われていないこと、関連部署がないことで、自治体との連携が全く取れなかった地域もあった。

それでも、マスコミ関係を回り、新聞記事やラジオ放送、NPOや消費者団体へチラシを郵送して参加を募った。その甲斐あってか、各地とも当日参加が多く、5グループの各班は、12~14名になってしまったが、高校生、大学生、主婦、企業人、NPO、温暖化防止推進員、自治体職員、電力関係者、専門家など5地域で450人以上の参加になった。参加者は、普段話をする機会のない人々が、同じテーマでひとつのテーブルを囲んで対話することができ、各地で最後には、「顔の見える対話が信頼を築く」という声が聞かれた。肩を寄せ合い、息遣いの伝わる距離で話せたことも、このようなWSでは効果的だったと思う。



学生のファシリテーターが多かった札幌



福島、最後にキーワードを全体共有

5. 瑞浪研修の成果

5地域のWSを終えた後、3月1~2日に各地のファシリテーターが集まり、瑞浪超深地層研究所を見学して交流する研修を実施した。1日目には、国際NGO ナチュラル・ステップ日本支部代表の高見幸子氏から、スウェーデンにおける放射性廃棄物に関する国民理解促進のための手法を学び、2日目には、各地域でこのWSを今後どのように活かしていくかの企画案づくりも行った。ファシリテーター自身が、地域性の違いやファシリテーションを学ぶいい機会になったようである。

6. 今後へ向けて

参加いただいた皆様の感想やアンケート結果から、おおむねの参加者は自由に発言でき、満足感を得られていたが、「今日話したことを誰かに伝えたい」、「グループでこのテーマを今後学習していきたい」という声が聞けたことは、大きな成果だと思う。各地のファシリテーターと参加者が、このWSのことを今後、地域で話題にしてくれることが、関心をもつ人を増やしていくことになる。したがって、地域ファシリテーターや原子力などの専門分野を中立的立場でわかりやすく説明するインタープリターを育てていくこと、地域でWSを継続していくことも大切である。

なお、全国5地域と瑞浪研修の様子は、資源エネルギー庁のホームページに、放射性廃棄物ワークショップ「共に語ろう 電気のごみ」というバナーで詳細に掲載されている。<http://www.enecho.meti.go.jp/>

3月の瑞浪研修が終わる時、最初はやっかいなテーマの話だと困惑の表情だった地域ファシリテーターの方々が、「このプロジェクトに関わって大変勉強になりよかった、これからもよろしく」と言ってくださったことに胸が熱くなった。

そして、このWS継続の必要性を全地域が望んでいること、なにより放射性廃棄物に関しオピニオンリーダーが増えたことがこれからの展開に希望もてる。

駆け足の5ヶ月間だったが、各地で違いのあるワークショップを実施でき、私自身多くを学んだ。そして、共に企画運営して下さった、各地域ファシリテーターと参加者の皆様に心から感謝申し上げたい。

(2008年 4月20日 記)

NPO 法人 持続可能な社会をつくる元気
ネット

事務局長・環境カウンセラー
鬼沢良子(きざわ・りょうこ)



談話室

ロスアラモス体験記—核データ部会「LANL 夏期 国際交流学生プログラム」

九州大学大学院工学府エネルギー
量子工学専攻(博士後期課程1年) 岩元 大樹

日本原子力学会核データ部会の「LANL 夏期国際交流学生プログラム」を通して、2007年10月から3ヶ月間、米国ロスアラモス国立研究所(LANL)のT-16(理論部門原子核物理グループ)にて、本研究所研究員である河野俊彦博士の指導の下、研究する機会を得た。以下に、滞在中に行った研究内容と体験したことの感想を述べる。

研究内容

世界的に原子力拡大の動きが加速する中、核拡散の問題が叫ばれてきており、その技術的挑戦の一つとして核物質を探知・監視する技術の確立が強く望まれている。これまで様々な核物質探知技術の研究が行われているが、近年、ミュオンビームを用いた核物質探知技術が脚光を浴びつつある。

ミュオンは電荷を持った粒子であるが、他の荷電粒子と比べて優れた透過性と直進性を持つことが知られている。また、ミュオンは物質中でエネルギーを損失した後、原子核周囲の軌道に入ってミュオニック原子を形成し、その後の脱励起過程で数 MeV の特性 X 線を放出することが知られている。ミュオン探知技術は、これらの特長を利用して貨物や容器にミュオンビームを照射し、そこから放出される特性 X 線を検出して核物質を同定するというものである。

このミュオン探知技術を確立するためには、高性能のミュオンビーム装置を開発することはいうまでもなく、ミュオン輸送を正確にシミュレーションすることも重要である。ところが、ミュオン輸送を可能にする MCNPX などのモンテカルロ粒子輸送計算コードでは、理論と精度の両面において克服すべき課題が残されているのが現状である。一例を挙げると、ミュオニック原子の形成によりその原子核の核分裂確率が変化することが確かめられており、核物質中でのミュオン輸送の精度を高めるためには、その影響を粒子輸送計算コードに組み込む必要があることが指摘されている。

そこで与えられた課題は、MCNPX の核反応計算で用いられる CEM コードにミュオン付着を考慮した核分裂確率を組み込むことであった。

ロスアラモス滞在

ロスアラモスに滞在する前は、自分自身を海外で試し

てみたいという意気込みとともに、果たしてこんな自分でも無事に研究をやっているのか、英語は通じるのかという不安で一杯であった。これらの不安は少なくとも研究に関しては、滞在中で解消されていった。

幸いにも与えられた研究課題は大学院での研究と共通する点が多く、プログラミングもある程度の自信があったため、研究で使用したソースコードとその理論は、意外と難なく理解することができた。

