

インタビュー

19 「柏崎刈羽で得られた貴重な経験と知見を確実に生かしていく」



柏崎刈羽原子力発電所の状況を中心に、原子力をめぐる東京電力の取組みについて聞いた。

武黒一郎
東京電力 副社長に聞く

聞き手 近藤吉明

シリーズ解説

我が国の最先端原子力研究開発

No. 20 電中研

29 合理的なクリアランス測定を目指して—形状計測とモンテカルロ計算を活用した全自動放射能評価手法の開発

電力中央研究所では、測定対象の放射能濃度がクリアランスレベル以下であることを判断するとともに、表面汚染基準以下であることも同時に確認できる微量放射能の評価手法を開発した。

佐々木道也，服部隆利

羅針盤

52 入試の英文

石田寛人

巻頭言

1 原子力教育の先駆け、東海大学の挑戦

松前達郎

特別講演

24 『サルコジ大統領開会スピーチ』 Conférence Internationale sur l'Accès au Nucléaire Civil Paris, les 8 et 9 mars 2010 原子力民生利用へのアクセスに関する 国際会議

「地球温暖化防止に向けた目標を遵守するためには、原子力が必要です。再生可能エネルギーのみで目標値が達成出来るとは、誰も本気で考えてはいないでしょう」

ニコラ・サルコジ

時論

2 燃料サイクルの研究開発に想う

進展が進む世界の燃料サイクル開発。その中で日本が世界に伍していくため、国の強力なリーダーシップを期待する。

井上 正

4 フランス、そして世界における 原子力の位置付けは

原子力を国のエネルギーミックスの重要な柱としているフランス。その今と、これからについて紹介する。

コルディエ ピエール＝イヴ

解説

35 新検査制度導入と炉心設計—運転 期間延長に伴う炉心設計上の課題と 対応

定期検査間隔の延長に対応するためには、炉心の反応度を高める必要がある。ここでは、新燃料取替体数の増加による対応について述べる。

原田健一，浅野耕司，山中章広

表紙の絵 「森の子守歌」 笹原弘子

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)

森・葉ずれの音が子守歌のように、キツネ親子の情愛を包む。里山を懐かしく思い出し、現代の私たちはお金に明けくれる日々ですが、お金に関係なく懸命に生きる、生きとし生きるものに愛おしさを感じ、自然の色・形には及びもつかなない力不足で、生意気ですが制作させていただいています。

40 イタリアの原子力事情

チェルノブイリ事故を契機に原子力発電から撤退したイタリア。しかし最近では、新規建設の動きがでてきた。

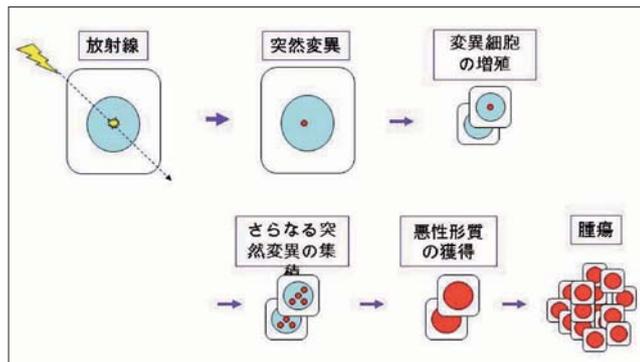
東海邦博

連載講座 ICRP 新勧告—新しい放射線防護の考え方と基準(2)

42 放射線防護の生物学的側面

低線量の放射線影響は、中線量域や高線量域でのヒト集団での放射線影響の実態と、分子・細胞・動物レベルの実験研究から得られた障害発症機構から、推定される。

丹羽太貴



放射性発癌の過程

談話室

47 キュリー夫人がおこなった“幻の授業”—キュリー夫人の理科教室 紙芝居と実験ショー

キュリー夫人に学び、次世代にサイエンスを伝える。

吉祥瑞枝



理科教室での実験ショーのもよう

会議報告

49 原子力平和利用と核不拡散、核軍縮にかかわる国際フォーラム

直井洋介

9 NEWS

- もんじゅが性能試験再開へ
- 佐藤知事が福島第一3号でのプル利用容認
- 重粒子線がん治療施設建設に向け協定
- 東大などがアルゴン40の超変形状態観測に成功
- ウラン化合物の隠れた秩序を検証
- JNESが安全研究推進の中核機関へ
- 原産協会がエネルギーに関する意識調査
- 海外ニュース

定点“感”測⑩

51 わが町をこよなく愛す

山口直子

ジャーナリストの視点

54 『感情』に思い巡らす試みを

三浦穂積

6 会告「平成22・23年度代議員選挙について」

50 新刊紹介

『原子力政策学』

山下俊次

『原子力の過去・現在・未来

—原子力の復権はあるか』

諸葛宗男

55 会報 原子力関係会議案内、主催・共催行事、原子力総合シンポジウムご案内、フェロー基金への寄付のお願い、平成21年度分フェロー基金への寄付者芳名一覧、From Editors、「フェロー」一覧、意見受付公告について、新法人制度移行・規程体系化について、英文論文誌(Vol.47, No.5)目次、主要会務、編集後記

後付 日本原子力学会賞 受賞概要

会告 「平成22年度新役員候補者投票のご通知」

WEB アンケート

2月号のアンケート結果をお知らせします。(p.53)
学会誌記事の評価をお願いします。<http://genshiryoku.com/enq/>

学会誌ホームページが変わりました

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

原子力教育の先駆け、東海大学の挑戦



学校法人 東海大学 総長

松前 達郎(まつまえ・たつろう)

1950年東北大学工学部卒業後、電気通信省入省。63年東海大学教授となり学長等を歴任。77年より参議院議員(01年迄4期)。91年より東海大学総長・理事長、国際武道大学理事長に就任。工学博士、00年勲一等瑞宝章受章。

20世紀が始まった1901年、報知新聞に21世紀の予言が掲載された。この予言は「無線電信及び電話」「電気の輸送」など23項目からなり、携帯電話のように見事的中しているものもあるが、もちろん全く当たっていない予言もある。原子力、宇宙開発、人工化学物質といったジャンルは項目にも出てこない。このエピソードからもわかるように、今日の文明社会は、100年前には予測すら難しかった高度な科学技術によって支えられているといつてよい。20世紀の人類はわずか100年の間に月に到達し、原子の火を燃やし、遺伝子という生命の謎を解く鍵を手に入れた。一方、21世紀の早い段階で100億人を超えると言われる世界人口の増加は、地球の温暖化や食糧危機を促すと言われ、地球レベルでの環境破壊など、現代の文明社会の歪みもまた明らかになってきた。なかでも「原子力」は両刃の剣であり、人類にとって有益であると同時に、扱い方を間違えば人類が滅亡する道を歩むことになりかねない。核軍縮が進んだと言われながらも依然として地球上には大量の核弾頭が存在していることを我々は決して忘れてはならない。

本学の創立者である松前重義博士は、国会議員であった1954年、衆議院予算委員会で我が国最初の原子力予算について審議がなされるなか、原子力問題について質問し、自身の見解をこう述べている。「歴史の動きは、少なくとも原子力の新しい時代に当面して平和の方向に動かざるを得ない」。すなわち創立者は、原子力時代における世界の平和のためには、どのような政治理念が必要なのかを指摘したのだ。1955年、国連主催の第1回原子力平和利用国際会議に超党派で組織された国会議員の代表団として参加すると、その足で世界各国の原子力施設を視察し、その体験から原子力の平和利用に関する研究を、我が国でも積極的に推し進める必要性を痛感した。こうした思想が後の「原子力基本法」の制定、科学技術庁の設立として結実するのであるが、同時に創立者は新しい時代に即応する教育、原子力時代に対する技術者の育成という使命を達成すべく、東海大学に我が国初の原子力工学専攻を設けた。時に1956年であった。これは、天然資源に恵まれない日本は、科学技術創造立国の道を歩むほかないという創立者の理念に基づいたものであり、それ以来、3,500人を超える卒業生の多くが全国の原子力関連施設などで活躍している。

しかしながら、1980年代以降、原子力発電所の事故などにより、原子力に対する社会の目は厳しさを増した。2000年には先述の原子力工学専攻の後継である「工学部原子力工学科」を改組し、「工学部エネルギー工学科」として新エネルギーを含めた広範なエネルギー教育を展開することとなった。ところが、時代の動きは予想以上に激しく、石油資源の枯渇や地球温暖化といった課題から世界各国で原子力への注目が再び高まり、さらに国内では団塊世代の大量退職で原子力技術者の人材不足が深刻化するなど、原子力を取り巻く情勢は新たな時代に入ったといえる。そしてそれは、本学が使命とする新しい時代に即応する技術者の育成の観点からみると、必然として原子力技術者の養成に力点を戻すことであり、2010年から「工学部原子力工学科」を復活させ、半世紀に及ぶ実績を踏まえ、改めて原子力技術者育成の強化を図ることとなった。この間、「原子力技術コース」を開設してカリキュラムの充実や教育実績を着実に積み上げるとともに、約4年の準備期間の後、満を持して再開に至ったのである。

20世紀、人類は発達した文明の恩恵を享受する一方、対立や混乱など社会の歪みを知ることもあった。それゆえ21世紀は、さまざまな対立を克服し、人と社会と自然が共生できる新しい文明社会の実現を目指さなければならない。そして科学技術は具現するための手段であると同時に、それが人間の幸福に通じるものでなければ意味がない。原子力は「両刃の剣」であるが、資源や環境といったこれまでに人類が経験したことのない困難な課題の解決策を探る上で大きな力を秘めている。その力を人間の叡智でコントロールするために、高い倫理観を持った技術者を育てていく—そこに東海大学の使命があると考えている。

(2010年 2月22日 記)



燃料サイクルの研究開発に想う



井上 正(いのうえ・ただし)

(財)電力中央研究所 首席研究員

1974年電中研に入所。核燃料・サイクル関係の研究、特に高速炉用セラミック燃料の物性研究、返還ガラス固化体の評価、乾式リサイクル技術等の開発に従事、EU超ウラン元素研究所と電中研の連携の基盤を作る。

1. はじめに

国内での燃料サイクルの確立を目指して1977年にフランスのサンゴバン社から技術導入で建設した東海再処理工場(以下、TRP)が稼働して30年余りが経過した。また、商業用再処理事業として同国サンゴバン社(現 AREVA 社)から中核技術を導入した日本原燃(株)再処理工場(以下、RRP)が稼働を目前にして、我が国独自に開発したガラス固化装置の不調により本年10月に竣工が延期された。一方、RRP に続く第2再処理工場や高速炉再処理技術の開発も行われている。

国外に目を転じると、フランスでは RRP の基本となったラ・アーグ再処理工場が順調に稼働し、その経験をもとに六ヶ所再処理工場が建設された。また、次世代再処理技術についても短期的(軽水炉燃料の改良再処理技術)、中期的(第4世代原子力システム用再処理技術)な目標を設定して着実に技術開発を行っている。一方インドでは、重水加圧軽水炉用の再処理施設が2か所で稼働しており、高速炉用の再処理技術についても着実に開発を行っている。このような近年の状況をみると、我が国は原子力技術の実用化や開発において世界の先頭をいっていると今まで考えていたが、燃料サイクル技術に関しては、フランスに遅れ、さらにロシア、インドなどと比べても遅れてきている。本稿では、我が国の技術開発の状況、海外との比較、さらに改良すべき点などについて考えてみる。

2. 我が国の燃料サイクル開発の方向

六ヶ所再処理工場に続く第二再処理工場は運開が2050年頃に予想され、そこでは軽水炉の使用済み燃料(UO₂, MOX)を処理して、今世紀中葉から実用化が計画されているFBR用の燃料を供給することになる。その後はFBRの燃料も再処理してリサイクルすることになる。一方、世界で実用化された再処理はピューレックス法を使って高除染製品(放射能濃度が相対的に低くグローブボックスでの取扱いが可能)を回収する技術である。他方、プロセスの簡素化を狙ってU、Pu製品を一部の核分裂生成物を付随したままで回収したり、マイナーアクチニド(MA)を回収してリサイクルする低除染サイクルは、まだ分離プロセスを構築するための基礎研究段階にある。さらに低除染サイクルでは、燃料製造まですべて

の操作や製品の取扱いがホットセル内の作業となり、その実用化にはこれまでに経験のない高いハードルが存在する。この状況を考えると、次期再処理工場は現在のようにグローブボックス内で製品を取り扱える高除染の再処理技術となる可能性が高く、中核となるのは核拡散への配慮からU-PuさらにはNpまで一緒に回収する共抽出に関連する技術である。

次の段階(高速炉サイクル)ではPuが本格的にFBRでリサイクルされる時代となる。この高速炉サイクルではMAの発生もウラン燃料に比べ多量となり、高レベル廃棄物処分の負担を考えた場合、MAを回収してFBRでリサイクルすることが有力な選択肢となると考えられる。このMAのリサイクル技術については現在、湿式法や乾式法の研究が行われているが、実用化までにはまだ多くの開発ステップが存在する。現段階はそのプロセスの構築や要素技術の成否を判断する基礎・基盤データの蓄積段階にある。

3. 世界のサイクル技術開発の状況

フランスは次世代再処理技術、さらにその先の革新技術と順を追ってそれまでの蓄積をベースに着実に開発を行っている。短期的にはU、Pu、Npの共抽出技術を取り入れた技術で他国へ売込みを図り、中期的には第4世代炉(高速炉)の燃料処理を目的として超ウラン元素を一括抽出してリサイクルする技術の開発を主に欧州の国々からなる34機関と連携して進めている。

米国は民主党、共和党間の政権交代の都度、サイクル路線、非サイクル路線を行ったり来たりしているが、オバマ政権では前政権時の大型再処理工場の建設路線を修正して、核不拡散、環境負荷低減を狙った革新的な再処理技術の基礎・基盤的研究に方向を移した。

一方、アジアの原子力多用国は燃料サイクルの導入に積極的になっており、原子力発電の増加とともにその勢いは一層増大する。インドでは2012年に運開となる500 MWeのFBRとそれに続く2基の同型炉の導入に合わせてFBR用の再処理技術を開発している。中国でも50 t/年の再処理工場が間もなく稼働し、次に800 t規模の再処理工場を計画している。また、ガラス固化技術についてはドイツからの移入契約を締結したところである。

韓国では以前より乾式再処理技術を開発しており、使用済み燃料で試験をするホット施設まで建設しているが、まだPuを取り扱うことを米国が認めていない。このため韓国では多国間協力でサイクル路線への道を探っている。このようにフランス、ロシアのほか、アジア各国を中心としてサイクル技術の開発に向けて活発な動きとなっている。この中で我が国の戦略をいかに構築するかが問われている。

4. 今後の燃料サイクル技術開発のあり方

我が国で燃料サイクル技術を開発していくには、これまでの方法や体制など再考すべき課題が多い。以下にそのいくつかを述べる。

(1) 六ヶ所再処理技術は今後の発展の基盤

再処理のように容易にプロセスの変更ができない工場の安定運転には、原理原則に則ったプロセス化学の確立や実機プラントで得られるデータの蓄積、経験が不可欠である。フランスなどを見ても一段階ずつ前の知見をもとに、次の技術の実現を図っている。このため次世代技術の開発にあたっては、TRP や RRP の実機で生じている現象をしっかりつかまえて開発に反映していく必要がある。

(2) 着実なプロセス技術の開発と主要要素技術の開発

次期再処理工場では UO_2 だけでなく、プルサーマル用の MOX 燃料も処理の対象となる。そのような中では、先に述べた共抽出技術のみならず、燃料の溶解性、不溶性残渣の増加や発生、多量の核分裂生成物の影響(沈殿生成)などプロセスを見極めるための課題が多い。また、昨今、直面している課題を見ても明らかになったように、基礎・基盤技術をしっかり蓄積することが要素技術を開発する上で必須である。さらに化学プロセスを構築するにも一本路線ではなく、複数の選択肢がとれるよう化学的、工学的な観点から要素技術の確立を図る必要がある。

(3) サイクル技術全体の開発が我が国で必要か

我が国のエネルギーセキュリティ上、燃料サイクルを確立することは重要であるが、そのこととすべてのサイクル技術を我が国で開発実用化することは別のことである。我が国独自の技術を実用化した経験に乏しく、また開発能力の点からすべての再処理システムを開発していくことは、現状では困難な選択肢である。一方、核不拡散への配慮や環境負荷低減への考え方など、また核燃料サイクルセンター構想が IAEA や米国などで提案されている状況も考えると、積極的に国際的な枠組みを提案して国際共同開発の道をもっと探るべきではないか。

(4) 我が国の開発体制の強化と体制整備

実用プラントの運転は日本原燃、将来技術の研究開発は日本原子力研究開発機構、機器の製造はメーカーであり、これまでその間に密接な交流や連携が行われなかった。特に、事業化された技術についてはその後、基礎・基盤データの蓄積が図られなかった。一方、フランスに見られるように、研究機関の原子力庁、エンジニアリン

グや工場の建設、運転を行う AREVA 社で研究者、技術者の往来、技術情報の移転、実プロセスで生じた課題の研究機関への速やかなフィードバックと、一体となった体制が敷かれている。このような姿勢と比較すると我が国の体制はすくみ状態となっており、今後、燃料サイクル開発を機能的に推進するには、技術の維持、改良から次世代技術・革新技術の開発まで一元的に管理でき、さらに開発計画の立案、評価まで行う体制が必要である。またそれに向けて関係機関が統合(物理的よりも実体的に)した有機的に連携できる体制整備も不可欠である。

(5) 国は強力なリーダーシップを

国のエネルギーセキュリティに関する燃料サイクル技術開発や技術維持、改良などはいずれの国も政府が主導で実施している。さらに世界的展開を進めるには政治的な力が必要なことも昨今の現実が示している。最近、UAE から 4 基の原子力発電所の受注に成功した韓国ではその勢いが波に乗っており、国、学界、産業界が一丸となってアジアの中核となり、核不拡散、安全性のさらなる向上、廃棄物マネージメントの三要素を取り入れた原子力システムの構築を狙って多国間協力構想を世界に呼び掛けている。他国に比較すると我が国は守勢であり、国が主導して開発戦略の具体化に向けた強力なリーダーシップを期待したい。その場合、サイクル技術のように市場価値が少ないが国のセキュリティ上重要な技術開発については、実用化技術として確信が持てるまで、国が主体を負うべきであろう。実際の開発にあたっては、資金は国が負担して国内の関係者、専門家が結集できるようにすることが大切であり、現在のように、国→国研→メーカー等という形で大半の資金が流れるシステムを見直し、資金を直接メーカー等が受け、国研が実施するという逆の流れも活発化させることにより研究にも競争原理が入り活性化が期待できるであろう。また、その分野の得意な機関が主導して資金を国際共同開発の原資として使う道もある。

5. おわりに

燃料サイクル開発の現状を中心に述べたが、フランス、ロシア、インドなどで 2020~2025 年頃に次世代技術を取り入れた再処理工場の運転が予想されるなか、我が国で技術の実用化を目指すためには、現状に甘んじてこのまま歳月を費やすのではなく、我が国の実施体制、実施内容の見直し、施設の有効利用を含めたインフラ整備など、早急に改善すべきであろう。また、燃料サイクル技術は透明性ととともに世界に認められる技術とする必要があり、そのために実質を伴った多国間協力なども推進していく必要がある。これらはいずれも国の強力なリーダーシップがなければできないものではない。我が国の戦略策定、その具体的な実施に向けて国も原子力委員会、関連する行政官庁は一体となって強力に進めていただきたい。(2010年 2月22日 記)



フランス、そして世界における原子力の位置付けは



コルディエ ピエール=イヴ

在日フランス大使館 原子力参事官
1996年クレルモン=フェラン第Ⅱ大学博士課程修了。フランス原子力庁国際部担当課長などを経て、2007年から現職。科学者交流計画により、1994年から99年にかけて、動燃東海事業所と原研東海研究所に滞在。

地球温暖化の問題と戦いながら安定したエネルギー供給を保証することは、日々、ますます重要かつ複雑な問題となってきた。2030年の世界のエネルギー需要は、今日に比べて40%増と見込まれている。多数の国が、原子力エネルギーが持つ可能性に着目し、原子力エネルギーと再生可能エネルギーを調和よく利用するエネルギーミックスこそが自国の安定したエネルギー供給への回答であると考えている。この問題に関し、世界の状況を説明する前にまずフランスの現状に言及したいと思う。

フランスは、1970年代、大規模な原子力発電のための一貫した産業部門を構築するという選択を行った。今日では58基の発電炉が約75%の電力を供給している。フランスは、今後10年間の原子力政策の方向性を決める2005年7月13日付けの法律の中で、原子力を国のエネルギーミックスの重要な構成要素とする意思を確認した。この戦略に基づき、フランス初のEPR(欧州加圧水型炉)の建設工事がフラマンヴィル発電所で2007年に着工し、2012年頃の運転開始を目指している。さらに2009年初頭には2基目となるEPRがパンリー発電所で2017年頃の運転開始を目指して建設されることが発表された。これと並行して、EDF(フランス電力会社)は、安全に関する条件が確保される限り、既存発電炉の寿命を延長する目標を掲げている。

将来を見据えて新しい産業施設および研究開発施設の建設も行われている。その一つがジョルジュ・ベスⅡ濃縮工場で、2009年12月には遠心分離機の最初のカスケードが運転を開始した。この工場は将来(2016年)、7,500トンSWUの生産能力を持つことになる。研究開発分野では、カドラッシュにジュール・ホロヴィッツ材料試験炉が建設中で、2014年の運転開始が予定されている。この出力100 MWのプール型炉は、第Ⅱ、第Ⅲ、第Ⅳ世代炉に使用される材料並びに燃料の最適化および開発のための研究ツールとしての役割を担うことになっている。この材料試験炉は当初から国際的な設備と位置づけられ、ヨーロッパだけでなく世界のさまざまな研究機関および電力会社がパートナーとして参加している。

このような原子力の発展は、核燃料サイクルを閉じたサイクルにするという政策と歩を一つにしてきた。フランスは日本と同様、使用済み燃料を再処理し、ウラン、プルトニウム、核分裂生成物、さらに将来はマイナーアクチニドを分離するという戦略的な選択を行った。この選択は、エネルギー資源の有効利用並びに放射性廃棄物の管理の観点から適切であることが確認されている。MOX燃料の形でプルトニウムを利用するプルサーマルは、フランスではすでに20基以上の発電炉で産業的な実績を上げている。日本ではまだ2基で実施されているだけだが、今後、順次他の炉でも実施が予定されている。

再処理に関連して、長寿命高レベル廃棄物の地層処分のための研究が活発に行われている。1991年のバタイユ法を引き継ぐ形で、その研究成果に基づき制定された2006年6月付けの法律は、取出し可能な深地層処分場を選定し設計するためにANDRA(フランス放射性廃棄物管理機構)がさらに実施しなくてはならない研究を定めている。処分場は2015年の設置許可申請、2025年の運用開始を目指している。

法律については、2006年6月に制定された原子力安全・透明性に関する法律(TSN法)も忘れてはならない。この法律は、原子力安全当局の独立性と権限の強化を定め、適切な情報が迅速に公開されることを可能にしている。地方情報委員会の役割も強化、拡充された。地方情報委員会は、フランスにおける原子力の透明性には不可欠な要素となっている。

さらにフランスは、第4世代の高速中性子炉の研究を実施しており、2020年以降、革新的な原型炉を運転する計画を持っている。この分野の研究は外国のパートナーと協力して行っており、ジェネレーションⅣ国際フォーラム(GIF)がその例である。

要約すると、フランスのエネルギー政策は、原子力と再生可能エネルギーという互いに補完し合う2種類のエネルギーを中心として進められていくことになる。CEAは、太陽光発電、水素製造、蓄エネなどの分野の研究開発でリーダー的な役割を果たしていることから、「原子力・代替エネルギー庁」に名称が変更された。

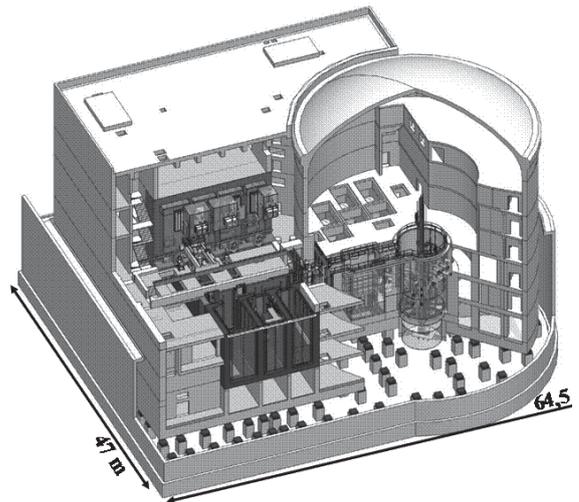


フラマンヴィル原子力発電所, EPR 建設現場 (著作権 EDF)

世界に眼を向けると、我々が「原子力ルネッサンス」という新しい時代に入ったことは万人が認めるであろう。この流れは次の2つの現象に特徴付けられている。一つはすでに原子力産業を持つ国が原子力発電所の建設に再び着手し(米国)、中には非常に野心的な計画を掲げる国もあること(中国、インド)、もう一つの特に顕著な点は、まだ原子力エネルギー利用のための組織を持たない国がその導入の意思を示していることである。原子力という伝統を持たない国が、原子力発電施設を持ちたいと希望することは、それらの国にとってばかりではなく、原子力技術を持っている国にとっても同様に一つのチャレンジである。パリで3月8、9日に開催された「原子力民生利用へのアクセスに関する国際会議」では、このチャレンジに係わる問題が網羅的に扱われた。この会議には63カ国を代表する約1,000人の参加者が討論や議論を聴き、約150名の記者が報道を行った。

この会議は様々な面で重要な会議であった。フランスは原子力エネルギーの発展に関する自国のビジョンを伝えることができたし、講演者は原子力に対する関心から生じるさまざまな疑問について議論することができた。

今回の会議は、原子力技術を保有する国と発電のために原子力技術をこれから備えたいと希望している国が一堂に会した初めての会議だった。開会に際してサルコジ大統領は、世界レベルでの原子力エネルギーの発展の重要性に言及した。というのも、民生用原子力エネルギーへのアクセスは、単にエネルギー問題を解決するだけでなく、原子力を選択することは、CO₂を出さないエネルギーを選択することであり、将来、数十年にわたる国際的な公約を守るための制度にくみするという選択を行うことなのである。したがって、原子力利用を望む国が、最も厳格な安全基準の適用、国際条約の遵守、IAEAの保障措置、核不拡散などの観点で、最良の条件で原子力を導入できるようになることが肝心である。



ジュール・ホロヴィッツ材料試験炉概念設計図 (著作権 CEA)

