

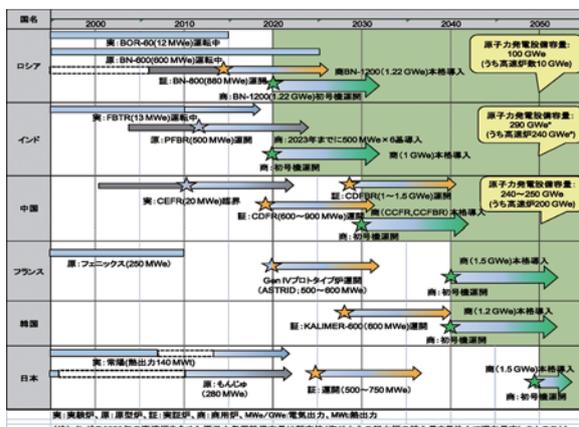
解説

20 世界の高速炉サイクル技術開発の動向(第1回)—加速する高速炉開発: 2020年に商用炉の運転開始

ロシアとインドは、2020年に高速商用炉の運転開始を目指す。インドと中国は、今世紀半ばまでに200 GWeを超える高速炉を導入する計画だ。ここではFR 09を中心に、加速する各国の高速炉サイクルの開発動向や課題について、3回にわたって紹介する。

(図は各国の高速炉開発計画の概要)

竹田敏一、佐賀山豊、巽 良隆



31 ナチュラルアナログ; 自然に学ぶ地層処分—数万年先を予測する工学技術とは? (第1回)



第1回目は、インタビュー形式で、ナチュラルアナログ研究や数万年先を予測するとはどのようなことかを、わかりやすく解説する。

吉田英一、北山一美、佐藤 努
聞き手 小林容子

36 NUMO「安全確保構想2009」—安全な地層処分の実現のために

NUMO がまとめた「安全確保構想2009」。そこには地層処分を、事業としていかに実現するかという取り組み方針が、盛り込まれている

土 宏之、石黒勝彦、加来謙一

表紙の絵 「浜昼顔」 田中一利

第41回「日展」へ出展された作品を掲載いたします。(表紙装丁は鈴木 新氏)

遠い昔に思いをはせながら砂浜を歩いていると、楚々とした小さな薄紫色の花が咲いていた。当時は意識したこともなかった花がとても美しく映り、心ひかれた。年々少なくなっているという浜昼顔を無性に描きたくなった。

新会長あいさつ

1 全員参加で推進する原子力、鍵を預かる日本原子力学会

全員参加で推進する原子力、その鍵を預かるのが日本原子力学会。
辻倉米蔵

時論

2 憲法の学問の自由と原子力・生命科学研究

原子力研究に学問の自由はどこまで適用されるだろうか。科学面と倫理面の双方から考えてみたい。

棚島次郎

4 日本の温室効果ガス削減における原子力の役割

「エネルギー基本計画」は2030年までに14基以上の原子力発電所の新增設、設備利用率の90%までの向上という野心的な目標をうちだした。

松尾雄司

報告

16 国際放射線防護委員会(ICRP)2007年勧告の国内法令取入れに対する若手独自の観点からの考え

荻野晴之

解説

26 海の国のアトム(3) —海を観て絵に描く

世界の各地で起きているさまざまな異常現象は、実は地球温暖化に伴う予測もつかない事例でしかない。(右は赤道海域に設置された観測用のブイ)

工藤君明



講演

41 話題の女性・おふたりとのダイバシティ・トーク—科学技術・原子力における男女共同参画

日本および科学技術分野では、なぜ女性の進出が遅れているのか。

岩城智香子

ATOMOS Special

世界の原子力事情(8) 欧州 総括編

45 スウェーデン・スペインの原子力事情

脱原子力の見直し作業を活発化させるスウェーデンと、逆に見直しの動きが鈍いスペインの動向を紹介する。 東海邦博

連載講座 実験炉物理:未来へのメッセージ 次世代の安全基盤の確立に向けて(1)

48 KUCA における炉物理実験

実験炉物理は、核燃料を用いて核分裂の連鎖反応状態を実現するなど、実現象を扱うものであり、計算炉物理と相まって原子力利用の発展に不可欠である。この連載講座では、臨界集合体及び実機における炉物理実験の過去、現在、未来について紹介する。 代谷誠治

連載講座 ICRP 新勧告—新しい放射線防護の考え方と基準(5)

53 計画被ばく(線量拘束値, 履行)

ICRP 2007年勧告では、被ばく状況を計画被ばく、現存被ばく、緊急時被ばくの3つに分けて防護体系を整理した。今回はそのうち、計画被ばくにおける放射線防護の考え方について解説する。 服部隆利

会議報告

58 炉物理研究及び業界の動向, 人材育成の課題 北田孝典, 遠藤知弘

59 韓国原産会議 一枚岩のように言われるけれど 飯田式彦

日米欧学生交流

60 ITER 滞在記 柏 総一郎

Relay Essay ドナウ川の畔から(3)

61 ウィーン春夏秋冬 疋田智恵

平成22年度副会長あいさつ, 役員紹介

68 会員にとって魅力ある活動を 澤田 隆

68 会員の宝としての日本原子力学会に 田中 知

69 会員の活動を基盤に, 社会的役割を果たせる学会組織を目指して 平山英夫

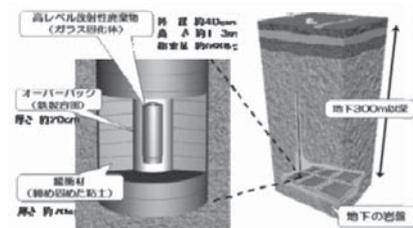
6 NEWS

- 政府, 2030年までに14基の原子力発電所を建設
- MOX 工場, 燃料貯蔵施設に事業許可
- 経産省が川内3 設置で一次公開ヒアリング開催
- 電力10社, 英で再び MOX 加工へ
- 原子力委, 成長への原子力戦略をとりまとめ
- 経産省, ポーランド原子力支援へ
- 中国電力, 点検不備問題で最終報告
- 原子力人材育成関係者協議会が報告書
- JAIF ベトナム連絡事務所が開所式
- 東大, マレーシア大と共同で国際ワークショップ
- 京大原子炉 KUR, 4 年ぶりに運転再開
- 金属表面の微小変化を精密観察が可能に
- 重水素を燃料とする高効率燃料電池を開発
- 海外ニュース

Scope 原子力関連機関の紹介(3)

43 原子力発電環境整備機構(NUMO)

NUMO は、高レベル放射性廃棄物等の処分問題を、責任をもって解決するために地層処分事業を着実に進めていく。



地層処分のしくみ

ジャーナリストの視点

62 現場を見せて、声を聴かせて

新居一樹

57 From Editors

63 新刊紹介『次世代に伝えたい 原子力重大事件&エピソード』 根井弘道

64 会報 原子力関係会議案内, 主催・共催行事, 人事公募, 第43回日本原子力学会賞受賞候補者推薦募集, 標準委員会意見受付公告, 英文論文誌(Vol.47, No.8)目次, 主要会務, 編集後記

学会誌ホームページはこちら
<http://www.aesj.or.jp/atomos/>

会長就任にあたって

全員参加で推進する原子力、鍵を預かる 日本原子力学会



第32代(平成22年度)会長

辻倉 米蔵(つじくら・よねぞう)

このたび、伝統ある日本原子力学会の会長に選任され、その責任の重さを感じております。微力ながら学会価値の向上に尽力して参りたいと思います。

我が国において、原子力利用の開発に着手して早くも約半世紀が経ちました。この間の研究開発の成果や実用炉の建設運転経験の蓄積により、原子力安全についての評価も定まり、原子力エネルギー利用は放射線利用と併せて、社会活動の一翼を担うものとして明確に位置付けられています。一方で、原子力についての国民的理解、合意についてさらに深めることも必要であります。

そもそも、我々人類を形作っている原子は宇宙創生以降、長い年月をかけて作られた現在の元素から成り立っているものであり、放射線との関わりを持ちながら進化してきたと良いと思います。地上の自然を形作りその上で生命体を維持しているのは、核融合による膨大な太陽エネルギーであります。原子力や放射線という、目に見えず疎遠なもののように考えがちですが、本来、生命と深い関わりのあるものです。人類の共通認識として、原子力との関わりについて啓発していくことも必要だと思います。

では、どのように取り組んでいくのか、過去を振り返ってみますと、原子力技術を導入する黎明期においては、原子力の専門家は限られており、組織が命運をかけてこれに取り組みました。その頃、原子力は全員参加で推進する事業であり、全員が当事者でありました。人類に必須なものである原子力への取り組みについて、今一度、黎明期の取り組み姿勢を思い起こしながら、あらゆる方々がそれぞれの立場で当事者となり、全員参加で取り組む意識を育み、国民全体に広げていくことが必要だと思います。

日本原子力学会は学の立場から、このような活動の鍵を預かっており、その役割がますます重要性を増して参ります。第一義的には科学技術の革新的発展が不可欠であり、日本原子力学会はその活動を通じて科学技術そのものの発展に寄与して参りたいと思います。また、それに止まらず、社会全体に対して、公平、公正で透明性のある活動と情報発信を通じて、社会の原子力に対する理解の醸成を図ることも重要な責任と考えます。

このような活動が期待される日本原子力学会の現状を見てみますと、今年の大きな課題として新法人への移行があげられます。種々検討の結果、学会の目的、事業を堅持しながら、学会活動が円滑にかつ活発に行えるようにとの観点から、非営利の一般社団法人化に向けて手続きを進めることとしております。

新法人化は単に名称の変更ということではなく、学会としての定款に沿った活動を今まで以上に確実にすることが求められます。わかりやすく言えば、サロンの認識から社会を構成する一組織としての責任を全うすることが責務として明確に求められることとなります。学会運営についての学会員の皆様の意識を少し変えて頂き、ご理解とご協力を頂くことが必要になって参ります。

また、学会運営を確実なものとするため、運営基盤の充実と近代化をしていく必要があります。今まで進めてきたIT化を本格運用に移行し、その成果として会員サービスの向上などに努めて参りたいと思います。さらに、チーム110や国際活動の活発化など準備検討を重ねてきた活動を実践に移していく年でもあります。

これからの原子力は、国民全員が関わり合いながら発展していくべきであると考えますが、日本原子力学会は学の立場から、会員皆様方の献身的なご協力を頂いて、その責任を果たして参りたいと思います。

日本原子力学会の活動が活発に、かつ円滑に行えるよう、微力ながら努力して参りたいと思いますので、宜しくお願い申し上げます。

(平成22年 6月18日 記)



憲法の学問の自由と原子力・生命科学研究



勝島 次郎(ぬでしま・じろう)

自治医科大学 客員研究員

1960年横浜生まれ。東京大学大学院社会学研究科博士課程修了，社会学博士。専攻は生命科学・医学を中心とした科学政策論。著書『先端医療のルール』(講談社現代新書，2001年)，『生命の研究はどこまで自由か』(岩波書店，2010年)など。

2010年5月3日，日本国憲法は施行63年目の記念日を迎えた。例年のように，マスコミでは改憲，護憲双方の集会の様子が報じられ，特集記事も組まれた。だがそこでの議論は，第9条の非戦主義と自衛隊の扱いをどうするかという問題に集中していて，科学研究とは関わりがない世界のことと思う向きが多かったのではないだろうか。

だが私は，憲法改正について，科学界がぜひ議論しなければならない条文があると考えている。それは，第23条「学問の自由は，これを保障する。」という一条である。

ここでいう「学問」とは何だろうか。憲法第21条の規定は，戦前の国家の学問への介入に対する反省に立つてつくられた条文だといわれる。念頭に置かれたのは，天皇機関説のような，政治的に問題となる人文社会系の研究である。しかしこの条文は，自然科学系の研究まですべて含めて「学問」であり，自由が保障されていると理解されている。もちろんそうでなければならぬだろうが，この条文ができたのは，まだDNAの構造も明らかにされていない時代である。現代の生命科学は，日本国憲法ができた後に急速に発展した新興の領域で，生命現象の本質に迫るその衝撃力は，科学者の行為を縛る必要を社会に認識させた。そのように深いレベルで生命を操作するようになった科学研究が，学問だからすべて自由だ，というわけにはいかないだろう。人間に应用される医学研究では，なおさらである。そこには超えてはならない一線があってしかるべきだが，その一線をどこに引くかを定めるためには，学問としての科学研究はなぜ自由なのか，自由が成り立つ条件は何か，その自由を制約する原理は何かという問題を，21世紀の科学の現状と将来の展望をふまえて真剣に検討し，明らかにする必要がある。

私はそのように考え，この問題を直接科学者に問いかけ，議論してみた。その結果を今年2月，一書にまとめ刊行した(『生命の研究はどこまで自由か』岩波書店)。上に述べたように，そこで私は生命科学を念頭に，科学研究の自由とその制約のあり方について対話を試みたのだが，相手になってくださった四人の科学者すべてが，議

論のなかで原子力研究を引き合いに出してきた。これは私の意図したことでなかったが，興味深い論点を得られたので，以下にその概略を紹介したい。

進化生物学・行動生態学者の長谷川真理子氏は，日本国憲法がつくられたとき，生命科学は想定されていなかったが，原子力研究は想定されていたのではないかと指摘する。憲法の学問の自由のなかに，原子核物理学と核エネルギー利用の研究は，含まれていると理解されていたのだろうか。敗戦後の占領下で，理研，京大，阪大のサイクロトロンが連合国総司令部(GHQ)の命令で破壊・撤去された。これは学問研究の自由の侵害というほかないだろう。だが日本国憲法は日本国政府を拘束するだけで，それより上位にある占領軍政府(GHQ)は，その拘束を受けない。被占領国日本の主権は制限され，学問研究だけでなく，ほかの様々な面で国民の自由は制約を受けていた。当時の日本人研究者がそれを問題にできる環境にはなかった。

1951年9月に講和条約が調印され，翌1952年4月に占領は終わり，日本国は主権を回復する。それとちょうど同じ時期に，原子核物理学の禁止は解かれ，理研のサイクロトロンが再建された。原子力研究はさらにその後，1953年のアイゼンハワー米国大統領の国連総会演説を契機に，国内で基盤整備が始まった。この間，学問の自由と原子核物理・原子力研究のかねあいという観点からみて，どのような議論と政治的過程があったのか，ぜひ知りたい。

それは過去の回顧に留まるものではない。現在，そして将来，日本で原子核物理・原子力研究は，学問としての自由をどこまで保障されるべきなのかという問いにつながる問題である。日本原子力学会の倫理規程では，原子力研究を平和利用目的に限定している。これは，学問の自由を制約する自己規制なのだろうか。そうした問題提起が行われたことがこれまであるだろうか。

この問いに対し，宇宙物理学者の池内了氏は，核兵器は絶対悪であると物理学者は言い続けるべきだと述べつつ，科学者としては，核エネルギーを解放するとどういことが起こるか知りたい，誘われれば原爆の研究でも

やりたいと私に語った。その意味での知的探求に制限はあるべきでない。ただし、すべてをオープンにすることが条件となる。核兵器研究でも軍事機密などといわずにすべて公開し、市民の検証や批判に耐えるものでなければならぬ。池内氏はそう述べる。

発生工学者でES細胞(胚性幹細胞、再生医療に用いる)の研究を手がける田川陽一氏も、科学研究で何をどこまでやってよいか考えるのに一番わかりやすい例として、原子力研究を挙げた。田川氏は、核エネルギーの研究は、とことんやるべきだと語った。兵器への応用も含めて知るべきことはすべて知っておくべきで、そうしないと問題が起こったときに対処できないというのである。ここでも田川氏が依拠しているのは、知的探求という意味での科学研究に制約はあってはいけないという立場である。

分子生物学者の勝木元也氏は、少し違う角度からこの問題を取り上げた。彼は、科学者が遺伝子組換え研究にモラトリアムをかけた、「アシロマ会議」(1975年)について教えてくれた。これは研究の自由を科学者が自己規制した史上有名な事例なのだが、勝木氏によれば、そこでの中心問題は、生命の操作をどこまでやってよいかという倫理的な問いではなく、ひたすら安全性への配慮だった。いまでいう予防原則の問題意識から、ウイルスや細菌の遺伝子を組換えて未知の危険な生命体ができ、危害を及ぼす事態が生じるのを防ごうとしたのである。そのために採られた方策が、遺伝子組換え体の物理的封じ込めのシステムの構築である。したがって、遺伝子組換え研究の規制は、予想される危険性と安全性をどうコントロールするかという点で、いわゆる生命倫理ではなく、原子力研究の扱いに近いと勝木氏は指摘する。

確かに原子力学会の倫理規程の内容の大半は、安全性と危険性の管理に割かれている。それは技術倫理といわれることもあるが、要は当然の職業上の規律である。問題はその先にあると私は考える。安全で危険が抑えられれば、何をしてもよいのだろうか。そこからが、一般にいう倫理の問題になる。安全面での規制に加えて原子力研究に要請される倫理面の規制は、学会の倫理規程の冒頭に出てくる、平和利用という枠付けだろう。では、平和利用限定で安全性が担保されているなら、核エネルギーの研究で何をしてもよいだろうか。

生命科学研究では、安全性の管理は技術的な問題で、倫理的な問題はそれとは別にあると考えるのが普通である。しかし私はそうではないと思う。安全性も含め科学的に必要で妥当なことしか、人間やほかの動物を対象に行ってはいけない、というのが、研究倫理の第一原則だ

と考える。

もちろん、この原則だけで生命科学と社会の間に起こる問題を解決することは難しい。先の田川氏は、生命科学研究で何をどこまでやってよいかを決める基準は、「迷惑をかけないこと」だという。そこでいう「迷惑」とは、具体的な危険を及ぼすことだけでなく、たとえば再生医療のためにヒトの胚を壊してES細胞をつくる研究は、受精の瞬間から人の生命が始まると考える人たちには殺人に近い行為と受け取られ賛否の対立を招くので、そこまで含めて研究が社会に及ぼす「迷惑」だと考えなければいけないというのである。生命倫理ではよく「人の尊厳を侵してはいけない」というが、その中味は、たとえばヒトの胚を人間だと考えるか細胞の塊だと考えるかの、価値観に関わることである。そこが、生命倫理の難しいところである。

原子力研究では、そのような人の生命や尊厳の範囲に関わる価値観は問題にされないだろう。その代わり、先の問いに戻っていえば、核エネルギーの研究をどこまで進めてよいかという問題は、科学的な知的探求という要因を除けば、そのエネルギーを用いて社会がどこまで豊かな生活を求めるかという価値観の問題になるだろう。生命科学・医学でも、知的探求という科学の欲望とは別に、長生きしたいとか丈夫な体が欲しい、よく働く脳が欲しいといった、生命と身体を巡る欲望が、研究を進める動因にもなり、またその制約を考える際の価値観の問題にもなる。原子力研究では、人々が営む物質的生活の便利さ、豊かさを支えるエネルギーをどのように、どこまで求めるかという欲望への対応が問題になる。その欲望を制約する原理が、原子力研究を制約する倫理になるだろう。

今の日本のエネルギー消費水準はかなり高い。これを維持するのか、もっと増やしていくのか、あるいは減らすべきなのか。世界のほかの地域ではどうするのか。これからの原子力研究は、科学的なデータを示すだけでなく、こうした価値観に遡った議論をしないと、適正な推進の根拠をもつことはできないのではないだろうか。

科学の欲望には科学の論理、科学の倫理で対応すればよいが、それ以外の人の欲望については、別の価値観の軸を立てた議論が必要になる。私は、生命科学・医学においてそうした議論をどう進めればよいかを次の課題としている。その点で、原子力研究における議論からも大いに学びたい。本学会の活動のいっそうの発展を期待する。

(2010年 6月18日 記)



日本の温室効果ガス削減における原子力の役割



松尾 雄司(まつお・ゆうじ)

(財)日本エネルギー経済研究所 原子力グループ兼計量分析ユニット 主任研究員
1997年東京大学大学院理学系研究科物理学専攻修士課程修了。(財)産業創造研究所を経て、2007年より現職。江戸川大学経営社会科学科非常勤講師兼務。

6月18日に「エネルギー基本計画」が閣議決定された。これは2002年に制定されたエネルギー政策基本法に基づきおおむね3年ごとに改定されているものであり、今回は2007年の第1次改定版に対し、エネルギーの安定供給のほか、地球環境問題への対応や、エネルギー分野の投資・開発・普及を通じた経済成長という視点を織り込んで改定が行われた。例えば原子力発電については2020年までに9基・2030年までに14基以上の新增設、2020年に85%・2030年に90%までの設備利用率向上を行い、2030年に原子力を含むゼロ・エミッション電源比率を70%まで上昇させる、という高い目標が示されており、このような政策を十分に、かつ強力で推進することにより、2030年のエネルギー起源二酸化炭素排出量は1990年比で「30%程度もしくはそれ以上」の減となる、とされている。

この基本計画案が審議された6月8日の委員会の資料には、この2030年の排出削減のあり方が試算値として示されている。ここでは上記の目標に従い、2030年の発電量に占める原子力の比率を約5割、水力・再生可能エネルギー等の比率を約2割とし、エネルギー起源二酸化炭素の排出量をベースラインの13.1億トンから7.3億トンまで削減する見通しとなっている。これは昨年8月に発表された長期エネルギー需給見通しの再計算に比較して、さらに1億トン程度(1990年比9%程度)の削減の積み増しを行う形になる。

わが国の温室効果ガス排出削減については、従来2020年を対象として議論が多く行われてきた。昨年の4月まで行われた中期目標検討委員会では複数の研究機関によるモデル計算結果から温室効果ガス削減のコストや経済影響が評価され、それをもとに6月に当時の麻生首相が2005年比15%(1990年比8%)の国内の削減目標を決定した。その後、総選挙を経て9月に鳩山首相が1990年比25%の削減目標を発表し(ただしそのうち国内削減分、いわゆる真水分がどの程度であるかについては言及されていない)、それが現政権の目標となっていることは周知の通りである。この目標に対してはその後も検討がなされており、例えば今年3月には環境省での検討に基づき、目標達成のための対策・施策パッケージが環境大臣

試案として示されている。

このような中で今回新しいエネルギー基本計画が決定されたわけであるが、ここで示されたのは2030年の値のみであって、従来議論のあった2020年の国内削減量等は示されていない。日本の二酸化炭素排出削減のかなりの部分が大規模な設備産業での対策や、住宅の断熱性能など長期にわたる入れ替えを必要とする対策によって担われることを考えると、2030年までの削減は今後状況の変化に応じてその対策を十分精査すべき問題であると捉えられるのに対し、2020年までの削減は今行った対策が直ちに影響するものだと考えなくてはならない。2020年の削減は将来の問題ではなく、現在の問題である。このためこの問題は早急な決断が求められるものであると同時に、その決定のためには今の段階で十分な議論が尽くされなくてはならない。2020年までの対策のあり方については立場の異なる論者により様々なことが言われているのが現状であり、今後もしばらくは議論が続くものと考えられる。

このような状況の中で、しかし原子力発電の重要性については多くの人の考えが一致しているといつてよい。日本の温室効果ガス排出量の見通しに関するモデル計算を実際に試みたことがある人の中で、原子力の大幅な積み増しなしに排出削減が可能だと考えている人は現在ほとんどいないと思われる。例えば長期エネルギー需給見通し再計算では2020年に想定される原子力発電による削減量は1億1,000万トン(うち、9基の新增設により5,000万トン、設備利用率の80%までの向上により6,000万トン)、これは日本の削減量全体の1/3にも相当する。この試算で2,800万kWと想定されていた太陽光発電による削減量が1,500万トン、次世代自動車の導入や最大限の燃費向上に伴う運輸部門の排出削減が合計で2,100万トンであることを考えると、もし原子力の発電電力量が今後増大しなかった場合には、他の手段によってそれを代替することはほとんど不可能である、といえるだろう。

これは、実はかなり日本に特殊な事情である。例えば米国ではブッシュ政権以降にわかに原子力発電所の新規建設が議論されるようになり、「原子力カルネッサンス」と

も呼ばれる機運の高まりとともにこれまで30基超の新設計画が公表されているが、今年5月に発表されたエネルギー省の見通しでは、基準価格ケースにおいて2035年までに原子力発電設備容量の増加はわずかに1,230万kW、うち新設によるものは840万kWのみという想定になっている。これは30数基の新設計画のうち、わずかに6基程度を占めるに過ぎない。この背景には資金環境の悪化や建設コストの上昇等があると考えられるが、単にそれだけではない。米国は1人当りCO₂排出量、GDP当りCO₂排出量ともに日本の2倍程度の水準にあり、産業部門の省エネルギーや、自動車燃費の改善、火力発電の効率向上など多くの点で削減の余地がかなり残されている。このため日本ほど温室効果ガス削減のために原子力が切実に必要とされてはいない、といえるだろう(ただし上記のシナリオでは2020年の二酸化炭素排出量は2007年比で2%減となっており、より大きな削減を行う場合には原子力新設の積み増しが求められる可能性もある)。同様のことは、程度の差はあれ欧州諸国についてもいえる。例えば英国エネルギー・気候変動省が6月に発表した見通しでは自国の温室効果ガス排出量を2020年に1990年比36%減とするシナリオが描かれているが、ここでは原子力の新設は2020年以降徐々に行うこととされており、2006年に690億kWhであった原子力発電量は、既設炉の廃止に伴い2020年には250億kWhまで低下する姿になっている。

中国は現在900万kW程度の原子力発電設備容量を有しているが、従来これを2020年に4,000万kWまで拡大することが計画されていた。しかし最近になってこの目標は大きく上方修正され、現在は7,000~8,000万kW程度を目指す、といわれている(私は先日中国国家発展改革委員会・能源研究所の専門家と話をした際、この目標は世界のプラント建設能力から見ても過大に思われるが?と聞いてみたが、彼女からの返答は「プラント建設に関して何らかの障害があるとは考えていない」というものだった)。しかし中国の発電電力量自体も大幅に増大すると見通されており、仮に原子力の新設が計画通り急速に進んだとしても、そのシェアはようやく1割に達するに過ぎない。中国を含む発展途上諸国にとって低炭素化のための最大の鍵は省エネルギーであって、その他のどんな対策を講じたところでエネルギー消費そのものが急増を続けるならば効果は限られている。中国はまた風力や太陽光についても数千万kW規模の導入計画を進めるとともに、現在900億m³程度の天然ガス消費量を2020年に2,200~2,500億m³程度まで拡大することにより、燃料転換による低炭素化をも図っている(これによる二酸化炭素の排出削減量は、計算の仕方にもよるがおよそ2億トンにも達すると考えられる)。このように、中国に限らず多くの国にとって原子力は低炭素化のための手段の一つではあってもそれ以上ではなく、仮に原子

力が進展しなかったとしてもそれを代替する手段は複数ある、と考えることができるだろう。

このように見ると、温室効果ガス削減のために原子力に頼らざるを得ない日本は現在、世界で最も切実に原子力を必要としている国である、とさえいえることがわかる。問題はその目標の達成に向けたハードルが非常に高いということである。2010年度の電力供給計画には現在建設中のものも含め14基1,931万kWの新設計画が掲げられているが、周知の通り原子力発電所の建設計画というものは大幅に遅延することが常態である。例えば2004年度の電力供給計画では2009年度までに少なくとも8基の原子炉建設に新規に着工することが予定されていたが、そのうち実際に現在までに着工されたものはわずかに2基に過ぎない。

また設備利用率については、過去最も安定していた1990年代後半でも全国平均で80%を超える程度であり、90%という数値は過去一度も達成されたことのないものである。これを実現することは現在制度として導入されている新検査制度により運転期間を延長するだけでは不可能であって、さらに運転停止期間そのものを例えば2ヶ月程度まで、大きく短縮しなくてはならない。このためにエネルギー基本計画では広聴・広報を通じた相互理解の促進、電源立地交付金制度の更なる改善、科学的・合理的な安全規制の充実などの方策が掲げられておりそれはその通りなのであるが、しかしそこで我々はいま、「過去にない覚悟と努力」をもってそれを推進しなくてはならない、ということ十分に認識する必要があるだろう。

もともと原子力というものは、その態度が人により非常にはっきりと分れる問題である。もし仮に原子力発電の安全性が十分に確保され、また高レベル放射性廃棄物も地層処分により十分に人間の活動から隔離されることが保証できたとしても、それでも地下深くの数km四方にもわたる領域に数万年、数十万年の間それを置き続けるということ自体が、長い地球の歴史の中の一瞬を生きる我々のあり方として果してどうなのか。それは私も幾分そう思わざるを得ない。原子力が将来核融合を経て、長期にわたって人類へのエネルギー供給を担い続けるのか、あるいはそれは再生可能エネルギーの大規模な利用に至る渡橋に過ぎないのか、それは我々にはまだわからない。しかし少なくとも今の時点において、地球環境問題とその政治的対応という短期の課題が直ちに我々に原子力の利用拡大を迫っているということは疑いのない事実であって、それはもはや原子力が好きか、嫌いかという問題ではない。それが切迫した問題であるということを我々一人一人がよく認識し、可能な限り原子力の有効利用に努めることが、現在の日本には求められているといえるのだろう。(2010年 6月21日 記)



このコーナーは各機関および会員からの情報をもとに編集しています。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。

政府、2030年までに14基の原子力発電所を建設

政府は6月18日の閣議で、エネルギー政策の基本的な方向性を示す「エネルギー基本計画」を決定した。2030年までに少なくとも14基以上の原子力発電所を新增設することなどにより、現状のエネルギー自給率18%を2030年までに倍増するとしている。また化石燃料の自主開発を進めることにより、海外での自主開発権益を含む自主エネルギー比率を、現状の38%から70%まで増やすことを目標に設定した。エネルギー基本計画は、エネルギー政策基本法に基づき政府が策定するもので、2007年3月以来の改

定。

新しい計画では、地球環境問題への対応と、資源獲得をめぐる国際的な競争を踏まえた対策を盛り込んだことが特徴。具体的には2030年までにゼロ・エミッション電源比率を現状の34%から70%まで引き上げるとともに、家庭部門で排出されるCO₂を半減。さらに産業部門での世界最高エネルギー利用率を維持強化し、国内企業群のエネルギー製品が国際市場でトップシェアを獲得することをめざすことを盛り込んでいる。

MOX 工場、燃料貯蔵施設に事業許可 燃料サイクルに新たなステップ

経済産業省は5月13日、日本原燃のMOX燃料加工工場およびリサイクル燃料貯蔵会社の使用済み燃料中間貯蔵施設について、それぞれ事業許可を行った。いずれも青森県に建設し、商業レベルでは国内初の案件で、燃料サイクルの確立に向けた重要な進展だ。

同日、松下忠洋副大臣が、東京・霞ヶ関の経産省庁舎内で、MOX加工については原燃の川井吉彦社長に、使用済み燃料貯蔵についてはリサイクル燃料貯蔵の久保誠社長に、それぞれ事業許可書を手交した。

原燃のMOX燃料加工工場は、六ヶ所村の再処理工場に隣接して建設され、再処理で得られたMOX粉末を原料として、プルサーマルで利用するMOX燃料を製造する。今年10月の着工、16年3月の竣工予定。

一方、むつ市に計画される使用済み燃料貯蔵施設「リサイクル燃料備蓄センター」は、東京電力と日本原子力発電の原子力発電所から発生した使用済み燃料を再処理までの間、一時貯蔵するもので、今年7月着工、12年7月事業開始の予定。

両案件とも、4月19日に原子力安全委員会、20日に原子力委員会のダブルチェック審査をそろって終了しており、MOX加工について、安全委では、安全審査指針に基づき、仮想的な臨界事故に関する専門的評価も実施している。

MOX加工の事業許可を受け、森詳介・電気事業連合会会長は、「原子燃料サイクルの確立に向けた着実な前進」とするとともに、「プルサーマルの着実な導入に向けて引き続き業界を挙げて取り組む」とのコメントを発表した。

(資料提供：日本原子力産業協会)

経産省が川内3号機設置で1次公開ヒアリング開催

九州電力が19年度の営業運転開始を目指し計画する川内原子力発電所3号機(159万kW、APWR)の

設置に係わる第1次公開ヒアリング(経済産業省主催、議長団＝横尾英博・資源エネルギー庁電力・ガ

ス事業部長他)が5月18日、川内文化ホール(鹿児島県薩摩川内市)で行われた。

約900名が傍聴する中、発電所を立地する薩摩川内市および隣接する阿久根市、いちき串木野市の住民20名が陳述人として意見・質問を述べ、電力側からは段上守副社長らが説明・回答に当たった。会場内では野次、妨害行為などはなく、議事はほぼスケジュール通りに進行。原子力施設の1次公開ヒアは、東京電力の東通発電所設置に係わる03年11月の開催以来、およそ6年半ぶり。

はじめに九州電力が川内3号機設置計画の概要を説明。同発電所には1、2号機で、それぞれ1984、85年より営業運転の実績があるが、将来的な電力需要の増大と、これに対応したエネルギー・セキュリティの確保、地球環境問題への対応、経済性等を勘

案し、原子力の発電電力量に占める構成比50%の電源ベストミックスを目指すべく、増設計画具体化に至った経緯を述べた。

環境調査結果を踏まえ、九州電力は09年1月、地元の鹿児島県および薩摩川内市に3号機増設の申入れを行っている。同機に採用されるのは、安全性、信頼性、運転保守性の向上などが図られたAPWRで、電気出力159万kWは、現在運転・計画中の国内原子炉では最大級だ。

今後、九州電力は、地元の子承を得た上で同機の重要電源開発地点への指定を申請、経産省は、今回ヒアリングの意見陳述も参照して、これを決定し、電力側からの原子炉設置許可申請を受け、安全審査へと移ることとなる。

(同)

電力10社、英で再び MOX 加工へ 工場改造に資金提供

電力9社と日本原子力発電の10社は5月13日、英国で回収されるプルトニウムの将来のMOX燃料加工に関する全体的な枠組みについて、英国原子力廃止措置機関(NDA)と合意したと発表した。

電力10社は、英仏への海外再処理委託に伴う回収プルトニウムについては、海外でMOX燃料に加工し、国内に輸送してプルサーマルで利用することを基本方針としている。同方針に基づき、電力10社は、英国で回収されるプルトニウム全量を英国でMOX燃料に加工できるよう、NDAと協議を行ってきたが、このほど、NDAが同国中西部のカンプリア州セラフィールドに所有するMOX燃料加工工場

(SMP)における将来のMOX燃料加工に関する全体的な枠組みについて合意したものの。

詳細については明らかにしていないものの、同合意では、SMP工場での今後のMOX燃料加工について、経済性確保のための生産能力向上方策やそれに伴う費用負担、MOX燃料加工を進める上での原則などを取り決めたもの。

電力各社は今後、地元地域の理解を得ながら各社のプルサーマル計画を進めていくこととしており、各社ごとの状況を踏まえて、諸条件が整った段階で進めていくことになる。

(同)

原子力委、成長への原子力戦略を取りまとめ

原子力委員会は5月25日の定例会で、「成長に向けての原子力戦略」を決定した。政府が6月に取りまとめる新成長戦略に対し、同委員会として、原子力政策大綱に則り、効果的、重点的に貢献すべき施策を明確化したもの。