滞在中、毎週月曜日には原子核理論に関するセミナーが開かれ、10月中旬にはヨセミテで開かれた国際ワークショップに参加した。大学院では原子核物理を研究しているとはいえ、その知識に関してはどうしても自身の研究領域に偏ってしまっていた。セミナーとワークショップの内容はどれも難解であったが、核物理に対する理解は深まったと思う。

研究の成果は LANL の報告書としてまとめ、滞在中の終わりに T-16 のミーティングで滞在中の研究成果について発表する機会が与えられた。たどたどしい英語であったが、皆興味深そうに耳を傾けてくれたことがうれしかった。

滞在中は、アパートを借りてもっぱら自炊をして過ごし、アパートから研究所までは車で通勤した。米国での買物の仕方や交通規則、日本人と米国人の習慣の違いなど、研究以外にも学ぶことが多かった。

おわりに

ロスアラモスでの体験はそれまでの自分の人生観を改めさせられる有意義なものであった。この体験で学んだ



Peter Möller 博士とホワイトサンズにて

ことを今後の人生に生かしていきたい。

このような素晴らしいプログラムを企画してくださった関係者の方々に心から感謝する。そして、来年以降も

継続されることを切に願う。最後に、河野氏とその家族の方々には、滞在中終始お世話になった。この場を借りて心からお礼申し上げる。 (2008年 2月29日 記)

日本原子力学会 社会・環境部会 編 プルサーマルの分かりやすい説明と問答集

2005年10月刊 CD-ROM版 実費頒布価格1,000円(税・送料込み)

エネルギー資源の乏しい我が国では、核燃料をリサイクルして有効利用するため、原子力開発当初から核燃料サイクルを推進する政策を取り続けています。この目的達成のため、再処理、高速増殖炉、新型転換炉、MOX燃料製造等の技術開発が進められております。

こうした中、プルサーマル(軽水炉でのMOX燃料利用)推進に関しまして、専門的な表現で地域住民、国民のみなさまに説明してもなかなか理解は得られませんでした。

「プルサーマルの分かりやすい説明と問答集」は、

1. プルサーマルにはじめて取り組む初心者にプルサーマルを理解して頂くために、分かりやすい説明を提供する。
2. これまでのプルサーマルに関する地元説明会、公聴会等で議論になった問題点、疑問点を一般市民に理解して頂くために分かりやすい基礎知識と説明を提供する。
3. さらに、これらの問題点疑問点の専門的な解説を提供する。

ことを目的として制作されたものです。

プルサーマルへのご理解を深めて頂くことにぜひともご利用下さい。

○ご希望の方は、以下ご記入の上、FAX(03-3581-6128)にて学会事務局までお送り下さい。

部数 _____ 部 申込者氏名 _____

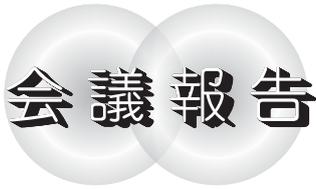
請求書宛名 _____

個人宛・所属機関宛(○をつける) (請求書 通, 納品書 通, 見積書 通)

ご送付先 自宅・所属機関(○をつける)

(〒 _____)

TEL (_____) _____ FAX (_____) _____



GIF および Euratom における熔融塩炉研究の広がり

GIF SSC Meeting on MSR

2008年3月3～4日(パリ市, フランス)

1. GIF MSR システム運営委員会

2008年3月3日に、パリ OECD/NEA にて開催された第IV世代原子炉システムに関する国際フォーラム(GIF)の熔融塩炉(MSR)システム運営委員会(System Steering Committee: SSC)会議に出席。MSRは、フランス(議長国)、米国、Euratom加盟国が実用化を検討中。Euratom(ドイツ ITU, チェコ NRI)から2名、フランス(CEA, CNRS, EdF)から5名が出席。米国(副議長国)は正式加盟国だが、今回は欠席。日本とロシアは、オブザーバーとして出席した。

現在、SSCではシステム研究計画(System Research Plan:SRP)作成中。①Scope & Screening(2011), ②Viability(2018), ③Performance(2025), ④Demonstration(2026)の4段階ごとにレビューし、最有望技術の決定を行うマスタープランを提示している。日本からは小型熔融塩炉 FUJI の設計情報を提供した。

今回は、現状での重点 R&D 分野の決定、国際的協力と分担が議論されるため、MSR 国際協力の現状、将来動向、貢献方策把握のため出席した。

議事

- (1) 議長(CEA・Dr. C. Renault氏)が MSR の国際的検討状況を報告。ALISIA(Assessment of Liquid Salt for Innovative Applications)プロジェクトの成果を踏まえ、2009年から開始される MSR 研究プロジェクト(SUMO)が、2008年に提案される旨報告した。
- (2) 議長が、2007年11月、韓国で開催された GIF 政策会議(Policy Group: PG Meeting)で SSC の検討状況を報告し、PG は MSR の将来的な可能性を認識した。
- (3) 参加国(仏, 欧, 米, 露, 日)から、

各国の研究開発進捗状況が報告された。

- (4) GIF 国際技術事務局(OECD/NEA 岡野)が、SRP の取りまとめについてメンバー国に協力を要請。GIF 2007年次報告書(http://www.gen-4.org/PDFs/annual_report_2007.pdfにて公開中)の、MSR 部分の内容も説明した。
- (5) GIF の MSR 検討につき、プロジェクト構成を議論。下記プロジェクトで合意；①システム統合と評価(System integration and assessment), ②熔融塩の化学と特性(Liquid salt chemistry and properties), ③燃料と燃料サイクル(Fuel and cycle), ④材料と塩制御(Material and salt control), ⑤安全性(Safety), ⑥シミュレーションコード(Simulation tools)。北大・島津に対しては、①の中の炉物理分野での貢献が要望された。