大統領は、演説の中で、現在、議論を呼んでいるいくつかの事柄、原子力利用を望んでいる国に安全な原子力の導入を成功させるための挑戦がいかに大きなものであるかを示す事柄を列挙した。そのうちの 하나가、新興国にとってはしばしば大変重要な問題となる資金調達の件である。さらに、原子力発電所を運転するだけでなく、絶対的な安全遵守を基本として施設を管理できる技術者、技能者、規制側の人間などの教育訓練の問題である。安全は根本的な要件で、万が一、そういった国への導入がたった一国でもうまくいかないようなことがあれば、世界中の原子力の発展にとって致命的な打撃となるだろう。したがって、複数の炉メーカー間の産業的な競争を超えて、教育訓練、安全、セキュリティ、国際的な核不拡散に関する義務の遵守といった原子力の発展にとって鍵となる分野でメーカー同士が協力していくことが大切なのである。原子力技術を有する国とこれからその技術を利用しようとする国が、上記の分野で共同で努力を分かち合っに行かない限り原子力の発展はあり得ないのである。これはまた、北の国々と南の国々が連帯する方法でもあり、原子力ルネッサンスがもたらす無視できない効果でもあろう。原子力が持続可能で責任ある形で発展し、気候変動問題に効果的に対処できるよう、フランスと日本は、原子力エネルギーの平和利用の実績とこの分野の産業技術の熟達度に鑑み、重要な役割を果たしていかなければならないのである。

(2010年 3月30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。

もんじゅが性能試験再開へ

日本原子力研究開発機構の高速増殖原型炉「もんじゅ」が、4月中に試運転を再開する見込みとなった。原子力安全・保安院と原子力安全委員会による審査は3月までにすべて終了。また福井県の原子力安全専門委員会も原子力機構の耐震性評価を妥当だ

と評価した。今後は西川一誠知事が川端達夫文科相らと会談を行った上で、地元として了解をする見込み。その後、原子力安全・保安院が最終点検して、運転が再開されることとなる。

福島第一3号機でのプル利用容認

佐藤雄平・福島県知事は2月16日の県議会で、東京電力福島第一3号機のプルサーマル実施を受け入れる考えを表明した。同機のプルサーマル計画は、98年に立地地域の事前了解を得て、国に原子炉設置変更許可申請、99年に許可となったものの、02年の発電所点検記録不正問題で中断されており、今回の県知事発言により、およそ10年ぶりに計画再開に向け動き出すことになる。

東京電力は1月20日、県に対しプルサーマル実施の申し入れを行っている。

佐藤知事は昨年6月の県議会で、プルサーマル計画に関し、「安全、安心の確保を最優先に、慎重に対応」と発言、これを受け、県のエネルギー政策検討会での議論が再開した。県では、国、事業者からの説明聴取に加え、検討会での議論、検証に資するべく、すでにプルサーマル発電を本格採用している

佐藤福島県知事が県議会で表明

九州電力玄海発電所の視察も実施した。これらを受け、知事は今回の県議会開会に際し、核燃料サイクル事業に関して「具体化の取組みに一定の進展が見られた」ほか、安全面についても「信頼回復の取組みが行われていると確認した」と述べている。その上で、福島第一3号機の①耐震安全性、②高経年化対策、③搬入後10年を経過したMOX燃料の健全性——の確認の技術的条件満足の上で、「プルサーマルの実施を受け入れる」と表明した。

さらに知事は、東京電力に対し、「『築城10年落城1日』を肝に銘じ」継続的な信頼回復の取組みを積み重ねることを強く求め、原子力政策全般につき「立地自治体の立場を堅持し、国や事業者の取組みについて厳しい目線で確認する」と述べた。

(資料提供：日本原子力産業協会)

重粒子線がん治療施設建設に向け協定

放射線医学総合研究所と財佐賀国際重粒子線がん治療財団は3月17日、佐賀県の重粒子線がん治療施設の建設に向けて協力協定を締結した。

佐賀県では、国内で4ヶ所目、九州では初めての重粒子線がん治療施設となる「九州国際重粒子線がん治療センター(サガハイマツト)」を設置する産学官の共同プロジェクトが進められている。このため同県では、今年2月5日に同財団を設立。今後、重

粒子線がん治療装置の整備、医療スタッフの確保および育成に取り組む。

一方、放医研では、重粒子線がん治療において、すでに5千名以上の治療実績を誇り、その普及をさらに進めている。この実績をもとに財団の活動を支援していく。放医研が民間団体と協定を締結するのは、財癌研究会(癌研有明病院)に続いて2例目。

(資料提供：科学新聞)

東大などが世界で初めて安定原子核のアルゴン40の超変形状態観測に成功

東京大学大学院理学研究科附属原子核科学研究センターの井手口栄治講師，原子力機構原子力基礎工学研究部門の大島真澄研究主席，九州大学大学院理学研究院物理学部門の森川恒安助教，千葉工業大学情報科学部教育センターの菅原昌彦教授らの研究グループは，自然界で安定に存在する原子核の一つ， ^{40}Ar （アルゴン40）の高いエネルギー状態を観測した結果，長軸と短軸が約2：1の比を持つ非常に大きなラグビーボールのような形（超変形状態）が現れることを世界で初めて明らかにすることに成功した。

ラグビーボールのような形の原子核は，球形の魔法数（原子核が特に安定になる陽子数，中性子数）これまで2，8，20，28，50，82，126が知られ，一般的に陽子数，中性子数が魔法数の原子核は球形とは異なる新たな魔法数（超変形魔法数）をとる時に現れると予想されていたが，その中性子数，陽子数の増減に対する安定性はよくわかっていなかった。

そこで同研究グループは，原子力機構のタンデム加速器と多重ガンマ線検出装置「GEMINI-II」を用いた実験を行った。エネルギー70MeVの ^{18}O ビームを ^{26}Mg の薄膜に照射，核融合反応で出てくる2個の陽子と多重ガンマ線を同時に計測することで， ^{40}Ar の高い角運動量状態について精密測定した。その結果， ^{40}Ar がラグビーボールのような形へ変形することを見出した。これはこれまでで最も中性子が過剰な超変形原子核に相当し， ^{40}Ar を構成する18個の陽子と22個の中性子が超変形を与える超変形魔法数になっていることを示唆する世界初の発見となった。

井手口講師の話「中性子過剰領域では，バナナ型超変形や軸比3：1のハイパー変形などのエキゾチック変形の出現が理論的に予言されているが，今回の実験により原子核の未知の変形状態の研究が今後さらに進展すると期待される」。

（同）

ウラン化合物の隠れた秩序 日仏の研究者ら“正体”を提起 —数グループで検証始まる

1985年，ウラン化合物 URu_2Si_2 において，17.5Kでの2次相転移と，より低い温度（1.5K）での超伝導状態への相転移に関する研究が報告されたが，17.5Kの2次相転移は，最初は時間反転対称性を破る反強磁性転移ではないかと思われていた。その後，時間反転対称性の破れはないとされ，それにもかかわらず，格子歪みも観測されていない。さらに，Ru原子位置での核4重極子共鳴（NQR）の実験からも，相転移付近での異常が見つけられていなかった。このような事実から， URu_2Si_2 の秩序相は“隠れた秩序”と呼ばれ，その秩序パラメータの同定が大きな課題になっていた。

この20年来の課題に，このほど解答が出された。出したのは神戸大学大学院理学研究科の播磨尚朝教授，フランス・グルノーブル原子力庁（CEA-Grenoble）のJ・フルケ教授，大阪大学大学院基礎

工学研究科の三宅和正教授のグループ。 URu_2Si_2 の低温秩序状態が格子歪みを伴わないが，電子の電荷分布の空間対称性の低下だけを伴った秩序状態であることを見出すことに成功。これが“格子歪み等を観測する実験手法では，この秩序状態の対称性の低下は観測できない”というのが隠れた秩序の問題に対する答えだと提起した。

播磨教授によると，2008年春にフルケ教授の招待でグルノーブルに滞在した時に共同研究を始めたが，実験結果がよく整理されてきたにもかかわらず，具体的な理論モデルに到達せずに1年以上が経過した。2009年7月にパリ大学のベニア教授の新しい実験結果を見た三宅教授から，この系に特徴的な電気抵抗の異方性について理論モデルのヒントになる意見をもらい，その時に今回提案した空間群が存在することを確信したという。その際，格子歪みが

ない、Ru 位置で4回対称性が残る、電荷分布の揺らぎが面内である、ことがポイントであるとしている。

固体結晶の持つ空間の対称性はその組合せにより230個の空間群に分類されており、2次相転移での低温相は高温相の空間群の部分群のどれかに属する。URu₂Si₂は、高温で体心正方格子の139番の空間群を取る。研究では、その部分群の一つである単純正方格子の136番が唯一、格子歪みを伴わず、電子の電荷分布の対称性の低下のみが可能であることを示した。

格子歪みを伴わない電子状態のみによる空間対称性の低下に伴う相転移はこれまで知られていない。その可能性を、今回理論的に提起した。実際、本研究で提案されたURu₂Si₂の秩序状態の検証はすでに

いくつかのグループで始まっている。これが検証されれば初めてのことであり、強相関電子系の多様な秩序状態に新しい知見を与えるに留まらず、固体物理学(相転移の物理)の歴史に大きな1ページを記すことになるものと期待される。

播磨教授の話「今後、提案した電子状態の具体的な計算、それと矛盾しない微視的モデルの構築はもちろんのこと、実験的な検証が大きな課題となる。いずれにしても、今回提案している2次相転移は、全く新しいタイプの相転移であるので、これが検証されれば強相関電子系の軌道秩序などの理解にとどまらず、電子系の2次相転移に対する考え方などが大きく変わらざるを得ない、と思われる」

(同)

原子力安全基盤機構(JNES)が安全研究推進の中核機関へ

原子力安全基盤機構(JNES)が、原子力安全・保安院の安全研究の中核的な役割を果たす機関として位置づけられた。原子力の安全基盤研究のあり方を検討していた原子力安全・保安部会の原子力安全基盤小委員会の安全基盤研究ワーキンググループが、このほどまとめた報告の中で示した。「原子力の安全基盤研究の効果的な実施について」と題されたこの報告では、保安院が提示する規制課題に基づく安全研究ニーズの抽出や安全研究計画の策定、JNES 運営費交付金事業としての安全研究の実施および原子力安全に関する研究成果等の集約・蓄積をJNES が行うことが適当だとしている。

この報告を受けてJNESは、安全研究計画の評価および安全研究成果の評価を行うため、工藤和彦委員長(九州大学特任教授)をはじめ17名の学識経験者を委員とする公開の原子力安全研究評価委員会を3月17日に開催。安全研究計画や安全研究実績の評価方法およびスケジュールについて審議した。同委員会では今後、委員会の下に設置した分科会および委員会で審議した後、6月末を目途に安全研究計画を策定する予定。なお、安全研究計画は毎年、最新の規制課題に基づいて見直しされる。

(資料提供：原子力安全基盤機構)

原産協会、「エネルギーに関する意識調査2009」を実施

原産協会は、インターネットによる「エネルギーに関する意識調査2009」を、2008年に引き続き実施した。調査期間は、2009年11月27日から12月1日。調査の主な結果は以下の通り。

- ・ 関心ある社会問題としては、「年金・社会福祉」「新型インフルエンザ」「地球温暖化問題」など、身近に感じられる社会問題に関心が高く、「エネルギーの安定供給」「原子力発電」は、「同調査2008年」同様、10位程度であった。
- ・ 電源として「環境に影響を与えない」こと、「二酸化

炭素など温暖化ガスを出さない」ことに重要性を求めており、その結果、「太陽光」「風力」に大きな期待をしている。「原子力」も期待はあるものの、自然エネルギーと比較すると期待は低い。

- ・ 原子力に関する情報は「テレビ」「新聞」等マスコミから多く受けている。立地地域ではマスコミのほか、企業や自治体広報からも多くの情報を受けている。しかし、トラブル時の報道に関しては、「マスコミの報道は正確だ」に関して「(あまり)そう思わない」が「(やや)そう思う」を大きく上回

る。また、「マスコミの報道は、不安をあおっている」に関して、「(やや)そう思う」が「(あまり)そう思わない」を大きく上回っている。

・「高レベル放射性廃棄物処分場の必要性」について、「(どちらかといえば)そう思う」が「(どちらかといえば)そう思わない」を大きく上回っている。しかし、「居住地域への高レベル放射性廃棄物処分場建設計画」については、「(どちらかといえば)反対」が「(どちらかといえば)賛成」を大きく上

回っている。また、「高レベル放射性廃棄物処分場が安全と思うか」に関しては、「(どちらかといえば)そう思わない」が「(どちらかといえば)そう思う」を大きく上回っている。

調査結果の詳細は当協会 HP に掲載。

http://www.jaif.or.jp/ja/seisaku/ishiki-chosa_report09.pdf

(資料提供：日本原子力産業協会)

原産協会が動画配信

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、無料で配信している。

2010年1～3月の番組は以下の通り。

・がん治療に新境地—重粒子線がん治療の最新動向：放射線医学総合研究所・群馬大学の取組み

から(2/15公開)

- ・東京電力 柏崎刈羽原子力発電所の現状—「災害に強い世界に誇れる発電所」(3/15公開)
- ・島根原子力発電所と松江市の見所紹介(4/15公開予定)

(同)

海外情報

(情報提供：日本原子力産業協会)

[米国]

大統領、一般教書演説で原発新設も前面に—クリーンエネルギー法案の要として地球温暖化防止に本腰

米国のオバマ大統領は1月27日、初の一般教書演説で「安全でクリーンな新世代の原子力発電所の建設を通じたクリーンエネルギー雇用の創出促進」を強調するとともに、議会上院で難航している包括的気候変動対策(クリーン・エネルギー)法案審議可決に向けた超党派の努力を支援したいと明言した。昨年12月の上院補欠選挙や今年の2つの州知事選で共和党候補が当選するという逆風の中、オバマ政権の目玉政策の一つである同法案を成立させるため、原子力をその他の低炭素エネルギーと同等に扱う姿勢を明確に打ち出し、共和党の支持を求めているとの見方が有力だ。

クリーンエネルギー法案は、再生可能エネルギーを中心とするクリーンエネルギーの開発促進やエネルギー効率化の推進により、地球温暖化防止と関連

産業における大規模な雇用創出を目指したもの。CO₂等の具体的な削減手段として、エネルギー産業等に対する排出量の上限設定を含む排出量取引制度の導入や、再生可能エネルギーによる供給割合を2020年までに2割まで向上、などが盛り込まれている。原子力はこの中では概して肯定的な位置づけ。原子炉建設のための直接融資、信用状供与、融資保証といった金融支援が提案されていることから、原子力エネルギー協会(NEI)では同法案に賛成している。

米2011会計年度・予算で原発建設への融資保証枠を3倍に拡大

オバマ大統領は2月1日、2011会計年度(2010年10月～11年9月)の予算教書を発表し、新規原子炉建設支援のための政府融資保証額として10年度予算の3倍近い545億ドルを議会に提案する一方、ユッカマウンテンでの使用済み燃料処分場建設計画はゼロ予算に設定したことを明らかにした。同大統領が理想とする再生可能エネルギーだけでは、現実的に

地球温暖化防止のための十分な効果が得られないことから、一般教書では苦渋の決断として原子力がクリーンエネルギーの一つであることを強調。「安全かつクリーンな次世代原子炉の建設推進」を明確に打ち出したように、予算措置においても現実的な支援策を講じている。

エネルギー省(DOE)全体の予算額として同大統領が設定したのは約284億ドルで、2010年度予算から約7%増の見通し。商業化の初期段階にある革新的技術の開発支援として、先進的原子力発電所建設に対する融資保証はこれまでの185億ドルに360億ドルを加算し、合計545億ドルとしている。これにより、新しい原子力施設の商業化と原子力技術の研究開発および実証を加速していく。

一方、放射性廃棄物対策に関しては、核兵器製造サイトの除染等は継続するが、ネバダ州ユッカマウンテンを使用済み燃料および高レベル放射性廃棄物(HLW)の処分場とする計画は継続しないと明言。「実行可能なオプションではない」として、10年度に約2億ドルだった予算を11年度には盛り込んでいない。新たな廃棄物管理戦略の策定は同省原子力室で実施するとしている。

DOE 長官、使用済み燃料処分で「ブルーリボン」委メンバーを公表

米エネルギー省(DOE)のS・チュー長官は1月29日、ユッカマウンテン処分場計画に替わる使用済み燃料および高レベル廃棄物の管理・処分策を評価する特別委員会(「ブルーリボン」委員会)の15名の氏名を公表した。

昨年5月の予算要求時にユッカマウンテン計画打ち切りを発表して以来、オバマ政権はようやく、廃棄物の貯蔵、再処理、処分等の選択肢の中から安全かつ長期的な管理方法策定に向けて具体的に始動。同委は18か月以内に中間報告、24か月以内に最終報告書を策定し、得られた知見と結論、および勧告を大統領と議会に提出する。

同委の委員長は、同時多発テロ対策で発足した大統領国土安全保障諮問評議会のメンバー、L・ハミルトン元民主党下院議員と、30年近い軍歴軍籍があるB・スコウクロフト元大統領(G・H・W プッシュ)補佐官が共同で務める。このほか、民主党、共和党、

産業界および学会から比較的バランスよく人選。原子力関係では、上院議員時代に2005年エネルギー政策法の策定に尽力するなど、積極的な推進派で知られるP・ドメニチ超党派政策センター・上級フェローや、R・メザーブ元米原子力規制委員会(NRC)委員長、米国最大規模の原子力設備を保有するエクセロン社のJ・ロウ会長兼CEOなどが含まれている。

昨年の構想段階で、同委の調査項目に挙げられていた選択肢は、①一つの処分場に深地層処分、②現在のサイト内貯蔵場所に長期貯蔵、③1か所以上の地方貯蔵施設に長期貯蔵、④再処理する、⑤これらを組み合わせる——など。しかし、ユッカマウンテンを活用する選択肢についてハミルトン共同委員長は、「ラスベガスから約100マイルの位置であり、オプションたり得ない」と発言している。

ウレンコ社の米国法人、濃縮工場で遠心分離機の機能試験

ウレンコ社の米国法人であるウレンコUSA社(LES社から改称)は2月4日、米ニューメキシコ州ユーニスで建設中の遠心分離法ウラン濃縮工場(NEF)で、低周波数による最初の遠心機回転テストが成功裏に完了したと発表した。

今回の試験で、同社はNEFの遠心機の電氣的、機械的な性能を確認。今後は駆動系から機械系まで設計要求通りに機能することを一連の試験運転で確認する。商業運転に関する米原子力規制委員会(NRC)の承認を待って最初のカスケードを稼働させる予定だ。

NEF建設計画でウレンコ社は、2006年6月にNRCから建設認可取得。同年8月に着工し、07年にコンクリート打設を実施している。翌08年11月には生産能力を当初計画の3,300トンSWUから5,900トンSWUに拡大を決定。昨年2月に最初の6フック化ウランを現地に運び込み、9月には最初の遠心機を設置していた。

米国では現在、新たな原子炉の建設計画進展を見込み、米国濃縮会社(USEC)がオハイオ州で米国遠心分離工場(ACP)を建設しているほか、仏アレバ社もアイダホ州で遠心分離法工場を建設中。また、ノースカロライナ州ではGE日立ニュークリア社が

分子法のレーザー分離法による濃縮工場建設を計画している。

なお、ウレンコ・グループが先月公表した2009年の実績報告によると、欧州3か所にある遠心分離工場での拡張工事により、同社の濃縮能力は著しく向上。今年にはNEFの始動も加わり、さらなる発展が見込まれるとしている。

NEI がワシントンで原子力広報活動

米国の原子力エネルギー協会(NEI)は2月2日、原子力の大気汚染防止効果や経済性の高さをワシントンの連邦政府や州政府の政策立案者に訴えるため、新たな宣伝活動を大々的に開始した。

NEIの認識では、今や米国では、オバマ大統領のみならず、あらゆる党派の議員達が「原子力は電力需要を賄うための包括的なアプローチの一部でなくてはならない」と認めている。国のエネルギーと環境に関わる政策が審議されている重要な時期に、産業界としても温室効果ガスの排出削減や電気自動車への電力供給、輸入石油への依存削減など、消費者が原子力によって将来も享受できる多くの恩恵について明確に伝えていく計画だ。

今回の活動でNEIは、原子力の持つ特長について簡潔にまとめた6種類の印刷広告をワシントン・ポスト紙や、コンGRESS・デイリー紙など議会問題専門の媒体に7か月間にわたって掲載する。また、政治ニュースに特化したウェブサイトの「ポリティコ」やワシントン・ポスト紙のウェブサイト、およびワシントン特別地区のニュース専門ラジオ局にも意見広告を打つとしている。

印刷広告の中で使っている数値は米エネルギー省(DOE)その他の統計から引用したもので、原子力が電力料金を安く抑えているだけでなく経済を刺激し、米国のエネルギー供給保証に役立つことを現している。

政府がボーグル計画に83億ドル、原子力に初めて融資保証適用

米国のオバマ大統領は2月16日、サザン社がジョージア州で進めているアルピン・W・ボーグル原子力発電所3、4号機建設計画に対して、83億

3,000万ドルの政府融資保証を約束した。米エネルギー省(DOE)が2005年エネルギー政策法に基づいて原子炉新設に対する融資保証枠185億ドルを設定して以来、実際の適用が決まった最初のプロジェクトとなった。米国では昨年未までに28基の新設計画で建設・運転一括認可(COL)が申請される一方、財務コストの調達ネックとなって中断を余儀なくされる計画も出始めていた。ボーグル計画への融資保証適用により、米国で約30年ぶりの原子炉建設がようやく現実のものとなる。

今回の発表は、大統領がメリーランド州の国際電気労働者組合(IBEW)を訪問した際に行われており、DOEのS・チュー長官および米原子力規制委員会(NRC)のG・ヤツコ委員長も同行した。

大統領は演説の中でまず、クリーンエネルギー事業による雇用創出と低炭素経済への移行のためにオバマ政権が実施する新たな投資計画について説明。30年ぶりの新規原子炉建設によって今後数年間に約800名分の高給の正規雇用が生み出されると指摘した。そして、日本とフランスでは長期にわたって原子力事業に多額の投資がなされてきたほか、中国や韓国、インドを含め世界中で新たに56基が建設中という事実に言及。「原子力にしろ、太陽光にしろ、将来の技術への投資を怠れば、米国は遅れを取り、それらを輸入する側に回る。この米国で生み出されるはずだった雇用がほかの国で創出される、そのような将来は受け入れられない」と言明した。

また、原子炉1基で年間1,600万トンのCO₂排出が抑制されるなど、その温室効果ガス削減効果についても触れ、原子力増強の必要性を改めて強調。こうした理由から、予算教書で融資保証枠を現行の3倍に増やすよう議会に提案したと説明するとともに、同政権が早期成立を目指す包括的気候変動対策法案成立に向けて超党派の協力を訴えた。

[カナダ]

三菱商事が加ウラン探鉱の50%権益を獲得

三菱商事は2月16日、カナダ・サスカチュワン州のウェスト・マッカーサーウラン資源探鉱プロジェクトの50%権益を取得したと発表した。07年に合意したキャンアラスカ・ウラニウム社(本社=カナ

ダ・バンクーバー)との契約に基づく掘出完了によるもの。

同プロジェクトは、高品位かつ大規模なウラン鉱床の発見が期待されるアサバスカ盆地に位置し、合計359km²の12鉱区から構成されている。キャンアラスカ社はすでに、アサバスカ盆地で23の探鉱プロジェクトを手がけている。三菱商事は、07年にキャンアラスカ社と契約を締結して以来、探鉱活動に参画し、物理探査やドリリングなどにより、ウラン鉱床発見を目指しているが、今後は、同社をオペレーターとして新設する合併事業体を通じ、探鉱活動を継続していく。

[英国]

政府、AP 1000設計に問題提起

英国の新規原子炉建設計画で候補となる原子炉設計を審査している保健安全執行部(HSE)は3月16日、ウェスチングハウス(WH)社製AP1000に対して「規制問題(RI)」を提起。同設計の遮へい建屋に使われるモジュール構造が原子炉の安全系を十分防護し得ることを証明するよう要求した。

RIは包括的設計審査(GDA)の中で原子炉設計の技術的な問題点について、メーカーに追加説明や設計改良を求めるために提起される文書。設計が「安全でない」ことを意味するものではなく、潜在的に問題となりそうな部分を設計段階で前もって特定し、効率的・効果的な解決を図るのが趣旨だ。HSEは2011年6月末までにGDAを完了する計画だが、AP1000と並行して審査中の仏アレバ社製欧州加圧水型炉(EPR)に対しても、昨年4月に計装制御(I&C)系の安全性についてRIを提起している。

AP1000では遮へい建屋のモジュール建設工法として、二重の鋼製プレート間にコンクリートを充填したサンドイッチ構造を提案。HSEは「土木建築」評価のカテゴリーでRIを提起し、同構造が通常運転中のみならず、悪天候、および物理的な衝撃を伴うその他の外部災害に際しても原子炉の安全系を十分防護できる強度と耐久性を有することを実証するようWH社に求めている。

WH社では、さらなる分析あるいは試験の実施、設計の一部変更も含めて可能性のある解決方法を検討中。HSEの定めた締切り期日である10月末まで

に、詳細な提案と証拠文書を提出する考えだ。

AP1000は2006年1月に米原子力規制委員会(NRC)から設計認証(DC)を受けたが、同年3月にWH社は設計の一部修正をNRCに申請。遮へい建屋についてはNRCも修正審査の中で同様の問題を提起していた。

[フランス]

アレバ・グループ、原子力事業強化で組織再編

仏アレバ社は1月28日、同グループ内の事業を戦略的に統一し、専門的事業と顧客満足度促進の相乗効果を高めるために社内体制を再編すると発表した。

ポイントは再生可能エネルギー事業を原子炉事業から切り離すとともに、鉱業事業をフロント・エンド事業から切り離したこと。従来の4事業部門を、①鉱業、②フロント・エンド、③原子炉とサービス、④バックエンド、⑤再生可能エネルギー、⑥送配電(シュナイダー社の企業連合に売却手続き中)の6部門に再編した。

この体制により、同社は市場からの要望に応じて統合的なオファーを生み出すことが容易になり、グループとしての商業効果を改善。国外の原子力カルネッサンスに投資する上でも一層優位な立場に立てるとしている。

また、原子力関係施設の設計やプロジェクト管理、検査、建設・起動まで、社内の全原子力事業の技術力を横断的にカバーする「エンジニアリング&プロジェクト組織」を設置。大規模プロジェクトや世界レベルの事業展開において、より良い提案をコーディネートできるよう、営業やマーケティングの能力も強化する。これに伴い、執行理事会メンバーのL・ウルセル氏が原子力事業の担当責任者に任命され、同組織を監督することになった。

[スペイン]

中間貯蔵施設に13市町村が誘致表明

スペインの通商産業・観光省は2月3日、国内の原子力発電所から出る使用済み燃料および再処理からの返還高レベル放射性廃棄物(HLW)の集中中間貯蔵施設(ATC)建設で、国内の13市町村から誘致

の申し出があったと発表した。

脱原子力政策を堅持するスペインでは現在、新規原子炉の建設は禁止されているが、既設原子炉8基からの廃棄物は最終的な管理方策が決定するまでの間、ATCで保管する方針。使用済み燃料は直接処分が基本方針だが、閉鎖したガス炉の使用済み燃料だけはフランスに再処理に出ている。昨年12月の政府の呼びかけに応じて1月末までに13市町村が誘致を申し出たが、このうち、タラゴナ地方のアスコとグアダラハラ地方のジェブラ、およびバレンシア地方のサッラは、既存の原子炉が稼働中か、かつて稼働していた土地柄だ。