同戦略では2020年までの目標として、原子力発電、放射線利用、新たな挑戦を促す環境、国際展開のそれぞれについて、着実に推進すべき取組を述べた。

原子力発電については、世界最高水準の設備利用

率の実現、定格出力の向上、高経年化対策の充実、原子力発電所の増設・リプレースを推進し、原子力発電比率の向上を図る。

放射線利用では、医療分野における放射線利用を促進して健康大国を実現するとともに、農業、工業及び学術分野における利用を促進し、関連する産業を戦略産業に育成することを掲げた。

新たな挑戦を促す環境づくりとしては、原子力発電事業者、企業経営者、地方自治体、住民が技術や制度、事業のイノベーションを通じ、新たな企てに

挑戦する気概を持てる環境を整備し、国際展開に向けて、増大する国際社会の原子力発電新增設需要や、途上国における放射線医療を含む放射線利用需要に対し、わが国原子力産業がより大きな役割を果

たすよう求めている。また、「持続的成長のためのプラットフォーム」として、原子力科学技術や、それを担う人材育成にも言及している。

(同)

経産省、ポーランド原子力支援へ 実務レベル作業部会を設置

経済産業省の石田徹資源エネルギー庁長官は5月19日、来日したポーランドのハンナ・トロヤノフスカ原子力エネルギー政府全権代表と会談を行い、両国政府の実務担当者レベルの作業部会を立ち上げ、①原子力広報、②放射性廃棄物処理・処分、③法制度や技術面に関する課題——などについて協力していくことで合意した。3月の「原子力平和利用に関する協力の枠組みを定めた合意文書」署名を受けたもの。

ポーランドでは、1990年に建設中のジェルノビェツ原子力発電所に対する住民投票の結果が反対多数となったことから、同国政府は同計画を断念している。09年に、政府は2020年に初号機運転開始を目標としたロードマップを採択し、複数の原子力発電所の規模・建設サイトなどを決める「原子力エネルギー計画」を今年中に採択すること、13年までに初号機建設用地の選定や建設契約の締結を行うことなどを決めている。

(同)

中国電力、点検不備問題で最終報告

中国電力は6月3日、島根原子力発電所1,2号機で発覚した保守管理不備について、根本原因分析と再発防止対策を盛り込んだ最終報告を原子力安全・保安院に提出した。根本原因として、組織・企業風土に起因する問題をあげ、全社で安全文化醸成活動を推進し、再発防止を図ることとしている。

昨年度保安検査で、点検計画と実績との不整合が確認されたことを受け、島根1,2号機では3月末

より、保守管理の実施状況に関する総点検を実施した。今回、提出された最終報告によると、点検計画表記載の点検周期を超えている機器数が511か所、点検周期を超えていないが、点検計画表と実績に不整合のある機器が1,160か所確認され、これまで、分解点検・取替が適切に実施されていなかった511か所については、いずれも健全性を確認したとしている。

(同)

原子力人材育成関係者協議会が報告書まとめ「中核的機関」設立を提言

原産協会の原子力人材育成関係者協議会(座長＝服部拓也・原産理事長)は、「ネットワーク化」、「ハブ化」、「国際化」を提言する報告書を取りまとめ、5月18日の原子力委員会会合で、報告した。

同協議会は、昨年4月の前回報告書を受け、学習指導要領改訂、原子力工学教育基盤の劣化、急速な国際化の進展など、昨今の状況をとらえ、検討を行ってきた。

報告書では、(1)理系、特に工学系への進学者を増やすための取組の強化、(2)原子力の必要性、安全性などの正確な知識の教育、伝達、(3)原子力の技術、

研究、産業などの魅力、将来性を社会、特に若い世代に伝達し、学生の原子力への志向性を向上、(4)原子力専門教育の体系再構築と充実強化、(5)国際人材の養成、(6)国際展開に対応する人材育成体制の整備、(7)原子力分野の技術継承の仕組みの確立、(8)人材育成活動の機能に応じたネットワーク化やその中心となりコーディネート、コントロールするハブ設立、(9)我が国の原子力育成の体系化と可視化、(10)原子力人材育成を戦略的に進めるための中核的恒常組織の設立——を提言として掲げている。

また、同協議会の「原子力人材育成に関する国際

対応作業会」の報告書についても合わせて、説明がなされ、①国際性ある原子力人材育成の環境整備、②我が国の国際プレゼンスの向上、日本人の海外展開、国際機関派遣、③国際人材育成のためのネットワーク化、④アジア諸国等に対する原子力人材育成——を提言した。

原子力委員会からは海外でのキャリアと日本国内のキャリアのマッチングや、奨学金・研究費助成な

どによる人材の確保について意見があった。

服部理事長は、今回の報告書取りまとめに際し、「日本の工学系教育は各分野では相当高いレベルの育成がなされているが、全体としてまとまりがない」などと指摘し、今年度から産官学が連携し、高等教育機関や研究機関などの原子力専門教育ネットワーク強化のための「中核的恒常機関」を作る計画だと強調した。(同)

JAIF ベトナム連絡事務所が開所式

原産協会は5月26日、ホテル日航ハノイで「JAIF ベトナム連絡事務所」(利光聡所長)の開所式を行った。ベトナムからはミン国会科学技術環境委員長をはじめハイレベルの幹部が参加、坂場三男全権大使も出席し、日本からの出席者を含め、約70名が参加した。

原産協会の服部拓也理事長が挨拶、今秋発足予定の新会社の代表として、東京電力の武黒一郎副社長も抱負を述べた。ミン国会科学技術環境委員長からは、お祝いの言葉とともに、今後の協力強化に対する期待が寄せられた。

(同)

動画配信のご案内

原産協会では、原子力関係の情報を毎月、動画配信(インターネット・テレビ)「Jaif Tv」として、原産協会ホームページ(<http://www.jaif.or.jp/>)から、無料でお届けしている。

2010年5～7月の番組は以下の通り。

・「第43回原産年次大会」レポートと開催地松江市の

紹介(5/17公開)

・新規導入にむけて動きだしたベトナム一原子力発電計画の概要(6/15公開)

・「加速する原子力カルネッサンスー世界の原子力発電開発」(7/15公開予定)

(同)

東京大学グローバル COE, マレーシア国立大学と共同で国際ワークショップを開催

東京大学グローバル「世界を先導する原子力教育研究イニシアチブ」は、5月31日～6月1日、マレーシア国立大学と共催で「Important Considerations for Introducing Nuclear Power in ASEAN: Can Regional Cooperation be Attractive for Nuclear Energy Development?」と題する国際ワークショップ(WS)をクアラルンプールで開催した。

WSには、日本、マレーシア、韓国、豪州、シンガポール、米国、モンゴル、インド、ベトナム、カザフスタン、中国、台湾のパネリスト等約70名が参加し、各国の原子力事情や今後の計画、原子力発電導入・拡大に際して技術および制度的側面(国際

法、核不拡散および核セキュリティ)から検討が必要な事項、また国際・地域協力が希求される事項や



協力の枠組み等についてプレゼンテーションおよび討議が行われた。

本WSを通じ、アジアの国々の原子力関係者の間で、原子力の安全性および法的インフラ整備の観点から、原子力工学および原子力法関連の人材育成

や教育・訓練に関し国際協力が希求されていること、また「核燃料サイクル多国間管理」の重要性については多くの参加者に共有されていることが確認された。

(資料提供：東京大学)

京大原子炉 KUR, 4年ぶりに運転再開

京都大学原子炉実験所の研究用原子炉 KUR (定格出力5,000kW)は5月28日、4年3ヵ月ぶりに利用運転を開始した。KURは、2006年2月23日に高濃縮ウラン燃料を用いた運転を終了し、燃料のウラン濃縮度低減のための各種手続き(原子炉施設設置変更および低濃縮ウラン燃料の製造)を行ってきた。また、運転停止期間中に、原子炉施設の総点検を実施し、施設の健全性を確認するとともに、運転員等の教育訓練を行い、再開後の円滑な運転に向けた準備を進めてきた。

新燃料は、今年3月4日に原子炉実験所に到着。その後、運転再開に向けて各種の検査を経て、5月26日付けで文部科学省による施設定期検査および燃料の使用前検査に合格したことを受け、5月28日に利用運転として医療照射を実施した。6月からは本格的な利用運転を開始しているが、この運転では、出力1MWの運転(約45時間)を主とし、医療照射時のみ出力5MW運転(約6時間)を行うこととしている。

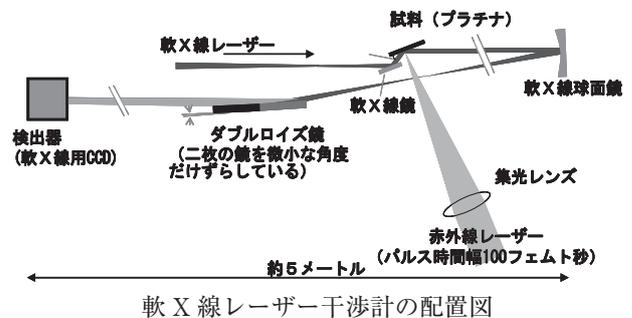
(資料提供：京都大学)

金属表面のごくわずかな変化を精密に観察—将来は原子の凹凸の変化を瞬時に観測できる可能性

東京大学物性研究所先端分光部門と徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部、日本原子力研究開発機構量子ビーム応用研究部門の共同研究チームは、物体表面のわずか1ナノメートル(100万分の1ミリメートル)の凹凸の変化を、10ピコ秒(1,000億分の1秒)という瞬間で観察することができる装置を開発した。

レーザーは光であるため波の性質を持っており、物体から反射されるレーザーの波の形は物体表面の形状によって異なる。その異なる波の相互作用(干渉)を利用して物体表面の形状を観察する装置が「レーザー干渉計」で、これまでも軟X線の波長の短さを利用した高精度の観察ができないか検討されてきた。しかしながら、軟X線の光に使用できる光学素子(鏡やレンズ等)に限られるために、複雑な光学配置(光学素子の配置)を必要とする従来の方法では観察が難しかった。

このため共同研究チームは、2枚の鏡を用いた「ダブルロイズ鏡」と呼ばれる光学素子を用いたシンプルな干渉計の光学配置を考案。この光学配置を採用



することで世界に先駆けて「表面観察用軟X線レーザー干渉計」を開発し、これまでにない高い精度で物体表面の形状変化観察を可能にした。実際に行った観察では、金属表面が赤外線レーザーの照射により融解・膨張していくレーザー加工の初期過程の様子を、1ナノメートルの深さ方向の分解能と10ピコ秒の時間分解能で瞬間撮像することに初めて成功した。

今回開発した軟X線レーザー干渉計は、レーザー加工の初期過程のより詳細な観察や、薄膜生成過程のその場での観察、半導体製造プロセスで重要な極端紫外光(EUV)露光用マスクの欠陥検査等の重要

な産業応用はもとより、物質の構造相転移の動的挙動などの学術的に興味深い対象の観察に役立つ有望な観測手法であるといえる。また、将来的に軟X線検出器の位置分解能が向上すれば、原子1層分の凹凸の変化の様子の精密観測が可能となる。

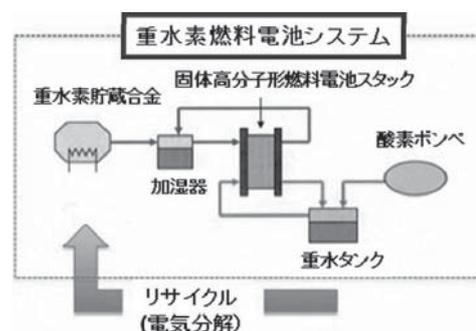
(参考: <http://www.jaea.go.jp/02/press2010/p10061701/index.html>)

(資料提供: 東京大学, 徳島大学,
日本原子力研究開発機構)

重水素を燃料とする高効率燃料電池を開発—海中用動力源への応用に期待

茨城大学工学部と日本原子力研究開発機構量子チーム応用研究部門は共同で、重水素を燃料とする高効率な燃料電池を開発した。現在の燃料電池は、水素を燃料とするものが主流だが、茨城大学と原子力機構では水素ガスの代わりに重水素の貯蔵合金を固体高分子形燃料電池システムに組み込んだ装置を開発し、これまでより発電効率が約4%上昇することを実証した。

重水素は自然界の水の中に0.015%の割合で含まれ地球上に広く存在している。これを燃料電池に用いると酸素と反応して重水となるが放射性物質ではないので、その取扱いに大きな困難はない。また、発電により生成した重水は回収し、別途電気分解にて再び重水素へ変換して繰り返し利用することができる。



なお、深海巡航探査機「うらしま」をもつ海洋研究開発機構では、海中用動力源としての重水素燃料電池の適用可能性の検討を始める予定である。

(参考: <http://www.jaea.go.jp/02/press2010/p10051701/index.html>)

(資料提供: 茨城大学, 日本原子力研究開発機構)

海外情報 (情報提供: 日本原子力産業協会)

[米国]

オバマ大統領、米露協定を議会に再提出—イラン制裁等で共同歩調

米国のB・オバマ大統領は5月11日、2008年9月以降、批准棚上げとなっていた米露原子力平和利用協力協定を議会に再提出した。

ウラン濃縮事業の推進で核開発が疑われるイランに対し、国連安保理で新たな制裁決議採択に向けた共同歩調を強めると共に、米国原子力産業の技術や機器の輸出に道を拓くのが主な目的。ロシア側にとっても、原子力分野における両国のリーダーシップを強化、米国の原子炉への核燃料供給事業でさらなる利益が期待できるなど、米露双方に有益な協定

だ。また、同協定の批准・発効は、昨年5月に調印されたまま手続きが進まない日露協定の発効にも影響があることから、今後の動向が注目されている。

米国はW・ブッシュ大統領時代の08年5月にモスクワで同協定に調印し、議会に提出した。しかし、議会で90日間の継続審議が完了する前の同年9月、南オセチア紛争の勃発にともないロシア軍がグルジアに侵攻。同大統領は協定の承認決定を翻し、議会審議からも撤回していた。

ロシア側では、今月ニューヨークで核不拡散条約(NPT)再検討会議が開催されているのを機に、訪米中のS・リャブコフ外務次官が、オバマ現政権が同協定を米国議会に再提出するよう希望するとの意向を表明。前政権による審議撤回は政治的な事由によるものであり、その内容とは無関係だったと強調

していた。

オバマ大統領も議会へのメッセージの中で、①グルジアでの状況は原子力協定批准に向けた手続上、もはや障害ではなくなった、②イラン問題での米露協調は、そのレベルと範囲に鑑みて同協定の再提出を正当化するに足る——と説明。H・クリントン国務長官やDOEのS・チュー長官、米原子力規制委員会の委員達からも再提出を促されたことを明らかにした。

同大統領はまた、再提出を決めた具体的な理由として、過去1年間に両国が核不拡散および原子力の民生利用分野で協力の度合いを実質的に深めてきた事実を列挙。今年4月に新たな核軍縮条約(新START)に調印するとともに、両国の核兵器解体から出たプルトニウムを効果的に処分するため、2000年に締結した協定の改訂議定書に調印した点を強調している。

両国の原子力協力協定(=有効期限30年間)が発効すれば、米国から原子炉を含めた機器、資機材および技術の対露輸出が可能になる。ただし、機微な技術やその関連施設、重要機器に関する制限データについてはその限りではない。

DOE, アレバの濃縮工場計画に20億ドルの政府融資保証

米エネルギー省(DOE)は5月20日、仏アレバ社がアイダホ州アイダホ・フォールズ近郊で進めている遠心分離法ウラン濃縮施設建設計画に対して、20億ドルの政府融資保証を提供すると発表した。原子力関連の融資保証適用は、2月のボーグル原子力発電所3,4号機建設計画に次いで2件目。燃料サイクル・フロントエンドに割り当てられた融資保証枠20億ドルについては、米国濃縮会社(USEC)が仏アレバ社とともに申請書を提出していたが、同社は昨年、DOEから申請の取下げを指示されており、明暗の分かれる結果となった。

アレバ社の計画は2008年5月に公表されたもので、アイダホ・フォールズの西約18マイルに、処理能力3,300トンSWUの「イーグル・ロック・ウラン濃縮工場」を建設するというもの。昨年5月に仏国のトリカスタンで最初のカスケードが始動したジョルジュ・ベスⅡウラン濃縮工場と同じく、ウレンコ

社から移転されたガス遠心分離・濃縮技術を採用している。総工費は33億ドルで、08年9月にDOEの融資保証を申請したほか、同年末には米原子力規制委員会に建設・運転一括認可を申請。2011年に着工し、14年から操業開始予定だ。

一方、USECの米国遠心分離プラント(ACP)については昨年8月、DOEは「技術的にまだ商業規模に移行する準備ができていない」と指摘。融資保証の申請を取り下げ、規定要件を満たせるよう、さらに12~18か月間の研究開発継続を指示していた。

DOEは原子力発電所の建設計画に対して合計185億ドル、ウラン濃縮施設建設に20億ドルの融資保証権限を持つが、今年2月にはボーグル発電所計画に対して初めて、83.3億ドルの提供を約束。同様の保証を検討していた残り3件を手当てするには、残額だけでは難しい状況だ。このため、DOEのチュー長官は4月28日の議会証言で、2011会計年度が始まる前に原子力関連枠で新たに90億ドルの融資保証を議会に提案すると述べたと伝えられている。また、今回の発表の中でDOEは、07会計年度に規定した融資保証資金から、ウラン濃縮に追加で20億ドルの提供が可能になったと明記。USECは今後の融資保証適用に希望的観測を抱いており、今年の夏にも、申請書を更新する計画だという。

なお、その他の融資保証適用候補としては、カルバートクリフス3号機、V・C・サマー2,3号機、サウステキサス・プロジェクト3,4号機建設計画、との見方が有力だ。

PSEG社, 新規建設計画念頭に事前サイト許可を申請

米国のパブリック・サービス・エンタープライズ・グループ(PSEG)は5月25日、ニュージャージー州で新設する可能性のある原子力発電所の事前サイト許可(ESP)を米国原子力規制委員会(NRC)に申請した。建設・運転一括認可(COL)で建設計画を本格的に進める前にESPを取得。十分な検討期間を設けて、先行するその他の新設計画の進展具合を見極めるとともに、規制条件や地元のエネルギー政策が建設に適していると判断できた段階で計画を決定する方針と見られている。

PSEGが原子炉の新設に適するとして審査を申請

した場所は、同社がニュージャージー州で保有するセーレム (PWR 2 基)、およびホーククリーク (BWR 1 基) 両原子力発電所の隣接区域。隣り合っ立地するこれら 2 発電所の敷地は合計で 300 畝におよび、現在米国内で 2 番目に大きな原子力サイトとなっている。

審査過程においては、地震学、水文学、人口分布、緊急時計画などサイト特有の要因について安全性が評価されるほか、環境面では、原子力発電所の建設工事と運転による影響が見積られる。また、申請に際して PSEG は、複数の原子炉設計の採用が可能になる「プラントパラメータ包絡 (PPE)」を使用。これは実際に建設する原子炉設計の代替情報となる数値体系で、それぞれのパラメータの上下限を反映している。これにより、同社は採用原子炉技術を選択せずに当該サイトで今後の開発資格が与えられることになる。

ブルーリボン特別委員会に小委員会設置

米国でユッカマウンテン計画に替わる使用済み燃料および高レベル放射性廃棄物 (HLW) の管理処分方策を検討している政府のブルーリボン (特別) 委員会は 5 月 25、26 の両日、第 2 回会合を開催し、3 つの小委員会を設置した。

小委員会の設置は 3 月の第 1 回会合で提案されていたもので、検討テーマ別に (1) 原子炉と燃料サイクル技術、(2) 廃棄物の輸送と保管、(3) 廃棄物の処分——に分かれている。(1) の共同議長としては、原子力と再処理の強力な推進論者として知られる P・ドメニチ元上院議員と、先進原子炉システムや廃棄物処理などの専門家の P・ピーターソン・カリフォルニア大学原子力工学部長が就任。また、(2) の共同議長は R・メザブ元米原子力規制委員会 (NRC) 委員長と、P・シャープ未来資源研究所所長が、(3) の共同議長は C・ヘーゲル元上院議員と J・ラッシュ世界資源研究所 (WRI) 所長が務めることになった。

同委は今後も、2 か月ごとに 2 日間ずつ開催されるほか、合間の月には電話会議での開催予定となっている。

NRC 新委員就任で 5 委員が揃う

米原子力規制委員会 (NRC) の B・ヤツコ委員長は 4 月 23 日、G・アポストラキス氏の委員就任を宣誓した。

アポストラキス氏は、同月 1 日付けで一足先に新委員に就任した W・マグウッドおよび W・オステンドルフの両氏とともに昨年オバマ大統領が委員に指名していたもの。ヤツコ委員長および K・スピニッキ委員に加えて新委員 3 名が就任したことにより、NRC は 2007 年以来初めて、5 委員の定員枠がすべて埋まったことになる。

[カナダ]

AECL の NRU 炉の運転再開は 7 月末頃

カナダ原子力公社 (AECL) は 5 月 19 日、医療用放射性同位体 (RI) 生産炉である NRU 炉の修理状況について、溶接作業の約 8 割が完了したことを明らかにした。

同炉は昨年 5 月の重水漏れ以降、修理作業中となっており、昨年 12 月から溶接作業を中心とする最終修理段階に入った。現時点で溶接の必要な 10 か所のうち 9 か所までの作業を完了しており、溶接とそれともなう非破壊検査の 77% を終えたとしている。

モックアップ装置を使った最終溶接箇所への溶接信頼性試験も終了したことから、遠隔溶接装置を実機である NRU 炉の圧力容器に装備。現在、溶接箇所の洗浄と溶接、それに続くアルミ板の接着など、一連の作業を行っている。また、並行して、19 段階の再起動手続きも専門チームが始めており、運転再開は 7 月末頃になると予想している。

[英国]

新政権も原子力新設計画続行

英国で 5 月 6 日に行われた総選挙では、いずれの政党も過半数の票を得られず、第一党となった保守党と第三党の自由民主党による連立政権が 12 日に誕生した。

同日公表された両党の連立合意によると、自由民

主党は原子力反対の立場は保持するものの、新たな原子力発電所の建設を可能にする国家計画声明(NPS)の国会承認手続きは容認すると明記。労働党前政権が進めていた建設計画に大きな変更はないと見られている。

自由民主党は選挙期間中のマニフェストに再生可能エネルギーへの大型投資計画の実施を掲げていたほか、原子炉の建設には明確に反対の立場。13日には同党所属の5閣僚を含めた内閣が発足し、原子力を管轄するエネルギー・気候変動省(DECC)担当大臣にも同党のC・ヒューン氏が任命された。だが、同氏は「新規原子炉の建設に公的な補助金を出さない」という点で保守党の見解とは完全に一致している」と強調。「この方法で本当にやれるのであれば進めてもよいし、両党の立場を健全に保てるのなら進むべき道だ」と述べたと伝えられている。

なお、DECCの閣外相には、原子力新規立地を推す保守党のG・ベイカー議員とC・ヘンドリー議員が任命された。

[トルコ]

アックユ原子力計画にロシアが建設・運転に協力

トルコ政府は5月12日、アックユ地方のメルシン近郊に計画している同国初の原子力発電所の建設・運転でロシアとの協力合意文書に調印した。

完成した発電所はひとまず、ロシアの100%出資で設立する企業の保有となり、徐々にトルコ企業およびその他の国を出資者として募集する方式。原子力発電インフラのない新規導入国であるトルコに合わせて全面的な支援を約束するものだが、これまでの方式と異なり、完成後も発電所の運転や運営管理までロシアが責任の一端を担うというやり方で、同国が今後も受注を拡大していくことが予想される。両国の合意文書は今後、双方の議会の承認を待って実施に移される計画だ。

今回の合意はロシアのD・メドベージェフ大統領のトルコ訪問に合わせて調印された17件の両国協力合意文書の一つ。ロシアの総合原子力企業であるロスアトム社の発表によると、ロシアは今後、出力120万kWのAES-2006シリーズのロシア型PWR(VVER)を4基、2016～19年までにアックユで建設

するが、総工費の200億ドルはすべてロシア側が負担する。

協力項目は設計・建設のみならず、インフラ整備や運転、発電電力の販売にまで及び、発電所の防護や保守、改修についてもロシアが支援。さらに、今後の協議次第ではトルコにおける核燃料生産施設の建設や廃棄物処理処分、廃止措置、燃料サイクル施設の設置と操業まで協力を拡大する可能性があるという。

ロスアトム社傘下のアトムストロイエクスポート(ASE)社が原子炉を完成させた後は、ロシアの100%出資で事業会社を設立し、同発電所を保有。建設費回収のためにトルコ企業と電力供給契約を結ぶほか、トルコおよびその他の国を出資者として募集し、ロシアの所有権を51%まで下げていくとしている。

[UAE]

ブラカを新規導入原発の候補地に選定

アラブ首長国連邦(UAE)の首長国原子力会社(ENEC)は4月22日、同連邦初の原子力発電所建設候補地として、アブダビ首長国の西部、ルワイスの西南西約53キロメートルに位置するペルシャ湾岸のブラカを選定した。これに伴い、2種類の認可申請書と環境評価を管轄する規制機関に提出しており、サイトとして承認されれば、2017年の初号機運転を目指して作業を進める。

08年半ばに開始したサイト評価で、ENECは国際社会の安全基準に照らして作業を実施。連邦原子力規制庁(FANR)のほか、電力研究所および米原子力規制委員会(NRC)、国際原子力機関(IAEA)のガイダンスに基づいて、地震履歴や人口密集区域からの距離、大量の取水の可能性、既設の送電網との接続、インフラ状況などを鑑みた結果、ブラカの約13平方キロメートルの敷地を選定した。

FANRに提出した申請は、1号機から4号機までの(1)サイト準備作業認可と(2)安全系機器の製造・組立に関する限定認可。(1)により、ENECは安全系とは無関係のサイト準備活動を開始することができる。1号機の運転日程に合わせて、7月5日までの認可発給をFANRに要請している。

また、(2)では圧力容器や蒸気発生器(SG)、加圧器、冷却ポンプなどについて、主契約者である韓国電力の下で斗山重工業が製造可能になるとしている。ENECでは今年末にも、これらの製造を開始したい考えた。

このほか ENEC は、戦略的環境評価(SEA)をアブダビの環境庁(EAD)に提出。SEAは建設計画が環境に及ぼす影響について、モニタリング・プログラムや影響軽減対策などを実施するマスター・プラン的な位置づけとなっている。

なお、今回のサイト決定にともない、ENECでは数週間以内に地元住民との公聴会を開催。サイト選定作業と建設計画、および同計画による地元への経済効果と雇用機会創出に関する協議の場とする予定である。

[国際]

NPT再検討会議・核保有国が共同声明、イランは米批判

核兵器を保有する米露英仏中の5か国は5月5日、ニューヨークで開催されていた核不拡散条約(NPT)再検討会議で共同声明を発表した。

米国のオバマ大統領が提唱する「核のない世界」の実現に向け、20項目の新たな取り組み決意を示したもので、イランと北朝鮮の非協力的な態度を名指し

で非難。

一方、原子力の平和利用に関しては、あくまでも「すべての加盟国にとって不可分の権利だ」と強調しており、3月に仏国政府がパリで開催した新規導入国に対する協力会議での成果を歓迎。加盟国への核燃料供給を保証するため、3月に国際原子力機関(IAEA)とロシアが合意した国際濃縮ウランセンター構想のさらなる進展を促した。

同会議では3日にIAEAの天野事務局長も登壇し、「イランから必要な協力が得られないため、同国のすべての核物質が平和利用目的か否かを確認できない」と指摘。今後もイランに対しては、IAEAの包括的な保障措置協定、およびIAEA理事会と国連安保理による決議の完全な実施に向けて措置を講じるよう求めていくとしている。

一方、イランのM・アフマディネジャド大統領は一般演説で、核軍縮が進まない理由には、一部の国の軍縮政策やNPTの原理の不均衡さ、無効化が挙げられると主張。米国については特に、「核を実際に使用し、イランを含めた他国への威嚇に使っている」と非難した。

また、原子力発電による燃料コストの節約効果にも言及しており、同国の活動が平和利用目的であることを強力にアピール。5日に行われた記者会見では、「イランはIAEAとNPTの積極的なメンバーであり続ける」と述べた。





国際放射線防護委員会(ICRP)2007年勧告の国内法令取入れに対する若手独自の観点からの考え

電力中央研究所 荻野 晴之

我が国における放射線障害防止に係る現行の諸法令は、国際放射線防護委員会(ICRP)のICRP 1990年勧告の放射線防護に対する考え方が基礎となっている。ICRPは2007年、17年ぶりの主勧告の改訂を行い、ICRP 1990年勧告に代わるICRP 2007年勧告を公表した。これを受け、現在、文部科学省に置かれた放射線審議会により、ICRP 2007年勧告の国内法令取入れに関する審議がなされている。本稿では、放射線審議会における検討の中でも重要な事項として挙げられている「女性の線量限度」、「電離健康診断」、「緊急時被ばく」、「監視区域」、「線量拘束値」について、放射線防護に携わる若手の考えを述べさせていただきたい。

I. はじめに

まず本題に入る前に、著者らが所属する日本保健物理学会(Japan Health Physics Society : JHPS)若手研究会(以下、若手研)について紹介させていただきたい。若手研はJHPSに所属する35歳以下の有志約40人で構成される研究団体である。本会に所属する研究者または技術者の各自の活動は、放射線防護、環境放射能、線量評価、遮へい計算等の保健物理分野に強く関連している。

若手研の主な活動は、以下の2項目に整理される。

- (1) 保健物理分野の第一線の専門家を講師としてお招きし、保健物理に関連する最近の話題を議論し合う「若手勉強会」などを開催し、参加者間で情報交換を行う。
- (2) 保健物理に関連する国内外の会議及び学会誌を通じ、若手研の活動報告や、近年特に注目すべき保健物理分野の話題に対する若手の考えを発表する。

若手研は、これらの活動を通じて、JHPSの学会員間およびその他の関連する学術団体との情報交換を積極的に行い、我々の活動の範囲を拡大し、今後の保健物理分野のさらなる発展に貢献していきたいと考えている。

本稿で取り上げた話題は、2010年3月5日に実施した「若手勉強会」で議論された題材である。国際放射線防護委員会(International Commission on Radiological Protection : ICRP)2007年勧告(pub.103)の国内法令への取入れに係る議論が放射線審議会を中心に今後、展開されていくことに際し、日本原子力学会誌「ATOMOS」を通じて、多くの原子力・放射線分野の関係者に若手の考えが周知されれば幸いである。

Opinion of Young Researchers about Implementation of New ICRP Recommendation in Domestic Laws : Haruyuki OGINO.