2. ALISIA プロジェクト報告会 および SUMO 準備会合

翌日の ALISIA プロジェクトの成果報告会に出席。参加国・機関；Euratom, フランス, チェコ共和国, スロバキア, ドイツ, イタリア, ハンガリー, オランダ, ロシア, ノルウェー, 英国。筆者の予想よりもはるかに多い40～50名が出席し、欧州の活発な MSR 研究活動を明示した。

ALISIA プロジェクトの議長は上記 MSR SSC 議長の C. Renault 氏。熔融塩の一般的な特徴のレビュー、MSR の将来性を説明。フランス、ノルウェーから検討状況紹介があり、島津が日本での「国際トリウム熔融塩炉フォーラム」の活動・検討状況を紹介。その後、各研究機関より、MSR の炉心核、熱解析、熔融塩化学、腐食、材料、燃料

塩処理等、幅広い検討状況の報告があった。終日、豊富な話題と熱心な質疑応答が行われた。

最後に議長が、下記のとおり結論をまとめた。

- ・ Th ベースの MSR (TMSR) は液体燃料の有する優位性により、増殖・廃棄物削減の新たな手段を提供できる。
 - ・ 新提案の減速材なし TMSR 概念は、他の高速炉概念とは異なる優位性を持つ。
 - ・ 燃料塩候補の検討結果、組成の最適化は今後必要なものの、FLiBe 塩の妥当性が確認された。
 - ・ 魅力的な性能の増殖型 MSR 設計は可能。増殖炉では TMSR (熱中性子/高速中性子炉)、MA 燃焼には MOSART (Molten Salt Actinide Recycler Transmuter) がある。今後、実機の全体システムの概念設計、現実的燃料処理工程の検討、材料確認、安全解析などが必要である。
 - ・ 熔融塩、MSR は活動的な欧州ネットワークが協調的に研究開発中。今後 SUMO が他の科学的研究計画 (ISTC-3749) とともに継続される。(欧州外部の新メンバーからの SUMO スコープ内での貢献の提案も歓迎すること)
 - ・ MSR は将来の選択肢の一つとして、既存の炉型と基本的に異なる新しい選択であろう。
- 以上、欧州においては、MSR の活発な研究活動が広がりつつあることをご理解いただければ幸いである。

(北海道大学・島津洋一郎,
OECD/NEA・岡野 靖(JAEA 派遣),
2008年5月15日記)

支部便り

関東・甲越支部 第1回学生研究発表会—原子力・放射線分野

2008年3月14日(武蔵工業大学 世田谷キャンパス)

関東・甲越支部では、関東・甲越地区にある大学で原子力・放射線を学ぶ学生を対象とし、学外での口頭発表の機会を与えると同時に、大学間のより一層の交流を図ることを目的として、「第1回学生研究発表会」を開催した。これは支部としても学会としても初めての試みであった。記念すべき第1回会場は、来年度に原子力安全工学科が新設される武蔵工業大学であった。

学生研究発表会

発表会では、武蔵工業大学、東京工業大学、東京大学、東海大学、新潟大学から33名の学生による口頭発表が行われた。本発表会は、原則として各大学内で発表した卒論・修論を持ち寄り発表することとし、4つのセッション(原子力プラントとその特性：9件、再処理と化学：7件、放射線とその応用：9件、放射線分析と環境：8件)が設けられ、創造的で夢のある研究成果が発表された。また、座長やタイムキーパーを学生が主体的に行う形式がとられ、学生にとっても良い経験になりユニークで良かった。会場のベテラン学会員からは1件の発表につき、おおむね5件以上の質問やコメント・アドバイスがあり、学生からも活発な討論が行われた。また、特別講演として、JSTの嶋林ゆう子氏より「科学技術の専門家はどのように「説明責任」を果たせばよいのか」と題し、科学技術者の専門性とその社会性についてご講演いただき、多数の市場調査に基づいた研究の結果、科学技術の受容は有用性とリスクのバランスにあることを、非常にわかりやすくご説明していただいた。

懇親会、表彰式

発表会終了後には、懇親会と発表者の表彰式が催され、参加者は50名前後と盛会であった。来年の第2回学生研究発表会の実行委員長である吉田茂生氏(東海大学)から、「3月14日は、「3.14」. π の日である。 π といえば円。すべてが丸く収まる日だ」という、非常に印象的なご挨拶を頂き、乾杯した。表彰式では、優秀賞(2件)、奨励賞(10件)の順に発表があった。なお、優秀賞は下記の2名であった。各発表の詳細については、関東・甲越支部ホームページ(<http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/shibu/kanto/index.html>)を参照願いたい。

優秀賞(2件)

- ・「PWR1次系の新添加剤開発に関する研究」
酒井健也(東京大学M2)
- ・「中性子ラジオグラフィ用カメラで発生するホワイトスポットノイズ除去に関する研究」
柏木聡太(武蔵工業大学B4)

おわりに

学生に発表と討論、そして司会、さらに交流の場を提供することとした本発表会の目的は十分に達成された。今後、本発表会が様々な分野で活躍が期待される学生同士の交流・情報交換の場としてもますます活用されていくことを期待する。

(荻野晴之、関東・甲越支部事務局/電中研、2008年4月1日記)



第1回学生研究発表会参加者による集合写真

原子力機関・研究所紹介

(株)日立製作所 電力・電機開発研究所滞在記

東京大学大学院新領域創成科学研究科

人間環境学専攻修士課程1年

吉田 智, 倉 健太郎

私たちは、まだ残暑の厳しい9月5日から22日までの約2週間、エネルギー環境に関連したシステム・機器の研究開発を行っている(株)日立製作所電力・電機開発研究所を訪ねた。新製品・新技術開発に取り組み、社会への貢献が非常に大きい日立製作所の中でも、「地球にやさしい世界一の製品を開発していく」を合い言葉に技術の高度化を積極的に進めている。