2004年12月、議会下院の通商産業観光委員会は、政府に対して国有放射性廃棄物管理公社(ENRESA)と協力し、ATCの建設に必要な基準を策定するよう勧告する決議を全会一致で承認。06年には第6次総合放射性廃棄物計画が閣議決定され、2010年頃のATC操業開始を目指して、ATCおよび付属の技術センターの立地に関する基準策定を目的とした関係省庁委員会の設置が承認された。

ホセ・カブレラ原発の廃止措置開始

スペインの放射性廃棄物管理公社(ENRESA)は2月11日、2015年末までの6年計画でホセ・カブレラ原子力発電所(PWR, 16万kW)の廃止措置作業を開始すると発表した。

1968年にグアダラハラ地方で運開した同機は、最寄りの村名であるソリタ発電所とも呼称され、06年に省令により閉鎖されるまで、同地方の電力需要の75%を供給。これまで実施していた準備作業から廃止措置段階への移行に伴い、同機の所有権は運転会社のフェノーサ社からENRESAに移された。

総予算1億3,500万ユーロの計画の中で主な作業となるのは原子炉の解体と全体の取り壊し、および敷地の復旧。合計10万4,000トンの廃棄物のうち9万5,300トンがコンクリート破片で、鋼鉄など4,700トンの一般廃材はリサイクルされるが、4,000トンの低・中レベル放射性廃棄物はエルカプリル処分センターに搬送する。また、175トンの使用済み燃料と43トンの炉内構造物は敷地内の一時貯蔵施設で保管。放射化された廃棄物は全体の4%程度だとしている。

[イタリア]

政府、原子力新設法案を閣議決定

イタリア政府は2月10日、新規原子炉と廃棄物処理場のサイト選定基準および認可手続きを定める法令案を閣議決定した。2013年までに新規原子炉の建設に着手し、20年までの完成に道筋を付けるものだが、受入れサイトの選定には公開協議の実施など地元住民と自治体の参加が必要。ベルルスコーニ政権の意思とは裏腹に、同国では地方によっては反原子力の意見がいまだに根強く、手続きが長期化するとも予想されている。

C・スカイオーラ経済開発相によると、イタリアに原子力を再導入するためのロードマップとなる同法令は、同国のエネルギーの供給保証と8割を超える輸入依存軽減を最大の目標としている。先進8か国の中で唯一、原子炉を持たないイタリアにとって、発電コストが低く温室効果ガスを出さない国産発電システムを持つことは長期的なゴール。原子力はそのために現政権が取った戦略であり、将来的には総電力需要の25%を原子力で賄う計画だ。

主な特徴は、①手続きの透明性、②環境および地元住民の安全確保が最優先——で、方針決定までのすべての段階で地元住民や団体の意見を尊重するとともに、地元住民の健康や環境を防護するため、最も厳しいレベルの安全基準が盛り込まれる。

[ロシア]

カーニンとボルゴドンスクの2原発で建設作業が進展

ロシアの原子力発電部門を統括するエネルゴアトム社は1月28日、西部のトベリ州にあるカーニン原子力発電所で4号機(100万kW)の圧力容器設置作業が成功裏に完了したと発表した。

同機は第2世代のロシア型PWR(VVER1000)で、90年代に建設作業が一時中断。07年9月に建設再開許可が降り、同年11月には最初のコンクリート打設が実施された。圧力容器は昨年末にイゾラの製造工場からサイト向けに出荷されていたもので、重さは300トン、直径4.45m、高さは11m。重量320トンのクレーンで設置した。蒸気発生器(SG)や復水器など総計1,800トンの周辺機器も設置作業が行わ

れている。同機は来年後半に送電を開始する予定だ。

また、ロシア南西部のロストフ州にあるボルゴドンスク原子力発電所では、1月21日から2号機の起動試験が開始された。最低制御レベルで約12日間、運転し、核分裂連鎖反応などの原子炉特性が設計パラメータ通りであることを確認する。

同機はカーニン4号機と同じ出力100万kWのVVER1000で、昨年12月19日から24日までの間に燃料集合体163体の装荷が完了。今後は、起動許可を取得し、出力を通常運転の1%程度に上げる。その後、2か月程で出力を徐々に35%まで上昇させ、その時点で送電網に接続、出力50%での試験運転を経て定格出力に達する計画だ。運転開始は3月に予定している。

[UAE]

原子力計画推進で国際諮問審議会を設置、日本から服部原産協会理事長が参加

アラブ首長国連邦(UAE)政府は2月22日、同国の原子力平和利用で安全性の審査などを適切に進めていく諮問機関として、H・ブリックス元国際原子力機関(IAEA)事務局長を議長とする国際諮問審議会(IAB)を設置し、同日、首都アブダビで第1回会合を開催した。

原子力発電所の運転における安全確保やセキュリティ、核不拡散など、原子力開発利用のあらゆる側面で国際的にも最も厳格な基準を遵守していくには、国際社会から認知された優れた専門家の知見と卓越した学識が有益との判断から、IABは「UAEの潜在的な原子力平和利用開発と評価のための政策」に基づいて、1年ほど前から設置が検討されていた。UAEは同国初の原子炉建設で、昨年末に韓国の企業連合と総額400億ドルの契約を締結したが、これは2006年末に同国が原子力導入の意思表明をしてからわずか3年後のこと。他に例を見ない短期間での開発利用ということで、事業の計画的推進に万全を期す方針だ。

議長のブリックス氏を含めてIABのメンバーは総勢9名。核科学や核不拡散、原子力規制、発電と配電、原子炉の運転、廃棄物管理、人材育成などの

分野で世界中から選び抜かれた専門家で構成されている。日本からは原子力産業サイドから同国の原子力計画への助言等を通じて支援を続けてきた服部拓也・原産協会理事長兼国際協力センター長(元東京電力副社長)が指名された。このほか、韓国の元科学技術大臣の鄭建謨氏、米国の上級外交官のT・グラハム大使、フランス原子力庁(CEA)の委員長特別補佐官を務めるJ・ブシャール氏などが含まれている。

IABは今後、年に2回の会合を通じてUAEの原子力開発利用計画における安全確保や核不拡散等の基準達成状況などを評価し、それらの合理的な達成方法などについて適切に助言。それらをベースとする報告書も定期的に作成し、改善可能な部分を勧告する。同報告書はまた、国民も含めた国内外の関係者にUAEの透明性のある原子力開発利用状況を周知するために活用される。

[南ア]

三菱重工と南ア PBMR 社が小型高温ガス炉を共同開発へ

三菱重工業は2月3日、南アフリカ共和国のPBMR社(J・クリーク最高経営責任者)と、これまでより小型のペブルベッド・モジュール型高温ガス炉(黒鉛球状燃料、ヘリウム冷却)を共同で開発することを検討していくことで合意し、そのための覚書(MOU)を締結した。今後、具体的な協力分野を調整していく。当面は同社が開発中のPBMRである熱出力20万kWプラントの設計において協力可能な分野を検討する。また将来的には、プラントの建設、市場開拓などでも協力を模索していく方針。

今回の共同開発のねらいは、従来、南ア国営電力会社(ESKOM)が2014年にも導入しようと計画していた電気出力16万5,000kW(熱出力40万kW)、高温ヘリウムガスで直接ガスタービンを回して発電する実証プラント計画を変更し、熱出力を半減させるというもの。

同プラントは、熱出力20万kWのペブルベッド型炉と750℃の水蒸気を供給する蒸気発生器で構成される小型高温ガス炉で、炉心溶融の心配がなく、安全性が高いのが特徴。また、初期投資が少なくて済み、送電線が本格的に整備されていない地域にも

適したプラントとして位置付けている。具体的には、熱出力20万kWプラントの設計における協力分野が決定され次第、三菱重工業が研究開発の一部を実施する。

同国の化学メーカー大手のサソール社のほか複数の潜在顧客が導入を検討しているもので、早いものでは、2020年ごろの運転開始を目標としているという。

PBMR社は、PBMR開発プロジェクトを担うため、1999年にESKOM社が大株主となって設立した原子力エンジニアリング会社で、三菱重工業は01年にPBMR開発計画に参画して以来、同社と良好な協力関係を保ってきている。同社は今回のMOU締結を機に、PBMR社との協力関係を一層強めつつ、PBMRの研究開発と市場浸透に一層積極的に取り組んでいく、としている。

[インド]

ラジャスタン5号機が営業運転

インドのラジャスタン原子力発電所5号機(PHWR, 22万kW)が2月4日に営業運転を開始した。同機は昨年12月22日に送電開始していたもの。同機と同型の6号機も1月23日に初臨界を達成し、送電と営業運転開始に備えた試験運転を実施している。

同発電所の原子炉は、1号機(出力10万kW)と2号機(20万kW)はカナダ原子力公社(AECL)製CANDU炉だが、それ以降は同国が自主開発したPHWR。3号機～6号機までが22万kWで、計画中の7,8号機はこれらを大幅にスケールアップした70万kW級になる予定だ。

英印が原子力協力を宣言、インドに機器・技術輸出支援へ

英国とインドは2月11日、ニューデリーで民生用原子力協力に関する共同宣言に調印し、英国からインドへの民生用原子力機器および技術の移転を含めて、原子力平和利用分野における両国間の協力関係を前進させていくことになった。

同宣言の文言については、すでに今月初頭、民間企業・規制改革省(BIS)のP・マンデルソン大臣とインド商業省のA・シャルマ大臣がロンドンで合意していた。英国では現在、国内で建設する新世代の原子炉計画のため、官民が一体となって国内供給チェーンの拡大強化に努めているが、これと同時に、国外の原子力開発計画でも輸出の機会獲得を狙っていく方針だ。

英国は、2008年9月に原子力供給国グループ(NSG)がインドへの平和利用目的の原子力機器・技術の移転を許す決定を下したのに伴い、同年11月、過去6年にわたった同国へのトリガーリスト品と汎用品の禁輸措置を解除。BISは今回、宣言の全文を公開していないが、NSGも含めた国際的な核不拡散誓約に従ってインドに原子力機器・技術の移転協力を行うとしている。

調印後のステップとしては、3月にインドから2つの上級代表団を英国に招き、両国間の協力を実質的に始動。まず初旬に、インドとUAEの新規原子炉建設計画に焦点を当てた大規模な国際会議を英国で開催する。ここではインド原子力発電公社(NPCIL)の幹部が出席し、今後数年間のインドの原子力プロジェクトと技術開発計画を設定。他にも15か国の原子力リーダーが参加して、英国の原子力産業界が新たな連携関係を構築するとともに、競争力を実証するための基盤が提供されることになる。

また、3月下旬にはインド学界の上級学者を英国に招聘し、英国の学者らと協議の場を持つ。英国政府が資金提供している工学物理学研究会議の補助金100万ポンドで、この分野の研究を2年計画で促進することになる。

一方、英国からは今年後半に、多くの供給チェーン企業の幹部を英国貿易投資総省の代表団としてインドに送る予定だ。

INTERVIEW



武黒一郎氏(たけくろ・いちろう)
1969年東京大学工学部卒。東京電力
原子力計画部長、取締役柏崎刈羽原
子力発電所長を経て、2007年から取
締役副社長、原子力・立地本部長。

「柏崎刈羽で得られた貴重な経験と 知見を確実に生かしていく」

東京電力(株)副社長 武黒一郎氏に聞く

新潟県中越沖地震からまもなく3年。被災した柏崎刈羽原子力発電所では2基が運転を再開し、残る5基の復旧工事が進む。東京電力の武黒一郎副社長は、中越沖地震後について、「安全上、重要な設備は地震に耐えたが、技術的側面や危機管理面ではさまざまな教訓を得た。それを、これから生かしていく」と語った。柏崎刈羽原子力発電所の状況を中心に、原子力をめぐる東京電力の取組みについて聞いた。

聞き手 近藤吉明(本誌編集長)

「地震直後には、大勢の社員が自発的に 発電所へやってきた」

近藤 新潟県中越沖地震による被災から2年半を経て、ようやく2基が営業運転を再開しました。今の感想を。

武黒 地震の発生直後には、大勢の方に大変ご心配とご迷惑をおかけしました。一方で、地域の皆さまや私どもの電気を使っているお客様から心のこもった励ましの言葉をいただいたり、いろいろなご支援を賜りました。さらには各方面の方々から技術的あるいは社会的な指導をいただきました。改めてお礼申し上げます。

2基が営業運転を再開できたことは、われわれにとって大変な喜びであり、大きな節目だと思っています。しかし、まだ5基も残っているのが厳然たる事実です。2基で得た知見や、この2年半の中で学んだことを生かして次に進んでいくという気持ちを、しっかり持つことが大切だと思っています。

また、社内のことになるのですが、地震の直後、自分の家が被災していたり、水道が出ずにガスもなくしてお風呂にも入れない状況が続く中で、大勢の社員が自発的に発電所に駆けつけ、それぞれが自分のできる精一杯のことをしてくれました。地震対応のマニュアルもあるのですが、個別の持ち場にはマニュアルに想定されていなかったことがたくさんあり、そんな中で本当に、よくやってくれたと思います。われわれはライフラインを担う会社であり、それが社員の行動のいわば基本理念のひとつ

になっていると思いますが、それをしっかり実行してくれた社員には頭が下がる思いです。

運転再開に至るまでの道のりは、決して平坦なものではありませんでした。その苦しい中で、技術面や危機管理、社会との関係、地域の信頼という点では、大変学ぶことが多かったと思っています。

「地域の人の思いを受け止める」

—この2年半を振り返って、最も苦心された点は。

地震が起きた直後は、われわれも十分な情報伝達ができず、地域の皆さまは大変ご心配をなさったと思います。一方、発電所の中は、変圧器など被害を受けた箇所もありましたが、安全上重要な設備は極めて健全でした。原子炉を止める、冷やす、閉じ込めるということも、社員の懸命な努力で達成していったわけですが、そういう発電所の現実と、地域の皆さまが受け止めた不安との間のギャップをどのようにして埋めていくか、これに一番、苦心しました。そのために、徹底した情報公開を行ってきました。地域の皆さまに発電所の内部を見ていただいたり、われわれの取組みについて丹念に発信し続けてきました。地域の方の思いをきちんと受け止めて、対処していくことが大事だと、全員が肝に銘じて取り組んできました。

また、起きた地震が極めて大きかったので、どうしてそういうことが起きたのか。これも徹底的に調べることになりました。

—信頼回復へ向けてのこの2年半の取組みの成果が出てきたといえますね。

こうした地道な積み重ねの効果が現れて、私どもが得ている調査結果を見ても、地域の方からは地震前より今の方が、信頼感に良い数字が出ています。

—6,7号機が営業運転を再開しました。残りの号機の状態と稼働への見通しは。

復旧や点検は、プラントメーカーのエンジニアリングが決め手になります。6,7号機は東芝と日立で、両機をひとつのかたまりでやっていく方が経験、知見を生かしやすい。また1号機は東芝、5号機は日立となっており、6,7号機で得られた知見を、1号機と5号機の耐震補強工事などにも生かしています。

「通信機器を収めた部屋の扉が、開かなかった」

—中越沖地震の被災によって東京電力が得た知見や教訓とはどのようなものでしょうか。

まずは今回の地震そのものに、設備がよく耐えたということ、これは大事な教訓となりました。建物や構造物は耐震性を考え、真四角の中に丸型、いげた型を組み合わせた上で、全体をサイコロ状のようにして、頑丈で安定するようにしてあります。このように耐震安全性を考慮した構造が、性能を発揮しました。これはプラントメーカーとゼネコン、そして電力会社の3者が、どのような設計がよいかということを検討し、取り組んできた結果です。さらにプラントの健全性の確認や耐震強化工事については、全体の中で建物や機械の最適化と調和を考えなければなりません。ふつうの仕事だとゼネコンの土木建築に始まり、その後の仕事をメーカーが引き継ぐという縦割りのものになりがちなのですが、今回はメーカーとゼネコン、そしてわれわれが本当に三位一体でやってきています。これは非常に大事なことだと思っています。

2つめは、情報提供のあり方を含めた危機管理という点です。今回の地震では、1か所に集められた通信機器などを収めた部屋の扉が開かず、機器が使えなかった。危機管理はコマンド&コミュニケーションが大事です。このためわれわれは、免震重要棟という極めて耐震性能がよい建物を造り、通信機器などを収めるようにしました。さらにトヨタさんの例にならって、すべての発電所で鉄の扉の脇にはボールを置くようにしました。われわれはライフラインに関わる事業をしており、常にこういうことを頭に入れておかないといけない。そういう意味では非常に大きな教訓になりました。

3つめは、事業継続という点です。非常に長い間、プラントを止めました。止める・冷やす・閉じ込めるという機能に加えて、耐震についての考え方では、水や電気・

蒸気などユーティリティ関係や道路もそれなりの対応ができるという状況をつくっておかなければならない。そういうことが、事業の継続性をもたせる上で非常に重要な視点だと思っています。

また地元の商工会議所とも相談し、今回の地震で私たちが得た知見を地元の企業にもお知らせする活動を始めました。このように、地震に耐えるしっかりした設計、危機管理、そして事業継続について非常に得難い教訓を得ました。

—刈羽村の品田村長は、本誌で「余裕」という言葉がわかりにくいとおっしゃっていましたが。

余裕は人によって定義や考え方が違うところがあります。技術者の考える余裕は、建物や構造物の応答が弾性範囲内にあるかということ。実際にはそれが塑性変形しても機能しますし、その幅は非常に広い。

また、実際に地震が来た時を想定して、われわれも大型構造物の震動破壊実験を行う大規模実験施設であるEディフェンスで設備を震動させ、どこまで耐えうるか、どの程度で壊れるかという実験もやりました。そこでの限界は設計上考えているよりもはるかに大きなもので、実際の発電所で想定している地震に対して設計は、全体としては大きな余裕があります。

とはいえ、設計というものは、部分ごとに評価して行います。そのため、実際の地震の時にどれが傷んでどれが傷まなかったかを総合的に評価してみると、個別の余裕の程度が把握できます。こういったことは、実験との整合性でもわかるのでデータでわかりやすく皆さんに説明していきたいと思っています。

「なぜ、想定を超える地震が起きたのか」

—地元との関係で、一番配慮されたことは？

起きた地震は、事前の想定を越えました。発電所の設計を行う上で必要なデータの一つに静的地震動があり、それは必ずしも想定を越えたものではないのですが、動的地震動については、当時の設計基準地震動よりずっと高い加速度が観測されました。このため、どうしてそうなったかをきちんと解明しなければならないと思いました。

また、そこで解明されたことは、徹底的に情報公開していく。また、世界で共有していく。途中のプロセスもすべて情報公開を徹底する。これに尽きると考えています。ただいくら情報公開を徹底しても、わかりにくい数表や式を出しても誰も関心を示してくれません。このため毎週のように、新聞に折り込み広告を入れました。できるだけ字数を減らして、絵や写真をふんだんに入れました。また、そこでは言い訳みたいなものは書かず、伝えたい事実をわかりやすく記載するようにしました。

これを1年間で50数回発行したので、地元の人に正確な情報がだんだんと集積したのではないかと思います。

—この折り込み広告は、非常にわかりやすい内容ですね。

そのほかに地元の方を、まずは現場に案内する。最初の1年間だけで6千人くらい来ていただきました。そこでどんな人間が、どうやって働いているかその現場をみってもらう。モノだけでなく働いている姿をみってもらうことをしました。

—やはり現場主義、話だけでなく見てもらうことが重要ですね。さて事故後の大変忙しい時期に、IAEAの調査を受け入れることになりました。

私はIAEAのフィリップ・ジャメ団長に、どこでも誰にでも好きにアクセスしてインタビューしてくれてかまわないし、資料は何でも提供する、それで実態をしっかり見てほしい、専門家として安全上重要な設備の影響、度合いを直接ご確認していただきたいと申し上げました。重要度に応じてきちんと設計していたことを改めて評価されたと私達は思っています。

—むしろお墨付きを得たと。そういう面もあると思います。

一方で、地質・地盤というのは理学的なことになります。地下の奥深くでは、どんな挙動があるのか。これについては今後も継続的に知見を得て、必要なら安全施設にフィードバックしていくというのが基本です。しかしそれは十分な知見がなければ設計できないということではなく、安全上、必要な余裕とかばらつきの程度を適切に考えることで担保できると考えています。

こうした地学や理学の分野と工学分野をつなぐプロセスの中で、安全設計に生かしていくことができる限界的

なデータや知見が得られたと思います。

—データは国内外にフィードバックされている。

ええ。今回得た地震のデータは、世界の産業界と共有するというのが、われわれの基本のポリシーです。例えば、レンズ効果で地中を伝わる地震の波がフォーカスされるということは従来、考慮されなかった知見ですが、そういったことも含めて地震の評価の手法は随分整備されたと思っています。

「経営トップが先頭に立って説明する」

—地方自治体は明確な安全宣言を求めがちです。また、明快に安全を伝える努力をしてほしいという声も聞かれました。

地元の自治体では地震が起きた直後に、さまざまな対策を行わなければならなかった。一方で原子力発電所については、安全に止まったのかどうか。放射性物質の重大なもれがあったのかどうかを明確に示してほしいという気持ちがあったと思います。このためわれわれは、い



ち早く伝えることに努力しました。始めは通信がうまくいかなかったということはありませんでしたが、原子炉が止まり、冷やすということもちゃんとできた。放射性物質がほんのわずかに出たということも、きちんとお伝えできたと思っています。

—地元にしてみれば、しかるべき立場の方からきちんとおっしゃると、心強いものです。それで受け止め方がずいぶん違うと思います。

大きな自然災害で社会に不安がある、あるかもしれない場合には、経営の責任者がすぐに現地に飛んで行くことが大事です。今回の教訓をもとに、その後は、ヘリコプターで三国峠を飛び越えて、何度も現地に飛んで行く訓練をしました。また、そこでは“何をメッセージとして発信するか”という準備も大切だと思います。そういうことを防災訓練の中で繰り返しやっていくことが、地元の方の理解につながると思います。発電所だけで対応するのではなく、会社全体で対応する、それを最高責任者が明確に行動で示すということが重要だと思っています。

「2基の運転再開で1千万tのCO₂を削減」

—6,7号機の営業運転再開によるCO₂排出量の削減効果は？

通常だと当社は事業全体で年間8,000万トンのCO₂を排出していますが、柏崎刈羽の全基が止まったところには1億1千～2千万トンにまでなり、3,800万トンほど増えました。6,7号機の運転再開により、そのうち1,000万トンが削減できました。

—そのボリュームの大きさは、やはり原子力のパワーだと思います。さて原子力発電は、いわゆる国策民営で進められて来ましたが。その中で事業者の悩みや腐心について。

原子力は基本的に国策として、エネルギーの安定供給、経済性、環境適合性できわめて重要な位置を占めています。それにもかかわらず、被災から運転再開まで時間がかかり、原子力が持つ本来の貢献がなかなかできないということが、一番大きな悩みでした。

一方で、復旧や耐震強化工事に対する技術評価や安全評価を行っていく上で、いかに運転再開のプロセスを構築して合意形成を図っていくかに、腐心しました。

—国の原子力規制と地方自治体との安全協定がねじれを生んでいる二重規制に対して、どのように思われますか？運用上の苦勞は。

原子力の安全については、国が一元的に規制責任を持っており、県や市、村にもそれぞれの立場があります。

地方自治体は、地元の人たちに対する責任があります。それは技術的な安全だけでなく、事業者に対する信頼感の問題や、防災対策などのようにどうやって県民の生命財産を守るかという視点でもあると思います。地方自治体の視点はわれわれと重なる部分もありますが、固有の部分もあります。したがってわれわれは、その両面に真摯に対応することが第一です。われわれのそうした努力が前提となりますが、科学的技術的な評価を中心に据えて、合理的な進め方を期待していきたいと思えます。

—プルサーマルについて。

プルサーマルの必要性については、他社でも取組みが進んでおり、国民の中では一定の理解と合意形成が得られているのではないかと思います。福島県に対しては福島第一3号機でプルサーマル実施の要請をさせていただいた段階です。地域の方々のご理解、ご信頼を得た上で実現できるように引き続き努力していきたい。時期は未定ですが、われわれはそれに向けた地域のご理解を一つひとつ、積み上げていく努力を続けます。

—福島第一原子力発電所の運転期間が40年近くになります。最近では60年ほど持たせようというのが世界的傾向ですが。

運転開始から30年を超える原子力発電所の場合には、そのプラントの健全性評価に基づいてどんな保全をしていくかを盛り込んだ長期保全計画を出すことになっていきます。それを10年ごとに繰り返し、その時点で最新の知見で対処していくこととなります。すでにタービンやポンプ、配管、ケーブルなどは必要に応じてその都度、交換し、評価と対応を図っています。

福島第一1号機は来年3月に運転年数40年目を迎えることから、国のガイドラインに基づき、本年3月25日に長期保守管理方針の申請を行っています。

—東通の着工や福島の7,8号機増設については。

わが社は2020年にカーボンエミッションフリーの電源を50%以上にするという目標を持っており、東通の2基と福島第一の7,8号機の4基の建設をぜひ進めようと思っております。すでに東通1号機については安全審査をしていただいておりますが、今後他の残りの号機についても具体化していくように努力したいと考えています。

—中間貯蔵については

リサイクル燃料備蓄センターは、原子燃料サイクルの全体を柔軟にするために重要なものであり、今は安全審査を進めていただいております。われわれとしては2012年の竣工、操業開始を目指しています。他社もいろいろ検討されており、発電所内に今あるプールの中の貯蔵容

量を増やすという方策もあります。各社とも状況に応じて進めておられるということです。

「海外事業は相手国への貢献をまず考える」

—UAE、ベトナムなどの動きが話題になっていますが、東電として海外プロジェクトへの展開は。

米国テキサス州にABWRを造ろうという電力会社がありますので、私もそこそ技術支援契約を結んで、技術コンサルタントをしています。許認可などの対応も順調に進んでおり、これがさらに実際に建設へ進むことを期待しています。一方、これからは、ベトナムの第2期工事の受注にも取り組んでいきたい。その際には、原子力発電についてベトナムにはどういうニーズがあるのか。現状はどういうものなのかをよく見極めたいと思います。単にプラントを作るだけでなく、良いプラントを作り、それを運転して保守することで、実際に発電所として機能するわけですから、そのためにわれわれがどういう役目を果たすのが、ベトナムへの貢献になるのかを真剣に考えていきたいと思っています。

—原子力学会への期待、原子力界の若手への期待を。

学会は、学会の内部で技術あるいは科学的知見を高めていくという役割が、最も重要だと思います。一方で原子力については、社会的な環境に係わる問題がいろいろとありますので、それらについての解説や評価も積極的にやっただいて、国民の皆さまに原子力について適