(2010年 5月17日 受理)

II. 国際放射線防護委員会(ICRP)と放射線審議会

若手の考えを述べる前に、放射線防護基準の策定について重要な役割を果たす国内外の組織として、ICRPと放射線審議会について簡単に触れさせていただきたい。ICRPは、専門家の立場から放射線防護に関する勧告を行う国際学術組織であり、ICRPが公表する勧告は、強制力はないものの、世界各国における放射線防護に係る技術的基準の考え方の基礎とされている。一方、我が国では、「放射線障害防止の技術的基準に関する法律」に基づき、放射線障害の防止に関する技術的基準の斉一を図ることを目的として、文部科学省に諮問機関として「放射線審議会」が設置されている。現行の放射線障害防止に係る諸法令は、ICRP 1990年勧告(pub. 60)の考え方に国内の実状を斟酌した結果を示す意見具申書「ICRP 1990年勧告(pub.60)の国内制度等への取入れについて(平成10年6月)」が基礎となっている。

ICRPは、1990年勧告以降も、ラドン-222に対する防護や放射性廃棄物の処分等の放射線防護に関係する個別の分野を対象とした勧告を数多く公表している。2007年12月には、これらを統合する形で、勧告の中でも主勧告と呼ばれるICRP 2007年勧告を公表した。これは、ICRP 1990年勧告に代わる重要な文書として位置づけられている。

放射線審議会はICRP 2007年勧告の公開以降、ICRP 2007年勧告の国内法令取入れについて、1990年勧告から2007年勧告への変更箇所のみならず、1990年勧告の国内法令取入れ以降の国内制度の状況等を踏まえた幅広い検討を行うため、基本部会を設置している。これを受けて基本部会は、平成22年1月に「ICRP 2007年勧告の国内制度等への取入れに係る審議状況について—中間報告」(以下、中間報告)を公開している。

また、放射線審議会では最近まで、ICRP 2007年勧告取入れの審議に先立ち、放射線審議会基本部会報告「放射性固体廃棄物の浅地中処分における規制除外線量について(昭和62年12月)」の見直しが優先して審議され、平成22年1月に、昭和62年の基本部会報告が約22年ぶりに全面的に見直され、ICRPや国際原子力機関(IAEA)と整合する考え方が示されたことも、ICRP 2007年勧告取入れの審議状況と並んで注目すべき点である。

Ⅲ. 若手が独自の視点で考える

若手研では、より多くの放射線防護に携わる若手がこのような国内外の最新動向に触れ、若手の考えを自由に交換することを目的として、ICRP 2007年勧告に関する若手勉強会を開催した。著者らは、当日の議論を取りまとめ、勉強会後には当日参加できなかった若手研メンバーからも若手研メーリングリストを通じて広く意見募集を行うことで、若手の考えについて検討を深めた。ICRPは、2007年勧告を策定するにあたり、ウェブや各地域における説明会を通じて、利害関係者(ステークホルダ)の関与も積極的に取り入れた形で、国際的な意見交換を行い、透明性を十分に確保してきた。また、放射線審議会の意見具申も、ICRP勧告の内容をそのまま取り入れるものではなく、国内の情勢等も踏まえて検討されることになっている。このことからわかるように、放射線防護を考える上では、放射線被ばくとその健康影響に関する科学的知識だけでは不十分であり、社会的・経済的側面も十分に考慮することがきわめて重要であることがわかる。

このような観点から、ICRP 2007年勧告の国内法令取入れに際しては、放射線防護に携わる若手の考えにも耳を傾けていただくことができれば甚だ幸いである。以下、放射線審議会における検討の中でも重要な事項として挙げられている「女性の線量限度」、「電離健康診断」、「緊急時被ばく」、「監視区域」、「線量拘束値」をテーマとして取り上げ、ICRP 2007年勧告と国内制度の相違について整理した上で、著者らの考えを述べさせていただきたい。

1. 女性の線量限度

現在の国内法令において、(妊娠の可能性のある)女性の線量限度は、3ヶ月当たり5 mSvと定められている。一方で、ICRP 2007年勧告では、上述の女性に対する特別な線量限度の勧告を行っていない。両者の相違は、女性が妊娠に気づかない時期の胎児の防護基準に対する判断の違いである。ICRP 2007年勧告は、胎児の子宮内被ばくの奇形誘発について100 mGy前後に線量しきい値があると判断している。委員会によって勧告された線量限度を含む放射線防護体系のもとでは、子宮内被ばくは100 mGyを十分下回り、100 mGyを十分下回る線量で

は、奇形誘発・精神遅滞を含む影響は実際的にはないと判断している。これを根拠として、ICRPは女性に対して特別な線量限度を勧告していない。

一方で国内法令では、現行の職業被ばくに対する一般の線量限度(5年間に100 mSv、ただし、いかなる年度の1年間にも50 mSvを超えない)の下では、妊娠に気づかない時期の女性作業者が50 mSvまで被ばくすることが起こりうることとなり、胎児の被ばくが一般公衆の防護基準を大きく超えるおそれを否定できないとして、女性に一般より厳しい線量限度を設けている。女性の被ばく線量限度についてICRP 2007年勧告を適用することは、原子力施設において女性が働きやすくなる可能性があるメリットを持つ一方で、胎児の被ばくについても考慮する必要がある。このため、放射線審議会基本部会においても、ICRP 2007年勧告の国内法令取入れに対し、妊娠の可能性のある女性が高い被ばくをする機会が実際にどの程度ありうるのかが論点となっている。

上述の論点を踏まえ、以下のように考える。

- (1) 特別な線量限度によって女性の作業場所が限られてしまうことは否めない。
- (2) 一方で、胎児の防護は適切に行っていく必要がある。
- (3) 科学的側面だけでなく、社会的側面も考える必要があり、いずれの決定を行った場合でも、その決定理由について説明責任をしっかりと果たすことが重要である。(東京大学・鈴木ちひろ)

2. 電離健康診断

ICRP 2007新勧告の第185項では、放射線業務従事者の特別な健康診断について、“管理区域内で作業する放射線業務従事者は、時折、特別な健康診断を受けるかもしれない”と述べられている。一方、現行の国内法令においては、「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律(放射線障害防止法)」、「電離放射線障害防止規則(電離則)」、「薬事法」等で、放射線業務従事者の定期的な健康診断について定められている。健康診断で実施する検査項目は、①被ばく歴の有無(被ばく歴を有する者については、作業の場所、内容及び期間、放射線障害の有無、自覚症状の有無その他放射線による被ばくに関する事項の調査およびその評価)、②血液検査(白血球数及び白血球百分率の検査、赤血球数の検査及び血色素量又はヘマトクリット値の検査)、③白内障に関する目の検査、④皮膚の検査である。これらの検査項目の中で、②、③、④を実施するか否かについては、放射線障害防止法と電離則で表現が異なっているものの、医師の判断に基づいて決定されることになる。

放射線審議会基本部会でICRP 1990勧告の取入れを扱った、「放射線業務従事者の健康診断のあり方に関するワーキンググループ」の議論の争点のひとつに、放射線業務従事者の健康診断の頻度についての議論がなされ

ている。すなわち、放射線障害防止法が年1回としているのに対し、電離則等では6ヵ月以内ごとに1回としており、整合が取れていない。ICRP 2007年勧告の取入れに関する放射線審議会の検討の方向性としては、線量限度が担保されているのであれば、定期的な健康診断は必要ないとしている。

このような流れを踏まえ、我々は以下のように考える。

- (1) 線量限度以下の確定的影響が発生するレベルに達しない被ばくで健康診断を実施する必要性はない。
- (2) 定期健康診断を継続する場合、検査を実施するための技術的な判断基準を設け、報告徴収の義務のある一定以上の被ばくを受けた者のみ健康診断を行う等健康診断を行う数量を制限するべきである。
- (3) 将来的に有益となるかもしれない疫学上の統計として、必要であるという確かな根拠があるならば、定期的な健康診断は継続すべきである。

(日本原子力研究開発機構・山外功太郎)

3. 緊急時被ばく

緊急時被ばくに対し、ICRPの設定する線量の制限と現在の日本の法令に取り入れられている線量限度との間にかなりの差がある。両者の違いを認識することは、緊急時における線量限度のあり方を考察する際に重要となる。

ICRP 2007年勧告では、緊急時被ばくの職業被ばくに対する参考レベルについて、人命救助のように、救助者のリスクより高い利益が存在する場合には、一般的な放射線業務従事者の線量限度の枠を超え、緊急救助作業では500 mSv または1,000 mSv、救助作業では100 mSv 以下、のようにグレード別に線量の制限を勧告している。ICRP 1990年勧告においても、人命救助に関する線量は「制限なし」としてきた。それに対し、日本の現行の緊急時における線量限度は、放射線業務従事者(ただし、妊娠不能と診断された者および妊娠の意志のない旨を申し出た者以外の女子を除く)が緊急作業を行う場合、実効線量で100 mSv、眼の水晶体の等価線量で300 mSv、皮膚の等価線量で1,000 mSv とされている。実効線量で示された線量限度100 mSv は、人命救助を含めた緊急作業に対し、ICRP 2007年勧告での救助作業に対する参考レベル100 mSv 以下と同レベルに設定されていると理解される。放射線審議会基本部会では、現行の線量基準や指標の位置づけ(参考レベルに該当するか否か)について整理が必要であると、ICRP 2007年勧告の示す値を取り入れる方向で検討が必要であることを挙げている。

このような流れを踏まえ、以下のように考える。

- (1) 緊急時被ばくと計画被ばくは別であるにもかかわらず、緊急時被ばくの人命救助に100 mSv の線量限度を設けることは不適切である。
- (2) 緊急時の初期に行われる人命救助に関しては線量限度を設けず、後処理等では線量限度を設けること

が適切である。

- (3) 緊急時に救助作業を行う人が放射線被ばくについて正しく理解することがきわめて重要である。

(京都大学・藤原慶子)

4. 監視区域

ICRP 2007年勧告において、監視区域は、「作業条件が監視の下にあるが、通常は特別な防護手法を必要としない区域」と定義されている。ICRP 1990年勧告においても、監視区域は、「作業条件は監視のもとにあるが、通常は特別な手順を必要としない区域」として定義されていたが、放射線審議会においてその後、詳しく議論されておらず、いまだに国内法令には取り入れられていない。そのため、現在の国内制度には監視区域の明確な規定はなく、概念は異なるが類似のものとして、例えば原子炉等規制法では管理区域、保全区域、周辺監視区域といった区域が記載されている。今後、仮に国内制度に監視区域が取り入れられると、放射線関連施設(以下、施設等)に対し、いくつかのメリット、デメリットが想定される。

メリットとしては、扱う放射性同位元素の濃度が低く、汚染の可能性がほとんどない施設等の管理区域について、もしその区域を監視区域と定義すれば、従事者の厳密な放射線防護教育、個人線量管理、および管理区域内の放射線モニタリングの負担が軽減される可能性がある。しかし、先述したICRP 2007年勧告にも書かれている監視区域について、「特別な防護手法を必要としない」の「特別な」とはどのような場面を指すのか、またその「手法」とは具体的にどのような手法であるのか、いまだにその定義は曖昧である。そのため、デメリットとして、施設内のどこまでの範囲を監視区域とすべきなのか、その境界線の設定が難しく、監視区域の範囲の設定の仕方によっては、更なる放射線モニタリング、従事者の教育等の負担がさらに増える恐れがある。

そこで我々としては、以下のように考える。

- (1) 今すでに管理手法が確立された施設等を除き、これから新規に設置する施設等の管理区域の一部またはすべてを監視区域として適用させた方が、より簡便に最適化された施設に設計できる可能性がある。
- (2) 施設等で扱うRIの量や濃度レベルに応じて、監視区域の大きさ・規模を定め、より合理的に監視区域の範囲を設定すべきである。

(日本原子力研究開発機構・河野恭彦)

5. 線量拘束値

ICRP 2007年勧告において、線量拘束値は、「計画された被ばく状況(患者の医療被ばくを除く)における線源からの個人線量に対する予測的かつ線源関連の制限であり、その線源に対する防護の最適化における予測線量の

上限値」と定義されている。重要なことは、線量拘束値は、これを超えれば、与えられた線源に対して防護が最適化されているとはいえず、対策を取らなければならない線量レベルであるが、決して規制上の限度とはならない、ということである。

放射線審議会基本部会は、現行の国内法令の中には線量拘束値と類似のものが考えられるとして、職業被ばくについては管理区域内の人が常時立ち入る場所の線量限度(1 mSv/週)や、公衆被ばくについては事業所境界の線量限度(0.25 mSv/3ヶ月)や原子力安全委員会が示した発電用軽水型原子炉施設周辺の公衆の受ける線量目標値(0.05 mSv/年)、放射線審議会基本部会が示した放射性固体廃棄物埋設値の管理期間終了後の公衆の線量基準(0.3 mSv/年を超えない値)等を挙げている。このうち、放射線審議会基本部会は、職業被ばくへの線量拘束値の国内制度への取入れは困難であり、規制当局の関与や、値の設定を対応する必要はないことを示している。一方、公衆被ばくについては、線量拘束値の具体的な値の検討が必要とし、他基準(線量限度、排気/排水濃度限度、事業所境界の線量限度等)との関係を整理し、最適化の方法や線源をどのように考えるかが論点となっている。

このような整理を踏まえ、以下のように考える。

- (1) 線量限度以外に線量を制限するような規制上の基準は不要である。
- (2) 最適化のための拘束値をあたかも規制上の限度のように用いることは、ICRP が勧告する線量拘束値の考え方の本質ではないため、避けるべきである。
- (3) 最適な防護が図れるよう、対象となる線源を限定すべきである。(電力中央研究所・荻野晴之)

Ⅳ. おわりに

本稿では、著者ら放射線防護に携わる若手の意見を自由に述べさせていただいたが、ICRP 2007年勧告に代わる次の ICRP 20 XX 年勧告が公表される時、我々若手が第一線で活躍を期待される様々な立場となっていることだろう。今の段階から、1990年勧告の国内法令取入れ時

に積み残された課題や2007年勧告で示された考え方がどのように議論され、関連する国内外の放射線防護に係る組織がどのような活動を展開し国際的な文書や国内の関連法令が整備されていくのか、国内外のダイナミックな動向に意識を高く持ち続けることが有用であると考えている。そして、放射線防護体系を単なる放射線安全だけの問題と捉えず、原子力安全としての統一的な安全基準原則に則り、科学的根拠に基づいた基準を構築していくことこそが、我々の目指す放射線防護体系であると信じている。

最後に、意見を取りまとめるにあたり協力して下さった若手研究会の皆様へ感謝の意を示すとともに、本投稿をきっかけに、原子力安全に関わる若手の交流がより一層深まることを願って、報告の結びとさせていただきます。

著者紹介

荻野晴之(おぎの・はるゆき)
(財)電力中央研究所 原子力技術研究所
放射線安全研究センター
(専門分野/関心分野)放射線防護/クリアランス、線量評価/表面汚染

河野恭彦(こうの・たかひこ)
(独)日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター
(専門分野/関心分野)放出放射能/放射化学、放射線防護/放射線管理

山外功太郎(やまもと・こうたろう)
(独)日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター
(専門分野/関心分野)放射線防護/放射線管理

藤原慶子(ふじわら・けいこ)
京都大学 原子炉実験所
(専門分野/関心分野)放射線管理、環境放射能測定、研究炉運転

鈴木ちひろ(すずき・ちひろ)
東京大学大学院 工学系研究科
(専門分野/関心分野)放射線計測、線量評価

世界の高速炉サイクル技術開発の動向 第1回

加速する高速炉開発：2020年に商用炉の運転開始

福井大学 竹田 敏一,

日本原子力研究開発機構 佐賀山 豊, 日本原子力発電(株) 巽 良隆

燃料を消費しながらその燃料を効率よく生み出す高速炉の開発が、各国で加速してきた。ロシアとインドでは商用炉の運転開始目標を2020年に定め、中国は2030年頃、日本、フランス、韓国は2040～50年の実用化をめざしている。その中でもインドと中国は、今世紀半ばまでに200 GWeを超える高速炉を導入し原子力発電の主流とする国家戦略を打ち出した。この連載では、国際原子力機関(IAEA)が2009年12月に京都市と敦賀市で開催した国際会議(FR 09) “International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles—Challenges and Opportunities”での議論を中心に、各国の高速炉とその燃料サイクル技術(高速炉サイクル技術)の開発動向と技術開発の現状、そして各国がかかえる重要課題について、3回にわたって紹介する*。

年も押し迫った2009年12月、京都市と敦賀市で開かれた国際会議の参加者は、小さな興奮に包まれていた。IAEA主催で日本原子力研究開発機構がホストを務めて開いた高速炉システムに関する国際会議(FR 09) “International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles—Challenges and Opportunities”が、それである。この会議は1991年の第5回京都会議を最後に中断していたが、実に18年ぶりに再開された。

この会議が開かれた背景には、国内外での高速炉開発機運の高まりがある。そして、その会合で最も注目されたのが、ロシアと中国、そしてインドの動向だ。ロシアは建設中の実証炉 BN-800(880 MWe)に続く商用炉 BN-1200(1.22 GWe)の運転開始目標を2020年に定め、インドは2023年までに6基の商用炉を、また中国も2030年までに商用炉を運転開始させるという野心的な計画を打ち出すと、一部の参加者からは驚きと嘆息の声が上がった。FR 09での議論を中心に各国の高速炉サイクル技術

Trends of Fast Reactor Cycle Technology Development in the World No.1 ; Accelerating Fast Reactor Development : Start of Operation of Commercial Reactors in 2020 : Toshikazu TAKEDA, Yutaka SAGAYAMA, Yoshitaka TSUTSUMI.

(2010年 5月31日 受理)

*本連載では、以下を予定している。

第2回 各国のナトリウム冷却高速炉サイクル技術開発の現状と展望

第3回 革新的なナトリウム冷却高速炉サイクル技術と開発課題

の開発動向を紹介していくこの連載では、今回のFR 09の意義をIAEAから改めて紹介したうえで、まず、各国の動向の大きな説明から始めることとする。

FR 09の意義

エネルギーの未来に関して可能性のある多くのシナリオでは、原子力の重要な役割が予見されている。世界人口の増加する中で、先進国と発展途上国のエネルギー消費の著しいアンバランス、持続する世界的な経済発展、温室効果ガス排出への懸念、高騰する化石燃料価格、さらに、エネルギー供給保障への懸念は、いま高まっている原子力への期待の原動力となっている。

世界のエネルギーミックスの中へ原子力が大規模に受け入れられるかは、経済性、安全性、天然資源の見極め、廃棄物軽減、核不拡散および国民の支持の観点から、持続可能性を高める重要な推進力になれるかどうかによる。高速スペクトル炉(高速炉)とそのリサイクルシステムは、この持続可能性を大幅に増大させる。高速炉は、核分裂性燃料の生産や廃棄物発生量とその環境影響の軽減に柔軟に対応できるため、原子力の長期的オプションとして期待されている。

今回の連載記事に見られるように、高速炉および関連する燃料サイクル研究や技術開発は、多くの国々の研究・産業機関、および大学で再び重要課題となっている。持続的な発展のために原子力利用の恩恵を最大限に引き出すには、技術革新が重要である。高速炉の技術革

(IAEA・Alexander Stanculescu)

新は、幅広い科学技術分野(例えば、核データ、原子炉物理、工学設計、手法の評価・検証等)で進められている。日本の「もんじゅ」と「常陽」、インドのPFBR、中国のCEFR、ロシアのBN-800などが、今後二、三十年にわたって豊富な炉物理、炉工学的成果や運転経験のデータを生み出すであろう。これらのデータを活用し、将来の高速炉設計を改善するために必要なフィードバックを提供する国際的な共同研究および技術開発への取り組みは、必須である。特に、理論的および実験的ベンチマークを活用したデータとコンピュータコードによる信頼性評価・検証・的確化(V&V&Q)は、運転中あるいは運転予定の高速炉への国際協力が最も有益になる領域である。IAEAは、国際協力を不可欠なものとして捉え、専門知識を蓄積、活用して相乗効果を高めるための枠組みを提供し、高速炉開発に関わるメンバー国に利益をもたらすようにしている。

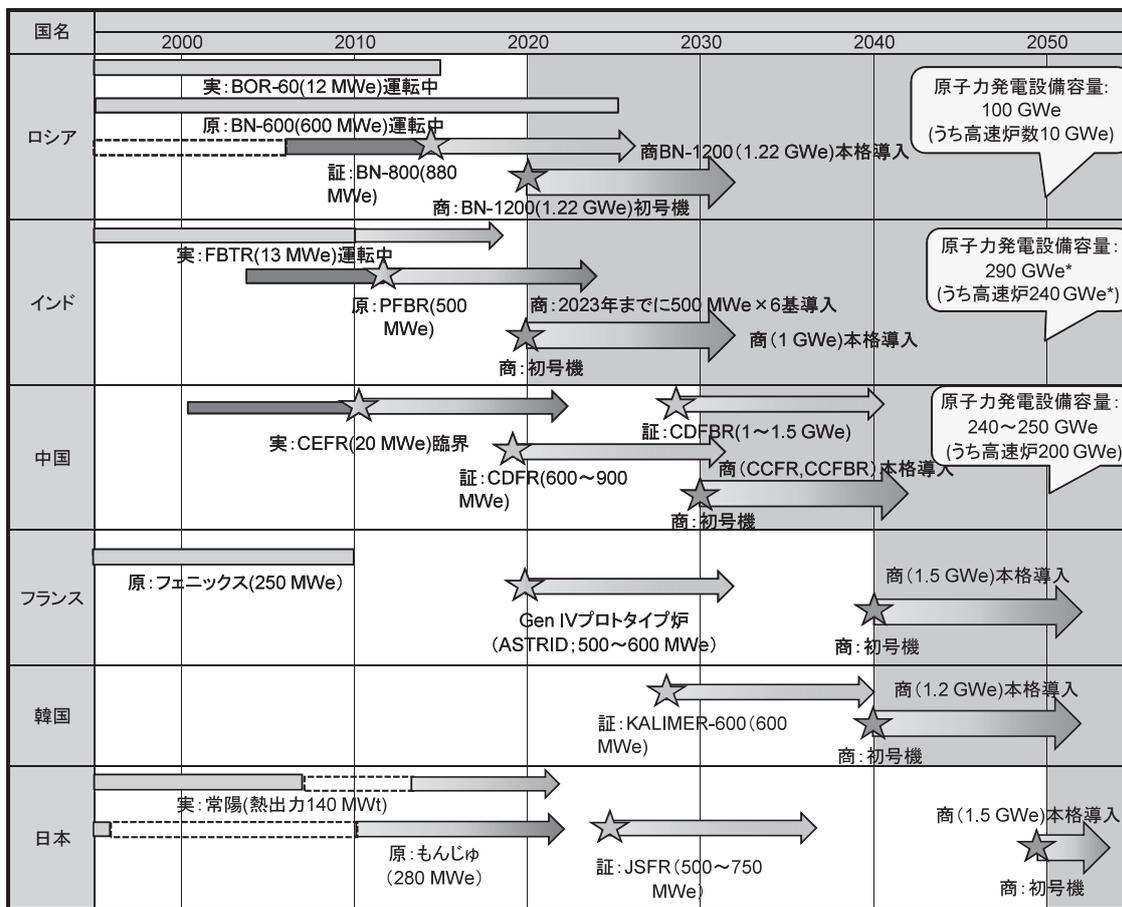
今回の会議では若者を含めて高速炉開発の位置づけ、課題や国際協力の重要性などについての認識を共有できた¹⁾。この日本での会議を端緒として高速炉システム国際会議を3年おきを目途に、IAEA主催で関係国の間で開催していきたい。

先進的な位置を占めるロシア

高速炉開発に熱心に取り組んでいる国は現在、世界で6ヶ国ある。まず、それらの国々の高速炉開発計画の概要を整理しておこう(第1図)。この図からもわかるように、高速炉の開発に最も先進的に取り組んでいるのが、ロシア²⁾だ。

そのロシアは、環境問題と化石燃料への依存軽減の観点から、原子力を推進している。2030年頃には国内電力需要の約20%(52~62 GWe)を原子力で賄う計画を持つ。国家経済の近代化と技術革新については、大統領によって重点5課題が選定されており、その中に原子力開発が入っている。また2020年までを展望した「連邦特別プログラム」でも、軽水炉の海外展開とともに高速炉サイクルの活用が最も重要とされている。

これまでに世界で数多くのナトリウム冷却高速炉(SFR)が運転されてきており、その運転実績の累計は約400炉・年に達する。その中でロシアは、その約35%を占める140炉・年もの豊富な運転経験を有している。現在、SFR 実験炉 BOR-60(12 MWe)と原型炉 BN-600を



実: 実験炉、原: 原型炉、証: 実証炉、商: 商用炉、MWe/GWe: 電気出力、MWt: 熱出力 ☆: 運転開始を示す。
 (注)インドの2050年の高速炉を含めた原子力発電設備容量は暫定値(海外からの軽水炉の輸入量を見込んで現在見直し中とのこと)

第1図 各国の高速炉開発計画の概要

運転している。BN-600は、1980年の営業運転開始以降、平均75%程度の安定稼働率を達成し、故障率の減少、信頼性向上に自信を見せている。建設中のBN-800用の混合酸化物燃料にはペレット燃料と乾式再処理とセットになる粒子振動充填燃料が考えられている。

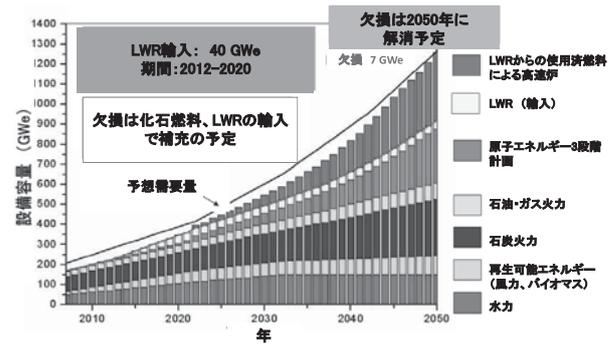
また、並行して、将来の局地利用に可能な小型炉の開発にも力を入れている。原子力潜水艦で利用実績のある鉛ビスマス冷却の100 MWeの小型高速炉(SVBR-100)がそれである。さらに窒化物燃料鉛冷却高速炉(BREST)の開発も進めている。これらは、化学的に安定な冷却材の利用により、安全性を追求したものとなっている。高速炉の導入シナリオは、2020年の商用炉BN-1200の運転を皮切りに、燃料製造や再処理の技術を実証しながら積極的に推進するとしている。

(福井大学・山口勝久)

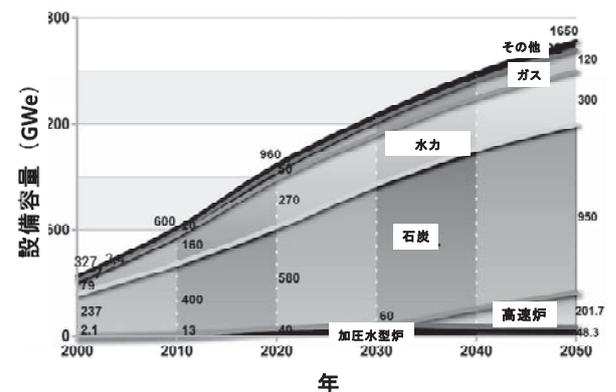
早期実用化をめざすインドと中国

世界第2の人口大国であるインド³⁾では近年、工業発展がめざましく、電力需要が急速に伸びている。その需要を賄う電源として、原子力発電、とりわけ高速炉が重要な位置を占めている。インドは3段階の原子力開発を進めており、まず天然ウラン燃料を用いた重水炉を運転する。その使用済燃料の再処理によりプルトニウムを回収し、第2段階の高速炉に使用する。この高速炉で増殖したプルトニウムや、海外から導入した軽水炉の使用済燃料から回収したプルトニウムを用いて、順次、高速炉を増設していく。最終的には、新型重水増殖炉を用いて、国内に豊富に存在するトリウムと核分裂性の²³³Uを燃料としたトリウム燃料サイクルに移行するというものである。なお、その移行期に必要な²³³Uは、高速炉のブランケットにトリウム燃料を装荷して生産される。

1985年には炭化物燃料SFR実験炉FBTR(13 MWe)が運転を始めている。その運転経験をもとに、自主開発の酸化物燃料SFR原型炉PFBR(500 MWe)を2003年から建設中で、2011年の臨界、2012年の運転開始を目指す。インディラ・ガンジー原子力研究センターを中心とした精力的な研究開発や将来計画には大いに興味が引かれる。今回の会議では、PFBRよりも経済性と安全性を向上させた酸化物燃料商用炉のツインプラントを、2023年までに合計3セット(6基)運転開始させることを明らかにした。そのうちの2基をPFBRに隣接して燃料サイクル施設と併設して建設し、2020年に運転開始する。その後は、1 GWe出力でより増殖性に重点をおいた金属燃料炉を建設していくという。原子力委員会が現在検討中とのことであるが、2050年頃には、約290 GWeの全原子力発電設備容量のうち、約240 GWeを高速炉で担いたいとのことである(第2図)。



第2図 インドの高速炉導入シナリオ³⁾



第3図 中国の高速炉導入シナリオ⁴⁾

一方、世界第2位の経済大国になった中国⁴⁾では、2050年頃の原子力エネルギーを240~250 GWeとする計画が政府から発表されている。原子力エネルギーの中での高速炉の比率を増すことが期待されており、2050年頃には約200 GWeを目標としている(第3図)。酸化物燃料(当初は濃縮ウラン)SFR実験炉CEFR(20 MWe)を2010年に臨界させ、その後、2018~20年に実証炉CDFR(600~900 MWe)、2030年に商用炉CCFR(800~900 MWe)を運転開始する計画だ。並行して、より高増殖の金属燃料実証炉CDFBR(1~1.5 GWe)を2028年に、その商用炉CCFBRを2030~32年に運転開始するとしている。

上述のように、インド、中国は、最終的には金属燃料を用いた高速炉を指向し、2020~30年からの早期の高速炉サイクル実用化という点で共通している。両国とも2050年以降には化石燃料への依存度を低減し、高速炉を原子力発電の主流とする計画である。中国では、実験炉から実証炉への移行にあたり、自国による研究開発に加え、ロシアとの技術協力で開発を加速したい意向である。そのために、中ロ両国は2009年10月、商用高速炉BN-800を2基、中国に建設する事前プロジェクトと設計作業に関するハイレベル協定を締結した。ロシアの高速炉の輸出の可能性、アジアが高速炉開発の一大中心となる可能性が予感される。

(日本原子力研究開発機構・佐藤浩司)

フランスは2020年にプロトタイプ炉を運転開始

19サイトに58基の軽水炉をもつ原子力発電大国、フランス⁵⁾は、実験炉ラプソディ、原型炉フェニックス、実証炉スーパーフェニックスの開発経験を持つ世界有数の高速炉開発国でもある。2006年、シラク大統領(当時)は第4世代プロトタイプ炉(付録参照)の建設を明言した。現在、SFRプロトタイプであるASTRID(Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration)、長期的オプションとしてのガス冷却高速実験炉ALLEGROの開発を推進している。SFRであるASTRIDはフランスの高速炉開発の本命ともいえるもので、商用炉に採用する候補技術および安全性の実証を主要な目的とした500~600 MWeの実証炉である。フランス原子力・代替エネルギー庁(CEA)、AREVA、フランス電力(EDF)といった官庁・研究機関、企業、電気事業者が一体となり研究開発を進めている。その開発計画は、まず2012年に技術仕様を選定し概念設計を行い、2015年から基本・詳細設計を実施し、フェニックス炉に隣接して建設し、2020年頃に運転を開始するというものである。

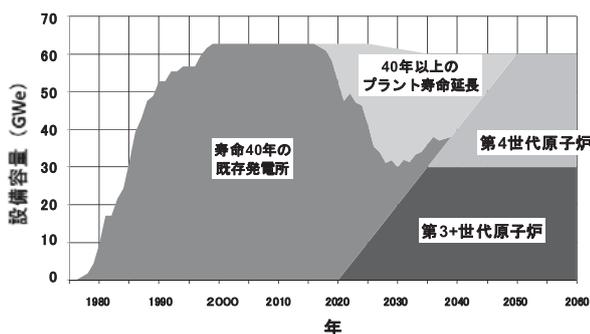
燃料サイクル技術の開発では、EPR(欧州加圧水型炉)などの第3プラス世代炉の使用済燃料をウランとプルトニウムの共抽出(COEX)技術で再処理し、第4世代炉の燃料としてウラン、プルトニウム、マイナーアクチニド(MA)を一括回収するGANEX(Group ActiNide EXtraction)技術を開発している。

フランスは、2040年頃からの高速炉サイクルの実用化を目指している(第4図)。高速炉と軽水炉を並存させることが特徴で、これは第3世代炉の寿命延長とEPRの設置を反映したものとなっている。

(日本原子力研究開発機構・遠山伸一)

2050年前の商用炉導入をめざす日本

日本⁷⁾では、高速炉サイクル技術は「第3期科学技術基

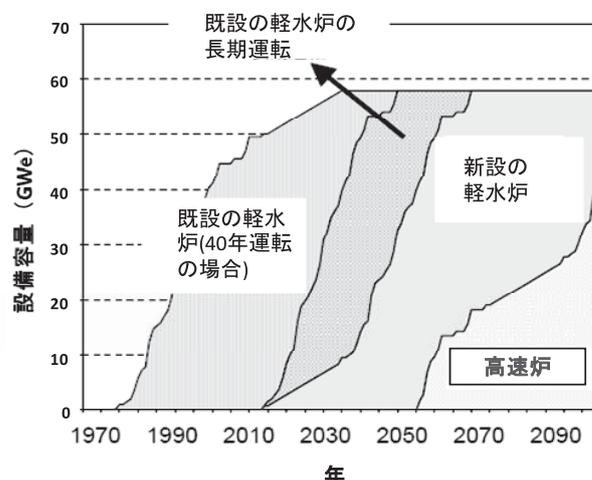


第4図 フランスの高速炉導入シナリオ⁶⁾

本計画」(2006~2010年度)で国家基幹技術の1つとして位置づけられている。その実用化に向けたマイルストーンは「原子力政策大綱」, 「エネルギー基本計画」で示されている。すなわち、原子力機構は「高速炉実用化研究開発」(FaCTプロジェクト)により高速炉サイクルの実用化像を2015年頃に提示し、オールジャパンの体制で2025年に経済性と安全性を高めた実証炉(500~750 MWe)の実現、2050年前からの商用炉の導入を目指す。FaCTプロジェクトでは、酸化燃料SFRの開発に重点化し、設計研究と要素技術開発を進めている。「常陽」や「もんじゅ」の運転・開発経験がそれに反映される。

今年5月に14年ぶりに「もんじゅ」は試運転を再開した。その間、ナトリウム漏えい事故の原因究明と対策工事、安全総点検、プラント確認試験、耐震強度の確認や設備の不具合の改修などが実施された。今後は、発電プラントとしての信頼性の実証と運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立という所期目的の達成に取り組む。そして、SFRの炉心や高温ナトリウム機器などの設計技術を検証し、FaCTの開発成果の技術的信頼性を向上させるとともに、実機でしか得られない運転・保守・補修経験に基づくプラント技術の確立を目指す。また、所期目的の達成後は、高性能化に係わる研究開発を実施するとともに、「もんじゅ」を国際的な研究開発の拠点として整備していくことが表明されており、国内外から大きな期待が寄せられている。

日本は、フランスとほぼ同時期の2050年前からの高速炉の実用化を目指している(第5図)。軽水炉燃料サイクルの進展やウランの需給を見て、漸次、軽水炉および次世代軽水炉を高速炉に置き換える計画だ。資源エネルギー政策の見直しにより原子力設備容量の増大も期待される。なお、2010年4月、経済産業省は「エネルギー基本計画」の見直し案を提示した。その中では、地球温暖化防止対策の一つとして2030年までに少なくとも14基以



第5図 日本の高速炉導入シナリオ⁷⁾

上の原子力発電所の増設が提示されている。原子力エネルギー全体への期待を示すものである。

(佐藤浩司)

使用済燃料の保管を懸念する韓国

韓国⁸⁾では、使用済燃料の保管が大きな課題として原子力開発の行く手を阻んでいる。使用済燃料を含む放射性廃棄物の安全管理のため、2008年に放射性廃棄物管理法が成立した。現行のままでは2016年までに使用済燃料発生量がサイト貯蔵容量の限界を迎えるため、原子力エネルギー利用の継続上、大きな課題となっている。当面は、中間貯蔵施設の建設により対応しようとしているが、その解決の切り札が高速炉の開発だ。金属燃料SFR実証炉 KALIMER-600(600 MWe)の概念設計を実施しており、乾式処理技術開発などを進め、2028年までに運転開始する。さらに、1.2 GWeの商用炉 KALIMER-1200を燃料サイクル施設と一体型で建設し、2040年ごろ運転開始という長期的展望が示されている。あわせて、金属燃料開発を進めており、U-TRU-Zr系金属燃料集合体を2025年から生産する計画としている。

韓国の高速炉の商用化時期は日仏とほぼ同時期である(第6図)。やはり、高速炉と軽水炉を並存させ、使用済燃料のサイト貯蔵問題を解決し、放射性廃棄物量を低減しつつ原子力エネルギーの拡大を狙う。高速炉の持つウラン資源の有効利用の利点に加え、MAの効率的燃焼による廃棄物量およびその毒性低減の可能性を追求したものである。高速炉が全原子力発電設備容量に占める割合は、2100年頃にはおよそ40%になると推定されている。

(電力中央研究所・井上 正)

米国の動向

一方、一時再処理リサイクル路線に回帰した米国⁹⁾は、2009年の政権交代後、ユッカマウンテン最終処分場の中止の動きもあり、原子力政策が不透明な状況にある。しかし、高速炉を含む燃料サイクルの研究開発に関して

は、長期的視点に立って基礎研究を着実に進める方針を表明している。現在計画している研究は、地層処分の方法や核変換など将来の選択肢を充実させるための研究、鍵となる物理現象の解明とそれに必要な実験やモデリング・シミュレーションの技術蓄積である。これらは、将来の高速炉サイクルの実用化にも必要な技術を開発するためのものであり、会議でも活発な研究開発の紹介があった。

2010年1月、米国の核燃料サイクルのバックエンド政策の検討のためにブルーリボン委員会¹⁰⁾が設立された。米国のサイクル戦略が早期に明確になることが待ち望まれる。

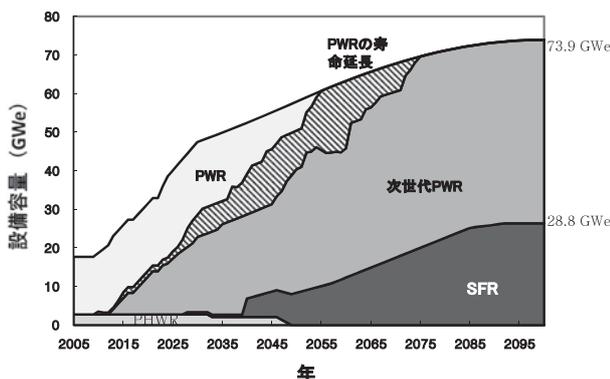
(遠山伸一)

知見の共有をめざす国際的な取組みも

高速炉導入シナリオを見てもわかるように、各国での取組みは、その国が抱えるエネルギー情勢や高速炉の開発経験によってさまざまである。一方で、2000年に米国が提唱した第4世代原子力システムに関する国際フォーラム(GIF: Generation IV International Forum)や、2001年からIAEAが進めているINPRO(International Project for Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles: 革新的原子炉および燃料サイクル国際プロジェクト)といった国際的な取組みも盛んになっている。会議でも、GIFの安全性・信頼性、経済性、持続可能性(省資源性と廃棄物の最小化)、核拡散抵抗性・核物質防護という4つの性能目標に関する議論が頻繁に聴かれた。

IAEAは、他にも、高速炉作業部会(TWG-FR)や材料・燃料サイクルの作業部会(TWG-NFCO)を設置し、世界の高速炉サイクルの技術情報交換を促進し、また国際共同研究を企画し活動している。EUは、2008年の理事会で「欧州エネルギー技術戦略構想」を承認し、SFRを第1候補としつつ、ガス冷却高速炉(フランス主導)あるいはELSYと呼ばれる鉛冷却高速炉(EU主導)を欧州に建設することも検討している。OECD/NEAでは、GIFの推進とともに、核データライブラリーの作成や地層処分の負担の軽減のための分離・変換の情報交換を1990年以来実施している。SFR以外にも、重金属炉(鉛、鉛ビスマス冷却炉)、加速器駆動システムについての研究も推進している。