今回、私たちは世界でも有数の大企業である、日立製作所の電力・電機開発研究所で、原子炉の構造や設計に付随するような知識を深めることを目的に、2週間という短い期間で実習を行った。民間企業の研究所の内部を体感したいというのも本実習の目的の一つでもあった。

茨城県日立市にある電力・電機開発研究所は本館と4つの分館から成り、私たちは分館の一つにある原子力システムプロジェクトで次世代原子炉内の流動特性に関する実験や解析を行った。

私たちが配属された原子力システムプロジェクト機器熱流動グループでは、実験設備も大規模で実機と同等の大きさでの実験が行われている。実習当初は今まで見たことのないような大規模な装置を前にして、このような大きなプロジェクトの一環に私たちが携わってよいのだろうかという不安な気持ちも多少あったが、実りある実習ができるのではという期待の方が大きかった。大きな期待を胸に始まった実習であったが、最初の1週間は膨大な数値データの演算処理という作業が続く、残り1週間で何ができるのかと非

常に不安になることもあった。しかし、グループ内の研究員の方からの適切なアドバイスや励ましを頂けたので2週間という短い期間ではあったが、有意義な実習を送ることができた。

私たちが配属されたグループでは、実習最後の日に成果を発表する報告会を開いていただいた。私たちはこのことが非常に嬉しく、実習をする上で大きな励みにもなった。図に示すように、発表会後の記念撮影では私たち2人とも笑みを浮かべ、実習を通して原子炉の構造だけでなく、研究者としての研究に取り組む姿勢を学ぶことができた。

また、実習中は研究所だけでなく、原子炉の炉内機器、使用済み燃料貯蔵容器の製造現場、タービンの製造現場等の見学をさせていただいた。大規模プラントや新技術の開発現場の見学など、普段、大学では体験することができない貴重な体験をすることができた。

インターンシップの前夜には、研究所の寮生の方々がインターンシップの学生のために歓迎会を開いてくださ

た。インターンシップの学生は基本的に寮生活をするようになっていたが、私たち2人は寮の定員の都合上、ホテルに宿泊することとなっていたため、先輩方との交流の場を作っていただけことに感謝するばかりであった。ここでは、様々な年代の方がいらっしやっただが、雰囲気や和やかであり、まるで一つの家族のような感じがした。縦や横の縛りのようなものがない意味で感じられなかったため、この電力・電機開発研究所は懐がとて大きいところだと感服した。

実習期間中はわからないことも多く大変苦労したが、楽しかったことも多々あった。そのひとつは休憩時間である。昼休みなど一服する際に、先輩方から企業の裏話的な体験談を聞くことができたからである。数々の経験をされている先輩方のお話は普段なかなか聞くことができないため、大変興味深いものだった。先輩方のお話を聞くと企業の内面を知ることができ、また先輩方の活躍や苦労を知ることができ、今後の進路選択の手助けとなっている。

最後に、インターンシップとして私たちが受け入れてくださった原子力システムプロジェクト機器熱流動グループの皆様、特にグループリーダーの西田様、私たちの担当をしてくださった片岡様、高橋様には深く感謝しています。この場を借りてお礼申し上げます。本当にありがとうございました。

(2008年 4月18日 記)



発表会後に臨海工場の前にて
(下段左2番目 吉田, 下段左3番目 倉)

さまざまな人が、いろいろな視点から語ります ■ ■ Diversity Relay Essay

話

抱負

私の記事は普段から英語に慣れている皆様にとってはごくごく当たり前すぎて、これまで書かれたエッセイに比べたら記事にするのも恥ずかしいくらいなのですが、社会人今年で2年生の微笑ましい話だと軽く読んで下さい。

学生時代、英語は読むだけで話す機会は全くありませんでした。ところが社会人になって急に英語を話す機会が増えました。学生時代の研究室には、隣の席にインドネシアからの留学生がいてほぼ毎日会話をしましたが、100%日本語で話していました。今から考えると、なんともったいないことをしていたのだらうと思います。そんな私が本気で英会話を勉強しようと思ったきっかけは、上司と一緒に海外の方の対応をした時でした。対応といっても打合せに同席し、食事を一緒にとった程度なのですが、自分で想像していた以上に聞き取れない、いいたいことがすぐに英語にできない、と悲しくなるくらい情けない状態でした。

これを機に、私は英会話スクールに通い始めました。週に一度、終業後に約半年間通いました。そして多少なりとも英会話に対する免疫ができたころ、海外へ出張する機会を与えてもらいました。この時、私の英会話観を変える発見をしました。それは外国の人も英語を勉強するということや、時々文法から離れた会話をすることです。その上、その国独自の発音で英語を話すから、他の国の人が聞き取れなくても全く変ではないとわかったことが一番の大きな収穫でした。聞き取れなければ聞き直す、すると相手もわかってもらうために一生懸命わかりやすい単語や文法を使って説明してくれる。こう理解した私は自分も一人の外国人として会話の中に入っていくことができました。様々な価値観を持った様々な国の人と話した時間は本当に充実していました。

ただこれがわかっただけではまだまだ不十分で、もっと円滑に会話をしようと思えばもっと勉強して、単語数を増やし、正確な文法を習得する必要があると思い知らされたのも事実です。これからも視野を広げ、国際人として活躍していくためにも継続して英語を勉強していきたいと思っています。どうか諸先輩方暖かく見守り、時にはご教授いただけますようお願いいたします。

松石智美(原子力安全基盤機構)