切な解説がされるように望みます。その意味では、異常事象解説チームというのは非常に意欲的な取組みであり、期待しております。

若手の方にも期待しています。エネルギーの安定供給あるいは地球環境の問題を考えるなら、今後の世界では原子力がなお一層求められます。例えば、中国では今後10年間に20基以上造る計画をもち、インドも野心的な計画をもっています。世界ではそういう計画が目白押しです。そうすると日本だけではなく世界で、原子力についての技術的に高度な知見が、非常に強く求められています。将来のことを考えれば、FBRも同様です。そういったものを生かして、世界でプラントを造ったり運転したり、あるいは燃料や安全評価を手がけていただくことを期待します。日本には非常に裾野の広い原子力関係の人材、技術者集団がいます。特に若い人達は、そういう新しいことにぜひチャレンジしていただきたい。

私達はかつて欧米から原子力技術を導入しました。そのオリジンの部分は米国などの実験や研究によるものでした。それをベースにして、発展してきました。これからは、日本で培った原子力技術や知見、経験、あるいは社会的な関係、こういったものを総合して次の原子力の飛躍を世界の中で可能にしていきたいと思っています。

—ありがとうございました。

(2010年3月12日取材、

企画・記録：澤田哲生、編集：佐田 務)

『その時仲間たちは』

東京電力が社内研修資料としてまとめた冊子(非売品)。この冊子には、中越沖地震当時に発電所に勤める社員たちが、どのように対処したかが書かれている。自分の家庭を顧みずに奮闘する社員の姿は感動をもたらす。これについて武黒副社長は「私達はライフラインを担う会社だ。『いざ鎌倉』という時には、こういう行動をした人たちがいたということ。あの時にはこんな苦労があった、仲間がこんな火事場のバカ力を出したんだよということを伝えるのに、役に立っています」と語る。



特別講演

サルコジ大統領が世界に向けてリーダーシップを発揮！

3月上旬のパリで2日にわたって国際会議が開催された。DECD, IAEA および世界63カ国から閣僚級を含む政治家や専門家が総勢1,000名, 国内外のジャーナリスト150名が参加。その初日の開会演説で, サルコジ大統領が途上国向け原子力輸出などに関わる6項目の問題提起を大胆に行なった。EU と IAEA を軸に民生用原子力の開発への取組みのリーダーシップを集約する意向。

『サルコジ大統領開会スピーチ』

Conférence Internationales sur l'accès au Nucléaire Civil Paris, les 8 et 9 mars 2010

原子力民生利用へのアクセスに関する国際会議

2010年3月8日, 9日

パリ, OECD(経済協力開発機構)本部

親愛なる OECD 事務総長,

IAEA 事務局長,

フランスは, 今日に至るまでの皆様方の明確なご発言に対し, 改めて感謝の意を表します。私達はようやくその時を迎えたと感じています。私達は正直で勇気ある人物を必要としています。私達は皆様の活動を全面的に支持しています。

欧州委員会委員長, 貴殿との連日の共同作業は楽しいものでした。

ジャン＝ルイ・ボルロー, ベルナール・クシュネール, クリスティーン・ラガルドウ, 各大臣,

現在, 私達は新たな原子力の時代を迎えていると言われています。皆様が称するところの原子力「ルネッサンス」です。

ヨーロッパの歴史上, 輝かしい同時代と類比させることには, 色々と議論もあるところでしょう。しかし, これらルネッサンスには共通点が存在します。それは, 古い考え方や不合理な畏れに疑問を呈し, 科学や技術に対する信頼がルネッサンスの原動力となっていることです。

この原子力の再発見を人類の進歩と協調の契機にするか否かは私達にかかっています。

原子力の歴史は, フランスの現代史と密接に関係しています。1896年にアンリ・ベクレルが放射能を発見しました。1970年代, フランスは大規模な原子力発電のために, 一元的な原子力産業を構築するという歴史的選択を行いました。

その後, 今日までの歴代政府は, 右派・左派に関わらず, 原子力の民生利用を一貫して推進してきました。現在, フランスには58基の原子炉が存在します。第3世代炉である EPR も 2 基建設中です。まもなく, わが国は60



基の原子炉を有することになります。フランスは研究分野の努力も継続してきました。フランスは, 原子力の民生利用を希望する全ての国々と協力したいと考えています。

34カ国を代表する7極のパートナーとともに, フランスは大規模な ITER 核融合研究プロジェクトを立ち上げました。6月に建設が始まります。

こうした歴史的な先行実績があるからといって, フランスに特権が付与される訳ではありません。しかし, 新たに原子力を手掛ける, もしくは再開する国々に対して, フランスにはその経験を共有する義務があります。それは自明の理とも言えるもので, それが私達の政策で

あり、私達の志です。

こうして、私は、IAEA および OECD の協力のもと、関係諸国のエネルギー担当大臣を招聘し、会議を開催することを提案しました。この度のフォーラムがお互い他の意見や考え方を熟知する機会となれば幸いです。

ここにお集まり下さった友人の皆様方、

世界の人口は増え、豊かになっています。今から2030年までに40%増のエネルギーが必要となります。私は、このことを、この会場にはいない全てのイデオロギー論者に語りかけています。私達は、2030年までに、さらに40%増のエネルギーを見つけ出さなければならないのです。非成長や撤退等のイデオロギーの中に解決策はありません。非成長を唱えるイデオロギーは、貧しい者を貧困の中に置き去りにする利己的なものです。それが非成長というものです。何も持たざる恵まれない人々に対して、進歩やより豊かな生活への扉を閉ざしてしまうものなのです。

最優先課題は、気候変動に対する挑戦です。このことはジャン＝ルイ・ボルロー大臣立会いのもと申し上げておりますが、彼のこの分野における活躍は賞賛に値します。私の前任者は「家が燃えている」と評しました。家を救う、つまりこの惑星を守り、地球温暖化防止に向けた目標を遵守するために、私達はあらゆる対策を講じなければなりません。原子力が必要なのです。再生可能エネルギーのみで目標値が達成出来るとは、誰も本気で考えてはいないでしょう。しかし、フランスは「原子力が全てである」と言っているのではありません。私達は「民生用原子力が必要であり、再生可能エネルギーが必要だ」と言っているのです。地球を守り、温暖化防止を目的とした私達の公約を遵守するためには、原子力も、再生可能エネルギーも、共に必要なのです。

さらに申し上げれば、今から2030年までの間に世界で増大する電力消費の内、80%は OECD 加盟国以外の国々に起因するものです。つまり、これら新興諸国にも原子力が導入されるべきだということです。さもなければ、これ等の国々において経済的な発展は望めませんし、貧困から脱却することも出来ません。そこで、そろそろハッキリさせましょう。フランスの考えは、世界が、原子力技術を持ちそれを特権的に固持しようとする国々と、原子力のノウハウを手にする権利を要求しながらもそれを拒否される国々に分断されてはならないということです。このような世界観を私達は望んでいません。フランスから見て、原子力の民生利用は、進歩するためにお互いを必要とする新たな国際的結束の絆となり得るものなのです。

原子力を開発するにあたり、政府の役割が決定的と言えるほど重要です。強力な科学的関与が必要であり、幾世代にも渡る技術者(エンジニア)と技能者(テクニシャン)を育成しなければなりません。初期投資、施設の近

代化、そして解体には強固な財政的関与が必要です。安全とセキュリティへの関与が必要です。私達は国民に対し、安全とセキュリティを担保する責任があるからです。

どことこの国にはそれだけの力が無いという人がいます。この種の偏見の裏には、容認しがたいことですが、相手への軽視があるように思われます。原子力事故は「北」の国々で発生している。「北」は「南」に偉そうなことを言える立場にはないといった意見も同様です。私はまったく逆のことを確信しています。私達の政府がお互い共通のビジョンを分かち合い、時間の流れの中で共同作業を進める限り、安全とセキュリティは私達全員が達成し得る目標となります。

さて、ここからはご臨席の皆様方に対し、原子力カルネッサンスを成功させるために最も重要であると思われる要点を説明します。

1. まずは、不躰ながら、資金調達の問題です。国際金融界の原子力に対するオストラシズム(排斥)は理解しがたく、容認出来るものではありません。これはスキャンダルだと主張して良いのではないのでしょうか。現在、国際金融機関は原子力の民生利用計画に対し融資を行っていません。こうした現状は、関係諸国に対し、よりコスト高でより環境汚染型のエネルギーを押し付けることとなります。何とも立派な成果です！私は、世界銀行、ヨーロッパ復興銀行(EBRD)、その他の開発銀行に対し、クリーンな民生用原子力に堅実な資金提供をするよう要求することで、状況を正すように提案します。

ここにもうひとつ別のスキャンダルが存在します。クリーン開発メカニズム(CDM)によって炭素クレジットを割当てる問題です。時代錯誤的なイデオロギーにより、民生用原子力を着手しようとする国が炭素クレジットを得ることが出来ません。ところが、その他の低炭素エネルギーについては、全て当該クレジットにより融資されているのです！こうした背景に何か道理はあるのでしょうか？全くありません。それでは、このような状況の結果として生じていることは何でしょうか？より希少でより割高な「炭素」クレジットであり、投資選択の偏った方向性です。このことにより、苦しむのは誰でしょうか？先ずはもっとも貧しい国々です。そこで私は、ご賛同を頂ける全ての国々に参加を呼びかけ、2013年以降新たに構築される世界においては、あらゆる低炭素エネルギーに対し炭素クレジットの融資が受けられるように提案します。私達は、化石エネルギー、地球温暖化ガスの放出削減目標を目指すのか、目指さないのか？目指すのであれば、原子力と再生可能

エネルギーが共に必要となります。

2. 私が次に推奨する点は、開発プロジェクトに対し、市民の密接な参加を仰ぐよう努力することです。原子力施設、ないしは、私が思うに、化学、石油関連など全てのセンシティブな産業施設についていえることですが、住民への説明責任を果たさず、一方的に施設を押し付けるような時代は終わりました。秘密から不安が生まれます。開発プロジェクトは透明性の中で進められるべきですし、フランスは、民生用原子力導入を希望する全ての国々に対し「住民の納得を得るための最善策は透明性である」と明言します。透明性に関する責任を果たさずして、民生用原子力の開発は有り得ません。

3. 私の第3番目の提案は、教育訓練を優先しようということです。それは、発電所を運転する技術者や技能者を養成するということがその核心ではありますが、それだけに留まる問題ではありません。建設、プロジェクト管理、電力の商業化など科学的、経済的な側面も修得しなければなりません。私達は相互扶助の関係にあります。原子力開発がこうした堅実な教育訓練を積んだ男女により実施されることが、私達お互いにとって重要なのです。

フランスは既に世界に門戸を開いています。2007年以降、原子力を学ぶ学生数を3倍に増やしました。しかしながら、皆様、私達は第一線で活躍する専門家を育成するにあたって大きな問題を抱えています。各国でこの分野の技術者や技能者が不足しているのです。世界的に足りないのです。フランスでは同分野の学生数を3倍に増やしました。今年、フランスの国際修士課程には、ヨルダン、ポーランド、アラブ首長国連邦、アルゼンチン、中国、インド、ベトナム、チュニジア、アルジェリアなど、世界各国からの学生を受け入れます。私達は独自の専門技術や知識を皆様と共有したいのです。各々活躍の場がありますし、皆様の参加を歓迎します。フランス原子力庁(CEA)、現在は原子力・代替エネルギー庁と呼称変更がされていますが、同庁は2009年、1,000人の博士課程の学生及び博士号取得者(ポストドク)を海外から受け入れています。その内14%はマグレブ地域^{a)}からです。

これは良いことです。でも、私達はさらに上を目指したいのです。この分野の体制強化を加速させ、国際原子力大学(Ecole Internationale du nucléaire)を併設する国際原子力研究所(Institut international

de l'énergie nucléaire)を創設します。サクレーに欧州最大のキャンパスを創り、最も優れた教育者と研究者を集め、非常に質の高い教育を提供します。カダラッシュにもキャンパスを設けます。また、同研究所は、現在、創設されつつある非常に高度な専門性を有する科学技術拠点(Centres d'excellence)の国際ネットワークにも組み込まれます。その最初の関係拠点をヨルダンに創ります。他にも、広東大学との協力のもと設置される「仏中原子力研究所」のように、フランスの支援により、原子力研修センターが設置拡充される予定です。最終的に望むことは、こうした国際的努力に協調する形で、広域科学ネットワークが構築されることです。加えて申しますと、私は、原子力を学ぶ外国人学生に対しても相当数の奨学金制度が適用されるよう、ベルナル・クシュネールに要請しました。すでにお分かりのように、私達、世界各国それぞれが、これから幾世代にも渡って技術者と技能者を養成していく必要があるのです。これは、一つの国だけで出来ることではありません。最初に民生用原子力を手掛けた国において、その専門知識、技術力、経験を皆様と共有する準備が整ったということです。

4. 私の4番目の提案は、安全を集团的優先事項にするということです。はっきり申し上げますが、原子力は人畜無害のものではありません。確かに、石油、石炭、化学、ガスの大災害や事故により多くの犠牲者が出ているように、人間の活動にはあまねくりスクが伴います。しかし、原子力安全は一国の問題ではないのです。(IAEA)事務局長、これは私達が集団として共有すべき課題なのです。

各関係機関のしっかりした管理体制のお陰で、西ヨーロッパにおいては、未だかつて重大な原子力事故は発生しておりません。一方、チェルノブイリや米国の事故により引き起こされた世界的なトラウマを忘れることは出来ません。

規制監督は、独立した安全機関に委ねる必要があります。私は予防対策の原理原則を盲目的に適用させる信奉者ではありません。それは往々にして何もしないという結果を招くからです。しかし、実質的なリスクに対しては、厳しい基準を適用すべきです。

親愛なるホセ=マニュエル・バローゾ、私達は欧州において、なお一層の努力が必要です。その遅延の要因は私達にあるのですが、2009年6月、ついに原子力安全勧告を採択しました！2011年、欧州の安全規制機関は、ブリュッセルにて、当局間の協力強化を目的とした会議を開催します。同会議では、欧州原子力安全研修センターの計画も取り上げられま

^{a)}(日の没する所の意)アフリカ北西部、チュニジア、アルジェリア、モロッコ三国の総称

す。同センターは、原子力安全に係わる専門家の国際ネットワークの中でも、初めてのものとなるでしょう。

各国自らの裁量にて選択は行うべきです。ただ、将来決定すべきことの光明となるよう、私は、IAEAの後ろ盾のもと、独立機関が、反論の余地がない科学・技術的根拠に基づき国際的分析シートを作成することを希望します。IAEA 事務局長、私は、市場化されている原子炉を、安全規準に基づいて分類することをお願いしたいのです。なぜならば、今日の市場は、価格基準によってのみ分類されているからです。IAEA の責任において「市場には、これこれ異なる種類の原子炉が存在する。安全の観点から、各々の原子炉の分類はこうなっている」と公表するのです。

来月、オバマ大統領は数十カ国をワシントンに招き、核セキュリティについて議論します。国連の安全保障理事会は、既に、UNSCR 1540(大量破壊兵器の不拡散に関する決議)について強制原則を明記しています。世界に原子力施設が増えれば増えるほど、安全保障理事会の決議がより厳格に行きわたる必要があります。

5. 第五番目の優先課題は、核不拡散の遵守です。不拡散は国際セキュリティの基本です。新たな軍拡競争は誰の利益にもなりません。また、誰も不正を行う国を隣国には持ちたくないでしょう。こうした観点から、2003年、リビアが自発的におこなった決断がいかに歴史的な出来事であったのか、再度強調しておきたいと思います。私が、リビアの取ってきたすべての方向性、声明を認めているなどと思われてはとんでもないことで、それは違います。しかし、リビアは2003年に自発的に核兵器(開発活動)を放棄しました。今日、他の国々にも追従して欲しいと思います。関係諸国の中には、ある国に対しては大変厳しい立場を取り、自国のことは棚に上げ、その他の国には甘く、その国がやっていることを正視しようとしたくない国があります。

民生用原子力の協力を要請するという事は、長期パートナーシップとそれに起因する責任を果たすことではじめて可能となるもので、国際的な義務を否定することは出来ません。この点を明らかにすることをフランスは提案します。従って、私は、自らの義務を遵守しようとしたくない国々との原子力協力を停止することを提案します。欧州連合では、既にそのことを決議しており、G8もそうした提案を行なっています。法と正義に関する私の捉え方では、人を欺く者が正直者と同じ権利を有することはないということです。フランスは、平和目的で原子力開

発を手掛ける各国の権利を守るためには妥協しません。しかし、集団的セキュリティの規約に違反する国々に対しても妥協しません。国際法を遵守するのであれば、民生用原子力開発のための協力を得る権利がある。もし破れば、いかなる協力も得る権利は無いということです。

6. 最後の論点は、核燃料の調達についてです。投資の規模、プロジェクトの期間に相まって、一部の国々では、当然のこと、供給が中断されるリスクを危惧しています。現在、燃料の供給保証は、長期契約によって担保されています。私は、更に一歩踏出し、IAEA の枠組みのなかで、事務局長、調達保険のような制度を確立しなければならぬと考えています。供給が途絶えた場合、他の供給者が解決策をもたらすような、集団的公約となるものです。この公約の信憑性を高めるために、私は、IAEA に国際的な資金援助による燃料バンクの創設を提案します。フランスが議長国を務めていた当事、バローゾ氏の同意のもと、欧州連合として2,500万ユーロの拠出を決定していることから、初期財源もあり、このプロジェクトを立ち上げる準備は整っています。

原子炉の設置基数が急増するようであれば、その産業的需要に答えるため、新たな濃縮、並びに再処理/リサイクル施設の建設について考える必要が生じます。数年前のことですが、ある国々は、新規参入国がこれらの技術を取得することを、その国々自体が本質的に危険であるとの理由から阻止しようとしたことがあります。経済活動上非常識であり、かつ平和利用を目的としたエネルギー開発という正当な権利を侵害する、このような取組みをフランスは受け入れることは出来ません。

兵器用核分裂性物質生産禁止条約(カットオフ条約)の締結、並びにIAEAによる機微技術の管理強化が急務と考えます。

7. 結びに、使用済燃料と最終的な廃棄物管理について触れておきたいと思います。使用済燃料の増加に伴い、一部の国々では、そのままの状態による長期貯蔵を選択しています。米国、スウェーデン、フィンランドなどです。

他の国々は、リサイクルにより、使用済燃料を資源として有効利用しています。フランス、ロシア、日本の選択肢です。リサイクルにより、ウラン資源を最大限に活用し、処分すべき最終廃棄物を最小限に減容することが出来るからです。私はこの方法が最も将来性のあるものだと思います。そのため、フランスは、再処理、リサイクル施設を持たない多くの国々のために、協力を続けて行きたいと考えてい

ます。

ご臨席の皆様方、

既にお分かりのように、責任ある原子力開発は、地球の将来にとって本質的な問題です。

私達は、強化されたIAEAを基盤とした新しい原子力ガバナンスのもと、共に作業を進める必要があります。今後の展望、集团的ビジョンが確固たるものとなるよう、天野氏に期待しています。

この度、ジャン＝ルイ・ボルローを座長とし、皆様が議論される内容がこうした方向性の礎となることを希望します。ご臨席の皆様方、私達は世界に対し、進歩かセキュリティなのか、貧困か環境保護なのかといった選択を強いる必要はないのです。20世紀の研究者達のお陰



で、今私達は膨大なエネルギーを手中に収めているのです。私達は、それを可能な限り共有し、環境、平和目的のために最大限活用し、関係諸国の貧困からの脱却を助け、化石エネルギーの枯渇による転換期を支えつつ、再生可能エネルギー開発と完璧な補完的役割を担って行くではありませんか。

これがフランスの意図するところですが。フランスは誰かに教訓を与えるためにこうした行動を起こしているわけではありません。フランスはこう有るべきとの姿を見せるためでもなければ、何かを明白にすべきとの思いで行なっているわけでもありません。平和目的による民生用原子力を共有することが、環境問題を鑑み、地球の富を分かち合う最善の方法だと確信しているからです。

ご清聴有り難うございました。



(翻訳:在日フランス大使館原子力部,編集:澤田哲生),
なお、当文書は仮訳であり、正文は仏語原文(下記 URL よりダウンロード可)とします。

<http://conferenceparis-nuclearcivil.org/>

我が国の最先端原子力研究開発

シリーズ解説 第20回

合理的なクリアランス測定を目指して

形状計測とモンテカルロ計算を活用した全自動放射能評価手法の開発

(財)電力中央研究所 佐々木 道也, 服部 隆利

原子力施設の解体等において発生した金属およびコンクリート等の固体状物質は、その放射能濃度がクリアランスレベル以下である場合には、一般的な金属およびコンクリート等と同等の取扱いが可能になり、再利用、再使用ができる。電力中央研究所では、測定対象の放射能濃度がクリアランスレベル以下であることの判断に加え、表面汚染基準以下であることも同時に確認可能な微量放射能の評価手法を開発し、発電所現場における適用に向けて取り組んでいる。

I. はじめに

1. クリアランスとは？

原子力発電所の運転、解体等においては、様々な廃棄物が発生する。その中には、放射能濃度レベルの高いものから低いもの、あるいは不燃物、可燃物、廃液など、種類も性質も放射能濃度も様々である。放射能濃度が高い廃棄物は、適切な方法によって処分される必要があるが、放射能濃度レベルが極めて低く、人の健康への影響が無視できる場合には、「放射性物質として扱う必要がない物」とすること、すなわち、規制対象から外すことが可能である。

この考え方が「クリアランス」であり、それができる放射能濃度レベルは「クリアランスレベル」と呼ばれている。現在、クリアランスの考え方は、金属およびコンクリート等の固体状物質に限り、適用されている¹⁾。

2. 具体的なクリアランスレベル

第1表に、主な放射性核種に対するクリアランスレベルを示す。クリアランスレベルは放射性核種ごとに放射能濃度(Bq/g)の単位で設定されており、我が国では、

Development and Practical Application of Clearance Measurement Technique: Michiya SASAKI, Takatoshi HATTORI.

(2010年 2月26日 受理)

国際原子力機関 IAEA の安全指針 RS-G-1.7²⁾で示された値が適用されている。なお、我が国では原子力安全委員会が主体となり、日本独自のクリアランスレベルの試算が行われてきたが、IAEA の安全指針を受け、それまで検討されてきたクリアランスレベルとの差が小さいことや、国際的な整合性等を考慮し、RS-G-1.7を適用した経緯がある。同表に示されるように、例えば、⁶⁰Co のクリアランスレベルは0.1 Bq/gであるが、通常、発電所発生物に対するクリアランス判断では、単一核種ではなく、複数の放射性核種について考慮しなくてはならない。この場合には、それぞれの放射性核種 i の放射能濃度 D_i を、対応するクリアランスレベル C_i で除した値の総和が1以下であること、すなわち $\sum (D_i/C_i) \leq 1$ であることが、クリアランスの判断基準となる¹⁾。

第1表 主な放射性核種のクリアランスレベル

放射性核種	クリアランスレベル(Bq/g)
³ H	100
⁵⁴ Mn	0.1
⁶⁰ Co	0.1
⁹⁰ Sr	1
¹³⁴ Cs	0.1
¹³⁷ Cs	0.1
¹⁵² Eu	0.1
¹⁵⁴ Eu	0.1
²³⁹ Pu, ²⁴¹ Am	0.1

3. 物品持出し基準

クリアランスレベルは、2005年の関連法令の改定によって制度化された。原子力施設におけるクリアランス制度の適用第1号として、現在、廃止措置が進行中の日本原子力発電所東海発電所において金属に対するクリアランス測定(放射線測定による、クリアランスレベル以下であることの判断)が実施されている。

さて、クリアランスレベル以下であることを満足さえすれば再利用可能かと問われれば、「否」というのが答えになる。クリアランス制度化以前から、放射線管理区域外に物品を持ち出す際には、同区域内の表面汚染密度限度の1/10である、いわゆる「物品持出し基準」が適用されてきた。物品持出し基準は、クリアランスレベルのように放射性核種ごとではなく、放出する放射線種類ごとに定められており、例えば、 ^{60}Co の場合は $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ が判断基準となる。クリアランス判断の際には、クリアランスレベルに加えて物品持出し基準も適用¹⁾されるため、2つの基準値以下であることを確認する必要がある。

II. 微量放射能の評価手法と装置の開発

上述のような2つの基準値の評価を放射線測定によって行う場合、一度の測定で確認できることが合理的であることから、当所では、レーザー形状計測、モンテカルロ計算およびガンマ線計測を活用した微量な放射能レベルの評価手法と装置を開発した(第1図)。

1. 装置概要と放射能評価フロー

この装置は、重量計、4台のレーザースキャナおよび

8台の放射線検出器(NE 102 A 検出器)から構成される。検出器は $80\text{cm} \times 80\text{cm} \times 40\text{cm}$ 高さの測定領域の上下面に配置されており、さらに 5cm 厚さの鉛遮蔽体によって測定領域全体が覆われている。

以下では、本手法の放射能評価フローを、第1図の括弧内の番号順に説明する。

(1) 重量計測

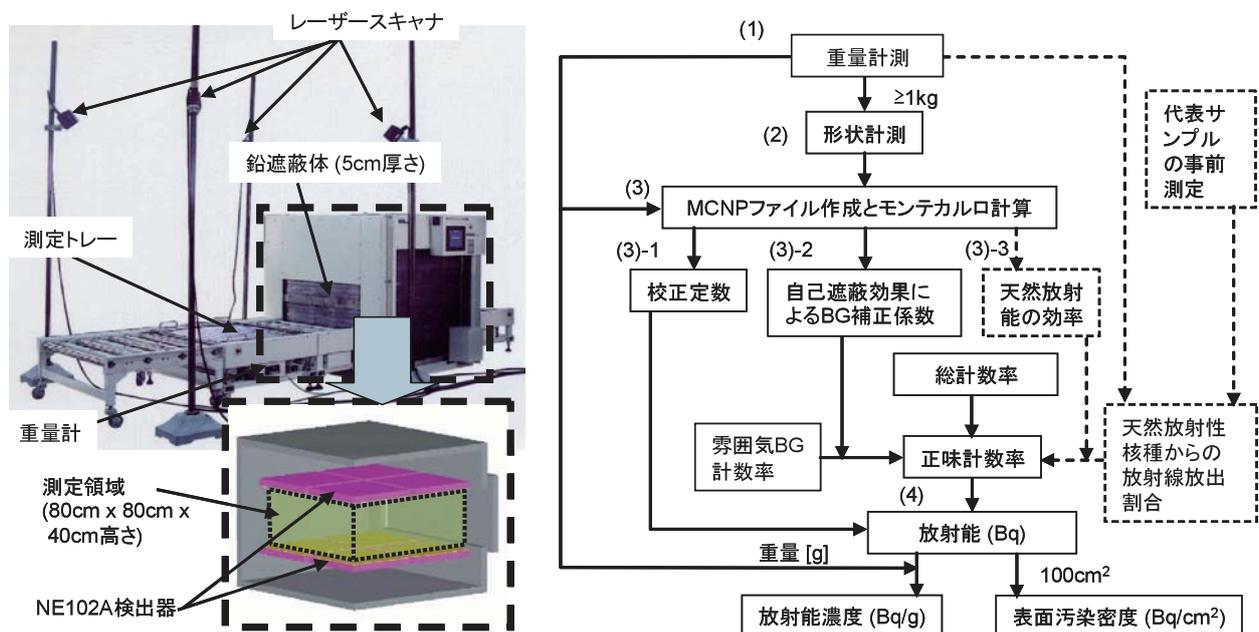
本手法では、初めに測定対象物の重量を計測する。重量データは、後述するモンテカルロ計算での測定対象物の見かけ密度の算出と、放射能濃度の計算に用いられる。