このようにSFRの研究開発は、各国の知見を国際的に共有し、革新炉システム技術を含むさまざまな研究開発を融合しつつ、幅広く推進されている。長い期間と多大な人的資源や資金を必要とする一方で、早期の実用化が期待されている。よって、仕様の決定、基準の標準化、共通の解析ツールの開発などの分野で、各国の協調と競争が今後ますます重要になっていくであろう。



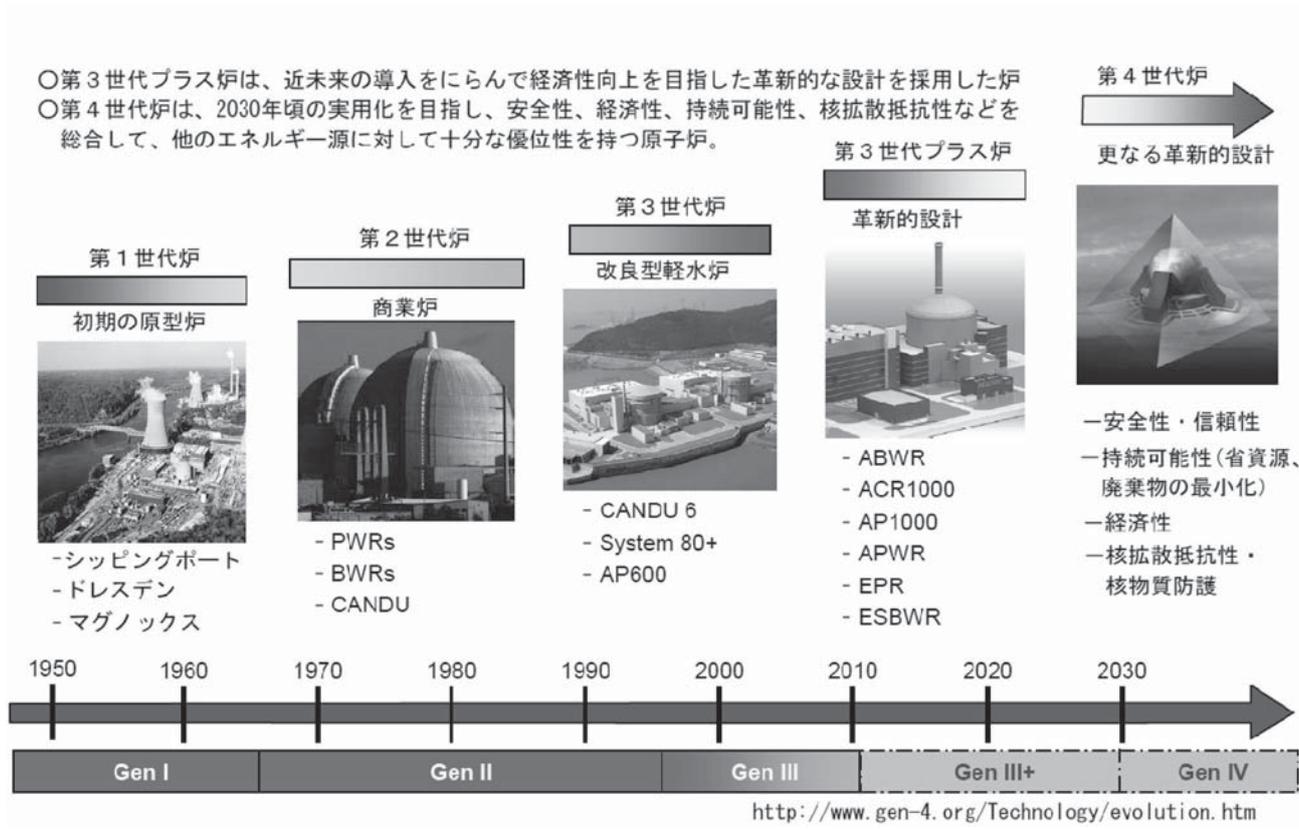
第6図 韓国の高速炉導入シナリオ⁸⁾

—参考資料—

- 1) 城 隆久, “FBR 実用化にむけた国際協調の在り方について—高速炉システム国際会議(FR 09)ヤングジェネレーションイベントにて”, 日本原子力学会誌, 52[4], 235(2010).
- 2) IAEA-CN-176/FRP-06, (2009).
- 3) IAEA-CN-176/FRP-03.
- 4) IAEA-CN-176/FRP-01.
- 5) IAEA-CN-176/FRP-02.
- 6) FR 09パネル 2 での P. Frigola の発表資料.
- 7) IAEA-CN-176/FRP-04.
- 8) IAEA-CN-176/FRP-05.
- 9) IAEA-CN-176/FRP-07.
- 10) <http://brc.gov/>

著者紹介

- 竹田敏一(たけだ・としかず)
本誌, 52[2], 97参照.
- 佐賀山 豊(さがやま・ゆたか)
日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)機械工学, 原子力発電工学, 国際原子力開発
- 巽 良隆(たつみ・よしたか)
日本原子力発電(株)
(専門分野/関心分野)原子炉工学, 高速炉, 保守, 放射性廃棄物処理・処分



付録 原子炉開発の進展

海の国のアトム

3. 海を観て絵に描く

海洋研究開発機構 工藤 君明

地球温暖化というと、暑い夏がさらに暑くなることだと思われがちであるけれども、どちらかというとも寒い冬が暖かくなって年間平均で気温が高くなるなど、年々の長期的変化に伴い、様々な現象の変動パターンがこれまでに激変するということである。地球環境の変動をこれまでに蓄積してきたデータから単純に予測することはますます困難になっている。予測もつかないようなことを予測することが求められており、その予測技術を確立していくために、全球における高精度、広域、そして継続した観測がますます必要とされている。

I. 津軽海峡冬景色、「むつ」から「みらい」へ

1974(昭和49)年11月8日、横浜港の沖、中ノ瀬航路の出口で、日本船籍のLPG・石油タンカー「第十雄洋丸」とリベリア船籍の貨物船「パシフィック・アレス号(以下、パ号)」が衝突事故を起こし大火災が発生した。第十雄洋丸の積荷であるナフサに引火したからだ。衝突箇所は第十雄洋丸の船首右舷、居住区から遠く、火災の広がりがゆっくりとしていたため、乗組員38名のうち亡くなったのは5名にとどまった。しかしパ号はナフサを含む猛火に包まれてしまい、乗組員29名のうち28名が亡くなる大惨事となった。燃え続ける第十雄洋丸は北東の風に押されて、横須賀市方面に流され、設立後間もない海洋科学技術センター(JAMSTEC、海洋研究開発機構の前身)の沖に到達した。2次被害が懸念されたため東京湾からなんとか太平洋に曳航され、そこで切り離された。黒潮に乗り炎上しながら漂流を続け、自衛艦隊の艦砲射撃により沈没させられたのは事故20日後のことであった。

一方、パ号は翌日には鎮火し、横浜港沖に投錨した。こちらが世間の注目を集めることはあまりなかったが、筆者は事故後のパ号に乗りこみ、船首部の凹み具合をせっせと計測していた。乗組員がほとんど亡くなってしまったパ号の事故時の船速を推測するためであった。船の運動エネルギーが構造物の破壊エネルギーに変換されるとして、船体の破壊具合からこのエネルギーを見積り、船速を推定した。当時、大学院の学生だった筆者は、指導教授から先輩の研究論文を渡され、それに基づいて

計算した。原子力船「むつ」(全長130.46 m, 8,242総トン)の設計のために、原子力船の横から当時の大型タンカーが船腹に全速力で衝突した場合を想定して、原子炉を保護するために船体の強度(つまり板厚)をどれほどにしたらいいのかという研究であった。

奇しくも同年の9月1日、原子力船「むつ」は青森県沖の太平洋で行われていた出力上昇試験の航行中に放射線漏れが観測された。ところが、まるで「放射能」が漏れたかのように報道されたことをきっかけに、ついには原子炉を封印する事態となってしまった。これ以降、「むつ」は長崎県佐世保で原子炉遮蔽設備が改修され、また母港を陸奥湾内のむつ市大湊港から津軽海峡に面した関根浜に移して、1988年から出力上昇試験が再開され、海上試験を経て、1991年に実験航海を行った。8万2千km(地球2周以上)を原子力動力で航行したのである。「原子力実験船」としては1969年の進水から1993年の廃船まで24年間の激動を生きてきた。そして1996年8月21日に、世界最大級の海洋地球研究船「みらい」として生まれ変わったのである¹⁾。

「むつ」は原子炉のあった船体中央部が切り離され、撤去された原子炉格納容器は「むつ科学技術館」に展示されている。そして船体後半部は新造され、蒸気タービンか



第1図 切手となった「原子力船むつ」(1969年6月12日発行)

Atom's Adventures in Ocean ; 3. Observing the Ocean and Making its Picture : Kimiaki KUDO.

(2010年 6月21日 受理)

らディーゼルエンジンに換装され、観測調査作業の機器が装備された。こうして生まれた海洋地球観測船「みらい」は全長129 m, 8,672総トンという世界最大級の調査船となった。

南極観測船の二代目「しらせ」は全長138 m と「みらい」より少し大きいですが、これは砕氷輸送艦という特殊な任務があるからである。世界の多目的な海洋調査船は、例えばドイツ最新の海洋研究船「マリア S. メリアン号」は全長94.8 m, フランス国立海洋研究所の「ブルクワ・パ?号」は全長105 m, 中国の海洋科学調査船「大洋一号」は全長105 m などとなっている。米国は国立海洋研究機関などが海洋調査船の運用や研究施設の調整を目的とする機関をつくり、グローバル級というクラスを7隻運用しているが、全長はどれも70~90 m である。我が国の潜水調査船「しんかい6500」の母船「よこすか」が全長105.2 m であり、また、かつては東京大学海洋研究所が運用しており、現在は JAMSTEC に移管されている共同研究船「白鳳丸」が全長100 m となっている。

こうしてみると、「みらい」はずばぬけて大きな海洋調査船ということになる。これほど大きな「世界一」の調査船を現時点で提案したならば実現は難しかったろう。2位ではいけないのかと非難する「泣く子と〇〇」には勝てません。しかし日本の科学技術の発展史を理解するときには大切なことは、まさにこの「(世界一)新たなシステムをいかに実現するか」という点にある。巨額の経費をかけて新たなシステムをつくってはみたものの、必ずしも期待どおりにはいかないことがある。こんなとき、造っているときには想定もされていなかったことに転用されると、がぜん生きてくることがある。「むつ」は「みらい」として甦り、日本の海洋研究の新たな世界を切り拓いてきたのである。

「みらい」が世界一の調査船だからこそ実現できたことがある。その一つが太平洋の赤道海域にトライトンブイを設置して保守管理することであった。総トン数が大きくなったため大型の観測ブイを同時にいくつも積み、効率よく設置作業ができるようになったためである。もう一つは、船が大型であるため、それまではデータの乏しかった高緯度の荒天海域や結氷海域でも、停船したり走行したりの観測作業を安全に実施することができるようになったのである。

II. 海を観る

1. 海洋地球研究船「みらい」とエルニーニョ

「エルニーニョ現象」とは、東太平洋の赤道付近で海水の温度が1~2℃上昇(1997~98年にかけて発生した20世紀最大規模のエルニーニョでは最大5℃上昇)する現象であり、これが原因となって世界規模の気候変動が発生するとされている。エルニーニョ現象が発生するメカニズムはまだ完全に解明されているわけではないが、海

水温が変化すると、その海域の大気の色度(温度)が変化し、それによって気圧のパターン、そして大気の流れ(風)が変わってしまい、そして天候が変わり、これによって様々な社会生活が影響を受けることになる。エルニーニョの発生メカニズムの解明と発生予報の研究が期待されている。このための研究に欠かせないデータが係留ブイなどによる海洋の観測である。

エルニーニョ現象は東部太平洋赤道海域における海洋表層に限られた季節的な現象ではなく、海洋内部から大気まで、そして東部から西部のインドネシア海域を含む大規模な現象であり、海洋と大気が相互作用しながら発展していく複雑な現象であると理解されるようになってきた。大気に気圧の違いがあり、高気圧から低気圧に向けて大気が移動して風となる。海洋では海水の密度が重要である。冷たくて塩分の多い海水は重くなり、海洋深層に移動していく。逆に暖かくて塩分の少ない海水は密度が小さくて表層に分布する。太平洋赤道域の海面付近では、東部で気圧が高く、西部のインドネシア付近で低くなっており、貿易風と呼ばれる東風が吹いている。この東風の力によって、海面付近の暖かい海水がインドネシア近海に吹き寄せられ、インドネシア近海では海面からの蒸発が活発で、上空では積乱雲が発生している。逆に東部赤道域では下層から冷たい海水が湧きあがっている。通常はこの状態でバランスしているのだが、なんらかの理由でこの東風が弱まると、暖かい海水が東方にもどっていき、東部の海面水温が平常時よりも高くなり、積乱雲の発生海域も東方に移動していく。

エルニーニョ現象を解明するため、それまで米国大洋海洋庁(NOAA)が太平洋赤道海域の中部~東部に係留ブイ網(TAO アレイ)を展開していた。水温の鉛直分布を観測することが主で、係留が容易となるように浮力の小さなブイが使われていた。しかしこのようなブイは、降水による塩分変動の大きな太平洋西部赤道海域の観測



海洋地球研究船「みらい」が太平洋の西部赤道海域に設置したトライトンブイ：ブイの直径2.4 m, 高さ1.54 m, 重量2.4 トン, 緊張係留方式²⁾

第2図 トライトンブイ

には不向きであったため、「みらい」の就航を機に、塩分の鉛直分布も観測できリアルタイムで伝送可能なトライトンブイが開発され、1998年3月より展開されてきた。

太平洋の赤道海域は北太平洋と南太平洋の狭間であり、南北の交流は少ない。地球が回転しているために、北半球の海水はまっすぐに流れていても、右向きの力を受けている。これをコリオリの力という。このために北半球では西向きの北赤道海流は次第に北向きとなり、黒潮となって日本沿岸を北上して東方へと流れ去る。北太平洋で時計回りに循環する。これと反対のことが南半球で起こっている。南半球では反時計回りに海水が循環している。このため赤道海域では様々な現象が狭い範囲を波のように東から西へと伝わっていく。このパターンは1ヵ月くらいの速さで移動するので、東西方向のスケールは1,000 km(経度で9度くらい)でもいいが、観測頻度は高くしなければならない。太平洋赤道海域には現在、101基が設置されており、このうちインドネシア近海の16基がトライトンブイである。

トライトンブイは年に半数ほどが交換される。通常は「みらい」が必要個数のトライトンブイを搭載して行って交換するが、ほかの調査航海とかちあったりするときには、ほかの調査船を利用しなければならない。しかし運用効率や安全作業の観点からはまだまだ「みらい」でなければならないとされている。

現在では、小型化と係留システムが改良されて、伝送容量の大きな小型トライトンブイがインド洋の赤道帯に展開されはじめている。インド洋でも太平洋に類似した海洋大気相互作用の研究も進められている。

係留ブイを保守管理するときの課題は「ブイの漂流」である。トライトンブイが設置されている海域は漁業活動

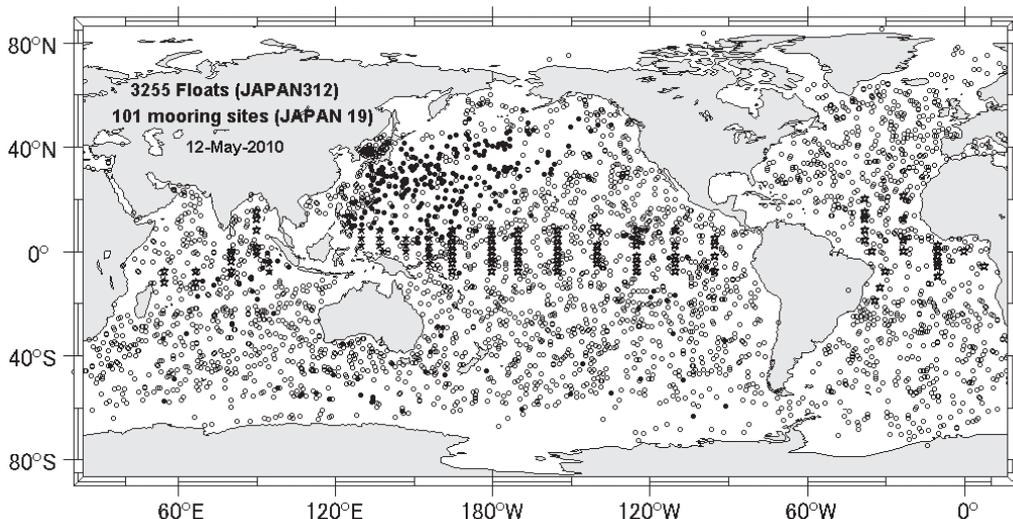
が盛んであり、網などに引つ掛けられるトラブルがあったりする。こんな場合には係留索が切断されて、ブイが漂流してしまう。送られてくるデータからブイの位置がわかる場合には、それを監視しながら、回収計画を立てることができるけれども、そうでない場合には近くで操業している日本の漁船などに協力してもらっている。

「みらい」は年間約300日の調査航海をしており、ほかに1ヵ月くらいのドック検査があるので、かなりの稼働率となっている。このうち「トライトンブイ」の交換作業が約1/3である。ほかに「みらい」は海洋地球研究船として、地球規模の海洋環境研究を行っている。主なものとして、高緯度の荒れる太平洋海域で大気中の二酸化炭素が海中に吸収され、植物プランクトンとして固定されていくプロセスの研究や、南半球をぐるりと周回しながら、多層の海水を採取して水温や塩分などを高精度に分析して、地球温暖化との間連を研究したり、あるいは北極海にでかけていき調査研究している。

「みらい」に砕氷能力はないけれども、薄い氷の海域はなんとか航海できる耐寒船である。2000年のころは、氷がいちばん少なくなる9月ごろに、アラスカと東シベリアの間のベーリング海峡から少し入ったチュクチ海を調査していたが、近年は、結氷海域が急激に減少しており、2009年9月に「みらい」観測史上最北の北緯79度まで到達できた。これも地球が確実に温暖化していることを示している。

2. アルゴフロートによる地球環境変動研究

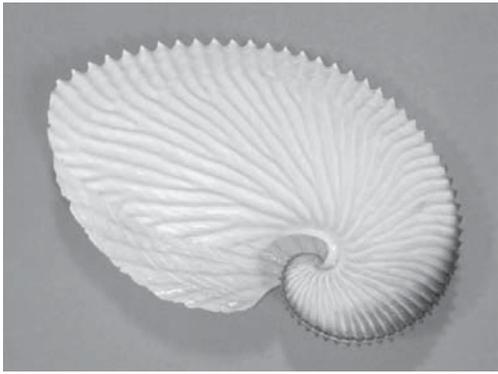
「みらい」の母港がある下北半島の関根浜は津軽海峡に面しており、ここにJAMSTECの「むつ研究所」がある。北太平洋西部の亜寒帯海域における海洋の生物生産や二



赤道海域にある星型は係留ブイ101基(このうち、インドネシア近くに日本のトライトンブイ19基)。小さな○が浮遊するアルゴフロート3,255基(このうち、●が日本のアルゴフロート312基)

(提供: JAMSTEC 地球環境変動領域/地球環境変動研究プログラム/戦略的的海洋監視チーム)

第3図 全世界の海洋観測ブイおよびフロート(2010年5月12日時点)



向かい合わせに並べると葵の葉に似るのでアオイガイと呼ばれるカイダコ、南の海から日本沿岸に漂着する

第4図 カイダコの貝殻

酸化炭素の吸収過程などの観測研究が行われている。また回収されてきたトライトンブイの保守もこの研究所で行われている。ところで、このあたりの砂浜には巻貝のような白い貝殻が打ち寄せられることがある。大きなものでは20 cm くらい、紙みたいに薄く半透明で壊れやすく、形は、貝殻を2つ向かい合わせて並べると葵の葉に似ているので、アオイガイといわれる(第4図)。しかしこれは、いわゆる「貝」ではなく、カイダコというタコが自分でつくり棲んでいたボートみたいなものである。学名はアルゴナウタ・アルゴ(*Argonauta argo*)、英名はPaper Nautilusという。熱帯から亜熱帯の外洋に棲んでいるのだが、どういうわけか黒潮から対馬暖流に乗り、秋から冬にかけて津軽海峡に流れつく。属名のアルゴナウタはギリシャ神話に登場する「大船アルゴ号の船員たち」を意味し、アルゴは船大工アルゴスにちなみ、いまでは冒険を意味する言葉となっている。このカイダコのように海洋を浮遊するフロートを利用したArgo観測網というものがある。

アルゴフロートは海中の水深1,000 m にいて漂流しながら、10日に一度、2,000 m まで下降して、海中の水温と塩分を計測しながら浮上、海面で衛星を通じてリアルタイムにデータを送信する観測網である。2000年に開始されたアルゴ計画はアルゴフロートを全海洋にまんべんなく展開する国際協力のプロジェクトであり、現在は目標の3,000基を超えている(第3図)。赤道海域に展開されるトライトンブイなどは、スケールが比較的大きな現象を観測するため、設置間隔が粗くても高頻度に観測しなければいけない。しかし中緯度の海域には渦があちこちにいくつもできており、空間的には複雑であるが、変化はゆっくりとしているという特徴がある。このためアルゴ計画では、空間分解能を高めるために、全世界の海洋に3,000基以上を設置するとしており、また観測頻度を10日に1回と設定している。もちろん個数は多いほど、観測頻度は高いほど望ましいのだが、コストやバッテリーの容量などとの関係からの妥協である。

データはインターネットに即時公開され、だれもが無料で利用できる。2010年5月時点に稼働中のアルゴフロート数は3,255基となっており、27の国と地域が投入している。国別では、半数以上を投入する米国に次いで日本が312基となっており、アルゴ計画を主導する立場にある。また日本のアルゴフロートの約8割をJAMSTECが投入、残りの約2割を気象庁や大学、あるいは海洋科学高校が投入しており、またJAMSTECが日本データの品質管理を行い、オール・ジャパンの体制で進められている。

アルゴフロートの観測によって、この30年間に、海洋の塩分濃度は、塩分の濃度が高いところはより高く、低い海域ではより低塩分になっていることが明らかになってきた³⁾。一般に、海水の塩分は蒸発によって高くなり、降水によって低くなるが、地球全体の蒸発と降水に変化が起き、熱帯域など雨がもともと多かった地域では雨がさらに多くなり、雨が降らない地域ではさらに降らなくなっていることを意味している。これはまた、陸上でも砂漠化や洪水・旱魃などの災害も同じような傾向があり、地球規模での水の運ばれ方(水循環)が悪化する方向に強化されていることを物語っているのである。

アルゴフロートは4年で更新される。ということは毎年800基の高精度水温・塩分計を製造しなければならない。これまでは年に数台を名人芸でつくっておればよかったものが、大量製造するビジネスが確立されなければならない。またJAMSTECでは1日あたり25基からデータが送られてくるので、QC(品質管理)業務はかなりの量となっている。気象予報業務に役立てるために、気象庁は自動QC処理で24時間以内にデータを公開している。研究用には、さらに船舶データなどとの比較処理されたものが1年以内に公開されている。水温や塩分以外のセンサーも開発されつつあり、アルゴフロートによる地球環境変動研究はますます発展していくことが期待されている。

Ⅲ. 絵に描く

1. 地球シミュレータ

2002年2月に「地球シミュレータ」が完成したとき、世界最高速の演算性能をもつスーパーコンピュータとして、世界から注目された。その後も2年半にわたり世界一の座を守った。「地球シミュレータ」の誕生は、航空機開発に欠かせない流体力学の解析に利用するために「数値風洞」を開発した三浦甫氏(故人、地球シミュレータ研究開発センター長)の情熱が実ったものである。計画が動き出した1997年ころは、地球温暖化など、環境変動が人類にとって重大な問題として認識されはじめており、多様なプロセスが複雑に絡みあう気候変動などの現象を解明して予測するための手法を確立することが求められ、そのインフラとして地球シミュレータが開発され

た。開発目標は当時のスパコンの約1,000倍の性能をもつものである。シミュレーション精度を上げるために空間分解能を10倍とすると、3方向で1,000倍となる。これを達成するために、CPU(中央演算処理装置)は汎用のスカラ型(データを順次に処理していく)ではなく、専用に開発されたベクトル型(1つの命令で複数の処理を連続処理する)とされ、これを高速のネットワークでつないで並列に処理することにより、巨大な計算システムをつくりあげた。たくさんの技術課題が克服され、世界の地球シミュレータが出来上がったのである。

地球シミュレータは地球の気候変動や地球内部の変動など、主として地球科学分野におけるシミュレーション研究に利用されているが、現在では様々な応用分野における産業利用に活用されている。例えば、新幹線の高速化に重要な風きり騒音の解析とか、鉄鉱石から鉄鉄をつくる高炉のなかで起きている現象を再現して、効率を落とさずにコークス量を減らすとか、自動車の空気抵抗を低減する技術開発などに利用されている。

しかし世界におけるスパコンの性能向上は飛躍的に進んでおり、「地球シミュレータ」もスパコン世界ランキング(2009年11月)では31位(国内1位)となっている。これでも2009年春に古くなったCPUやメモリーなどを新しいものに更新して実効性能を2倍強にした結果である。

2. 気候変動や異常気象の予測に挑む

地球シミュレータを利用して、いま起きている気候変動や異常現象を予測し、それにどう対応していくべきかを検討している研究者たちがいる。地球温暖化は長期的な気候変化であり、百年後に平均気温が数℃高くなったら地球の姿はどうなるのか、その適応策をどうすべきかが議論されているけれども、ごく一部の科学者を除けば、ほとんどの人には理解の難しいことである。夏と冬とで気温が30℃も変化するのに、百年後に平均気温が1℃上昇するからなんとかすべきだ、といわれてなにかをしようとするだろうか。明日の経済はどうなるのか、いまの貧困をどうするのか、という議論に埋没してしまうことだろう。しかし世界の各地で起きている一つひとつの異常現象は地球温暖化に伴う予測もつかない事例にすぎないということを科学者は全世界に向けて発信していかなければならない。

JAMSTECのマルチスケールモデリング研究グループは大気と海洋を一体として扱う高解像度の結合モデルを使い、エルニーニョ現象などの予測シミュレーションを行っている。短期的な気候変動予測から、数ヶ月先の気候変動予測、さらには様々な対応策の効果予測を行い科学的な根拠を示そうとしている。気候変動が従来の統計的な予測ではとらえられなくなっている現在、例えば台風の発生頻度や規模などがどのように変化していくのかという予測をつづけていかなければならない。地球シ

ミュレータセンターの研究者たちはこのような課題に挑戦し、予測制度の向上に取り組んでいる⁴⁾。

大気と海洋の現象では、規模の大きなものは時間のスケールが大きくなることが知られている。積雲や集中豪雨、竜巻などといった局所的な現象は、発生から収束まで数分～数時間である。これに対し、低気圧や高気圧は数千kmの大きさであり、生まれてから消滅するまで、数日から10日程度となっている。現象の大きさが異なれば、予測モデルも異なる。しかし局所的な現象といえども、全球的な環境変動に伴うものであれば、モデルを統合的に扱うことが必須となる。JAMSEC地球シミュレータセンターは気象と気候変動予測を結びつけるために、複数の時間スケールと空間スケールをつなげるモデルの開発を進めてきた。このおかげで、地球シミュレータが稼働開始したころに目標とされた水平解像度10kmのシミュレーションに比べ、その約100倍もの規模のシミュレーションが可能となっている。

高解像度の大規模シミュレーションが動き出すと、高解像度に対応した物理モデル、高精度の計算手法、高速の計算を併せて開発していくことが求められている。地球シミュレータを基盤として積み重ねられた知見から、より高度な気候変動現象の予測へと進展していくことを期待したい。

IV. アトムの夢

科学技術力は、ハードウェアとしてのスパコンの性能ばかりでなく、それを利用する計算科学技術者の能力、両方を推進する科学技術政策がうまくかみ合っているかを評価しなければならない。スパコンの性能は計算速度で代表され、計算科学技術はソフトが運用と成果で評価される。世界最高速のスパコンを開発する政策を、ハードだけの範囲内で議論してはいけない。我が国では古来より「仏を造って魂を入れよ」とされてきた。まずは仏(ハード)をつくり、それを活かす魂(ソフト)を開発していくしか道はない。

— 参考資料 —

- 1) 杉山邦夫, 原子力船「むつ」から海洋地球研究船「みらい」へ, 東京新聞出版局, (1998).
- 2) JAMSTEC HP, “トライトンブイとは?”
- 3) JAMSTEC 地球環境変動領域, 海洋が描き出す気候変動の姿, (2010).
- 4) 高橋桂子, “気候変動および気象予測と超大規模・超高速シミュレーション”, RIST ニュース No. 48, (2009).

著者紹介

工藤君明(くどう・きみあき)

本誌, 52〔7〕, 413(2010)参照。

解説

ナチュラルアナログ；自然に学ぶ地層処分

数万年先を予測する工学技術とは？ 第1回

今月から3回にわたって、「ナチュラルアナログ；自然に学ぶ地層処分—数万年先を予測する工学技術とは？」を連載します。数万年先を予測する工学技術として求められるものは何でしょうか？ 第1回目は、インタビュー形式で、まずナチュラルアナログ研究や数万年先を予測するとはどのようなことかを、わかりやすく解説していただきます。



(左から)
 名古屋大学
 吉田 英一
 原子力発電環境整備機構
 北山 一美
 北海道大学
 佐藤 努

聞き手 日本原子力学会編集委員 小林 容子(テプコシステムズ)

放射性廃棄物は、数万年以上の長期間、人間の生活環境から隔離しなければならない

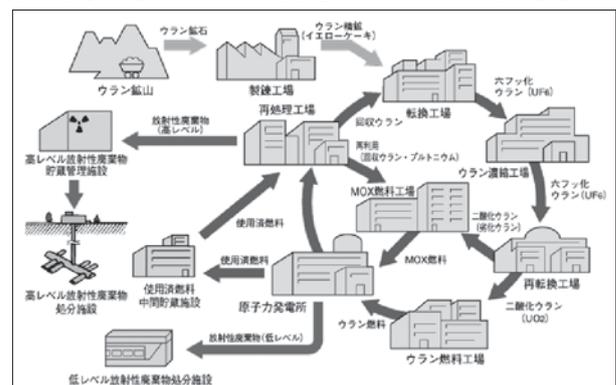
—最初に、原子燃料サイクルと放射性廃棄物についてお話しいただけますか。

北山 原子燃料サイクルとは、第1図に示すように、使用済燃料の再処理によりプルトニウムなどの有用な物質を分離回収し、再利用することにより、ウラン資源を有効に再利用する一連の流れのことを言います。原子燃料サイクルの確立により、ウラン資源の有効利用のほかに、エネルギーの長期にわたる安定供給、使用済燃料の再処理・回収による高レベル放射性廃棄物量の削減などが期待されます。再利用できないものは廃液として残りますが、この廃液は放射能レベルが高いことから、高レベル放射性廃棄物と呼ばれています。

—放射性廃棄物は、どのように処分されるのでしょうか。

北山 日本では、この廃液は再処理工場内のガラス固化施設でホウケイ酸ガラスとともに高温で溶かしてから固め、化学的に安定な形態(ガラス固化体)にした後、30~50年程度、地上で保管された後、地下300 mより深

い場所に地層処分されます。ガラス固化体には、寿命の長い放射性核種が含まれているので、長期にわたって人間とその生活環境に対して放射能の影響が及ばないように、人間の生活環境から離れた場所に隔離する必要があります。それを実現する方法として、世界各国で地下深部に隔離する地層処分を採用しています。地層処分の基本的な考え方は、物質を閉じ込めるといふ地下の環境が本来持つ機能を利用して、地下深くの安定した場所に廃棄物を埋設することにより、数万年以上にわたり、高レベル放射性廃棄物を人間の生活環境から隔離することです。ここでは高レベル放射性廃棄物の処分を例にとりましたが、この考え方はバリアの構成が異なる、例えば「地層処分の対象となる TRU 廃棄物」でも共通に議論できます。



第1図 原子燃料サイクル(出典：文献1))

Natural analogues/Supporting geological disposal :
 Gaining evidence of predictability on 100 ka timescales :
 Kazumi KITAYAMA,Hidekazu YOSHIDA,Tsutomu SATO.
 (2010年 5月26日 受理)

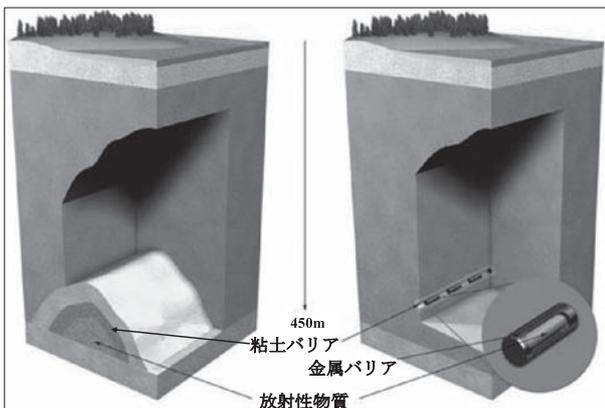
—地層処分における多重バリアの役目は。

北山 地層処分の安全確保の基本は、「多重バリアシステム」の考え方がとられることです。多重バリアは、ガラス固化体、それを収納する金属(鉄)性の容器であるオーバーパック、その周囲を覆う緩衝材(粘土)という3つの人工バリアと、その外側を囲む岩盤である天然バリアから構成されます。これは人間の生活環境へ及ぼす放射線の影響を緩和するためです。

人工バリアの要件としては、①放射性核種の閉じ込めや移行抑制機能を持つこと、②製作施工が可能であること、③所定の期間他のバリアに影響を与えないこと等が考えられます。また地下深部は放射性核種の移行媒体となる地下水の流れが遅く、かつ地層を構成する鉱物には放射性核種を吸着・固定する能力があり、天然のバリアとして考慮することができます。また人工バリアを力学的に支えらるとともに、化学的に安定であり人工バリアの機能を長期にわたって発揮させる機能もそなえています。天然バリアの要件は、これらの機能により生物圏から放射性核種をできるだけ隔離することです。

人工バリアと天然バリアとを組み合わせた多重バリアシステムの性能は、地層処分を構成するサブシステムあるいはシステム全体の性能を予測するための解析を行い、その解析結果を適切な基準と比較して評価します。そのために、数万年以上先の超長期的現象の予測が必要となってくるのです。第2図の事例に示すように、カナダのシガーレイクにあるウラン鉱床の場合、ウラン鉱床を取り囲む構造が多重バリアシステムとほぼ同じ構造を有していたことによって長期に保持されてきたことがわかっています。このように、ウラン鉱床は自然界において放射性物質を長い期間にわたって保持していた物証といえるので、処分システムを考える上で良い見本となります。そこで、ナチュラルアナログという概念が重要になってきます。

ナチュラルアナログは、安全性に対する直接的で科学的な根拠を示すアプローチ



第2図 シガーレイク鉱床と放射性廃棄物概念の対比
(出典：文献2))