静

京の案内人

外国や遠方の研究者や知人を迎えると、しばしば社寺仏閣に出向く。観光なので、清水寺、金閣寺、十三間堂など「とりあえずの有名どころ」にお連れする。説明の立て札は随所にあるし、拝観時に配られるパンフレットには一通り由来が書かれている。優美、重厚、絢爛豪華、こちらが特段の解説をしなくても大変喜んで下さるのはこの上ない。学生時分より日本史(の暗記)は最も苦手なものの一つであったから、道中全く気楽でいいし、もてなしたという達成感を覚えるのである。だが、何か物足りない気がしてならなかった。

一昨年春、京都の中で引越しをした。王城鎮護の比叡山の麓にある離宮に近く、田の字からは少し離れた、よくいえば閑静なところで、時折、猿や鹿が山から降りてきて平然と道路を歩いているのに驚かされる。越して間もない頃、子らを連れ、散歩がてら近所の寺に寄った。代表的名所とは対照的な全くこぢんまりした寺で、休日なのにタクシーが連れて来た数人の観光客以外見当たらない。小さな門をくぐり、楓や銀杏の古木と一面苔の細い路を抜け、お堂の入口で下足、決して華やかでもない仏様と僅かの展示物の先にはっとする光景が広がった。薄暗いお堂の座敷の少し奥から、畳、柱、天井、その向こうに陽に当たる縁側、池と石、まるで壁のように上から覆い囲む青々とした葉を茂らせた楓が眼に入ってくる。子らと静かに坐り、さてあの石や木は何を表現してるかな、と京都通気取りであれこれ理屈を捏ねてみたがさっぱり、である。個々には派手さも荘厳さも無いのに、無駄がなく全く一つである。その後、時として忙しい現実に踊る小生が、先生・学者・研究者とは何ぞや、などと問われている気になるまでそう時間はかからなかった。何百年も前からひっそりと在り続けてきたことがそうさせるのか。以来、洛内に幾つかのお気に入りが入ってきた。今では案内するとき、できれば締めはこうしたところである。これまでと違う京と出会ったときの客人の反応を見ることもまた楽しみだ。しかしまあ相変わらず歴史に疎く、案内人としてもまだ半人前なのである。次は北山一美さんにたすきをお渡しします。

佐々木隆之(京都大学)



「読みやすさ」と「内容の充実」をめざして

2007年度の Web アンケートのまとめ(2007年4月～2008年3月)

原子力学会では、多くの会員の皆様からご意見を伺うために、学会誌に対する Web アンケートを2006年4月から開始し、同年10月号より、毎月の集計結果を学会誌上で公開している。アンケート開始2年目の2007年度には、前年度のアンケート結果を参考に、さまざまな学会誌の改革を行った。2007年度のアンケート結果から、これらの改革の成果の検証と今後の課題の抽出を行った。

1. 2007年度の学会誌の改革

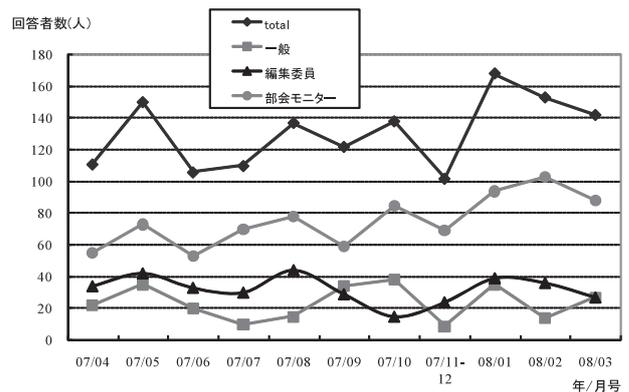
2006年度の Web アンケート結果やその他の意見を基に、会員が読みやすい学会誌を目指して、さまざまな学会誌の改革を2007年度に実施した。その主なものを挙げると、

- (1) 2007年4月号から学会誌の呼び名を「ATOMOS」にして、表紙デザインを一新した。
 - (2) 学会誌の発行日を2008年1月号から毎月1日に変更した。
 - (3) 「特集」記事のページ数を減らした。
 - (4) 「高速炉」と「軽水炉」に関する新たな「連載講座」を開始した。
 - (5) 新しい記事として、「時論」、「ジャーナリストの視点」、「リレーエッセイ」等を採用した。
 - (6) 過去の Web アンケートで評価の高かった記事を、参考例として、ホームページに掲載した。
 - (7) 学会誌送付時の封筒の透明ラップ化を図った。
 - (8) 原稿投稿時のページ数の見積もりを正確にするために、「テンプレート」を作成した。
 - (9) 執筆者の便宜と、事務局の効率化のために、記事投稿時のチェックリストを改訂した。
 - (10) 執筆者に関する規定を設け、共著者数の適正化を図った。
 - (11) ホームページに移動できる記事は移動し、ホームページの有効活用を図った。
 - (12) 「記事広告」欄を創設した。
- これらの改革の成果については、後ほど触れることとする。

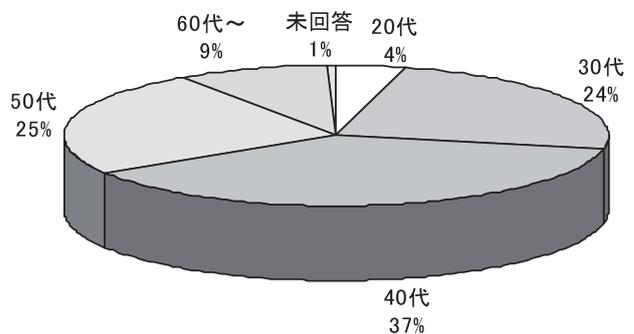
2. 2007年度のアンケート回答者のプロフィール

2007年度の Web アンケートの回答者数の推移を第1図に示す。毎月の回答者数は、年間を通じて、3桁を確保することができたが、これは部会モニターの協力によるところが大きい。