(2) レーザー形状計測とBG計数率測定

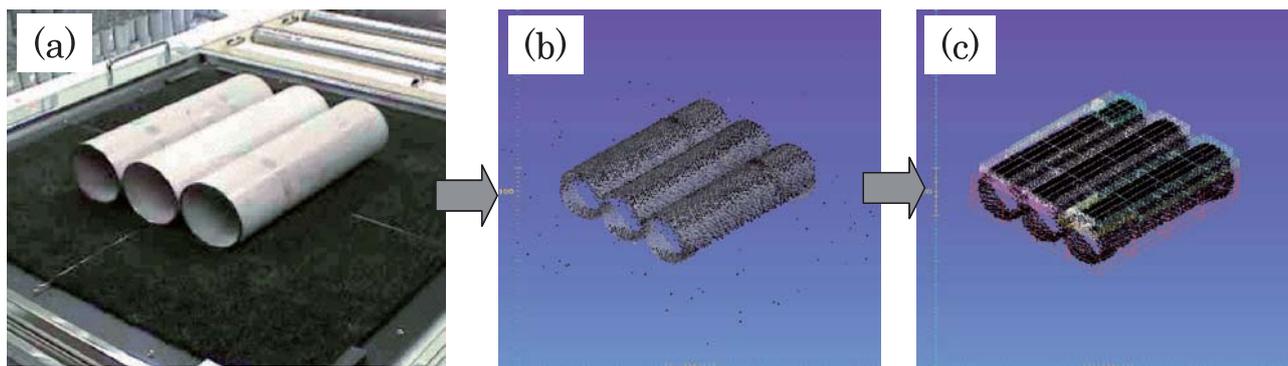
重量計測後、速やかにレーザーによる形状計測が開始され、同時に雰囲気中の自然放射線に起因するバックグラウンド(BG)計数率測定も開始される。本装置で用いているレーザースキャナ1台の走査時間は約15秒であり、4台連続して実行するため、1回の形状計測は1分程度で完了する。形状計測が完了すると、測定対象物は自動コンベヤによって測定領域まで移動し、ガンマ線測定が開始される。

おのおののスクアナにより4方向から取り込まれた形状の点群データは、合成後、ノイズ除去等を経て1辺が 2cm のボクセル(立方体)のデータに変換される(第2図(a)~(c))。なお、レーザー形状計測では測定対象の表面形状のみが取得されるため、本手法では、認識された表面形状部分から下方に向かって形状を投影し、底面まで満たされているようなボクセルの集合体として、測定対象全体の形状を近似的に認識させている(第2図(c))。

以上の処理によって取得された測定対象物の形状データは、連続エネルギーモンテカルロ計算コードMCNP



第1図 当所で開発したクリアランスレベル測定装置の写真および内部構造(左)と放射能評価フロー(右)



第2図 レーザースキャナによる測定対象物の自動形状認識の流れ

の記述形式へ自動的に変換される。

(3) モンテカルロ計算

モンテカルロ計算(モンテカルロ法を用いた放射線の発生・輸送のシミュレーション計算)により、校正定数とBG計数率の補正係数が算出される。コンクリートのように、測定対象物が天然放射能を含む場合には、第1図破線で囲まれたフローが追加され、天然放射能起因のBG計数率を推定するための計数効率も算出される。

(3)-1 校正定数

校正定数は、正味計数率から放射能を評価する際に用いられる換算係数であり、計数効率に核種の放出率を考慮して導出できる。計数効率は、使用履歴等の情報から、ユーザーが2次汚染(線源が1箇所に集中している状態)と放射化汚染(線源が全体にわたって存在している状態)の2種類の汚染形態のいずれかを設定し、モンテカルロ計算によって求められる。

2次汚染の場合は、ガンマ線に対する装置の検出効率の分布データを参考に、測定対象物の表面上で最も感度の低い位置を自動選定し、線源は点線源が仮定される。一方、放射化汚染の場合は、ボクセル表現した測定対象物全体が線源になり、等方線源が仮定される。

評価対象核種が ^{60}Co の場合は、同核種から放出されるガンマ線の平均エネルギーである1.25 MeVのガンマ線を発生させて計算させる。モンテカルロ計算では、測定対象物の情報が含まれているため、その遮蔽効果を考慮した計数効率が求められる。

(3)-2 BG補正係数の計算

測定物が金属の場合、ガンマ線測定によって得られる総計数率は、雰囲気BG放射線に起因するものと、汚染、放射化等の放射性核種に起因するものの合算値として得られる。雰囲気BG計数率は、前述(2)のように、ガンマ線測定直前の値を適用することで自然変動の影響を抑制しているものの、多量の金属等を測定する場合には、測定物自身がBG放射線を遮る効果(自己遮蔽効果)により、測定中のBG計数率が低減する。このような効果が適切に評価されない場合、BG計数率の低減に汚染起因の計数率が埋もれてしまい、放射能濃度を過小評価する

可能性もある⁴⁾。

モンテカルロ計算では、測定領域を覆った鉛遮蔽体内面に雰囲気BG放射線を模擬した面線源を設定して内向きにガンマ線を発生させ、測定対象物が存在する場合と、存在しない場合の計数効率の比から測定対象物による自己遮蔽効果の影響を推定している。測定中のBG計数率は、この計算によって評価される低減割合に直前の雰囲気BG計数率を乗じることで得られる。

(3)-3 天然放射能からのガンマ線の効率

測定対象がコンクリートの場合、天然放射性核種は対象物中に一様に分布している線源として考えられる。また、天然放射能からのガンマ線エネルギーと放出割合は、 ^{40}K および ^{238}U 、 ^{232}Th とそれらの壊変核種等の放射能濃度と測定物重量に依存し、天然放射能濃度は、セメント、細骨材、粗骨材等の種類、産地によって異なることが知られている。

本手法では、Ge半導体検出器等による代表サンプルの測定結果に基づいて天然放射能濃度を事前評価し、さらに、計数効率をモンテカルロ計算によって推定することで、天然放射能に起因するBG計数率を評価できる。

(4) 放射能評価とクリアランス判断

総計数率から、自己遮蔽効果補正後の雰囲気BG計数率と、天然放射能に起因するBG計数率を差し引いて正味計数率を求め、校正定数を乗じることで放射能が評価できる。

放射能濃度は、実測された重量で除することにより導出され、クリアランスレベルとの比較に用いることができる。一方、表面汚染密度を導出する際に必要となる評価面積は、対象物の重量にかかわらず 100 cm^2 の一定値を採用している。これはJIS基準⁵⁾に準拠した値であり、対象物から放出されるすべてのガンマ線を合算して評価する本手法では、一般的なGMサーベイメータと比べて大きめの汚染密度として算出される。しかしながら、測定物表面上のいかなる 100 cm^2 で平均した場合であっても、物品持出し基準を超えないことの確認が全自動で可能となる。なお、第1図のフローにおいて、重量測定の際には1 kg以上であることを測定の条件としている

が、これは、1 kg 以上の金属塊であれば、最も表面積の小さい球体系であっても、表面汚染密度の評価面積以上の面積を有することから、その要件を満たしていることの確認のために行っている。

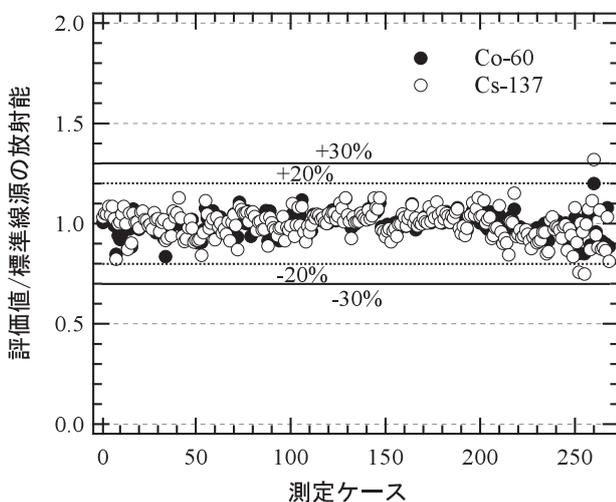
2. 放射能評価の精度

クリアランス対象となるものは、解体等に伴って発生するため、形状、サイズも様々になることが予測される。そこで、汚染のない平板、配管(径の異なるもの、切断したもの等)、バルブ、コンクリート(ブロック、ガラ)等、様々な形状、種類の測定対象物を用意し、その表面に、 ^{60}Co あるいは ^{137}Cs 標準線源を貼付して二次汚染を模擬した物品を作成し、放射能の評価精度試験を行った。なお、放射化の条件では、一様に放射化された測定物の入手が困難であることから、計算による評価を行った⁶⁾。

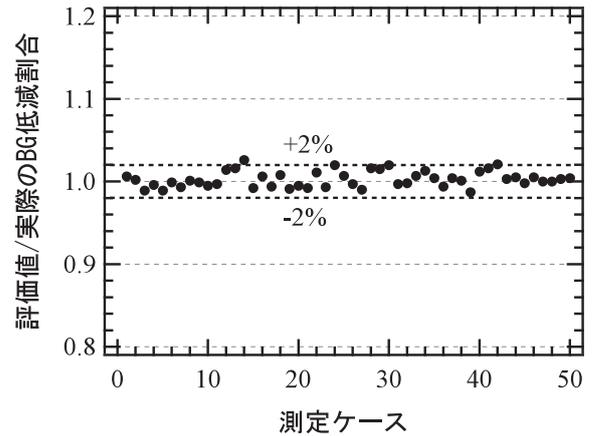
第3図に、試験で用いた配管、バルブ等の写真を、第4図に二次汚染に対する本手法の校正の評価精度を示す。第4図は、上述の様々な形状の模擬金属クリアランス物について、測定物量、トレー上の位置を変えて設定した268ケースの評価結果である。同図にて示されるよ



第3図 模擬的な金属クリアランス物



第4図 金属に対する校正の精度



第5図 雰囲気BG計数率の低減評価の精度

うに、 ^{60}Co に対しては $\pm 20\%$ 以内で、 ^{137}Cs に対しては $\pm 30\%$ 程度以内で校正定数を精度よく推定できることが確認された⁶⁾。

また、第5図には、測定物が雰囲気中のBG放射線を遮蔽する効果によるBG計数率の低減割合の再現性を示す。これらは上述の268ケースの中で比較的重量が大きく、この効果の影響が高いと推定された50ケースについて評価した結果である。同図にて示されるように、 $\pm 2\%$ 程度以内で高精度に評価可能であった。

なお、コンクリートについても同様の評価試験がすでに実施済みであり、校正の精度に加え、天然放射能によるBG計数率の増加分と自己遮蔽効果による低減分の両者を考慮することで、測定中のBG計数率が精度よく評価できることが確認されている⁷⁾。

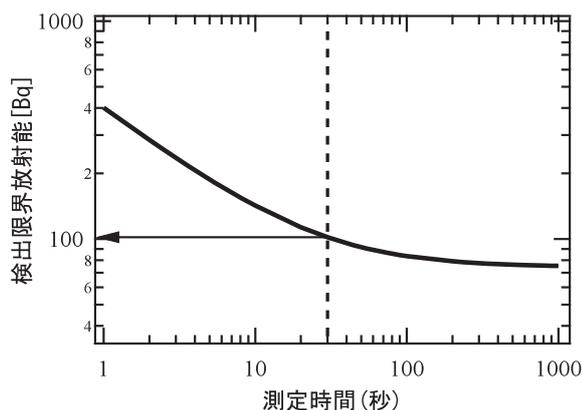
3. 検出限界の評価

通常の放射線計測における検出限界の評価では、BG計数率は、測定中も変動しないものとして取り扱われている。しかし、多量の金属を測定する場合には、上述のように自己遮蔽効果による変動が発生するため、その補正に伴って誤差が生じることになる。

クリアランス判断に関連する日本原子力学会標準³⁾では、このような誤差を「BG変動に起因する誤差」として取り扱っている。同標準で示されている評価式に基づいて評価した、 ^{60}Co に対する検出限界放射能を第6図に示す。横軸は、BG計数率およびガンマ線測定時間であり、校正定数は、第4図の校正の精度評価試験で求められた計数効率の平均値を適用した。

同図で示されるように、ガンマ線およびBGの測定時間を30秒とした場合、検出限界放射能は約100 Bqと推定される⁶⁾。仮に、評価核種を ^{60}Co 、1回の測定物量を20 kgとすると、クリアランスレベルに対しては、2,000 Bqの放射能の有無を確認する必要がある。一方、物品持ち出し基準に対しては、評価面積を100 cm²に固定していることから、400 Bqの有無が判断基準になる。

このように、クリアランス判断に必要とされる2つの

第6図 ^{60}Co に対する検出限界放射能

基準値に対しては、物品持出し基準のほうが比較的低めの検出限界を有する測定方法が必要とされる。しかしながら、30秒程度の短い測定時間であっても、十分に低い検出限界が確保できることから、本装置は、クリアランスレベルのみならず、物品持出し基準に対しても判断可能であることが明らかになった。

Ⅲ. 表面汚染検査への適用

模擬クリアランス物を用いた実験から、当所で開発した装置および手法は、クリアランスレベルの確認のみならず、物品持出し基準の確認にも適用可能であることが示された。しかし、発電所現場では、本装置のようにガンマ線測定ではなく、GMサーベイメータ等のベータ線測定に基づいて物品持出し基準が確認されている。

そこで本装置が表面汚染検査にも適用できることを実証するために、実際に原子力発電所から発生した物品を用いて表面汚染密度の評価試験を行った。

1. 発電所発生物を用いた実証試験

試験は、東京電力柏崎刈羽原子力発電所にて実施し、固体廃棄物集積場所等から様々な形状および汚染レベルの測定試料を採取した。測定試料は、形状と、GMサーベイメータの測定による表面汚染密度レベルに基づき、次のように区分した。

(1) 表面汚染密度

汚染なし(検出限界値未満:LTD)、 4 Bq/cm^2 未満、 4 Bq/cm^2 以上の3区分

(2) 形状区分

(a) 線状の物

ワイヤ、ケーブル、チェーンなど

(b) 内面のない物

鉄板、アルミ板、足場材の板、H鋼など

(c) 内面のある物

パイプ、エルボ、ダクト、弁など

(d) 装置(計器)

時計、ファン、圧力計など

なお、対象物の選定においては、装置の測定トレーサイズである $80\text{ cm}\times 80\text{ cm}$ 上に搭載可能なサイズのものに限定した。これらを本装置とGMサーベイメータによって測定し、結果を比較した。

2. GMサーベイメータの測定結果との比較

本装置とGMサーベイによる測定結果を第2表に示す。同表は、発電所発生物の表面汚染密度評価値が、おのおの装置においてどのレベルに区分されたかについて、測定試料の数で示しており、例えば、GMサーベイメータがLTDと判断した物は、 $51 + 8 + 3 = 62$ 個であり、そのうち、51個は本装置でもLTDと判断され、8個は 400 Bq 未満、3個は 400 Bq 以上と評価されたことを示している。

同表で示されるように、本装置の評価結果は、GMサーベイメータの測定結果と比べて、比較的大きめの値を与える。これは、GMサーベイメータが走査測定によって最も計数率の高い箇所のみを選定して表面汚染密度を評価することに対し、本装置では、前述のように全汚染が寄与した計数率から放射能を評価(全ガンマ測定と呼ばれる)し、表面汚染を算出していることと、校正定数を求める際のモンテカルロ計算において、仮想的な線源位置を安全側に設定していること等が理由である。

発電所現場では、物品持出し基準である 4 Bq/cm^2 ではなく、それ以下の検出限界を有する装置による測定結果が「検出限界値未満」であることを判断基準とした運用がなされている。同表では、太字の35ケースが管理区域外に持ち出せない物として判断されるものである。これらの測定物に対しては、本装置でも検出限界値以上で汚染があると判断されていることから、本装置は、GMサーベイメータと同等の表面汚染検出能力を有し、物品持出し基準の確認にも適用できるといえる⁸⁾。

3. 他の表面汚染検査装置との性能比較

原子力発電所において物品持出し基準の確認に使用さ

第2表 本装置とGMサーベイメータの測定結果の比較

GMサーベイ	本装置		
	検出限界値未満(LTD)	全 γ 測定で 400 Bq 未満 ^{a)}	全 γ 測定で 400 Bq 以上 ^{a)}
LTD	51	8 ^{b)}	3 ^{b)}
4 Bq/cm^2 未満	0	3^{c)}	12^{c)}
4 Bq/cm^2 以上	0	0	20^{c)}

^{a)} ^{60}Co 換算のBq数。JISに準拠した評価面積である 100 cm^2 で除することで表面汚染密度として算出できる。

^{b)} 全ガンマ測定による計数率の使用、保守的な校正定数の設定等の理由で、GMサーベイメータより比較的大きな値として評価される。

^{c)} GMサーベイメータにより検出限界値以上の汚染が検知された35サンプルについては、すべて汚染が検知されている。

れている放射線測定装置は、GM サーベイメータ以外にも Ge 半導体検出器、小物物品搬出モニタ、大型物品搬出モニタ等がある。

Ge 半導体検出器は、高いエネルギー分解能により核種分析には優れているが、大量、あるいは大型物品の測定には不向きである。また、小物物品搬出モニタは作業者の携行品の測定等にも適用可能であり、用途が限定されている。

比較的大きな物品の測定には、大型物品搬出モニタが使用されるが、小物モニタと同様、測定可能な物品が限定されており、単純形状のみが対象となっている。また、物品搬出モニタは、基本的にベータ線測定に基づく装置であるため、配管のように内面のある物を検査する際には、ろ紙によるふき取り測定であるスミア法等による測定が、別途必要とされる場合もある。

一方、当所で開発した装置は、透過力のあるガンマ線を測定対象としており、これまで述べたように、自動形状認識とモンテカルロ計算を用いることで、遮蔽効果等の補正が高精度に行われ、複雑な形状に対しても放射能評価が可能である。また、測定領域も Ge 半導体検出器、あるいは小物物品搬出モニタと比べて比較的大きいという利点も備えていることから、表面汚染検査装置としても有用であろう。

Ⅳ. おわりに

現在、我が国初の商用炉である日本原子力発電(株)東海発電所において原子炉施設の廃止措置が行われており、同じく我が国初のクリアランス制度適用がなされている。現在は金属のみがクリアランス対象となっているが、今後、解体工事の進展に伴ってコンクリート等もクリアランス対象となる。さらに、中部電力(株)浜岡原子力発電所 1号機および 2号機は、平成21年 1月に運転終了となり、廃止措置に移ることが決定した。我が国の原子力発電所の建設時期、供用期間を考慮すると、軽水炉におけるクリアランスが今後、本格化するものと考えられる。

一方、運転中の原子力発電所においても、高経年化対策に伴う改良工事等の増加により、金属およびコンクリート廃棄物の発生量増加が考えられることから、クリアランス制度の適用が想定される。さらには、原子力発電所のみならず、加速器施設、RI 施設等にもクリアランス制度が展開されつつある。このように、今後、クリ

アランス測定のニーズはますます高まり、かつ、多様化していくものと予測される。

電中研式クリアランスレベル測定装置は、レーザー形状計測、モンテカルロ計算から放射能評価に至るまで、すべて自動化されているため、作業者の負担低減に加え、汚染の見落とし回避にも効果的である。また、原子炉の定期検査、あるいは施設の改良工事等に伴って大量の搬出物を表面汚染検査する必要がある場合には、内部汚染の可能性のある機器の測定に適用することもできる。

本稿で紹介した技術により、合理的な放射線管理の実現に加え、資源を有効利用する循環型社会に貢献できれば幸甚である。

— 参考資料 —

- 1) 原子力安全委員会 原子力安全基準専門部会, 原子炉施設におけるクリアランスレベル検認のあり方について, 平成13年 7月.
- 2) IAEA Safety Guide, RS-G-1.7, IAEA, (2004).
- 3) 日本原子力学会標準, AESJ-SC-F 005:2005.
- 4) ISO 11932:1996(E).
- 5) JIS Z 4337:1997.
- 6) 電力中央研究所総合報告, L 01, (2005).
- 7) 電力中央研究所報告, L 07010, (2007).
- 8) 電力中央研究所報告, L 08007, (2009).

電力中央研究所報告および総合報告は、下記ホームページからダウンロード可能である。

http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/cgi-bin/report_reference.cgi

著者紹介

佐々木道也(ささき・みちや)



(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)放射線計測, 放射線防護

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)放射線計測, 放射線防護, 線量評価

新検査制度導入と炉心設計 運転期間延長に伴う炉心設計上の課題と対応

中部電力(株) 原田 健一, 三菱重工業(株) 浅野 耕司,
(株)グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン 山中 章広

2009年1月から施行された新検査制度により、定期検査間隔を18ヶ月または24ヶ月まで延長することができるようになり、それに伴って運転期間もそれぞれの定期検査間隔を上限とする期間まで延長することが可能になった。運転期間を延長する場合には炉心の反応度を高める必要があり、燃料の濃縮度を増加して対応する方法と、濃縮度は増加せず新燃料取替体数の増加のみで対応する方法がある。今回、至近の対応となる後者を想定して、PWRおよびBWRにおいて、種々の工夫により現行許認可上の制限値等を満足する炉心設計を行ったので紹介する。

I. はじめに

1. 原子力発電の設備利用率向上

国内の電力会社ではこれまで、原子力発電所の設備利用率向上を目指して、海外の原子力発電所で実績のある「定格熱出力運転」、「原子炉出力の増加」および「24ヶ月運転を目指した運転期間の延長」を国に要望してきた。以下、その現状について概観する。

(1) 定格熱出力運転

従来は定格電気出力運転を行っていたが、定格熱出力運転とすることにより、海水温度の低い冬場においてタービンの効率が増加するため、定格出力以上に電気出力を増加できるメリットがある。定格熱出力運転は、2000年末に導入手続きが国で制定され、2002年から国内の原子力発電所で導入されてきた。現在では原子力発電所約1基に相当する電気出力が創出されている。

(2) 原子炉出力の増加

欧米では燃料の熱的制限値に対する運転裕度を確保して数%の出力増加を行っており、発電機等の設備改造を伴うものでは約20%の出力増加を行っている発電所も存在している。

国内においては、具体的な計画の検討が進められている約5%の出力増加を対象として、原子炉の安全性、設備の健全性、保守・運転管理への影響などを検討評価するために、2009年1月に総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会原子炉安全小委員会に原子炉熱出力向

上ワーキンググループが設置された。

(3) 24ヶ月運転を目指した運転期間の延長

米国では当初、日本と同じ約1年間の運転期間であったが、1990年代から、19ヶ月、24ヶ月と運転期間を延長してきており、設備利用率の向上に大きく寄与している。

国内においては、原子力安全・保安院から示された「保全プログラムを基礎とする検査の導入について(新検査制度)」(2008年6月)の考えに基づいて、原子炉の運転期間を延長する場合の導入手続きとして、関係する経済産業省令が2008年8月に改正され、2009年1月から施行された。この改正により、段階的な運用になるが、定期検査間隔を18ヶ月または24ヶ月まで延長することができるようになり、それに伴って運転期間もそれぞれの定期検査間隔を上限とする期間まで延長することが可能となった。

以下では、新検査制度の導入に伴い可能となった運転期間の延長のための炉心設計について解説する。

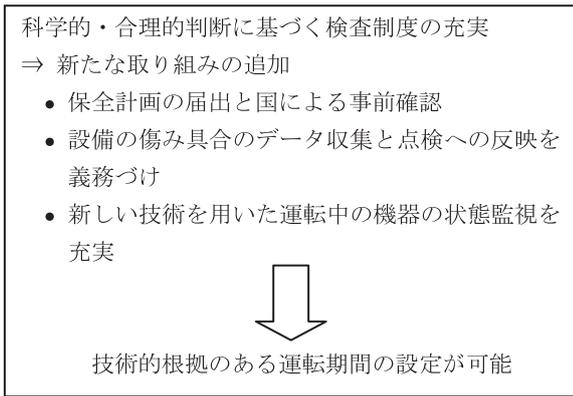
2. 新検査制度と運転期間延長

新検査制度の概要を第1図に示す。今回の見直しでは、科学的・合理的判断に基づいて検査制度を充実することを目的に、新たな取組みが追加されている¹⁾。

「保全計画の届出と国による事前確認」では、事業者が現状の機器の状態と現状保全の妥当性評価結果に基づいて保全計画を作成して国に事前に届け出て、国が保全計画を確認し、事業者の保全活動が継続的に改善されていることを確認する。「設備の傷み具合のデータ収集と点検への反映を義務づけ」では、事業者が経年劣化状況や過去のトラブルを踏まえて、保全活動の評価・改善を繰

Implementation of New Inspection System and Core Design for Extended Cycle Operation: Kenichi HARADA, Koji ASANO, Akihiro YAMANAKA

(2010年 2月4日 受理)



第1図 新検査制度の概要

り返すことを義務付けている。「新しい技術を用いた運転中の機器の状態監視を充実」では、振動診断、潤滑油診断、赤外線サーモグラフィ診断等の技術の活用により、分解点検を行うことなく機器の異常の兆候をいち早く把握できることを目的としている。

これらの新たな取り組みの追加により、従来は法律により一律13ヶ月としていた運転期間に対し、プラントごとに技術的根拠のある運転期間の設定が可能となった。

実際に運転期間を延長する場合、その運転期間に対し定格出力が維持できるように炉心の反応度を高める必要があり、基本設計である燃料の濃縮度を増加して新燃料取替体数を増加して対応する方法と、基本設計を変更せずに新燃料取替体数の増加のみで対応する方法がある。前者では原子炉設置変更許可の申請が必要であり、後者では現行の原子炉設置許可の基本設計である制限値等を満足させる必要がある。

至近の対応としては基本設計を変更しない後者の方法となるが、新燃料取替体数の増加を含め、運転期間延長が炉心特性に種々の影響を及ぼす。その評価のための基本的な考え方の取りまとめを目的として、2009年1月に、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会原子炉安全小委員会に安全評価ワーキンググループ(長期サイクル炉心評価)が設置され、代表的なPWRおよびBWRを対象として運転期間延長が炉心特性、安全評価等に及ぼす影響について検討された。

本稿では、運転期間を延長したPWRおよびBWRにおいて、現行の原子炉設置許可の制限値等を満足する炉心を設計したので、その主要特性とともに紹介する。

II. PWRの炉心設計

1. まえがき

燃料仕様(濃縮度やガドリニア濃度など)を現状の設置許可条件のまま運転期間を延長するには、炉心の余剰反応度を増加させるために原子炉に装荷する新燃料の取替体数を増加させる必要がある。この場合においても、炉心の特性が原子炉設置許可申請書本文に適合したものであることを確認する必要がある。本章では、基本設計な