北山 「低炭素化社会の実現に原子力は欠かせません。そのため地層処分はどうしても必要です。このことを常に社会に向けてわかりやすく発信していきたいと思っています。」

—読者の中には、ナチュラルアナログについて全くご存知ない方、言葉は聞いたことがあるが内容はよく知らないという方が多いと思いますので、まず、ナチュラルアナログとは、どのようなものか説明していただけますか。

吉田 一言で言えば、タイトルにもあるように自然に学ぶということです。では、自然から何を学ぶのか。それは実験等の短い時空間スケールでは理解することが難しい、数万年先のような超長期的な自然現象について、どういう現象がどのように生じるのかということ学ぶ、ということです。そういう意味では「過去は未来を理解する鍵」という言い方ができます。

佐藤 ナチュラルアナログ研究は、地層処分システムにおける人工バリアの変質や核種の地球化学的挙動に類似した地質学的現象を研究することによって、地層処分システムに数万年以上という長期間のスケールで将来、発生すると考えられる地球化学的なプロセスを具体化し、地層処分システムの安全評価に用いる室内実験データの外挿による長期的な評価の信頼性を高めることと定義されます。

—現在問題になっている事象と全部または一部が似た事象を過去のデータから探し出し、それからの類推によって未来予測を行うことを「類推法による予測」と呼んでいますが、放射性廃棄物地層処分におけるナチュラルアナログ研究も、その一種と見なせるわけですね。ただ、未来予測を行うだけでなく、安全性評価手法の信頼性の向上につながるような安全評価モデルの理解や検証を目的としていると考えればよろしいでしょうか。

吉田 はい、ナチュラルアナログはその両面を持っていると言えます。つまり、①実際の自然環境(処分環境)で生じる現象の理解と、②安全評価に用いられている現象評価モデルの妥当性の検証の両方を目指しています。

—ナチュラルアナログは、CO₂の地中貯留の分野でも研究されているようですが、地層処分におけるナチュラルアナログに関して、もう少し詳しくお聞きしたいと思います。ナチュラルアナログ研究における「アナログ(類似)性」とは、どのようなことを指すのでしょうか。

佐藤 まず申し上げたいのは、ナチュラルアナログ研究の先駆けは、放射性廃棄物の地層処分研究プロジェクトであり、そのプロジェクトには地質学・鉱物学・地球化学などの様々な分野の多くの研究者が参画してきました。ただ、そのような地球科学に携わる者が地球化学的

な現象を研究すれば、それが即アナログ(類似)性の研究になるわけではありません。アナログ(類似)性とは、研究対象としている場所が、想定される処分と類似したシステムであるかどうか、研究対象とする自然現象が処分システムに想定されるプロセスと類似したプロセスであるかどうかを指します。ただし、アナログと判断するのは「人間」なので、そのアナログ性をわかりやすく説明することが重要です。



佐藤 「数万年先を予測する工学技術を確認するには、ナチュラアナログ研究の進化と数多くのレッスンが必須ですね。」

—これまでのナチュラアナログの研究にはどのようなものがありましたか。また、どのような説明がされていたのでしょうか。

吉田 地層処分という考え方のきっかけとなった「天然原子炉」をはじめとして、「ウラン鉱床」、「古代の釘」、「ガラス」などが存在します。

「天然原子炉」とは、過去に自発的な核分裂反応が起こっていたことがウランの同位体比から確認されたウラン鉱床のことで、中央アフリカのガボン共和国東部にあるオクロ天然原子炉がそれにあたります。これは、今から約20億年前に大規模な核分裂連鎖反応を起した形跡のある天然原子炉の化石で、地質環境中に放射性核種を隔離できることの可能性を示したものとして、地層処分システムの具体的なイメージの構築に大きく貢献しました。

しかし、これまでのナチュラアナログの研究では、天然原子炉が発見されて以来いわれてきた、「地質環境には放射性核種を隔離する能力が存在するであろう」という地層処分の定性的な基本的概念を提示するにとどまっておらず、定量性やモデルの適用性という点では必ずしも十分とは言えません。また、処分システムの安全性についても、安全評価に用いるモデルの有効性についての直接的な検証には結びついていません。

—これまでの説明の問題点はどのような所にあったのでしょうか。

佐藤 ナチュラアナログの研究では、研究対象とする自然現象が処分システムに想定される、人工バリアや天然バリアの地下環境、廃棄物の長期的な変化や機能、劣化などを類推するのに役立つ類似のプロセスであるかどうか問われます。しかし、これまでに公表されたナチュラアナログの研究の中には、地層処分システムのどのプロセスに類似するのかが明示されていないものや、処分システムには想定されない現象を研究対象としているものがあったりして、予算的裏づけを失って縮小

を余儀なくされたり、継続不能になったりするケースが多くありました。

吉田 そうですね。今までのナチュラアナログの研究の問題点は、アナログ性をうまく説明できなかったことでしょうか。現象と類似性を個別化させすぎたり、あるいは詳細化させすぎたりして、類似性に対しての自己矛盾が発生してしまったことも要因かもしれません。

—逆に、完璧なアナログ性を求めすぎたというケースもありますか。

佐藤 はい、ありますね。研究者がアナログ性をうまく説明できなかったことも大きな問題点ですが、「アナログの縛り」がきつくなりすぎて、つまり処分環境との高い類似性を求めすぎて、新しいナチュラアナログの研究の展開が困難になってしまったという現状もあります。処分システムへの反映先が明確であれば、システムの類似性は局所的でもよいというスタンスで、天然プロセスを定量的に理解し実証するナチュラアナログの研究が精力的に進められるべきだと思います。

—では、ナチュラアナログの研究に求められる条件とは、どのようなものなのでしょうか。

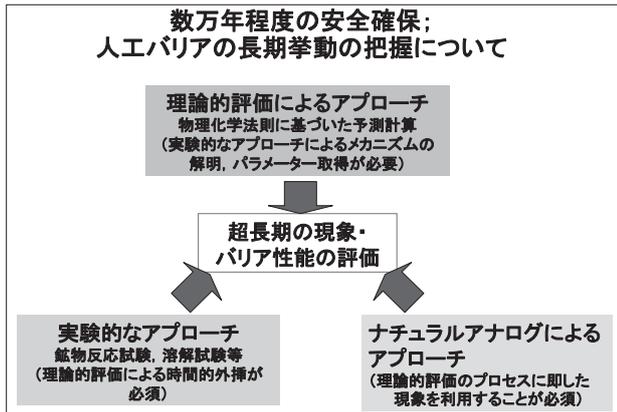
佐藤 まず、最初の条件として、概念モデルの構築が重要です。自然現象を注意深く観察することにより、①どのようなプロセスを含む現象か、②中心となるプロセスは何か、③現象が生じる時間スケール、④適切な自然法則を用いてプロセスが地球化学コードなどによりモデル化されるかどうか、などの情報を抽出して概念モデルを構築することが必要です。

2番目の条件としては、安全評価モデルへのインプットデータを提供することが挙げられます。自然現象から処分システムの評価モデルの予測計算に用いる定量的な情報を取得したり、室内実験の手法を地質時間スケールに外挿することが妥当であるかどうかをチェックできる必要があります。

3番目の条件としては、安全評価モデルの妥当性の確認ができることが挙げられます。安全評価に用いるモデルやデータを用いて、実際に自然現象の結果やプロセスが表現できるかどうか確認することにより、独立したモデルやデータの妥当性の確認を行う必要があります。

—通常の建造物で要求される耐久性は、せいぜい数百年程度ですが、地層処分では、数万年という超長期の現象の予測・評価が必要です。このような評価を行うためのアプローチとしては、どのようなものが考えられますか。

北山 地層処分システムの人工バリアには超長期の性能が要求されます。このような人工バリアに関する超長期の現象を把握するには、①理論的評価によるアプローチ、②実験的なアプローチ、③ナチュラアナログによるアプローチの3つのアプローチを統合することが必要であると考えています。



第3図 超長期の現象・バリア性能の評価のための
3つのアプローチ(出典:文献5)改訂)

ナチュラルアナログは、実験的アプローチ を補完する

—数万年先までの長期にわたる評価は、時間の経過とともにモデルやパラメータに関する不確実性が増していくので、実験的アプローチだけでは難しいのではないのでしょうか。

吉田 そのとおりです。数年や長くても数十年というオーダーでの実験結果を外挿させて予測しても、必ず不確実性がつきまといまいます。その不確実性を減らすために、ナチュラルアナログの研究が必要です。

我々が実際に行うことのできる実験は、数ヶ月～数年のタイムスケールで実施されます。しかし、地層処分における現象は、数千～数万年というオーダーのものであります。したがって、このような超長期に及ぶ現象については、数年程度のタイムスケールの実験で示された変化に関する「速度」や「量」を用いて外挿するしか方法がありません。しかし、外挿を行うにしても、その外挿の方法が適切であることを何らかの形で保証することが必要です。その「保証」ができるのは、「ナチュラルアナログ」だけではないのでしょうか。

—ここで述べる3つのアプローチは、お互いに短所を補う必要があるということですね。

佐藤 重要なことは、実験やシミュレーションだけでは、地層処分システムの長期安全評価のエビデンスにはなり得ないことです。通常、安全評価は実験によって得られたデータを用いて行われますが、保守的な厳しいシナリオを用いて評価されることが多く、それが長じて実際の現象とは、どんどんかけ離れてしまう傾向が見られます。また、実験では短期で結果を得るために、より高温で実験するなど反応を加速することが常道ですが、反応メカニズムが実際に起こりうる現象と同じかどうかの検証はなされません。実際の現象を見失わないためにも、自然の現象を正確に記述するナチュラルアナログの研究が必要です。

一方、ナチュラルアナログの欠点は、天然が行った“実

験”の結果はわかるものの、その初期条件や境界条件を明確にできないことです。この欠点は、地質学的情報や実験的・理論的評価によるアプローチによって、ある程度推定できるものと思われます。



吉田 「地下環境はすぐれた核種隔離機能を有したバリアです。その実力をもっともっと具体的に示したいですね」

—このナチュラルアナログの研究が、なぜ地層処分にとって必要で重要なのですか。

吉田 繰り返しになりますが、簡単にまとめるならば;

- (1) 多重バリアの長期的機能を保証してくれる
- (2) 長期的な将来の現象を先取りして示してくれる
- (3) 専門家だけでなく、一般の人にも具体的な事例として示すことができる、からだと思います。

—長期の周期性のある現象では、観測期間が短いと、外挿では傾向を見誤る可能性もあるということですね。

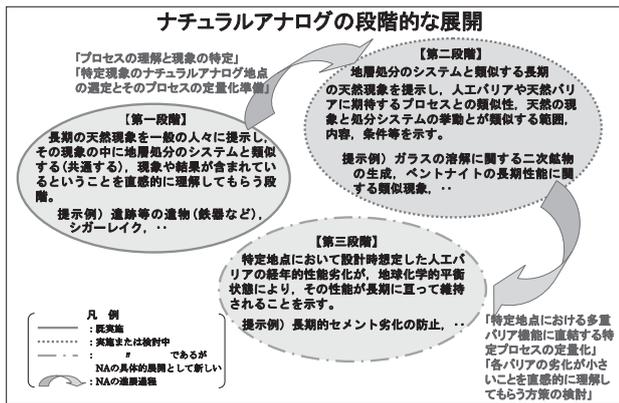
北山 ナチュラルアナログの研究は、現象の先取りという観点から、自然界の何千万年以上といった非常に長い時間をかけた現象を対象に評価するため、長期の周期性のある現象を含んだ核種の挙動を解明することができます。単なる外挿とは違うということです。

—安全評価を行うに当たってナチュラルアナログが必須であることはわかりました。本インタビューに参加のお三方はナチュラルアナログに新しい概念を導入し、安全評価により有益になるように段階的な展開が必要であるとお考えのようですが、どのようなものですか。

北山 第4図に示すように、第1の段階は、地層処分の安全性を一般の人々に直感的に理解してもらうためのナチュラルアナログの研究で、現状までのナチュラルアナログ研究がこれに近いと思います。第2の段階は、天然現象を地層処分の安全性解析等に結びつけるための専門家による個々のプロセスを十分解明する研究です。第3の段階は、一般の人々に「天然現象を科学/技術で説明できる」と直感的に理解してもらう状況に高めることです。

第1段階から第2段階にステップアップする際には、「プロセスの理解と現象の特定」、「特定現象のナチュラルアナログ地点の選定とそのプロセスの定量化準備」が必要です。また、第2段階から第3段階にステップアップする際には、「特定地点における多重バリア機能に直結する特定プロセスの定量化」と、「各バリアの劣化が小さいことを直感的に理解してもらう方策の検討」をし、工学的にこのようなことが言えるようにしておくことが重要です。

—一般の方は、自分の経験やイメージに基づいて、物事を理解したり判断することが多いと思いますが、鉄



第4図 ナチュラルアナログの段階的な展開

(出典：文献5)改訂

器などの遺物が長い年月を経て発見されるということは、日常の経験から容易に理解できると思います。しかし、それらの天然現象が地層処分のシステムと類似するという部分が理解しにくいのではないのでしょうか。

吉田 天然現象が地層処分のシステムと類似していることを理解するためには、イメージの具体化が重要だと思います。また、処分システムも併せて理解してもらうことも必要です。

佐藤 例えば、遺跡の鉄器は遺跡の土の中で「さびる」という現象が起きます。処分場でも安全性の観点からすると、鉄製のオーバーパックが、地下水と反応して「さびる」ことが予想されています。その両者は、巨視的にみると鉄器と鉄製のオーバーパックが異なる地中にあるという全く違うもので、アナログであると理解しただけかもしれません。しかし、「さびる」という現象が起きている土と鉄部分の境界を拡大して虫めがねで見ると、鉄器とオーバーパックのそれぞれの界面で起きている両者の反応がほとんど同じであれば全く区別できません。ですから、微視的には全く同じ現象を見ていることになります。地層処分で用いる安全評価や性能評価に必要なのはここまで拡大した界面の反応です。鉄のさび以外の現象についても同様に、反応が起きている境界面でのどのようなアナログになっているかをきちんと理解する必要があります。アナログ性を説明する際には、こういうわかりやすい説明が必要だと思います。

—第2段階は、工学的な問題を整理する段階だと思いますが、特定の現象やプロセスに対し、地質学、物理・化学的アプローチで、その挙動を説明するには、どのような課題があるのでしょうか。

吉田 基本的にすべては素材としての物質的性質を有しており、その素材としての働きを多少なりとも説明できるためのデータや解釈が必要だと思います。

北山 第2段階では、実際に何が起きているかを丁寧に見て、起きている現象についての範囲や条件を明確にしていくことが必要で、その結果を、第3段階で、特定の現象、プロセスに対し、その挙動を説明できるかが

課題であると考えます。

—特定の地点(例えば応募のあった地域)で、このようなことが成立することを説明できるのでしょうか。具体例はありますか。また、説明の限界はないのでしょうか。

吉田 地質環境の特徴を理解できれば説明できると思いますか、応用できると考えています。具体例は、連載の中で、ご紹介したいと思います。

北山 例えば、ヨーロッパの地質と日本の地質は性質が異なりますが、ナチュラルアナログのプロセスのうち、何が共通で、それは何をもってそう言えるのかを地質環境との関連を含めて、おさえていくことが重要だと思います。

佐藤 処分サイトが決まったとして、その地点において予想される安全評価上のキーとなるプロセスを、他の地点におけるナチュラルアナログ研究で見い出していることが重要となります。そのためにも、第2段階で数多くの“レッスン”が必要です。レッスンという言葉の本来の意味は、「将来同じような状況になった時によりよく振る舞う方法を教えてくれる経験」です。現状では、レッスンが足りないと思います。

—ナチュラルアナログ研究の今後の方向性は。

佐藤 ナチュラルアナログ研究は、安全評価に適用するという目的のほかに、現実的な処分場の設計や最適化を目的とした研究があってもいいと思います。

吉田 我が国の処分システムの評価手法の信頼性を高めるために、地下の研究施設(地下研)の有効な利用や、地質の専門家、モデル評価の専門家の交流も必要でしょう。

北山 地層処分の安全性を担保するための科学的知見として、あるいは関連するステークホルダーの意思決定をサポートするための科学的知見としての役割も期待されていると思います。

—本日は、ナチュラルアナログの新しい概念について、概要をお伺いしました。数万年先を予測する工学技術について、今回は、可能性のある具体例について、次々回は、本日お聞きした段階的な展開の具体的方針とその実現性を示す具体例について解説していただきます。どうぞ、ご期待ください。

—参考文献—

- 1) 「原子力・エネルギー」図面集2009, (電事連).
- 2) http://www.dmmultimedia.com/scientific_02.htm
- 3) 吉田英一, “ナチュラルアナログ研究の再考—東濃ウラン鉱床における研究を例にして”, 放射性廃棄物研究, 2, 93-103 (1996).
- 4) 佐藤努, 福士圭介, “廃棄物処分のナチュラルアナログ研究—あまりアナログにこだわらな”, 資源地質, 53[2], 193-200 (2003).
- 5) 北山一美, 「第11回放射性廃棄物地層処分に関する情報交換会」報告書, (2009).

NUMO「安全確保構想2009」

安全な地層処分の実現のために

原子力発電環境整備機構 土 宏之, 石黒 勝彦, 加来 謙一

原子力発電環境整備機構(Nuclear Waste Management Organization of Japan, 略称 NUMO)は、2000年10月の設立以降、事業の安全な実施に向けた技術の整備に努めてきた。2010年は、原環機構の設立後10年という節目の年であるため、原環機構が安全な地層処分を実現するために基本としてきた方針や、必要な技術の整備状況について技術報告書として取りまとめ、「2010年技術レポート」(仮称)として広く公表することとした。「安全確保構想2009」は、「2010年技術レポート」の核である「安全な地層処分を、事業としていかに実現するか」という安全確保に向けた取り組み方針を、先行的に取りまとめたものである。本稿では、「安全確保構想2009」の内容を、報告書の構成に従って紹介する。

I. 背景と目的

原子力発電環境整備機構(以下、「原環機構」という)は2000年10月、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(以下、「特廃法」という)に基づき、高レベル放射性廃棄物の地層処分を行う実施主体として設立された。その後、2007年の同法改正に伴い、TRU 廃棄物の一部も地層処分の対象とされた。

原環機構は、設立以降、事業の安全な実施に向けた技術の整備に努めるとともに、今日まで様々な立地・広報活動を展開してきたが、市町村からの応募を受けて文献調査を開始する状況には至っていない。現在、原環機構の総力を挙げて、国や関係機関と連携して、文献調査開始に向けて国民への理解活動などに取り組んでいるところであるが、地層処分手業の安全性にかかわる問題への理解は必ずしも十分とはいえないと認識している。

このような状況に鑑みて、原環機構は「2010年技術レポート」(仮称)を作成し、原環機構が事業を推進するに当たって基本としてきた安全確保に向けた取り組み方針を、広く提示することとした。また、地層処分の実現に必要な技術の整備状況についても、国内の関係する研究機関の成果を含めて詳細に記述する予定である。

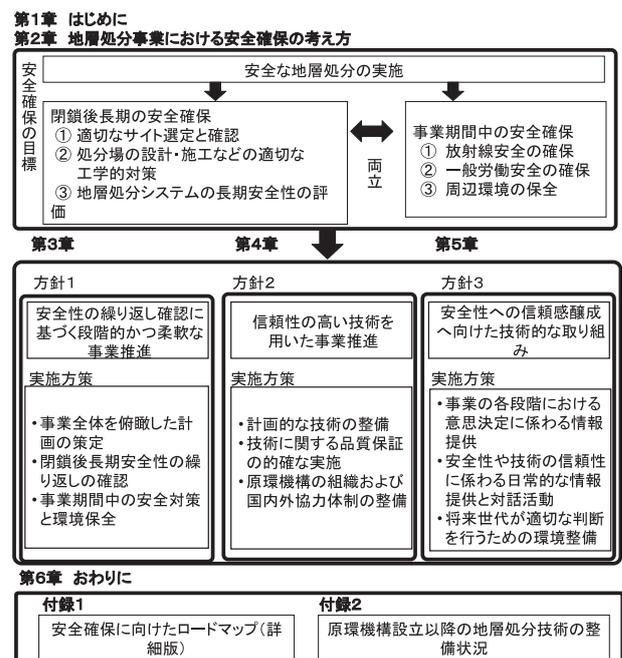
「安全確保構想2009」は、「2010年技術レポート」の核である「安全な地層処分を、事業としていかに実現するか」という安全確保に向けた取り組み方針を先行的に取りまとめたものである。

NUMO Safety Policy 2009; Safe Geological Disposal of the Radioactive Waste: Hiroyuki TSUCHI, Katsuhiko ISHIGURO, Kenichi KAKU.

(2010年 5月11日 受理)

II. 「安全確保構想2009」の構成

「安全確保構想2009」の構成を第1図に示す。まず、地層処分手業における安全確保の考え方として、原環機構が掲げる地層処分手業の目標とその実現のための安全確保策を説明し、その上で原環機構が安全な地層処分手業を推進していくための3つの方針として、方針1「安全性の繰り返し確認に基づく段階的かつ柔軟な事業推進」、方針2「信頼性の高い技術を用いた事業推進」、方針3「安全性への信頼醸成へ向けた技術的な取り組み」を紹介した。



第1図 「安全確保構想2009」の全体構成

Ⅲ. 地層処分の特性

地層処分は放射性廃棄物を隔離し、受動的安全性を確保するために適した特性を有する¹⁾が、固有の課題も存在する。具体的には、地層処分ではこれまで実施されてきた大規模な土木事業や原子力事業などとは異なる以下のような課題が挙げられる。

- ・安全性の評価を極めて長い時間スケールに対して行わなければならない。
- ・天然の地層という不均質で大きな空間領域を対象とする必要がある。
- ・事業が長期にわたるため事業を取り巻く環境が変化する可能性がある。
- ・世界中で地層処分を実現した国は限られており、経験の蓄積が限られている。

地層処分の安全性を十分に確保するためには、これらの特性を考慮し、地層処分固有の課題を十分に認識した上で、多くの分野の関係者がかかわる複雑な事業を合理的に推進していくことが必要である。

Ⅳ. わが国の地層処分の前提条件

2002年12月に原環機構が公募を開始して以降、法律の改正など、地層処分事業を取り巻く環境には様々な変化があった。そこで、安全確保構想を策定するために考慮すべきわが国の地層処分事業の前提となる事項を整理した。具体的には下記の事項である。

- ・地層処分を対象とする放射性廃棄物として、高レベル放射性廃棄物と半減期の長い核種を一定量以上含む低レベル放射性廃棄物が含まれる。
- ・わが国の地質環境の特徴として、変動帯に位置するため、断層活動などが活発で、国土の多くを山岳地帯が占め、地下水が豊富なことなどが挙げられる。
- ・特廃法に基づいて、3段階のサイト選定プロセスを経て処分施設建設地が選ばれる。
- ・サイト選定段階から事業の廃止に至る事業全体では100年(サイト調査段階が約20年、建設段階が約10年、操業段階が約50年、閉鎖～事業廃止段階が約10年)に及ぶ長期プロジェクトとなる。
- ・安全規制が事業期間を通して段階的に整備される。
- ・原環機構は実務的な技術開発を進め、基盤研究機関は基盤技術の強化を進めるという役割分担により技術開発を進めている。

Ⅴ. 地層処分における安全確保の目標

地層処分の安全確保の究極的な目標は、廃棄物が処分場閉鎖後の遠い将来にわたって、人間とその生活環境に有意な影響を及ぼさないようにすることである(閉鎖後長期の安全確保)が、同時に事業としては、閉鎖完了までの事業期間中において周辺住民や作業員の安全を確保

すること(事業期間中の安全確保)も重要である。すなわち、原環機構が進める地層処分事業における安全確保とは、「閉鎖後長期の安全確保」と「事業期間中の安全確保」の2つの目標を達成することである。

1. 閉鎖後長期の安全確保

閉鎖後長期の安全確保という目標を達成するために、原環機構では、放射性廃棄物を閉じ込め、人間の生活環境から隔離することを基本とし、対象廃棄物を安定な地下深部に埋設し、人工バリアと天然バリアから構成される多重バリアシステムによってその機能を担保する。

このような閉じ込めと隔離を確実に実現するためには、下記の3つの安全確保策を確実に実施する必要がある。

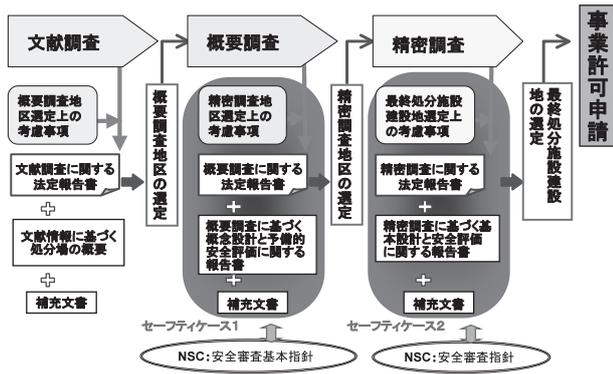
- (1) 地層処分にとって適切な地質環境を選定し、建設段階以降はサイト選定時における評価の妥当性を確認する(適切なサイト選定と確認)。
- (2) 選定された地質環境に対して人工バリアや処分施設を適切に設計・施工する(処分場の設計・施工などの適切な工学的対策)。
- (3) 構築された地層処分システムの安全性を評価する(地層処分システムの長期安全性の評価)。

これらの安全確保策を施し、様々な証拠や論拠に基づいて、地層処分システムが長期にわたって安全性を確保することができることを示すものが、近年、国際的に幅広く受け入れられているセーフティケースの概念である。セーフティケースの概念は、国際的にもほぼ確立したものと見えるが、定義としての表現はいくつかの例があり、例えばOECD/NEAでは「閉鎖された後の制度的な管理の維持が保証できないような時間枠においても、処分場が安全であり続けるとする主張を定量化し立証するための証拠、解析さらには論拠の統合体である」と定義されている²⁾。ここでいう論拠とは、地層処分の安全性を主張する根拠すべてを指し、安全評価の結果とその信頼性に係る情報を中心として、安全評価シナリオ、解析モデル、使用データ、それらの前提となる地質環境や処分場の設計データ等地層処分システムすべてを包含する情報が含まれる。

原環機構は、上述の3つの安全確保策を、段階的な事業の展開にしたがって繰り返し実施し、安全性に関する証拠や論拠を逐次統合化していくことによりセーフティケースを構築し、段階的に精緻化していく。サイト選定段階においては、法令で定められた報告書と、それらに付随する処分場設計や安全評価に関する文書は、それぞれの段階におけるセーフティケースを構成する中核的文書となる。第2図にサイト選定の段階ごとに提示するセーフティケースにかかわる文書のイメージを示す。

2. 事業期間中の安全確保

原環機構は、サイト選定から事業廃止までの事業各段



第2図 サイト選定段階で提示するセーフティケースにかかわる文書のイメージ

階において、施設周辺の一般公衆や作業従事者の放射線安全および一般労働安全の確保を徹底する。

これらの安全対策については、一般の土木工事や原子力施設の建設や操業などで実績を有する安全対策を有効に活用すると同時に、地層処分の特殊性も考慮して、必要な技術開発を進める。なお、事業期間中の安全確保のために講じる様々な対策は、閉鎖後長期の安全確保策と両立するよう考慮する必要がある。

また、処分事業においては、周辺環境へ配慮することも必要であるため、様々な影響を回避・低減することに努める。

VI. 安全確保の目標を達成するための方針

「閉鎖後長期の安全確保」と「事業期間中の安全確保」という2つの目標を確実に達成するためには、地層処分が有する固有の課題や、わが国固有の前提条件を十分に考慮して事業を進める必要がある。

1. 安全性の繰り返し確認に基づく段階的かつ柔軟な事業推進

地層処分の閉鎖後長期の安全性については、考慮すべき時間が長く、不均質な地下環境を活用するため、避けがたい不確実性を伴う。そのため、念入りの調査や評価を行い、不確実性をできるだけ低減しながら安全性に関する信頼性を向上させていく必要がある。そのため、原環機構は、「安全性の繰り返し確認に基づく段階的かつ柔軟な事業推進」を方針とした。また、原環機構は、この方針を具体的に展開するために、以下の実施方策を策定した。

- ・事業全体を俯瞰した計画の策定
- ・閉鎖後長期の安全性の繰り返し確認
- ・事業期間中の安全対策と環境保全

原環機構では、事業全体を俯瞰した計画策定のために「安全確保に向けたロードマップ」を作成した。安全確保に向けたロードマップは、各段階における事業目標、安全確保にかかわる目標、目標達成にかかわる要件、安全

確保のための実施事項を記述したものであり、事業の進展とともに、その時点までの技術の進展や新たな状況変化を反映しつつ詳細な内容に改訂していく必要がある。現時点では事業全体を10の段階に分類している。

具体的には、①概要調査地区選定段階、②精密調査地区選定段階、処分施設建設地選定段階(③地上からの調査、④地下施設での調査)、⑤安全審査の段階、⑥建設段階、操業段階(⑦操業期間中、⑧操業の終了・閉鎖措置計画認可申請)、⑨閉鎖段階、⑩閉鎖後～事業廃止の段階である。第3図に「安全確保構想2009」に掲載した安全確保に向けたロードマップの概要版を示す。

2. 信頼性の高い技術を用いた事業推進

数万年以上にわたる閉鎖後長期の安全性は、従来の実証的な手法では確認できないため、安全評価においては、科学技術などの知見を集約したモデリングとデータに基づく予測的安全評価手法を採用することになる。このため、その評価の前提となるサイト調査や工学的対策において、さらには、安全評価手法やその基になる科学的な知見について、信頼性の高い技術や情報を用いることが重要である。原環機構は、この方針を具体的に展開するために、以下の実施方策を策定した。

- ・計画的な技術の整備
- ・技術に関する品質保証の的確な実施
- ・原環機構の組織および国内外協力体制の整備

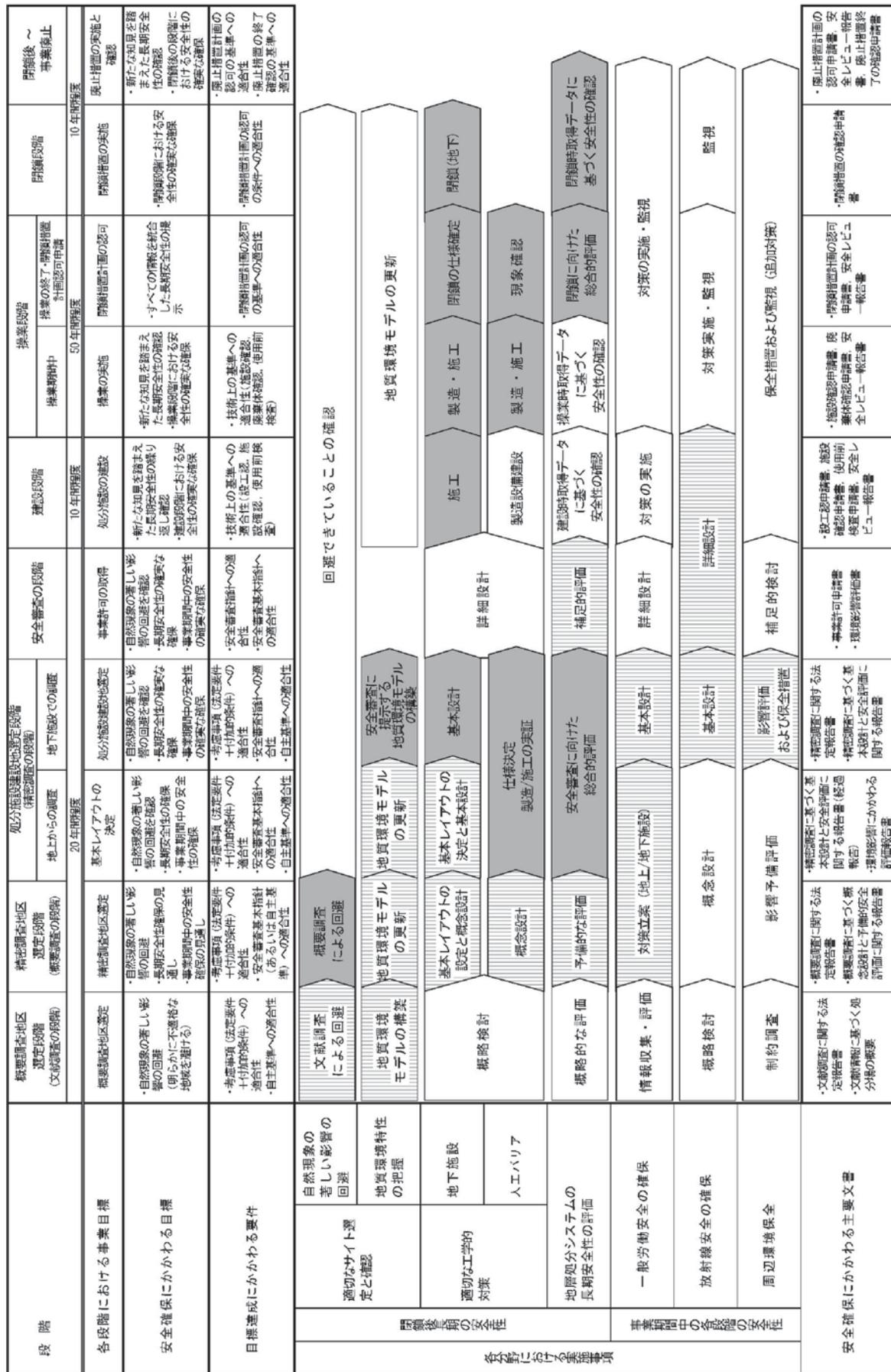
原環機構は地層処分の安全な実施と経済性および効率性の向上を目的とした技術開発を進め、日本原子力研究開発機構などの基盤研究開発機関は深地層の研究施設などを活用して、深地層の科学的研究や、地層処分技術の信頼性向上、安全評価手法の高度化などの基盤的研究を実施している。また、原環機構は、基盤研究開発により得られた成果が有効に地層処分事業に役立つよう基盤研究開発へのニーズ提示および成果の確認を実施している。第4図に技術開発スケジュールと基盤研究開発との関連を示す。

また、原環機構は開発した技術を事業の中で適切に使用するために、品質マネジメントシステムの開発に取り組んでいる。安全な処分事業を実現するためには、原環機構の組織強化を行うとともに、国内外の協力体制を整備することも重要だと認識しており、それらに対する取組みを進めている。

3. 安全性への信頼感醸成へ向けた技術的な取組み

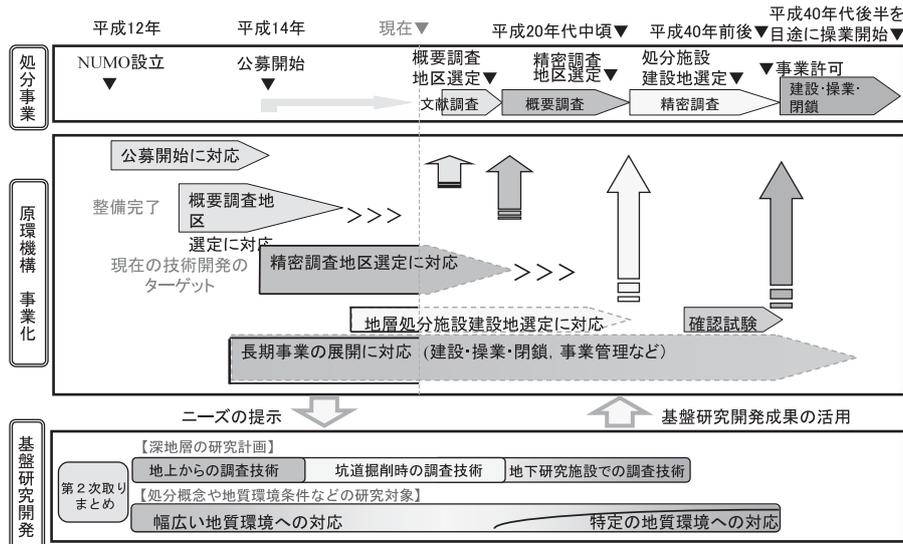
地層処分事業においては、技術的な検討により示された安全性をいかに国民や地域住民の安心感につなげ、事業を受け入れてもらうかが、事業を実現させるための重要な要件である。原環機構は、この方針を具体的に展開するために、以下の実施方策を策定した。

- ・事業の各段階における意思決定にかかわる情報提供



凡例 □ : 安全確保上重要な実施事項 □ : 安全確保上特に重要な実施事項

第3図 安全確保に向けたロードマップ(概要版)



第4図 技術開発スケジュールと基盤研究開発との関連

- ・安全性や技術の信頼性にかかわる日常的な情報提供と対話活動
- ・将来世代が適切な判断を行うための環境整備

地層処分事業においては、サイト選定段階から事業の廃止に至る間に、いくつもの重要な意思決定の機会がある。こうした意思決定を円滑に進めていくためには、それぞれの段階の意思決定に必要な情報を関係者に的確に提示し、理解を求めていく必要がある。

また、地層処分の安全性や技術の信頼性について関係者の理解を深めることは、意思決定を円滑に進める上で不可欠であり、そのためには特に関係する自治体や地域住民に対し、日頃から、的確でわかりやすい情報の提供と対話活動を進めていくことが重要である。

地層処分事業においては、現世代が今の時点で、100年近い将来の事業のあり方を固定的に決めてしまうのではなく、将来世代がその時点における諸条件の中で一定の決定をする余地を残しておくことも重要である。

Ⅶ. おわりに

「安全確保構想2009」は「2010年技術レポート」の核となる安全確保構想を先行して取りまとめたものである。「安全確保構想2009」では、安全な地層処分を実現するための基本的事項の整理と、原環機構の方針の提示を行った。「2010年技術レポート」では、2000年以降、原環機構が実施した技術開発の成果や基盤研究開発機関が実施した研究成果によって、原環機構の安全確保構想を支える技術が着実に進展していることを具体的に示す。これにより、安全な地層処分の実現に対する技術的信頼性が、原環機構が設立された2000年の段階に比べて一段と向上したことを示していく予定である。

「安全確保構想2009」の取りまとめにあたっては、報告書のレビューをいただいた原子力学会の特別専門委員会をはじめ、原環機構の技術アドバイザー委員会、基盤

研究開発機関など、多くの専門家の方々から有益なご意見やご助言をいただいた。原環機構は、これらの意見・助言を参考として「2010年技術レポート」の取りまとめに取り組んでいく。

—参考資料—

- 1) OECD/NEA, The Environmental and Ethical Basis of Geological Disposal of Long-Lived Radioactive Waste, A Collective Opinion of the Radioactive Waste Management Committee of the OECD Nuclear Energy Agency, (1995).
- 2) OECD/NEA, Post-Closure Safety Case for Geological Repositories, Nature and Purpose, OECD/Nuclear Energy Agency, Paris, France, (2004).