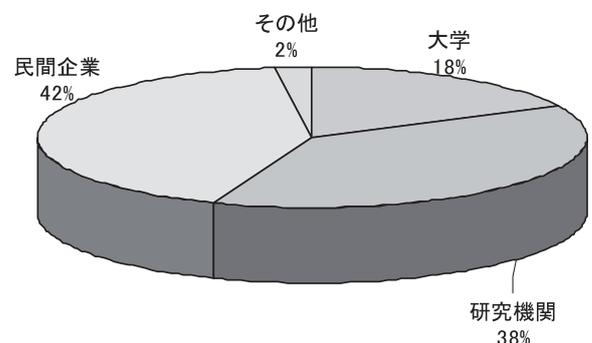
1年間の延べ回答者の年代構成を第2図に示す。原子力分野で中核を担っている40代が全体の1/3を占めているのは、2006年度と同じであるが、20代の回答者数は、2006年度8%から4%に減っている。20代の若い世代の



第1図 Web アンケート回答者数の推移



第2図 Web アンケート延べ回答者の年代別構成



第3図 Web アンケート延べ回答者の所属

意見を増やすことが今後の課題であるが、若い世代を中心とした座談会等を実施して、直に意見を聴く企画も考えている。

第3図には、延べ回答者の所属を示す。民間企業と研究機関で全体の約80%を占めている。他の技術系の学会

第1表 月別の平均評価点

号	評価対象 記事数	平均評価(5点満点)			
		平均	内容	書き方	差
2007年4月	17	3.39	3.43	3.34	0.09
5月	14	3.41	3.52	3.30	0.22
6月	19	3.40	3.50	3.29	0.21
7月	16	3.44	3.49	3.39	0.10
8月	15	3.60	3.55	3.44	0.11
9月	19	3.40	3.51	3.44	0.07
10月	19	3.45	3.51	3.39	0.12
11月/12月	20	3.40	3.48	3.31	0.17
2008年1月	18	3.41	3.48	3.33	0.15
2月	19	3.41	3.46	3.35	0.11
3月	20	3.48	3.51	3.45	0.06
平均	—	3.43	3.49	3.37	0.13
合計	196	—	—	—	—

では、企業に所属する会員数が減少しているところもあるが、本アンケートに関しては、企業からの立場の意見が多く寄せられていることがわかる。

3. 記事別評価点

Web アンケートでは、各記事について、「内容」と「書き方」に分けて、5点評価を実施しており、学会誌の企画・編集作業において、その結果を利用している。第1表は、2007年度の月別平均評価点を示したものである。2006年度と比較すると、各月ごとのばらつきが少なくなっている。8月号の評価点が一番高くなっているが、8月号は、「巻頭言」、「時論」、「NEWS」、「解説」、「連載講座」の評価点が特に高く、全体の点を引き上げたものと思われる。

第2表には、記事別の平均評価点の比較を示す。主な分析評価は以下の通りである。

- (1) 記事別の平均評価点では、新しく採用した「ジャーナリストの視点」、「時論」がトップ2を占めており、次いで、「連載講座」、「インタビュー」、「巻頭言」が続いている。新しく採用した記事が非常に好評だったことがわかり、また、2006年度の結果において、「書き方」の評点が非常に低かった(3.00点)「連載講座」の評点が大幅に向上していることがわかる。アンケート結果等を基に企画を十分に練った結果であり、関係者の努力に敬意を表したい。また、記事の内容から見ると、ジャーナリストや政治家、評論家など原子力分野外の執筆者の記事が好評で、読者が外部からの視点に興味を抱いていることがわかる。
- (2) 「解説」、「特集」といったような専門性の高い記事に関しては、「内容」の評価点は比較的高かったが、「書き方」の評点が相対的に低くなっている。専門性の高い内容を扱っているため、ある程度は仕方がな

第2表 記事別の平均評価点

記事の種類	評価対象 記事数	平均評価(5点満点)			
		平均	内容	書き方	差
表紙	11	3.42	3.40	3.43	-0.03
巻頭言	11	3.63	3.67	3.59	0.08
時論	8	3.74	3.91	3.57	0.34
NEWS	11	3.55	3.63	3.47	0.16
Nuclear News を見て	4	3.26	3.39	3.13	0.26
解説	26	3.46	3.61	3.31	0.30
特集	2	3.33	3.63	3.02	0.61
連載講座	15	3.68	3.81	3.54	0.27
講演	7	3.51	3.66	3.36	0.30
インタビュー	3	3.64	3.65	3.62	0.03
報告	6	3.37	3.50	3.23	0.27
リレーエッセイ	6	3.50	3.43	3.56	-0.13
ジャーナリストの視点	2	3.75	3.85	3.64	0.21
対談、座談会	3	3.56	3.71	3.41	0.30
会議報告	20	3.15	3.15	3.15	0.00
新刊紹介、書評	9	3.31	3.29	3.32	-0.03
談話室	4	3.47	3.56	3.38	0.18
YGN 報告	1	3.14	3.11	3.17	-0.06
学生連絡会	2	3.29	3.32	3.25	0.07
海外便り	5	3.36	3.37	3.35	0.02
私の研究から	4	3.25	3.35	3.15	0.20
私の主張	2	3.45	3.66	3.23	0.43
委員長等挨拶	4	3.25	3.17	3.32	-0.15
機関紹介、訪問	6	3.31	3.29	3.33	-0.04
支部便り	2	3.26	3.24	3.27	-0.03
セミナー報告	2	3.17	3.18	3.15	0.03
Short Report	2	3.45	3.58	3.32	0.26
Web アンケート結果	12	3.39	3.39	3.38	0.01
その他	6	3.37	3.33	3.41	-0.08
平均	196	3.41	3.48	3.35	0.13