いし基本的設計方針に則した運転が可能である運転期間として、16ヶ月(原子炉起動から停止までの期間)まで延長した場合の、代表プラントにおける炉心特性への影響評価の結果を紹介する。

2. 運転期間の延長

現行の燃料仕様での運転期間と新燃料取替体数の関係は、代表プラント^{a)}において運転期間を13ヶ月、16ヶ月とした場合、それぞれ60体、72体程度となる。このように、16ヶ月運転では大半の燃料が3サイクル使用され、現行炉心と同等の燃料運用効率を維持することができる。さらに、16ヶ月程度までの運転期間の延長であれば、それによる炉心特性の変動分が、現在の各安全解析使用値に見込んでいる炉心の変動の範囲内となり、従来の取替炉心設計の延長線上での対応が可能になると想定される。

3. 炉心特性への影響

一般に、運転期間延長のための新燃料取替体数増加やサイクル燃焼度増加により、

- サイクル初期の余剰反応度の増加
- 炉心内出力分担の変化
- 反応度特性の変化

等の現象が炉心特性に影響を与えることが考えられる。比較的短い運転期間の延長であればこれらの影響は小さく、従来の取替炉心の設計手法を適用できると想定されるため、今回は運転期間を16ヶ月とした代表プラントにおいて各現象による影響を評価した。

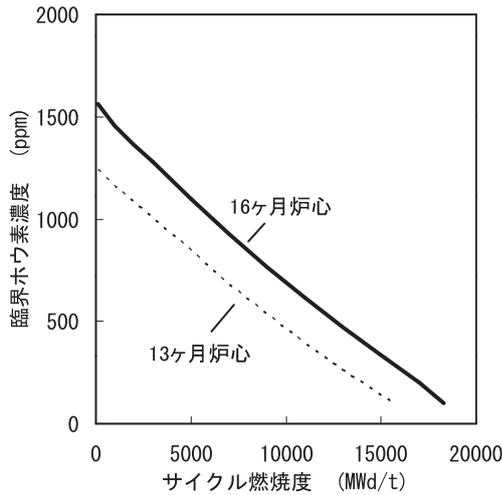
(1) サイクル初期の余剰反応度の増加

新燃料取替体数が増加するとサイクル初期の余剰反応度は増加する。PWRにおいては、余剰反応度は1次冷却材中のホウ素により制御するため、ホウ素濃度は増加することとなる(第2図)。そのため、原子炉設置許可申請書に記載されているホウ素濃度に関連するパラメータへの影響を評価し、その結果、現行記載値の範囲内で取替炉心を構築できることを確認した。

(2) 炉心内出力分担の変化

新燃料取替体数の増加により、反応度の高い新燃料が隣り合って炉心に装荷され、出力ピーキングは若干大きくなる可能性がある。代表プラントにおいては、燃料配置の工夫により、出力ピーキングは現行安全解析使用値の範囲内となることを確認した。16ヶ月炉心の燃料配置例を第3図に示す。実機取替炉心では、出力ピーキングは、従来から取替炉心の安全性確認項目の一つとして取替炉心設計のつど確認しており、運転期間を延長した16ヶ月炉心においても同様に評価することで核設計上問

^{a)}燃料集合体体数193体(燃料集合体最高燃焼度を55 GWd/tとした17×17型燃料集合体を装荷)、定格電気出力約120万kWの4ループプラントを対象としている。

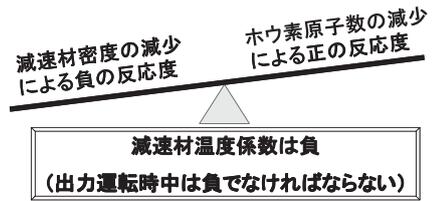


第2図 燃焼に伴うホウ素濃度の推移

題ないことを確認することになる。

(3) 反応度特性の変化

反応度特性についても、出力ピーキングと同様に、従来から取替炉心ごとに核設計上問題ないことを確認している。反応度係数の一つである減速材温度係数は、減速材温度が変化することによる反応度効果であり、減速材温度が上昇した場合には、減速材密度の減少による減速能低下に起因する負の反応度効果と、冷却材中のホウ素原子数の減少による正の反応度効果から決定されるものであり(第4図)、出力運転中は常に負でなければならない。この減速材温度係数は、サイクル初期のホウ素濃度が高くなることにより、若干、正側(負値であるが絶対値が小さい方向)になる傾向が認められるが、ガドリニア入り燃料の装荷体数や装荷位置を工夫することで、サイクル初期のホウ素濃度を低下させ、減速材温度係数が出力運転状態で負になるよう設計することができる。以上から、反応度特性についても、現行安全解析使用値の範囲内で取替炉心を構築することが可能である。



第4図 減速材温度係数

4. 結論

16ヶ月程度への運転期間の延長では、炉心特性に大きな影響が生じないため、現行炉心と同様の基本設計ないし基本的設計方針に則した取替炉心を構成することができるとの結論に至った。

Ⅲ. BWRの炉心設計

1. まえがき

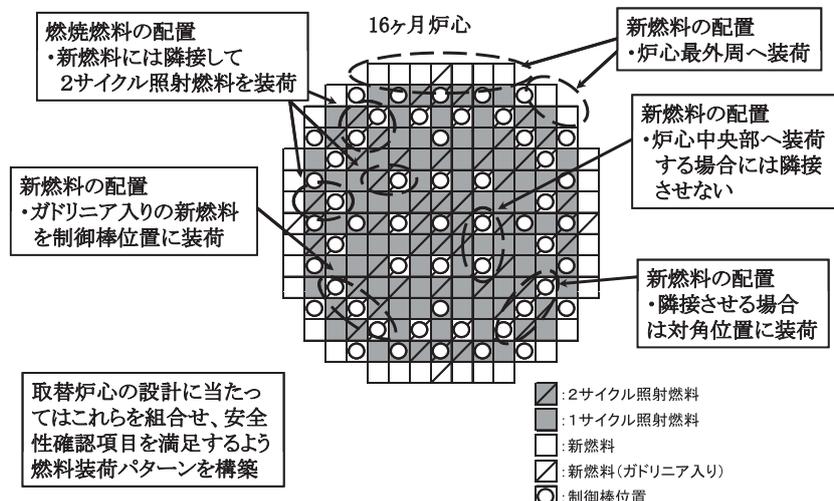
基本設計を変更しない範囲で運転期間の延長を行う場合、より長期間にわたって原子炉の特性が種々の運転制限値等を満足するように、燃料配置・制御棒パターンを工夫およびガドリニア設計の最適化が必要となる。本章では代表プラント^{b)}において、運転期間を19ヶ月に延長した場合の炉心設計を実施した結果を紹介する。13ヶ月運転に比べて、新燃料取替体数は全炉心の約1/4程度から約1/3程度に増加する。

2. BWR炉心設計の概要

燃料核設計においては、基本設計としての濃縮度を決定するとともに、設計条件の運転期間中に平坦な余剰反応度特性を有し、サイクル末期においてガドリニアが燃え尽きるようにガドリニアの濃度と本数を調整する。

燃料配置としては、現行の13ヶ月運転では、コントロー

^{b)}燃料集合体体数764体(燃料集合体最高燃焼度を55 GWd/tとした9×9型燃料集合体を装荷)、定格電気出力約110万kWのプラントを対象としている。



第3図 装荷パターンの工夫例

ルセル炉心が多く採用されている。これは、運転中の反応度補償に用いる制御棒の周囲4体に燃焼が進んで反応度が小さくなった燃料集合体を配置(「コントロールセル」という)する炉心設計であり、制御棒引抜き時に当該制御棒周辺の出力量を小さくできることから、制御棒引抜き時の負荷損失が小さくなり運転中の設備利用率を向上させることが可能である。

上記の燃料核設計、燃料配置および制御棒計画は、最大線出力密度、最小限界出力比、炉停止余裕などの炉心特性が運転制限値を満たすように決定される。さらに、プラント過渡事象に及ぼす影響の指標として、主要な反応度係数も重要である。

3. 19ヶ月運転炉心設計

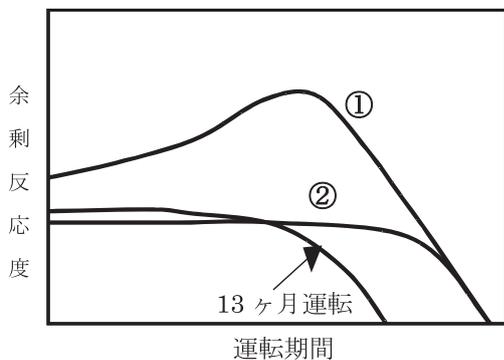
13ヶ月運転用に設計された燃料をそのまま用いて19ヶ月程度の運転を行う場合には、サイクル期間中でのガドリニア燃焼特性が最適化されておらず、余剰反応度が高くなる傾向となる。一方、運転期間に応じてガドリニア設計を最適化すれば、平坦な余剰反応度を得ることができる。余剰反応度の例を第5図に示す。

本節では、ガドリニア設計を変更しない場合と最適化した場合のおのおのについて、運転制限値を満足する炉心を設計した結果を紹介する。燃料配置と制御棒挿入位置を第6図に示す。新燃料は、13ヶ月運転の場合と同様、炉心最外周を除く位置に、隣接させずほぼ均等に配置している。

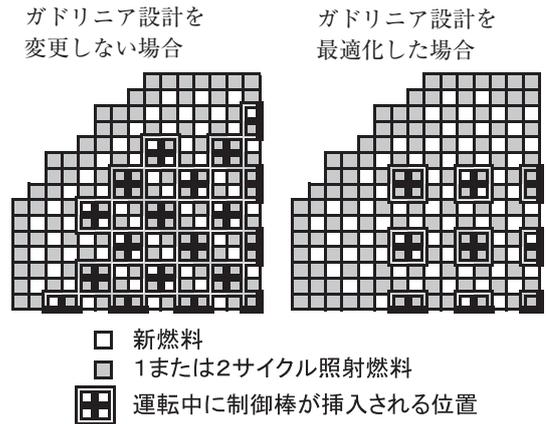
(1) 燃料配置・制御棒パターンの工夫

ガドリニア設計を変更しない炉心の燃料配置としては、コントロールセルを構成しないコンベンショナル炉心を採用した(第6図左)。

コントロールセル炉心では、コントロールセル以外の場所に新燃料または燃焼の進んでいない反応度の大きい燃料が集まりやすい傾向となる。特に、運転期間の延長を行った場合には、新燃料取替体数が増加し、反応度が大きい燃料が多くなること、および挿入される制御棒の数が増加するため、必要な数のコントロールセルを作成



第5図 余剰反応度の例(①②は19ヶ月運転)
①はガドリニア設計を変更しない場合、
②はガドリニア設計を最適化した場合



第6図 燃料配置(1/4炉心)と制御棒挿入位置

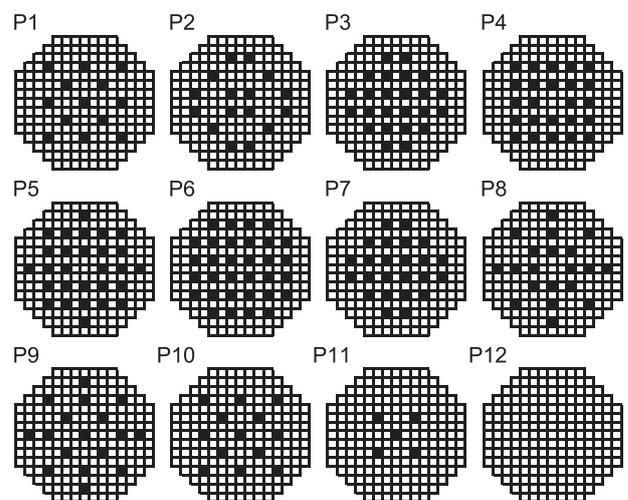
することが困難になる可能性がある。

これに対してコンベンショナル炉心では、運転期間の延長を行った場合でも、反応度の大きい燃料と小さい燃料を比較的均等に配置できるため、炉心設計上の制約を少なくできる。海外ではすでに24ヶ月程度の運転を行っている例があるが、コントロールセルを配置しない炉心とすることが多い。なおコンベンショナル炉心では、炉心全体を均一に燃焼させるため、制御棒の挿入位置を数ヶ月ごとに変更する運用が一般的である(第7図)。

(2) ガドリニア設計の最適化

余剰反応度の増加への対策として、運転サイクル長さに適したガドリニア濃度に増加させるとともに、サイクル初期の余剰反応度を調整するためにガドリニア入り燃料棒の本数を変更した設計を採用し、19ヶ月程度の運転に適した余剰反応度特性が得られるようにすることができる。なお、ガドリニア設計の変更は、運転中の余剰反応度特性を改善する目的で、これまでにも基本設計の範囲内での実績を有している。

ガドリニア設計を最適化することによって、余剰反応



第7図 コンベンショナル炉心の制御棒パターン
(サイクル初期のP1からサイクル末期のP12に向かって挿入制御棒位置■を変更させている)

度が適切に設定されているため、コントロールセル炉心を採用することができる(第6図右)。コントロールセルの数も現行炉心程度であり、反応度の大きい燃料と小さい燃料とを比較的均等に配置することができる。また、運転期間を通じて余剰反応度が平坦であるため、制御棒パターンの変更も少ない。なお第6図右では、一部のコントロールセルに新燃料が配置されているが、当該制御棒は運転サイクル後半でのみ挿入される。

(3) 反応度係数への影響

プラント過渡事象に影響を及ぼす重要なパラメータとして、減速材ポイド係数およびドブラー係数の変化について評価した。その結果、いずれの炉心においても、13ヶ月炉心と同等の特性であることが確認できた。

4. 結論

以上の通り、19ヶ月程度への運転期間の延長であれば、燃料配置・制御棒パターンの工夫あるいはガドリニア設計の最適化によって、基本設計を変更することなく、運転制限値を満足する炉心を設計することができた。

IV. おわりに

2009年10月に、安全評価ワーキンググループ(長期サイクル炉心評価)の成果が、パブリックコメントを経て、報告書「原子炉運転期間の設定の妥当性確認に関する評価の基本的考え方」にまとめられた²⁾。これにより、運転期間延長に必要な評価が具体化され、今後の運転サイクルにおける運転期間延長がいよいよ現実のものとなった。各電力会社においては、着々とその準備を整えているところである。

さらに、より一層の運転期間延長と効率的な燃料の運

用を目指して、基本設計である燃料の濃縮度を増加する方法についても検討が進められている。これらを通じて、また原子炉出力の増加も併せ、既存の原子力発電所の利用率向上を推進していく。

—参考資料—

- 1) 経済産業省原子力安全・保安院パンフレット「検査制度見直しのご案内」。
- 2) 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会原子炉安全小委員会安全評価ワーキンググループ(長期サイクル炉心評価)報告書「原子炉運転期間の設定の妥当性確認に関する評価の基本的考え方」(2009年10月26日)。

著者紹介

原田健一(はらだ・けんいち)



中部電力株
(専門分野/関心分野)BWR 燃料設計, BWR 炉心設計

浅野耕司(あさの・こうじ)



三菱重工業株
(専門分野/関心分野)原子炉物理学, PWR 炉心設計

山中章広(やまなか・あきひろ)



(株)グローバル・ニュークリア・フュエル・
ジャパン
(専門分野/関心分野)BWR 炉心設計

イタリアの原子力事情

(社)海外電力調査会 東海 邦博

フランス、フィンランド、英国に続いて、イタリアでも原子力発電設備の新規建設の動きがある。イタリアは、1986年のチェルノブイリ事故を契機に原子力発電から撤退したが、現ベルルスコーニ政権下での原子力再開法の制定を受けて、地元の電力会社 ENEL がフランス EDF と手を組み、建設計画を立ち上げようとしている。以下、本稿では新規建設の動きを中心にイタリアの原子力事情を紹介する。

I. 原子力発電開発

1. 経緯：チェルノブイリ事故で原子力開発放棄

英国が電力自由化で原子力開発がストップしたのに対して、イタリアはチェルノブイリ事故の影響で原子力開発を放棄した国である。

イタリアは、日本、フランス同様、化石燃料資源に乏しい国として、比較的早い時期から原子力開発に着手し、1960年半ばには、ガリリアーノ(BWR, 16.4万kW)、トリノ・ベルチェレッセ(PWR, 27万kW)、ラティエーナ(GCR, 21万kW)と3つの炉型の原子力発電所が建設された。

また、1973年の石油危機を契機にエネルギー計画が策定され、1985年までに2,000万kWの原子力発電開発を行うことが目標に掲げられた。しかし、立地の遅れや石油危機による経済情勢の悪化などから建設は進まず、1981年にカオルソ発電所(BWR, 88.2万kW)で1基が運転開始したに留まった。

さらに、1986年のウクライナのチェルノブイリ発電所事故により、反対運動が激化し、1987年に行われた国民投票結果を受けて、政府は既設の原子力発電所の閉鎖と新規建設の凍結を決めた。この政策に従い、前述の既設の4基および建設中の2基(モンタルト・ディ・カストロ発電所)は順次閉鎖され、現在、イタリアには稼働している原子力発電設備は存在しない。

また、原子燃料サイクル部門の活動も中断された。ウラン濃縮施設(EUREX)、燃料加工施設(IFEC)、再処理施設(ITREC)およびカサッチャ・エネルギー研究センターのプルトニウム施設など、原子燃料サイクル関連施設が閉鎖された。唯一、原子力関係の研究開発だけが継続を認められた。

2. 電力供給：火力中心、不足分は輸入に依存

しかし、このイタリアにおいてもこのところ原子力再

開の動きが出てきた。背景は他の先進国同様、エネルギー・セキュリティと気候変動問題への対応である。

エネルギー・セキュリティ面では、イタリアは脆弱なエネルギー・電力供給構造を持っている。エネルギー自給率は15%に過ぎず、電源では天然ガスなどの火力が80%を占める。そのため、2008年には化石燃料価格の高騰で、以前から欧州諸国の中で最も高い部類であった電気料金がさらに上昇した。

また、電力供給の約10%以上を輸入に依存している。2008年は395億kWhの輸入超過を記録し、供給電力量の12%を占めた。輸入元はスイス、フランスなどが中心である。輸入依存が高いのは、前述の原子力発電放棄に加えて、80年代後半から火力など他の電源も開発が地元の反対などで順調に進まなかったことがある。そのため2003年は2回にわたって大規模な停電に見舞われるなど電力需給が逼迫した。

電力市場の自由化も輸入を助長している。前述の需給逼迫は、政府の開発促進措置によって火力発電の建設が順調に進展し、2005年以降ひとまず解消した。しかし、EU大での電力自由化の中で、価格が安いことを理由にフランスなどからの輸入は続いている。

一方、温室効果ガス削減についても、イタリアは大きな問題を抱えている。京都議定書による2008～12年の削減目標(1990年比で6.5%減)に対して、2007年は7.1%増となっており、達成の見通しは立っていない。

発電においても、1kWh当たりのCO₂排出量は、ガス火力が50%以上を占めるため、石炭火力国に比べれば少ないが、フランスなどの原子力国に比べれば多い。EUは2020年の削減目標として、加盟国全体として1990年比20%削減をすでに決めており、イタリアにとって気候変動への対応は喫緊の課題である。

3. 再開に向けての動き

(1) 政府は法整備に着手

このような課題に対処するため、2008年の総選挙で政権に返り咲いたベルルスコーニ首相は、エネルギー政策

として原子力発電開発の再開を掲げ、それに向けての措置を講じている。同首相は選挙戦の中で「再選の暁には5年以内に原子力発電を再開する」との公約を掲げていたが、その公約実現のため、政府は2009年7月、法律を制定し、(1)政府省間計画委員会(CIPE)が今後、建設する原子炉の特性や建設主体を規定する、(2)政府が今後、サイト選定手続きなど原子力開発関連法制を策定する、(3)独立規制機関として原子力安全規制委員会(ASN)を創設する、ことなどを定めた。

このうち、サイト選定および許認可手続きについては、2010年2月に政令が閣議で採択された。この政令では、サイト選定に際して、公聴会の開催など英国に類似した手続きを採用するのに加えて、原子力施設を受け入れる地方自治体(立地州・立地市町村・近隣市町村)には、建設中はkW当たり年間3ユーロ(400円)、また運転中はkWh当たり0.04ユーロ(5銭)を交付することが規定されている。配分は州に10%、立地市町村に55%、近隣市町村に35%となっている。また、地元へのPA対策として、各原子力施設立地サイトに、フランスの「地方情報委員会」に類似した「地方対応・情報透明化委員会」(CCT)を設置することも謳われている。

また、新規建設に向けて、海外の原子力関連技術や原子燃料の導入を容易にするため、政府は2008年末からロシア、フランス、米国など各国と原子力協力協定を次々と締結した。

政府は、2013年には1基目の原子力発電プラントの建設が決まり、2020年までに運転開始されるとともに、2030年には2～3箇所のサイトで8～10基が建設され、合計1,600万kWの原子力発電設備で電力需要の25%が賄われることを期待している。

(2) 事業者も新規建設に意欲

この政府サイドの積極的な動きに呼応して、電気事業者も建設に向けて活動を開始した。

イタリア最大の電気事業者 ENEL は、2009年8月、4基の EPR(各165万 kW)を建設するための実行可能性調査を行うため、フランス電力(EDF)と共同で子会社を設立した。ENEL は4基を3つのサイト(北部地方のサイトに2基、中部地方のサイトに1基、南部地方のサイトに1基)に建設する予定で、初号機は2011年にサイト認可、2013年に建設・運転認可を完了し、2015年に着工、2020年に運転開始に持ち込みたい意向である。

なお、ENEL は技術者養成も兼ねて、フランスで EDF が現在建設中のフラマンヴィル3号機に12.5%の出資を行っている。また、スロバキアの電力会社買収に伴って、その会社の所有する原子力発電設備の建設にも係っている。

また、イタリア2番目の事業者 A2A 社(ミラノなどの公営事業者が合併)も、外国事業者と共同で WH 社の AP-1000 を建設する計画を検討している。



第1図 イタリアの旧原子力発電所立地地点
出典：日本原子力産業協会「世界の原子力発電開発の動向」
2009年版などから作成。

これらの発電所が建設されるサイトは、かつて原子力発電所が運転されていた4つのサイト(後述の SOGIN が所有)、あるいは建設中であった1つのサイト(ENEL が所有)が有力とされている(第1図)。しかし、それらのサイトが所在する州の中には、すでに建設反対を表明している州もあり、今後のサイト選定には紆余曲折が予想される。

II. 放射性廃棄物処理・処分

1. 処分施設の立地進まず:政令制定で進展に期待

一方、これら旧サイトにある、閉鎖された原子力発電所および原子燃料施設で発生した放射性廃棄物の処分は進んでいない。放射性廃棄物の処理・処分は1999年に創設された国有企業(経済・財務省が株式保有)の「原子力発電所管理会社」(SOGIN)が担当している。

SOGIN は政府の方針に基づき3段階からなる処分計画を策定し、政府は同計画に沿って2003年にスカンツァーノ・ヨニコ地点(バジリカータ州マテラ県)を放射性廃棄物処分施設として選定した。しかし、地元の反対が激化し計画は頓挫した。

政府は、前述の原子力開発再開を規定した法律および関連政令で、この放射性廃棄物処分施設についても今後の方針を示し解決への意欲を見せている。同政令によると、1つのサイトに、低中レベルだけでなく高レベル廃棄物最終処分施設、さらには高レベル廃棄物および使用済み燃料の中間貯蔵施設も建設する計画である。それらの処分施設や貯蔵施設は、原子力以外の研究開発センターが所在する「テクノパーク」の一部として立地される。また、立地自治体には、前述の原子力発電設備に準じた補助金も交付されることになっている。

連載
講座ICRP 新勧告
—新しい放射線防護の考え方と基準

第2回 放射線防護の生物学的側面

(独)放射線医学総合研究所 丹羽 太貴

I. はじめに

人体に対する放射線の障害作用は、X線の発見後、数年ならずして明らかになり、1925年には、線量評価と防護についての最初の勧告が出されている。しかし今日において障害をもたらすほどの放射線を受ける機会は、癌治療などの医療行為においてのみである。そして放射線作業従事者や一般の市民において問題になるのは、低線量・低線量率の放射線のみである。しかしごく少ない放射線の影響を数値化することは困難である。そのため低線量の放射線影響は、中線量域や高線量域でのヒト集団での放射線影響の実態と、分子・細胞・動物レベルの実験研究から得られた障害発症機構から、推定せざるを得ない。推定によるリスク評価は放射線防護の基盤であるが、これには線量とそれがもたらす生物学影響の理解が極めて重要になる。

II. 生物学的側面

1. 細胞レベルでの放射線の影響

放射線は、その電離作用により分子の共有結合を破壊する。細胞にとって重要な高分子のなかでDNAはこの放射線損傷にもっとも感受性が高く、それがもたらす効果は、時には重大な結果をもたらす。放射線DNA損傷には様々なものがあるが、なかでもDNA2重鎖切断は修復が難しく、照射された細胞にいろいろな生物効果をもたらす。

照射により細胞のDNAに生じた2重鎖切断は、損傷検出機構により検出され、ついでこれはシグナル伝達機構を活性化させ、さらに一連の損傷応答プログラムを立ち上げる。

損傷応答プログラムのなかで、分裂している細胞にお

いて最初に立ち上がるものに細胞周期チェックポイントがある。細胞周期チェックポイントには、G1/Sチェックポイント、Sチェックポイント、G2/Mチェックポイントなどがあり、それぞれの時期で細胞周期の移行が抑えられる。細胞周期の抑制により、DNA2重鎖損傷修復機構は十分な時間をもって損傷修復を行うことができる。損傷修復が完全な場合は、細胞は元の正常細胞に戻る。損傷数が多かったり損傷が重篤な場合には、修復が困難で、強い損傷シグナルが出されるが、このような場合には修復をせずに、アポトーシスプログラムを立ち上げて細胞は自爆死を選んだり、また細胞老化プログラムが立ち上がって細胞は永久的に分裂を停止することで将来起こる可能性のある突然変異や癌化などを回避する。さらにDNA2重鎖切断の修復で、切断端のつなぎ間違いが起こると、染色体異常として見える大きな突然変異や、欠失のような突然変異が生じる。このつなぎ間違いで、2動原体や環状染色体のような染色体異常は、分裂を阻害するので、アポトーシスや細胞老化が誘発される。その一方で、細胞分裂を阻害しない相互転座や小さい欠失は、染色体突然変異として固定される。電離放射線ではあまり起こらないが、点突然変異の多くは細胞分裂を阻害しないので、娘細胞に受け継がれる。

最近になってDNA損傷が、エピジェネティックな機構を立ち上げて、これが遺伝子発現の長期にわたる変化をもたらす可能性が明らかになりつつある。突然変異では、DNA配列の変化が遺伝子の機能や発現レベルの変化をもたらすのに対して、エピジェネティック機構では、DNA配列は変わらないが、DNAメチル化のパターンの変化、マイクロRNA発現の変化、そしてクロマチン修飾因子などの作用により、クロマチンの高次構造が変化し、これが遺伝子発現のパターンを半永久的に変える。

突然変異であれエピジェネティックな機構であれ、細胞の遺伝子発現が変わると、細胞にはいろいろな影響が出る。第1図はこれらの放射線の細胞レベルでの影響を模式的に示したもので、突然変異、細胞機能の変化、細胞死などが示されている。

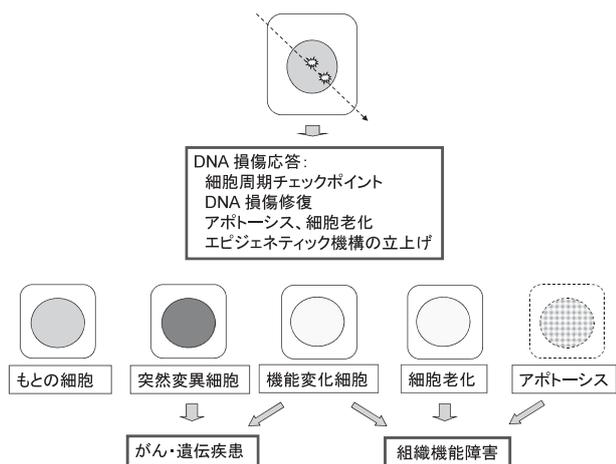
放射線によるこれらの細胞レベルの影響は、発生の時期により、また組織により異なる。受精から胚発生、さ

New ICRP Recommendation—New Radiation Protection Principle and Standards ; Biological Aspects of Radiation Protection: Otsura NIWA.