著者紹介

土 宏之(つち・ひろゆき)



原子力発電環境整備機構
(専門分野/関心分野)放射性廃棄物の地層処分事業にかかわる技術全般、特にサイト選定段階における調査・評価技術

石黒勝彦(いしぐろ・かつひこ)



原子力発電環境整備機構
(専門分野/関心分野)放射性廃棄物の地層処分技術と性能評価、人工バリアの開発、地層処分システム開発と安全評価全般

加来謙一(かく・けんいち)



原子力発電環境整備機構
(専門分野/関心分野)放射性廃棄物処分における安全評価と工学対策の取り扱い、放射性廃棄物処分事業における技術開発全般

講演

話題の女性・おふたりとのダイバシティ・トーク

科学技術・原子力における男女共同参画

日本原子力学会 男女共同参画委員会 岩城 智香子

男女共同参画委員会では、「2010年春の年会」の企画セッションにて、話題の女性おふたり、内閣府男女共同参画局長の岡島敦子氏、内閣府原子力委員会委員の秋庭悦子氏をお招きし、講演会を開催した。岡島氏は、日本および科学技術分野において女性の進出が遅れている現状を統計的資料を基に示され、男女共同参画が進まないことが及ぼす社会的影響について説明された。また秋庭氏は、原子力特有の課題、女性の進出が進まない要因にふれ、今後、女性に期待されることについて述べられた。講演後、会場から多くの意見が出され、活発な議論がなされた。

I. おふたりの講演より

原子力政策大綱には、人材育成の観点からも、若手、女性、外国人研究者等多様な人材が活躍できる環境を整備することが重要である、とうたわれている。しかし、日本の原子力分野の実態はどうか。「2010年春の年会」の男女共同参画企画セッションでは、今、話題の女性おふたりをお招きし、原子力分野での男女共同参画をテーマに、女性進出の現状や女性に期待されることなどについてお話いただいた。

1. 岡島敦子氏の講演より

(1) 国際的にみた日本の男女共同参画

まず、内閣府男女共同参画局長の岡島敦子氏は、「女性科学者の活躍をめざして」をテーマに講演された。

最初に、国際的に見た日本の男女共同参画について国連のデータを示された。寿命、教育水準などから算出されるHDI(Human Development Index)では、日本は世界のベスト10に入る。一方、国会議員や管理職・専門職に占める女性割合、男女の所得差から算出されるGEM(Gender Empowerment Measure)は、日本は57位である。このことは、日本の女性は教育水準が高いにもかかわらず、その能力が社会の中で生かされていないということを示唆する。

(2) 科学技術分野における男女共同参画

科学技術分野においても、研究者に占める女性割合は、日本は13.1%と、アメリカ合衆国の34.3%やフランスの27.7%と比べてもかなり低い。また、大学教員や学生の女性割合も工学分野は他分野に比べ低い。これらの

要因として、女性が理系に向かないとの思い込みや、ロールモデルが少なく、大学卒業後の進路をイメージしにくいということなどがあるのではと分析された。

このような問題を解決するため国では、「2020年30%」目標、つまり社会のあらゆる分野において2020年までに指導的地位に女性が占める割合を30%とする、あるいは自然科学系全体の女性の採用を25%とするなど数値目標を掲げていること、具体的施策として女性の職場復帰支援、理系進路選択支援などがあることが紹介された。

(3) ワーク・ライフ・バランス

昨今、家族形態や働く環境が変化する一方で、長時間労働や長期勤続などの働き方は依然として変わらない。これが「仕事」と「生活」の二者択一状況を生んでいる。つまり仕事に追われる人と、働きたくても働けない人との二極化である。これによって少子化の進行、男女共同参画が進展しない、長時間労働による心身疲労等の様々な社会的問題が発生すると指摘された。

日本の国際競争力を強化し、科学技術において主導的立場を維持するためにも、多様な人材の育成・登用は生命線であり、これまでのモデル的取組の段階から基本的枠組みの中に位置づけ、今後はより具体的な制度として進めていくべきと述べられた。



講演中の岡島敦子氏
多くのデータを基に現状を説明された。

2. 秋庭悦子氏の講演より

(1) 原子力分野における女性人材

続いて、内閣府原子力委員会委員の秋庭悦子氏は、「こ

Diversity Talk with Two Women in the News: Chikako IWAKI

(2010年 5月24日 受理)

れからの原子力分野において女性に期待されること」をテーマに講演された。同氏は、消費生活アドバイザーとして消費者の立場からエネルギーに関する情報の普及活動を行ってこられたが、このような観点から、独自の分析と女性への提言がなされた。

まず、原子力分野における女性人材の現状として、世界平均割合の15%に対し、日本は2%程度と著しく少ないこと、管理職の割合が男性に比べて極めて少ないことをデータに基づき示された。原子力の分野では消費者のニーズという形で女性からのフィードバックがはたらかず、女性の視点が重要視されない。したがって、原子力業界はいまだに圧倒的男性中心社会から抜け出さないうるのではないかと、との指摘であった。

(2) 原子力に対する女性の意識

さらに、2009年内閣府による「原子力に関する世論調査」によると、原子力に対する認知度が女性は男性に比べて低く、女性は原子力推進に慎重であり、原子力に対してより不安を感じていることが紹介された。原子力に対する女性の理解なくしては原子力が社会に受け入れられることはない。女性の不安を解消するには、同じ生活者の立場である女性からの情報は信頼度が高いため、女性のアプローチが効果的である。原子力の分野で女性が活躍することが、原子力の認知度を高めることに繋がる。女性が原子力の分野で生き生きと働いているということだけでも、一般の人にとっては原子力を身近に感じられるのだと述べられた。

(3) 女性に期待されること

少子高齢化社会とともに、社会の意思決定に女性の意見が求められる場面がますます多くなる。技術者や研究者も、原子力について社会に伝える努力をすることが必要である。自分の専門分野を生き生きと語ってほしいとのことであった。

最後に、日本原子力研究開発機構における、女性割合13%を目標とした女性職員採用促進などの取組みが紹介された。女性採用比率の目標値を設定することについては様々な意見があるが、ある期間は強制的に女性を増やすことも必要ではないかと述べられた。



講演中の秋庭悦子氏
女性への期待を語られた。

II. 座談会

お二人の講演後、小川順子男女共同参画委員長を交え、座談会形式で意見交換を行った。会場からも多くの

発言があり、活発な意見交換が行われた。

会場の女性から、ポジティブアクションに対して意見があった。「数値目標を高くしても、女性が少ない現状では、結果的に女性が複数の役割を引き受けることになり、全体の層が底上げされることにはならない。」とのことである。女性比率の数値目標については、逆差別ではないかとの意見もあった。現状を踏まえた無理のない数値であるべきであろうが、今後も議論が必要である。

「原子力の分野では、どこに女性がいるのかわからない。」という意見もあり、小川委員長は「学会などで表にでないが活躍している女性はいる。そうした女性をできるだけ紹介するようにしている。」と発言された。

「資金的インセンティブがあると女性を採用しやすい」という発言もあった。できれば女性より男性を採用したいという意識は依然としてあるようだ。

会場の男性から、「女性は、研究者としては優秀でも外部との折衝能力に問題あると感じており、管理職に昇進させるのに躊躇する。」という発言がでた。これに対し、「意思決定の場が夜に設けられるなど、女性が参画しにくい環境が作られている」という指摘や、「外部との折衝の場に同席するチャンスを与えられれば、女性も管理職として成長できるはず」との意見があった。

この男性のような意見は決して少数ではないのかもしれない。もっと能力を発揮したいと考える女性と、女性のマネジメント能力を疑問視する男性。まだ両者の認識の乖離は大きい。このギャップを埋めるために、まずはもっと意見交換し、お互いの意見をよく知る必要があるのではないか。今回の討論では、男性からも忌憚のない意見が聞け、いくらか本音の議論ができた点で有意義であったと考える。

今回始めて参加者に企画に対するアンケートをとったところ、今後のテーマとして、ワークシェアリング等の働き方や学童保育など具体的な方策はどうかとの意見があった。また、異なる専門分野の人や欧米の女性との意見交換との要望もあった。原子力分野での男女共同参画が少しでも進むように、本委員会では今後もこのような企画を継続していきたい。

著者紹介

岩城智香子(いわき・ちかこ)



(株)東芝 電力・社会システム技術開発センター
(専門分野/関心分野)二相伝熱流動, 熱流体機器開発

Scope

原子力発電環境整備機構 (NUMO)

このコーナーでは、国内の原子力を担う関連機関を紹介します。

責任をもって放射性廃棄物の地層処分を行う、それが NUMO の使命です

『電気の廃棄物』を安全・確実に処分するために

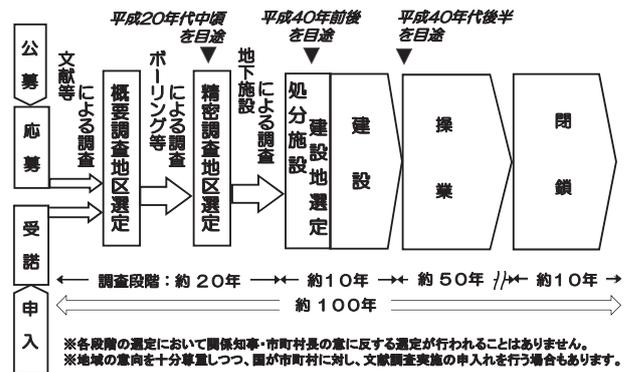
今や日常生活や経済活動になくてはならない電気，その約3割は原子力が担っている。しかし，原子力の利用は長期にわたって人間の生活環境から隔離しなければならない放射性廃棄物等の発生を伴う。

原子力発電環境整備機構(NUMO)は，原子燃料サイクルなど原子力の有効利用に伴い生じる高レベル放射性廃棄物等の地層処分(第1図)を安全，確実にを行うため，経済産業大臣の認可の下，地層処分の実施主体として2000年10月に設立された。

地層処分を冷静に受け止めていただける環境づくり

処分場建設地の選定から始まる処分事業は計画的かつ着実に進めなければならない。選定にあたっては，文献調査・概要調査・精密調査といった3段階の調査に基づくプロセス(第2図)が法律により定められているが，その期間は調査だけでも約20年を要し，処分場の建設・操業，閉鎖後の管理まで含めると100年にも及ぶ事業となる。

このため NUMO は事業の透明性を図りつつ地域の自主性を尊重することが大切と考え，選定の第1段階となる文献調査を行う区域を全国の市町村から公募しているが，現段階で文献調査を開始している地点はない。



第2図 処分事業の概要スケジュール

一方，過去40年以上にわたる原子力発電所の運転により生じた高レベル放射性廃棄物は，2009年末現在，ガラス固化体に換算して約23,100本存在する。すでに存在するこれら放射性廃棄物をどう取り扱っていくのかということは，原子力利用を好むと好まざるにかかわらず避けることのできないものであり，将来のエネルギー利用を踏まえると，原子力の恩恵を享受してきた我々の世代が，まさに今，解決しなければならないものである。

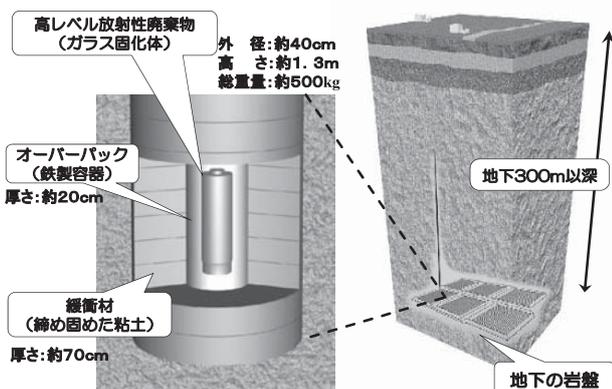
これまでのいくつかの地域での対応を省みると，放射性廃棄物の処分問題を解決するには，調査等を受け入れる地域の方々のみならず，国民の皆さまに広く処分事業に関する広聴・広報活動を行い，皆さまが「自分達の問題」として「必要性・安全性を理解し，関心をもって地層処分を冷静に受け止めることができる環境」を構築することが必要である。

「自分達の問題」として考えていただくために

NUMO は事業概要の周知，地震や火山活動など事業に関して抱く不安や懸念に答えるだけにとどまらず，処分問題が電気を支えられた現代に生きる自分達の問題であり，決して他人事ではないとの認識を共有していただくことを目指し，国や電気事業者との連携を一層強化しながら，原子力の日(10月26日)を中心に展開する全国キャンペーン等，様々な広報活動を展開している。

1. 全国レベルでの広報活動

全国レベルでの広報活動として，新聞・テレビといっ



第1図 地層処分の仕組み

たマスメディアやホームページ等を通じ、地層処分の意義や必要性、安全性等に係る情報を積極的に発信するとともに、一緒に考え、話し合う場として、対話型の座談会やフォーラムを全国各地で開催(2009年度まで累計126回開催)している。

また、近年では年に10回程度、各地域のNPO団体やそのネットワークを活用して「知る・考える・わかちあう」をキーワードに草の根的な相互理解活動(ワークショップ)を行い、問題を共有する方々の拡大を図っている。

さらに、より多くの方々が地層処分の安全性を体感できるように科学技術館(東京北の丸公園)に体感映像シアターを設置したほか、電気事業者のPR館等への人工バリア実物大模型等の展示(第3図)を進めている。



第3図 電力PR館での模型展示例(東北電力グリーンプラザ)

2. 自治体等地域に向けた広報活動

NUMOは、公募周知のため、全国の市町村、都道府県に「公募関係資料」を送付するとともに、自治体や経済団体向け雑誌への広告掲載等を行い、地域の処分事業への関心喚起を図っている。

また、各地からの問合せ等の機会を捉え、当該地域へ積極的に出向き、事業概要の説明や地域共生モデルプランの提示等を積極的に行っている。

これに加え、現在、より迅速かつ広がりを持って地域に密着した理解活動が展開できるよう体制の整備・充実を進めているところである。

安全な事業推進に向けた技術的取り組み

NUMOは、実施主体として処分事業に必要となる地質環境の調査・評価技術や、処分場の設計・建設および安全評価に関する技術、ならびに事業管理システムなど

について、整備に取り組んでいる。これら技術は、1970年代後半から国の研究機関において開発されてきている基盤技術を体系化、実用化したものであり、処分事業が100年にもわたるプロジェクトであることから、適切な時期に最適な成果が得られるように、段階的に整備してきている。これまでに概要調査地区選定に必要なツールの整備を終えており、現在は精密調査地区選定に対応した技術開発を行っている。また、技術の蓄積や関係機関からの技術移転が確実に行われるよう、長期的な視点に立った人材の確保や育成、体制の整備にも取り組んでいる。

また今年度、NUMOは設立10年目を迎えるにあたり、安全な地層処분을事業として実現していく上での基本方針と、この10年の技術の進展を包括的に示す『2010年技術レポート』(仮称)の作成に取り組んでいる。基本方針では、「閉鎖後長期の安全確保」と「事業期間中の安全確保」を調和的に達成することを目標とし、それらを実現していく際の3つの基本対応方針を『安全確保構想2009』に取りまとめた(概要については、本誌、36ページの解説を参照ください)。このように、技術開発成果などは、技術報告書に取りまとめたり、学会で発表したりするなど、積極的に情報発信を行っている。

また、地層処分に関する共通課題に対して、IAEAやOECD/NEAなどの国際会合への参加や、海外の地層処分の実施主体と協力協定を締結しての情報交換や共同研究の実施などにより、国際的連携を推進している。

NUMOは、今後も地層処分の安全かつ確実な実施に向けて環境整備を進めるとともに、更なる理解者層の拡大や地域への広がりを図り、我々の世代自らが解決しなければならない高レベル放射性廃棄物等の処分問題を、責任をもって解決するために地層処分事業を着実に進めて参ります。

原子力発電環境整備機構(NUMO)の概要

主要業務：原子炉使用済燃料の再処理過程で生じる放射性廃棄物等の最終処分、及び最終処分場の選定・建設・維持改良・閉鎖・閉鎖後の管理

設立：2000年10月18日

理事長：山路 亨(やまじ・とおる)

職員数：85名(2010年1月1日現在)

HP：<http://www.numo.or.jp>

(2010年 6月3日記)

ATOMOS Special

欧州 総括編

世界の原子力事情 第8回

スウェーデン・スペインの原子力事情

(社)海外電力調査会 東海 邦博

ドイツと同時期に脱原子力に踏切ったスウェーデンは、ドイツと異なり現在、見直し作業を活発化させており、原子力発電所新規建設の動きも出てきた。一方、チェルノブイリ事故で原子力開発がストップしたスペインでは、大規模な再生可能エネルギー開発を進めているが、ドイツ同様、脱原子力見直しの動きは鈍い。以下、両国の動向を紹介する。

I. スウェーデン

1. エネルギー・電力事情：電源は水力と原子力で構成

スウェーデンは化石燃料資源に乏しく輸入に依存しているが、豊富な水力資源と原子力開発によって1次エネルギーの自給率は65%に達している。特に発電部門では水力と原子力でほぼ90%を賄う体制(2008年は水力44%、原子力46%、火力9%、その他1%)である。この発電コストの安い水力と原子力により、スウェーデンは欧州で電気料金が最も安い国の一つである。そのため、電気暖房が普及(1戸建て住宅の1/3)しており、人口1人当たりの電力消費量は日本の2倍にも上る。

2. 原子力発電開発の経緯：4つのサイトで発電

そのスウェーデンの電力供給を支える原子力発電は、スイスなどと同様、国内に重電メーカー・アセア社を抱えていたこともあり、戦後の早い時期から開発が行われてきた。当初は国産の重水炉を1基、研究炉として開発したが、60年代後半には、商業炉は米国で開発された軽水炉の導入を決め建設を開始した。その結果、4つのサイトでBWR、PWR合わせて12基が建設された。すなわち電力庁(現在の国有企業ヴァッテンファル社)などが出資するフォルスマルク(BWR3基)およびリングハルス(BWR1基、PWR3基)、また、その他の事業者の共同出資によるオスカーシャム(BWR3基)、さらに民営のシドクラフト社のパーセベック(BWR2基)が70年代末から80年代半ばにかけて次々と運転を開始した。このうち、リングハルスのPWRのみWH社製で、残りのBWRはすべてアセア・アトム社製である。

3. 脱原子力政策：1サイト・2基を閉鎖

このように順調に原子力発電開発に乗り出したスウェーデンであったが、80年代に入って状況は一変した。原子力開発を推進してきた社民党中心から原子力反対の中央党中心の連立政権への交代に加えて、米国TMI事故の勃発によって、1980年の国民投票では、当時運転

中および建設中の12基は運転・建設を継続するものの、代替電源開発を条件に2010年までに閉鎖することが決まった。

しかし、その後、代替電源が確保できないことや産業界・労働組合等の反対で、長らく実際の閉鎖は実施されずに来たが、1997年に脱原子力に転じた社民党に原子力反対の緑の党などが加わった連立政権が成立したことから、ついに閉鎖されることとなった。閉鎖されたのはパーセベック発電所で1999年に同1号機、さらに2005年には同2号機が閉鎖された。その結果、2010年現在、運転中の原子力発電設備は10基940万kWとなっている。パーセベック発電所が選ばれたのは、原子力反対のデンマークから、同国の首都コペンハーゲンの対岸に同発電所があることを理由に再三にわたって閉鎖を求められてきたことによる。

4. 脱原子力政策の見直し：政権交代で新規建設も視野に

しかし、スウェーデンでは、脱原子力の流れはドイツのように長くは続かなかった。2006年に政権に就いた保守連立政権(原子力推進の穏健党、原子力容認に転じた中央党などで構成)は、2010年の総選挙まで既設炉の閉鎖および新規建設のいずれについても凍結する方針を決定した。さらに、2010年3月には、政府は脱原子力政策を転換し、現在運転中の10基の建替えのための新規建設を認める法案を議会に提出した。順調に審議が進めば、この9月の総選挙までに成立する見込みである。

スウェーデンがドイツより早く脱原子力見直しに転じつつある背景には、電源構成の違いがある。ドイツと異なりスウェーデンでは、発電部門は原子力と水力でほぼカバーされ、フランスやスイス同様、すでにCO₂排出ゼロ体制が確立されている。前政権は、原子力の閉鎖分を既設の原子力発電設備の出力増や隣国からの電力輸入、さらには再生可能エネルギーで代替する政策を進めてきた。しかし、水力は環境保護上の制約から小水力(2008年90万kW)を除いてこれ以上の開発は不可能となっている。一方、風力や太陽光、バイオマス発電も開発されてはいるが、風力はドイツなどに比べると風況に恵まれ

ておらず、これらの電源の開発には限界がある(2009年現在160万kW)。電力輸入も、石炭火力が主流のデンマークから輸入すれば、CO₂排出ゼロの原子力を最も排出の多い石炭火力からの電力で代替するという矛盾を抱え込む。また、これ以上原子力発電所を閉鎖すれば、天然ガスなど火力の導入が必要となるが、これもCO₂排出増に繋がる。したがって、発電部門でCO₂排出増とならないためには、10基の既設炉の運転を継続するとともに、将来、これらが寿命を迎えた際には同じ原子力で建て替える必要がある。このロジックは国民にもよく理解されており、2008年の世論調査では、増設も含めた原子力利用を容認する意見が80%を占めた。

実際、スウェーデンでは、温室効果ガスの削減は、京都議定書での目標1990年比4%増(スウェーデン独自の目標は4%減)に対して、2008年は7.4%減とすでに目標を達成している。しかし、これは発電部門以外での再生可能エネルギーの導入や省エネルギーによるものと見られている。バイオマスなど再生可能エネルギーの利用は暖房など発電部門以外のほうが盛んである。いずれにしても、CO₂削減をさらに進めていくためには、原子力発電の継続は不可欠といえよう。

5. 放射性廃棄物処理・処分：高レベルの立地が進展

スウェーデンは当初、再処理リサイクル路線を取っていたが、1983年に直接処分に政策転換した。したがって高レベル放射性廃棄物は使用済み燃料が主である。

放射性廃棄物処分は原子力活動法により、廃棄物発生者に安全・確実な方法で処分する義務が課されており、電気事業者が出資する核燃料・廃棄物管理会社(SKB)が1985年に設立された。このSKBによる放射性廃棄物処分施設の立地・建設は他の先進国に比べて進んでいる。低中レベルは、処分施設(SFR)がフォルスマルク発電所に隣接して海底下50m以上の岩盤上に建設され、1988年から運転されている。

一方、高レベルについては、使用済み燃料を集中中間

貯蔵施設(CLAB)で30~40年冷却した後、地下500mの岩盤上へ直接処分する方針であり、すでにCLABはオスカーシャム発電所に隣接して地下25mに建設され、1985年から運転されている。

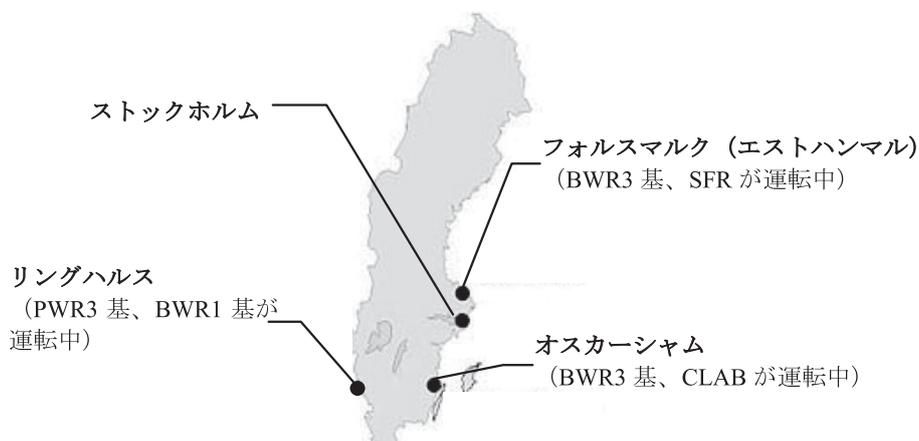
当の処分施設は、オスカーシャム発電所に隣接したエスポ岩石研究所で処分技術の実証・開発が実施される一方、サイトの選定・立地作業が終盤に差し掛かっている。1970年代後半から、段階的にサイト候補地点の絞り込みが行われ(一般サイト調査→実行可能性調査→詳細サイト調査→詳細特性調査)、2000年には詳細サイト調査地点として、3つの候補地点(エストハンマル、オスカーシャム、ティエルブ)と1つの予備候補地点(ニーシェピング)が選定された。このうち、地元自治体が調査を受け入れたエストハンマル(フォルスマルク発電所、SFRに隣接)とオスカーシャムでは、実際に調査が行われてきたが、2009年6月には、エストハンマルが詳細特性調査地点として選定された。SKBは許可が得られれば2011年には建設を開始し、2022年には運転開始に持ち込む計画である。

II. スペイン

1. 原子力発電開発の経緯

スペインもスウェーデン同様、石油など化石燃料資源に乏しいことから、早い時期から原子力開発に積極的に乗り出した。60年代後半から70年代初めにかけて、米国からは軽水炉を導入し、ホセカブレラ発電所(WH社製PWR 16万kW)とサンタ・マリアデガローニャ発電所(GE社製BWR 47万kW)を、またフランスからはガス炉を導入し、バンデリヨス発電所1号機(GCR 50万kW)を建設した。

さらに、1973年の石油危機後は、「国家エネルギー計画」(PEN)が策定され、12基の原子力発電プラントを建設する計画が打ち出された。この計画に従い、80年代にアルマラス(PWR 2基)、アスコ(PWR 2基)、コフレンテス(BWR 1基)、トリリヨ(PWR 1基)、バンデリヨス



第1図 スウェーデンの原子力施設サイト

出典：SKBなど各種資料より作成

(PWR 1基)の各サイトで100~110万kW級のプラント、合計7基が次々と運転を開始した。

2. 脱原子力政策：TMI、チェルノブイリで開発ストップ

しかし、1982年に誕生した社会労働党(PSOE)政権は、米国TMI発電所事故の影響から開発計画を大幅に縮小した。1983年のPENでは、建設中のレモニス(PWR 2基)、バルデカパロデス(BWR 2基)の合計4基の工事が中断され、トリリヨ2号機(PWR)の計画も凍結された。続いて1991年のPENでは、1986年のチェルノブイリ事故の影響で、前述の5基の建設計画の中断・凍結は解除されず、1994年には法律によって、これらの建設計画は最終的に中止されることになった。また、運転中の発電所についても、1990年にバンデリヨス1号機が閉鎖された。

さらに2004年に8年ぶりに政権に就いたザパテロ社会労働党政権は、電源政策として、既設の原子力発電所の段階的閉鎖、再生可能エネルギー発電およびクリーンコール技術の開発促進を掲げ、脱原子力に踏み出した。2005年には、政府は発電設備容量に占める原子力比率を、2011年までに当時の23%から10~16.5%にまで低減する計画を発表し、電力会社が求めていたホセカブレラ発電所の2009年以降の運転延長申請を却下した。続く2008年3月の総選挙でも、ザパテロ首相は再度、脱原子力を掲げて首相に再選された。

3. 脱原子力見直し：運転期間延長は認める方向

選挙後も、同首相は原子力の新規建設は行わず、既設炉はその使用可能な期間だけ運転を継続させるとし、これまでのところ脱原子力政策そのものに変更はない。しかし、最近では運転期間の延長に応じるなど柔軟な姿勢も見せ始めている。

政府は2009年7月、サンタ・マリアデガローニャ発電所について、2013年7月6日まで4年間の運転延長を認める決定を下した。スペインでは、原子力発電プラントは10年ごとに運転許可の更新を行わなければならないが、運転期限は40年が目安と考えられており、前述のように、最初に40年を迎えたホセカブレラ発電所は2006年に閉鎖された。2009年7月に運転許可が切れるサンタ・マリアデガローニャ発電所については、2009年6月、原子力安全委員会(CNS)が10年間の運転延長を認める報告書を政府に提出していたが、政府はとりあえず2013年までの延長を認めた。

他の原子炉についても、政府は安全面で問題がなければ40年以上の運転を認める方向で、2009年12月には産業大臣がそのための法改正を行う意向を示した。

4. CO₂削減目標達成は困難：原子力なしではさらに悪化

この政府の姿勢の変化には、温室効果ガス削減が思う

ように進まないことが背景にある。政府は発電部門でのCO₂削減策として再生可能エネルギー開発を推進しており、一定の成果は上げている(2008年の発電に占めるシェアは水力7%、風力11%)。特に風力発電は2008年には1,670万kWに達し、欧州ではドイツに次ぐ第2の風力発電国となっている。太陽光発電も340万kWで同じく欧州第2位である。しかし、依然として電源の中心は、火力発電(天然ガス33%、石炭17%、石油4%、コージェネ12%)であることに変わりはない。

そのため、温室効果ガス削減は目標(2010年に90年比15%増)に対して、2007年の実績は53.5%増と大幅に目標を上回っており、達成はおぼつかない。原子力は計8基800万kWの設備によって発電の約20%を占め、この原子力発電を止めれば排出量がさらに増大することは間違いない。

実際、世論調査でも、脱原子力賛成の意見は減少の傾向を見せている。2008年8月に実施された調査では、既設の原子力発電所がスペインに利益をもたらしていると回答した人が47%、そうではないと回答した人が39%となった。

5. 放射性廃棄物処理処分：高レベルは中間貯蔵施設の立地を優先

使用済み燃料も含めたすべての放射性廃棄物の管理は、1984年に設立された放射性廃棄物管理公社(ENRESA)が担当している。

再処理については、政府が1983年以降行わないことを決定したため、使用済み燃料は現在、各発電所内(所内プールあるいは所内暫定貯蔵施設)に貯蔵されている。

低・中レベル放射性廃棄物については、ENRESAは1992年からコルドバ県北西部のオルナチュエロスに立地するエルカプリル処分センターを運転している。すでに貯蔵容量の50%以上に達しており、2020年には満杯になるため、新しい処分施設が必要と見られている。

使用済み燃料などの高レベル放射性廃棄物については、1980年代に深地層処分施設の立地を目指したが、地元自治体や国政レベルでの反対により実現に至らなかった。1999年のENRESAの第5次放射性廃棄物計画では、サイト選定の凍結を、さらに2006年の第6次計画では、最終処分方策の決定先送りを決めた。

そのため、ENRESAは現在、集中中間貯蔵施設(ATC)の立地を最優先で進めている。2006年に政府はATCサイト選定省間委員会を設置、2009年12月には自治体に応募を呼びかけた。2010年2月には、応募した12の自治体から9つ自治体が正式に承認された。ENRESAはこの夏までに最終選定を行い、2014年には運転開始に漕ぎ着ける計画である。

連載
講座実験炉物理：未来へのメッセージ
次世代の安全基盤の確立に向けて

第1回 KUCA における炉物理実験

原子力安全委員会 代谷 誠治

I. はじめに

この連載講座は、臨界集合体および実機における炉物理実験に焦点を当て、2010年3月4～5日に京都大学原子炉実験所で開催された「実験炉物理に関する国際シンポジウム」で行われた国内の実験に関する講演を取り上げ、技術継承を意識して取りまとめたものである。

実験炉物理においては、実際の核燃料を使用して核分裂の連鎖反応を実現し、その様子を観察することから、シミュレーションなどとは異なり、実事象を取り扱うことになる。自然科学は実事象を解釈するために生まれた。また、実験は技術が伴わなければ行えないし、成功しない。すなわち、炉物理実験は原子力利用の発展に不可欠であり、次世代の安全基盤の確立に資するものと言える。

さて、筆者は、京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)が竣工した1974年4月にKUCAのある京都大学原子炉実験所に就職し、定年退職する2010年3月まで、KUCAにおける炉物理実験に携わってきた。そして、次世代の革新的なものを含む様々なタイプの原子炉を対象とする実験に従事してきた。本稿では、これまでの経験を紹介するとともに、実験炉物理の将来について、私見を述べさせていただくことにする。

II. 京都大学臨界集合体実験装置 KUCA

1. 装置の概要

KUCAは大学が持つ複数架台方式の臨界集合体で、世界的にも稀有なものであり、全国大学の共同利用実験装置である^{1,2)}。KUCA建屋の中は4つに仕切られ、A,B架台と呼ばれる固体減速の臨界集合体が2基、C架台と呼ばれる軽水減速のものが1基、Cockcroft-Walton型加速器が1基、それぞれ設置されている。

A, B架台では、角板状の高濃縮ウラン-アルミニウム合金、天然ウラン、トリウムが燃料として、角板また

Experimental Reactor Physics "Past, Present and Future" —Towards Establishment of Safety Basis in Next Generation(1): Critical Experiments in KUCA: Seiji SHIROYA.