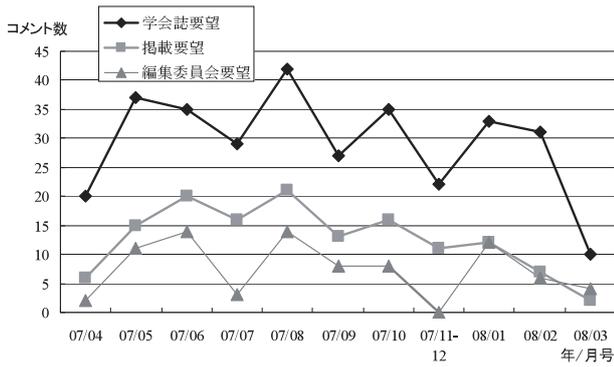
いと思われるが、「連載講座」のように「書き方」の評点が大幅にアップした例もあり、改善の余地は残されている。

- (3) 2006年度の結果で、「内容」の評点が2点台であった、「部会便り」、「セミナー報告」に関しては、3点台に改善されている。また、全体を通じて2点台の記事はなく、極端に不評な記事はないといえる。

4. 自由記入コメント

Web アンケートでは、記事別の評価点以外に、各種の自由記入欄を設けて、読者の意見を伺っている。第4図に、自由記入コメント数の推移を示すが、2007年度は、全部で542件のコメントをいただいた。これらのコメントの傾向をまとめると以下ようになる。

- (1) デザインを一新した表紙に関しては、おおむね好評であるが、原子力に関連した題材を望む声も根強



第4図 自由記入コメント数の推移

い。

- (2) 学会誌の発行日を毎月1日に変更したことは、「非常にすっきりした」と好評である。
- (3) 以下のようなさまざまな記事のバランスを望む声が多い。
 - ・温故知新的な記事と最先端の研究の記事
 - ・専門性の高い記事と頭の休まるような記事
 - ・原子力分野の記事と他分野の記事
- (4) 一方では、1つの号に同じようなテーマを扱った記事をまとめ、異なった視点から見ていくのがよい

というコメントもあった。

- (5) 新しく採用した「記事広告」は、カラーでインパクトがあると好評であった。
- (6) 記事内容に関しては、事故やトラブルなど「タイムリーな記事」が増えたという声が多かった。
- (7) 封筒の透明ラップ化に関しては、さまざまな意見が寄せられており、まだ改善の余地がある。

5. 今後の課題

Web アンケートの結果を、学会誌の企画・編集に利用することにより、読者の要望に大分対応できようになってきたが、以下のような課題も残されており、今後の検討課題である。

- (1) 上記、自由記入コメントの(3)、(4)のような高度な要望に対して、どのように対応していくか。
- (2) Web アンケートを今後も継続していくかどうか。
- (3) 紙ベースの学会誌において、Web をどのように有効に活用していくか。
- (4) 広告収入の増加。

(担当編集委員 小林容子)

From Editors 編集委員会からのお知らせ

○英文論文誌は創刊号(1964年)から最新号まで J-Stage にて全文無料公開中です

<http://www.jstage.jst.go.jp/browse/jnst/>



—最近の編集委員会の話題より—
(6月6日 第12回幹事会)

【論文誌関係】

- ・投稿論文の質の向上に資するために、ガイドを取り纏め中です。
- ・英文論文誌掲載論文は、J-Stage にて創刊号より無料公開中ですが、2000-2001年分が抜けているので、補完するべく対応を検討しました。

【学会誌関係】

- ・学会創立50周年記念行事の一環として、50周年記念特集号を来年4月に発行し、通常号の8月号から来年3月までに記念記事を掲載することとしました。
- ・新会長とのインタビューを8月号に掲載予定です。

- ・原子力総合シンポジウム2008の講演、および学会賞受賞者からの記事候補について検討しました。
- ・新役員/新委員の紹介記事について、8月号に役員、9月号に各委員会の委員長・委員を紹介予定です。
- ・学会誌編集グループを見直し、次年度グループメンバーについて検討しました。
- ・学会誌記事テンプレートを主な記事種別ごとに作成し、記事の字数管理に役立てることとしました。
- ・会員が逝去された場合の学会誌への訃報掲載について検討しました。
- ・記事種別の整理を行い、カテゴリーの説明文も見直すこととしました。
- ・著者の希望によるカラー印刷は8万円/頁、掲載頁数が頁数制限を超えた分は3万円/頁の追加料金を負担いただくこととしました。

編集委員会連絡先 hensyu@aesj.or.jp

パンチのきいた巻頭言が好評

原子力界以外の人へのわかりやすい文章に共感の声(3月号のWebアンケート結果)

「原子力学会誌」3月号に対して寄せられた Web アンケートの結果をご紹介します。今回は142名の方から、回答がありました。

1. 高く評価された記事

Web アンケートでは、各記事の内容および書き方について、それぞれ5段階で評価していただいています。3月号で高く評価された記事について、「内容」、「書き方」に分けてそれぞれ上位4件をご紹介します。

第1表 「内容」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (内容)
1	巻頭言	あんたも放射線だしてるんですよ	3.96
1	ジャーナリストの視点	「複雑さの壁」を乗り越えて	3.89
3	解説	原子力立国にふさわしい原子力法制を —原子炉等規制法の問題点	3.84
4	連載講座	軽水炉プラント—その半世紀の進化のあゆみ(6) 軽水炉の改良研究(BWR) —ドレスデンから敦賀1号炉へ	3.77

第2表 「書き方」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (書き方)
1	巻頭言	あんたも放射線だしてるんですよ	4.05
2	リレーエッセイ	私の好きな作家たち/ ある日の我が家の風景より	3.83
3	ジャーナリストの視点	「複雑さの壁」を乗り越えて	3.73
4	海外便り	「スウェーデンの原子力の今」 —現地からの原子力をめぐる 現状報告	3.62