(2010年 3月9日 受理)

前回タイトル

第1回 放射線防護の歴史的展開—ICRP 勧告の変遷を中心として



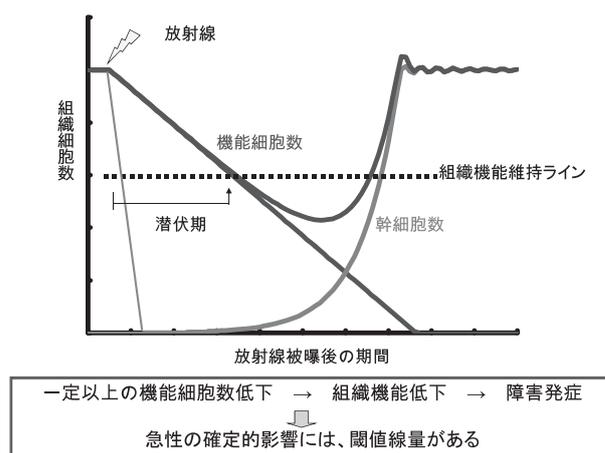
第1図 放射線の細胞レベルでの影響

らに胎児発生の過程では、細胞は盛んに分裂増殖を繰り返す。発生期の細胞は、放射線による致死感受性が極めて高く、これが放射線による胎児死亡や奇形誘発の原因となっている。また成体の組織では、それぞれの組織に特異的な幹細胞が存在する。幹細胞は分裂して自身と分化度の進んだプロジェニター細胞を作る。多くの組織では、プロジェニター細胞は幹細胞よりも分裂能力が高く、これにより数を増やし、それらが終末分化して機能細胞となる。機能細胞は一定期間機能を果たしてからアポトーシスなどで死んで体外に排出される。組織を構成するこれらの細胞は、それぞれの分化段階で損傷応答が異なっている。このような細胞レベルでの放射線の影響は、次に述べる確定的影響と確率的影響の発症機構の基盤となっている。

2. 個体レベルでの放射線の影響：確定的影響(有害組織反応)の発症機構

確定的影響と呼ばれる一連の放射線障害には、数Gyの線量からみられる造血系の障害、さらに高い線量での消化管系の障害、そして線量が10Gyを越えると発症する神経系の障害などがあるが、それ以外にも、いずれの組織であれ、線量が十分な場合には組織機能の障害が起こる。これらの障害は、放射線に被ばくしてから数時間から数日あるいは数週間以内の比較的短い潜伏期で現れる。短潜伏期で発症する確定的影響の発症機序には、大まかに2つほどが考えられる。ひとつは、組織の幹細胞が放射線で殺され、プロジェニター細胞が作られなくなり、その結果、機能細胞の数が少なくなることで、組織の機能が低下するために起こるもの。さらに放射線により組織が炎症を起こし、炎症性サイトカインの放出などで、組織の機能が乱されて起こる機構も考えられる。

第2図は、幹細胞が殺されたために急性に現れる確定的影響について、発症の機構を模式的に示している。ここでは、機能細胞数が少なくなると組織機能の維持が難



第2図 幹細胞の細胞死に伴い急性に現れる確定的影響の発症機構

しくなり、さらにこれが一定以下になると、たとえば血小板数の低下による出血や、腸管からの体液の損失による下痢などの症状が現れる。この図からは、分裂が盛んで細胞の喪失も速やかな組織では、症状が現れる潜伏期が短いことがわかる。また組織機能が一定以下にならなければ症状は現れないので、一定以上の細胞が失われないと症状がでないことも推測できる。これから急性の確定的影響には、一定以上のしきい値線量が必要なことがわかる。このように、しきい値線量を越えるとほぼ確実に発症するので、確定的影響と呼ばれる。国際放射線防護委員会2007年勧告(ICRP Publication 103)¹⁾の付属書には、睾丸、卵巣、水晶体、骨髄などの臓器・組織について、確定的影響のしきい値線量が記載されている。

確定的影響はこれまで比較的短潜伏期で発症すると考えられていたが、原爆被爆者の長期追跡調査などによって比較的長潜伏期の確定的影響の存在が明らかにされた。これらの長潜伏期の確定的影響は、一般に高齢化に伴う一般的疾患とほぼ同じ病型を取る。すなわち一部の高齢化疾患は、放射線被ばくにより頻度が増すといってもよからう。白内障を例にとると、これまでは2Gy程度のしきい値線量以上で、月単位年単位の潜伏期で発症するとされていた。しかし長期の追跡調査によれば、このしきい値線量以下でも、低いながら白内障の頻度が増し、しかもその増加は線量に対して直線的であることが明らかになってきた。これは老化に伴う水晶体タンパクの変性が、放射線によりさらに促進されるためと考えられるが、機構はまだ不明である。

これまで確定的影響と考えられてきた疾患、たとえば心臓脈管系の疾患についても、放射線による促進作用が明らかになりつつある。心臓脈管系の疾患も放射線の線量に伴ってほぼ直線的に上昇し、しきい値はあったとしても100mGy程度あるいはそれ以下である。確定的影響とされていた非癌疾患のリスク評価体系は、このような研究の進展に伴い、将来、見直しが必要になる可能性がある。

3. 確率的影響：遺伝性影響と癌の機構

確率的影響には遺伝性影響と発癌が含まれる。確率的影響と呼ばれる所以は、想定されている分子機構にある。放射線の損傷は線量に対して直線的に生じる。DNA損傷はランダムに生じるが、その一部は確率的に突然変異として固定される。そのため突然変異は、線量に対して直線的に増加すると考えられる。しかし染色体突然変異について調べると、線量に対して直線的に増えるものと、線量の2乗で増加するものがあり、これは単一の損傷で生じる染色体異常と、2つの損傷の相互作用で生じる染色体異常があることを意味する。そのため染色体異常の頻度(F)と線量(D)の関係は、以下の式で記述されている。

$$F = \alpha D + \beta D^2$$

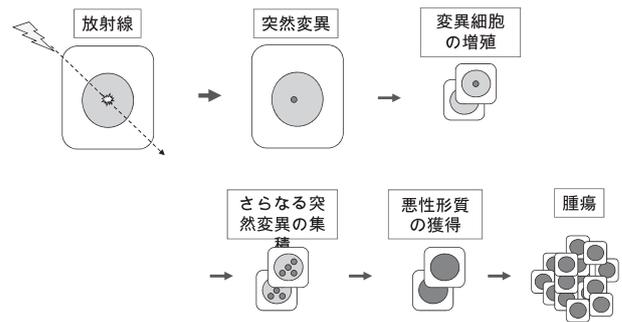
この場合、低線量域では、2次項の寄与は小さいので直線項のみになる。また線量率が低い場合には、2つの損傷の時間間隔が長くて最初の損傷が修復されてしまうので、やはり2次項がない直線項のみの式になる。

この考察は、リスク評価の基本をなすもので非常に重要である。現在の放射線防護体系で問題になる放射線は、低線量・低線量率の被ばく形態をとる。そのため突然変異や発癌などの影響(E)を記述する式は、以下の単純な直線式で足りる。これは、放射線防護でリスク評価を行う場合に直線しきい値なし(LNT:linear non-threshold)モデルを用いている理由になっている。

$$E = \alpha D$$

突然変異が関わる疾患の遺伝性影響と癌は、放射線の確率的影響と呼ばれる。実際に放射線照射したマウスの子供を調べると、生殖細胞に生じた突然変異は、相当高線量まで直線的に増加することが示されている。そのため、遺伝性影響はLNTモデルで評価される。ただ、原爆被爆者の次世代の解析や、放射線治療を受けた小児癌長期生存者の子供の解析などで、これまで放射線の遺伝性影響が認められていないことは、少し不思議である。ただ、これはヒトで放射線による突然変異が誘発されないことを意味するのではなく、これが検出限界以下であることを示すに過ぎないと考えるべきであろう。

発癌は、癌遺伝子や癌抑制遺伝子が突然変異することで、細胞の増殖が促進されると同時に、分化やアポトーシスプログラムが破綻することで増殖に歯止めが利かなくなると発症する。この発癌には、複数の遺伝子の突然変異が必要で、正常細胞が複数の突然変異を蓄積して癌細胞になり、それが腫瘤を作るまでの過程は、1970年代の実験研究から、イニシエーション、プロモーション、プログレッションの3段階に分けられていた。複数(n 個)の突然変異の誘発は、線量の n 乗の線量効果関係をもつと思われるが、すでに述べたLNTモデルでは、癌は線量の1乗で増加すると考える。この矛盾を解決するため、ICRPなどの放射線防護関連組織では、放射線が



第3図 放射線発癌の過程

発癌のイニシエーションにおける突然変異の誘発にのみ寄与するとしている。いささか無理な仮定であるといわざるを得ず、第3図に示す癌化のいずれの過程における突然変異の誘発にも放射線が関わると考える方が納得がいく。

ともあれ、突然変異誘発が関わるため、放射線発癌は、確率的影響に分類される。ただ、突然変異以外に、癌抑制遺伝子のDNAメチル化による発現抑制や、細胞増殖系のシグナル伝達系のエピジェネティック機構による活性化により癌化する例も見つかっている^{2,3)}。さらに放射線は、組織細胞を殺すことで生き残った幹細胞に過重な分裂増殖を促すが、これにより間接的に突然変異の頻度を上昇させるという機構も考えられている。しかし従来の考え方では、放射線の突然変異作用が発癌に寄与するところが大きいとされているため、放射線発癌は確率的影響とされ、そのリスク評価をLNTモデルで行う理由になっている。

4. 放射線発癌の実際

実際のデータでみると、動物実験の放射線発癌では、いろいろな線量効果関係が見られる。しかし線量率を低くすると、多くの癌で線量効果関係が直線となり、また頻度も1/2~1/10に低下する。これはICRPが、線量・線量率効果係数(DDREF:dose and dose rate reduction factor)を2とする、つまり低線量や低線量率ではリスクが1/2になるようリスク評価を行うように勧告した理由となっている(ICRP 2007)¹⁾。

ヒトでの放射線発癌については、原爆被爆者の疫学調査がもっとも大規模でかつ厳密な研究とされている。被爆者で個々の癌を見ると、その線量効果関係はいろいろである。白血病の線量効果関係は低い線量では2次曲線で線量が高くなると直線関係になる直線2次式であり、皮膚がんではしきい値が見られる。しかしすべての固形癌をまとめた全癌の発症頻度は、線量に対して直線で増加し、これもあってLNTモデルが放射線発癌のリスク評価に用いられている。原爆被爆者での被ばくは、急性被ばくで、全年齢層をまとめた癌死亡の過剰相対リスクは、0.5/Gyになり、これから癌死亡の絶対リスクが $10 \times 10^{-2}/\text{Gy}$ と計算される。低線量・低線量率放射線のり

スクは、 $DDREF = 2$ で補正して、 $5 \times 10^{-2}/Gy$ になる。この数値が放射線防護のリスク評価基準値となっている。

DDREF 値は、低線量・低線量率のリスク評価に重要であるが、その数値はさまざまなあいまいさを含む。そのため、低線量・低線量率の放射線被ばく集団について疫学調査を行い、DDREF やリスク値を直接求めようとする動きがある。原発での作業者は、線量が常にモニターされ、正確な線量が得られるので、この集団はそのような目的に好都合である。原発労働者集団についての大規模な調査が最近になって2件報告され^{4,5)}、単位線量あたりの相対リスクの増加はそれぞれ0.59/Gy と0.32/Gy となっており、低線量率であるにもかかわらず、原爆被爆者のリスクと同等になる。その一方で、インドのケララ州の高自然放射線地域の疫学調査からは、総線量500 mGy を受けた集団においてもリスク上昇は見られていない⁶⁾。疫学研究では、たとえ放射線の影響を見るためのものでも、その集団にはさまざまな要因が影響しているので、結果の解釈は非常に困難である。しっかりしたデザインの研究が繰り返さされて、始めて信頼のおける結果が得られることを認識せねばならない。

5. ICRP が積み残した問題と将来展望

ICRP は1990年に放射線防護についての勧告を出したが、以来15年の間に集積されたいろいろな問題を解決すべく、2007年に新しい勧告を出した。この勧告は、基本的な考え方は従来とそれほど変わるものではない。ただその間にICRP は Publication 99⁷⁾を出し、放射線防護の基盤である LNT モデルについて、防護の道具であるが純粋科学そのものではないとして、立場を変えた。またこの間に研究が進み、放射線による遺伝性影響のリスクは従来考えられていたよりもよほど低いことが示された。さらにこれまで死亡で調査されていた被爆者データが、癌罹患率でデータを得ることができるようになり、放射線発癌リスクの算定がより正確になった。これらを受けて、新勧告では組織加重係数の内訳が変更されている。そして2年以上経過した今も、新勧告に基づいたルール作りに向けての作業がさまざまな組織において行われている。

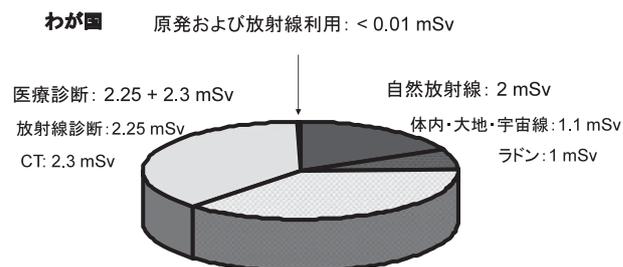
このような研究に基づいた防護の見直しのなかで、今回の新勧告が積み残しているものに従来、確定的影響でしきい値があるとされてきた種々のリスクの問題がある。白内障や心疾患の線量効果関係は、すでに述べたように、線量に対して直線的に増加するものになるであろう。ただこのような問題は、今後の研究がさらに明らかにするもので、現段階で新たな動きをする必要はない。

その一方で、防護の考え方の基本に関わる問題が顕在化しつつあり、ラドンリスク評価とそれに基づく防護基準の設定は、その典型といえる。ラドンは従来から鉱山

労働者における肺癌リスクに寄与していると認識されてきた。2000年代になって、鉱山のみならず、一般家屋の居住者のラドンリスクについても詳細な疫学調査が行われ、一般市民についてもリスクの算定が可能になった^{8,9)}。そしてラドンのリスクは、従来の推定よりも2倍ほど高いことが示された。ICRP はこれに基づいてラドン防護基準値の見直しを行い、一般人の住居では、 $600 Bq/m^3$ を $300 Bq/m^3$ に、鉱山などの作業場では $1,500 Bq/m^3$ を $1,000 Bq/m^3$ に引き下げた。

さて、そこでの問題は喫煙の寄与である。疫学研究の対象になった一般住民と鉱山労働者のいずれの集団も喫煙者を含んでいる。肺癌リスクについてこれらを分けて調べると、喫煙者は最初から非喫煙者の20倍もリスクが高く、しかもラドンは両集団のリスクを同程度に上昇させる。結果として絶対リスクもおおよそ20倍の差があるが、今回の防護基準の見直しでは、非喫煙・喫煙の両集団を丸めた1つの数値が出された。この規制値は喫煙者にとって不十分な防護になり、非喫煙者にとっては過度に厳しすぎる防護になる。このような乱暴な話がまかり通った根底に、名目リスク係数の考え方がある。名目リスク係数は、仮想的ヒト集団を対象にし、そこでのリスク係数を考えるもので、性、年齢、などさまざまな変数を含むヒト集団を1つの規制値で防護するために考案された。ただ、性や年齢のようなヒトにとって内在的な変数を丸めてリスク係数を考えるのはよいとしても、喫煙のような外在的な変数も丸めた防護を考えるのは、いかなるものであるのか。すなわち外在的な変数、しかもリスク値に1桁以上の変動をもたらす変数を「名目」の名のもとに入れるためには、「名目」のあり方についての厳密な検証なしにはやるべきではない。これは同時に、放射線のリスクだけを考えるのみでは、ラドンの防護はできないという事実である。

加えて過去50年の放射線防護の歴史は、原発の放射線の規制を中心にするものであった。しかし現在の社会では、一般人が受ける放射線の最大のもは、医療起源のもので、ラドンが明らかにしたように、自然放射線の寄与も非常に大きい。原発由来の放射線は、これらに比してあまりにも少ない現状を考えれば、異なる線源の放射線それぞれのリスクを整合的に考える必要がある。さらに喫煙で明らかになったように、他のリスク要因と切り



第4図 わが国における放射線源別の公衆被ばく

離して放射線のみリスクを議論することはできない。リスク全体を俯瞰して規制をハーモナイゼーションすることが、省エネが求められている現在の世界で最も重要な課題として浮かび上がっている。新勧告を出したICRPにとって、さらに将来を見据えたリスク評価と防護の問題が、すでに見え隠れしているといえる。

Ⅲ. 終わりに

リスク評価は科学であるが、防護は、社会学であり、政治であり、文化であり、習慣である。リスク評価が科学の進歩につれ展開するのに対して、防護は社会のあり方で変貌する。過去50年の放射線リスクにかかわる生物学を省みると、1950年代に確立した古典的な放射線生物学が研究領域に対する呪縛になっていたことが見え、生命科学の21世紀では、放射線生物学も新しい展開が迫られている。そして防護については、リスクフリーを追い求めた第二次世界大戦後の社会はすでに過去のものとなり、今やリスクの現実を見据えた社会としての対応が必要なように思える。

用語説明

【アポトーシス(apoptosis)】 積極的に引き起こされる管理・調節された細胞の死のことで、低線量での被ばくでも起こる。

【エピジェネティック機構(epigenetic mechanism)】 後天的機構。特にDNAの塩基配列の変化を伴わずに、後天的に遺伝子発現をコントロールするような修飾機構。

【クロマチン(chromatin)】 染色質ともいう。真核細胞の核内に存在するDNAタンパク質複合体。DNAが巻いている単位構造(ヌクレオソーム)の連なったもの。

【幹細胞(stem cell)】 生体を構成する細胞の生理的な増殖・分化などの過程において、自己増殖能と、特定の機能を持つ細胞に分化する能力との両方の性格をもつ細胞。

【プロジェニター細胞(progenitor cell)】 前駆細胞と呼ばれる細胞のことで、幹細胞が分裂して作られ、さらに分裂して機能細胞になる。

【サイトカイン(cytokine)】 生体内の組織で産生される細胞間相互作用に関与する生物活性因子の総称。各種の成長因子・インターフェロン・インターロイキンなど。

—参考資料—

- 1) ICRP Publication 103, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, *Annals ICRP*, [2-4], (2007).
- 2) Iliopoulos, *et al.*, "An Epigenetic Switch Involving NF- κ B, Lin 28, Let-7 MicroRNA, and IL 6 links inflammation to cell transformation", *Cell*, **139**, 693-706 (2009).
- 3) Yang, Sasaki, "Trans-regulated silencing and reactivation of TP 53 tumor suppressor gene in malignant transformation and its reversion", *Jpn. J. Cancer Res.*, **91**, 1111-1118 (2000).
- 4) Cardis, *et al.*, "The 15-country collaborative study of cancer risk among radiation workers in the nuclear industry: estimates of radiation-related cancer risks", *Radiat. Res.*, **167**, 396-416 (2007).
- 5) C. Muirhead, *et al.*, "Mortality and cancer incidence following occupational radiation exposure: third analysis of the National Registry for Radiation Workers", *Br. J. Cancer*, **100**, 206-212 (2009).
- 6) Nair, *et al.*, "Background radiation and cancer incidence in Kerala, India-Karanagappally cohort study", *Health Phys.*, **96**, 55-66 (2009).
- 7) ICRP Publication. 99, Low-Dose Extrapolation of Radiation Related Cancer Risk, (2006).
- 8) UNSCEAR 2006 Report Vol. II, Annex E, Source-to-effect assessment for radon in home and workplace.
- 9) Darby, *et al.*, "Residential radon and lung cancer-detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14 208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe", *Scand. J. Work Environ Health*, **32**, suppl 1, 1-84 (2006).

著者紹介

丹羽太貫(にわ・おおつら)



平成22年3月現在放医研重粒子医科学センター、ICRP主委員会委員
(専門分野/関心分野)放射線生物学

談話室

キュリー夫人がおこなった“幻の授業”

キュリー夫人の理科教室 紙芝居と実験ショー



サイエンススタジオ・マリー主宰
東邦大学大学院理学研究科

吉祥 瑞枝

世界の女性科学者のなかでもキュリー夫人は最も有名で、アインシュタインと並ぶ傑出した20世紀の巨人の一人である。キュリー夫人は物理(1903年)と化学(1911年)の二度のノーベル賞を受賞した。2011年はマリー・キュリーのノーベル化学賞受賞百周年：世界化学年(IYC International Year of Chemistry)である。

サイエンススタジオ・マリー(SSM)¹⁾は理科のオモシロさ、科学するココロをアートとサイエンスの融合をかかげて、子どもや若い女性、大人を対象に、「キュリー夫人の理科教室」：紙芝居と実験ショーを組み合わせた科学ショー(科学技術理解増進活動)を行っている。2003年秋以来現在までに、科学技術館、東芝科学館、東電電気史料館などにおける公演を56回行っている。

1. 紙芝居『キュリー夫人ってどんな人?』

日本伝統の紙芝居で『キュリー夫人ってどんな人?—原子番号88番目の放射性元素 ラジウム発見物語』と題し、放射能を発見し、夫ピエール、アンリ・ベックレル教授とともにノーベル賞を女性として初めて受賞した物語を紹介している。

2003年、筆者は紙芝居の取材のために訪問したフランス・オルセー原子核研究所において、エレヌ・ランジュバン・ジョリオ博士(マリー・キュリーの孫娘)から“Lecons de Marie Curie”の日本語への翻訳を依頼された。キュリー夫人の授業(1907~8年)を受けた少女イザベル・シャヴァンヌのノートが見つかり、幻の授業といわれていたキュリー夫人の授業の一部が明らかになった。それが、『キュリー夫人の理科教室』²⁾である。

2. キュリー夫人の実験ショー

一例として“密度”

実験ショーは「キュリー夫人の理科教室」の現代での再現やそれを発展させたものである。キュリー夫人は長女イレヌを含む子ども達10人くらいに、身近な、暮らして出会う現象に深い意味を伝える実験をして、難しい物理の理論“概念”をわかりやすく教えた。例えば“密度”である。百年経った今でも、学ぶべきことの多い素晴らしい教え方である。キュリー夫人の理科教室²⁾(丸善本)第1回「真空と空気のちがいがい」からの“密度”シナリオ構成は下記の通りである。

会場舞台中央の机の上には、水をはった水槽と、ビー玉、コルク、鍵、卵などが入っている籐製バスケットがいずれも黒い布で覆って置かれている。

ガラスの空き瓶(金属蓋つき)を手に筆者が子どもたちの前に登場し、蓋をとって見せ、子どもに瓶の中を確認してもらう。

「空っぽの瓶よ。本当に何もはいつてないのかしら?」

「そう、空気! 空き瓶の中には空気が入っています!」

でも、見えないわね。どうして見えないのかしら?」

(首をかしげて瓶をのぞきこむ)「皆さん、どうして空気はみえないのでしょうか? 空気って何色?」子どもたちから「白」とか「そら色」と声がかかる。やりとりのあと、「そう! 無色透明だからね。だから見えない。」

「でも、見えない空気を見てみたいと思わない? どうやったらみることができるかしら?」(ニコニコしながら周囲を見渡す)「見たい」という声やうなづく様子。

「では、やってみるわよ! 瓶の中を他のもので置き換えるといいわ。例えばお水。お水を瓶の中に入れてみましょう。瓶を水のなかに入れてみます。」ここで、覆いの黒い布を取り除くと水槽が現れる(瓶に蓋をして、蓋を上に向けたまま水槽に沈め、水中で蓋をとる)。「ほらほら、あぶくが出てきたわ。瓶の中にはいつていた空気がみえました! 瓶の中には代わりに水がはいつていく。瓶の中の空気が水に入れ替わったの。空気が他のもの(水)で置き換わった。これを“置換”といいます。」

参加した女の子が水中で瓶の蓋を取ったとたんに、出てきたあぶくをみて「あれー!」と可愛い声をあげた。

(水の入った瓶を持ち上げながら)「この水を捨てるわね。ほーら瓶の中の水が減っていく。代わりに空気がはいつていく。」(全部、水を捨てたら、瓶を高く掲げ)

「さあ、この瓶は再び、空気ですみまされています。」会場がシーンとなる。

(当たり前現象に参加者の感動が呼び起こされる)

「今度は瓶をさかさまにして、まっすぐ水の中に入れて、そのまま蓋をとってください。どうなるかな?」

「あれ! 今度はあぶくが出ない。瓶の中には空気がはいつたまま……そして水も瓶の中に入っていない。」

「そう、ガラスの瓶の底が邪魔をして、空気が上にはあがってこないの。」

「お水よりも重いものは水の中へ。例えば、蓋は下へ

落ちていく。空気のようなものを気体、蓋のようなものを固体、水のようなものを液体といいます。気体でも、液体でも、固体でも、水より重いモノは下へ、軽いモノは上へ。]

「では、水より軽い空気も、その空気がたくさん、たくさんあったら、お水より重くなるかもしれない。だから、比べる時は「同じかさ、体積だったら」といいます。毎回「同じ体積だったら」という代わりに“密度”といいません。」(“密度”と書かれたカードを示す)

「つまり、空気は水より密度が小さい。だから、上に」蓋は水より密度が大きいため下へ、底に沈んでゆきます。密度は気体、液体、固体には関係ありません。」

「木と鉄を同じかさ、体積で比べたら、鉄のほうが重いので、鉄は木よりも密度が大きいです。何かを水に入れたとき、水より密度の小さいものは水に浮き、密度の大きいものは、底に沈みます。水の密度は1です(重さ÷体積 = 1 g/cm³)。では水にいったとき、“浮くかな？沈むかな？”みんなで予測して、いろいろなものを水に入れてみましょう。」籐のバスケットを開けて、子どもたちに好きなものを選んでもらい、それが、浮くか、沈むか予測して、水槽に入れてもらう。「ほら、ビー玉は沈んだ。ビー玉は水より密度が大きい。」