(2010年 6月4日 受理)

はブロック状のポリエチレン、黒鉛が減速・反射材として利用可能であり、同様な形状のベリリウム、アルミニウム等の金属、フッ化リチウムも構成材として用意されている。C架台では、板状の高濃縮ウラン-アルミニウム合金、中濃縮ウラン-アルミニウム粉末合金が燃料として、軽水が減速・反射材として利用可能であり、重水は反射材として利用可能である。KUCAでは、これらの構成材を自由に組み合わせ、かつ形状を変えて炉心を構成することができる。また、付設加速器では、重陽子を加速し、三重水素のターゲットに入射させて核融合反応を起こさせることにより、14 MeVのエネルギーを持つ中性子を発生させ、炉心に供給することができる。

2. KUCA を用いた実験教育

大学に設置されたKUCAは、単に炉物理の実験研究に用いられるだけでなく、原子力専攻学生の実験教育に用いられるのが必然的な流れとなる。実際、KUCAが初臨界を達成した翌年の1975年から、C架台を用い、京都大学の学部学生に加えて他大学の大学院学生を対象とした炉物理実験教育が開始された。現在もこの取組みは参加大学、参加人数を拡大させながら続けられている。また、2003～2008年には韓国6大学、2006年からはスウェーデン1大学の参加要請にも対応しており、国際的にも原子力人材育成の観点から、KUCA実験教育の重要性・有用性に対する認識が高まっている。

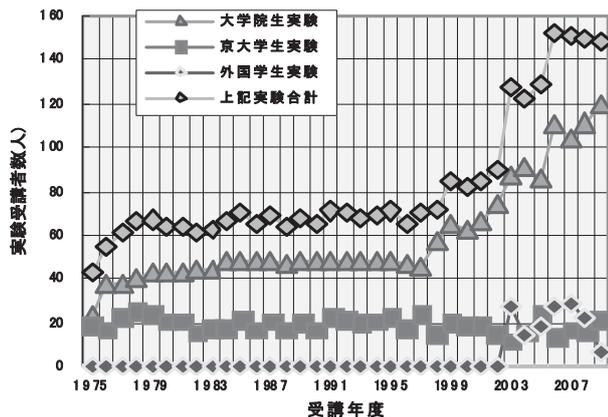
なお、この実験教育は、1週間の泊り込みを基本とし、臨界近接、制御棒校正、中性子束分布測定の実験に加えて運転実習を行うことにより、学生に原子炉物理学を体得させることを目的として行われている^{1,2)}。第1図にKUCA実験受講者数の変遷を示すが、2009年度までの参加者数合計は約3千人近くに達している。

III. KUCA における実験研究

1. 軽水減速炉心を用いた実験

(1) 京都大学高中性子束炉の開発に向けた実験

筆者が京都大学原子炉実験所に入所した当時、京都大学原子炉(KUR)に替わる研究用原子炉として京都大学高中性子束炉(KUHFR)の建設計画があり³⁾、KUCAの



第1図 KUCA 実験受講者数の変遷

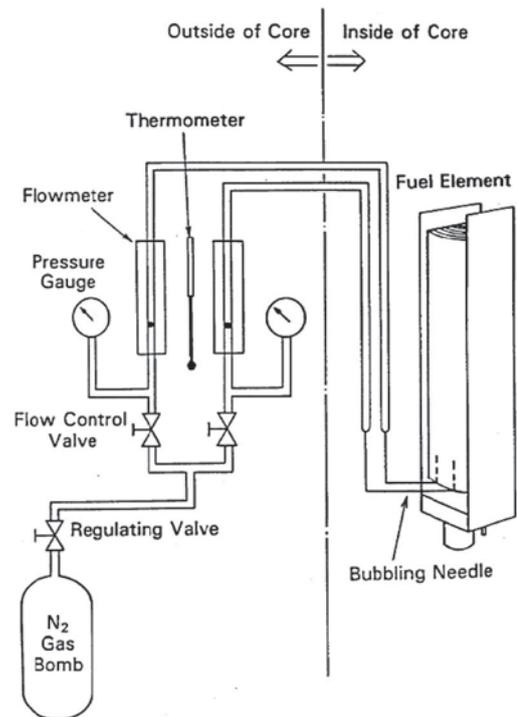
設置目的の一つにその開発に関する実験を行うことが挙げられていた。KUHFR は、軽水減速・重水反射型 2 分割円筒炉心で、各炉心中央に高中性子束を発生させるための減速領域(フラックス・トラップ)を持つユニークなデザインのものであった。

今は核計算技術およびコンピュータが発達し、少々複雑な形状の原子炉についても核設計計算を行うことができるが、当時は困難な状況にあった。そこで、実験対象を単純形状から複雑形状へと段階的に移行させながら、その結果を解析して核計算の精度を検証しつつ、開発を進める方法が採られた。具体的には、①軽水減速・反射型直方体形状単一炉心、②軽水減速・反射型直方体形状 2 分割炉心、③中央フラックス・トラップ付軽水減速・反射型直方体形状単一炉心、④分割領域を重水とした軽水減速・反射型直方体形状 2 分割炉心、⑤重水反射体付軽水減速・反射型直方体形状単一炉心、⑥中央フラックス・トラップ付軽水減速・重水反射型円筒形状単一炉心、⑦中央フラックス・トラップ付軽水減速・重水反射型円筒形状 2 分割炉心の順に実験を行った。円筒形状炉心においては、通常の平板燃料に加えて彎曲板燃料も使用した。そして、既存の核計算コードの適用法について検討するとともに、2次元有限要素法に基づく拡散計算コードの開発も行った⁴⁾。

KUHFR は建設されることなく計画は撤回されたが、上述のアプローチは、その後の KUCA における実験研究の規範として活かされている。また、この実験研究を通じて、2 分割炉心の核特性に関する研究等が行われ、パイルオッシレータ実験等々が行われた^{4,5)}。さらに、2 分割炉心を用いて臨界安全性や原子炉の安定性に関する研究も行われている⁴⁾。

(2) ウラン燃料の濃縮度低減化に関する実験

KUHFR 開発を目指した実験を継続中に国際的な試験・研究炉用ウラン燃料の濃縮度低減化(RERTR)政策が始まった。これに伴い、原子炉実験所では米国アルゴン国立研究所との共同研究を開始し、1981年に世界初の中濃縮ウラン炉心の臨界実験を行った⁴⁾。



第2図 ボイド係数測定実験に用いた装置

これに関する一連の実験の中で、中央フラックス・トラップ付軽水減速・重水反射型円筒形状単一炉心における高濃縮ウラン装荷時と中濃縮ウラン装荷時におけるボイド係数、温度係数の測定を行って濃縮度低減化が炉心核特性に及ぼす影響を調べた⁴⁾。ボイド係数の測定では、熱水力研究者と共同し、第2図に示すように、実際に燃料チャンネル内に気泡を吹き込み、ボイドの定量を行って発生位置とボイド量の依存性を調べた。また、温度係数の測定ではヒータにより減速材の温度を室温～80℃の範囲で変化させて測定した。これについては、高濃縮ウランを装荷した軽水減速・反射型直方体形状単一炉心で燃料板のピッチを変更した実験も行い、実験解析により吸収、散乱反応等の寄与について検討し、その領域依存性を調べた⁴⁾。

2. 固体減速炉心を用いた実験

(1) 初臨界実験

2基ある固体減速架台の構造はほとんど同じであるが、後備停止装置の機能を持つ中心架台のサイズが異なる¹⁾。A 架台では比較的小さな炉心、B 架台では比較的大きな炉心を用いた実験が行われる。詳細は割愛するが、初臨界実験時に、B 架台の黒鉛減速・反射炉心ではベリリウム反射体の助けを借りてやっと臨界を達成し、A 架台のポリエチレン減速・反射炉心では臨界を超過しそうになったことがあり、実験に先立って行う核計算の精度がいかに重要であるかを実感した。

なお、A 架台において、裸のポリエチレン減速炉心

に関する実験を試み、安全に臨界状態を達成することは不可能と判断して取り止めたこともある。この中で、通常は中性子の吸収体として働く制御棒であっても、裸の炉心の外周に配置すれば、吸収体ではなく反射体として働くという事実を目の当たりにし、「生兵法は大怪我の素」となることを実感させられた。

(2) トリウム燃料炉の開発に向けた実験

建設計画の当初から意識され、KUCA の設置目的の一つに挙げられていたトリウム利用関連実験について、トリウム金属板を用いた実験が中央にテストゾーンを持つポリエチレン減速・反射型 2 領域炉心を利用して行われた。具体的には、テストゾーン中の黒鉛対トリウム体積比(C/Th)を変えて臨界量を測定し、黒鉛対天然ウラン体積比(C/U)を変えた測定値と比較することにより、トリウム燃料炉の核特性に関する研究が行われた⁴⁾。

その後、上記の 2 領域炉心では非均質性が高く、拡散計算では解析が難しいことから、ポリエチレン減速・反射炉心において燃料セル内にトリウム金属板を一定の比率で混入させることにして実験が実施された。

以上の実験結果を用いてトリウム核データの積分評価が行われた⁶⁾。なお、トリウム利用関連では溶融塩炉に関連してベリリウムの核特性に関する研究も行われている⁴⁾。また、実現には至らなかったが、²³⁵U の変成燃料を購入して行う実験についても検討が行われた。

(3) 臨界安全に関連した実験

臨界安全の観点から、炉心内で燃料分布に不均一性が生じた際の反応度効果を調べる実験が、固体減速架台では燃料中の燃料分布を比較的容易に変化させることが可能との特徴を活かして行われた⁴⁾。

(4) 高転換・高燃焼炉の開発に向けた実験

原子炉中の中性子スペクトルが変わると燃料転換率の値が変化する。軽水炉におけるプルトニウム利用とも関連して、ポリエチレン減速・反射炉心における燃料対減速材体積比を変え、また、天然ウラン金属板を燃料セル中に混入して炉心中の平均ウラン濃縮度を変えた実験が行われた。この成果を基に1993年からフランス原子力庁との共同研究が開始され、現在も継続している⁴⁾。

この中で、燃料セル中の高濃縮ウラン-アルミニウム合金板と天然ウラン金属板の配列を変えた実験を行って、共鳴吸収反応による自己遮蔽効果およびその相互干渉効果に関する研究が行われ、計算手法の高度化に役立てられた。

(5) スペクトル可変場の開発に向けた実験

上記の実験の中で種々の炉心中性子スペクトルを持つ体系が構築された。研究用原子炉においては、研究に使用する場の中性子スペクトルは主に炉心で発生する中性子の減速過程によって決まることになる。炉心中性子スペクトルと炉心外周部の材料を変えることによって外周部の中性子スペクトルがどのように変化するかを調べ、

スペクトル可変場の開発に役立てようとする実験が行われた。なお、この実験研究は京都大学原子炉実験所の将来構想と密接に関連したものであった。

3. 炉物理実験技術の開発

(1) 光ファイバ検出器による中性子束分布測定

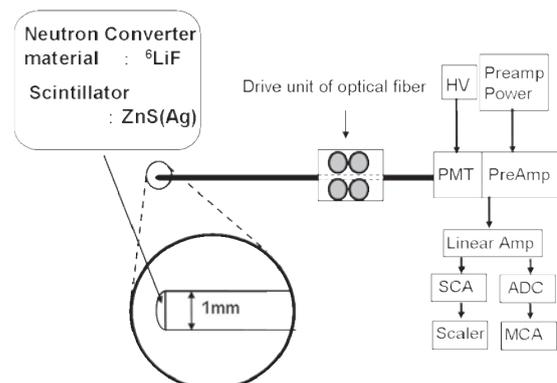
初臨界時の特性試験以降、KUCA における相対的な中性子束分布測定では金線等の放射化法を標準的に使用していた。これは金線等であれば狭いチャンネルにも挿入することが可能で、測定対象の中性子束分布を歪ませることが比較的少ないからである。しかし、放射化法では照射した金線の放射能測定を行う必要があるため、実時間測定を行うことができなかった。

第 3 図に示すように、シンチレータ中に中性子と反応して荷電粒子を放出する物質(コンバータ物質)を混ぜ込んだものを細径の光ファイバの先端に塗布し、他端を光電子増倍管につなぎ、先端を一定速度で移動させることによって中性子束分布を測定する検出器が開発された⁴⁾。この検出器を使用すれば、相対的な中性子束分布を迅速に検出することができることから、KUCA 実験で広く使用されることとなった。また、この検出器はコンバータ物質を変えることにより、熱中性子だけでなく高速中性子等も測定することができる。

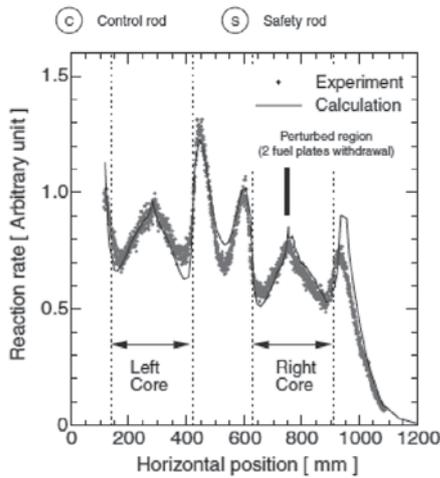
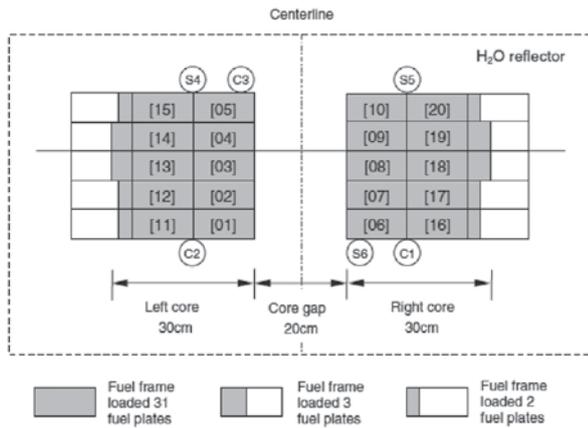
この検出器は軽水減速・反射型 2 分割炉心におけるフラクステイルト測定⁷⁾等々に活用された。第 4 図にフラクステイルト測定の一例を示す。

(2) 背中合わせ型(BTB)核分裂検出器の利用

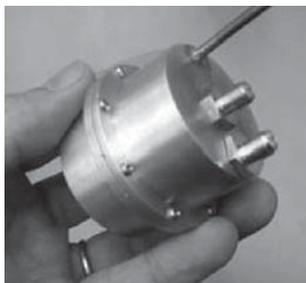
マイナーアクチニド核種の核特性に関する測定では、BTB 核分裂検出器が利用された。この検出器は、電離箱中に異なる核分裂性物質を電着した 2 枚の電極板を「背中合わせ」に配置し、同一の中性子場における 2 種類の物質の核分裂率比を直接的に測定しようとするものである。KUCA 固体減速架台に中性子スペクトルの異なった炉心を組み、その炉心中央にこの検出器を設置し、順次²³⁵U と²³⁷Np あるいは²⁴¹Am の核分裂率比を測定し、マイナーアクチニドの核特性に関する研究を行った^{4,8)}。第 5 図にフランス原子力庁の共同研究者が興味を抱いた



第 3 図 光ファイバ検出器の一例



第4図 光ファイバ検出器を用いた測定例



第5図 BTB 検出器

BTB 検出器の写真を示す。

(3) パルス時刻歴測定回路の開発と応用

KUCA ではかなり初期の頃から中性子関連実験が行われており、マルチチャンネル・スケーラを利用したファインマン- α 実験手法の開発等が行われていた⁴⁾。中性子関連実験により未臨界度を求める手法に依拠し、未臨界度モニタを開発しようとする試みが行われた。パルス時刻歴測定回路の開発により、中性子関連実験に新たな地平が切り開かれることになった⁴⁾。この回路を用いることにより、ファインマン- α 法とロッシ- α 法が同時に行えるようになった。

4. 加速器と原子炉を組み合わせた実験

(1) KUCA 付設加速器の利用

KUCA 付設加速器は、トリウム燃料炉の開発に関連してトリウム核データの積分的評価に用いられ、また、パルス中性子法による未臨界度測定等の炉物理パラメータを測定する実験機器として利用されていた。

(2) 加速器駆動未臨界炉の開発に向けた実験

加速器駆動未臨界炉は、未臨界の核燃料体系に加速器により発生させた中性子を打ち込み、核分裂の連鎖反応を維持するものであり、加速器技術と原子炉技術の発展に依拠して提唱された革新的なシステムである。同炉の出力は加速器によって発生する中性子の強度に依存することから、高エネルギー粒子によって引き起こされる核破砕反応が用いられるものと考えられている。これに関する予備的な実験が KUCA 付設加速器と A 架台を組み合わせ、核融合反応で発生した中性子を未臨界体系に供給して行われた⁹⁾。

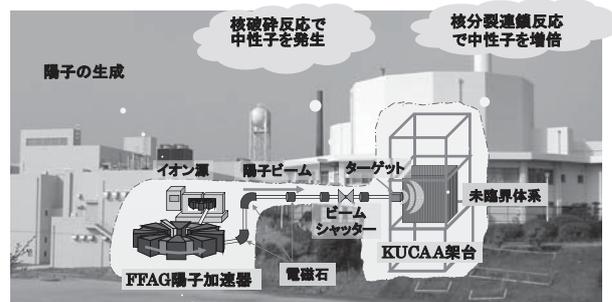
2002年末から文部科学省の革新的原子力システム技術開発公募事業の枠組みで、エネルギー可変の固定磁場強集束型(FFAG)陽子加速器を開発し、KUCA の A 架台と組み合わせる加速器駆動未臨界炉のフェージビリティ・スタディを行うというプロジェクトが開始され。そして、2009年3月に世界で初めて核破砕反応で発生した中性子を未臨界体系に打ち込んだ加速器駆動未臨界炉の実験に成功した¹⁰⁾。この実験のイメージ図を第6図に示す。

Ⅳ. 実験炉物理の将来

1. 炉物理実験技術の高度化

炉物理パラメータ等を短時間・高精度で測定するために一層の工夫を凝らす必要がある。核計算に用いる計算モデル等の検証用データを提供するために、より精密な実験を行う必要がある。炉物理実験に用いる測定機器や手法をより一層高度化することが求められている。蛇足であるが、周到な準備をして安全に実験を行うのは当然のことではあるが、失敗を恐れ過ぎてはならない。失敗の中から学ぶことは多く、失敗は成功の基である。

例えば、中性子検出技術が進歩すれば確実に炉物理実



陽子を 100 MeVまで加速

第6図 FFAG-KUCA 実験のイメージ図

験技術は高度化する。実験データ処理技術が進歩すれば同様な効果が期待できる。また、従来の方法を新たなものに替えることが有効な場合もある。例えば、定常状態で測定していたものを非定常状態で測定することにより、測定時間が大幅に短縮した例がある。高度化した炉物理実験技術を実機に応用することにより、安全性や経済性が一段と高まる可能性がある。

2. 次世代の原子炉開発に向けた実験

革新的原子炉を含む次世代の原子炉の開発に際して実験は不可欠である。核計算技術の発展により、核設計の精度は昔前に比して格段に向上している。しかし、革新的なものであれば、従来の核設計では扱われていなかったような部分が存在したり、従来の原子炉においては潜在していた効果が顕在化する可能性がある。

例えば、ある種の反応度効果について、種々のコードで計算した結果が互いに一致したとしても、核種ごとの効果に分解してみるとコード間で大きな差異が存在することがある。このような場合、個々の正・負の反応度効果が互いに打ち消しあうことにより偶然に一致しているに過ぎず、中性子スペクトル等の状態が変われば状況が一変するおそれがある。適切な実験を行うことにより、計算コードの検証を行うことが必要不可欠である。

ただし、核計算技術がかなり進歩した今、従来と同様なフルモックアップ実験を行う必要があるか否かは、費用対効果の観点から十分に検討を行う必要がある。核計算と炉物理実験を行う者の間で十分に協議を行った上で、適切な規模と内容の実験を行うことが重要である。

V. おわりに

原子力施設を利用した炉物理実験は、一人の人間だけで行うことはほとんど不可能であり、共同実験者あるいは実験協力者とともにチームを組んで行うことになる。実験の内容や手順に関して十分な準備と打合せを行うことはもちろん、チームの「和」に心を配ることが安全に良い実験を行う鍵になる。「和をもって尊しとなす」であ

る。なお、KUCAのように共同利用・共同研究の用に供し得る原子力施設の維持・発展を図ることの重要性を指摘しておきたい。

実験を通じて得られる結果は、事実以外の何物でもない。しかしながら、事実と真実は必ずしも一致するとは限らない。事実から真実を突き止めてこそ、科学となり、学問となる。実験炉物理を志す人には、計算炉物理あるいは理論炉物理の人々と密接な関係を築き、真実を突き止めて原子炉物理学の発展に寄与することに腐心していただきたい。そして、人類福祉に役立つであろう原子力の有効利用を図るために、革新的原子炉を含む次世代の原子炉の開発等に貢献していただきたい。

—参考資料—

- 1) ホームページ <http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/CAD/>
- 2) T. Misawa, H. Unesaki, C. H. Pyeon, *Nuclear Reactor Physics Experiment*, Kyoto Univ. Press, (2010).
- 3) 四十年史, 京都大学原子炉実験所, (2003).
- 4) ホームページ <http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/CAD/Paper/papers.htm>
- 5) 仁科浩二郎, 他, 日本原子力学会誌, **20**, 843(1978).
- 6) H. Unesaki, et. al., *J. Nucl. Sci. Technol.*, **38**, 370(2001).
- 7) C. H. Pyeon, et. al., *J. Nucl. Sci. Technol.*, **41**, 171(2004).
- 8) H. Unesaki, et. al., *J. Nucl. Sci. Technol.*, **38**, 600(2001).
- 9) C. H. Pyeon, et. al., *J. Nucl. Sci. Technol.*, **46**, 965(2009).
- 10) C. H. Pyeon, et. al., *J. Nucl. Sci. Technol.*, **46**, 1091(2009).

著者紹介

代谷誠治(しろや・せいじ)



原子力安全委員会委員
(専門分野/関心分野)専門は炉物理で、加速器駆動未臨界炉等々の核特性に関する実験的研究に関心が高い。

連載
講座ICRP 新勧告
—新しい放射線防護の考え方と基準

第5回 計画被ばく(線量拘束値, 履行)

(財)電力中央研究所 服部 隆利

I. はじめに

ICRP は、2007年勧告の一つ前の主勧告である1990年勧告において、活動のプロセスを重視して、放射線や放射線源(以下、線源と略す)を利用する活動により線量増加につながる「行為」と、防護的な活動により線量減少につながる「介入」の2つに区分した概念を放射線防護体系に導入した。2007年勧告では、この「行為」と「介入」に代わる新しい区分として、様々な被ばくの状況による違いを考慮するために被ばく状況別の区分が提案され、計画被ばく、現存被ばく、緊急時被ばくの3つの被ばく状況に基づいて防護体系が整理された。なお、「行為」と「介入」の語は、2007年勧告で使用禁止になったわけではなく、ICRP は、放射線被ばくの増加あるいは放射線被ばくのリスク増大を引き起こす活動を表すものとして「行為」という語の継続使用を認め、「介入」についても、被ばくを抑制する防護対策を表す時に限り使用を認めている。計画被ばく状況とは、総じていうなら、1990年勧告などの過去の勧告で行為に分類された状況が含まれる区分であり、線源を計画的に利用したり、線源を取り扱う施設を操業したりする状況のことである。連載講座第5回は、この計画被ばく状況におけるICRP 新勧告の放射線防護の考え方について解説する。

II. 計画被ばく状況における
防護体系の概要

1990年勧告の放射線防護の3つの原則であった、正当化、最適化、線量限度は、新勧告においてもそのまま維持された。これらの3つの原則のうち、正当化と最適化については、3つの被ばく状況すべてに適用される。線

New ICRP Recommendation—New Radiation Protection Principle and Standards(5); Planned Exposure Situation (Dose constraint and its implications): Takatoshi HATTORI.

(2010年 6月14日 受理)

各回タイトル

第1回 放射線防護の歴史的展開

第2回 放射線防護の生物学的側面

第3回 放射線防護に用いられる諸量

第4回 放射線防護の基礎—防護体系と原則

量限度については、計画被ばく状況にのみ適用される原則である。

さて、計画被ばく状況において、正当化とは、「行為」によって生じる放射線被ばくによるデメリット(放射線を受けることによって発生するガンや遺伝的影響の発生確率や寿命損失を元にして評価した損害)を相殺するのに十分な正味の便益が、被ばくする個人または社会に対してもたらされることである。したがって、被ばくする個人や社会に何ら便益のない計画的な被ばくは認められないと解釈できる。

次に、最適化とは、2007年勧告でその役割が大きく強調された原則であり、一言でいえば、個人や集団の被ばく線量を、社会的および経済的要因を考慮に入れて合理的に達成できる限り低くする(ALARA: As Low As Reasonably Achievable)ことである。すなわち、個人や集団の被ばく線量を低減するためには、人や資金などの資源の投入が不可欠となるが、その場合、その低減できる被ばく線量の程度と、国や事業者が投入可能な資源とのバランスを考慮しながら、最適化を進めることが求められている。最適化は、このようなALARAの概念でおおむね説明することができるが、一方で、2007年勧告には、最適化とは、(1)現状で最善の対策が実施されているかどうか、(2)線量を低減するために合理的とみなされるすべての対策が実施されているかどうか、を常に自問する一種の「心構え」である、とも記述されている。このように、最適化は、ALARAを推進するための継続的かつ反復的なプロセスとして認識されるべき原則であることに注意が必要である。計画被ばく状況における最適化の達成のためには、職業被ばくと公衆被ばくを制限するために、一つの有効なツールとして、線量拘束値が用いられることがある。この線量拘束値については、新勧告で強調された重要な概念であるため、次章で詳述する。

3つ目の放射線防護の原則である線量限度とは、計画被ばく状況における職業被ばくと公衆被ばくにも用いられるもので、実効線量としては、職業被ばくを受ける作業員については50 mSv/年と100 mSv/5年(1977年勧告との整合を考慮して50 mSv/年とともに併記されたのは1990年勧告と同じ)、公衆については1 mSv/年と定められている。第1表に、これらの値と、眼の水晶体、

第1表 計画被ばく状況においてのみ用いられる線量限度^{a)}
(引用：2007年勧告 表6)

| 限度のタイプ | 職業被ばく | 公衆被ばく |
|---------------------|--|------------------------------|
| 実効線量 | 定められた5年間の平均として 年間20 mSv ^{b)} | 1年につき 1 mSv ^{d)} |
| 以下の組織における年等価線量 | | |
| 眼の水晶体 ^{b)} | 150 mSv | 15 mSv |
| 皮膚 ^{c,d)} | 500 mSv | 50 mSv |
| 手足 | 500 mSv | — |

^{a)}実効線量の限度は、特定の期間の外部被ばくからの該当する実効線量と、同じ期間における放射性核種の摂取からの預託実効線量(体内に放射性物質を摂取後の実効線量の預託期間中の時間積分)の合計である。成人に対しては、預託実効線量は摂取後50年の預託期間で計算され、子供の場合には、70歳までの預託期間について計算される。

^{b)}この限度はICRPタスクグループが現在検討中である。

^{c)}実効線量のこの制限は、皮膚の確率的影響に対して十分な防護を与える。

^{d)}被ばく面積に関係なく、皮膚面積1 cm²当りの平均である。

^{e)}実効線量はいかなる1年にも50 mSvを超えるべきではないという規定がある。妊娠女性の職業被ばくには追加の制限が適用される。

^{f)}特別な事情の下では、単年における実効線量のより高い値が許容されることもあり得るが、ただし5年間にわたる平均が年に1 mSvを超えないこと。

皮膚、手足に対する等価線量に対して定められた線量限度を取りまとめて示す。

以上が、計画被ばく状況における放射線防護の3つの原則の概要であるが、被ばくの種類には、職業被ばくと公衆被ばく以外に、医療被ばくがある。医療被ばくにおいては、最適化のツールとして、患者に対して診断参考レベルが用いられる。また、医師等を含む介助者、介護者、研究における志願者(研究上の実験として医療被ばくを受ける者)に対しては、線量拘束値が適用される。第2表には、3つの被ばく状況において用いられる線量限度、線量拘束値、診断参考レベル、参考レベル(緊急時被ばくおよび現存被ばくにおいて用いられる最適化の線量レベル)を取りまとめて示す。線量限度の原則は、医療被ばくを除く計画被ばく状況についてのみ適用されるものであることに注意が必要である。

計画された被ばく状況において、放射線防護を計画・

第2表 被ばく状況と被ばくの種類に関連した防護体系
に用いられる線量制限(引用：2007年勧告 表4)

| 被ばく状況 | 種類 | | |
|--------|-------|-------|-----------------|
| | 職業被ばく | 公衆被ばく | 医療被ばく |
| 計画被ばく | 線量限度 | 線量限度 | 診断参考レベル(線量拘束値*) |
| | 線量拘束値 | 線量拘束値 | |
| 緊急時被ばく | 参考レベル | 参考レベル | 適用しない |
| 現存被ばく | 適用しない | 参考レベル | 適用しない |

*介助者、介護者、研究における志願者の場合のみ。

立案する際には、平常時の被ばく以外にも、通常の操作手順から逸脱した事故や悪意ある事象のような異常時の被ばくに対する検討を含めるべきで、ICRPは、このような状況で生じる被ばくを潜在被ばくと呼んでいる。潜在被ばくは、通常被ばくのように計画されるものではないが予期し得るものであり、計画被ばく状況の下に位置づけられている。潜在被ばくの最適化を行う場合のツールとしては、通常被ばくにおける線量拘束値に相当する指標であるリスク拘束値が用いられる。潜在被ばくに適用される線量基準は、事故の確率を考慮に入れて、リスク拘束値から導き出される。ICRPは、作業者の潜在被ばくについては、職業被ばく平均年間線量5 mSvに関連する致死ガン確率に相当する年間 2×10^{-4} という一般的リスク拘束値を推奨しており、公衆の潜在被ばくについては、年間 1×10^{-5} というリスク拘束値を推奨している。なお、深層処分場で放射性廃棄物を処分したような場合に、遠い将来に公衆が受けるかも知れない被ばくについては、潜在被ばくに位置づけられている。この点については、第IV章で詳述する。

Ⅲ. 線量拘束値と線量限度

最適化が強調されたICRP 2007年勧告を理解する上で、放射線防護の原則である最適化の一つのツールである線量拘束値と、3原則の一つである線量限度の違いを把握することは重要である。本章では、これら2つの線量制限値について解説する。

個人の放射線防護を考える時、個人がいくつもの線源から被ばくしていることが考えられるため、被ばく量全体の評価を試みる必要がある。ICRPは、この評価を「個人関連」の評価と呼んでいる。一方、逆のアプローチで、一つの線源またはそのグループに被ばくしたすべての個人の被ばくを考慮する必要もある。この手順を「線源関連」の評価と呼んでいる。ICRPは、個人の放射線防護を確実なものにするためには、その線源に対して対策を講じることができるから、「線源関連」の評価が最も重要であることを強調している。

第1図に示すように、線量限度は、計画被ばく状況にのみ適用されるもので、「個人関連」の評価に基づいて、これを遵守することが求められる。一方、計画被ばく状況にのみ適用される線量拘束値(緊急時被ばく状況および現存被ばく状況では参考レベルが適用される)については、「線源関連」の評価に基づいて、これを遵守することが求められる。線量限度に対する「個人関連」の評価が、過去に遡って調べる遡及的なアプローチで行われるのに対して、線量拘束値に対する「線源関連」の評価は、将来、受けるかも知れない予測的なアプローチで行われる。したがって、線量拘束値は、行為の計画段階の予測線量に対して設定される制限値である。

| 線量限度 | 線量拘束値および参考レベル |
|---|---|
| 個々の作業者の職業被ばくからの防護と 代表的個人の公衆被ばくからの防護 | |
|  |  |
| 計画被ばく状況における すべての規制された線源 からの被ばく | すべての被ばく状況にお けるある線源からの被ばく |

第1図 線量限度と線量拘束値(参考レベル)の比較
(引用: 2007年勧告 図3)

ICRPは、「線源関連」の評価が最重要であると強調していることから、ここに、線量制限値としては、最適化の原則の一つのツールである線量拘束値と、最適化と並んでもう一つの原則である線量限度との間で、いったいどちらが重要なのか、混乱が生じることになる。しかし、ICRPは、例えば、いくつもの線源から個人が被ばくする場合に、個人の線量限度の遵守を確実に保証するために線量限度よりも低い値で線量拘束値を設定する、すなわち、線量限度の数値から割り当てて線量拘束値を決めるようなケースも想定していることから、計画被ばく状況における個人の防護については、放射線防護の原則である線量限度が、線量拘束値よりも上位に位置する遵守事項であるといえる。なお、第2表に示したように、計画被ばく状況以外の2つの状況(緊急時被ばく状況や現存被ばく状況)においては、線量限度は適用されないため、参考レベルが最も重要な線量制限値となる。

線量限度は、ICRPの勧告を受けて、各国の規制当局が法律に定めることが多い。一方、線量拘束値については、いったい誰がその値を決定するのか、規制当局なのか、あるいは事業者が適切なのか、また、線量拘束値の設定対象となる線源は、複数の線源が隣接する場合に、どのように範囲を絞るのか、これらの問題については、ICRP 2007年勧告のドラフト作成段階から大きな論点となった。線量拘束値に対するこれらの扱いは、職業被ばくと公衆被ばくで大きく異なるため、以下に、2007年勧告に基づいてそれぞれ解説する。

職業被ばくについては、ICRPは、放射線被ばく作業者の管理から得られた経験に基づき、例えば、包括的な放射線防護インフラを有する大規模組織については独自の線量拘束値を設定することが多く、関連の経験に乏しい小規模組織については適切な専門家集団や規制当局からさらなる指針を得る必要があるかもしれないが、線量拘束値の設定の全体的責任は、作業者の被ばくに責任を

有する者にあるとしている。したがって、職業被ばくの場合、線量拘束値は、規制当局ではなく事業者が設定するもの、と解釈できる。一方、線源の設定方法については、ICRPは通常、線量拘束値は運転時レベルで設定することが適切であり、線量拘束値を使用する時は、その拘束値が関係する線源を指定すべきで、そうすることで、作業者が同時に被ばくするかもしれない他の線源との混同を回避できる、と一般論で概説し、具体的な説明にまでは至っていない。放射線取扱施設や原子力施設の管理区域内のような具体的な職業被ばくの現場において、個人が受けるかもしれない予測線量を考える時、線源は多種多様で限定できないことが多い。この線源を特定することの困難さが、職業被ばくにおける線量拘束値を実用する際の大きな障壁となる。