竹村健一氏の巻頭言が「内容」、「書き方」ともトップでした。

2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) 「巻頭言」に関して、文章のテンポがよく、引き込まれる書き方であった。
- (2) 「巻頭言」に関して、専門外の人が、放射線に対する見解をうまく表現していた。専門家だけが見るのではもったいないので、このような専門外の人が書いた記事を別途出版できないだろうか。
- (3) 「解説」に関して、日本では、個人が公共的な問題を考える時に、マスコミに振り回されているように見える。物事のリスクを考えて意思決定できるような教育が小さいときから必要である。
- (4) 「会議報告」に関して、筆者が重要であると考えたトピックスを具体的に紹介しているのが良かった。
- (5) 「書評」は、常に参考にしてている。今後も続けてほしい。

3. 編集委員会からの回答

- (1) 最近の自由記入欄のコメントでは、掲載記事に関連付けて、物事の本質を問うような意見がよく見受けられます。今後も、いろいろな議論を提起できるような記事を掲載していきたいと思います。

学会誌ではこれからも、会員の皆様により質の高い情報を送りたいと考えております。記事に対する評価はもとより、さまざまな提案もぜひ、Web アンケートでお寄せ下さるようお願いいたします。

「ストレス抱える原発周辺住民」

山陰中央新報社 松村 健次

5年間の広島支社勤務を経て、鳥根県松江市にある本社へ戻ったのが、2005年3月末。時を同じくして、国際文化観光都市・松江に「原発を抱える全国唯一の県庁所在地」という肩書きが加わった。

中国電力鳥根原発の立地する鹿島町が、隣接する松江市など周辺7市町村と合併し、「新・松江市」に含まれたのが理由。広島在勤時に中国電力の本社を取材し、合併直後の松江市政を担当することになった私に「原発担当」の肩書きが付いたのは、自然の流れだった。

他の原発立地市町村と比べ、松江市の原発に対するスタンスは異質だ。象徴的なのが、核燃料サイクルの一環として国が推進するプルサーマル計画への対応。

鳥根原発2号機での導入を目指す中国電力から事前了解願を受けた鳥根県は、従来の原発設置の手續きと同様、国の安全審査前に、受け入れの可否を判断する方針を打ち出したが、松江市は、原子炉設置変更許可申請を了承した上で、国の安全審査の結果を見て可否判断する「二段階方式」の採用を決めた。

立地市町村と県は、協調して同時に結論を出すのが通例。この極めて異例な「相違」については、06年5月、フランス出張中だった松江市の松浦正敬市長から言質を取って特ダネにしたのだが、市長の言葉に目からうろこが落ちた気がした。

市長は、地元の同意を得ながら検査データの不正問題で計画がストップした関西電力高浜原発を挙げ、「事前了解した後も、どんな事態になるか分からない」と指摘。その上で「原子力の専門的なことは難しく、自分たちでは容易に判断できない。国に安全性を担保してもらってから最終判断をしたい」と続けた。

「もちはもち屋」という言葉もあるが、行政のプロも原子力に関しては素人。合併で二十万人になった市民の安心・安全を考えると、慎重な対応になるのは当然のこと。松江市は安全審査入りを認めた際も、使用済みMOX(プルトニウム・ウラン混合酸化物)燃料の処理方法についてなど14項目に及ぶ質問を国に提示し、審査終了に併せ、文書で回答を求めるほどの念の入れようだった。

一方、松江市にプルサーマル導入を申し入れた中国電力はこの3年、元日の実業団駅伝での優勝やマラソン選手の活躍で脚光を浴びる半面、負の面でも注目を集めた。

北陸電力志賀原発の臨界事故隠しなどが表面化した、全電力会社による発電設備の総点検は、06年10月に発覚した土用ダム(岡山県)をめぐる中国電力のデータ改ざん問題が発端。鳥根原発でも29件の不正、不適切事案が見つかった。また、06年9月に原発の耐震指針が25年ぶりに改定された際、内容を協議する分科会では、鳥根原発をめぐる活断層の過小評価がやり玉に挙げられた。

原発をめぐる不祥事が相次ぐたび、心を痛めたのは、鳥根原発周辺で暮らす住民だった。

不正の再発防止策を紹介するため、昨年7月に松江市内で開かれた市民説明会でマイクを握った地元の男性は「夫婦は縁が切れるが、地元で暮らす者は原発と縁が切れない。私たちを裏切らないでほしい」と声を張り上げた。この悲痛な訴えは、一歩間違えば甚大な被害を及ぼしかねない原発と共存する住民の本音だ。

昨年末にインタビューした生活情報評論家の井上チイ子さんは、ある原発立地地域に足を運んだ際、次のような言葉を投げ掛けられたという。

「あなたたち都会に住む電力消費地の人たちは何も考えずに電気を使いたいだけ使っているのだろうが、その電気の供給地域に住むわれわれは、原発の危険性を感じながら生活している」

冒頭に挙げた松江市の慎重な対応も、こうした住民の不安をくみ取ってのものだ。

北海道洞爺湖サミットの主要テーマの一つが地球温暖化対策。国や電力関係者は、原子力の安全性を強調した上で、二酸化炭素(CO₂)削減へ向け、原発の果たす役割が大きいことを訴える。

私自身も取材経験から、安全であろうことは理解できるが、原発と共存する地元住民は「万が一」を想定し、心の奥底にストレスを抱えている。それを少しでも解消するためにも、国や電力会社、原子力関係者には、住民に対する情報公開の労を惜しんでほしくない。



松村健次(まつむら・けんじ)

山陰中央新報社 編集局報道部次長
鳥取県出身。東洋大文学部卒。1989年山陰中央新報社入社。鳥取本社、米子総局、広島支社などを経て、05年春から現職。今春まで原発取材を担当。