「空気は水より軽い。空気の密度は水より小さい。でも、その空気にも重さがあるのよ。測りにくいけれど。」(1lのペットボトルを2本、1本は水、1本はからっぽ、<空気がはいっている>ペットボトルを示す)

「水1lは1kgです。では、空気1lはどれくらいの重さかな？」「キュリー夫人の理科教室」では百年前にマリー・キュリーが5lのガラス瓶など3つの道具を用いて、空気1lの重さを子どもたちに測って見せた。現代版の3つの道具、1lのガラス瓶、0.01gまで測れる電子天秤と真空ポンプで、子どもたちと空気1l・1.2gを測る(1円玉は約1g、1円玉を提示する)。キュリー夫人が「これ覚えておきましょうね」と子どもたちに唯一念を押した数値が空気1l・1.2gである。

3. 放射線は役に立つ—マリー・キュリーの夢を求めて³⁾

昨年暮れに化学会館(東京)で専門の講師の先生方と「キュリー夫人の★クリスマスレクチャー」を開催した。その一つに講師 林主税(アルバック元会長)、講師 岡野達雄(東京大)、実験助手 福原淳司(アルバック)による“放射線が役に立つ”実験ショーがなされた。

レントゲンは真空放電の研究から目に見えないX線を発見(1895年)して、第1回(1901年)ノーベル物理学賞を受賞した。レントゲンがX線を発見したのとほぼ同じ装置を製作して実験してみせた。放電管内を1気圧か



「キュリー夫人の理科教室」実験ショー
浮くかな、沈むかな“密度”

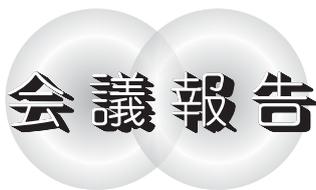
ら真空にしていくと薄いピンクに、電極付近は薄紫青色に変化していく様子を観察し、さらに真空がよくなってガラス管壁に緑色のチラチラが走るようになると、管に近づけたガイガーカウンタがピーピーと音をたてて「X線」を確認した。また、レントゲン夫人の指輪をはめた手の写真、空港での手荷物検査、非破壊検査(宇宙ロケットのエンジンのバルブ)などの写真が示された。放射線の医学的利用の道を開いたマリー・キュリーの夢の紹介として、単に“放射線は危ない”というのではなくて、“科学技術の進歩で病気治療にも使われて役に立つ”と、講師の先生自身の治療前後のPET写真を映写しての説明に、子どもたちから「おう〜」と声があがった。“放射線の強さ”あてっこクイズは(財)日本科学技術振興財団の資料見本一式：4種類①塩、②湯の花(秋田県玉川温泉)、③肥料(加里肥料)、④御影石(花崗岩)を前に音が出るガイガーカウンタで調べて盛り上がった。③が一番強い。

参加の小学生も10年後には社会で期待される人材となる。参加者アンケートの結果⁴⁾から、元来、子どもは“理科が好き”であることがわかった。重要なことは子どもを“理科嫌い”にさせないことである。また、子どもへの大きな影響をもつ母親に関心をもってもらうことが大切で、幼少から科学に親しむことの有効性が高い。幅広い層に満足いくようなプログラムを構成してゆきたい。

(2010年 2月25日 記)

—参考文献—

- サイエンススタジオ・マリー Science Studio Marie
<http://www.max.hi-ho.ne.jp/min-kko/>
- I. シャヴァンヌ(吉祥瑞枝監修、岡田勲・渡辺正共訳)、
キュリー夫人の理科教室、丸善、(2004)。
- A. E. Waltar(高木直行・千歳敬子共訳)、放射線と現代生活 マリー・キュリーの夢を求めて、ERC出版、(2006)。
- 吉祥瑞枝、“キュリー夫人の理科教室”，研究・技術計画学会第22回年次学術大会，亜細亜大学，2007年10月28日。



原子力平和利用と核不拡散，核軍縮にかかわる 国際フォーラム

International Forum on Peaceful Use of Nuclear Energy and Nuclear
Nonproliferation/Nuclear Disarmament

2009年12月3～4日(東京)

12月3日，4日の2日間にわたり，浜離宮朝日小ホール(東京)において標記の国際フォーラムを開催した。日本原子力研究開発機構では，毎年1回，原子力平和利用と核不拡散に関する今日的課題をテーマに開いており，今年は，2009年4月に行われたオバマ大統領の「核なき世界」演説や，2010年5月に5年ぶりに開催されるNPT(核兵器不拡散条約)運用検討会議をも視野に入れ，NPTの三本柱である原子力平和利用，核不拡散および核軍縮を包括的に取り上げた。特に，原子力平和利用の推進と核不拡散をいかに両立させるかを中心に討論することを目的とし，原子力機構，日本国際問題研究所，東京大学G-COEの3者共催により開催した。

主催者を代表して原子力機構の岡崎俊雄理事長からの開会挨拶に続き，初日午前の基調講演の部では，まず，昨年12月1日にIAEAの事務局長に就任されたばかりの天野之弥氏から，原子力平和利用の推進，核不拡散の確保の両面に関し，IAEAが果たすべき役割などにつきビデオでのメッセージをいただいた。次に，原子力平和利用の観点から近藤駿介原子力委員長，核不拡散の観点から米国のポニー・ジェンキンス脅威削減プログラム大使(都合により，国務省原子力安全・セキュリティ部長ストラトフォード氏が代読)にご講演いただいた。また，軍縮の観点から核不拡散・核軍縮に関する国際委員会の報告書の内容について，日本国際問題研究所軍縮・不拡散促進センター所長の阿部信泰大使よりご講演いただいた。

初日の円卓討論1(モデレータ：阿部所長)では，核不拡散，原子力平和利用，核軍縮を包括的に議論し，特に，



円卓討論1の様相

原子力平和利用推進の重要性とその課題，核不拡散/保障措置，原子力安全，核セキュリティの3S確保のための新規原子力発電導入国への支援のあり方，追加議定書の普遍化をいかに進めるかなどについて議論した。外務省の中島審議官からは，追加議定書批准国としてIAEAのお墨付きを得ることが政治的な利益をもたらすことなど批准のメリットを主張されたが，ブラジル・アルゼンチン核物質管理機関(ABACC)事務局長のド・カント氏からはブラジル政府の立場として，追加議定書の批准について大きな障害はないが，核兵器国の核軍縮が進まない中で，追加議定書等，核不拡散に関する追加的な措置を取るつもりはないと述べるなど立場の異なる主張がなされた。インドとの原子力協力について，米側の交渉担当者であったストラトフォード氏が原子力協力に至った理由の説明がなされたが，それに対してフロアからインドとの協力には慎重を期すべきといった意見が述べられた。

2日目午前中の円卓討論2(モデレータ：核物質管理センター内藤香専務理事)では，保障措置，核セキュリティ，核拡散抵抗性の視点に立って，核拡散抵抗性技術と保障措置等の制度的措置をいかに組み合わせる核の拡散を防ぐかという点，核拡散抵抗性と経済性の両立，核拡散抵抗性に関する国際的な評価基準のあり方等について討論をした。拡散抵抗性が高くなっても保障措置システムの検知可能性を低減させるようなことは避けなければならない，拡散抵抗性と保障措置の相乗効果を生むようにすべきといった主張がなされていた。

2日目午後の円卓討論3(モデレータ：東京大学G-COE ジョーシャン・チョイ特任教授)では，核燃料サイクルの多国間管理をテーマに，現在，国際的に議論が進められているフロントエンドを中心とした具体的提案と，バックエンドも含めた多国間管理について多面的に議論をした。伊藤隆彦原子力委員は，原子力が地球環境あるいはエネルギー安定確保のために必要であるという共通理念の下で，多国間管理についても多くの場で議論することが重要と述べられた。

2日間にわたって260名の方々の参加の下，フロアからも討論に加わっていただき，活気のあるフォーラムになったと考えている。

(日本原子力研究開発機構・直井洋介，2010年1月15日記)

新刊紹介

原子力政策学

神田啓治, 中込良廣著, 374 p. (2009. 11),
京都大学学術出版会,
(定価4,725円) ISBN 978-4-87698-790-0

開発半世紀を経たわが国の原子力は、いま文字どおり曲がり角にある。これからの展望を考えるにあたっては、その歴史を学びつつ今日直面している重要政策課題の検討を深化させることが急務である¹⁾。神田, 中込両先生の編さんによる『原子力政策学』は、これらの課題を網羅的に取り上げて一つのまとまった書物として公刊されたわが国では最初のものであると同時に、極めて時宜を得た出版物である。このことをまずは評価したい。

本書は、編者が序章で述べているように、一つの構想のもとに編さんされたものではない。しかし内容全体を俯瞰すれば、今日の主要検討課題(核燃料政策を除く)の大部分が取り上げられており、よく整理もされているので、原子力政策の多様性、さらには学際的考察の必要性を学びとることができる。個々の論文は精粗もあり、また視点の相違はあるが、それぞれ独立したものとしては力作も多く、総じて質も高い。したがって、この分野の研究に現に携わる者、今後それを志す者はもちろん、一般の人々にも原子力を理解するための手引書として一読をお勧めしたい。神田, 中込両先生の多年にわたる原子力に対する思いが実りつつあることは喜ばしい限りである。

原子力の過去・現在・未来 —原子力の復権はあるか

エネルギー学会編, 山地憲治著,
シリーズ 21世紀のエネルギー⑨, 160 p.
(2009. 11), コロナ社,
(定価2,100円) ISBN 978-4-339-06829-0

原子力の最新の全体像が簡潔にまとめられた書

原子力のような巨大技術の全体像を把握することは容易なことではない。他の巨大技術の場合にもいえることであるが、専門家は専門領域の細分化が進んでいるため、専門外の分野の最新動向や、全体像が見えていないことがある。かといって、すべての領域の的確な最新情報を把握するのは大変な労力がかかる。原子力学会の会員であれば、専門がなんだろうと、一般の人からは原子力のことならなんでも知っていると思われ、話題になっていることを聞かれることが多い。そのような時に「よく知らない、わからない」とはいえないし、いべきではない。わかっている範囲でわかりやすく説明するのが原子力学会員としての務めであろう。そのためには、常日頃、頭の中の原子力の全体像情報をアップデートしておかなければならないが、なかなか的確なツールがないのが実情である。

最近では情報の透明化が進んでいるため、各種の委員会や会議の膨大な情報がインターネットを通じて簡単に手に入られるが、単に情報を集めるだけでは全体像は見えない。それらの情報を的確かつ系統的に整理してまとめる必要がある

他方、本書を読了していまさらながら気にかかるのは、原子力政策大綱以来、近年ようやく問題意識が高まってきたとはいえ、いまだに政策論議の中で国と民間の役割分担が繰り返し問題にされていることである。今後は個別の政策の中味もさりながら、政策形成過程と実施を担保する制度が政策論の中心課題になってほしいと願っている。関連して多少の私見を述べさせて頂きたい。序章は原子力政策が政府と深い関係にある要因として、軍事利用、潜在的危険性、巨大技術の3つの特質を挙げているが、これらは、筆者が夙に法制に関連して論じたように²⁾、政策、制度はもちろん、国内、国際を問わず原子力と人類社会との接点でのあらゆる問題を考察する上で重大な基本的視座である。歴史的反省と現下の国際情勢を基に、3つ目の特質を踏まえた政策の構築が改めて求められる。昨今話題になっている原子力の国際展開に関しても、今問われているのは巨大技術のガバナンスと技術戦略のあり方ではないだろうか。本書の刊行を出発点として、原子力政策研究がさらに広く深く展開されていくことを期待してやまない。



(日本原子力発電・下山俊次)

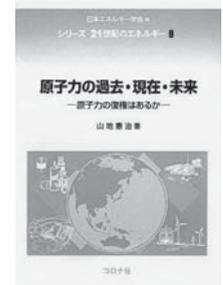
- 1) 山地憲治, 原子力の過去・現在・未来, コロナ社(2009)を本書に併せて一読されることをお勧めしたい。
- 2) 下山俊次, 未来社会と法—原子力, 現代法学全集第54巻, 筑摩書房, p. 429~437(1976), 参照。

が、ほとんどの人はその時間を割く時間的な余裕がないのが実情である。

本著は原子力学会員のそのようなニーズを満たす好著である。原子力のことを生い立ちから将来の展望まで知りたい、プラスの面だけでなく核兵器利用などのマイナスの面も知りたい、エネルギー利用だけでなく放射線利用のことも知りたい、技術的な面だけでなく経済性や廃棄物処分でなぜ問題になっているのかも知りたい、原子力がこれからの温暖化防止にどれだけ貢献できるのかも知りたい、しかも、これらのことを短時間にわかりやすく知りたいというぜいたくな希望にうってつけの本である。

原子力は、さまざまな問題で社会的な合意形成が難航しているが、著者は合意形成するためにはさまざまな主張を理解する必要があり、そのためにはそれぞれの視点とそれに結びついた知識を自分の考えにより再構築する必要があるとし、本著はそれを試みたものであると語っている。したがって、本著では原子力に関するこれまでの国の政策や今後の政策について単に国の政策を解説するのではなく、随所に著者の主張を盛り込んでいる。特に、核燃料サイクル問題に関しては、これまでの政策は燃料リサイクル一辺倒であったが、これからはさまざまな可能性を考慮に入れた多様性のある政策に転ずるべきではないかと論じている。

(東京大学・諸葛宗男)





⑩ わが町をこよなく愛す

佐賀県玄海町 山口 直子



はじめに

私は、高校卒業後、大阪でしばらく働いた後、親に呼び戻され、故郷で仕事を探していました。そんな時に、電気関係の企業を紹介していただき、無事採用されました。勤務先は、原子力発電所の構内の事業所でした。正直、発電所に行ったこともありませんでしたし、原子力に関する知識は皆無に近かったのです。むしろ原子力に対しては恐怖心があったといえます。私の会社は主に放射線測定器のメンテナンス業務をしていました。仕事を通じて、原子力や放射線のことを少しずつ理解してきました。何も知らないと、かえって恐怖心をあおるものです。仕事に慣れるにつれて、現場で従事されている方々の仕事に対する厳しさ、堅実さ、そして健康管理は他の業務にないほどの徹底ぶりにふれ、安心感さえ覚えるようになっていきました。やがて、縁あって私は玄海町に嫁ぎました。今は小さなスーパーを経営しています。少しでも地域に貢献できるような地域密着型を目指し、“田舎の便利屋”として頑張っています。

プルサーマル始動

さて、2009年11月5日に、全国に先駆け、九州電力の3号機においてプルサーマルが実施されました。実施前には幾度となくプルサーマルについての説明会が催されました。九州電力も各戸を個別に訪問するなどして理解活動を徹底されたようです。そのような中で私が感じたのは、プルサーマルは国策というよりも事業者がやりたがっているかのように思われ、国の対応がすごく遅かったように思いました。

また、このような説明会を通じて、“使用済み燃料からまだ使える燃料を取り出して再利用する”ということくらいは私達地域の住民にもわかります。しかし、それ以上のことを説明されても、理解できる人はわずかだったと思います。

このプルサーマルが、全国で最初に玄海において実現した理由は、電力事業者の体質にあるのではないのでしょうか。九州電力は、これまでに大きなトラブルもなく安全運転を行ってきました。地方の方々とのコミュニケーションも多く取り組まれ、事業者と地域の住民との距離がとても近いと感じます。また、現場のことをよく熟知された方々が上に立ち、指揮をとっていらっしゃる。そのことに私たちは大きな信頼を寄せています。

何事においても、最初に試みることの準備や勇気というものは、計り知れないものがあると思います。私は、

九州電力がこのプルサーマルを最初に行ったことが誇りにさえ思えます。

これからのこと

プルサーマルの実施に至るまでに、他所からいろんな人が来ていろんなことが言われました。しかし、プルサーマルが始まって一体なにか大変な事態が起ったでしょうか。何かがあるのすごく変わった訳ではありません。以前と変わらぬ平穏な日々が続いています。私たち地元の者はそのことを実感しています。これは、電気の恩恵を被っている消費地の皆さんにぜひ広く知っていただきたいことです。

玄海に続き、伊方でも3月2日にプルサーマルが臨界に達しました。今後、各地でプルサーマルの動きが活発になってくることでしょうか。しかし、“玄海で成功したから私達も”ではなく、自分たちの地域の事業者の体質を本当に信頼した上で判断してほしいものです。

これから私達が考えていかなければならないことは、10年、20年、いや50年先を見据えた町づくりだと思えます。国や行政に頼りっぱなしでない自立した町づくりを、今からやっていくことが必要だと思います。余力があるうちに若い人たちが地元で止まってくれるような活気ある町づくりに取り組んで行けたらと思います。

自信をもって

核のごみの行き場所である“最終処分場”については、暗中模索といった状況ではありますが、最終と処分場という言葉自体にも多少躊躇するものを感じます。きっと数年後には、科学者が核のごみを有効に処理してくれる日が来るのではないのでしょうか。そんな明るい未来を希望しています。私達は原子力発電と共存し、共生し、九州のエネルギーをわが町でつくり送り出していることを誇りに思っています。そのことを、佐賀牛、玉ねぎ、いちごなどのわが町の特産品と同様に、自信を持って発信し続けていきたいのです。

(2010年 3月3日記)

山口直子(やまぐち・なおこ)

佐賀県玄海町在住。ファミリーショップやまぐちを経営。商工会女性部玄海支部長。町づくりグループ“玄起海”会員として奮闘中。

趣味：スポーツ全般、カラオケ、読書

信条：ピンチはチャンス



入試の英文

金沢学院大学長 石田 寛人

私の大学の今年の入学試験。英語の問題に目を見張った。出題されている英文が長い。解答は択一式ではあるが、長文をどんどん読み進まなければ答えに到達できない。かつて英語で仕事をした私も難儀する問題だ。もっとも、私の英語力は、多くの方がご存じのとおり、全くたいしたものではないけれども、とにかく、今の英語入試の実態認識を新たにした。曖昧な記憶をたどって、我々の大学受験時代は、問題の中の英文はこれほど長くなかったのではないかと、同僚の副学長にもらしたら、彼はそのとおりと応じて、ある新書本を開いてくれた。

そこには、1970年と2008年の東京大学の英語入試問題が比較されていた。1970年の出題英文は、難易度こそ2008年のものとそれほど違わないが、量がかなり少ない。解答時間を考慮に入れても、後者は前者に比べて難しく思える。少なくとも、スピーディに処理しなければならない。理解しにくいところに立ち止まらずどんどん読んでいき、サッと問いを把握して、素早く答えることが求められている。英語も言語である以上、細部にこだわらず、長い文章を読みこなす能力が重視されるのは当然で、最近、それを測定するのにふさわしい問題が出されているのだろう。

それに対して、かつて我々が立ち向かったのは、文法に基づいて英文を分析し、ゴリゴリ解釈して、文章を徹底的に理解しなければ解答が得られないような英文解釈だった。言語の学習とはこういうものではなかろうと思いつつも、汗をかきかき取り組み、それが、とにかく先を急ぎがちな私にとって、いささかなりともジックリ課題に対処する訓練となった高校時代を思い出す。

「大意の迅速把握」と「内容の徹底理解」。言語は、両方を追求しなければならない。杉田玄白の『蘭学事始』はこのことを示して印象深い。オランダの解剖学書『ターヘ

ル・アナトミア』に掲載されている図録が、腑分けの結果と驚くほど一致しているのを知って、翻訳書を早く出版し医療に役立てたいとする玄白。不明な点はほとんど追究しようとする前野良沢。両者の意見は食い違い、結局、訳書たる『解体新書』の訳者は玄白ということで出版されたが、晩年、玄白は、この両方のアプローチが必要だったと述べている。

最近の我々は、現在の英文の入試問題の傾向そのままに、ひとつのことに丁寧に取り組むというより、どんどん先を急ぐという方向に傾斜しているように思えてならない。ここで、ゆっくり腰を落とした取り組みの大切さを再認識すべきではなかろうか。人間は誤りを犯す。しかし、ジックリした取り組みで、誤りを減らすことはできる。誤った場合の悪影響の拡大を防ぐこともできる。原子力は安全第一である。しかし、原子力関係者も人間である以上、ミスは犯す。ただ、目の前の課題に真正面から落ちて取り組むことによって、ミスが外部に迷惑を掛けるような事故に拡大することを防止する。

とは思いつつも、結論を急ぎたくなる性格の私としては、目的に向かって邁進する精神も失ってはならないという主張もしたい。結局、良沢と玄白の精神を融合したところにこそ、原子力技術の花が咲くということであろうか。
(2010年 2月15日 記)



石田 寛人(いしだ・ひろと)

東京大学工学部原子力工学科卒業後、科学技術庁入庁。原子力局長、科学審議官、科学技術事務次官、チェコ大使などを経て、2004年から現職。東大客員教授、原子力安全技術センター会長を兼ねる。

人材育成は業界全体の問題

学会誌の問題の提起に賛同の声も

(2月号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」2月号に対して寄せられた Web アンケートの結果をご紹介します。今回は54名の方から、回答がありました。

1. 高く評価された記事

Web アンケートでは、各記事の内容及び書き方について、それぞれ5段階で評価していただいています。2月号で高く評価された記事について、「内容」、「書き方」に分けてそれぞれ上位4件をご紹介します。

第1表 「内容」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (内容)
1	ATOMOS Special	世界の原子力事情(2) 欧州総括編 フランスの原子力事情	4.19
2	解説(1)	福井大学における原子力教育・ 研究—地域連携型の教育・研究	4.16
3	時論(1)	原子力研究の裾野の拡大に向けて	4.05
4	巻頭言	原子力とニュートリノ	4.00
4	ジャーナリストの視点	説明不足の「国策」	4.00

第2表 「書き方」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (書き方)
1	巻頭言	原子力とニュートリノ	4.00
1	ジャーナリストの視点	説明不足の「国策」	4.00
3	定点 “感”測	原発で考えてみた食のわがまま	3.95
4	時論(1)	原子力研究の裾野の拡大に向けて	3.89

巻頭言、ジャーナリストの視点、時論(1)が「内容」、「書き方」とも上位にきています。

2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) 人材育成という近年の原子力業界の抱える問題が比較的多く取りあげられており、業界全体で考えていかなければならない問題なので、学会誌がその問題を提起するのは意味深い。
- (2) 世界の原子力事情に関する記事が非常に興味深かった。今後も継続していただき、世界の取組みを分かりやすく紹介してほしい。

3. 編集委員会からの回答

- (1) 2月号のアンケートより、「学会への要望」という自由記入欄を新設しました。ご意見のある方はどうぞ。

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

ジャーナリストの視点 Journalist's eyes

『感情』に思い巡らす試みを

新潟日報社 三浦 穂積

「なぜなら、『安全です』とだけ言っていれば楽だからですよ」

日本原子力産業会議(現・原子力産業協会)の副会長などを長く務めた森一久さんの答えは簡潔だった。森さんが亡くなる前、2007年11月にお会いしたときのことだ。森さんは半世紀にわたって見てきた日本の原子力を振り返る中で、話題が東京電力のトラブル隠しなどの不祥事に及ぶと、「(業界が)楽をしたのが原因」と表現した。

一般の人たちに不安や疑念が広がる前に、トラブルについての説明を省く。なかったことにする。こうした怠慢は決して良い結果はもたらさないのだと、皮肉を込めた。「原子力を始めたころは、潜在的な危険を言った上で『だから安全に扱う』と誓ったものだ」

森さんはこの年に起きた中越沖地震にも大きな関心を持たれていた。安全審査で想定しなかったような激しい揺れに見舞われた柏崎刈羽原子力発電所。その安全性を、国や電力会社は市民へどう説明していくのか。いくつかの不祥事で信頼を失った後だからこそ、原子力業界がどう行動するかに注目していた。

◇ ◇

「楽をしない」やり方。私なりに考え、その一つは「発電所周辺に住む人の感情に思いを巡らせる」ことではないかと思っている。

柏崎刈羽発電所では、この原稿を書いている3月末時点で7基のうち6、7号機が既に復旧した。地震後、これまで原子力業界が「楽をしてきた」とは決して思わない。ただ、専門家たちの議論はドライだったように思う。技術指針に則していれば安全。結局、そこだけで線が引かれてきた。

昨年、地元柏崎市であった住民説明会。経済産業省原子力安全・保安院のトップは「不安が払しょくされたかどうかは人によって違う。国はルールに合っているかを確認するだけ」と言った。「感情に立ち入ればきりがない」とも加えた。

「安全です」という結論だけの説明では、従来と何ら変わらない。過去に例のない事態で不安を抱いた住民からすれば、トップの言葉は冷たく聞こえたことだろう。

◇ ◇

地震から3年がたとうとする中で、芽生えてきたものもある。せめて住民の気持ちを想像してみようという試みだ。

新潟県が独自に専門家を集めた「原発の安全管理に

関する技術委員会」。この下部組織に当たる小委員会では、「その説明では住民は納得できないのではないか」というやりとりが増えてきた。

過日行われた1号機の制御棒をめぐる議論も象徴的だった。東京電力は、地震で揺れても制御棒が正常に機能することを示すため、燃料集合体の揺れ幅の実験データを示して説明した。その上で「かなりの安全余裕がある」と強調した。しかし、委員たちはこの「余裕」にかみついた。

「東電さんは余裕があるから問題ないというが、その実態がよく分からない。もっと丁寧に説明してはどうか」。最後に苦言を呈したのは、小委員長を務める北村正晴・東北大名誉教授だった。

北村名誉教授は国の中越沖地震調査・対策委員会にも名を連ねる。北村名誉教授は、国と県小委の違いはまさに「安全余裕」へのアプローチの仕方にあると話す。

国の委員会は、応力が基準値を下回れば『安全』と判断し、それ以上、議論しない。これに対し、県小委は仮に基準値を下回っても、「余裕」に当たる部分が「たっぷりある」のか「ギリギリ」なのか、というところまで議論する。「余裕」という言葉をあいまいに使わず、量的に示した方が、一般人にとってはより分かりやすいからだ。

北村名誉教授は「国のやり方は正解。一方で、県民の安心材料を少しでも増やそうとしている県小委のやり方もまた正解なんです」と説く。

◇ ◇

東京電力は、県小委で委員の厳しい指摘に戸惑いながらも、資料をそろえて何とか応えようとしている。決して「楽」なプロセスではない。ただ、こうした努力を重ねることが、住民に自らの姿勢を伝えることにもつながると思う。一地方で始まった試みではあるが、こうした議論があることを、原子力にかかわる方々に知ってほしい。

住民はどう感じるか。指針だけでなく、感情にも思いを巡らせる姿勢を、原子力安全行政、そして原子力行政を担う国にこそ持ってもらいたい。

(2010年 3月31日 記)



三浦穂積(みうら・ほづみ)

新潟日報社報道部記者

新潟大学法学部卒。1999年入社。本社報道部、柏崎支局、東京支社などを経て現職。