公衆被ばくについては、ICRPは、一般に、各線源の線量分布には多数の個人が含まれるので、被ばく度が高い個人を表す時には代表的個人(ICRP Publication 101 Part I(2005)で新しく示された概念で、実在する公衆ではなく、高い被ばくを受けることになる被ばく経路や生活習慣を有する想定上の個人)の概念を使用すべきであり、計画被ばく状況における公衆に対する線量拘束値は、公衆の線量限度より低くすべきであるが、この拘束値は、一般には各国の規制当局が設定する、と説明している。また、線源の設定方法については、ICRPは単一线源の定義に関する項で、放射性物質がある施設から環境へと放出される場合、全体としてその施設を線源と考えることができるだろう、と説明している。しかし、我が国のように、隣接して放射線取扱施設や原子力施設が複数存在する場合を考える時、個別の施設に、どのように線量拘束値を設定すべきか、のような問題に対する具体的な説明は与えられていない。

線量拘束値と参考レベルについては、第3表に示すように、3つの被ばく状況に応じて、選択可能な線量のバンド(数値範囲)が示されている。計画被ばく状況については、同表の第2のバンド(1~20 mSv以下)が、職業被ばくの作業者に対する線量拘束値に適用され、最下欄の第3のバンド(1 mSv以下)が、公衆被ばくの公衆に対する線量拘束値に適用される。したがって、例えば、公衆被ばくにおいて、規制当局が線量拘束値を決定する場合、第3のバンドで1 mSv/年以下に設定することになるが、線量拘束値として、公衆の線量限度と同じ値である1 mSv/年を選択可能であることに注意が必要である。例えば、我が国の放射線関連法令において定められている排気・排水中の放射能濃度限度値は、排気・排水を摂取することによる保守的な被ばく線量の評価結果に基づき、1 mSvの予測線量に基づいて導出されている。このような既存の放射線安全規制と線量拘束値による新たな規制の間のバランスを確保するためにも、線量拘束値を我が国の放射線安全規制に取り込む際には、事業者

第3表 線量拘束値と参考レベルのバンドとすべての被ばく状況における適用例
(引用：2007年勧告 表5の一部，明確化のため下線部修正)

| 線量拘束値と参考レベルのバンド ^{a)} (mSv) | 被ばく状況の特徴 | 適用例 |
|-------------------------------------|--|--|
| 20より大きく100まで ^{b)} | 制御できない線源により，あるいは線量を低減するための対策が不釣合いに混乱しているような状況により被ばくした個人。 被ばくは通常，被ばく経路における対策によって制御される。 | 緊急時被ばく状況において，最も高い計画残存線量に対して設定された参考レベル |
| 1より大きく20まで | 個人は通常，必ずしも被ばくそれ自体からではなく，被ばく状況から便益を受けるべきであろう。 被ばくは，線源もしくは被ばく経路における対策によって制御されることがある。 | 計画被ばく状況において，職業被ばくに対して設定された拘束値，また，放射性医薬品による治療を受ける患者の介助者と介護者に対して設定された線量拘束値 現存被ばく状況において，住宅のラドンによる高い計画残存線量に対する参考レベル |
| 1以下 | 個人は，個人にとってほとんどまたは全く便益はないが，社会一般にとって便益がある線源に被ばくする。 被ばくは通常，事前に放射線防護要件が計画されている線源に対して直接とられる措置により制御される。 | 計画被ばく状況において，公衆被ばくに対して設定された線量拘束値 |

^{a)}急性もしくは年間の線量。

^{b)}例外的状況においては，情報を知らされた志願作業者が，人命救助，放射線誘発による重篤な健康影響の防止，または，破滅的な状態への発展の防止のために，このバンドを超えた線量を受けることがある。

^{c)}関連する臓器・組織の確定的影響の線量しきい値を超える可能性がある状況では，常に対策を必要とするべきである。

が保守的な線量評価を行う場合に，規制当局が1 mSv/年の値を線量拘束値として選択できるようにするような柔軟な配慮が必要である。

Ⅳ. 放射性廃棄物処分における潜在被ばく

ICRPは，廃棄物処分による公衆の被ばくを制御する時には，年間 10^{-5} のオーダーのリスク拘束値に相当する約0.3 mSv/年以下という線量拘束値が適切であると，Publication 77(放射性廃棄物の処分に対する放射線防護の方策，1997)およびPublication 81(長寿命放射性固体廃棄物の処分に適用する放射線防護勧告，1998)で勧告しており，さらにPublication 82(長期放射線被ばく状況における公衆の防護，1999)では，長寿命核種の環境への計画的放出が存在する状況においては，長寿命核種の環境中への蓄積によって線量拘束値を超えるか否かを考慮すべきであるとの指針を発表し，そのような検証が不可能あるいは不確実すぎる場合は，線量の長期成分には，長寿命人工放射性核種に起因する約0.1 mSv/年という線量拘束値を適用することが賢明であるとし，これらの勧告は，2007年勧告でも引き続き有効であると明記している。

一方，深層処分場内に固体廃棄物を処分する場合など，遠い将来において公衆被ばくが発生する場合には，それを取り巻く大きな不確実性が存在することから，線

量評価値は，今後数百年程度という期間の後のデトリメント(がんによる死亡リスクに加えて，致死性の低いがんによる生活の質の低下や余寿命の損失の効果を考慮したICRPの定義したリスクの指標)の尺度と見なすべきではなく，処分のシステムによって与えられる防護の指標として示されるべきもの，と説明している。すなわち，ICRPは，長い時間軸で廃棄物処分により発生する公衆の被ばくを考える時，線量は一つの指標にすぎないのであって，被ばく発生の確率も一緒に考慮に入れるべきであることを示唆している。

またICRPは，このような潜在被ばくを受け入れることができるか否かを判断するために，被ばく発生の確率とその線量の大きさの扱い方について，2つのアプローチを提案している。1つ目は，被ばく発生の確率とその線量の大きさの両方を，個別に考慮することによって判断を下すアプローチ(線量/確率分解アプローチ)で，2つ目は，線量を受ける年間確率と，その線量による放射線関連の生涯死亡確率との積と定義し，その結果得られた確率をリスク拘束値と比較し，確率がリスク拘束値より低いかどうかで判断を下すアプローチ(統合的リスク指向アプローチ)である。2007年勧告では特に記述されていないが，Publication 81の中では，これら2つのアプローチのうち，線量/確率分解アプローチの方が，意志決定の目的のために，より多くの情報が得られるとしている。

V. おわりに

2001年9月、オランダのハーグで開催されたICRPの全体会議において、当時のICRP委員長のR. Clarke氏は、1990年勧告の改訂に向けて、複雑になりすぎた放射線防護体系の単純化を目指すという大きな方向性を示した。ここで示された方向性が、その後、数値基準としては、線量限度を廃止して線量拘束値のみを用いた単純な防護体系の提案に繋がっていくことになり、その影響の大きさから、世界中で線量拘束値に対する大きな議論を巻き起こす原因となった。この議論の後、結果的に防護の原則として線量限度は復活し、最終段階で、現存被ばくと緊急時被ばくの状態に対しては、線量拘束値ではなく参考レベルが適用されることになった。このような活

発な線量拘束値に対する議論を経て、難産の末に発表されたICRP新勧告の233項には、「委員会は、線量拘束値が、規制機関の定めた規制上の限度として使われるべきではないこと、または理解されるべきでないことを強調したい。」の一文があることを最後に紹介しておきたい。本稿が、読者らのICRP 2007年勧告の理解の一助となれば幸いである。

著者紹介

服部隆利(はっとり・たかとし)



(財)電力中央研究所 原子力技術研究所 放射線安全研究センター
(専門分野/関心分野)放射線防護・放射線計測/低線量域の公衆被ばくに対する合理的な防護手法の検討

From Editors 編集委員会からのお知らせ

○学会誌記事執筆者のための

テンプレートを用意しました
執筆要領と合わせてご利用下さい



<http://www.aesj.or.jp/atomos/atomos.html>

○「投稿の手引」「和文論文テンプレート」を改定しました。

<http://www.aesj.or.jp/publication/ronbunshi.htm>

—最近の編集委員会の話題より—

(7月4日 平成22年度編集委員会全体会議)

- ・全体会議出席委員：51名
- ・2010年度編集委員長として野村理事(JAEA)が紹介され、伊藤理事(京大)に副委員長にお願いすることになった。また、学会誌編集長には、白川委員(エネ総研)が選出され、論文誌編集長は引き続き矢野委員に委ねることとした。
- ・白川編集長、矢野編集長より、これまでの活動報告と今後の方針について説明があった。
- ・学会誌の編集工程について近藤副編集長、論文誌の記事の査読手順について矢野編集長の説明があった。
- ・分野別、Gr別でミーティングを行い、今年度の活動方針について確認した。

(7月4日 第1回編集幹事会)

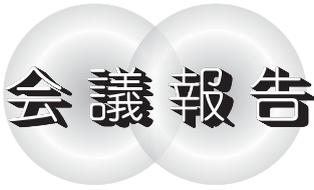
【学会誌関係】

- ・安全規制に関する記事の提案が出された。会議報告と報告記事として執筆してもらうよう引き続き検討を行っていく。
- ・Web アンケート用サーバーのトラブルについて、現在復旧作業中である旨の報告があった。

【論文誌関係】

- ・編集委員会運営内規、論文誌規約、投稿規程(規約)の改定案をそれぞれ検討し、微細な点を修正後、編集委員会の回議にかけることを了承した。
- ・原子力学会賞論文賞の編集委員会推薦に関して、従来と同様の方針と手順で、推薦候補を選定することとした。なお、速報も推薦対象とする。
- ・論文誌の来年度の販売価格は、税金のかかり具合を考慮して、検討することとした。
- ・英文誌の2009年インパクトファクターが報告された。別扱いを想定していた国際会議 Supplement が組み入れられた影響があり、大幅に低下した。集計元に再計算を要求中。

編集委員会連絡先 <<hensyu@aesj.or.jp>>



炉物理研究および業界の動向, 人材育成の課題

PHYSOR 2010: Advances in Reactor Physics to Power
the Nuclear Renaissance

2010年5月9~14日(ピッツバーグ, 米国)

概要

国際会議 PHYSOR は, 炉物理に関する研究を広く取り扱った会議であり, 2年おきに開催されている。ちょうど10年前にピッツバーグで開催されて以来, ソウル, シカゴ, バンクーバー, インターレーケンを経て, 今回再びピッツバーグにて開催される運びとなった。5月10~13日の4日間にわたって, 炉心解析手法, 核データ, 炉物理実験, 臨界安全, 新型炉設計等に関する約300件の口頭発表が報告された。初日9日と最終日14日には, AP 1000, ABWR, PBMR といった新規建設炉, 輸送理論, モンテカルロ法, 解析的ベンチマーク, 炉心解析コードシステム(SCALE 6, PARCS, AEGIS/SCOPE 2)に関する9つのワークショップが開催されていたのが特徴的であった。近年, 原子力に関わる国際会議が活発に開催されていると感じるのは筆者らだけではないであろう。炉物理に関連した国際会議だけでも, この会議の前週には韓国で核データの国際会議 ND 2010が, さらに翌週には中国で原子力工学の国際会議 ICONE 18が立て続けに開催されているが, それにも関わらず本会議には32ヶ国から460名もの参加者が集っている。

トピックス

以下, 筆者らが特に関心を持った話題に焦点を絞って内容を紹介する。

(1) 次世代核データライブラリー

オランダ NRG より報告のあった核データライブラリー TENDL-2009は, 半減期 1s 以上の原子核約2,400核種を対象とした非常に広範囲にわたる核データを格納しており, さらには共分散データまで整備されている。ICSBEF に登録された約700件の臨界実験ベンチマーク問題を解析することで妥当性確認も行われている。

(2) ペブルベッドモジュール炉(PBMR)

PBMR 社がスポンサー企業の一つであったことに起因すると思われるが, 会議全体を通じて PBMR に関する話題が多く報告されており, 最終日には丸一日をかけてのワークショップも開催された。燃料ボール(ペブル)内の被覆粒子燃料の二重非均質性の取扱い, 炉心の燃焼・過渡計算等, 日本で馴染み深い軽水炉解析技術とはまた異なる, 工学的に非常に興味深い研究内容を多数拝聴できた。

(3) 中国における炉物理研究

今回の会議の副題にも“原子力ルネサンス”というキー

ワードがあるように, 近年, 世界各国で原子力技術の再評価の動きが広がっている。その中でも156基の原発建設を計画している中国の勢いには目を見張るものがある。本会議においても中国からの発表が多数あり, 近年, 主流となっている中性子輸送計算手法(SP 3 法や MOC 等)をフォローした研究成果を学生が活発に発表していたのが特に印象に残った。また, 中国における原子力業界の人材の需要は年間約1,000人とのことであり, 中国国内での原子力産業の勢いを伺い知ることができた。

(4) Stamm'ler 博士記念セッション

2008年3月20日に逝去された Stamm'ler 博士を悼んで, 格子計算に関する記念セッションが開催されたのも印象深かった。Stamm'ler 博士は炉物理の, 特に格子計算分野で偉大な業績を残された方であり, 本セッションではその思い出話や, 格子計算手法における貢献が紹介された。また近年, 各国で開発されている, より高度な共鳴計算手法・格子計算コードに関する R&D も多数報告された。

(5) 教育

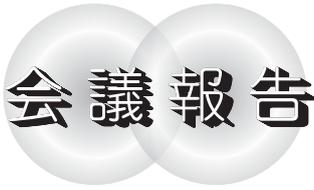
人材不足に対する懸念は世界共通である。その意味で今回の PHYSOR において, 各国における原子力工学, 特に原子炉物理における教育および訓練の現状や必要性に関するパネルセッションが設定されていたことは, 注目すべきことであった。このセッションでは, 日本以外に米国, フランス, 韓国, 中国といった皆が思い浮かべる国々以外にも, アルゼンチン, モロッコ, 南アフリカなどにおける教育や訓練における現状とその問題点が述べられており, 日本で直面している人材不足は世界中どこでも大差なく, 世界共通の懸念事項であり, 国際的に協力して対処していくべきであると考えさせられた。

最後に

日本国内でも, 原子力技術の発展および教育に尽力されてきた方々が徐々に退職・退官されつつある状況であるが, PHYSOR 2010に参加して, 国際的に見ても同様の状況にあることを感じた。本会議の副題にある“to Power the Nuclear Renaissance”を達成するには, その原動力となる人材の育成こそが鍵である。先人の技術を次の世代に適切に伝承できるよう, 大学教員として今後も尽力せねばと感じた次第である。

(阪大・北田孝典, 名大・遠藤知弘,

2010年5月31日 記)



韓国原産会議 一枚岩のように言われるけれど

The 25th KAIF/KNS Annual Conference

2010年4月14～16日(ソウル市, 韓国)

「韓国には輝かしい未来が待っている!」と、イ・ミョンバク大統領の抑制のきいた声が大音響で響きわたるビデオ(韓国電力作成)で会議は幕を開けた。

韓国原産会議に、セッション座長と講演を依頼されて出席した。日本からは、尾本原子力委員と報告者のふたりだけの参加である。アラブ首長国連邦、中国、米国原子力規制委員会、WH、AREVAからは主要なメンバーが複数招待されていた。「原子力産業の輸出は韓国にとってブルー・オーシャン戦略である」とビデオは続けた。

会議は、オープニングセッション、プレナリーパネルセッション、テクニカルセッションで構成されている。文部科学大臣の開会挨拶から始まり、各国代表の各国の状況報告(オープニングセッション)と国際協調および共同戦略について見解を述べるプレナリーセッションまでは日本の原産大会と似た構成である。しかし、16日は終日テクニカルセッションが設けられ、韓国原子力学会が主催する技術の成果発表が中心であるところは日本の原産大会と赴きが異なる。6件のテクニカルセッションは、どこも100名近い聴衆者で満員であることに驚くとともに、実にたくみに英語を話す韓国技術者の英語力には脱帽した。テクニカルセッションは、現在の課題(運転、設計・建設、規制、燃料、熱応用と次世代炉、廃棄物)が網羅されており、韓国のそれぞれを代表する機関からの丁寧な発表である。質問も活発であり、数件を除いて、手持ち無沙汰で座長が困るようなことはなかった。

テクニカルセッションの発表内容は、ほぼ先進国の後追いであるという印象はぬぐいきれない。それでも、追いつけ、追い抜け、という熱心な姿勢と質疑応答をみると、私達が忘れていたことを思い出す。会場からの質問に、じっと耳を傾けて相手が何を知りたいのか考え込む姿もそれはかつての私達だったように思う。こんなに優れた技術だから、とか、あなたに教えてあげる、とかいう風土にいつの間にか私達は染まっている。相手が望むことを聞けなくなった私達の耳を改めて感じた会議だった。

会議の余時間に韓国の原子力産業に関わる人たちと雑談した。それ以外にもテクニカルセッションでの質疑を聞いて、報道されているような韓国原子力産業の一体的使命感について違和を感じた。それを述べてみたい。

いまはカーネギー財団に属し、世界の原子力のあらゆる事情に精通していることで有名なヒブス(M. Hibbs)氏

のインタビューをソウル大学のS教授が申し込まれたので、教授の了承の下に報告者も同席した。ヒブス氏には、教授の見解は新鮮だったと見受けられた。教授は、韓国産業界の意思決定の遅さと非効率性を冷静に語った。プラント基本計画、エンジニアリング、機器設計、製作が独立した組織、会社に分かれていることをその原因と主張し、今後の海外案件で障害となることを訴えた。効率を高めるために産業界が一体となって意思決定することが必要であると。

1月13日に知識経済省が発表した輸出ビジョンでは、今後7年間に約400億円規模でAPR 1400のプレミアム版を実現するべく研究開発を行うことが述べられている。一方、その研究開発の一部を担当する韓国原子力研究所の多くの研究者達は、今日の韓国原子力状況を醒めた目で分析している。かつてのアジア経済危機の時代を除いて、韓国では産業界にも研究側にも真剣な一体感はない、と同研究所の3氏は口をそろえた。特に若い世代が、一体感の源である愛国心や国への忠誠心を急速に失っていることに(どの国も同じかもしれないが)危機感を感じている。若い世代はグローバル化しすぎているという。世界のことしか頭にないと。

これに対して、アラブ首長国連邦の勝利で大きな自信を勝ち得た産業界では、いまだその勝利の酔いは冷めていない。しかし、フィンランド向けとして開発を開始したEU-APR 1400に関する韓国水力原子力会社からの設計発表(4系統の冗長性、多様性、航空機落下対策、炉心溶融事故対策)に対しては、コスト上昇を危惧する声が会場の産業界からも相次いだ。同時に追求すべきコスト削減設計が忘れられていると。あるいは、欧州は韓国が狙うべき市場なのかと。

規制側の発表では300を超える設計ガイドや設計標準文書を原子力プラント輸出のために英文化を進めている進捗度が報告された。英文化は150文書完成しており、完成次第UAEに貸与されるという。NRCとIAEAの両者を合体した最良の規制体系であると胸をはる韓国規制側に対して、規制の根幹をなすべき設計の方法についての品質管理の体系が抜けていると異を唱えたのはUAEの規制副委員長である。UAEはNRC体系の硬直性を嫌い、IAEA体系で独自の規制体系を開発することを決めたので、韓国体系を丸呑みするのではなく自主規制で対応する、と締めた。

(東芝・飯田式彦, 2010年5月28日記)

日米欧原子力国際学生交流事業派遣学生レポート

ITER 滞在記

東北大学大学院工学研究科
量子エネルギー工学専攻修士2年 柏 総一郎

本事業は、日本原子力学会と米国原子力学会シカゴ支部(アルゴンヌ国立研究所)の間で1979年に開始されました。その後、米欧全域へと派遣先が拡張され、現在に至っています。交換留学生の公募は毎年行われていますので、詳しくは、<http://www.aesj.or.jp/gakuseikouryu/index.html>をご覧ください。

私は日本原子力学会の平成21年度日米欧原子力国際学生交流事業の派遣学生として、2009年10月3日～11月8日の1ヶ月間、フランス、プロヴァンス＝アルプ＝コート・ダジュール地域圏のカダラッシュにあるITER機構の計測部門に滞在させていただき、研修を行いました。現在、ITER機構計測部門が設置されているCEAカダラッシュ研究所は、1959年にフランス原子力委員会により設立された、マルセイユから100 km北東に位置するフランス政府機関の研究所であり、構内を猪、鹿、蝶が遊ぶ、自然に恵まれた長閑かつ風光明媚な土地でした。

今回の研修目的は、修士論文テーマであるITERにおける新方式の損失アルファ粒子計測器設置へ向けて、計測システムの設置候補場所の検討を行うことでした。特に、これまでの研究から計測システムの設置場所である計測ポート内の中性子粒子束とエネルギーの調査が喫緊の課題であることがわかっていましたので、ITER機構の方々にその旨を伝え、A-lite model version 4と呼ばれるITER機構が開発した、中性子輸送計算コードMonte Carlo for Neutron Particles(以下:MCNP)用の核解析用モデルを基本計算モデルとして使用して、中性

子輸送計算を行いました。

具体的には、修士論文の研究で開発を進めている新方式の損失アルファ粒子計測法のシステムについて、ITER機構の計測チームのみなさんに計測ポートにおける設置制約を教えていただき、ガンマ線計測用コリメータの設置や背景ノイズを発生させる中性子やガンマ線の遮蔽設計のための計算モデルを作成しました。

さらにこの計算モデルを使って中性子輸送計算を行い、その結果と、すでに中性子照射実験から見積もられているCe:LSOシンチレータ(新方式計測システムに使用する検出器候補)の中性子感度、およびガンマ線を励起源に用いた発光減衰時間測定実験から見積もられている飽和計数率とを鑑みて、どのような中性子遮蔽設計を行う必要があるかを明らかにすることができました。

滞在期間が5週間と非常に短い期間でしたが、修士研究の現状における様々な問題点を明らかにするとともに、今後の指針を得ることができたITER機構での研修は、非常に実りが多いものでした。さらに、英語で議論するという貴重な機会をこの時期に得ることができたのも何ものにも代え難い経験でした。

最後に、ITER機構で日本からのインターンシップ学生の受入れは初めてであったとのことで、日本人研修生第1号として渡欧できたことを、非常に名誉に思います。また、受入れを快諾してくださったITER機構 Prof. Dhiraj, 研修のために尽力してくださった Dr. Luciano, 計算環境の整備や計算のための基本モデルの提供をしてくださった Dr. Michael, Dr. Eduard, 日常生活において様々な面でご助力いただいた Dr. Evgeny, Dr. Kim, 渡欧の機会をくださった日本原子力学会に心より御礼申し上げます。

(2010年 5月7日 記)



お世話になった Dr. Evgeny, Dr. Luciano と

ウィーン春夏秋冬

疋田 智恵

ウィーン、音楽の都。この街と私の付き合いは今から8年前に遡る。ちょうど8年前の3月の終わり、日本では、空は晴れ渡り、桜前線のニュースが流れ始めるそんな季節だった。新生活にふさわしい季節、春。

私はウィーンで最初に、春を迎えた。ウィーンの春、それは復活祭から始まる。街には卵とうさぎが溢れ出す。卵はキリスト復活のシンボル、うさぎは子孫繁栄を象徴し、スーパーやお店ではカラフルな卵、またうさぎの形のチョコレートや置物がそこかしこに見ることができる。オースタン(英 イースター)は、家族や親戚が集い祝う、クリスマスと並び重要な祝日である。そして、オースタンを過ぎると春が来るといわれる春の始まりを表す行事だ。その頃には道路にも花が植えられ、ミモザの黄色い花が咲き、街路樹には新芽が芽吹きだす。黄緑の淡い葉が出てきて、春爛漫である。

そしてその緑がどんどん濃くなり、今度は夏がやって来る。ウィーンの夏、それは、案外暑い。ヨーロッパの夏はからっとして、と、そんなものは嘘である。ウィーンの夏はなぜかじめっと湿度が想像以上に高い。ウィーンはよく京都に例えられ、周りをウィーンの森という丘陵地に囲まれた盆地で、少しずつ旧市街の真ん中に向かってすり鉢状になだらかに傾斜している。そのためか、ウィーンの夏は思った以上に暑かった。夏になると、人々は短い夏を満喫しようとして外に出る。そして街の至る所にシャニガルテンと呼ばれるテラス席が登場する。ウィンナーコーヒーに代表されるカフェ文化を持つウィーンにはたくさんのカフェがあり、太陽にあたりたいウィーンっ子達が、シャニガルテンでおしゃべりに花を咲かす。そして、ドナウ川の畔には、所狭しと日光浴をする人達を見ることができる。「青き美しきドナウ」、シュトラウスのその楽曲名とは色を異にする、今では「黒き濁るドナウ」。そんなドナウではあるが、人々はそこに浸かって水遊びを楽しむ。しかしそんな楽しい夏は、文字通りあっという間に過ぎ去って行く。

そして、いきなり、前触れもなく、秋が訪れる。ウィーンの秋、それは季節の中で一番短い。昨今の温暖化により、紅葉が見られる年もあるものの、日本のような素晴らしい紅葉は望めないのが少し寂しい。しかし、食欲の秋は万国共通で、秋は様々な収穫を楽しむことができる。その代表はワインであろう。秋にはブドウが収穫の時を迎え、フランスのボージョレーヌーボーならぬ、オーストリアではホイリガーと呼ばれる新酒のワインが楽し

める。このワイン、発酵の過程ごとに、最初はモストというブドウジュースの段階から、発酵途中のシュトゥム、そして最後はワインと楽しめ、ホイリガーしか、お店で見られなくなったら、ああ、もう秋も終わりである。

そして、季節は本格的な冬へと突入する。ウィーンの冬。それは、言わずもがな長く寒い。そして暗い。いつも空は灰色で、どんより曇り、気温零下は朝飯前。マイナスかどうかが寒さの基準。大寒波がヨーロッパを襲った昨年は雪も多く、ウィーン市内でもたしか、-10度を記録した。そんな寒さを忘れさせるように街が一番華やぐのが、クリスマスである。街中が色とりどりの電飾で飾られ、街にはクリスマスマルクトという出店が立ち並ぶ。人々は寒さの中でも買い物を楽しみ、寒さを和らげるために、グリュウワインや、プンシュといった温かいワイン、リキュールを楽しむのである。しかし、このマルクト、零下ともなれば、日本人にはちと寒く、半時間で、足と手の感覚が麻痺し出す。出かける時は帽子・マフラー・手袋は必須である。クリスマスが終わると、今度は豚の置物の出店が出回る。豚は、ヨーロッパでは幸運を運ぶラッキーシンボルとされ、新年や何か物事を始めるときに、門出を祝って贈りあう習慣がある。そして大晦日は街中が、夜通しイベントに花火にと老若男女問わずどんちゃん騒ぎ。新年を迎えて、人々はまた暗い冬を過ごす。しかし2月には、ドイツ語でファッシング、カーニバルの時期が来て、これが終わるとそろそろ太陽が顔を出す日も増え始め、まだ寒い、街にはまたオースタン(イースター)の飾り付け、卵とうさぎがお目見えし、春の訪れが近いことを告げ、季節は一巡する。

そして今、オースタンが明け、9年目の春を私はウィーンで迎える。変わらぬ街並みで変わらぬ季節が巡る。きっと100年前のウィーンの人々も今と同じ春夏秋冬を過ごしていたのではと思うほど、緩やかに時の流れるウィーン。今年もまた、ウィーンの一年が始まる。

(2010年 4月19日 記)



疋田智恵(ひきた・とよえ)

神戸大学法学部卒。大学時代の専攻は憲法。奇しくもゼミの研究テーマは「原発建設と人権」。大学卒業後約3年半、JTB専属添乗員として世界各地にツアーを引率。2002年3月、日本航空ウィーン営業支店に転職、渡奥。2010年3月、ウィーン営業支店閉鎖に伴い退職。現在はウィーンにて明るく転職活動中。

ジャーナリストの視点 Journalist's eyes

現場を見せて、声を聴かせて

共同通信社 新居 一樹

34歳で文系出身、入社まで原発の見学や立地自治体での生活経験なし。これが共同通信の原子力担当記者の素性だ。がっかりしましたか？私自身、記者を志した当時は原発なんて全く興味を持っていなかった。しかし福井2年、敦賀1年、青森3年の経験を経て、今は経済産業省の記者クラブを拠点に記事を書く毎日は大変充実している。原子力報道をライフワークにしたいと思っているほどだ。そんな変わり種記者から僥越ながら昨今の原子力界にいくつか言わせていただく。

まず「現場を見せて」。記者にとって現場は命。2001年の同時多発テロ以降、当局の指導もあり、全くといっていいほど現場に入れなくなった。トラブルが起こっても事業者撮影の写真が精一杯。これでは記者の原子力への興味がそがれてしまう。オーバーかもしれないが、記者の興味がそがれるということは国民の興味もそがれてしまうことではないか。とはいえ、私はまだ幸運な方なのかもしれない。敦賀1号のシュラウド交換の現場に入れてもらい、あの狭いGE製のプラントで、蒸し暑さの中で作業員がもくもくと作業をしている現場を目の当たりにした。線量も高く、引率担当者から「合図をすれば速やかに退出してください」と言われ緊張したのを覚えている。ちなみに、この日が私の初被ばく体験となった。以降、作業員の外部被ばくへの見方が変わった(内部被ばくはダメですよ)。

敦賀2号の原子炉容器に入る際には、作業員の緊張を解くために「さくらさくら」が流れることも知ったし、もんじゅのナトリウムが漏れたCループ配管には何度行ったか分からない。原子力の現場には、まだまだ私の知らないことが山ほどあるだろう。しかし今はそのアクセスが極めて限られているように感じる。2005年に赴任した青森では再処理工場のガードの固さに辟易した。一度だけ「報道しない」という条件付きで、ある施設を見せてもらったことはあったが…。「国とケンカしてでも見せろ」とまでは言わないが、原子力業界として頭を捻る余地はないだろうか。

2点目は「語り部はいませんか」。偉そうなことを書いている私だが、取材をしているとよくコンプレックスに襲われる。象徴的なのが5月に運転再開したもんじゅ。私は1999年の入社で「もんじゅ事故を知らない記者」の1人だ。原子力機構や文科省、保安院の幹部、旧動燃OBなどに話を聞きに通っても、原子力史上に残る事故を実体験した方々に、当時のほほんと学生時

代を送っていた私が心を通わせ、重要な証言を引き出すことはやはり難しかった。しかしそんな中でも何人かは私の一からの質問に丁寧に答えていただいた。中には業界にとって不利になる証言をした方も。運転再開前後に連載企画や解説記事を書くにあたり、こうした方々がなければ通り一遍の記事になっていたのは間違いない。「現場を見せて」と重複するが、我々が求める語り部はまだ(特に第一線の現場に)いるはずだ。こうした方々の本音を報じることは業界にとってもプラスのはずだ。余談だが、私が福井勤務中にとある県職員からこんな話を聞いた。「PWRのSG細管に穴が開いたんだが、事業者からは『PWRがBWRになっただけ』と言われ、詳しい説明はなし。本当に悔しかった」。私にとって忘れられない語り部の1人だ。

3点目は「調子に乗って大丈夫?」。いつの間にか地球温暖化と原子力がセットで語られ始め、ちょっとどこではないフィーバーになっている。原子力白書、原子力安全白書、エネルギー基本計画、政府の新成長戦略まで書いてあることがほぼ同じ印象。へそ曲がりかもしれないが、そこに違和感と危機感を持つ。可能性は極めて低いと思うが、現政権が普天間問題のように「最初は原子力は必要と思ったけど、勉強したらやっぱり不要でした」と言い出す恐れはないだろうか。新增設や稼働率の向上ばかり叫ばれて、バックエンドがおざなりになっている印象もぬぐえない。違和感ついでにもう一つ付け加えると、近頃、立地自治体は何かあれば「安全の一義的責任は国に」と言いながら、大きな節目の際には自らが設置した委員会で審議したり大臣クラスに面会を求めたりしないとゴーサインを出さないことが多いようだ。もちろんこれまでに「ぶれ」を繰り返した国に遠因はあるだろうが、それでも最近は何度も越していないだろうか。選挙対策なども透けて見える。住民の目線を忘れないようにしつつ、こうした矛盾を記事にしていきたいと考えている。

(2010年 6月22日 記)



新居一樹(にい・かずき)

共同通信社 科学部記者

1999年京都大学教育学部卒。福井支局、敦賀通信部、青森支局などを経て08年から科学部。09年9月から原子力担当。

新刊紹介

次世代に伝えたい原子力 重大事件&エピソード

飯高季雄著，246 p. (2010.3)，日刊工業新聞社。
(定価2,200円) ISBN 978-4-526-06433-3

著者によると，本書は，原子力関係者が知っておかなければならない開発過程のキーパーソン，重大事故，今日までの経緯，現状などを，物語風に記述されたものである。

序章「原子力時代の幕開け」は，ハンガリー生まれの科学者レオ・シラードが，ナチスドイツとの核開発競争の中で，独，英，米と渡った緊迫した状況が生々しく描かれている。

第一章「科学の壁を切り開いた人たち」では，世界初の原子炉実験を成功させたエンリコ・フェルミ，各種濃縮方法の比較と徹底した情報管理の下で進められたマンハッタン計画，初の潜水艦とPWR，GEの執念が生んだシンプルなBWR，原子力船・レーニン号などについて書かれている。

第二章「各国で動き出す原子力平和利用」では，仏，カナダ，英，米，露，スウェーデンの原子力発電への取り組み，歴史とエピソードがまとめられている。最初に着手した炉型から，その国の資源や他国との関係，最近の開発動向までが的確に記述されている。

第三章「最初の日本人たち」では，戦前に原子爆弾の可能性を考えた人，戦後の学会会議や原子力委員会の役割，予算獲得やガス炉導入に向けての政財界の熱気，原子力船「むつ」の開発，東海村を中心に「列島，原子力ブームに沸く」時代の様子が生々しく描かれている。この書の中核をなす部分である。

第四章「原子力報道を考える」は，水爆実験の影響を受けた第五福竜丸事件を例に，正確な科学知識を持ってわかりやすく伝える報道の難しさが述べられている。

第五章「内外の原子力事故から学ぶ」は，原子力船「むつ」，TMI，チェルノブイリ，JCO事故について，刻々と変化する緊迫した状況や報道の様子が書かれているが，JCO事故後に対応した優秀な頭脳は日本の誇りだ，と書かれているのは異色である。

第六章「暮らしと直結する放射線利用」では，もっとこの方面に関心を向けるべきであると結ばれている。

まとめると，本書は，これから原子力に携わろうとする学生や関係者に広く薦められるとともに，長く携わって来た者も，興味深く読める好著である。

(元東芝・根井弘道)



「連載講座「軽水炉プラント」「高速炉の変遷と現状」」書籍 残部販売のご案内

2009年12月に発行いたしました書籍『連載講座「軽水炉プラント」「高速炉の変遷と現状」』は残部の販売を行っております。数量僅少となっておりますので，購入ご希望の方はお早めのご注文をお願い致します。

購入に関するお問い合わせは《rensai-yoyaku@aesj.or.jp》までメールにてご連絡下さい。残部を確認し，事務局よりご連絡させていただきます。